



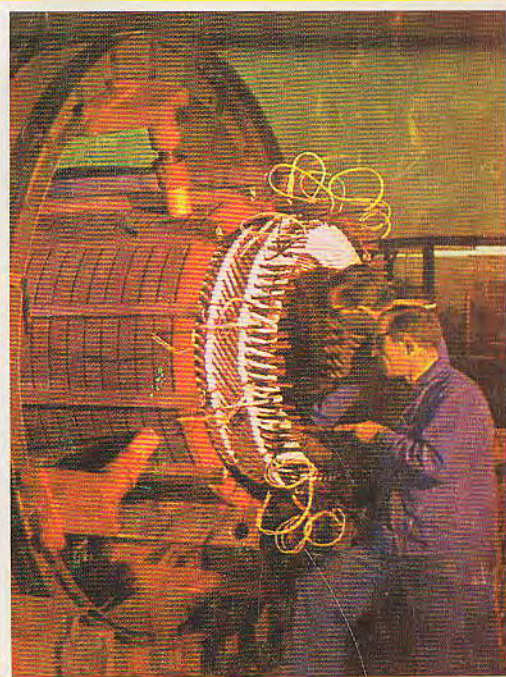
دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مبانی ماشینهای الکتریکی

جلد اول و دوم (DC) + (AC)

BASIC ELECTRICAL MACHINES

VOL. 1+ 2
(DC) + (AC)



Pericles Emanuel

ترجمه :
دکتر مهرداد عابدی

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی ماشینهای الکتریکی

ماشینهای جریان مستقیم

ماشینهای جریان متناوب

Pericles Emanuel تألیف

ترجمه: دکتر محمد ادهادی

استاد یار دانشکده برق دانشگاه صنعتی امیرکبیر

انتشارات جهاد دانشگاهی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر



عنوان :	مبانی ماشینهای الکتریکی
نویسنده :	Pericles Emanuel
مترجم :	دکتر مهرداد عابدی
ناشر :	انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر
چاپخانه :	:
تیراژ :	۳۰۰۰ نسخه
تاریخ انتشار :	بهار ۱۳۷۳ (پنجم)

بسم الله الرحمن الرحيم

پیشگفتار جهاد دانشگاهی

اکنون در دوران بازسازی مملکت اسلامیان ایران، توجه به تقویت بنیه علمی دانشگاهها و دیگر نهادهای مقدس علمی یکی از وظایف همه آگاهان و دست اندرکاران امور می باشد. از این رو جهاد دانشگاهی با علم و آگاهی نسبت به این مهم تمامی نیرو و توان خود را صرف تجهیز علمی و اقتصادی هر چه بیشتر دانشجویان و آینده سازان جامعه، نموده است. و در این راه از هیچ کوششی و تلاشی دریغ نخواهد ورزید.

در این راستا انتشارات جهاد دانشگاهی با این باور که داشتن استقلال اقتصادی و عقیدتی، مستلزم دارا بودن قدرت بالای علمی و آشنایی با تکنولوژی مدرن، البته در کنار ایمان و اعتقاد به آرمانها، است. سعی می نماید با آماده سازی و انتشار متون متنوع و مختلفی علمی به هر دو زبان فارسی و لاتین که از سطح مطلوبی برخوردار باشند، به وظیفه انسانی و اعتقادی خویش جامه عمل ببوشاند. و امیدوار است که توانسته باشد کمکی هر چند ناچیز به علاقمندان و دلسوزان میهن اسلامی و پویندگان راه علم انجام دهد.

با این باور و اعتقاد از همه عزیزان دانش پژوه جهت ارائه نظرات و پیشنهادات برای هر چه بهتر شدن سطح امور انتشارات این جهاد، یاری می طلبیم.

در انتها این کتاب را به روان پاک شهدای دانشگاهی بویژه شهدای دانشگاه صنعتی امیرکبیر تقدیم می نماییم. امید است کلیه دانشگاهیان استوار و ثابت قدم پوینده راه شهیدان در محیط مقدس دانشگاه باشند.

السلام علی من اتبع الهدی

انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی امیرکبیر

بسمه تعالی
پیشگفتار مترجم

امروزه صنعت برق در تمامی رشته‌های مهندسی نقش بسزایی ایفا میکند. و تمامی مهندسی باید اطلاعات نسبی را جمع به این صنعت داشته باشد. در دنیای امروزی هر مهندسی با انواع موتورها، ژنراتورها، ترانسفورماتورها سروکار دارد و باید با اصول کار این دستگاهها آشنائی نسبی داشته باشد. این کتاب ترجمه کتاب: *Motors, Generators, Transformers and Energy* آقای P. Emanuel استاد دانشگاه City University نیویورک، برشته تحریر درآمده توسط کمپانی Printicehall در سال ۱۹۸۵ میلادی به طبع رسیده است. با توجه باینکه درس مبانی برق جزء دروس اکثر رشته‌های مهندسی از قبیل ساحه، معدن، مکانیک، شیمی، صنایع میباشد و اینجانب چند ترمی مسئولیت تدریس آنرا داشته‌ام، بر آن شدم کتاب فوق را در دو جلد ترجمه نمایم. جلد اول مربوط به ماشینهای جریان مستقیم (D.C) بوده که هم اکنون از نظر علاقمندان میگذرد و جلد دوم مربوط به ماشینهای جریان متناوب (A.C) میباشد که در آینده نزدیک در اختیار دانشجویان قرار خواهد گرفت. یکی از ویژگیهای این کتاب ساده‌گی نگارش آن است و آقای امانوئل با بیان شیوا و بطرز استانی آقای مطالب را بصورت ساده بیان داشته‌اند. این کتاب حاوی مثالهای متعددی است و دانشجو میتواند بصورت خودآموز از آن استفاده کند.

همچنین یکی دیگر از خصوصیات این کتاب آن است که مثالهای خود را در دو سیستم احاد انگلیسی (English-System) و سیستم احاد بین‌المللی (SI-System) بیان داشته است. اینجانب امیدوارم توانسته باشم حداقل زحمات آقای امانوئل را به‌در نداده باشم و دانشجویان محترم نیز بتوانند از این کتاب براحتی استفاده بنمایند. در خاتمه از زحمات افراد و ارگانهای زیر کمال تشکر را دارم:

۱- کلیه دانشجویان رشته‌های مختلف مهندسی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر که حین تدریس درس مبانی مهندسی برق دائما با پشتیبانی خود مرا در احیای این مهم تشویق مینمودند.

۲- جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که دائما "مشوق من در ترجمه این کتاب بوده‌اند.

۳- انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر که چاپ این کتاب را بعهده گرفتند.

GORETEX

میرزا محمد علی
میرزا محمد علی

فصل اول

آشنائی با مدارهای مغناطیسی

۳۰ صفحہ

INTRODUCTION TO MAGNETISM
AND MAGNETIC CIRCUITS

آشنایی با مدارهای مغناطیس

مقدمه:

امروزه دنیائی که در آن زندگی میکنیم، دنیای الکترونیک نامیده میشود. در جهان امروزی بشر بطرز عجیبی به الکتریسته^(۱) وابسته شده است و بدون آن زندگی بشر متمدن تقریباً غیر ممکن است. اما باید خاطر نشان ساخت که پدیده حادوثی مغناطیس نیز نقش بسیار عمده‌ای در زندگی بشر ایفا میکند. بدون پدیده مغناطیس لوازم الکتریکی متداول از قبیل رادیو، تلویزیون، یخچال، تهویه مطبوع، و موتورهای قادر بکار نخواهند بود. بطور کلی میتوان گفت با آنکه بشر به الکتریسته وابستگی شدید پیدا کرده است ولی بدون پدیده مغناطیس قادر با استفاده از الکتریسته نخواهیم بود. بطور خلاصه میگوئیم که بدون پدیده مغناطیس زندگی بشر متمدن غیر ممکن خواهد شد.

۱-۱ تشابه بین مغناطیس و الکتریسته:

1-1 SIMILARITIES BETWEEN MAGNETISM AND ELECTRICITY

دستگاههایی^(۲) که در این کتاب مورد مطالعه قرار میگیرند تحت عنوان لوازم الکترو مغناطیسی^(۳) بررسی میشوند. عبارت دیگر عملکرد این دستگاهها به خاصیتهای الکتریکی و مغناطیسی آنها بستگی دارد. علاوه بر این باید خاطر نشان ساخت که عملکرد این دستگاهها به تاثیرات متقابل خواص الکتریکی و مغناطیسی آنها نیز بستگی خواهد داشت.

در این فصل لازم است مدارهای مغناطیسی^(۴) نسبتاً ساده‌ای را مطرح کنیم تا عملکرد دستگاههای الکترو مغناطیسی را بهتر درک نمائیم. در این فصل درخواهیم یافت که مدارهای مغناطیسی بسیار شبیه مدارهای الکتریکی هستند.

1-1.1 Flux (ϕ)

۱-۱-۱ شار (ϕ)

شار^(۵) در یک مدار مغناطیسی مشابه جریان در یک مدار الکتریکی است. یک قانون کلی بشرح زیر موجود است و در بیان مسائل تکنیکی از آن استفاده میشود.

- | | | |
|---------------------|------------|--------------------|
| 1) Electricity | 2) Devices | 3) Electromagnetic |
| 4) Magnetic-Circuit | 5) Flux | |

$$\text{علت} = \frac{\text{cause}}{\text{opposition}} = \frac{\text{معلول (effect)}}{\text{عکس العمل (مخالفت)}}$$

طبق این قانون شار و جریان (۱) هر دو معلول هستند. شار را بوسیله خطوط فرضی و موهومی در مدار مغناطیسی نشان میدهند. مدارهای مغناطیسی از قسمتهای گوناگون تشکیل شده است و مواد مصرفی برای مدارهای مغناطیسی بگونه‌ای است که خطوط شار (۲) سهولت شکل بگیرند. این مواد را مواد فرومغناطیسی (۳) مینامند. مواد فرومغناطیسی در یک مدار مغناطیسی مشابه یک هادی (۴) خوب در یک مدار الکتریکی است. واحد شار در سیستم اتحاد انگلیسی، خط (۵) (یا ماکسول) (۶) میباشد و واحد آن در سیستم اتحاد بین‌المللی وبر (۷) می‌باشد (wb). منبع در این کتاب سیستم اتحاد بین‌المللی را با علامت اختصاری SI و سیستم اتحاد انگلیسی را با علامت اختصاری ENG نشان میدهم. باید دانست که:

$$1 \text{ weber} = 10^8 \text{ lines (or } 10^8 \text{ maxwells)} \quad (1-1)$$

یکی از کمیت‌های مهم در مدارهای مغناطیسی، چگالی شار (B) میباشد. چگالی شار مقدار شار است که از سطحی بمساحت A که عمود بر شار میباشد عبور میکند. در سیستم (ENG) داریم:

$$B = \frac{\phi \text{ lines}}{A \text{ in}^2} \left(\text{or } \frac{\text{maxwells}}{\text{in}^2} \right) \quad (1-2a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$B = \frac{\phi \text{ Wb}}{A \text{ m}^2} \quad [\text{or tesla (T)}] \quad (1-2b)$$

- | | | |
|--------------|------------------|------------------|
| 1) Current | 2) Lines of Flux | 3) Ferromagnetic |
| 4) Conductor | 5) Line | 6) Maxwell |
| | | 7) Weber |

Example 1-1 (English)

مثال ۱-۱ (سیستم ENG):

سطح مقطع یک هسته ۳ اینچ مربع می‌باشد، اگر چگالی شار $80,000 \text{ lines/in}^2$ باشد مطلوب‌ست محاسبه شار در این هسته.

حل:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

از رابطه (a-۲) داریم:

$$\begin{aligned} \phi = BA &= 80,000 \text{ lines/in}^2 \times 3 \text{ in}^2 \\ &= 240,000 \text{ lines (or maxwells)} \end{aligned}$$

در نتیجه:

Example 1-2 (SI)

مثال ۱-۲ (سیستم SI):

سطح مقطع یک هسته ۴٪ متر مربع می‌باشد اگر چگالی شار 1.5 T (۱) (تسلا) (۲) باشد، شار در هسته را حساب کنید. تسلا معادل وبر بر متر مربع می‌باشد.

حل:

$$B = \frac{\phi}{A}$$

از رابطه (b-۲) داریم:

$$\phi = BA$$

$$= 1.5 \text{ T} \times 0.04 \text{ m}^2$$

$$= 0.06 \text{ Wb}$$

در نتیجه:

1-1.2 Magnetomotive Force, MMF(U)

۱-۱-۲ نیروی محرکه مغناطیسی: نیروی محرکه مغناطیسی (۲) که منبسط آنرا با MMF یا U نشان می‌دهیم مشابه نیروی محرکه الکتریکی (۴) (EMF) در مدارهای الکتریکی می‌باشد. همانطور که $E = RI$ باعث می‌گردد جریان در مدار الکتریکی برقرار شود، نیروی محرکه مغناطیسی (MMF) نیز باعث می‌شود که شار در مدارهای مغناطیسی بوجود آید. با توجه به قانون کلی ذکر شده در قبل EMF و MMF هر دو "علت" محسوب میشوند.

Resistance

F = \frac{V}{R}

1) Flux-Density 2) Tesla

3) Magnetic-Motive-Force 4) Electromotive-Force

در اینجا باید اختلاف بین مدارهای الکتریکی و مدارهای مغناطیسی توجه کرد.

الف: در مدارهای الکتریکی بدون وجود EMF ، جریان الکتریکی برقرار نمیشود.

ب: در مدارهای مغناطیسی بدون وجود MMF شار برقرار نمیشود.

مثال ساده مربوط به بند "ب" همان آهن ربای دائمی^(۱) (مغناطیس دائمی)

خواهد بود. آهن ربای دائمی معمولاً "بشکل U" بوده و اکثر خوانندگان با آن آشنایی دارند.

ساده‌ترین EMF در مبحث الکتریسیته همان باتری است. در مدارهای

مغناطیسی ساده‌ترین (U) MMF ، توسط سیمی^(۲) که دور هسته فرو مغناطیسی

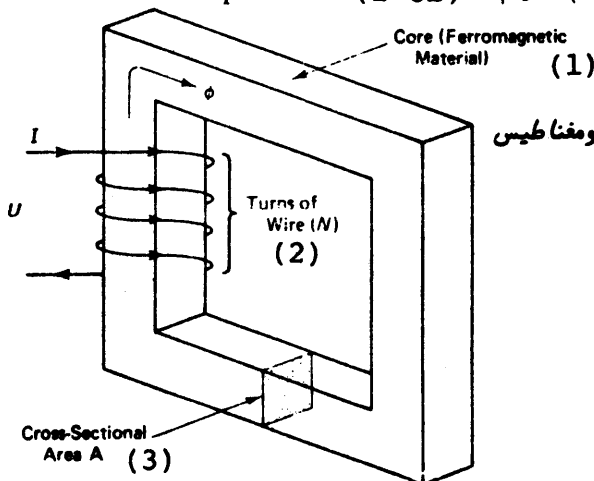
پیچیده شده و توسط جریان مستقیم^(۳) تغذیه میگردد بوجود می‌آید. (بشکل ۱-۱ نگاه کنید).

(U) MMF از نظر عددی معادل حاصلضرب تعداد دورهای سیم (N)

و جریان سیم (I) میباشد.

در سیستم (ENG) داریم: (1-3a) $U = NI$ ampere-turns

در سیستم (SI) داریم: (1-3b) $U = NI$ amperes



۱: هسته از جنس مواد فرومغناطیسی

۲: تعداد دور سیم

۳: سطح مقطع

شکل ۱-۱: نمونه ساده‌ای از طرز ایجاد نیروی محرکه مغناطیسی MMF

- 1) Permanent-Magnet
3) Direct - Current

- 2) Wire

در اینجا خاطر نشان میسازیم که MMF اعمال شده به مدار مغناطیسی در شکل (۱-۱) معادل مجموع افتهای MMF در کل حلقه (۲) میباشد. این قانون نظیر قانون ولتاژ کیرشف (۳) است و در ادامه این فصل راجع به آن بیشتر توضیح داده میشود. برای پیدا کردن جهت شار کافی است که دست راست خود را در جهت جریان به دور هسته قرار دهیم، در این صورت جهت شست دست راست، جهت شار هسته را نشان میدهیم.

یکی دیگر از کمیت‌های مهم در مدارهای مغناطیسی، شدت میدان مغناطیسی (H) است. از نظر عددی H اینچنین حساب میشود:

در سیستم (ENG) داریم:

$$H = \frac{NI}{l} \quad \frac{\text{ampere-turns}}{\text{inch}} \quad (1-4a)$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{F}{\mu_0 \mu_r l} \quad H = \frac{NI}{l} = \frac{F}{\mu_0 \mu_r l} = \frac{F}{\mu_0 \mu_r l} \quad \text{در سیستم (SI) داریم}$$

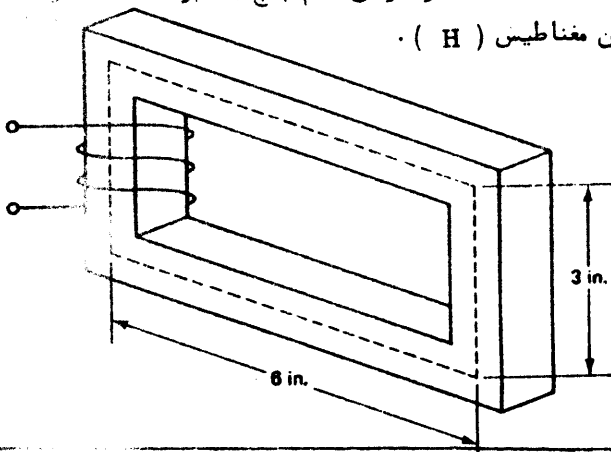
$$H = \frac{NI}{l} \quad \frac{\text{amperes}}{\text{meter}} \quad (1-4b)$$

در روابط اخیر L، طول متوسط مدار مغناطیسی میباشد.

Example 1-3 (English)

مثال ۱-۳ (سیستم ENG):

یک هسته فرو مغناطیسی مطابق شکل (۱-۲) مفروض است و یک سیم پیچ ۱۰۰۰ دوری به دور آن پیچیده شده است. اگر جریان سیم پیچ ۲ امپر باشد، مطلوب است محاسبه MMF و شدت میدان مغناطیسی (H).



شکل ۱-۲: هسته
مربوط به مثال (۱-۳)

1) MMF-Drops
2) Kirchhoff's Voltage Law

2) Loop

4) Magnetic-Field-Intensity

حل:

در اینجا فرض بر آن است که سطح مقطع و جنس هسته در کل مسیر یکسان میباشد .
از رابطه (۱-۳ a) داریم :

$$U = NI$$

$$= 1000(2) = 2000 \text{ A-turns}$$

H را از رابطه (۱-۴ a) بدست می آوریم . ابتدا باید طول متوسط مسیر را حساب بکنیم (l) . طول متوسط مسیر با توجه به خط چین ها در شکل (۱-۲) بدست می آید .

$$l = 3 \text{ in.} + 6 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 6 \text{ in.}$$

$$= 18 \text{ in.}$$

لذا :

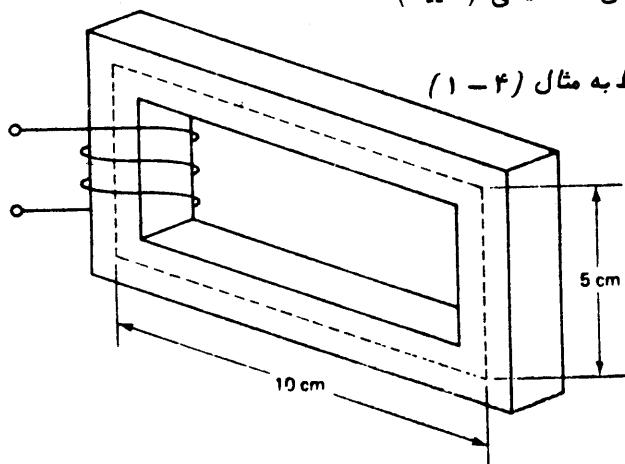
$$H = \frac{NI}{l}$$

$$= 2000 \text{ A-turns} / 18 \text{ in.}$$

$$= 111.11 \text{ A-turns/in.}$$

مثال ۱-۴ (سیستم SI) :

یک هسته فرو مغناطیسی مطابق شکل (۱-۳) مفروض است و یک سیم پیچ ۱۰۰۰ دوری به دور آن پیچیده شده است . اگر جریان سیم پیچ ۲ آمپر باشد ، مطلوبست محاسبه MMF و شدت میدان مغناطیسی (H) .



حل:

در اینجا فرض بر آن است که سطح مقطع و جنس هسته در کل مسیر یکسان میباشد .
از رابطه (۱-۳ b) داریم :

$$U = NI$$

$$= 1000(2) = 2000 \text{ A}$$

H را از رابطه (b ۴-۱) بدست می آوریم ولی ابتدا باید طول متوسط مسیر را حساب کنیم (L). طول متوسط مسیر را میتوان با توجه به خط چین ها در شکل (۳-۱) بدست آورد.

$$l = 5 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 5 \text{ cm} + 10 \text{ cm}$$

$$= 30 \text{ cm}$$

$$l = 30(0.01) = 0.3 \text{ m}$$

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{2000 \text{ A}}{0.3 \text{ m}} = 6666.67 \text{ A/m} \quad \text{لذا:}$$

1-1.3 Reluctance (R)

۱-۱-۳ رلوکتانس (R)

رلوکتانس (۱) (R) در یک مدار مغناطیسی نظیر مقاومت (۲) در یک مدار الکتریکی است. با توجه به قانون کلی ذکر شده در اوایل این فصل میتوان گفت که مقاومت و رلوکتانس هر دو عکس العمل (مخالفت) محسوب میشوند. فرمول مقاومت یک سیم مسی (۳) را بخاطر می آوریم:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (1-5)$$

اگر بجای مقاومت ویژه (۴) (ρ) از هدایت ویژه (۵) (σ) استفاده شود داریم:

$$R = \frac{l}{\sigma A} \quad (1-6)$$

از رابطه (۱-۶) درمیابیم که مقاومت یک سیم مسی با طول سیم نسبت مستقیم داشته ولی با هدایت ویژه و سطح مقطع نسبت معکوس دارد. در مدار مغناطیسی، رلوکتانس اینچنین تعریف میشود:

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad (1-7)$$

که هدایت ویژه μ به واحد $\frac{\text{H}}{\text{m}}$ تعریف میشود.

در رابطه (۱-۷) (l) طول متوسط مدار مغناطیسی یا هسته مورد نظر میباشد. همچنین در این رابطه A سطح مقطع موثر مدار مغناطیسی بوده و در این فصل

1) Reluctance

2) Resistance

3) Copper Wire

4) Resistivity

5) Conductivity

فرض بر آن است که سطح مقطع در کل مسیر مدارهای مغناطیسی یکنواخت میباشد. در رابطه (۱-۸)، μ نفوذ پذیری مغناطیسی (پرمابلیته) (۱) مدار مغناطیسی موردنظر نامیده میشود. پرمابلیته یک ماده بیانگر شدت و ضعف آن ماده در رابطه با بوجود آمدن شار در آن خواهد بود. عبارت دیگر تحت MMF مفروضی اگر پرمابلیته ماده بزرگ باشد، در این صورت شار بیشتری در آن ماده بوجود خواهد آمد و بالعکس اگر پرمابلیته ماده کوچک باشد در این صورت شار کمتری در آن ماده بوجود می آید. پرمابلیته هوا μ_0 نشان میدهند.

سیستم (ENG) داریم:

$$\mu_0 = 3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}} \quad (1-8a)$$

سیستم (SI) داریم:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T}{A/m} \quad (1-8b)$$

با آنکه پرمابلیته هوا عددی ثابت است ولی پرمابلیته مواد فرومغناطیسی عدد ثابتی نخواهد بود.

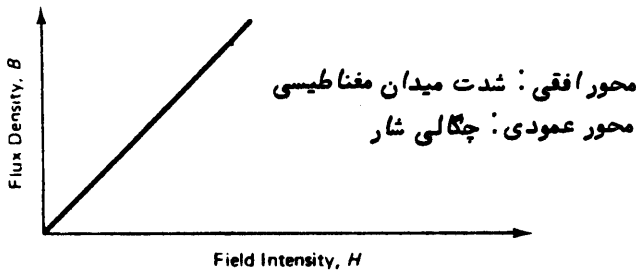
پرمابلیته باعث پیوند چگالی شار مغناطیسی و شدت میدان مغناطیسی نیز میگردد. این را رابطه زیر بیان می کند.

$$B = \mu H \quad (1-9)$$

اگر μ عدد ثابتی باشد (هوا یا مواد غیر فرومغناطیسی) (۲)، رابطه (۱-۹) را میتوان به شکل ترسیمی نشان داد (شکل ۱-۴). شیب (۳) خط نشان داده شده در شکل ۱-۴ پرمابلیته ماده غیر فرومغناطیسی را نشان میدهد.

$$\text{slope} = \mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{B}{H}$$

توجه کنید که در شکل (۱-۴) با افزایش H ، B نیز زیاد میشود و لذا این دو کمیت با هم رابطه خطی دارند. در اینجا یادآور میشویم که اگر در مواد غیر فرومغناطیسی B را با H مقایسه کنیم، B را میتوان از رابطه (۱-۹) بدست آورد (و بالعکس).



شکل ۴-۱: تغییرات B بر حسب H برای مواد غیر فرومغناطیسی (هوا، حوت، پلاستیک و ...)

مثال ۵-۱ (سیستم ENG):

در محفظه‌ای پراز هوا شدت میدان مغناطیسی (H) برابر 30 A-turns/in. می‌باشد مطلوبست محاسبه B (چگالی شار) در این محفظه.

حل:

از رابطه (۹-۱) استفاده می‌کنیم و میدانیم برای هوا $\mu = \mu_0$ است (رابطه

$$B = \mu_0 H \quad \text{لذا: (۸-۱)}$$

$$= 3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in.}} (30 \text{ A-turns/in.})$$

$$= 95.7 \text{ lines/in}^2$$

مثال ۶-۱ (سیستم SI):

در محفظه‌ای پراز هوا، شدت میدان مغناطیسی (H) برابر 900 A/m می‌باشد، مطلوبست محاسبه B (چگالی شار) در این محفظه.

حل:

از رابطه (۹-۱) استفاده می‌کنیم و میدانیم برای هوا $\mu = \mu_0$ است (رابطه

$$B = \mu_0 H \quad \text{لذا: (۸-۱)}$$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}} (900 \text{ A/m})$$

$$= 0.113 \times 10^{-2} \text{ T}$$

Example 1-7 (English)

مثال ۱-۷ (سیستم ENG):

در محفظه‌ای پراز هوا به سطح مقطع ۴ اینچ مربع، شار معادل 200 000 lines می‌باشد، مطلوبست محاسبه H در این محفظه.
حل:

ابتدا از رابطه (۱-۲a) استفاده کرده و B را بدست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} B &= \frac{\phi}{A} \\ &= 200,000 \text{ lines} / 4 \text{ in}^2 \\ &= 50,000 \text{ lines/in}^2 = 50 \text{ kilolines/in}^2 \\ B &= \mu_0 H \end{aligned}$$

حال بسهولت میتوان گفت:

$$\begin{aligned} H &= \frac{B}{\mu_0} \\ &= \frac{50 \text{ kilolines/in}^2}{3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in}}} = 15,670 \text{ A-turns/in.} \end{aligned}$$

Example 1-8 (SI)

مثال ۱-۸ (سیستم SI):

در محفظه‌ای پراز هوا به سطح مقطع ۰/۱ متر مربع شار معادل 0.002 Wb می‌باشد مطلوبست محاسبه H در این محفظه.

$$P = \frac{0.002}{0.1}$$

حل:

ابتدا از رابطه (۱-۲b) استفاده کرده و B را حساب میکنیم:

$$\begin{aligned} B &= \frac{\phi}{A} \\ B &= \frac{0.002 \text{ Wb}}{0.1 \text{ m}^2} = 0.02 \text{ Wb/m}^2 = 0.02 \text{ T} \\ B &= \mu_0 H \end{aligned}$$

حال بسهولت میتوان گفت:

$$\begin{aligned} H &= \frac{B}{\mu_0} \\ &= \frac{0.02 \text{ T}}{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}}} \\ &= 15.9 \times 10^3 \text{ A/m} = 15,900 \text{ A/m} \end{aligned}$$

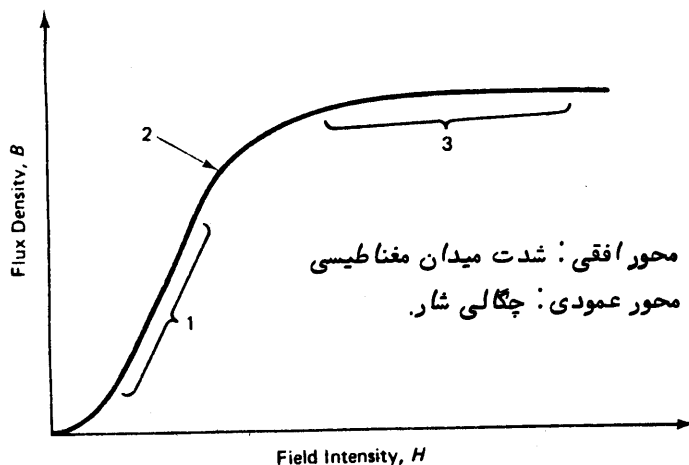
۲-۱ رابطه غیر خطی بین B و H در مواد فرومغناطیسی:**1-2 NONLINEAR EFFECTS OF FERROMAGNETIC MATERIALS**

هرگاه با مدارهای مغناطیسی شامل مواد غیر فرومغناطیسی سروکار داشتیم حل این مسائل با توجه به مثالهای قبلی بسیار ساده می باشد. اما هرگاه با مدارهای مغناطیسی شامل مواد فرومغناطیسی برخورد نمودیم، در این صورت وضعیت قدری پیچیده تر میشود، زیرا پرمالیتة مواد فرو مغناطیسی عدد ثابتی نمی باشد. باید توجه داشت که در مواد فرو مغناطیسی اگر B افزایش یابد، تحت شرایطی خاص پرمالیتة کاهش پیدا میکند، علت این امر وجود پدیده اشباع^(۱) می باشد. اگر به یک هسته فرومغناطیسی، MMF اعمال کنیم در این صورت شار در هسته^(۲) بوحود می آید. هرچه MMF را بیشتر کنیم، شار نیز بیشتر میشود، اما بالاخره به نقطه ای خواهیم رسید که با افزایش MMF (یا H) شار و بالنتیجه B آن افزایش چشمگیر اولیه را نخواهد داشت. در اینصورت میگوئیم که هسته اشباع شده است.

پدیده اشباع را میتوان با یک مثال ملموس بهتر توضیح داد. فرض کنید در ایستگاهی یک اتوبوس خالی وجود دارد. در ابتدا مسافران بسهولة وارد اتوبوس شده و هر مسافر یک جای خالی برای خود دست و پا میکند. هنگامی که اتوبوس پر از مسافر گردید سوار شدن مسافران بعدی خالی از اشکال نخواهد بود، در اینصورت اتوبوس نیز اشباع گردیده است (درست مثل هسته فرو مغناطیسی) البته اگر مسافران قدری بهم فشار بیاورند و بصورت قشرده درون اتوبوس قرار گیرند، همواره برای یک یا دو مسافر دیگر جای خالی باز خواهد شد (درست مثل هسته فرو مغناطیسی) یعنی اگر هسته فرو مغناطیسی، بحالت اشباع برود و باز H را زیاد کنیم، شار یا چگالی شار بمیزان ناچیزی افزایش خواهد یافت. شکل (۵-۱) منحنی تغییرات B برحسب H را برای هسته های فرو مغناطیسی متداول نشان میدهد. به این منحنی ها، منحنیهای $B-H$ یا منحنیهای مغناطیس شوندگی^(۳) اتلاق میگردد. واضح است که منحنیهای $B-H$ برای مواد فرو مغناطیسی مختلف یکسان نخواهد بود.

با توجه بشکل (۵-۱) در میابیم که منحنی $B-H$ از سه ناحیه متمایز تشکیل

شده است.



شکل ۵-۱: منحنی مغناطیس شوندگی یک ماده فرو مغناطیسی

الف: ناحیه شماره ۱:

در این ناحیه با افزایش H ، افزایش متناسبی از B خواهیم داشت.

ب: ناحیه شماره ۲:

با افزایش بیشتر H از ناحیه شماره ۱ وارد ناحیه شماره ۲ میشویم و معمولاً "این ناحیه به پاشنه منحنی" (۱) $B-H$ معروف است. در این ناحیه اشباع شدن هسته شروع میشود.

ج: ناحیه شماره ۳:

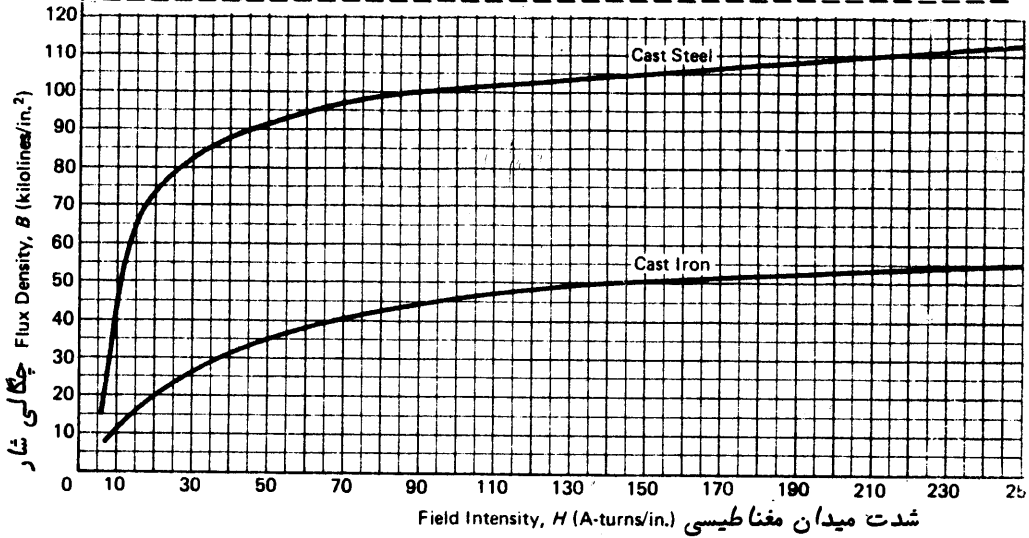
در این ناحیه هسته کاملاً "اشباع شده" است. توجه نمائید که با افزایش H ، B

بمیزان ناچیزی زیاد میشود.

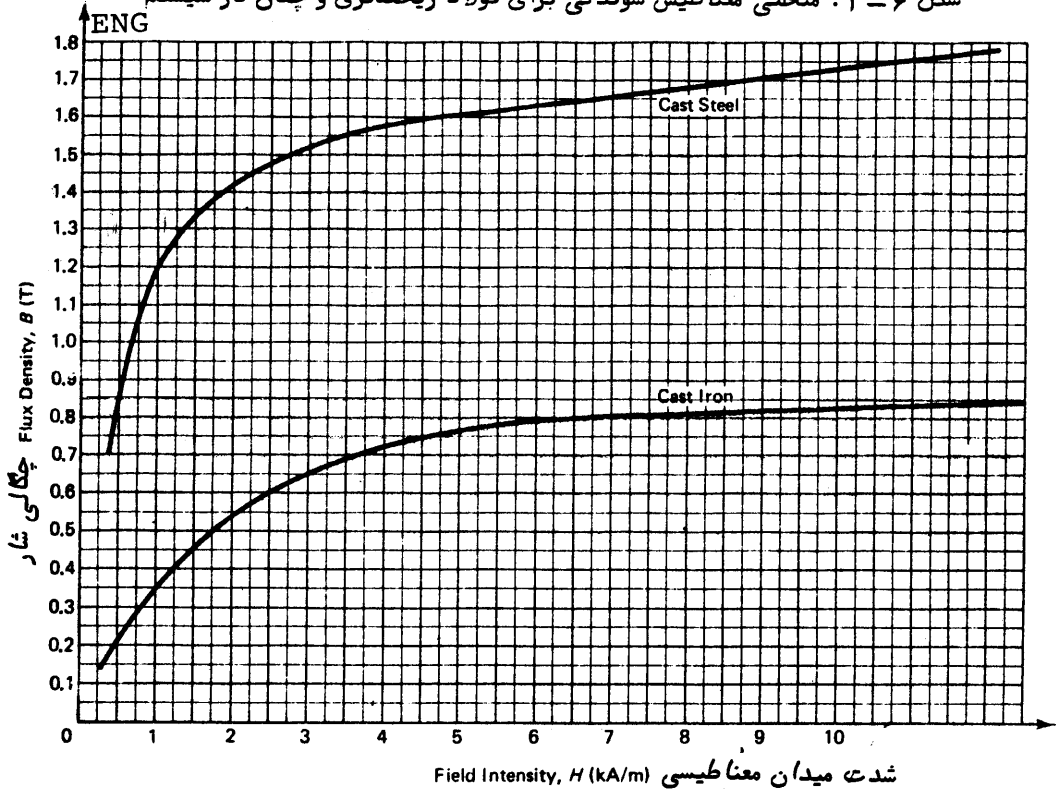
شکلهای (۱-۶) و (۱-۷) منحنیهای $B-H$ را برای چدن (۲) و فولاد ریخته‌گری (۳) نشان میدهد.

شکل (۱-۶) برای سیستم (ENG) رسم شده و شکل (۱-۷) برای سیستم

(SI) ترسیم گردیده است.



شکل ۶-۱: منحنی مغناطیس شوندگی برای فولاد ریخته‌گری و چدن در سیستم



شکل ۶-۷: منحنی مغناطیس شوندگی برای فولاد ریخته‌گری و چدن در سیستم

Example 1-9 (English)

مثال ۱-۹ (سیستم ENG) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱-۸) مفروض است، جنس هسته از چدن بوده و سطح مقطع آن در کل مسیر یکنواخت است. مطلوبست محاسبه چگالی شار (B) در این هسته:

$$l = 3 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.}$$

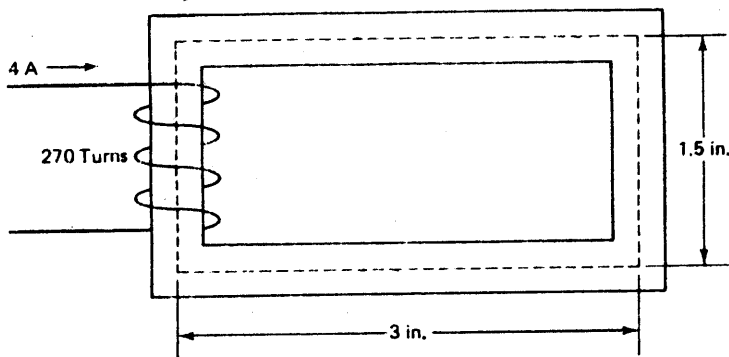
حل:

$$= 9 \text{ in.}$$

$$H = \frac{NI}{l}$$

از رابطه (۱-۴a) داریم:

$$= \frac{270(4)}{9} = 120 \text{ A-turns/in.}$$



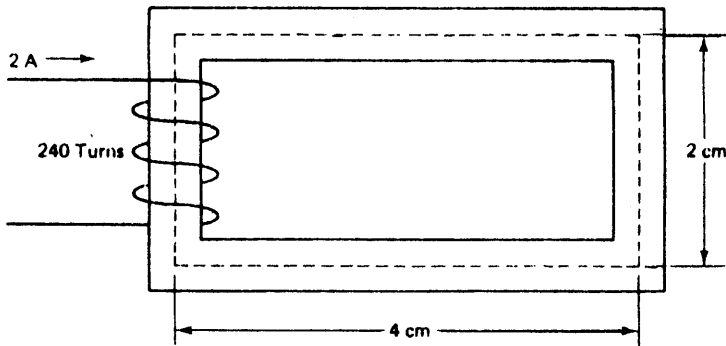
شکل ۱-۸ هسته مربوط به مثال ۱-۹

از منحنی B-H در شکل (۱-۶) استفاده میکنیم. در اینجا H معلوم بوده و B را از روی منحنی میخوانیم (منحنی B-H برای چدن). در اینحال میبینیم که B معادله $49 \text{ Kilolines/in}^2$ خواهد بود. در اینجا متذکر میشویم که دیگر نمیتوان از رابطه (۱-۹) استفاده کرد.

Example 1-10 (SI)

مثال ۱-۱۰ (سیستم SI) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱-۹) مفروض است. جنس هسته از چدن بوده و سطح مقطع آن در کل مسیر یکنواخت است. مطلوبست محاسبه چگالی شار (B) در این هسته.



شکل ۹-۱: هسته مربوط به مثال ۱۰-۱

$$l = 4 \text{ cm} + 2 \text{ cm} + 4 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$

$$= 12 \text{ cm}$$

$$= 12(0.01) = 0.12 \text{ m}$$

از رابطه (۴b-۱) داریم:

$$H = \frac{NI}{l}$$

$$H = \frac{240(2)}{0.12}$$

$$= 4000 \text{ A/m} = 4 \text{ kA/m}$$

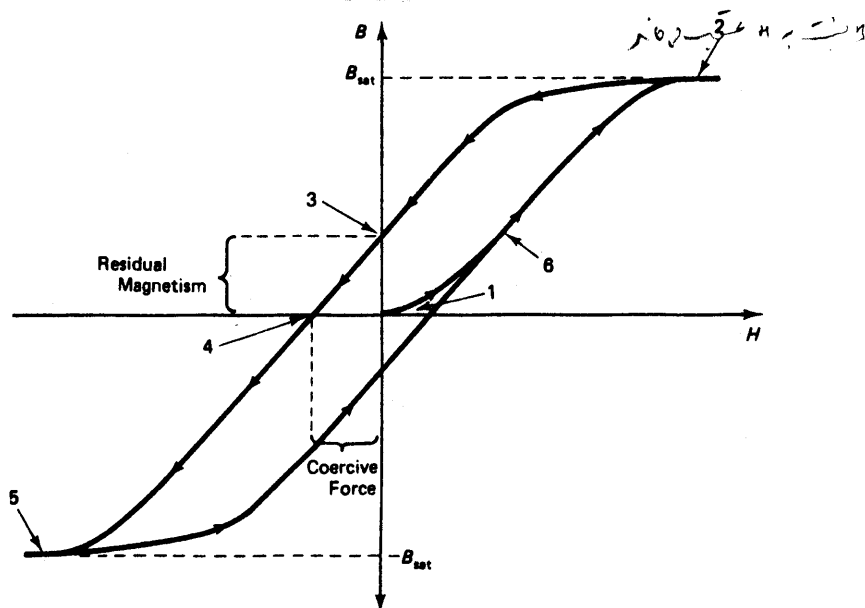
حال از منحنی B-H در شکل (۷-۱) استفاده کرده و با دانستن H، B را میخوانیم. ملاحظه میکنیم B معادل ۰/۷۱ تسلا خواهد بود. توجه کنید که در اینجا دیگر رابطه (۹-۱) کارساز نخواهد بود.

1-2.1 Hysteresis

۱-۲-۱ هیستریزیس:

یکی دیگر از پدیده‌های بسیار مهم و حالب که در مواد فرو مغناطیسی مشاهده میشود همان پدیده هیستریزیس است. برای بیان این پدیده بهتر است از منحنی B-H مطابق شکل (۱۰-۱) کمک گرفت. فرض میکنیم به دور هسته فرو مغناطیسی سیم

پیچی بسته شده باشد و از آن جریان عبور کند. با افزایش MMF (افزایش H) مقدار شار و B نیز افزایش مییابد تا اینکه هسته اشباع شود (نقطه ۱ تا ۲ در شکل ۱۰ - ۱) حال اگر جریان سیم پیچ را کاهش دهیم و آنرا به صفر برسانیم در اینصورت MMF و H صفر میشوند ولی B صفر نخواهد شد (نقطه ۲ تا ۳ در شکل ۱۰ - ۱).



شکل ۱۰ - ۱: منحنی مغناطیس شونده و حلقه هیستریز

بعبارت ساده‌تر هسته خاصیت مغناطیسی خود را حفظ میکند. این خاصیت مغناطیسی پدیدار شده در هسته را پسماند مغناطیسی (۱) مینامند.

حال اگر جهت جریان را عوض کنیم و بتدریج آنرا افزایش دهیم (در جهت منفی) در اینصورت B صفر خواهد شد. شدت میدان مغناطیسی منفی (H منفی)، مورد نیاز جهت صفر نمودن B را نیروی Coercive یا نیروی خنثی‌کننده نامند. (نقطه ۴ در شکل ۱۰ - ۱). اگر جریان بیشتر منفی گردد، دوباره هسته اشباع خواهد شد. در اینصورت پلارته B مخالف پلارته اولیه خواهد بود (نقطه ۵ در شکل ۱۰ - ۱) حال اگر دوباره جریان را بسمت صفر بیاوریم و آنرا مجدداً "مثبت نمائیم منحنی

در نقطه ۶ به منحنی اولیه ملحق خواهد شد. حلقه بسته حاصله از وصل نقاط ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۲، را حلقه هیستریزیس (۱) مینامند و این پدیده را که هرگاه B صفر گردد، H صفر نخواهد شد را نیز پدیده هیستریزیس مینامند.

باید توجه داشت که:

الف: حلقه هیستریزیس نسبت به مرکز مختصات منحنی $B-H$ متقارن است. عبارت ساده تر اگر B_1 مربوط به H_1 باشد در این صورت B_2 مربوط به H_1 خواهد بود.

ب: برای شدت میدان مغناطیسی (H) مفروضی دو مقدار B از روی منحنی بدست خواهد آمد و این مورد بستگی به آن دارد که آیا در مرحله افزایش H هستیم و یا در مرحله کاهش آن:

ج: هرگاه یک ماده فرو مغناطیسی خاصیت مغناطیسی پیدا نمود تنها راه غیر مغناطیسی (۲) کردن آن ماده قرار دادن آن ماده درون یک سیکل مغناطیس شوندگی (۳) است. عبارت ساده تر اگر بخواهیم B و H هر دو صفر شوند ماده فرو مغناطیسی باید درون یک سیکل مغناطیسی شوندگی قرار گیرد.

د: حداکثر چگالی شار (B_{max}) (چگالی شار ماکزیم) در یک ماده فرو مغناطیسی تابعی از درجه حرارت می باشد. با افزایش درجه حرارت، حداکثر چگالی شار (چگالی شار مربوط به ناحیه اشباع) کاهش می یابد. باید توجه کرد که در زیر درجه حرارت معینی (موسوم به نقطه کوری (۴)) ماده خاصیت فرو مغناطیسی خود را از دست میدهد. ه: مواد مختلف دارای چگالی شارهای گوناگون در ناحیه اشباع خواهند بود. از این اختلاف چگالی شارها استفاده کرده و اندازه هسته را در دستگاههای الکترو مغناطیسی طراحی میکنند. مثالهای زیر این موضوع را بیشتر روشن میکنند.

Example 1-11 (English)

مثال ۱-۱۱ (سیستم ENG):

میخواهیم در یک هسته مفروضی، ماکزیم شاری (ϕ_{max}) معادل 350,000 lines بوجود آوریم. مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیم برای این

- | | |
|------------------------|------------------|
| 1) Hysteresis-Loop | 2) Demagnetizing |
| 3) Magnetization-Cycle | 4) Curie-Point |

هسته. اگر:

الف: جنس هسته از چدن با حداکثر چگالی شار $50 \text{ kilolines/in}^2$ باشد.

ب: جنس هسته فولاد ریخته‌گری با حداکثر چگالی شار $100 \text{ kilolines/in}^2$ باشد.

حل:

الف: از رابطه (a-۲) داریم:

$$B_{\max} = \frac{\phi_{\max}}{A_{\min}}$$

$$A_{\min} = \frac{\phi_{\max}}{B_{\max}}$$

$$A_{\min} = \frac{350 \text{ kilolines}}{50 \text{ kilolines/in}^2} = 7 \text{ in}^2 \quad \text{لذا:}$$

$$\begin{aligned} A_{\min} &= \frac{\phi_{\max}}{B_{\max}} \\ &= \frac{350 \text{ kilolines}}{100 \text{ kilolines/in}^2} \\ &= 3.5 \text{ in}^2 \quad \text{ب:} \end{aligned}$$

مثال ۱۲-۱ (سیستم SI):

میخواهیم در یک هسته مفروض ماکزیم شاری (ϕ_{\max}) معادل 0.0035 Wb و بر

بوجود آوریم. مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیم برای این هسته. اگر:

الف: جنس هسته از چدن با حداکثر چگالی شار 0.8 T تسلا باشد.

ب: جنس هسته فولاد ریخته‌گری با حداکثر چگالی شار 1.6 T تسلا باشد.

حل:

$$B_{\max} = \frac{\phi_{\max}}{A_{\min}} \quad \text{الف: از رابطه (b-۲) داریم:}$$

$$A_{\min} = \frac{\phi_{\max}}{B_{\max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{0.8 \text{ T}} = 4.375 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{لذا:}$$

$$A_{\min} = \frac{\phi_{\max}}{B_{\max}} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{1.6 \text{ T}} = 2.1875 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \quad \text{ب:}$$

1-3 MAGNETIC CIRCUITS**۳- ۱ مدارهای مغناطیسی:**

در این بخش چند مثال ساده از مدارهای مغناطیسی سری و موازی را ذکر میکنیم و بیشتر مفاهیم اینگونه مدارها را با مثالهای عددی بیان میداریم. معمولاً "مسائل مدارهای مغناطیسی را به دو طریق مطرح میسازند.

الف: طریق اول:

"یک مدار مغناطیسی موجود است. اگر بخواهیم در آن شار مفروضی بوجود آید، MMF مورد نیاز را بدست می آوریم.

اینگونه مسائل مشابه مدارهای الکتریکی سری هستند که میخواهیم جریان مفروضی از این مدارها بگذرد و مجهول مساله همان نیروی محرکه الکتریکی یا Emf خواهد بود. همانطور که میدانیم حل اینگونه مدارهای الکتریکی بسیار ساده است، یعنی تمامی افتهای RI را در کل مسیر حساب نموده و با یکدیگر جمع میکنیم تا (EMF) مورد نظر بدست آید. در مدارهای مغناطیسی باید عملیات زیر را انجام داد.

- ۱- با دانستن شار (ϕ) و سطح مقطع باید B را حساب کرد.
- ۲- با معلوم شدن B و دانستن جنس هسته از روی منحنیهای $B-H$ ، H را حساب میکنیم.

۳- حال افتهای HL (یا همان افتهای $MMF^{(1)}$) را در دور حلقه حساب کرده و مجموع افتهای HL همان MMF مورد نیاز $(MMF \text{ کل})$ خواهد بود.

ب: طریق دوم:

"یک مدار مغناطیسی موجود است، اگر MMF اعمال شده معلوم باشد، شار در مدار مغناطیسی را بدست آورید.

این گونه مسائل قدری پیچیده است و ما در این کتاب از طرح اینگونه مسائل خودداری میکنیم، زیرا هدف این کتاب ساده نگری نسبت به مسائل مدارهای مغناطیسی است.

1) $MMF - Drops$

Example 1-13 (English)

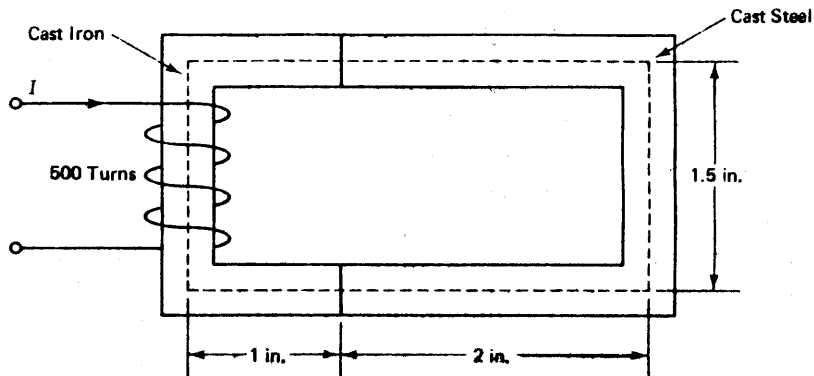
مثال ۱۳-۱. (سیستم ENG) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱-۱۱) مفروض است سطح مقطع در کل هسته یکخواخت

بوده و معادل $1/25$ اینچ مربع است. اگر بخواهیم شار در هسته 50 kilolines, باشد، مطلوبست:

(الف) : MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ بوجود آید.

(ب) : جریان در سیم پیچ.



شکل (۱-۱) : هسته مربوط به مثال ۱۳-۱

حل:

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۱-۱) تشکیل می‌دهیم. هسته مورد نظر در این مساله از دو قسمت تشکیل شده است، قسمت اول از جنس چدن بوده و قسمت دیگر از جنس فولاد ریخته‌گری است.

Table 1-1

جدول ۱-۱

Part	ϕ	A	B	H	l	HI
Cast iron	50 k	1.25	40 k	68	3.5	238
Cast steel	50 k	1.25	40 k	10	5.5	55
Total MMF						293

حال ببینیم که اعداد این جدول چگونه پر شده است. برای هر دو قسمت هسته داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{50 \text{ k}}{1.25} = 40 \text{ kilolines/in}^2$$

با توجه به شکل (۶-۱) میتوان H را برای این دو قسمت پیدا کرد.
برای چدن داریم:

$$l = 1 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 1 \text{ in.} \\ = 3.5 \text{ in.}$$

برای فولاد ریخته‌گری داریم:

$$l = 2 \text{ in.} + 1.5 \text{ in.} + 2 \text{ in.} \\ = 5.5 \text{ in.}$$

حال میتوان HL را برای هر دو قسمت بدست آورد.

(الف): کل MMF مورد نیاز مجموع افتهای HL است.

$$\text{total MMF} = 238 + 55 = 293 \text{ A-turns}$$

$$\text{Total MMF} = NI \quad \text{ب:}$$

$$293 = 500I$$

$$I = \frac{293}{500} = 0.586 \text{ A}$$

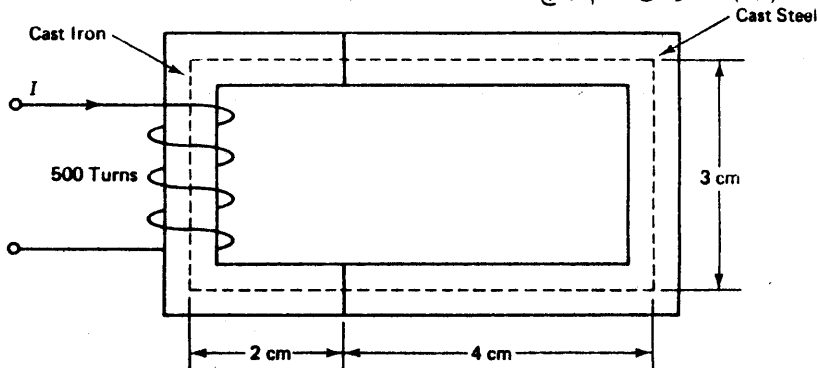
Example 1-14 (SI)

مثال ۱۴-۱ (سیستم SI):

هسته‌ای مطابق شکل (۱۲-۱) مفروض است. سطح مقطع در کل هسته یکنواخت بوده و معادل 0.0009 متر مربع میباشد. اگر بخواهیم شار در هسته 0.00075 وبر باشد، مطلوبست:

(الف): MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تولید شود.

(ب): جریان سیم پیچ.



شکل ۱۲-۱: هسته مربوط به مثال ۱۴-۱

حل :

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۲ - ۱) تشکیل میدهیم . هسته مورد نظر در این مساله از دو قسمت تشکیل شده است ، قسمت اول از جنس چدن بوده و قسمت دیگر از جنس فولاد ریخته‌گری است .

Table 1-2

جدول ۱ - ۲

Part	ϕ	A	B	H	l	HL
Cast iron	0.75×10^{-3}	9×10^{-4}	0.83	9.4 k	0.07	658
Cast steel	0.75×10^{-3}	9×10^{-4}	0.83	0.5 k	0.11	55
Total MMF						713

حال ببینیم که اعداد این جدول چگونه پر شده است . برای هر دو قسمت هسته داریم :

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{0.75 \times 10^{-3}}{9 \times 10^{-4}} = 0.83 \text{ T}$$

از شکل (۲ - ۱) میتوان استفاده کرد و H را در هر دو قسمت حساب کرد .
برای چدن داریم :

$$l = 2 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$

$$= 7 \text{ cm} = 0.07 \text{ m}$$

$$HL = 0.83 \times 0.07 \times 1000 = 58.1$$

$$l = 4 \text{ cm} + 3 \text{ cm} + 4 \text{ cm}$$

$$= 11 \text{ cm} = 0.11 \text{ m}$$

$$\text{برای فولاد ریخته‌گری داریم} \\ = 0.83 \times 0.11 \times 1000 = 91.3$$

حال میتوان HL را برای هر دو قسمت بدست آورد .

(الف) : کل MMF مورد نیاز با مجموع افتهای HL برابر است .

$$\text{total MMF} = 658 + 55 = 713 \text{ A}$$

$$\text{Total MMF} = NI$$

(ب) :

$$713 = 500I$$

$$I = \frac{713}{500} = 1.43 \text{ A}$$

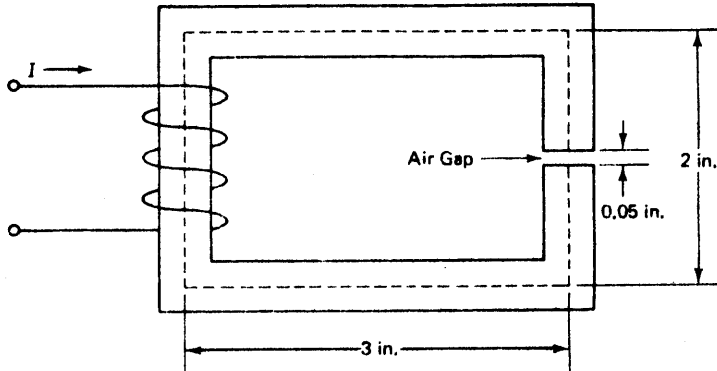
Example 1-15 (English)

مثال ۱۵ - ۱ (سیستم ENG) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱۳ - ۱) مفروض بوده و از جنس چدن ساخته شده است .

اگر بخواهیم شار در این مدار 150-kilolines. باشد ، مطلوبست محاسبه MMF

مورد نیاز فرض بر آن است که سطح مقطع در کل هسته و نیز در فاصله هوایی (۱) یکسان بوده و معادل ۳ اینچ مربع میباشد.



شکل ۱۳ - ۱: هسته مربوط به مثال ۱۵ - ۱

حل:

این مدار مغناطیسی نیز از دو قسمت تشکیل شده است. یک قسمت از جنس چدن بوده و قسمت دیگر همان فاصله هوایی است. برای حل این مساله نیز جدولی مطابق جدول (۱ - ۳) تشکیل میدهم

Table 1-3

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Cast iron	150k	3	50k	130	10	1300
Air gap	150k	3	50k	15.67×10^3	0.05	783.5
Total MMF						2083.5

حال ببینیم اعداد این جدول چگونه بدست آمده‌اند. برای B داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{150k}{3} = 50k$$

H برای هوا اینچنین حساب میشود:

$$B = \mu_0 H$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{50 \text{ kilolines/in}^2}{3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{\text{A-turns/in}}}$$

$$= 15.67 \times 10^3 \text{ A-turns/in.}$$

1) Air-gap

برای آن قسمتی که از جنس چدن است (غیر از فاصله هوایی) داریم:

$$l = 3 \text{ in.} + 2 \text{ in.} + 3 \text{ in.} + 2 \text{ in.} = 10 \text{ in.}$$

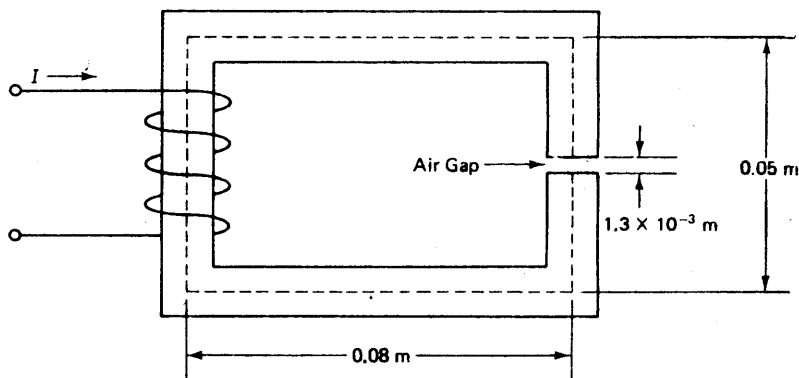
از شکل (۶-۱) استفاده کرده و H را برای چدن بدست می‌آوریم (130 A-turns/in.)
کل MMF مورد نیاز مجموع افتهای HL است. لذا:

$$\text{total MMF} = 1300 + 783.5 = 2083.5 \text{ A-turns}$$

Example 1-16 (SI)

مثال ۱۶-۱ (سیستم SI):

هسته‌ای مطابق شکل (۱۴-۱) مفروض بوده و از جنس چدن ساخته شده است. اگر بخواهیم شار در این مدار ۰/۰۰۱۵ و بر باشد، مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز. فرض بر آن است که سطح مقطع در کل هسته و نیز در فاصله هوایی یکسان بوده و معادل ۰/۰۰۲ متر مربع باشد.



شکل ۱۴-۱: هسته مربوط به مثال ۱۶-۱

حل:

این مدار مغناطیسی از دو قسمت تشکیل شده است یک قسمت از جنس چدن بوده و قسمت دیگر همان فاصله هوایی است. برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۴-۱) تشکیل می‌دهیم:

Table 1-4

جدول ۱-۴

Part	ϕ	A	B	H	l	HI
Cast iron	15×10^{-4}	20×10^{-4}	0.75	4.5×10^3	0.26	1170
Air gap	15×10^{-4}	20×10^{-4}	0.75	5.97×10^5	1.3×10^{-3}	776.1
Total MMF						1946.1

حال ببینیم اعداد این جدول چگونه بدست آمده‌اند. برای B داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{15 \times 10^{-4}}{20 \times 10^{-4}} = 0.75 \text{ T}$$

H را در فاصله هوایی اینچنین حساب میکنیم:

$$B = \mu_0 H$$

$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.75 \text{ T}}{4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{T}}{\text{A/m}}}$$

$$= 5.97 \times 10^5 \text{ A/m}$$

$$H_L = 1.2 \times 10^5 \times 0.00117 = 138.4 \text{ A/m}$$

برای آن قسمت که از چدن ساخته شده داریم:

$$l = 0.08 \text{ m} + 0.05 \text{ m} + 0.08 \text{ m} + 0.05 \text{ m}$$

$$= 0.26 \text{ m}$$

$$H_L = 138.4 \times 0.26 = 36 \text{ A}$$

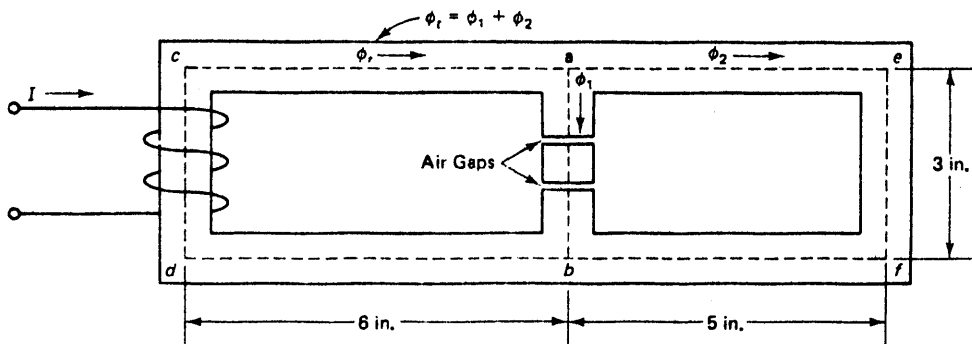
از شکل (۷-۱) استفاده کرده، H را بدست می‌آوریم (4.5 kA/m). کل MMF مورد نیاز برابر مجموع افتهای HI است. لذا:

$$\text{total MMF} = 1170 + 776.1 = 1946.1 \text{ A}$$

جالب توجه آن است که در مثالهای (۱۵-۱) و (۱۶-۱) با آنکه طول قسمت فلزی ۲۰۰ برابر طول فاصله هوایی است، اما فقط ۴٪ از کل MMF در قسمت فاصله هوایی افت پیدا میکند. بهمین دلیل در دستگاههای الکترومغناطیسی فاصله هوایی را حتی الامکان کوچک انتخاب میکنند. بعبارت دیگر هرچه فاصله هوایی کمتر باشد، MMF کمتری جهت ایجاد شار مغز مورد نیاز خواهد بود. در نتیجه به جریان یا تعداد دور سیم کمتری احتیاج خواهیم داشت. اما نباید این موضوع را فراموش کرد که در موتورهای یا ژنراتورها به فاصله هوایی نیاز داریم زیرا در غیر این صورت اصطکاک بین قسمت‌های دوار و ساکن اینگونه ماشینها، فلسفه وجودی آنها را نفی خواهد کرد. معمولاً در ماشینهای الکتریکی فاصله هوایی $\frac{1}{3}$ اینچ یا ۱ تا ۲ میلیمتر است.

مثال ۱۷-۱ (سیستم ENG) :

هسته‌ای مطابق شکل (۱۵-۱) مفروض بوده و از جنس فولاد ریخته‌گری ساخته شده است. اگر بخواهیم شار در فاصله هوایی (ϕ_1) معادل 240 kilolines باشد، MMF مورد نیاز را حساب کنید. فرض بر آن است که سطح مقطع در پایه وسطی هسته (a تا b) و همچنین سطح مقطع فواصل هوایی ۴ اینچ مربع باشد. سطح مقطع قسمت سمت راست هسته ۶ اینچ مربع و سطح مقطع قسمت سمت چپ هسته ۸ اینچ مربع می‌باشد. طول هر کدام از فواصل هوایی ۰/۰۵ اینچ است.



شکل ۱۵-۱: هسته مربوط به مثال ۱۷-۱

حل:

این هسته از سه قسمت متمایز تشکیل شده است.

- ۱- قسمت مرکزی که شامل دو فاصله هوایی است (a تا b).
- ۲- قسمت سمت چپ (acdb).
- ۳- قسمت سمت راست (aefb).

Table 1-5

Part	ϕ	A	B	H	l	Hl
Left	870k	8	109k	190	15	2850
acdb	$(\phi_1 + \phi_2)$					
Center	240k	4	60k	12	3	36
ab	(ϕ_1)					
Two air	240k	4	60k	18,810	0.1	1881
gaps	(ϕ_1)					
Right	630k	6	105k	147.46	13	1917
aefb	ϕ_2					

sum of MMFs

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۵-۱) تشکیل می‌دهیم. حال ببینیم این جدول چگونه پر شده است.

در قسمت مرکزی هسته که شامل دو فاصله هوایی است داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = 60 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶-۱) داریم:

$$H_{ab} = 12 \text{ A-turns/in.}$$

$$H_{\text{air gap}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{60}{3.19 \times 10^{-3}} = 18.81 \times 10^3 \text{ A-turns/in.}$$

حال افتهای H_L را در قسمت مرکزی حساب کرده و مجموع آنها بمثابة MMF برای

قسمت سمت راست (aefb) عمل میکند. $HI = 36 + 1881 = 1917 \text{ A-turns}$

$$H = \frac{HI}{l} = \frac{1917}{13} = 147.46$$

از شکل (۶-۱) داریم:

$$B = 105 \text{ kilolines/in}^2$$

$$\phi_2 = B \times A = 105k(6) = 630 \text{ kilolines}$$

برای قسمت سمت چپ (acdb) داریم:

$$\phi_1 = \phi_1 + \phi_2$$

$$= 240k + 630k = 870 \text{ kilolines}$$

$$B = \frac{870k}{8} \approx 109 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶-۱) داریم:

$$H = 190 \text{ A-turns/in.}$$

$$HI = 190 \times 15 = 2850 \text{ A-turns}$$

$$\text{total coil MMF} = 2850 + 1917$$

$$= 4767 \text{ A-turns}$$

$$2850 + 36 + 1881 = 4767 \text{ A-turns.}$$

یا:

Example 1-18 (SI)

مثال ۱-۱۸ (سیستم SI):

هسته‌ای مطابق شکل (۱۶-۱) مفروض بوده و از جنس فولاد ریخته‌گری میباشد.

اگر بخواهیم شار در فاصله هوایی (ϕ_1) معادل ۰/۰۰۲۴ وبر باشد، MMF مورد نیاز

را حساب کنید. فرض بر آن است که سطح مقطع در پایه وسطی هسته (a تا b) و همچنین سطح مقطع فواصل هوایی ۰/۰۰۲۸ متر مربع میباشد. سطح مقطع قسمت سمت راست هسته ۰/۰۰۳۵ متر مربع و سطح مقطع قسمت سمت چپ هسته ۰/۰۰۵ متر مربع میباشد. طول هر کدام از فواصل هوایی ۰/۰۰۱ متر است.

حل:

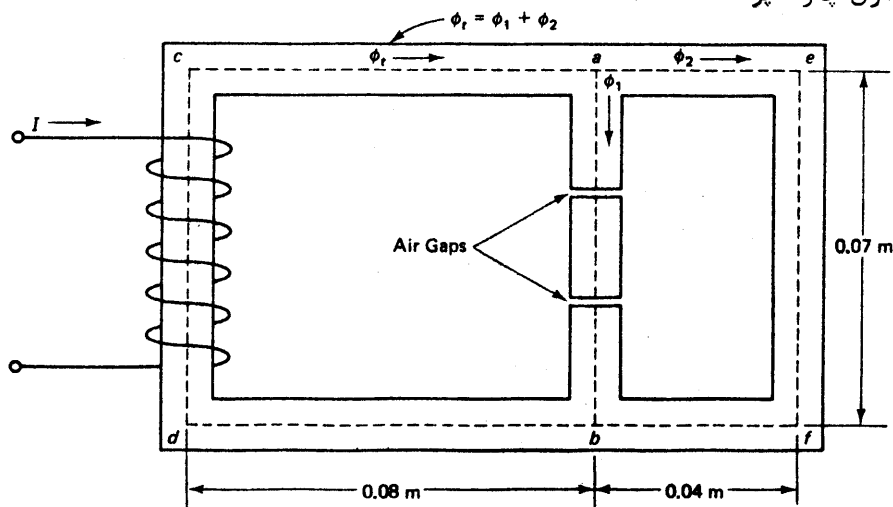
این هسته از سه قسمت متمایز ساخته شده است.

۱ - قسمت مرکزی که شامل دو فاصله هوایی است.

۲ - قسمت سمت چپ (acdb)

۳ - قسمت سمت راست (aefb)

برای حل این مساله جدولی مطابق جدول (۶ - ۱) تشکیل میدهیم حال ببینیم این جدول چگونه پر شده است.



شکل ۱۶ - ۱ هسته مربوط به مثال ۱۸ - ۱

در قسمت مرکز که شامل دو فاصله هوایی است داریم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{24 \times 10^{-4}}{28 \times 10^{-4}} \\ = 0.86 \text{ T}$$

Table 1-6

جدول ۱-۶

Part	ϕ	A	B	H	l	HI	
Left acdb	84.2×10^{-4} ($\phi_1 + \phi_2$)	50×10^{-4}	1.68	7.75k	0.23	1782.5	
Center ab	24×10^{-4} (ϕ_1)	28×10^{-4}	0.86	500	0.07	35	} sum of MMFs
Two air gaps	24×10^{-4} (ϕ_1)	28×10^{-4}	0.86	684k	0.002	1368	
Right aefb	60.2×10^{-4} (ϕ_2)	35×10^{-4}	1.72	9.35k	0.15	1403	

از شکل (۱-۷) داریم:

$$H_{ab} = 0.5 \text{ kA/m} = 500 \text{ A/m}$$

$$H_{\text{air gap}} = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.86}{4\pi \times 10^{-7}} = 684 \text{ kA/m}$$

حال افتهای HL را در بخش مرکزی هسته حساب کرده و مجموع این افتها بمثابة MMF برای قسمت سمت راست (aefb) عمل میکند.

$$HI = 35 + 1368 = 1403 \text{ A}$$

$$H = \frac{HI}{l} = \frac{1403}{0.15} = 9.353 \text{ kA/m}$$

از شکل (۱-۷) داریم:

$$B = 1.72 \text{ T}$$

$$\phi_2 = B \times A = 1.72 \times 35 \times 10^{-4} = 60.2 \times 10^{-4}$$

برای قسمت سمت چپ (acdb) داریم:

$$\phi_1 = \phi_1 + \phi_2$$

$$= 24 \times 10^{-4} + 60.2 \times 10^{-4} = 84.2 \times 10^{-4}$$

$$B = \frac{84.2 \times 10^{-4}}{50 \times 10^{-4}} \approx 1.68 \text{ T}$$

$$H = 7.75 \text{ kA/m}$$

از شکل (۱-۷) داریم:

$$HI = 7.75 \text{ k} \times 0.23 = 1782.5 \text{ A}$$

$$\text{Total coil MMF} = 1782.5 + 1403 = 3185.5 \text{ A}$$

یا:

$$1782.5 + 35 + 1368 = 3185.5 \text{ A.}$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 1

Symbol	Definition	Units	
		English	SI
۱ ϕ	Magnetic flux	lines (or maxwells)	webers (Wb)
۲ B	Flux density	lines/in ²	Wb/m ² [or tesla (T)]
۳ A	Cross-sectional area	in ²	m ²
۴ U	Magnetomotive force	ampere-turns	amperes (A)
۵ H	Magnetic field intensity	A-turns/in.	A/m
۶ l	Mean length of magnetic circuit	inches	meters
۷ N	Number of turns of wire	turns	turns
۸ \mathcal{R}	Reluctance	$\frac{A\text{-turns}}{\text{lines/in}^2}$	A/T
۹ μ	Permeability of magnetic material	$\frac{\text{lines/in}^2}{A\text{-turns/in.}}$	$\frac{T}{A/m}$
۱۰ μ_0	Permeability of air	$3.19 \times 10^{-3} \frac{\text{kilolines/in}^2}{A\text{-turns/in.}}$	$4\pi \times 10^{-7} \frac{T}{A/m}$

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل اول در دو سیستم اتحادی انگلیسی و بین‌المللی .

- ۱ - شار مغناطیسی
- ۲ - چگالی شار
- ۳ - سطح مقطع
- ۴ - نیروی محرکه مغناطیسی (MMF)
- ۵ - شدت میدان مغناطیسی
- ۶ - طول متوسط مدار مغناطیسی
- ۷ - تعداد دور سیم پیچ
- ۸ - رلوکتانس (مقاومت مغناطیسی)
- ۹ - نفوذ پذیری مغناطیسی (پرما بلیته) ماده مغناطیسی
- ۱۰ - پرما بلیته (نفوذ پذیری مغناطیسی) هوا

فصل دوم

چگونگی پیدایش ولتاژ و تشاروشتاؤ

۲۲ صفحه

**PRINCIPLES OF VOLTAGE AND
TORQUE GENERATION**

چگونگی پیدایش ولتاژ و گشتاور

مقدمه:

دینامو (۱) وسیله‌ایست که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی و یا بالعکس انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل میکند. در حالتی که انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل میشود، دینامو را ژنراتور (۲) نامند و در حالتی که انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی مبدل گردد، دینامو را موتور (۳) گویند. در فصل اول با مفاهیم شار، چگالی شار، فاصله هوائی و چگونگی پیدایش میدان مغناطیسی آشنا شدیم. در این فصل با اصول کار ژنراتورها و موتورها آشنائی پیدا میکنیم. در این فصل اثرات متقابل دو پدیده مهم مغناطیسی و الکتریسته بر یکدیگر را مورد توجه قرار میدهم.

۱-۲- ولتاژ القاء شده در یک هادی:

2-1 VOLTAGE INDUCED IN A CONDUCTOR

حدود ۱۵۰ سال پیش فاراده (۴) پدیده بسیار ارزنده‌ای را کشف نمود. او دریافت که اگر یک سیم (۵) (هادی) درون میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط شار را قطع نماید، در اینصورت در سیم (هادی) (۶) ولتاژ القاء خواهد شد. عبارت ساده‌تر در سیم ولتاژ تولید میگردد. همچنین فاراده دریافت که اگر سیم در مدت یک ثانیه، شاری معادل یک و بر یا 100 million lines را قطع نماید، ولتاژ القاء شده (۷) (ولتاژ تولید شده) (۸) معادل یک ولت خواهد بود. قانون فاراده در قالب ریاضی اینچنین بیان میگردد. در سیستم (ENG) داریم:

$$E = Blv(\sin \theta) \times 10^{-8} \quad (2-1a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$E = Blv(\sin \theta) \quad (2-1b)$$

برای استفاده صحیح از معادلات اخیر باید به اتحاد مندرج در جدول (۱-۲) توجه نمود.

1) Dynamo	2) Generator	3) Motor
4) Faraday	5) Wire	6) Conductor
7) Induced-Voltage	8) Generated-Voltage	

جدول ۱ - ۲	
English (Eq. 2-1a)	SI (Eq. 2-1b)
B lines/in ²	B tesla or Wb/m ²
l inches	l meters
v inches/s	v meters/s

در دو معادله فوق داریم:

۱- (E) - ولتاژ لحظه‌ای^(۱) القاء شده در سیم

۲- (B) - چگالی شار

۳- (l) - طول موثر سیم متحرک در میدان مغناطیسی

۴- (U) - سرعت^(۲) حرکت سیم

۵- (θ) زاویه^(۳) بین سیم و خطوط شار
لازم به تذکر است:

الف: اگر سیم موازی^(۴) میدان حرکت کند زاویه θ صفر خواهد بود.

ب: اگر سیم عمود^(۵) بر میدان حرکت کند زاویه θ مساوی ۹۰ درجه خواهد

بود.

برای روشن‌تر شدن مطلب شکل (۱-۲) را در نظر میگیریم. با توجه بشکل میتوان گفت که:

۱- الف: هرگاه سیم در جهت پیکان a حرکت کند، سیم خطوط شار را قطع نمیکند و لذا ولتاژ القاء شده (تولید شده) در سیم صفر خواهد بود. زیرا در این حالت θ نیز صفر است.

۲- ب: اگر سیم در جهت پیکان b حرکت کند، بیشترین خطوط شار توسط سیم قطع میگردد و لذا ولتاژ القاء شده (تولید شده) حداکثر یا ماکزیمم خواهد بود. زیرا در این حالت زاویه θ نیز ۹۰ درجه خواهد بود.

۳- ج: در صورتیکه سیم در جهت پیکان c پیش برود، برخی از خطوط شار توسط سیم قطع گردد در این حالت ولتاژ القاء شده (تولید شده) صفر نخواهد بود ولی کمتر از حالت "۲- ب" فوق‌الذکر خواهد بود.

1) Instantaneous-Voltage

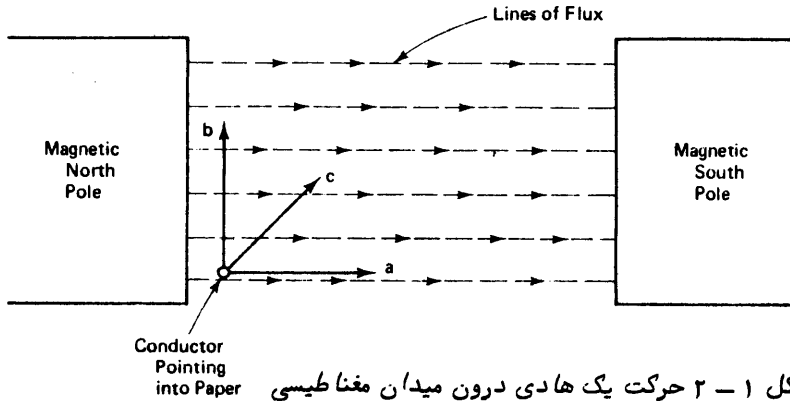
2) Velocity

3) Angle

4) Parallel

5) Perpendicular

۴- د: اگر حرکت سیم طوری باشد که فی‌المثل بداخل کاغذ برود و یا از صفحه کاغذ خارج شود، در این صورت سیم هیچگونه خطوط شاری را قطع نمیکند و ولتاژ القا شده در این حالت نیز صفر است.



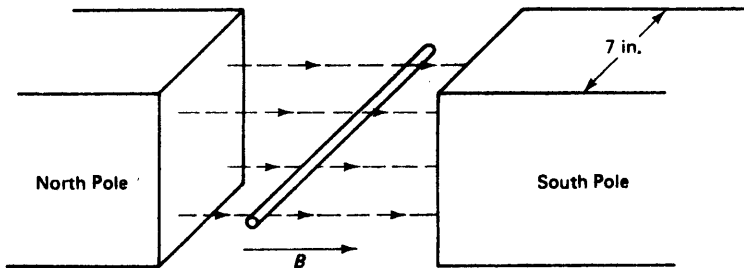
Example 2-1 (English)

مثال ۲-۱ (سیستم ENG) .

شکل (۲-۲) را در نظر میگیریم. اگر طول سیم ۱۰ اینچ بوده و چگالی شار $100,000 \text{ lines/in}^2$ باشد، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در سیم (هادی) مشروط بر آنکه سرعت حرکت هادی ۴۰ اینچ بر ثانیه باشد. این مثال را برای دو حالت زیر حساب کنید.

(a) $\theta = 35^\circ$

(b) $\theta = 90^\circ$ (maximum voltage)



شکل ۲-۲ دیاگرام مربوط به مثال ۲-۱

حل:

از رابطه (۲-۱a) استفاده میکنیم. باید توجه کرد با آنکه طول سیم ۱۰ اینچ میباشد ولی فقط ۷ اینچ آن درون میدان قرار دارد (چرا؟)

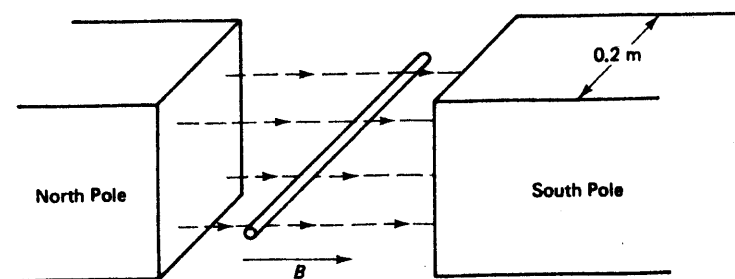
$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad E &= Blv(\sin \theta) \times 10^{-8} \\ &= 100 \times 10^3(7)(40)(\sin 35^\circ) \times 10^{-8} \\ &= 16,060.2 \times 10^{-5} \\ &= 0.16 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad E &= 100 \times 10^3(7)(40)(\sin 90^\circ) \times 10^{-8} \\ &= 28,000 \times 10^{-5} \\ &= 0.28 \text{ V} \end{aligned}$$

مثال ۲-۲ (سیستم SI):

Example 2-2 (SI)
شکل (۲-۳) را در نظر بگیریم. اگر طول سیم ۰/۵ متر باشد و چگالی شار ۱/۵ تسلا در نظر گرفته شود، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در سیم، مشروط بر آنکه سرعت حرکت سیم ۱/۳ متر بر ثانیه باشد. این مثال را برای دو حالت زیر حساب کنید.

- (a) $\theta = 35^\circ$
(b) $\theta = 90^\circ$ (maximum voltage)



شکل ۲-۳: دیاگرام مربوط به مثال ۲-۲

حل:

از رابطه (۲-۱b) استفاده میکنیم. باید توجه کرد، با آنکه طول سیم ۰/۵ متر است ولی فقط ۰/۲ متر (۲۰ سانتیمتر) آن درون میدان قرار دارد (چرا؟).

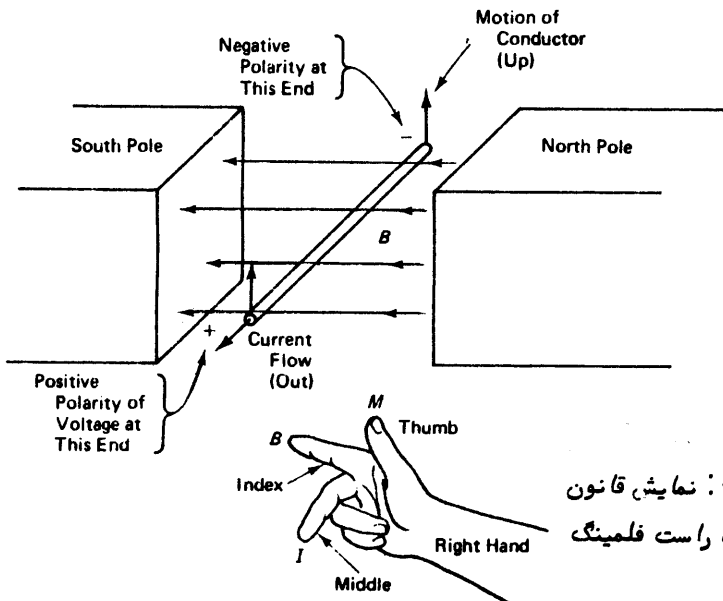
$$\begin{aligned} \text{(a)} \quad E &= B l v (\sin \theta) \\ &= 1.5(0.2)(1.3)(\sin 35^\circ) \\ &= 0.22 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b)} \quad E &= 1.5(0.2)(1.3)(\sin 90^\circ) \\ &= 0.39 \text{ V} \end{aligned}$$

۱-۱-۲ پلار تیه^(۱) ولتاژ القاء شده (ولتاژ تولید شده):

2-1.1 Polarity of the Induced Voltage

از بحث قبل دریافتیم که چگونه در یک سیم (هادی) ولتاژ القاء میگردد. اما باید به نکات مهمتری درباره این ولتاژ توجه کرد. فرض میکنیم که بدو سیم مورد بحث یک مدار بسته متصل میسازیم، در این صورت اگر در سیم ولتاژ القاء شود، در این مدار بسته نیز جریان برقرار میگردد. همچنین باید متذکر شد که جهت این جریان به جهت شار و جهت حرکت سیم (هادی) بستگی دارد، آقای فلمینگ توسط قانون خود مشهور به قانون دست راست فلمینگ^(۲) جهت این جریان را مشخص نمود.

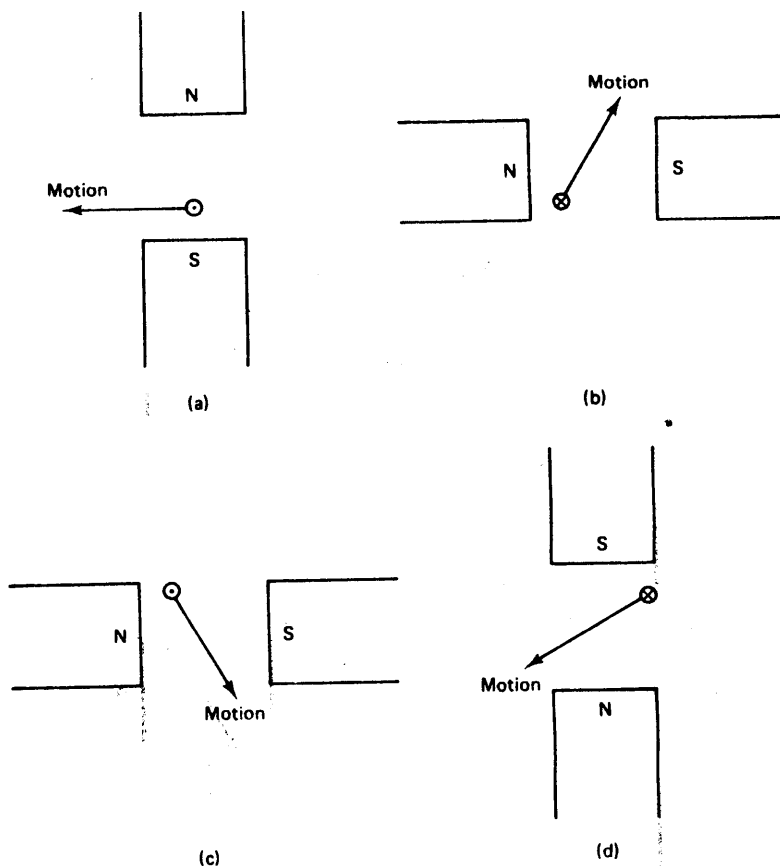


شکل ۴-۲: نمایش قانون دست راست فلمینگ

1) Polarity

2) Fleming's-Right-Hand-Rule

شکل (۴ - ۲) را در نظر میگیریم. اگر انگشت سیابه دست راست خود را در جهت شار مغناطیسی قرار دهیم و انگشت شست همین دست را در جهت حرکت هادی (سیم) بگذاریم، انگشت وسطی دست راست جهت جریان را در صورت بسته بودن مدار (هادی) نشان میدهد. همچنین همین انگشت وسطی دست راست پلار تیه ولتاژ القاء شده در هادی (سیم) را بنمایش میگذارد. البته باید توجه داشت که پلار تیه مثبت ولتاژ در امتداد انگشت وسطی دست راست خواهد بود. در اینجا یادآوری میکنیم که اگر جهت شار یا جهت حرکت هادی عوض شود (نه جهت هر دو) در اینصورت جهت جریان و پلار تیه ولتاژ القاء شده نیز عوض میگردد. اما اگر جهت شار و جهت حرکت هادی هر دو با هم عوض شوند، در اینصورت جهت جریان و پلار تیه ولتاژ القاء شده عوض نميگردد.



شکل ۵-۲: حالت‌های مربوط به مثال ۳-۲

مثال ۳-۲:

Example 2-3

شکل (۵-۲) را در نظر بگیرید. با استفاده از قانون دست راست فLEMING پلارته ولتاژهای القاء شده را پیدا کنید.

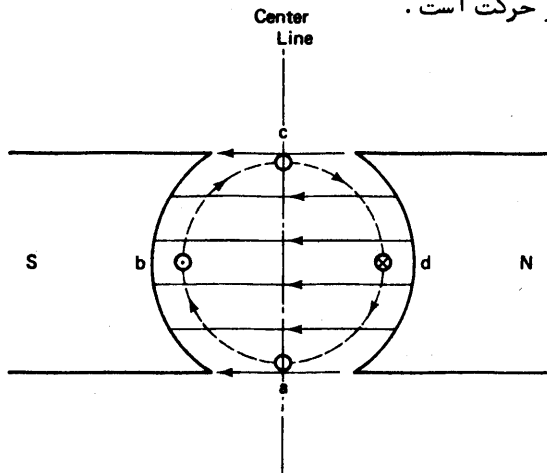
حل:

با توجه به قانون دست راست فLEMING درمیابیم که جهت جریان در شکل‌های a و c به طرف خارج صفحه کاغذ بوده و جهت جریان در شکل‌های b و d بطرف داخل صفحه کاغذ خواهد بود.

۲-۱-۲ بررسی وضعیت یک سیم (هادی) در یک مسیر دایره‌ای

2-1.2 Single Conductor In a Circular Path

معمولاً در ژنراتورها و موتورها مسیر حرکت هادی (سیم) یک مسیر دایره‌ای است و هادی دائماً این مسیر را طی میکند. شکل (۶-۲) یک حالت بسیار ساده از این مسیر دایره‌ای را نشان میدهد که هادی دائماً "بین قطب‌های شمال (۱) و جنوب (۲) (مثبت و منفی) در حرکت است.



شکل ۶-۲: نمایش یک هادی که یک مسیر دایره‌ای را در جهت عقربه ساعت می‌پیماید

- 1) North Pole = Positive Pole
- 2) Negative Pole = South Pole

هرگاه هادی ۳۶۰ درجه کامل را طی کند، در اینصورت یک سیکل کامل از ولتاژ القاء شده پدیدار خواهد شد. علت این امر بشرح ذیل است:

الف: در نقطه a هادی موازی خطوط شار حرکت کرده و لذا این خطوط را قطع نمیکند و بالنتیجه ولتاژ القاء شده نیز صفر خواهد بود.

ب: هرگاه هادی از نقطه a رهسپار نقطه b گردد در اینصورت در طول این سفر خطوط شار بیشتری را قطع میکند و لذا ولتاژ القاء شده در هر لحظه بیشتر میگردد، تا بالاخره به نقطه b برسد که در اینجا حرکت هادی عمود بر خطوط شار بوده و در نتیجه حداکثر ولتاژ القاء شده حاصل میگردد (ولتاژ ماکزیمم). با استفاده از قانون دست راست فلمینگ درمیابیم که پلارتهی این ولتاژ در نقطه b بطرف خارج صفحه کاغذ میباشد.

ج: هرگاه هادی از نقطه b بگذرد و بطرف c برود در اینصورت در طول این مسیر در هر لحظه خطوط شار کمتری را قطع میکند تا بالاخره به نقطه c برسد. لذا در طول مسیر b ولتاژ القاء شده سیر نزولی دارد تا بالاخره به نقطه c برود.

د: در نقطه c دوباره حرکت هادی موازی خطوط شار بوده و لذا خطوط شار قطع نمیکردند و در نتیجه ولتاژ القاء شده صفر خواهد بود.

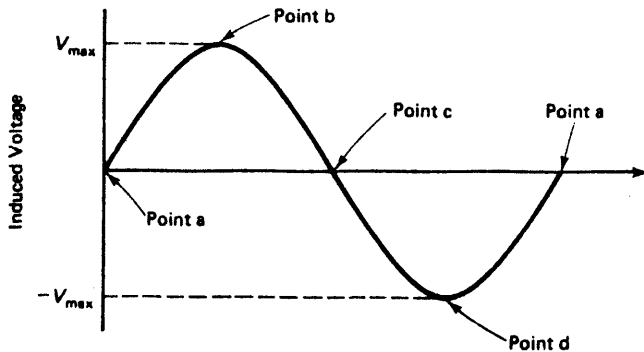
ه: اگر هادی از نقطه c بطرف نقطه d برود در اینصورت در هر لحظه خطوط شار بیشتری را قطع میکند و لذا ولتاژ القاء شده سیر صعودی خواهد داشت تا بالاخره به نقطه d برسیم که در اینجا ولتاژ القاء شده باز حداکثر (ماکزیمم) خواهد بود. باید توجه داشت که:

۱- ه: در طول مسیر cd پلارتهی ولتاژ عوض نمیشود، زیرا دریافتیم که اگر جهت حرکت هادی عوض شود ولی جهت خطوط شار ثابت بماند، در اینصورت پلارتهی ولتاژ نیز عوض خواهد شد.

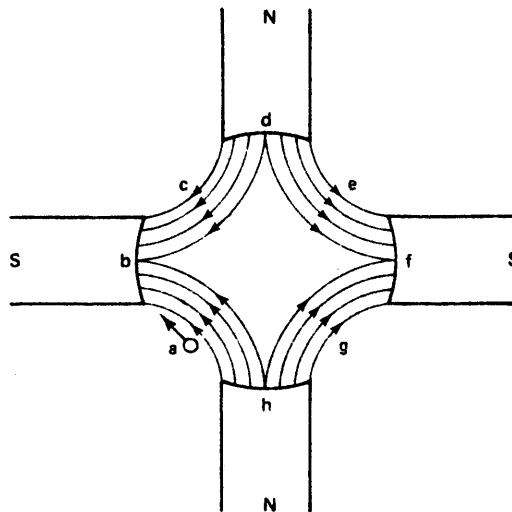
۲- ه: با توجه به مطالب فوق، ولتاژ القاء شده در نقطه d حداکثر (ماکزیمم) بوده ولی پلارتهی ولتاژ در این حالت بطرف داخل صفحه کاغذ است (عکس پلارتهی نقطه b).

و: هرگاه هادی به دوران خود ادامه دهد (مسیر da) در اینصورت دائما خطوط شار کمتری را قطع میکند تا بالاخره به مبدأ اولیه (نقطه a) برسد. در اینجا باز ولتاژ القائی صفر خواهد شد. باید خاطر نشان ساخت که پلارتهی ولتاژ در مسیر da مطابق پلارتهی ولتاژ در مسیر cd بوده ولی مقدار ولتاژ القاء شده بر عکس مسیر c d

که سیر صعودی داشت در این حالت سیر نزولی پیدا میکند. شکل (۷-۲) تغییرات ولتاژ القاء شده را بر حسب زمان نشان میدهد و نقاط مسیر حرکت (a, b, c, d) نیز بر روی شکل مشخص شده است، همانطور که از شکل پیداست پلارته ولتاژ در مسیر abc مثبت و در مسیر cda منفی خواهد بود.

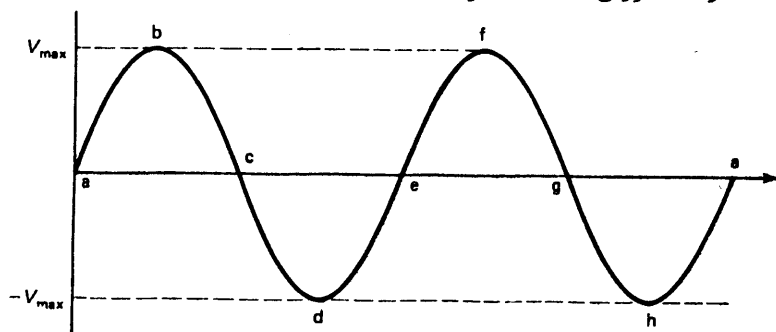


شکل ۷-۲: تغییرات ولتاژ القاء شده در یک هادی بر حسب زمان



شکل ۸-۲: نمایش یک هادی که درون یک میدان ۴ قطبی در جهت عقربه ساعت می چرخد

اگر بجای دو قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) از ۴ قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) استفاده شود (شکل ۸-۲) و دوباره هادی را بین این قطبها به دوران درآوریم، در اینصورت با اندکی تفکر در میابیم که اگر هادی ۳۶۰ درجه کامل بچرخد در اینصورت ۲ سیکل کامل از ولتاژ القاء شده پدیدار میشود. همچنین باید خاطر نشان ساخت هرگاه هادی در مقابل هر یک از قطبها قرار گیرد ولتاژ القاء شده در هادی ماکزیمم (حداکثر) خواهد بود. البته در اینجا فرض بر آن است که سرعت دوران در حالت ۴ قطبی با سرعت دوران در حالت ۲ قطبی^(۱) یکسان میباشد. شکل (۹-۲) تغییرات ولتاژ القاء شده را برای یک سیستم ۴ قطبی^(۲) نشان میدهد. در اینجا تذکر میدهم که اگر تعداد قطبها دو برابر شود، فرکانس^(۳) ولتاژ القاء شده نیز دو برابر میگردد. مشروط بر آنکه سرعت دوران هادی تغییر ننماید.



شکل ۹-۲: تغییرات ولتاژ القاء شده در یک هادی بر حسب زمان در یک سیستم چهار قطبی

۳-۱-۲ ولتاژ القاء شده متوسط در یک هادی

2-1.3 Average Voltage Induced by a Single Conductor

از رابطه (۱-۲) میتوان استفاده کرد و ولتاژ القاء شده لحظه‌ای^(۴) را در یک هادی محاسبه نمود. اما باید قادر باشیم ولتاژ القاء شده متوسط^(۵) را نیز برای یک هادی که مسیر دایره‌ای را طی میکند حساب کنیم. (شکل ۶-۲) را در نظر میگیریم. ولتاژ القاء شده متوسط برای این هادی در طول مسیر ab (ولتاژ صفر تا ولتاژ ماکزیمم)

- | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------|
| 1) Two-Pole | 2) Four-pole | 3) Frequency |
| 4) Instantaneous-Voltage | 5) Average-Voltage | |

اینچنین بدست می‌آید .

$$E_g = \frac{1}{2} \frac{\phi}{t} \times 10^{-8} \quad (2-2a) \quad \text{در سیستم (ENG) داریم :}$$

$$E_g = \frac{1}{2} \frac{\phi}{t} \quad (2-2b) \quad \text{در سیستم (SI) داریم :}$$

در روابط اخیر ϕ مبین شار بوده و باید به واحد آن در سیستمهای آحادی مختلف توجه نمود . همچنین در روابط فوق‌الذکر t نشانگر زمان بر حسب ثانیه میباشد و البته t همان زمانی است که هادی مسیر ab را طی میکند .

Example 2-4 (English)

مثال ۲-۴ (سیستم ENG) :

شکل (۲-۶) را در نظر میگیریم که در آن هادی با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه دوران میکند ، اگر شار هر قطب ^(۱) 100 kilolines باشد ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده متوسط در هادی .
حل :

از رابطه (۲-۲a) استفاده میکنیم . در اینجا باید زمان t را حساب نمود . اگر سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه باشد داریم

$$1200 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{1}{60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 20 \text{ rev/s}$$

یعنی اگر هادی در هر ثانیه ۲۰ دور بچرخد ، در اینصورت هر دور دوران $\frac{1}{20}$ ثانیه طول میکشد . برای سیستم دوقطبی t مدت زمان لازم برای $\frac{1}{4}$ دور کامل خواهد بود (چرا؟)
لذا :

$$t = \frac{1}{4} \times \frac{1}{20} = \frac{1}{80} = 0.0125 \text{ s}$$

$$E_g = \frac{1}{2} \frac{\phi}{t} \times 10^{-8}$$

در نتیجه :

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100 \times 10^3}{0.0125} \right) \times 10^{-8}$$

$$= 0.04 \text{ V}$$

Example 2-5 (SI)

مثال ۲-۵ (سیستم SI) :

شکل (۲-۶) را در نظر میگیریم . اگر سرعت هادی ۱۲۵ رادیان بر ثانیه بوده و شار هر قطب ۰/۰۰۱ وبر باشد ، مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده متوسط در هادی .

حل:

از رابطه (۲-۲b) استفاده میکنیم. در اینجا باید زمان (t) را حساب کرد. اگر سرعت ۱۲۵ رادیان بر ثانیه باشد، در این صورت زمان لازم برای اینکه هادی یک رادیان بچرخد $\frac{1}{125}$ ثانیه خواهد بود. در سیستم دو قطبی t زمان لازم برای دوران $\pi/2$ رادیان (۹۰ درجه) خواهد بود (چرا؟). لذا:

$$t = \frac{\pi}{2} \times \frac{1}{125} = 0.0126 \text{ s}$$

پس:

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{1}{2} \frac{\phi}{t} \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1 \times 10^{-3}}{0.0126} \right) \\ &= 0.397 \text{ V} \end{aligned}$$

از مثالهای فوق در میابیم که محاسبه زمان (t) قدری مشکل است. برای سهلتر کردن محاسبات، میتوان معادلات (۲-۲) را بر حسب تعداد قطبها اینچنین نوشت:

$$E_g = \frac{\phi P S \times 10^{-8}}{60} \quad (2-3a) \quad \text{در سیستم (ENG) داریم:}$$

$$E_g = \frac{\phi P \omega}{2\pi} \quad (2-3b) \quad \text{در سیستم (SI) داریم:}$$

در روابط اخیر p نشانگر تعداد قطبهاست فی المثل در شکل (۲-۸)، p مساوی ۴ میباشد. در روابط (۲-۳) ϕ شار هر قطب بوده و S یا ω سرعت زاویه‌ای هادی میباشد. البته باید به اتحاد این کمیت‌ها در دو سیستم اتحادی مورد نظر توجه کرد.

Example 2-6 (English)

مثال ۲-۶ (سیستم ENG):

یک هادی با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه بین دو قطب میچرخد، مطلوبست.

(الف): ولتاژ القاء شده متوسط در هادی اگر شار هر قطب 300 kilolines باشد.

(ب): اگر بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط یک ولت باشد، شار هر قطب چقدر است.

حل:

$$\begin{aligned} E_g &= \frac{300k(2)(4000) \times 10^{-8}}{60} \quad \text{لذا: کمک میگیریم. (۲-۳a)} \\ &= 0.4 \text{ V} \end{aligned}$$

ب: از رابطه (۲-۳ a) استفاده میکنیم و البته در این حالت مجهول مورد

$$E_s = \frac{\phi PS \times 10^{-8}}{60} \quad \text{نظر شار خواهد بود.}$$

$$\phi = \frac{60E_s}{PS \times 10^{-8}} \quad \phi = \frac{60(1)}{2(4000) \times 10^{-8}}$$

$$= 750,000 \text{ lines} = 750 \text{ kilolines}$$

مثال ۲-۷ (سیستم SI): **Example 2-7 (SI)**

یک هادی بین دو قطب با سرعت ۴۰۰ رادیان در ثانیه میچرخد، مطلوبست:

(a): ولتاژ القاء شده متوسط، مشروط بر آنکه شار هر قطب ۰/۰۰۳ وبر باشد.

(b): اگر بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط یک ولت باشد، شار هر قطب را

حساب کنید.

حل:

$$E_s = \frac{3 \times 10^{-3} \times 2 \times 400}{2\pi} \quad (a) : \text{از رابطه (۲-۳ b) داریم:}$$

$$= 0.38 \text{ V}$$

(b): از رابطه (۲-۳ b) استفاده میکنیم. البته در این حالت مجهول مورد

$$E_s = \frac{\phi P \omega}{2\pi} \quad \text{نظر شار است.}$$

$$\phi = \frac{2\pi E_s}{P\omega} \quad \phi = \frac{2\pi(1)}{2(400)}$$

$$= 7.9 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

۲-۲ ولتاژ القا شده در یک کلاف (۱): **2-2 VOLTAGE INDUCED BY A COIL**

اگر مفهوم ولتاژ القاء شده در یک هادی را خوب درک کرده باشیم، میتوان

اثرات چند هادی دوار را نیز مورد بررسی قرار دهیم. شکل (۱۰-۲) را در نظر

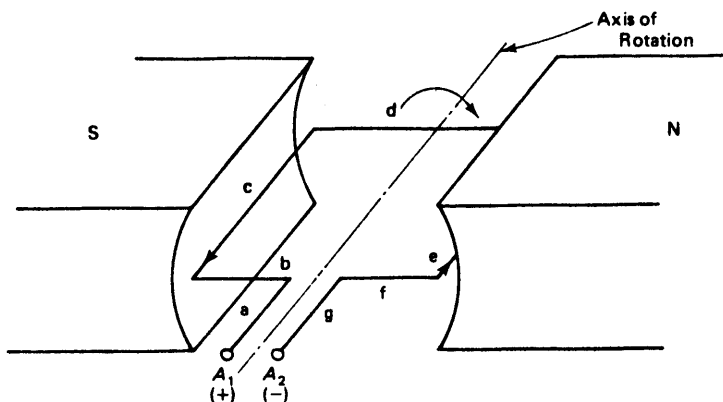
میگیریم که در آن یک کلاف تک دوری (۲) بنمایش گذاشته شده است و این کلاف در جهت

عقربه‌های ساعت (۳) بین دو قطب میچرخد. باید توجه داشت که فقط هادیهای C و

-
- 1) Coil 2) Single-turn-Coil
3) Clockwise=CW

e خطوط شار را قطع میکنند و هادی‌های d ، b و f در صفحاتی موازی خطوط شار میچرخد و لذا خطوط شار را قطع نمیکند. هادیهای a و g نیز خارج میدان مغناطیسی بوده و در نتیجه ایندو نیز خطوط شار را قطع نخواهد کرد. از این بحث نتیجه میشود که در یک کلاف تک دوری فقط در دو هادی ولتاژ القاء میگردد. بطور کلی اگر یک کلاف N دوری داشته باشیم، تعداد هادیهای موثر در ولتاژ القائی 2N خواهد بود.

$$z = 2N \quad (2-4)$$



شکل ۱۰-۲: نمایش دوران یک کلاف تک دوری درون یک میدان مغناطیسی

حال دوباره شکل (۲-۱۰) را در نظر میگیریم و قانون دست راست فلمینگ را اعمال میکنیم. در اینصورت در مییابیم که پلارته ولتاژ القاء شده در هادی c بطرف خارج صفحه کاغذ بوده و پلارته ولتاژ القاء شده در هادی e بطرف داخل صفحه کاغذ میباشد. نتیجه آنکه ولتاژ بین دو سر کلاف $(A_1 A_2)$ مجموع ولتاژ لحظه‌ای در هادیهای c و e میباشد. این واقعیت که این دو ولتاژ با هم جمع میشوند، ما را قادر میسازد که ولتاژ القاء شده متوسط در یک کلاف تک دوری را حساب کنیم. این ولتاژ متوسط دو برابر ولتاژ بیست که برای یک هادی بدست آوریم. حال میتوان رابطه (۲-۳) را برای یک کلاف N دوری اینچنین نوشت:

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60} \quad (2-5a) \quad \text{در سیستم (ENG) داریم:}$$

$$E_g = \frac{z\phi P\omega}{2\pi} \quad (2-5b) \quad \text{در سیستم (SI) داریم:}$$

در روابط اخیر Z تعداد هادیهای موثر در کلاف محسوب میشود، همچنین براحتی میتوان روابط فوق را اینچنین نوشت؛
در سیستم (ENG) داریم:

$$E_g = \frac{N\phi PS \times 10^{-8}}{30} \quad (2-6a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$E_g = \frac{N\phi P\omega}{\pi} \quad (2-6b)$$

در روابط (۲-۶) تعداد دورهای کلاف خواهد بود.

مثال ۲-۸ (سیستم ENG):

یک کلاف ۲۰۰ دوری مفروض است و با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه درون یک سیستم ۴ قطبی میچرخد. اگر شار هر قطب 300 kilolines، ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف را حساب کنید.
حل:

میتوان از هر یک از روابط (۲-۵ a) یا (۲-۶ a) کمک گرفت. از رابطه (۲-۵ a) داریم:

$$E_g = \frac{400(300k)(4)(1800) \times 10^{-8}}{60}$$

$$= 144 \text{ V}$$

مثال ۲-۹ (سیستم SI):

یک کلاف ۲۰۰ دوری مفروض است و با سرعت ۱۹۰۰ رادیان در ثانیه درون یک سیستم ۴ قطبی میچرخد. اگر شار هر قطب ۰/۰۰۳ و بر باشد، ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف را حساب کنید.
حل:

از هر یک از روابط (۲-۵ b) یا (۲-۶ b) میتوان استفاده کرد. با استفاده از رابطه (۲-۵ b) داریم:

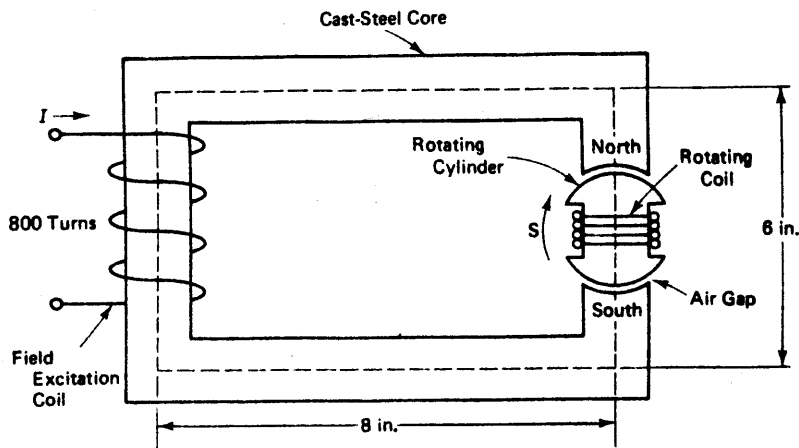
$$E_g = \frac{400(3 \times 10^{-3})(4)(190)}{2\pi}$$

$$= 145.1 \text{ V}$$

Example 2-10 (English)

مثال ۱۰-۲ (سیستم ENG) :

شکل (۱۱-۲) را در نظر میگیریم. در این سیستم یک کلاف ۵۰ دوری بدور استوانه‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری پیچیده شده است و این استوانه با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد. مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ تحریک این سیستم، مشروط بر آنکه خواهیم ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف دوار ۲۵ ولت باشد. سطح مقطع



شکل ۱۱-۲: هسته مربوط به مثال ۱۰-۲

موثر هسته ساکن و استوانه را ۴ اینچ مربع در نظر بگیرید و فواصل هواشی را نیز ۰/۰۵ اینچ فرض کنید. جنس هسته ساکن نیز از نوع فولاد ریخته‌گری می‌باشد.

حل:

این مثال از دو قسمت تشکیل شده است.

الف: قسمت اول بر اساس مطالب فصل دوم (همین فصل) حل و فصل میگردد.

ب: قسمت دوم بر اساس مطالب فصل اول حلاجی میشود.

ابتدا شار مورد نظر جهت تولید ولتاژ را حساب میکنیم. برای این منظور از رابطه (۲-۶ a) کمک میگیریم. سپس بقیه مساله مشابه مثال (۱۵-۱) در فصل اول خواهد بود. یعنی با دانستن شار مورد نظر MMF سیم پیچ تحریک و جریان آنرا حساب میکنیم.

قسمت اول:

$$\phi = \frac{30E_s}{NPS \times 10^{-8}} \quad \text{با استفاده از رابطه (a-۶) داریم:}$$

$$\phi = \frac{30(25)}{50(2)(1800)(10^{-8})} \quad \text{لذا:}$$

$$= 416,667 \text{ lines} = 416.67 \text{ kilolines}$$

قسمت دوم:

با دانستن شار (ϕ) میتوان جدول (۲-۲) را تکمیل نمود تا با توجه به آن MMF مورد نیاز محاسبه گردد. در اینجا خاطر نشان میسازیم که قسمت اعظم این مدار مغناطیسی از جنس فولاد ریخته‌گری بوده و دو فاصله هوایی بسیار کوچک نیز وجود دارد.

Table 2-2

جدول ۲-۲

Part	ϕ	A	B	H	l	H × l
Cast steel	416.67k	4	104.2k	135	28	3780
Two air gaps	416.67k	4	104.2k	32,665	0.1	3267
Total MMF						7047

طرز پر کردن جدول فوق را بطور خلاصه شرح میدهم. ابتدا چگالی شار را حساب میکنیم:

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{416.67k}{4} = 104.2 \text{ kilolines/in}^2$$

از شکل (۶-۱) استفاده کرده و H را برای قسمت فولاد ریخته‌گری بدست می‌آوریم (135 A-turns/in.) برای دو فاصله هوایی H را اینچنین حساب میکنیم:

$$\begin{aligned} H &= \frac{B}{\mu_0} \\ &= \frac{104.2}{3.19 \times 10^{-3}} \\ &= 32,665 \text{ A-turns/in.} \end{aligned}$$

حال افتهای $H \times l$ را محاسبه میکنیم. در نتیجه:

$$\text{total MMF} = 3780 + 3267 = 7047 \text{ A-turns}$$

از رابطه $(a - 3 - 1)$ داریم:

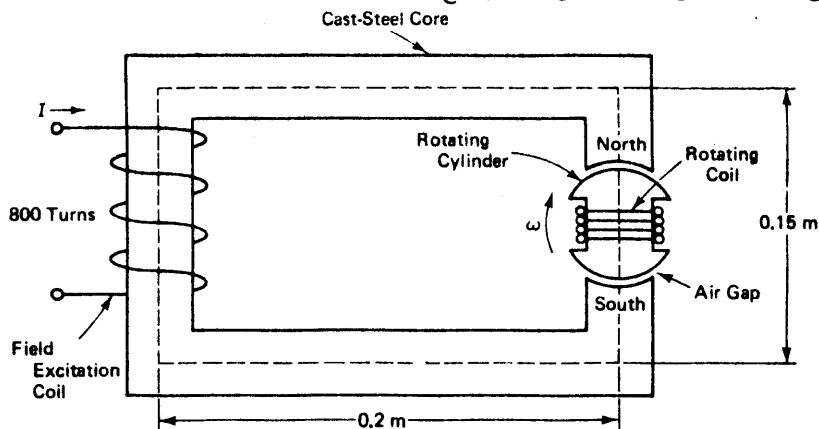
$$7047 = NI = 800I$$

$$I = \frac{7047}{800} = 8.8 \text{ A}$$

Example 2-11 (SI)

مثال ۱۱-۲ (سیستم SI) :

شکل (۱۲-۲) را در نظر میگیریم. در این سیستم یک کلاف ۵۰ دوری بدور استوانه‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری پیچیده شده است و این استوانه با سرعت ۱۸۸ رادیان بر ثانیه میچرخد. مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ تحریک این سیستم مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ القاء شده متوسط در کلاف دوار ۲۵ ولت گردد. سطح مقطع موثر هسته ساکن و استوانه را ۰/۰۰۲۵ متر مربع و فواصل هوایی را نیز ۰/۰۰۱۳ متر فرض کنید. جنس هسته ساکن نیز از نوع فولاد ریخته‌گری است.



شکل ۱۲-۲: هسته مربوط به مثال ۱۱-۲:

حل:

این مثال از دو قسمت تشکیل شده است ،

الف: قسمت اول بر اساس مطالب فصل دوم (پنجمین فصل) بررسی میشود.

ب: قسمت دوم بر اساس مطالب فصل اول خلاصی می‌گردد.

ابتدا شار مورد نظر جهت تولید ولتاژ را بدست می‌آوریم . برای این منظور از

رابطه (b ۶-۲) استفاده میشود. سپس بقیه مساله مشابه مثال (۱۶-۱) خواهد بود، یعنی با دانستن شار مورد نظر MMF سیم پیچ تحریک و جریان آنرا حساب مینمائیم.

قسمت اول:

با استفاده از رابطه (b ۶-۲) داریم:

$$\phi = \frac{E_r \pi}{NP\omega} \quad Z = 2 \times 50 = 100$$

لذا:

$$\phi = \frac{25\pi}{50(2)(188)}$$

$$= 4.178 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

قسمت دوم:

با دانستن شار (ϕ) میتوان حدود (۳-۲) را بر نمود تا با توجه به آن MMF مورد نیاز حساب شود. در اینجا متذکر میشویم که قسمت اعظم این مدار مغناطیسی از جنس فولاد ریخته‌گری بوده و دو فاصله هوایی بسیار کوچک نیز وجود دارد.

ϕ در فاصله بین پیکرین میانی

Table 2-3

حدود ۳-۲

Part	ϕ	A	B	H	l	H x l
Cast steel	4.18×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.67	7.3k	0.7	5110
Two air gaps	4.18×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.67	1329k	2.6×10^{-3}	3455
Total MMF						8565

طرز پر کردن جدول فوق را بطور خلاصه شرح میدهم. ابتدا چگالی شار را حساب میکنیم.

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4.18 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-3}} = 1.67 \text{ Wb/m}^2(\text{T})$$

از شکل (۷-۱) استفاده کرده و H را برای قسمت فولاد ریخته‌گری حساب میکنیم (۷/۳ کیلوآمپر بر متر). برای دو فاصله هوایی، H اینچنین بدست می‌آید.

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Vs/Am} = 1.256 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$$

$$= \frac{1.67}{4\pi \times 10^{-7}} \quad H_g = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1.67}{1.256 \times 10^{-6}} = 1.329 \times 10^6 \text{ A/m}$$

$$= 1329 \text{ kA/m} \quad H_g l_g = 1.329 \times 10^6 (1.1 \times 10^{-3} \times 2)$$

حال افتهای $H \times l$ را محاسبه مینمایم. در نتیجه

$$\text{total MMF} = 5110 + 3455 = 8565$$

$$H_g l_g \approx 3455$$

$$\mu_0 H_g l_g + \mu_0 H l_s = 1.256 \times 10^{-6} (1.329 \times 10^6 \times 2 + 1.329 \times 10^6 \times 1.1)$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{10} = 34 \text{ m}$$

از رابطه (b ۳-۱) داریم:

$$8565 = NI = 800I$$

$$I = \frac{8565}{800} = 10.7 \text{ A}$$

۳-۲ قانون لنز (۱):

2-3 LENZ'S LAW

حال دوباره بشکل (۱۰-۲) برمیگردیم. اگر بخواهیم کلاف را در این شکل بدوران درآوریم در اینصورت با مشکل عمده‌ای مواجه نخواهیم بود. فقط تنها عوامل مخالفت کننده نسبت به این دوران بشرح زیراند:

الف: نیروی اصطکاک (۲) که همواره در هر حرکتی وجود دارد.

ب: مقاومت هوا (باد) (۳)

اما اگر به کلاف فوق‌الذکر مدار بسته‌ای متصل کنیم در اینصورت جریان در کلاف برقرار میگردد. حال اگر بخواهیم کلاف را بدوران درآوریم در این صورت عوامل مخالفت کننده نسبت به این دوران بشرح زیراند.

الف: نیروی اصطکاک که در فوق بشرح دادیم.

ب: مقاومت هوا (باد) که در بالا ذکر نمودیم.

ج: نیروی مغناطیسی (۴) که با افزایش جریان کلاف زیاد میگردد.

باید گفت که بخاطر همین پدیده نیروی مغناطیسی است که چرخش ژنراتور باردار مشکل می‌باشد. حال درباره پدیده نیروی مغناطیسی که به قانون لنز مشهور است بیشتر صحبت میکنیم. شکل (a ۱۳-۲) را در نظر میگیریم که در آن هادی درون میدان مغناطیسی قرار دارد و بسمت بالا حرکت میکند. اگر به این هادی یک مدار بسته‌ای متصل باشد بطوریکه از هادی جریان عبور نماید در این صورت جهت جریان هادی بطرف خارج صفحه کاغذ خواهد بود. حال بشکل (b ۱۳-۲) توجه میکنیم، در این صورت جریان عبوری از هادی نیز خود میدان مغناطیسی بوجود می‌آورد. قانون لنز اینچنین میگوید که این میدان مغناطیسی تولید شده همواره با حرکتی که منجر به القاء ولتاژ در هادی میگردد مخالفت میکند. شکل (c ۱۳-۲) را در نظر میگیریم در این شکل منتهجه برداری دو میدان بنمایش گذاشته شده است. با توجه به این شکل در میابیم که میدان در بالای هادی بمراتب پرتراکم‌تر از میدان در زیر هادیست. بخاطر همین عدم تعادل در میدان

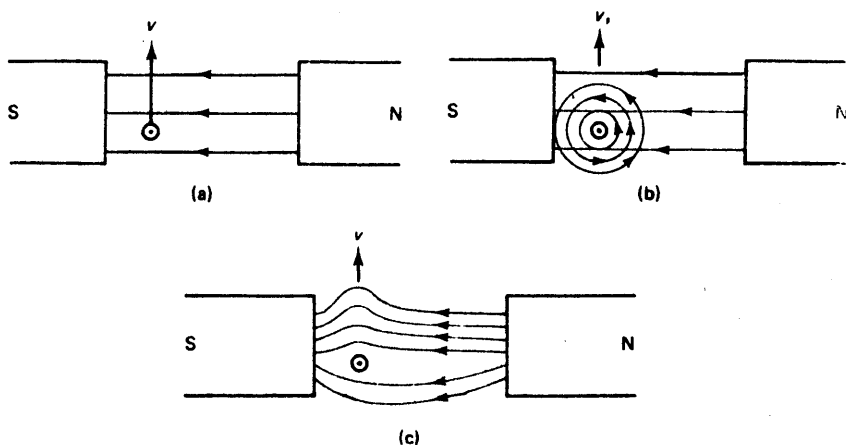
- | | |
|--------------------|-------------------|
| 1) Lenz's -LAW | 2) Friction |
| 3) Wind-Resistance | 4) Magnetic Force |

است که نیروی مخالفت کننده (باز دارنده) در مقابل حرکت هادی پدیدار میشود. باید خاطر نشان ساخت که با افزایش جریان هادی عدم تعادل در میدان بیشتر شده و لذا نیروی باز دارنده نیز افزونتر میشود.

۴-۲- نیروی (۱) تولید شده توسط یک هادی (سیم):

2-4 FORCE PRODUCED BY A CONDUCTOR

در قسمتهای (۱-۲) تا (۳-۲) این فصل راجع به اصول ولتاژ القاء شده (تولید شده) صحبت کردیم. گفتیم که اگر بوسیله یک نیروی خارجی بتوانیم هادی را درون یک میدان مغناطیسی بدوران درآوریم، در هادی ولتاژ القاء میشود. در ادامه این فصل راجع به اصول پیدایش گشتاور (۲) (کویل) در موتورها صحبت میکنیم.



شکل ۱۳-۲:

a: هادی متحرک درون میدان مغناطیسی. فقط میدان حاصله از قطبها نشان داده شده است.

b: هادی متحرک درون میدان مغناطیسی، هر دو میدان حاصله از قطبها و جریان هادی بنمایش گذاشته شده است.

c: هادی متحرک درون میدان مغناطیسی، میدان منتهجه رسم شده است.

۱-۴-۲ قانون بیوساوار: (۱)

2-4.1 Biot-Savart Law

قانون بیوساوار از نظر ریاضی مطابق روابط (۲-۷) است و میتوان با استفاده از این روابط نیروی حاصله (نیروی تولید شده) توسط سیمی که از آن جریان میگذرد و درون میدان مغناطیسی قرار دارد را حساب نمود. در سیستم ENG داریم:

$$F = 0.885Bil \times 10^{-7} \quad (2-7a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$F = Bil \quad (2-7b)$$

برای استفاده از روابط (۲-۷) باید به آحاد مندرجه در جدول (۲-۴) استفاده کرد. در روابط (۲-۷)، l طول موثر هادی در میدان مغناطیسی محسوب میشود.

جدول ۲-۴ **Table 2-4**

English (Eq. 2-7a)	SI (Eq. 2-7b)
F pounds	F newtons
B lines/in ²	B webers/m ² (tesla)
l inches	l meters
I amperes	I amperes

2-4.2 Direction of Force ۲-۴-۲ جهت نیرو:

برای پیدا کردن جهت (۲) نیروی تولید شده توسط یک هادی حامل جریان که درون میدان مغناطیسی قرار دارد از قانون دست چپ (۳) استفاده میشود (شکل ۱۴-۲). اگر انگشت سبابه دست چپ جهت شار را نشان دهد و انگشت وسط دست چپ جهت جریان هادی را بنمایش بگذارد، در اینصورت انگشت شست دست چپ جهت نیروی تولید شده توسط هادی را مشخص خواهد نمود.

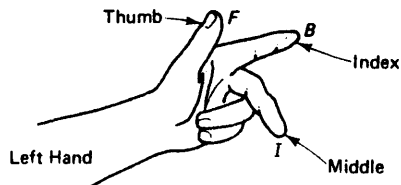
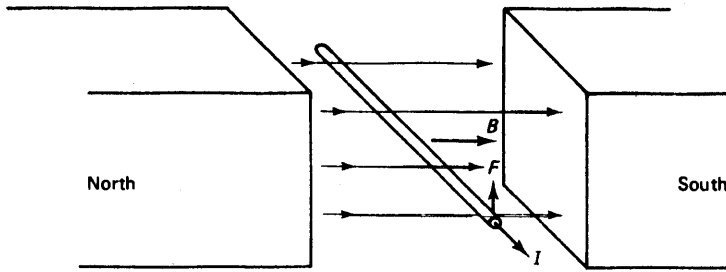
Example 2-12

مثال ۱۲-۲:

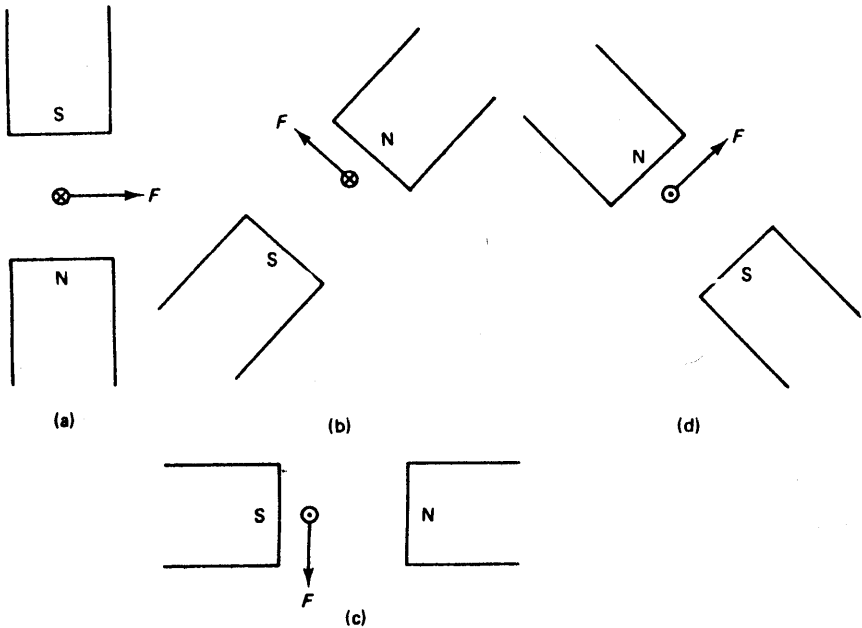
شکل (۱۵-۲) را در نظر میگیریم، جهت نیروی تولید شده توسط هادی برای هر شکل مشخص شده است. با توجه به قانون دست چپ بگوئید آیا این جهت ها صحیح هستند یا نه.

حل:

بلی همگی صحیح هستند.



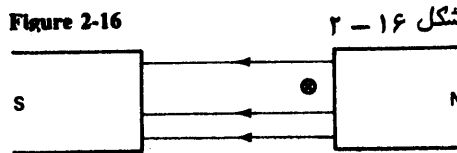
شکل ۱۴-۲: نمایش قانون دست چپ



شکل ۱۵-۲: در دو شکل (a) و (b) جهت جریان بطرف داخل صفحه کاغذی می‌باشد در دو شکل (c) و (d) جهت جریان بطرف خارج صفحه کاغذ می‌باشد

مثال ۱۳-۲ (سیستم ENG) :

Example 2-13 (English) شکل (۱۶-۲) را در نظر میگیریم. طول هادی در این سیستم ۱۰ اینچ میباشد. مقطع قطبها مربع شکل و به ابعاد ۶ اینچ در نظر گرفته میشود. اگر شار 400,000 lines در نظر گرفته شود، مقدار و جهت نیروی تولید شده (نیروی حاصله) را پیدا کنید. فرض کنید که جریان هادی \vec{A} میسر باشد و جهت آن بطرف داخل صفحه کاغذ در نظر گرفته شود.



حل:

از رابطه (۲-۷a) استفاده میکنیم ولی باید توجه کرد که طول موثر هادی ۶ اینچ است (چرا؟) ابتدا از رابطه (۱-۲a) استفاده کرده و چگالی شار (B) را

حساب میکنیم. لذا

$$A = 6 \times 6 = 36 \text{ in}^2$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{400k}{36}$$

$$= 11.11 \text{ kilolines/in}^2$$

پس:

$$F = 0.885BIl \times 10^{-7}$$

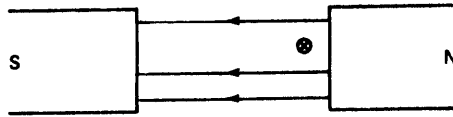
$$= 0.885 \times 11.11 \times 10^3 \times 8 \times 6 \times 10^{-7}$$

$$= 0.0472 \text{ lb}$$

با استفاده از قانون دست چپ درمی یابیم نیرو بسمت بالا خواهد بود.

مثال ۱۴-۲ (سیستم SI) :

Example 2-14 (SI) شکل (۱۷-۲) را در نظر میگیریم. طول هادی در این سیستم ۳۰ سانتیمتر میباشد. مقطع قطبها مربع شکل و به ابعاد ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته میشود. اگر شار ۴۰۰۰۰ وبر باشد، مقدار و جهت نیروی حاصله (تولید شده) را حساب کنید، فرض بر آن است که جریان هادی \vec{A} میسر باشد و جهت آن بطرف داخل کاغذ در نظر گرفته شود.



شکل ۱۲ - ۲

حل:

از رابطه (۲-۷b) استفاده میکنیم ولی باید توجه کرد که طول موثر هادی ۲۰ سانتیمتر است (چرا؟) ابتدا از رابطه (۱-۲b) استفاده کرده و چگالی شار (B) را حساب میکنیم لذا:

$$A = 0.2 \times 0.2 = 0.04 \text{ m}^2$$

$$B = \frac{\phi}{A} = \frac{4 \times 10^{-3}}{0.04}$$

$$= 0.1 \text{ Wb/m}^2 \text{ (T)}$$

پس:

$$F = BIl$$

$$= 0.1 \times 8 \times 0.2$$

$$= 0.16 \text{ N (newtons)}$$

با استفاده از قانون دست چپ درمی یابیم که جهت نیرو به سمت بالا است.

۵-۲ گشتاور (کوپل) تولید شده توسط یک هادی (یک سیم)

2-5 TORQUE DEVELOPED BY A CONDUCTOR

یک هادی را بر روی یک استوانه سوار میکنیم و فرض مینمائیم که استوانه آزادانه بتواند دوران کند (شکل ۱۸ - ۲). اگر از این جریان بگذرد نیروی حاصل میشود (در قسمت قبل درباره این موضوع صحبت کردیم). میدانیم اگر نیروی بر بدنه جسمی اثر کند و آن جسم آزادانه بتواند حول محوری بحرکت درآید، در این صورت گشتاور (کوپل) حاصل خواهد شد. گشتاور (کوپل) از نظر مقدار این چنین حساب میشود:

$$T = F \times r \quad (2-8a) \quad \text{در سیستم (ENG) داریم:}$$

$$T = F \times r \quad (2-8b) \quad \text{در سیستم (SI) داریم:}$$

در روابط اخیر F نیرو، r فاصله و T گشتاور (کویل) میباشد. باید توجه کرد که:
الف: در سیستم (ENG) واحد F پوند بوده و در سیستم (SI) واحد F نیوتون است.

ب: در سیستم (ENG) واحد r فوت بوده و در سیستم (SI) واحد r متر است.

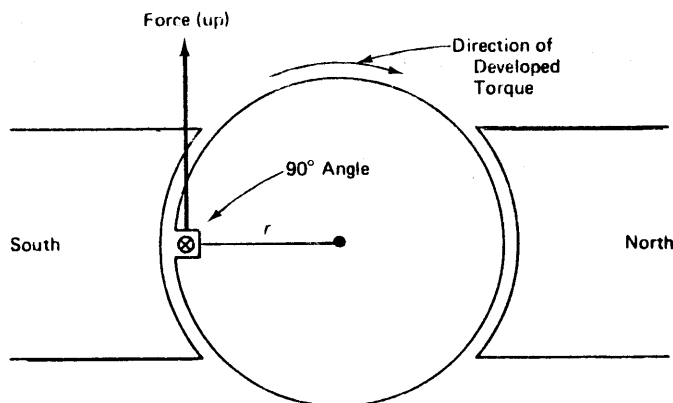
ج: در سیستم (ENG) واحد T پوند-فوت (Lb-Ft) بوده و در سیستم (SI) واحد T نیوتون متر (Nm) میباشد.

در اینجا یادآوری میکنیم که در روابط فوق r فاصله عمودی محل تاثیر نیرو تا محور دوران میباشد.

گشتاور حاصله در شکل (۱۸-۲) باعث میشود که استوانه بچرخد. با چرخش استوانه هادی وضعیتهای جدیدی اختیار میکند که بعنوان نمونه چند وضعیت در شکل (۱۹-۲) بنمایش گذاشته شده است.

با توجه به این شکل در میابیم که با تغییر وضعیت هادی نسبت به وضعیت اولیه (شکل ۱۸-۲)، دائما "فاصله عمودی نیرو تا محور دوران کاهش مییابد. مثلا" میتوان گفت که r_2 از r_1 کوچکتر است.

هرگاه هادی در وضعیتی قرار گیرد که نیروی حاصله مطابق F_3 در شکل (۱۹-۲) باشد، در این صورت فاصله عمودی نیرو تا محور دوران صفر است و گشتاور حاصله



شکل ۱۸-۲: گشتاور حاصله توسط یک هادی که درون میدان مغناطیسی قرار دارد

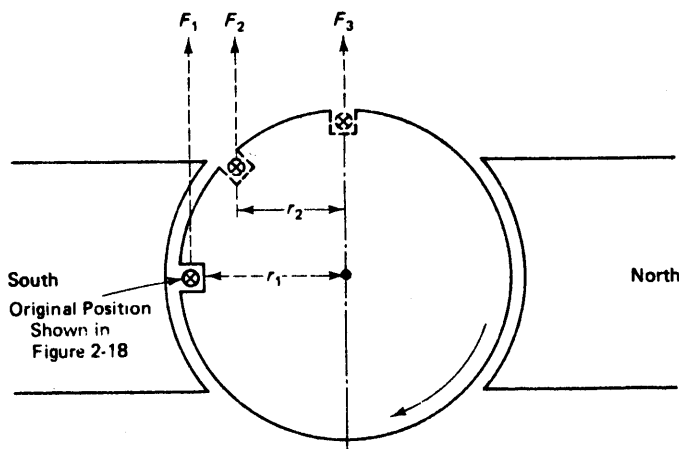
نیز در این مرحله صفر خواهد بود. خاطر نشان میسازیم که در تمامی مراحل دوران پارامترهای ذیل ثابت است.

الف: چگالی شار (B)

ب: جریان هادی (I)

ج: طول هادی (L)

لذا مقدار نیرو (F) نیز در تمامی مراحل دوران ثابت میماند (چرا ؟) اما باید گفت در هنگام دوران فاصله r دائما " تغییر میکند ، بالنتیجه گشتاور (کوپل) نیز در هنگام دوران متغیر بوده و ثابت نمیباشد . باید توجه داشت که هنگامیکه هادی درست مقابل قطب قرار دارد (شکل ۱۸-۲) در اینصورت گشتاور حاصله حداکثر (ماکزیمم) میباشد ، همچنین هرگاه هادی ۹۰ از قطب فاصله پیدا نمود در اینصورت r صفر بوده و گشتاور حاصله نیز صفر میشود (وضعیت F_3 در شکل ۱۹-۲) .



شکل ۱۹-۲: دوران یک هادی درون یک میدان مغناطیسی

میتوان اینچنین تعبیر کرد که تغییرات گشتاور مشابه تغییرات ولتاژ القاء است (بخش ۲-۱-۲ همین فصل) مثلاً "هرگاه هادی در یک سیستم دو قطبی در مقابل قطب قرار گیرد ولتاژ القاء شده و گشتاور هر دو ماکزیمم بوده و هرگاه هادی در نقطه‌ای درست وسط دو قطب قرار گیرد در اینصورت ولتاژ القاء شده و گشتاور هر دو صفر خواهند بود .

با جایگزینی روابط (۲-۷) در روابط (۲-۸) میتوان گشتاور ماکزیمم حاصله

توسط یک هادی را بدست آورد برای سیستم (ENG) داریم:

$$T = 0.885Bilr \times 10^{-7} \quad (2-9a)$$

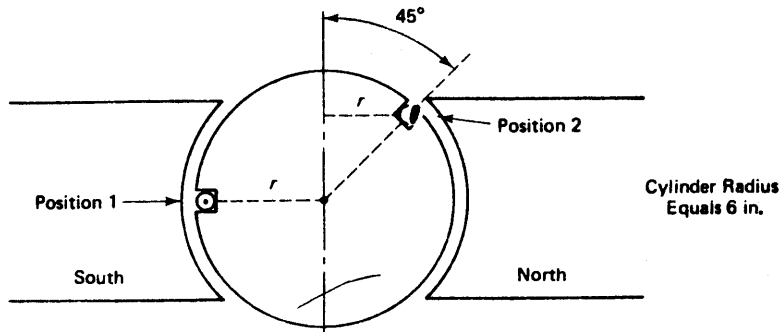
برای سیستم (SI) داریم:

$$T = Bilr \quad (2-9b)$$

در روابط اخیر r شعاع استوانه میباشد. روابط (۲-۹) را نیز میتوان برای محاسبه گشتاور لحظه‌ای حاصله در هر نقطه از دوران بکار برد. برای محاسبه r در روابط لحظه‌ای باید از قوانین مثلثات و جبر استفاده کرد.

مثال ۲-۱۵ (سیستم ENG):

شکل (۲-۲۰) را در نظر میگیریم. برای دو وضعیت نشان داده شده در شکل مقدار و جهت گشتاور حاصله را بدست آورید. در این سیستم چگالی شار $L = 150 \text{ kilolines/in}^2$ ، معادل ۵ اینچ و جریان مساوی ۸ آمپر است. همچنین اگر بخواهیم گشتاورها را دو برابر کنیم، در جریان چه تغییری باید داد.



شکل ۲-۲۰: سیستم مربوط به مثال ۲-۱۵

حل:

در وضعیت (۱) با استفاده از قانون دست چپ در میابیم که نیرو بطرف پایین بوده و لذا گشتاور در جهت خلاف عقربه ساعت^(۱) (CCW) عمل میکند. با استفاده از رابطه (۲-۹a) میتوان گشتاور در وضعیت (۱) را بدست آورد و میدانیم گشتاور در این وضعیت ماکزیمم است. باید تذکر داد که r در این حالت ۵/۵ فوت (۶ اینچ) میباشد. پس:

1) Counter-Clockwise = CCW

$$T = 0.885(150k)(8)(5)(\frac{1}{2}) \times 10$$

$$= 0.2655 \text{ lb-ft}$$

در وضعیت (۲) با استفاده از قانون دست چپ در میابیم که نیرو بطرف پایین بوده، اما در اینحالت گشتاور در جهت عقربه ساعت (CW) عمل میکند. در اینحالت فاصله r دیگر همان شعاع استوانه نیست و باید r جدید حساب گردد. لذا:

$$r = (\frac{1}{2} \text{ ft})(\sin 45^\circ)$$

$$= 0.5(0.707) = 0.3535 \text{ ft}$$

پس:

$$T = 0.885(150k)(8)(5)(0.3535) \times 10^{-7}$$

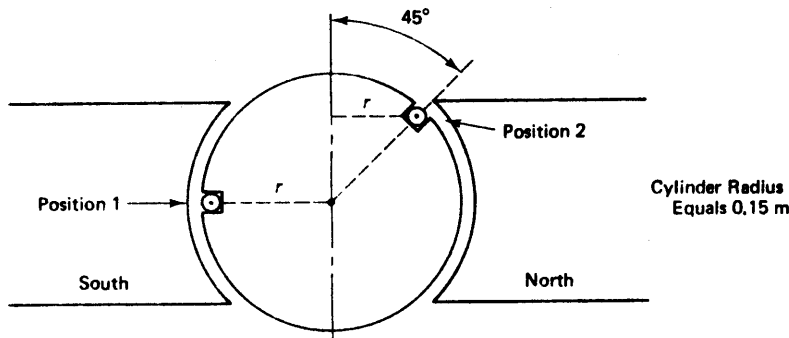
$$= 0.1877 \text{ lb-ft}$$

چون گشتاور متناسب با جریان میباشد، لذا اگر بخواهیم گشتاور دو برابر شود، لذا باید جریان را دو برابر نمود (۱۶ آمپر).

Example 2-16 (SI)

مثال ۱۶-۲ (سیستم SI):

شکل (۲۱-۲) را در نظر میگیریم. مطلوبست محاسبه مقدار و جهت گشتاور حاصله در دو وضعیت نشان داده شده در شکل، در صورتیکه بدانیم چگالی شار ۱/۵ تسلا، ۱ معادل ۱۲ سانتی متر و جریان ۸ آمپر باشد. همچنین اگر بخواهیم گشتاور دو برابر شود جریان را چقدر باید تغییر داد.



شکل ۲۱-۲: سیستم مربوط به مثال ۱۶-۲

حل

در وضعیت (۱) با استفاده از قانون دست چپ در میابیم که نیرو بطرف پائین بوده و گشتاور در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) عمل میکند. از رابطه (۹b-۲) استفاده میکنیم و میدانیم که در این وضعیت گشتاور ماکزیمم است. همچنین باید دانست

$$T = 1.5 \times 8 \times 0.12 \times 0.15 \quad \text{لذا:} \\ = 0.216 \text{ N-m}$$

در وضعیت (۲) با استفاده از قانون دست چپ در میابیم که نیرو بطرف پائین بوده و گشتاور در جهت عقربه ساعت (CW) عمل میکند. در این حالت ۲ دیگر مساوی شعاع

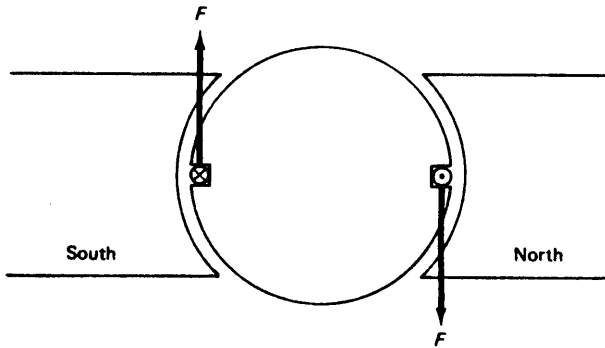
$$r = (0.15 \text{ m})(\sin 45^\circ) \quad \text{استوانه نیست، بلکه باید آنرا حساب نمود.} \\ = (0.15)(0.707) = 0.1061 \text{ m}$$

$$T = 1.5 \times 8 \times 0.12 \times 0.1061 \quad \text{پس:} \\ = 0.1528 \text{ N-m}$$

چون گشتاور با جریان متناسب است لذا برای دو برابر کردن گشتاور باید جریان را دو برابر نمود (۱۶ آمپر).

۱-۵-۲ گشتاور حاصله توسط یک کلاف: 2-5.1 Torque Developed by a Coil

اگر یک کلاف تک دوری^(۱) بسازیم و بر روی استوانه‌ای جا سازی کنیم سیستمی مطابق شکل (۲۲-۲) حاصل میشود. از آنجائیکه این کلاف یک حلقه را تشکیل میدهد اگر جریان از سمت چپ بدرون صفحه کاغذ برود از سمت راست از صفحه کاغذ خارج میگردد. در این حالت یکی از نیروها بسمت بالا است و دیگری بسمت پائین خواهد بود (قانون دست چپ). هر دو نیرو گشتاوری در جهت عقربه ساعت (CW) تولید میکند و لذا گشتاور حاصله قوی‌تر از حالت تک سیمه بوده و استوانه بهتر میچرخد. تنها چیزی که در این بحث جای خالی دارد این است که باید به نحوی در سیم‌های سمت راست و سمت چپ کلاف دائما "جریان جاری سازیم و این موضوع را در فصول بعدی شرح میدهم.



شکل ۲-۲۲

۲-۶ نیروی ضد محرکه: (BEMF)

2-6 BACK ELECTROMOTIVE FORCE (BACK EMF)

شکل (۲-۱۹) بازنگری میکنیم و میبینیم که هادی بر اثر جریانی که از آن میگذرد میچرخد (حالت موتوری) باید گفت که در اینحالت نیز در هادی ولتاژ القاء میگردد. پلارته این ولتاژ القائی همواره مخالف جریانی است که باعث میشود هادی بحرکت درآید. از آنجائی که ولتاژ القائی با جریان مخالف است به آن نیروی ضد محرکه گفته میشود. نیروی ضد محرکه نقش مهمی در عملکرد موتورهای ایفا میکند و در فصل ۵ بیشتر راجع به آن صحبت میکنیم.

خوانندگان محترم میتوانند با استفاده از قانون دست راست دریابند که چرا پلارته ولتاژ القاء شده با جهت جریان مخالف است.

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 2

Symbol	Definition	Units	
		English	SI
۱ v	Velocity of a conductor	in./s	m/s
۲ l	Length of conductor in magnetic field	inches	meters
۳ θ	Angle between wire's motion and lines of flux	degrees	degrees
۴ t	Time it takes for a conductor to go from zero flux to maximum flux cut	seconds	seconds
۵ z	Number of conductors	—	—
۶ E_s	Average induced voltage	volts	volts
۷ r	Radius	feet	meters
۸ P	Number of poles	—	—
۹ S	Rotational speed (English)	rev/min	—
۱۰ ω	Rotational speed (SI)	—	rad/s
۱۱ F	Force produced by a conductor	pounds	newtons
۱۲ T	Torque	lb-ft	N-m

علائم اختصاری استفاده شده در فصل ۲:

- ۱ - سرعت یک هادی
- ۲ - طول هادی که درون میدان مغناطیسی قرار دارد
- ۳ - زاویه بین حرکت سیم و خطوط شار
- ۴ - زمان لازم برای حرکت هادی از موقعیکه شاری را قطع نمی‌کند تا موقعیکه حداکثر شار را قطع می‌کند
- ۵ - ولتاژ القاء شده متوسط
- ۶ - تعداد هادیها
- ۷ - شعاع
- ۸ - تعداد قطبها
- ۹ - سرعت دورانی در سیستم انگلیسی
- ۱۰ - سرعت دورانی در سیستم SI
- ۱۱ - نیروی تولید شده توسط یک هادی
- ۱۲ - گشتاور (کوپل)

فصل سوم
ساختن ماشینهای DC

۲۳ صفحه

DC MACHINE CONSTRUCTION

ساختمان ماشینهای DC

مقدمه:

قبل از اینکه وارد جزئیات مربوط به ژنراتورها و موتورهای DC شویم درباره ساختمان و شکل ظاهری ماشینهای DC صحبت میکنیم. هدف از این فصل آشنائی با قسمتهای مهم ماشینهای DC است.

3-1 ARMATURE

۱-۳ آرمیچر:

در فصل قبل (فصل ۲) راجع به اصول تولید ولتاژ و گشتاور (کوپل) صحبت کردیم و دیدیم که:

الف: برای تولید ولتاژ باید کلاف درون یک میدان مغناطیسی بچرخد.

ب: برای تولید گشتاور (کوپل) باید از کلافی که آزادانه میتواند درون یک میدان مغناطیسی بچرخد، جریان عبور کند.

در ماشینهای DC کلافها بر روی قسمت دوار ماشین (رتور) جاسازی شدهاند (واصلاحا "به رتور ماشینهای DC آرمیچر گفته می شود) همچنین به کلافهای آرمیچر، سیم پیچ آرمیچر (۱) اطلاق میگردد.

آرمیچر دارای یک محور (۲) بوده که بر روی آن صفحات دایره ای کنار هم قرار میگیرند و یک هسته استوانه ای موق (۳) را تشکیل میدهند. جنس این صفحات دایره ای

الباز فولاد میباشد. علت اینکه هسته آرمیچر را موق میسازند آن است که پدیده جریان گردابی (۴) تضعیف شود. درباره جریان گردابی در فصل ۴ صحبت خواهد شد. شکل (۱-۳) آرمیچر یک ماشین DC را نشان میدهد. با توجه به این شکل شیارهای (۵)

آرمیچر کاملاً "مشهود است و سیم پیچ آرمیچر درون این شیارها جاسازی میشود. معمولاً آرمیچر از چندین کلاف تشکیل شده است و نحوه سیم پیچی (سیم بندی) آرمیچر را در همین فصل (بخش ۶-۳) توضیح خواهیم داد.

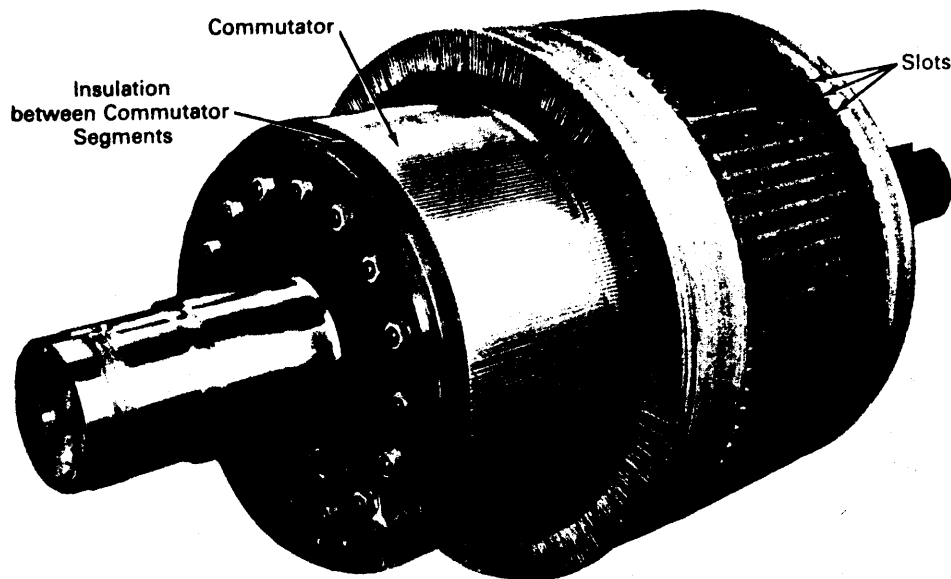
1) Armature-Winding

2) Shaft

3) Laminated

4) Eddy-Current

5) Slots



شکل ۱-۳: شمای ارمیچر یک ماشین DC

۱-۱-۳ کموتاسیون (یکسو سازی): 3-1.1 Commutation

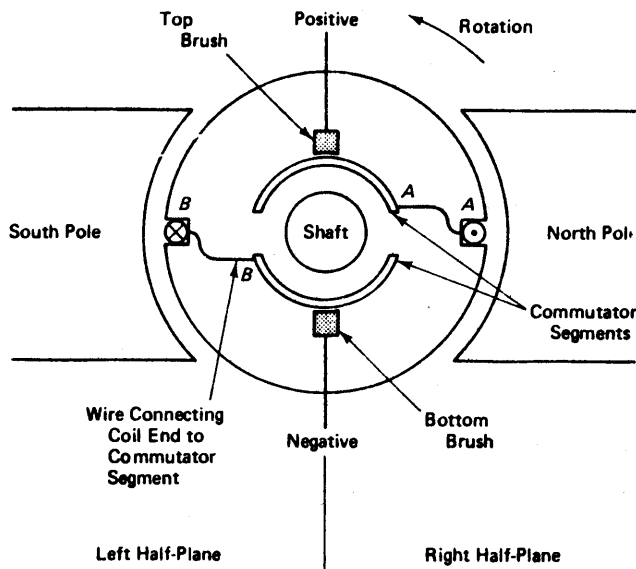
در ماشینهای DC ترمینالهای سیم پیچها (ترمینالهای کلافهای ارمیچر) به کموتاتور^(۱) وصل میشود. باید گفت که کموتاتور از تیغههای مسی تشکیل شده که در امتداد محور ارمیچر قرار گرفته اند. این تیغههای مسی نسبت به هم عایق بوده و همچنین بین این تیغهها و قسمت های فلزی دیگر ارمیچر نیز عایق وجود دارد و باید خاطر نشان ساخت که از طریق همین کموتاتور است که ماشین DC با جهان خارج ارتباط پیدا میکند. در حالت ژنراتوری جریان سیم پیچ ارمیچر (کلافها) از طریق کموتاتور به مصرف کننده^(۲) میرود و در حالت موتوری جریان از طریق کموتاتور به سیم پیچ ارمیچر (کلافها) میرسد.

در فصل قبل (فصل ۲) دیدیم که اگر یک هادی درون یک میدان مغناطیسی بچرخد، ولتاژ متناوب در هادی تولید میشود (ولتاژ القایی - شکل ۷-۲). یکی دیگر از وظایف کموتاتور تبدیل این ولتاژ متناوب (AC) به ولتاژ مستقیم (DC) خواهد بود.

در حقیقت کموتاتور یک نوع عمل یکسو سازی را انجام میدهد تا خروجی DC حاصل شود. شکل (۲ - ۳) یک کلاف تک دوری را نشان میدهد که درون یک میدان مغناطیسی دو قطبی میچرخد. هنگام دوران آرمیچر، یکی از ترمینالهای کلاف (A) همواره به تیغه مسی A در کموتاتور متصل است و ترمینال دیگر کلاف (B) همیشه به تیغه مسی B در کموتاتور وصل میباشد. باید گفت که ولتاژ القاء شده را میتوان توسط دو جاروبک^(۱) نشان داده شده در شکل (۲ - ۳) حس نمود.

جاروبکها به قاب (بدنه)^(۲) ژنراتور DC متصل اند و دوران نمیکنند. لذا جاروبکهای فوقانی و تحتانی دائما "به ترتیب با سیم پیچهای سمت راست و چپ کلاف سروکار خواهند داشت. در شکل (۲ - ۳) فرض بر آن است که قطب شمال (قطب مثبت) در سمت راست ماشین قرار دارد. با اندکی تفکر در میابیم که عمل یکسو سازی بسهولت انجام میگردد زیرا جهت جریان همواره طور است که جریان از جاروبک فوقانی خارج و به جاروبک تحتانی وارد میگردد. باید گفت که هرگاه هادیهای A، B در مقابل جاروبکها قرار گیرند (A در مقابل جاروبک فوقانی و B در مقابل جاروبک تحتانی) در این صورت عمل سوئیچینگ (کلید زنی) رخ میدهد. در این حالت تماس جاروبک بالائی با تیغه مسی A قطع شده و همزمان با آن تماس این جاروبک با تیغه مسی B برقرار میشود. در اینجا متذکر میشویم که هنگام عمل سوئیچینگ (کلید زنی) ولتاژ القاء شده در هر یک از هادیهای A و B صفر میشود، زیرا در این لحظه هیچ شاری توسط کلاف قطع نمیکردد. در ماشینهای DC پدیده‌ای بنام عکس العمل آرمیچر^(۳) وجود دارد و بخاطر

همین پدیده است که هنگام عمل سوئیچینگ (کلید زنی) ولتاژ القاء شده در هادیهای A و B فوق‌الذکر کاملاً " صفر نخواهد بود. درباره این پدیده در همین فصل صحبت خواهیم کرد. در اینجا متذکر می‌شویم که بخاطر همین صفر نبودن ولتاژ القاء شده، جرقه‌هایی^(۴) حین عمل سوئیچینگ در ماشین دیده میشود. علت بروز جرقه آن است که هنگام عمل سوئیچینگ، جاروبک دو تیغه کموتاتور را بهم وصل مینماید و در این لحظه بین دو تیغه مسی A، B جریان برقرار شده و بصورت جرقه خودنمایی میکند. در حالت ایده‌آل هنگام عمل سوئیچینگ ولتاژ القاء شده در دو هادی A، B صفر است و لذا جرقه پدیدار نمیشود، زیرا بین دو تیغه مسی اختلاف ولتاژ وجود ندارد. اما در عمل



شکل ۲-۳: نمایش ساده کموتاتور در یک ژنراتور DC دو قطبی

اوضاع فرق میکند و ولتاژ القاء شده کاملاً " صفر نیست .

3-1.2 Brushes

۲-۱-۳ جاروبکها :

برای اینکه عمل کموتاسیون (یکسوسازی) بنحو احسن صورت پذیرد ، جاروبکها

باید دارای مزایای زیر باشند .

۱- ازهادی خوب تهیه شوند .

۲- جنس آنها خوب باشد و زود سائیده نشوند .

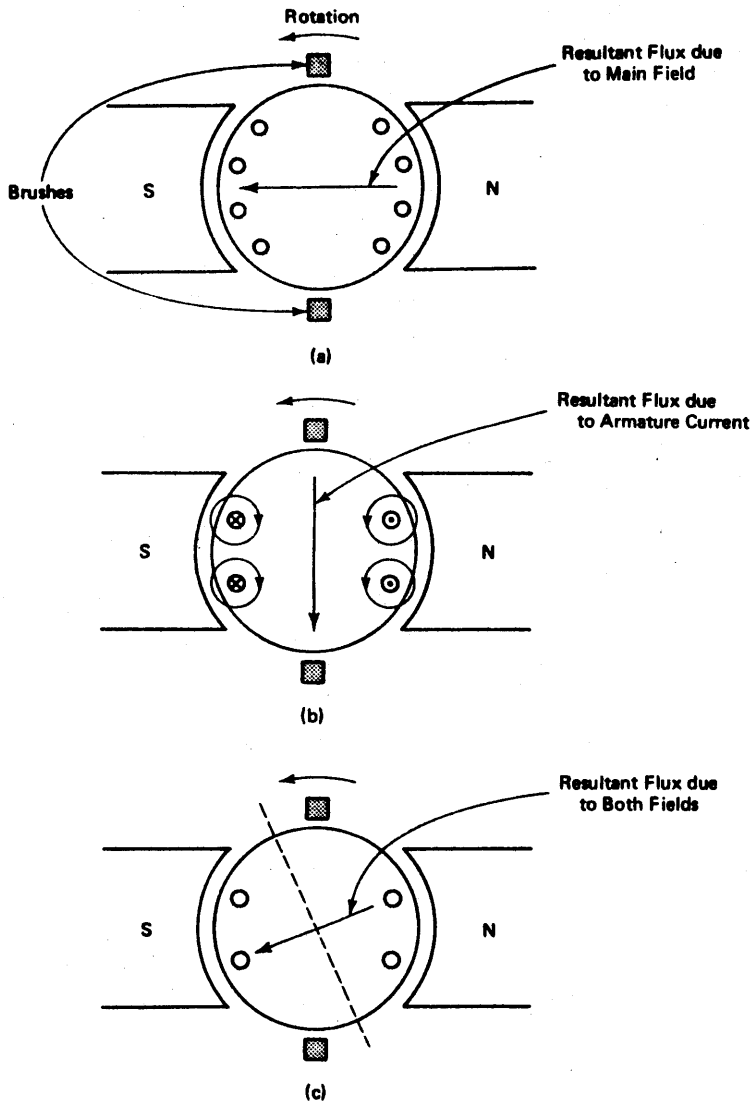
۳- حتی الامکان نرم باشند تا با تیغه‌های مسی اصطکاک^(۱) زیادی ایجاد نکنند .

(بخاطر دلایل فوق جاروبکها را از کربن ، گرافیت و برخی اوقات از مخلوطی

از مس و کربن میسازند) . باید گفت که پس از آنکه ماشین مدت زیادی کار نمود جاروبکها

سائیده میشوند و باید عوض شوند . جاروبکها توسط گیره مخصوصی بنام گیره جاروبک^(۲)

در وضعیت ثابتی قرار میگیرند و دائماً " با تیغه‌های مسی کموتاتور در تماس هستند .



شکل ۳-۳: میدان‌های مغناطیسی در یک ژنراتور DC دو قطبی

a: شار اصلی فقط نشان داده شده است

b: فقط شار کل ارمیچر نشان داده شده است

c: شار منتهی نشان داده شده است

گیره‌های فوق‌الذکر توسط عایقی خاص به بدنه ماشین متصل است. این گیره‌ها حاوی فنر^(۱) نیز هستند تا به جاروبکها فشار لازم جهت تماس خوب با کموتاتور اعمال شود.

3-1.3 Armature Reaction

۳-۱-۳ عکس‌العمل آرمیچر:

یک ژنراتور DC را در حالت بارداری در نظر میگیریم. واضح است که از سیم پیچهای آرمیچر جریان میگذرد (شکل ۳-۳). در نتیجه جریان عبوری از سیمهای آرمیچر، شاری نیز حاصل میگردد که به آن شار آرمیچر گفته میشود. باید گفت که هرچه بار زیادتر شود، جریان آرمیچر نیز افزونتر شده و لذا شار آرمیچر نیز زیاد میشود. همانطور که از شکل (۳-۳b) پیداست مسیر شارهای آرمیچر دایره‌ای بوده و هادی را دور میزند. همانطور که از شکل پیداست این شارهای دایره‌ای با هم جمع شده و شار کل آرمیچر را تشکیل میدهند و جهت این شار کل بطرف پایین است. اما باید گفت که در ماشینهای DC شار حاصل از قطبهای ماشین نیز وجود دارد (شار مدار تحریک). لذا درون ماشین DC دو نوع شار وجود خواهد داشت.

الف: شار حاصل از قطبهای ماشین (شار مدار تحریک) که به شار اصلی معروف است.

ب: شار کل آرمیچر

لذا در میابیم که درون ماشین DC همواره منتهج دو شار فوق‌الذکر وجود دارد. این شار منتهج^(۲) را میتوان در شکل (۳-۳c) مشاهده کرد. در اینجا احساس می‌کنیم که با دوران ماشین، هادیها موقعی موازی میدان مغناطیسی منتهج حرکت میکنند که محور خط چین نشان داده شده در شکل (۳-۳c) را قطع نمایند (چرا؟). در این لحظه هادیها خطوط شار را قطع نمیکند و لذا ولتاژ القاء شده در هادیها صفر است. پس بهتر است جاروبکها را در امتداد این محور خط چین قرار دهیم. تا جرقه پدیدار نشود اما اگر جاروبکها مطابق شکل (۳-۳a) قرار گیرند، در اینصورت حتما "جرقه حین عمل کموتاسیون بوجود خواهد آمد.

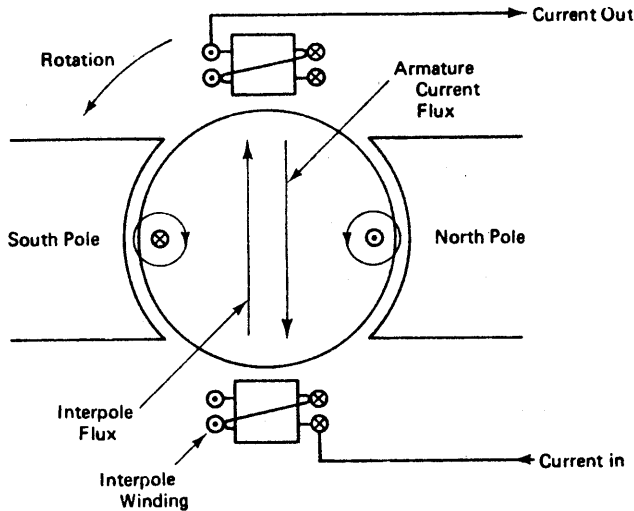
از بحث فوق نتیجه میشود که عکس‌العمل آرمیچر ایجاب میکند که جاروبکها از وضعیت ایده آل خود تغییر مکان دهند، بخاطر همین امر گاهی اوقات به عکس‌العمل آرمیچر، پدیده جابجا کردن جاروبکها^(۳) نیز گفته میشود.

- 1) Spring 2) Resultant-Flux
3) Brush - Shifting

3-2 INTERPOLES

۲-۳ قطبهای کمکی (قطبهای فرعی):

یکی از روشهای موجود در جهت کاهش عکس‌العمل آرمیچر، نصب قطبهای فرعی^(۱) در بین قطبهای اصلی است (شکل ۴-۳):



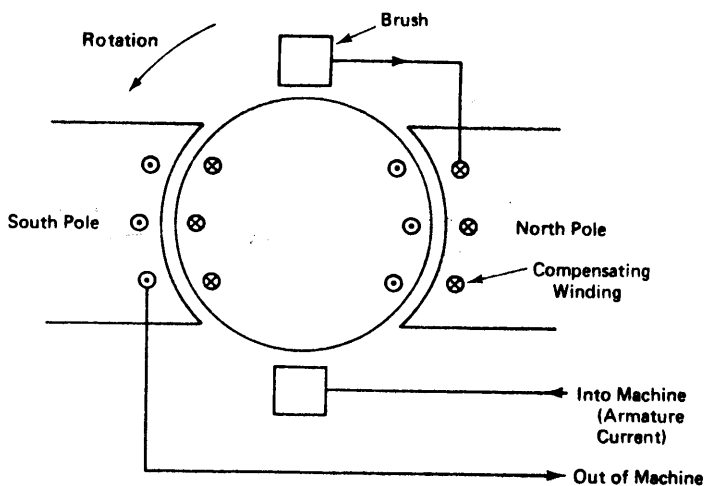
شکل ۴-۳: ماشین DC دو قطبی با قطبهای کمکی (فرعی)

قطبهای فرعی توسط سیم پیچ تغذیه میشوند و پلاریته میدان حاصله طوریست که با شار کل آرمیچر (شکل ۳-۳ b) در تضاد است، باید گفت که سیم پیچ قطبهای فرعی با سیمهای آرمیچر سری شده‌اند، لذا اگر شار آرمیچر افزایش یابد (بعلت افزایش جریان آرمیچر)، شار متضاد حاصله از قطبهای فرعی (کمکی) نیز متناسباً "افزون میگردد". باید گفت که چون سیمهای آرمیچر با سیمهای قطبهای فرعی (کمکی) سری شده‌اند، لذا: مقاومت سیم پیچ قطبهای کمکی + مقاومت سیم پیچ آرمیچر = کل مقاومت مدار آرمیچر

۳-۳ سیم پیچهای جبران کننده (ترمیم کننده):

3-3 COMPENSATING WINDINGS

یکی دیگر از روشهای موجود جهت کاهش عکس‌العمل آرمیچر استفاده از سیم



شکل ۵-۳: ماشین DC دو قطبی با سیم پیچ جبران کننده

پیچهای جبران کننده^(۱) است. این سیمها بر روی قطبهای اصلی جاسازی می شوند. (شکل ۵-۳) و باید گفت که این سیمهای جبران کننده نیز با سیمهای آرمیچر از نظر الکتریکی سری شده اند. لذا با افزایش جریان در سیمهای آرمیچر (جریان بار)^(۲) شار سیمهای آرمیچر و شار سیمهای جبران کننده هر دو افزایش مییابد. اما طرز اتصال سیم پیچهای جبران کننده طوریست که شار حاصله از این سیمها با شار آرمیچر در تضاد خواهد بود. لذا اثرات یکدیگر را خنثی میکنند. در اینجا میتوان گفت: مقاومت سیم پیچ جبران کننده + مقاومت سیم پیچ آرمیچر = کل مقاومت مدار آرمیچر

۴-۳ قطبهای اصلی ماشینهای DC (قطبهای تحریک)^(۳) : 3-4 FIELD POLES

تا بحال هرچه درباره ماشینهای DC گفته ایم مبتنی بر این نکته بود که شار اصلی توسط قطبهای شمال و جنوب (مثبت و منفی) تولید میگردد. به این قطبها معمولاً "قطبهای اصلی یا قطبهای تحریک" گفته میشود. قطبهای اصلی به دو طریق ساخته میشود.

۱- در ماشینهای کوچک بویژه اسباب بازی ها، قطبهای اصلی از آهن ربای دائم ساخته میشود.

۲- در اکثر ماشینهای DC متداول، میدان اصلی را توسط یک سیم پیچ که به دور قطبها

1) Compensating winding
3) Field-Pole

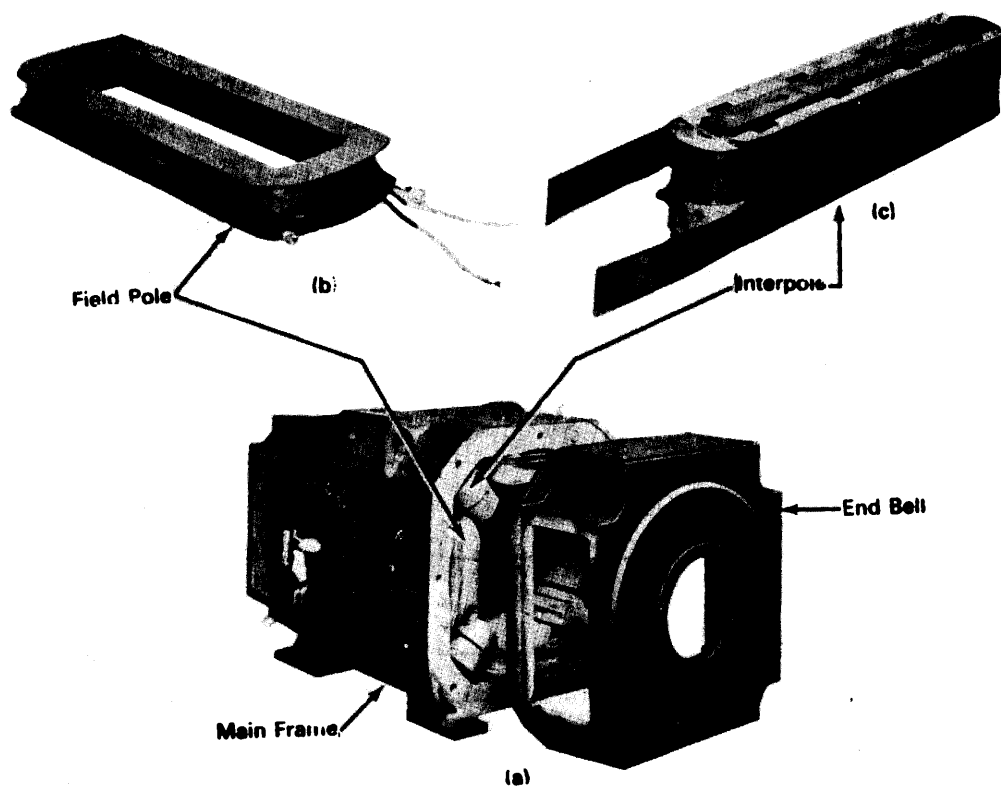
2) Load Current

پیچیده شده است تولید میکنند .

حال قدری راجع به میدان های مغناطیسی فوق الذکر بیشتر توضیح میدهم . در بندیک فوق الذکر راجع به آهن ربای دائمی صحبت کردیم . آهن ربای دائمی از جنس مواد فرومغناطیسی بوده که در ابتدای امر بوسیله یک منبع خارجی تحریک میشود . این تحریک خارجی میتواند توسط جریان یک سیم پیچ که به دور هسته پیچیده شده است عملی گردد (شکل ۱ - ۱ در فصل ۱) ، یا میتوان هسته فرو مغناطیسی را در محاورت یک میدان مغناطیسی بسیار قوی قرار داد . در هر دو حالت هرگاه تحریک خارجی برداشته شود ، هسته خاصیت مغناطیسی خود را بخاطر پدیده هیستریزیس و پس ماند مغناطیسی (فصل ۱) حفظ میکند .

باید خاطر نشان ساخت که شدت و ضعف این آهن ربای دائم به تحریک خارجی و نوع تحریک بستگی دارد . یکی از موادی که امروزه برای تهیه آهن ربای دائم از آن استفاده میکنند النیکو^(۱) میباشد که آلیاژیست از آلومینیم ، کبالت ، نیکل ، مس و آهن . در بند " ۲ " فوق گفتیم که در اکثر ماشینهای DC میدان اصلی را توسط سیم پیچی که به دور قطبها پیچیده شده است ایجاد میکنند . باید گفت که شدت و ضعف این میدان به تعداد دور سیم پیچ و جریان آن بستگی دارد . در اینجا متذکر میشویم که همواره برای تحریک سیم پیچهای قطبهای اصلی به یک منبع ولتاژ DC نیاز داریم تا جریان سیم پیچهای قطبهای اصلی را تامین کند . البته باید گفت که هرگاه مدار تحریک قطبها قطع گردد ، پس ماند مغناطیسی کمی در ماشین باقی میماند . اگر در ماشینهای DC از قطبهای اخیر استفاده شود در اینصورت معمولاً " با دو نوع سیم پیچی برای تحریک قطبها مواجه هستیم .

- ۱ - سیم پیچهای نازک ولی با تعداد دور زیاد که جریان کمی را تحمل میکنند .
 - ۲ - سیم پیچهای کلفت ولی با تعداد دور کم که جریان زیادی را از خود عبور میدهند .
- در فصل بعد که با ماشینهای DC سری و شنت آشنائی پیدا میکنیم ، با این دو نوع سیم پیچ بیشتر آشنا میشویم . شکل (۶ - ۳) قطبهای اصلی (قطبهای تحریک) و قطبهای فرعی ماشینهای DC را نشان میدهد .



شکل ۶-۳:

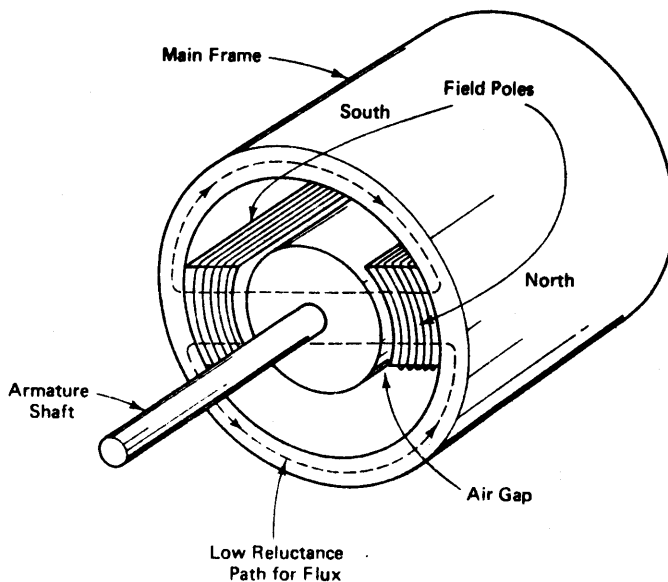
a: ماشین DC با درپوش انتهائی

b: قطبهای اصلی (تحریک)

c: قطبهای کمکی (فرعی)

۳-۵ MECHANICAL STRUCTURE : DC ماشینهای

از آنجائی که آرمیچر باید آزادانه و با اصطکاک کمی بچرخد ، محور آرمیچر را بر روی یاطاقانهائی^(۱) در دو طرف ماشین قرار می دهند . یاطاقانها نیز بر روی صفحات مدوری بنام درپوش^(۲) قرار دارند و درپوشها در دو انتهای ماشین نصب شده اند . باید گفت که درپوشها ماشین به بدنه یا قاب اصلی^(۳) ماشین متصل میشوند . در اینجا متذکر میشویم که بدنه یا قاب اصلی ماشین علاوه بر اینکه درپوشها را تحمل میکند ، متحمل آرمیچر ، جاروبکها ، قطبهای اصلی و قطبهای کمکی نیز میگردد . همچنین بدنه یا قاب اصلی ماشین یک مسیر بارلوکتناس کم جهت برگشت شار میدان اصلی (میدان تحریک) بوجود می آورد . بخاطر همین امر ضخامت این قاب (بدنه اصلی) معمولاً " بیش از حد نیاز میباشد (به شکلهای ۶-۳ و ۷-۳ رجوع شود)



شکل ۷-۳: دیاگرام ساده‌ای از یک ماشین DC دو قطبی

۳-۶ سیم پیچ آرمیچر در ماشینهای DC : **ARMATURE WINDINGS** 3-6

نحوه سیم پیچی آرمیچر در ماشینهای DC یکی از عوامل مهم و تعیین کننده مشخصه‌های ماشین است. معمولاً دو نوع سیم پیچی متداول برای آرمیچر ماشینهای DC وجود دارد.

۱- سیم پیچی مجاور ^(۱) (LW)

۲- سیم پیچی موجی ^(۲) (WW)

ابتدا سیم پیچی LW را شرح میدهم (شکل ۸-۳). همانطور که از این شکل پیداست مشخصات ماشین بقرار زیر است:

الف: تعداد قطبهای اصلی (قطبهای تحریک) چهار میباشد.

ب: تعداد شیارهای آرمیچر هشت عدد است.

ج: تعداد تیغه‌های مسی کموتاتور هشت عدد میباشد (S_1 تا S_8).

د: تعداد جاروبکها چهار عدد است (B_1 تا B_4).

در شکل (۸-۳) مقطع آرمیچر نشان داده شده و فرض میکنیم ماشین در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) می‌چرخد. همانطور که از شکل پیداست، تعداد کلافهای آرمیچر هشت عدد است و با حروف A تا H کلافها را مشخص کرده‌ایم.

فرض میکنیم هر کلاف از N دور سیم تشکیل شده باشد و انتهای هر

کلاف با حروف خاصی مشخص شده است، مثلاً "ابتدا و انتهای کلاف B با حروف b

و b' متمایز گردیده‌اند (و غیره). برای وضعیت شکل (۸-۳) میتوان گفت:

۱- کلافهای A ، C ، E ، G خطوط شار را قطع کرده و لذا در آنها ولتاژ

القاء میشود.

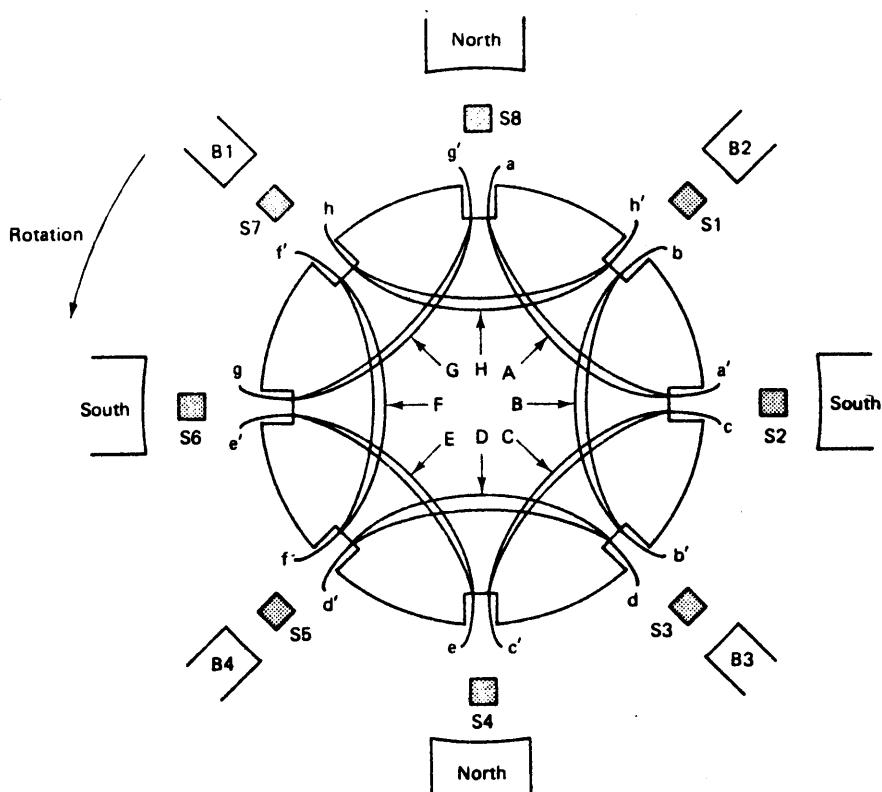
۲- کلافهای B ، D ، F ، H موازی خطوط شار حرکت میکنند و لذا در

آنها ولتاژ القاء نمیشود.

با توجه بشکل (۸-۳) میتوان بهتر به نحوه سیم پیچی LW پی برد.

البته باید توجه کرد که تفاوت بین سیم پیچی LW و WW به نحوه اتصال

کلافها با تیغه‌های مسی و تعداد این تیغه‌ها بستگی دارد.



شکل ۸-۳: شمای ساده یک ماشین DC، ۴ قطبی که ارمیچر آن شامل ۸ کلاف می باشد

۱-۶-۳ سیم پیچی مجاور از نوع سیمپلکس SLW

3-6.1 Simplex Lap Singly Reentrant Winding

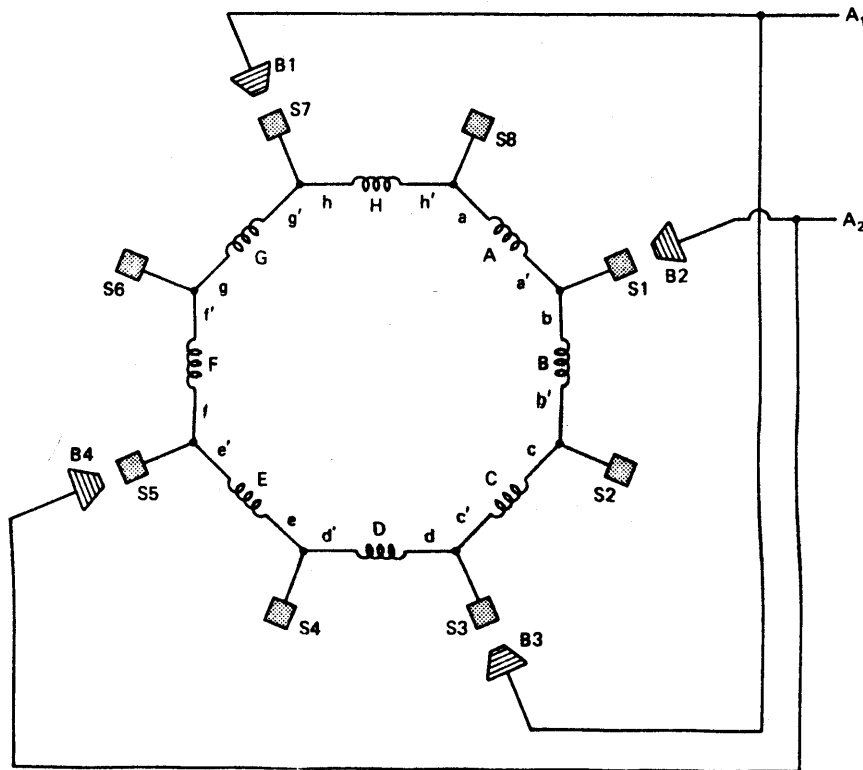
در این نحوه سیم پیچی باید توجه داشت که هرگاه یک طرف کلاف در زیر قطب شمال (مثبت) قرار گیرد، طرف دیگر کلاف در زیر قطب منفی (جنوب) قرار میگیرد. این امر با تئوری ذکر شده در فصل ۲ (بخش ۲-۲) تطابق دارد.

در سیم پیچی SLW انتهای کلاف اول (کلاف A) به ابتدای کلاف شیار مجاور وصل میشود (a' به b) و این اتصال بر روی تیغه مسی S_۱ انجام میگیرد.

حال انتهای کلاف B به ابتدای کلاف شیار محاور وصل میگردد (b' به c بر روی تیغه مسی S2). این عمل را در کل محیط آرمیچر انجام میدهیم یعنی:

- ۱- c' به d وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S3).
- ۲- d' را به e وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S4).
- ۳- e' را به f وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S5).
- ۴- f' را به g وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S6).
- ۵- g' را به h وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S7).
- ۶- h' را به a وصل میکنیم (بر روی تیغه مسی S8).

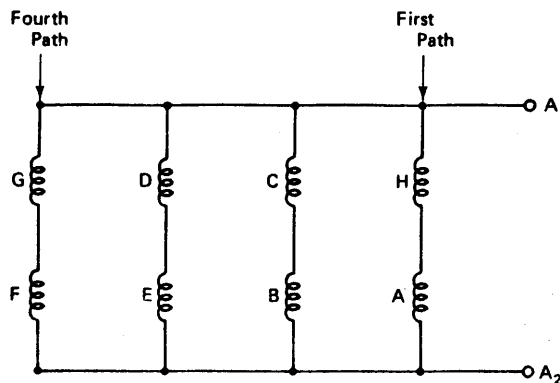
در اینجا خاطر نشان میسازیم که جاروبکهای B₁ و B₃ بهم متصل شده‌اند و ترمینال A₁ ماشین را میسازد و جاروبکهای B₂ و B₄ را بهم متصل میسازیم و ترمینال A₂ بدست می‌آید.



شکل ۹-۳: شمای ساده یک سیم پیچ از نوع SLW

با توجه به اتصالات فوق الذکر شمای ساده سیم پیچ آرمیچر مطابق شکل (۳ - ۹) حاصل میگردد. باید توجه داشت که وضعیت قرار گرفتن آرمیچر در دو شکل (۳ - ۸) و (۳ - ۹) مشابه یکدیگرند. حال میتوان شکل (۳ - ۹) را بصورت شکل (۳ - ۱۰) درآورد و تصویر ساده‌تری از سیم پیچی SLW ترسیم نمود.

همانطور که از شکل (۳ - ۱۰) پیداست ۴ مسیر موازی در این نوع سیم پیچی وجود دارد. حال اگر آرمیچر ۴۵ درجه بچرخد، مسیرهای چهارگانه موازی در شکل (۳ - ۱۰) برقرار خواهند بود، فقط در این حالت مسیر اول شامل کلافهای A و B مسیر دوم



شکل ۳ - ۱۰: شمای ساده شده یک سیم پیچ از نوع SLW

شامل کلافهای C و D مسیر سوم شامل کلافهای E و F و مسیر چهارم شامل کلافهای G و H خواهد بود. باید گفت که در هر حالت تعداد کلافها (تعداد دور کلافها و تعداد سیمها) برای هر مسیر یکسان خواهد بود. بطور خلاصه میتوان برای سیم پیچی SLW اینچنین گفت.

۱ - در سیم پیچی SLW تعداد مسیرهای موازی با تعداد قطبهای اصلی برابر است.

۲ - ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر معادل ولتاژ مربوط به هر مسیر موازی میباشد.

۳ - جریان اسمی آرمیچر برابر حاصل ضرب جریان هر مسیر در تعداد مسیرهاست. البته جریان اسمی هر مسیر تابعی از ضخامت سیمها می باشد.

مثال ۱-۳:

Example 3-1

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۶ = تعداد قطبها

SLW = نوع سیم پیچی آرمیچر

عدد ۶۰۰ = تعداد کل هادیها

۴٪ = مقاومت هر هادی

ولت ۰/۴۸ = ولتاژ القا شده متوسط برای هر هادی

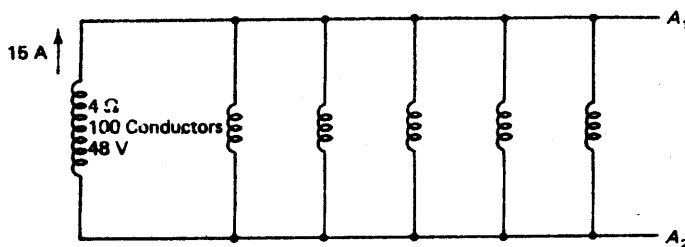
مطلوبست محاسبات زیر مشروط بر آنکه سیم بکار برده شده تحمل ۱۵ آمپر را بنماید.

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): ولتاژ آرمیچر

(ج): جریان اسمی آرمیچر

(د): توان خروجی آرمیچر هنگامیکه آرمیچر جریان اسمی خود را تحویل میدهد.



شکل ۱۱-۳: مدار مربوط به مثال ۱-۳

حل:

چون ژنراتور DC، ۶ قطبی است، لذا شش مسیر موازی وجود دارد (شکل

۱۱-۳).

چون تعداد کل هادیها ۶۰۰ عدد است، لذا هر مسیر حاوی ۱۰۰ عدد هادی

است. همانطور که از این شکل پیداست، هادیهای هر مسیر با هم سری شده‌اند، لذا

مقاومت هر مسیر اینچنین حساب میشود:

$$(100 \text{ cond./path}) \times (0.04 \Omega/\text{cond.}) = 4 \Omega/\text{path}$$

ولتاژ مربوط به هر مسیر عبارتست از:

$$(100 \text{ cond./path}) \times (0.48 \text{ V/cond.}) = 48 \text{ V}$$

چون هر مسیر ۱۵ آمپر میتواند تامین کند لذا محاسبات مربوط اینچنین است.

(الف): مقاومت آرمیچر از موازی نمودن ۶ مقاومت ۴ اهمی بدست می آید.

$$R_a = \frac{4 \Omega}{6} = 0.67 \Omega$$

(ب): چون مسیرها موازیند، لذا ولتاژ آرمیچر اینچنین است.

$$V_a = 48 \text{ V}$$

(ج): چون مسیرها موازیند جریان اسمی آرمیچر عبارتست از:

$$I_a = 6 \text{ paths} \times 15 \text{ A/path} = 90 \text{ A}$$

(د): هنگام تامین جریان اسمی توسط ژنراتور، توان خروجی اینچنین است:

$$P = V_a I_a$$

$$= 48 \text{ V} \times 90 \text{ A} = 4320 \text{ W}$$

۲-۶-۳ سیم پیچی موجی از نوع سیمپلکس (SWW)

3-6.2 Simplex Wave Singly Reentrant Winding

سیم پیچی موجی را میتوان همانند سیم پیچی مجاور تحلیل نمود، ما در اینجا نکات برجسته این نوع سیم پیچی را ذکر کرده و زیاد وارد جزئیات آن نمیشویم، زیرا این نوع سیم پیچی تا حدودی پیچیده و غامض است. مشخصات کلی سیم پیچی SWW عبارتست از:

۱- در سیم پیچی SWW فقط دو مسیر موازی خواهیم داشت و تعداد مسیرهای موازی به تعداد قطبها بستگی ندارد.

۲- چون در سیم پیچی SWW فقط دو مسیر موازی داریم، لذا تعداد هادیهای هر مسیر نیمی از کل هادیهای آرمیچر خواهد بود.

۳- ولتاژ تولید شده توسط سیم پیچی SWW معادل ولتاژ تولید شده توسط نیمی از هادیهای آرمیچر است (چرا؟)

۴- در سیم پیچی SWW همواره به یک حفت جاروبک مثبت و منفی نیاز داریم، این خود

یکی از مزایای سیم پیچی SWW است که فقط به دو جاروبک نیاز میباشد. این امر ساختمان ماشین را سبکتر میکند.

۵- جریان اسمی آرمیچر در سیم پیچی SWW دو برابر جریان اسمی هر مسیر است و همچنین جریان اسمی هر مسیر تابعی از سطح مقطع سیم مورد استفاده در هر کلاف میباشد.

مثال ۲-۳:

Example 3-2

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۶ = تعداد قطبها

SWW = طرز سیم پیچی آرمیچر

عدد ۶۰۰ = تعداد کل هادیها

۴٪ = مقاومت در هادی

ولت ۰/۴۸ = ولتاژ متوسط القا شده در هر هادی

آمپر ۱۵ = جریان اسمی سیم مورد استفاده

مطلوبست:

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): ولتاژ آرمیچر

(ج): جریان اسمی آرمیچر

(د): توان خروجی آرمیچر هنگامیکه ژنراتور جریان اسمی را تغذیه میکند.

حل:

سیم پیچی SWW همواره دارای دو مسیر موازیست (شکل ۱۲-۳). چون تعداد هادیها ۶۰۰ عدد است، لذا هر مسیر حاوی ۳۰۰ عدد هادیست و هادیهای هر مسیر سری شده‌اند.

لذا مقاومت هر مسیر اینچنین است:

$$(300 \text{ cond./path}) \times (0.04 \text{ } \Omega/\text{cond.}) = 12 \text{ } \Omega/\text{path},$$

ولتاژ هر مسیر عبارت است از:

$$(300 \text{ cond./path}) \times (0.48 \text{ V/cond.}) = 144 \text{ V/path.}$$

و میدانیم جریان هر مسیر ۱۵ آمپر است، لذا:

$$R_a = \frac{12 \Omega}{2} = 6 \Omega$$

(الف): مقاومت آرمیچر اینچنین است:

(ب): ولتاژ آرمیچر اینچنین است:

$$V_a = 144 \text{ V}$$

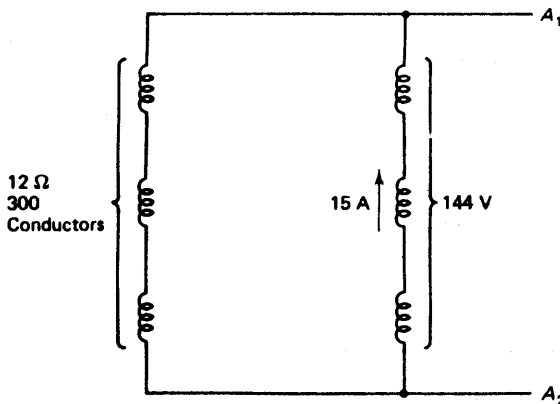
(ج): جریان اسمی آرمیچر اینچنین است:

$$I_a = 2 \text{ paths} \times 15 \text{ A/path} = 30 \text{ A}$$

(د): توان خروجی آرمیچر هنگامیکه ژنراتور جریان اسمی را تغذیه میکند اینچنین است:

$$P = V_a I_a$$

$$= 144 \text{ V} \times 30 \text{ A} = 4320 \text{ W}$$



شکل ۱۲-۳: مدار مربوط به مثال ۲-۳

۳-۶-۳ مقایسه سیم پیچهای مجاور (SLW) و موجی (SWW)

3-6.3 Comparison of Lap and Wave Windings

در مثالهای (۱-۳) و (۲-۳) یک ژنراتور DC را یکبار با سیم پیچی موجی و یکبار با سیم پیچ مجاور مورد بررسی قرار دادیم و در هر دو حالت تعداد قطبها، هادیها و مشخصات دیگر ماشین یکسان در نظر گرفته شد. حال میتوان گفت:

- ۱- سیم پیچهای (SLW)، (SWW) در مشخصه ماشین تاثیر بسزایی دارند.
- ۲-۱: در سیم پیچی (SLW) جریان اسمی زیاد است ولی ولتاژ تولید شده کم میباشد.

- ۳-۱: در سیم پیچی (SWW) جریان اسمی کم است ولی ولتاژ تولید شده زیاد میباشد .
- ۴-۱: توان اسمی در هر دو سیم پیچی یکسان است .
- ۱-۲: در سیم پیچی (SLW) تعداد مسیرهای موازی مساوی تعداد قطبهاست .
- ۲-۲: در سیم پیچی (SWW) تعداد مسیرهای موازی همواره معادل ۲ میباشد .
- ۳- در یک ماشین DC دو قطبی اگر سیم پیچ از نوع (SLW) باشد ، مشخصه آن با هنگامیکه سیم پیچ از نوع (SWW) باشد یکسان است ، (چرا؟) .
- ۴- در سیم پیچ (SWW) فقط به دو خاروبک نیاز است .
- در اینجا میتوان معادلات اساسی دیگری تعریف نمود . این معادلات مشابه معادلات (۵-۲) در فصل ۲ است .
- در سیستم (ENG) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60a} \quad (3-1a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$E_g = \frac{z\phi P\omega}{2\pi a} \quad (3-1b)$$

همانطور که میدانیم معادلات (۵-۲) مبین ولتاژ تولید شده توسط یک آرمیچر تک کلافی بود که آن کلاف حاوی Z هادی میباشد . اما در اینجا باید تعداد مسیرهای موازی را نیز منظور نمود (a) . بقیه کمیت های ذکر شده در روابط بالا مشابه کمیت های مندرج در روابط (۵-۲) است :

مثال ۲-۳ (سیستم ENG) :

Example 3-3 (English)

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

عدد = تعداد قطبها

عدد ۳۰۰ = تعداد کل هادیها

دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت آرمیچر

۲۰۰ kilolines = شار هر قطب

مطلوبست ولتاژ متوسط تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر :

(الف) سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب) سیم پیچی از نوع SWW باشد.

حل:

از رابطه (۱a - ۳) استفاده میکنیم:

(الف): در حالتی که سیم پیچی از نوع SLW باشد داریم:

$$E_g = \frac{300(200k)(6)(1800) \times 10^{-8}}{60(6)} = 18 \text{ V}$$

(ب): در حالتی که سیم پیچی از نوع (SWW) باشد داریم:

$$E_g = \frac{300(200k)(6)(1800) \times 10^{-8}}{60(2)} = 54 \text{ V}$$

مثال ۳-۴ (سیستم SI):

Example 3-4 (SI)

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۸ = تعداد کل قطبها

عدد ۳۰۰ = تعداد کل هادیها

۱۸۰ = سرعت آرمیچر بر ثانیه

۰/۰۰۲ = شار هر قطب وبر

مطلوبست ولتاژ متوسط تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

حل:

از رابطه (۱b - ۳) استفاده میکنیم:

(الف): در اینحالت داریم:

$$E_g = \frac{300(2 \times 10^{-3})(8)(180)}{2(\pi)(8)} \\ = 17.2 \text{ V}$$

(ب): در اینحالت داریم:

$$E_g = \frac{300(2 \times 10^{-3})(8)(180)}{2(\pi)(2)} = 68.75 \text{ V}$$

Example 3-5 (English)

مثال ۳-۵ (سیستم ENG ۴)؛

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۳۲ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{SWW} = \text{نوع سیم پیچی آرمیچر}$$

$$۸۰۰ = \text{تعداد هادیها}$$

$$۶۰ = \text{سرعت آرمیچر دور در دقیقه}$$

مطلوبست محاسبه شار در قطب مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در آرمیچر ۱۲۰ ولت باشد.

حل:

از رابطه (۱ a - ۳) استفاده میکنیم لذا:

$$E_g = \frac{z\phi PS \times 10^{-8}}{60a}$$

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{60aE_g}{zPS \times 10^{-8}} \\ &= \frac{60(2)(120)}{800(32)(60) \times 10^{-8}} \\ &= 937.5 \text{ kilolines}\end{aligned}$$

Example 3-6 (SI)

مثال ۳-۶ (سیستم SI)

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۳۲ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{SWW} = \text{نوع سیم پیچی آرمیچر}$$

$$۸۰۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$۶ = \text{رادیان بر ثانیه سرعت آرمیچر}$$

مطلوبست شار هر قطب مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در آرمیچر ۱۲۰ ولت باشد.

حل:

از رابطه (b-۳) استفاده میکنیم: لذا:

$$E_R = \frac{z\phi P\omega}{2\pi a}$$

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{2\pi a E_g}{zP\omega} \\ &= \frac{2(\pi)(2)(120)}{800(32)(6)} \\ &= 0.0098 = 9.8 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 3

Symbol	Definition	Units: English and SI
۱ a	Number of parallel paths	—
۲ z	Number of armature conductors	—
۳ V_a	Armature voltage	volts
۴ R_a	Armature resistance	ohms
۵ I_a	Full-load armature current	amperes
۶ E_g	Average (dc) generated voltage of a rotating armature (Note: Although neglected in this chapter, this is greater than V_a by an amount equal to the internal voltage drop across R_a)	volts

علائم اختصاری ذکر شده در فصل ۳:

- ۱ - تعداد مسیرهای موازی
 - ۲ - تعداد هادیهای ارمیچر
 - ۳ - ولتاژ ارمیچر
 - ۴ - مقاومت ارمیچر
 - ۵ - جریان ارمیچر در بار کامل (جریان اسمی ارمیچر)
 - ۶ - ولتاژ متوسط تولید شده توسط ارمیچر.
- این ولتاژ از V_a بزرگتر است و درباره آن بعداً صحبت می‌کنیم.

فصل چهارم
مشخصه‌های ژنراتور DC

۵۶ صفحه

DC GENERATOR CHARACTERISTICS

مشخصه‌های ژنراتور DC

مقدمه:

در این فصل راجع به مدار معادل ژنراتورهای DC صحبت میکنیم و معادلات ساده‌ای برای این ژنراتورها پیدا خواهیم کرد. تحلیل این مدارها مشابه مدارهای ساده DC در درس تئوری مدار است.

۱-۴- معادلات اساسی ژنراتور DC **BASIC GENERATOR EQUATION**

با توجه به معادلات (۱-۳) در میابیم که اگر ژنراتوری طراحی و ساخته شده باشد، تنها در صورتی میتوان ولتاژ تولید شده را تغییر داد که شار تحریک یا سرعت ماشین تغییر نماید. اگر تعداد هادیها (Z)، تعداد قطبها (P) و تعداد مسیرهای موازی (a) را یک کاسه بصورت عدد ثابتی در نظر بگیریم، در اینصورت روابط (۱-۳) اینچنین نوشته میشود.

برای سیستم (ENG) داریم:

$$E_g = K\phi S \quad (4-1a)$$

برای سیستم (SI) داریم:

$$E_g = K'\phi\omega \quad (4-1b)$$

در روابط فوق ضرایب بشرح زیراند:

$$K = \frac{zP \times 10^{-8}}{60a}$$

$$K' = \frac{zP}{2\pi a}$$

در روابط فوق اتحاد بشرح زیراند:

الف: S بر حسب دور در دقیقه بیان میشود.

ب: ω بر حسب رادیان بر ثانیه خواهد بود.

ج: ϕ در سیستم (ENG) بر حسب lines میباشد.

د: ϕ در سیستم (SI) بر حسب وبر بیان گردد.

در روابط (۱-۴) ولتاژ تولید شده با شار تحریک و سرعت (۱) دوران آرمیچر نسبت مستقیم دارد. لذا اگر سرعت یا شار دو برابر گردد، ولتاژ تولید شده نیز دو برابر میگردد. اگر هم سرعت و هم شار دو برابر گردد، در اینصورت ولتاژ تولید شده چهار برابر خواهد شد.

اگر شار را با ϕ و سرعت را با S_1 نشان دهیم در اینصورت ولتاژ تولید شده (۲) اینچنین نوشته میشود.

$$E_{g1} = K\phi S_1$$

اگر شار را ثابت نگهداریم و سرعت را تغییر دهیم (S_2) در اینحالت ولتاژ تولید شده اینچنین است:

$$E_{g2} = K\phi S_2$$

از تقسیم دو رابطه اخیر داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{K\phi S_1}{K\phi S_2}$$

در سیستم (ENG) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{S_1}{S_2} \quad (4-2a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad (4-2b)$$

همچنین اگر سرعت ثابت نگهداشته شود و شار تغییر نماید در اینصورت بهسولت داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \quad (4-3)$$

اگر هم شار و هم سرعت تغییر کند میتوان چنین گفت:

در سیستم (ENG) داریم:

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 S_1}{\phi_2 S_2} \quad (4-4a)$$

در سیستم (SI) داریم :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 \omega_1}{\phi_2 \omega_2}$$

Example 4-1 (English)

مثال ۱-۴ (سیستم ENG) :

یک ژنراتور DC با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد و ۱۴۰ ولت تولید میکند. اگر شار ثابت بماند و سرعت به ۱۶۵۰ دور در دقیقه تقلیل یابد، ولتاژ تولید شده جدید چیست، اگر بخواهیم به ولتاژ اولیه برسیم شار را چقدر باید تغییر دهیم؟

حل:

برای قسمت اول مساله از رابطه (4-2a) استفاده میکنیم لذا :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$\frac{140 \text{ V}}{E_{g2}} = \frac{1800 \text{ rev/min}}{1650 \text{ rev/min}}$$

$$E_{g2} = \frac{1650}{1800}(140) = 128.33 \text{ V}$$

برای قسمت دوم مساله از رابطه (4-4a) استفاده میکنیم :

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 S_1}{\phi_2 S_2}$$

پس:

$$\frac{140 \text{ V}}{140 \text{ V}} = 1 = \frac{\phi_1(1800)}{\phi_2(1650)}$$

لذا:

$$\phi_2 = \frac{1800}{1650} \phi_1 = 1.091 \phi_1$$

پس شار را باید بمیزان ۹/۱٪ اضافه کرد.

Example 4-2 (SI)

مثال ۲-۴ (سیستم SI) :

یک ژنراتور DC با سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۲۰ ولت تولید

میکند. اگر شار ثابت بماند و سرعت به ۱۸۵ رادیان بر ثانیه تقلیل یابد، ولتاژ تولید شده جدید چیست. اگر بخواهیم دوباره به ولتاژ اولیه برسیم شار را باید چقدر تغییر دهیم؟

حل:

برای قسمت اول مساله از رابطه (4-2b) استفاده میکنیم.

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\frac{220 \text{ V}}{E_{g2}} = \frac{200 \text{ rad/s}}{185 \text{ rad/s}}$$

$$E_{g2} = \frac{185}{200} (220) = 203.5 \text{ V}$$

برای قسمت دوم از رابطه (4-4b) استفاده میکنیم.

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\phi_1 \omega_1}{\phi_2 \omega_2}$$

پس:

$$\frac{220 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 1 = \frac{\phi_1 (200)}{\phi_2 (185)}$$

لذا:

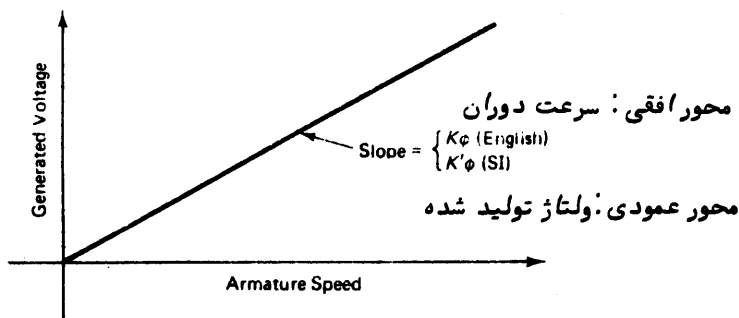
$$\phi_2 = \frac{200}{185} (\phi_1) = 1.081 \phi_1$$

در نتیجه شار را باید بمیزان ۸/۱٪ افزایش داد.

۱-۴-۱ تحلیل ترسیمی معادله ژنراتور DC

4-1.1 Graphical Analysis of the Generator Equation

اگر روابط (4-1a) یا (4-1b) را تحت شرایط شار ثابت رسم کنیم یک منحنی مطابق شکل (۱-۴) حاصل میشود. این منحنی تغییرات ولتاژ تولید شده را بر حسب سرعت، تحت شار ثابت نشان میدهد و پر واضح است که خط مستقیم میباشد.



شکل ۴-۱: تغییرات ولتاژ تولید شده بر حسب سرعت، تحت شار ثابت

Example 4-3 (English)

مثال ۴-۳ (سیستم ENG):

داده‌های (۱) جدول (۴-۱) را در نظر میگیریم و این اعداد از آزمایشی در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه گرفته شده و در طول آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است.

Table 4-1

جدول ۴-۱

E_t (V)	115	120	124	126	130	137
S (rev/min)	1500	1550	1600	1650	1700	1750

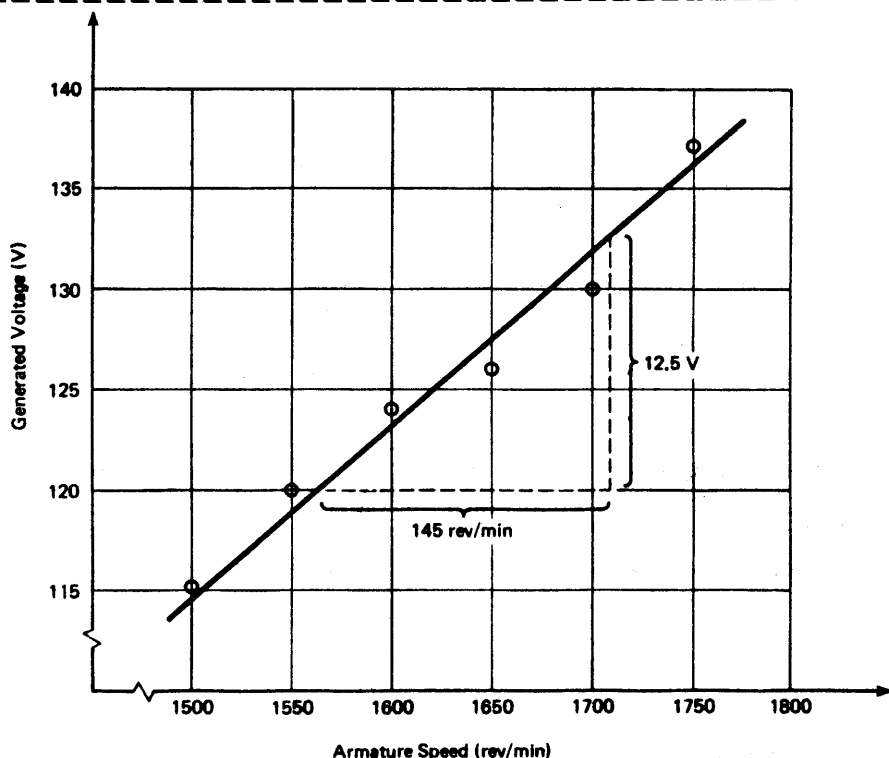
(الف): تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید.

(ب): شیب (۲) خط $(K\phi)$ را بدست آورید.

حل:

(الف): رسم داده‌های فوق بر روی کاغذ شطرنجی مطابق شکل (۴-۲)

میباشد. باید توجه داشت که تمامی نقاط بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند و خط‌طوری رسم شده است که حتی‌الامکان از نزدیک نقاط بگذرد. علت اینکه خط مستقیم رسم



شکل ۲-۴: رسم داده‌های مربوط به مثال ۳-۴

نمودیم این است که با تئوری مطابقت نماید. داده‌ها در عمل بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند زیرا:

- ۱- دقت (۱) ولت‌متر (۲) آزمایشگاه کافی نیست.
- ۲- دور سنج (۳) (سرعت سنج) آزمایشگاه دقیق نمیباشد.
- ۳- خطای با صره اشخاص. مثلاً "ممکن است ۱۲۸ ولت را ۱۲۶ ولت بخوانند.
- (ب): با توجه بشکل (۲-۴) براحتی میتوان شیب خط را بدست آورد و الزاماً نباید از اعداد جدول (۴-۱) استفاده شود. لذا

$$K\phi = \text{slope} = \frac{\text{change in voltage}}{\text{change in speed}} = \frac{12.5 \text{ V}}{145 \text{ rev/min}} = 0.086 \text{ V/(rev/min)}$$

1) Accuracy

2) Voltmeter

3) Tachometer

Example 4-4 (SI)

مثال ۴-۴ (سیستم SI):

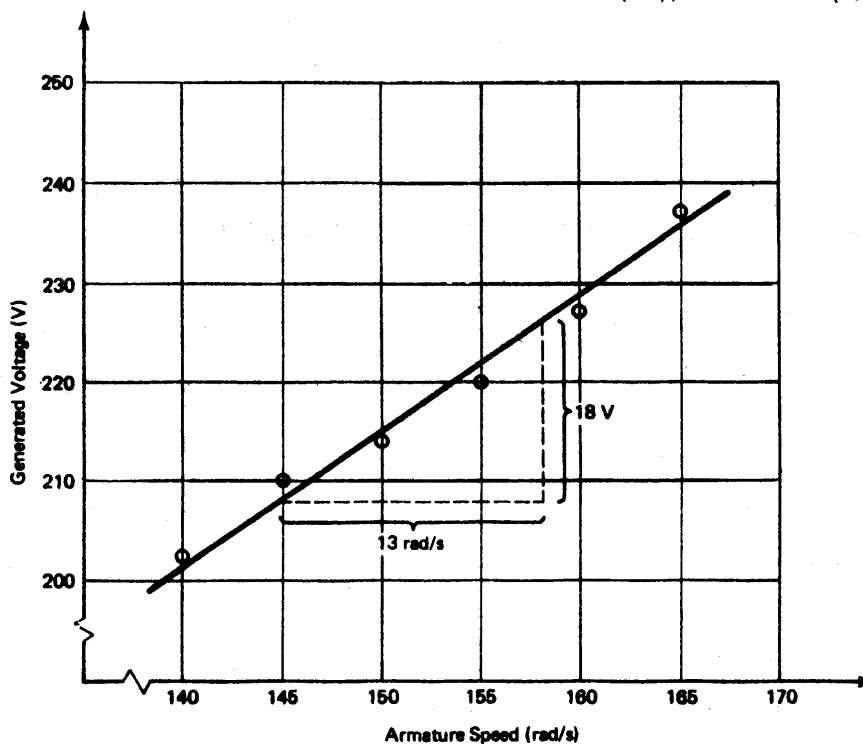
داده‌های جدول (۴-۲) را در نظر میگیریم و این اعداد از آزمایشی در آزمایشگاه ماشین‌های الکتریکی دانشگاه برداشت شده و در طول آزمایش شار ثابت نگهداشته میشود.

Table 4-2

جدول ۴-۲

E_b (V)	202	210	214	220	227	237
ω (rad/s)	140	145	150	155	160	165

(الف): تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید.

(ب): شیب خط $(K'\phi)$ را بدست آورید.

شکل ۴-۳: رسم داده‌های مربوط به مثال ۴-۴

حل

(الف): رسم داده‌های فوق بر روی کاغذ شطرنجی مطابق شکل (۳-۴) میباید باید دقت کرد که تمامی نقاط بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند و خط‌طوری رسم شده که حتی‌الامکان از نزدیک نقاط عبور میکند. علت اینکه خط مستقیم رسم نموده‌ایم آن است که یا تئوری مطابقت نماید داده‌ها در عمل بر روی خط مستقیم قرار نمیگیرند زیرا:

(۱) دقت ولت‌متر آزمایشگاه کافی نیست.

(۲) دور سنج (سرعت سنج) آزمایشگاه دقیق نمیباشد.

(۳) خطای با صره اشخاص، مثلاً "ممکن است ۲۲۹ را ۲۲۷ ولت بخوانند."

(ب): با توجه به شکل (۳-۴) براحتی میتوان شیب خط را بدست آورد.

الزاماً "نباید از اعداد جدول (۲-۴) استفاده شود لذا

$$K'\phi = \text{slope} = \frac{\text{change in voltage}}{\text{change in speed}}$$

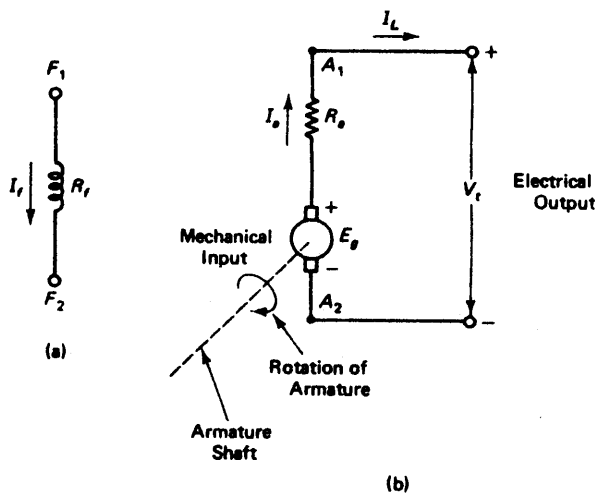
$$= \frac{18 \text{ V}}{13 \text{ rad/s}} = 1.38 \text{ V/(rad/s)}$$

۲-۴ مدار معادل ژنراتور DC

4-2 EQUIVALENT CIRCUIT OF A DC GENERATOR

در رشته‌های علوم و مهندسی تحلیل وسائل و فرایندها بوسیله پیدا کردن مدار معادل^(۱) ساده و دقیق، سهلتر انجام میگردد. در ژنراتورهای DC نیز تحلیل آنها بوسیله مدار معادل راحت‌تر بوده و خواهیم دید که مدار معادل اینگونه ژنراتورها بسیار ساده است.

شکل (۴-۴) را در نظر میگیریم که در آن یک مدار معادل بسیار ساده برای ژنراتور DC بنمایش گذاشته شده است. با تعمیم دادن شکل (۴-۴) میتوان به مدل‌های گوناگون برای انواع ژنراتورهای DC دست یافت. مدار تحریک^(۲)، نشان دهنده آن قسمت از ماشین است که شار (ϕ) را در هسته مغناطیسی تولید میکنند. کل مقاومت مدار تحریک را با R_f و جریان مدار تحریک را با I_f نشان میدهیم. در مدار معادل، آرمیچر را توسط دو قسمت متمایز نشان میدهند.



شکل ۴-۴: طرز نمایش ژنراتور DC (حالت کلی)

a: مدار تحریک

b: مدار آرمیچر

الف - قسمت اول شامل ولتاژ تولید شده در اثر دوران آرمیچر می باشد (E_g)

ب - قسمت دوم شامل کل مقاومت آرمیچر می باشد (R_a)
باید توجه داشت که

۱- الف - (E_g) توسط روابط (۴-۱) محاسبه می شود.

۱- ب - R_a مطابق مطالب ذکر شده در مثالهای (۱-۳) و (۲-۳) محاسبه می گردد. (فصل ۳)

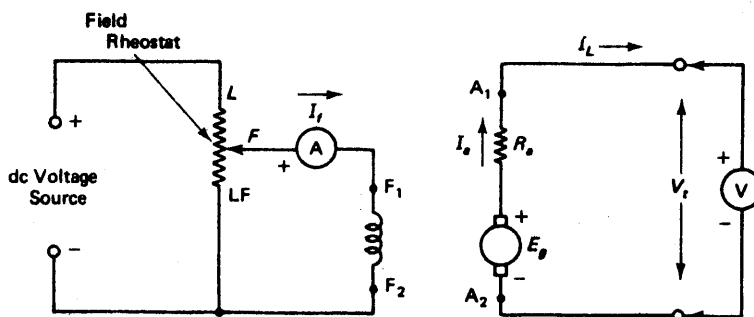
در شکل (۴-۴)، I_a نیز جریان آرمیچر می باشد. جریان I_L مبین جریان تحویلی به مصرف کننده (بار)^(۱) بوده و V_t ولتاژ خروجی^(۲) (ولتاژ ترمینال) ژنراتور DC است. از طریق همین ترمینال خروجی است که توان الکتریکی از طریق ژنراتور تحویل بار (مصرف کننده) میشود. در حالت خاصی که در شکل (۴-۴) نشان داده شده است، جریان آرمیچر با جریان بار برابر است.

خطی که بصورت نقطه چین بر روی شکل (۴-۴) رسم شده مبین محور (۱) ژنراتور میباشد از طریق همین محورهاست که توان مکانیکی به ژنراتور DC اعمال میشود. چرخش محور ژنراتور توسط محرک اولیه (۲) صورت میگیرد. سادهترین نوع محرک اولیه همان توربینها (۳) یا موتورها میباشد.

۳-۴ ژنراتورهای DC از نوع تحریک جداگانه

4-3 SEPARATELY EXCITED GENERATOR

سادهترین نوع ژنراتورهای DC همان ژنراتورهای با تحریک جداگانه (۴) میباشد ولی از مقبولیت کمی برخوردار است (شکل ۵-۴). علت کمی مقبولیت نیاز به منبع ولتاژ DC، جداگانه جهت تغذیه سیم پیچ تحریک میباشد. باید توجه کرد که مدار تحریک شامل یک رثوستا بوده که بوسیله آن میتوان جریان تحریک را تغییر داد. با تغییرات جریان تحریک، شار (ϕ) نیز تغییر میکند و بالنتیجه طبق روابط (۱-۴) میتوان ولتاژ تولید شده را تنظیم نمود. آمپر متر (A) و ولت متر (V) به ترتیب در مدار تحریک و ولتاژ ترمینال قرار میگیرند تا هنگام آزمایش بر روی ماشین بتوان دادهها را مشخص نمود. با توجه به شکل (۵-۴) در میابیم که با تنظیم رثوستا میتوان جریان تحریک را صفر نمود (چرا؟).



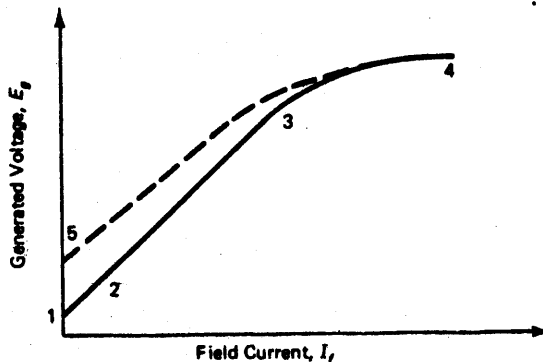
شکل ۵-۴: ژنراتور DC با تحریک جداگانه

- | | | |
|-----------------------|----------------|-------------|
| 1) Shaft | 2) Prime-mover | 3) Turbines |
| 4) SEPERATELY-Excited | | |

۱-۳-۴ منحنی مغناطیسی شونددگی در حالت بی‌باری در یک ژنراتور DC با

تحریرک جداگانه 4-3.1 No-Load Magnetization Curve

هنگامیکه یک مدار الکترونیکی طراحی میشود از مشخصه‌های ترانزیستورها برای تعیین رفتار مدار استفاده میکنند. همچنین از منحنیهای مغناطیس شونددگی برای تعیین مشخصه‌های داخلی (۱) ژنراتورهای DC استفاده میشود. منحنیهای مغناطیس شونددگی نشان دهنده تغییرات ولتاژ تولید شده (E_g) بر حسب جریان تحریک (I_f) در تحت سرعت مفروض میباشد. با افزایش جریان تحریک، شار نیز زیاد میگردد و در نتیجه ولتاژ تولید شده متعاقباً افزونتر میشود. از روابط (۱-۴) در میابیم که این تغییرات باید خطی باشد. اما اگر مطالب بخش (۱-۲) در فصل اول را بخاطر آوریم در میابیم که رفتار مواد فرو مغناطیسی با مواد غیر فرو مغناطیسی متفاوت بوده و مشخصه‌هایی مانند شکل (۵-۱) برای مواد فرو مغناطیسی حاصل گردید. در نتیجه این انتظار نیز میرود که تغییرات ولتاژ تولید شده (E_g) بر حسب جریان تحریک مطابق شکل (۴-۶) میباشد.



شکل ۴-۶: منحنی مغناطیس شونددگی در حالت بی‌باری

از مدار شکل (۵-۴) میتوان کمک گرفت و منحنی شکل (۴-۶) را رسم نمود. حالت بی‌باری ژنراتور DC موقعی است که جریان مصرفی بار صفر باشد ($I_L = 0$). در این حالت خاص I_a و I_L که مساوی یکدیگرند هر دو صفر میگردد و در دو سر مقاومت آرمیچر افت ولتاژی (۲) پدیدار نمیشود. در نتیجه در حالت بی‌باری E_g و V_t با

هم مساوی خواهند بود. در حقیقت ولت‌متر (V) که Vt را اندازه گیری میکند، E_g را نیز میخواند.

حال آزمایش را آغاز میکنیم. با آنکه در ابتدای آزمایش جریان تحریک صفر است اما شار به مقدار اولیه‌ای ناشی از پس ماند مغناطیسی وارد عمل میشود. در نتیجه در هنگامیکه جریان تحریک صفر است ولتاژ کمی حاصل میگردد. (نقطه ۱ در شکل ۶-۴). با افزایش جریان تحریک (I_f) ولتاژ تولید شده نیز بطور خطی افزایش مییابد (نقاط ۲ و ۳ در شکل ۶-۴). در حوالی نقطه ۳ اشباع شدن هسته آغاز میگردد و در نتیجه افزایش چشمگیر جریان تحریک (I_f) باعث افزایش بسیار ناچیز شار و در نتیجه افزایش بسیار کم ولتاژ تولید شده (E_g) میشود. ژنراتور معمولاً "در ناحیه اشباع کار میکند. حال اگر جریان تحریک را کاهش دهیم، در اینصورت بر روی منحنی خط چین برمیگردیم (نقطه ۴ تا ۵ در شکل ۶-۴). این امر بخاطر پدیده هیستریزیس میباشد (به فصل اول رجوع شود). بدلیل پدیده هیستریزیس است که هنگام آزمایش جریان تحریک را دائماً زیاد کرده تا به حداکثر خود برسد و در حین آزمایش جریان تحریک را کم و زیاد نمیکیم و اگر اتفاقاً چنین امری بوقوع پیوست، منحنی از دقت کافی برخوردار نخواهد بود.

Example 4-5 (English)

مثال ۴-۵ (سیستم ENG)

جدول (۴-۳) را در نظر میگیریم که در آن داده‌هایی مربوط به آزمایش بی‌باری ژنراتور DC با تحریک جداگانه مندرج است مدار این آزمایش مطابق شکل (۴-۵) بوده و فرض میکنیم سرعت دوران ژنراتور در این آزمایش ۱۷۰۰ دور در دقیقه باشد.

(الف): منحنی مغناطیسی شونگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید.

(ب): منحنی مغناطیسی شونگی را برای سرعت ۱۴۰۰ دور در دقیقه رسم کنید.

Table 4-3

جدول ۴-۳

I_f (A)	0	0.1	0.16	0.22	0.3	0.35	0.45
E_{g1} (V)	5	22	40	50	80	88	91

حل

(الف): منحنی مورد نظر در شکل (۴-۷) بصورت مشکی توپر رسم شده است.

(ب): برای هر شار ذکر شده در جدول (۴-۳) میتوان ولتاژ تولید شده را

در سرعت جدید حساب نمود. از رابطه (4-2a) داریم .

$$\frac{E_{s1}}{E_{s2}} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$E_{s2} = \frac{S_2}{S_1}(E_{s1})$$

بعنوان مثال برای دو نقطه میتوان گفت

$$I_f = 0: \quad E_{s2} = \frac{1400}{1700}(5) = 4.1 \text{ V}$$

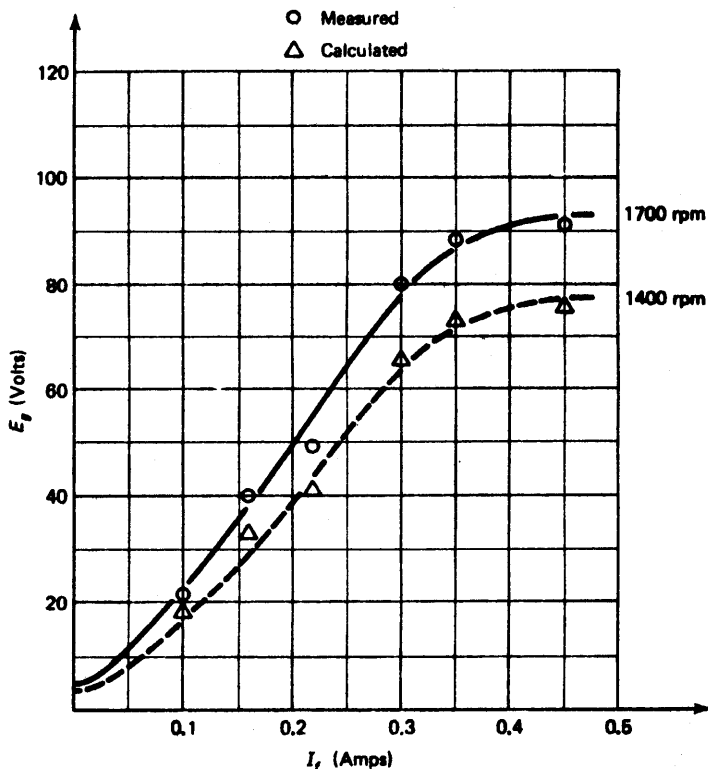
$$I_f = 0.1: \quad E_{s2} = \frac{1400}{1700}(22) = 18.1 \text{ V}$$

پس بسهولت قادریم جدول (۴-۴) را برای سرعت جدید بسازیم .

جدول ۴-۴

Table 4-4

I_f (A)	0	0.1	0.16	0.22	0.3	0.35	0.45
E_{s2} (V)	4.1	18.1	32.9	41.2	65.9	72.5	74.9



شکل ۴-۷: منحنی‌های مربوط به مثال ۴-۵

منحنی مربوط به جدول (۴-۴) در شکل (۴-۷) بصورت خط چین رسم شده است .

Example 4-6 (SI)

مثال ۴-۶ (سیستم SI)

مداری مطابق شکل (۴-۵) میبندیم. داده‌های مربوط به آزمایش بی‌باری در جدول (۴-۵) آمده است. فرض میکنیم این اعداد مربوط به سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه باشد.

(الف): منحنی مغناطیسی شونددگی را در سرعت فوق‌الذکر رسم کنید.
(ب): اگر سرعت ژنراتور به ۱۲۰ رادیان بر ثانیه تقلیل یابد منحنی مغناطیس شونددگی را رسم نمائید.

Table 4-5

جدول ۴-۵

I_f (A)	0	0.2	0.36	0.5	0.65	0.82	1.0
E_{g1} (V)	8	30	65	102	118	132	137

حل:

(الف): با استفاده از جدول (۴-۵) میتوان منحنی را مطابق شکل (۴-۸) رسم نمود. (منحنی توپر مشکی).
(ب): برای هر شار ذکر شده در جدول (۴-۵) میتوان ولتاژ تولید شده را در سرعت جدید حساب نمود. از رابطه (4-2b) داریم.

$$\frac{E_{g1}}{E_{g2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$E_{g2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}(E_{g1})$$

بعنوان مثال برای دو نقطه داریم

$$I_f = 0: \quad E_{g2} = \frac{120}{200}(8) = 4.8 \text{ V}$$

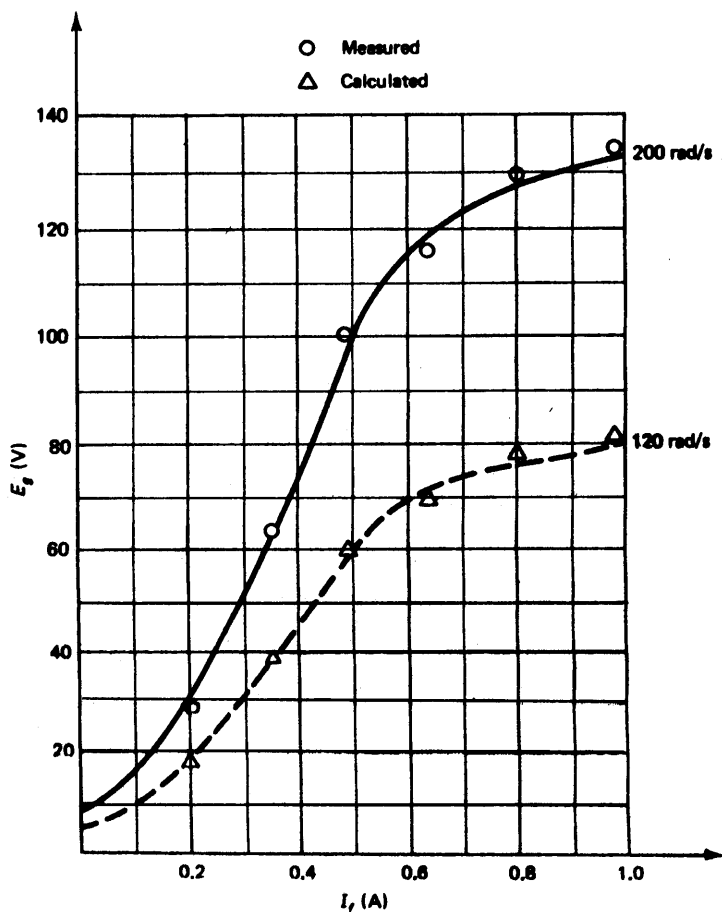
$$I_f = 0.2: \quad E_{g2} = \frac{120}{200}(30) = 18 \text{ V}$$

پس بسهولت قادریم جدول (۴-۶) را برای سرعت جدید بسازیم

Table 4-6

جدول ۴-۶

I_f (A)	0	0.2	0.36	0.5	0.65	0.82	1.0
E_{g2} (V)	4.8	18	39	61.2	70.8	79.2	82.2



شکل ۴-۸: منحنی‌های مربوط به مثال ۴-۶

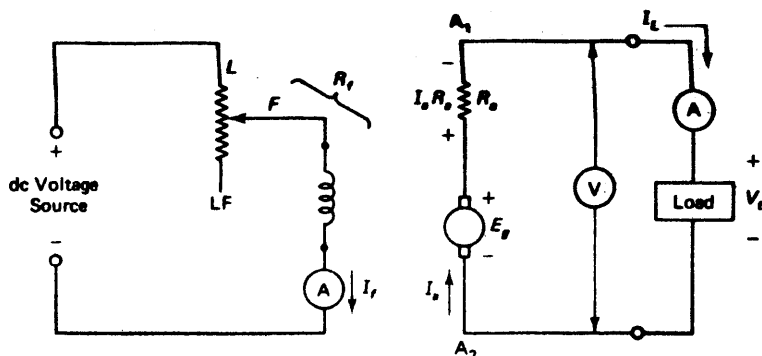
منحنی مربوط به جدول (۴-۶) در شکل (۴-۸) بصورت خط چین رسم شده است.

۴-۴ VOLTAGE REGULATION

۴-۴-۲ تنظیم ولتاژ

معمولا "ژنراتور DC در شرایط بارداری کار میکند. عبارت دیگر ترمینال ژنراتور به مصرف کننده (بار) متصل است و این مصرف کننده به نوعی توان الکتریکی یا جریان از ژنراتور طلب میکند. اتصال بار به ژنراتور DC با تحریک جداگانه مطابق شکل (۴-۹) میباشد. اتصال رثوستا در این حالت با حالت بی‌باری (شکل ۵-۴) متفاوت است، اما در این روش نیز شار قابل کنترل خواهد بود. در این مدار R_f مبین مجموع مقاومت مدار تحریک و آن قسمت از رثوستاست که در مدار قرار میگیرد چون در این حالت بار نیز به ژنراتور متصل است در این صورت جریان بار (I_L) نیز برقرار میگردد. همانطور که میبینیم بار با آرمیچر نیز بطور سری قرار گرفته و در نتیجه I_a و I_L با هم برابرند. چون در این حالت جریان در آرمیچر برقرار میشود، لذا در دو سر مقاومت آرمیچر افت ولتاژ خواهیم داشت $(I_a R_a)$. نتیجه آنکه ولتاژ ترمینال (V_t) همواره از ولتاژ تولید شده (E_g) کمتر خواهد بود. عبارت ساده‌تر داریم

$$V_t = E_g - I_a R_a \quad (4-5)$$



شکل ۴-۹: ژنراتور DC با تحریک جداگانه در تحت شرایط بارداری

تنظیم ولتاژ بمعنی تغییرات ولتاژ ترمینال در ازاء افزایش جریان بار (I_L) میباشد. با آنکه میتوان تنظیم ولتاژ را در تحت هر شرایطی از بار محاسبه کرد، ولی معمولا "تنظیم ولتاژ در تحت شرایط اسمی ماشین محاسبه میگردد و به آن تنظیم ولتاژ در بار اسمی (بار کامل) (I_L) گفته میشود شرایط اسمی ماشین بر روی پلاک (I_L) آن نوشته شده است

1) Load-Current

2) Full-Load

3) nameplate

بعبارت ساده‌تر، توان اسمی^(۱) ماشین، مقدار توانی است که ژنراتور می‌تواند بدون اینکه صدمه‌ای ببیند به بار تحویل دهد (برحسب کیلو وات). همچنین ولتاژ اسمی^(۲) ماشین آن ولتاژیست که تحت آن توان اسمی می‌تواند بدون در دسترس تحویل بار گردد. سرعت اسمی^(۳) ماشین نیز معمولاً "سرعتی است که باید ژنراتور مطابق آن چرخانده شود. تنظیم ولتاژ طبق رابطه (۴-۶) محاسبه می‌شود و معمولاً "بر حسب درصد نوشته می‌گردد.

$$\% \text{ voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad (4-6)$$

در رابطه اخیر داریم

- ۱- V_{NL} - ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری می‌باشد.
 - ۲- V_{FL} - ولتاژ ترمینال در حالت بار اسمی (بار کامل) خواهد بود.
- بعبارت ساده‌تر V_{FL} همان ولتاژ اسمی ماشین است.
- باید گفت که از رابطه فوق می‌توان برای انواع ژنراتورهای DC استفاده نمود.

Example 4-7

مثال ۴-۷

یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه طبق مشخصات ذیل مفروض است

- ۱- کیلو وات ۵ = توان اسمی
 - ۲- ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال
- هرگاه بار از روی ژنراتور برداریم، ولتاژ ترمینال ۱۳۸ ولت می‌گردد، تنظیم ولتاژ را بدست آورید.

حل

با استفاده از رابطه (۴-۶) داریم

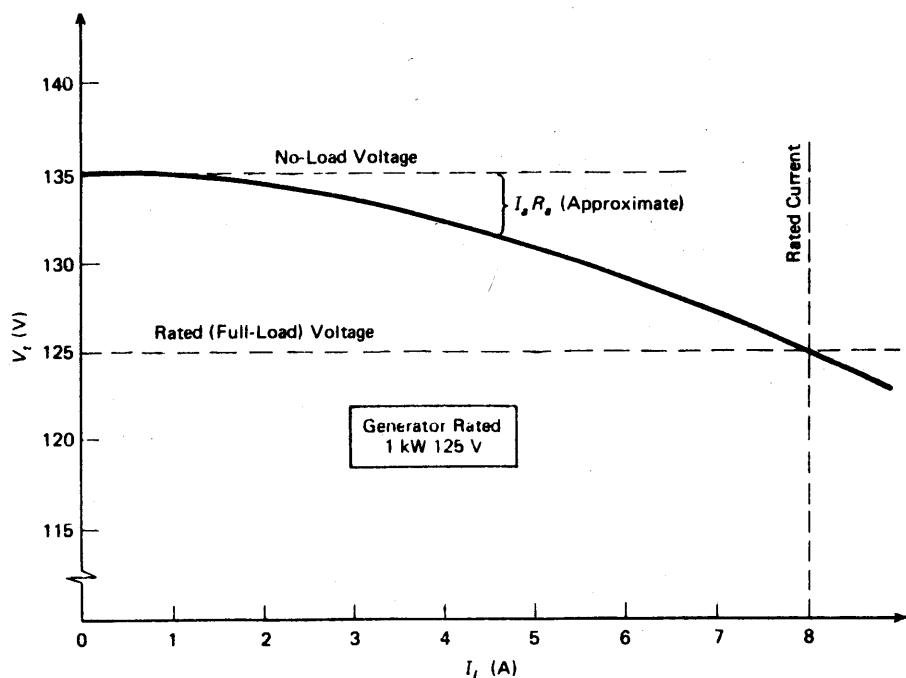
$$\% \text{ V.R.} = \frac{138 - 120}{120} \times 100 = 15\%$$

منحنی مغناطیس‌شوندگی تصویری از مشخصه‌های داخلی ژنراتور ترسیم می‌کند، اما منحنی دیگری نیز وجود دارد که برای تحلیل ژنراتورهای DC از نظر بار خارجی با اهمیت تلقی

- 1) Rated power
- 3) Rated-Speed

- 2) Rated Voltage

میگردد. به این منحنی، مشخصه بار (۱) گفته میشود. منحنی مشخصه بار تغییرات ولتاژ ترمینال را بر حسب جریان بار نشان میدهد. شکل (۱۰-۴) نشان دهنده یک منحنی مشخصه بار برای یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه میباشد، توان اسمی این ژنراتور یک کیلو وات و ولتاژ اسمی ترمینال آن ۱۲۵ ولت است. خط چینهای افقی و عمودی در این شکل مشخص کننده شرایط اسمی ماشین است. اختلاف بین منحنی مشخصه بار و منحنی مربوط به حالت بی باری، باید در حقیقت همان افت ولتاژ $R_a I_a$ باشد (به رابطه ۵-۴ رجوع شود). طبق این استدلال منحنی مشخصه بار باید بصورت خطی نزول نماید. اما باید گفت که بخاطر عکس العمل آرمیچر (فصل سوم)، شار ثابت نمانده و با افزایش جریان آرمیچر بمیزان کمی کاهش مییابد. در نتیجه منحنی مشخصه بار در هنگام نزول انحناء خواهد داشت (شکل ۱۰-۴).



شکل ۱۰-۴: منحنی مشخصه بار برای یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه

1) Load- Characteristic

مثال ۸-۴

Example 4-8

مشخصه بار ژنراتوری در شکل (۱۰-۴) رسم شده است (ژنراتور DC با تحریک حداکانه)

(الف) : درصد تنظیم این ژنراتور DC چیست .

(ب) : ثابت کنید جریان اسمی ژنراتور ۸ آمپر است .

حل :

(الف) : ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری موقعی حاصل می‌شود که $I_L = 0$ باشد . در نتیجه V_{NL} مساوی ۱۳۵ ولت خواهد بود . ولتاژ اسمی (ولتاژ دربار کامل) موقعی بدست می‌آید که جریان بار ، همان جریان اسمی ماشین باشد (۸ آمپر) ، لذا V_{FL} معادل ۱۲۵ ولت خواهد بود . با استفاده از رابطه (۶-۴) داریم

$$\% V.R. = \frac{135 - 125}{125} \times 100 = 8\%$$

(ب) : جریان اسمی را میتوان از روی پلاک ماشین نیز حساب کرد ، لذا

$$\text{rated power output} = \text{rated voltage} \times \text{rated current}$$

$$1 \text{ kW} = 125 \text{ V} \times I_{\text{rated}}$$

$$I_{\text{rated}} = \frac{1000 \text{ W}}{125 \text{ V}} = 8 \text{ A}$$

4-5 GENERATOR EFFICIENCY

۵-۴ راندمان ژنراتور DC

بطور کلی راندمان هر ژنراتور DC نسبت توان الکتریکی خروجی به توان مکانیکی ورودی میباشد . فرم ریاضی برای تعیین راندمان طبق معادله (۷-۴) خواهد بود .

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (4-7)$$

در رابطه اخیر P_o توان الکتریکی خروجی و P_i توان مکانیکی ورودی میباشد . این توانها رامیتوان بر حسب وات ، کیلو وات ، اسب بخار و غیره بیان نمود . البته هنگام استفاده از رابطه فوق آحاد هر دو توان باید یکسان باشد . معمولاً "بخاطر تلفات درونی

ژنراتور DC توان ورودی همواره از توان خروجی بزرگتر است و در نتیجه راندمان نیز کمتر از ۱۰۰٪ خواهد بود.

مثال ۴-۹

Example 4-9

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است

کیلو وات ۱ = توان اسمی

ولت ۱۲۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

اگر توان ورودی ۲ اسب بخار باشد، راندمان ژنراتور DC را حساب کنید.

حل:

توان خروجی یک کیلو وات بوده و توان ورودی ۲ اسب بخار میباشد لذا هر دو

را در یک سیستم اتحادی بیان میداریم.

$$P_o = 1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

$$P_i = 2 \text{ hp} = 2 \text{ hp}(746 \text{ W/hp}) = 1492 \text{ W}$$

پس

$$\eta = \frac{1000}{1492} \times 100 = 67\%$$

4-5.1 Stray Power Losses

۱-۵-۴ تلفات توان سرگردان

قبل از اینکه در ژنراتور DC انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل شود، قسمتی از انرژی مکانیکی ورودی به ژنراتور که از طرف محرک اولیه تامین میگردد، تلف خواهد شد و به آن تلفات توان سرگردان^(۱) یا تلفات چرخشی^(۲) اتلاق میگردد. در زیر چند نوع تلفات را شرح میدهیم که همگی در زیر چتر تلفات توان سرگردان قرار میگیرند.

۱-۵-۴-۱ تلفات ناشی از اصطکاک

همانطور که میدانیم در ژنراتورهای DC جاروبکها با کموتاتور تماس دارند و در اثر چرخش رتور و کموتاتور، بین جاروبکها و کموتاتور اصطکاک بوجود میآید. در نتیجه در اثر این اصطکاک تلفات انرژی بصورت گرما حاصل میشود.

همچنین محور ژنراتورهای DC بر روی یاطاقانهایی قرار گرفته که بخوبی روغنکاری شده است. در اثر دوران رتور باز هم بین محور و یاطاقانهایی روغنکاری شده (۱) اصطکاک بوجود می‌آید و این اصطکاک با سرعت متناسب می‌باشد. باید توجه داشت که این اصطکاک در سرعتهای پائین کمتر بوده ولی در سرعتهای بالا قابل ملاحظه خواهد بود.

۲-۱-۵-۴ تلفات ناشی از تهویه

در اثر دوران رتور مقاومت باد و هوای اطراف رتور نیز با حرکت رتور مخالفت میکند لذا باید مقدار انرژی بیشتری به ماشین وارد کرد تا بتواند این مخالفت را جبران کند. همچنین در ماشینهای بسیار بزرگ به محور ماشین پنکه‌هایی (۲) متصل است که برای خنک کردن ماشین مورد استفاده قرار میگیرند، در نتیجه باد این پنک‌ها نیز با حرکت رتور مخالفت میکند و باید انرژی بیشتری جهت خنثی کردن اصطکاک باد پنکه‌ها به ماشین اعمال نمود.

۳-۱-۵-۴ تلفات هیسرزیس

هنگامیکه ارمیچر در وضعیت مفروضی قرارگیرد، خاصیت مغناطیسی پیدا می‌کند. هرگاه بخواهیم ارمیچر را بچرخانیم، شار درون ارمیچر نیز باید وضعیت خود را تغییر دهد، لذا جهت انجام این امر باید انرژی مصرف گردد. این مطلب شبیه حالتی است که دو قطب مثبت و منفی همدیگر را جذب کرده‌اند و مقداری انرژی لازم است تا آنها را از هم جدا سازیم. این تغییرات سیکلی شار در ارمیچر باعث تلفات هیسرزیس می‌شود و این تلفات با سرعت و شار متناسب است.

۴-۱-۵-۴ تلفات جریان گردابی

در فصل ۲ دریافتیم که اگر یک هادی درون میدان مغناطیسی طوری حرکت کند که خطوط شار را قطع کند، در آن هادی ولتاژ القاء میگردد. (قانون فاراده). هنگام دوران آرمیچر نه تنها سیمهای آرمیچر خطوط شار را قطع میکنند، بلکه هسته آرمیچر نیز

خطوط شار را قطع خواهد نمود. از آنجائی که هسته‌ها نیز هادی محسوب میشوند، لذا طبق قانون فاراده در آنها ولتاژ القاء شده و بالنتیجه در هسته‌ها نیز جریان بنام جریان گردابی^(۱) بحرکت درمیآید. از آنجائیکه هسته‌ها نیز مقاومت نیز دارند، لذا تلفات جریان گردابی بصورت RI^2 بوده و باعث گرم شدن آرمیچر میشود. برای کاهش تلفات ناشی از جریان گردابی باید هسته آرمیچر را از ورقهای نازک بهم چسبیده بسازیم و از فلز یک تکه استفاده نکنیم. علت این امر آن است که موری کردن آرمیچر مقاومت الکتریکی آنرا بالا برده و لذا جریان گردابی کاهش مییابد که غایت امر به کاهش تلفات منجر میگردد. باید گفت که موری کردن فقط مقاومت الکتریکی هسته را افزایش میدهد و در رلوکتانس هسته تغییر چندانی ایجاد نمیکند، لذا شار کاهش پیدا نخواهد کرد. لازم به تذکر است که تلفات ناشی از جریان گردابی با مجذور سرعت و شار متناسب است. از بحث فوق میتوان توان تلفات سرگردان فوق‌الذکر به دو گروه تقسیم کرد.

الف - گروه اول شامل تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه که اصطلاحاً "به تلفات مکانیکی^(۲)

معروفند.

ب - گروه دوم شامل تلفات ناشی از هیسرزیس و جریان گردابی که به تلفات هسته^(۳)

مشهور هستند.

4-5.2 Copper Losses

۲-۵-۴ تلفات مسی

میدانیم اگر از یک مقاومت جریان I عبور کند، تلفات توان بصورت RI^2 بوده و به فرم حرارت مییابد. شکل (۹-۴) را باز نگری میکنیم در اینصورت میبینیم که در مدار تحریک تلفات توان بصورت $R_f I_f^2$ بوده و در مدار آرمیچر تلفات بفرم $R_a I_a^2$ خواهد بود. چون سیمهای آرمیچر و مدار تحریک مسی هستند، اصطلاحاً "به تلفات فوق‌الذکر تلفات مسی نیز اطلاق میگردد.

4-5.3 Stray Load Loss

۳-۵-۴ تلفات بار سرگردان

نحوه محاسبه تلفات بار سرگردان نسبتاً پیچیده و از حوصله این کتاب

- 1) Eddy Current
- 3) Core-losses

- 2) Mechanical losses

خارج است فقط در اینجا ذکر میکنیم که :

الف - برای ماشینهای DC کوچک از این تلفات صرفنظر میکنیم

ب - برای ماشینهای DC ، ۱۵۰ کیلوواتی به بالا این تلفات را ۱٪ توان اسمی ماشین در نظر میگیریم

4-5.4 Power Flow Diagram

۴-۵-۴ نمودار (دیاگرام) پخش توان

برای درک بهتر پخش توان در ژنراتور DC بهتر است از نمودار (دیاگرام) شکل (۴-۱۱) استفاده شود. از طریق محور ماشین، توان مکانیکی به ژنراتور اعمال میشود. قبل از اینکه توان مکانیکی ورودی به توان تبدیل شود، مقداری از توان مکانیکی ورودی بصورت تلفات توان سرگردان هدر میرود (به بخش قبل مراجعه شود). لذا تفاضل توان مکانیکی ورودی و تلفات توان سرگردان به توان الکتریکی تبدیل خواهد شد ($E_g I_a$). از این توان الکتریکی بدست آمده مقدار نیز بصورت تلفات مسی هدر میرود. لذا توان الکتریکی خالص خارج شده از ژنراتور معادل تفاضل توان الکتریکی $E_g I_a$ و تلفات مسی درون ماشین خواهد بود. با توجه به نکات فوق میتوان رابطه زیر را نوشت

$$P_i = P_o + \text{losses} \quad (4-8)$$

که در آن

P_i = توان مکانیکی ورودی به ژنراتور

P_o = توان خالص الکتریکی خارج شده از ژنراتور

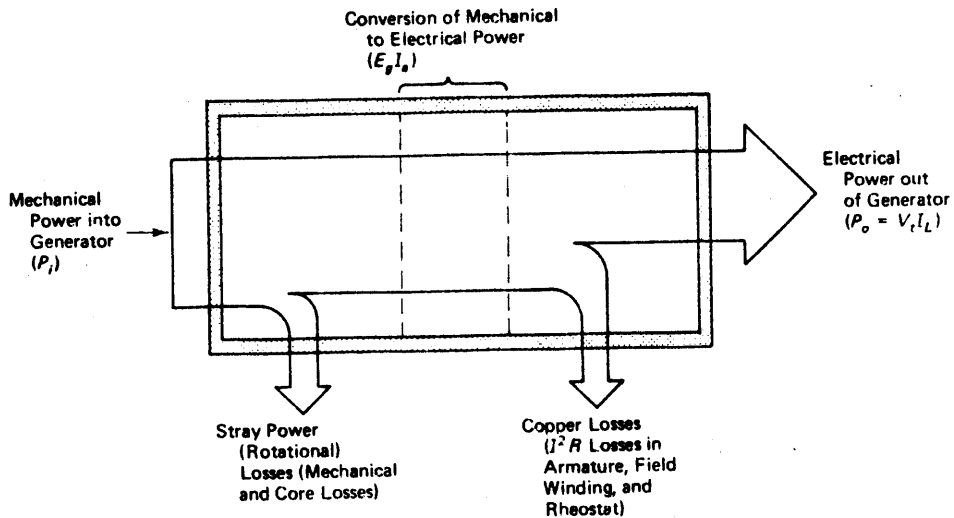
Losses = کل تلفات اعم از تلفات مسی و تلفات توان سرگردان

با جایگزینی رابطه (۴-۸) در معادله (۴-۷) راندمان ژنراتور DC حاصل می‌شود.

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_o + \text{losses}} \times 100 \quad (4-9)$$

رابطه (۴-۹) بسیار با ارزش است زیرا میتوان بدون داشتن توان ورودی راندمان را حساب کرد. علت اینکه از توان ورودی در معادله راندمان پرهیز میکنیم آن است که توان ورودی یک توان مکانیکی بوده و اندازه‌گیری آن قدری مشکل است. البته

باید خاطر نشان ساخت که توان خروجی و تلفات مس بسهولت قابل محاسبه و اندازه گیری هستند. همچنین برای محاسبه تلفات توان سرگردان میتوان ژنراتور را بحالت موتور بی بار درآورد. درباره این موضوع در فصل ۵ (بخش ۳-۵-۵) بیشتر صحبت میکنیم. در اینجا متذکر میشویم که هر ژنراتور میتواند بحالت موتوری درآید و همچنین هر موتوری را میتوان بصورت ژنراتور درآوریم. بعنوان مثال اگر محور ماشین بوسیله محرک اولیه چرخانده شود، در اینصورت در ترمینال ماشین توان الکتریکی خواهیم داشت (حالت ژنراتوری) و اگر به ترمینال ماشین ولتاژ DC اعمال گردد، بر روی محور ماشین توان مکانیکی ظاهر خواهد شد و محور بچرخش در می آید (حالت موتوری). در خاتمه متذکر می شویم که نمودار پخش توان فوق الذکر برای تمامی ژنراتورهای DC عمومیت دارد.



شکل ۱۱-۴: دیاگرام پخش توان در ژنراتور DC

Example 4-10

مثال ۱۰-۴

یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو وات ۲ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

وات ۱۵۰ = مقدار ثابت = تلفات توان سرگردان

وات ۲۸۰ = تلفات مسی دربار اسمی

اگر این ژنراتور توسط موتوری بچرخش درآید . توانی را که موتور باید بر محور ژنراتور اعمال کند چقدر است و همچنین راندمان ژنراتور را حساب کنید (توجه کنید که تمام محاسبات باید در شرایط بار اسمی صورت گیرد) .

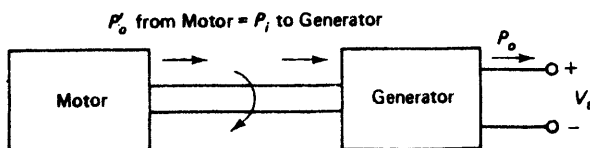
حل

توان ورودی به محور ژنراتور DC از طریق موتور که محرک اولیه محسوب می‌گردد

تامین میشود (شکل ۱۲ - ۴) . با توجه به رابطه (۸ - ۴) داریم .
 $P_i = P_o + \text{losses}$
 در رابطه اخیر P توان اسمی ژنراتور است لذا

$$P_i = 2000 \text{ W} + \underbrace{150 \text{ W} + 280 \text{ W}}_{\text{total losses}}$$

$$= 2430 \text{ W}$$



شکل ۱۲ - ۴ : دیاگرام مربوط به مثال ۱۰ - ۴

در نتیجه توانی که باید از طریق موتور بر محور ژنراتور اعمال شود این چنین حساب میشود :

$$(\text{from motor}) \quad P_o' = \frac{2430 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 3.26 \text{ hp}$$

علت اینکه در رابطه اخیر توان را بر حسب اسب بخار (hp) بیان کرده‌ایم این است که توان ورودی به محور ژنراتور یک کمیت مکانیکی است . حال از رابطه (۷ - ۴) استفاده کرده و راندمان را بدست می‌آوریم .

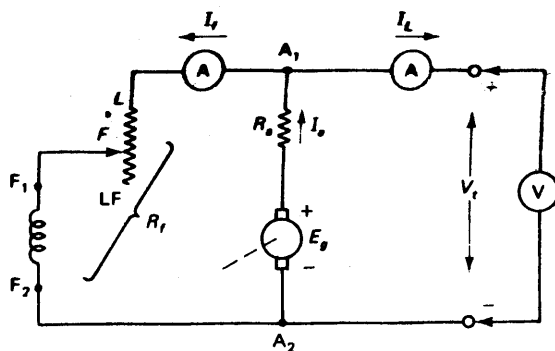
$$\eta = \frac{2000 \text{ W}}{2430 \text{ W}} \times 100 = 82.3\%$$

4-6 SHUNT GENERATOR

۴-۶ ژنراتور DC موازی یا شنت

امروزه ژنراتورهای DC با تحریک خودی^(۱) از مقبولیت بیشتری برخوردارند زیرا به یک منبع DC جداگانه برای مدار تحریک نیازی نمیباشد (برعکس سیستم شکل ۴-۹ که یک ژنراتور با تحریک جداگانه است).

در ژنراتورهای DC با تحریک خودی، مدار تحریک توسط ولتاژ تولید شده توسط خود ژنراتور تغذیه میگردد. شاید این سوال برای شما مطرح شود که در ابتدای خلقت تخم مرغ بوجود آمد یا در ابتدا مرغ وجود داشت. علت اینکه این ضربالمثل را مطرح میسازیم این است که در ژنراتورهای DC با تحریک خودی نیز این سوال مطرح است که آیا در ابتدا جریان تحریک در مدار برقرار میگردد یا ابتدا ولتاژ در دو سر ژنراتور پدیدار میشود. در اینجا به این سوال اینچنین پاسخ میدهیم که همواره بخاطر اثر هیستریزیس (فصل اول) و پدیده پسماند همواره مقداری شار در هسته وجود دارد. یکی از متداولترین ژنراتورهای DC با تحریک خودی همان ژنراتور DC شنت (موازی) میباشد (شکل ۱۳-۴)



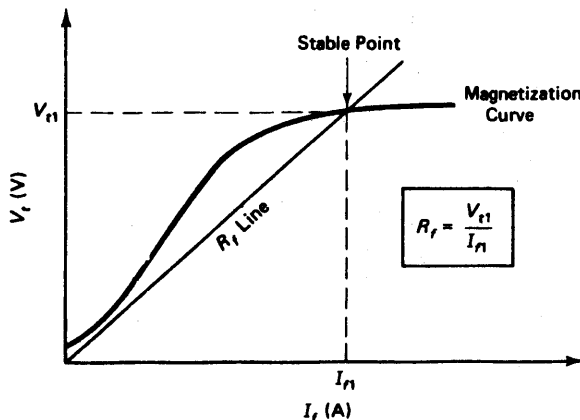
شکل ۱۳-۴: ژنراتور DC شنت (موازی)

علت اینکه به این ژنراتورها صفت شنت یا موازی اضافه میگردد آنستکه سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر موازی میباشد. در این سیستم نیز میتوان در مدار تحریک یک رگوستا نصب نمود و به آن رگوستای تحریک موازی (رگوستای تحریک شنت) اتلاق میگردد. نقش این رگوستا کنترل جریان تحریک و بالنتیجه کنترل ولتاژ تولید شده توسط ماشین

1) Self-excited

است. هرگاه ژنراتور DC شنت را از حالت سکوت در حالت بی‌باری بچرخش درآوریم، پس‌ماند مغناطیسی در هسته برای تولید ولتاژ اولیه نسبتاً کم کافی می‌باشد. این ولتاژ باعث می‌شود که در سیم پیچ آرمیچر جریان برقرار گردد. این جریان آرمیچر وارد مدار تحریک شنت شده و بالنتیجه جریان تحریک افزایش می‌یابد که خود باعث افزونتر شدن ولتاژ تولید شده توسط ژنراتور میگردد (شکل ۱۳-۴). با زیاد شدن ولتاژ دوباره جریان آرمیچر و بالمال جریان تحریک شنت بیشتر میگردد و این پروسه افزونتر شدن جریان تحریک شنت و ولتاژ تولید شده آنقدر ادامه می‌یابد تا بحالت پایدار برسیم. منظور از حالت پایدار آن است که به نقطه‌ای خواهیم رسید که جریان تحریک شنت^(۱) (I_f) بتواند شاری تولید کند که در نتیجه آن ولتاژ مناسبی جهت بوجود آمدن I_f در ماشین ایجاد شود. نقطه پایدار بوسیله مقاومت مدار تحریک شنت مشخص میشود (R_f). بسهولت میتوان نقطه پایدار را با رسم منحنی مقاومت مدار تحریک شنت که یک خط مستقیم میباشد بدست آورد.

البته باید این خط را بر روی محور مختصات مربوط به منحنی مغناطیس شوندگی رسم نمود. محل تلاقی دو منحنی (خط و منحنی مغناطیس شوندگی) نقطه پایدار را نشان میدهد (شکل ۱۴-۴).



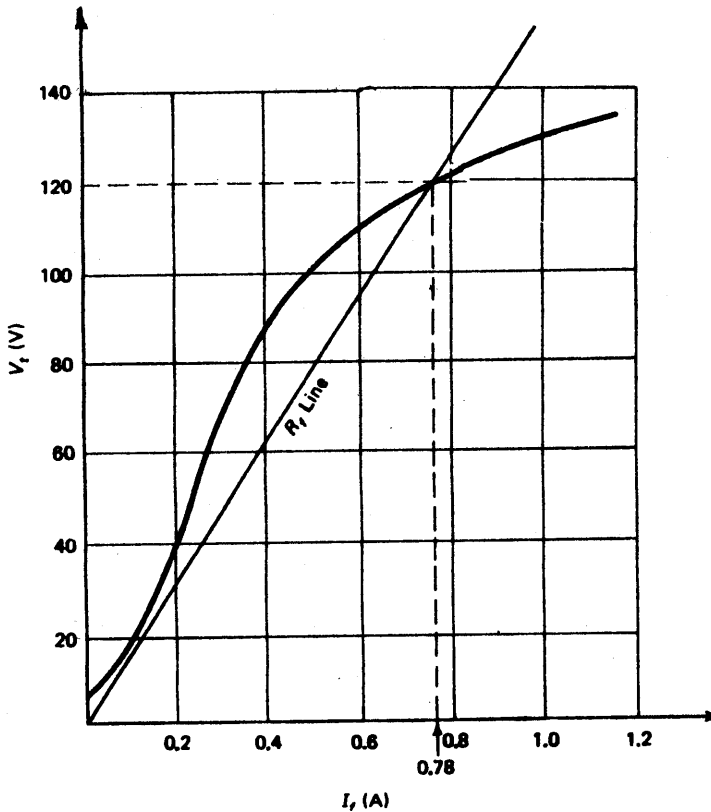
شکل ۱۴-۴: رسم خط مربوط به مقاومت مدار تحریک شنت بر روی منحنی مغناطیس شوندگی ژنراتور DC شنت

1) Shunt-Field-Current

اگر بخواهیم در دو سر ژنراتور DC ولتاژی خاص حاصل شود، در اینصورت با بازی کردن با مقاومت R_F میتوان این ولتاژ مورد نظر را بدست آورد. پیدا کردن این مقاومت بسیار ساده است و میتوان اینچنین آنرا حساب نمود.

$$R_F = \frac{\text{ولتاژ مورد نظر}}{\text{جریان تحریک مورد نظر}}$$

البته در رابطه اخیر جریان تحریک مورد نظر را میتوان با استفاده از منحنی مغناطیس شونددگی بدست آورد (شکل ۱۴ - ۴). در اینجا تذکر میدهیم هرچه مقاومت تحریک بیشتر باشد در اینصورت جریان تحریک کمتر بوده و بالنتیجه ولتاژ نیز کاهش مییابد.



شکل ۱۵ - ۴: منحنی مربوط به مثال ۱۱ - ۴

مثال ۱۱-۴

Example 4-11

منحنی مغناطیس شونددگی مربوط به یک ژنراتور DC شنت (موازی) در شکل ۱۵-۴ رسم شده است. منحنی مقاومت مدار تحریک شنت را رسم کنید مشروط بر اینکه بخواهیم ژنراتور DC ولتاژ ۱۲۰ ولت را تولید کند.

حل:

ابتدا بر روی منحنی مغناطیس شونددگی نقطه مربوط به ولتاژ مورد نظر (۱۲۰ ولت) را مشخص مینمائیم. اگر این نقطه را به مبدا مختصات وصل کنیم، خط مستقیم حاصله، منحنی مقاومت مدار تحریک شنت خواهد بود. مقاومت مدار تحریک (R_F) شیب این خط میباشد لذا

$$R_F = \text{slope} = \frac{120 \text{ V}}{0.78 \text{ A}} = 153.85 \Omega \quad R_F \approx 154 \Omega$$

۱-۶-۴ عدم تولید ولتاژ در ژنراتور DC شنت

4-6.1 Failure of a Generator to Build Up

در برخی از شرایط موقعی که ژنراتور DC شنت با سرعت ثابتی میچرخد، قادر به تولید ولتاژ نمیشود. دلایل متعددی ممکن است باعث این حالت گردد.

الف - گاهی اوقات در آزمایشگاه به این موضوع برخورد میکنیم که ولتاژ اولیه بخاطر پس ماند مغناطیسی شاری تولید میکند که با شار پس ماند در هسته مخالفت میورزد و تغییرات رثوستا در مدار تحریک نیز اثری نخواهد داشت. برای فائق آمدن بر این مساله دو راه وجود دارد.

۱ - الف - جهت چرخش ژنراتور را عوض میکنیم. طبق قانون فلمینگ در این حالت پلاریته ولتاژ عوض شده و لذا شار حاصله به شار پس ماند کمک میکند و ولتاژ در ژنراتور به نحو مطلوبی تولید میشود.

۲ - الف - اگر نخواهیم جهت چرخش ژنراتور را عوض کنیم، میتوان سرهای مدار تحریک را جابجا کنیم. بعنوان مثال میتوان در شکل (۱۳-۴) اتصال ترمینالهای F_1 و F_2 را عوض نمود.

ب - باز بودن مدار تحریک شنت مثلاً "ممکن است فیوز آمپر متر مدار تحریک سوخته باشد. یا ممکن است پاره‌گی در مدار تحریک وجود داشته باشد یا لحیم سیم پیچ تحریک باز شده باشد.

- ج - کثیف بودن کموتاتور .
- د - سالم نبودن جاروبکها و سائیدگی جاروبکها
- هـ - سوختگی سیم پیچ آرمیچر
- و - مقاومت بیش از حد رثوستای مدار تحریک شنت
- ز - اگر پسماند مغناطیسی هسته ناچیز باشد و یا اصلاً " پس ماند مغناطیسی نداشته باشیم در اینصورت ولتاژ تولید نمیشود ، فی المثل اگر از ژنراتور مدت مدیدی استفاده نشود ، در این صورت پس ماند مغناطیسی یا از دست خواهد رفت یا بمیزان ناچیزی تقلیل مییابد . در چنین حالتی باید ابتدا برای چندین دفعه ژنراتور را بصورت تحریک جداگانه بکار بریم تا پس ماند مغناطیسی مجدداً " قوت خود را بازیابد .

۲-۶-۴ مشخصه بار در ژنراتور DC شنت

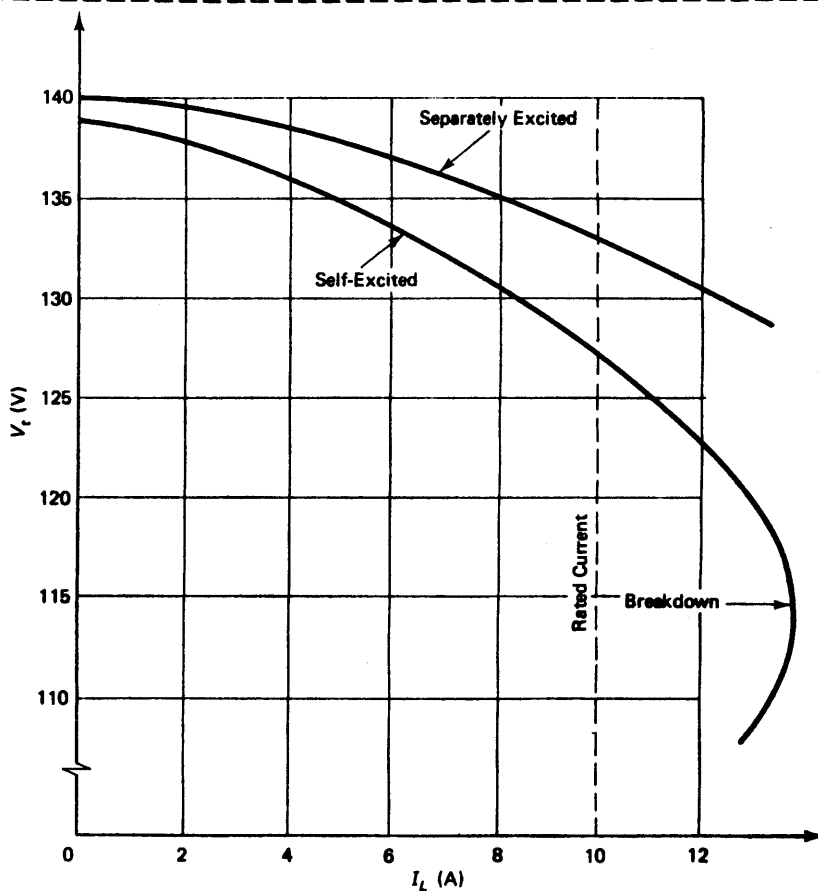
4-6-2 Shunt Generator Load Characteristic

با بارگیری ژنراتور DC شنت ، جریان بیشتری از ژنراتور میگذرد و مشخصه باری همچون ژنراتور با تحریک جداگانه (شکل ۱۰-۴) خواهیم داشت . البته در ژنراتور شنت کاهش ولتاژ ترمینال در اثر افزایش جریان بار به مراتب چشمگیرتر از حالتی است که ماشین از نوع تحریک جداگانه باشد . در نتیجه تنظیم ولتاژ بدتری برای ژنراتور DC شنت حاصل میگردد . در ژنراتور DC شنت نه تنها افت ولتاژ ترمینال خروجی بخاطر افت آرمیچر $I_a R_a$ و عکس العمل آرمیچر مییابد ، بلکه عامل دیگری نیز در این افت ولتاژ سهم است همانطور که در بالا دیدیم هنگام افت ولتاژ ترمینال جریان تحریک شنت کمتر شده (چرا؟) و در نتیجه شار کاهش مییابد و ولتاژ تولید شده نیز کم میشود ، که خود باعث کم شدن ولتاژ ترمینال میگردد .

با ادامه کاهش ولتاژ ، هسته ژنراتور از حالت اشباع در می آید . این نقطه را نقطه فرو پاشی^(۱) گویند . در این حالت تغییرات ولتاژ باعث تغییرات متناسبی از شار شده و ولتاژ سریعاً " بسمت صفر نزول میکند .

شکل (۱۶-۴) مشخصه بار در ژنراتور DC را برای دو حالت تحریک جداگانه و تحریک خودی (شنت) نشان میدهد .

1) Breakdown-point



شکل ۱۶-۴: مقایسه دو ژنراتور DC در دو حالت تحریک خودی (شنت) و تحریک جداگانه

Example 4-12

مثال ۱۲-۴

منحنی مشخصه بار دو ژنراتور DC در شکل (۱۶-۴) نشان داده شده است. درصد تنظیم را برای این دو ژنراتور حساب کنید.

حل

برای ژنراتور DC با تحریک جداگانه داریم

$$V_{NL} = 140 \text{ V} \quad \text{and} \quad V_{FL} \approx 133 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ V.R.} &= \frac{140 - 133}{133} \times 100 \\ &= 5.26\% \end{aligned}$$

برای ژنراتور DC با تحریک خودی (شنت) نیز می‌توان از رابطه تنظیم ولتاژ فوق استفاده کرد.

$$V_{NL} = 139 \text{ V} \quad \text{and} \quad V_{FL} \approx 128 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ V.R.} &= \frac{139 - 128}{128} \times 100 \\ &= 8.59\% \end{aligned}$$

می‌بینیم که ژنراتور DC با تحریک حداکانه وضع بهتری از جهت تنظیم ولتاژ دارد.

Example 4-13

مثال ۴-۱۳

یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

اهم $140 =$ مقاومت مدار تحریک شنت

کیلووات $5/5 =$ توان اسمی

وات $220 =$ ولتاژ اسمی ترمینال

اهم $0/5 =$ مقاومت آرمیچر

وات $95 =$ تلفات توان سرگردان در بار اسمی

مطلوبست محاسبات زیر در تحت شرایط بار اسمی

(الف): جریان تحریک

(ب): جریان بار

(ج): جریان آرمیچر

(د): ولتاژ تولید شده

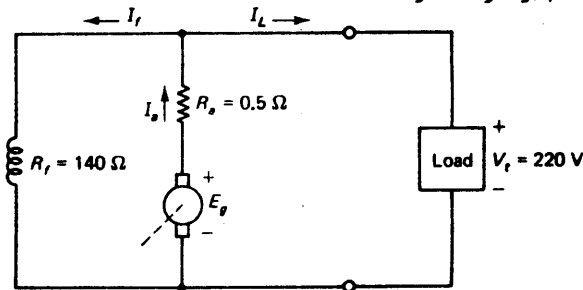
(ه): کل تلفات مسی

(و): راندمان

(ز): تنظیم ولتاژ در این قسمت فرض کنید که شار و در نتیجه E_g ثابت است زیرا

ماشین در ناحیه اشباع کار میکند، لذا اگر تغییرات کوچکی در V_t پدیدار شود (از

حالت بی‌باری تا بار کامل)، I_f نیز کمی تغییر میکند و اما بخاطر پدیده اشباع، تغییرات شار ناچیز خواهد بود.



شکل ۱۷-۴: مدار مربوط به مثال ۱۳-۴

حل

ابتدا مدار این مساله را رسم میکنیم (شکل ۱۷-۴). سپس پارامترهای معلوم را بر روی این مدار مینویسیم. برای سهولت ره‌وستای مدار تحریک شنت در شکل رسم نشده است.

(الف): ولتاژ ترمینال دربار کامل توسط ولتاژ اسمی ترمینال مشخص میشود. از آنجائی که این ولتاژ در دو سر مدار تحریک شنت اعمال میشود، داریم.

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{220 \text{ V}}{140} = 1.57 \text{ A}$$

(ب): جریان بار در تحت شرایط اسمی از مقادیر اسمی حاصل میشود. پس:

$$\text{Current} = \frac{\text{power}}{\text{voltage}}$$

$$I_L = \frac{5.5 \text{ kW}}{220 \text{ V}} = 25 \text{ A}$$

(ج): جریان آرمیچر را با استفاده از قانون جریان کیرشف بدست می‌آوریم

$$I_a = I_L + I_f$$

$$= 25 \text{ A} + 1.57 \text{ A} = 26.57 \text{ A}$$

(د): ولتاژ تولید شده را با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف حساب میکنیم.

$$E_g = I_a R_a + V_f$$

$$= 26.57 \text{ A} \times 0.5 \Omega + 220 \text{ V}$$

$$= 13.3 + 220 = 233.3 \text{ V}$$

(ه): تلفات مسی از دو قسمت تشکیل شده است قسمت اول متعلق به سیمهای آرمیچر و قسمت دوم مربوط به سیم پیچ تحریک است، لذا کل تلفات مسی اینچنین حساب میشود.

$$P_{arm} = R_a I_a^2 = 0.5 \, \Omega \times (26.57 \, \text{A})^2$$

$$P_{arm} \approx 353 \, \text{W}$$

$$P_f = R_f I_f^2 = 140 \, \Omega \times (1.57 \, \text{A})^2$$

$$P_f \approx 345 \, \text{W}$$

$$\text{total } P_{Cu} = 353 \, \text{W} + 345 \, \text{W} = 698 \, \text{W}$$

(و): طرز محاسبه راندمان مطابق مطالب بخش (۵-۴) انجام میگیرد و آن مطالب برای ژنراتور DC شنت نیز صادق است.

$$P_i = P_o + P_{Cu} + \text{stray power loss}$$

$$= 5.5 \, \text{kW} + 698 \, \text{W} + 95 \, \text{W}$$

$$= 6293 \, \text{W}$$

$$\text{efficiency} = \eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{5500 \, \text{W}}{6293 \, \text{W}} \times 100$$

$$= 87.4\%$$

(ز) با فرض اینکه شار ثابت است، لذا مقدار E_g نیز از حالت بی‌باری تا بار کامل تغییر نمیکند. در حالت بی‌باری شکل (۱۷-۴) بشکل (۱۸-۴) تبدیل میگردد. لذا

$$\begin{aligned} I_a = I_f &= \frac{E_g}{R_a + R_f} \\ &= \frac{233.3 \, \text{V}}{0.5 \, \Omega + 140 \, \Omega} \\ &= 1.66 \, \text{A} \end{aligned}$$

پس

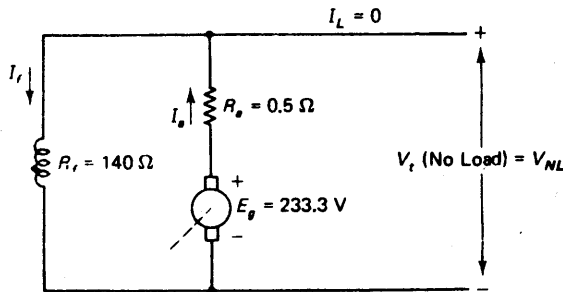
$$V_{NL} = I_f R_f = 1.66 \, \text{A} \times 140 \, \Omega$$

$$= 232.4 \, \text{V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

$$= \frac{232.4 - 220}{220} \times 100$$

$$= 5.64\%$$



شکل ۱۸ - ۴

4-7 SERIES GENERATOR

۴-۷ ژنراتور DC سری

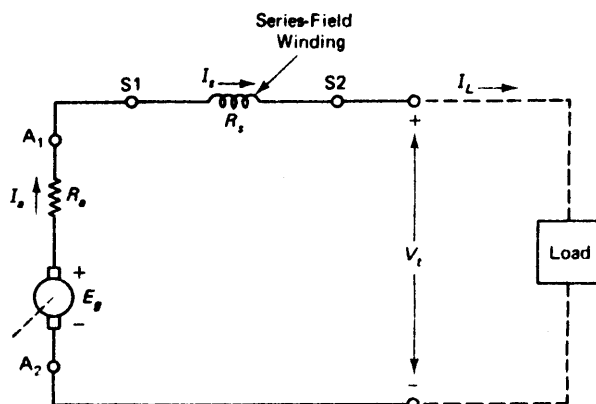
اگر سیم پیچ تحریک با سیم پیچ آرمیچر سری بسته شود، ژنراتور DC سری بدست می‌آید (شکل ۱۹-۴). علاوه بر آنکه مشخصه‌های این ژنراتور با ژنراتورهای شنت متفاوت است، ساختمان این ژنراتورها نیز با ژنراتورهای شنت متفاوت است. تفاوت در ساختمان این ژنراتورها از این قرار است.

الف- در ژنراتور DC شنت، سیم پیچ تحریک از سیم نازک ساخته شده و تعداد دورهای این سیم پیچ بسیار زیاد است. (چرا؟).

ب- در ژنراتور DC سری، سیم پیچ تحریک از سیم کلفت ساخته شده و تعداد دورهای این سیم پیچ بسیار کم است. (چرا؟).
لذا:

۱- الف- در ژنراتور DC شنت چون تعداد دورهای سیم پیچ تحریک زیاد است پس اگر جریان کمی از مدار تحریک بگذرد شدت میدان (H) نسبتاً کافی حاصل میشود.

۲- ب- در ژنراتور DC سری از آنجائی که جریان بار نسبتاً زیادی از ژنراتور کشیده میشود و این جریان از مدار تحریک نیز عبور میکند، لذا سیم پیچ تحریک باید کلفت بوده و تعداد دورهای این سیم پیچ کم باشد.



شکل ۱۹ - ۴: مدار معادل یک ژنراتور DC سری

با توجه به شکل (۱۹ - ۴) در میابیم که هر سه جریان نشان داده شده در شکل

مساوی هستند.

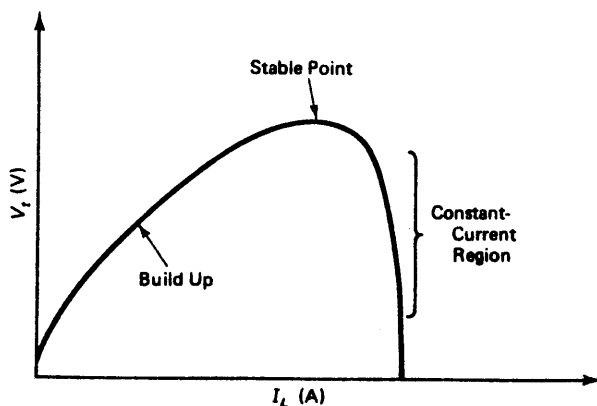
$$(I_a = I_f = I_L).$$

در تحت شرایط بی‌باری، جریانها صفر بوده و ولتاژ ترمینال V_t با E_g برابر است. باید گفت که ولتاژ تولید شده که در اثر پس ماند مغناطیسی ایجاد میشود بسیار کم خواهد بود. اگر ژنراتور را به بار وصل کنیم، در اینصورت جریان برقرار میشود و لذا شار شروع به زیاد شدن می‌کند. در نتیجه E_g نیز زیاد میگردد و لذا جریان نیز بیشتر خواهد شد و بالمال جریان تحریک سری نیز افزونتر خواهد شد. این پروسس آنقدر ادامه مییابد تا هسته بحالت اشباع درآید و شرایط پایدار حاصل گردد. اگر سعی شود جریان از جریان نقطه پایدار باز هم بیشتر گردد یا بعبارت دیگر اگر بار را بیش از بار نقطه پایدار نمائیم، ولتاژ ترمینال شدیداً "سقوط خواهد نمود زیرا ماشین در حالت اشباع بوده و شار را نمیتوانیم زیاد کنیم. مشخصه بار ژنراتورهای DC سری در شکل (۲۵ - ۴) رسم شده است.

اگر با افزایش بار در ترمینال ژنراتور سری، ولتاژ حاصل نگردد، ممکن است نقض در اتصال مدار تحریک سری باشد. باید خاطر نشان ساخت اگر شار حاصله بوسیله جریان بار با پس ماند مغناطیسی مخالفت کند ولتاژ در ترمینال ژنراتور سری بدست نمی‌آید. لذا باید اتصال سرهای مدار تحریک سری عوض شوند (S_1 و S_2 در شکل ۱۹ - ۴). همچنین اگر جهت چرخش ژنراتور صحیح نباشد میتوان جهت چرخش را عوض نمود. در نتیجه پلار تیه E_g عوض شده و بالمال جهت جریان در مدار تحریک سری نیز عوض

خواهد شد. لذا شار حاصله به پس ماند مغناطیسی حالت موافق نشان خواهد داد. با توجه به مشخصه بار موتورهای DC سری (شکل ۲۰-۴) میتوان دریافت که تغییرات ولتاژ ترمینال نسبت به جریان بار بسیار جدی است و لذا تنظیم ولتاژ بسیار ضعیف است. بهمین خاطر ژنراتورهای DC سری بعنوان منابع ولتاژ ثابت مورد استفاده قرار نمیگیرند بلکه بعنوان ژنراتور جریان ثابت مورد توجه قرار میگیرند. اگر به ناحیه نشان داده شده در شکل (۲۰-۴) توجه شود در میابیم که جریان بار، هنگامیکه ولتاژ بار تغییرات نسبتاً زیادی را شامل شود، بالنسبه ثابت میماند. اگر بشکل (۲۰-۴) نگاه کنیم یکی دیگر از محسّنات ژنراتورهای DC سری نمایان میشود در این ژنراتورها همانطور که میبینیم تا قبل از اینکه به نقطه پایدار برسند ولتاژ ترمینال نسبت به تغییرات بار سیر صعودی نسبتاً مطلوبی دارد لذا میتوان از آنها برای جریان یا تقویت ولتاژ DC استفاده کرد.

معمولاً در ژنراتورهای سری کنترل ولتاژ بوسیله ره‌وستائی که موازی سیم پیچ تحریک سری نصب میشود انجام میگیرد، و به آن ره‌وستای منحرف کننده (دیورتور)^(۱) گفته میشود. اما باید گفت که تغییرات بار آنچنان ولتاژ را تغییر میدهد که دیورتور کنترل چندانی بر آن نخواهد داشت.

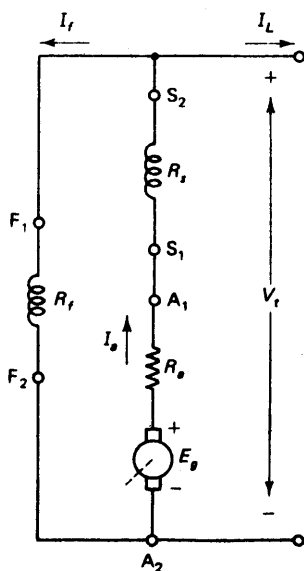


شکل ۲۰-۴: مشخصه بار برای یک ژنراتور DC سری

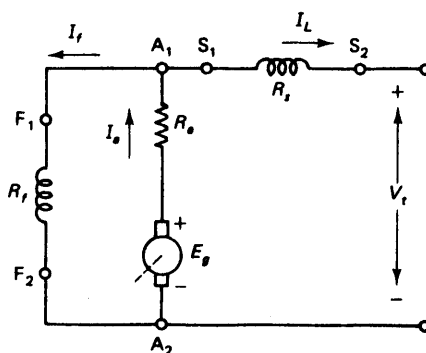
4-8 COMPOUND GENERATOR

۸-۴ ژنراتور DC کمپوند

برای حبران و بهبود بخشیدن به مشخصه بار ژنراتور DC شنت و جلوگیری از نزول این مشخصه، معمولاً یک سیم پیچ تحریک سری نیز به این ژنراتورها افزوده میگردد و بدین ترتیب ژنراتورهای DC کمپوند حاصل میشوند. بدین ترتیب خاصیت حبران یا تقویت ولتاژ ژنراتورهای DC سری که در بخش قبل راجع به آن صحبت کردیم تا حد زیادی نزول منحنی مشخصه بار ژنراتور DC شنت را در اثر افزایش بار حبران میکند.



(a) Long Shunt



(b) Short Shunt

شکل (۲۱-۴): ژنراتور DC کمپوند

a: شنت بلند

b: شنت کوتاه

معمولاً دو نوع ژنراتور DC کمپوند وجود دارد (شکل ۲۱-۴):

۱- ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند (۱)

۲- ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه (۲)

فرق این دو ژنراتور این است که

۱-۱- در ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند از سیم پیچ تحریک سری جریان آر میجر (Ia) عبور میکند.

۱-۲- در ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه از سیم پیچ تحریک سری جریان بار (IL) میگذرد.

۱-۳- در حالت بی‌باری سیم پیچ تحریک سری در ژنراتور کمپوند با شنت بلند تحریک می‌گردد ولی در حالت بی‌باری سیم پیچ تحریک سری در شنت کوتاه تحریک نمی‌گردد. در اینجا خاطر نشان می‌سازیم که مشخصه‌های این دو ژنراتور کمپوند اصولاً " مشابه یکدیگرند.

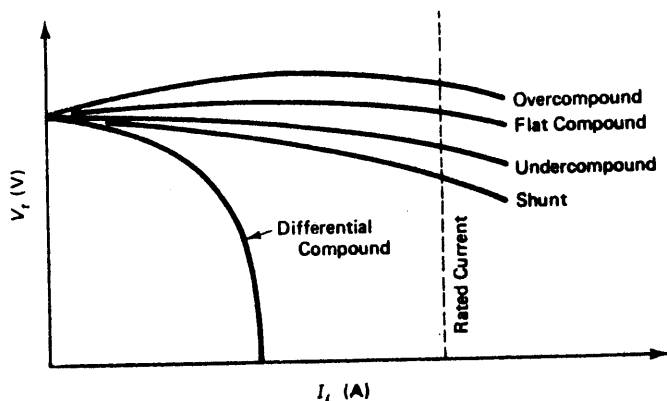
در آزمایشگاه ابتدا سیم پیچ سری را بوسیله کلید یا رعوستای منحرف کننده با مقاومت صفر (دیورتور) از مدار خارج می‌کنیم. در این حالت فقط ژنراتور DC شنت خواهیم داشت. هنگامیکه پلار تیه صحیح در دو سر تحریک شنت برقرار شد و ولتاژ در ترمینال ماشین بدست آمد، در اینحال سیم پیچ تحریک سری را برق دار مینمائیم. باید گفت در این مرحله پلار تیه صحیح سیم پیچ تحریک سری معلوم نیست. اگر میدان حاصله از سیم پیچ سری مخالف میدان سیم پیچ تحریک شنت باشد، ژنراتور DC کمپوند را از نوع کمپوند نقصانی تلقی مینمایند بر عکس اگر میدان حاصله از سیم پیچ سری موافق میدان سیم پیچ تحریک شنت باشد به ژنراتور DC، کمپوند اضافی گفته میشود.

۱-۸-۴ ژنراتور DC کمپوند نقصانی

4-8.1 Differentially Compounded Generator

هرگاه از سیم پیچ تحریک سری این ژنراتورها جریان بگذرد شار منتهجه که حاصل شار مدار تحریک سری و مدار تحریک شنت میباشد، سیر نزولی خواهد داشت زیرا این دو شار با هم در تضاد هستند. بالتجیه ولتاژ تولید شده نیز سیر نزولی دارد. با افزایش جریان کشیده شده از ژنراتور، ولتاژ بشدت سقوط میکند زیرا همانگونه که گفتیم شار بشدت کم میگردد. مشخصه این ژنراتورها در شکل (۲۲-۴) رسم شده‌اند. با مقایسه این شکل با شکل (۲۵-۴) مبینیم که اینگونه ژنراتورها شباهتی با ژنراتورهای سری دارند. لذا نتیجه میشود که از اینگونه ژنراتورها نیز در کاربردهائی که نیاز به جریان ثابت دارند، استفاده میشود. از این ژنراتورها برای کاربردهائی که به منع ولتاژ DC نیاز دارند

استفاده نمیکند.



شکل ۲۲-۴: مقایسه مشخصه‌های ژنراتورهای DC

۲-۸-۴ ژنراتور DC کمپوند اضافی

4-8.2 Cumulatively Compounded Generator

هنگامیکه پلارتیه مدار تحریک سری کامل و صحیح باشد در اینصورت دو میدان سری و شنت باهم جمع شده و لذا ژنراتور DC کمپوند اضافی حاصل میشود. در اینحال منحنی مشخصه بار این ژنراتورهای دیگر مانند ژنراتورهای DC شنت خالص، نزول ناگهانی و سریع ندارد. در حقیقت باید گفت اگر میدان تحریک سری قوی باشد، منحنی مشخصه بار سیر صعودی نیز پیدا میکند. بشرایطی که ولتاژ ترمینال در تحت بار کامل بیش از ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری باشد حالت فوق کمپوند^(۱) گفته میشود. همچنین میتوان گفت که

الف- اگر در شرایطی ولتاژ ترمینال تحت بار کامل حدوداً " مساوی ولتاژ ترمینال در شرایط بی‌باری باشد، در اینصورت این حالت را کمپوند افقی یا کمپوند مسطح^(۲) مینامند. ب- اگر در شرایطی ولتاژ ترمینال ژنراتور تحت بار کامل کمتر از ولتاژ ترمینال در بی‌باری باشد، در اینصورت به حالت زیر کمپوند^(۳) مشهور است. برای مشخص شدن

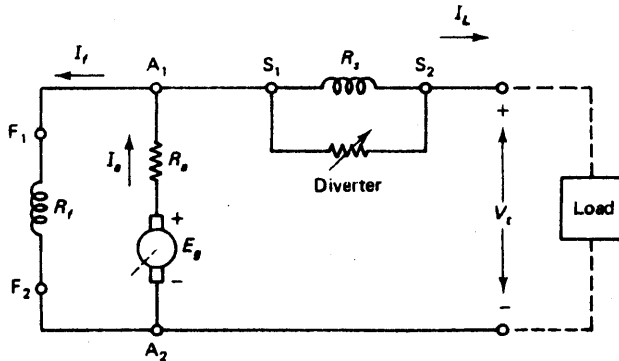
1) OVER-Compound
3) Under-Compound

2) Flat-Compound

حالت‌های ذکر شده در فوق و ارزیابی بهتر مشخصه‌های ژنراتورهای DC کمپوند اضافی می‌توانید بشکل (۲۲-۴) نگاه کنید.

برای رسیدن به مشخصه‌های فوق می‌توان MMF یا نیروی محرکه مغناطیسی سیم پیچ تحریک سری را تغییر داد. اما اگر ژنراتور ساخته شده باشد و نتوانیم تعداد دورهای سیم پیچ تحریک سری را تغییر دهیم در اینصورت از رثوستای منحرف کننده (دیورتور) کمک میگیریم. و شکل (۲۳-۴).

با استفاده از دیورتور می‌توان جریان سیم پیچ تحریک سری را کم و زیاد نمود و در نتیجه بر شدت ضعف میدان سری اثر خواهد گذاشت. لذا حالت‌های سه گانه فوق به سهولت قابل دسترسی هستند. البته در مدار تحریک موازی نیز رثوستا قرار میدهم که در این شکل رسم نشده است.



شکل ۲۳-۴: نصب (دیورتور) در مدار تحریک سری یک ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

مثال ۱۴-۴

Example 4-14

یک ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه یا مشخصات زیر مفروض است

کیلووات ۳ = توان اسمی

ولت ۲۵۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

وات ۱۲۰ = تلفات توان سرگردان در بار کامل

اهم ۱۰۰ = R_f (مقاومت تحریک شنت)

اهم ۰/۹ = R_a (مقاومت ارمیچر)

اهم ۰/۲ = R_g (مقاومت تحریک سری)

اگر از دیورتور استفاده نشود، محاسبات زیر را دربار کامل انجام دهید.

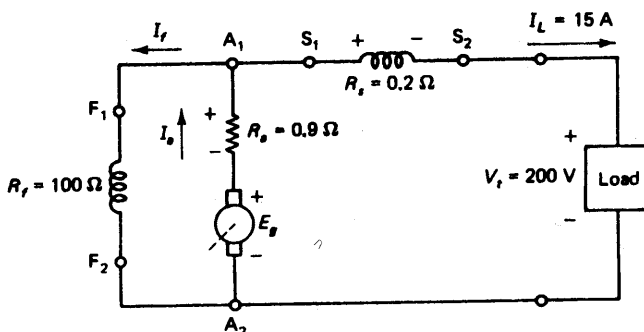
- (الف): جریان بار
 (ب): جریان مدار تحریک شنت
 (ج): جریان آرمیچر
 (د): ولتاژ تولید شده در درون ماشین
 (ه): توان مکانیکی تبدیل شده به توان الکتریکی در ماشین
 (و): تلفات مسی
 (ز): راندمان

حل

(الف): جریان بار در بار کامل از مقادیر اسمی بدست می‌آید، لذا

$$I_L = \frac{3 \text{ kW}}{200 \text{ V}} = \frac{3000 \text{ W}}{200 \text{ V}} = 15 \text{ A}$$

برای سهولت درک بقیه مساله، شکل (۲۴-۴) را در نظر میگیریم



شکل ۲۴-۴: مدار مربوط به مثال ۱۴-۴

(ب): برای محاسبه I_f ، ابتدا ولتاژ دو سر مدار تحریک شنت (V_f) را حساب میکنیم. با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم

$$\begin{aligned} V_f &= 200 \text{ V} + R_s(I_L) \\ &= 200 \text{ V} + (0.2 \Omega \times 15 \text{ A}) \\ &= 200 + 3 = 203 \text{ V} \end{aligned}$$

پس

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{203 \text{ V}}{100 \Omega} = 2.03 \text{ A}$$

(ج): با توجه به مقادیر فوق داریم

$$I_a = I_L + I_f = 15 \text{ A} + 2.03 \text{ A} \\ = 17.03 \text{ A}$$

(د): با استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم

$$E_g = (17.03 \text{ A} \times 0.9 \Omega) + (15 \text{ A} \times 0.2 \Omega) + 200 \text{ V} \\ = 15.33 \text{ V} + 3 \text{ V} + 200 \text{ V} = 218.33 \text{ V}$$

(ه): توان مکانیکی ورودی تبدیل شده به توان الکتریکی با $E_g I_a$ معادل

$$E_g I_a = 218.33 \text{ V} \times 17.03 \text{ A} \\ = 3718.2 \text{ W}$$

میباشد. لذا:

(و): تلفات مس در مدار تحریک شنت عبارتست از:

$$P_f = R_f I_f^2 = 100 \Omega \times (2.03 \text{ A})^2 = 412 \text{ W}$$

تلفات مس در آرمیچر اینچنین است

$$P_a = R_a I_a^2 = 0.9 \Omega \times (17.03 \text{ A})^2 = 261 \text{ W}$$

تلفات مس در سیم پیچ تحریک سری عبارتست از

$$P_s = R_s I_L^2 = 0.2 \Omega \times (15)^2 = 45 \text{ W}$$

لذا

$$\text{total copper losses} = P_f + P_a + P_s = 718 \text{ W}$$

(ز): راندمان نیز در ژنراتورهای کمپوند مطابق مطالب بخش (۵-۴) بدست

می‌آید.

$$P_i = P_o + \text{copper losses} + \text{stray power loss} \\ = 3 \text{ kW} + 718 \text{ W} + 120 \text{ W} \\ = 3000 \text{ W} + 718 \text{ W} + 120 \text{ W} \\ = 3838 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{3000}{3838} \times 100 \\ = 78.2\%$$

مثال ۱۵ - ۴

Example 4-15

یک ژنراتور DC کمپوند با شنت بلند مفروض بوده و دارای مشخصات زیر است

کیلو وات	۵ = توان اسمی
ولت	۱۲۵ = ولتاژ اسمی ترمینال
(در بار اسمی)	۸۰٪ = راندمان
اهم	$R_F = ۱۲۵$ (مقاومت تحریک، شنت)
اهم	$R_A = ۰/۲$ (مقاومت (آرمیچر)
اهم	$R_S = ۵\%$ (مقاومت تحریک سری)

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید

- (الف): جریان بار
- (ب): جریان تحریک
- (ج): جریان آرمیچر
- (د): تلفات مسی
- (ه): تلفات توان سرگردان

حل

(الف): با استفاده از مقادیر اسمی داریم

$$I_L = \frac{5 \text{ kW}}{125 \text{ V}} = \frac{5000 \text{ W}}{125 \text{ V}}$$

$$= 40 \text{ A}$$

حال برای سهولت درک بقیه مساله بشکل (۲۵ - ۴) توجه میکنیم

(ب): ولتاژ دو سر مدار تحریک شنت همان V_F است. لذا

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{125 \text{ V}}{125 \Omega} = 1 \text{ A}$$

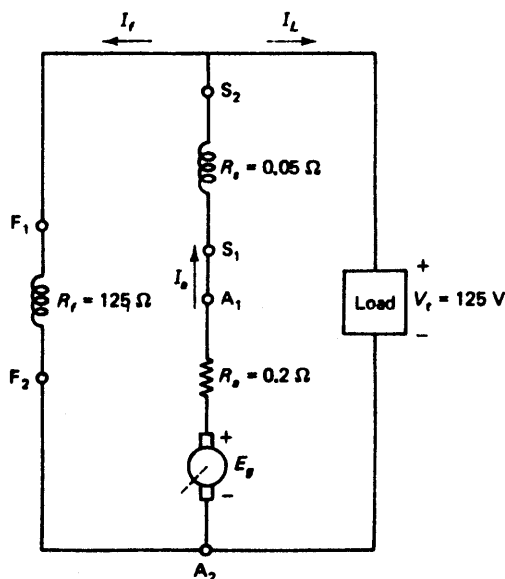
(ج): با توجه به اعداد فوق داریم

$$I_a = I_L + I_f$$

$$= 40 \text{ A} + 1 \text{ A} = 41 \text{ A}$$

(د): تلفات مس در مدار تحریک شنت عبارتست از

$$P_f = V_f I_f = 125 \text{ V} \times 1 \text{ A} = 125 \text{ W}$$



شکل ۲۵-۴: مدار مربوط به مثال ۱۵-۴

تلفات مس در آرمیچر عبارتست از

$$P_a = R_a I_a^2 = 0.2 \, \Omega \times (41 \, \text{A})^2 = 336.2 \, \text{W}$$

تلفات مس در مدار تحریک سری عبارتست از

$$P_s = R_s I_a^2 = 0.05 \, \Omega \times (41 \, \text{A})^2 = 84.05 \, \text{W}$$

پس

$$\text{total copper loss} = P_f + P_a + P_s = 545.25 \, \text{W}$$

(ه). ابتدا توان ورودی را حساب میکنیم (با توجه به مطالب بخش ۵-۴)

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad 80 = \frac{5 \, \text{kW}}{P_i} \times 100$$

پس

$$P_i = 5000 \times \frac{100}{80} = 6250 \, \text{W}$$

از رابطه (۸-۴) داریم:

$$\text{total losses} = P_i - P_o = 6250 \, \text{W} - 5000 \, \text{W} = 1250 \, \text{W}$$

اما میدانیم :

تلفات توان سرگردان + تلفات مس = کل تلفات

$$\text{stray power loss} = 1250 \text{ W} - 545.25 \text{ W} = 704.75 \text{ W} \quad \text{لذا:}$$

۹-۴ موازی کردن (پارالل کردن) ژنراتورهای DC **4-9 PARALLEL OPERATION**

معمولا "در صنعت رسم بر آنست که اگر یک ژنراتور DC بعلت نقض فنی از مدار خارج گردید ، بارهای DC موجود باید به عملکرد خود ادامه دهند . لذا معمولا " برای تغذیه بارهای DC چند ژنراتور DC را با هم موازی (پارالل) میسازند . در این حالت بار بین این ژنراتورها تقسیم شده و اگر یکی از آنها بعللی از مدار خارج شود ، ژنراتورهای باقی مانده تمامی یا قسمتی از بار مربوط به ژنراتور معیوب را تامین خواهند نمود .

دلایل دیگر برای موازی کردن ژنراتورها وجود دارد که اهم آنها عبارتند از الف - معمولا " تعمیرات ^(۱) سالیانه باید بر روی ژنراتورهای DC انجام گیرد . لذا باید به نوبت آنها را از مدار خارج کنیم . در نتیجه ژنراتورهای باقی مانده بار مربوط به ژنراتور تحت تعمیر را تامین خواهند کرد .

ب - معمولا " راندمان ژنراتور DC موقعی حداکثر است که در شرایط بار کامل کار کند در شرایطی که بار متغیر است از روش پارالل سازی استفاده میکنند . در هنگامیکه بار بسیار زیاد است چند ژنراتور موازی میشوند و هنگامیکه بار کم میشود ، برخی از آنها را از مدار خارج میکنند تا بقیه آنها بتوانند بار بیشتری را تامین کنند و بالنتیجه به بار کامل خود نزدیک شوند . لذا راندمان واحدهای باقی مانده بیشتر خواهد شد .

ج - اگر بار زیاد باشد ممکن است نتوانیم یک ژنراتور بزرگ برای تامین آن نصب کنیم ، بلکه شاید سهلتر آن باشد که چند ژنراتور کوچکتر بصورت موازی آن بار را تامین کنند . هنگام موازی کردن ژنراتورهای DC باید به نکات ذیل توجه کرد .

۱ - ژنراتورها باید هم نوع انتخاب شوند (شنت یا کمپوند اضافی)

۲ - ولتاژ اسمی آنها باید یکسان باشد تا بتوان مطمئن بود که در تامین توان مورد نیاز مصرف کننده وار عمل خواهند شد

۳ - ترمینالهای هم نام ژنراتورها باید به یکدیگر متصل شوند .

در اینجا قدری درباره مفهوم شین (باس بار) ^(۱) صحبت میکنیم. شین‌ها معمولاً "از میله‌های فلزی که هادی نیز هستند تشکیل شده و ولتاژ در طول شین‌ها یکسان میباشد. شین بینهایت (باس بار بینهایت) ^(۲) آنچنان شینی است که از نظر تئوری میتوان جریان نامحدودی را تامین کند بدون آنکه ولتاژ شین تغییر نماید. عبارت دیگر در صد تنظیم ولتاژ شین بینهایت صفر درصد میباشد. در اینجا خاطر نشان میسازیم که اگر ولتاژ ژنراتور کمتر از ولتاژ شین باشد در اینصورت بعوض اینکه از طرف ژنراتور بطرف شین توان فرستاده شود، ژنراتور از شین توان دریافت میکند (حالت موتوری). اگر ولتاژ ژنراتور در حالت بی‌باری بیشتر از ولتاژ شین باشد، توان از طرف ژنراتور بطرف شین فرستاده میشود.

۱-۹-۴ موازی کردن ژنراتورهای DC شنت

4-9.1 Shunt Generators in Parallel

موازی کردن ژنراتورهای شنت با یک شین یا بار مقاومتی بسیار پایدار بوده و تحلیل آن نیز بسیار ساده است. در هر دو حالت آنجا که ولتاژ ترمینال ژنراتوری که میخواهیم وارد مدار سازیم مساوی یا قدری بیشتر از ژنراتورهای موجود باشد، حالت پایدار حاصل می‌گردد و واحد جدید باردار میگردد. اگر دو ژنراتور که دارای مشخصه یکسان میباشند، موازی گردند هر کدام نیمی از بار را تامین میکند. اگر مشخصه آنها متفاوت باشد هر کدام بخشی از بار را بردوش میکشند. باید گفت که هنگامیکه ژنراتورها بحالت پایدار میرسند، ولتاژ ترمینال آنها مساوی خواهد بود. علاوه بر این باید خاطر نشان ساخت که در سیستم موجود هیچگاه نباید ژنراتوری که ولتاژ آن کمتر از ولتاژ سیستم فعلی باشد بصورت موازی وارد مدار گردد، اگر این کار را انجام دهیم، در اینصورت ژنراتور فوق‌الذکر از سیستم توان میکشد و بمثابة یک بار تحمیلی خواهد بود (حالت موتوری).

1) BUS-BAR

2) Infinite-bus-bar

مثال ۱۶ - ۴

Example 4-16

یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

ولت $= 230$ = ولتاژ ترمینال ژنراتور در حالت بی بار

اهم $= 0.5$ = مقاومت آرمیچر R_a

اهم $= 1/5$ = مقاومت مدار تحریک شنت R_f

اگر این ژنراتور به شین 210 ولتی وصل شود. محاسبات زیر را انجام دهید.

۱ - جریان ژنراتور پس از وصل شدن به شین

۲ - توان تحویل شده از طرف ژنراتور به شین

حل

برای سهولت امر ابتدا شکل سیستم را رسم میکنیم (شکل ۲۶ - ۴) حال E_g

را قبل از وصل کردن ژنراتور به شین حساب میکنیم.

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{230 \text{ V}}{115 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$I_a = I_f = 2 \text{ A}$$

پس

$$E_g = V_f + I_a R_a$$

$$E_g = 230 \text{ V} + 2 \text{ A} \times 0.5 \Omega = 231 \text{ V}$$

پس از اینکه کلید بسته شود (ژنراتور به شین وصل شود) در اینصورت ولتاژ ترمینال ژنراتور

معادل ولتاژ شین میشود، لذا

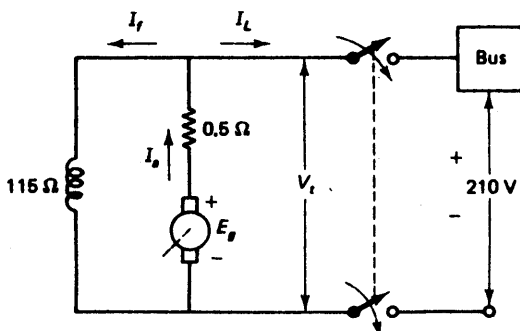
$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{210 \text{ V}}{115 \Omega} = 1.83 \text{ A}$$

$$I_a = \frac{E_g - V_f}{R_a} = \frac{(231 - 210) \text{ V}}{0.5 \Omega}$$

$$= \frac{21 \text{ V}}{0.5 \Omega} = 42 \text{ A}$$

$$I_L = I_a - I_f = 42 \text{ A} - 1.83 \text{ A} = 40.17 \text{ A}$$

$$P = V_f I_L = 210 \text{ V} \times 40.17 \text{ A} = 8435.7 \text{ W}$$



شکل ۴-۲۶: مدار مربوط به مثال ۴-۱۶

Example 4-17

مثال ۴-۱۷

یک ژنراتور DC شنت مغروض است (ژنراتور شماره ۱). این ژنراتور یک بار متغیر را تغذیه میکند. هنگامیکه بار تحت ولتاژ ۱۲۰ ولت به ۱۰ آمپر افزایش یابد، ژنراتور شنت دیگری بصورت موازی با ژنراتور اولیه وارد مدار میشود تا قسمتی از بار را تامین نماید و بالنتیجه از گرم شدن ژنراتور اول بکاهد. مطلوبست محاسبه بار تامین شده از طرف هر ژنراتور. جدول (۴-۷) مشخصات سیستم را نشان میدهد.

جدول ۴-۷ Table 4-7

Generator 1	Generator 2
$R_f = 100 \, \Omega$	$R_f = 100 \, \Omega$
$R_a = 0.98 \, \Omega$	$R_a = 1 \, \Omega$
$E_g = 131 \, \text{V}$	$E_g = 128 \, \text{V}$

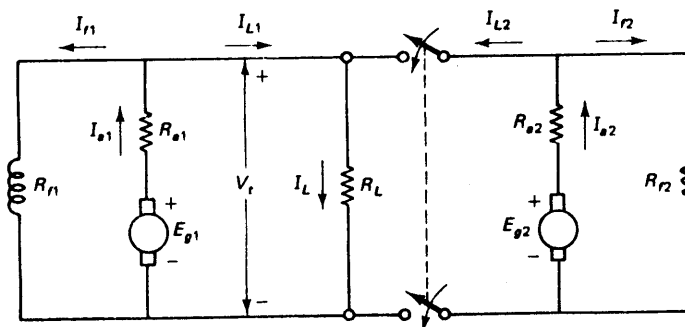
حل

از آنجائیکه ژنراتورها به بار متصل اند و به شین متصل نمیشوند، لذا ولتاژ ترمینال ثابت نبوده و تغییر میکند. برای حل این مساله باید مقاومت بار هنگامیکه ژنراتورها بهم وصل میشوند، محاسبه گردد و با توجه بصورت مساله و شکل (۴-۲۷) داریم.

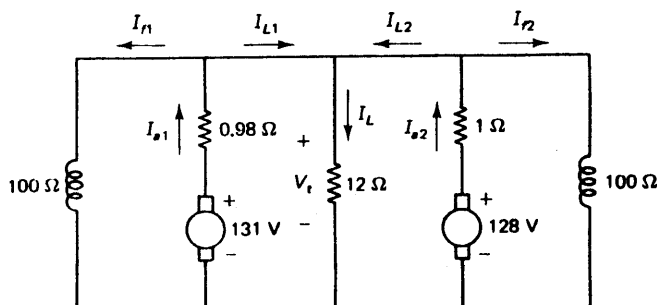
$$R_L = \frac{V_t}{I_L} = \frac{120 \, \text{V}}{10 \, \text{A}} = 12 \, \Omega$$

حال میتوان با دانستن پارامترهای سیستم (جدول ۴-۷) مدار معادل این سیستم را رسم نمود (شکل ۴-۲۸) می‌بینیم مساله به یک مدار ساده DC تبدیل شده است با

روشهای متعددی می‌توان V_t و I_L را حساب کرد.



شکل ۲۷-۴: مدار مربوط به مثال ۱۷-۴



شکل ۲۸-۴: مدار معادل مربوط به مثال ۱۷-۴

ابتدا مدار معادل نورتن شکل (۴-۲۸) را رسم می‌کنیم (شکل a ۴-۲۹) حال شکل (۴-۲۹ a) را ساده کرده و بصورت (۴-۲۹ b) درمی‌آوریم. با توجه بشکل (۴-۲۹ b) داریم:

$$I_L = \frac{261.67 \text{ A} \times 0.49 \Omega}{12.49 \Omega} = 10.266 \text{ A}$$

$$V_t = R_L I_L = 12 \Omega \times 10.266 \text{ A} = 123.2 \text{ V}$$

حال دوباره بشکل (۴-۲۸) برمیگردیم و سایر جریانها را حساب می‌کنیم

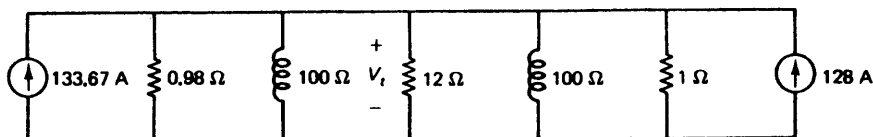
$$I_{r1} = I_{r2} = \frac{V_t}{100 \Omega} = 1.232 \text{ A}$$

$$I_{a1} = \frac{131 \text{ V} - V_t}{0.98 \Omega} = 7.96 \text{ A}$$

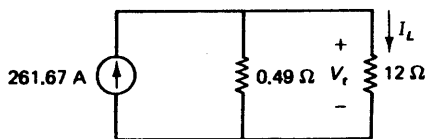
$$I_{L1} = I_{a1} - I_{f1} = 7.96 \text{ A} - 1.232 \text{ A} = 6.73 \text{ A}$$

$$I_{a2} = \frac{128 \text{ V} - V_f}{1 \Omega} = 4.8 \text{ A}$$

$$I_{L2} = I_{a2} - I_{f2} = 4.8 \text{ A} - 1.232 \text{ A} = 3.57 \text{ A}$$



(a)



(b)

شکل ۴-۲۹:

a: مدار نورتن شکل ۴-۲۸

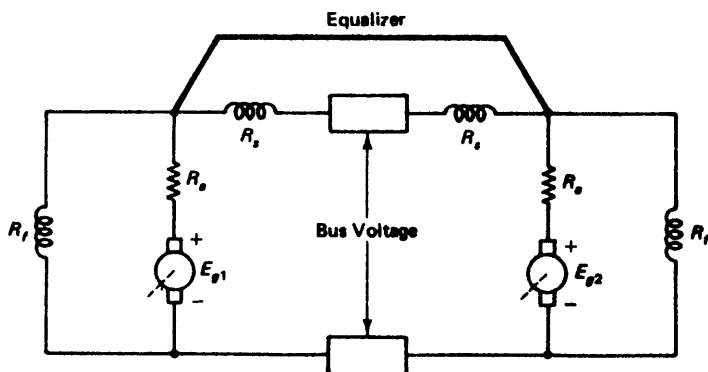
b: مدار نورتن ساده شده

۲-۹-۴ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند

4-9.2 Compound Generators in Parallel

اگر نزول مشخصه‌های ژنراتورهای DC کمپوند مشابه ژنراتورهای DC شنت باشد، در اینصورت اتصال موازی اینگونه ژنراتورها نیز پایدار است. در اینصورت بار بین ژنراتورها تقسیم شده و از اضافه بار هر واحد جلوگیری خواهد شد. اما باید گفت در حالتی که ژنراتورها فوق کمپوند باشند، ممکن است شرایط ناپایداری حاصل گردد. دو ژنراتور موازی DC کمپوند را در نظر میگیریم و فرض میکنیم مشغول تامین بار هستند. اگر اختلال ناگهانی پدیدار شود و باعث گردد ولتاژ تولید شده در ژنراتور شماره ۱ زیاد شود، در اینصورت ژنراتور شماره ۱ مایلست بار بیشتری را تغذیه کند. در اثر این امر جریان سیم پیچ تحریک یک سری در واحد شماره ۱ زیادتر شده که خود ولتاژ تولید شده در ماشین را افزونتر میسازد و این پروسس دائما "تکرار میگردد". در این شرایط که واحد شماره ۱ بار بیشتری را دائما "برعهده میگیرد"، بار واحد شماره ۲ دائما "کاهش مییابد". با از دست رفتن بار واحد شماره ۲ شار تحریک سری در واحد ۲ رو به کاهش میرود و در نتیجه ولتاژ تولید شده در ماشین شماره ۲ نیز کاهش پیدا میکند. باید گفت این کاهش ولتاژ باعث میگردد که ماشین شماره ۲ بار کمتری را تغذیه کند و در نتیجه شار بنحو چشمگیری پائین بیاید. اگر دو پروسس فوق الذکر شروع شد، بالاخره بجائی میرسیم که واحد شماره ۱ تمامی بار را تامین کرده و واحد شماره ۲ بی بار میشود. در حالت بحرانی که مدارهای حفاظتی مثل مدار شکن در مدار نباشد، واحد شماره ۲ ممکن است بصورت موتور عمل نماید. البته ممکن است قبل از اینکه حالت موتوری واحد ۲ پدیدار گردد، واحد ۱ بحالت اشباع برود و سیکل پروسس فوق الذکر متوقف شود. برای پایدار کردن شرایط فوق الذکر، از سیم متعادل کننده^(۱) استفاده میشود که یک سیم نسبتاً "کلفت با مقاومت ناچیز (حدود صفر) میباشد. عمل متعادل کننده آن است که اگر ولتاژ تولید شده در یک ژنراتور بالا رفت، شار مدار تحریک سری ژنراتور دیگر افزایش یابد. شکل (۳۰) (۴) شمای متعادل کننده را نشان میدهد.

با وجود متعادل کننده ولتاژ آرمیچرها همواره یکسان میشود، لذا ولتاژ دو سر هر دو مدار تحریک سری نیز مشابه خواهد بود. در حالت عادی جریان در متعادل کننده صفر است.



شکل ۳-۴ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند

حال اگر اختلافی پیش آید و فی المثل E_{g1} زیاد شود، ولتاژ آرمیچر واحد شماره ۱ زیاد میشود. از آنجائیکه ولتاژ آرمیچر ژنراتور ۱ بیش از ولتاژ آرمیچر در ژنراتور شماره ۲ میگردد، لذا از طریق متعادل کننده جریان بسمت مدار تحریک سری واحد شماره ۲ سرازیر میشود (چرا؟). این امر باعث میشود که E_{g2} نیز زیادتر شود تا بالاخره ولتاژ آرمیچر دو واحد ۱ و ۲ یکسان شوند.

Example 4-18

مثال ۴-۱۸

دو ژنراتور DC کمپوند با شنت کوتاه مفروض است و در شرایط فوق کمپوند قرار دارند. مشخصات دو ژنراتور در جدول (۴-۸) آمده است. مشخصه‌های این دو ژنراتور قدری با هم متفاوت اند و متعادل کننده نیز در مدار قرار دارد و ولتاژهای آرمیچرها برابرند. اگر این دو ژنراتور به شین ۲۱۰ ولتی متصل باشند، بار هر کدام را حساب کنید (شکل ۳-۴).

جدول ۴-۸ Table 4-8

Unit 1	Unit 2
$R_f = 100 \Omega$	$R_f = 100 \Omega$
$R_a = 1 \Omega$	$R_a = 1 \Omega$
$R_s = 0.5 \Omega$	$R_s = 0.4 \Omega$
$E_g = 234 \text{ V}$	$E_g = 234 \text{ V}$

حل

ابتدا شکل (۴-۳۱) را رسم میکنیم که مشابه شکل (۴-۳۰) میباشد. بر روی شکل جدید تمام مقادیر معلوم و مجهول را مشخص میسازیم. برای ژنراتور شماره ۱ داریم

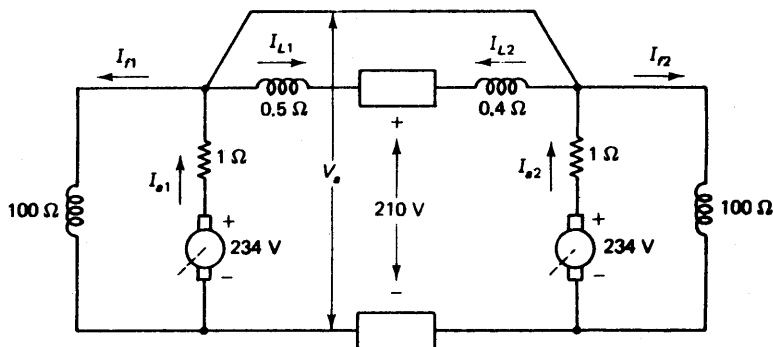
$$I_{f1} = \frac{V_a}{100 \Omega} \quad (4-10)$$

$$I_{L1} = \frac{V_a - 210 \text{ V}}{0.5 \Omega} \quad (4-11)$$

$$I_{a1} = \frac{234 \text{ V} - V_a}{1 \Omega} \quad (4-12)$$

چون جریان در متعادل کننده صفر است، لذا

$$I_{a1} = I_{L1} + I_{f1} \quad (4-13)$$



شکل ۴-۳۱: مدار مربوط به مثال ۴-۱۸

با جایگزینی سه رابطه (۴-۱۰)، (۴-۱۱)، (۴-۱۲) در معادله (۴-۱۳) داریم

$$\frac{234 - V_a}{1} = \frac{V_a - 210}{0.5} + \frac{V_a}{100}$$

پس

$$234 - V_a = 2V_a - 420 + \frac{V_a}{100}$$

$$654 = 3V_a + \frac{V_a}{100}$$

$$65,400 = 300V_a + V_a$$

$$65,400 = 301V_a$$

$$V_a = 217.28 \text{ V}$$

در نتیجه

$$\begin{aligned} I_{L1} &= \frac{V_a - 210 \text{ V}}{0.5} \\ &= \frac{217.28 - 210}{0.5} \\ &= 14.56 \text{ A} \end{aligned}$$

و

$$\begin{aligned} I_{L2} &= \frac{V_a - 210 \text{ V}}{0.4} \\ &= \frac{217.28 - 210}{0.4} \\ &= 18.2 \text{ A} \end{aligned}$$

با آنکه در عمل میتوان واحدهای مشابهی را انتخاب و موازی نمود ، اما همواره تفاوت‌های کوچکی وجود دارد که باعث عدم توزیع یکنواخت بار بین دو واحد میگردد . برای حبران این عدم تعادل یک منحرف کننده سری (دیورتور) با سیم پیچهای تحریک سری موازی مینمایند . با تنظیم دقیق منحرف کننده ها (دیورتور) میتوان سیستم را طوری تنظیم کرد که هر دو واحد بار مشابهی را تغذیه نمایند .

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 4

Symbol	Definition	Units: English and SI
۱ E_g	Generated voltage	volts
۲ V_t	Terminal voltage	volts
۳ V_{NL}	Terminal voltage at no load	volts
۴ V_{FL}	Terminal voltage at full (rated) load	volts
۵ V_a	Armature voltage	volts
۶ I_f	Shunt-field current	amperes
۷ I_a	Armature current	amperes
۸ I_s	Series-field current	amperes
۹ I_L	Load current	amperes
۱۰ R_f	Shunt-field resistance	ohms
۱۱ R_a	Armature resistance	ohms
۱۲ R_s	Series-field resistance	ohms
۱۳ P_f	Shunt-field power loss	watts
۱۴ P_{am}	Armature power loss	watts
۱۵ P_{Cu}	Total copper losses	watts
۱۶ P_s	Series-field power loss	watts
۱۷ η	Efficiency	percent
۱۸ V.R.	Voltage regulation	percent
۱۹ P_i	Generator input power	hp or watts
۲۰ P_o	Generator output power	watts

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل ۴

۱- ولتاژ تولید شده در درون ژنراتور ۲- ولتاژ ترمینال ۳- ولتاژ ترمینال در حالت بی‌باری ۴- ولتاژ ترمینال در بار کامل (بار اسمی) ۵- ولتاژ ارمیچر ۶- جریان تحریک شنت ۷- جریان ارمیچر ۸- جریان تحریک سری ۹- جریان بار ۱۰- مقاومت تحریک شنت ۱۱- مقاومت ارمیچر ۱۲- مقاومت تحریک سری ۱۳- تلفات مس در مدار تحریک شنت ۱۴- تلفات مس در ارمیچر ۱۵- کل تلفات مسی در ژنراتور ۱۶- تلفات مس در مدار تحریک سری ۱۷- راندمان

۱۸- تنظیم ولتاژ

۱۹- نیروی ورودی ژنراتور

۲۰- نیروی خروجی ژنراتور

فصل پنجم

موتورهای DC

۵۴ صفحه

DC MOTOR CHARACTERISTICS

موتورهای DC

مقدمه

در بررسی موتورهای DC از همان روشهای فصل ۴ (ژنراتورهای DC) استفاده میکنیم. عبارت ساده‌تر در این فصل نیز برای موتورهای DC مدارهای معادل ساده‌ای معرفی کرده و برای آنها روابط سه‌گانه بدست می‌آوریم. اما باید خاطر نشان ساخت که موتورهای ژنراتورها از نظر عملکرد متفاوت اند. عبارت ساده‌تر در ژنراتورها توان الکتریکی از ژنراتور تحویل مصرف کننده میشود، اما در موتورهای بر عکس توان الکتریکی از شبکه اخذ شده و به توان مکانیکی تبدیل میشود. چون توان مکانیکی حاصله بر روی محور برای ما مفید است لذا توان موتورهای اکثراً "بر حسب اسب بخار (سیستم ENG) یا کیلو وات (سیستم SI)" بیان میشود. هم چنین باید گفت که جهت جریان در موتورهای بر عکس ژنراتورها میباشد. علت این امر آن است که همانطور که گفتیم موتورهای توان از شبکه اخذ میکنند.

5-1 BASIC MOTOR EQUATION

۵-۱ معادله موتور DC

در فصل ۱ اصول تولید گشتاور (کوپل) را مورد بحث قرار دادیم. همچنین دیدیم که طبق معادلات (۹-۲) میتوان گشتاور ماکزیمم^(۱) برای یک هادی در حال دوران بدست آورد. همچنین میتوان معادلات (۹-۲) را تعمیم داد و گشتاور (کوپل) متوسط^(۲) را برای یک دور کامل بدست آورد علاوه بر این میتوان تمامی پارامترهای ثابت در معادله گشتاور را از قبیل طول، تعداد هادیها، شعاع آرمیچر، سطح مقطع هسته و غیره را یک کاسه نمود و بصورت پارامتر ثابتی نشان داد. در اینصورت معادله (۵-۱) حاصل میشود که گشتاور متوسط حاصله توسط دوران آرمیچر را نشان میدهد.

$$T = K \phi I_a \quad (5-1)$$

در رابطه اخیر، K عدد ثابتی است و به پارامترهای فیزیکی موتور بستگی دارد. باید گفت که مقدار K در دو سیستم SI و ENG متفاوت میباشد و همچنین

در رابطه (۱-۵) باید به واحد شار (ϕ) در دو سیستم آحادی فوق الذکر توجه نمود . در اینجا یادآور میشویم که در معادله (۱-۵) ، I_a آن جریان آرمیچر است .
رابطه (۱-۵) در درک رفتار موتور بسیار مهم است و در این فصل با این معادله بسیار سروکار داریم . از این رابطه در مییابیم که
الف - کوپل حاصله ^(۱) توسط موتور DC با شار هسته نسبت مستقیم دارد
ب - کوپل حاصله توسط موتور DC با جریان آرمیچر نسبت مستقیم خواهد داشت .
در درس مکانیک اجسام دوار خواندیم که :

$$\alpha = \frac{T}{J} \quad (5-2)$$

که در آن

(α) شتاب زاویه‌ای جسم دوار (مانند آرمیچر) میباشد . لذا در مییابیم که α با گشتاور اعمال شده T نسبت مستقیم داشته و با مان اینرسی ^(۲) (لنگر لختی) جسم دوار نسبت معکوس دارد (J مان اینرسی میباشد) . رابطه (۲-۵) در دو سیستم آحادی ENG و SI معتبر است ولی فعلاً " از ذکر آحاد مربوط به این معادله در این دو سیستم خودداری میکنیم .

۱-۱-۵ رابطه بین گشتاور (کوپل) و توان

5-1.1 Relationship between Torque and Power

هنگامیکه با موتورهای DC سروکار داریم ، کمیت خروجی آن گشتاور یا توان میباشد و البته مشخص کردن یکی از این دو کمیت به موارد استعمال موتور بستگی دارد . هنگامیکه یکی از این دو کمیت معلوم باشد ، باید قادر باشیم دیگری را محاسبه کنیم و باید دقت کرد که این دو کمیت ماهیتاً " متفاوت هستند ، باید گفت که :
الف - توان ، میزان کار انجام شده در یک مدت زمان مشخص میباشد .
ب - گشتاور مقیاس برای اندازه‌گیری سرعت چرخش جسم دوار میباشد (رابطه ۲-۵)
رابطه گشتاور و توان اینچنین است

$$T = \frac{7.04 P}{S} \quad (5-3a)$$

در سیستم (SI) داریم

$$T = \frac{1000 P}{\omega} \quad (5-3b)$$

هنگام استفاده از روابط اخیر باید به T احاد ذکر شده در جدول (۱-۵) توجه نمود. باید خاطر نشان ساخت که در این روابط اگر P توان حاصله توسط موتور باشد، T گشتاور حاصله بوده و اگر P توان خروجی موتور منظور شود، T گشتاور خروجی خواهد بود در همین فصل (بخش ۵-۵) خواهیم دید که توان حاصله و توان خروجی با هم کاملاً متفاوت اند.

Table 5-1	جدول ۱-۵
English (Eq. 5-3a)	SI (Eq. 5-3b)
P watts	P kilowatts
S rev/min	ω rad/s
T ft-lb	T N-m

Example 5-1 (English)

مثال ۱-۵ (سیستم ENG)

اگر گشتاور خروجی ^(۱) موتوری دربار کامل ^(۲) ۵۰ فوت - پوند باشد، توان

اسمی موتور را در دو سرعت زیر بر حسب اسب بخار بدست آورید.

(الف) : ۱۸۰۰ دور در دقیقه

(ب) : ۶۰۰ دور در دقیقه

حل

از رابطه (۳a-۵) داریم

$$P = T \times \frac{S}{7.04}$$

(الف) : لذا

$$P = 50 \text{ ft-lb} \times \frac{1800 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 12,784 \text{ W}$$

$$P = \frac{12,784 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 17.14 \text{ hp}$$

(ب) : همچنین

$$\begin{aligned}
 P &= 50 \text{ ft-lb} \times \frac{600 \text{ rev/min}}{7.04} \\
 &= 4261.4 \text{ W} \\
 P &= \frac{4261.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} \\
 &= 5.71 \text{ hp}
 \end{aligned}$$

Example 5-2 (SI)

مثال ۵-۲ (سیستم SI)

اگر گشتاور خروجی موتوری دربار کامل ۷۰ نیوتن - متر باشد توان اسمی موتور را در دو سرعت زیر بر حسب کیلو وات حساب کنید .

(الف) : ۲۱۰ رادیان بر ثانیه

(ب) : ۷۰ رادیان بر ثانیه

حل

از رابطه (۵-۳b) داریم

$$P = T \times \frac{\omega}{1000}$$

(الف) : لذا

$$P = 70 \text{ N-m} \times \frac{210 \text{ rad/s}}{1000}$$

$$= 14.7 \text{ kW}$$

(ب) : همچنین

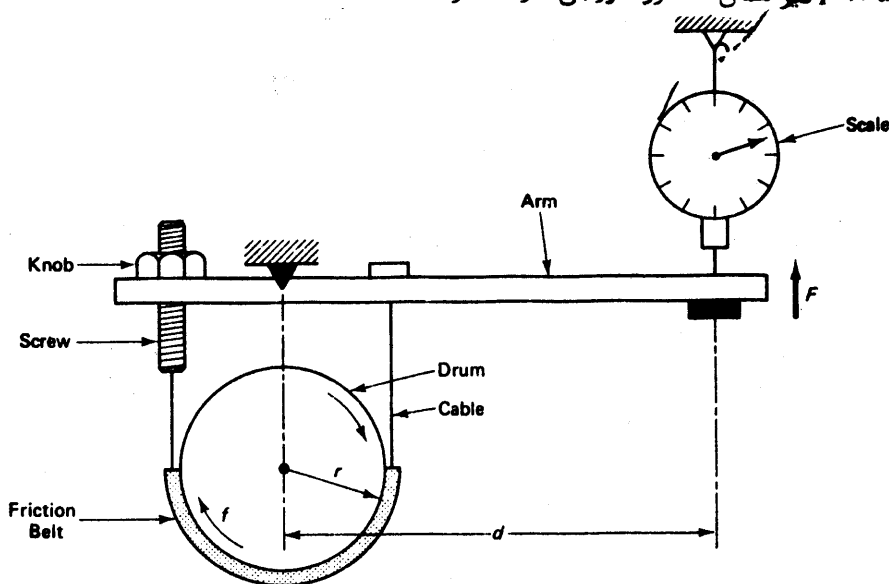
$$P = 70 \text{ N-m} \times \frac{70 \text{ rad/s}}{1000} = 4.9 \text{ kW}$$

5-1.2 Measurement of Torque

۵-۱-۲ اندازه گیری گشتاور (کوپل)

هرگاه موتوری DC را مورد آزمایش قرار دهیم ، اولین نکته ای که توجه ما را بخود معطوف میکند همان توان خروجی موتور DC است . اما باید گفت که اندازه گیری توان قدری پیچیده است . اما اگر گشتاور خروجی را اندازه بگیریم در اینصورت میتوان با استفاده از روابط (۵-۳) ، توان مربوطه را بدست آورد . ساده ترین روش اندازه گیری گشتاور استفاده از سیستم ترمزی شکل (۵-۱) میباشد . موتور رادر پشت ترمز قرار

میدهیم (۱) و محور آن را به استوانه وصل میکنیم. برای وضعیت نشان داده شده در شکل، موتور باید در جهت عقربه‌های ساعت (۲) (CW) بچرخد. هنگامیکه موتور استوانه را میچرخاند، با بازی کردن با پیچ (۳) و مهره (۴) نشان داده شده، کمر بند اصطکاک (۵) را بدور استوانه سفت‌تر مینمائیم. لذا باید گشتاور بیشتری در خروجی ماشین ظاهر شود تا بر گشتاور مخالف که همان گشتاور تولید شده توسط اصطکاک کمر بند بدور استوانه میباشد فائق گردد. این گشتاور $(f \times r)$ بوسیله کابل به بازوی اهرم منتقل میشود. چون اهرم در تعادل قرار دارد، لذا $f \times r$ باید با $F \times d$ مساوی باشد (F نیروی نشان داده شده توسط ترازوست). اما میدانیم $(f \times r)$ همان گشتاور خروجی موتور است. لذا $F \times d$ نیز همان گشتاور خروجی خواهد بود



شکل ۱-۵: سیستم ترنر برای اندازه‌گیری گشتاور

Example 5-3 (English)

مثال ۳-۵ (سیستم ENG)

سیستم ترمزی مطابق شکل (۱-۵) مفروض است و برای اندازه‌گیری توان خروجی موتور DC بکار میرود. در تحت بار تنظیم شده‌ای سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه میباشد و

1) Brake

4) Knob

2) Clockwise

5) Friction-belt

3) Screw

ترازو نیروی ۱۶ پوند را نشان میدهد. مطلوبست محاسبه توان خروجی موتور بر حسب اسب بخار مشروط بر آنکه فاصله d معادل ۵/۰ فوت باشد.

حل

ابتدا گشتاور خروجی را حساب میکنیم

$$T_o = F \times d = 16 \text{ lb} \times 0.5 \text{ ft} = 8 \text{ ft-lb}$$

حال از رابطه (۳a-۵) داریم

$$\begin{aligned} P_o &= T_o \times \frac{S}{7.04} \\ &= 8 \text{ ft-lb} \times \frac{1200 \text{ rev/min}}{7.04} \\ &= 1363.64 \text{ W} \\ &= \frac{1363.64 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 1.83 \text{ hp} \end{aligned}$$

Example 5-4 (SI)

مثال ۴-۵ (سیستم SI)

سیستم ترمزی مطابق شکل (۱-۵) مفروض است و برای اندازه‌گیری توان خروجی موتور DC بکار میرود. در تحت بار تنظیم شده‌ای سرعت ۱۰۰ رادیان بر ثانیه میباشد و ترازو و نیروی ۵۰ نیوتن را نشان میدهد. توان خروجی موتور را بر حسب کیلو وات حساب کنید مشروط بر آنکه فاصله d معادل ۲۰ سانتیمتر باشد.

حل

ابتدا گشتاور خروجی را بدست می‌آوریم

$$\begin{aligned} T_o &= F \times d = 50 \text{ N} \times 0.2 \text{ m} \\ &= 10 \text{ N-m} \end{aligned}$$

حال از رابطه (۳b-۵) داریم

$$\begin{aligned} P_o &= T_o \times \frac{\omega}{1000} \\ &= 10 \text{ N-m} \times \frac{100 \text{ rad/s}}{1000} \\ &= 1 \text{ kW} \end{aligned}$$

۲-۵- نیروی ضد محرکه (BEMF)

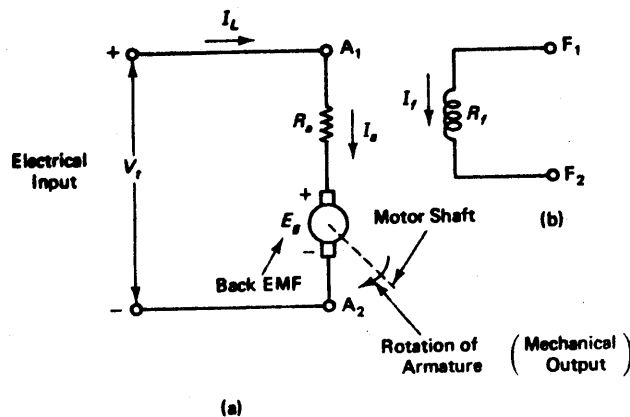
5-2 BACK ELECTROMOTIVE FORCE (BACK EMF)

میدانیم که اگر به دو سر آرمیچر ولتاژ اعمال گردد، از سیمهای آرمیچر جریان میگذرد. همچنین دریافتیم که اگر آرمیچر حاوی جریان درون یک میدان مغناطیس قرار گیرد، گشتاور (کوپل) حاصل میشود (رابطه ۱-۵). علاوه بر این دیدیم اگر گشتاور (کوپل) به یک جسم که قابلیت دوران دارد اعمال شود، این جسم شتاب میگیرد و سرعت آن بالا می‌رود. (رابطه ۲-۵)، تمام مطالب فوق الذکر برای موتورهای DC صادق است. یعنی هرگاه ولتاژ به دو سر ترمینال موتور اعمال شود جریان در موتور برقرار میگردد. این جریان باعث بوجود آمدن گشتاور شده که در اثر آن محور موتور به دوران می‌آید. اما در این تحلیل ما یک نکته را ذکر نکرده‌ایم و آن این است که آیا هنگام اعمال ولتاژ، شتاب موتور دائمی است؟ یعنی آیا سرعت موتور دائما "افزایش مییابد؟ اما این واقعیت وجود دارد که سرعت موتور بینهایت نمیشود و بالاخره موتور تحت سرعت معینی خواهد چرخید و شتاب موتور متوقف میگردد حال این مطلب را از جهت عکس مورد مطالعه قرار میدهیم. یعنی هنگامیکه سرعت معین و ثابت است، لذا شتاب صفر مییابد. با توجه به رابطه (۲-۵) در مییابیم که در اینحال گشتاور نیز باید صفر باشد. اگر فرض کنیم که شار وجود داشته باشد، لذا طبق رابطه (۱-۵) در مییابیم که از نظر تئوری جریان آرمیچر نیز باید هنگامیکه موتور تحت سرعت ثابتی میچرخد صفر باشد. البته بعداً در این فصل ثابت میکنیم که حتی موقعی که شتاب صفر است جریان آرمیچر برقرار خواهد بود. لذا از صفر شدن تئوریک جریان نتیجه میگیریم که باید ولتاژ دیگری مساوی ولی در جهت مخالف ولتاژ شبکه در بحث ما وارد گردد. این ولتاژ مخالف را نیروی ضد محرکه یا BEMF مینامند. در این مرحله، تئوری ژنراتورهای DC را بخاطر می‌آوریم. دیدیم که اگر هادیها در میدان مغناطیسی بدوران درآیند، ولتاژ تولید خواهد شد و اگر هادیها شار را سریعتر قطع کنند، ولتاژ تولید شده نیز افزایش مییابد.

از نظر تئوری در حالت موتوری، ولتاژ اعمال شده باعث برقراری جریان در آرمیچر میشود و لذا گشتاور حاصل میگردد. این گشتاور باعث شتاب موتور خواهد شد. با سرعت گرفتن موتور نیروی ضد محرکه (BEMF) افزایش مییابد تا بالاخره مساوی و

مخالف ولتاژ شبکه تغذیه موتور شود. در این مرحله جریان آرمیچر و گشتاور صفر شده و شتاب موتور نیز متوقف میشود (شتاب صفر) در نتیجه موتور با سرعت ثابتی میچرخد. اما واقع امر آن است که جریان آرمیچر صفر نشده بلکه بسیار کم خواهد بود. و گشتاور کمی نیز برای جبران اصطکاک داخلی موتور باقی خواهد ماند در اینجا خاطر نشان می‌سازیم که با استفاده از قانون دست راست فلمینگ درخواهیم یافت که این پلارتیه ولتاژ با جریان آرمیچر که باعث به دوران آمدن موتوری گردد مخالف است.

همچنین متذکر می‌شویم که در عمل BEMF با ولتاژ ترمینال موتور هیچگاه مساوی نمی‌شود و حتی در حالت بی‌باری اختلاف جزئی وجود دارد تا جریان کمی برای ایجاد گردد گشتاور بدست آید تا محور ماشین به دوران خود ادامه دهد.



شکل ۲-۵: طرز نمایش موتور

a: مدار آرمیچر

b: مدار تحریک

۵-۳ EQUIVALENT CIRCUIT OF A DC MOTOR مدار معادل موتور

با دانستن مفهوم نیروی ضد محرکه (BEMF) میتوان مدار معادل موتور DC را بدست آورد. شکل (۲-۵) یک موتور DC با تحریک جداگانه را نشان میدهد. اگر

آنرا با مدار معادل ژنراتور مقایسه کنیم (شکل ۴-۴) مشاهده میشود که این دو مدار تقریباً "مشابه‌اند". فقط سه فرق عمده بین آنها وجود دارد.

الف: در ژنراتور V_t ولتاژ ترمینال بوده و به آن بار متصل میشود ولی در موتور V_t همان ولتاژ شبکه تغذیه موتور است. لذا جهت جریان در ژنراتور از طرف ژنراتور بطرف بار و در موتور از طرف شبکه بطرف موتور است.

ب: در ژنراتور به محور ماشین توان مکانیکی اعمال میشود ولی در موتورها توان مکانیکی بر روی محور موتور حاصل میگردد.

ج: در ژنراتور E_g بزرگتر از V_t بوده ولی در موتورها V_t بزرگتر از E_g است. البته در ژنراتور به E_g ولتاژ تولید شده و در موتور به E_g نیروی ضد محرکه (BEMF) گفته میشود. باید گفت که:

۱- در ژنراتورها به I_L جریان بار میگویند.

۲- در موتورها به I_L جریان خط گفته میشود.

همچنین خاطرنشان میسازیم که R_a ، R_f ، I_a ، I_f ، در موتورها همان معنی را دارند که در ژنراتورها درباره آنها گفتیم یعنی:

۱- R_f : مقاومت مدار تحریک

۲- R_a : مقاومت آرمیچر

۳- I_f : جریان تحریک

۴- I_a : جریان آرمیچر

۱-۳-۵ رفتار موتور DC در تحت شرایط بار داری (موتور DC با تحریک جداگانه)

5-3.1 Behavior of the Motor under Load

فرض میکنیم به محور موتور نشان داده شده در شکل (۲-۵) هیچگونه باری متصل نباشد (حالت بی باری)^(۱) و موتور در حالت پایدار و مانا^(۲) تحت سرعت مشخصی بچرخد. در این حالت V_t قدری بیشتر از E_g است و جریان آرمیچر عبارت است از:

$$I_a = \frac{V_t - E_g}{R_a} \quad (5-4)$$

این جریان ناچیز گشتاور کمی را تولید میکند که بر اصطکاک داخلی موتور فائق میشود ، البته فرض بر آن است که شار ثابت باشد . حال اگر به محور موتور بار اعمال شود (بار موتور از نوع مکانیکی است) ، در اینصورت سرعت موتور کاهش پیدا میکند . چون نیروی ضد محرکه (E_g) تابعی از سرعت است (رابطه $(۱-۴)$) ، E_g نیز کم میشود . با توجه به رابطه $(۴-۵)$ در میابیم که با کاهش E_g ، جریان I_a زیاد میشود . با افزایش جریان آرمیچر گشتاور نیز افزوده میگردد . این پروسس آنقدر ادامه مییابد که موتور به سرعتی برسد تا در آن سرعت گشتاور موتور بتواند بار را ارضا کند . حال اگر یکباره بار را از روی موتور برداریم ، در اینصورت گشتاور نسبتاً " قوی موجود در ماشین ، موتور را شتاب داده تا با سرعت اولیه (حالت بی باری) برسیم .

۲-۳-۵ منحنی گشتاور سرعت (منحنی TS) :

5-3.2 Torque-Speed Curve

برای اینکه بحث فوق را بصورت ترسیمی تشریح کنیم ، میتوان منحنی گشتاور سرعت (TS) موتور را رسم نمود . البته در این بحث موتور DC با تحریک جداگانه مورد تحلیل قرار گرفته است ولی این روش را می توان برای سایر موتورهای DC تعمیم داد .

اگر شار ثابت فرض شود ، لذا رابطه $(۱-۵)$ را اینچنین مینویسیم :

$$T = K'I_a \quad (5-5)$$

که در آن :

$$K' = K\phi$$

اگر ماشین تحت سرعت ثابتی بچرخد (شتاب صفر) در اینصورت گشتاور حاصله معادل گشتاور بار^(۱) (T_L) خواهد بود . لذا رابطه $(۵-۵)$ اینچنین میشود .

$$T_L = K'I_a \quad (5-6)$$

با جایگزینی رابطه $(۴-۵)$ در رابطه اخیر داریم :

$$T_L = \frac{K'(V_t - E_g)}{R_a} \quad (5-7)$$

حال از روابط (۱-۴) استفاده کرده و بجای E_g مقادیر مربوطه را قرار میدهم (توجه کنید که شار ثابت فرض شده است). لذا:

$$T_L = \frac{K'V_t}{R_a} - \frac{K'K''S}{R_a}$$

لذا رابطه اخیر در سیستم (ENG) اینچنین نوشته میشود.

$$T_L = K_m V_t - K_B S \quad (5-8a)$$

و در سیستم (SI) داریم:

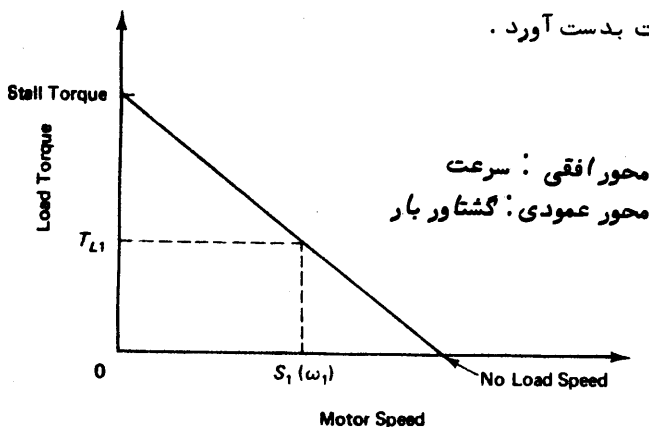
$$T_L = K_m V_t = K_B \omega \quad (5-8b)$$

منحنیهای ذکر شده توسط معادلات (۵-۸) منحنیهای گشتاور - سرعت (TS) موتور نامیده میشود (شکل ۳-۵). با توجه به این منحنی میتوان گفت:

الف: موقعی که گشتاور بار صفر است، موتور تحت سرعت بی‌باری میچرخد.
ب: اگر گشتاور بار به (T_{L1}) افزایش یابد سرعت به S_1 یا ω_1 کاهش پیدا میکند.

ج: با افزایش هر چه بیشتر گشتاور بار، سرعت موتور نیز دائما "کم" میشود تا بالاخره موتور می‌ایستد.

در اینجا متذکر میشویم که به کمترین گشتاور باری که باعث سکون موتور میشود، گشتاور سکون (۱) گفته میشود. ملاحظه میشود که با داشتن منحنی TS میتوان سرعت ماشین را در هر موقعیت بدست آورد.



شکل ۳-۵: منحنی گشتاور - سرعت (TS) برای موتور DC

1) Stall Torque

Example 5-5 (English)**مثال ۵-۵ (سیستم ENG)**

یک موتور DC با تحریک حداکانه با مشخصات زیر مفروض است:

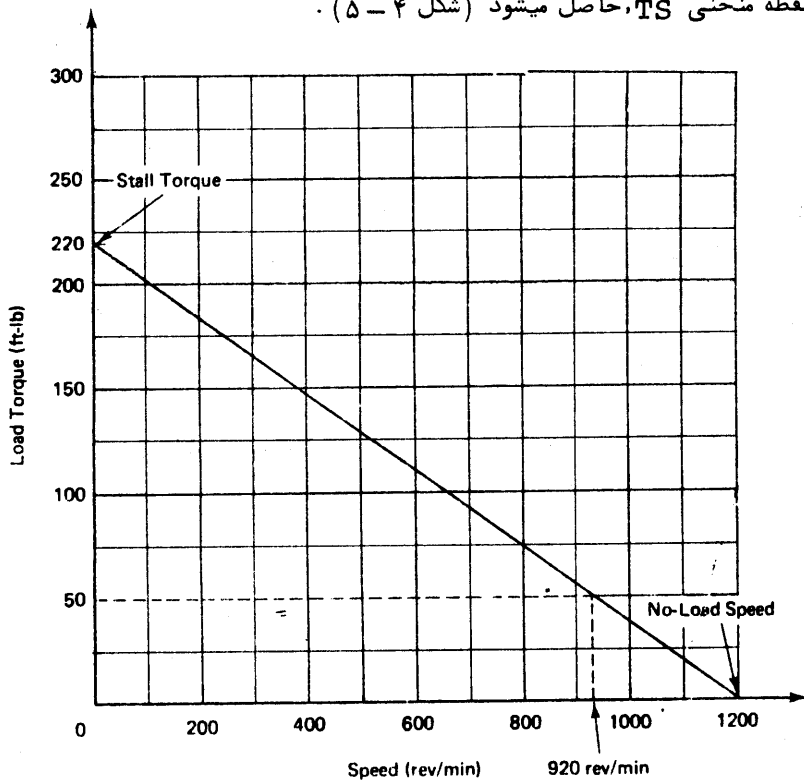
دور در دقیقه ۱۲۰۰ = سرعت در حالت بی‌باری

"فوت - پوند" ۲۲۰ = گشتاور سکون

اگر گشتاور بار اعمال شده بر موتور ۵۰ فوت - پوند باشد سرعت موتور را بدست آورده و توان خروجی موتور را در حالت بارداری حساب کنید. شار را ثابت در نظر بگیرید.

حل:

ابتدا منحنی TS را رسم میکنیم. برای این منظور گشتاور سکون بر روی محور عمودی و سرعت در حالت بی‌باری بر روی محور افقی مشخص میگردد. با وصل کردن این دو نقطه منحنی TS حاصل میشود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵: منحنی گشتاور - سرعت برای مثال ۵-۵

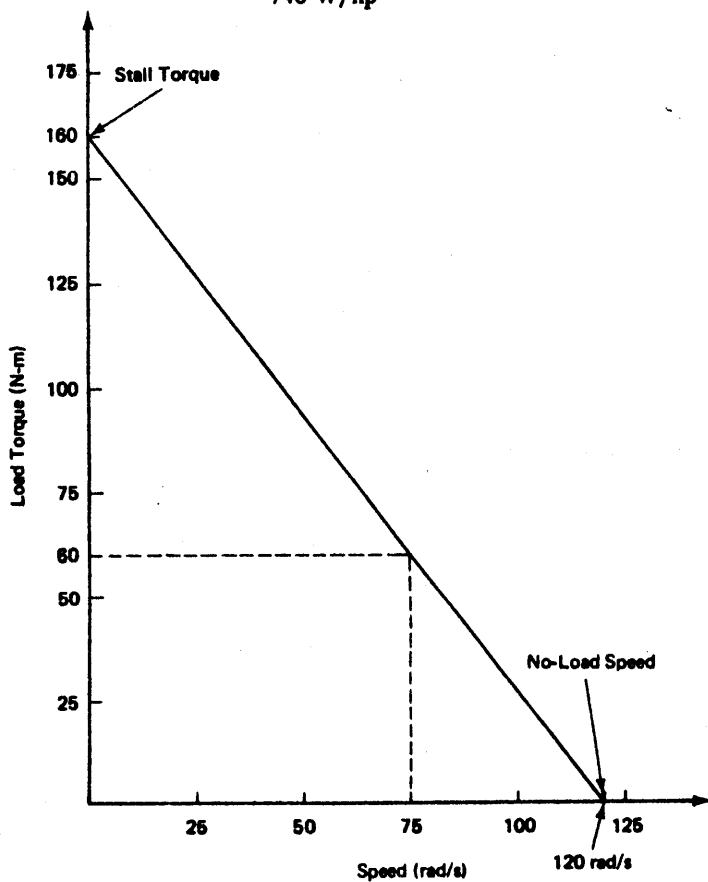
با توجه به شکل در مییابیم که در حالت بارداری ($T_L = 50$) سرعت موتور ۹۲۰ دور در دقیقه میشود. برای محاسبه توان خروجی از رابطه (۳-۵) کمک میگیریم. لذا:

$$P_o = \frac{TS}{7.04}$$

$$= \frac{50 \text{ ft-lb} \times 920 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 6534 \text{ W}$$

$$P_o = \frac{6534 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 8.76 \text{ hp}$$



شکل ۵-۵: منحنی گشتاور - سرعت برای مثال ۵-۶

مثال ۵-۶ (سیستم SI) :

Example 5-6 (SI)

یک موتور DC با تحریک جداگانه با مشخصات زیر مفروض است :

رادیان بر ثانیه $120 =$ سرعت در حالت بی باری

نیوتن - متر $160 =$ گشتاور سکون

اگر بار موتور 60 نیوتن متر باشد ، سرعت آنرا بدست آورید و توان خروجی موتور را تحت این بار حساب کنید . شار را ثابت در نظر بگیرید

حل :

ابتدا منحنی TS موتور را رسم میکنیم . روی محور عمودی گشتاور سکون و بر روی محور افقی سرعت بی باری را مشخص کرده و بهم متصل میسازیم (شکل ۵-۵) . با توجه بشکل در مییابیم که اگر گشتاور بار 60 نیوتن متر باشد ، سرعت 75 رادیان بر ثانیه خواهد شد . همچنین از رابطه (۵-۳b) داریم :

$$\begin{aligned} P_o &= \frac{T\omega}{1000} \\ &= \frac{60 \text{ N-m} \times 75 \text{ rad/s}}{1000} \\ &= 4.5 \text{ kW} \end{aligned}$$

5-4 SPEED REGULATION

۴-۵ - تنظیم سرعت :

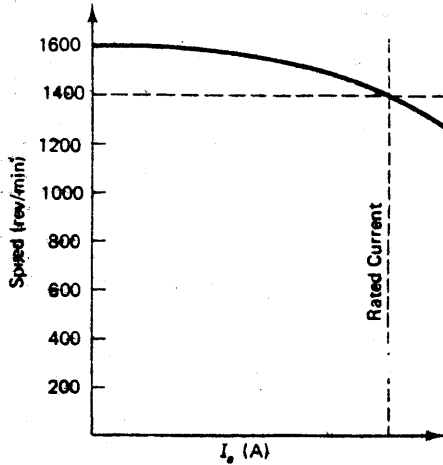
در فصل ۴ راجع به تنظیم ولتاژ ژنراتور DC صحبت کردیم . در موتورها باید راجع به تنظیم سرعت بحث کنیم . تنظیم سرعت به مفهوم آن است که سرعت محور موتور از حالت بی باری تا بار کامل چه میزان تغییر میکند . این تعریف برای انواع موتورها صادق بوده و لذا روابط زیر برای انواع موتورها DC بکار می روند . در سیستم (ENG) درصد تنظیم سرعت اینچنین است :

$$\% \text{ speed regulation} = \frac{S_{NL} - S_{FL}}{S_{FL}} \times 100 \quad (5-9a)$$

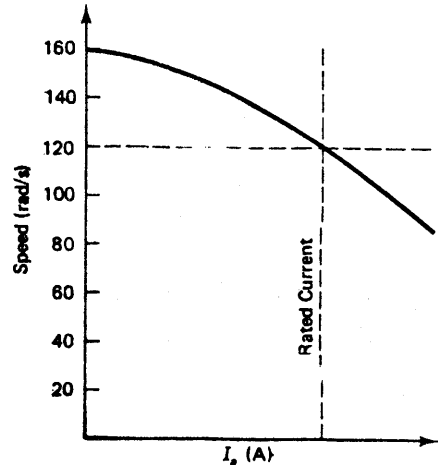
در سیستم (SI) درصد تنظیم سرعت عبارتست از :

$$\% \text{ speed regulation} = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_{FL}} \times 100 \quad (5-9b)$$

هرچه درصد تنظیم کمتر باشد مشخصه موتور بهتر است. حالت ایده آل آن است که درصد تنظیم صفر درصد باشد. شکل (۵-۶) مشخصه های بار^(۱) موتورهای معمولی را نشان میدهد و این مشخصه ها تغییرات سرعت موتور نسبت به جریان آرمیچر خواهد بود. علت استفاده از جریان آرمیچر آن است که نشان دهنده میزان بار موتور بوده (بخش ۱-۳ در همین فصل) و بسیار آسان حاصل می گردد.



(a)



(b)

شکل ۵-۶: مشخصه های بار موتور

a: سیستم ENG

b: سیستم SI

Example 5-7 (English)

مثال ۵-۷ (سیستم ENG):

منحنی مشخصه سرعت یک موتور DC مطابق شکل (۵-۶ a) میباشد. درصد

تنظیم سرعت این موتور را بدست آورید.

حل:

از روی منحنی سرعت در حالت بی باری و بار کامل را بدست می آوریم و سپس

$$S.R. = \frac{1600 - 1400}{1400} \times 100 = 14.3\%$$

از رابطه (۵-۹ a) کمک میگیریم:

1) Load-Characteristic

مثال ۵-۸ (سیستم SI):

Example 5-8 (SI)

منحنی مشخصه سرعت یک موتور DC مطابق شکل (b-۵) میباشد، درصد تنظیم سرعت این موتور را بدست آورید.

حل:

ابتدا از روی منحنی سرعت در حالت بی باری و بار کامل را بدست می آوریم و سپس از رابطه (b-۹) کمک میگیریم.

$$\begin{aligned}\% \text{ S.R.} &= \frac{160 - 120}{120} \times 100 \\ &= 33.3\%\end{aligned}$$

5-5 MOTOR EFFICIENCY

۵-۵ راندمان موتور DC

در فصل ۴ راجع به راندمان ژنراتور DC مفصلاً صحبت کردیم. در اینجا درباره راندمان موتورهای DC بطور مختصر بحث میکنیم. فقط چند فرق اساسی برای محاسبه راندمان موتورهای نسبت به ژنراتورها وجود دارد.

در موتورهای توان ورودی الکتریکی بوده و توان خروجی مکانیکی است. لذا تبدیل انرژی در آرمیچر از نوع الکتریکی به مکانیکی است (برخلاف ژنراتور). رابطه (۷-۴) را برای موتورهای اینچنین مینویسیم:

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (5-10)$$

از آنجائیکه توان ورودی موتورهای الکتریکی است و سهلتر اندازه گیری میشود، لذا توان خروجی موتور را اینچنین مینویسیم (چرا؟)

$$P_o = P_i - \text{losses} \quad (5-11)$$

در نتیجه:

$$\text{efficiency} = \eta(\%) = \frac{P_i - \text{losses}}{P_i} \times 100 \quad (5-12)$$

معمولاً راندمان موتورهای برروی پلاک بدنه آنها نوشته شده است و عبارت فوق برای انواع موتورهای DC صادق است.

Example 5-9 (English)

مثال ۵-۹ (سیستم ENG):

یک موتور DC با مشخصات ذیل مفروض است:

اسب بخار ۲ = توان اسمی موتور

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۵ = جریان اسمی

راندمان نوشته شده بر روی پلاک موتور چیست.

حل:

با توجه به اعداد فوق توان الکتریکی ورودی عبارتست از:

$$P_i = V_i I_L = 120 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 1800 \text{ W}$$

از طرفی توان خروجی اینچنین است:

$$P_o = 2 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 1492 \text{ W}$$

پس:

$$\eta = \frac{1492 \text{ W}}{1800 \text{ W}} \times 100 = 82.9\%$$

Example 5-10 (SI)

مثال ۵-۱۰ (سیستم SI):

یک موتور DC با مشخصات ذیل مفروض است، راندمان نوشته شده بر روی

پلاک موتور چیست.

کیلو وات ۲ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۲ = جریان اسمی

حل:

توان الکتریکی ورودی با استفاده از اعداد فوق حاصل میشود.

$$P_i = V_i I_L = 220 \text{ V} \times 12 \text{ A} = 2640 \text{ W}$$

از طرفی توان خروجی اینچنین است:

$$P_o = 2 \text{ kW} = 2000 \text{ W}$$

پس:

$$\eta = \frac{2000 \text{ W}}{2640 \text{ W}} \times 100 = 75.8\%$$

5-5.1 Power Flow Diagram

۱-۵-۵ دیاگرام (نمودار) بخش توان:

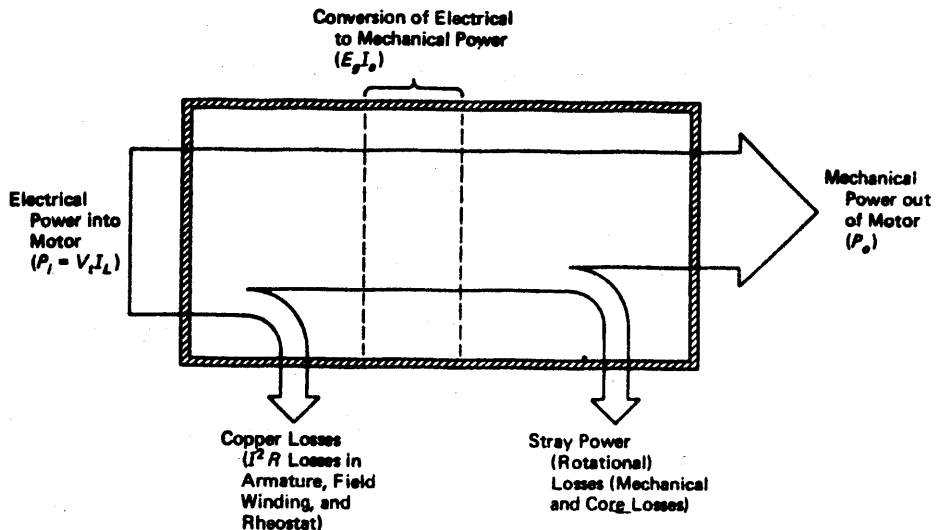
شکل (۵-۷) دیاگرام پخش توان در یک موتور DC را نشان میدهد. اگر این شکل را با شکل (۱۱-۴) مقایسه کنیم در مییابیم که فقط نوع توان در ورودی، خروجی و هنگام تبدیل با هم متفاوت است. باید گفت که شکل (۵-۷) و مطالب این بخش برای انواع موتورهای DC صادق می باشد.

در موتورها توان الکتریکی از طریق ترمینال ماشین وارد ماشین میگردد و اگر تمامی تلفات مسی را از آن بکاهیم، توان الکتریکی باقی مانده توسط آرمیچر موتور به توان مکانیکی تبدیل میشود

$$P_i - \text{copper losses} = E_g I_a \quad (5-13)$$

توان تبدیل شده $(E_g I_a)$ به توان حاصله (Developed-Power) معروف است که در موتورها نهایتاً "از نوع مکانیکی است اما توانی نیست که بر روی محور موتور ظاهر میشود. برای محاسبه توان ظاهر شده بر روی محور موتور باید از $E_g I_a$ تلفات توان سرگردان (تلفات هسته بعلاوه تلفات مکانیکی) را کسر نمود. لذا:

$$P_o = P_i - \text{copper losses} - \text{stray power losses} \quad (5-14)$$



شکل ۵-۷ پخش توان در موتور DC

۲-۵-۵ اندازه‌گیری تلفات توان سرگردان در موتورهای DC

5-5.2 Measurement of Stray Power Losses

اگر موتور DC را در حالت بی‌باری بچرخانیم ($P_s = 0$)، رابطه (۵-۱۴) را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$\text{stray power loss} = P_i - \text{copper losses} \quad (5-15)$$

در رابطه اخیر توان ورودی و تلفات مسی کمیت‌های الکتریکی هستند و به‌سبب می‌توان آنها را اندازه‌گرفت. با آنکه تلفات توان سرگردان فوق‌الذکر که از رابطه (۵-۱۵) بدست می‌آید، در حالت بی‌باری محاسبه شده ولی بدلائل زیر مبین تلفات توان سرگردان دربار اسمی نیز خواهد بود:

۱- تلفات مکانیکی با سرعت متناسب است، لذا اگر در آزمایش بی‌باری موتور با سرعت اسمی بچرخد تلفات مکانیکی مشابه بار اسمی میباشد.

۲- تلفات هسته متناسب با شار و سرعت است. لذا اگر شار را در حالت بی‌باری بمیزان شار در بار اسمی قرار دهیم و سرعت موتور نیز همان سرعت اسمی باشد، تلفات هسته در این آزمایش خاص بی‌باری مشابه حالت بار اسمی خواهد بود.

مثال ۵-۱۱:

Example 5-11

یک موتور DC مطابق شکل (۵-۲) مفروض است و در حالت بی‌باری آنرا مورد آزمایش قرار میدهم تلفات مسی از مقاومت‌ها و حریرانها حاصل میگردد و ۲۱۰ وات است. ولتاژ ترمینال و جریان خط بترتیب ۱۲۰ ولت و ۲/۵ آمپر میباشد. اگر موتور تحت سرعت اسمی بچرخد، تلفات توان سرگردان را بدست آورید.

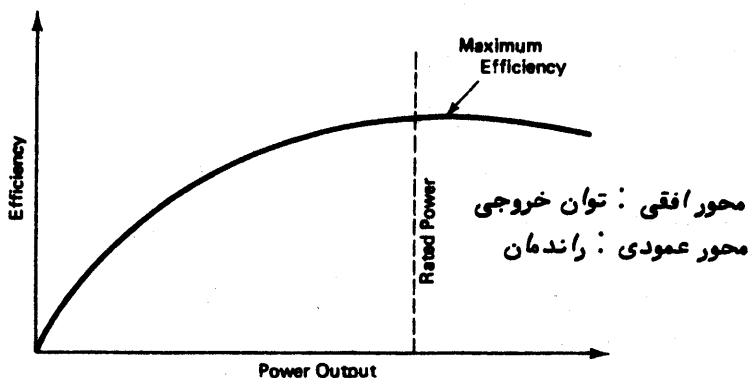
حل:

$$P_i = V_t I_L = 120 \text{ V} \times 2.5 \text{ A} = 300 \text{ W}$$

از رابطه (۵-۱۵) داریم:

$$\begin{aligned} \text{stray power} &= P_i - \text{copper losses} \\ &= 300 \text{ W} - 210 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\text{stray power loss} = 90 \text{ W}$$



شکل ۵-۸ تغییرات راندمان بر حسب توان خروجی در موتور DC

5-5.3 Maximum Efficiency

۳-۵-۵ راندمان ماکزیمم:

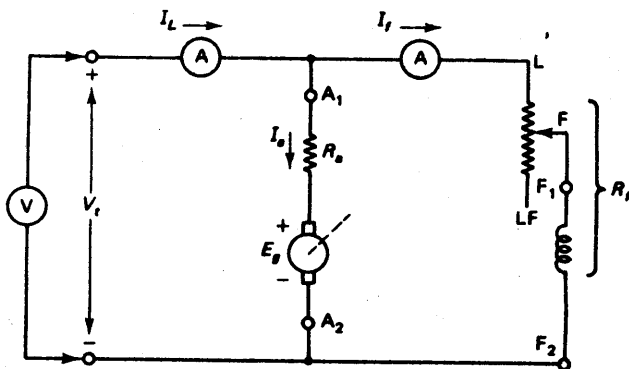
معمولا منحنی راندمان انواع موتورهای DC مطابق شکل (۵-۸) است. این منحنی تغییرات راندمان را بر حسب توان خروجی موتور نشان میدهد. موتورهای طوری طراحی میشوند که راندمان ماکزیمم موقعی بدست آید که توان خروجی نزدیک به توان اسمی خروجی باشد. البته این موضوع را میتوان بوسیله ریاضیات نیز اثبات نمود ولی ما در اینجا فقط نتیجه را بیان میکنیم. مثلا "اگر موتوری شنت با سرعت ثابتی بچرخد، و توان خروجی تغییر کند، تلفات توان سرگردان ثابت میماند. (البته در تحت شار ثابت) همچنین در موتور DC شنت تلفات تحریک نیز ثابت خواهد بود. تنها تلفاتی که متغیر می باشد همان تلفات مسی آرمیچر ($R_a I_a^2$) است که با افزایش بار زیاد میشود. راندمان ماکزیمم موقعی حاصل میشود که تلفات ثابت (سرگردان + تحریک شنت) مساوی تلفات متغیر (تلفات مسی آرمیچر) باشد.

$$\underbrace{\text{stray power loss} + \text{shunt field loss}}_{\text{fixed losses}} = \underbrace{\text{armature loss}}_{\text{variable loss}} \quad (5-16)$$

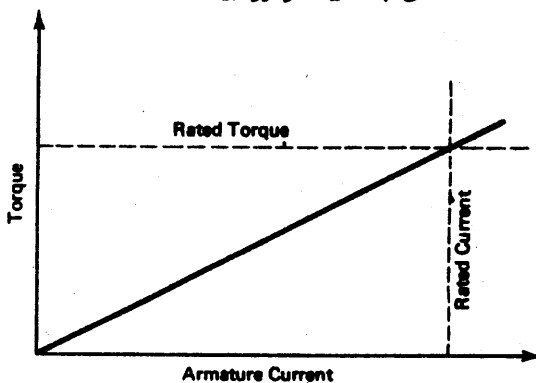
5-6 SHUNT MOTOR

۵-۶ موتور DC شنت (موازی):

موتور DC شنت همانطور که از نامش پیداست دارای مدار تحریکی است که موازی آرمیچر نصب شده است (شکل ۹-۵). این مدار معادل شبیه ژنراتور DC شنت بوده با این تفاوت که جهت جریانها در حالت موتوری با جهت ژنراتوری فرق دارد. همانطور که از شکل (۹-۵) پیداست، ولتاژ شبکه (V_t) باعث تغذیه مدار تحریک نیز میشود و چون ولتاژ شبکه ثابت است و مستقیماً به دو سر مدار تحریک شنت اعمال میشود، لذا جریان تحریک شنت نیز ثابت میباشد. در نتیجه شار نیز ثابت بوده و مستقل از تغییرات بار موتور است. لذا از روابط (۱-۵) و (۵-۵) در میابیم که در موتور DC شنت همواره گشتاور حاصله فقط با جریان آرمیچر متناسب است (شکل ۱۰-۵).



شکل ۹-۵: موتور DC شنت



شکل ۱۰-۵: تغییرات گشتاور موتور DC شنت بر حسب جریان آرمیچر

۱-۶-۵ جهت چرخش موتور DC شنت :

5-6.1 Direction of Rotation

هرگاه موتور DC شنت به شبکه وصل شود، جریان در مدار تحریک شنت برقرار میشود و میدان مغناطیسی حاصله درون موتور پلارتهیه مشخصی خواهد داشت. در همین اثنا جریان از آرمیچر عبور میکند (شکل ۹-۵). با توجه به جهت جریان آرمیچر و جهت شار مدار تحریک و اعمال قانون دست چپ در میابیم که موتور در جهت معین خواهد چرخید.

شکل (۹-۵) را در نظر میگیریم. با توجه به جهت جریانها، فرض کنید موتور در جهت عقربه ساعت (CW) میچرخد، آزمایشهای زیر را میتوان انجام داد.

۱- فرض میکنیم در ابتدا ماشین در جهت عقربه ساعت (CW) میچرخد اگر آنرا از شبکه جدا کنیم و سرهای مدار تحریک (F_1 و F_2) را جابجا سازیم، در اینصورت جهت جریان تحریک و شار عوض شده و اگر دوباره موتور به شبکه وصل شود در اینحالت جهت چرخش خلاف عقربه ساعت (CCW) خواهد بود.

۲- حال اگر موتور در جهت خلاف عقربه ساعت بچرخد (CCW) و آنرا از شبکه جدا کنیم و سرهای آرمیچر ($A_1 - A_2$) را جابجا میسازیم، و دوباره ماشین را به شبکه وصل کنیم، جهت جریان آرمیچر عوض شده و دوباره موتور در جهت عقربه ساعت (CW) میچرخد.

۳- حال اگر موتور در جهت عقربه ساعت (CW) بچرخد و آنرا از شبکه جدا کنیم و پلارتهیه ولتاژ شبکه را عوض نمائیم (پلارتهیه ولتاژ ترمینال را تغییر دهیم) و دوباره ماشین را به شبکه وصل نمائیم، در این صورت جهت چرخش فرقی نمیکند یعنی در همان جهت اولیه عقربه ساعت (CW) میچرخد. علت این امر واضح است. بشکل (۹-۵) نگاه میکنیم اگر پلارتهیه ترمینال ماشین عوض شود، جهت جریان آرمیچر و تحریک هر دو عوض میگردد. با توجه به بندهای ۱ و ۲ عوض شدن جهت جریان در هر یک از سیمهای آرمیچر و تحریک به تنهایی جهت گردش را عوض خواهد کرد. در نتیجه تعویض جهت جریان در هر دو سیم پیچ تغییری در جهت گردش ماشین ایجاد نمیکند.

۲-۶-۵ اثر بار بر روی موتور DC شنت :

5-6.2 Effect of Load on the Shunt Motor

در بالا گفتیم که گشتاور موتور با بار تغییر میکند. یعنی با افزایش بار گشتاور

حاصله در موتور نیز افزایش مییابد تا آنکه گشتاور خروجی در موتور با بار جدید مساوی و هم آهنگ گردد. همچنین دیدیم که جریان آرمیچر در موتور DC شنت متناسب با گشتاور موتور می باشد (شکل ۱۰-۵). لذا جریان آرمیچر با گشتاور بار نیز متناسب خواهد بود. با توجه بشکل (۹-۵) و استفاده از قانون ولتاژ کیرشف داریم:

$$V_t - I_a R_a = E_g \quad (5-17)$$

اگر E_g در رابطه (۱-۴) را در رابطه اخیر جایگزین کنیم میتوان در سیستم (ENG) می توان چنین نوشت:

$$S = \frac{V_t - I_a R_a}{K\phi} \quad (5-18a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\omega = \frac{V_t - I_a R_a}{K'\phi} \quad (5-18b)$$

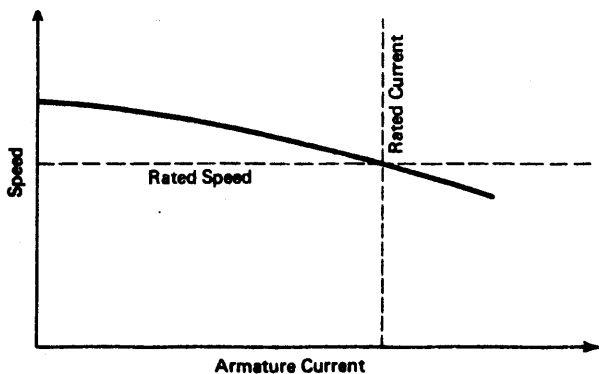
در روابط اخیر کمیت های زیر بحر I_a ثابت هستند:

۱- ولتاژ شبکه (ترمینال) یا V_t

۲- مقاومت آرمیچر، یا R_a

۳- شار یا ϕ

اگر بار افزایش یابد، در اینصورت I_a زیاد شده و صورت کسره های ذکر شده در روابط (۱۸-۵) کم میشود. لذا سرعت کاهش مییابد. پس منحنی مشخصه سرعت برای موتورهای DC شنت مطابق شکل (۱۱-۵) میباشد.



شکل ۱۱-۵: تغییرات سرعت بر حسب جریان آرمیچر در موتور DC شنت

۳-۶-۵ اثر شار بر روی موتورهای DC شنت :

5-6.3 Effect of Flux on the Shunt Motor

اگر در رابطه (۱۸-۵) فرض شود که افت $R_a I_a$ نسبت به V_t ناچیز است. در اینصورت بطور تقریب سرعت اینچنین حساب می شود.

$$\text{speed} \approx \frac{V_t}{K\phi} \quad (5-19)$$

البته باید گفت که این فرضیه در بارهای کم صادق تر است. از رابطه اخیر در میابیم که سرعت با شار نسبت معکوس دارد. یعنی با افزایش شار (یا I_f) سرعت کم میشود و با کاهش شار سرعت زیاد میگردد. بهمین دلیل است که در مدار تحریک شنت یک رعوستا قرار میدهند (شکل ۹-۵). با افزایش مقاومت مدار تحریک، جریان تحریک (شار) کم شده و سرعت بالا میرود و بالعکس با کاهش مقاومت مدار تحریک، جریان تحریک (شار) زیاد شده و سرعت کم میگردد.

اثر شار بر سرعت ممکن است شرایط حادی را پدید آورد. هرگاه هنگام چرخش موتور مدار تحریک شنت باز شود، جریان تحریک بسمت صفر میرود و شار بمیزان ناچیز پسماند موجود در هسته سقوط میکند. با توجه به رابطه (۱۹-۵) سرعت بطور وحشتناکی بالا میرود و ممکن است به اشیاء مجاور و خود ماشین صدماتی بزند. در آزمایشگاه ماشین ممکن است علت باز شدن مدار تحریک سوختن فیوز آمپر متر مدار تحریک شنت باشد. زیرا هنگام آزمایش در مواقعی که بخواهیم سرعت را پائین بیاوریم با بازی کردن با رعوستا مجبور هستیم جریان تحریک شنت را افزایش دهیم و ممکن است فیوز آمپر متر بسوزد و لذا مدار تحریک شنت باز شود.

مثال ۱۲-۵ (سیستم ENG) :

یک موتور DC شنت مطابق شکل (۹-۵) مورد آزمایش قرار گرفته و جدول (۲-۵) در آزمایشگاه تحت بارهای گوناگون بدست آمده است.

Table 5-2

جدول ۲-۵

I_L (A)	2.8	3.6	4.7	5.8	7.0	8.5
I_f (A)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
S (rev/min)	1800	1780	1750	1720	1680	1650

مشخصات موتور بقرار زیر است:

اسب بخار ۱ = توان اسمی
 اهم ۱/۵ = مقاومت آرمیچر (R_a)
 وات ۵۰ = ثابت = تلفات توان سرگردان
 ولت ۱۲۰ = ولتاژ ترمینال (شبکه)

منحنیهای زیر را بر روی یک محور مختصات رسم کنید:

الف: جریان خط بر حسب توان خروجی

ب: سرعت موتور بر حسب توان خروجی

ج: راندمان بر حسب توان خروجی

د: گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی

همچنین راندمان ماکزیمم را بدست آورده و آنرا با منحنی رسم شده چک کنید:

Table 5-3

جدول ۳-۵

I_L (A)	2.8	3.6	4.7	5.8	7.0	8.5
I_a (A)	2.3	3.1	4.2	5.3	6.5	8.0
Armature loss (W)	7.9	14.4	26.5	42.1	63.4	96
Total losses (W)	117.9	124.4	136.5	152.1	173.4	206
P_i (W)	336	432	564	696	840	1020
P_o (W)	218.1	307.6	427.5	543.9	666.6	814
P_o (hp)	0.29	0.41	0.57	0.73	0.89	1.09
η (%)	65	71	76	78	79	80
T_o (ft-lb)	0.85	1.22	1.72	2.23	2.79	3.47
S (rev/min)	1800	1780	1750	1720	1680	1650

حل:

با توجه به جدول (۵-۲) جدول (۵-۳) را پر میکنیم. حال بطور مثال چند نمونه محاسبه را جهت پی بردن به اعداد جدول (۵-۳) ذکر مینمائیم.

$$I_a = I_L - I_f = 8.5 \text{ A} - 0.5 \text{ A} = 8 \text{ A}$$

$$\text{field loss} = V_f I_f = 120 \text{ V} \times 0.5 \text{ A} = 60 \text{ W}$$

(constant at each point)

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 1.5 \Omega \times (8 \text{ A})^2 = 96 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} \text{total losses} &= \text{field loss} + \text{armature loss} + \text{stray power} \\ &= 60 \text{ W} + 96 \text{ W} + 50 \text{ W} = 206 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_i = V_i I_L = 120 \text{ V} \times 8.5 \text{ A} = 1020 \text{ W}$$

$$P_o = P_i - \text{total losses} = 1020 \text{ W} - 206 \text{ W} = 814 \text{ W}$$

یا بر حسب اسب بخار داریم:

$$P_o = \frac{814 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 1.09 \text{ hp}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{814}{1020} \times 100 = 80\%$$

$$T_o = \frac{7.04 P_o}{S} = \frac{7.04 \times 814 \text{ W}}{1650 \text{ rev/min}} = 3.47 \text{ ft-lb}$$

با استفاده از جدول (۳ - ۵) منحنیهای خواسته شده را رسم میکنیم (شکل ۱۲ - ۵).
برای محاسبه راندمان ماکزیمم از رابطه (۱۶ - ۵) کمک میگیریم:

$$\text{S.P. loss} + \text{field loss} = \text{armature loss}$$

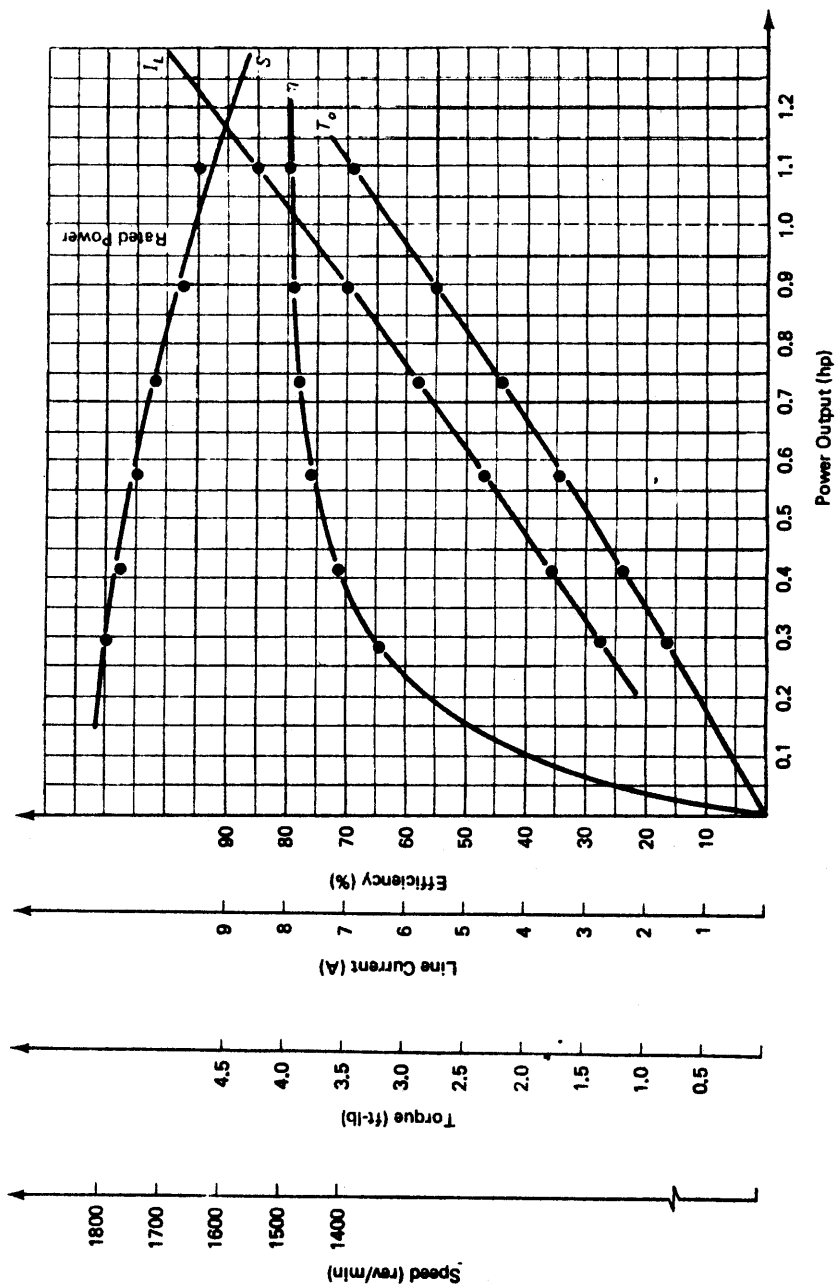
$$50 \text{ W} + 60 \text{ W} = R_a I_a^2$$

$$110 \text{ W} = 1.5 \Omega \times I_a^2$$

$$I_a^2 = \frac{110 \text{ W}}{1.5 \Omega} = 73.33$$

$$I_a = 8.5 \text{ A}$$

با آنکه محاسبات اخیر برای سرعت ثابت معتبر است ولی تغییرات سرعت ناچیز میباشد. از روی منحنی مربوط به راندمان در میابیم که راندمان ماکزیمم در ۱/۱ اسب بخار حاصل میشود که حدود ۸/۵ آمپر جریان آرمیچر را بدنبال خواهد داشت، مشاهده میشود که با محاسبات اخیر نیز تقریباً "به همین نتیجه رسیده بودیم".



شکل ۱۲ - ۵: منحنی‌های مربوط به مثال ۱۲ - ۵

مثال ۵-۱۳ (سیستم SI) :

یک موتور DC شنت مطابق شکل (۵-۹) مفروض بوده و بر روی آن آزمایشهای بارداری انجام شده است. جدول (۵-۴) اعداد مربوط به این آزمایشها را نشان میدهد. مشخصات این موتور بقرار زیر است:

کیلو وات	۱ = توان اسمی
اهم	R_a = مقاومت آرمیچر = ۱/۸
وات	۳۰ = ثابت = تلفات توان سرگردان
ولت	۲۳۰ = ولتاژ ترمینال

مطلوبست رسم منحنیهای زیر:

- ۱ - منحنی جریان خط بر حسب توان خروجی
 - ۲ - منحنی سرعت موتور بر حسب توان خروجی
 - ۳ - منحنی راندمان بر حسب توان خروجی
 - ۴ - منحنی گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی
- همچنین راندمان ماکزیم را حساب کرده و آنرا با منحنی رسم شده چک کنید.

Table 5-4

جدول ۵-۴

I_L (A)	1.1	1.9	2.8	4.0	5.1	6.2	7.2
I_f (A)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ω (rad/s)	200	197	194	190	187	183	180

حل:

با استفاده از جدول (۵-۴) جدول (۵-۵) را میسازیم. در زیر چند نمونه از طرز ساخت جدول (۵-۵) را ذکر میکنیم.

$$I_a = I_L - I_f = 7.2 \text{ A} - 0.2 \text{ A} = 7 \text{ A}$$

$$\text{field loss} = V_f I_f = 230 \text{ V} \times 0.2 \text{ A} = 46 \text{ W} \quad (\text{constant at each point})$$

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 1.8 \Omega \times (7 \text{ A})^2 = 88.2 \text{ W}$$

$$\text{total losses} = \text{field loss} + \text{armature loss} + \text{stray power}$$

$$= 46 + 88.2 + 30 = 164.2 \text{ W}$$

$$P_i = V_L I_L = 230 \text{ V} \times 7.2 \text{ A} = 1656 \text{ W}$$

$$P_o = P_i - \text{total losses} = 1656 \text{ W} - 164.2 \text{ W} = 1491.8 \text{ W} \\ = 1.49 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{1492}{1656} \times 100 = 90\%$$

$$T_o = 1000 \frac{P}{\omega} = 1000 \times \frac{1.49}{180} = 8.3 \text{ N-m}$$

Table 5-5

جدول ۵-۵

I_L (A)	1.1	1.9	2.8	4.0	5.1	6.2	7.2
I_a (A)	0.9	1.7	2.6	3.8	4.9	6.0	7.0
Armature loss (W)	1.5	5.2	12.2	26	43.2	64.8	88.2
Total losses (W)	77.5	81.2	88.2	102	119.2	140.8	164.2
P_i (W)	253	437	644	920	1173	1426	1656
P_o (W)	176	356	556	818	1054	1285	1492
P_o (kW)	0.176	0.356	0.556	0.818	1.054	1.285	1.492
η (%)	69.5	81.5	86.3	88.9	89.8	90.1	90
T_o (N-m)	0.9	1.8	2.9	4.3	5.6	7.0	8.3
ω (rad/s)	200	197	194	190	187	183	180

با استفاده از جدول (۵-۵) منحنیهای خواسته شده را رسم میکنیم (شکل ۱۳-۵).
از نظر تئوری راندمان ماکزیمم اینچنین حساب میشود (رابطه ۱۶-۵).
با آنکه محاسبات زیر برای سرعت ثابت معتبر است ولی تغییرات سرعت تاثیر چشمگیری
بر محاسبات ندارد.

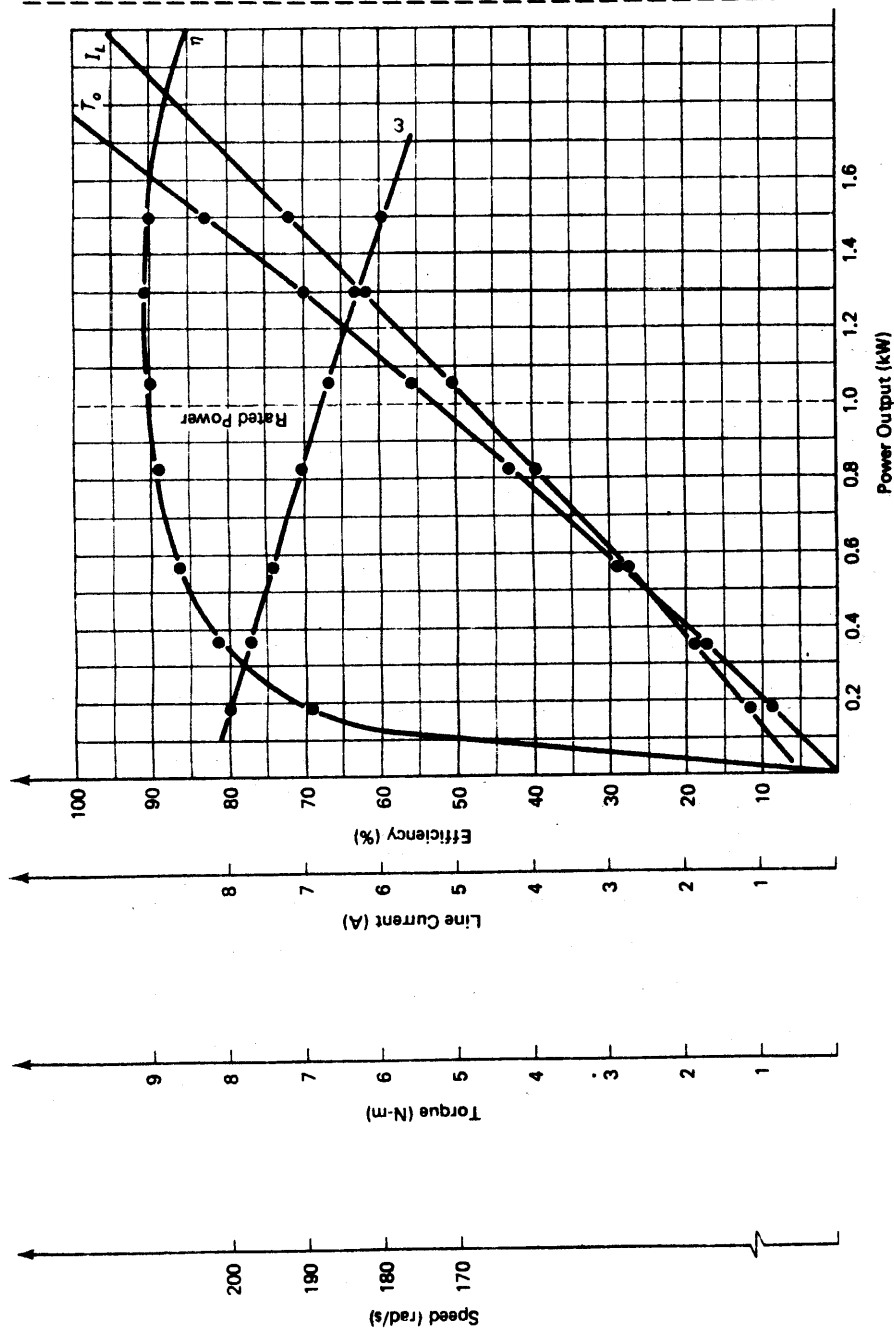
$$\text{S.P. loss} + \text{field loss} = \text{armature loss}$$

$$30 \text{ W} + 46 \text{ W} = R_a I_a^2$$

$$76 \text{ W} = 1.8 \Omega \times I_a^2$$

$$I_a^2 = \frac{76 \text{ W}}{1.8 \Omega} = 42.2$$

$$I_a = 6.5 \text{ A}$$



شکل ۱۳-۵: منحنی‌های مربوط به مثال ۱۳-۵

از روی منحنی راندمان در میابیم که راندمان ماکزیمم در توان ۱/۳ کیلو وات رخ میدهد که به جریان ارمیچر معادل ۶/۲ آمپر مربوط است. مبینیم که محاسبات فوق با منحنی نسبتاً "توافق دارد".

5-7 SERIES MOTOR

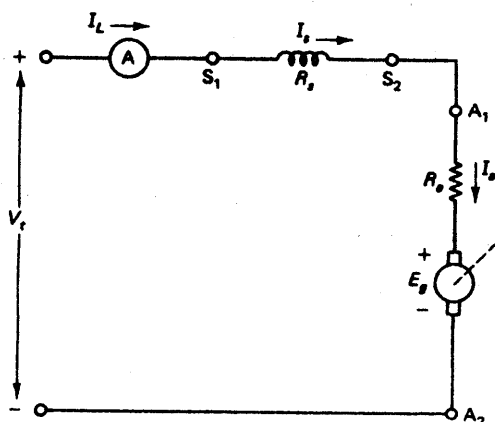
۷-۵ موتور DC سری:

همانطور که از نام این موتور پیداست سیم پیچ تحریک با آرمیچر سری بسته شده است. لذا جریان آرمیچر مساوی جریان تحریک است. همین امر باعث میشود که مشخصه‌های این موتور با موتور DC شنت متفاوت باشد. در این موتورها چون تغییر بار بر جریان موتور اثر میگذارد لذا شار نیز متاثر خواهد شد. بطور مثال میتوان گفت اگر جریان موتور سری دوبرابر شود، شار تحریک نیز دو برابر میگردد (وبالعکس). مدار معادل موتورهای سری در شکل (۵-۱۴) رسم شده است.

اگر در رابطه (۵-۱) بجای شار (ϕ) جریان I_a را جایگزین کنیم داریم:

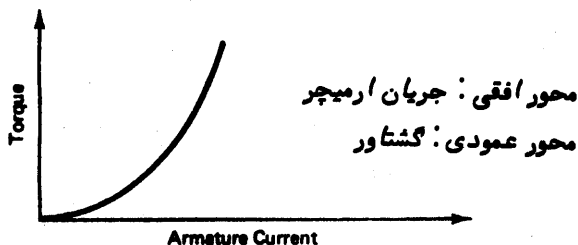
$$T = K' I_a \times I_a = K' I_a^2 \quad (5-20)$$

لذا منحنی مشخصه گشتاور در موتور سری سهمی خواهد بود (شکل ۵-۱۵). البته این موضوع تا آن موقع صحیح است که مدار تحریک اشباع نشود.



Note: Although Labeled Differently I_L , I_s , and I_a Are the Same Current

شکل ۵-۱۴: موتور DC سری



شکل ۱۵-۵ تغییرات گشتاور بر حسب جریان آرمیچر در موتور DC سری

۵-۲-۱ Direction of Rotation

جهت چرخش موتور DC سری: هرگاه یک موتور DC سری (شکل ۱۴-۵) به شبکه وصل شود، جهت چرخش به پلارته شار، جهت جریان آرمیچر و قانون دست چپ بستگی دارد. اگر سرهای مدار تحریک (S_1, S_2) جابجا شوند، پلارته شار عوض شده و لذا جهت چرخش نیز عوض میشود. همچنین اگر سرهای آرمیچر (A_1 و A_2) جابجا شوند، جهت جریان آرمیچر عوض شده و در نتیجه جهت چرخش عوض خواهد شد. اگر پلارته (شبکه) را عوض کنیم، جهت چرخش تغییری نمیکند، علت این امر آن است که با این عمل هم پلارته شار را عوض کرده و هم جهت جریان آرمیچر را تغییر داده‌ایم (دو تغییر).

۵-۲-۲ اثر بار بر روی موتور DC سری:

5-7.2 Effect of Load on a Series Motor

با توجه به شکل (۱۴-۵) و قانون ولتاژ کیرشف داریم.

$$E_g = V_t - I_a R_s - I_a R_a \quad (5-21)$$

حال از رابطه (۱-۴) کمک میگیریم و رابطه (۲۱-۵) را اینچنین مینویسیم:
در سیستم (ENG) داریم:

$$S = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K\phi_s} \quad (5-22a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\omega = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K' \phi_s} \quad (5-22b)$$

اندیس S در مقاومت مبین مقاومت مدار تحریک سری میباشد. چون شار (Φ) با I_a متناسب است. لذا روابط اخیر را اینگونه مینویسیم:

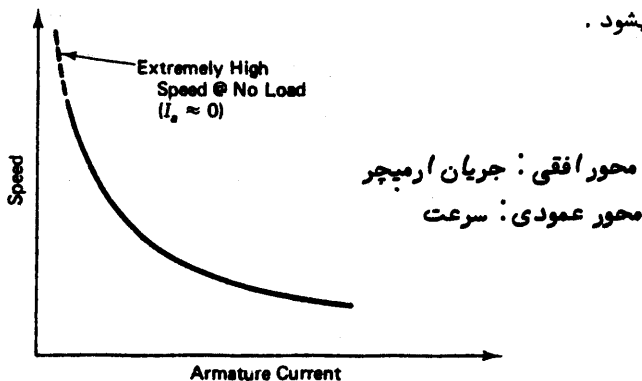
در سیستم (ENG) داریم:

$$S = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K I_a} \quad (5-23a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$\omega = \frac{V_t - I_a(R_a + R_s)}{K' I_a} \quad (5-23b)$$

باید گفت که K و K' در معادلات (۵-۲۲) با K و K' در روابط (۵-۲۳) ماهیتاً متفاوت هستند. از روابط اخیر در میابیم که فقط I_a بر سرعت موتور اثر میگذارد. اگر I_a خیلی کم باشد (مثلاً بی‌باری) در اینصورت سرعت بسیار زیاد است. اگر بار زیاد شود (I_a زیاد شود) مشاهده میکنیم که سرعت کاهش مییابد. منحنی مشخصه سرعت موتورهای DC سری در شکل (۵-۱۶) رسم شده است. با کاهش جریان (نزدیک شدن به حالت بی‌باری) سرعت شدت زیاد میشود و در شرایطی خطرناک نیز هست. لذا هیچوقت از موتورهای DC سری بدون بار استفاده نمیشود و یا هیچ موقع آنها را بدون بار راه اندازی نمیکیم. از این موتورها در قطارهای برقی که موتورها بار زیادی را تحمل میکنند استفاده میشود.



شکل ۵-۱۶: تغییرات سرعت بر حسب جریان ارمیچر در موتور DC سری

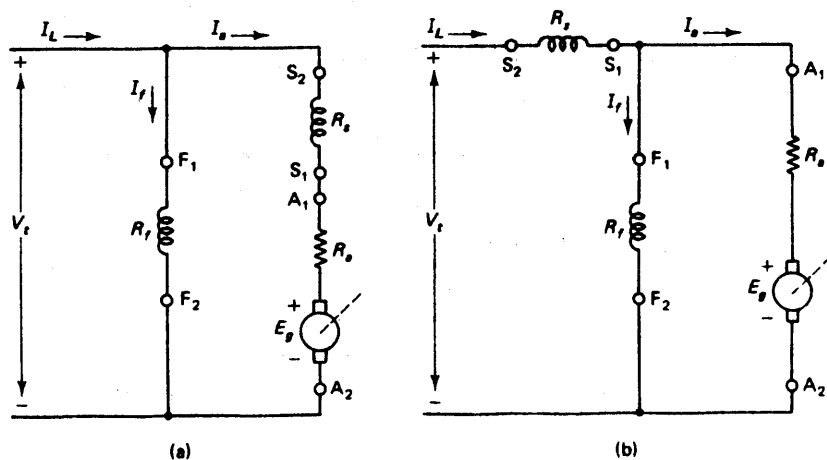
در موتورهای سری مانند موتورهای شنت، سرعت با شار نسبت معکوس دارد یعنی با کاهش شار در مدار تحریک سرعت بالا رفته و با زیاد شدن شار سرعت کم میشود. اما خطرناکی موتور شنت بمراتب بیش از موتورهای سری است علت این امر آن است که اگر بطور ناگهانی مدار تحریک سری باز شود، شار بسیار ناچیز میگردد و آرمیچر جریان خود را از دست میدهد. لذا موتور بحای اینکه سرعت چشمگیری پیدا کند، بطرف حالت سکون میرود.

باید گفت که در موتورهای سری در شرایط بار زیاد، شتاب بسیار جالبی پدیدار میشود. هم چنین دریافتیم که با افزایش بار سرعت پائین می آید. اگر مشخصه های سرعت و گشتاور را با هم ترکیب کنیم مشاهده میشود با تغییرات بار، توان خروجی نسبتاً ثابت است. بعبارت ساده تر اگر حاصلضرب سرعت و گشتاور ثابت باشد، توان نیز ثابت است (رابطه ۳-۵).

5-8 COMPOUND MOTOR

۵-۸ موتور DC کمپوند:

موتورهای کمپوند نیز مشابه ژنراتورهای کمپوند هستند یعنی دارای دو مدار تحریک سری و شنت (موازی) میباشد. همچنین این موتورها را میتوان بصورت شنت بلند یا شنت کوتاه درآورد (شکل ۱۷-۵).



شکل ۱۷-۵: موتور DC کمپوند

a: شنت بلند

b: شنت کوتاه

در شرایط بی‌باری یا بار کم، جریان مدار تحریک سری بسیار کوچک می‌باشد، اما در عوض از مدار تحریک شنت جریان کامل تحریک عبور می‌نماید. در نتیجه موتورهای کمپوند در حالت بی‌باری مانند موتورهای شنت رفتار میکنند و سرعت آنها در حالت بی‌باری، خطرناک نمی‌باشد.

۱-۸-۵ موتورهای DC کمپوند نقصانی: 5-8.1 Differential Compound Motor

اگر اتصال سیم پیچهای تحریک سری و تحریک شنت (موازی) طوری باشد که میدانهای آنها با هم مخالفت ورزند، در اینصورت موتور کمپوند نقصانی حاصل میگردد. در اینحال روابط مربوط به گشتاور و سرعت (روابط ۱-۵ و ۱۹-۵) بصورت ذیل درمی‌آیند. در این روابط ϕ_f شار مدار تحریک شنت و ϕ_s شار تحریک مدار سری می‌باشد.

$$T = K(\phi_f - \phi_s)I_a \quad (5-24)$$

$$\text{speed} \approx \frac{V_f}{K(\phi_f - \phi_s)} \quad (5-25)$$

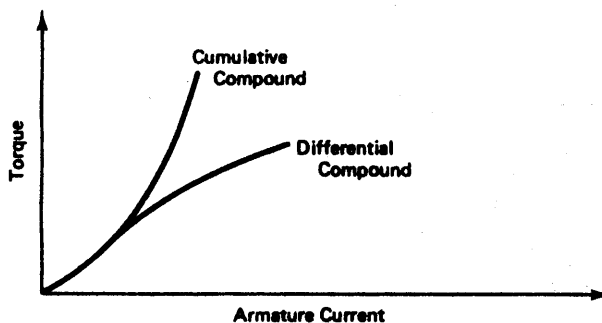
با افزایش بار هر دو کمیت I_a و ϕ_s زیاد میشوند و لذا $(\phi_f - \phi_s)$ کاهش مییابد. از روابط اخیر در می‌یابیم که اگر شار خالص $(\phi_f - \phi_s)$ کم شود، گشتاور نیز پائین آمده اما سرعت بالا میرود این رفتار ماشین ماهیتاً "خطرناک" است یعنی در شرایطی از بار ممکن است به نقطه‌ای برسیم که جریان تحریک سری باعث شود که مخرج کسر ذکر شده در رابطه (۲۵-۵) به صفر نزدیک شود و سرعت بسیار خطرناکی حاصل میگردد. معمولاً موتورهای کمپوند نقصانی در صنعت زیاد مورد استفاده قرار نمیگیرند.

هنگامیکه در آزمایشگاه موتورهای کمپوند نقصانی را در حالت بارداری راه‌اندازی میکنیم، در ابتدای امر میتوان مدار تحریک سری را با قراردادن یک کلید در دو سر s_1 و s_2 ، اتصال کوتاه نمائیم دلایل این کار عبارت است از:

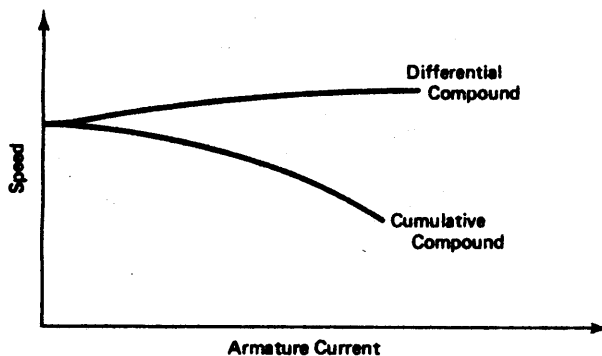
۱- با از مدار خارج کردن مدار تحریک سری بوسیله کلید دو سر s_1 و s_2 ، میتوان مطمئن بود که پلارتیه صحیح میدان شنت حاصل میشود تا ماشین را در جهت مطلوب بچرخاند.

۲- همچنین از کلید دو سر s_1 و s_2 میتوان برای اطمینان از صحت نحوه کمپوند شدن (کمپوند اضافی و نقصانی) مطمئن شد. هنگامیکه سیم پیچ تحریک سری از مدار خارج است و ماشین در جهت صحیح میچرخد، اگر کلید را باز کنیم و سرعت ماشین در

حالت بارداری زیاد شود، در اینصورت مطمئن هستیم که موتور از نوع نقصانی است. علت این امر آن است که شاربه ناگهان نزول مینماید. اگر سرعت افت پیدا نمود، در اینصورت حتماً "شار زیاد شده و موتور کمپوند از نوع اضافی است".



(a)



(b)

شکل ۱۸-۵: مشخصه‌های موتورهای DC کمپوند اضافی و نقصانی

a: گشتاور بر حسب جریان ارمیچر

b: سرعت بر حسب جریان ارمیچر

۵-۸-۲ موتور DC کمپوند اضافی: 5-8.2 Cumulative Compound Motor

هرگاه سیم پیچهای تحریک سری و تحریک شنت (موازی) طوری متصل شوند که میدانهای آنها به یکدیگر کمک نمایند، در اینصورت موتور کمپوند اضافی حاصل میشود.

روابط زیر را میتوان برای گشتاور و سرعت این موتورها نوشت (چرا؟):

$$T = K(\phi_f + \phi_s)I_a \quad (5-26)$$

$$\text{speed} \approx \frac{V_f}{K(\phi_f + \phi_s)} \quad (5-27)$$

با دقت کردن به این روابط در مییابیم که عملکرد این موتورها مشابه عملکرد موتورهای DC شنت (موازی) میباشد، با افزایش بار، I_a زیاد شده و گشتاور بیشتری حاصل میشود. نحوه افزایش گشتاور در موتورهای کمپوند اضافی بمراتب بیش از موتور DC شنت است، زیرا در موتورهای کمپوند اضافی شار خالص درون ماشین نیز با افزایش بار زیاد میشود (چرا؟).

با آنکه مشخصه گشتاور موتورهای کمپوند اضافی جالب توجه است، اما مشخصه سرعت آنها زیاد جالب نیست، زیرا با افزایش بار مخرج کسر ذکر شده در رابطه (۲۷) (۵) نیز زیاد میشود (چرا؟) و لذا سقوط سرعت بمراتب بیش از سقوط سرعت در موتورهای DC شنت خواهد بود. مشخصه سرعت و گشتاور موتورهای DC کمپوند اضافی و نقصانی در شکل (۱۸-۵) رسم شده اند. در مواقعی که بار بطور ناگهان افزایش می یابد می توان از موتورهای DC کمپوند اضافی استفاده نمود.

Example 5-14 (English)

مثال ۱۴-۵ (سیستم ENG):

یک موتور DC کمپوند با شنت بلند که بصورت کمپوند اضافی عمل میکند مفروض است و در حالت بار کامل میچرخد. مشخصات این موتور بشرح زیر است:

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر ۱۰ = جریان اسمی

دور در دقیقه ۱۲۰۰ = سرعت اسمی

اهم ۱۸۰ = مقاومت تحریک شنت

اهم ۲ = مقاومت آرمیچر

اهم ۱/۲۲ = مقاومت تحریک سری

وات ۱۶۰ = تلفات توان سرگردان

مطلوبست:

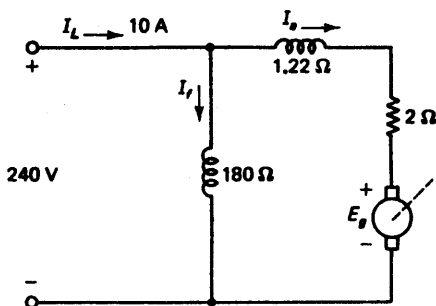
(الف): محاسبه نیروی ضد محرکه موتور (BEMF)

(ب): توان اسمی موتور

(ج): راندمان موتور

(د): گشتاور اسمی موتور

(ه): گشتاور حاصله در موتور (Developed torque)



شکل ۱۹ - ۵: مدار معادل مربوط به مثال ۱۴ - ۵

حل:

ابتدا شکل مدار را رسم میکنیم و کمیتها را بر روی آن مشخص میسازیم (شکل

۵ - ۱۹) . حال جریانهای مجهول در شکل را حساب میکنیم:

$$I_f = \frac{V_t}{R_f} = \frac{240 \text{ V}}{180 \Omega} = 1.33 \text{ A}$$

$$I_a = I_L - I_f = 10 \text{ A} - 1.33 \text{ A} = 8.67 \text{ A}$$

(الف): با توجه بشکل و اعداد آن داریم:

$$\begin{aligned} E_b &= V_t - I_a(R_a + R_s) \\ &= 240 \text{ V} - 8.67 \text{ A}(2 \Omega + 1.22 \Omega) \\ &= 240 - 27.92 = 212.08 \text{ V} \end{aligned}$$

(ب): توان اسمی موتور همان توان خروجی در حالت بار کامل است. برای بدست آوردن

آن باید از رابطه (۵ - ۱۱) استفاده کرد. ابتدا تلفات را حساب میکنیم:

$$\text{shunt loss} = V_t I_f = 240 \text{ V} \times 1.33 \text{ A} = 319.2 \text{ W}$$

$$\text{armature loss} = R_a I_a^2 = 2 \Omega \times (8.67)^2 = 150.34 \text{ W}$$

$$\text{series loss} = R_s I_a^2 = 1.22 \, \Omega \times (8.67)^2 = 91.71 \, \text{W}$$

$$\text{stray loss} = 160 \, \text{W}$$

$$P_i = V_t I_L = 240 \, \text{V} \times 10 \, \text{A} = 2400 \, \text{W}$$

اما:

$$\begin{aligned} P_o &= P_i - \text{losses} = 2400 \, \text{W} - 721.25 \, \text{W} \\ &= 1678.75 \, \text{W} \end{aligned}$$

پس:

$$P_o = \frac{1678.75 \, \text{W}}{746 \, \text{W/hp}} = 2.25 \, \text{hp}$$

(ج): سهولت میتوان گفت که:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100 \\ &= \frac{1678.75}{2400} \times 100 \\ &= 70\% \end{aligned}$$

(د): برای محاسبه گشتاور اسمی از رابطه (۳-۵) کمک گرفت و باید در این رابطه از توان اسمی نیز استفاده شود.

$$\begin{aligned} T &= 7.04 \times \frac{P}{S} \\ &= 7.04 \times \frac{1678.75}{1200} \\ &= 9.85 \, \text{ft-lb} \end{aligned}$$

(ه): برای پیدا کردن گشتاور حاصله در ماشین باید از رابطه (۳-۵) کمک گرفت و در این معادله از توان حاصله در ماشین نیز استفاده میشود. برای محاسبه توان حاصله در ماشین از دو روش استفاده میشود.

$$(1) \, P_{dev} = P_o + \text{stray power loss}$$

$$= 1678.75 + 160 = 1838.75 \, \text{W}$$

$$(2) \, P_{dev} = \text{converted power} = E_g I_a \quad (\text{see Eq. 5-13})$$

$$= 212.08 \, \text{V} \times 8.67 \, \text{A}$$

$$= 1838.73 \, \text{W}$$

$$\begin{aligned}
 T &= 7.04 \times \frac{P}{S} \\
 &= 7.04 \times \frac{1838.75}{1200} \\
 &= 10.79 \text{ ft-lb}
 \end{aligned}$$

مثال ۱۵-۵ (سیستم SI):

یک موتور DC کمپوند باشند که بصورت کمپوند اضافی عمل میکند مفروض است و در حالت بار کامل میچرخد. مشخصات این موتور بقرار زیر است:

$$\begin{aligned}
 \text{ولت} &= ۱۲۰ = \text{ولتاژ اسمی ترمینال} \\
 \text{آمپر} &= ۱۵ = \text{جریان اسمی} \\
 \text{رادیان بر ثانیه} &= ۱۴۰ = \text{سرعت اسمی} \\
 \text{اهم} &= ۱۰۰ = \text{مقاومت تحریک شنت} \\
 \text{اهم} &= ۰/۸ = \text{مقاومت آرمیچر} \\
 \text{اهم} &= ۰/۲ = \text{مقاومت تحریک سری} \\
 \text{وات} &= ۶۵ = \text{تلفات توان سرگردان}
 \end{aligned}$$

مطلوبست:

(الف): نیروی ضد محرکه (BEMF)

(ب): توان اسمی

(ج): راندمان

(د): گشتاور اسمی

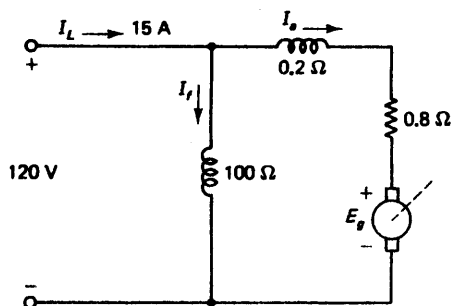
(ه): گشتاور حاصله در موتور

حل:

ابتدا شکل مدار را رسم میکنیم و اعداد مربوطه را بر روی آن مینویسیم (شکل ۵-۲۰). حال جریانهای مجهول را حساب میکنیم:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} = \frac{120 \text{ V}}{100 \Omega} = 1.2 \text{ A}$$

$$I_a = I_L - I_f = 15 \text{ A} - 1.2 \text{ A} = 13.8 \text{ A}$$



شکل ۳۰-۵: مدار مربوط به مثال ۱۵-۵

(الف) : با توجه به شکل و اعداد مربوطه داریم :

$$\begin{aligned} E_g &= V_t - I_a(R_a + R_s) \\ &= 120 \text{ V} - 13.8 \text{ A}(0.8 \Omega + 0.2 \Omega) \\ &= 120 - 13.8 = 106.2 \text{ V} \end{aligned}$$

(ب) : توان اسمی موتور همان توان خروجی دربار کامل است . برای این منظور از رابطه (۱۱-۵) استفاده میکنیم . اما باید ابتدا تلفات را حساب کرد :

$$\begin{aligned} \text{shunt loss} &= V_t I_f = 120 \text{ V} \times 1.2 \text{ A} = 144 \text{ W} \\ \text{armature loss} &= R_a I_a^2 = 0.8 \Omega \times (13.8 \text{ A})^2 = 152.35 \text{ W} \\ \text{series loss} &= R_s I_a^2 = 0.2 \Omega \times (13.8 \text{ A})^2 = 38.1 \text{ W} \\ \text{stray loss} &= 65 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i &= V_t I_L = 120 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 1800 \text{ W} \\ P_o &= P_i - \text{losses} = 1800 \text{ W} - 399.45 \text{ W} \\ &= 1400.55 \text{ W} = 1.4 \text{ kW} \end{aligned}$$

(ج) : واضح است که :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100 \\ &= \frac{1400}{1800} \times 100 \\ &= 78\% \end{aligned}$$

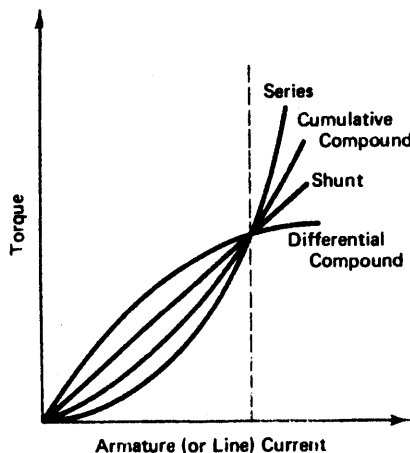
(د) : گشتاور اسمی از رابطه (۳۰-۵) بدست می‌آید و باید در این روابط از توان اسمی استفاده شود .

$$\begin{aligned}
 T &= 1000 \times \frac{P}{\omega} \\
 &= 1000 \times \frac{1.4}{140} \\
 &= 10 \text{ N-m}
 \end{aligned}$$

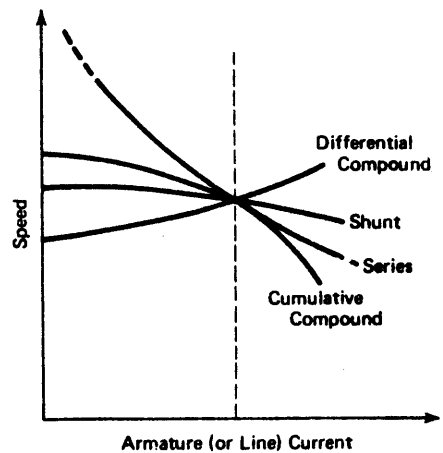
(ه): برای پیدا کردن گشتاور حاصله در ماشین از رابطه (۵-۳) کمک میگیریم و باید در این رابطه از توان حاصله در ماشین استفاده شود. از دو روش میتوان این توان را بدست آورد.

- (1) $P_{dev} = P_o + \text{stray power loss}$
 $= 1400.55 \text{ W} + 65 \text{ W} = 1465.55 \text{ W}$
- (2) $P_{dev} = \text{converted power} = E_g I_a$ (see Eq. (5-13))
 $= 106.2 \text{ V} \times 13.8 \text{ A}$
 $= 1465.56 \text{ W}$

$$\begin{aligned}
 T &= 1000 \times \frac{P}{\omega} \\
 &= 1000 \times \frac{1.465}{140} \\
 &= 10.46 \text{ N-m}
 \end{aligned}$$



(a)



(b)

شکل (۲-۵): مقایسه موتورهای DC

b: مشخصه سرعت

a: مشخصه گشتاور

5-8.3 Comparison of Motors

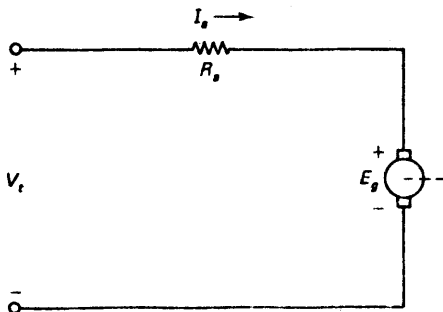
۳-۸-۵ مقایسه موتورهای DC

برای آنکه بتوان دریافت که در چه مواقعی از کدام موتور DC باید استفاده نمود . میبایستی مشخصه‌های آنها را با هم مقایسه کرد . برای مقایسه کافی است که به مشخصه‌های گشتاور و سرعت انواع موتورها توجه کنیم (شکل ۲۱-۵) . اگر موتورهای مختلف DC اما با توان اسمی یکسان را با هم مقایسه کنیم ، در این صورت تمامی مشخصه‌ها در یک نقطه تلاقی خواهند داشت و این نقطه مربوط به مقادیر اسمی مشترک میباشد . با توجه به محدوده تغییرات باری که باید توسط موتور بچرخد ، میتوان موتور مناسبی را انتخاب نمود .

۹-۵ موتورهای DC که قسمت تحریک آنها از آهن ربای دائم ساخته شده است .

5-9 PERMANENT-MAGNET MOTORS

در این گونه موتورها به مدار تحریک نیاز نداریم . در این موتورها هسته از الیازی ساخته شده است که دائما " خاصیت مغناطیسی خود را حفظ میکند (شکل ۲۲-۵) . از آنجائیکه در این موتورها مدار تحریک وجود ندارد ، لذا اینگونه موتورها بمراتب از موتورهای شنت و کمپوند با توان اسمی مشابه پر بازده تر میباشد . همچنین در این موتورها میتوان سرعت و جهت چرخش موتور را به سهولت کنترل نمود . در این رابطه کافی است فقط پلارتیه ولتاژ شبکه تغذیه را عوض کنیم . اگر پلارتیه V_t را عوض کنیم در این صورت جهت جریان آرمیچر عوض میشود ولی جهت شار تغییر نخواهد کرد . بهمین خاطر است که اینگونه موتورهای DC در اسباب بازی بچه‌ها و سیستمهای کنترل الکترومکانیکی (سرو مکانیسم) کاربرد وسیعی دارد . مشخصه اینگونه موتورها مشابه موتور شنت با شار ثابت میباشد .

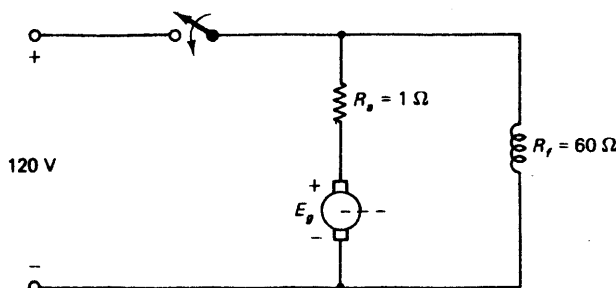


شکل ۲۲-۵: شمای موتور DC که مدار تحریک آن از آهن ربای دائم ساخته شده است

5-10 STARTING DC MOTORS

۱۰-۵ راه اندازی موتورهای DC

تا این لحظه درباره راه اندازی (۱) موتورهای DC صحبت نکرده ایم، اگر بشکل (۲۳-۵) توجه شود و جریان در لحظه راه اندازی حساب شود (جریان راه اندازی) (۲)، میتوان بخوبی دریافت که برای راه اندازی موتورهای DC بوسیله خاصی نیاز داریم:



شکل ۲۳-۵: موتور DC شنت که بطور ناصحیحی راه اندازی می‌گردد
در لحظه شروع راه اندازی موتور هنوز نمیچرخد لذا نیروی ضد محرکه (BEMF) که همان (E_g) می‌باشد صفر بوده، لذا در لحظه وصل کلید، جریان اینچنین حساب میشود.

$$I_a = \frac{120 \text{ V}}{1 \Omega} = 120 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{120 \text{ V}}{60 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$I_L = 120 \text{ A} + 2 \text{ A} = 122 \text{ A}$$

از محاسبات بالا در میابیم اگر ۱۲۰ آمپر از آرمیچر بگذرد، حالت خطرناکی پیش می‌آید و فاجعه آفرین خواهد بود و ممکن است لطمات جبران ناپذیری به سیستم وارد آید:

۱- خاروبکها می‌سوزند

۲- سیم پیچ آرمیچر می‌سوزد زیرا آرمیچرها معمولاً "جریان ۱۰ تا ۲۰ آمپر را تحمل میکنند".

۳- به منبع تغذیه موتور نیز ممکن است صدمه وارد آید.

حال اگر فیوز (۳) یا مدار شکن (۴) در مدار نصب کنیم و این لوازم حفاظتی

1) Starting

2) Starting-Current

3) Fuse

4) Circuit-Breaker

بخواهند موتور را نجات دهند در اینصورت موتور از شبکه جدا شده و فلسفه راه اندازی نقض میگردد .

لذا در میبایم که برای راه اندازی موتورهای باید از وسیله‌ای استفاده کنیم تا بتدریج ولتاژ را بر دو سترمینال ماشین اعمال کند ، در نتیجه ولتاژ و نیروی ضد محرکه ماشین بتدریج افزایش مییابد .

۱- ۱۰- ۵ راه اندازی سه نقطه‌ای برای موتورهای DC **5-10.1 Three-Point Starter**

یکی از انواع راه اندازی‌های دستی در شکل (۲۴- ۵) نشان داده شده است و بخصوص به دور وسیله راه انداز خط چین‌هایی رسم شده است . اینگونه راه اندازها را سه نقطه‌ای نامند ، زیرا حاوی ۳ ترمینال F ، A و L هستند . اگر دسته راه انداز را بکشیم و در جهت START آنرا حرکت دهیم در اینصورت عملیات زیر همزمان با هم در ماشین انجام میشود .

الف: مدار تحریک برق دار میشود .

ب: مدار آرمیچر نیز توسط یک مقاومت سری (مقاومت راه انداز) ^(۱) به منبع تغذیه (V_t) وصل میشود .

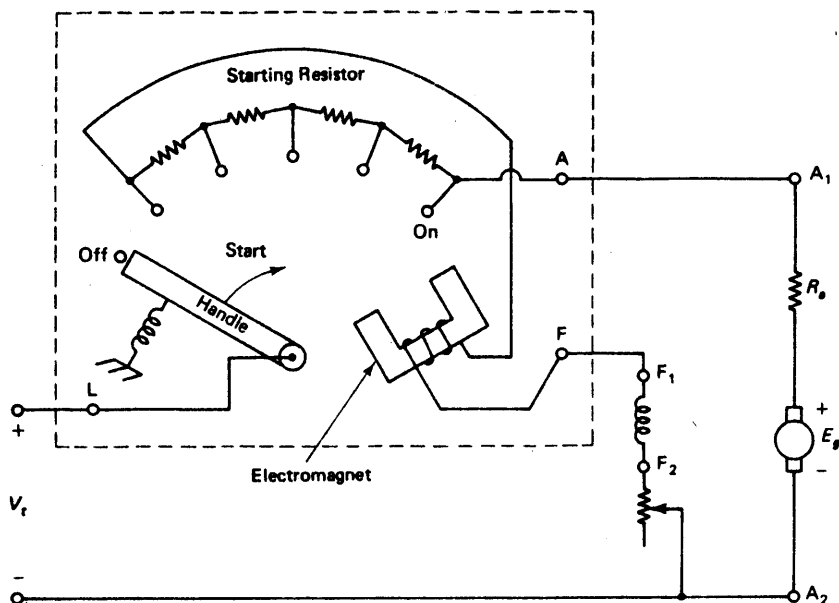
باید گفت مقاومت راه انداز جریان آرمیچر را محدود میسازد .

با سرعت گرفتن ماشین ، دسته راه انداز بتدریج بطرف وضعیت ON میبریم . در طی این مرحله در هر لحظه ولتاژ زیادتری به آرمیچر اعمال میکنیم تا بالاخره به وضعیت ON برسیم . وقتی به وضعیت ON رسیدیم ، ولتاژ کامل بر دو سر آرمیچر اعمال میشود . در این مرحله سرعت موتور نیز به اندازه کافی بالا رفته و نیروی ضد محرکه کافی در ماشین وجود دارد که از ازدیاد بیش از حد جریان آرمیچر جلوگیری کند . دسته راه انداز توسط یک آهن ربای الکترو مغناطیسی که در مدار تحریک قرار دارد جذب میشود و در همین وضعیت میماند . اگر ماشین را از شبکه قطع کنیم ، تمام جریانها صفر شده و لذا آهن ربای الکترو مغناطیسی دسته راه انداز را آزاد میکند و دسته دوباره سریعاً " به وضعیت اولیه OFF برمیگردد .

باید گفت که در مرحله راه اندازی باید دسته به تدریج و به آرامی از وضعیت

OFF به وضعیت ON برود. اگر این عمل را سریع و شتابزده انجام دهیم، در اینصورت فلسفه وجودی راه انداز نقض میشود. بعبارت دیگر اگر این عمل را سریع انجام دهیم قبل از آنکه نیروی ضد محرکه قابل ملاحظه‌ای در ماشین بوجود آید، ولتاژ نسبتاً زیادی بر دو سر آرمیچر اعمال نموده‌ایم.

در اینگونه راه اندازها جذب دسته راه انداز توسط آهن ربای الکترو مغناطیسی خالی از اشکال نیست، زیرا همانطور که میدانیم این آهن ربا توسط جریان مدار تحریک برق دار و تحریک میشود. حال اگر بخواهیم سرعت موتور را در مراحل راه اندازی زیاد کنیم، باید شار را کم نمائیم. کم کردن شار مترادف با کم کردن جریان تحریک است. در نتیجه باید مقاومت مدار تحریک را بتدریج زیاد کنیم (با رثوستا). اگر شرایطی حاصل شود که جریان مدار تحریک آنقدر کم شود که آهن ربای الکترو مغناطیسی خاصیت خود را از دست دهد، دسته‌رها شده و موتور خاموش میگردد (دسته به وضعیت OFF میرود). در نتیجه راه اندازهای سه نقطه‌ای زیاد مطلوب نیستند.

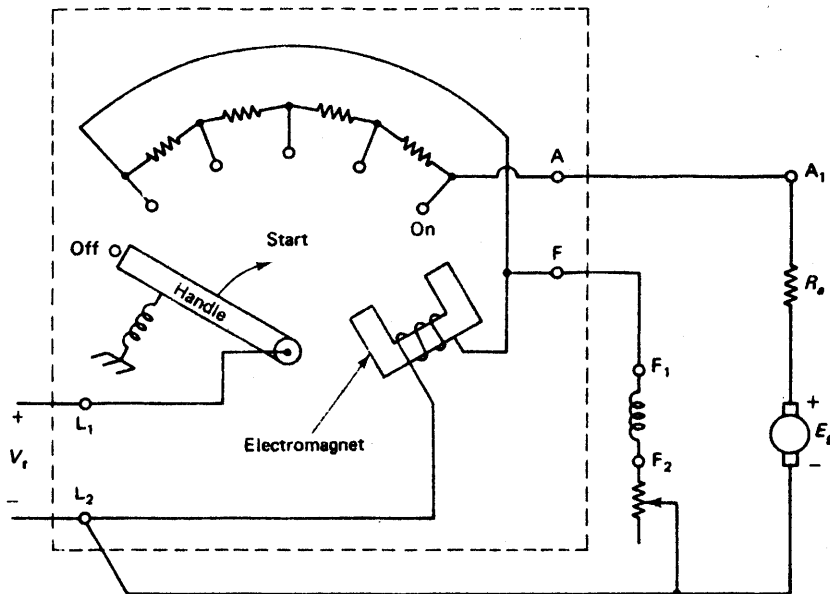


شکل ۲۴-۵: شمای یک راه انداز سه نقطه‌ای

۲ - ۱۰ - ۵ راه اندازی ۴ نقطه‌ای برای موتورهای DC

5-10.2 Four-Point Starter

اینگونه راه اندازها در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده است. در این راه اندازها ۴ ترمینال (۴ سر) وجود دارد. در این راه اندازها دیگر آهن ربای الکترومغناطیسی توسط جریان مدار تحریک تغذیه نمیشود. همچنین تغییرات جریان مدار تحریک در شدت و ضعف آهن ربای اثری ندارد در نتیجه نامطلوبی راه انداز از سه نقطه‌ای برطرف میگردد.



شکل ۲۵ - ۵: شمای یک راه انداز چهار نقطه‌ای

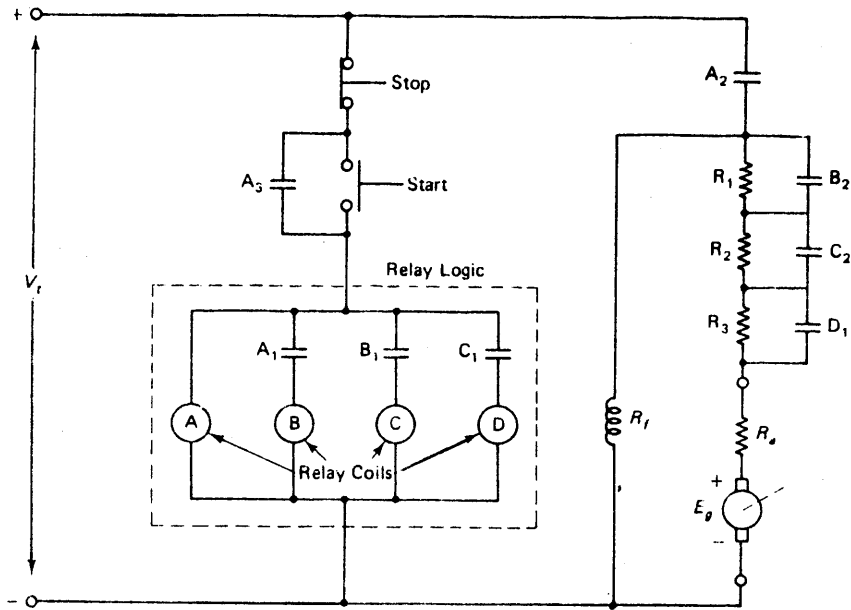
۳ - ۱۰ - ۵ راه اندازهای اتوماتیک (خودکار) برای موتورهای DC

5-10.3 Automatic Starters

کار با اینگونه راه اندازها بسیار ساده است. فقط کافی است دکمه‌ای را فشار دهیم. دو طرح بسیار حالب برای اینگونه راه اندازها وجود دارد.

الف طرح اول:

این طرح در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده است و شامل سه رله تاخیر زمانی



شکل ۲۶-۵: شمای یک راه انداز اتوماتیک که از رله‌های با تاخیر زمانی استفاده می‌کند. B، C و D می‌باشد.

هرگاه دکمه START را فشار دهیم مراحل زیر طی می‌شود:

- ۱- با فشار دادن دکمه START رله A برق دار می‌شود.
- ۲- با برق دار شدن رله A، کنتاکت‌های آن (A_1 ، A_2 ، A_3) بسته می‌شوند.
- ۳- کنتاکت A_1 رله تاخیر زمانی $B^{(1)}$ را برق دار می‌کند.
- ۴- کنتاکت A_2 مدار تحریک و مدار آرمیچر را برق دار می‌کند.
- ۵- کنتاکت A_3 به قسمت RELAY-Logic برق می‌رساند.
- ۶- پس از یک تاخیر زمانی معین رله B کنتاکت‌های خود (B_1 و B_2) را می‌بندد.
- ۷- کنتاکت B_1 ، رله C را برق دار می‌کند.
- ۸- کنتاکت B_2 ، مقاومت R_3 را از مدار خارج می‌سازد.
- ۹- پس از یک تاخیر زمانی معین رله C کنتاکت‌های خود (C_1 و C_2) را می‌بندد.

- ۱۰- کنتاکت C_1 رله D را برق دار میکند .
 ۱۱- کنتاکت C_2 مقاومت R_2 را از مدار خارج میسازد .
 ۱۲- پس از یک تاخیر زمانی معین رله D کنتاکت خود (D_1) را مینندد .
 ۱۳- کنتاکت D_2 مقاومت R_3 را از مدار خارج میکند .
 پس از طی ۱۳ مرحله فوق ولتاژ کامل بدو سرآرمیچر اعمال میشود و راه اندازی موتور کامل گشته است .

باید گفت که رله های A ، B ، C ، D باید با ولتاژی کمتر از V_T تحریک شوند .

ب: طرح دوم

در این طرح از رله های تاخیر زمانی استفاده نمیشود ، بلکه با حس کردن نیروی ضد محرکه ، رله ها وارد عمل میشوند . عبارت دیگر هر چه نیروی محرکه و سرعت ماشین بیشتر شود رله ها وارد عمل میشوند . شمای این طرح در شکل (۲۷ - ۵) نشان داده شده است . هرگاه دکمه $START$ فشار داده شود ، مراحل زیر در ماشین طی میشود .

- ۱- با فشار دادن دکمه $START$ رله A برق دار میشود .
 - ۲- با برق دار شدن رله A کنتاکتهای آن (A_1 و A_2) بسته میشوند .
 - ۳- کنتاکت A_1 مدار تحریک را برق دار میکند .
 - ۴- کنتاکت A_2 ، باعث تداوم برق رله A میگردد .
- با افزایش سرعت ماشین ، رله های B و C و D که بدو سرآرمیچر وصل شده اند ، افزایش ولتاژ دو سرآرمیچر ($E_g + R_a I_a$) را حس میکنند . هرگاه ولتاژ دو سرآرمیچر معادل ۳۰٪ مقدار V_T گردید ، رله B تحریک میشود .
- ۵- با تحریک شدن رله B کنتاکت آن (B_1) بسته میشود .
 - ۶- با بسته شدن کنتاکت B ، مقاومت R_1 از مدار خارج میشود و در نتیجه سرعت موتور بالاتر میرود .

هرگاه ولتاژ دو سرآرمیچر حدود ۶۰٪ مقدار V_T شد ، رله C عمل میکند .

- ۷- با عمل کردن رله C کنتاکت آن (C_1) بسته میشود .
- ۸- با بسته شدن کنتاکت C_1 ، مقاومت R_2 از مدار خارج میشود و سرعت

موتور بالاتر میرود.

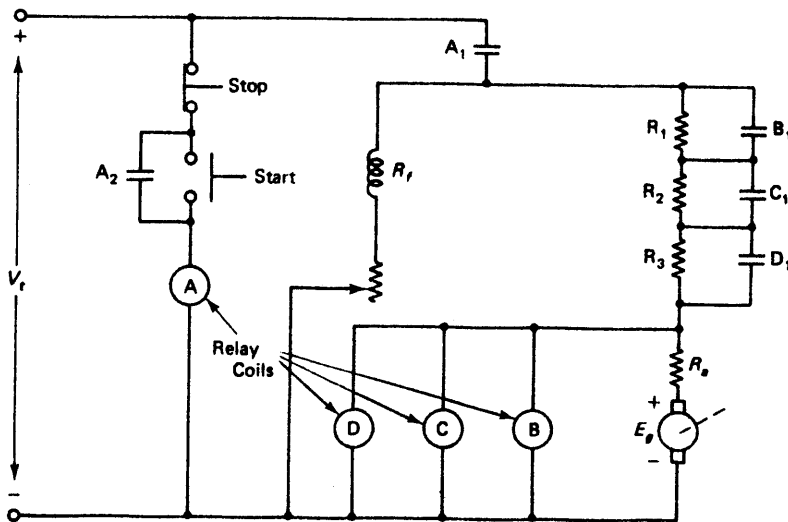
هرگاه ولتاژ دو سر آرمیچر حدود ۹۰٪ مقدار V_t شد، رله D عمل میکند.

۹- با عمل کردن رله D کنتاکت آن (D_1) بسته میشود.

۱۰- با بسته شدن کنتاکت D_1 مقاومت R_3 از مدار خارج میگردد.

پس از طی مراحل ۱۰ گانه فوق ولتاژ کامل بدو سر آرمیچر اعمال میشود. و موتور با سرعت نهایی خود رسیده است.

در دو طرح اتوماتیک فوق الذکر اگر دکمه STOP را فشار دهیم، ماشین بحالت سکون (۱) باز خواهد گشت.



شکل ۲۷-۵: شمای یک راه انداز اتوماتیک که نیروی ضد محرکه (BEMF) را حس می‌کند

مثال ۱۶-۵

Example 5-16

یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است

ولت = ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۴ نقطه‌ای = نوع راه انداز

آمپر ۵ = جریان اسمی آرمیچر

اهم ۱ = مقاومت آرمیچر

اهم ۱۵ = مقاومت راه انداز

1) Stall

مطلوبست:

- ۱- جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی
- ۲- جریان فرضی فوق چند درصد جریان اسمی است.

حل:

- ۱- در لحظه راه اندازی کل مقاومت آرمیچر $R_a + R_{start}$ میباشد، لذا:

$$R_{tot} = 1 \Omega + 15 \Omega = 16 \Omega$$

$$I_a = \frac{V_t}{R_{tot}} = \frac{120 \text{ V}}{16 \Omega} = 7.5 \text{ A}$$

- ۲- با توجه به اعداد فوق داریم:

$$\frac{7.5 \text{ A}}{5 \text{ A}} \times 100 = 150\%$$

۵-۱۱ متوقف کردن موتورهای DC ۲ 5-11 STOPPING A DC MOTOR

همانطور که در بخش قبلی گفتیم اگر دکمه STOP فشار داده شود، ماشین مرحله متوقف شدن را طی میکند تا بالاخره می ایستد. باید گفت که در موتورهای بزرگ چون اینرسی ماشین زیاد است، لذا مدتی طول خواهد کشید تا توقف کامل موتور حاصل شود. باید توجه کرد که اگر دوران ماشین برای مدتی ادامه یابد و این دوران برای وسائل جنبی یا افراد خطراتی را به همراه داشته باشد، در اینصورت دوران اضافی تا رسیدن به حالت سکون مجاز نیست. و باید از روشی استفاده شود که توقف رتور سرعت و بطور ناگهانی رخ دهد.

یکی از روشهایی که میتوان برای این منظور از آن استفاده کرد روش ترمز کردن دینامیکی^(۱) است. در این روش انرژی مکانیکی موتور را به انرژی الکتریکی تبدیل میکنیم و واضح است که این انرژی الکتریکی جدید را میتوان سرعت تلف نمود. یکی از راههای دیگر آن است که بر روی محور موتور یک ژنراتور نصب کنیم. در شرایط عادی این ژنراتور بار بسیار کمی برای موتور محسوب میشود، اما وقتی فرمان توقف (STOP) صادر شد، مقاومتی به ترمینالهای ژنراتور وصل میگردد. این مقاومت از ژنراتور انرژی

دریافت میدارد، در نتیجه این مقاومت سرعت خروجی موتور را در حقیقت ورودی ژنراتور است مصرف میکند.

یکی دیگر از روشهای موحود برای توقف سریع موتورهای همان روش *plugging* است. این روش را میتوان به اتومبیلی تشابه کرد که هنگام حرکت بجلو ناگهان راننده دنده عقب بگیرد. در این صورت گیر بکس ماشین از بین می رود ولی موتور ماشین سالم میماند. *Plugging* را اینطور انجام میدهند که در شرایطی که میخواهیم ماشین توقف پیدا کند. پلار تیه ولتاژ آرمیچر را عوض مینمایند. در حقیقت با تعویض پلار تیه ولتاژ، ماشین را محبور میسازیم که جهت چرخش خود را عوض میکند، لذا سرعت دوران شدت کاهش مییابد. در موقعی که ماشین به توقف کامل رسید، قبل از آنکه در جهت مخالف شروع به گردش نماید، آنرا از منبع تغذیه جدا میسازد.

تنها خطر روش *plugging*، بوجود آمدن جریان شدید در آرمیچر است، علت این امر آن است که بمحض تعویض پلار تیه ولتاژ آرمیچر، ولتاژ ضد محرکه نیز با ولتاژ آرمیچر هم جهت شده و لذا مجموع این دو ولتاژ جریان زیادی را در آرمیچر بوجود می آورند. برای جلوگیری از این امر، از یک مقاومت محدود کننده جریان، که بطور سری با آرمیچر قرار میگیرد استفاده میکنند. البته باید توجه کرد که این مقاومت موقعی که پلار تیه ولتاژ آرمیچر عوض میشود، وارد مدار میگردد.

مثال ۱۷ - ۵:

Example 5-17

یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

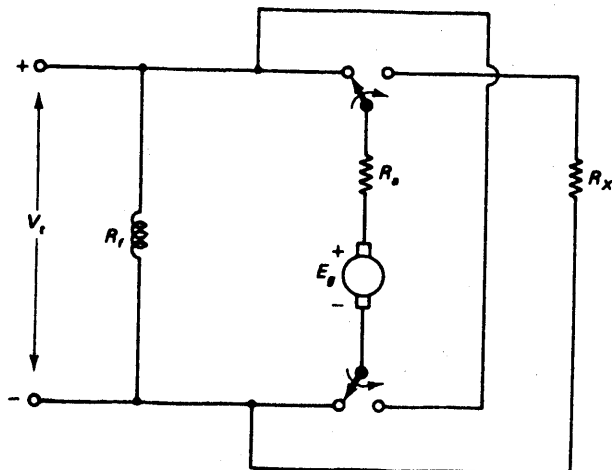
آمپر ۱۰ = جریان اسمی آرمیچر

اهم ۱ = مقاومت آرمیچر

این ماشین تحت سرعت اسمی میچرخد و نیروی ضد محرکه آن ۱۱۰ ولت است. اگر از روش *plugging* برای توقف ماشین استفاده شود (شکل ۲۸ - ۵)، مطلوبست محاسبه مقاومت محدود کننده جریان (R_x)، برای آنکه جریان آرمیچر از ۱۵ آمپر تجاوز نکند.

حل:

وقتی فرمان توقف (STOP) صادر شد، هر دو کلید نشان داده شده در شکل



شکل ۲۸-۵: مدار مربوط به مثال ۱۷-۵

همزمان با هم تغییر وضعیت می‌دهند. لذا جریان آرمیچر اینچنین حساب میشود:

$$I_a = \frac{E_s + V_t}{R_a + R_x}$$

پس:

$$15 \text{ A} = \frac{110 \text{ V} + 120 \text{ V}}{1 \Omega + R_x}$$

$$1 + R_x = \frac{330}{15} = 22$$

$$R_x = 21 \Omega$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 5

Symbol	Definition	Units	
		English	SI
۱ T	Torque (developed or output)	lb-ft	N-m
۲ α	Angular acceleration	rad/s ²	rad/s ²
۳ J	Moment of inertia	ft-lb-s ²	N-m-s ²
۴ P	Power (developed or output)	hp	watts
۵ T_L	Load torque	lb-ft	N-m
۶ K_m	Motor torque constant	ft-lb/V	N-m/V
۷ K_B	Motor back EMF constant	ft-lb-min rev	N-m-s rad
۸ S.R.	Speed regulation	percent	percent
۹ ϕ_f	Shunt-field flux	lines	webers
۱۰ ϕ_s	Series-field flux	lines	webers
۱۱ R_x	External current-limiting resistor used in plugging	ohms	ohms

علائم استفاده شده در فصل ۵:

- ۱- گشتاور (کویل) ۲- شتاب زاویه‌ای ۳- ممان اینرسی (کنگر سختی) ۴- توان ۵-
- گشتاور بار ۶- ضریب ثابت گشتاور در موتور DC ۷- ضریب ثابت نیروی ضد محرکه در
- موتور ۸- تنظیم سرعت ۹- شار مدار تحریک شنت ۱۰- شار مدار تحریک سری
- ۱۱- مقاومت محدود کننده جریان در روش Plugging

نیشتم
فصل

مسائل فصل اول تا پنجم

۵۰ صفحه

۱ - ۶ سؤالات و مسائل فصل اول

سؤالات:

- ۱ - کمیت‌های مغناطیس مشابه کمیت‌های الکتریکی ذیل را نام ببرید .
 - (الف) : ولتاژ
 - (ب) : مقاومت
 - (ج) : یک هادی خوب
- ۲ - پرمابلیته (نفوذ ناپذیری مغناطیسی) را تعریف کنید و کمیت الکتریکی مشابه آنرا بنویسید .
- ۳ - منحنی $B-H$ چیست .
- ۴ - چرا به منحنی $B-H$ نیاز داریم .
- ۵ - پس ماند مغناطیسی چیست و چرا بوجود می‌آید .

مسائل (سیستم ENG) :

- ۱ - چگالی شار (B) در یک هسته معادل 1000000 ماکسول بر اینچ مربع می‌باشد . مطلوبست محاسبه شار اگر سطح مقطع هسته بقرار زیر باشد .
 - (الف) : 4 اینچ مربع
 - (ب) : دایره‌ای بقطر 4 اینچ
 - (ج) : 5% فوت مربع
- ۲ - بدور یک هسته مغناطیس یک سیم پیچ 500 دوری پیچیده شده است و جریان سیم پیچ 5 آمپر است . اگر طول متوسط هسته 14 اینچ باشد مطلوبست MMF و شدت میدان مغناطیسی (H) .
- ۳ - یک هسته بطول متوسط 12 اینچ مفروض است و بدور آن سیم پیچ 250 دوری پیچیده شده است . اگر بخواهیم H معادل 290 آمپر دور بر اینچ باشد ، جریان سیم پیچ را بدست آورید .

۴- اگر در محفظه‌ای پراز هوا H معادل ۵۰ آمپر دور بر اینچ باشد، چگالی شار (B) را حساب کنید.

۵- اگر در محفظه‌ای پراز هوا B معادل ۲۰۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد، شدت میدان مغناطیسی (H) را بدست آورید.

۶- در محفظه‌ای پراز هوا شار معادل ۳۰۰۰۰۰۰ ماکسول می‌باشد. اگر سطح مقطع این محفظه ۸ اینچ مربع باشد، H را بدست آورید.

۷- یک هسته از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱-۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$$\begin{aligned} A &= 8 \text{ اینچ مربع} \\ L &= 20 \text{ اینچ} \\ N &= 80 \text{ دور} \\ \text{ماکسول} &= 720000 \text{ شار} \end{aligned}$$

جریان سیم پیچ را بدست آورید.

۸- یک هسته از جنس چدن مفروض است (شکل ۶-۱) مشخصات هسته بقرار زیر است.

$$\begin{aligned} A &= 6 \text{ اینچ مربع} \\ N &= 100 \text{ دور} \\ L &= 12 \text{ اینچ} \end{aligned}$$

اگر جریان سیم پیچ ۱۰ آمپر باشد، شار در هسته را بدست آورید.

۹- یک هسته از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۶-۱). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$$\begin{aligned} A &= 2 \text{ اینچ مربع} \\ N &= 200 \text{ دور} \\ L &= 10 \text{ اینچ} \end{aligned}$$

مطلوبست شار و چگالی شار (B) در این هسته. جریان در سیم پیچ را ۱۰ آمپر بگیرید.

۱۰- در یک هسته می‌خواهیم ماکزیمم شاری معادل ۴۰۰۰۰۰۰ ماکسول بوحود آید

مطلوبست سطح مقطع مینیمم این هسته اگر:

(الف) جنس هسته از نوع چدن باشد.

(ب) : جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۱ - هسته‌ای مطابق شکل (۲ - ۶) مفروض است (toroid یا چنبره) .
مشخصات هسته بقرار زیر است :

$$\text{اینچ } r_1 = 2 \quad \text{دور } N = 100$$

$$\text{اینچ } r_2 = 3 \quad \text{آمپر } I = 4/5$$

شار در هسته را حساب کنید مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۲ - هسته‌ای مطابق شکل (۳ - ۶) مفروض است . سطح مقطع هسته ۲ اینچ مربع و سایر مشخصات آن بقرار زیر است :

$$\text{فولاد ریخته‌گری} = \text{جنس قسمت A} \quad \text{دور } N = 200$$

$$\text{چدن} = \text{جنس قسمت B}$$

$$\text{اینچ } L_1 = 3$$

$$\text{اینچ } L_2 = 4$$

اگر بخواهیم شار معادل ۶۰۰۰۰ ماکسول باشد ، مطلوبست :

(الف) : MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود .

(ب) : جریان سیم پیچ

۱۳ - مساله ۱۲ را تکرار کنید ، مشروط بر آنکه بدانیم قسمت A از جنس چدن و قسمت B از جنس فولاد ریخته‌گری است .

۱۴ - هسته‌ای مطابق شکل (۴ - ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن میباشد .
مشخصات دیگر هسته بقرار زیر است :

$$\text{اینچ } 14 = \text{طول متوسط هسته}$$

$$\text{اینچ } 0.04 = \text{طول فاصله هوایی}$$

$$\text{اینچ مربع } 2/5 = \text{سطح مقطع هسته و فاصله هوایی}$$

$$\text{ماکسول } 100000 = \text{شار در هسته}$$

مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز .

۱۵ - مساله ۱۴ را تکرار کنید اگر جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد .

۱۶ - هسته‌ای مطابق شکل (۵ - ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن میباشد . مشخصات هسته بقرار زیر است :

$$\text{اینچ } L_1 = 7 \quad \text{اینچ مربع } 4 = \text{سطح مقطع قسمت وسط و فواصل هوایی}$$

اینچ ۴ = L_2 اینچ مربع ۶ = سطح مقطع قسمت‌های قسمت راست و چپ
 اینچ ۰/۰۶ = طول هر کدام از فواصل هوایی
 مطلوبست محاسبه MMF مورد نیاز اگر بخواهیم شار در فاصله هوایی ۶۰۰۰۰ ماکسول باشد.
 ۱۷ - مساله ۱۶ را تکرار کنید مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد.

مسائل (سیستم SI) :

۱۸ - چگالی شار در یک هسته ۱/۶ تسلا میباشد. مطلوبست محاسبه شار اگر سطح مقطع بقرار زیر باشد.
 (الف) : ۰/۰۰۳ متر مربع
 (ب) : دایره‌ای بقطر ۰/۱ متر
 (ج) : ۲۵ سانتیمتر مربع.

۱۹ - بدور یک هسته مغناطیس یک سیم پیچ ۴۰۰ دوری پیچیده شده است و جریان سیم پیچ ۶ آمپر میباشد. اگر طول متوسط هسته ۰/۴ متر باشد، MMF و H را بدست آورید.

۲۰ - بدور یک هسته سیم پیچ ۳۰۰ دوری پیچیده شده است. اگر طول متوسط هسته ۰/۳ متر باشد جریان سیم پیچ را حساب کنید، مشروط بر آنکه بخواهیم H معادل ۴۰۰۰ آمپر بر متر گردد.

۲۱ - در محفظه‌ای پر از هوا، H معادل ۲۰۰۰ آمپر بر متر میباشد، B را بدست آورید.

۲۲ - در محفظه‌ای پر از هوا، B معادل ۰/۳ تسلا میباشد، H را حساب کنید.

۲۳ - در محفظه‌ای پر از هوا، شار معادل ۰/۰۰۳ و بر است. اگر سطح مقطع این محفظه ۰/۰۰۵ متر مربع باشد، H را حساب کنید.

۲۴ - هسته‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱-۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$$A = ۰/۰۰۵ \text{ متر مربع}$$

$$L = 0/5 \quad \text{متر}$$

$$N = 100 \quad \text{دور}$$

$$\text{و بر} \quad 0/008 = \text{شار در هسته}$$

مطلوبست محاسبه جریان در سیم پیچ.

(۲۵) - هسته‌ای از جنس چدن مفروض است (شکل ۱-۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$$A = 0/004 \quad \text{متر مربع}$$

$$N = 100 \quad \text{دور}$$

$$L = 0/3 \quad \text{متر}$$

مطلوبست محاسبه شار در هسته. جریان سیم پیچ را I امپر بگیرید.

۲۶ - هسته‌ای از جنس فولاد ریخته‌گری مفروض است (شکل ۱-۶). مشخصات هسته بقرار زیر است:

$$A = 0/002 \quad \text{متر مربع}$$

$$L = 25 \quad \text{سانتیمتر}$$

$$N = 200 \quad \text{دور}$$

$$I = 7/5 \quad \text{آمپر}$$

مطلوبست محاسبه شار و چگالی شار (B).

(۲۷) - می‌خواهیم در یک هسته ماکزیم شاری معادل $0/004$ وبر حاصل شود، مطلوبست محاسبه سطح مقطع مینیمم اگر:

(الف): هسته از جنس چدن باشد.

(ب): هسته از جنس فولاد ریخته‌گری باشد.

۲۸ - هسته‌ای مطابق شکل (۲-۶) مفروض است (toroid) مشخصات هسته

بقرار زیر است:

$$r_1 = 0/05 \quad \text{متر} \quad I = 4/5 \quad \text{آمپر}$$

$$r_2 = 0/075 \quad \text{متر}$$

$$N = 120 \quad \text{دور}$$

مطلوبست محاسبه شار در هسته اگر جنس هسته از نوع فولاد ریخته‌گری باشد.

۲۹ - هسته‌ای مطابق شکل (۳-۶) وجود دارد. مشخصات هسته بقرار زیر است:

متر مربع $0/0015$ = سطح مقطع هسته

فولاد ریخته‌گری = جنس قسمت A

چدن = جنس قسمت B

سانتیمتر 8 = L_1

سانتیمتر 10 = L_2

دور 180 = N

اگر بخواهیم شار معادل $0/0008$ وبر باشد مطلوبست:

(الف): MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود.

(ب): جریان سیم پیچ

۳۰ - مساله ۲۹ را تکرار کنید اگر قسمت A از جنس چدن و قسمت B از جنس

فولاد ریخته‌گری باشد.

(۳۱) - هسته‌ای مطابق شکل (۴ - ۶) مفروض است و جنس آن از نوع چدن است مشخصات این هسته بقوار زیر است:

وبر $0/001$ = شار

سانتیمتر 35 = طول متوسط هسته

متر $0/001$ = طول فاصله هوایی

متر مربع $0/00125$ = سطح مقطع هسته و فاصله هوایی

MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود را حساب کنید.

۳۲ - مساله ۳۱ را تکرار کنید، مشروط بر آنکه جنس هسته از نوع فولاد ریخته-

گری باشد.

(۳۳) - هسته‌ای مطابق شکل (۵ - ۶) مفروض است و جنس آن از نوع آهن چدن دار باشد. مشخصات هسته بقوار زیر است:

متر مربع $0/0027$ = سطح مقطع قسمت وسطی و فواصل هوایی

متر مربع $0/004$ = سطح مقطع قسمت‌های سمت راست و چپ

متر $0/0015$ = طول هر کدام از فواصل هوایی

سانتیمتر 20 = L_1

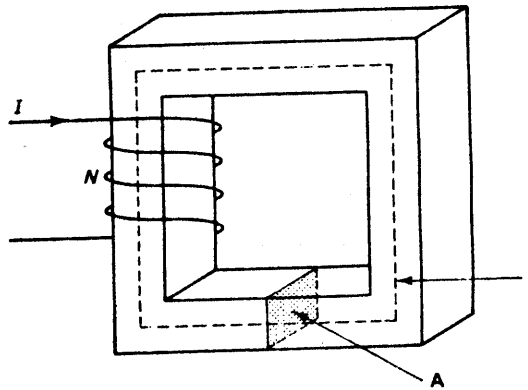
سانتیمتر 10 = L_2

MMF مورد نیاز که باید توسط سیم پیچ تامین شود را حساب کنید، اگر بخواهیم شار در

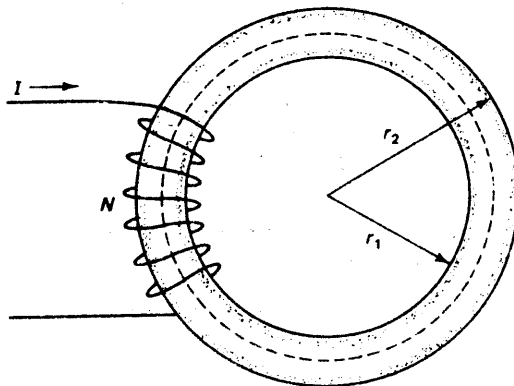
فواصل هوایی ۰/۰۰۰۵ و بر باشد .

۳۴ - مساله ۳۳ را تکرار کنید مشروط بر آنکه جنس هسته فولاد ریخته‌گری

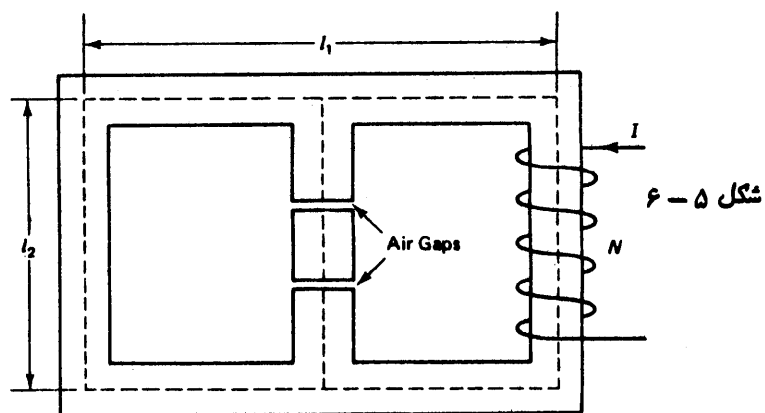
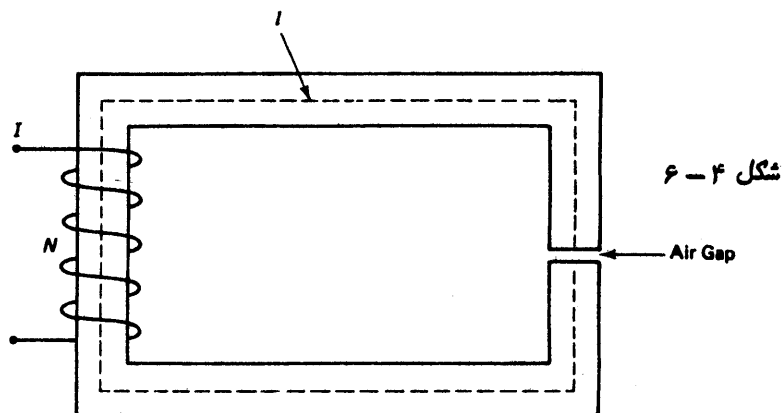
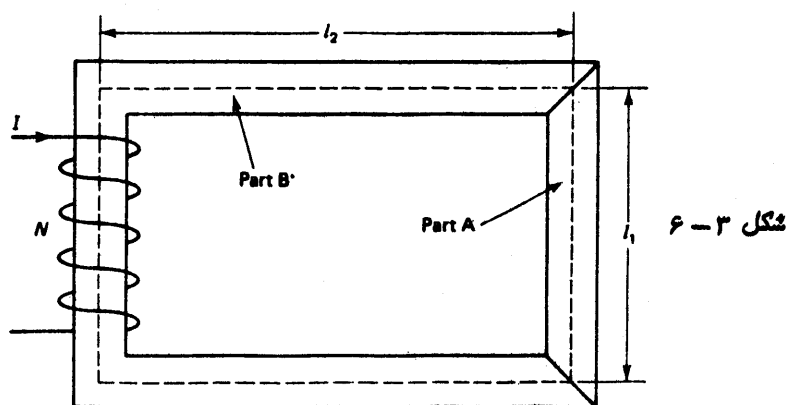
باشد .



شکل ۱ - ۶



شکل ۲ - ۶



۲- ۶ سوالات و مسائل فصل دوم

سوالات:

۱- عبارات زیر را تعریف کنید.

(الف): دینامو

(ب): گشتاور (کوئل)

(ج): نیروی ضد محرکه (BEMF)

۲- قانون فاراده چیست؟

۳- قوانین دست راست و دست چپ را بیان کنید و برای چه منظوری بکار میروند؟

۴- قانون لنز چیست؟

مسائل (سیستم ENG):

۱- در شکل (a-۶-۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۸ اینچ میباشد. مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی، اگر:

اینچ بر ثانیه $50 =$ سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع $200000 =$ چگالی شار

۲- در شکل (b-۶-۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۱/۵ فوت است. مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده اگر:

فوت بر ثانیه $3 =$ سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع $150000 =$ چگالی شار

۳- در شکل (c-۶-۶) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۱ فوت است. مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده اگر:

اینچ بر ثانیه $60 =$ سرعت حرکت هادی

ماکسول بر اینچ مربع $300000 =$ چگالی شار

۴- در شکلهای (a-۶)، (b-۶)، (c-۶) پلارتهیه ولتاژ القاء

شده را بدست آورید و بگوئید جهت جریان ها چگونه است.

۵- شکل ۶-۷ مفروض است. برای هادیهای a, b, c, d و e

پلارتهیه ولتاژ القاء شده را بدست آورید و بگوئید جهت جریان چگونه است.

۶- یک هادی با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه درون یک میدان مغناطیسی دو

قطبی میچرخد (شکل ۶-۲) در فصل دوم. ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست اگر شار هر قطب ۳۰۰۰۰۰ ماکسول فرض شود.

۷- یک هادی درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه

میچرخد ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست اگر شار هر قطب ۳۵۰۰۰۰ ماکسول باشد.

۸- یک هادی درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۶۰۰ دور در دقیقه

میچرخد. اگر بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در هادی ۱/۵ ولت گردد شار هر قطب را بدست آورید.

۹- مساله ۸ را تکرار کنید، اینبار تعداد قطبها را ۳۶ عدد بگیرید.

۱۰- یک کلاف ۴۰۰ دوری درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۶۵۰ دور

در دقیقه میچرخد. ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف چیست، مشروط بر آنکه شار هر قطب ۲۰۰۰۰۰ ماکسول باشد.

۱۱- مساله ۱۰ را تکرار کنید، اینبار سرعت را ۱۴۵۰ دور در دقیقه بگیرید.

۱۲- یک کلاف ۳۰۰ دوری درون یک میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۱۶۰۰ دور

در دقیقه میچرخد. اگر بخواهیم ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف ۸۵ ولت گردد، شار هر قطب را بدست آورید.

۱۳- مساله ۱۲ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۸۰۰ دور در دقیقه بگیرید.

۱۴- بشکل (۱۱-۲) در فصل دوم (رجوع میکنیم و مشخصات آن بقرار زیر است):

دور = ۱۲۰ = تعداد دور کلاف دوار

اینچ = ۵/۰۴ = طول هر کدام از فواصل هوایی

اینچ مربع = ۶ = سطح مقطع هسته و فواصل هوایی

دور در دقیقه = ۱۷۵۰ = سرعت دوران کلاف دوار

مطلوبست محاسبه جریان سیم پیچ تحریک در صورتیکه بخواهیم ولتاژ متوسط

تولید شده در کلاف دوار ۴۰ ولت گردد.

۱۵- شکل (۸-۶) را در نظر میگیریم. اگر جهت جریان همواره بطرف خارج صفحه کاغذ باشد، جهت نیروی حاصله را مشخص کنید.

۱۶- مساله ۱۵ را تکرار کنید. اینبار جهت جریانها را همواره بطرف داخل صفحه کاغذ در نظر بگیرید.

۱۷- شکل (۷-۶) را در نظر بگیرید. اگر بخواهیم جهت چرخش هادیها مطابق شکل باشد، جهت جریان آنها را مشخص کنید (راهنمایی هر هادی را جداگانه مورد بررسی قرار دهید).

۱۸- یک هادی بطول ۱۴ اینچ درون یک میدان مغناطیسی قرار داد. اگر چگالی شار میدان ۵۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد، نیروی حاصله چیست مشروط بر آنکه جریان هادی ۱۰ آمپر در نظر گرفته شود.

۱۹- در مساله ۱۸ اگر بخواهیم نیروی حاصله ۱/۵ پوند باشد، جریان هادی را حساب کنید.

۲۰- بشکل (۲۰-۲) در فصل دوم رجوع می‌کنیم. طول هادی ۸ اینچ و جریان آن ۲۱ آمپر است. اگر چگالی شار ۱۰۰۰۰۰ ماکسول بر اینچ مربع باشد، گشتاور (کوپل) حاصله را در حالت‌های زیر حساب کنید.

(الف): وضعیت شماره ۱

(ب): وضعیت شماره ۲

مسائل (سیستم SI):

۲۱- در شکل (۶-۶ a) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۲۰ سانتیمتر است. مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر:

$$\text{متر بر ثانیه } 1/25 = \text{سرعت حرکت هادی}$$

$$3 = \text{چگالی شار}$$

۲۲- در شکل (۶-۶ b) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۴۵ سانتیمتر است. مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر:

$$90 = \text{سرعت حرکت هادی}$$

$$2 = \text{چگالی شار}$$

۲۳- در شکل (۶-۶ c) طول هادی درون میدان مغناطیسی ۳۰ سانتیمتر

است مطلوبست محاسبه ولتاژ القاء شده در هادی اگر:

$$\text{متر بر ثانیه} \quad 1/5 = \text{سرعت حرکت هادی}$$

$$\text{تسلا} \quad 4/5 = \text{چگالی شار}$$

۲۴ - هادیهای نشان داده شده در شکل ۶-۶ را در نظر بگیرید. پلارتهیه ولتاژ القاء شده را مشخص کنید و جهت جریان هادیها را نیز تعیین نمایید.

۲۵ - شکل (۶-۷) را در نظر بگیرید. پلارتهیه تمام هادیها را مشخص کنید و جهت جریان هادیها را نیز تعیین کنید (هادیهای a, b, c, d, e)

۲۶ - یک هادی درون میدان مغناطیسی دو قطبی با سرعت ۱۸۰ رادیان بر ثانیه میچرخد (شکل ۶-۲ در فصل دوم) ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست، اگر شار هر قطب ۰/۰۰۳ و بر باشد.

(۲۷) - یک هادی درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی با سرعت ۱۲۰ رادیان بر ثانیه میچرخد. ولتاژ متوسط القاء شده در هادی چیست، اگر شار هر قطب ۰/۰۰۴ و بر باشد.

۲۸ - یک هادی درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی با سرعت ۶۰ رادیان بر ثانیه میچرخد. اگر ولتاژ متوسط القاء شده در هادی ۲۴ ولت باشد، شار هر قطب را حساب کنید.

۲۹ - مساله ۲۸ را تکرار کنید، اینبار تعداد قطبها را ۳۶ عدد بگیرید.

۳۰ - یک کلاف ۴۰۰ دوری با سرعت ۱۶۰ رادیان بر ثانیه درون میدان مغناطیسی ۸ قطبی میچرخد. اگر شار هر قطب ۰/۰۰۲ و بر باشد ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف - را بدست آورید.

۳۱ - مساله ۳۰ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۴۰ رادیان بر ثانیه بگیرید.

(۳۲) - یک کلاف ۲۴۰ دوری با سرعت ۱۵۰ رادیان بر ثانیه درون میدان مغناطیسی ۶ قطبی میچرخد. اگر ولتاژ متوسط القاء شده در کلاف ۹۰ ولت باشد، شار هر قطب را بدست آورید.

۳۳ - مساله ۳۲ را تکرار کنید. اینبار سرعت را ۱۷۵ رادیان بر ثانیه بگیرید.

۳۴ - بشکل (۱۲-۲ در فصل دوم) رجوع میکنیم. کلاف دوار ۱۰۰ دوری است و مشخصات دیگر سیستم بقرار زیر است:

$$\text{متر} \quad 0/001 = \text{طول هر کدام از فواصل هوایی}$$

$$\text{متر مربع} \quad 0/004 = \text{سطح مقطع هسته و فواصل هوایی}$$

$$\text{رادیان بر ثانیه} \quad 170 = \text{سرعت دوران کلاف دوار}$$

اگر بخواهیم ولتاژ متوسط تولید شده ۵۰ ولت باشد، جریان سیم پیچ تحریک را بدست آورید.

۳۵- شکل (۸-۶) را در نظر میگیریم، جهت نیروی حاصله را بدست آورید. فرض میکنیم جهت همه جریانها بطرف خارج صفحه کاغذ باشد.

۳۶- مساله ۳۵ را تکرار کنید. اینبار جهت همه جریانها را بطرف داخل صفحه کاغذ بگیرید.

۳۷- شکل (۷-۶) را در نظر میگیریم. اگر بخواهیم جهت چرخش هادیها مطابق شکل باشد، جهت جریانهای آنها را مشخص کنید (راهنمایی هر هادی را به تنهایی بررسی کنید).

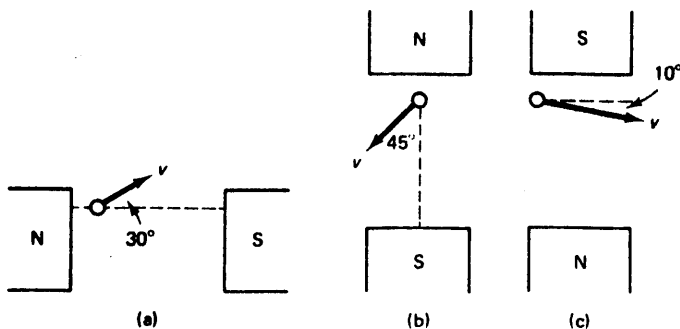
(۳۸) یک هادی بطول ۳۵ سانتیمتر درون میدان مغناطیسی با چگالی شار ۰/۸ تسلا قرار دارد. اگر جریان هادی ۱۱ آمپر باشد، نیروی حاصله را حساب کنید.

۳۹- در مساله ۳۸ اگر بخواهیم نیروی حاصله ۶ نیوتن باشد جریان هادی را بدست آورید.

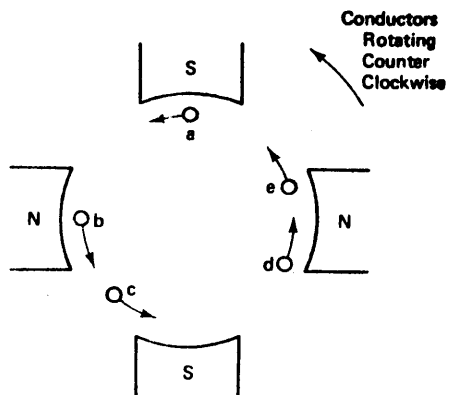
۴۰- بشکل (۲۱-۲ در فصل دوم) رجوع کنیم. اگر طول هادی ۲۰ سانتیمتر و جریان آن ۲۷ آمپر باشد، گشتاور را در دو حالت زیر بدست آورید. فرض میکنیم چگالی شار ۱/۵ تسلا باشد.

(الف): در وضعیت شماره ۱

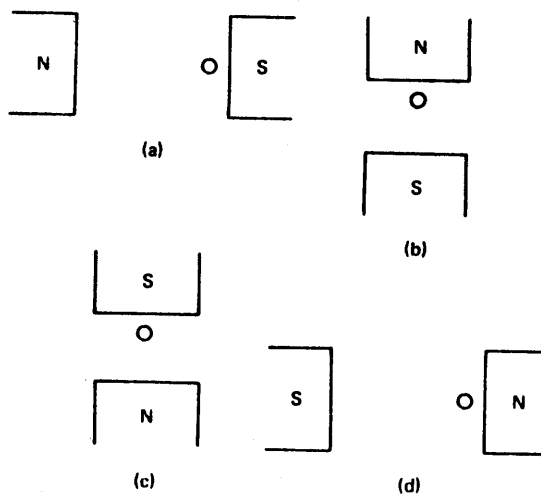
(ب): در وضعیت شماره ۲



شکل ۶-۶



شکل ۷-۶



شکل ۸ - ۶

۳- ۶ مسائل و سئوالات فصل سوم

سئوالات :

- ۱- عبارات زیر را تعریف کنید .
 - (الف) : آرمیچر
 - (ب) : کموتاسیون
 - (ج) : کموتاتور
 - (د) : قطبهای اصلی (قطبهای تحریک)
- ۲- چرا آرمیچر ورق ساخته میشود .
- ۳- عکس العمل آرمیچر چیست .
- ۴- جنس جاروبکها چیست .
- ۵- قطبهای فرعی (کمکی) را بچه منظور در ماشین قرار میدهند .
- ۶- سیم پیچهای جبران کننده چیست .

مسائل (سیستمهای ENG و SI) :

۱- یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است :

- ۴ = تعداد قطبها
- SLW = طرز سیم پیچی آرمیچر
- ۴۸۰ = تعداد کل هادیها
- اهم ۳٪ = مقاومت هر هادی
- ولت ۵/۰ = ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی
- آمپر ۱۵ = جریان اسمی سیم مورد استفاده

مطلوبست :

- (الف) : مقاومت آرمیچر
- (ب) : ولتاژ آرمیچر
- (ج) : جریان اسمی آرمیچر
- (د) : توان اسمی آرمیچر

۲ - مساله ۱ را تکرار کنید مشروط بر آنکه سیم پیچی آرمیچر از نوع SWW در نظر گرفته شود.

۳ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

تعداد قطبها	=	۸
SLW =	طرز سیم پیچی آرمیچر	
عدد	تعداد کل هادیها	= ۲۰۰
اهم	مقاومت هر هادی	= ۳۵%
ولت	ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی	= ۵/۵۶
آمپر	جریان اسمی سیم بکار برده شده	= ۱۵

مطلوبست:

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): جریان اسمی آرمیچر

(ج): ولتاژ آرمیچر

(د): توان اسمی آرمیچر

۴ - مساله ۳ را حل کنید مشروط بر آنکه سیم پیچ از نوع SWW باشد.

۵ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

تعداد قطبها	=	۱۲
SLW =	طرز سیم پیچی آرمیچر	
تعداد کل هادیها	=	۱۶۲۰
اهم	مقاومت هر هادی	= ۰/۱
ولت	ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی	= ۵/۶۶
آمپر	جریان اسمی سیم بکار برده شده	= ۸

مطلوبست:

(الف): مقاومت آرمیچر

(ب): ولتاژ آرمیچر

(ج): جریان اسمی آرمیچر

(د): توان اسمی آرمیچر

۶ - مساله ۵ را تکرار کنید، اینبار سیم پیچی آرمیچر را از نوع SWW بگیرید

۷- یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۸ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{SLW} = \text{طرز سیم پیچی آرمیچر}$$

$$\text{ولت} = ۲۳۰ = \text{ولتاژ اسمی ژنراتور}$$

$$\text{کیلو وات} = ۵ = \text{توان اسمی ژنراتور}$$

$$۱۲۰۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$\text{اهم} = ۰/۸ = \text{مقاومت کل آرمیچر}$$

مطلوبست:

(الف): جریان اسمی هر هادی

(ب): ولتاژ متوسط القاء شده برای هر هادی

(ج): مقاومت هر هادی

۸- مساله ۷ را تکرار کنید اگر سیم پیچی از نوع SWW در نظر گرفته شود.

۹- یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۶ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{SLW} = \text{طرز سیم پیچی آرمیچر}$$

$$\text{ولت} = ۱۲۰ = \text{ولتاژ اسمی ژنراتور}$$

$$\text{کیلو وات} = ۱ = \text{توان اسمی ژنراتور}$$

$$۷۲۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$\text{اهم} = ۱ = \text{مقاومت کل آرمیچر}$$

مطلوبست:

(الف): جریان اسمی هر هادی

(ب): ولتاژ القاء شده برای هر هادی

(ج): مقاومت هر هادی

۱۰- مساله ۹ را تکرار کنید. اینبار سیم پیچی را از نوع SWW در نظر بگیرید.

مسائل (سیستم ENG):

۱۱- یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

$$۱۲ = \text{تعداد قطبها}$$

$$= 600 \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= 1200 \text{ دور در دقیقه سرعت}$$

$$= 350000 \text{ شار هر قطب ماکسول}$$

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۲ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

$$= 4 \text{ تعداد قطبها}$$

$$= 800 \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= 1800 \text{ دور در دقیقه سرعت}$$

$$= 400 \text{ ولت ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر}$$

مطلوبست شار هر قطب در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۳ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است.

$$= 6 \text{ تعداد قطبها}$$

$$= 420 \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= 400000 \text{ شار هر قطب ماکسول}$$

$$= 120 \text{ ولت ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر}$$

مطلوبست سرعت ماشین در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ج): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۴ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$= 4 \text{ تعداد قطبها}$$

$$= 1000 \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= 500000 \text{ شار هر قطب ماکسول}$$

$$= 1200 \text{ دور در دقیقه سرعت ماشین}$$

$$= 200 \text{ ولت ولتاژ تولید شده}$$

طرز سیم پیچی آرمیچر چیست؟

۱۵ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است

$$= ۱۲ \text{ تعداد قطبها}$$

$$= ۱۸۰۰ \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= ۵۰۰۰۰۰ \text{ شار هر قطب} \quad \text{ماکسول}$$

$$= ۱۰۰۰ \text{ سرعت ماشین} \quad \text{دور در دقیقه}$$

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده در دو حال زیر

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

مسائل (سیستم SI

۱۶ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$= ۱۶ \text{ تعداد قطبها}$$

$$= ۸۰۰ \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= ۱۲۰ \text{ سرعت ماشین} \quad \text{رادیان بر ثانیه}$$

$$= ۵/۰۰۰۴ \text{ شار هر قطب} \quad \text{وبر}$$

مطلوبست محاسبه ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۷ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$= ۶ \text{ تعداد قطبها}$$

$$= ۹۰۰ \text{ تعداد کل هادیها}$$

$$= 60\pi \text{ سرعت ماشین} \quad \text{رادیان بر ثانیه}$$

$$= ۲۳۰ \text{ ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر} \quad \text{ولت}$$

شار هر قطب را در دو حالت زیر حساب کنید.

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۱۸ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۸ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۶۴۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$\text{وهر} \quad ۵۰/۰۰۵۵ = \text{شار هر قطب}$$

$$\text{ولت} \quad ۴۶۰ = \text{ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر}$$

مطلوبست محاسبه سرعت ماشین در دو حالت زیر:

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

(۱۹) - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۴ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۱۴۴۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$\text{وهر} \quad ۵۰/۰۰۴۶ = \text{شار هر قطب}$$

$$\text{رادیان بر ثانیه} \quad ۴۰\pi = \text{سرعت ماشین}$$

$$\text{ولت} \quad ۲۶۵ = \text{ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر}$$

طرز سیم پیچی آرمیچر چیست.

(۲۰) - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

$$۱۶ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۲۴۴۰ = \text{تعداد کل هادیها}$$

$$\text{وهر} \quad ۵۰/۰۰۵ = \text{شار هر قطب}$$

$$\text{رادیان بر ثانیه} \quad ۱۰۰ = \text{سرعت ماشین}$$

ولتاژ تولید شده توسط آرمیچر را در دو حالت زیر حساب کنید.

(الف): سیم پیچی از نوع SLW باشد.

(ب): سیم پیچی از نوع SWW باشد.

۴ - ۶ سئوالات و مسائل فصل چهارم

سئوالات:

- (۱) چرا باید منحنی تغییرات ولتاژ تولید شده بر حسب سرعت در یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه خط مستقیم باشد.
- (۲) عبارات زیر را تعریف کنید.
 - (الف) : محرک اولیه
 - (ب) : تحریک خودی
 - (ج) تحریک جداگانه
 - (د) بی باری
 - (ه) بار کامل
 - (و) تنظیم ولتاژ
 - (ز) مشخصه بار
- (۳) چرا راندمان هرگز بیش از ۱۰۰٪ نمیباشد.
- (۴) عبارات زیر را تعریف کنید.
 - (الف) توان سرگردان
 - (ب) جریان گردابی
 - (ج) تلفات هسته
 - (ه) تلفات مس
- (۵) در ژنراتور شنت منظور از مقاومت بحرانی تحریک چیست.
- (۶) چرا در ژنراتور شنت یا سری گاهی اوقات ولتاژ پدیدار نمیشود.
- (۷) عبارات زیر را تعریف کنید.
 - (الف) دیورتو یا مقاومت منحرف کننده در ژنراتور DC سری
 - (ب) ژنراتور کمپوند
 - (ج) ژنراتور کمپوند با شنت کوتاه

(د) ژنراتور کمپوند با شنت بلند

(ه) ژنراتور کمپوند نقصانی

(و) ژنراتور کمپوند اضافی

(۸) یک ژنراتور DC کمپوند مفروض است و درصد تنظیم ولتاژ آن منفی است

این ژنراتور از کدامیک از انواع زیر است .

(الف) کمپوند مسطح

(ب) فوق کمپوند

(ج) زیر کمپوند

(۹) عبارات زیر را تعریف کنید .

(الف) شین

(ب) شین بینهایت

(ج) سیم متعادل کننده

(۱۰) چرا ژنراتورهای DC را موازی (پارالل) میسازیم .

(۱۱) با استفاده از شکلهای (۱۱-۴) و (۱۳-۴) مربوط به فصل دوم ثابت

کنید که توان مکانیکی تبدیل شده بتوان الکتریکی در ژنراتورهای DC برابر $E_g I_a$ می باشد .

مسائل (سیستم ENG) :

۱- یک ژنراتور DC مفروض است و ۱۳۵ ولت را تحت سرعت ۱۶۵۰ دور در

دقیقه تولید میکنند . اگر شار ثابت بماند ، ولتاژ تولید شده را در سرعتهای زیر حساب کنید .

(الف) ۱۴۵۰ دور در دقیقه

(ب) ۱۰۰۰ " " "

(ج) ۱۸۰۰ " " "

(د) ۲۰۰۰ " " "

۲- یک ژنراتور DC تحت سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه میچرخد و ۱۲۸ ولت

تولید میکند . در اثر اتصالی در مدار تحریک شار ۳۰٪ افت مینماید و در نتیجه ولتاژ کاهش پیدا میکند . سرعت ماشین را به چه میزان بالا ببریم تا همان ولتاژ اولیه پدیدار

گردد.

۳- یک ژنراتور DC تحت سرعت اسمی میچرخد و ولتاژ اسمی تولید میکند. اگر سرعت به میزان ۱۰٪ کاهش یابد، ولتاژ نیز ۱۰٪ افت پیدا میکند. شار را به چه میزان افزایش دهیم تا همان ولتاژ اسمی اولیه حاصل گردد.

۴- جدول (۱-۶) مربوط به آزمایش بر روی ژنراتور DC در آزمایشگاه ماشین میباشد و در این آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است.
(الف) منحنی تغییرات ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید.
(ب) شیب این منحنی را بدست آورید.

$E_g (V)$	315	375	450	525	600	675
$S (rev/min)$	900	1100	1400	1600	1800	2000

جدول ۱-۶

۵- یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه تحت سرعت ثابت ۱۲۰۰ دور در دقیقه میچرخد بتدریج جریان تحریک را زیاد میکنیم تا ولتاژ بوجود آید. مقادیر مربوط به این آزمایش در جدول (۲-۶) ذکر شده است.
(الف) منحنی مغناطیس شونددگی را در سرعت فوق الذکر رسم کنید.
(ب) اگر سرعت به ۹۰۰ دور در دقیقه کاهش یابد منحنی مغناطیس شونددگی را رسم کنید.

$I_f (A)$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
$E_g (V)$	20	160	350	440	460	510

جدول ۲-۶

مسائل (سیستم SI):

۶- یک ژنراتور DC تحت سرعت ۱۷۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۴۸ ولت تولید میکند. اگر شار ثابت بماند، ولتاژ تولید شده را در تحت سرعتهای زیر بدست آورید.

(الف) ۱۴۰ رادیان بر ثانیه

(ب) ۱۰۰ رادیان بر ثانیه

(ج) ۱۸۵ رادیان بر ثانیه

(د) ۲۰۰ رادیان بر ثانیه

(۷) یک ژنراتور DC تحت سرعت ۲۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد و ۲۵۲ ولت تولید میکند. اگر در مدار تحریک اتصال رخ دهد شار بمیزان ۳۰٪ کاهش مییابد و در نتیجه ولتاژ افت مینماید. سرعت را به چه میزان تغییر دهیم تا ولتاژ اولیه پدیدار گردد.

(۸) یک ژنراتور DC تحت سرعت اسمی میچرخد و ولتاژ اسمی تولید میکند. اگر سرعت ۱۲٪ کاهش یابد ولتاژ نیز ۱۲٪ افت میکند. شار را به چه میزان تغییر دهیم تا همان ولتاژ اسمی پدیدار گردد.

(۹) جدول (۳-۶) از آزمایش بر روی ژنراتور DC در آزمایشگاه بدست آمده است و در این آزمایش شار ثابت نگهداشته شده است.

الف: منحنی ولتاژ بر حسب سرعت را رسم کنید.

ب: شیب منحنی را بدست آورید.

E_g (V)	120	180	210	240	290
ω (rad/s)	80	110	130	150	180

جدول ۳-۶

(۱۰) یک ژنراتور DC با تحریک جداگانه با سرعت ثابت 40π رادیان بر ثانیه میچرخد. بتدریج جریان تحریک را زیاد میکنیم تا ولتاژ پدیدار شود. نتایج این آزمایش جدول (۴-۶) ذکر شده است.

الف: منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت فوق الذکر رسم کنید.

ب: منحنی مغناطیس شوندگی را در سرعت 30π رادیان بر ثانیه رسم نمایید.

I_f (A)	0	0.4	0.7	1.0	1.3	1.9
E_g (V)	10	72	140	195	225	250

جدول ۴-۶

مسائل (سیستم SI):

(۱۱) ولتاژ ترمینال یک ژنراتور DC در حالت بی‌باری ۲۵۵ ولت است تنظیم ولتاژ این ژنراتور را بدست آورید مشروط بر آنکه مشخصات ژنراتور بقرار زیر باشد:

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال — ۱
کیلووات ۱۰ = توان اسمی — ۲

۱۲ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است ولتاژ ترمینال ژنراتور در حالت بی‌باری چیست.

- | | | | |
|-----|----------|-----|--------------|
| ۱ - | کیلو وات | ۱ | = توان اسمی |
| ۲ - | ولت | ۱۲۰ | = ولتاژ اسمی |
| ۳ - | | ۱۸% | = درصد تنظیم |

۱۳ - مشخصه بار ژنراتورهای DC در شکل (۹ - ۶) نشان داده شده است. برای هر ژنراتور تنظیم ولتاژ را بدست آورید، مشروط بر آنکه:

آمبر ۱۲ = جریان اسمی هر ژنراتور

(۱۴) - یک ژنراتور DC هنگامیکه بار اسمی را تغذیه میکند نیاز به توان معادل ۹ اسب بخار بر روی محور خود دارد. راندمان را در بار کامل حساب کنید مشروط بر آنکه مشخصات ژنراتور بقرار زیر باشد.

- | | | | |
|---|----------|-----|----------------------------------|
| ۱ - | کیلو وات | ۵ | = توان اسمی |
| ۲ - | ولت | ۳۰ | = ولتاژ اسمی ترمینال |
| ۱۵ - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است. | | | |
| | وات | ۷۵ | = عددی ثابت = تلفات توان سرگردان |
| | وات | ۱۷۵ | = تلفات مس دربار کامل |
| | کیلو وات | ۱ | = توان اسمی ژنراتور |
| | ولت | ۱۲۰ | = ولتاژ اسمی ترمینال |

مطلوبست:

الف: توان مکانیکی ورودی به ماشین دربار کامل بر حسب اسب بخار

ب: راندمان ماشین در بار کامل

(۱۶) - یک ژنراتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

- | | | | |
|-----|----------|------|------------------------|
| ۱ - | کیلو وات | ۱۰ | = توان اسمی |
| ۲ - | ولت | ۴۴۰ | = ولتاژ اسمی ترمینال |
| ۳ - | | ۸۰% | = راندمان دربار اسمی |
| - | وات | ۱۵۵۰ | = تلفات مس در بار کامل |

تلفات توان سرگردان این ماشین را حساب کنید.

۱۷ - منحنی مغناطیس شونددگی ۴ ژنراتور شنت در شکل (۱۰ - ۶) رسم شده

است. مقاومت تحریک هر ژنراتور را طوری حساب کنید مشروط بر آنکه بخواهیم هر ژنراتور ولتاژهای زیر را تولید کند.

الف: ۴۰۰ ولت برای ژنراتور شماره ۱

ب: ۳۳۰ ولت برای ژنراتور شماره ۲

ج: ۲۳۰ ولت برای ژنراتور شماره ۳

د: ۱۲۰ ولت برای ژنراتور شماره ۴

۱۸- در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۱ معادل ۲۰۰ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین پدیدار میشود.

۱۹- در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۲ معادل ۱۴۰ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین تولید میگردد.

۲۰- در مساله ۱۷ اگر مقاومت تحریک ژنراتور شماره ۳ معادل ۹۲ اهم باشد چه ولتاژی در این ماشین تولید میشود.

۲۱- در مساله ۱۷ اگر بخواهیم ولتاژ ژنراتور ۴ برابر ۱۶۰ ولت گردد مقاومت تحریک چقدر باید باشد.

(۲۲) - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ -	کیلو وات	۵	= توان اسمی
۲ -	ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳ -	اهم	۱۳۰	= مقاومت تحریک شنت
۴ -	اهم	۵/۸	= مقاومت آرمیچر
۵ -	وات	۱۵۰	= تلفات توان سرگردان

دربار کامل

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید:

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

ه: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

ز: راندمان

(۲۳) - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ -	کیلو وات	۱۵	= توان اسمی
	ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳ -	اهم	۱۱۵	= مقاومت تحریک شنت
۴ -	اهم	۱	= مقاومت آرمیچر
۵ -	وات	۱۳۰۰	= تلفات توان سرگردان

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

ه: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

ز: راندمان

(۲۴) - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ -	کیلو وات	۶	= توان اسمی
۲ -	ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳ -	اهم	۱۰۰	= مقاومت تحریک شنت
۴ -	اهم	۱/۲	= مقاومت آرمیچر
۵ -	وات	۲۲۰	= تلفات توان سرگردان

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید:

الف: جریان تحریک شنت

ب: جریان بار

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

ه: تلفات مدار تحریک شنت

و: تلفات آرمیچر

ز : راندمان

ک : تنظیم ولتاژ (فرض میکنیم ولتاژ تولید شده ثابت باقی بماند)

۲۵ - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ - کیلو وات ۲۰ = توان اسمی

۲ - ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

هنگامیکه ژنراتور بار اسمی را تغذیه میکند ولتاژ تولید شده درون ماشین ۲۵۰ ولت بوده و جریان تحریک در این حالت $2/8$ آمپر است مقاومت آرمیچر ماشین را حساب کنید .

۲۶ - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ - کیلو وات ۱۰ = توان اسمی

۲ - ولت ۴۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۳ - %۸۲ = راندمان در بار کامل

۴ - اهم ۲۰۰ = مقاومت تحریک شنت

۵ - اهم $5/9$ = مقاومت آرمیچر

تلفات توان سرگردان در این ماشین را بدست آورید .

۲۷ - یک ژنراتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است .

۱ - کیلو وات ۱ = توان اسمی

۲ - ولت ۱۰۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اگر بار اسمی را تغذیه کند مقاومت این بار را پیدا کنید .

۲۸ - یک ژنراتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است :

۱ - کیلو وات ۲ = توان اسمی

۲ - ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۳ - اهم $5/1$ = مقاومت تحریک سری

۴ - اهم $5/6$ = مقاومت آرمیچر

۵ - وات ۱۱۰ = تلفات توان گردان

محاسبات زیر را در بار کامل انجام دهید .

الف : جریان تحریک سری

ب : جریان بار

ج : جریان آرمیچر

- د : تلفات مدار تحریک سری
 ه : تلفات آرمیچر
 و : ولتاژ تولید شده در ماشین
 ز : راندمان

۲۹- یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه با مشخصات زیر مفروض است :

۱-	کیلو وات	۴	= توان اسمی
۲-	ولت	۲۰۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳-	وات	۱۵۰	= تلفات توان سرگردان
۴-	اهم	۱۱۰	= مقاومت تحریک شنت
۵-	اهم	۱/۲	= مقاومت آرمیچر
۶-	اهم	۰/۱	= مقاومت تحریک سری

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید :

- الف : جریان بار
 ب : جریان تحریک شنت
 ج : جریان تحریک سری
 د : جریان آرمیچر
 ه : ولتاژ تولید شده در ماشین
 و : تلفات آرمیچر، تحریک سری، تحریک شنت
 ز : راندمان

۳۰- در مساله ۲۹ اگر ژنراتور نیمه از بار اسمی خود را تغذیه کند تمامی فرضهای مساله ۲۹ را تکرار کنید .

در این مساله فرض بر آن است که ولتاژ تولید شده درون ماشین با مساله ۲۹ یکسان میباشد .

۳۱- یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت بلند با مشخصات زیر مفروض است :

۱-	کیلو وات	۴/۸	= توان اسمی
۲-	ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳-	اهم	۹۰	= مقاومت تحریک شنت
۴-	اهم	۰/۴	= مقاومت آرمیچر
۵-	اهم	%۸	= مقاومت تحریک سری

- وات ۲۰۰ = تلفات توان سرگردان ۶ -
- محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:
- الف: جریان بار
- ب: جریان شنت
- ج: جریان آرمیچر
- د: ولتاژ تولید شده در ماشین
- ه: تلفات مدارهای تحریک شنت، سری و آرمیچر
- و: راندامان

۳۲ - در مساله (۳۱) چه مقدار از توان مکانیکی ورودی به توان الکتریکی تبدیل میشود.

۳۳ - یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه با مشخصات زیر مفروض است:

- کیلو وات ۱۰۰ = توان اسمی ۱ -
- ولت ۶۰۰ = ولتاژ اسمی ترمینال ۲ -
- اهم ۳۰۰ = مقاومت تحریک شنت ۳ -
- اهم ۰/۱ = مقاومت آرمیچر ۴ -
- اهم ۵٪ = مقاومت تحریک سری ۶ -

وات ۲۴۰۰ = عددی ثابت = تلفات توان سرگردان

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان بار

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: ولتاژ تولید شده در ماشین

ه: تلفات مدارهای شنت، سری و آرمیچر

و: راندامان

۳۴ - در مساله ۳۳ تنظیم ولتاژ را محاسبه کنید. فرض بر آن است که ولتاژ تولید شده درون ماشین در تمامی مراحل از بی باری تا بار کامل ثابت بماند.

۳۵ - مساله ۳۳ تکرار کنید. اینبار کمپوند را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید.

۳۶ - یک ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت بلند مفروض است و مشخصات آن به

قرار زیر است:

۱ -	= توان اسمی	۱۲	کیلو وات
۲ -	= ولتاژ اسمی ترمینال	۱۲۰	ولت
۳ -	= راندمان در بار اسمی	۷۵%	
۴ -	= مقاومت تحریک شنت	۱۰۰	اهم
۵ -	= مقاومت آرمیچر	۱۶%	اهم
۶ -	= مقاومت تحریک سری	۴%	اهم

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید:

الف: جریان بار

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: تلفات مسی

ه: تلفات توان سرگردان

۳۷ - مساله ۳۶ را تکرار کنید این بار ژنراتور را از نوع شنت کوتاه در نظر بگیرید

۳۸ - یک ژنراتور DC شنت مفروض است و ولتاژ ترمینال آن در حالت بی باری

۱۴۰ ولت می باشد. اگر این ژنراتور به شین ۱۲۰ ولتی وصل گردد و مقاومت آرمیچر معادل

۱۰/۸ اهم و مقاومت تحریک شنت معادل ۰۶ اهم باشد محاسبات زیر را انجام دهید.

الف: ولتاژ تولید شده در ماشین

ب: جریان تحریک شنت

ج: جریان آرمیچر

د: جریان بار

ه: توان خروجی

(۳۹) - یک ژنراتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱ -	= مقاومت تحریک شنت	۱۶۵	اهم
۲ -	= مقاومت آرمیچر	۰/۶	اهم
۳ -	= ولتاژ ترمینال در حالت باری	۴۸۰	ولت

اگر این ژنراتور به شین ۴۴۰ ولتی وصل شود توان تحویل به این شین چقدر خواهد بود

۴۰ - یک ژنراتور DC شنت ۴/۶ کیلو واتی و ۲۳۰ ولتی که واحد شماره ۱ به

آن اتلاق میکنیم باری را تغذیه میکند. بمحض آنکه خروجی واحد شماره ۱ معادل توان اسمی این واحد شد واحد شماره ۲ وارد مدار میگردد و با واحد شماره ۱ موازی میشود. بار به چه نحوی بین این دو واحد تقسیم میگردد.

توان اسمی واحد شماره ۲ نیز معادل $4/6$ کیلووات است و بقیه مشخصات این دو واحد در جدول (۵-۶) ذکر شده است.

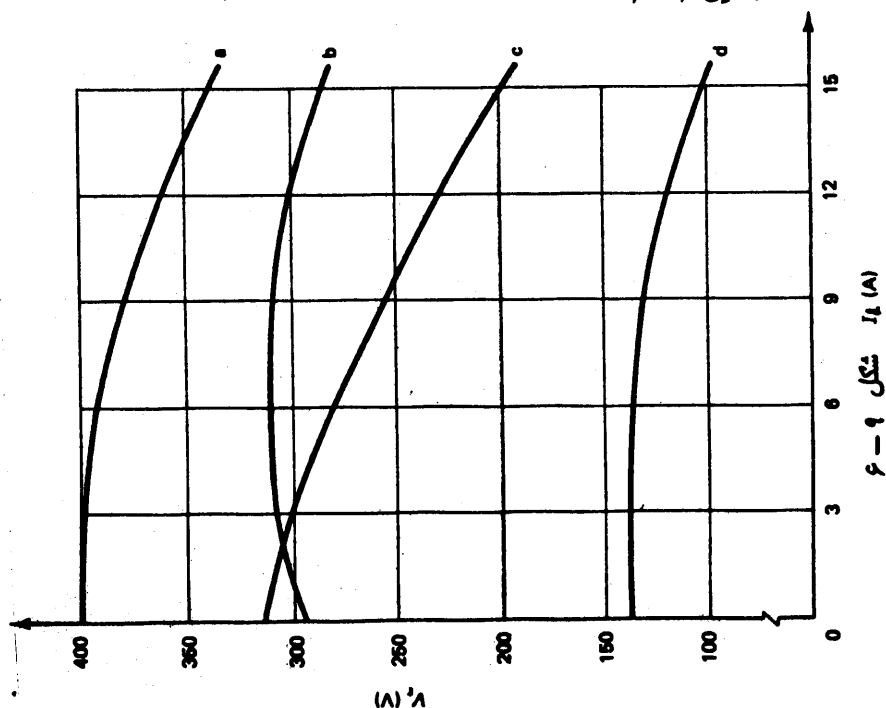
(۴۱) دو ژنراتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه و فوق کمپوند مفروضاند و مطابق شکل (۳۰-۴) فصل چهارم به یک شین 330 ولتی متصل شدهاند. جدول (۶-۶) مشخصات دو واحد را نشان میدهد. بار به چه نحوی بین این دو ژنراتور تقسیم میشود. سیم متعادل کننده نیز در مدار قرار دارد.

	Unit 1	Unit 2
$R_f (\Omega)$	120	118
$R_a (\Omega)$	1.15	1.1
$E_s (V)$	248	252

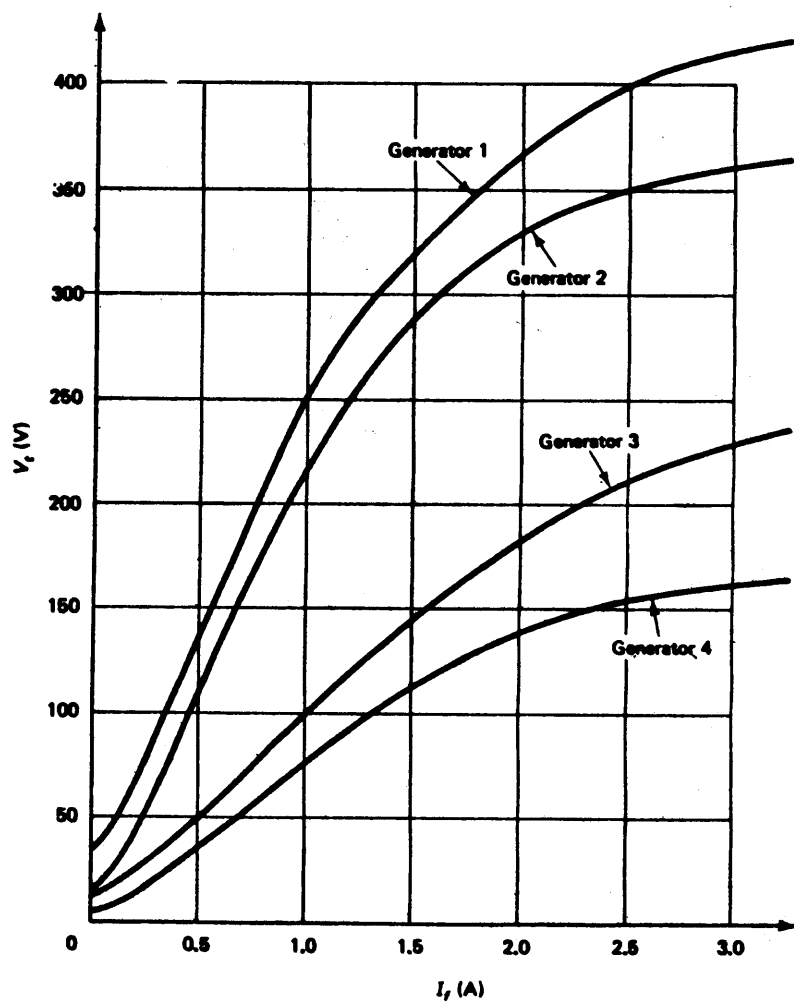
جدول ۵-۶

	Unit 1	Unit 2
$R_f (\Omega)$	110	110
$R_a (\Omega)$	1.0	1.0
$R_s (\Omega)$	0.12	0.15
$E_s (V)$	350	350

جدول ۶-۶



شکل ۶-۹



شکل ۱۰-۶

۵-۶ سئوالات و مسائل فصل پنجم

سئوالات:

- ۱- رابطه بین گشتاور، توان و سرعت چیست.
- ۲- عبارات زیر را تعریف کنید.
- الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)
- ب: گشتاور سکون
- ج: سرعت در حالت بی‌باری
- ۳- راندمان موتور DC را تعریف کنید و تنظیم سرعت موتور را تشریح کنید.
- ۴- فرق بین توان خروجی و توان حاصله در موتور چیست.
- ۵- چه زمانی راندمان موتور DC ماکزیمم است.
- ۶- اثر تغییرات زیر را بر روی سرعت موتور DC شنت بیان دارید.
- الف: اگر جهت جریان تحریک موتور عوض شود
- ب: اگر جهت جریان آرمیچر موتور عوض شود
- ج: اگر ولتاژ منبع تغذیه موتور تغییر پلار تیه دهد
- ۷- سؤال ۶ را برای موتور DC سری تکرار کنید.
- ۸- یک موتور DC شنت مشغول کار است اگر مدار تحریک باز شود (پاره شود) چه وضعی رخ میدهد.
- ۹- سؤال ۸ را برای موتور DC سری تکرار کنید.
- ۱۰- فرق بین حالت کمپوند اضافی و کمپوند نقصانی را در موتورهای DC بیان دارید.
- ۱۱- اگر جریان آرمیچر در موتور DC بیش از حد اسمی شود، کدامیک از موتورهای DC بیشترین افزایش در گشتاور را خواهند داشت.
- ۱۲- اگر جریانی که موتور DC از شبکه میکشد افزایش یابد سرعت موتور چه تغییری میکند.

- ۱۳- چرا برای راه اندازی موتورهای DC به راه اندازی های مخصوص نیاز داریم .
- ۱۴- دوروش جهت توقف سریع موتورهای DC بیان کنید .
- ۱۵- مدار مربوط به یک راه انداز ۴ نقطه ای را رسم کنید .

مسائل (سیستم ENG) :

۱- یک موتور DC ۵ اسب بخاری تحت بار اسمی در سرعت های زیر میچرخد گشتاور موتور را در سرعت های ذیل بیابید .

الف : ۹۰۰ دور در دقیقه

ب : ۱۲۰۰ دور در دقیقه

ج : ۲۰۰۰ دور در دقیقه

۲- یک موتور DC باید گشتاوری معادل ۳۵۰۰ "فوت - پوند" را تحت سرعت ۳۰ دور در دقیقه ایجاد میکند تا آسانسوری را که معادل بار اسمی آن میباشد جابجا نماید . توان اسمی ماشین را بیابید .

۳- یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است .

۱- اسب بخار ۲ = توان اسمی

۲- دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت اسمی

۳- وات ۱۳۰ = تلفات توان سرگردان

مطلوبست :

الف : گشتاور اسمی

ب : گشتاور حاصله در ماشین

۴- اگر موتور مساله ۳ نصف بار اسمی خود را تحت سرعت ۲۲۰۰ دور در دقیقه تغذیه کند ، گشتاور خروجی موتور را پیدا کنید .

۵- سیستمی مطابق شکل (۱-۵) در فصل پنجم در نظر میگیریم تا توان خروجی موتور DC را اندازه گیری کنیم . سرعت موتور در این حالت ۱۲۰۰ دور در دقیقه است و ترازو ۲۷ پوند را میخواند . مطلوبست توان خروجی موتور (اینچ $d = 1.5$)

۶- یک موتور DC مفروض است و قطبهای اصلی تحریک از نوع آهن ربای دائمی است مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است :

۱- دور در دقیقه ۹۰۰ = سرعت در حالت بی باری

۲- "فوت - پوند" ۲۵۰ = گشتاور سکون

منحنی "گشتاور - سرعت" یا TS آنرا رسم کنید و محاسبات زیر را انجام دهید.
الف: اگر بخواهیم موتور با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه بچرخد گشتاور بار چگونه باید باشد.

ب: اگر موتور با سرعت ۷۵۰ دور در دقیقه بچرخد توان خروجی موتور را بیابید.

۷- شکل (۱۱-۶) را در نظر بگیرید که در آن منحنیهای "گشتاور - سرعت"

۴ موتور DC مختلف رسم شده است.

الف: گشتاور سکون موتور ۲ را پیدا کنید.

ب: سرعت موتور ۱ در حالت بی‌باری چیست

ج: اگر بخواهیم باری با گشتاور ۱۰۰ "فوت - پوند" را با سرعت ۹۰ دور در دقیقه بچرخانیم کدام موتور مناسب‌تر است.

د: موتوری را بیابید که دارای مشخصه اسمی ۲ اسب بخار و سرعت اسمی ۶۰ دور در دقیقه باشد.

۸- یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۱- اسب بخار ۱ = توان اسمی

۲- دور در دقیقه ۱۸۰۰ = سرعت اسمی

۳- دور در دقیقه ۲۱۰۰ = سرعت در حالت بی‌باری

درصد تنظیم سرعت موتور را پیدا کنید.

۹- مشخصه سرعت ۴ موتور DC مختلف در شکل (۱۲-۶) رسم شده است و

همگی در بار اسمی ۱۰ آمپر میکشند، درصد تنظیم سرعت را برای موتورهای فوق پیدا کنید.

۱۰- یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

۱- ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۲- اسب بخار ۲ = توان اسمی

آمپر ۱۷ = جریان کشیده شده از شبکه در شرایط

۳- اسمی (بار کامل)

۴- اهم ۰/۷ = مقاومت آرمیچر R_a

۵- اهم ۹۰ = مقاومت تحریک شنت R_f

مطلوبست :
الف : تلفات توان سرگردان
ب : توان حاصله در ماشین
ج : گشتاور حاصله توسط ماشین

۱۱ - یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ -	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۱۴۰	ولت
۲ -	سرعت اسمی	=	۱۶۰۰	دور در دقیقه
۳ -	حریان کشیده شده از شبکه در بار کامل	=	۱۴	آمپر
۴ -	مقاومت آرمیچر (R_a)	=	۰/۸	اهم
۵ -	مقاومت مدار تحریک شنت (R_f)	=	۱۰۰	اهم
۶ -	تلفات توان سرگردان	=	۴۳۸	وات

مطلوبست :

الف : نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب : توان اسمی
ج : گشتاور اسمی
د : راندمان
ه : توان حاصله در ماشین

۱۲ - یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است :

۱ -	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۳۰۰	ولت
۲ -	سرعت اسمی	=	۱۴۵۰	دور در دقیقه
۳ -	حریان کشیده شده از شبکه در بار کامل	=	۱۵/۵	آمپر
۴ -	مقاومت (آرمیچر)	=	۰/۵	اهم
۵ -	مقاومت تحریک شنت	=	۲۰۰	اهم
۶ -	تلفات توان سرگردان	=	۵۰۰	وات

مطلوبست :

الف : نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب : توان اسمی

ج : راندمان

۱۳ - یک موتور DC شنت ۵/۰ اسب بخاری مفروض است و سرعت اسمی آن ۶۰۰ دور در دقیقه است. سرعت آنرا در حالت بی باری ببایید در صورتیکه درصد تنظیم سرعت موتور ۳۰٪ باشد.

۱۴ - سه موتور با مشخصات اسمی زیر مفروض است راندمان سه موتور را ببایید.

الف : موتور اول ، ۱۰ اسب بخار ، ۶۰۰ ولت ، ۱۵ آمپر

ب : موتور دوم ، ۴ اسب بخار ، ۴۴۰ ولت ، ۸ آمپر

ج : موتور سوم ، ۵۰ اسب بخار ، ۶۰۰ ولت ، ۷۵ آمپر

۱۵ - بر روی پلاک سه موتور DC اعداد ۲ اسب بخار و ۱۲۰ ولت چشم میخورد ، جریانی که این موتورها از شبکه میکشند را در شرایط زیر حساب کنید .

الف : موتور اول دارای راندمان ۷۵٪ است .

ب : راندمان موتور دوم ۸۰٪ میباشد .

ج : راندمان موتور سوم ۹۰٪ است .

۱۶ - یک موتور DC ، ۱۲۰ ولتی مفروض است و در بی باری ۵ آمپر میکشد . اگر تلفات مسی آن ۳۴۰ وات باشد ، تلفات توان سرگردان آنرا ببایید .

۱۷ - بر روی پلاک یک موتور DC شنت اعداد ۴۴۰ ولت و ۱۰ اسب بخار به چشم میخورد و مطابق شکل (۹-۵) در فصل پنجم مورد آزمایش قرار میگیرد . اعداد مربوط به این آزمایش در جدول (۷-۶) داده شده است .

الف : منحنی تغییرات جریان خط ، سرعت راندمان و گشتاور خروجی بر حسب توان خروجی را بر روی یک گراف رسم کنید .

ب : راندمان ماکزیم چه موقعی رخ میدهد و آنرا با مقدار بدست آمده در فرض اول مقایسه کنید .

راهنمایی : مقاومت آرمیچر ۱/۴ اهم و تلفات توان سرگردان ۲۲۰ وات میباشد .

I_L (A)	3	8	13	16	20	22
I_f (A)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S (rev/min)	1100	1040	980	940	900	870

جدول ۷-۶

۱۸- یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت بلند مفروض است و بر روی پلاک آن اعداد ۱۱۵ ولت، ۱۴ آمپر و ۶۰۰ دور در دقیقه بچشم میخورد و تحت بار کامل مشغول کار است. مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است:

- | | | |
|----|-----------------------------------|-----|
| ۱- | $R_a = ۰/۹$ | اهم |
| ۲- | $R_s = ۰/۵$ | اهم |
| ۳- | $R_f = ۹۲$ | اهم |
| ۴- | $\text{تلفات توان سرگردان} = ۱۴۰$ | وات |

مطلوبست:

- الف: نیروی ضد محرکه BEMF
 ب: توان اسمی
 ج: راندمان
 د: گشتاور اسمی
 ه: گشتاور حاصله توسط ماشین
 و: توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی).

۱۹- یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت کوتاه مفروض است. مشخصات موتور بقرار زیر است:

- | | | |
|----|-----------------------------------|--------------|
| ۱- | $\text{ولتاژ اسمی ترمینال} = ۳۰۰$ | ولت |
| ۲- | $\text{حریان اسمی موتور} = ۱۰$ | آمپر |
| ۳- | $\text{سرعت اسمی} = ۹۰۰$ | دور در دقیقه |
| ۴- | $R_f = ۲۰۰$ | اهم |
| ۵- | $R_a = ۰/۸$ | اهم |
| ۶- | $R_s = ۰/۴$ | اهم |
| ۷- | $\text{تلفات توان سرگردان} = ۲۰۰$ | وات |

محاسبات زیر را در شرایط اسمی (بار کامل) انجام دهید:

- الف: نیروی ضد محرکه BEMF
 ب: توان اسمی
 ج: راندمان
 د: گشتاور اسمی

ه. گشتاور حاصله توسط ماشین

۲۰ - یک موتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است:

۱ -	اسب بخار	۵	= توان اسمی
۲ -	ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳ -	آمپر	۴۰	= جریان اسمی
۴ -	اهم	۱۱۰	$R_f =$
۵ -	اهم	۰/۴	$R_s =$
۶ -	اهم	۰/۱	$R_a =$

محاسبات زیر را در شرایط اسمی (بار کامل) انجام دهید.

الف: کل تلفات مس ماشین

ب: تلفات سرگردان موتور

ج: راندمان

۲۱ - مساله ۲۰ را تکرار کنید ولی اینبار موتور را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید.

۲۲ - یک موتور DC سری مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است:

۱ -	ولت	۱۲۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۲ -	دور در دقیقه	۲۰۰۰	= سرعت اسمی
۳ -	آمپر	۶۰	= جریان اسمی
۴ -	اهم	۰/۱	$R_a =$
۵ -	اهم	۵%	$R_s =$
۶ -	ولت	۶۹۲	= تلفات توان سرگردان

محاسبات زیر را در شرایط اسمی انجام دهید.

الف: کل تلفات مسی در ماشین

ب: توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

ج: توان اسمی موتور

د: گشتاور اسمی ماشین

ه: راندمان

۲۳ - یک موتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است:

۱ -	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۱۴۰	ولت
۲ -	جریان اسمی	=	۱۲	آمپر
۳ -	سرعت اسمی	=	۳۰۰۰	دور در دقیقه
۴ -	R_a	=	۰/۸	اهم
۵ -	R_s	=	%۵	اهم

اگر بار موتور کم گردد جریان موتور به ۳ آمپر تقلیل مییابد. سرعت موتور را در شرایط حدید (بار کم) بدست آورید.

مسائل (سیستم SI) :

(۲۴) - یک موتور DC ، ۱۰ کیلوواتی مفروض است و بار اسمی را تحت سرعتهای زیر تغذیه میکند. گشتاور موتور را در سرعتهای زیر بیابید.

الف: ۳۰ رادیان بر ثانیه

ب: ۴۰ رادیان بر ثانیه

ج: ۷۰ رادیان بر ثانیه

۲۵ - یک موتور DC باید گشتاوری معادل ۵۰۰۰ نیوتن متر را تحت سرعت ۳ رادیان بر ثانیه ایجاد کند تا آسانسوری را که معادل بار اسمی آن است جابجا نماید. توان اسمی موتور را بیابید.

(۲۶) - یک موتور DC با مشخصات زیر مفروض است:

۱ - کثافتات = ۱/۵ = توان اسمی

۲ - رادیان بر ثانیه ۱۸۰ = سرعت اسمی

۳ - وات ۱۵۰ = تلفات توان سرگردان

محاسبات زیر را در بار اسمی انجام دهید.

الف: گشتاور خروجی ماشین

ب: گشتاور حاصله توسط موتور

۲۷ - اگر موتور DC مساله ۲۶ نصف بار اسمی خود را تحت سرعت ۲۲۰ رادیان بر ثانیه تغذیه کند. گشتاور خروجی موتور را در این حالت پیدا کنید.

۲۸ - سیستمی مطابق شکل (۱-۵) در فصل پنجم در نظر میگیریم تا توسط

آن توان خروجی موتور را اندازه گیری کنیم. اگر موتور تحت سرعت ۱۰ رادیان بر ثانیه

بچرخد، ترازو ۱۰۰ نیوتن را نشان میدهد. توان خروجی موتور را پیدا کنید (متر $d = 0.5$)

۲۹- یک موتور DC که قطبهای تحریک آن از آهن ربای دائمی ساخته شده دارای مشخصات زیر است:

۱- رادیان بر ثانیه ۹۰ = سرعت در حالت بی باری

۲- نیوتن متر ۵۰۰ = گشتاور سکون

منحنی تغییرات گشتاور سرعت (TS) این موتور را رسم کنید و محاسبات زیر را انجام دهید.

الف: اگر بخواهیم موتور با سرعت ۴۰ رادیان بر ثانیه بچرخد گشتاور بار چه مقدار باید انتخاب گردد.

ب: اگر موتور با سرعت ۷۵ رادیان بر ثانیه بچرخد توان خروجی موتور چیست.

۳۰- شکل (۱۳-۶) منحنی "گشتاور سرعت" (TS) چهار موتور DC مختلف میباشد

الف: گشتاور سکون در موتور ۱ چه مقدار است.

ب: سرعت بی باری موتور ۲ چیست

ج: اگر بخواهیم باری با گشتاور ۱۵۰ نیوتن متر را با سرعت ۱۲/۵ رادیان بر ثانیه بچرخانیم کدام موتور مناسبتر است.

د: کدامیک از موتورها دارای توان اسمی ۱/۵ کیلو وات و سرعت اسمی ۵ رادیان بر ثانیه است.

۳۱- یک موتور DC یک کیلو واتی مفروض است و در بار کامل با سرعت ۱۸۰

رادیان بر ثانیه میچرخد اگر سرعت موتور در حالت بی باری ۲۰۰ رادیان بر ثانیه باشد درصد تنظیم سرعت موتور را پیدا کنید.

۳۲- شکل (۱۴-۶) مشخصه های سرعت ۴ موتور DC مختلف را نشان میدهد

و همگی در بار اسمی ۶ آمپر میکشند درصد تنظیم سرعت در موتورهای فوق را بدست آورید.

۳۳- یک موتور ۵/۰ کیلو واتی دارای سرعت اسمی ۶۰ رادیان بر ثانیه است و

درصد تنظیم سرعت آن ۲۵٪ میباشد. سرعت موتور در حالت بی باری چیست.

۳۴- یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال ۱-

- ۲- کیلو وات $1/5 =$ توان اسمی
- ۳- آمپر $8/2 =$ جریان اسمی
- ۴- اهم $R_a = 1/1$
- ۵- اهم $R_f = 200$
- ۶- رادیان بر ثانیه $156 =$ سرعت اسمی

مطلوبست:

الف: تلفات توان سرگردان

ب: توان حاصله در ماشین

ج: گشتاور حاصله توسط ماشین

(۳۵) - یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

- ۱- ولت $460 =$ ولتاژ اسمی ترمینال
- ۲- رادیان بر ثانیه $83 =$ سرعت اسمی
- آمپر $7/5 =$ جریان اسمی
- ۳- اهم $R_a = 1/2$
- ۴- اهم $R_f = 305$
- ۵- وات $215 =$ تلفات توان سرگردان

مطلوبست:

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: توان اسمی

ج: گشتاور اسمی

د: راندمان

ه: توان حاصله در ماشین

۳۶ - یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

- ولت $330 =$ ولتاژ اسمی ترمینال
- ۲- رادیان بر ثانیه $90 =$ سرعت اسمی
- ۳- آمپر $14/5 =$ جریان اسمی
- ۴- اهم $R_a = 0/6$
- ۵- اهم $R_f = 220$

۶ - وات = تلفات توان سرگردان

مطلوبست محاسبات زیر

الف: نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب: توان اسمی

ج: راندمان

۳۷ - سه موتور DC با مشخصات زیر مفروض است راندمان آنها را بیابید.

الف: موتور اول: ۳ کیلو وات، ۲۳۰ ولت، ۱۵ آمپر

ب: موتور دوم: ۴۰ کیلو وات، ۶۰۰ ولت، ۸۰ آمپر

ج: موتور سوم: ۵ کیلو وات، ۳۳۰ ولت، ۲۰ آمپر

۳۸ - سه موتور DC، ۱/۵ کیلو واتی و ۲۲۰ ولتی مفروضاند و راندمان آنها

در بار اسمی برقرار زیر است. جریانهای اسمی آنها را بیابید.

الف: راندمان موتور اول ۹۲٪ است

ب: راندمان موتور دوم ۸۵٪ است

ج: راندمان موتور سوم ۷۷٪ است

۳۹ - یک موتور DC، ۲۳۰ ولتی مفروض است و در بی باری ۲۳ آمپر میکشد.

اگر تلفات مس موتور ۳۷۰ وات باشد تلفات توان سرگردان ماشین را بدست آورید.

(۴۰) - یک موتور DC. شنت، ۳۳۰ ولتی و ۷/۵ کیلو واتی مفروض است و مطابق

شکل (۹-۵) در فصل پنجم مورد آزمایش قرار گرفته است. اگر نتایج آزمایش مطابق

جدول (۸-۶) باشد. مطلوبست.

الف: رسم منحنی تغییرات جریان خط، سرعت، راندمان، گشتاور خروجی بر حسب توان

خروجی بر روی یک گراف مشترک.

ب: در چه نقطه‌ای راندمان ماکزیمم رخ میدهد و آنرا با نتایج فرض "الف" چک کنید.

راهنمایی: مقاومت آرمیچر ۲ اهم و تلفات توان سرگردان در این موتور ۳۲۰ وات است:

I_L (A)	4	10.5	17	21	26	30
I_f (A)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ω (rad/s)	120	112	104	99	93	85

جدول ۸-۶

۴۱ - یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت بلند مفروض بوده و مشخصات آن بقرار زیر است :

۱ -	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۲۲۰	ولت
۲ -	حریان اسمی	=	۷/۵	آمپر
۳ -	سرعت اسمی	=	۶۰۰	رادیان بر ثانیه
۴ -	R_f	=	۱۶۹	اهم
۵ -	R_a	=	۱	اهم
۶ -	R_s	=	۳٪	اهم
۷ -	تلفات توان سرگردان	=	۳۱۴	وات

مطلوبست :

الف . نیروی ضد محرکه

ب : توان اسمی

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

ه : گشتاور حاصله توسط ماشین

و : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

۴۲ - یک موتور DC کمپوند اضافی از نوع شنت کوتاه مفروض بوده و مشخصات

آن بقرار زیر است :

۱ -	ولتاژ اسمی ترمینال	=	۳۳۰	ولت
۲ -	حریان اسمی	=	۱۰	آمپر
۳ -	سرعت اسمی	=	۹۰۰	رادیان بر ثانیه
۴ -	R_f	=	۱۶۴	اهم
۵ -	R_a	=	۱/۵	اهم
۶ -	R_s	=	۰/۲	اهم
۷ -	تلفات توان سرگردان	=	۵۲۸	وات

مطلوبست :

الف : نیروی ضد محرکه (BEMF)

ب : توان اسمی

ج : راندمان

د : گشتاور اسمی

ه : گشتاور حاصله توسط ماشین

۴۳ - یک موتور DC کمپوند از نوع شنت کوتاه مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است :

۱ -	کیلو وات	۵	= توان اسمی
۲ -	ولت	۲۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۳ -	آمپر	۲۴	= جریان اسمی
۴ -	اهم	۵%	$R_s =$
۵ -	اهم	۲۰۰	$R_f =$
۶ -	اهم	۰/۴	$R_a =$

مطلوبست :

الف : کل تلفات مسی

ب : تلفات توان سرگردان

ج . راندمان

۴۴ - مساله ۴۳ را تکرار کنید ولی اینبار موتور DC کمپوند را از نوع شنت بلند در نظر بگیرید .

(۴۵) - یک موتور DC سری با مشخصات زیر مفروض است .

۱ -	ولت	۲۳۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
۲ -	رادیان بر ثانیه	۲۰۰	= سرعت اسمی
۳ -	آمپر	۳۰	= جریان اسمی
۴	اهم	۰/۲	$R_a =$
۵ -	اهم	۷%	$R_s =$
۶ -	وات	۶۵۷	= تلفات توان سرگردان

و

مطلوبست :

الف : کل تلفات مس در ماشین

ب : توان حاصله در ماشین (توان الکتریکی تبدیل شده به توان مکانیکی)

- ج : توان اسمی
د : گشتاور اسمی
ه : راندمان

۴۶- یک موتور سری ۲۵۰ ولتی و ۲۸ آمپری مفروض است و در بار کامل با سرعت ۳۰۰ رادیان بر ثانیه میچرخد. در شرایطی که بار موتور کم است جریان ماشین ۲ آمپر میگردد. سرعت موتور در این حالت را بیابید (اهم $R_a = 1/1$ و اهم $R_s = 6\%$)

مسائل (سیستم SI-ENG) :

۴۷- یک موتور شنت را مطابق شکل (۲۵-۵) در فصل پنجم توسط یک راه انداز ۴ نقطه‌ای راه اندازی میکنیم. جریان آرمیچر در شرایط اسمی ۲۸ آمپر است اگر مقاومت آرمیچر ۰/۸ اهم و مقاومت راه انداز ۲۰/۵ اهم باشد. مطلوبست.
الف: جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی
ب: جریان فرض الف چند درصد جریان اسمی آرمیچر میباشد.

(۴۸)- یک موتور DC شنت، ۶۰۰ ولتی و ۲۲ آمپری را با راه اندازی ۴ نقطه‌ای راه اندازی میکنیم (شکل ۲۵-۵) در فصل پنجم. اگر بخواهیم جریان آرمیچر در لحظه راه اندازی از ۱۴۵٪ درصد جریان اسمی آن فراتر نرود، مقاومت راه انداز چقدر باید باشد. پارامترهای ماشین بقرار زیر است:

$$R_a = 0.7 \quad \text{اهم}$$

$$R_f = 300 \quad \text{اهم}$$

۴۹- یک موتور DC شنت با مشخصات زیر مفروض است:

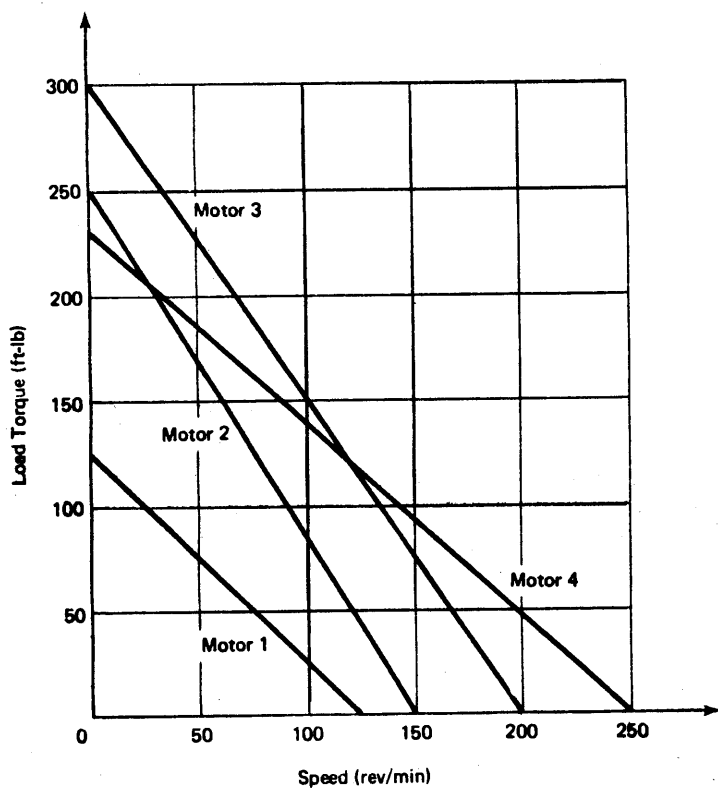
$$\text{ولت} = 230 = \text{ولتاژ اسمی ترمینال}$$

$$1 - \text{آمپر} = 8 = \text{جریان اسمی آرمیچر}$$

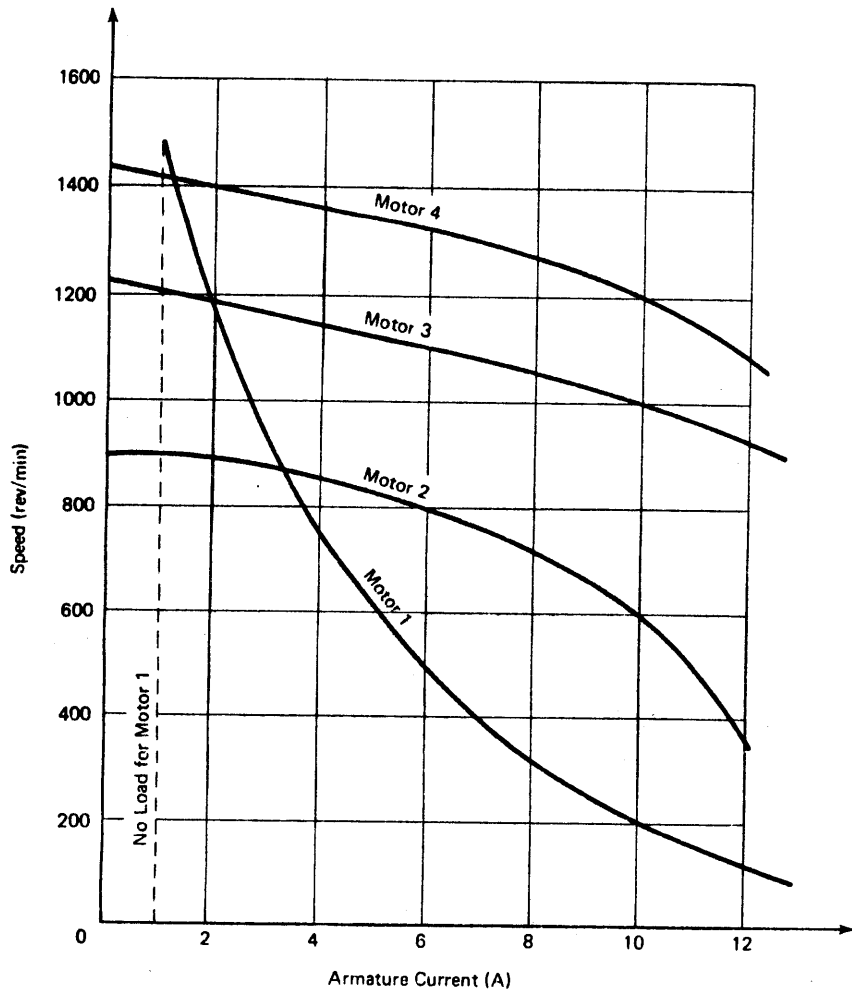
$$3 - \text{اهم} = 2 = R_a$$

این موتور در شرایط اسمی مشغول کار است و برای توقف آن از روش Pluggin استفاده میشود (شکل ۲۸-۵) در فصل پنجم. اگر بخواهیم جریان آرمیچر از ۱۴ آمپر فراتر نرود، مقاومت محدود کننده جریان (R_X) را محاسبه کنید.

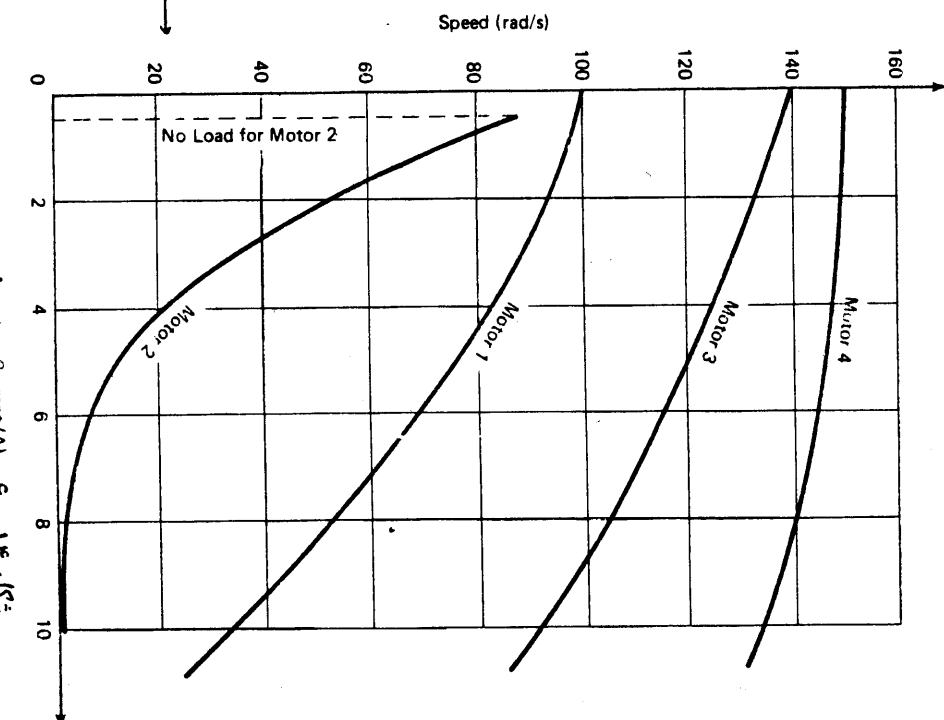
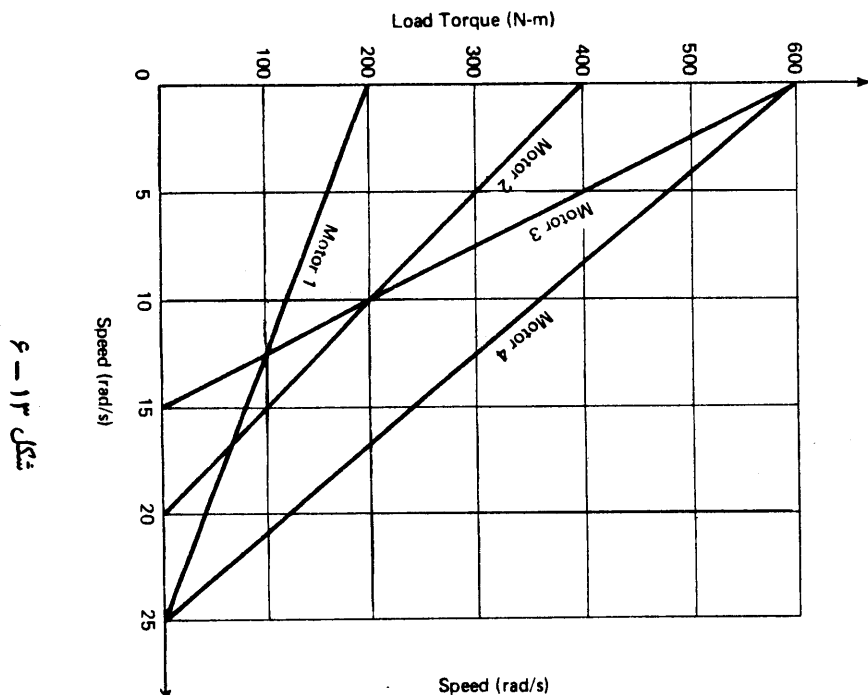
۵۰- در مساله ۴۹ اگر از مقاومت R_X استفاده نکنیم جریان آرمیچر را هنگام پروسس plugging پیدا کنید.



شکل ۱۱-۶



شکل ١٢ - ٦



شکل ۱۳-۶

شکل ۱۴-۶

فصل ہفتم

ترانسفورماتورها

TRANSFORMERS

۲۴ صفحہ

فصل هفتم ترانسفورماتورها

مقدمه:

امروزه تقریباً " ترانسفورماتورها (۱) در تمامی وسایل برقی یافت میشوند زیرا از آنها برای مقاصد زیر استفاده میشود .

۱ - تطبیق امپدانس (۲)

۲ - عایق بندی الکتریکی (۳)

۳ - کوپلاژ

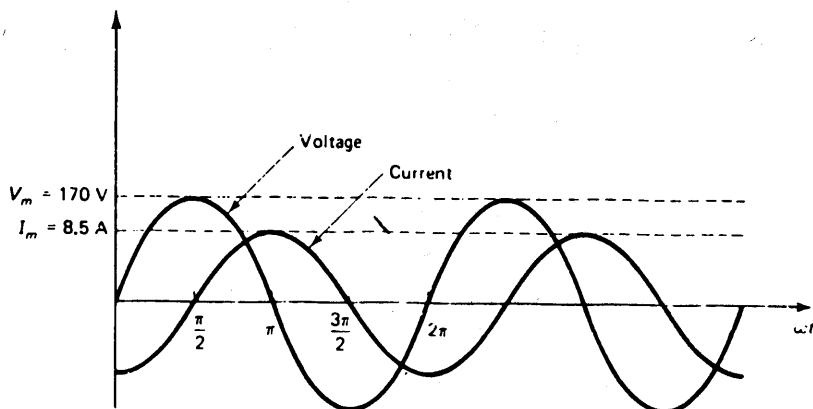
۴ - کاهش یا افزایش ولتاژ

در این فصل فقط راجع به نقش ترانسفورماتورها در کاهش یا افزایش ولتاژ صحبت میکنیم ولی قبل از اینکه وارد بحث اصلی ترانسفورماتورها شویم ، قدری راجع به تئوری مدارهای جریان متناوب (AC) . بحث مینمائیم .

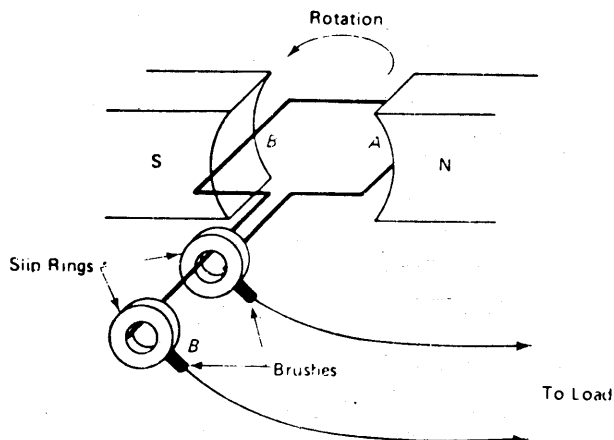
۱ - 7-1 REVIEW OF SINGLE-PHASE AC CIRCUITS : AC تک فاز

امروزه در صنعت برق و الکترونیک زیگنالهای متناوب متعددی وجود دارد ولی ما فقط به زیگنالهای سینوسی توجه مینمائیم (شکل ۱ - ۷) . در فصل دوم (حلد اول کتاب) مشاهده کردیم که اصولاً " در ماشینهای DC ولتاژ متناوب سینوسی تولید میشود (شکل های ۷ - ۲ و ۹ - ۲ در جلد اول) . سپس با استفاده از کموتاتور و جاروبکها ، این ولتاژ سینوسی را به ولتاژ DC تبدیل نمودیم . حال اگر از کموتاتور استفاده نشود و بحای آن از حلقه های لغزان (۴) کمک گرفته شود در این صورت ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر جاروبکها) همان AC باقی میماند (شکل ۲ - ۷) . علت این امر این است که در اینحال

-
- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1) Transformers | 2) Impedance-matching |
| 3) Electrical-Isolation | 4) Slip-rings |



شکل ۱-۷: دو موج سینوسی



شکل ۲-۷: استفاده از حلقه‌های لغزان و جاروبکها برای

بدست آوردن موج AC در ژنراتور

جاروبکها عمل سوئیچینگ را انجام نمیدهند و همواره با هادی مشخصی در تماس هستند هرگاه هادی A از مقابل قطب شمال بگذرد جاروبک A مثبت بوده و جاروبک B منفی خواهد بود (قانون دست راست فلمینگ). همچنین اگر کلاف ۱۸۰ درجه بچرخد جاروبک A منفی شده و جاروبک B مثبت میگردد. اگر موحهای نشان داده شده در شکل (۱-۷) مبین ولتاژ دو سر یک مدار و همچنین جریان عبوری از آن مدار باشد در این صورت میتوان گفت:

۱- فرکانس^(۱) هر دو موج یکسان است.

- ۲- چون پیک (۱) این دو موج در یک زمان رخ نمیدهد لذا این دو موج با هم اختلاف فاز (۲) داشته و همانطور که از شکل (۱-۷) پیداست در این وضعیت خاص این دو موج بمیزان $\pi/2$ یا ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند .
- ۳- مقدار موثر (۳) (rms) این دو موج اینچنین حساب میشود .

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (7-1)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (7-2)$$

که در آن :

V_m = مقدار پیک یا ماکزیم ولتاژ

I_m = مقدار پیک یا ماکزیم جریان

منبع در این کتاب اکثرا " با مقادیر موثر سروکار داریم مگر آنکه در موقع بخصوصی از مقادیر دیگری ذکری بعمل آید .

۴- از آنجائی که در شکل (۱-۷) ولتاژ و جریان با هم همفاز نیستند ، لذا مدار مقاومتی خالص نبوده بلکه عناصر راکتیو مانند خازن یا سلف با هر دو آنها در مدار نیز وجود دارند ، اما همانطور که از شکل (۱-۷) پیداست چون این اختلاف فاز درست ۹۰ درجه میباشد و جریان نسبت به ولتاژ بمیزان ۹۰ درجه عقب است (پس فاز) (۴) ، لذا مدار کاملاً " اندوکتیو است (کاملاً " سلفی است) . در اینجا متذکر میشویم که اندوکتیو خالص توان حقیقی مصرف نمیکند بلکه در میدان مغناطیسی انرژی ذخیره مینماید .

۵- از حاصل ضرب مقادیر موثر ولتاژ و جریان توان ظاهری حاصل میگردد و واحد آن ولت آمپر (VA) میباشد .

$$\text{apparent power} = P_a = VI \quad (7-3)$$

با توجه ب شکل (۱-۷) داریم .

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{170 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 120 \text{ V}$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{8.5 \text{ A}}{\sqrt{2}} \doteq 6 \text{ A}$$

$$P = VI = 120 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 720 \text{ VA}$$

از بند چهار فوق الذکر دریافتیم که هیچگونه توان حقیقی (اکتیو) ^(۱) در اندوکتیو خالص مصرف نمیشود. منظور از توان حقیقی (اکتیو) آنستکه در نهایت بتواند عملی برای ما انجام دهد (مانند گردش موتور، تولید حرارت، تولید سرما، نور و ...). باید گفت که هنگام پرداخت قبض برق، بخاطر مصرف توان حقیقی است که ما پول میپردازیم. برای متمایز کردن توان حقیقی و توان ظاهری آنها را با اندیس w و a نشان میدهیم. باید گفت که واحد توان حقیقی وات می باشد (W).

۶- ضریب توان ^(۲) (PF) در یک مدار ac اینچنین تعریف میشود.

$$PF = \frac{P_w}{P_a} \quad (7-4)$$

با توجه بشکل (۱-۷) و مباحث فوق الذکر میتوان برای حالت خاص مورد مطالعه اینچنین گفت:

$$PF = \frac{0 W}{720 VA} = 0$$

همچنین باید متذکر شد که ضریب توان کسینوس زاویه بین ولتاژ و جریان میباشد.

$$PF = \cos \theta \quad (7-5)$$

در شکل (۱-۷) داریم:

$$PF = \cos 90^\circ = 0$$

۷- در مدارهای AC ، جابجائی فاز ^(۳) (θ) بخاطر عناصر راکتیو موجود در مدار حاصل میگردد. مدارها عموماً شامل عناصر مقاومتی، اندوکتیو (سلفی) و خازنی هستند و لذا دارای امپدانس ^(۴) میباشند. این امپدانس دارای مقداری معادل Z بوده و حاوی زاویه‌ای نیز میباشد که این زاویه همان زاویه θ خواهد بود. بعبارت دیگر زاویه امپدانس همان زاویه بین ولتاژ و جریان میباشد. در نتیجه با دانستن زاویه امپدانس میتوان ضریب توان را بدست آورد (رابطه ۵-۷). در مدارهای AC سری امپدانس و زاویه آنرا اینچنین حساب میکنند.

$$X_L = 2\pi fL \quad (7-6)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (7-7)$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (7-8)$$

$$\theta = \arctan \frac{X_L - X_C}{R} \quad (7-9)$$

که در آن :

V_i	=	راکتانس اندوکتیو (سلفی) مدار بر حسب اهم
X_C	=	راکتانس کاپاستیو (خازنی) مدار بر حسب اهم
R	=	مقاومت مدار بر حسب اهم
L	=	سلف مدار بر حسب هنری
C	=	ظرفیت خازنی مدار بر حسب فاراد
F	=	فرکانس منبع بر حسب هرتز

با توجه به رابطه (۹-۷) میتوان گفت :

الف: اگر θ مثبت باشد مدار کلا " خاصیت اندوکتیو (سلفی) دارد و جریان نسبت به ولتاژ عقب است (پس فاز)

ب: اگر θ منفی باشد مدار کلا " خاصیت خازنی دارد و جریان نسبت به ولتاژ جلو میباشد (پیش فاز) (۱)

ج: اگر θ مساوی صفر باشد مدار کلا " خاصیت مقاومتی خالص دارد و ضریب توان واحد (۲) خواهد بود، در این حالت X_L و X_C یا مساوی یکدیگرند یا هیچکدام در مدار وجود ندارند.

۸- همانطور که گفتیم سلف خالص انرژی را در میدان مغناطیسی ذخیره میکنند و لذا خازن نیز انرژی را در میدان الکتریکی ذخیره مینماید. در مدارهای AC این ذخیره انرژی بصورت تناوبی (پریودیک) بوده و لذا انرژی از منبع به این عناصر منتقل شده و سپس از طرف همین عناصر بطرف منبع باز میگردد. لذا برای ایجاد این میدان ها توانی لازم است که دوباره توسط منبع جذب میشود. به این توان، توان راکتیو (۳) گفته میشود و واحد آن VAR میباشد. این توان را با اندیس r نشان میدهم. رابطه بین توان ظاهری و توان راکتیو اینچنین است :

$$P_r = P_a \sin \theta \quad (7-10)$$

$$P_r = VI \sin \theta$$

در روابط اخیر θ همان زاویه امپدانس مدار میباشد.

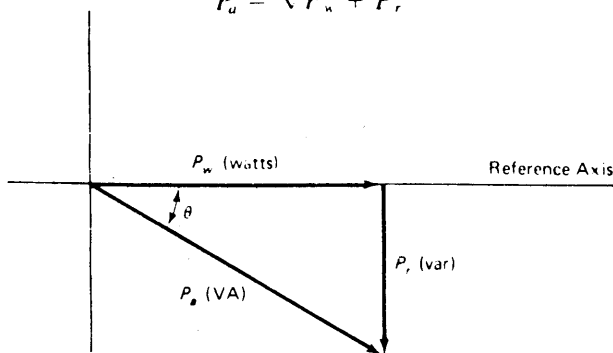
۹- برای تحلیل توانهای ظاهری (۴)، حقیقی و راکتیو معمولا " از مثلث توان استفاده میشود (شکل ۳-۷). این مثلث در شکل (۳-۷) برای حالت پس فاز رسم شده است (θ مثبت). همواره توان حقیقی را بصورت محور مرجع و افقی رسم میکنند و توان راکتیو

عمود بر این محور رسم خواهد شد. باید گفت:

- ۱- اگر θ مثبت (پس فاز) باشد جهت این عمود بطرف پایین است.
 - ۲- اگر θ منفی باشد (پیش فاز) جهت این عمود بطرف بالا است.
- با استفاده از شکل (۷-۳) داریم:

$$P_w = P_u \cos \theta = VI \cos \theta \quad (7-11)$$

$$P_u = \sqrt{P_w^2 + P_r^2} \quad (7-12)$$

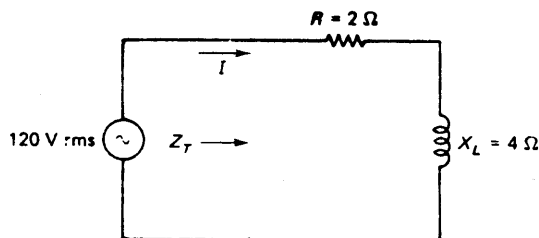


شکل ۷-۳ مثلث توان برای حالت پس فاز

مثال ۷-۱ (مدارهای RL سری)

مداری مطابق شکل (۷-۴) مفروض است. مطلوبست:

- (الف): کل امپدانس این مدار
- (ب): جریان در این مدار
- (ج): ضریب توان این مدار
- (د): انواع توانها در این مدار
- (ه): مثلث توان در این مدار



شکل ۷-۴ مدار مربوط به مثال ۷-۱

حل:

(الف): چون در این مدار خازن وجود ندارد، لذا:

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (4 - 0)^2}$$

$$= \sqrt{20} = 4.47 \Omega$$

از رابطه (۹-۷) داریم:

$$\theta = \arctan \frac{4}{2}$$

$$= 63.43^\circ$$

(ب): مقدار موثر جریان در این مدار اینچنین حساب میشود.

$$I = \frac{\text{source voltage}}{Z}$$

$$\Rightarrow \frac{120 \text{ V}}{4.47 \Omega}$$

$$= 26.85 \text{ A}$$

(ج): از رابطه (۵-۷) داریم:

$$\text{PF} = \cos 63.43^\circ = 0.45$$

باید گفت این ضریب توان از نوع پس فاز است زیرا θ مثبت محاسبه شده است.

(د): از روابط (۳-۷)، (۱۰-۷) و (۱۱-۷) داریم:

$$P_a = 120 \text{ V} \times 26.85 \text{ A}$$

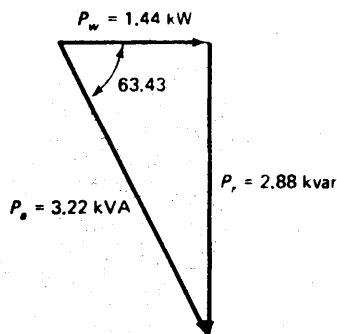
$$= 3222 \text{ VA or } 3.222 \text{ kVA}$$

$$P_r = 3222 \sin 63.43^\circ$$

$$= 2882 \text{ var or } 2.882 \text{ kvar}$$

$$P_w = 3222 \cos 63.43^\circ$$

$$= 1441 \text{ W or } 1.441 \text{ kW}$$



شکل ۵-۷ مثلث توان مربوط به مثال ۷-۱

البته توان حقیقی را میتوان بطریق دیگری نیز حساب نمود. توان حقیقی همان توان

$$P_{\text{ا}} = RI^2 = 2 \, \Omega \times (26.85 \, \text{A})^2 \\ = 1442 \, \text{W}$$

(ه): مثلث توان مطابق شکل (۷-۵) است.

مثال ۷-۲ (مدار RC سری):

مداری مطابق شکل (۷-۶) مفروض است. مطلوبست:

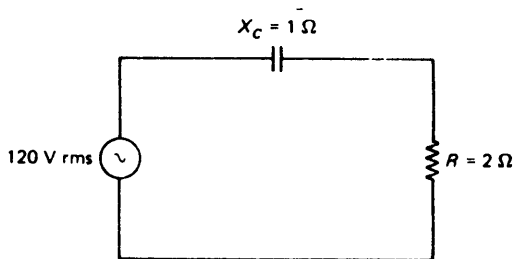
(الف): کل امپدانس این مدار

(ب): جریان در این مدار

(ج): ضریب توان این مدار

(د): انواع توانها در این مدار

(ه): رسم مثلث توان در این مدار



شکل ۷-۶ مدار مربوط به مثال ۷-۲

حل:

(الف): از رابطه (۷-۸) استفاده میکنیم و میدانیم در این مدار سلف وجود

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (0 - 1)^2} \\ = 2.24 \, \Omega$$

ندارد، لذا:

از رابطه (۷-۹) داریم:

$$\theta = \arctan \frac{-1}{2} \\ = -26.57^\circ$$

(ب): جریان اینچنین حساب می‌شود.

$$I = \frac{120 \, \text{V}}{2.24 \, \Omega} = 53.57 \, \text{A}$$

(ج): ضریب توان بطریق زیر بدست می‌آید.

$$\text{PF} = \cos \theta = \cos (-26.57^\circ) \\ = 0.89$$

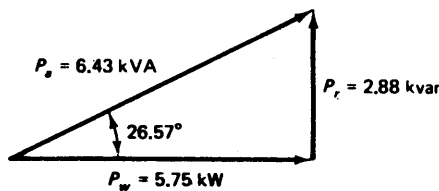
ضریب توان از نوع پیش فاز است زیرا θ منفی محاسبه شده است.
(د) : توانهای گوناگون اینچنین بدست می‌آیند.

$$\begin{aligned} P_a &= VI \\ &= 120 \text{ V} \times 53.57 \text{ A} \\ &= 6.43 \text{ kVA} \\ P_r &= VI \sin \theta \\ &= 6.43 \text{ k} \sin(26.57^\circ) \\ &= 2.88 \text{ kvar} \\ P_w &= VI \cos \theta \\ &= 6.43 \text{ k} \cos 26.57^\circ \\ &= 5.75 \text{ kW} \end{aligned}$$

توان حقیقی را میتوان بطریق دیگری حساب نمود و آن توان مصرفی توسط مقاومت است:

$$\begin{aligned} P_w &= RI^2 = 2 \Omega \times (53.57 \text{ A})^2 \\ &= 5.74 \text{ kW} \end{aligned}$$

(ه) : مثلث توان در شکل (۷-۷) رسم شده است.



شکل ۷-۷ مثلث توان در مثال ۷-۲

مثال ۷-۳ (مدار RLC سری) :

مداری مطابق شکل (۷-۸) مفروض است. مطلوبیست :

(الف) : امپدانس کل این مدار

(ب) : جریان در این مدار

(ج) : ضریب توان این مدار

(د) : انواع توانها در این مدار

(ه) : مثلث توان در این مدار

حل :

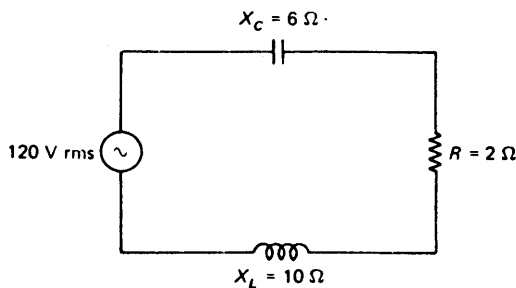
(الف) : از رابطه (۷-۸) داریم :

$$|Z| = \sqrt{2^2 + (10 - 6)^2}$$

$$= \sqrt{20} = 4.47 \, \Omega$$

از رابطه (۷-۹) داریم:

$$\theta = \arctan \frac{10 - 6}{2} = \arctan \frac{2}{2} = 63.43^\circ$$



شکل ۷-۸ مدار مربوط به مثال ۷-۳

(ب): جریان اینچنین حساب می‌شود.

$$I = \frac{120 \, \text{V}}{4.47 \, \Omega} = 26.85 \, \text{A}$$

(ج): ضریب توان بطریق زیر بدست می‌آید:

$$\text{PF} = \cos \theta = \cos 63.43^\circ = 0.45$$

ضریب توان از نوع پس فاز است زیرا θ مثبت محاسبه شده است.

(د): توانهای مختلف بطریق زیر حساب می‌شوند

$$P_s = VI = 120 \, \text{V} \times 26.85 \, \text{A} = 3.222 \, \text{kVA}$$

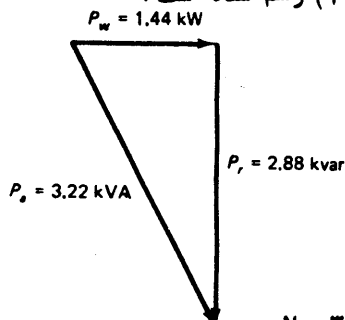
$$P_r = VI \sin \theta = 120 \, \text{V} \times 26.85 \, \text{A} \times \sin 63.43^\circ$$

$$= 2.88 \, \text{kvar}$$

$$P_w = VI \cos \theta = 120 \, \text{V} \times 26.85 \, \text{A} \times \cos 63.43^\circ$$

$$= 1.44 \, \text{kW}$$

(ه): مثلث توان در شکل (۷-۹) رسم شده است.



شکل ۷-۹ مثلث توان در مثال ۷-۳

مثال ۴ - ۷:

یک مدار تک فاز AC مفروض است. این مدار به یک منبع ۱۲۰ ولتی متصل بوده و انتهای دیگر مدار نیز به سه بار مختلف متصل است. مشخصات بارها در جدول (۷ - ۱) آمده است.

جدول ۷ - ۱		
Load	kVA	PF
A	15	0.9 lagging
B	5	0.9 leading
C	20	0.8 lagging

مطلوبست:

(الف): توان حقیقی برای هر یک از بارها

(ب): توان راکتیو برای هر یک از بارها

(ج): کل توان حقیقی

(د): کل توان راکتیو

(ه): کل توان ظاهری

(و): ضریب توان موثر برای کل سیستم

حل:

(الف): توان حقیقی (اکتیو) بارها را حساب می‌کنیم.

$$\begin{aligned}\text{Load A: } P_w &= P_a \cos \theta \\ &= 15 \text{ kVA} (0.9) = 13.5 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\text{Load B: } P_w = 5 \text{ kVA} (0.9) = 4.5 \text{ kW}$$

$$\text{Load C: } P_w = 20 \text{ kVA} (0.8) = 16 \text{ kW}$$

(ب): توان راکتیو بارها را بدست می‌آوریم:

$$\begin{aligned}\text{Load A: } P_r &= P_a \sin \theta \\ \theta &= \arccos (0.9) = 25.84^\circ \\ P_r &= 15 \text{ kVA} \sin 25.84^\circ = 6.54 \text{ kVA} (0.44) \\ &= 6.54 \text{ kvar (lagging)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Load B: } P_r &= P_a \sin \theta \\ \theta &= -25.84^\circ \text{ (leading PF)} \\ P_r &= 5 \text{ kVA} \sin (-25.84^\circ) = -2.18 \text{ kvar (leading)}\end{aligned}$$

$$\text{Load C: } P_r = P_a \sin \theta$$

$$\theta = \arccos(0.8) = 36.87^\circ$$

$$P_r = 20 \text{ kVA} \sin 36.87^\circ$$

$$= 12 \text{ kvar (lagging)}$$

(ج) : کل توان حقیقی (اکتیو) مربوط به سه مصرف کننده (بار) اینچنین است :

$$\text{Total } P_w = 13.5 \text{ kW} + 4.5 \text{ kW} + 16 \text{ kW}$$

$$= 34 \text{ kW}$$

(د) : کل توان راکتیو مربوط به سه مصرف کننده (بار) بطریق زیر حساب می شود .

$$\text{Total } P_r = 6.54 \text{ kvar} - 2.18 \text{ kvar} + 12 \text{ kvar}$$

$$= 16.36 \text{ kvar (lagging)}$$

(ه) : از رابطه (۱۲ - ۷) استفاده کرده وکل توان ظاهری مصرف کننده ها را

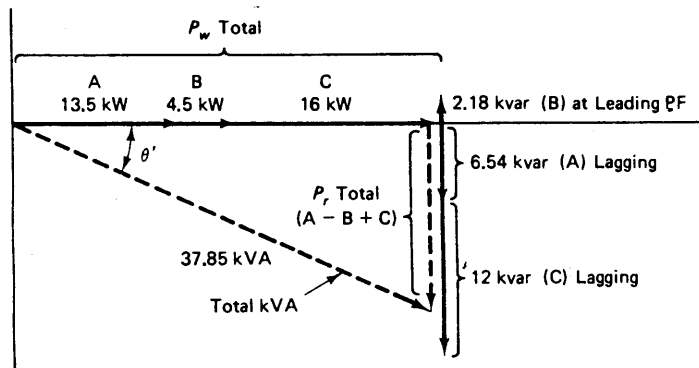
حساب می کنیم .

$$\text{total } P_a = \sqrt{34^2 + 16.36^2} \text{ kVA}$$

$$= \sqrt{1156 + 267.65} \text{ kVA}$$

$$= 37.85 \text{ kVA}$$

مثلت توان در شکل (۱۰ - ۷) رسم شده است ،



شکل ۱۰ - ۷ مثلت توان برای مثال ۴ - ۷

(و) : از رابطه (۴ - ۷) میتوان ضریب توان کل سیستم را بدست آورد .

$$\text{PF} = \frac{P_w}{P_a} \text{ (using total quantities)} = \frac{34 \text{ kW}}{37.85 \text{ kVA}}$$

$$= 0.9 \text{ lagging (and } \theta' = \arccos 0.9)$$

$$\theta' = 25.84^\circ \text{ (system power factor angle)}$$

7-1.1 Measurement of Power

۱ - ۱ - اندازه گیری توان :

اندازه گیری توان در مدار DC بسیار ساده است . در اینگونه مدارها باید ولتاژ دو سر بار و جریان بار را اندازه گیری کنیم و این دو کمیت را در هم ضرب نمائیم تا توان بر حسب وات بدست آید .

در این فصل دیدیم که از حاصلضرب ولتاژ و جریان در مدارهای AC توان ظاهری حاصل میگردد و توان حقیقی از این حاصلضرب بدست نماید . برای بدست آوردن توان حقیقی باید ضریب توان را نیز در دست داشت .

در مدارهای AC برای اندازه گیری توان حقیقی (وات) از دستگاهی بنام واتمتر^(۱) استفاده میشود . واتمتر قادر است در هر لحظه جریان و ولتاژ را حس نموده و جابجائی فاز بین آنها را معین نماید ، و در نتیجه توان حقیقی را مشخص میسازد ، ولتاژ توسط سیم پیچ پتانسیل^(۲) (PC) و جریان توسط سیم پیچ جریان^(۳) (CC) حس میگردند . از آنجائیکه سیم پیچ جریان (CC) جریان بار را حس مینماید ، لذا باید این سیم پیچ با بار بطور سری قرار گیرد . همچنین سیم پیچ پتانسیل (PC) موازی بار قرار میگیرد تا ولتاژ دو سر بار را حس نماید . در نتیجه هر واتمتر چهار ترمینال دارد که ۲ ترمینال مربوط به سیم پیچ جریان (CC) بوده و ۲ ترمینال دیگر مربوط به سیم پیچ پتانسیل () میباشد . شکل (۷-۱۱) یک واتمتر را با اتصالات مربوطه نشان میدهد . چون معمولاً "جریان نسبتاً" زیادی از سیم پیچ جریان (CC) میگذرد این سیم پیچ از هادی بسیار خوبی تهیه میگردد تا حتی الامکان از افت ولتاژ دو سر سیم پیچ (CC) جلوگیری شود . عبارت ساده تر سعی میشود که مقاومت سیم پیچ (CC) خیلی ناچیز باشد . در شکل (۷-۱۱) آمپر متر و ولت متر نیز در مدار قرار گرفته است . با خواندن اعداد این لوازم میتوان به توان ظاهری و ضریب توان نیز دست یافت (چرا ؟) . و بالاخره با دانستن ضریب توان و عدد واتمتر میتوان توان راکتیو را محاسبه نمود (چرا ؟) . البته باید متذکر شد وسیله دیگری نیز مانند واتمتر وجود دارد که مستقیماً "توان راکتیو" را نشان میدهد و به آن وارمتر^(۴) میگویند . همچنین دستگاهی نیز وجود دارد که ضریب توان را مستقیماً " نشان میدهد و به آن کسینوس فی متر^(۵) گفته میشود . باید گفت که امروزه این دستگاههای اندازه گیری که در فوق به آنها اشاره شد به دو نوع ساخته میشوند .

۱ - نوع آنالوگ

۲ - نوع دیجیتال

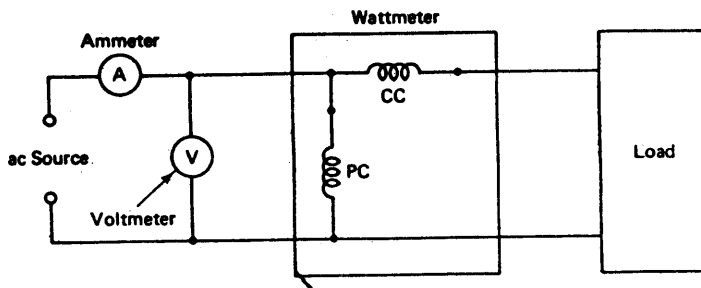
1) Wattmeter

2) Potential-Coil

3) Current-Coil

4) VAR-meter

5) Power-factor-meter



شکل ۱۱-۷ طرز اتصال واتمتر در مدار یک بار تک فاز

مثال ۵-۷:

مداری مطابق شکل (۱۱-۷) مفروض است. ولتمتر ۱۲۰ ولت را نشان میدهد و آمپرمتر و واتمتر به ترتیب ۹/۴ آمپر و ۶۵۰ وات را نشان میدهند مطلوبست:

(الف): توان ظاهری

(ب): ضریب توان

(ج): توان راکتیو

حل:

(الف): از رابطه (۳-۷) داریم:

$$\begin{aligned} P_a &= VI = 120 \text{ V} \times 9.4 \text{ A} \\ &= 1128 \text{ VA} = 1.128 \text{ kVA} \end{aligned}$$

(ب): از رابطه (۴-۷) داریم:

$$\begin{aligned} \text{PF} &= \frac{P_u}{P_a} \\ &= \frac{650 \text{ W}}{1128 \text{ VA}} \\ &= 0.58 \end{aligned}$$

(ج): ابتدا زاویه θ را حساب میکنیم:

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos 0.58 \\ &= 54.81^\circ \end{aligned}$$

از رابطه (۱۰-۷) داریم:

$$P_r = P_a \sin \theta = 1128 \text{ VA} \sin 54.81^\circ = 921.9 \text{ var}$$

7-1.1.1 Wattmeter Overloads.

۱-۱-۱-۱ اضافه بار در واتمتر:

گاهی واتمترها ممکن است بسوزند و این امر در شرایطی رخ میدهد که حتی واتمتر توان بسیار کمی را اندازه‌گیری میکند. باید توجه کرد که سیم پیچ‌های (CC) و (PC) دارای مقادیر اسمی مخصوص بخود هستند و نباید در وضعیتی قرار گیرند که بیش از مقادیر اسمی آنها بر این دو سیم پیچ جریان یا ولتاژ تحمیل گردد. بر همین اساس است که واتمترها را مقیاس‌بندی میکنند و مقیاس نهائی نشان داده شده در واتمتر معمولاً "از حاصل ضرب مقادیر اسمی سیم پیچ‌های (CC) و (PC) بدست می‌آید. فی‌المثل میتوان گفت که اگر ضریب توان کم باشد، توان حقیقی کم خواهد بود. ولی ممکن است ولتاژ یا جریان از مقادیر اسمی سیم پیچ‌های (CC) و (PC) افزونتر باشد و یکی از سیم پیچ‌ها یا هر دو سیم واتمتر را بسوزاند.

مثال ۶-۷:

در یک سیستم ۱۲۰ ولتی تک‌فاز (۱) برای اندازه‌گیری توان از واتمتر استفاده شده است. مشخصات واتمتر بقرار زیر است:

آمپر ۱۰ = جریان اسمی سیم پیچ CC

ولت ۱۵۰ = ولتاژ اسمی سیم پیچ PC

اگر ولتاژ سیستم ثابت باقی بماند (۱۲۰ ولت) مطلوب است:

(الف): مقیاس نهائی واتمتر (رنج واتمتر) (۲)

(ب): اگر واتمتر عدد نهائی خود را نشان دهد و ضریب توان واحد باشد جریان سیم پیچ CC را بدست آورید.

(ج): اگر واتمتر عدد نهائی خود را نشان دهد و ضریب توان ۰/۵ باشد، جریان سیم پیچ (CC) را بدست آورید.

حل:

(الف): مقیاس نهائی واتمتر (رنج واتمتر) اینچنین بدست می‌آید:

$$150 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 1500 \text{ W} = 1.5 \text{ kW}$$

(ب): از رابطه (۱۱-۷) داریم:

$$P_w = VI \cos \theta$$

$$1500 \text{ W} = 120 \text{ V} \times I \times 1.0$$

$$I = \frac{1500 \text{ W}}{120 \text{ V}} = 12.5 \text{ A}$$

(ج) : از رابطه (۱۱-۷) داریم :

$$1500 \text{ W} = 120 \text{ V} \times I \times 0.5$$

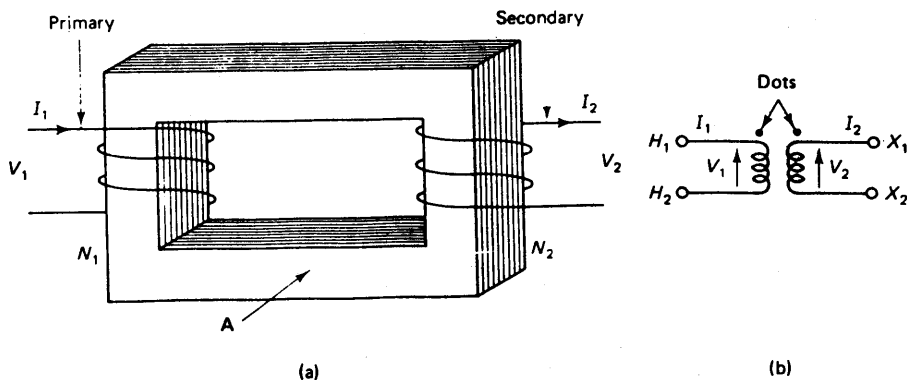
$$I = \frac{1500}{120 \times 0.5} = 25 \text{ A}$$

همانطور که در فرضهای (ب) و (ج) مشاهده میشود جریان سیم پیچ (CC) از مقدار اسمی خود فراتر رفته است. البته در فرض (ب) زیاد مساله حساس نیست ولی در فرض (ج) جریان سیم پیچ (CC) حدود ۲/۵ برابر مقدار اسمی جریان در این سیم پیچ میباشد و ممکن است باعث سوختن و اتومتر گردد.

۷-۲ اصول اولیه ترانسفورماتور: 7-2 BASIC TRANSFORMER THEORY

۷-۲-۱ ساختمان ترانسفورماتور: 7-2.1 Transformer Construction

امروزه ترانسفورماتورها در ابعاد گوناگون ساخته میشوند، ترانسفورماتورهای وجود دارد که از یک مداد کوچکتر است و همچنین ترانسفورماتورهای نیز ساخته میگردد که از یک تریلی بزرگتر میباشد، اندازه و ابعاد ترانسفورماتورها به توانی که باید تحویل مصرف کننده (بار) (۱) بدهند، بستگی دارد. فعلا "نظر خود را به ترانسفورماتورهای تک فاز (۲) معطوف میداریم.



شکل ۱۲-۷: نمایش یک ترانسفورماتور

b: سمبل مداری ترانسفورماتور

a: هسته و سیم پیچها

ترانسفورماتورهای تک فاز از دو سیم پیچ که به دور هسته‌ای پیچیده شده‌اند تشکیل شده است. سطح مقطع هسته ترانسفورماتورها یکنواخت بوده و از صفحات مورق تشکیل شده است. جنس این صفحات از مواد فرو مغناطیسی می‌باشد (فصل ۱ حلد اول)، در شکل (۱۲ - ۷) شمای یک ترانسفورماتور تک فاز نشان داده شده است و در کنار آن نیز مدار سمبلیک اینگونه ترانسفورماتورها رسم شده است. ولتاژ ورودی (V_1) به سیم پیچ اولیه اعمال می‌شود و اندیس ۱ مبین کمیت‌های مربوط به سیم پیچ اولیه می‌باشد. در نتیجه:

$$V_1 = \text{ولتاژ اولیه}$$

$$I_1 = \text{جریان اولیه}$$

$$N_1 = \text{تعداد دور سیم پیچ اولیه}$$

ولتاژ خروجی (V_2) از سیم پیچ ثانویه گرفته می‌شود. اندیس ۲ مبین کمیت‌های ثانویه خواهد بود. لذا:

$$V_2 = \text{ولتاژ ثانویه}$$

$$I_2 = \text{جریان ثانویه}$$

$$N_2 = \text{تعداد دور سیم پیچ ثانویه}$$

نقاط توپر^(۱) نشان داده شده در مدار سمبلیک مبین پلار تیه سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشد. حال قدری درباره این علامت پلار تیه بیشتر صحبت می‌کنیم. در لحظه‌ای که ترمینال نقطه‌دار در سیم پیچ اولیه^(۲) نسبت به ترمینال بدون نقطه در همین سیم پیچ مثبت می‌باشد، ترمینال نقطه‌دار در سیم پیچ ثانویه^(۳) نیز نسبت به ترمینال بدون نقطه در این سیم پیچ مثبت خواهد بود.

ترمینال برخی از ترانسفورماتورها را با علائم H_1 ، H_2 ، X_1 و X_2 نشان می‌دهند، ترمینالهایی که با علامت H مشخص شده‌اند مربوط به فشار قوی^(۴) بوده و ترمینالهایی که با علامت X مشخص گردیده‌اند بطرف فشار ضعیف^(۵) مربوط می‌شوند. باید گفت همانند نقطه‌های توپر هرگاه ترمینال H نسبت به H_2 مثبت بود، در همین لحظه ترمینال X نیز نسبت به X_2 مثبت می‌باشد.

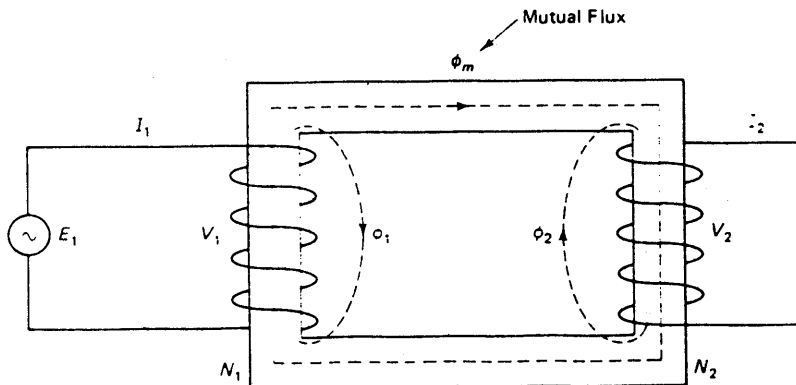
اگر ولتاژ خروجی ترانسفورماتوری (ولتاژ ثانویه) بیشتر از ولتاژ ورودی (ولتاژ اولیه) باشد ترانسفورماتور را افزایشده نامند. همچنین اگر ولتاژ خروجی ترانسفورماتوری کمتر از ولتاژ ورودی آن باشد، ترانسفورماتور را کاهشده می‌نامند.

-
- | | |
|----------------------|--------------------|
| 1) Dots | 2) Primary-Winding |
| 3) Secondary-Winding | |
| 4) High-Voltage | 5) Low-Voltage |

۷-۲-۲ ترانسفورماتور ایده‌آل: 7-2.2 Ideal Transformer Relationships

هر وسیله‌ای که توان را از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر منتقل مینماید دارای تلفات میباشد. در این صورت گویند که این وسایل ایده‌آل نیستند. ترانسفورماتورها نیز جزء همین وسایل بوده و دارای تلفات میباشد. اما امروزه ترانسفورماتورهای با راندمان ۹۵ تا ۹۹ درصد ساخته‌اند و لذا تقریباً "میتوان آنها را ایده‌آل در نظر گرفت. در همین فصل ترانسفورماتورهای واقعی (غیرایده‌آل) را نیز مورد بررسی قرار میدهیم.

در فصل ۱ (جلد اول) دیدیم که اگر از یک سیم پیچ جریان عبور کند، MMF حاصل میشود. همچنین دیدیم که MMF باعث بوجود آمدن شار (ϕ) میگردد. اگر جریانی که MMF را میسازد متناوب (AC) باشد، شار نیز متناوب خواهد بود. شکل (۷-۱۳) را در نظر میگیریم که در آن یک منبع AC به سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور متصل است. باید گفت که قسمت اعظم شار تولید شده در هسته باقی میماند. این شار هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه را در بر میگیرد و لذا شار متقابل^(۱) به آن گفته میشود. باید گفت که قسمتی از شار تولید شده توسط جریانهای اولیه و ثانویه در هسته باقی نمانده و بخارج نشت میکنند و لذا به آنها شارهای نشتی^(۲) گفته میشود. در شکل (۷-۱۳) شارهای نشتی یا ϕ_1 و ϕ_2 نشان داده شده‌اند.



شکل ۷-۱۳ اعمال ولتاژ متناوب به یک ترانسفورماتور

در این بخش فرض میکنیم که شارهای نشتی ناچیز هستند. رابطه بین ولتاژ اعمال شده (E_1) و ماکزیمم شار متقابل اینچنین است. در سیستم (ENG) داریم:

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \times 10^{-8} \quad (7-13a)$$

در سیستم (SI) داریم:

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \quad (7-13b)$$

در معادلات اخیر داریم :

مقدار موثر (rms) ولتاژ اعمال شده به اولیه $E_1 =$

ترانسفورماتور

فرکانس بر حسب هرتز $f =$

تعداد دور سیم پیچ اولیه ترانسفورماتورها $N_1 =$

مقدار ماکزیمم (پیک) شار متقابل $\phi_m =$

باید دانست که در سیستم (ENG) شار بر حسب ماکسول بوده و در سیستم (SI) شار بر حسب وبر میباشد . اگر ترانسفورماتور ایده آل^(۱) باشد (از مقاومت سیم پیچها صرف نظر کنیم) ، در این صورت E_1 با V_1 برابر است . باید گفت V_1 ولتاژ القاء^(۲) شده در سیم پیچ اولیه میباشد . لذا در روابط (۷-۱۳) میتوان بجای E_1 ، V_1 را قرار داد . همچنین میتوان روابط مشابهی مانند روابط (۷-۱۳) برای سیم پیچ ثانویه نوشت و فقط باید بجای اندیس ۱ از اندیس ۲ استفاده نمود . در معادلات مربوط به ثانویه V_2 ولتاژ القا شده در سیم پیچ ثانویه میباشد و در حالت بی باری میتوان آنرا در ترمینال ثانویه اندازه گیری نمود . درباره این موضوع هنگامیکه درباره ترانسفورماتور واقعی (غیر ایده آل) صحبت می کنیم بیشتر توضیح خواهیم داد .

از رابطه (۷-۱۳b) استفاده میکنیم . در سیستم (SI) داریم :

$$\phi_m = \frac{V_1}{4.44 f N_1} \quad (7-14)$$

رابطه مشابهی میتوان برای سیم پیچ ثانویه نوشت . در سیستم (SI) داریم :

$$\phi_m = \frac{V_2}{4.44 f N_2} \quad (7-15)$$

با توجه به دو رابطه اخیر داریم :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (7-16)$$

این رابطه ، معادله اساسی ترانسفورماتورها میباشد . طبق رابطه (۷-۱۶) درمی یابیم که نسبت ولتاژ اولیه به ولتاژ ثانویه با نسبت تعداد دور سیمهای اولیه به تعداد دور سیمهای ثانویه برابر است . منبعت نسبت تعداد دورها^(۳) را با علامت a نشان میدهیم . لذا :

1) Ideal-Transformer

2) Induced-Voltage

3) Turn-ratio

$$\text{turns ratio} = a = \frac{N_1}{N_2} \quad (7-17)$$

مثال ۷-۷:

میخواهیم یک ترانسفورماتور کاهنده (۱) بسازیم اگر ولتاژ اولیه ۱۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه ۲۴ ولت باشد، و تعداد دور سیمهای اولیه ۴۰۰ دور منظور شود. مطلوبست:

(الف): تعداد دورهای ثانویه

(ب): نسبت تعداد دورها

حل:

(الف): از رابطه (۷-۱۶) داریم:

$$\frac{120 \text{ V}}{24 \text{ V}} = \frac{400 \text{ turn}}{N_2}$$

$$N_2 = 400 \times \frac{24}{120} = 80 \text{ turns}$$

(ب): از رابطه (۷-۱۷) داریم:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{400 \text{ turns}}{80 \text{ turns}} = 5$$

مثال ۷-۸ (سیستم ENG):

اگر در مثال (۷-۷) فرکانس معادل ۶ هرتز در نظر گرفته شود، ماکزیمم (پیک) شار متقابل را بدست آورید.

حل:

از رابطه (۷-۱۳) داریم:

$$\begin{aligned} \phi_m &= \frac{E_1}{4.44 f N_1 \times 10^{-8}} \\ &= \frac{120}{4.44 \times 60 \times 400 \times 10^{-8}} \\ &= 112,613 \text{ lines} \end{aligned}$$

مثال ۷-۹ (سیستم SI):

اگر در مثال (۷-۷) فرکانس ۵۰ هرتز باشد، ماکزیمم (پیک) شار متقابل را بدست آورید.

حل:

از رابطه (۱۴ - ۷) داریم:

$$\phi_m = \frac{120}{4.44 \times 50 \times 400}$$

$$= 1.35 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

۳ - ۷ - ترانسفورماتورهای واقعی یا غیر ایده‌آل:

7-3 PRACTICAL SINGLE-PHASE TRANSFORMER

در این بحث خواهیم دید که ترانسفورماتورها صد درصد ایده‌آل نیستند بلکه باید ترانسفورماتورهای واقعی^(۱) (غیر ایده‌آل) را نیز مورد بررسی قرار دهیم. علت این امر آن است که سیم پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانسفورماتورها ایده‌آل نبوده و مقداری مقاومت دارند. همچنین علاوه بر شارهای نشتی تلفات هسته^(۲) در ترانسفورماتورها وجود دارد. تلفات هسته بخاطر تلفات هیسرزیس و جریان گردابی است (فصل ۴ حلد اول). علت وجود تلفات هسته آن است که ترانسفورماتور نیز حاوی یک هسته بوده که در آن هسته شار تغییر میکند.

۱ - ۳ - ۷ مقادیر اسمی ترانسفورماتورها^(۳): 7-3.1 Transformer Ratings

معمولا "برروی پلاک ترانسفورماتور ۴ عدد بعنوان مقادیر اسمی نوشته می‌شود و عبارتند از:

۱ - توان اسمی ظاهری در ثانویه

این توان بر حسب ولت آمپر (VA) یا کیلو ولت آمپر (KVA) بیان میشود و مبین حداکثر توانی است که میتوان از ثانویه کشید. علت اینکه توان ظاهری بجای توان حقیقی ذکر میشود این است که در شرایطی که ضریب توان پائین است ممکن است توان حقیقی کمی تحویل مصرف کننده شود ولی در عوض جریان و ولتاژ بیش از مقادیر اسمی باشند (به بخش ۱ - ۱ - ۷ مراجعه شود).

۲ - ولتاژ اسمی اولیه:

معمولا "ولتاژ اسمی اولیه که ترانسفورماتور برای آن ولتاژ طراحی شده است بر - روی پلاک ترانسفورماتور ذکر میگردد.

۳- ولتاژ اسمی ثانویه:

ولتاژی که در دو سر بار (مصرف کننده) در شرایطی ظاهر شود که ولتاژ اسمی بر سیم پیچ اولیه اعمال گردد و توان اسمی ظاهری تحویل بار شود، ولتاژ اسمی ثانویه نامیده می‌گردد.

۴- فرکانس:

معمولاً "فرکانسی که تحت آن ترانسفورماتور طراحی شده بر روی پلاک ترانسفورماتور نوشته می‌شود" لذا اگر بر روی پلاک ترانسفورماتوری مقادیر اسمی مانند $120/1200 \text{ V}$, 6 kVA , 60 Hz نوشته شده باشد در اینصورت در میابیم که:

الف: هرگاه بر روی سیم پیچ اولیه ولتاژ 120 ولت اعمال میگردد در این صورت:

ب: ولتاژ ثانویه 1200 ولت خواهد بود و در اینصورت:

ج: ترانسفورماتور 6 KVA را تحویل مصرف کننده میدهد، و:

د: فرکانسی که ترانسفورماتور تحت آن عمل میکند 60 هرتز است.

همچنین اگر اندامان ترانسفورماتور را 100% فرض کنیم، (ترانسفورماتور ایده‌آل) توان ظاهری (KVA) تحویلی به بار توسط سیم پیچهای ثانویه با توان ظاهری (kVA) اخذ شده از منبع توسط سیم پیچهای اولیه برابر خواهد بود. لذا با در نظر گرفتن این فرضیه میتوان جریانهای اسمی اولیه و ثانویه را حساب نمود. منظور از جریانهای اسمی اولیه و ثانویه حداکثر جریانی است که سیم پیچهای اولیه و ثانویه میتوانند از خود عبور دهند. معمولاً "در مدارهای اولیه و ثانویه فیوز (۱) یا مدار شکن (۲) (دژنکتور) نصب میکنند تا از اضافه جریان بیش از جریان اسمی جلوگیری شود. با توجه به نکات فوق جریانهای اسمی را اینچنین حساب میکنند، برای اولیه ترانسفورماتور داریم:

$$I_{1\text{rated}} = \frac{\text{rated VA}}{V_{1\text{rated}}} \quad (7-18)$$

برای ثانویه ترانسفورماتور داریم:

$$I_{2\text{rated}} = \frac{\text{rated VA}}{V_{2\text{rated}}} \quad (7-19)$$

در مثالی که در بالا ذکر کردیم داریم:

$$I_{1\text{rated}} = \frac{6000 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 50 \text{ A}$$

$$I_{2\text{rated}} = \frac{6000 \text{ VA}}{1200 \text{ V}} = 5 \text{ A}$$

لذا باید مدار ثانویه ترانسفورماتور را با فیوز ۵ آمپری حفاظت کنیم . باید توجه داشت که نسبت جریانها در سیمهای اولیه و ثانویه با نسبت ولتاژهای این سیم پیچها نسبت معکوس دارد لذا :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad (7-20)$$

این امر را میتوان در مثال فوق بخوبی مشاهده کرد . نسبت ولتاژهای اولیه و ثانویه $\frac{1}{10}$ بوده ولی نسبت جریانهای اولیه و ثانویه ۱۰ میباشد .

باید توجه داشت که رابطه (۲۰-۷) در شرایط بار داری صحیح است . در شرایط بی باری^(۱) جریان کمی از اولیه میگذرد و به آن جریان مغناطیس شونده^(۲) گفته میشود . همین جریان جزئی است که MMF و شار را در هسته تولید میکند .

۲-۳-۷ روابط اساسی ؛ 7-3.2 Basic Relationships

برای آنکه رفتار ترانسفورماتور را بهتر درک کنیم ، آنرا در رابطه با شکل (۱۳-۷) مورد بررسی قرار میدهم . برای درک روابط بین ولتاژها و جریانها از دیاگرام فاز روی شکل (۱۴-۷) استفاده میکنیم . اگر ولتاژ E_1 به سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور اعمال گردد و سیم پیچ ثانویه باز باشد (حالت بی باری) ترانسفورماتور بمثابة یک اندوکتور عمل میکند . اگر فرض کنیم این اندوکتور ایده آل باشد ، جریان ناچیز I_M که همان جریان مغناطیس شونده^(۳) است در مدار اولیه برقرار میگردد ($I_1 = I_M$) و باعث تولید میدان مغناطیسی میشود . این جریان و شار حاصله بمیزان ۹۰ درجه از E_1 عقب میباشد (پس فاز) . باید گفت که در سیم پیچ اولیه ولتاژ V_1 القاء میگردد که با E_1 برابر است و فقط با آن ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارد (شکل a ۱۴-۷) . از آنجائیکه زاویه بین ولتاژ اولیه و جریان معادل ۹۰ درجه است ، لذا ضریب توان ($\cos \theta$) صفر خواهد بود ، لذا توان حقیقی تحویل ترانسفورماتور نمیشود .

اما اگر در اولیه ترانسفورماتور واتر وصل کنیم ، مقداری توان حقیقی نشان میدهد که تحویل ترانسفورماتور میگردد . حال باید دید چرا عدد واتر با تئوری و دیاگرام فاز روی شکل (۱۴-۷) مطابقت ندارد . باید گفت چون شار متناوب میباشد ، لذا تلفات جریان گردابی^(۳) و تلفات هیسرزیس^(۴) در هسته ایجاد میشود . (فصل ۴ حلد اول

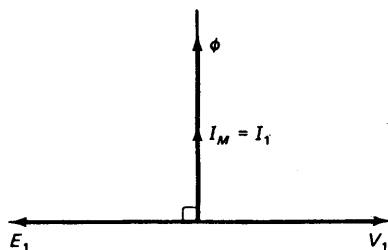
1) NO-Load

2) magnetizing-Current

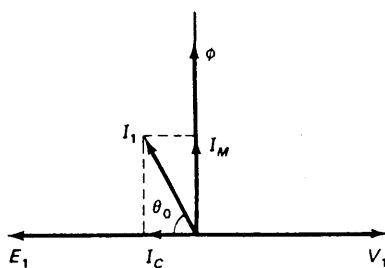
3) Eddy-Current losses

4) Hysteresis losses

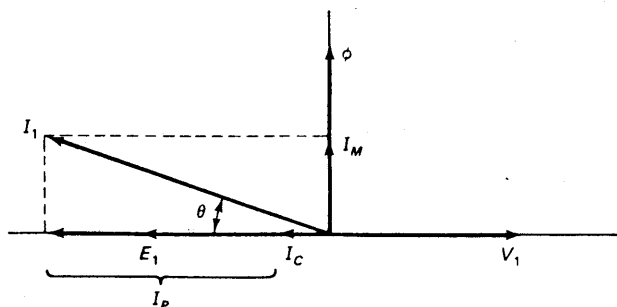
مراجعه شود). در نتیجه این تلفات که به تلفات هسته^(۱) معروف است مقداری توان حقیقی (وات) در ترانسفورماتور تلف میشود. از اینجا در مییابیم چون مقداری توان حقیقی تحویل ترانسفورماتور میشود، لذا از اولیه باید جریانی عبور کند که همفاز E_1



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۴-۷: دیاگرام فاز روی ترانسفورماتور

a: ترانسفورماتور ایده‌آل در حالت بی‌باری

(b): ترانسفورماتور واقعی در حالت بی‌باری

(c): ترانسفورماتور واقعی در حالت باردار

باشد. شکل (b ۱۴-۷) جریان I_C را نشان میدهد که با E_1 همفاز است و باعث بوجود آمدن تلفات هسته میگردد. لذا جریان واقعی در مدار اولیه I_M نبوده بلکه مجموع I_C و I_M میباشد. در اینصورت زاویه I_1 با E_1 دیگر ۹۰ درجه نمیشد و معادل θ_0 خواهد بود. در نتیجه $\cos \theta_0$ ضریب توان ترانسفورماتور در حالت بی باری است. البته باید خاطر نشان ساخت که در بحث فوق از مقاومت سیم پیچها و شارهای ناشی صرف نظر شده است و فقط تلفات هسته منظور شده است. بعبارت دیگر ترانسفورماتور ایده آل نیست ولی به شرایط ایده آل خیلی نزدیک می باشد.

حال اگر به مدار ثانویه بار مقاومتی خالص وصل کنیم، توان حقیقی تحویل بار میشود، لذا باید این توان توسط منبع E_1 وارد مدار اولیه شود. در نتیجه جریان دیگری که همفاز I_C است باید در مدار اولیه برقرار گردد (I_p) تا توان حقیقی وارد مدار اولیه شود و این توان حقیقی توسط مدار ثانویه تحویل بار (مصرف) میگردد. شکل (c ۱۴-۷) این جریانها را در شرایط بارداری نشان میدهد. در اینصورت جریان اولیه، مجموع I_M و $I_C + I_p$ بوده و زاویه θ از θ_0 کمتر میشود و ضریب توان ($\cos \theta$) به سمت واحد نزدیک میشود. اگر بار مدار ثانویه مقاومتی خالص نباشد و سلف یا خازن نیز در مصرف کننده وجود داشته باشد در اینصورت I_M تغییر می کند و در نتیجه ضریب توان نیز عوض خواهد شد. بار خازنی باعث کاهش I_1 و افزایش ضریب توان می گردد اما بار سلفی I_M را افزایش می دهد و در نتیجه ضریب توان کاهش می یابد. باز در این قسمت نیز از مقاومت سیم پیچها و شارهای ناشی صرف نظر شده است.

مثال ۱۰-۷:

ترانسفورماتوری با مشخصات اسمی ذیل مفروض است:

$$\text{ولت } ۱۲۰/۶۰۰ = \text{ولتاژ ثانویه} / \text{ولتاژ اولیه}$$

$$\text{هرتز } ۶۰ = \text{فرکانس}$$

$$\text{کیلوولت آمپر } ۲ = \text{توان اسمی}$$

اگر مدار اولیه به ولتاژ اسمی وصل شود و ثانویه باز باشد در اینصورت واتمتر و آمپر متر در اولیه به ترتیب ۱۰ وات و ۵/۵ آمپر را نشان میدهد. مطلوبست:

(الف): ضریب توان در حالت بی باری

(ب): جریان مغناطیس شونده

(ج): جریانی که تلفات هسته را تامین میکند.

(د): اگر یک مقاومت به ثانویه وصل شود و واتمتر ۱/۵ کیلووات را نشان دهد، ضریب توان

را حساب کنید.

حل:

(الف): از رابطه (۱۱-۷) داریم:

$$\begin{aligned}
 P_u &= VI \cos \theta_0 \\
 \cos \theta_0 &= \frac{P_u}{VI} \\
 &= \frac{10 \text{ W}}{120 \text{ V} \times 0.5 \text{ A}} = 0.167
 \end{aligned}$$

(ب): از شکل (b-۱۴-۷) داریم:

$$\begin{aligned}
 I_M &= I_1 \sin \theta_0 \\
 \theta_0 &= \arccos 0.167 \\
 &= 80.39^\circ \\
 I_M &= 0.5 \text{ A} \times \sin 80.39^\circ = 0.493 \text{ A}
 \end{aligned}$$

(ج): از شکل (b-۱۴-۷) داریم:

$$\begin{aligned}
 I_C &= I_1 \cos \theta_0 \\
 &= 0.5 \text{ A} \times 0.167 \\
 &= 0.0833 \text{ A}
 \end{aligned}$$

(د): از شکل (c-۱۴-۷) داریم:

$$I_p + I_C = \frac{P_w}{E_1} = \frac{1500}{120} = 12.5 \text{ A}$$

چون هنوز IM معادل ۴۹۳/۵ آمپر است، لذا:

$$\begin{aligned}
 \theta &= \arctan \frac{I_M}{I_p + I_C} = \arctan \frac{0.493}{12.5} \\
 &= 2.26^\circ
 \end{aligned}$$

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.999 \approx 1$$

۱-۲-۳-۷: بازتاب امپدانس در اولیه و ثانویه ترانسفورماتور

7-3.2.1 Reflecting Impedance.

هرگاه ترانسفورماتور باردار را بررسی می‌کنیم باید دو مدار جداگانه را مورد

تحلیل قرار دهیم:

الف: مدار اولیه

ب: مدار ثانویه

باید گفت این دو مدار وابسته بهم نیستند، برای محاسبه ولتاژها و جریانها باید قادر

باشیم کلیه کمیت‌ها را از اولیه به ثانویه یا از ثانویه به اولیه منتقل کنیم. با توجه به مدار شکل (۷-۱۵ a) داریم:

$$V_2 = Z_L I_2 \quad (7-21)$$

از رابطه (۷-۱۶) داریم:

$$V_1 = V_2 \times \frac{N_1}{N_2} \quad (7-22)$$

با توجه به دو رابطه اخیر داریم:

$$V_1 = (Z_L I_2) \times \frac{N_1}{N_2} \quad (7-23)$$

از رابطه (۷-۲۰) داریم:

$$I_2 = a I_1$$

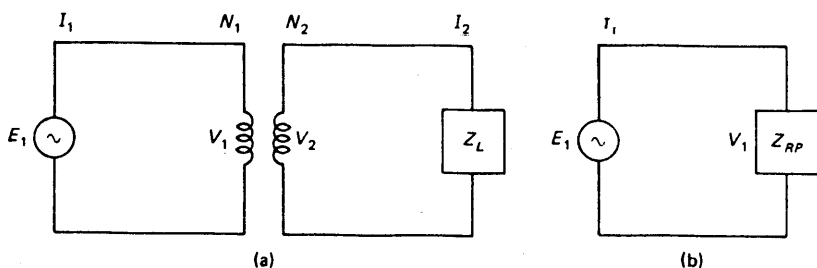
با جایگزینی این رابطه در رابطه (۷-۲۳) داریم:

$$V_1 = Z_L (a I_1) \times a$$

$$V_1 = a^2 Z_L I_1$$

لذا:

$$\frac{V_1}{I_1} = a^2 Z_L \quad (7-24)$$



شکل ۷-۱۵: شمای یک ترانسفورماتور متصل شده به بار

a: مدار واقعی

(b): مدار معادل نسبت به اولیه ترانسفورماتور

حال اگر بشکل (b-۷-۱۵) توجه کنیم میتوان گفت امپدانس معادل در اولیه اینچنین است:

$$Z_{RP} = \frac{V_1}{I_1}$$

با توجه به رابطه (۷-۲۴) و رابطه اخیر، در مییابیم که اگر امپدansi را از ثانویه به اولیه منتقل کنیم در اینصورت مقدار آن اینچنین میشود.

$$Z_{RP} = a^2 Z_L \quad (7-25)$$

بهین^۸ ترتیب در میابیم که اگر امپدانسی را از اولیه به ثانویه منتقل سازیم در اینصورت مقدار آن این چنین میشود:

$$Z_{RS} = \frac{Z_1}{a^2} \quad (7-26)$$

اگر ادیمتانسی^(۱) را از ثانویه به اولیه ببریم در اینصورت داریم:

$$Y_{RP} = \frac{\bar{Y}_L}{a^2} \quad (7-27)$$

همچنین اگر ادیمتانسی را از اولیه به ثانویه منتقل کنیم، در اینصورت داریم:

$$Y_{RS} = a^2 Y_1 \quad (7-28)$$

مثال ۱۱ - ۷:

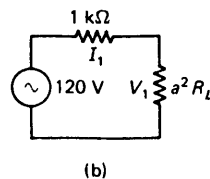
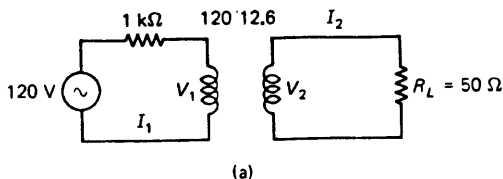
یک ترانسفورماتور با مشخصات اسمی ذیل مفروض است:

ولت = ۱۲۰/۱۲/۶ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

هرتر = ۶۰ = فرکانس

ولت آمپر ۱۵ = توان اسمی

این ترانسفورماتور مطابق شکل (a - ۱۶ - ۷) بمصرف کننده متصل است. جریان اسمی اولیه و ثانویه را پیدا کنید و در اینحالت خاص مقادیر واقعی جریانهای اولیه و ثانویه را مشخص نمایند.



شکل ۱۶ - ۷:

(a): مدار مربوط به مثال ۱۱ - ۷

(b): مدار معادل نسبت به طرف اولیه ترانسفورماتور

حل:

جریانهای اسمی از مقادیر اسمی ترانسفورماتور بدست می آید، از رابطه (۱۸ - ۷)

$$\text{rated } I_1 = \frac{25 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 0.21 \text{ A} \quad \text{داریم:}$$

از رابطه (۷-۱۹) داریم:

$$\text{rated } I_2 = \frac{25 \text{ VA}}{12.6 \text{ V}} = 1.98 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$$

از رابطه (۷-۱۶) داریم:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{120 \text{ V}}{12.6 \text{ V}} = 9.52$$

با توجه به شکل (۷-۱۶ b) داریم:

$$a^2 R_L = (9.52)^2 \times 50 \Omega = 4535 \Omega$$

قانون اهم را در مدار شکل (۷-۱۶ b) بکار می‌بریم:

$$I_1 = \frac{120 \text{ V}}{(1000 + 4535) \Omega}$$

$$= 0.02 \text{ A}$$

$$V_1 = I_1 \times a^2 R_L$$

$$= 0.02 \text{ A} \times 4535 \Omega = 98.3 \text{ V}$$

ولتاژ ثانویه از رابطه (۷-۱۶) بدست می‌آید:

$$V_2 = \frac{V_1}{a}$$

$$= \frac{98.3 \text{ V}}{9.52} = 10.3 \text{ V}$$

با استفاده از قانون اهم داریم:

$$I_2 = \frac{V_2}{R_L} = \frac{10.3 \text{ V}}{50 \Omega}$$

$$= 0.21 \text{ A}$$

حال اگر بخواهیم بدانیم جریانهای واقعی چند درصد جریانهای اسمی هستند لذا باید عملیات زیر را انجام دهیم:

$$\frac{0.02 \text{ A}}{0.21 \text{ A}} \times 100\% = 9.5\%$$

$$\frac{0.21 \text{ A}}{2 \text{ A}} \times 100\% = 10.5\%$$

حال باید درباره ولتاژ V_2 بدست آمده در فوق که معادل ۱۲/۶ ولت (ولتاژ اسمی) نشده و برابر ۱۰/۳ ولت گردیده است توضیح دهید.

7-3.2.2 Transformer Equivalent Circuit.

۲-۲-۳-۷: مدار معادل ترانسفورماتور:

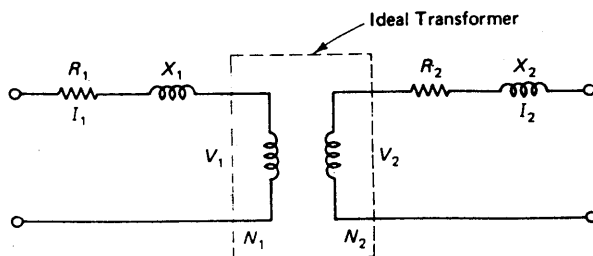
برای آنکه بتوان بطور دقیق رفتار ترانسفورماتور را در شرایط بار داری بررسی کنیم در اینصورت باید مدار معادل دقیق آنرا بدست آوریم. مثال (۱۱ - ۷) یک حل تقریبی از مدار ترانسفورماتور میباشد، برای حل دقیق باید مقاومت و شارهای ناشی را در مدار معادل وارد سازیم. شکل (۱۷ - ۷) مدار معادل نسبتاً ساده‌ای از ترانسفورماتور را نشان میدهد که در آن:

R_1 : مقاومت سیم پیچ اولیه

R_2 : مقاومت سیم پیچ ثانویه

X_1 : راکتانس نمایش دهنده شار ناشی در اولیه

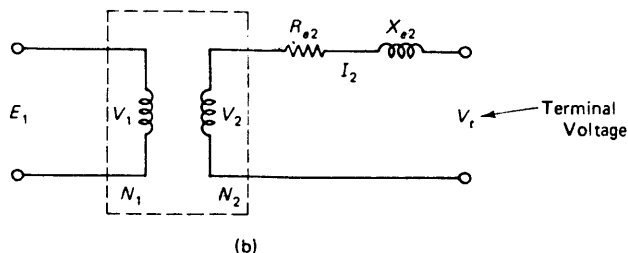
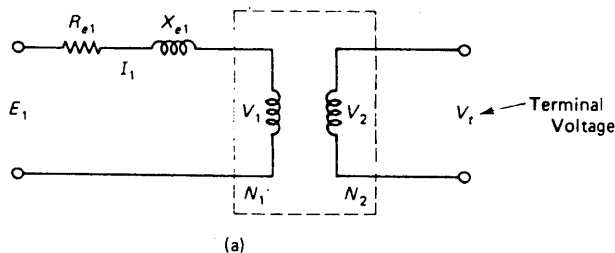
X_2 : راکتانس نمایش دهنده شار ناشی در ثانویه



شکل ۱۷ - ۷ شمای ساده شده مربوط به مدار معادل یک ترانسفورماتور واقعی

شارهای ناشی (شکل ۱۳ - ۷) یک میدان مغناطیسی بوده که به شار متقابل که در برگرفته هر دو سیم پیچ است وابسته نمیشاند، لذا میتوان آنها را با یک راکتانس اندوکتیو خالص مدل سازی نمود.

برای سهولت بخشیدن به مدار معادل ترانسفورماتور، تمامی کمیتها را به یک طرف (اولیه یا ثانویه) منتقل میسازیم (روابط ۲۵ - ۷ یا ۲۶ - ۷). شکل (۱۸ - ۷) مدار معادل ساده شده یک ترانسفورماتور را نشان میدهد. در شکل (۱۸ a - ۷) تمامی کمیتها به اولیه برده شده و در شکل (۱۸ b - ۷) تمامی کمیتها به ثانویه منتقل شده‌اند. باید توجه داشت که در هر دو مدار E_1 و V_1 مشابه یکدیگرند ولی V_1 و V_2 در مدار اول همان V_1 و V_2 در مدار دوم نمیشاند. همچنین در این دو مدار آن قسمت که بصورت خط چین نشان داده شده مبین ترانسفورماتور ایده‌آل میباشد. البته هنوز در مدلهای ارائه شده تلفات هسته منظور نگردیده است که در قسمتهای بعدی آنرا مورد توجه قرار میدهیم. باید خاطر نشان ساخت که هنگام بردن کمیتها از یک طرف بطرف دیگر $a = N_1/N_2$ میباشد.



شکل ۱۸ - ۷: مدار معادل خلاصه شده یک ترانسفورما تور

(a): مدار معادل نسبت به طرف اولیه

(b): مدار معادل نسبت به طرف ثانویه

بطور خلاصه با توجه به نکات فوق داریم

$$R_{e1} = R_1 + a^2 R_2 \quad (7-29)$$

$$X_{e1} = X_1 + a^2 X_2 \quad (7-30)$$

$$R_{e2} = \frac{R_1}{a^2} + R_2 \quad (7-31)$$

$$X_{e2} = \frac{X_1}{a^2} + X_2 \quad (7-32)$$

همچنین امپدانس معادل اولیه و ثانویه در دو شکل (۱۸ - ۷) و (۱۸ - ۷) اینچنین است:

$$Z_{e1} = \sqrt{R_{e1}^2 + X_{e1}^2} \quad (7-33)$$

$$Z_{e2} = \sqrt{R_{e2}^2 + X_{e2}^2} \quad (7-34)$$

پارامترهای فوق الذکر (شکل ۱۸ - ۷) را میتوان بوسیله آرمایش اتصال کوتاه پیدا نمود.

در این آزمایش یکی از طرفها که معمولاً "طرف فشار ضعیف است را اتصال کوتاه" (۱) میکنیم طرف دیگر را به ولت‌متر، آمپر‌متر و یک منبع ولتاژ متغیر متصل می‌سازیم (شکل ۱۹ - ۷). ولتاژ این منبع را افزایش می‌دهیم تا جریان اسمی در سیم پیچها برقرار گردد. ولتاژ مورد نیاز برای این آزمایش بسیار کم است و حدود ۵٪ ولتاژ اسمی سیم پیچ مربوطه در ترانسفورماتور میباشد. چون ولتاژ کم میباشد لذا تلفات هسته قابل صرف‌نظر کردن است. علت این امر آن است که تلفات هسته به شار بستگی دارد و میدانیم شار نیز به ولتاژ منبع وابسته است. همچنین چون جریان اسمی از سیم پیچها میگذرد، وات‌متر تلفات اسمی مسی (۲) را اندازه‌گیری میکند. تلفات مسی برابر RI^2 در سیم پیچها می‌باشد با توجه به شکل (۱۸ - ۷) میتوان تلفات مس را اینچنین بیان داشت:

$$P_{Cu} = R_{e1} I_1^2 \quad (7-35)$$

$$P_{Cu} = R_{e2} I_2^2 \quad (7-36)$$

هنگام انجام این آزمایش سه عدد را میخوانیم (شکل ۱۹ - ۷):

الف: وات‌متر (W)

ب: آمپر‌متر (A)

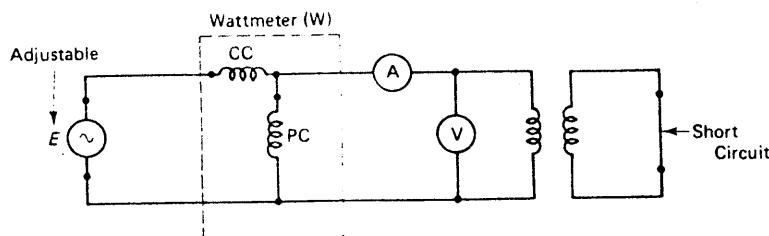
ج: ولت‌متر (V)

لذا از رابطه (۳۵ - ۷) میتوان R_{e1} را حساب کرد. باید توجه داشت که:

۱ - P_{Cu} (تلفات مسی) را وات‌متر نشان میدهد.

۲ - آمپر‌متر جریان را نشان میدهد.

با تقسیم عدد ولت‌متر بر عدد آمپر‌متر امپدانس Z_{e1} بدست می‌آید، حال چون R_{e1} را قبلاً "حساب کرده‌ایم"، لذا از رابطه (۳۳ - ۷) میتوان X_{e1} را بدست آورد.



شکل ۱۹ - ۷ مدار مربوط به آزمایش اتصال کوتاه در ترانسفورماتور

مثال ۱۲ - ۷؛

یک ترانسفورماتور بامشخصات زیر مفروض است:

$$\text{ولت} \quad ۱۲۰/۲۴ = \text{ولتاژ ثانویه} / \text{ولتاژ اولیه}$$

$$\text{هرتز} \quad ۶۰ = \text{فرکانس}$$

$$\text{ولت آمپر} \quad ۲۴۰ = \text{توان اسمی}$$

طرف فشار ضعیف (ثانویه) را اتصال کوتاه میکنیم و اندازه گیری های لازم را در طرف فشار قوی (اولیه) انجام میدهم. واتر عدد $۳/۲$ وات، واتر عدد $۲/۸$ ولت و آمپر متر جریان اسمی را نشان میدهند. مطلوبست محاسبه پارامترهای مدار معادل نسبت به طرف اولیه و ثانویه.

حل ::

ابتدا جریان اسمی را از رابطه (۱۸ - ۷) بدست می آوریم:

$$I_{1r} = \frac{240 \text{ VA}}{120 \text{ V}} = 2 \text{ A}$$

از رابطه (۳۵ - ۷) داریم:

$$R_{e1} = \frac{P_{cu}}{I_1^2} = \frac{W}{I_1^2}$$

$$= \frac{3.2 \text{ W}}{(2 \text{ A})^2} = 0.8 \Omega$$

طبق قانون اهم داریم:

$$Z_{e1} = \frac{2.8 \text{ V}}{2 \text{ A}} = 1.4 \Omega$$

از رابطه (۳۳ - ۷) داریم:

$$X_{e1} = \sqrt{Z_{e1}^2 - R_{e1}^2}$$

$$= \sqrt{1.96 - 0.64} = 1.1 \Omega$$

از رابطه (۲۶ - ۷) داریم:

$$R_{e2} = \frac{R_{e1}}{a^2}$$

چون:

$$a = V_1/V_2 = 120 \text{ V}/24 \text{ V} = 5;$$

$$R_{e2} = \frac{0.8}{25} = 0.032 \Omega$$

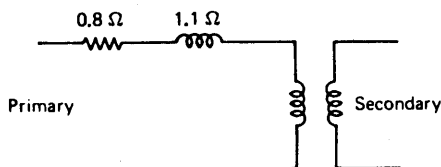
لذا:

$$X_{e2} = \frac{X_{e1}}{a^2} = \frac{1.1}{25} = 0.044 \Omega$$

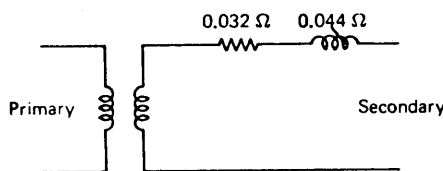
شکل (۲۰-۷) دو مدار معادل مربوط به این ترانسفورماتور را نشان میدهد.

7-3.2.3 Physical Limitations. : محدودیتهای فیزیکی

" هنگام بحث درباره هسیرزیس (فصل ۱ - جلد اول) دیدیم که مواد مختلف دارای ماکزیم چگالی شارگوناگون هستند. در مثالهای (۱۱-۱) و (۱۲-۱) در فصل اول (جلد اول) دیدیم که این محدودیت بر اندازه مواد مغناطیسی اثر میگذارد. باید گفت که مینیم (حداقل) سطح مقطع برای هسته ترانسفورماتور نیز توسط همین کمیت ماکزیم چگالی شار بدست میآید. کمیتهای دیگر موثر بر اندازه سطح مقطع هسته ولتاژ اسمی، تعداد دور سیم پیچها و فرکانس می باشد. باید گفت که سطح مقطع سیم پیچها بوسیله جریان اسمی تعیین میشوند. مثالهای زیر این موضوع را بیشتر روشن میکنند.



(a)



(b)

شکل ۲۰-۷ مدار معادل ترانسفورماتور مربوط به مثال ۱۲-۷

a: پارامترها نسبت به اولیه داده شده اند

b: پارامترها نسبت به ثانویه ذکر شده اند

مثال ۱۳-۷ (سیستم ENG):

یک ترانسفورماتور با مشخصات ذیل مفروض است:

ولت ۴۴۰/۴۰

تعداد دور سیم پیچ اولیه = ۵۵۰

هسته این ترانسفورماتور از مادهای ساخته شده که حداکثر چگالی شار آن ۴۰۰۰۰ ماکسول براینچ مربع میباشد حداقل (مینیم) سطح مقطع هسته مورد نیاز را در شرایط زیر حساب

کنید .

(الف) تحت فرکانس ۶۰ هرتز

(ب) تحت فرکانس ۴۰۰ هرتز

حل :

(الف) : از رابطه (۷-۱۳a) ماکزیمم یا پیک شاری که هر دو سیم پیچ اولیه و ثانویه را در بر میگیرد حساب میکنیم :

$$\begin{aligned}\phi_m &= \frac{E_i}{4.44fN_1 \times 10^{-8}} \\ &= \frac{440}{4.44 \times 60 \times 550 \times 10^{-8}} = 300.3 \text{ kilolines}\end{aligned}$$

از رابطه (۱-۲ a) در فصل اول (جلد اول) داریم

$$\begin{aligned}A_{min} &= \frac{\phi_m}{B_{max}} \\ &= 300.3 \text{ kilolines} / 40 \text{ kilolines in}^2 \\ &= 7.5 \text{ in}^2\end{aligned}$$

(ب) : فرض (الف) را تکرار میکنیم :

$$\begin{aligned}\phi_m &= \frac{440}{4.44 \times 400 \times 550 \times 10^{-8}} \\ &= 45 \text{ kilolines}\end{aligned}$$

$$A_{min} = \frac{45 \text{ kilolines}}{40 \text{ kilolines/in}^2} = 1.1 \text{ in}^2$$

مثال ۷-۱۴ (سیستم SI) :

یک ترانسفورماتور با مشخصات ذیل مفروض است .

$$\text{ولت} \quad 400/40$$

$$\text{تعداد دور سیم پیچ اولیه} = 550$$

هسته این ترانسفورماتور از ماده‌ای ساخته شده که حداکثر (ماکزیمم) چگالی شار آن ۱/۲ تسلا میباشد . مطلوبست محاسبه حداقل (مینیمم) سطح مقطع هسته مورد نیاز در تحت شرایط زیر :

(الف) : فرکانس ۵۰ هرتز

(ب) : فرکانس ۴۰۰ هرتز

حل :

(الف) از رابطه (۷-۱۳ b) میتوان پیک (ماکزیمم) شاری که هر دو سیم پیچ

اولیه و ثانویه را در بر میگیرد حساب کرد.

$$\begin{aligned}\phi_m &= \frac{E_1}{4.44fN_1} \\ &= \frac{440}{4.44 \times 50 \times 550} \\ &= 3.6 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

از رابطه (۲b-۱) در فصل اول (جلد اول) داریم:

$$\begin{aligned}A_{\min} &= \frac{\phi_m}{B_{\max}} \\ &= \frac{3.6 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{1.2 \text{ T}} \\ &= 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2\end{aligned}$$

(ب)؛ فرض (الف) را با فرکانس ۴۰۰ هرتز تکرار میکنیم؛

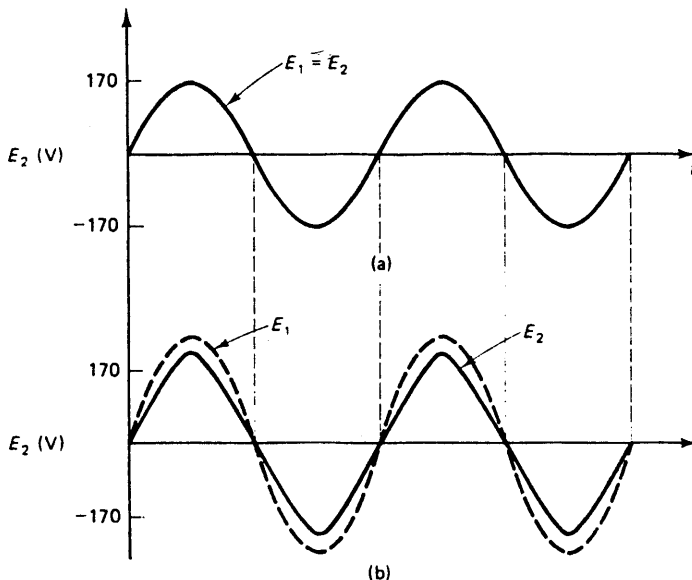
$$\begin{aligned}\phi_m &= \frac{440}{4.44 \times 400 \times 550} \\ &= 0.45 \times 10^{-3} \text{ Wb}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{\min} &= \frac{0.45 \times 10^{-3} \text{ Wb}}{1.2 \text{ T}} \\ &= 0.375 \times 10^{-3} \text{ m}^2\end{aligned}$$

مثالهای فوق الذکر نشان میدهد که اندازه و ابعاد ترانسفورماتور تابعی از فرکانس بوده و هرچه فرکانس بیشتر شود ابعاد کوچکتر میگردد. بهمین خاطر است که ژنراتور هواپیما فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند، زیرا ابعاد و اندازه لوازم الکترومغناطیسی موجود در هواپیما بشدت کاهش مییابد. باید گفت اگر ترانسفورماتوری برای فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز طراحی شده باشد میتوان از آن برای فرکانسهای بالاتر استفاده کرد؛ اما اگر ترانسفورماتوری برای ۴۰۰ هرتز طراحی شده باشد نمیتوان آنرا در فرکانسهای کمتر مورد استفاده قرار داد. علت این امر آن است که اگر از این ترانسفورماتورها در فرکانسهای پائین استفاده کنیم، هسته اشباع شده و ولتاژ ثانویه مشابه یا متناسب با ولتاژ اولیه نخواهد بود.

همچنین اگر ولتاژ بکار برده شده برای ترانسفورماتوری بیش از ولتاژ اسمی آن باشد اثر غیر خطی^(۱) پدیدار میشود، از روابط (۱۳-۷) در مییابیم که شار (ϕ_m)

با E_1 متناسب است لذا اگر E_1 خیلی زیاد شود، ϕ_m بیش از مقدار مجاز برای هسته خواهد شد و هسته اشباع میگردد، شکل (۲۱-۷) رفتار ترانسفورماتوری را نشان میدهد که نسبت دورهای آن (۱) بوده و ولتاژ اسمی اولیه آن ۱۲۰ ولت میباشد (۱۷۰ ولت ماکزیمم) بسیار قابل توجه است که دریابیم در صورت افزایش ولتاژ E_1 نه تنها نسبت تبدیل ۱:۱ را از دست داده‌ایم، بلکه ولتاژ ثانویه به موج مربعی نزدیکتر می‌شود. (شکل b-۲۱-۷).



شکل ۲۱-۷: نمایش ولتاژ در ثانویه ترانسفورماتور

(a): ولتاژ اولیه با ولتاژ اسمی ترانسفورماتور برابر است

(b): ولتاژ اولیه ۵۰٪ از ولتاژ اسمی ترانسفورماتور بیشتر است.

۳-۲-۷ تنظیم ولتاژ:

7-3.3 Voltage Regulation

همانطور که میدانیم خروجی یک ترانسفورماتور و ولتاژ کنترل شده میباشد، زیرا جریان تابعی از بار (مصرف) خواهد بود. لذا تنظیم در ترانسفورماتور همان معنی تنظیم رادرنژر اتور DC دارد (فصل ۴-جلد اول) برای بحث تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتور شکل (b-۱۸-۷) را در نظر میگیریم. در این شکل واضح است که V_1 با E_1 برابر بوده و ۱ نیز از تقسیم V_1 بر نسبت دورهای سیم پیچهای اولیه و ثانویه حاصل میگردد. در حالت بی‌باری جریان در مدار ثانویه وجود ندارد و لذا V_2 و V_1 با هم برابرند و لذا V_2 ولتاژ ترانسفورماتور در حالت بی‌باری خواهد بود که آنرا با V_{N1} نشان

میدهیم. با باردار شدن ترانسفورماتور E_1 ، V_1 ، V_2 تغییر نخواهند کرد ولی V_t شروع بکاهش مینماید، زیرا جریان ثانویه باعث افت ولتاژ در R_{e2} و X_{e2} میگردد. هنگامیکه ترانسفورماتور جریان اسمی (جریان بار کامل) را تحویل مصرف کننده میدهد در این صورت V_t معادل ولتاژ بار کامل خواهد بود که با V_{FL} آنرا نشان میدهیم. این ولتاژ (V_{FL}) معلوم بوده و جزء مقادیر اسمی ترانسفورماتور میباشد بعنوان مثال میتوان گفت که در مثالهای (۷-۱۲) و (۷-۱۳) ولتاژهای بار کامل (بار اسمی) ۲۴ و ۴۰ ولت میباشد، تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورها نیز اینچنین بیان میگردد.

$$\% \text{ voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad (7-37)$$

از نظر تئوری، تخمین تنظیم ولتاژ در ترانسفورماتورها شامل ۳ مرحله میباشد.

- ۱- انجام آزمایش اتصال کوتاه برای بدست آوردن R_{e2} و X_{e2}
- ۲- با توجه به شکل (b ۷-۱۸) مقدار V_2 که همان V_{NL} است را حساب میکنیم. باید توجه کرد که بجای V_t مقدار V_{FL} و بجای I_2 جریان اسمی ثانویه را قرار میدهیم.
- ۳- با توجه به رابطه (۷-۳۷) میتوان تنظیم ولتاژ را حساب نمود.

مثال ۷-۱۵:

در مثال (۷-۱۲) تنظیم ولتاژ را حساب کنید مشروط بر آنکه بار اسمی را تحت ضریب توان واحد تغذیه نمائیم.

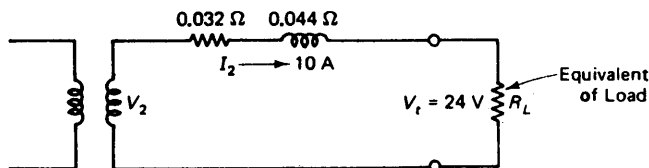
حل:

از آنجائیکه مدار معادل ترانسفورماتور را در مثال (۷-۱۲) پیدا کرده ایم، لذا مرحله اول انجام گرفته است. چون ضریب توان واحد است لذا بار مقاومتی خالص میباشد، پس مدار معادل ترانسفورماتور معادل شکل (۷-۲۲) خواهد بود. در بار اسمی جریان I_2 همان جریان اسمی بوده که معادل I_1 می باشد و ولتاژ V_1 همان ولتاژ اسمی میباشد. با استفاده از قانون کیرشف V_2 را حساب میکنیم. در حقیقت V_2 همان V_{NL} (ولتاژ در حالت بی باری) میباشد.

$$V_2^2 = (0.032 \times 10 + 24)^2 + (0.044 \times 10)^2$$

$$= 591.46 + 0.19 = 591.65$$

$$V_2 = 24.32 \text{ V}$$



شکل ۲۲-۷ مدار مربوط به مثال ۱۵-۷

از رابطه (۷-۳۷) داریم:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{24.32 - 24}{24} \times 100 = 1.33\%$$

دانشجویان باید بگویند که چرا در حالت بی‌باری ولتاژ خروجی ترانسفورماتور از حالت بارداری بیشتر است.

اگر در مثال فوق بار شامل سلف و خازن نیز باشد مساله غامض‌تر می‌شود، در بخش ۱-۷ (همین فصل) دریافتیم که:

۱- باری که ماهیتاً "سلفی" است دارای ضریب توان پس‌فاز می‌باشد.

۲- باری که ماهیتاً "خازنی" است دارای ضریب توان پیش‌فاز است.

از رابطه زیر همواره می‌توان در حالت کلی برای پیدا کردن V_2 (V_{NL}) استفاده کرد. در رابطه زیر $\cos \theta$ ضریب توان می‌باشد هنگامیکه ضریب توان پس‌فاز است علامت (+) را در نظر بگیریم و هنگامیکه ضریب توان پیش‌فاز است علامت (-) را منظور می‌کنیم:

$$V_{NL} = V_2 = \sqrt{(R_{e2}I_{2r} + V_{FL} \cos \theta)^2 + (X_{e2}I_{2r} \pm V_{FL} \sin \theta)^2} \quad (7-38)$$

(+ for lagging PF, - for leading PF)

اثبات رابطه اخیر بعهده دانشجویان است (راهنمایی: دیاگرام فازوری را رسم کنید).

مثال ۷/۱۶

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است.

ولت = ۲۴۰۰/۲۴۰ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

کیلوولت‌آمپر ۶ = توان اسمی

اهم ۰/۱۲ = R_{e2}

$$X_{e2} = ۰/۲۲ \quad \text{اهم}$$

درصد تنظیم ولتاژ را موقعی که ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت شرایط زیر تغذیه میکنید حساب کنید .

(الف) : ضریب توان واحد

(ب) : ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز

(ج) : ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز

حل :

ابتدا جریان اسمی ثانویه را حساب میکنیم .

$$I_2 = \frac{6 \text{ kVA}}{120 \text{ V}} = 50 \text{ A}$$

(الف) اگر ضریب توان واحد باشد لذا :

$$\text{PF} = 1, \cos \theta = 1 \text{ and } \sin \theta = 0.$$

پس از رابطه (۳۸ - ۷) داریم :

$$\begin{aligned} V_{NL} &= \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 1)^2 + (0.22 \times 50 + 120 \times 0)^2} \\ &= 126.48 \text{ V} \end{aligned}$$

لذا از رابطه (۳۷ - ۷) داریم :

$$\% \text{ V.R.} = \frac{126.48 - 120}{120} \times 100 = 5.4\%$$

(ب) : اگر ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز باشد لذا :

$$\text{PF} = 0.85 \text{ lagging, } \cos \theta = 0.85 \text{ and } \sin \theta = 0.53.$$

پس :

$$\begin{aligned} V_{NL} &= \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 0.85)^2 + (0.22 \times 50 + 120 \times 0.53)^2} \\ &= 131.26 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{131.26 - 120}{120} \times 100 = 9.38\%$$

(ج) اگر ضریب توان ۰/۸۵ پیش فاز باشد ، در اینصورت :

$$\begin{aligned} V_{NL} &= \sqrt{(0.12 \times 50 + 120 \times 0.85)^2 + (0.22 \times 50 - 120 \times 0.53)^2} \\ &= 120.13 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{120.13 - 120}{120} \times 100 = 0.11\%$$

از نتایج فوق چنین برمی آید که بهترین تنظیم موقعی رخ میدهد که ضریب توان پیش فاز باشد، علت این امر آن است که یک بار خازنی به ترانسفورماتوری که ماهیتاً "اندوکتیو" است متصل شده است.

7-3.4 Efficiency

۴-۳-۲ راندمان:

برای محاسبه راندمان^(۱) ترانسفورماتور از فرمول کلی زیر استفاده میکنیم:

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (7-39)$$

که در آن:

P_o = توان خروجی ترانسفورماتور

P_i = توان ورودی ترانسفورماتور

معمولاً "توان خروجی معلوم بوده و توان ورودی اینچنین حساب میشود.

$$P_i = P_o + \text{total losses} \quad (7-40)$$

معمولاً "دو نوع تلفات در ترانسفورماتورها موجود است:

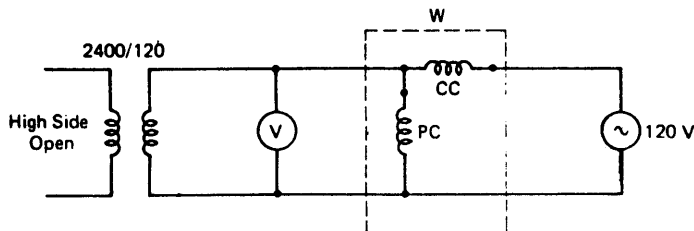
۱- تلفات مسی که توسط آزمایش اتصال کوتاه محاسبه میشود.

۲- تلفات هسته که توسط آزمایش مدار باز محاسبه میگردد.

آزمایش اتصال کوتاه را قبلاً" شرح دادیم. در آزمایش مدار باز (۲)، ولتاژ اسمی را به یکی از سم پیچها اعمال میکنیم (معمولاً "بطرف فشار ضعیف) و طرف دیگر را باز میگذاریم. واتمتری را در مدار سیم پیچی قرار میدهم که به آن ولتاژ اعمال شده است. این واتمتر تلفات هسته را نشان میدهد. البته با آنکه این روش تقریبی است ولی دقت آن نسبتاً "خوب است، زیرا تلفات هسته به شار بستگی دارد و میدانیم شار نیز به ولتاژ وابسته است. اگر ولتاژ اسمی برای این آزمایش بکار رود عدد واتمتر نیز تلفات هسته را در شرایط اسمی نشان میدهد. باید گفت با تغییرات بار، تلفات هسته به میزان قابل توجهی تغییر نمیکند. از طرفی چون یکی از مدارها باز است لذا جریان در مداری که به آن ولتاژ اعمال شده خیلی کم بوده و لذا تلفات مسی آن سیم پیچ قابل ملاحظه نیست. در نتیجه واتمتر کلاً "تلفات هسته را نشان میدهد (شکل ۲۳-۷).

با توجه به آزمایش فوق میتوان تلفات هسته را محاسبه کرد و آنرا ثابت فرض میکنیم. اما باید گفت که تلفات مسی با بار تغییر میکند زیرا تلفات مسی تابعی از مجذور جریان است. مثلاً "میتوان گفت که اگر بار ترانسفورماتور نصف بار اسمی باشد، تلفات مسی در این

حالت $\frac{1}{4}$ تلفات مسی در شرایط اسمی است .



شکل ۲۳-۷ مدار مربوط به آزمایش بی‌باری (مدار باز) جهت تعیین تلفات هسته

مثال ۷-۱۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات زیر مفروض است .

ولت = $120/440$. ولتاژ ثانویه/ولتاژ اولیه

کیلوولت‌آمپر ۳ = توان اسمی

این ترانسفورماتور بار اسمی را در تحت ضریب توان واحد تغذیه میکند . توان خروجی و جریانی ثانویه را بدست آورید .

حل:

از رابطه (۷-۱۱) داریم:

$$\theta = 1,$$

$$P_o = P_a \cos \theta = 3 \text{ kVA} \times 1 = 3 \text{ kW}$$

از رابطه (۷-۱۹) داریم:

$$I_{2r} = \frac{3 \text{ kVA}}{440 \text{ V}} = 6.82 \text{ A}$$

مثال ۷-۱۸:

ترانسفورماتور مثال (۷-۱۷) را در نظر میگیریم این ترانسفورماتور نیمی از بار اسمی را در تحت ضریب توان 0.9 پس فاز تغذیه میکند . توان خروجی و جریان ثانویه را بدست آورید .

حل:

از رابطه (۷-۱۱) داریم:

$$P_a = \frac{1}{2}(3 \text{ kVA}) = 1.5 \text{ kVA}$$

$$P_o = P_a \cos \theta = 1.5 \text{ kVA} \times 0.9$$

$$= 1.35 \text{ kW}$$

در نصف بار اسمی، جریان ثانویه نیز نصف جریان اسمی می‌باشد.

$$I_2 = \frac{1}{2} I_{2r} = 3.41 \text{ A}$$

با توجه به نکات فوق میتوان رابطه راندمان را اینچنین نوشت:

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_o + P_{Cu} + P_{core}} \times 100 \quad (7-41)$$

که در آن:

P_{Cu} = تلفات مسی ترانسفورماتور

P_{core} = تلفات هسته ترانسفورماتور

در رابطه فوق تمامی توانها باید بر حسب وات یا کیلو وات باشند. البته رابطه راندمان را میتوان بر حسب "ولت - آمپر" خروجی نیز چنین نوشت:

$$\eta\% = \frac{VA_{out} \times PF}{VA_{out} \times PF + P_{Cu} + P_{core}} \times 100$$

مثال ۱۹ - ۷:

یک ترانسفورماتور با مشخصات اسمی زیر مفروض است:

ولت = ۲۲۰/۶۰۰ = نسبت ولتاژها

هرتز = ۶۰ = فرکانس

کیلو ولت آمپر = ۱۰ = توان اسمی

بر روی این ترانسفورماتور آزمایش اتصال کوتاه و بی‌باری انجام شده و نتایج در جدول زیر آمده است.

Open-circuit test (high side open)	Short-circuit test (low side shorted)
$V = 220 \text{ V}$	$V = 35 \text{ V}$
$I = 1 \text{ A}$	$I = \text{rated current}$
$W = 120 \text{ W}$	$W = 200 \text{ W}$

راندمان این ترانسفورماتور را در تحت شرایط زیر بدست آورید:

(الف): بار اسمی و ضریب توان واحد

(ب): نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

(ج): بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

(د): نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

(ه) : ۱۲۵٪ بار اسمی و ضریب توان واحد

حل :

از آزمایش اتصال کوتاه در میابیم که تلفات مسی در شرایط اسمی ۲۰۰ وات و تلفات هسته در شرایط اسمی ۱۲۰ وات میباشد ،

(الف) : از رابطه (۷-۴۲) داریم :

$$\eta = \frac{10\,000 \times 1}{10\,000 \times 1 + 200 + 120} \times 100$$

$$= 96.9\%$$

(ب) : از رابطه (۷-۴۲) استفاده میکنیم ولی این بار ولت آمپر خروجی ۵۰۰۰ میباشد و تلفات مسی $\frac{1}{4}$ تلفات مسی در شرایط اسمی است :

$$\eta = \frac{5000 \times 1}{5000 \times \sqrt{1} + 200(\frac{1}{2})^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{5000}{5000 + 50 + 120} \times 100$$

$$= 96.7\%$$

(ج) : از رابطه (۷-۴۲) داریم :

$$\eta = \frac{10\,000 \times 0.8}{10\,000 \times 0.8 + 200 + 120} \times 100$$

$$= 96.15\%$$

(د) : از رابطه (۷-۴۲) داریم :

$$\eta = \frac{5000 \times 0.8}{5000 \times 0.8 + 200(\frac{1}{2})^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{4000}{4000 + 50 + 120} \times 100$$

$$= 95.9\%$$

(ه) : اگر بار بیش از بار اسمی گردد در اینصورت تلفات مسی نیز افزایش مییابد ، لذا :

$$VA_{out} = 1.25 \times 10\,000 = 12\,500 \text{ VA}$$

$$\eta = \frac{12\,500 \times 1}{12\,500 \times 1 + 200(1.25)^2 + 120} \times 100$$

$$= \frac{12\,500}{12\,500 + 312.5 + 120} \times 100$$

$$= 96.66\%$$

با توجه به نتایج فوق در میابیم که:

- ۱- راندمان هرچه بار به بار اسمی نزدیکتر شود، بهتر میگردد.
- ۲- با کاهش ضریب توان راندمان نیز پائین میآید.
- ۳- در شرایطی که ترانسفورماتور اضافه بار دارد (فرض مثال فوق) راندمان کاهش مییابد.
- ۴- راندمان حداکثر موقعی رخ میدهد که بار اسمی تحت ضریب توان واحد تغذیه شود.
- ۵- ضریب توان پس فاز یا پیش فاز اثری بر روی راندمان ندارد (چرا؟)

۵-۳-۷ ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه: 7-3.5 Multiple-Winding Transformers

اغلب اوقات در یک وسیله الکتریکی به چند ولتاژ نیاز داریم. لذا به عوض آنکه ترانسفورماتورهای گوناگون و مجزا تعبیه کنیم از ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه استفاده مینمائیم. در این ترانسفورماتورها یک ولتاژ تک فاز را میتوان به چند ولتاژ بیشتر یا کمتر تبدیل نمود.

برای تحلیل اینگونه ترانسفورماتورها باید کمیتها را بطرف اولیه یا ثانویه منتقل نمود (یا بالعکس). چون در ترانسفورماتورهای چند سیم پیچه با چند ثانویه سروکار داریم لذا همه کمیتها را بطرف اولیه میبریم.

مثال ۲۰-۷:

یک ترانسفورماتور ۴ سیم پیچه مطابق شکل (a) (۲۴-۷) مفروض است سیم پیچ z در ثانویه به یک مقاومت خالص وصل شده است و سیم پیچ X به یک سلف خالص، و سیم پیچ Y در ثانویه به یک خازن متصل شده است. مطلوب است:

(الف): ولتاژ و جریان در هر سیم پیچ

(ب): ضریب توان ترانسفورماتور

(ج): ولت آمپر تغذیه شده به هر سیم پیچ

حل:

(الف): ابتدا نسبت دورهای هر ترانسفورماتور را حساب میکنیم. همچنین با

دانستن این نسبت دورها ولتاژ سیم پیچها را بدست میآوریم. برای سیم پیچ X داریم:

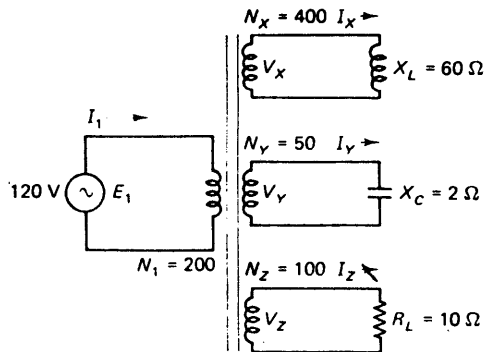
$$\text{turns ratio} = \frac{200}{400} = \frac{1}{2}$$

$$V_X = E_1 \div \frac{1}{2} = 240 \text{ V}$$

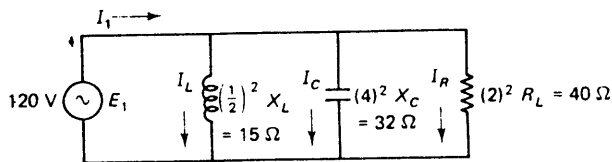
برای سیم پیچ Y داریم:

$$\text{turns ratio} = \frac{200}{50} = 4$$

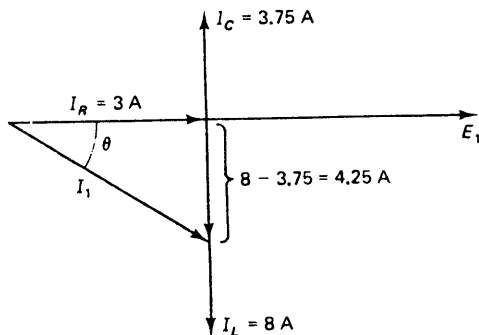
$$V_Y = E_1 \div 4 = 30 \text{ V}$$



(a)



(b)



(c)

شکل ۲۴ - ۷

(a): مدار مربوط به مثال ۲۰ - ۷

(b): مدار معادل نسبت به اولیه ترانسفورماتور

(c): دیاگرام فازوری جهت جمع جریانه‌ها در اولیه

برای سیم پیچ Z داریم:

$$\text{turns ratio} = \frac{200}{100} = 2$$

$$V_Z = E_1 \div 2 = 60 \text{ V}$$

حال همه کمیتها را بطرف اولیه میبریم (شکل b ۲۴ - ۷) لذا:

$$I_L = \frac{120 \text{ V}}{15 \Omega} = 8 \text{ A}$$

$$I_C = \frac{120 \text{ V}}{32 \Omega} = 3.75 \text{ A} \quad \text{and} \quad I_R = \frac{120 \text{ V}}{40 \Omega} = 3 \text{ A}$$

برای پیدا کردن جریان اولیه I_1 از دیاگرام فاز روی شکل (c ۲۴ - ۷) کمک میگیریم. لذا:

$$I_1 = \sqrt{(3)^2 + (8 - 3.75)^2} \\ = 5.2 \text{ A}$$

اگر آمپرمتری در اولیه قرار داده بودیم این جریان را اندازه گیری مینمود. حال برای پیدا کردن جریان های ثانویه از رابطه (۲۵ - ۷) استفاده میشود.

$$I_X = I_L \times \frac{1}{2} = 4 \text{ A}$$

$$I_Y = I_C \times 4 = 15 \text{ A}$$

$$I_Z = I_R \times 2 = 6 \text{ A}$$

(ب)؛ ضرب توان عبارت است از کسینوس زاویه بین E_1 و I_1 ، با استفاده از شکل (c ۲۴ - ۷) داریم:

$$\theta = \arctan \frac{4.25}{3}$$

$$= 54.78^\circ$$

$$\text{PF} = \cos 54.78^\circ = 0.58$$

(ج)؛ ولت آمپر تغذیه شده توسط هر سیم پیچ اینچنین بدست می آید؛ برای سیم پیچ X داریم:

$$P_a = V_X I_X = 240 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 960 \text{ VA}$$

برای سیم پیچ Y داریم:

$$P_a = V_Y I_Y = 30 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 450 \text{ VA}$$

برای سیم پیچ Z داریم:

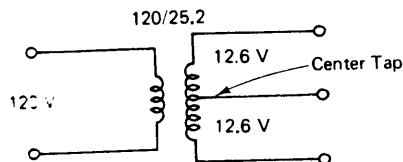
$$P_a = V_Z I_Z = 60 \text{ V} \times 6 \text{ A} = 360 \text{ VA}$$

برای سیم پیچ اولیه داریم :

$$P_a = E_1 I_1 = 120 \text{ V} \times 5.2 \text{ A} = 624 \text{ VA}$$

باید دانست که هر سیم پیچ ولت آمپر مخصوص بخود را تغذیه میکند و لذا سیم پیچهای مختلف باید دارای سطح مقطع های گوناگون باشند .

یکی از انواع دیگر ترانسفورماتورهای چند سیم پیچ ترانسفورماتورهای انشعابی (۱) هستند . در این ترانسفورماتورها ثانویه از یک سیم پیچ تشکیل شده است ولی ولتاژهای مختلفی میتوان از ثانویه بدست آورد ، شکل (۲۵ - ۷) یک ترانسفورماتور با انشعاب میانی (وسط) (۲) را نشان میدهد .

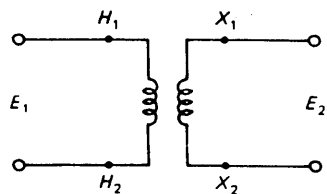


شکل ۲۵ - ۷ شمای یک ترانسفورماتور با انشعاب میانی

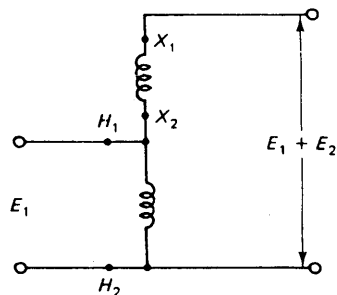
۶ - ۳ - ۷ اتو ترانسفورماتور :

در ترانسفورماتورهای که تا بحال مورد مطالعه قرار داده ایم ، سیم پیچهای اولیه و ثانویه بطور مغناطیسی با هم کوپله میباشند و اتصال الکتریکی بین اولیه و ثانویه وجود ندارد . حال اگر سیم پیچهای اولیه و ثانویه را بطور الکتریکی نیز بهم وصل کنیم در اینصورت توانائی ترانسفورماتور را از نظر توان افزایش مییابد ، در اینصورت مقداری توان از طریق کوپلاژ مغناطیسی و مقداری توان نیز بخاطر اتصال الکتریکی اولیه و ثانویه انتقال مییابد ، لذا در اینصورت ترانسفورماتورهای پاراندمان بهتر و اقتصادی تر بدست می آید . در اتو ترانسفورماتورها (۳) باید پلار تیه سیم پیچها بخوبی رعایت گردد . شکل (۲۶ - ۷) دو اتصال متداول را نشان میدهد . در شکل (۲۶ b - ۷) اتو ترانسفورماتور افزایش دهنده نشان داده شده و در شکل (۲۶ c - ۷) اتو ترانسفورماتور کاهش دهنده (۴) رسم شده است .

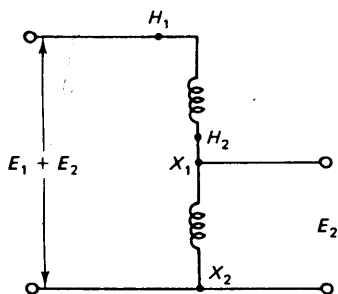
- 1) Tapped-transformer
- 2) Centre-tapped-Transformer
- 3) Auto transformer
- 4) Step-down-transformer



(a)



(b)



(c)

شکل ۲۶-۷

(a): یک ترانسفورماتور تک فاز

(b): یک اتوترانسفورماتور افزاینده

(c): یک اتوترانسفورماتور کاهنده

مثال ۲۱-۷:

از یک ترانسفورماتور ۲۲۰/۴۴۰ ولتی با توان اسمی ۳ کیلو ولت آمپر برای ساخت یک اتوترانسفورماتور افزاینده ۴۴۰/۶۶۰ ولتی استفاده میکنیم .
(الف): دیاگرام اتصالات را رسم کنید .

(ب): جریانه‌ها را در شرایط اسمی حساب کنید. همچنین توان اسمی (KVA) اتو ترانسفورماتور را بدست آورید.

حل:

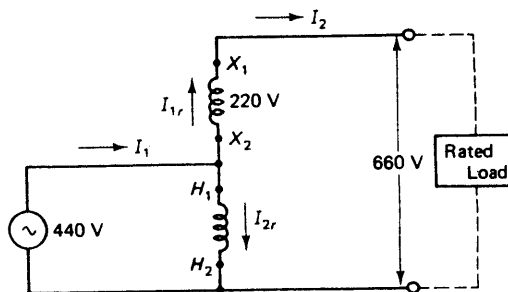
(الف): شکل (۲۷-۷) توجه کنید.

(ب): برای پیدا کردن جریانه‌ها، ابتدا جریانه‌های اسمی ترانسفورماتور اصلی را پیدا میکنیم. از رابطه (۱۸-۷) داریم:

$$I_{1r} = \frac{3000 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 13.64 \text{ A}$$

از رابطه (۱۹-۷) داریم:

$$I_{2r} = \frac{3000 \text{ VA}}{440 \text{ V}} = 6.82 \text{ A}$$



شکل ۲۷-۷ مدار مربوط به قسمت الف در مثال ۲۱-۷

با توجه به شکل (۲۷-۷) درمی‌یابیم که جریان ثانویه در اتو ترانسفورماتور (I_2) معادل جریان اسمی طرف فشار ضعیف در ترانسفورماتور اصلی (I_{1r}) میباشد. لذا:

$$I_2 = I_{1r} = 13.64 \text{ A}$$

توان اسمی (kVA) خروجی اتو ترانسفورماتور از حاصل ضرب ولتاژ و جریان ثانویه بدست می‌آید.

$$660 \text{ V} \times 13.64 \text{ A} = 9002 \text{ VA} \approx 9 \text{ kVA}$$

توان اسمی (kVA) ورودی به ترانسفورماتور نیز معادل توان اسمی خروجی است (راندمان را ۱۰۰٪ در نظر میگیریم). لذا:

$$9002 \text{ VA} = 440 \text{ V} \times I_1$$

$$I_1 = \frac{9002}{440} = 20.46 \text{ A}$$

حال میتوان محاسبات فوق را با بکارگیری قانون کیرشف در کره^{*} H_1-X_2 چک نمود.

$$I_{2r} = I_1 - I_{1r} = 20.46 - 13.64$$

$$= 6.82 \text{ A (as originally calculated)}$$

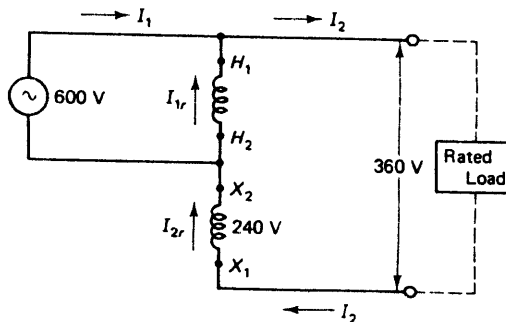
در مثال فوق با توجه به شکل (۲۷-۷) در میابیم که:

- ۱- از ۹ کیلو آمپر ورودی به اتو ترانسفورماتور که معادل $I_1 \times 440$ است، ۳ کیلو ولت آمپر ($I_{2r} \times 440$) بخاطر عمل القاء^(۱) از اتو ترانسفورماتور خارج میگردد.
- ۲- بقیه ۶ کیلو ولت آمپر ($(I_1 - I_{2r}) \times 440$) بخاطر عمل هدایت^(۲) از اتو ترانسفورماتور خارج میشود.

مثال ۲۲-۷:

- یک ترانسفورماتور ۶۰۰/۲۴۰ ولتی با توان اسمی ۷/۵ کیلو ولت آمپر مفروض است و میخواهیم توسط آن اتو ترانسفورماتور کاهنده ۶۰۰/۳۶۰ ولتی بدست آوریم.
- (الف)؛ دیاگرام مدار را رسم کنید.
- (ب)؛ جریانهای در شرایط اسمی و توان اسمی (kVA) اتو ترانسفورماتور را بدست آورید.
- حل:

(الف)؛ به شکل (۲۸-۷) رجوع کنید.



شکل ۲۸-۷ مدار مربوط به قسمت الف در مثال ۲۲-۷

- (ب)؛ ابتدا جریانهای اسمی ترانسفورماتور اصلی را پیدا میکنیم.

$$I_{1r} = \frac{7500 \text{ VA}}{600 \text{ V}} = 12.5 \text{ A}$$

$$I_{2r} = \frac{7500 \text{ VA}}{240 \text{ V}} = 31.25 \text{ A}$$

با توجه به شکل (۲۸-۷) داریم:

$$I_2 = I_{2r} = 31.25 \text{ A}$$

توان اسمی خروجی (kVA) عبارتست از:

$$360 \text{ V} \times I_2 = 360 \text{ V} \times 31.25 \text{ A} = 11.25 \text{ kVA}$$

توان ورودی اتو ترانسفورماتور مانند توان خروجی میباشد (راندمان را ۱۰۰٪ در نظر میگیریم) لذا:

$$11.25 \text{ kVA} = 600 \text{ V} \times I_1$$

$$I_1 = \frac{11.25 \text{ kVA}}{600 \text{ V}} = 18.75 \text{ A}$$

با بکار بردن قانون کیرشف در گره میتوان محاسبات فوق را چک کرد.

$$I_1 + I_{1r} = I_2$$

$$I_{1r} = I_2 - I_1 = 31.25 \text{ A} - 18.75 \text{ A}$$

$$= 12.5 \text{ A (as originally calculated)}$$

باید توجه داشت که:

۱- از ۱۱/۲۵ کیلو ولت آمپر انتقالی از ورودی به خروجی، ۷/۵ کیلو ولت آمپر ($600 \times I_{1r}$) بوسیله عمل القاء انتقال مییابد.

۲- بقیه ۳/۷۵ کیلو ولت آمپر ($600 (I_1 - I_{1r})$) بوسیله عمل هدایت منتقل میشود.

7-4 REVIEW OF THREE-PHASE AC THEORY

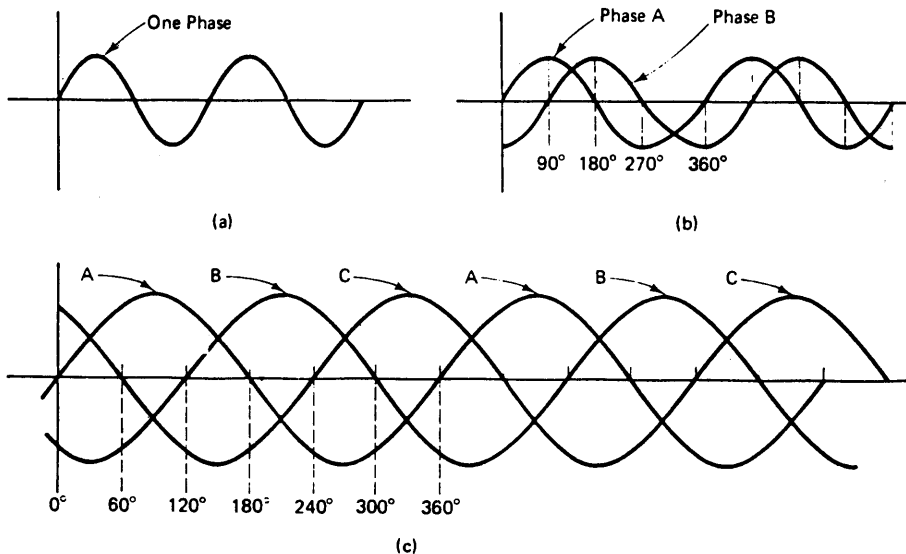
۴-۷ مروری بر تئوری مدارهای سه فاز AC:

تا بحال در این کتاب راجع به مدارهای تک فاز AC صحبت کرده ایم، و معمولاً "لوازم منزل با ولتاژ تک فاز کار میکنند و بخاطر همین موضوع برقیهای منطقه‌ای اکثراً" برق تک فاز به منازل میدهند، اما مدارهای AC سه فاز (۱) دارای مزیت‌های گوناگون میباشند. در مدارهای سه فاز مقدار ولتاژهای هر فاز مشابه یکدیگرند ولی این ولتاژها با یکدیگر اختلاف فاز دارند، لذا پیک (ماکزیمم) ولتاژها در مدارهای AC سه فاز با هم رخ نمیدهند، شکل (۲۹-۷) شمای سه ولتاژ مربوط به مدارهای AC سه فاز را نشان میدهد. البته در این شکل ولتاژهای مدارهای تک فاز و دو فاز نیز رسم شده‌اند، به سیستم‌هایی که بیش از یک ولتاژ در آنها وجود دارد اصطلاحاً "سیستم‌های چند فازه" (۲) اطلاق میگردد،

1) Three Phase

2) Poly phase

و متداول ترین سیستم چند فازه همان سیستم سه فاز است، طرز نام گذاری فازها را اصطلاحاً "توالی فاز" (۱) مینامند. توالی فاز برای سیستم سه فاز نشان داده شده در شکل (c) ۲۹-۷) ABC یا BCA یا CAB میباشد. مزایای توالی سه فاز عبارتست از:



(a) : ولتاژ تک فاز AC

شکل ۲۹-۷ :

(c) : ولتاژ سه فاز AC

(b) : ولتاژ دو فاز AC

- ۱- توان بیشتری در سیستم سه فاز میتوان منتقل ساخت.
- ۲- پخش توان (۲) در سیستم سه فاز به مراتب آرامتر از پخش توان نوسانی در سیستم تکفاز است.
- ۳- ماشینهای الکتریکی سه فاز ارزانتر از سه ماشین الکتریکی تکفاز میباشد. و همچنین بهره برداری از ماشینهای الکتریکی سه فاز به مراتب ارجمتر از ماشینهای الکتریکی تکفاز است.

۷-۴-۱ Numerical Relationships : روابط مربوط به سیستمهای سه فاز :

معمولاً "سیستمهای سه فاز یا سه سیمه (۳) بوده و یا چهار سیمه (۴) میباشد در سیستمهای سه فاز سه سیمه ولتاژ بین هر دو خط ولتاژ خط (۵) (V_L) نامیده میشود.

- 1) Phase Sequence
- 3) Three-Wire
- 5) Line-Voltage

- 2) Power-Flow
- 4) Four-Wire

در سیستمهای سه فاز چهار سیمه سیم چهارمی بنام سیم خنثی (۱) اضافه میگردد و در اینصورت ولتاژ بین هر خط و سیم خنثی ولتاژ فاز (۲) (V_p) گفته میشود. در سیستم چهار سیمه ولتاژ بین دو خط همان ولتاژ خط (V_L) خواهد بود. شکل (۳۰-۷) این موضوع را بیشتر روشن میکند. در اینصورت میتوان گفت:

۱- سه ولتاژ خط (V_{AB} ، V_{BC} و V_{CA}) با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل ۲۹-۷)

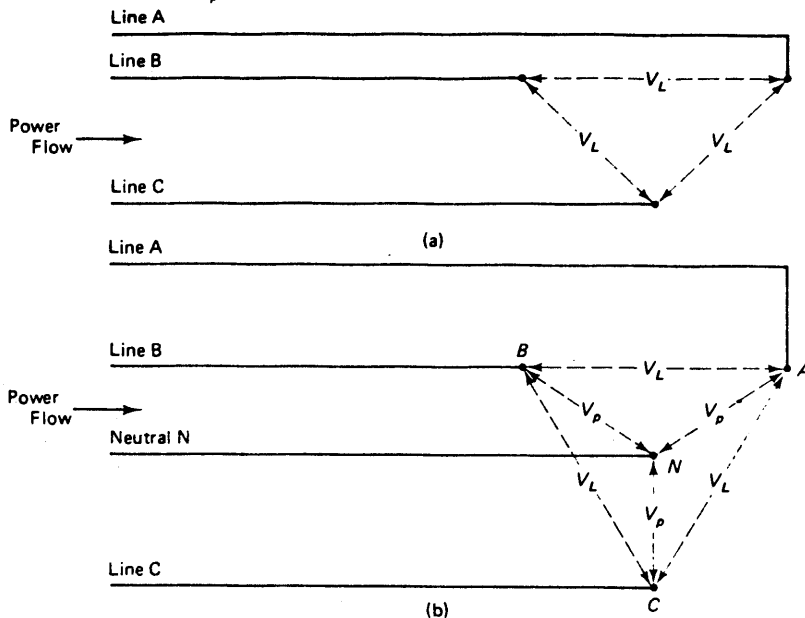
۲- سه ولتاژ فاز (V_{AN} ، V_{BN} و V_{CN}) که همان V_p هستند با هم مساوی بوده ولی با یکدیگر اختلاف فاز دارند (مانند شکل ۲۹-۷).

۳- اگر قانون کیرشف را در شکل (۳۰-۷ b) بکار ببریم در اینصورت داریم:

$$V_{AB} = V_{AN} + V_{NB}$$

باید توجه داشت که V_{AN} و V_{NB} با هم ۶۰ درجه اختلاف فاز دارند (شکل ۲۹-۷). لذا این دو با هم بصورت فاز جمع می شوند. لذا رابطه اخیر بصورت زیر درمی آید.

$$V_L = \sqrt{3} V_p \quad (7-43)$$

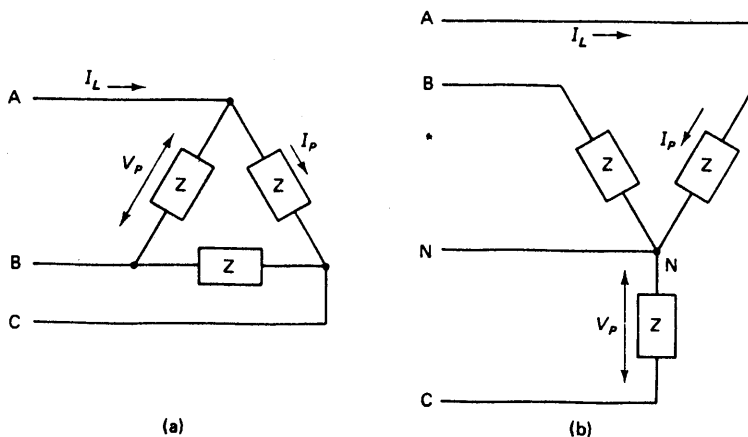


شکل ۳۰-۷

(b): سیستم سه فاز چهار سیمه

a: سیستم سه فاز سه سیمه

با آنکه سیستم سه فاز را به هر نوع باری (مصرفی) میتوان وصل نمود ولی توجه خود را به بار سه فاز متعادل معطوف می‌داریم. این گونه بارها از سه امپدانس مشابه تشکیل شده که به دو صورت ستاره یا مثلث (Y) یا (Δ) مطابق شکل (۳۱-۷) بیکدیگر متصل میشوند.



شکل ۳۱-۷ بار سه فاز متعادل

(a) اتصال مثلث یا Δ (b) اتصال ستاره یا Y

با آنکه در شکل (۳۱-۷ b) سیم خنثی نشان داده شده است ولی در حالتی که بار متعادل^(۱) است نقشی ایفا نمی‌کند زیرا در حالت بار متعادل جریانی از سیم خنثی نمی‌گذرد (جریان صفر). اگر در حالتی یکی از فازها قطع شود در این صورت تعادل ذکر شده در فوق بهم می‌خورد و در سیم خنثی جریان پدیدار میشود.

در حالتی که بار بصورت مثلث (Δ) میباشد (شکل ۳۱-۷ a) ولتاژ دو سر یک فاز از بار (V_p) معادل ولتاژ خط می‌باشد. جریان هر فاز در بار (I_p) از تقسیم V_p یا (V_L) بر Z حاصل میگردد. بطور کلی برای بار مثلث شکل (Δ) داریم:

$$\Delta \text{ load } \begin{cases} I_L = \sqrt{3} I_p & (7-44) \\ V_L = V_p & (7-45) \end{cases}$$

اگر بار بصورت ستاره (Y) باشد (شکل ۳۱-۷ b) جریان خط با جریان هر فاز بار مشابه خواهد بود. اما ولتاژ دو سر هر فاز دیگر مساوی ولتاژ خط نخواهد بود. بطور کلی برای بار ستاره شکل داریم:

$$Y \text{ load } \begin{cases} I_p = I_L & (7-46) \\ V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} & (7-47) \end{cases} \quad \text{رُج}$$

توان ظاهری در بار سه فاز اینچنین است .

$$P_u = 3V_p I_p \quad (7-48)$$

لذا کل توان ظاهری بار سه فاز عبارتست از :

$$P_u = \sqrt{3} V_L I_L \quad (7-49)$$

رابطه اخیر با جایگزینی روابط (۷-۴۷) و (۷-۴۶) در رابطه (۷-۴۸) حاصل میگردد . باید گفت که رابطه (۷-۴۹) برای هر دو نوع بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق است (چرا ؟) .

در سیستم سه فاز توان حقیقی و راکتیو تحویلی به بار اینچنین بدست می آید .

$$P_r = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta \quad (7-50)$$

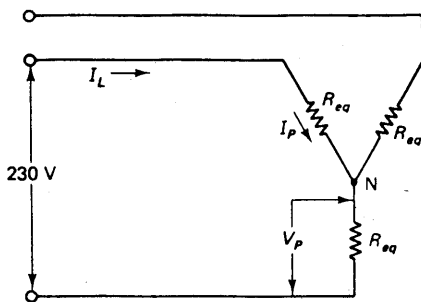
$$P_w = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad (7-51)$$

باید گفت که روابط فوق برای هر دو بار ستاره شکل (Y) یا مثلث شکل (Δ) صادق اند (چرا ؟) در روابط (۷-۵۰) و (۷-۵۱) ، $\cos \theta$ ضریب توان بوده و θ زاویه امپدانس Z در شکل (۷-۳۱) میباشد . از گفتار فوق نتیجه میگیریم که معمولا " در سیستمهای سه فاز توانها بر حسب کمیت های خطوط (ولتاژ خط و جریان خط) بیان میشوند .

مثال ۲۳-۷:

یک سیستم سه فاز ۲۳۰ ولتی مفروض است و توان ظاهری ۲ کیلوولت آمپر را تحت ضریب توان واحد به یک بار متعادل سه فاز (ستاره شکل Y) تحویل میدهد . ولتاژها و جریانها را حساب کنید و مدار معادل بار را بدست آورید .
حل :

ابتدا مدار سیستم را رسم میکنیم و مجهولات مساله را بر روی آن مینویسیم . در شکل (۷-۳۲) بار بوسیله سه مقاومت (R_{eq}) نشان داده شده است ، زیرا ضریب توان در این مساله واحد فرض میگردد .



شکل ۷-۳۲ مدار مربوط به مثال ۲۳-۷

ولتاژ خط ۲۳۰ ولت بوده و ۲ کیلوولت آمپر تحویل بار میشود. لذا از رابطه (۴۹-۷) داریم:

$$I_L = \frac{2000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 230 \text{ V}} = 5.02 \text{ A}$$

برای بار ستاره شکل (Y) داریم:

$$I_p = I_L = 5.02 \text{ A}$$

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{230 \text{ V}}{\sqrt{3}} \\ = 132.8 \text{ V}$$

از قانون اهم داریم:

$$R_{eq} = \frac{V_p}{I_p} = \frac{132.8 \text{ V}}{5.02 \text{ A}} \\ = 26.45 \Omega$$

مثال ۲۴-۷:

یک سیستم سه فاز ۴۴۰ ولتی و ۵۰ کیلوولت آمپری بار اسمی را تحت ضریب توان ۰/۸ پس فاز تغذیه میکند. مطلوبست:

(الف): جریان خط در بار کامل

(ب): توان حقیقی تحویلی به بار

(ج): توان راکتیو تحویلی به بار

(د): در تحت چه شرایطی حداکثر توان حقیقی انتقال مییابد.

حل:

(الف): از رابطه (۴۹-۷) داریم:

$$I_L = \frac{50,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 440 \text{ V}} \\ = 65.6 \text{ A}$$

(ب): از رابطه (۵۱-۷) داریم:

$$P_w = \sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 65.6 \text{ A} \times 0.8 \\ = 39,995 \text{ W} \approx 40 \text{ kW}$$

(ج)

$$\theta = \arccos 0.8 = 36.87^\circ$$

$$\sin \theta = 0.6$$

$$P_r = \sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 65.6 \text{ A} \times 0.6$$

$$= 29,996 \text{ var} \approx 30 \text{ kvar}$$

(د) : از رابطه (۵۱-۷) در مییابیم که حداکثر توان موقعی انتقال مییابد که:

۱- ولتاژ خط ولتاژ اسمی باشد ،

۲- جریان خط، جریان اسمی باشد ،

۳- ضریب توان واحد باشد ،

لذا:

$$\max. P_w = \sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 65.6 \text{ A} \times 1.0$$

$$= 50 \text{ kW}$$

7-4.2 Power Measurement in Three-Phase Systems

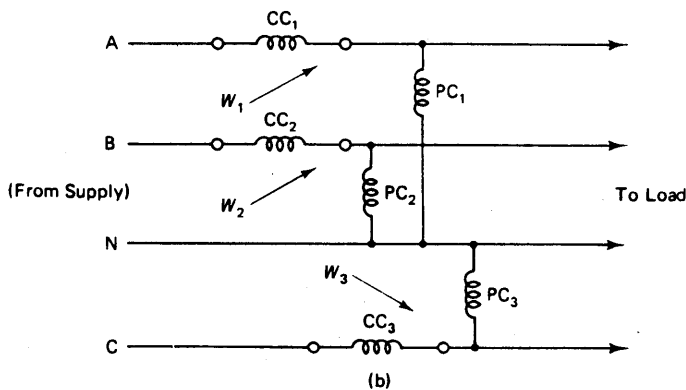
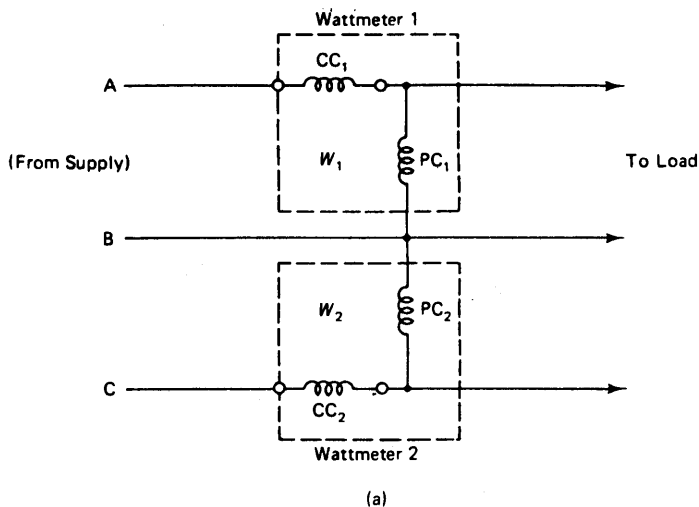
۲- ۴- ۷ اندازه گیری توان در سیستم سه فاز:

طبق تئوری بلوندل^(۱) میتوان گفت که در یک سیستم N سیمه ، کل توان را میتوان توسط $(N - 1)$ واتمتر اندازه گیری نمود ، لذا در سیستم سه فاز میتوان با دو واتمتر کل توان سه فاز را اندازه گیری کرد ، البته باید گفت که در سیستم سه فاز ۴ سیمه تعداد واتمترهای مورد نیاز ۳ عدد خواهد بود ، در اینجا متذکر میشویم که در سیستم سه فاز ۴ سیمه متعادل چون از سیم خنثی (نول) جریان نمی گذرد ، لذا میتوان آنرا حذف نمود و لذا باز با ۲ واتمتر میتوان کل توان سه فاز را اندازه گیری نمود ، شکل (۳۳-۷) طرز نمایش نصب ۲ و ۳ واتمتر را در سیستم سه فاز نشان میدهد ، در هر دو شکل کل توان جمع جبری اعداد واتمترها خواهد بود ، چون در این فصل بیشتر تمرکز ما به سیستم سه فاز متعادل است ، لذا توجه خود را به سیستم ۲ واتمتری معطوف می داریم .

هرگاه ضریب توان بار واحد باشد ، اعداد نشان داده شده توسط واتمترها مثبت

بوده و با یکدیگر برابرند ، لذا کل توان سه فاز معادل $W_1 + W_2$ خواهد بود ،

اگر ضریب توان پس فاز باشد ، یکی از واتمترها مثلاً W_1 عددی بزرگتر از W_2 را نشان میدهد ولی واتمتر W_1 همواره عدد مثبتی را نشان می دهد ، اما واتمتر W_2 باید چک گردد که عدد مثبت یا منفی را نشان دهد ، اگر واتمتر W_2 عدد منفی را نشان می دهد در این صورت جهت توان از بار به منبع خواهد بود ولی چون عدد W_1 از عدد W_2 همواره بزرگتر است لذا $W_1 - W_2$ همواره مثبت است یعنی توان خالص مثبت خواهد بود .



شکل ۳۳-۷ اندازه‌گیری توان در سیستم سه فاز

b سه فاز سه سیمه

a سه فاز سه سیمه

THREE-PHASE TRANSFORMERS

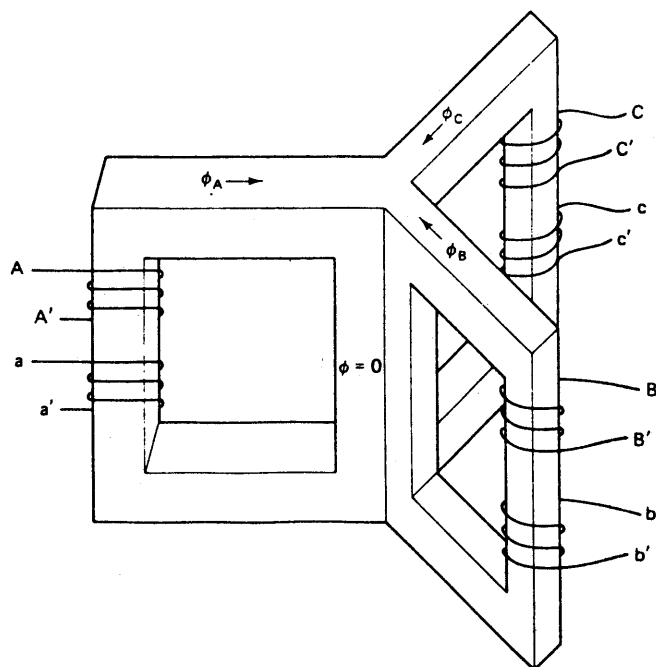
۵-۷ ترانسفورماتورهای سه فاز:

ترانسفورماتورهای سه فاز با ولتاژهای سه فاز کار میکنند. یکی از روشهای تولید ترانسفورماتورهای سه فاز استفاده از سه ترانسفورماتور مشابه تکفاز میباشد. در اینجا باید گفت:

۱- اگر از سه ترانسفورماتور تکفاز استفاده شود، در صورت خرابی یکی از ترانسفورماتورها میتوان از ۲ عدد دیگر استفاده کرد.

۲- اما ترانسفورماتور سه فاز ارزانتر از ۳ عدد ترانسفورماتور تکفاز است.

۳- در اینجا متذکر میشویم که اگر ترانسفورماتور سه فاز خراب شود باید کل آنرا عوض



شکل ۳۴ - ۷ شمای ساده یک هسته ترانسفورماتور سه فاز با سیم پیچهای مربوطه

کرد و دیگر قابل استفاده نیست .

در نتیجه تصمیم گیری درباره استفاده از ترانسفورماتور سه فاز یا سه ترانسفورماتور تکفاز به نوع استفاده در سیستم بستگی دارد . البته باید گفت تحلیل این دو نوع سیستم یعنی سه ترانسفورماتور تکفاز یا یک ترانسفورماتور سه فاز یکسان میباشد .

برای سهولت امر سیم پیچهای اولیه را با A ، B و C و سیم پیچهای ثانویه را با a ، b و c نشان میدهم (شکل ۳۴ - ۷) . باید گفت چون ولتاژهای اولیه با هم ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند . لذا شارهای Φ_A ، Φ_B ، Φ_C نیز با یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند . لذا این شارها در مسیر مشترک خود با هم بصورت فازور جمع میشوند ، لذا شار در پایه وسطی ترانسفورماتور صفر خواهد بود . در نتیجه در ساختمان ترانسفورماتورها پایه وسطی حذف می گردد . اگر سیم پیچهای اولیه و ثانویه بطرق گوناگون بهم وصل شوند ، شکلهای مختلفی از سیم پیچ اولیه و ثانویه بدست می آید .

البته باید گفت طرز اتصال سیم پیچهای اولیه و ثانویه کل توان ظاهری (کپلو ولت آمپر) ترانسفورماتور را تغییر نمی دهد . باید گفت که سه سیم پیچ اولیه با یکدیگر مشابه اند و سه سیم پیچ ثانویه نیز مشابه یکدیگر میباشند .

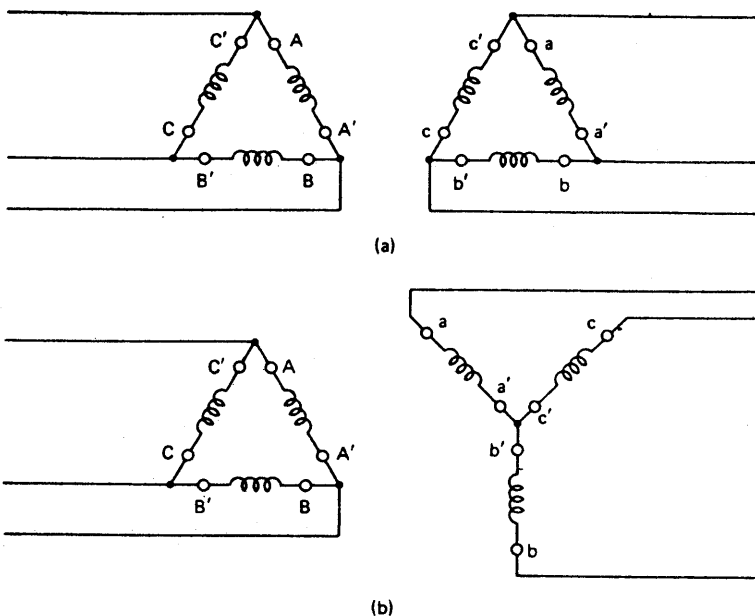
۱-۵-۷ طرز اتصالات سیم پیچ‌ها در ترانسفورماتورهای سه فاز

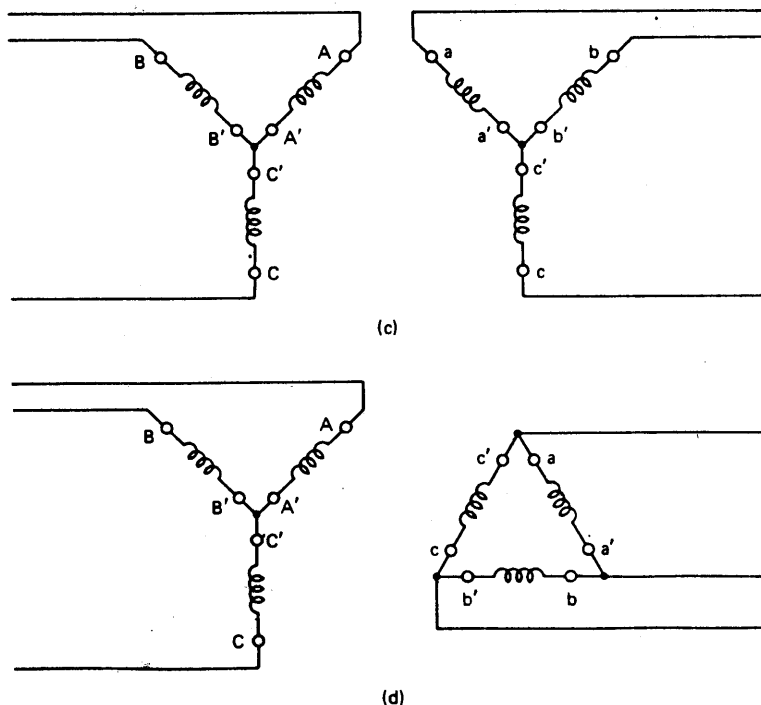
7-5.1 Basic Transformer Connections

سیم پیچهای اولیه در شکل (۷-۳۴) را میتوان بدو طریق متصل نمود.

- ۱- اگر A' ، B' ، C' به یکدیگر وصل شوند، و ولتاژهای سه فاز را به A و B و C متصل کنیم در این صورت اتصال ستاره (Y) بدست می‌آید (شکل ۷-۳۵ c).
- ۲- اگر A به B و B به C و C به A وصل شوند اتصال مثلث (Δ) حاصل میگردد (شکل ۷-۳۵ a).

همچنین باید گفت که سیم پیچهای ثانویه را نیز میتوان بصورت ستاره (Y) یا مثلث (Δ) بیکدیگر متصل نمود. البته خاطر نشان می‌سازیم که هر یک از این اتصالات امتیازات خاص خود را دارند که ما آنها را ذکر میکنیم. شکل (۷-۳۵) نوع اتصال برای سیم پیچهای ترانسفورماتورهای سه فاز را نشان میدهد، باید گفت اگر اولیه ترانسفورماتور به ولتاژ سه فاز وصل شود اولیه بمشابه بار سه فاز متعادل عمل می‌کند (بخش ۱-۴-۷) در همین فصل)، لذا میتوان از روابط ذکر شده در بخش (۱-۴-۷) برای ترانسفورماتورهای سه فاز نیز استفاده نمود. در اینجا یادآوری می‌گردد که قدرت ظاهری اسمی (کیلو ولت آمپر اسمی) ترانسفورماتور سه فاز سه برابر قدرت ظاهری اسمی هر فاز میباشد.





شکل ۳۵-۷ : ۴ نوع اتصال متداول برای سیم پیچهای ترانسفورماتورهای سه فاز

- (a) اتصال مثلث - مثلث $\Delta-\Delta$ (b) اتصال مثلث - ستاره $\Delta-Y$
 (c) اتصال ستاره - ستاره $Y-Y$ (d) اتصال ستاره - مثلث $Y-\Delta$

مثال ۲۵-۷؛

یک ترانسفورماتور سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

کیلوولت آمپر ۲۵ = توان اسمی ظاهری سه فاز

ولت ۲۰۸ - ولتاژ اسمی ثانویه

ولت ۱۲۰۰ = ولتاژ اسمی اولیه

اگر این ترانسفورماتور بار متعادلی را تغذیه کند ، مطلوبست محاسبات زیر :

الف : کیلوولت آمپر اسمی و نسبت دور هر فاز

ب : جریان اولیه و ثانویه و ولتاژها

این مثال را در دو حالت زیر حساب کنید ،

(۱- الف) : اتصال $Y-Y$

(۲- ب) : اتصال $\Delta-\Delta$

حل.

(۱-الف): اتصال Y-Y

کیلو ولت آمپر اسمی هر فاز اینچنین بدست می آید.

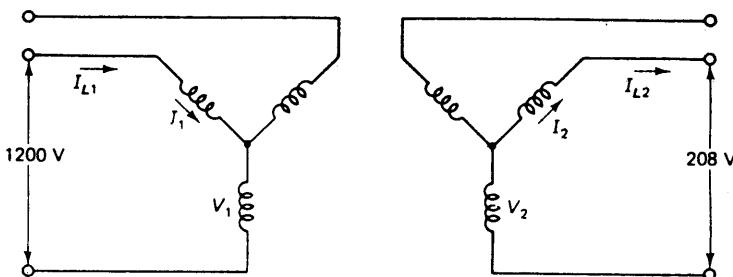
$$\frac{25 \text{ kVA}}{3} = 8.333 \text{ kVA}$$

حال مداری مطابق شکل (۳۶-۷) در نظر میگیریم چون ترانسفورماتور سه فاز ۲۵ کیلو ولت آمپر به بار میدهد، لذا ۲۵ کیلو ولت آمپر نیز از شبکه دریافت می کند. از رابطه (۴۹-۷) داریم:

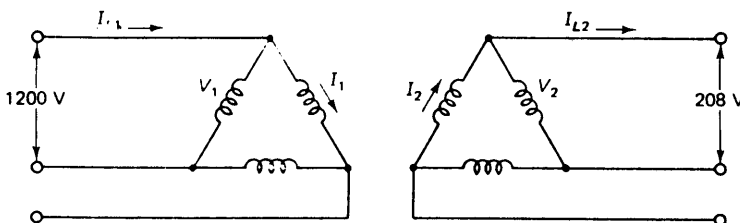
$$I_1 = I_{L1} = \frac{25,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}} = 12.03 \text{ A}$$

از رابطه (۴۷-۷) داریم:

$$V_1 = \frac{1200 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 693 \text{ V}$$



شکل ۳۶-۷ مربوط به فرض اول مثال ۲۵-۷



شکل ۳۷-۷ مربوط به فرض دوم مثال ۲۵-۷

در ثانویه ترانسفورماتور داریم:

$$I_2 = I_{L2} = \frac{25,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V}} = 69.4 \text{ A}$$

$$V_2 = \frac{208 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 120 \text{ V}$$

نسبت دورها در ترانسفورماتور از رابطه $(\gamma - 20)$ بدست می‌آید .

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{693 \text{ V}}{120 \text{ V}} = 5.78$$

باید گفت که این نسبت با نسبت ولتاژهای خطوط 1200/208 برابر است :

(۲-ب) : اتصال $\Delta-\Delta$

میدانیم اتصال سیم پیچ‌ها در توان ترانسفورماتور تاثیری ندارد لذا توان هر فاز ۸/۳۳۳ کیلو ولت آمپر است . حال مداری مطابق شکل $(\gamma - 37)$ رسم می‌کنیم . از این شکل داریم :

$$V_1 = 1200 \text{ V}$$

$$V_2 = 208 \text{ V}$$

جریانهای I_{L1} ، I_{L2} مطابق فرض (۱-الف) هستند ، زیرا کیلو ولت آمپر ترانسفورماتور و ولتاژ خطوط در هر دو حالت یکسان میباشد . از رابطه $(\gamma - 44)$ داریم :

$$I_1 = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{12.03 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 6.95 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{69.4 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 40 \text{ A}$$

نسبت دورها اینچنین است :

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200 \text{ V}}{208 \text{ V}} = 5.78$$

حال نتایج مساله را چک می‌کنیم . اگر V_1 و I_1 را ضرب کنیم باید توان ظاهری هر فاز بدست آید .

در قسمت (۱-الف) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 693 \text{ V} \times 12.03 \text{ A} \approx 8333 \text{ VA}$$

در قسمت (۲-ب) داریم :

$$V_1 \times I_1 = 1200 \text{ V} \times 6.95 \text{ A} \approx 8333 \text{ VA}$$

البته خطای محاسبات بخاطر سر راست کردن عددها در محاسبات مربوط به ولتاژها و جریانها میباشد .

یک ترانسفورماتور سه فاز افزاینده به مشخصات زیر مفروض است .

ولت = $1200/13200$ = نسبت ولتاژها

کیلو وولٹ آمپر ۱۰۰ = توان اسمی ظاہری

مطلوبست محاسبات زیر

الف: جریانشها وولتاژهای اولیه و ثانویه

ب: اگر ترانسفورماتور بار اسمی را تغذیه کند نسبت دورها را بدست آورید ،
این مساله را در دو حالت زیر حل کنید .

(١- الف) : اتصال Δ -Y

(۲-ب) : اتصال $Y-\Delta$

حل :

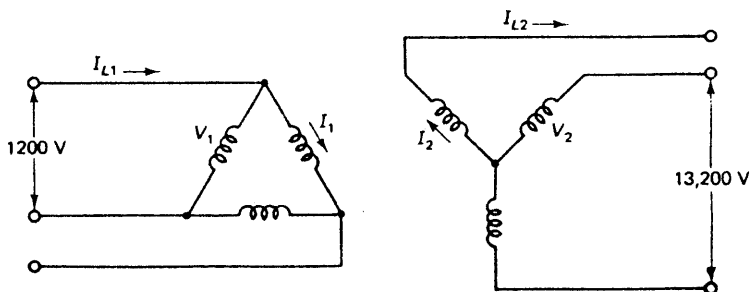
(۱- الف) توان اسمی هر فاز اینچنین بدست می آید.

کیلو ولت آمپر $\frac{100}{3} = 33.33$ = توان اسمی ہر فاز

مداری مطابق شکل (۷-۳۸) رسم می‌کنیم. از رابطه (۷-۴۹) داریم:

$$I_{L1} = \frac{100,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}} = 48.11 \text{ A}$$

$$I_{L2} = \frac{100,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 13,200 \text{ V}} = 4.37 \text{ A}$$



شکل ۷-۳۸ مدار مربوط به قسمت اول مثال ۷-۲۶

شکل (۳۸-۷) داریم:

$$I_2 = I_{L2} = 4.37 \text{ A}$$

$$I_1 = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} = \frac{48.11 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 27.78 \text{ A}$$

$$V_1 = 1200 \text{ V}$$

$$V_2 = \frac{13,200 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 7621 \text{ V}$$

نسبت دورها اینچنین است:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{1200 \text{ V}}{7621 \text{ V}} = 0.16$$

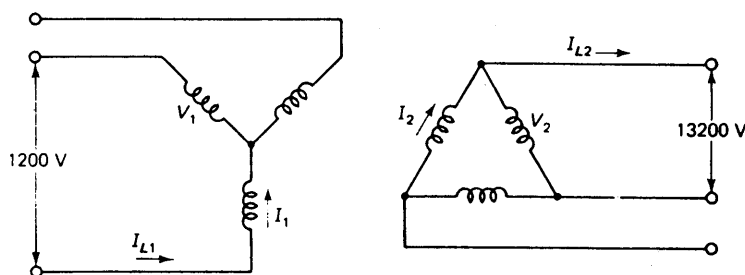
نسبت دورها در این حالت مانند مثال (۲۵-۷) دیگر مشابه نسبت ولتاژهای خطوط نمی‌باشد. (۲-ب): توان اسمی هر فاز به قرار زیر است:

$$\frac{100 \text{ kVA}}{3} = 33.33 \text{ kVA}$$

حال مداری مطابق شکل (۳۹-۷) رسم می‌کنیم. از رابطه (۴۹-۷) داریم:

$$I_{L1} = \frac{100,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}} = 48.11 \text{ A}$$

$$I_{L2} = \frac{100,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 13,200 \text{ V}} = 4.37 \text{ A}$$



شکل ۳۹-۷: مدار مربوط به قسمت دوم مثال ۲۶-۷

مشاهده میشوند که این جریانه‌ها مشابه جریانه‌های محاسبه شده در فرض (۱-الف) است. از رابطه (۳۹-۷) داریم:

$$I_1 = I_{L1} = 48.11 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} = \frac{4.37 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 2.53 \text{ A}$$

$$V_2 = 13,200 \text{ V}$$

$$V_1 = \frac{1200 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 692.8 \text{ V}$$

نسبت دورها اینچنین است:

$$a = \frac{V_1}{V_2} = \frac{692.8 \text{ V}}{13,200 \text{ V}} \\ = 0.0525$$

در اینجا نیز نسبت دورها مساوی نسبت ولتاژهای خطوط نمی‌باشد زیرا:

$$\frac{1200 \text{ V}}{13,200 \text{ V}} = 0.091$$

حال دوباره جوابها را چک میکنیم

برای فرض (۱ - الف) داریم:

$$V_1 \times I_1 = 1200 \text{ V} \times 27.78 \text{ A} = 33.3 \text{ kVA}$$

برای فرض (۲ - ب) داریم:

$$V_1 \times I_1 = 692.8 \text{ V} \times 48.11 \text{ A} = 33.3 \text{ kVA}$$

با توجه به نتایج دو مثال (۲۵ - ۷) و (۲۶ - ۷) میتوان چنین گفت:

- ۱ - در اتصال مثلث (Δ) کل ولتاژ خط بر دو سر سیم پیچ‌ها قرار میگیرد.
- ۲ - در اتصال ستاره (Y)، ۵۷٪ ولتاژ خط ($1/\sqrt{3}$) بر دو سر سیم پیچ‌ها قرار میگیرد.

از دو بند فوق نتیجه میگیریم که در ترانسفورماتورهای فشار قوی با کیلو ولت آمپر نسبتاً "پائین از اتصال $Y-Y$ استفاده میشود و این اتصال بر اتصال $\Delta-\Delta$ ترجیح دارد. زیرا اتصال $\Delta-\Delta$ در فشار ضعیف با کیلو ولت آمپر نسبتاً "بالا کاربرد دارد و بر اتصال $Y-Y$ ارجح است.

۳ - جریان سیم پیچها در اتصال Δ معادل ۵۷٪ جریان خط بوده ولی در اتصال $Y-Y$ جریان در سیم پیچها معادل جریان خط میباشد.

از بند ۳ نتیجه میگیریم که در کیلو ولت آمبرهای بالا بهتر است از ترکیبی از این دو اتصال استفاده شود ($\Delta-Y$ یا $Y-\Delta$). در نتیجه هزینه سیستم پائین می‌آید. از اتصال ($\Delta-Y$) در ترانسفورماتورهای افزایشده (ابتدای خط انتقال انرژی) استفاده میشود و از اتصال ($Y-\Delta$) در ترانسفورماتورهای کاهشده (انتهای خط انتقال انرژی) استفاده میگردد. علاوه بر مطالب فوق میتوان گفت که:

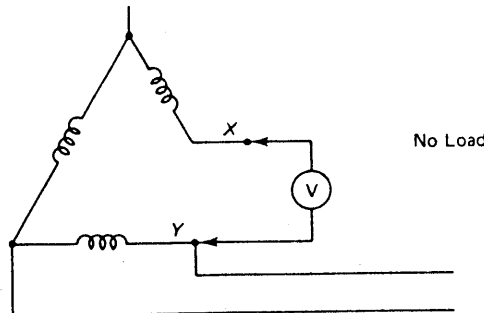
الف - در اتصال Y می‌توان به سیم خنثی (نول) دست یافت که خود مزیتی بشمار میرود.

ب - در اتصال Δ در شرایط بی‌باری میتوان سیم پیچهای یک فاز را تعویض کرد زیرا از سیم پیچها در این اتصال در حالت بی‌باری جریان عبور نمی‌کند .

ج - در اتصال Δ چون یک مدار بسته وجود دارد ، ممکن است جریان در سیم پیچها در حالت بی‌باری وجود داشته باشد ، بخصوص در مواقعی که اتصال این سیم پیچها غلط باشد ، برای تست کردن اتصال صحیح سیم پیچها در اتصال Δ آزمایشی مطابق شکل (۴۰ - ۷) ترتیب می‌دهیم . در این آزمایش قبل از اتصال نقاط X و Y ولتاژ بین این دو نقطه اندازه‌گیری میشود . اگر ولت‌متر عدد صفر یا عدد نزدیک بصفر را نشان داد اتصال صحیح است . اگر اتصال غلط باشد ، ولت‌متر عددی معادل ۲ برابر ولتاژ سیم پیچها را نشان میدهد . باید توجه کرد که این آزمایش در حالت بی‌باری صورت میگیرد .

د - یکی از مزایای اتصال Δ این است که حتی موقعیکه یکی از سیم پیچها خراب باشد ، میتوان از ترانسفورماتور بصورت مثلث باز^(۱) (V) استفاده کرد و به آن اتصال V گفته میشود .

البته باید گفت در اتصال V توان اسمی کاهش می‌یابد . مثلاً " اگر دو ترانسفورماتور تک فاز ۱۰ کیلوولت آمپری را بصورت مثلث باز ($V-V$) مورد بهره‌برداری قرار می‌دهیم ، توان اسمی مجموعه فقط ۱۷/۳ کیلوولت آمپر خواهد بود و دیگر ۲۰ کیلو ولت آمپر نمی‌باشد . مثال زیر این مطلب را روشن میکند .



شکل ۴۰ - ۷ آزمایش جهت اتصال صحیح در سیم پیچ مثلث (Δ)

مثال ۲۷ - ۷:

دو ترانسفورماتور تک فاز به مشخصات زیر مفروضاند ؛

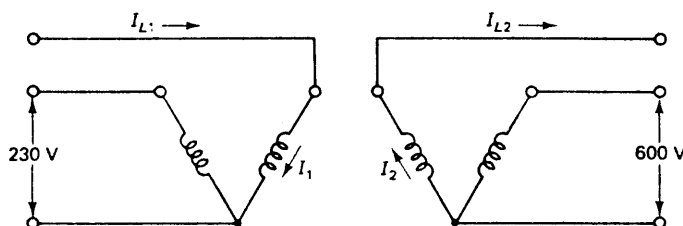
$$\text{ولت} \quad ۲۳۰/۶۶۰ = \text{نسبت ولتاژها}$$

کیلوولت آمپر ۱۰ = توان اسمی
اگر این دو ترانسفورماتور بصورت مثلث باز بهم متصل شوند .
مطلوبست :

- (الف) : جریانه‌های اسمی در اولیه و ثانویه
(ب) : کیلوولت آمپر اسمی ترانسفورماتور حاصله
(ج) : اگر از ترانسفورماتورثالثی استفاده کنیم که مشابه دو ترانسفورماتور فوق باشد و اتصال Δ ایجاد می‌کنیم . کیلوولت آمپر اسمی ترانسفورماتور را در این حالت بدست آورید .

حل :

مداری مطابق شکل (۷-۴۱) ترتیب می‌دهیم :



شکل ۷-۴۱ مدار مربوط به مثال ۷-۲۷

(الف) : از روابط (۷-۱۸) و (۷-۱۹) داریم :

$$I_1 = \frac{10,000 \text{ VA}}{230 \text{ V}} = 43.5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{10,000 \text{ VA}}{600 \text{ V}} = 16.67 \text{ A}$$

از شکل (۷-۴۱) در می‌یابیم که جریانه‌های فوق با جریانه‌های خط مساویند

$$I_{L1} = I_1 = 43.5 \text{ A}$$

$$I_{L2} = I_2 = 16.67 \text{ A}$$

(ب) : چون این ترانسفورماتور (۷-۷) بار سه فاز را تغذیه میکند لذا:

$$P_a = \sqrt{3} \times 600 \text{ V} \times 16.67 \text{ A}$$

$$= 17,320 \text{ VA} = 17.32 \text{ kVA}$$

یعنی ۸۶٪ کل مجموع توان اسمی دو ترانسفورماتور تک فاز

$$\frac{17.32}{20} \times 100\% = 86.6\%$$

(ج): اگر اتصال ترتیب دهیم در این صورت کیلو ولت آمپر اسمی اینچنین میگردد .

$$3 \times 10 \text{ kVA} = 30 \text{ kVA}$$

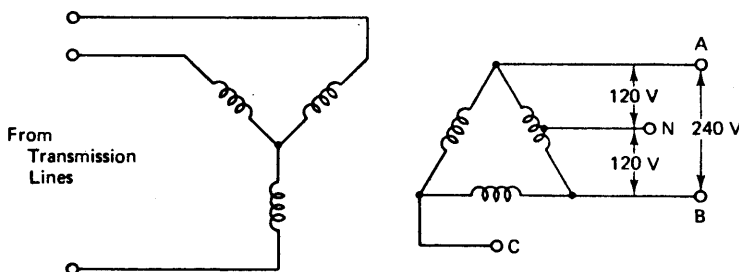
نتیجه آنکه با افزودن یک ترانسفورماتور ۱۰ کیلو ولت آمپری ظرفیت سیستم را ۱۲/۷ کیلو ولت آمپر افزایش داده ایم .

یکی دیگر از اتصالات متداول در کشور آمریکا اتصال Δ چهار سیمه میباشد (شکل ۴۲-۷) . معمولا" در خانه های کشور آمریکا سیمهای A ، B و N وارد خانه میشود و سیم N از وسط سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور منشعب می گردد . لذا در خانه های آمریکا دو نوع ولتاژ وجود دارد .

۱- ولتاژ ۱۲۰ ولتی

۲- ولتاژ ۲۴۰ ولتی

در کارخانجات صنعتی آمریکا چهار سیم A ، B ، C و N وارد میگردد ، لذا در کارخانجات هم ولتاژ تک فاز ۱۲۰ ولتی وجود دارد و هم ولتاژ سه فاز ۲۴۰ ولتی برای ماشین آلات فراهم میگردد .



شکل ۴۲-۷ اتصال Δ چهار سیمه

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 7

Symbol	Definition	Units: English and SI
V (۱)	Sinusoidal voltage	rms volts
I (۲)	Sinusoidal current	rms amps
V_m (۳)	Maximum or peak value of V	volts
I_m (۴)	Maximum or peak value of I	amperes
P_a (۵)	Apparent power	VA
P_w (۶)	Real power	W
P_r (۷)	Reactive power	var
PF (۸)	Power factor	—
f (۹)	Frequency of sinusoidal voltage	hertz
θ (۱۰)	Power factor angle	degrees
L (۱۱)	Inductance	henries
X_L (۱۲)	Inductive reactance	ohms
C (۱۳)	Capacitance	farads
X_C (۱۴)	Capacitive reactance	ohms
$ Z $ (۱۵)	Magnitude of complex impedance	ohms
ϕ_1 (۱۶)	Primary winding leakage flux	lines or webers
ϕ_2 (۱۷)	Secondary winding leakage flux	lines or webers
ϕ_m (۱۸)	Peak value of mutual flux linking primary and secondary windings	lines or webers
N_1 (۱۹)	Number of turns on primary winding	—
N_2 (۲۰)	Number of turns on secondary winding	—
E_1 (۲۱)	Voltage applied to primary winding	volts
V_1 (۲۲)	Voltage induced in primary winding	volts
V_2 (۲۳)	Voltage induced in secondary winding	volts
a (۲۴)	Transformer turns ratio	—
I_1 (۲۵)	Primary current	amperes
I_2 (۲۶)	Secondary current	amperes
I_{1r} (۲۷)	Rated primary current	amperes
I_{2r} (۲۸)	Rated secondary current	amperes
V_{1r} (۲۹)	Rated primary voltage	volts
V_{2r} (۳۰)	Rated secondary voltage	volts
I_M (۳۱)	Primary-winding magnetizing current	amperes
I_c (۳۲)	Current providing core losses	amperes
I_p (۳۳)	Current supplying real power which is eventually delivered to a load	amperes
θ_0 (۳۴)	No-load power factor angle	degrees
Z_L (۳۵)	Complex load impedance	ohms
Z_R (۳۶)	Reflected impedance	ohms
Z_{RP} (۳۷)	Secondary impedance reflected to primary	ohms
Z_{RS} (۳۸)	Primary impedance reflected to secondary	ohms
Y_L (۳۹)	Load admittance	siemen (S)
Y_1 (۴۰)	Primary admittance	siemen
Y_{RP} (۴۱)	Secondary admittance reflected to primary	siemen
Y_{RS} (۴۲)	Primary admittance reflected to secondary	siemen
R_1 (۴۳)	Equivalent resistance of primary winding	ohms
R_2 (۴۴)	Equivalent resistance of secondary winding	ohms
X_1 (۴۵)	Equivalent reactance of primary winding	ohms

Symbol	Definition	Units: English and SI
X_2 (۴۶)	Equivalent reactance of secondary winding	ohms
Z_1 (۴۷)	Equivalent impedance of primary winding	ohms
Z_2 (۴۸)	Equivalent impedance of secondary winding	ohms
R_{e1} (۴۹)	Total transformer resistance looking into primary	ohms
R_{e2} (۵۰)	Total transformer resistance looking into secondary	ohms
X_{e1} (۵۱)	Total transformer reactance looking into primary	ohms
X_{e2} (۵۲)	Total transformer reactance looking into secondary	ohms
P_{Cu} (۵۳)	Transformer copper losses	watts
P_{core} (۵۴)	Transformer core losses	watts
V_L (۵۵)	Three-phase line-to-line voltage	volts
V_p (۵۶)	Three-phase line-to-neutral (or phase) voltage	volts
I_L (۵۷)	Three-phase line current	amperes
I_p (۵۸)	Three-phase "phase" current	amperes
R_{eq} (۵۹)	Equivalent resistance of a three-phase load	ohms
I_{L1} (۶۰)	Primary-side line current of a three-phase transformer	amperes
I_{L2} (۶۱)	Secondary-side line current of a three-phase transformer	amperes

(علائم بکار برده شده در فصل هفتم)

- ۱ - ولتاژ سنیوسی
- ۲ - جریان سنیوسی
- ۳ - حداکثر یا ماکزیمم ولتاژ
- ۴ - حداکثر یا ماکزیمم جریان
- ۵ - توان ظاهری
- ۶ - توان حقیقی (اکتیو)
- ۷ - توان راکتیو
- ۸ - ضریب توان
- ۹ - فرکانس ولتاژ سنیوسی
- ۱۰ - زاویه ضریب توان
- ۱۱ - اندوکتانس
- ۱۲ - راکتانس اندوکتیو
- ۱۳ - ظرفیت خازن یا کاپاسیتانس

- ۱۴ - راکتانس کاپاستیو
- ۱۵ - مقدار امپدانس مختلط
- ۱۶ - شارنشتی در سیم پیچ اولیه
- ۱۷ - شارنشتی در سیم پیچ ثانویه
- ۱۸ - مقدار ماکزیمم شار متقابل
- ۱۹ - تعداد دور سیم پیچ اولیه
- ۲۰ - تعداد دور سیم پیچ ثانویه
- ۲۱ - ولتاژ اعمال شده به اولیه
- ۲۲ - ولتاژ القاء شده در اولیه
- ۲۳ - ولتاژ القاء شده در ثانویه
- ۲۴ - نسبت دورها (نسبت تبدیل ترانسفورماتورها)
- ۲۵ - جریان اولیه
- ۲۶ - جریان ثانویه
- ۲۷ - جریان اسمی اولیه
- ۲۸ - جریان اسمی ثانویه
- ۲۹ - ولتاژ اسمی اولیه
- ۳۰ - ولتاژ اسمی ثانویه
- ۳۱ - جریان مغناطیس شونذگی در اولیه
- ۳۲ - جریان مربوط به تلفات هسته
- ۳۳ - جریان تغذیه کننده ترانسفورماتور مربوط به توان حقیقی
- ۳۴ - زاویه ضریب توان در بی باری
- ۳۵ - امپدانس مصرف کننده با بار (عددی مختلط)
- ۳۶ - امپدانس بازتاب داده شده
- ۳۷ - امپدانس ثانویه که به طرف اولیه منتقل شده است
- ۳۸ - امپدانس اولیه که به طرف ثانویه منتقل شده است
- ۳۹ - ادمیتانس مصرف کننده (بار)
- ۴۰ - ادمیتانس اولیه
- ۴۱ - ادمیتانس ثانویه که به طرف اولیه منتقل شده است
- ۴۲ - امپدانس اولیه که به طرف ثانویه منتقل شده است
- ۴۳ - مقاومت معادل سیم پیچ اولیه
- ۴۴ - مقاومت معادل سیم پیچ ثانویه

-
- ۴۵ - راکتانس معادل سیم پیچ اولیه
 - ۴۶ - راکتانس معادل در سیم پیچ ثانویه
 - ۴۷ - امپدانس معادل در سیم پیچ اولیه
 - ۴۸ - امپدانس معادل در سیم پیچ ثانویه
 - ۴۹ - کل مقاومت ترانسفورماتور از دید اولیه
 - ۵۰ - کل مقاومت ترانسفورماتور از دید ثانویه
 - ۵۱ - کل راکتانس ترانسفورماتور از دید اولیه
 - ۵۲ - کل راکتانس ترانسفورماتور از دید ثانویه
 - ۵۳ - تلفات مسی در ترانسفورماتور
 - ۵۴ - تلفات هسته در ترانسفورماتور
 - ۵۵ - ولتاژ سه فاز (خط-خط)
 - ۵۶ - ولتاژ سه فاز (خط-نول)
 - ۵۷ - جریان سه فاز (جریان خط)
 - ۵۸ - جریان سه فاز (جریان فاز)
 - ۵۹ - مقاومت معادل در بار سه فاز
 - ۶۰ - جریان اولیه در ترانسفورماتور سه فاز (جریان خط)
 - ۶۱ - جریان ثانویه در ترانسفورماتور سه فاز (جریان خط)

فصل ہشتم

رزا تور سنکرون

THE SYNCHRONOUS ALTERNATOR

۳ صفحہ

فصل هشتم

ژنراتور سنکرون

مقدمه:

در فصل ۲ (جلد اول) هنگام بررسی قانون فاراده دریافتیم که اگر یک هادی درون یک میدان مغناطیسی حرکت کند و خطوط شار را قطع کند در این صورت در هادی مذکور ولتاژ القاء میگردد. حال اگر هادی را ساکن نگهداریم و میدان را بحرکت درآوریم بطوریکه دوبار خطوط شار هادی را قطع نماید در این صورت نیز در هادی ولتاژ القاء میگردد. در این فصل خواهیم دید که ژنراتور سنکرون بر اساس همین اصل کار میکند (میدان مغناطیسی متحرک) و در خواهیم یافت که ولتاژی بمراتب بیشتر نسبت به ژنراتور DC ایجاد میگردد. با توجه به نکات فوق نتیجه میشود که در ژنراتورهای سنکرون (۱) به حلقه‌های لغزان (۲) و جاروبک (۳) نیاز نداریم.

۸-۱ - ساختمان ژنراتور سنکرون:

8-1 BASIC CONSTRUCTION

ژنراتور سنکرون از دو قسمت اساسی تشکیل شده است:

الف: قسمت دوار که به آن رتور (۴) میگویند.

ب: قسمت ساکن که به آن استاتور (۵) اتلاق میگردد.

باید گفت که برخلاف ژنراتور DC در ژنراتور سنکرون رتور میدان مغناطیسی را بوجود می‌آورد و با چرخش محور ژنراتور این میدان بحرکت درمی‌آید، استاتور در اینگونه ژنراتورها حاوی سیم پیچ‌های ساکنی است که میتواند مصرف کننده را تغذیه نماید (شبه آرمیچر در ژنراتورهای DC). شکل (۸-۱) شمای ساده یک ژنراتور دو قطبی تک فاز را نشان میدهد.

1) Synchronous-Generator

2) Slip-Rings

3) Brushes

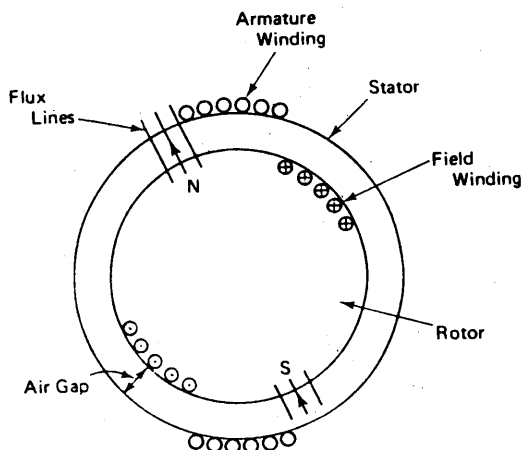
4) Rotor

5) Stator

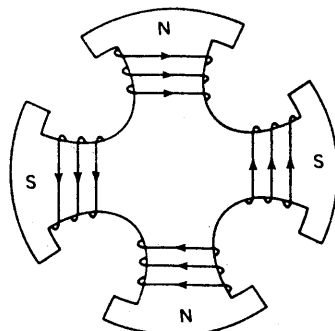
در ژنراتورهای سنکرون سیم پیچ تحریک که موجب میدان مغناطیسی است بر روی شیارهائی در رتور جاسازی میگردد. باید گفت که سیم پیچی تحریک در ژنراتور سنکرون توسط یک منبع ولتاژ DC قابل تنظیم بنام تحریک کننده (۱) یا اکسایتر تغذیه میشود و با کنترل و تنظیم ولتاژ اکسایتر میتوان ولتاژ تولید شده در ترمینالهای ژنراتور سنکرون را کنترل و تنظیم نمود. اکسایترها بر دو نوع اند؛

الف؛ اکسایتر از نوع الکترونیکی

ب؛ اکسایتر از نوع ژنراتور DC که بر روی محور ژنراتور سنکرون نصب میگردد. رتور نشان داده شده در شکل (۱-۸) از نوع رتور صاف (۲) یا استوانه‌ای بوده و همانطور که از شکل پیداست این رتور دو قطبی است زیرا سیم پیچ تحریک دو قطب شمال و جنوب (مثبت و منفی) ایجاد میکند.



شکل ۱-۸: شمای یک ژنراتور دو قطبی تک فاز با قطبهای صاف یا استوانه‌ای



شکل ۲-۸: شمای یک رتور ۴ قطبی از نوع قطب برجسته

معمولا "رتور صاف" (استوانه‌ای) برای ماشینهای دو قطبی بکار میروند و در سرعتهای زیاد از اینگونه رتورها استفاده میشود، در ژنراتورهایی که بیش از دو قطب دارند معمولا "از رتورهای با قطب برجسته" (۱) استفاده میکنند (شکل ۲-۸) .

سیم پیچهای استاتور درون شیارهای (۲) بدنه (قسمت ساکن) ماشین جاسازی میشوند، با چرخش میدان مغناطیسی حاصله از رتور، خطوط شار هادیهای استاتور را قطع میکنند و این هادیها معمولا "طوری در محیط استاتور توزیع شده‌اند تا ولتاژی سینوسی در آنها القاء گردد. با توجه به شکل (۱-۸) میتوان گفت که اگر رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) یک سیکل کامل از ولتاژ سینوسی (ولتاژ AC) در سیم پیچ استاتور القاء میگردد (۳۶۰ درجه الکتریکی). باید توجه کرد که چون در شکل (۱-۸) سیم پیچ استاتور تک فاز است فقط یک ولتاژ AC پدیدار میگردد، حال اگر در شکل (۱-۸) بجای رتور دو قطبی از رتور چهار قطبی استفاده میکردیم باز هم ولتاژ تک فاز AC تولید می‌شد، اما در این حالت هرگاه رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) در این صورت دو سیکل از ولتاژ سینوسی حاصل میشود (۷۲۰ درجه الکتریکی) .

۲-۸ رابطه مربوط به فرکانس در ژنراتور سنکرون :

8-2 FREQUENCY RELATIONSHIP

از مطالب بخش قبل در می‌یابیم که فرکانس ولتاژ تولید شده تابع عوامل زیر است :

الف: تعداد قطبها

ب: سرعت رتور

همچنین میتوان گفت که اگر رتور دو قطبی با سرعت ۱ دور در دقیقه بچرخد فرکانس ولتاژ تولید شده یک هرتز خواهد بود، لذا رابطه کلی بقرار زیر است :

$$f(\text{Hz}) = \frac{\text{number of poles}}{2} \times \frac{\text{rev}}{s} \quad (8-1)$$

بنابراین میتوان رابطه اخیر را برای دو سیستم آحادی مختلف اینچنین نوشت .

در سیستم ENG داریم :

$$f = \frac{SP}{120} \quad (8-2a)$$

در سیستم SI داریم :

$$f = \frac{\omega P}{4\pi} \quad (8-2b)$$

در این روابط داریم :

p : تعداد قطبها

f : فرکانس (بر حسب هرتز)

s : سرعت رتور بر حسب دور در دقیقه

W : سرعت رتور بر حسب رادیان بر ثانیه

مثال ۱-۸ (سیستم ENG) :

میخواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتور سنکرونی ۶۰ هرتز باشد .

الف : اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد ، محور ژنراتور را با چه سرعتی بچرخانیم (سرعت رتور) .

ب : اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۶۰۰ دور در دقیقه باشد ، ژنراتور باید چند قطبی اختیار شود .

حل :

الف : با استفاده از رابطه (۸-۲ a) داریم :

$$S = 120 \times \frac{60 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}}$$

$$= 1800 \text{ rev/min}$$

ب : با استفاده از رابطه (۸-۲ a) داریم :

$$P = 120 \frac{f}{s}$$

$$P = 120 \times \frac{60 \text{ Hz}}{600 \text{ rev/min}} = 12 \text{ poles}$$

مثال ۲-۸ (سیستم SI) :

میخواهیم فرکانس ولتاژ سنکرونی ۵۰ هرتز باشد :

الف : محور ژنراتور (رتور) را با چه سرعتی باید بچرخانیم .

ب : اگر سرعت رتور (محور ژنراتور) ۸۰۰ رادیان بر ثانیه باشد ، رتور چند قطبی باید اختیار شود .

حل :

الف : از رابطه (۸-۲ b) داریم :

$$\omega = 4 \times \pi \times \frac{50 \text{ Hz}}{6 \text{ poles}} = 104.7 \text{ rad/s}$$

ب: با استفاده از رابطه (۸-۲) داریم:

$$P = \frac{4\pi f}{\omega}$$

$$= \frac{4 \times \pi \times 50 \text{ Hz}}{80 \text{ rad/s}} = 7.85 \text{ poles}$$

چون تعداد قطبها همواره عددی زوج میباشد لذا باید ژنراتور ۸ قطبی اختیار شود، در نتیجه باید سرعت را تغییر دهیم تا فرکانس ۵۰ هرتز بدست آید، برای این منظور از رابطه (۸-۲) استفاده میکنیم:

۸-۳ ولتاژ تولید شده در سیم پیچهای استاتور 8-3 THE GENERATED VOLTAGE

ولتاژ تولید شده در سیم پیچهای استاتور مربوط به ژنراتور سنکرون (شکل ۱-۸)، به عوامل زیر بستگی دارد.

الف: P (تعداد قطبها)

ب: ϕ (شار هر قطب)

ج: Z (تعداد هادیها در سیم پیچ استاتور) (۱)

باید توجه کرد که گاهی اوقات به سیم پیچهای استاتور لفظ سیم پیچهای آرمیچر نیز اطلاق میگردد، با توجه به رابطه (۲-۲) (جلد اول) میتوان روابط زیر را بدست آورد:

در سیستم ENG داریم:

$$E_p = 0.0185z\phi PS \times 10^{-8} \quad (8-3a)$$

در سیستم SI داریم:

$$E_p = \frac{1.11z\phi P\omega}{2\pi} \quad (8-3b)$$

در روابط اخیر کمیتها بقرار زیراند:

الف: E_p ولتاژ موثر (rms) تولید شده برای سیم پیچ تکفاز استاتور میباشد

(شکل ۱-۸)

ب: S و ω سرعت دوران رتور در نظر گرفته شدهاند.

با جایگزینی روابط (۸-۲) در معادلات (۸-۳) میتوان چنین نوشت:

در سیستم ENG داریم:

$$E_p = 2.22z\phi f \times 10^{-8} \quad (8-4a)$$

در سیستم SI داریم:

$$E_p = 2.22z\phi f \quad (8-4b)$$

مثال ۳-۸ (سیستم ENG):

در یک هواپیما ژنراتور تکفازی وجود دارد که فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند. سیم پیچ استاتور (آرمیچر) این ژنراتور شامل ۱۰۰ دور میباشد (۲۰۰ عدد هادی). اگر بخواهیم ولتاژ موثری معادل ۶۰ ولت تولید شود. شار هر قطب در این ژنراتور را بیابید.

حل:

از رابطه (a-۴) داریم

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{E_p}{2.22zf \times 10^{-8}} \\ &= \frac{60}{2.22 \times 200 \times 400 \times 10^{-8}} \\ &= 33,784 \text{ lines} \approx 33.78 \text{ kilolines} \end{aligned}$$

مثال ۴-۸ (سیستم SI):

در یک هواپیما ژنراتور تکفازی وجود دارد که فرکانس ۴۰۰ هرتز ایجاد میکند. سیم پیچ استاتور این ژنراتور شامل ۱۲۰ دور میباشد (۲۴۰ عدد هادی). اگر بخواهیم ولتاژ موثری معادل ۵۴ ولت ایجاد شود، شار هر قطب در این ژنراتور را بیابید.

حل:

از رابطه (b-۴) داریم:

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{E_p}{2.22zf} \\ &= \frac{54}{2.22 \times 240 \times 400} \\ &= 0.253 \times 10^{-3} \text{ Wb} \end{aligned}$$

۴-۸ ژنراتور سنکرون سه فاز: 8-4 THE THREE-PHASE ALTERNATOR

امروزه ژنراتورهای سنکرون سه فاز از مقبولیت خاصی برخوردارند. شکل (۳-۸) شمای ساده اینگونه ژنراتورها را نشان میدهد. همانطور که می بینیم استاتور شامل سه سیم پیچ جداگانه است و در هر یک از این سیم پیچ ها ولتاژ AC القاء میگردد. از آنجائیکه سیم پیچ های A، B، C حاوی تعداد مشابهی هادی (z) میباشد، لذا مقدار ولتاژ تولید شده در این سه سیم پیچ یکسان خواهد بود. اما چون سه سیم پیچ نسبت به

یکدیگر بر روی محیط استاتور ۱۲۰ درجه فاصله دارند ، لذا ولتاژهای تولید شده در این سه سیم پیچ نیز بایکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز خواهند داشت . (مشابه شکل ۲۹-۷) .

حال دوباره وضعیت نشان داده شده در شکل (۳-۸) را مورد توجه قرار میدهیم : الف ؛ در وضعیت نشان داده شده در شکل (۳-۸) حداکثر ولتاژ در سیم پیچ A تولید میشود و A نسبت به B مثبت است ، این مطلب را میتوان به سهولت از رابطه فلیمینگ (جلد اول) دریافت .

ب ؛ اگر رتور ۱۲۰ درجه نسبت به وضعیت قبلی بچرخد در این صورت حداکثر ولتاژ در سیم پیچ C تولید میشود و C نسبت به B' مثبت خواهد بود .

ج ؛ اگر رتور ۱۲۰ درجه دیگر بچرخد در این صورت حداکثر ولتاژ در سیم پیچ B حاصل میگردد و B نسبت به B'' مثبت میشود .

د ؛ اگر رتور ۱۲۰ درجه دیگر بچرخد دوباره وضعیت اول حاصل میگردد و ولتاژها سیکلهائی مشابه بندهای "الف" و "ب" و "ج" را طی خواهند کرد .

در شکل (۳-۸) با توجه به جهت چرخش توالی فازها ACB بوده و اگر جهت چرخش را عوض کنیم توالی فازها ABC میگردد .

۱-۴-۸ طرز اتصال سیم پیچهای استاتور : 8-4.1 Alternator Connections

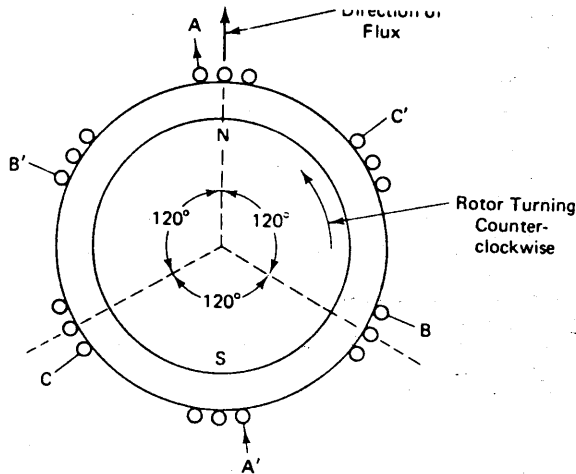
اگر سیم پیچهای سه فاز استاتور را بطرق مختلف بیکدیگر مربوط سازیم ، مشخصه های مختلفی برای ژنراتور حاصل میگردد .

الف ؛ اگر در شکل (۳-۸) سرهای A' ، B' و C' در داخل ماشین بهم وصل شوند و سرهای A ، B و C بخارج ماشین برده شوند و ترمینالهای ماشین را تشکیل دهند در این صورت اتصال سیم پیچهای استاتور از نوع ستاره (Y) خواهد بود (شکل a ۴-۸) . ب ؛ اگر سرهای A' به C ، C' به B و B' به A در درون ماشین بهم وصل شوند در این صورت نوع اتصال سیم پیچها مثلث (Δ) خواهد بود . البته سرهای A ، B و C به خارج ماشین برده میشوند تا ترمینالهای ماشین را تشکیل دهند . (شکل b ۴-۸)

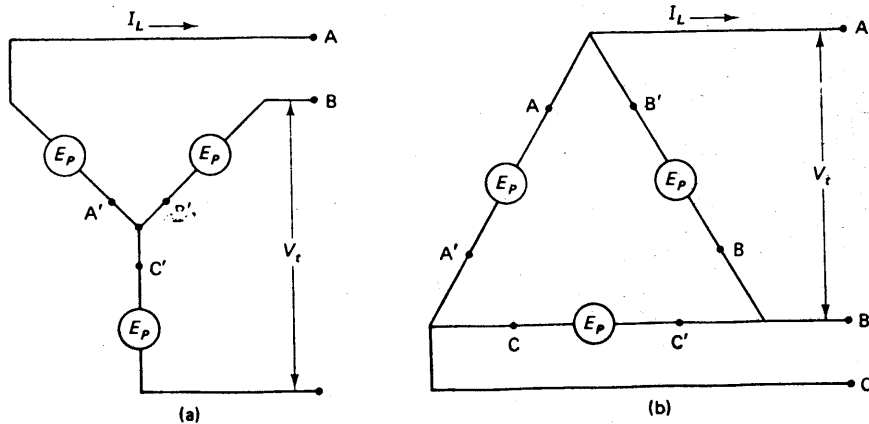
در شکل (a ۴-۸) ولتاژ ترمینال ژنراتور (V_L) معادل $\sqrt{3} \times E_p$ خواهد بود و جریان خط با جریان سیم پیچهای استاتور برابر میگردد . در شکل (b ۴-۸) ولتاژ ترمینال (V_L) معادل E_p بوده و جریان خط $\sqrt{3}$ برابر جریان سیم پیچهای استاتور میگردد . اما باید گفت که در هر دو حالت توان ظاهری (kVA) تولید شده توسط ژنراتور مفروض یکسان خواهد بود .

در نتیجه اگر بخواهیم ژنراتوری توان ظاهری مفروض را تحت ولتاژ زیاد و جریان

کم تولید نماید باید از اتصال ستاره (Y) استفاده شود. اگر ژنراتور مزبور را بصورت مثلث (Δ) مورد بهره‌برداری قرار دهیم توان ظاهری مشابه حالت ستاره تولید میکند، اما این بار این توان تحت ولتاژ کم و جریان زیاد حاصل میگردد.



شکل ۳-۸: شمای یک ژنراتور سنکرون سه فاز



شکل ۴-۸: طرز اتصال سیم پیچ‌های استاتور

a: ژنراتور سنکرون سه فاز با اتصال ستاره

b: ژنراتور سنکرون سه فاز با اتصال مثلث

۲-۴-۸ مقادیر اسمی ژنراتور سنکرون سه فاز:

8-4.2 Alternator Ratings

مانند ترانسفورماتورهای سه فاز برای ژنراتورهای سنکرون سه فاز نیز مقادیر

اسمی تعریف میشود:

الف: ولتاژ اسمی ترمینال

ب: توان ظاهری اسمی

ج: سرعت اسمی

حال قدری درباره کمیتهای فوق توضیح می دهیم .

الف: ولتاژ اسمی ژنراتور، ولتاژ "خط-خط" در ترمینال ماشین هنگام تحویل توان اسمی (kVA) میباشد .

ب: توان اسمی ژنراتور آن مقدار توانی است (بر حسب kVA) که می تواند تحت ولتاژ اسمی بدون در دسر تحویل مصرف کننده بدهد .

با توجه به نکات فوق هرگاه ژنراتور سنکرون توان اسمی خود را تحت ولتاژ اسمی تحویل دهد، جریان خط در ژنراتور همان جریان اسمی خواهد بود و آنرا میتوان از رابطه (۴۹-۷) بدست آورد . مثلاً اگر بر روی پلاک ژنراتوری اعداد ۱۰ kVA و ۲۰۸۷ بجشم بخورد، به مفهوم آن است که این ژنراتور میتواند توان ظاهری سه فازی معادل ۱۰ KVA را تحت ولتاژ ۲۰۸ ولت (خط-خط) تحویل مصرف کننده بدهد . باید گفت که در شرایط بی باری جریان خط و توان ظاهری تحویلی به بار صفر میباشد . در این حالت ولتاژ ترمینال بیش از ۲۰۸ ولت (خط-خط) خواهد بود . در این باره در بخش (۶-۸) بیشتر صحبت میکنیم . در ادامه باید گفت که سرعت اسمی ژنراتور آنچنان سرعتی است که باید رتور تحت آن چرخانده شود تا فرکانس مطلوب، ولتاژ اسمی و توان ظاهری اسمی بخوبی حاصل شوند .

8-5 ALTERNATOR EQUIVALENT CIRCUIT

۵-۸ مدار معادل ژنراتور سنکرون سه فاز:

همانطور که میدانیم سیم پیچ های استاتور درون شیارهایی در بدنه ماشین جاسازی شده اند، لذا دارای مقاومت و اندوکتانس میباشد . در نتیجه بنظر میرسد که مدار معادل هر فاز (۱) استاتور شبیه شکل (۵-۸) باشد و با توجه به شکل میتوان چنین گفت:

الف: r_p مقاومت هر فاز سیم پیچ های استاتور است .

ب: x_p راکتانس سنکرون (۲) هر فاز سیم پیچ های استاتور نامیده میشود .

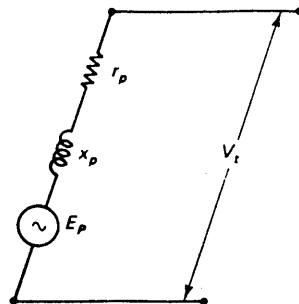
چون اکثر ژنراتورها جریان زیادی را تحویل مصرف کننده ها میدهد، لذا سیم پیچ های

1) Perphase, Equivalent, Circuit

2) Synchronous, Reactance

استاتور ضخیم انتخاب میشوند در نتیجه x_p به مراتب از r_p بزرگتر است. معمولاً "حدود ۱۰ برابر r_p میباشد. امپدانس سنکرون ژنراتور^(۱) اینچنین تعریف میشود:

$$-Z_s = \sqrt{r_p^2 + x_p^2} \quad (8-5)$$

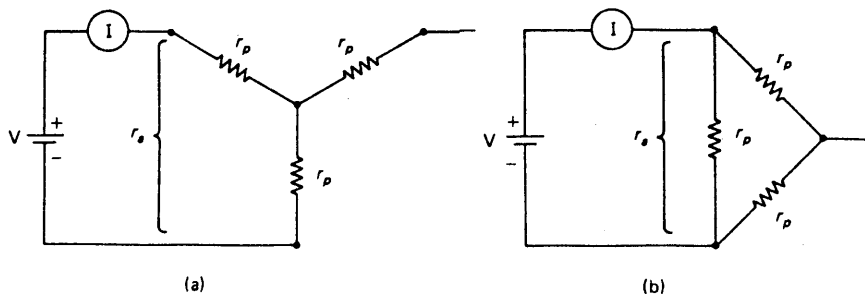


شکل ۵-۸. مدار معادل مربوط به هر فاز استاتور در ژنراتور سنکرون سه فاز

8-5.1 Resistance Measurement

۵-۸-۱ اندازه‌گیری مقاومت سیم پیچ‌های استاتور:

مقاومت هر فاز استاتور را معمولاً "توسط اعمال ولتاژ DC به ترمینالهای ماشین اندازه‌گیری میکنند. شکلهای (a) و (b) مدار این آزمایش را برای اتصالهای ستاره و مثلث (Y و Δ) نشان میدهد.



شکل ۵-۸: مدارهای مربوط به آزمایش تعیین مقاومت هر فاز استاتور در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

b: اتصال مثلث Δ

a: اتصال ستاره Y

در شکل‌های (a-۶) و (b-۶) از تقسیم ۱۷ بر ۱ مقاومت r_a حاصل میگردد. بسهولت برای دو نوع اتصال داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Y connection: } r_p' = \frac{r_a}{2} \\ \Delta \text{ connection: } r_p' = \frac{3r_a}{2} \end{array} \right\} \quad (8-6)$$

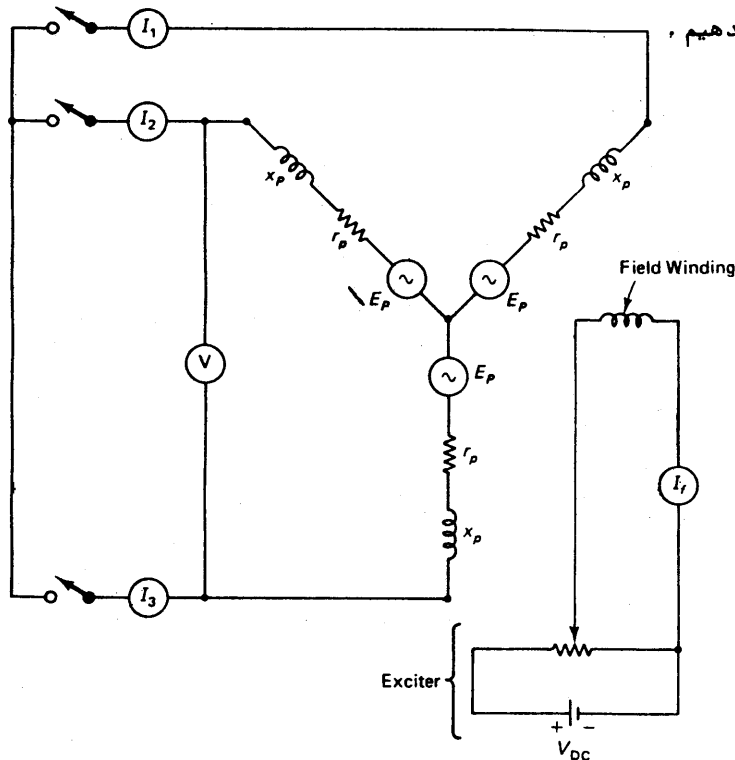
r_p' مقاومت DC هر فاز سیم پیچ‌های استاتور میباشد. مقاومت موثر یا مقاومت AC سیم پیچ‌های استاتور (r_p) اینچنین بدست می‌آید.

$$r_p = 1.4r_p' \quad (8-7)$$

اثبات رابطه اخیر از حوصله کتاب خارج است.

۲-۵- اندازه‌گیری راکتانس سنکرون:

برای اندازه‌گیری راکتانس سنکرون از دو آزمایش استفاده میشود و مدار معادل این دو آزمایش در شکل (۷-۸) رسم شده است. این آزمایش برای دو اتصال ستاره یا مثلث (Y یا Δ) صادق است ولی ما در اینجا فقط حالت ستاره (Y) را مورد بررسی قرار میدهم.



شکل ۷-۸: مدار مربوط به آزمایش تعیین امپدانس سنکرون در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

در اولین آزمایش که به آزمایش اتصال کوتاه^(۱) معروف است، ژنراتور را با سرعت اسمی میچرخانیم و جریان تحریک^(۲) را در ابتدا صفر میکنیم ($I_f = 0$). حال تمامی کلیدها را می‌بندیم (اتصال کوتاه برقرار میشود) و آرام آرام جریان تحریک (I_f) را زیاد میکنیم تا اینکه سه آمپر متر جریان اسمی ژنراتور را نشان میدهند، حال I_1 ، I_2 و I_3 را یادداشت میکنیم، جریانهای آمپر مترها نمایانگر جریان اتصال کوتاه استاتور است که در این آزمایش معادل جریان اسمی خواهند بود، چون اتصال استاتور از نوع ستاره است (γ) لذا جریان امپر مترها معادل جریان اسمی هر فاز استاتور خواهد بود (چرا؟). ما در اینجا این جریان را با I_{sc} نشان میدهیم:

$$I_{sc} = \text{جریان اسمی} = \text{جریان اتصال کوتاه}$$

در آزمایش دوم که به آزمایش مدار باز^(۳) (بی‌باری) موسوم است کلیدها را باز میکنیم و ژنراتور را تحت سرعت اسمی میچرخانیم. جریان تحریک (I_f) را آنقدر زیاد میکنیم تا به مقدار یادداشت شده در تست اول برسد. حال ولتاژ نشان داده شده در ولت‌متر میخوانیم (V). این ولتاژ $\sqrt{3}$ برابر ولتاژ تولید شده در هر فاز ژنراتور است. لذا ولتاژ خوانده شده توسط ولت‌متر را بر $\sqrt{3}$ تقسیم میکنیم تا ولتاژ تولید شده در هر فاز ژنراتور (E_p) بدست آید. این عدد را با V_{oc} نشان میدهیم.

به سادگی در می‌یابیم که:

$$Z_s = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \quad (8-8)$$

اثبات رابطه اخیر بعهدہ دانشجویان است؛

اما میدانیم مقاومت از رابطه $(\gamma - 8)$ بدست می‌آید. لذا با استفاده از روابط

$$(\gamma - 8) \text{ و } (\gamma - 8) \text{ داریم:}$$

$$x_p = \sqrt{Z_s^2 - r_p^2} \quad (8-9)$$

مثال ۵-۸:

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است؛

کیلوولت آمپر ۵۰ = توان اسمی

ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

1) Short-Circuit-Test 2) Field-Current

3) Open-Circuit-Test

هرتز $\omega = 6$ فرکانس اسمی

ستاره Y = نحوه اتصال سیم پیچهای استاتور

این ژنراتور را مطابق شکلهای (۸-۶a) و (۸-۷) مورد آزمایش قرار میدهم نتایج این آزمایشها به قرار زیر است؛

$I = 22 \text{ A}$ ولت $V = 2$: تست مربوط به مقاومت (شکل ۸-۶a)

$I_f = 22 \text{ A}$ جریان اسمی $I_{sc} = I_1 = I_2 = I_3 = I_4$: تست اتصال کوتاه

$I_p = 22 \text{ A}$ ولت $V = 95$: تست مدار باز (شکل ۸-۷)

مطلوبست محاسبه r_p ، x_p و Z_s برای این ژنراتور.

حل:

با توجه به شکل (۸-۶a) در می یابیم که:

$$r_a = \frac{V}{I} = \frac{2 \text{ V}}{22 \text{ A}} = 0.091 \Omega$$

$$r_p' = \frac{0.091 \Omega}{2} = 0.045 \Omega$$

با توجه به رابطه (۸-۷) میتوان مقاومت موثر هر فاز را اینچنین حساب کرد:

$$r_p = 1.4 \times 0.045 \Omega = 0.064 \Omega$$

با توجه به نتایج تست مدار باز (بی بار) میتوان ولتاژ مدار باز هر فاز (V_{oc})

را حساب کرد:

$$V_{oc} = \frac{95 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 54.8 \text{ V}$$

در تست اتصال کوتاه، جریان اتصال کوتاه (I_{sc}) همان جریان اسمی خط میباشد و چون اتصال استاتور ستاره (Y) میباشد، لذا جریان فاز و جریان خط با هم برابراند. در نتیجه از رابطه (۸-۴۹) داریم:

$$\begin{aligned} I_{sc} &= \frac{50,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 220 \text{ V}} \\ &= 131.22 \text{ A} \end{aligned}$$

از رابطه (۸-۸) میتوان Z_s را بدست آورد.

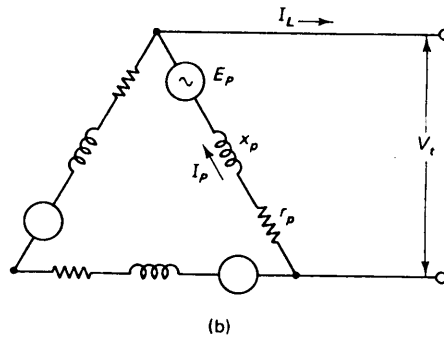
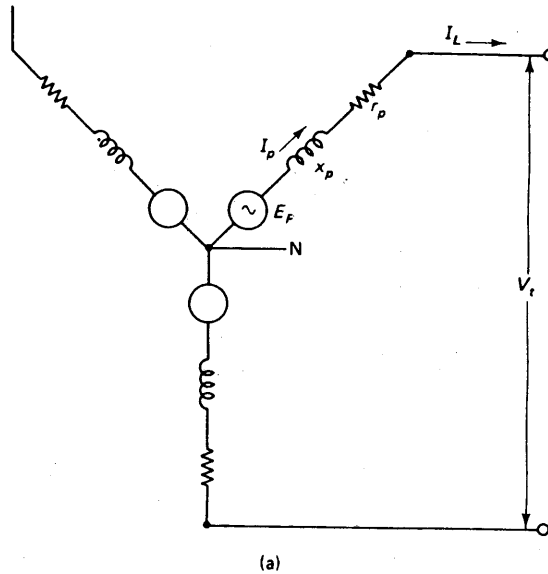
$$Z_s = \frac{54.8 \text{ V}}{131.22 \text{ A}} = 0.42 \Omega$$

بالاخره از رابطه (۸-۹) میتوان x_p را که همان راکتانس موثر فاز میباشد بدست آورد:

$$x_p = \sqrt{(0.42)^2 - (0.064)^2}$$

$$= 0.419 \approx 0.42 \Omega$$

باید گفت که x_p به مراتب از r_p بزرگتر است و قسمت اعظم Z_s را همان x_p تشکیل میدهد.



شکل ۸-۸: شمای دو اتصال متداول برای استاتور ژنراتور سنکرون سه فاز
a: اتصال ستاره γ b: اتصال مثلث Δ

8-6 VOLTAGE REGULATION

۸-۶ تنظیم ولتاژ:

در بخش (۵-۸) مدار معادل ژنراتور سنکرون را معرفی کردیم و دیدیم که این

مدار معادل شباهتی چند با مدار معادل ترانسفورماتور (فصل ۷) دارد، لذا برای

میتوان تنظیم ولتاژ در ژنراتور را تخمین زد. با توجه به این نکات میتوان با استفاده از رابطه (۳۷-۷) تنظیم ولتاژ ژنراتور را ارزیابی نمود، اما نکته‌ای که باید به آن توجه کرد آن است که نباید ولتاژ خط و ولتاژ فاز باعث سردرگمی ما گردد. از آنجائیکه مدار معادل معرفی شده و مربوط به هر فاز ژنراتور است، مانیز از کمیت‌های مربوط به فاز برای ارزیابی تنظیم ولتاژ استفاده میکنیم، شکل (۸-۸) به ماکم میکند که موضوع را بهتر درک کنیم. در تحت شرایط اسمی (بار کامل) داریم:

$$I_L = \text{جریان اسمی خط}$$

$$V_L = \text{ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)}$$

در دو نوع اتصال ستاره و مثلث (شکل ۸-۸) داریم:

$$V_L / \sqrt{3} = \text{ولتاژ هر فاز در شرایط اسمی در اتصال ستاره}$$

$$V_L = \text{ولتاژ هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث}$$

$$I_L = I_p = \text{جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال ستاره}$$

$$I_p = I_L / \sqrt{3} = \text{جریان هر فاز در شرایط اسمی در اتصال مثلث}$$

با توجه به نکات فوق و استفاده از تئوری مدار براحتی میتوان ولتاژ تولید شده در هر فاز (E_p) را حساب کرد.

در شرایط بی‌باری جریانها صفر بوده و افت ولتاژ در r_p و x_p بدست نمی‌آید، لذا در این شرایط داریم:

$$E_p = \text{ولتاژ بی‌باری مربوط به هر فاز در ترمینال ماشین}$$

با توجه به رابطه زیر که شباهتی چند با رابطه (۳۸-۷) دارد میتوان E_p را در شرایط بار کامل (بار اسمی) حساب کرد:

$$E_p = \sqrt{(V_p r_p + V_{FL} \cos \theta)^2 - (I_p x_p \pm V_{FL} \sin \theta)^2} \quad (8-10)$$

(+ for lagging PF. - for leading PF)

باید توجه کرد که علامت (+) مربوط به ضریب توان پس فاز و علامت (-) مربوط به ضریب توان پیش فاز است. باید متذکر شد که در رابطه (۱۰-۸) داریم:

$$I_p = \text{جریان اسمی هر فاز ماشین}$$

$$V_{FL} = \text{ولتاژ اسمی هر فاز در ترمینال ژنراتور سنکرون}$$

$$x_p = \text{راکتانس سنکرون هر فاز ژنراتور}$$

$$r_p = \text{مقاومت موثر هر فاز ماشین}$$

$$\cos \theta = \text{ضریب توان مصرف کننده متصل به ژنراتور}$$

باید دانست E_p که همان ولتاژ هر فاز ترمینال ماشین در حالت بی‌باری است و برای

سهولت آنرا با V_{NL} نشان میدهیم . لذا میتوان درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور سنکرون سه فاز را بدست آورد ؛

$$\% \text{ voltage regulation} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100 \quad (8-11)$$

مثال ۶-۸ :

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

- | | | |
|--------------|------|---------------------------------|
| کیلوولت آمپر | ۱۰۰ | = توان اسمی |
| ولت | ۱۲۰۰ | = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط) |
| ستاره Y | | = طرز اتصال سیم پیچهای استاتور |
| اهم | ۰/۱۲ | = مقاومت هر فاز استاتور |
| اهم | ۱/۵ | = راکتانس سنکرون هر فاز ماشین |
- مطلوبست محاسبه تنظیم ولتاژ در شرایط بار اسمی (بار کامل) در تحت شرایط زیر :
- الف : ضریب توان بار واحد در نظر گرفته شود .
- ب : ضریب توان بار معادل ۰/۹ پس فاز باشد .
- ج : ضریب توان بار برابر ۰/۹ پیش فاز باشد .
- د : ولتاژ بی باری در ماشین در فرض ج را پیدا کند (ولتاژ خط) .

حل :

الف : از رابطه (۴۹-۷) استفاده کرده و جریان اسمی (جریان خط) را حساب

میکنیم .

$$I_L = \frac{1,000,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}} \\ = 481 \text{ A}$$

چون اتصال سیم پیچهای استاتور ستاره (Y) میباشد ، لذا :

$$I_p = I_L = 481 \text{ A}$$

حال ولتاژ اسمی مربوط به هر فاز در ترمینال ماشین را حساب میکنیم :

$$V_{FL} = \frac{1200 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 693 \text{ V}$$

با توجه به ضریب توان مربوطه داریم :

$$\cos \theta = 1$$

$$\sin \theta = 0$$

$$\theta = 0^\circ$$

حال میتوان با توجه به رابطه (۱۰-۸) اینچنین نوشت:

$$\begin{aligned} E_p &= \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 1)^2 + (481 \times 1.5 + 693 \times 0)^2} \\ &= \sqrt{(750.72)^2 + (721.5)^2} = 1041.2 \text{ V} \end{aligned}$$

$$V_{NL} = E_p = 1041.2 \text{ V}$$

$$V_{FL} = 693 \text{ V}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1041.2 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 50.2\%$$

ب: V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان فرض کرده است.

لذا:

$$\text{PF} = 0.9 \text{ lagging}$$

$$\cos \theta = 0.9$$

$$\theta = 25.84^\circ$$

$$\sin \theta = 0.44$$

از رابطه (۱۰-۸) داریم:

$$\begin{aligned} E_p &= \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 0.9)^2 + (481 \times 1.5 + 693 \times 0.44)^2} \\ &= 1232 \text{ V} \end{aligned}$$

پس:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1232 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 77.78\%$$

ج: در این حالت نیز V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان تغییر کرده است لذا:

$$\begin{aligned} E_p &= \sqrt{(481 \times 0.12 + 693 \times 0.9)^2 + (481 \times 1.5 - 693 \times 0.44)^2} \\ &= 798.67 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\% \text{ V.R.} = \frac{798.67 \text{ V} - 693 \text{ V}}{693 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 15.2\%$$

د: با توجه به نتایج بند "ج" براحتی داریم:

$$\begin{aligned} E_{\text{NL}} &= \sqrt{3} E_p = \sqrt{3} \times 798.67 \text{ V} \\ &= 1383.3 \text{ V} \end{aligned}$$

باید خاطر نشان ساخت که این ولتاژ را در حالت بی‌باری ژنراتور بین دو خط خروجی اندازه‌گیری میکنیم (چرا؟).

مثال ۷-۸:

مثال (۸-۶) را تکرار کنید ولی این بار اتصال سیم پیچ‌های استاتور را از نوع مثلث (Δ) در نظر بگیرند. سایر مقادیر بقوت خود باقی هستند.

حل:

الف: ابتدا از رابطه (۷-۴۹) جریان اسمی (جریان خط) را حساب میکنیم

$$I_L = \frac{1,000,000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 1200 \text{ V}}$$

$$= 481 \text{ A}$$

چون نحوه اتصال سیم پیچ‌های استاتور مثلث (Δ) است، لذا:

$$I_p = \frac{I_L}{\sqrt{3}} = \frac{481 \text{ A}}{\sqrt{3}} = 277.7 \text{ A}$$

در اتصال مثلث (Δ) داریم:

$$V_{FL} = 1200 \text{ V}$$

لذا از رابطه (۸-۱۰) داریم:

$$E_p = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 1)^2 + (277.7 \times 1.5 + 0)^2}$$

$$= 1301.8 \text{ V}$$

پس:

$$V_{NL} = E_p = 1301.8 \text{ V}$$

$$V_{FL} = 1200 \text{ V}$$

در نتیجه:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1301.8 \text{ V} - 1200 \text{ V}}{1200 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 8.4\%$$

ب: V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان فرق کرده است. از رابطه (۸-۱۰) داریم:

$$E_p = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 0.9)^2 + (277.7 \times 1.5 + 1200 \times 0.44)^2}$$

$$= 1460 \text{ V}$$

پس:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1460 \text{ V} - 1200 \text{ V}}{1200 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = 21.67\%$$

ج: V_{FL} و I_p مشابه بند "الف" هستند (چرا؟) و فقط ضریب توان عوض شده است. از رابطه (۱۰-۸) داریم:

$$E_p = \sqrt{(277.7 \times 0.12 + 1200 \times 0.9)^2 + (277.7 \times 1.5 - 1200 \times 0.44)^2}$$

$$= 1119 \text{ V}$$

پس:

$$\% \text{ V.R.} = \frac{1119 \text{ V} - 1200 \text{ V}}{1200 \text{ V}} \times 100$$

$$\text{V.R.} = -6.75\%$$

د: با توجه به نتایج بند "ج" براحتی داریم:

$$E_{gt} = E_p = 1119 \text{ V}$$

باید گفت که این ولتاژ را در حالت بی‌باری ژنراتور بین دو خط خروجی اندازه‌گیری می‌کنیم (چرا؟)

با توجه به مثالهای فوق در می‌یابیم که:

الف: در هر یک از حالات فوق‌الذکر مقادیر مختلفی برای E_p بدست آوردیم، در نتیجه باید در هر حالت برای تامین توان ظاهری (kVA) مورد نیاز جریان تحریک (I_f) - را تغییر دهیم تا نیازهای بارهای گوناگون را برآورده سازیم. تنظیم جریان تحریک بدو صورت انجام می‌گیرد.

۱ - تنظیم دستی توسط اپراتور

۲ - تنظیم اتوماتیک بوسیله سیستم کنترل ولتاژ

ب: با توجه به مثالهای فوق دریافته‌ایم که درصد تنظیم ولتاژ در اتصال مثلث (Δ) بهتر از اتصال ستاره (Y) می‌باشد. ولی این موضوع کلی نیست زیرا در واقع در این دو مثال دو ماشین متفاوت را مورد بررسی قرار داده‌ایم. زیرا اگر واقعاً می‌خواستیم دو ماشین یکسان را مورد مطالعه قرار می‌دادیم باید بجای ۱۲۰۰ ولت از ۶۹۳ ولت در اتصال مثلث (Δ) استفاده می‌کردیم (چرا؟). به عبارت دیگر درصد تنظیم ولتاژ به طراحی ماشین بستگی دارد و به نوع اتصالات (Δ یا Y) وابسته نمی‌باشد.

8-7 EFFICIENCY

۸-۷ راندمان ژنراتور سنکرون؛

راندمان ژنراتور سنکرون بطریقی مشابه ژنراتور DC (جلد اول) بدست می‌آید. یا به عبارت دیگر داریم:

$$\% \text{ راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times 100$$

$$\% \text{ راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{کل تلفات ماشین} + \text{توان خروجی}} \times 100$$

اما کل تلفات ماشین حاوی مولفه‌های زیر است؛

- ۱- تلفات مسی
- ۲- تلفات مکانیکی
- ۳- تلفات هسته
- ۴- تلفات مدار تحریک

لذا رابطه کلی راندمان بصورت زیر درمی‌آید؛

$$\eta(\%) = \frac{VA_{out} \times PF}{VA_{out} \times PF + P_{Cu} + P_{core} + P_{field} + P_{mech}} \times 100 \quad (8-12)$$

باید توجه داشت که توان خروجی ژنراتور سنکرون سه فاز به توان ظاهری تحویل به مصرف کننده (KVA) و ضریب توان مصرف کننده بستگی دارد.

8-7.1 Tests for Determining Alternator Losses

۸-۷-۱ آزمایشهای لازم جهت تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز؛

در این آزمایشها ژنراتور را به وسیله یک موتور DC میچرخانیم. مدار مربوط به این تست‌ها در شکل (۹-۸) نشان داده شده است. بسهولت میتوان گفت که؛

توان ورودی به محور ژنراتور سنکرون = توان خروجی موتور DC

اما از مطالب جلد اول بیاد داریم؛

(راندمان موتور DC) (توان ورودی به موتور DC) = توان خروجی موتور DC

لذا با دانستن راندمان موتور DC و توان ورودی به آن موتور میتوان توان

خروجی موتور DC یا توان ورودی به محور ژنراتور سنکرون را بدست آورد. در این آزمایش به هشت وسیله اندازه‌گیری نیاز داریم (شکل ۹-۸)؛

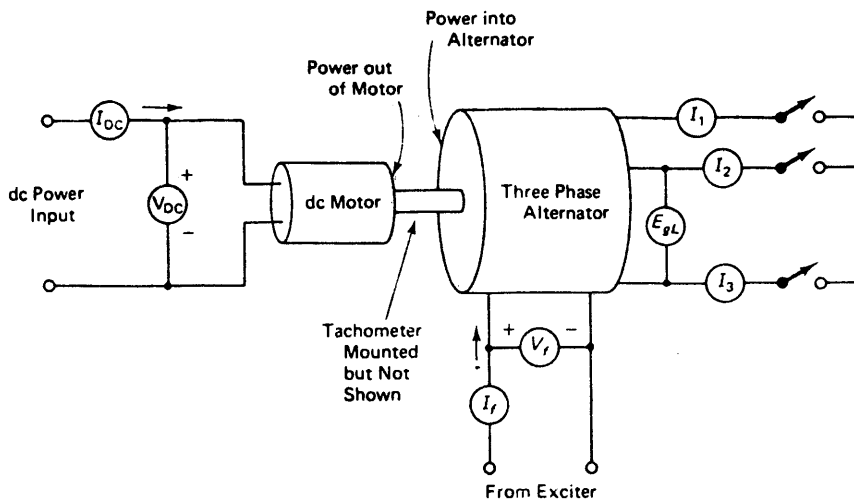
الف؛ ۲ عدد ولت‌متر DC

ب؛ دو عدد آمپر متر DC

ج؛ یک عدد ولت‌متر AC

د؛ سه عدد آمپر متر AC

ه؛ دور سنج برای تعیین دو ژنراتور سنکرون



شکل ۹ - ۸: مدار مربوط به آزمایش تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز

توان ورودی به موتور DC بقرار زیر است:

$$V_{dc} \times I_{dc}$$

در نتیجه توان خروجی موتور DC با دانستن راندمان آن اینچنین است:

$$P_i = V_{dc} I_{dc} \eta \quad (8-13)$$

توان فوق توان ورودی به محور ژنراتور سنکرون نیز محسوب می باشد. حال تست های زیر را انجام می دهیم:

تست اول:

مدار تحریک ژنراتور سنکرون را باز می گذاریم ($I_f = 0$) و تمامی کلیدهای نشان داده شده در شکل (۹ - ۸) را باز می گذاریم، حال ژنراتور را توسط موتور DC تحت سرعت اسمی می چرخانیم براحتی میتوان چنین استنباط کرد که:

- ۱ - چون مدار تحریک باز است ($I_f = 0$)، لذا ولتاژی در ژنراتور تولید نمیشود.
- ۲ - چون جریان تحریک نداریم، لذا تلفات هسته در ژنراتور حاصل نمیشود و توانی نیز از ژنراتور به خارج صادر نمیکرد.

۳ - چون کلیدها باز هستند، لذا تلفات مسی در سیم پیچ های استاتور حاصل نمیکرد. لذا توان خروجی موتور DC (توان ورودی به ژنراتور سنکرون) صرف تامین تلفات مکانیکی میگردد:

$$P_{i1} = P_{mech} (\text{alternator mechanical loss}) \quad (8-14)$$

تست دوم:

همچنان که ژنراتور تحت سرعت اسمی میچرخد (تست اول) جریان تحریک را برترار میسازیم و آنقدر آنرا زیاد میکنیم تا ولتاژ E_{gl} در دو سر خطهای خروجی حاصل شود (E_{gl} مطابق بند "د" در مثالهای ۶-۷ و ۸-۸ حساب میشود). این ولتاژ معمولاً از ولتاژ اسمی بیشتر است اما چون در این آزمایش نیز سه کلید باز هستند لذا:

الف: تلفات مسی در استاتور حاصل نمیشود.

ب: هیچگونه توان از ژنراتور بخارج صادر نمیشود.

از آنجائیکه E_{gl} در مقدار نرمال خود تنظیم شده است، لذا شار اسمی در ماشین وجود دارد و لذا تلفات هسته نیز تلفات اسمی خواهد بود. پس در این حالت توان خروجی موتور DC (توان ورودی ژنراتور سنکرون) برابر مجموع تلفات مکانیکی و تلفات هسته است:

$$P_{i2} = P_{core} + P_{mech}$$

با توجه به رابطه اخیر و رابطه (۱۴-۸) داریم:

$$P_{core} = P_{i2} - P_{i1} \quad (8-15)$$

همچنین در این آزمایش میتوان به تلفات مدار تحریک پی برد (چرا؟)

$$P_{field} = V_f I_f \quad (8-16)$$

تست سوم:

در این آزمایش ابتدا جریان تحریک را صفر میکنیم ($I_f = 0$) و سپس سه کلید مذکور را می‌بندیم (آزمایش اتصال کوتاه) حال ژنراتور را سرعت اسمی خود رسانده و جریان تحریک را آنقدر زیاد میکنیم تا جریان اسمی (جریان خط) حاصل گردد. چون در این حالت جریان تحریک کم است لذا شار بسیار ناچیز بوده و لذا در این آزمایش تلفات هسته قابل صرفنظر کردن میباشد. اما چون جریان اسمی از سیمهای استاتور میگذرد، لذا تلفات مس استاتور همان تلفات مس در حالت اسمی خواهد بود. در این حالت توان خروجی موتور DC (توان ورودی به ژنراتور) با مجموع تلفات مکانیکی و تلفات مسی استاتور مساوی خواهد بود.

$$P_{i3} = P_{mech} + P_{Cu}$$

با استفاده از رابطه اخیر و رابطه (۱۴-۸) داریم:

$$P_{Cu} = P_{i3} - P_{i1} \quad (8-17)$$

مثال ۸-۸:

یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است:

کیلو ولت آمپر ۳ = توان اسمی

ولت = ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)
هرتز = ۶۰ = فرکانس اسمی

برای تعیین تلفات ماشین آزمایشگاهی تحت سرعت اسمی بر روی ماشین انجام می‌دهیم (شکل ۹-۸). نتایج این آزمایشها در جدول (۱-۸) آمده است. اگر راندمان موتور را ثابت و معادل ۷۵٪ در نظر می‌گیریم. راندمان ژنراتو سنکرون را تحت شرایط زیر پیدا کنید.

الف: بار ژنراتور بار اسمی بوده و ضریب توان بار واحد می‌باشد.
ب: بار ژنراتور بار اسمی (بار کامل) بوده و ضریب توان بار ۰/۹ پس فاز است.
ج: بار ژنراتور نصف بار اسمی (نصف بار کامل) بوده و ضریب توان بار ۰/۸ پیش فاز است.

جدول (۱-۸)
Table 8-1

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	120	120	120
I_{dc} (A)	0.9	2.0	2.4
V_f (V)	0	5	1
I_f (A)	0	7.2	1.4
E_{RL} (V)	≈ 0	240	0
I_1 (A)	0	0	8.1
I_2 (A)	0	0	8.5
I_3 (A)	0	0	8.3

حل:

از رابطه (۱۳-۸) استفاده کرده و توان خروجی موتور DC یا توان ورودی به ژنراتور را در سه قسمت مذکور بدست می‌آوریم:

$$\text{Test 1: } P_{t1} = 120 \text{ V} \times 0.9 \text{ A} \times 0.75 = 81 \text{ W}$$

$$\text{Test 2: } P_{t2} = 120 \text{ V} \times 2 \text{ A} \times 0.75 = 180 \text{ W}$$

$$\text{Test 3: } P_{t3} = 120 \text{ V} \times 2.4 \text{ A} \times 0.75 = 216 \text{ W}$$

از رابطه (۱۴-۸) داریم:

$$P_{\text{mech}} = 81 \text{ W}$$

از رابطه (۱۵-۸) داریم:

$$P_{\text{core}} = 180 \text{ W} - 81 \text{ W} = 99 \text{ W}$$

از رابطه (۱۷-۸) داریم:

$$P_{Cu} = 216 \text{ W} - 81 \text{ W} = 135 \text{ W}$$

از رابطه (۱۶ - ۸) و تست شماره دو داریم:

$$P_{field} = 5 \text{ V} \times 7.2 \text{ A} = 36 \text{ W}$$

از رابطه (۱۲ - ۸) میتوان راندمان را حساب کرد:

الف:

$$\eta = \frac{3000 \times 1.0}{3000 \times 1.0 - 135 + 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 89.53\%$$

$$\eta = \frac{3000 \times 0.9}{3000 \times 0.9 - 135 + 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 88.5\%$$

ج: در این حالت تلفات مسی در استاتور اینچنین بدست می آید (چرا؟)

$$P_{Cu} \text{ (at } \frac{1}{2} \text{ load)} = P_{Cu} \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 135 \left(\frac{1}{4}\right) = 33.75 \text{ W}$$

راندمان در این حالت اینچنین است:

$$\eta = \frac{1500 \times 0.8}{1500 \times 0.8 + 33.75 - 99 + 36 + 81} \times 100$$

$$= 82.77\%$$

۲ - ۷ - ۸ راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون:

8-7.2 Maximum Alternator Efficiency

همانطور که در ژنراتورهای DC گفتیم (جلد اول) راندمان ماکزیمم موقعی رخ میدهد که رابطه زیر برقرار باشد.

$$\text{مجموع تلفات ثابت} = \text{مجموع تلفات متغیر}$$

در ژنراتور سنکرون با تقریب خوب میتوان گفت:

الف: تلفات مکانیکی^(۱)، تلفات مدار تحریک و تلفات هسته^(۲) جزء تلفات

ثابت محسوب میشوند.

ب: تلفات مس^(۳) در استاتور جزء تلفات متغیر است و با بار تغییر میکند.

لذا راندمان ماکزیمم در درصدی از بار اسمی رخ میدهد و این درصد را اینچنین بدست

-
- 1) Mechanical Losses 2) Core Losses
3) Copper Losses

می‌آورند .

$$(k)^2 P_{Cu} = P_{core} + P_{mech} + P_{field}$$

(8-18)

مثال ۹-۸:

ژنراتور سنکرون مطابق مثال (۸-۸) در نظر میگیریم . در چه درصدی از بار اسمی راندمان ماکزیمم رخ میدهد .

حل:

تلفات بدست آمده در مثال (۸-۸) را در رابطه (۸-۱۸) جایگزین میکنیم:

$$k^2 \times 135 W = 99 W + 81 W + 36 W$$

$$k^2 = \frac{216}{135} = 1.6$$

$$k = 1.26$$

به عبارت بهتر در این ژنراتور راندمان ماکزیمم در ۱۲۶٪ بار اسمی رخ میدهد . اما باید گفت که معمولاً "در ژنراتورهای سنکرون راندمان ماکزیمم در حوالی شرایط اسمی رخ میدهد .

8-8 TYPICAL ALTERNATOR CHARACTERISTICS

۸-۸ منحنی مشخصه‌های ژنراتور سنکرون سه فاز:

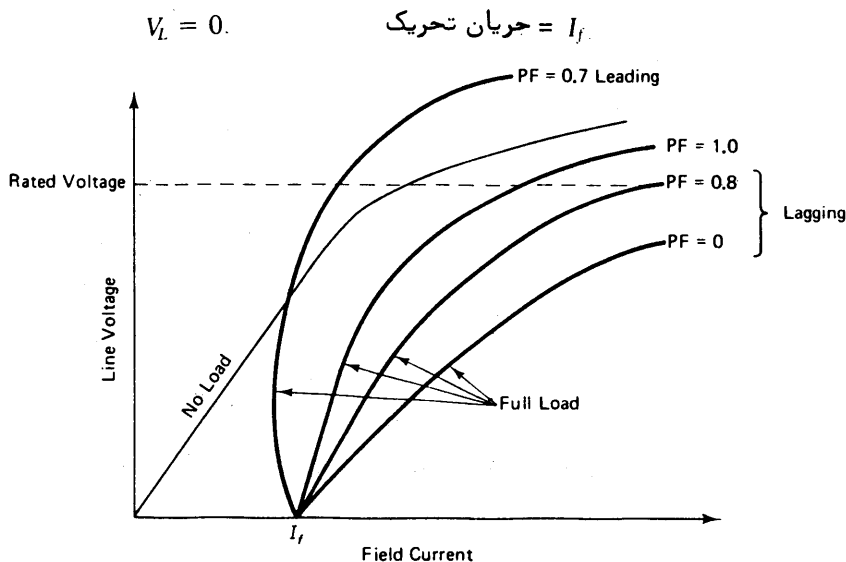
منحنی مشخصه‌های گوناگون وجود دارند که رفتار ژنراتور سنکرون را مشخص می‌سازند و تمامی آنها را میتوان در آزمایشگاههای ماشینهای الکتریکی بدست آورد . ما در اینجا آنها را بطور کیفی مورد بررسی قرار میدهیم .

8-8.1 No-Load Saturation Curve: ۸-۸-۱ منحنی اشباع در حالت بی‌باری:

این منحنی مشخصه تغییرات ولتاژ ترمینال ماشین (ولتاژ خط) بر حسب جریان تحریک در تحت شرایط بی‌باری (مدار باز) میباشد .

باید گفت که در تمامی مراحل این آزمایش ، سرعت اسمی ژنراتور همان سرعت اسمی ماشین میباشد . همانطور که از شکل (۸-۱۰) پیداست این تغییرات ابتدا خطی بوده و سپس بحالت اشباع میرسیم . معمولاً "ولتاژ اسمی ماشین از قسمت خطی منحنی حاصل میگردد و گاهی به این گراف ، منحنی مغناطیسی شوندگی در حالت بی‌باری^(۱) گفته میشود .

منحنی مشخصه دیگری در ژنراتور سنکرون وجود دارد و به آن منحنی بار کامل (۲) گفته میشود. در این منحنیها جریان تحریک را تغییر میدهیم ولی همواره ژنراتور جریان اسمی (جریان خط) را تحویل بار میدهند، شکل (۸-۱۰) اینگونه منحنیها را نشان میدهد و باید توجه داشت که وضعیت این منحنیها را تابع ضریب توان بار اسمی میباشد. باید گفت که تمامی منحنیهای بار کامل دارای نقطه مشترکی هستند و مختصات این نقطه بقرار زیر است؛



شکل ۸-۱۰: منحنی مشخصه‌های بار کامل و منحنی مشخصه مربوط به مغناطیس - شونده‌گی در حالت بی‌باری در یک ژنراتور سنکرون سه فاز

8-8.2 Load Curves

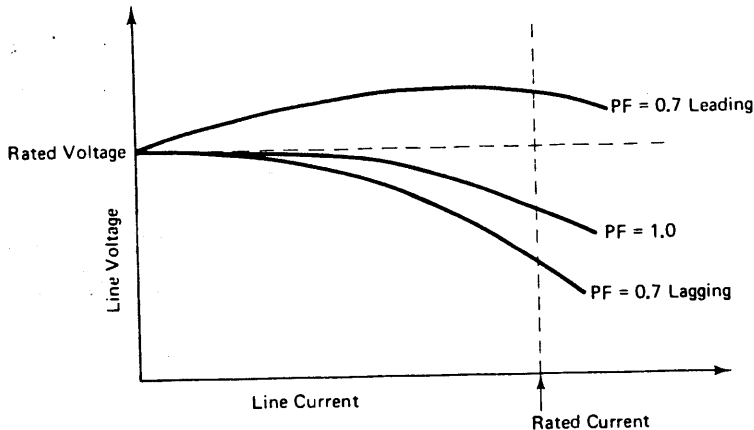
۲-۸-۸ منحنیهای بار:

یکی دیگر از منحنیهای مشخصه مهم که برای تخمین رفتار ژنراتور بکار میروند منحنیهای بار (۲) میباشد (شکل ۸-۱۱). در این منحنیها تغییرات ولتاژ ترمینال (ولتاژ خط) بر حسب جریان ماشین (جریان خط) مورد ارزیابی قرار میگیرد. همانطور که از شکل پیداست این منحنیها از حالت بی‌باری تا بار کامل رسم میگردند. علاوه بر این منحنیها دید نسبتاً خوبی راجع به درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور ارائه میدهند. در شکل (۸-۱۱) سه منحنی برای ضریب توانهای مختلف رسم شده است.

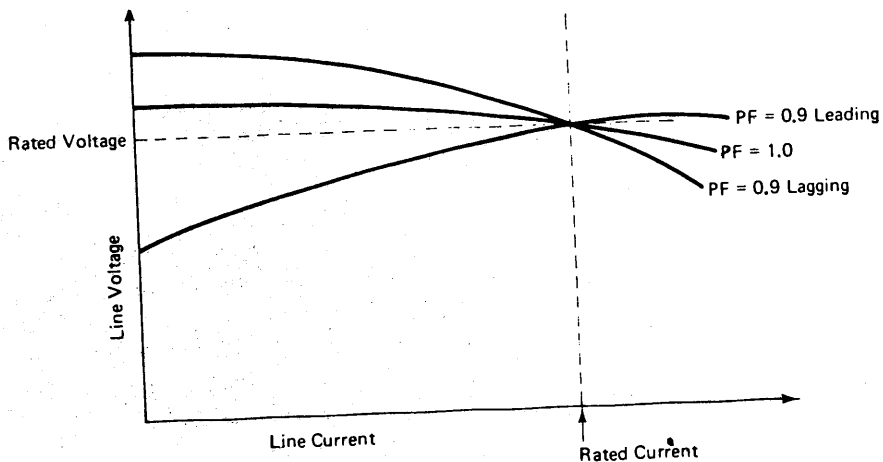
1) Full, Load, characteristic

2) Load, Curve

برای پیدا کردن این منحنیها ابتدا جریان تحریک را طوری تنظیم میکنیم که ولتاژ اسمی (ولتاژ خط) در شرایط بی‌باری حاصل شود. حال تحریک را تغییر نمی‌دهیم و فقط بار را افزایش میدهیم و در هر یک از شرایط افزایش بار ضریب توان آنرا ثابت نگه می‌داریم. و در هر لحظه ولتاژ ماشین (ولتاژ خط) را میخوانیم. سپس تغییرات ولتاژ ماشین و جریان بار را رسم میکنیم.



شکل ۱۱-۸: منحنی‌های بار در یک ژنراتور سنگرون سه فاز با توجه به اثرات ضریب توانهای مختلف. در این منحنی‌ها ولتاژ بی‌باری مشترک است



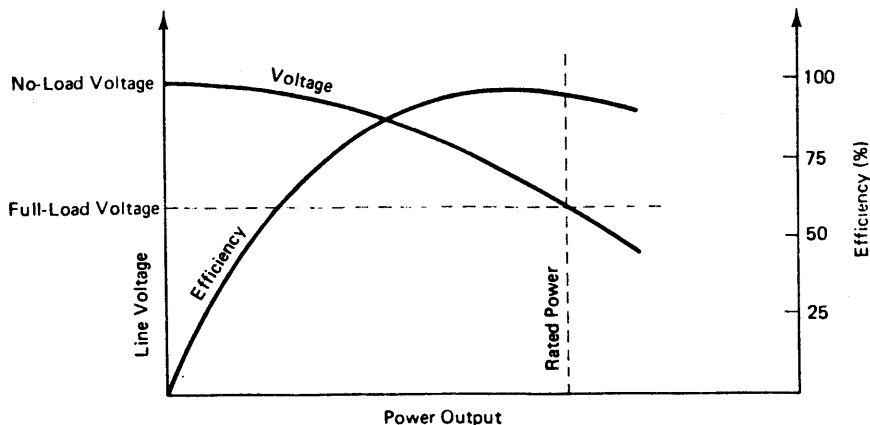
شکل ۱۲-۸: منحنی‌های بار در یک ژنراتور سنگرون سه فاز با توجه به اثرات ضریب توانهای گوناگون. این منحنی‌ها در نقطه ولتاژ و جریان اسمی مشترک هستند.

نوع دیگری از منحنیهای بار نیز وجود دارد (شکل ۱۲ - ۸) . برای بدست آوردن این منحنیها جریان تحریک را طوری تنظیم میکنیم که جریان اسمی ولتاژ اسمی حاصل - گردند . حال جریان تحریک را دست نمی‌زنیم و ضریب توان بار را ثابت نگه می‌داریم . سپس بار را کم میکنیم تا به صفر برسد و در هر لحظه ولتاژ ماشین (ولتاژ خط) را میخوانیم . سپس تغییرات ولتاژ ماشین بر حسب جریان بار (جریان خط) را رسم میکنیم . منحنیهای شکل (۱۲ - ۸) از منحنیهای شکل (۱۱ - ۸) مفیدتر است زیرا ما همواره مایلیم ولتاژ اسمی و جریان اسمی ، هر دو با هم در یک لحظه پدیدار شوند و همچنین شکل (۱۲ - ۸) نتایج مثالهای (۶ - ۸) و (۷ - ۸) را بهتر توجیه میکند .

۳-۸-۸ منحنی مشخصه‌های دیگر برای ژنراتور سنکرون :

8-8.3 Additional Characteristics

گاهی اوقات بعوض آنکه بر روی محور افقی جریان را مشخص کنیم ، توان خروجی را قرار میدهم . شکل (۱۳ - ۸) مشخصه‌های متداولی را برای ژنراتورهای سنکرون نشان میدهد .



شکل ۱۳ - ۸ : تغییرات راندمان و ولتاژ بر حسب توان خروجی در یک ژنراتور سنکرون سه فاز

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 8

Symbol	Definition	Units: English and SI
E_p (۱)	Generated voltage for a single-phase stator winding	rms volts
E_{sl} (۲)	Generated line voltage	rms volts
z (۳)	Number of conductors in a single stator winding	—
f (۴)	Frequency of generated voltage	hertz
V_l (۵)	Line-to-line terminal voltage of a three-phase alternator	rms volts
r_p (۶)	Effective resistance of stator winding for one phase	ohms
x_p (۷)	Synchronous reactance of stator winding for one phase	ohms
Z_s (۸)	Synchronous impedance of stator winding for one phase	ohms
r_{ab} (۹)	Resistance between any two terminals of a three-phase alternator with the third terminal open	ohms
r'_p (۱۰)	Calculated resistance of stator winding for one phase	ohms
V_{oc} (۱۱)	Phase voltage from open circuit test equal to measured value divided by $\sqrt{3}$	rms volts
I_{sc} (۱۲)	Phase current from short-circuit test measurement	amperes
I_f (۱۳)	Alternator field current	amperes
I_p (۱۴)	Rated phase current	amperes
I_L (۱۵)	Rated line current	amperes
V_{NL} (۱۶)	No-load phase voltage	rms volts
V_{FL} (۱۷)	Full-load phase voltage	rms volts
$\cos \theta$ (۱۸)	Power factor of one phase of a balanced three-phase load	
k (۱۹)	Fraction of rated load where maximum efficiency occurs	

علائم اختصاری بکار برده شده در فصل ۸

۱ - ولتاژ تولید شده در استاتور یک ژنراتور سنکرون تکفاز

۲ - ولتاژ تولید شده (ولتاژ خط)

۳ - تعداد هادیهای مربوط به سیم پیچ استاتور تکفاز

۴ - فرکانس ولتاژ تولید شده

۵ - ولتاژ ترمینال در ژنراتور سنکرون سه فاز (ولتاژ خط)

۶ - مقاومت مؤثر هر فاز استاتور

۷ - راکتانس سنکرون هر فاز استاتور

۸ - امپدانس سنکرون هر فاز استاتور

۹ - مقاومت بین دو ترمینال ژنراتور سنکرون وقتی که ترمینال دیگر باز باشد

۱۰ - مقاومت هر فاز استاتور (از طریق محاسبه)

۱۱ - ولتاژ فاز در آزمایش بی‌باری

۱۲ - جریان اتصال کوتاه در آزمایش اتصال کوتاه

۱۳ - جریان تحریک ژنراتور سنکرون

-
- ۱۴ - جریان اسمی فاز
 - ۱۵ - جریان اسمی خط
 - ۱۶ - ولتاژ بی‌باری (ولتاژ فاز)
 - ۱۷ - ولتاژ بار اسمی (ولتاژ فاز)
 - ۱۸ - ضریب توان هر فاز در بار متعادل سه فاز
 - ۱۹ - درصدی که مشخص‌کننده وقوع راندمان ماکزیمم است

فصل پنجم

موتورهای القای سه فاز

THE THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

۵۳ صفحه

فصل ۹

موتورهای القائی (اندوکسیونی) سه فاز

مقدمه:

دراکثر کارخانجات وصنایع در سراسر جهان از موتورهای القائی^(۱) (اندوکسیونی) استفاده میشود، بخصوص در مواقعی که به موتور نسبتا بزرگی نیاز داشته باشیم از موتورهای القائی سه فاز استفاده میگردد. این موتورها دارای مزایای زیر هستند.

الف: قابلیت اطمینان^(۲) آنها زیاد است.

ب: ارزان هستند

ج: ساخت آنها ساده است

این موتورها را اصولا فراریس در سال ۱۸۸۵ اختراع نمود اما نام تسلا که در سال ۱۸۸۶ تئوری این موتورها را بیان نمود بیشتر بچشم می خورد.

9-1 CONSTRUCTION

۱-۹ ساختمان موتورهای القائی:

موتورهای القائی سه فاز از دو قسمت اساسی تشکیل شده اند:

الف: قسمت ثابت بنام استاتور^(۳)ب: قسمت دوار بنام رتور^(۴)

۱-۹-۱: استاتور موتورهای القائی سه فاز:

استاتور اینگونه ماشینها حاوی شیارهایی^(۵) می باشد که درون آنها سیم پیچی سه فازي جا سازی شده و با توجه به نحوه این سیم پیچی موتورهای القائی سه فاز دو - قطبی، ۴ قطبی ۶ قطبی و ... حاصل میگردند.

1) Induction, Motor

2) Reliability

3) Stator

4) Rotor

5) Slots

فنی المثل می توان گفت که در موتور ۴ قطبی دو قطب مثبت (شمال) و دو قطب منفی (جنوب) وجود دارد .

۲- ۱- ۹ رتور موتورهای القائی سه فاز :

رتورهای متداول در اینگونه ماشینها بقرار زیر است .

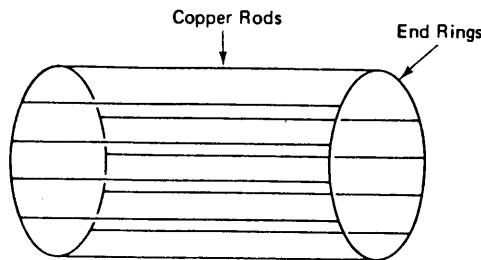
الف : رتور قفس سنجابی ساده (۱)

ب : رتور قفس سنجابی مضاعف (۲)

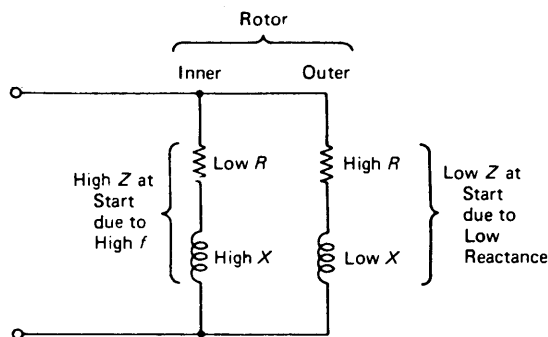
ج : رتور سیم پیچی (۳) شده

۱- ۲- ۱- ۹ . رتور قفس سنجابی ساده :

متداولترین رتور برای موتورهای القائی سه فاز همین رتور قفس سنجابی ساده



شکل (۱- ۹) . نمای ساده یک رتور قفس سنجابی که در دو انتهای میلها توسط حلقه های انتهایی اتصال کوتاه شده اند .



شکل ۲- ۹ : مدار معادل یک رتور قفس سنجابی مضاعف .

- 1) Squirrel Cage
- 2) Double Squirrel, Cage
- 3) Wound, Rotor

می باشد، زیرا شباهت زیادی به قفس سنجاب دارد. اینگونه رتورها از میله‌های مسی تشکیل شده که در شیارهای رتور جاسازی میشوند و همانطور که از شکل (۱-۹) پیداست بدنه رتور (قسمت فلزی) که بصورت مورق ساخته می‌گردد نشان داده نشده است.

۲-۲-۱-۹ رتور قفس سنجابی مضاعف:

در برخی از موتورهای القائی سه فاز رتورهای از نوع قفس سنجابی مضاعف وجود دارد و اینگونه رتورها از دو سری میله تشکیل شده‌اند.

الف: سری اول میله‌ها از نوع برنج بوده و در نزدیک سطح رتور تعبیه میشود و به میله‌های خارجی^(۱) موسوم‌اند.

ب: سری دوم میله‌ها از جنس مس بوده و در زیر سری اول و در داخل شیارهای رتور نصب می‌گردند و به میله‌های داخلی^(۲) موسوم‌اند

باید خاطر نشان ساخت که:

۱- الف: مقاومت میله‌های برنجی یا میله‌های خارجی (سری اول) از مقاومت میله‌های مسی (سری دوم) بیشتر است (شکل ۲-۹).

۲- ب: چون میله‌های مسی یا میله‌های داخلی (سری دوم) بهم نزدیک‌تر اند لذا راکتانس نشتی^(۳) آنها نسبت به میله‌های برنجی (میله‌های خارجی) بیشتر خواهد بود در این کتاب راکتانسهای نشتی بصورت راکتانسهای اندوکتیو در مدار معادل رتور ظاهر می‌شوند.

برای آنکه بهتر درک کنیم چرا رتور قفس سنجابی مضاعف مشخصه موتور را بهبود می‌بخشد به مطالب زیر توجه می‌کنیم و بعداً " درباره آنها در ادامه فصل مفصلاً " بحث خواهد شد.

۱-۱- الف: فرکانس جریان رتور در لحظات راه اندازی زیاد است (معادل فرکانس منبع تغذیه موتور). وقتی سرعت موتور زیاد شد فرکانس جریان رتور کم میشود (نزدیک صفر)

۱-۱- ب: در راه اندازی میله‌های خارجی جریان بیشتری می‌کشند زیرا کل امپدانس آنها کمتر است و چون R در میله‌های خارجی از X بیشتر است لذا ضریب توان مدار بالا است و ترکیبی از جریان زیاد و ضریب توان بالا گشتاور یا کوپل راه اندازی^(۴) نسبتاً خوبی ایجاد می‌کند.

1) Outer, Rods

2) Inner, Rods

3) Leakage Reactance

4) Starting Torque

۱-۱-ج: در سرعتهای بالا تمامی جریان از میله‌های داخلی عبور می‌کند و در فرکانسهای کم از راکتانس این میله‌ها می‌توان صرف‌نظر کرد و مشخصه خوبی در سرعتهای بالا پدیدار می‌شود.

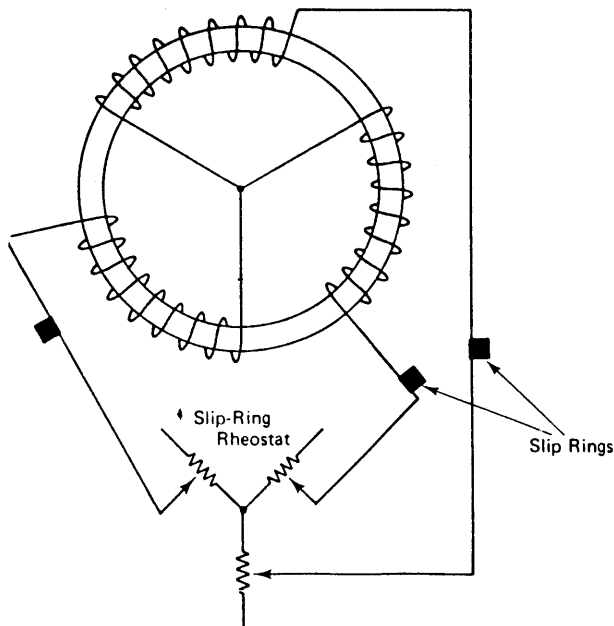
۳-۲-۱-۹: رتورهای سیم پیچی شده:

در اینگونه رتورها در شیارهای رتور سیم پیچ تعبیه شده است و می‌توان در اینگونه رتورها مقاومت خارجی از طریق حلقه‌های لغزان (۱) به سیم پیچ‌های رتور متصل ساخت و به اینگونه مقاومت‌های خارجی گاهی روستای حلقه‌های لغزان (۲) نیز گفته میشود. در اینگونه اتصالات براحتی می‌توان مقاومت رتور را تغییر داد و مشخصه حالبی در لحظات راه اندازی و بهره برداری از ماشین بدست آورد.

شکل (۳-۹) شمای ساده اینگونه رتورها را نشان می‌دهد و باید در اینگونه رتورها نکات زیر را بخاطر داشت.

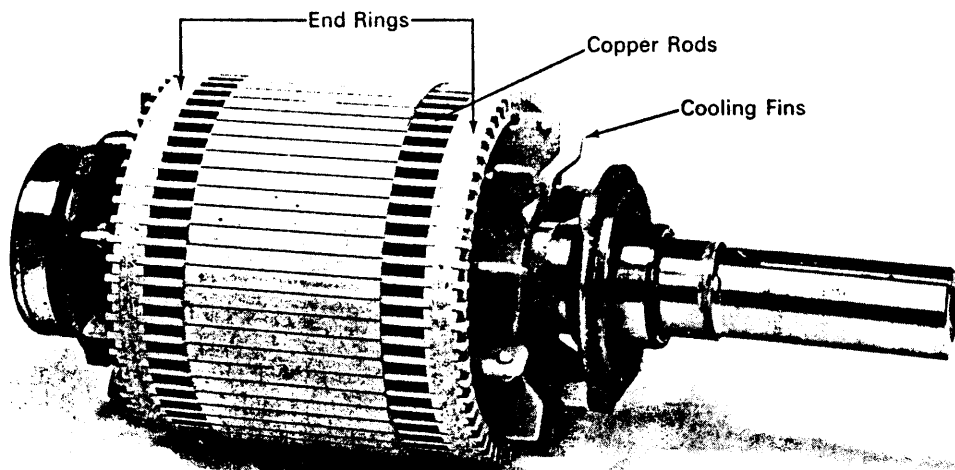
الف: سیم پیچ اینگونه رتورها نیز باید سه فاز باشد

ب: تعداد قطبهای حاصله از اینگونه سیم پیچ باید با تعداد قطبهای حاصله در استاتور مساوی باشد.

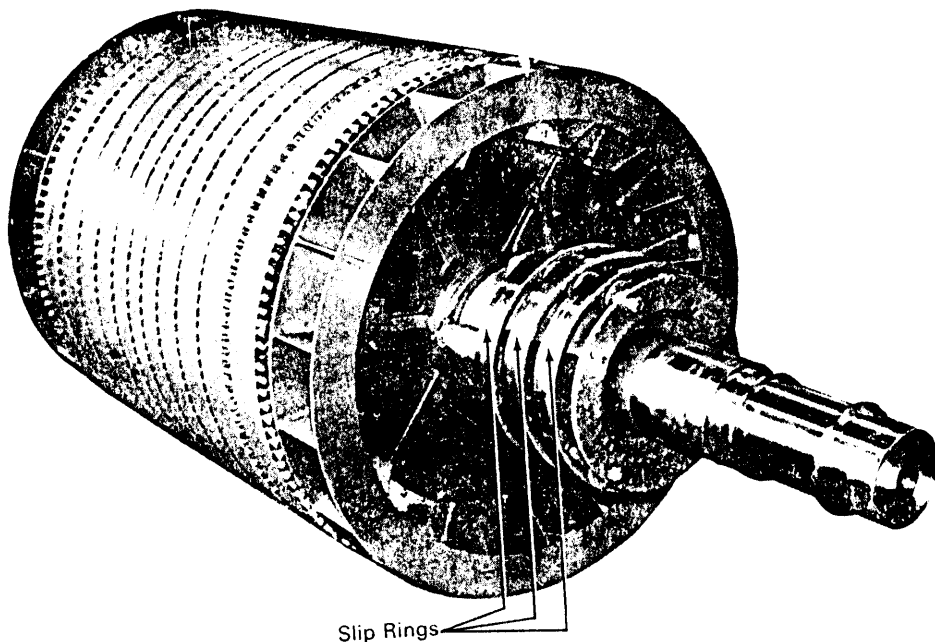


شکل ۳-۹: شمای ساده یک رتور سیم پیچی شده در موتور القایی سه فاز

ج: تعداد شیارهای رتور و استاتور باید یکسان باشند.



شکل ۴ - ۹: شمای یک رتور با قفس سنجابی در موتور القائی سه فاز



شکل ۵ - ۹: شمای یک رتور سیم پیچی شده در موتور القائی سه فاز
شکل‌های (۴ - ۹) و (۵ - ۹) دو نوع رتور متداول را برای موتورهای القائی سه فاز نشان می‌دهند.

۹-۲ مفاهیم میدان گردنده: 9-2 ROTATING FIELD CONCEPT

قبل از اینکه وارد تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القایی سه فاز گردیم باید درباره مفاهیم میدان گردنده^(۱) صحبت کنیم. برای درک بهتر استاتور را در نظر می‌گیریم که بصورت دو قطبی سیم پیچی شده است (شکل ۹-۶). ولتاژهای اعمال شده به هر فاز استاتور نیز در این شکل نشان داده شده است. در شکلهای (۹-۶a)، (۹-۶b)، (۹-۶c) و (۹-۶d) استاتور را همراه با میدان مغناطیسی حاصله در زمانهای مختلف نشان داده‌ایم و این میدانها مربوط به زمانهای t_1 تا t_4 در شکل (۹-۷) می‌باشد. باید خاطر نشان سازیم که در شکلهای (۹-۶) رتور را نکشیده‌ایم تا شکل سهلتر حلوه کند. در این بحث فرض بر آنست که نحوه اتصال سیم پیچ سه فاز استاتور بصورت ستاره (Y) باشد یعنی سرهای A' ، B' ، C' بهم متصل‌اند و سرهای A ، B و C ترمینال خروجی ماشین را تشکیل می‌دهند.

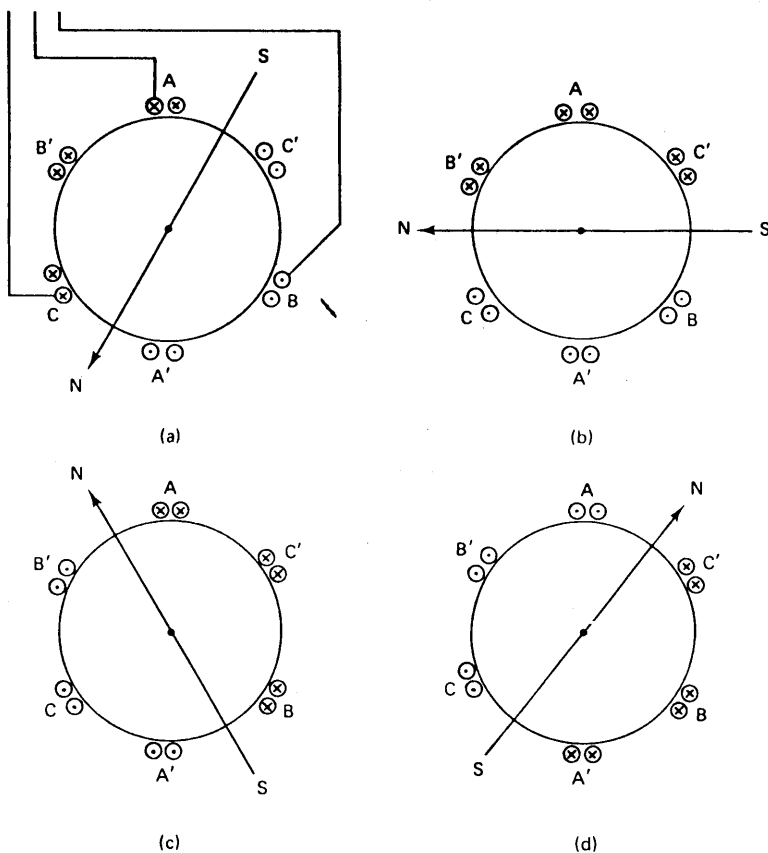
در اینجا متذکر می‌شویم که هرگاه $V_{A-A'}$ مثبت باشد بمعنی آنستکه A نسبت به A' مثبت است یعنی جریان از A وارد صفحه کاغذ شده و از A' خارج می‌گردد. زمانهای t_1 تا t_4 در شکل (۹-۷) طوری انتخاب شده‌اند که تحلیل مساله را ساده سازند تا میدان گردنده بهتر تفهیم گردد.

در زمان t_1 ، $V_{A-A'}$ و $V_{C-C'}$ مثبت‌اند و $V_{B-B'}$ ماکزیمم منفی است در این حالت جهت جریان در سیم پیچ‌ها مطابق شکل (۹-۶a) بوده و میدان دو قطبی مطابق شکل (۹-۶a) خواهد بود (با استفاده از قانون دست راست).

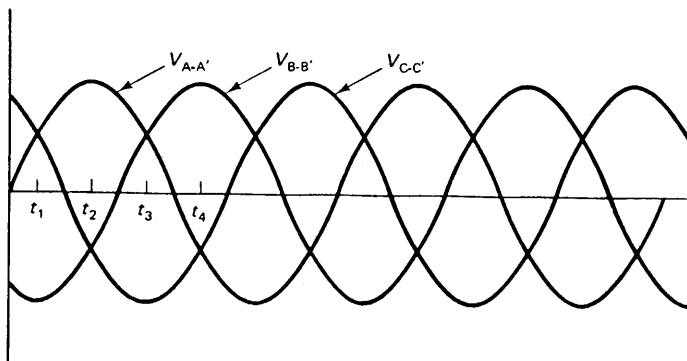
در زمان t_2 ، $V_{A-A'}$ ماکزیمم مثبت است و $V_{B-B'}$ ، $V_{C-C'}$ منفی هستند، و این حالت مترادف با جابجائی ۶۰ درجه الکتریکی است، جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۹-۶b) رسم شده‌اند. می‌بینیم که میدان گردنده نیز ۶۰ درجه در جهت عقربه ساعت^(۲) (CW) نسبت به وضعیت t_1 چرخیده است. البته اگر استاتور ۴ قطبی فرض میشود میدان ۳۰ درجه می‌چرخید ولی در شکل (۹-۶) فقط سیستم دو قطبی را مد نظر داشته‌ایم.

در زمان t_3 ، $V_{A-A'}$ و $V_{B-B'}$ مثبت‌اند و $V_{C-C'}$ ماکزیمم منفی است. جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۹-۶c) نشان داده شده‌اند و می‌بینیم میدان نسبت به وضعیت t_1 ۶۰ درجه چرخیده است (در جهت عقربه ساعت).

در زمان t_4 ، $V_{B-B'}$ ماکزیمم مثبت است و $V_{A-A'}$ و $V_{C-C'}$ منفی هستند. جهت جدید جریانها و میدان گردنده در شکل (۹-۶d) رسم شده‌اند و نسبت به



شکل ۶-۹: وضعیت میدان گردنده در لحظات مختلف



شکل ۷-۹: ولتاژهای سه فاز اعمال شده به استاتور با توالی فاز ABC

وضعیت t_3 ۶۰ درجه چرخش داشته‌ایم (در جهت عقربه ساعت).
در بالا وضعیت میدان گردنده را در ۴ لحظه مورد بررسی قرار دادیم ولی این

بدان معنی نیست که میدان هر دفعه ۶۰ درجه جهش می‌کند، بلکه اگر هزاران زمان نزدیک، بهم را در نظر بگیریم خواهیم دید که میدان پرش ندارد و بطور پیوسته و یکنواخت دوران می‌کند و نحوه این دوران به فرکانس ولتاژ استاتور بستگی دارد.

۹-۲-۱: جهت چرخش میدان گردنده 9-2.1 Direction of the Rotating Field
همانطور که از توالی فاز (۱) در شکل (۷-۹) پیداست و همچنین با توجه به نحوه سیم پیچی استاتور در شکل (۶-۹) در می‌یابیم که میدان گردنده در جهت عقربه ساعت (CW) می‌چرخد، اگر توالی فاز را بصورت ACB درآوریم و دوباره زمانهای t_1 تا t_4 را بررسی کنیم می‌بینیم که جهت چرخش میدان گردنده عوض می‌شود (خلاف عقربه ساعت یا CCW^(۲)). عمل تعویض توالی فاز را براحتی می‌توان با تعویض دو ترمینال در منبع تغذیه موتور انجام داد.

۹-۲-۲: سرعت چرخش میدان گردنده: 9-2.2 Speed of the Rotating Field
سرعت چرخش میدان گردنده به سرعت سنکرون معروف است و برای محاسبه آن از روابط (۲-۸) در فصل قبل استفاده می‌کنیم. در این فصل از اندیس S برای سرعت سنکرون استفاده می‌کنیم و در این فصل خواهیم دید که سرعت رتور در ماشینهای القائی سرعت سنکرون نخواهد بود، سرعت سنکرون یا سرعت میدان گردنده در اینگونه موتورها اینچنین بدست می‌آید.

در سیستم ENG داریم

$$S_s = \frac{120f}{P} \quad (9-1a)$$

در سیستم SI داریم

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{P} \quad (9-1b)$$

در معادلات (۱-۹) کمیت‌ها بقرار زیراند:

الف: P: تعداد قطبهای استاتور

ب: f: فرکانس ولتاژ اعمال شده بر استاتور بر حسب هرتز

ج: S_s : سرعت سنکرون بر حسب دور در دقیقه

د: ω_s : سرعت سنکرون بر حسب رادیان بر ثانیه

مثال ۹-۱: (سیستم ENG):

سرعت سنکرون یک موتور القائی سه فاز ۴ قطبی و ۶ هرتزی را بدست آورید.
حل:

از رابطه (۹-۱۱a) داریم:

$$S_s = 120 \times \frac{60}{4}$$

$$= 1800 \text{ rev/min}$$

مثال ۹-۲ (سیستم SI):

یک موتور القائی سه فاز، ۴ قطبی، ۵۰ هرتزی مفروض است، سرعت سنکرون یا سرعت میدان گردنده آنرا بیابید.
حل:

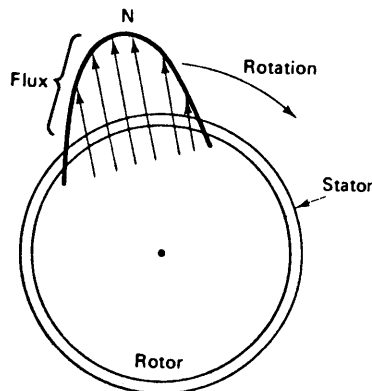
از رابطه (۹-۱b) داریم:

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{4}$$

$$= 157.1 \text{ rad/s}$$

۹-۲-۳ شکل میدان گردان:

از آنجائیکه ولتاژ اعمال شده به استاتور (ولتاژ منبع تغذیه) سینوسی است؛ لذا جریان سیم پیچ‌های استاتور نیز سینوسی بوده و لذا در هر فاز استاتور شار سینوسی بدست می‌آید. شار گردنده (میدان گردنده) نیز مجموع سه فاز و مربوط به شارهای سه فاز می‌باشد. لذا شار گردنده (میدان گردنده) را می‌توان مطابق شکل (۹-۸) نشان داد البته در این شکل یک نیم سیکل از شار گردنده که در مسیر دایره‌ای می‌چرخد را نشان داده‌ایم.



شکل ۹-۸: شمای شار گردنده که شکل سینوسی دارد

۳-۹ تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القائی سه فاز: Theory of Operation 9-3

روشهای گوناگون جهت بیان عملکرد اینگونه ماشینها وجود دارد. ما در این کتاب از مفاهیم میدان گردنده و مقایسه موتور القائی سه فاز با ترانسفورماتورها استفاده می‌کنیم. در موتورهای القائی، استاتور و ولتاژ اعمال شده شبیه مدار اولیه ترانسفورماتور می‌باشد. همچنین سیم پیچ رتور یا میله‌های مربوط به قفس سنجابی مشابه مدار ثانویه ترانسفورماتور می‌باشد. در نتیجه می‌توان توان مکانیکی تحویلی از طرف رتور را به بار ترانسفورماتور در ثانویه تشبیه ساخت.

اما یک فرق اساسی در شبیه سازی موتور القائی با ترانسفورماتور وجود دارد و آن اینستکه در ترانسفورماتورها فرکانس جریان و ولتاژ در دو مدار اولیه و ثانویه یکسان می‌باشد ولی در موتورهای فرکانس جریان و ولتاژ در رتور و استاتور یکسان نخواهد بود. هرگاه به استاتور ولتاژ اعمال گردد، در سیم پیچ استاتور جریان برقرار می‌گردد. این جریان از دو مولفه تشکیل شده است.

الف: مولفه اول به جریان مغناطیس شونده^(۱) موسوم است و نسبت به ولتاژ اعمال شده ۹۰ درجه اختلاف فاز دارد (پس فاز). وظیفه اصلی این مولفه ایجاد میدان گردان می‌باشد.

ب: مولفه دوم جریان هم فاز ولتاژ اعمال شده بوده و توان حقیقی (اکتیو) موتور را تامین می‌کند.

موضوعات بند "الف" و "ب" مشابه تئوری ترانسفورماتور می‌باشد (فصل هفتم شکل ۱۴-۷).

هرگاه به محور رتور بار مکانیکی متصل نباشد لذا توان مکانیکی خروجی وجود ندارد. در نتیجه در این حالت بی‌باری^(۲)، توان حقیقی (اکتیو) وارده به موتور که از طریق منبع تغذیه استاتور تامین میشود صرف تلفات زیر در درون ماشین می‌گردد

۱- تلفات مکانیکی^(۳)

۲- تلفات هسته^(۴)

۳- تلفات مسی^(۵) (RI^2)

باید گفت که این تلفات بسیار کوچک هستند و زاویه θ_0 در شکل (۱۴-۷) خیلی نزدیک به ۹۰ درجه می‌باشد. در نتیجه در میابیم که موتور در حالت بی‌باری دارای

1) Magnetizing, Current

2) No, Load

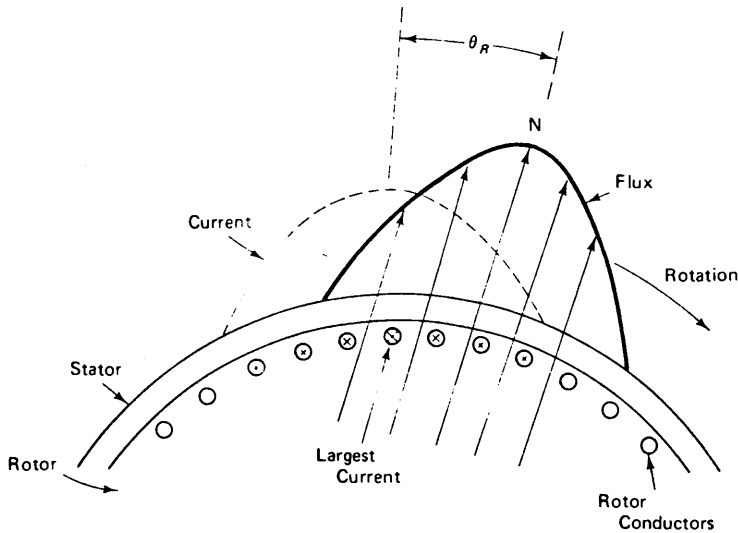
3) Mechanical, Losses

4) Core, Losses

5) Copper, Losses

مزیب توان بسیار ناچیزی است ($\cos 90^\circ = 0$.)

هنگامیکه محور رتور را قفل کنیم تا موتور حرکت نکند در اینصورت حالت رتور قفل شده یا حالت رتور بلوکه شده یا حالت سکون در موتور پدیدار می‌گردد و منبع در این کتاب کمیت‌های مربوط به این سه حالت را که همگی یکسان می‌باشند با اندیس BR نشان می‌دهیم. این حالت بسیار شبیه ترانسفورماتور است که ثانویه آن اتصال کوتاه شده باشد.



شکل ۹-۹: دیاگرام شار و جریان رتور در حالت سکون

اگر هادیهای رتور و شار گردنده که آنها را قطع می‌کند ترسیم کنیم، شکلی مشابه شکل (۹-۹) بدست می‌آید. البته این شکل برای حالت سکون رسم شده است. با توجه به قانون دست راست در می‌یابیم که جریان در هادیهای رتور به طرف داخل صفحه کاغذ بوده و با علامت X نشان داده شده است. حال باید درباره جریان رتور نکات زیر را ذکر کنیم.

الف، چون هادیهای رتور بوسیله حلقه‌های انتهائی^(۱) اتصال کوتاه شده‌اند؛

لذا در هادیهای رتور جریان برقرار می‌گردد

ب: چون شار گردنده توزیع سینوسی دارد، لذا ولتاژ القاء شده در هر یک از هادیهای رتور نیز سینوسی بوده و با شار همفاز می‌باشد. چون هادیهای رتور دارای مقاومت و راکتانس اندوکتیو هستند؛ لذا موج جریان مطابق شکل (۹-۹) خواهد بود (منحنی

سینوسی خط چین) . همانطور که مشاهده می شود جریان با شار یا ولتاژ بمیزان θ_R اختلاف فاز دارد (پس فاز) . θ_R زاویه ضریب توان رتور گفته می شود البته θ_R نشان داده شده در شکل (۹-۹) مربوط به حالت سکون ماشین می باشد

ج: مقدار متوسط جریان رتور و فرکانس این جریان به طرز قطع هادیها توسط شار بستگی دارد . لذا هر چه سرعت رتور بالاتر رود ، لذا شار گردنده با نرخ آهسته تری هادیهای رتور را قطع می کند و دنتیجی جریان رتور و فرکانس آن کاهش میابد . در حقیقت اگر رتور با سرعت سنکرون بچرخد در اینصورت سرعت شار گردان و رتور یکسان شده و خطوط شار هادیهای رتور را قطع نکرده و در نتیجه جریان رتور و فرکانس آن صفر خواهد بود . حال دوباره به شکل (۹-۹) مربوط به حالت سکون برمی گردیم . همانطور که گفتیم در هادیهای رتور جریان برقرار می گردد و لذا نیروئی بر آنها وارد می شود (قانون بیوساوار حلد اول) . لذا این نیرو گشتاوری (کوپلی) در جهت شار گردان (میدان گردنده) پدیدار می سازد .

این موضوع را می توان طبق قانون دست چپ به اثبات رساند (حلد اول) مقدار گشتاور (کوپل) در موتورهای القائی مطابق رابطه زیر بدست می آید و شباهتی چند با گشتاور موتورهای DC (حلد اول) دارد .

$$T = K \phi I_R \cos \theta_R \quad (9-2)$$

اندیس R در رابطه اخیر ممین کمیت های مربوط به رتور بوده و همانطور که می دانیم همواره اختلاف فاز بین جریان رتور و شار وجود دارد . لذا در رابطه (۹-۲) عبارت کسینوسی نیز ظاهر می شود .

چون در لحظه راه اندازی جریان رتور با شار گردنده متناسب است و شار گردنده نیز با ولتاژ اعمال شده به استاتور تناسب دارد ، لذا گشتاور راه انداز در موتورهای القائی اینچنین بدست می آید .

$$\begin{aligned} T_s &= K \phi (K_1 \phi) \cos \theta_R \\ &= K' V_L^2 \end{aligned} \quad (9-3)$$

از این رابطه در می یابیم که گشتاور راه انداز در موتورهای القائی سه فاز با محدور ولتاژ اعمال شده به استاتور (ولتاژ خط-خط) یا V_L متناسب است . گشتاور راه انداز باعث شتاب رتور شده و این شتاب به اینرسی رتور و بار مکانیکی مربوط به محور رتور بستگی دارد (معادله ۲-۵ حلد اول) . باید گفت همینکه رتور شروع بحرکت نمود دیگر رابطه (۹-۳) برای محاسبه گشتاور صادق نیست . با سرعت گرفتن رتور هادیها رتور خطوط شار کمتری را قطع می کنند و لذا ولتاژ القا شده در هادیهای رتور کاهش می یابد

در نتیجه جریان رتور (I_r) نیز نزول می‌کند و بالنتیجه گشتاور ذکر شده در رابطه (۲-۹) نیز کم می‌شود. حال اگر سرعت رتور به سرعت سنکرون یا سرعت شارگردنده (میدان گردنده) برسد در اینصورت هادیهای رتور خطوط شار را قطع نمی‌کنند (چرا؟) لذا در رتو ولتاژ القاء نشده بالنتیجه جریان رتور صفر می‌گردد و بالمال گشتاور نیز صفر خواهد شد (رابطه ۲-۹). از صفر شدن گشتاور نتیجه می‌شود که شتاب صفر می‌شود و ماشین تحت سرعت ثابت سنکرون می‌چرخد، اما باید گفت که در موتورهای القائی سه فاز هیچگاه سرعت رتور به سرعت سنکرون نمی‌رسد و لذا گشتاور نیز هیچگاه صفر نمی‌شود، زیرا همواره حتی در حالت بی‌باری باید گشتاور ناچیزی در ماشین پدیدار شود تا بر مسئله اصطکاک (۱) و تهبویه (۲) فائق آید. در نتیجه سرعت رتور هیچگاه در حالت بی‌باری به سرعت سنکرون نمی‌رسد، ولی به سرعتی نزدیک سنکرون می‌رسد تا جریان کمی در رتور پدیدار شود و گشتاور ناچیزی در حالت بی‌باری جهت فائق آمدن بر اصطکاک و تهبویه تولید شود. در حالت بار داری پرواضح است که هیچگاه به سرعت سنکرون نخواهیم رسید زیرا به گشتاوری نیاز داریم که نیازهای بار را برآورد سازد. باید خاطر نشان ساخت که در حالت بارداری سرعت موتور می‌افتد تا خطوط شار بیشتری رتور را قطع کند و جریان کافی جهت تولید گشتاور مورد نیاز بار پدیدار گردد. چون رتور ماشینهای القائی هیچگاه با سرعت سنکرون نمی‌چرخند (از بی بار تا بارداری) لذا گاهی به آنها لفظ موتورهای اسنکرون (۳) اتلاق می‌گردد. در موتورهای القائی یا اسنکرون انرژی الکتریکی توسط ابزار مکانیکی مثل جاروبک یا حلقه لغزانی به رتور منتقل نمی‌شود بلکه این عمل توسط القاء مغناطیسی انجام می‌پذیرد و بهمین دلیل به آن لفظ موتورهای القائی نیز اتلاق می‌شود.

9-3.1 Motor Ratings

۱-۳-۹: مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی یا اسنکرون سه فاز:

معمولا مشخصه‌های اسمی موتورهای القائی سه فاز اینچنین‌اند

۱- ولتاژ اسمی که باید به استاتور اعمال شود و معمولا ولتاژ خط-خط مورد

نظر است.

۲- فرکانس اسمی که باید ولتاژ منبع تغذیه همان فرکانس اسمی را داشته باشد.

۳- توان اسمی: شامل حداکثر توان مکانیکی است که موتور می‌تواند دائما تأمین

کند و به آن گاهی بار کامل (۴) نیز گفته می‌شود.

۴ - سرعت اسمی؛ سرعتی است که موتور تحت آن توان اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد.

۵ - جریان اسمی: جریانی است که موتور از منبع تغذیه در حالتی می‌کشد که بار اسمی (بار کامل) خود را تحویل می‌دهد و معمولاً جریان خط مد نظر است.

۶ - ضریب توان اسمی: ضریب توان^(۱) موتور در حالتی است که بار اسمی خود را تحویل می‌دهد.

مثال ۳-۹ (سیستم ENG):

یک موتور القائی (اسنکرون) سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط-خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

اسب بخار ۲ = توان اسمی

فوت - پوند ۱۲ = گشتاور راه انداز حاصله در ماشین

مطلوبست:

الف: گشتاور راه انداز موتور هنگامیکه ولتاژ ۲۴۰ ولت به موتور اعمال شود

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۱۸ "فوت - پوند" باشد چه ولتاژی باید به موتور اعمال شود.

حل:

از رابطه (۳-۹) استفاده می‌شود.

الف: برای دو ولتاژ ۲۰۸ و ۲۴۰ ولت داریم:

$$T_{s1} = K' V_{L1}^2 \text{ for the first voltage}$$

$$T_{s2} = K' V_{L2}^2 \text{ for the second voltage}$$

از تقسیم دو رابطه اخیر داریم:

$$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{V_{L1}}{V_{L2}} \right)^2 \quad (9-4a)$$

لذا:

$$\begin{aligned} T_{s2} &= T_{s1} \left(\frac{V_{L2}}{V_{L1}} \right)^2 \\ &= 12 \text{ ft-lb} \left(\frac{240 \text{ V}}{208 \text{ V}} \right)^2 \\ &= 15.98 \approx 16 \text{ ft-lb} \end{aligned}$$

ب: از رابطه (۹-۴a) داریم:

$$\begin{aligned} V_{L2} &= V_{L1} \sqrt{\frac{T_{s2}}{T_{s1}}} \\ &= 208 \text{ V} \sqrt{\frac{18 \text{ ft-lb}}{12 \text{ ft-lb}}} \\ &= 254.75 \text{ V} \end{aligned}$$

مثال ۹-۴ (سیستم SI):

یک موتور القایی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت = ۴۴۰ ولتاژ اسمی ترمینال (خط-خط)

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

کیلو وات = ۲ توان اسمی

نیوتون متر = ۴۰ گشتاور راه انداز حاصله در ماشین،

مطلوبست:

الف: گشتاور راه انداز اگر ولتاژ ۴۶۰ ولت به ماشین اعمال شود

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۶۰ "نیوتون متر" باشد ولتاژی را که باید به

ماشین اعمال کنیم بدست آورید.

حل

از رابطه (۹-۳) برای دو ولتاژ ۴۴۰ و ۴۶۰ ولت داریم:

$$T_{s1} = K' V_{L1}^2 \quad \text{for the first voltage}$$

$$T_{s2} = K' V_{L2}^2 \quad \text{for the second voltage}$$

از تقسیم این دو رابطه داریم:

$$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{V_{L1}}{V_{L2}} \right)^2 \quad (9-4b)$$

$$T_{s2} = T_{s1} \left(\frac{V_{L2}}{V_{L1}} \right)^2 \quad \text{در نتیجه:}$$

$$= 40 \text{ N-m} \left(\frac{460 \text{ V}}{440 \text{ V}} \right)^2$$

$$= 43.72 \text{ N-m}$$

ب: از رابطه (۹-۴b) داریم:

$$\begin{aligned} V_{L2} &= V_{L1} \sqrt{\frac{T_{s2}}{T_{s1}}} \\ &= 440 \text{ V} \sqrt{\frac{60 \text{ N-m}}{40 \text{ N-m}}} \\ &= 538.9 \text{ V} \end{aligned}$$

۹-۴ روابط سرعت در موتورهای القائی سه فاز: SPEED RELATIONSHIPS

معمولا سرعت موتورهای القائی (اسنکرون) ثابت است ولی بدان معنی نیست که سرعت هرگز تغییر نمی‌کند. باید گفت که سرعت اینگونه موتورها با بار تغییر می‌کند ولی سرعت همواره کمتر از سرعت سنکرون خواهد بود. همانطور که در حلد اول دیدیم سرعت موتورهای DC را اینچنین می‌توان تغییر داد.

۱- تغییر جریان تحریک بر سرعت موتور DC اثر می‌گذارد.

۲- تغییر جریان ارمیچر بر سرعت موتور DC اثر دارد.

۳- تغییر ولتاژ منبع تغذیه سرعت موتور DC را تغییر می‌دهد.

سرعت موتور اسنکرون (القائی) هنگامی تغییر می‌کند که بار تغییر نماید، ولی تغییر بار موتور جهت تغییر سرعت زیاد جالب بنظر نمی‌رسد زیرا کنترل بار زیاد برای مصرف کنندگان اینگونه موتورها میسر نیست. لذا باید به روش دیگری جهت کنترل سرعت موتورهای اسنکرون دست یافت. تنه‌اراه منطقی جهت کنترل سرعت اینگونه موتورها تغییر سرعت سنکرون میدان گردنده می‌باشد. و با توجه به رابطه (۱-۹) این امر با تغییر تعداد قطبها یا فرکانس منبع تغذیه میسر می‌گردد. روش دیگری نیز وجود دارد و آن تغییر مقاومت رتورهای سیم پیچی شده بوسیلهٔ رغوستای خارجی می‌باشد. لذا جریان رتور کنترل شده و گشتاور نیز تحت کنترل در می‌آید که بالمال بر سرعت اثر می‌گذارد.

اما در این فصل خواهیم دید که بخاطر تلفات $R I^2$ در مقاومت خارجی؛ راندمان (۱) ماشین کاهش می‌یابد و علاوه بر این از این تکنیک نمی‌توان برای رتورهای قفس سنجابی استفاده کرد.

البته می‌توان با کاهش ولتاژ منبع تغذیه (ولتاژ خط-خط) شار گردنده (میدان گردنده) را کاهش داد و لذا جریان رتور را کم نمود. این روش زیاد جالب توجه نیست زیرا شرایط ناپایدار در مواقعی که موتور نسبت به تغییرات بار حساس می‌شود پدیدار خواهد شد (بخصوص در موتورهای بزرگ).

۹-۴-۱ لغزش

لغزش (۲) در موتورهای القائی (اسنکرون) سه فاز اینچنین بدست می‌آید.

در سیستم ENG داریم:

$$\text{slip} = s = S_s - S \quad (9-5a)$$

در سیستم SI داریم:

$$\text{slip} = s = \omega_s - \omega \quad (9-5b)$$

در روابط اخیر S_s و ω_s سرعت سنکرون و S و ω سرعت واقعی رتور می باشند .
معمولا لغزش را بصورت درصدی از سرعت سنکرون بیان می دارند
در سیستم ENG داریم :

$$\text{percent slip} = s = \frac{S_s - S}{S_s} \times 100 \quad (9-6a)$$

در سیستم SI داریم :

$$\text{percent slip} = s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \times 100 \quad (9-6b)$$

مثال ۵-۹ (سیستم ENG) :

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت = ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط-خط)

اسب بخار = ۲ = توان اسمی

هرتز = ۶۰ = فرکانس اسمی

دور در دقیقه = ۱۷۹۰ = سرعت در حالت بی باری

دور در دقیقه = ۱۶۵۰ = سرعت در بار اسمی (بار کامل)

۴ = تعداد قطبها

لغزش و درصد لغزش را در شرایط زیر حساب کنید

الف ؛ حالت بی باری

ب ؛ حالت بار اسمی (بار کامل)

ج ؛ حالت رتور قفل شده ^(۱) (سکون)

حل :

قبل از شروع محاسبات سرعت سنکرون را بدست می آوریم (رابطه a-۱-۹)

$$S_s = 120 \times \frac{60 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}} = 1800 \text{ rev/min}$$

الف ؛ از رابطه (a-۵-۹) و (a-۶-۹) داریم :

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 1790 \text{ rev/min} = 10 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 1790) \times \frac{100}{1800} = 0.556\%$$

ب. از رابطه (۹-۵ a) و (۹-۶ a) داریم:

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 1650 \text{ rev/min} = 150 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 1650) \times \frac{100}{1800} = 8.33\%$$

ج. از رابطه (۹-۵ a) و (۹-۶ a) داریم:

$$s = 1800 \text{ rev/min} - 0 = 1800 \text{ rev/min}$$

$$s = (1800 - 0) \times \frac{100}{1800} = 100\%$$

مثال ۹-۶ (سیستم SI)

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت = ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (خط-خط)

۴ = تعداد قطبها

۲ = توان اسمی

۵۰ = فرکانس اسمی

رادیان بر ثانیه ۱۵۵ = سرعت در حالت بی‌باری

رادیان بر ثانیه ۱۴۰ = سرعت در بار اسمی (بار کامل)

لغزش و درصد لغزش را در حالت‌های زیر حساب کنید.

الف: حالت بی‌باری

ب: حالت بار اسمی (بار کامل)

ج: حالت سکون (رتور قفل شده)

حل:

ابتدا سرعت سنکرون را از رابطه (۹-۱ b) بدست می‌آوریم:

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}} = 157.14 \text{ rad/s}$$

الف: از روابط (۹-۵ b) و (۹-۶ b) داریم:

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 155 \text{ rad/s} = 2.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 155) \times \frac{100}{157.14} = 1.36\%$$

ب: از روابط (۹-۵ b) و (۹-۶ b) داریم:

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 140 \text{ rad/s} = 17.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 140) \times \frac{100}{157.14} = 10.9\%$$

ج. از روابط $(9 - 5b)$ و $(9 - 6b)$ داریم:

$$s = 157.14 \text{ rad/s} - 0 = 157.14 \text{ rad/s}$$

$$s = (157.14 - 0) \times \frac{100}{157.14} = 100\%$$

از دو مثال فوق در می‌یابیم که:

- ۱ - در لحظه راه اندازی درصد لغزش ۱۰۰٪ بوده و لغزش معادل یک می‌باشد
- ۲ - با سرعت گرفتن رتور لغزش کاهش می‌یابد و در حالت بی‌باری لغزش بسیار کم است و معمولاً درصد لغزش حدود صفر تا ۲ درصد است و لغزش حدود صفر تا ۰.۰۲ است.

۳ - با افزایش بار موتور سرعت کاهش می‌یابد و لغزش زیاد می‌شود و گشتاور بیشتری در موتور حاصل می‌شود تا بتواند بار را تامین کند، لذا در می‌یابیم که گشتاور با لغزش متناسب است (در این فصل بیشتر راجع به این موضوع صحبت می‌کنیم).

مثال ۹-۷ (سیستم ENG):

یک موتور سنکرون سه فاز ۶۰ هرتزی با مشخصات زیر مفروض است.

دور در دقیقه ۵۹۵ = سرعت بی‌باری

۱۶٪ = درصد لغزش در بار اسمی (بار کامل)

مطلوبست محاسبه تعداد قطبها در این ماشین و همچنین سرعت اسمی (بار کامل) را بیابید.
حل.

برای حل این مساله از روش آزمون و خطا^(۱) استفاده می‌کنیم و بر این باوریم

که سرعت بی‌باری خیلی نزدیک به سرعت سنکرون است.

ابتدا فرض می‌کنیم ماشین ۸ قطبی باشد، لذا از رابطه $(9 - 1a)$ داریم:

$$S_s = 120 \times \frac{60}{8} = 900 \text{ rev/min}$$

حال موتور ۱۰ قطبی را امتحان می‌کنیم.

$$S_s = 120 \times \frac{60}{10} = 720 \text{ rev/min}$$

حال موتور ۱۲ قطبی را مورد آزمایش قرار می‌دهیم.

$$S_r = 120 \times \frac{60}{12} = 600 \text{ rev/min}$$

می‌بینیم که سری سنکرون موتور ۱۲ قطبی خیلی نزدیک به سرعت بی‌باری این موتور است، در نتیجه این موتور ۱۲ قطبی است، حال با دانستن اینکه موتور ۱۲ قطبی است و سرعت سنکرون آن ۶۰۰ دور در دقیقه است؛ لذا از رابطه (a-۶) استفاده می‌کنیم.

$$16 = \frac{600 - S_{FL}}{600} \times 100$$

$$S_{FL} = 600 - 600 \times \frac{16}{100} \\ = 504 \text{ rev/min}$$

مثال ۸-۹ (سیستم SI):

یک موتور اسنکرون، سه فاز، ۵۰ هرتزی مغروض است و دارای مشخصات زیر است.

رادیان بر ثانیه $62/5$ = سرعت در حالت بی‌باری

۲۰٪ = درصد لغزش در بار اسمی

تعداد قطبهای موتور را بدست آورید و سرعت موتور را در بار اسمی (بار کامل)

محاسبه کنید.

حل:

برای حل این مساله از روش آزمون و خطا استفاده می‌کنیم و بر این باوریم که سرعت سنکرون و سرعت بی‌باری خیلی نزدیک بهم هستند از رابطه (b-۱) استفاده می‌کنیم.

ابتدا موتور را ۸ قطبی در نظر می‌گیریم.

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{8} = 78.5 \text{ rad/s}$$

حال موتور را ۱۰ قطبی اختیار می‌کنیم.

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{10} = 62.83 \text{ rad/s}$$

می‌بینیم که سرعت سنکرون موتور ۱۰ قطبی نزدیک سرعت بی‌باری موتور مورد

نظر است. پس موتور ۱۰ قطبی می‌باشد.

حال از رابطه (b-۶) استفاده می‌کنیم.

$$20 = \frac{62.83 - \omega_{FL}}{62.83} \times 100$$

$$\omega_{FL} = 62.83 - 62.83 \times \frac{20}{100} = 50.26 \text{ rad/s}$$

چون در محاسبات سرعت بیشتر از روابط (۱-۹) و (۶-۹) استفاده می شود لذا بهتر است آنها را در هم ادغام کنیم. لذا بین این دو رابطه سرعت سنکرون را حذف می کنیم. در سیستم ENG داریم:

$$S = \frac{120f}{P} (1 - s) \quad (9-7a)$$

در سیستم ENG داریم:

$$\omega = \frac{4\pi f}{P} (1 - s) \quad (9-7b)$$

باید توجه داشت که در این روابط لغزش بر حسب اعشار بیان می شود و بر حسب درصد حایگزین نمی گردد. مثلاً اگر درصد لغزش ۲۰٪ بود در روابط فوق ۰/۲ حایگزین می کنیم.

مثال ۹-۹ (سیستم ENG):

یک موتور اسنکرون سه فاز، ۴ قطبی، ۶۰ هرتزی مفروض است و درصد لغزش آن در بار اسمی (بار کامل) ۱۸٪ است. سرعت آنرا در بار اسمی بیابید.

حل:

از رابطه (۷ a-۹) کمک می گیریم:

$$S_{FL} = \frac{120 \times 60}{4} (1 - 0.18) = 1476 \text{ rev/min}$$

مثال ۹-۱۰ (سیستم SI):

یک موتور اسنکرون سه فاز، ۱۲ قطبی، ۵۰ هرتزی مفروض است و لغزش آن در بار اسمی (بار کامل) ۲۲٪ است. سرعت اسمی آنرا بیابید.

حل:

از رابطه (۷ b-۹) استفاده می شود.

$$\omega_{FL} = \frac{4\pi \times 50}{12} (1 - 0.22) = 40.86 \text{ rad/s}$$

۹-۴-۲ تنظیم سرعت:

تعریف تنظیم سرعت^(۱) در موتورهای القائی سه فاز مشابه موتورهای DC است (جلد اول)، در سیستم ENG داریم.

$$\% \text{ speed regulation} = \frac{S_{NL} - S_{FL}}{S_{FL}} \times 100 \quad (9-8a)$$

در سیستم SI داریم :

$$\% \text{ speed regulation} = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_{FL}} \times 100 \quad (9-8b)$$

با آنکه روابط فوق مشابه روابط لغزش است (روابط ۶-۹) ولی نباید این روابط با هم اشتباه شوند زیرا در روابط لغزش سرعت سنکرون در مد نظر است ولی در روابط تنظیم سرعت همانطور که مشاهده می شود ، سرعت بی باری مطرح می شود .

مثال ۱۱-۹ (سیستم ENG) :

یک موتور القائی سه فاز ، ۶ قطبی ، ۶۰ هرتزی مفروض است و دارای مشخصات زیر است :

دور در دقیقه = ۱۱۹۰ = سرعت بی باری

دور در دقیقه = ۹۸۰ = سرعت در بار اسمی (بار کامل)

درصد لغزش و درصد تنظیم سرعت را برای این موتور بیابید .

حل :

از رابطه (۹-۱ a) داریم :

$$S_s = 120 \times \frac{60}{6} = 1200 \text{ rev/min}$$

از رابطه (۹-۶ a) داریم :

$$s = (1200 - 980) \times \frac{100}{1200} = 18.33\%$$

از رابطه (۹-۸ a) داریم :

$$SR = (1190 - 980) \times \frac{100}{980} = 21.4\%$$

مثال ۱۲-۹ (سیستم SI) :

یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۸ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است و دارای مشخصات زیر است .

رادیان بر ثانیه ۷۷/۸ = سرعت بی باری

رادیان بر ثانیه ۶۶ = سرعت در بار اسمی (بار کامل)

درصد لغزش و درصد تنظیم سرعت موتور را بیابید .

حل :

از رابطه (۱ b - ۹) داریم :

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{8} = 78.57 \text{ rad/s}$$

از رابطه (۲ b - ۹) داریم :

$$s = (78.57 - 66) \times \frac{100}{78.57} = 16\%$$

از رابطه (۳ b - ۹) داریم :

$$SR = (77.8 - 66) \times \frac{100}{66} = 17.9\%$$

باید توجه داشت که از روابط (۷ - ۹) نیز می توان برای دو مثال فوق استفاده

کرد .

9-5 ANALYSIS OF ROTOR BEHAVIOR

۵-۹ تحلیل رفتار رتور در موتورهای القائی سه فاز :

در این بخش رفتار رتور را در اینگونه موتورها مورد بررسی قرار می دهیم . این تحلیل شامل روابط الکتریکی و گشتاور خروجی در سرعت های گوناگون می باشد . در این بررسی فرضیاتی را مد نظر قرار می دهیم ولی تقریب این بررسی نسبتا خوب است و برای رتورهای قفس سنجایی و سیم پیچی شده صادق می باشد . اندیس R در این بخش نمایانگر کمیت های مربوط به رتور است .

در بخش (۳ - ۹) همین فصل گفتیم که فرکانس جریان رتور (f_R) در حالت سکون یا فرکانس منبع تغذیه موتور (f) برابر است ؛ با سرعت گرفتن رتور ، f_R کم می شود و معادله زیر مبین رابطه بین فرکانس جریان رتور و فرکانس منبع تغذیه در تحت لغزش های مختلف می باشد .

$$f_R = sf \quad (9-9)$$

در رابطه اخیر لغزش (S) بر حسب عدد اعشاری بیان می شود و در صدی

حایگزین نمی گردد .

در حالت سکون لغزش ۱۰۰٪ یا یک بوده و f_R برابر ۶۰ یا ۵۰ هرتز خواهد بود . در شرایط متداول بار دارای لغزش بسیار کم است (حدود ۵٪) . لذا فرکانس جریان رتور در حالت بی باری حدود ۲/۵ تا ۳ هرتز خواهد بود که تقریباً حریانی است مستقیم

(DC) .

اندوکتانس هر فاز رتور (L_R) عددی ثابت است ولی راکتانس هر فاز رتور (X_R) تابعی از فرکانس است $(X_R = 2\pi f_R L_R)$. لذا راکتانس هر فاز رتور تابعی از سرعت یا لغزش است . اگر X_{BR} راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون باشد $(X_{BR} = 2\pi f L_R)$ ، بنابراین راکتانس هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین بیان میشود :

$$X_R = sX_{BR} \quad (9-10)$$

اگر مقاومت هر فاز رتور را R_R بگیریم ، لذا آئمپدانس هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین است .

$$Z_R = \sqrt{R_R^2 + (sX_{BR})^2} \quad (9-11)$$

ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور (E_R) تابع کمیت‌های زیر است :

۱ - ولتاژ استاتور (منبع تغذیه)

۲ - چگونگی و نرخ قطع خطوط شار گردنده توسط هادیهای رتور

۳ - نسبت دورهای سیم پیچ‌های استاتور و رتور

البته نسبت دورهای سیم پیچ‌های استاتور و رتور در ماشینهای قفس سنجابی قدری مبهم است ولی ما در این کتاب خود را درگیر این مطالب نمی‌کنیم و فرض می‌کنیم در حالت سکون ولتاژ E_{BR} در هر فاز رتور القاء شده باشد ، با سرعت گرفتن رتور ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور کاهش می‌یابد (بند ۲ فوق‌الذکر) ، لذا ولتاژ القاء شده در هر فاز رتور در لغزشهای مختلف اینچنین است .

$$E_R = sE_{BR} \quad (9-12)$$

با توجه به روابط (۹-۱۱) و (۹-۱۲) جریان هر فاز رتور در لغزشهای مختلف

بدست می‌آید .

$$I_R = \frac{sE_{BR}}{\sqrt{R_R^2 + (sX_{BR})^2}} \quad (9-13)$$

معمولاً X_{BR} برابر R_R است و در اغلب موتورهای لغزش در بار اسمی (بار کامل) حدود ۱۰٪ است . لذا در شرایط اسمی آئمپدانس هر فاز رتور تقریباً همان R_R خواهد بود . زیرا $(sX_{BR})^2$ کوچکتر از $(R_R)^2$ می‌گردد .

مثال ۱۳-۹ :

یک موتور القائی سه فاز مفروض است و مقاومت هر فاز رتور ۰/۰۸ اهم و X_{BR} معادل ۰/۳۵ اهم در هر فاز می‌باشد . آئمپدانس هر فاز رتور را در لغزش ۱۰٪ بدست آورید .

حل:

از رابطه (۹-۱۱) داریم .

$$Z_R = \sqrt{(0.08)^2 + (0.1 \times 0.35)^2} = 0.087$$

مشاهده میشود Z_R تقریباً با R_R مساوی می باشد، لذا می توان رابطه (۹-۱۳) را در شرایط اسمی با تقریب خوب اینچنین نوشت ،

$$I_R = \frac{sE_{BR}}{R_R} \quad (9-14)$$

از آنجائیکه در شرایط اسمی امپدانس رتور تقریباً "مقاومتی خالص می باشد"، لذا در این شرایط ضریب توان رتور ($\cos \theta_R$) تقریباً واحد خواهد بود با حایگزینی رابطه (۹-۱۴) در رابطه (۹-۲) و با در نظر گرفتن ضریب توان واحد برای رتور، رابطه گشتاور اینچنین بدست می آید .

$$T = \frac{K\phi sE_{BR}(1)}{R_R} \quad (9-15)$$

در رابطه اخیر تنها متغیر لغزش است . لذا سایر کمیتها را یک، کاسه کرده و با ثابت " K " نشان می دهیم .

$$K'' = \frac{K\phi E_{BR}}{R_R} \quad (9-16)$$

با تقریب خوب می توان گفت که شار با ولتاژ منبع تغذیه (ولتاژ خط-خط) متناسب است و اگر ولتاژ منبع تغذیه ثابت باشد شار را تقریباً ثابت در نظر می گیریم . لذا با توجه به روابط (۹-۱۵) و (۹-۱۶) داریم .

$$T = K''s \quad (9-17)$$

در رابطه (۹-۱۷) گشتاور بدست آمده همان گشتاور حاصله موتور خواهد بود . گشتاور خروجی اینچنین بدست می آید :

گشتاورهای مخالفت کننده موتور - موتور گشتاور حاصله موتور (رابطه ۹-۱۷) = گشتاور خروجی واضح است که :

گشتاورهای حاصله بخاطر تلفات مکانیکی داخل ماشین = گشتاورهای مخالفت کننده موتور .

چون تلفات مکانیکی تقریباً ثابت است لذا :

عددی ثابت - گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

در نتیجه گشتاور خروجی نیز تابعی از لغزش می باشد . هرگاه موتور تحت سرعت

ثابتی کار کند ، لذا شتاب صفر خواهد بود و گشتاور خروجی معادل گشتاور بار که گشتاور

مخالفت کننده یا باز دارنده می باشد خواهد شد ، لذا با تقریب خوب داریم

گشتاور بار = عددی ثابت - گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

چون تلفات مکانیکی ماشین کم است لذا ؛

گشتاور بار = گشتاور حاصله موتور = گشتاور خروجی موتور

مثال ۱۴ - ۹ (سیستم ENG) :

یک موتوراسنکرون سه فاز ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی (بار

کامل) برابر ۱۶۰۰ دور در دقیقه می باشد ، سرعت آنرا در نصب بار اسمی بدست آورید

(تعداد قطبها را ۴ فرض کنید) ،

حل :

ابتدا لغزش را در بار اسمی بدست می آوریم (رابطه $a = 1 - s$) ،

$$1600 = \frac{120 \times 60}{4} (1 - s)$$

$$s = 1 - 0.89 = 0.11 \text{ (11\% slip)}$$

از رابطه $(1 - s)$ و مطالب فوق در میابیم که لغزش با بار متناسب است . لذا لغزش در

نصف بار اسمی اینچنین بدست می آید ،

$$s = 0.11 \left(\frac{1}{2}\right) = 0.055$$

حال سرعت در نصف بار اسمی را بدست می آوریم (رابطه $a = 1 - s$) :

$$S = \frac{120 \times 60}{4} (1 - 0.055) = 1701 \text{ rev/min}$$

مثال ۱۵ - ۹ (سیستم SI) :

یک موتوراسنکرون سه فاز ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی (بار

کامل) ۲۶۵ رادیان بر ثانیه است اگر بار موتور به ۷۵٪ بار اسمی تقلیل یابد سرعت جدید

موتور چیست ؟ (تعداد قطبها را ۲ فرض کنید) ،

حل :

ابتدا لغزش در بار اسمی را حساب می کنیم (رابطه $b = 1 - s$) :

$$265 = \frac{4\pi \times 50}{2} (1 - s)$$

$$s = 1 - 0.84 = 0.16 \text{ (16\% slip)}$$

از رابطه (۹-۱۷) و مطالب فوق درمیابیم که لغزش در ۷۵٪ بار اسمی اینچنین حساب میشود

$$s = 0.75 \times 0.16 = 0.12$$

حال از رابطه (۹-۷b) سرعت را در ۷۵٪ بار اسمی بدست می آوریم .

$$\omega = \frac{4\pi \times 50}{2} (1 - 0.12) = 276.3 \text{ rad/s}$$

۹-۵-۱ رابطه گشتاور-توان " 9-5.1 Torque-Power Relationships

در فصل پنجم (جلد اول) رابطه بین گشتاور و توان موتورهای DC را مورد بررسی قرار دادیم . این روابط همراه با تئوری های ذکر شده در این فصل ما را قادر می سازد که روابط بین گشتاور و توان موتورهای القائی سه فاز را بدست آوریم . مثالهای زیر این موضوع را بهتر روشن می کنند .

مثال ۹-۱۶ (سیستم ENG) :

یک موتور القائی ۲۰۸ ولتی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

هرتز = ۶۰ فرکانس اسمی

اسب بخار = ۲ توان اسمی

دور در دقیقه = ۱۷۰۰ سرعت در بار اسمی

دور در دقیقه = ۱۷۵۰ سرعت در بار کم

مطلوبست :

الف : گشتاور اسمی

ب : گشتاور بار در حالت بار کم (بار سبک) (۱)

ج : توان خروجی در حالت بار کم (بار سبک)

حل :

چون نمی دانیم که این موتور چند قطبی است ، لذا باید ابتدا تعداد قطبهای آنرا بدست آوریم . می دانیم که سرعت اسمی موتور ۱۷۰۰ دور در دقیقه است و باید به سرعت سنکرون نزدیک باشد . در فرکانس ۶۰ هرتز ماشین ۴ قطبی دارای سرعت سنکرون ۱۸۰۰ دور در دقیقه می باشد ، پس بطور قطع موتور مورد نظر در این مثال نیز ۴ قطبی خواهد بود .

الف؛ از رابطه (۳a-۵) در حلد اول داریم؛

$$P = 2 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 1492 \text{ W}$$

$$T = 7.04 \times \frac{1492 \text{ W}}{1700 \text{ rev/min}}$$

$$= 6.2 \text{ ft-lb (rated torque)}$$

ب؛ از رابطه (۶a-۹) لغزش در بار اسمی را حساب می‌کنیم

$$\text{full-load slip} = (1800 - 1700) \times \frac{100}{1800}$$

$$s_{FL} = 5.56\% = 0.0556$$

در تحت شرایط بار کم لغزش را بدست می‌آوریم .

$$s = (1800 - 1750) \times \frac{100}{1800}$$

$$= 2.78\% = 0.0278$$

از تقسیم این دو لغزش در میابیم که؛

$$\frac{s}{s_{FL}} = \frac{0.0278}{0.0556} = 0.5 = \frac{1}{2}$$

در نتیجه در میابیم که بار سبک ذکر شده برای موتور همان نصف بار اسمی موتور

می‌باشد ، لذا گشتاور بار در این حالت نیز نصف گشتاور اسمی خواهد بود ،

$$T_{load} = (\frac{1}{2})6.2 \text{ ft-lb} = 3.1 \text{ ft-lb}$$

ج؛ توان خروجی از رابطه (۳a-۵) در حلد اول بدست می‌آید .

$$P = \frac{TS}{7.04} = 3.1 \text{ ft-lb} \times \frac{1750 \text{ rev/min}}{7.04}$$

$$= 770.6 \text{ W}$$

$$= \frac{770.6 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 1.03 \text{ hp}$$

مثال ۱۷-۹ (سیستم SI)؛

یک موتور اسنکرون ۲۳۰ ولتی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

کیلو وات = ۴ توان اسمی

رادیان بر ثانیه = ۲۷۵ سرعت در بار اسمی

رادیان بر ثانیه = ۳۰۰ سرعت در بار کم

مطلوبست؛

الف: گشتاور اسمی

ب: گشتاور بر در حالت بار کم (بار سبک)

ج: توان خروجی در حالت بار کم (بار سبک)

حل:

ابتدا باید تعداد قطبها در این ماشین را بدست آوریم. چون سرعت اسمی ۲۷۵ رادیان بر ثانیه است و سرعت سنکرون در ماشین دو قطبی با فرکانس ۵۰ هرتز معادل ۳۱۴ رادیان بر ثانیه است لذا بطور قطع این موتور دو قطبی است.
الف: از رابطه (b ۳-۵) در جلد اول داریم:

$$T = 1000 \times \frac{4 \text{ kW}}{275 \text{ rad/s}}$$

$$= 14.55 \text{ N-m}$$

ب: از رابطه (b ۶-۹) لغزش را در بار اسمی بدست می آوریم:

$$\text{full-load slip} = (314 - 275) \times \frac{100}{314}$$

$$s_{FL} = 12.4\% = 0.124$$

در شرایط بار کم داریم:

$$s = (314 - 300) \times \frac{100}{314}$$

$$= 4.46\% = 0.0446$$

از تقسیم دو رابطه اخیر داریم:

$$\frac{s}{s_{FL}} = \frac{0.0446}{0.124} = 0.36$$

لذا بار کم در این مثال بمشابه ۳۶٪ بار اسمی خواهد بود. در نتیجه گشتاور بار اینچنین بدست می آید.

$$T_{load} = 0.36 \times 14.55 \text{ N-m} = 5.238 \text{ N-m}$$

ج: با استفاده از رابطه (b ۳-۵) داریم:

$$P = \frac{T\omega}{1000} = 5.238 \text{ N-m} \times \frac{300 \text{ rad/s}}{1000}$$

$$= 1.57 \text{ kW}$$

۲-۵-۹- منحنی "گشتاور-لغزش" 9-5.2 Torque-Slip Curve

مثالهای فوق را بصورت تقریبی توسط رابطه (۹-۱۷) بدست آوردیم ولی می دانیم که این رابطه تقریبی است زیرا برای بدست آوردن این رابطه فرض نمودیم ضریب توان رتور واحد باشد و براساس این موضوع بود که یک رابطه خطی بین گشتاور بار و لغزش بدست آوردیم ، اما برای بررسی دقیقتر تغییرات لغزش با توجه به تغییرات گشتاور بار باید رابطه دقیقتری بین گشتاور و لغزش بدست آوریم . یکی از راههای حصول به حل دقیقتر مساله استفاده از منحنی "گشتاور-لغزش" است که ما آنرا با منحنی "TSL" می نامیم . این منحنی تغییرات گشتاور خروجی نسبت به درصد لغزش می باشد . شکل (۹-۱۰) یک نمونه منحنی TSL را برای یک موتور آسنکرون سه فاز نشان می دهد .

حال قدری درباره این منحنی بیشتر توضیح می دهیم . رابطه (۹-۱۳) را در رابطه (۲-۹) جایگزین می کنیم و می دانیم .

$$\cos \theta_R = R_R / Z_R$$

لذا رابطه گشتاور اینچنین می شود .

$$T = \frac{(K\phi E_{BR} R_R) s}{R_R^2 + (sX_{BR})^2} \quad (9-18)$$

شکل (۹-۱۰) رسم منحنی (۹-۱۸) می باشد ، در لحظه راه اندازی لغزش ۱۰۰٪ است و گشتاور راه انداز حاصل می گردد ، حال رتور شتاب می گردد و بالاخره ماشین در سرعت یا لغزش خاصی مستقر می گردد .

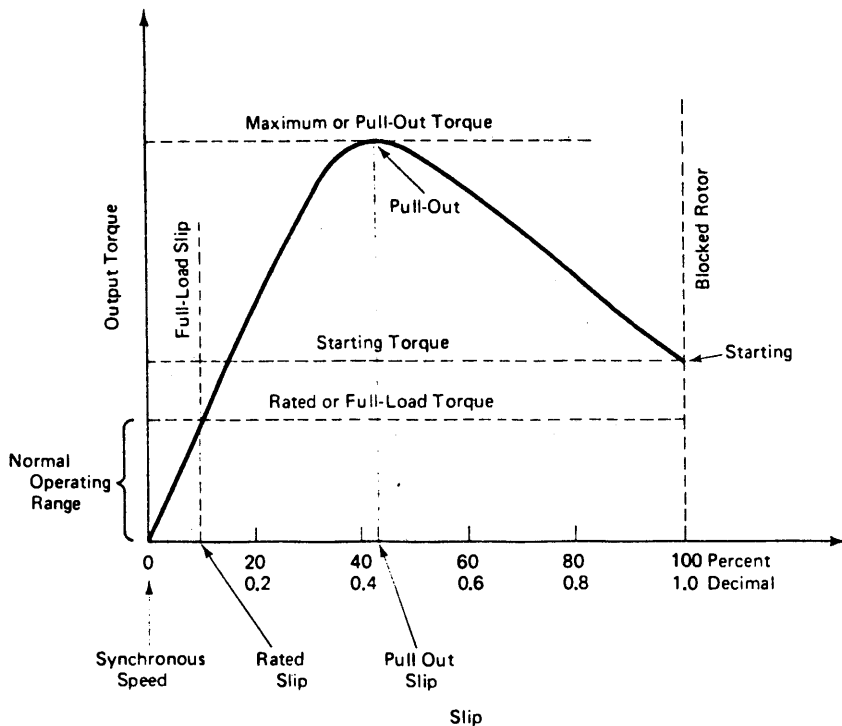
هرگاه بار موتور بار اسمی باشد ، لغزش موتور همان لغزش اسمی خواهد بود . اگر بار زیاد شود ، لغزش زیاد می شود (سرعت کم می شود) و گشتاور نیز مطابق نیاز بار افزایش می یابد . اگر معادله (۹-۱۸) را رسم کنیم شکلی مطابق شکل (۹-۱۰) حاصل می گردد و این منحنی دارای ماکزیمی است که به آن گشتاور ماکزیم یا گشتاور **pull-out** گفته میشود ، هرگاه گشتاور بار از این گشتاور ماکزیم یا **pull-out** افزونتر شود ماشین سرعتش بتدریج کاهش می یابد تا بالاخره بحالت سکون در می آید .

از نظر ریاضی نقطه ماکزیم منحنی شکل (۹-۱۰) که به معادله (۹-۱۸) مربوط می شود اینچنین بدست می آید ،

$$R_R^2 = (sX_{BR})^2$$

$$R_R = sX_{BR} \quad (9-19)$$

$$\text{pull-out slip} = s_{po} = \frac{R_R}{X_{BR}}$$



شکل ۱۰ - ۹ منحنی گشتاور لغزش یا TSL برای یک موتور القائی سه فاز

باید توجه داشت که لغزش مربوط به گشتاور ماکزیمم یا pull-out را به لغزش ماکزیمم یا لغزش pull-out نشان می‌دهند، همانطور که از شکل (۹ - ۱۰) پیداست منحنی در محدوده لغزش ۱۰۰٪ (حالت سکون و راه اندازی) تا لغزش صفر مربوط به سرعت سنکرون رسم شده است. همچنین در این شکل نقاط مربوط به گشتاور ماکزیمم (pull-out) و لغزش ماکزیمم (pullout) و گشتاور راه انداز نشان داده شده اند. حال قدری درباره علت اینکه گشتاور بار از گشتاور ماکزیمم (pull-out) بیشتر شود چرا موتور بحالت سکون سوق داده می شود بیشتر صحبت می کنیم.

با افزایش لغزش جمله (SXBR) در امپدانس رتور بیشتر می شود تا بالاخره با R_R مساوی گردد. در این لحظه ضریب توان رتور ۰/۷۰۷ خواهد بود. حال اگر باز بار زیادتر شود و لغزش بیشتر گردد ضریب توان رتور کم می شود و بالنتیجه توان حاصله توسط رتور کاهش می یابد. کم شدن توان باعث زیادتر شدن لغزش و کاهش بیشتر ضریب توان رتور می گردد که خود دوباره بر کم شدن توان اثر می گذارد این پروسس آنقدر ادامه می یابد تا موتور بایستد.

مثال ۱۸-۹ (سیستم ENG):

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

$$۲ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۶۰ = \text{هرتز فرکانس اسمی}$$

$$۱ = \text{اسب بخار توان اسمی}$$

$$۰/۱ = (R_R) \text{ مقاومت هر فاز رتور اهم}$$

$$۰/۴ = (X_{BR}) \text{ راکتانس هر فاز رتور در اهم}$$

حالت سکون

حداقل سرعتی را برای این موتور بیابید که بتواند دائما با آن سرعت بچرخد -

بدون آنکه بحالت سکون سوق داده شود ،

حل:

کمترین سرعت درست قبل از لغزش ماکزیمم (pull-out) رخ می دهد .

بعبارت دیگر حد نهایی لغزش ، همان لغزش ماکزیمم است . از رابطه (۱۹ - ۹) داریم

$$s_{pm} = \frac{0.1 \Omega}{0.4 \Omega} = 0.25$$

از رابطه (۷ a - ۹) داریم :

$$S = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.25}{2} = 2700 \text{ rev/min}$$

مثال ۱۹-۹ (سیستم SI):

یک موتور القایی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است ،

$$۱۰ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۵۰ = \text{هرتز فرکانس اسمی}$$

$$۱ = \text{کیلووات توان اسمی}$$

$$۰/۰۸ = (R_R) \text{ مقاومت هر فاز رتور اهم}$$

$$۰/۰۲۵ = (X_{BR}) \text{ راکتانس هر فاز رتور در حالت اهم}$$

سکون

حداقل سرعتی را برای این موتور بیابید که بتواند دائما با آن سرعت بچرخد

بدون آنکه بحالت سکون سوق داده شود ،

حل:

کمترین سرعت درست قبل از لغزش ماکزیمم (pull-out) رخ می دهد ، بعبارت

دیگر حد نهایی لغزش ، همان لغزش ماکزیمم است ، از رابطه (۱۹ - ۹) داریم .

$$s_{pm} = \frac{0.08 \Omega}{0.25 \Omega} = 0.32$$

از رابطه (۹-۲b) داریم .

$$\omega = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.32}{10} = 42.7 \text{ rad/s}$$

9-5.3 Wound Rotor

۳-۵-۹ رتورهای سیم پیچی شده:

در بخش قبل تنها اثر تغییر بار را بر روی سرعت ماشین مورد بررسی قرار دادیم ، اما اگر رتور ماشین از نوع رتور سیم پیچی شده باشد می توان مقاومت هر فاز رتور را تغییر داد (شکل ۳-۹) ، با تغییر مقاومت رتور نه تنها لغزش ماکزیمم (pull-out) تغییر کرده بلکه تحت گشتاور بار مفروضی می توان لغزش را تغییر داد. با تقریب خوب می توان گفت

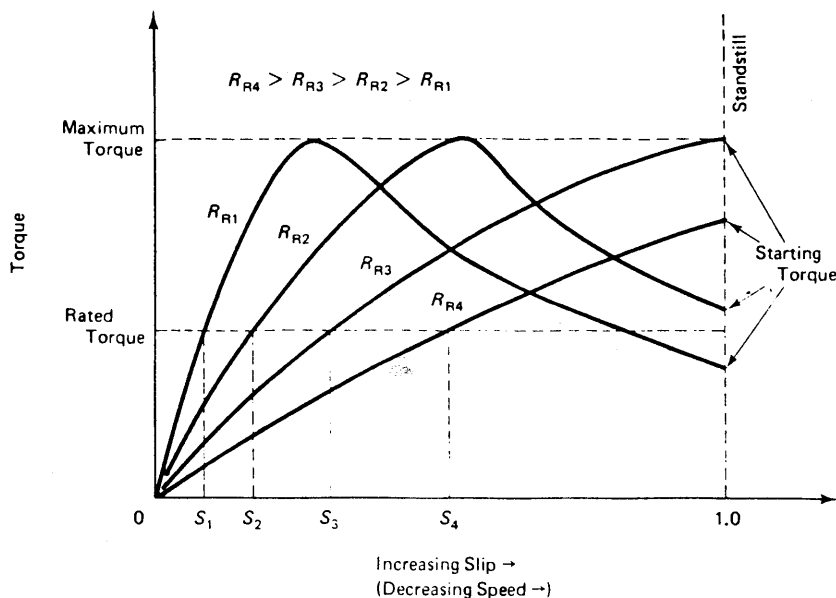
$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{R_{R1}}{R_{R2}} \quad (9-20)$$

یعنی نسبت لغزشها در دو حالت مختلف متناسب است با مقاومت رتور در این دو حالت. لذا اگر مقاومت رتور را زیاد کنیم لغزش نیز بیشتر می گردد ، اما باید گفت که افزایش مقاومت رتور گشتاور ماکزیمم (pullout) را تغییر نمی دهد (چرا؟) .

شکل (۱۱-۹) اثر تغییر مقاومت رتور را بر روی منحنی های TSL نشان

می دهد ،

در نتیجه درمی یابیم که با تغییر مقاومت رتور می توان سرعت ماشین را تحت بار مفروض



شکل ۱۱-۹: اثر مقاومت رتور بر روی منحنی گشتاور لغزش یا TSL

تغییر داد.

در اینجا نکاتی چند را یادآوری می‌کنیم.

۱- اگر مقاومت خارجی در مدار رتور نباشد، در اینصورت مقاومت رتور به تنهایی در تعیین گشتاور موثر است و دیگر نمی‌توان با روش تغییر مقاومت سرعت را از این حالت بیشتر نمود.

۲- با افزایش مقاومت خارجی رتور، گشتاور راه انداز موتور بیشتر می‌شود.

مثال ۲۰-۹ (سیستم ENG):

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

$$e = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{هرتز} = 60 = \text{فرکانس اسمی}$$

$$\text{سیم پیچی شده} = \text{نوع رتور}$$

$$\text{اهم } 0.05 = \text{مقاومت هر فاز رتور } R_k$$

$$\text{اهم } 0.25 = (X_{BR}) \text{ راکتانس هرفاز رتور در حالت سکون}$$

$$\text{دور در دقیقه } 1050 = \text{سرعت اسمی}$$

$$\text{اهم } 0.15 = (\text{رئوستای حلقه‌های لغزان}) \text{ مقاومت هر فاز رئوستا}$$

مطلوبست:

الف: در حالتی که رئوستا بر روی صفر تنظیم شود، سرعت ماشین در حالت

pull-out

ب: اگر رئوستا کاملاً در مدار قرار گیرد سرعت ماشین را در حالت pull out

حساب کنید.

ج: در حالتی که رئوستا کاملاً در مدار است سرعت اسمی جدید را پیدا کنید.

حل:

الف از رابطه (۱۹-۹) داریم:

$$s_{po} = \frac{0.05 \Omega}{0.25 \Omega} = 0.2$$

از رابطه (۲۷-۹) داریم:

$$S_{po} = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.2}{6} = 960 \text{ rev/min}$$

ب: در این حالت مقاومت هرفاز رتور ۰/۲ می‌گردد (چرا؟). از رابطه (۱۹-۹)

داریم:

$$s_{po} = \frac{0.2 \Omega}{0.25 \Omega} = 0.8$$

از رابطه (a ۷-۹) داریم :

$$S_{p1} = 120 \times 60 \times \frac{1 - 0.8}{6} = 240 \text{ rev/min}$$

ج : ابتدا سرعت سنکرون ماشین را بدست می آوریم . از رابطه (a ۱-۹) داریم :

$$S_s = 120 \times \frac{60}{6} = 1200 \text{ rev/min}$$

از رابطه (a ۵-۹) لغزش در بار اسمی را در شرایطی که رثوستا وجود ندارد پیدا می کنیم :

$$s_1 = 1200 \text{ rev/min} - 1050 \text{ rev/min} = 150 \text{ rev/min}$$

حال برای بدست آوردن لغزش در بار اسمی در شرایطی که رثوستا وارد مدار می شود .
از رابطه (a ۲۰-۹) کمک می گیریم .

$$\frac{150 \text{ rev/min}}{s_2} = \frac{0.05 \Omega}{0.20 \Omega}$$

$$s_2 = 0.2 \times \frac{150}{0.05} = 600 \text{ rev/min}$$

حال از رابطه (a ۵-۹) کمک می گیریم .

$$600 \text{ rev/min} = 1200 \text{ rev/min} - S_{FL}$$

$$S_{FL} = 1200 - 600 = 600 \text{ rev/min}$$

مثال ۲۱-۹ (سیستم SI) :

یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

$$۴ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۵۰ = \text{فرکانس اسمی}$$

هرتز

$$= \text{نوع رتور} \quad \text{سیم پیچی شده}$$

$$۰/۱۱ = (R_R) \quad \text{مقاومت هر فاز رتور} \quad \text{اهم}$$

$$۰/۵ = (X_{BR}) \quad \text{راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون} \quad \text{اهم}$$

$$۱۴۰ = \text{سرعت در بار اسمی} \quad \text{رادیان بر ثانیه}$$

$$۰/۲ = \text{اهم} \quad \text{رثوستای حلقه های لغزان} \quad \text{مقاومت هر فاز رثوستای مربوط به رتور}$$

مطلوبست .

- الف: سرعت موتور در حال pullout بدون وجود رگوستا .
 ب: سرعت موتور در حال pull-out با وجود رگوستا در مدار .
 ج: سرعت اسمی موتور در حالتی که رگوستا در مدار قرار دارد .

حل:

الف: از رابطه (۹-۱۹) داریم:

$$s_{po} = \frac{0.11 \Omega}{0.5 \Omega} = 0.22$$

از رابطه (b-۹) داریم:

$$\omega_{po} = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.22}{4} = 122.5 \text{ rad/s}$$

ب: در اینحالت مقاومت هر فاز رتور ۳۱/۵ اهم است (چرا؟). از رابطه ۹-۱۹ داریم:

$$s_{po} = \frac{0.31 \Omega}{0.5 \Omega} = 0.62$$

از رابطه (b-۹) داریم:

$$\omega_{po} = 4\pi \times 50 \times \frac{1 - 0.62}{4} = 59.7 \text{ rad/s}$$

ج: ابتدا سرعت سنکرون را حساب می‌کنیم. از رابطه (b-۹) داریم:

$$\omega_s = 4\pi \times \frac{50}{4} = 157 \text{ rad/s}$$

لغزش در بار اسمی را با استفاده از رابطه (b-۵) بدست می‌آوریم.

$$s_1 = 157 \text{ rad/s} - 140 \text{ rad/s} = 17 \text{ rad/s}$$

حال اگر بخواهیم لغزش را در بار اسمی و با وجود رگوستا بدست آوریم از رابطه (۲۵-۹) استفاده می‌کنیم.

$$\frac{17 \text{ rad/s}}{s_2} = \frac{0.11 \Omega}{0.31 \Omega}$$

$$s_2 = 0.31 \times \frac{17}{0.11} = 47.9 \text{ rad/s}$$

از رابطه (b-۵) سرعت حدید در بار اسمی را حساب می‌کنیم.

$$47.9 \text{ rad/s} = 157 \text{ rad/s} - \omega_{FL}$$

$$\omega_{FL} = 157 - 47.9 = 109.1 \text{ rad/s}$$

۹-۶ راندمان:

رابطه راندمان^(۱) در موتورهای استکرون (القائی) سه فاز نیز مطابق موتورهای DC است (جلد اول). لذا؛

$$\eta(\%) = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (9-21)$$

$$P_o = P_i - \text{losses} \quad (9-22)$$

$$\eta(\%) = \frac{P_i - \text{losses}}{P_i} \times 100 \quad (9-23)$$

در روابط فوق داریم؛

P_i = توان ورودی به موتور القائی سه فاز

P_o = توان خروجی از موتور القائی سه فاز

losses = کل تلفات موتور القائی سه فاز

۱-۶-۹ تعریف تلفات در موتورهای القائی سه فاز؛

9-6.1 Description of Losses

در روابط (۲۲-۹) و (۲۳-۹) تلفات ماشین همان تلفات داخلی موتور بوده و به دو دسته تقسیم می شوند،
۱- تلفات ثابت^(۲) شامل؛

الف: تلفات هسته در رتور و استاتور بخاطر تلفات هیستریزیس و تلفات جریان

گردابی

ب: تلفات ناشی از اصطکاک

ج: تلفات ناشی از تهویه

۲- تلفات متغیر^(۳) که با بار تغییر می نماید،

الف: تلفات مسی در استاتور

ب: تلفات مسی در رتور

حال درباره تلفات فوق الذکر بیشتر توضیح می دهیم؛

تلفات هسته در رتور؛

در شرایط عادی، فرکانس جریان رتور کم است و لذا تلفات هیستریزیس و جریان

1) Efficiency

2) Constant, Losses

3) Variable, Losses

گردابی خیلی کم می باشند ، لذا ما از تلفات هسته در رتور صرف نظر می کنیم .

تلفات هسته در استاتور:

این تلفات بخاطر شار اصلی و شارهای ناشی پدیدار می گردد و با تغییر بار این شارها بمیزان ناچیزی تغییر می کنند و با تقریب خوب تلفات هسته در استاتور را از بی باری تا بار کامل ثابت فرض می کنیم .

تلفات ناشی از اصطکاک و تهویه:

این تلفات بخاطر دوران مکانیکی رتور می باشد و چون سرعت از حالت بی باری تا بار کامل بمیزان ناچیزی تغییر می کند ، لذا این تلفات را که تلفات مکانیکی نیز به آن گفته میشود در طول مدت بهره برداری از ماشین ثابت در نظر می گیریم .

تلفات مسی استاتور:

این تلفات ناشی از $R I^2$ در سیمهای استاتور است و چون تابعی از بار می باشد لذا باید در هر مرحله از بهره برداری آنرا حساب کرد .
تلفات مسی رتور:

این تلفات ناشی از $R I^2$ در سیمهای رتور است و در رتورهای سیم پیچی شده بسهولت قابل اندازه گیری است . اما در رتورهای قفس سنجابی برای تعیین این تلفات از روشهای پیشرفته ای استفاده می شود ولی ما درباره این تکنیکها صحبت نمی کنیم .

۲- ۶- ۹ تشریح پخش توان در موتورهای القائی سه فاز:

9-6.2 Description of Power Flow

قبل از آنکه آزمایشهای مربوط به تعیین تلفات درون اینگونه موتورها را توضیح دهیم ، قدری درباره چگونگی پخش توان^(۱) در موتورهای اسکرون صحبت می کنیم . علت این امر آنستکه محاسبات عددی در مورد آزمایشها را واضح تر می سازد . برای سهولت امر ، شکل (۱۲- ۹) را در نظر می گیریم . هرگاه سیم پیچ استاتور به منبع تغذیه (شبهه) وصل گردد ، توان الکتریکی وارد موتور می شود و چون موتورها سه فاز هستند ، این توان وارد شده به موتور اینچنین خواهد بود (بر حسب وات یا کیلو وات) :

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad (9-24)$$

هنگام آزمایش بر روی موتور ضریب توان ($\cos \theta$) مشخص نیست اما با استفاده از روش دوواتمتری (فصل ۷ بخش ۲ - ۴ - ۷) می توان توان ورودی را سنجید .

$$P_i = W_1 + W_2 \quad (9-25)$$

در استاتور دو نوع تلفات وجود دارد .

الف ؛ تلفات هسته (P_C) که به ولتاژ منبع تغذیه بستگی دارد ،

ب ؛ تلفات مس (P_{Cus}) که به جریان خط بستگی دارد و البته به بار نیز بستگی خواهد داشت ،

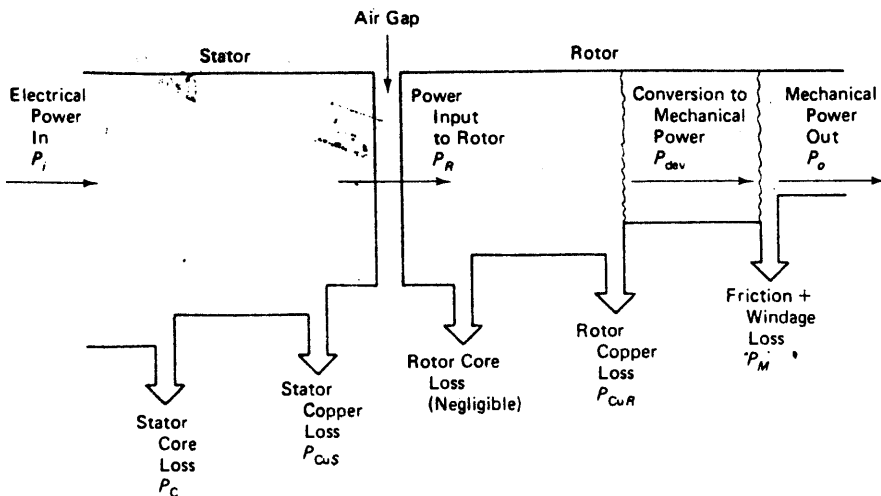
اگر مجموع تلفات فوق از توان ورودی کسر گردد توان بدست آمده از طریق فاصله هوایی به رتور منتقل می شود ، لذا ؛

$$P_R = P_i - P_C - P_{Cus} \quad (9-26)$$

در رتور تلفات هسته ناچیز است و تلفات مسی رتور به لغزش (سرعت) بستگی

دارد . به سهولت می توان رابطه تلفات مسی استاتور و توان منتقله شده به رتور را اینچنین نوشت .

$$P_{CWR} = s \times P_R \quad (9-27)$$



شکل ۱۲ - ۹ : نمودار دیاگرام پخش توان در موتورهای القائی سه فاز

پس از اینکه تلفات مس رتور از توان وارده به رتور کسر شود ؛ توان حاصله ^(۱) توسط رتور بدست می آید ،

$$P_{dev} = P_R - P_{CuR} \quad (9-28)$$

اگر توان مکانیکی ناشی از تهویه و اصطکاک از توان حاصله فوق کسر شود توان خروجی (۱) موتور بدست می‌آید.

$$P_o = P_{dev} - P_M \quad (9-29)$$

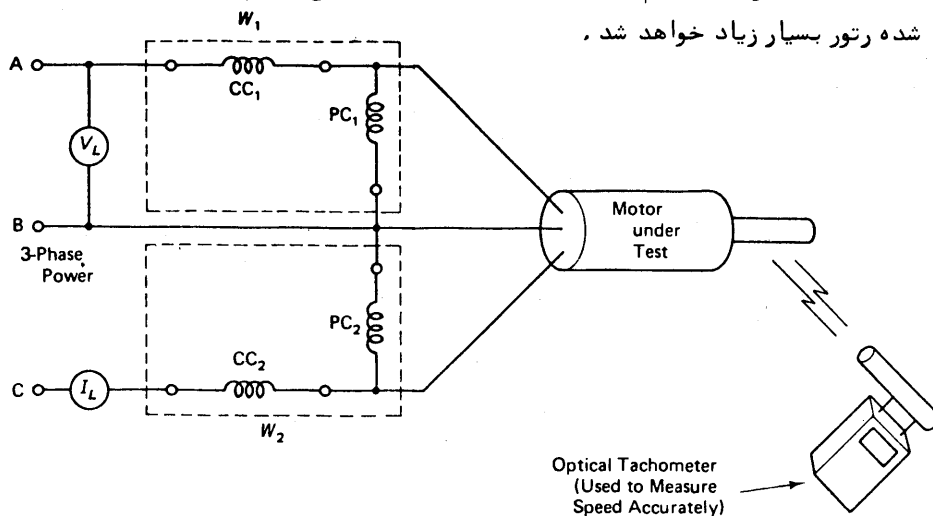
در آزمایشگاهی که بر روی موتور جهت تعیین تلفات فوق‌الذکر انجام می‌شود کل تلفات ثابت اعم از تلفات مکانیکی و تلفات هسته استاتور بدست می‌آید ولی نمی‌دانیم که چه مقدار از این تلفات ثابت، شامل تلفات مکانیکی است و چه مقدار شامل تلفات هسته استاتور می‌باشد ما می‌توانیم چنین فرض کنیم.

الف؛ کل تلفات ثابت مربوط به تلفات هسته استاتور بوده و آنرا در مدار استاتور منظور می‌نمائیم.

ب؛ کل تلفات ثابت مربوط به تلفات مکانیکی رتور بوده و آنرا در مدار رتور منظور می‌کنیم در عمل ممکن است هر دو روش فوق را انجام دهیم ولی در هر مورد خطا حاصل می‌شود زیرا؛

۱- در حالت اول که کل تلفات را برای استاتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده در رتور ناچیز خواهد بود، زیرا تلفات مسی رتور تابعی از توان منتقله از استاتور به رتور است.

۲- در حالت دوم که کل تلفات را برای رتور منظور می‌نمائیم، تلفات مسی محاسبه شده رتور بسیار زیاد خواهد شد.



شکل ۱۳ - ۹: مدار مربوط به آزمایش تعیین تلفات در موتورهای القایی سه‌فاز

اما ما حالت دوم را بیشتر مد نظر می‌داریم یعنی کل تلفات ثابت را متعلق به مدار رتور می‌دانیم زیرا:

۱- الف: تخمین محتاطانه تری از راندمان بدست خواهیم آورد زیرا تلفات محاسبه شده قدری از مقدار واقعی بیشتر خواهد شد.

۱- ب: از آنجائیکه توان مکانیکی (P_M) را صفر نگرفته‌ایم لذا توان خروجی با توان حاصله یکسان نخواهد بود و حقیقت امر هم همین است (رابطه ۲۹-۹).
با این فرضیات تلفات هسته (P_C) را در رابطه (۲۶-۹) صفر می‌گیریم و آنرا یک کاسه همراه با P_M در معادله (۲۹-۹) منظور می‌کنیم.

۳-۶-۹ Tests to Determine Losses: تلفات؛

دو آزمایش برای تعیین تلفات موتورهای القائی سه فاز انجام می‌دهیم. اما قبل از این آزمایشها باید مقاومت موثر هر فاز استاتور را بدست آورد (به بخش ۱-۵-۸ در فصل ۸ رجوع شود). مقاومتی که از آزمایش مربوط به بخش ۱-۵-۸ بدست می‌آید را در ضریب $1/25$ ضرب می‌کنیم تا مقاومت موثر هر فاز بدست آید.

$$r_e = 1.25r_s \quad (9-30)$$

بسهولت می‌توان دریافت که کل تلفات مسی در سیم پیچ استاتور اینچنین است:

$$P_{cus} = \frac{3}{2} r_e I_L^2 \quad (9-31)$$

در رابطه فوق I_L همان جریان خطی می‌باشد.

باید گفت که رابطه (۳۱-۹) برای اتصال Δ (مثلث) و Y (ستاره) هر دو معتبر است، زیرا سیم پیچ استاتور در برخی از موتورها بصورت مثلث (Δ) بوده و در برخی بصورت ستاره (Y) می‌باشد.

حال آزمایشی مطابق شکل ۱۳-۹ انجام می‌دهیم.

الف: آزمایش بی‌باری:

در این آزمایش ولتاژ اسمی را به استاتور اعمال می‌کنیم ولی به محور موتور بار متصل نمی‌کنیم. چون ماشین بی‌بار است، سرعت زیاد بوده و به عبارت دیگر لغزش بسیار ناچیز است. جریان استاتور در حالت بی‌باری کم است / لذا در این تست تلفات مسی بسیار کم است در نتیجه توان ورودی صرف کل تلفات ثابت ماشین ($P_C + P_M$) و تلفات ناچیز مسی در استاتور می‌شود. باید گفت که تلفات مسی در رتور نیز در حالت بی‌باری بسیار کم است (چرا؟) لذا اگر تلفات مسی استاتور را (رابطه ۳۱-۹) پیدا کرده و از توان ورودی کسر کنیم کل تلفات ثابت ($P_C + P_M$) بدست می‌آید. و همانطوریکه

گفتم P_C را صفر می‌گیریم و کل تلفات ثابت را در مدار رتور منظور می‌کنیم. لذا با این آزمایش کل P_M حاصل می‌گردد. عبارت فوق را در رابطه زیر خلاصه می‌کنیم.

$$P_{i_1}'' + P_M = W_1 + W_2 - P_{CuS} \quad (9-32)$$

در رابطه اخیر W_1 و W_2 مقادیر واتمترها بوده و P_{CuS} تلفات مسی ناچیز استاتور است که از رابطه (۹-۳۱) محاسبه می‌شود.

ب: آزمایش در بار اسمی:

از مدار شکل (۹-۱۳) می‌توان در حالت بار اسمی نیز استفاده کرد. در این آزمایش باید بار اسمی بر محور موتور اعمال شود. هنگامیکه موتور بار اسمی را تغذیه می‌کند تمام دستگاههای اندازه‌گیری و سرعت موتور خوانده می‌شود. هرگاه جریان خط وارد شده به موتور همان جریان اسمی موتور گردید به شرایط اسمی رسیده‌ایم. حال آمپر متر ورودی را می‌خوانیم (I_L) و تلفات مسی استاتور را در بار اسمی حساب می‌کنیم (رابطه ۳۱-۹). دور سنج^(۱) سرعت اسمی را می‌دهد و می‌توانیم لغزش در بار اسمی را حساب کنیم (چرا؟). با خواندن واتمترها و استفاده از روابط (۹-۲۵)، (۹-۲۶) و (۹-۲۷) می‌توان تلفات مسی رتور را بدست آورد (P_{CuR}). البته این تلفات مسی در رتور مربوط به شرایط اسمی ماشین است. با توجه به اینکه P_C را صفر گرفته‌ایم لذا روابط (۹-۲۸) و (۹-۲۹) توان خروجی را به ما خواهند داد. توجه باید کرد که کل P_M مربوط به مدار رتور در تست قبلی بدست آمده است.

با توجه به رابطه (۹-۲۴) می‌توان ضریب توان موتور را در بار اسمی بدست آورد زیرا V ، I ، P از تست مربوط به بار اسمی توسط دستگاههای اندازه‌گیری حاصل می‌شوند.

۴-۶-۹ محاسبه راندمان:

مثالهای زیر طرز محاسبه راندمان را با استفاده از آزمایشهای فوق الذکر نشان می‌دهند.

مثال ۹-۲۲ (سیستم ENG):

یک موتور سه فاز اسکرون با مشخصات زیر مفروض است.

اسب بخار = ۵ توان اسمی

ولت = ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)
 آمپر = ۱۵ = جریان اسمی (جریان خط)
 هرتر = ۶۰ = فرکانس اسمی
 ۴ = تعداد قطبها
 اهم در هر فاز $r_s = 0.8$ = مقاومت استاتور که از آزمایش خاص خود حاصل شده است
 با آن دو آزمایش بی بار و بار اسمی را انجام می دهیم و نتایج زیر بدست می آید.
 آزمایش بی باری،

$$\text{No-load test: } W_1 = 350 \text{ W, } W_2 = -110 \text{ W}$$

$$V_L = 208 \text{ V, } I_L = 4 \text{ A}$$

: آزمایش بار داری (بار اسمی)

$$\text{Rated-load test: } W_1 = 2.6 \text{ kW, } W_2 = 2.26 \text{ kW}$$

$$V_L = 208 \text{ V, } I_L = 15 \text{ A}$$

$$S = 1710 \text{ rev/min}$$

مطلوبست محاسبه راندمان موتور در بار اسمی و ضریب توان موتور.
 حل:

مقاومت موثر اینچنین حساب می شود (رابطه ۳۰ - ۹)

$$r_r = 1.25 \times 0.8 \Omega = 1 \Omega$$

از آزمایش بی باری تلفات مسی استاتور بدست می آید (رابطه ۳۱ - ۹)

$$P_{\text{Cus}} = \frac{3}{2} \times 1 \Omega \times (4 \text{ A})^2 = 24 \text{ W}$$

از رابطه (۳۲ - ۹) داریم:

$$P_c + P_M = 350 \text{ W} - 110 \text{ W} - 24 \text{ W} = 216 \text{ W}$$

اما می دانیم $P_c = 0$ در نظر گرفته می شود و کل P_M معادل ۲۱۶ وات منظور می شود.

از آزمایش بار اسمی تلفات مسی استاتور در بار اسمی حاصل می شود.

(رابطه ۳۱ - ۹):

$$\text{rated } P_{\text{Cus}} = \frac{3}{2} \times 1 \Omega \times (15 \text{ A})^2 = 337.5 \text{ W}$$

از رابطه (۲۵ - ۹) توان ورودی به موتور در شرایط اسمی بدست می آید

$$\text{rated } P_i = 2600 \text{ W} + 2260 \text{ W} = 4860 \text{ W}$$

از رابطه (۲۶ - ۹) توان منتقله به رتور بدست می آید.

$$\text{rated } P_R = 4860 \text{ W} - 0 - 337.5 \text{ W} = 4522.5 \text{ W}$$

چون در بار اسمی سرعت معلوم است و سرعت سنکرون ماشین ۴ قطبی در فرکانس

۶۰ هرتز معادل ۱۸۰۰ دور در دقیقه می باشد ، لذا لغزش در شرایط اسمی اینچنین بدست

$$\text{rated } s = (1800 - 1710) \times \frac{100}{1800} = 5\% \quad \text{می آید .}$$

$$s = 0.05 \text{ as a decimal}$$

از رابطه (۲۷ - ۹) تلفات مسی استاتور بدست می آید ،

$$\text{rated } P_{\text{cur}} = 0.05 \times 4522.5 \text{ W} = 226.1 \text{ W}$$

از روابط (۲۸ - ۹) و (۲۹ - ۹) توان خروجی بدست می آید ؛

$$\text{rated } P_{\text{dev}} = 4522.5 \text{ W} - 226.1 \text{ W} = 4296.4 \text{ W}$$

$$\text{rated } P_o = 4296.4 \text{ W} - 216 \text{ W} = 4080.4 \text{ W}$$

$$P_o = \frac{4080.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 5.47 \text{ hp}$$

راندمان در شرایط اسمی از رابطه (۲۱ - ۹) بدست می آید .

$$\text{rated } \eta = \frac{4080.4 \text{ W}}{4860 \text{ W}} \times 100 = 83.96 \approx 84\%$$

ضریب توان در بار اسمی اینچنین بدست می آید (رابطه ۲۴ - ۹) :

$$\text{rated PF} = \cos \theta = \frac{4860 \text{ W}}{(\sqrt{3} \times 208 \text{ V} \times 15 \text{ A})}$$

$$\text{PF} = 0.899 \approx 0.9$$

مثال ۲۳ - ۹ (سیستم SI) :

یک موتور سه فاز اسنکرون با مشخصات زیر مفروض است :

کیلو وات ۳ = توان اسمی

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۱۰ = جریان اسمی خط

۴ = تعداد قطبها

اهم در هر فاز ۵/۹ = r_s (مقاومت استاتور بدست آمده از تست

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

نتایج آزمایشهای بی باری و بار اسمی بقرار زیر است ،

$$\text{No-load test: } W_1 = 290 \text{ W}, \quad W_2 = -70 \text{ W}$$

$$V_L = 230 \text{ V}, \quad I_L = 3.8 \text{ A}$$

$$\text{Rated-load test: } W_1 = 2.3 \text{ kW}, \quad W_2 = 2 \text{ kW}$$

$$V_L = 230 \text{ V} \quad I_L = 12 \text{ A}$$

$$\omega = 149 \text{ rad/s}$$

مطلوبست محاسبه راندمان ماشین در بار اسمی و ضریب توان موتور

حل:

از رابطه (۳۰-۹) مقدار مقاومت موثر هر فاز را بدست می‌آوریم ،

$$r_e = 1.25 \times 0.9 \Omega = 1.13 \Omega$$

از رابطه (۳۱-۹) استفاده کرده و تلفات مسی استاتور در حالت بی‌باری را

بدست می‌آوریم ،

$$P_{\text{cus}} = \frac{3}{2} \times 1.13 \Omega \times (3.8 \text{ A})^2 = 24.5 \text{ W}$$

از رابطه (۳۲-۹) داریم

$$P_C + P_M = 290 \text{ W} - 70 \text{ W} - 24.5 \text{ W} = 195.5 \text{ W}$$

می‌دانیم $P_C = 0$ در نظر گرفته می‌شود و لذا کل P_M همان 195.5 وات خواهد بود ،

از رابطه (۳۱-۹) استفاده کرده و تلفات مسی استاتور را در حالت بار اسمی

بدست می‌آوریم ،

$$\text{rated } P_{\text{cus}} = \frac{3}{2} \times 1.13 \Omega \times (10 \text{ A})^2 = 244.1 \text{ W}$$

از رابطه (۲۵-۹) توان ورودی به موتور در شرایط اسمی را حساب می‌کنیم ،

$$\text{rated } P_i = 2300 \text{ W} + 2000 \text{ W} = 4300 \text{ W}$$

از رابطه (۲۶-۹) استفاده کرده و توان وارده به رتور را حساب می‌کنیم (در شرایط اسمی)

$$\text{rated } P_R = 4300 \text{ W} - 0 - 244.1 \text{ W} = 4055.9 \text{ W}$$

می‌دانیم سرعت سنکرون برای موتور ۴ قطبی در فرکانس ۵۰ هرتز برابر ۱۵۷۰ رادیان بر

ثانیه است لذا لغزش در شرایط اسمی اینچنین است (رابطه b-۶-۹) :

$$\text{rated } s = (157 - 149) \times \frac{100}{157} = 5.1\%$$

$$s = 0.051 \text{ as a decimal}$$

تلفات مسی در رتور از رابطه (۲۷-۹) بدست می‌آید ،

$$\text{rated } P_{\text{cur}} = 0.051 \times 4055.9 = 206.85 \text{ W}$$

از روابط (۲۸-۹) و (۲۹-۹) توان خروجی حاصل می‌شود ،

$$\text{rated } P_{\text{dev}} = 4055.9 \text{ W} - 206.85 \text{ W} = 3849.1 \text{ W}$$

$$\text{rated } P_o = 3849.1 \text{ W} - 195.5 \text{ W} = 3653.6 \text{ W}$$

$$P_o = 3.65 \text{ kW}$$

راندمان در شرایط اسمی از رابطه (۲۱ - ۹) حاصل می شود .

$$\text{rated } \eta = \frac{3653.6 \text{ W}}{4300 \text{ W}} \times 100 = 84.96 \approx 85\%$$

ضریب توان در بار اسمی از رابطه (۲۴ - ۹) بدست می آید .

$$\text{rated PF} = \cos \theta = \frac{4300 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 230 \text{ V} \times 12 \text{ A}}$$

$$\text{PF} = 0.899 \approx 0.9$$

از مثالهای فوق در می یابیم که راندمان موتورهای در شرایط اسمی حدود ۸۵٪ است و معمولاً در موتورهای راندمان ماکزیمم در باری نزدیک به بار اسمی رخ می دهد (۹۰٪ بار اسمی)

ضریب توان موتورهای القائی سه فاز معمولاً در بار اسمی حدود ۰/۹ است بهمین دلیل است که ترجیح داده می شود موتورهای در بار اسمی خودکار کنند زیرا ضریب توان کم باعث براه افتادن توان راکتیو در شبکه می شود (چرا؟)

9-7 TYPICAL CHARACTERISTICS

۷-۹ منحنی مشخصه های معروف در موتورهای القائی سه فاز :

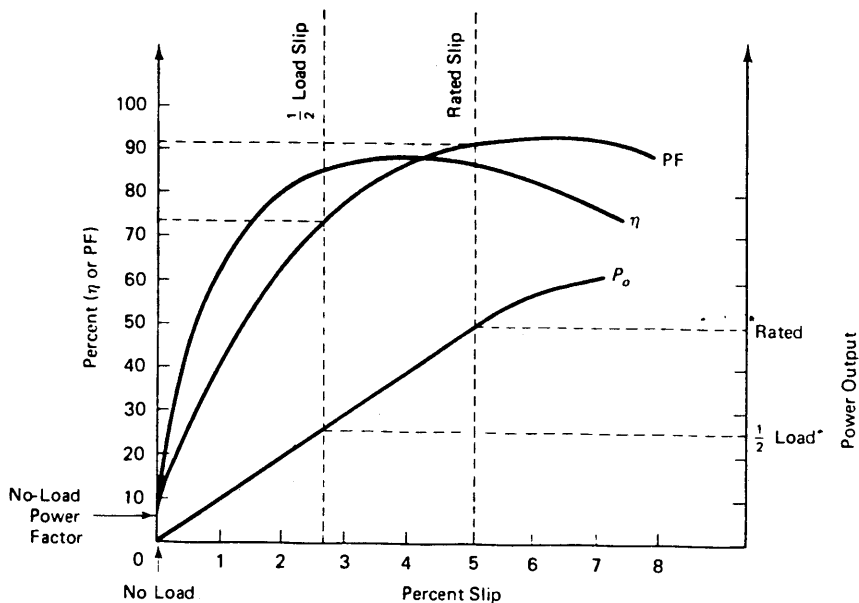
تا بحال درباره منحنی "گشتاور - لغزش" (TSL) صحبت کرده ایم (شکل ۱۰ - ۹). با این منحنی می توان عملکرد موتور را تخمین زد و منحنی های دیگری نیز وجود دارند که در ذیل به آنها اشاره می کنیم :

۱-۷-۹ منحنی مشخصه های موتور القائی سه فاز (بر حسب لغزش) :

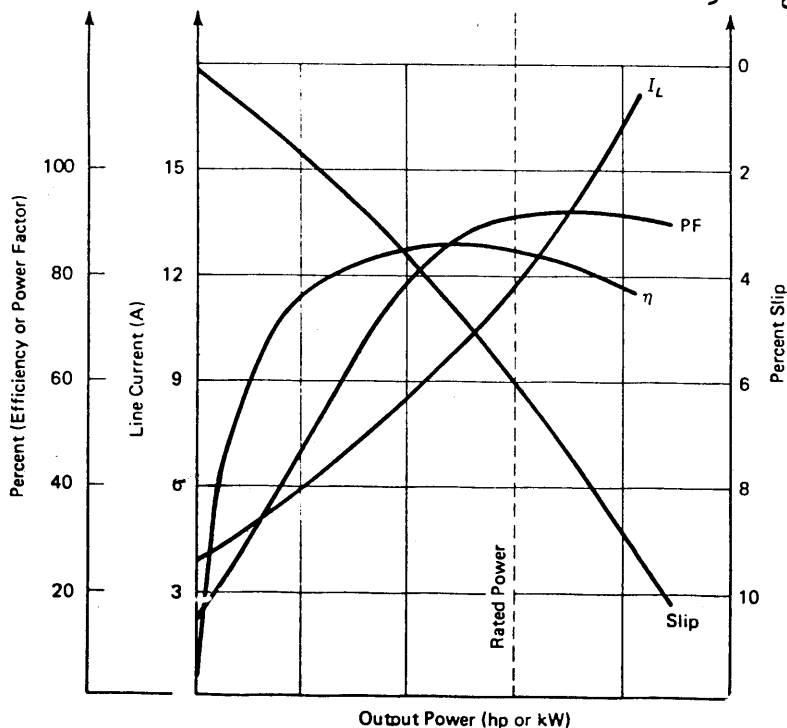
9-7.1 Characteristics versus Slip

شکل (۱۴ - ۹) یک نمونه از منحنی مشخصه های متداول موتورهای القائی را نشان می دهد که در آن تغییرات توان خروجی ، راندمان (بر حسب درصد) و ضریب توان (بر حسب درصد) نسبت به تغییرات لغزش رسم شده است و این منحنی ها بسهولت از آزمایشهای بی باری تا بار اسمی و حتی تا باری معادل ۱۰٪ بیشتر از بار اسمی حاصل می شوند (به شکل ۱۳ - ۹ مراجعه کنید و بگوئید این منحنی ها چگونه بدست آمده اند) .

قابل توجه است که بدانیم تغییرات راندمان بین نصف بار اسمی تا بار کامل (بار اسمی) زیاد قابل ملاحظه نیست ولی تغییرات ضریب توان بسیار قابل توجه است ، بخوبی مشهود است که اگر موتورهای یک مجتمع همگی در بار اسمی کار نکنند ؛ در اینصورت توان راکتیو قابل ملاحظه ای نیاز خواهند داشت (چرا؟) ، همچنین از شکل (۱۴ - ۹) در میابیم که ؛



شکل ۱۴ - ۹: تغییرات راندمان، ضریب توان، توان خروجی برحسب لغزش در موتورهای القایی سه فاز



شکل ۱۵ - ۹: تغییرات راندمان، ضریب توان، لغزش و جریان خط برحسب توان خروجی در موتورهای القایی سه فاز.

- ۱- در حالت بی‌باری راندمان بسیار کم است (حدود صفر) .
- ۲- در حالت بی‌باری ضریب توان بسیار ناچیز است (حدود ۰/۱۵) .

۲-۷-۹: منحنی مشخصه‌های موتورهای القائی سه فاز (بر حسب توان خروجی)

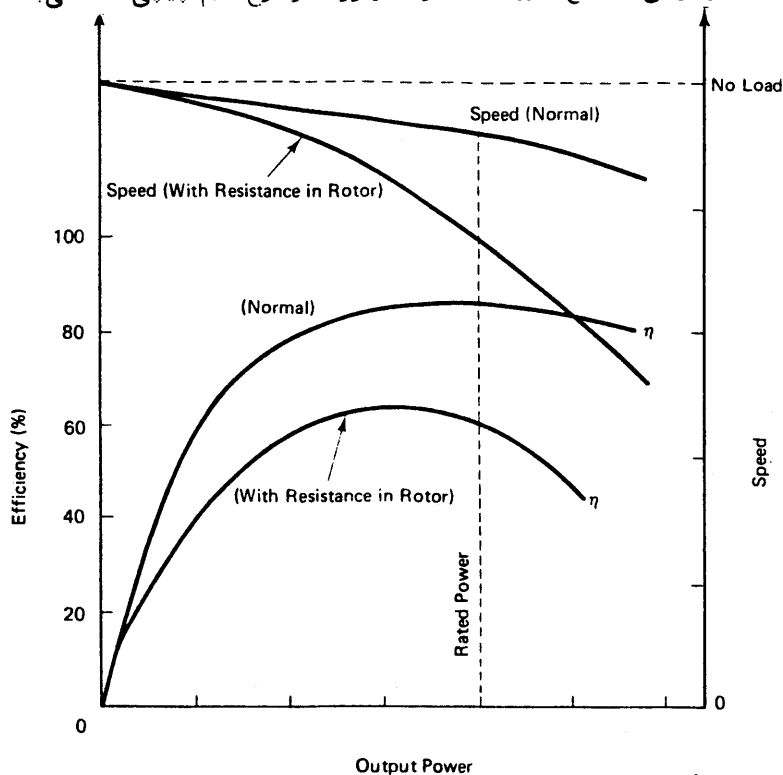
9-7.2 Characteristics versus Power Output

یکی دیگر از منحنی‌های مشخصه مهم مربوط به موتورهای اسکرون سه فاز در شکل (۹-۱۵) رسم شده است. این منحنی‌ها تغییرات جریان خط ورودی به موتور، راندمان (بر حسب درصد) ضریب توان (بر حسب درصد) و لغزش (بر حسب درصد) را نسبت به توان خروجی نشان می‌دهد.

۳-۷-۹: اثر رتورهای سیم پیچی شده بر روی مشخصه‌های موتورهای اسکرون سه فاز:

9-7.3 Effect of the Wound Rotor on Characteristics

در برخی از مواقع رتورهای اینگونه موتورها از نوع سیم پیچی شده می‌باشد؛ لذا



شکل ۹-۱۶: اثر افزایش مقاومت بوسیله رتور بر روی سرعت و راندمان در این منحنی‌ها حالت بدون رتوست یا حالت نرمال نیز رسم شده است.

می‌توان گشتاور راه انداز نسبتاً زیادی پدید آورد (شکل ۱۱-۹) ، همانطور که می‌دانیم اگر مقاومت رتور توسط رثوستا زیاد شود ، گشتاور راه انداز نیز افزون می‌گردد ، هرگاه موتور سرعت گرفت و مقاومت رثوستا در مدار بماند (مقاومت رثوستا صفر نشود) ، بر روی مشخصه‌های موتور تاثیر خواهیم گذاشت ، شکل (۱۶-۹) مشخصه‌های موتورهای سه فاز را نشان می‌دهد که در آن تغییرات راندمان و سرعت نسبت به توان خروجی را نشان می‌دهد در این شکل هر دو حالتی که مقاومت رثوستا در مدار رتور باقی می‌ماند و یا بالاخره صفر می‌گردد (حالت نرمال) نشان داده شده است ،

۸-۹ روش راه اندازی موتورهای القائی سه فاز: STARTING TECHNIQUES

دو روش برای راه اندازی اینگونه موتورها وجود دارد .

۱- وصل مستقیم موتور به شبکه (منبع تغذیه)

۲- استفاده از راه انداز (۱)

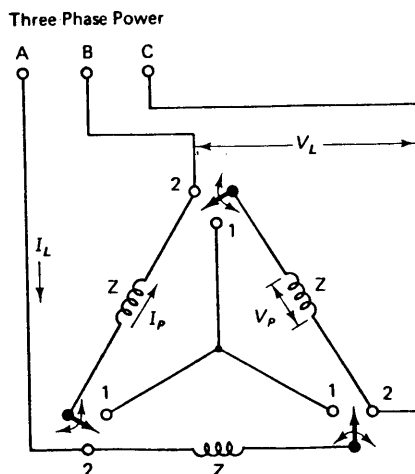
در روش اول (وصل مستقیم) ولتاژ اسمی به ترمینال‌های استاتور اعمال می‌گردد . اما موتورهای اسنکرون سه فاز در لحظه راه اندازی بین ۵ تا ۱۰ برابر جریان اسمی خود را از شبکه می‌کشند ، مثلاً اگر در یک موتور سه فاز ۲۲۰ ولتی (۲۲۰ ولت ولتاژ خطی می‌باشد) جریان اسمی ۱۰ آمپر باشد ، لذا در لحظه راه اندازی حدود ۵۰ تا ۱۰۰ آمپر می‌کشد که خود مشکلاتی برای موتور و منبع تغذیه فراهم می‌سازد ، البته این روش (وصل مستقیم) را می‌توان برای موتورهای کوچک (تا ۵ اسب بخار یا ۳ کیلوواتی) اعمال نمود ولی برای موتورهای بزرگتر باید از راه اندازهای مخصوص استفاده کرد . یکی از روشهای متداول ، استفاده از راه اندازهای "ستاره - مثلث" (۲) می‌باشد (شکل ۱۷-۹) . از این راه اندازها می‌توان برای موتورهایی که استاتور آنها بصورت مثلث می‌باشد استفاده نمود . ابتدا سیم پیچ‌های استاتور را مطابق شکل (۱۷-۹) به کلید "ستاره - مثلث" (۳) متصل می‌سازیم . در لحظه راه اندازی کلیدها در وضعیت شماره (۱) قرار دارند و لذا اتصال استاتور بصورت ستاره می‌باشد . هرگاه سرعت موتور بالا رفت و لغزش به حدود ۲۰٪ رسید کلیدها را به وضعیت شماره ۲ می‌بریم . حال استاتور به وضعیت مثلث برده میشود . با استدلال زیر می‌بینیم که بدین ترتیب جریان راه اندازی به ثلث تقلیل می‌یابد . در اتصال مثلث جریان راه اندازی اینچنین است ،

$$I_p = \frac{V_L}{Z}$$

1) Starter 2) Y- , Starter

3) Y- , Switch

$$I_{L\Delta} = \sqrt{3}I_p = \frac{\sqrt{3}V_L}{Z}$$



شکل ۱۷-۹: شمای راه انداز ستاره مثلث در موتورهای القایی سه فاز

در اتصال ستاره جریان راه اندازی اینچنین است ،

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_p = \frac{V_p}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

$$I_{LY} = I_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}Z}$$

لذا ؛

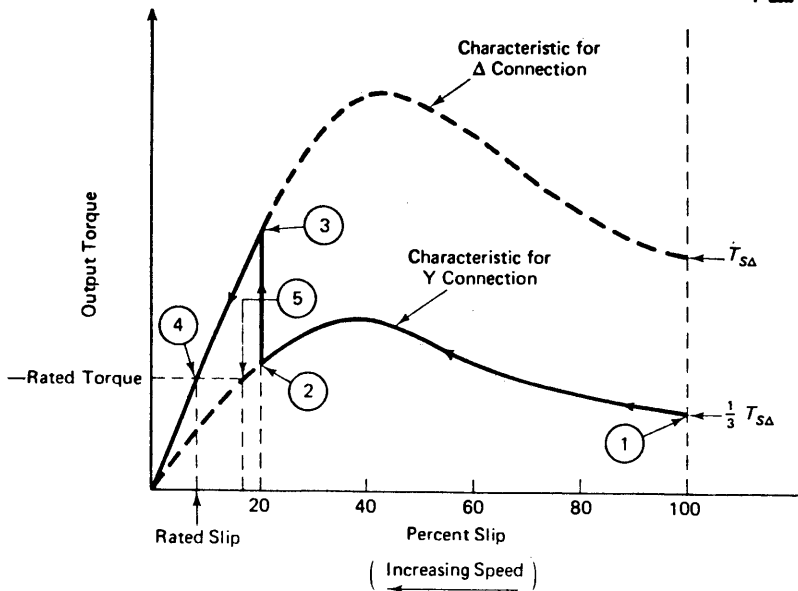
$$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{V_L/(\sqrt{3}Z)}{\sqrt{3}V_L/Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$$

$$I_{LY} = \frac{1}{3}I_{L\Delta}$$

می بینیم که جریان خط در لحظه راه اندازی در حالت ستاره ثلث جریان خط در حالت مثلث خواهد بود ،

چون با اتصال ستاره شروع می کنیم و جریان کمتر از حالت مثلث است لذا گشتاور نیز کمتر خواهد بود ، در لحظه راه اندازی ولتاژ دو سر سیمهای استاتور در حالت ستاره $V_L/\sqrt{3}$ می باشد و از رابطه (۳-۹) در میابیم که گشتاور راه انداز در حالت ستاره به

ثلت تقلیل می یابد، در نتیجه در این نوع راه اندازی که با حالت ستاره شروع می شود منحنی TSL مطابق شکل (۹-۱۸) می باشد (منحنی پائینی). در لحظه راه اندازی از نقطه شماره (۱) شروع می کنیم و با سرعت گرفتن موتور به نقطه (۲) می رویم در این لحظه است که از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث تغییر مکان می دهیم، لذا یک افزایش ناگهانی در گشتاور پدید می آید (نقطه ۳)، موتور از نقطه (۳) به شتاب خود ادامه می دهد تا بالاخره به نقطه (۴) مربوط به شرایط اسمی ماشین برسیم، باید گفت که اگر از وضعیت ستاره به وضعیت مثلث نمی رفتیم در منحنی پائینی باقی می ماندیم و نقطه کار ماشین همان نقطه (۵) خواهد بود، همانطور که مشاهده می شود سرعت در نقطه ۵ به مراتب کمتر از سرعت در نقطه (۴) است زیرا لغزش در نقطه ۵ از لغزش در نقطه ۴ بیشتر می باشد.



شکل ۹-۱۸: منحنی "گشتاور - لغزش" یا TSL هنگام استفاده از کلید راه انداز ستاره مثلث

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 9

Symbol	Definition	Units: English and SI
S_s (۱)	Synchronous speed in English system	rev/min
ω_s (۲)	Synchronous speed in SI	rad/s
I_R (۳)	Rotor current	amperes
I_L (۴)	Line current	amperes
ϕ (۵)	Stator field flux	lines or webers
θ_R (۶)	Rotor power factor angle	degrees
T (۷)	Torque developed in rotor	lb-ft or N-m
T_s (۸)	Starting torque	lb-ft or N-m
V_L (۹)	Applied stator line voltage	rms volts
s (۱۰)	Slip	rpm, rad/s, percent, or decimal
S (۱۱)	Speed of rotor in English system	rev/min
ω (۱۲)	Speed of rotor in SI	rad/s
SR (۱۳)	Speed regulation	percent
f (۱۴)	Frequency of applied stator voltage	hertz
f_R (۱۵)	Frequency of induced rotor current	hertz
L_R (۱۶)	Rotor inductance	henries
X_R (۱۷)	Rotor reactance	ohms
X_{BR} (۱۸)	Rotor reactance at standstill	ohms
R_R (۱۹)	Rotor resistance	ohms
Z_R (۲۰)	Rotor impedance	ohms
Z (۲۱)	Effective stator impedance per phase	ohms
E_R (۲۲)	Induced rotor voltage at any speed	volts
E_{BR} (۲۳)	Induced rotor voltage at standstill	volts
s_{po} (۲۴)	Slip at pull-out	decimal
W_1, W_2 (۲۵)	Wattmeter readings	watts
P_R (۲۶)	Power transferred across air gap into rotor	watts
P_C (۲۷)	Stator core loss	watts
P_{CuS} (۲۸)	Stator copper loss	watts
P_{CuR} (۲۹)	Rotor copper loss	watts
P_M (۳۰)	Mechanical (friction and windage) loss of motor	watts
r_s (۳۱)	Resistance between any two stator lines	ohms
r_e (۳۲)	Effective stator resistance	ohms

علائم بکار برده شده در فصل نهم

۱ - سرعت سنکرون در سیستم ENG

۲ - سرعت سنکرون در سیستم SI

۳ - جریان رتور

۴ - جریان خط

۵ - شار میدان استاتور

-
- ۶- زاویه ضریب توان در رتور
 - ۷- گشتاور حاصله در رتور
 - ۸- گشتاور (کوپل) راه انداز
 - ۹- ولتاژ اعمال شده به استاتور (ولتاژ خط)
 - ۱۰- لغزش
 - ۱۱- سرعت رتور در سیستم ENG
 - ۱۲- سرعت رتور در سیستم SI
 - ۱۳- تنظیم سرعت
 - ۱۴- فرکانس منبع تغذیه استاتور
 - ۱۵- فرکانس جریان القاء شده در رتور
 - ۱۶- اندوکتانس رتور (مربوط به هر فاز)
 - ۱۷- راکتانس رتور (مربوط به هر فاز)
 - ۱۸- راکتانس رتور در حالت سکون (مربوط به هر فاز)
 - ۱۹- مقاومت رتور (مربوط به هر فاز)
 - ۲۰- امپدانس رتور (مربوط به هر فاز)
 - ۲۱- امپدانس مؤثر استاتور (مربوط به هر فاز)
 - ۲۲- ولتاژ القاء شده در رتور
 - ۲۳- ولتاژ القاء شده در رتور در حالت سکون
 - ۲۴- لغزش در حالت pull-out
 - ۲۵- اعداد واتمترها
 - ۲۶- توان منتقله از فاصله هوایی که وارد رتور می شود
 - ۲۷- تلفات هسته در استاتور
 - ۲۸- تلفات مسی در استاتور
 - ۲۹- تلفات مسی در رتور
 - ۳۰- تلفات مکانیکی اعم از اصطکاک و تهبویه
 - ۳۱- مقاومت بین دو خط استاتور
 - ۳۲- مقاومت مؤثر استاتور

فصل دہم

موتورهای سنکرون سه فاز

THE THREE-PHASE SYNCHRONOUS MOTOR

۳۴ صفحہ

فصل ۱۰

موتورهای سنکرون سه فاز

مقدمه:

تئوری عملکرد و ساختمان موتورهای سنکرون سه فاز مشابه ژنراتورهای سنکرون می باشد (فصل ۸). البته باید خاطر نشان ساخت که تفاوت های بسیار جزئی بین این دو ماشین سنکرون وجود دارد. رتورهای موتورهای سنکرون سه فاز عموماً از نوع قطب برحسته^(۱) بوده و سیم پیچ های رتور در موتورهای سنکرون قدری با ژنراتورهای سنکرون متفاوت هستند تا اثر میرائی^(۲) بهتر نمایان گردد.

۱-۱۰: ساختمان موتورهای سنکرون: 10-1 CONSTRUCTION

استاتور موتورهای سنکرون مشابه استاتور ژنراتورهای سنکرون و موتورهای آسنکرون می باشد و طوری سیم پیچی می گردند که تعداد قطبهای استاتور مشابه تعداد قطبهای رتور باشد. رتور موتورهای سنکرون مشابه رتور ژنراتورهای سنکرون است اما گاهی اوقات سیم پیچ رتور بر روی رتور قفس سنجابی سوار می شود (شکل ۱-۹). در این حالت دو مدار برای رتور حاصل می شود. در بخش (۳-۱۰) در همین فصل خواهیم دید که رتور قفس سنجابی بخاطر راه اندازی موتورهای سنکرون مورد استفاده قرار می گیرد. در اینگونه موتورها که رتورهای آنها از نوع قفس سنجابی است وقتی که موتور سرعت گرفت، سیم پیچ دیگر رتور موثر می گردد و بر مشخصه موتور سنکرون اثر می گذارد. امروزه رتور موتورهای سنکرون کوچک از آهن ربای دائم ساخته می شوند تا به تحریک خارجی نیاز نداشته باشیم.

10-2 THEORY OF OPERATION

۲-۱۰- تئوری عملکرد موتورهای سنکرون سه فاز:

هرگاه به سیم پیچ سه فاز استاتور ولتاژ اعمال کنیم، میدان گردنده استاتور پدیدار می شود و همانطور که در مبحث موتورهای القائی (اسنکرون) گفتیم این میدان گردنده با سرعت سنکرون می چرخد (بخش ۲-۹ در فصل ۹). همچنین در موتورهای

سنکرون رتور نیز توسط منبع DC تغذیه میگردد و لذا رتور نیز میدان مغناطیسی ایجاد می کند .
 شکل (۱-۱۰) شمای موتورهای سنکرون را نشان می دهد .

ابتدا رتور در حالت سکون قرار دارد و وقتی که استاتور را به شبکه وصل کنیم ، میدان گردنده استاتور پدیدار می گردد که با سرعت سنکرون می چرخد . این میدان گردنده در شکل (۱-۱۰) نشان داده شده که در جهت عقربه ساعت ^(۱) (CW) می چرخد . هنگامیکه قطب شمال (مثبت) میدان استاتور از مقابل قطب جنوب رتور می گذرد ، نیروی جاذبه بین آن دوا ایجاد میشود و لذا رتور سعی دارد در جهت عقربه ساعت (CW) بچرخد . اما قبل از اینکه رتور بچرخد میدان استاتور ۱۸۰ درجه چرخیده است و در این حال قطب شمال استاتور در انتهای شکل (۱-۱۰) قرار می گیرد و در اینصورت رتور را دفع می کند (قطبهای همنام در مقابل یکدیگر قرار می گیرند) . لذا رتور سعی می کند در جهت خلاف عقربه ساعت ^(۲) (CCW) بچرخد . از مطالب فوق نتیجه می شود که در هنگامیکه میدان گردنده استاتور یک دور کامل می زند ، در یک نیم دور سعی می کند رتور را در جهت عقربه ساعت بچرخاند (CW) و در نیم دور دیگر سعی دارد رتور را در جهت خلاف عقربه ساعت (CCW) بگرداند . در نتیجه رتور هیچگاه نخواهد چرخید . بهمین دلیل است که در موتورهای سنکرون گشتاور راه انداز ^(۳) پدیدار نمی شود . در اغلب اوقات به تکنیکهائی نیاز داریم که در ابتدای امر موتور را بگردش درآورد ، در بخش (۳-۱۰) در همین فصل راجع به این روشهای راه اندازی صحبت می کنیم .

حالا فرض کنید که رتور را به نحوی به سرعت نسبتا زیادی رسانده ایم . در این حال رتور با میدان گردنده استاتور قفل می شود و در این شرایط گشتاور کار ^(۴) در موتور سنکرون سه فاز پدیدار می شود . باید گفت که پس از قفل شدن رتور و میدان گردنده استاتور هر دو با سرعت سنکرون می چرخند و جهت چرخش رتور توسط جهت میدان گردنده استاتور دیکته می شود . لذا می توان جهت چرخش رتور موتورهای سنکرون سه فاز را با تعویض ۲ ترمینال در منبع تغذیه استاتور (شبکه) تعویض نمود (بخش ۱-۲-۹ در فصل ۹) هنگامیکه رتور موتور سنکرون سه فاز با سرعت سنکرون می چرخد ، دو میدان حاصله از استاتور و رتور کاملا در یک راستا قرار نمی گیرند و همواره قطبهای رتور از قطبهای استاتور عقب می افتد . زاویه این عقب افتادگی ، زاویه گشتاور ^(۵) نامیده می شود (α_T) و این زاویه در شکل (۱-۱۰) نشان داده شده است . با افزایش بار موتور که

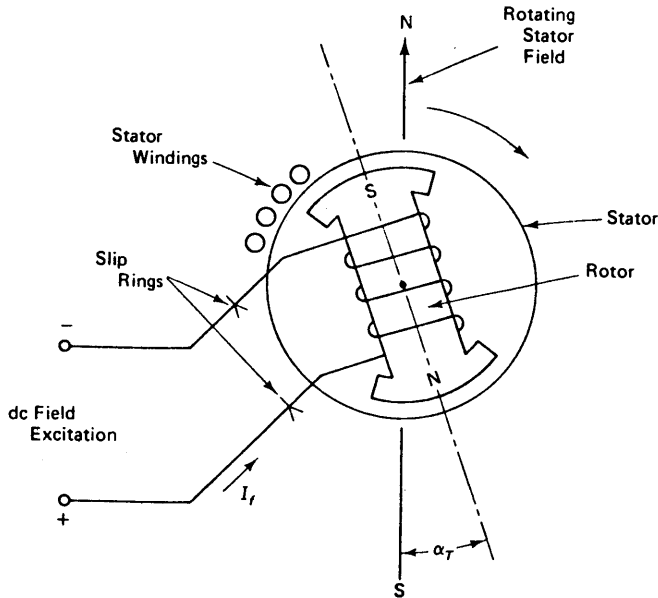
1) Clockwise

2) Counterclockwise

3) Starting torque

4) Operating torque

5) Torque-Angle



شکل ۱-۱ شمای یک موتور سنکرون سه فاز

بر روی محور اعمال می‌گردد، زاویه گشتاور (α_r) زیاد می‌شود ولی رتور همواره با سرعت سنکرون می‌چرخد. این رفتار آنقدر ادامه می‌یابد تا α_r حدود ۹۰ درجه گردد در این لحظه گشتاور حداکثر بوجود می‌آید. اگر باز هم بار را بیشتر کنیم، دو حالت زیر رخ میدهد.

الف: اگر اضافه بار خیلی کم باشد و یا موقتی اعمال شود، لغزش قطب (۱) در موتور پدیدار می‌شود. به عبارت دیگر میدان استاتور، رتور را رها می‌سازد و دوباره در دور بعدی آنرا در اختیار می‌گیرد.

ب: اگر اضافه بار زیاد باشد و یا موقتی اعمال نشود، موتور از حالت سنکرون خارج شده و می‌ایستد. در این حالت گویند که موتور سنکرونیزم خود را از دست داده است. (۲) باید توجه داشت که دو حالت فوق در موقعی رخ می‌دهد که α_r حدود ۹۰ درجه باشد و به آن زاویه گشتاور بحرانی (۳) مربوط به گشتاور ماکزیمم گفته می‌شود. می‌توان ثابت کرد که در این شرایط α_r با β زاویه امپدانس سنکرون مساوی خواهد شد.

$$\beta = \arctan \frac{x_p}{r_p} \quad (10-1)$$

- 1) Pole, Slipping
- 2) Loss, of, Synchronism
- 3) Critical, Torque, Angle

در رابطه اخیر r_p مقاومت هر فاز استاتور و \hat{x}_p راکتانس سنکرون هر فاز استاتور می باشد و چون x_p بمراتب از r_p بزرگتر است، لذا β حدود ۹ درجه می باشد. اثبات رابطه فوق از حوصله این کتاب خارج است.

مثال ۱-۱۰:

ماشین سنکرون مربوط به مثال (۸-۶) در فصل ۸ را بصورت موتور مورد بهره برداری قرار می دهیم. زاویه گشتاور مربوط به گشتاور ماکزیمم^(۱) را بدست آورید (زاویه گشتاور بحرانی).

حل

از اعداد مثال (۸-۶) در فصل ۸ داریم:

$$r_p = 0.12 \quad \text{اهم در هر فاز}$$

$$x_p = 1.5 \quad \text{اهم در هر فاز}$$

از رابطه (۱-۱۰) داریم

$$\begin{aligned} \text{maximum } \alpha_T = \beta &= \arctan \frac{1.5 \, \Omega}{0.12 \, \Omega} \\ &= 85.43^\circ \end{aligned}$$

از مطالب فوق در میابیم که در شرایط عادی هر دو میدان رتور و استاتور با هم قفل می شوند و سرعت موتور سنکرون همواره همان سرعت سنکرون است (حتی در مقابل تغییرات بار). لذا درصد تنظیم سرعت در موتورهای سنکرون صفر درصد است و لذا از این موتورها در مواقعی که به تغییر سرعت نیاز داریم استفاده نمی شود.

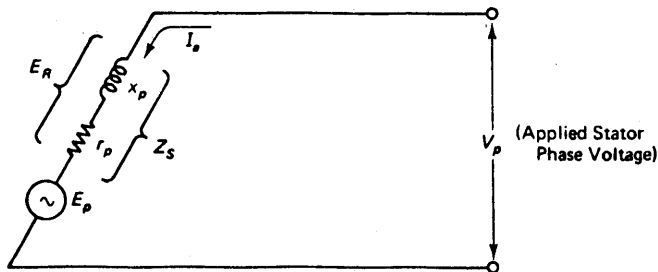
۱-۲-۱۰ اثر تغییرات تحریک در موتورهای سنکرون سه فاز

10-2.1 Effect of Field Excitation

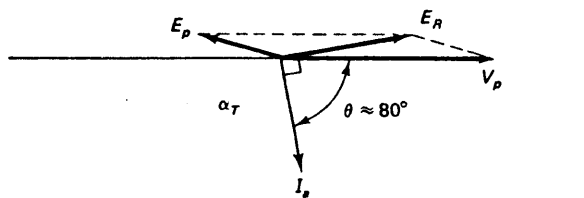
برای تحلیل بهتر اثر تغییرات تحریک در عملکرد موتورهای سنکرون، مدار معادل هر فاز این موتورها را مورد توجه قرار می دهیم (شکل ۲-۱۰). این شکل شبیه مدار معادل ژنراتور سنکرون است (فصل ۸). همچنین سه دیگرام فازوری^(۲) (شکل ۳-۱۰) را در مد نظر قرار می دهیم.

1) Maximum, torque

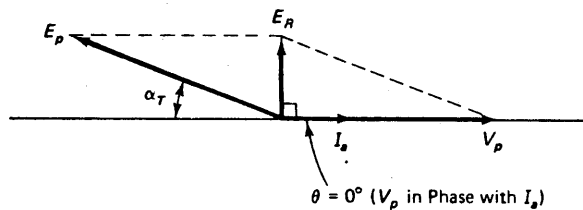
2) Phasor, diagram



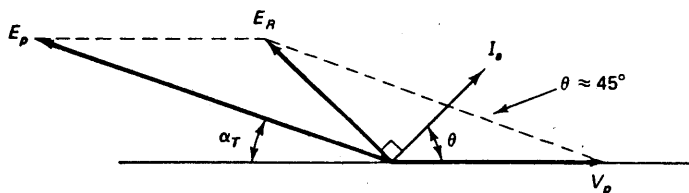
شکل ۲-۱۰ مدار معادل مربوط به هر فاز در موتور سنکرون سه فاز



(a)



(b)



(c)

شکل ۳-۱۰: دیاگرام فازوری مربوط به مدار معادل

شکل ۲-۱۰

a: حالت زیر تحریک با ضریب توان پس فاز

b: حالت تحریک نرمال با ضریب توان واحد

c: حالت فوق تحریک با ضریب توان پیش فاز

هرگاه موتور سنکرون مشغول کار است، میدان مغناطیسی حاصله از رتورهادیهای استاتور را قطع می کند و لذا در استاتور ولتاژ (E_p) تولید می شود که با ولتاژ اعمال شده بر استاتور یا V_p (ولتاژ منبع تغذیه) مخالفت می کند، ولتاژ E_p شباهت بسیار زیادی با نیروی ضد محرکه در موتورهای DC دارد (جلد اول). اگر میدانهای استاتور و رتور در یک راستا قرار داشته باشند ($\alpha_T = 0^\circ$) در اینصورت E_p و V_p با هم 180° درجه اختلاف فاز خواهند داشت ولی چون معمولا α_T صفر نمی باشد، یعنی میدانها در یک راستا قرار ندارند، لذا اختلاف فاز بین E_p و V_p کمتر از 180° درجه می باشد (بمیزان α_T کمتر از 180° درجه)، باید گفت که ولتاژ تولید شده درون ماشین (\vec{E}_p) توسط معادلات (۳-۸) در فصل ۸ بدست می آید (مانند ژنراتور سنکرون). از معادلات (۳-۸) در میابیم که اگر موتور تحت سرعت ثابت سنکرون بچرخد \vec{E}_p تابعی از شار حاصله از میدان رتور (ϕ) خواهد بود، بعبارت دیگر E_p در شکل (۲-۱۰) تابعی از جریان تحریک (I_f) در شکل (۱-۱۰) می باشد.

با توجه به شکل (۲-۱۰)، ولتاژ E_R یعنی ولتاژ در دو سر امپدانس ماشین از جمع فازورهای E_p و V_p حاصل می شود.

از طرفی طبق قانون اهم جریان استاتور (I_a) از تقسیم E_R بر امپدانس Z_s پدیدار می شود. چون x_p بمراتب از r_p بیشتر است. لذا Z_s کلاً "اندوکتیو بوده و I_a از E_R بمیزان 90° درجه عقب خواهد بود (پس فاز).

در شکلهای (۳-۱۰) بار موتور ثابت در نظر گرفته شده است و اگر از تغییرات تلفات درون ماشین^(۱) در این سه حالت صرف نظر کنیم. زاویه گشتاور (α_T) در هر سه حالت یکسان خواهد بود (چرا؟). اما در این سه حالت، تحریک متفاوت بوده و لذا E_p های گوناگون حاصل می شود.

در شکل (۳-۱۰ a) تحریک خیلی کم است و لذا با توجه به جمع فازورها در میابیم که E_R تقریباً با V_p همفاز می گردد. چون \vec{I}_a بمیزان 90° درجه از E_R عقب است. لذا I_a بمیزان θ درجه از V_p عقب خواهد بود. θ معمولاً زاویه بزرگی است (حدود 80° درجه). در نتیجه ضریب توان موتور کم می باشد و ضریب توان پس فاز خواهد بود. در شکل (۳-۱۰ a) داریم:

$$PF = \cos 80^\circ = 0.17$$

به این وضعیت حالت زیر تحریک^(۲) گفته می شود.

اگر تحریک را افزایش دهیم و با مال E_p را زیاد کنیم تابحال بحرانی شکل (۱۰-۳b) برسیم و لذا E_R از V_p جلو می افتد (پیش فاز) و این جلوافتادگی حدود ۹۰ درجه می باشد. چون I_a از E_R ۹۰ درجه عقب است، لذا I_a هم فاز V_p می گردد. در اینصورت ضریب توان واحد می گردد. در شکل (۱۰-۳b) داریم:

$$(PF = \cos 0^\circ = 1.0)$$

این وضعیت به حالت تحریک نرمال^(۱) معروف است.

شکل (۱۰-۳c) حالت فوق تحریک (۲) است و در این حالت E_p خیلی زیاد است و در نتیجه E_R بمیزانی بیشتر از ۹۰ درجه از V_p جلو می افتد. در این حالت I_a از V_p جلو می افتد و لذا ضریب توان پیش فاز حاصل می گردد. در شکل (۱۰-۳c) داریم:

$$(PF = \cos 45^\circ = 0.707)$$

با توجه به نکات فوق در میابیم که با تنظیم تحریک می توان تحت بار مفروضی از موتور سنکرون در حالت های پیش فاز، پس فاز یا تحریک نرمال بهره برداری نمود. با توجه به شکل های (۱۰-۳) در میابیم که ابتدا در شکل (۱۰-۳a)، E_R نسبتاً زیاد بود، سپس با تنظیم تحریک E_R خیلی کم گردید (شکل ۱۰-۳b) و سپس دوباره E_R بزرگ می شود (شکل ۱۰-۳c). همچنین با توجه به این سه شکل می توان دریافت که جریان I_a نیز تقریباً همان مسیر E_R را در این سه شکل پیموده است (زیاد کم - زیاد).

10-2.2 Effect of Load

۲-۱۰ اثر بار بر روی موتورهای سنکرون سه فاز:

با توجه به شکل (۱۰-۳b) می توان چنین گفت:

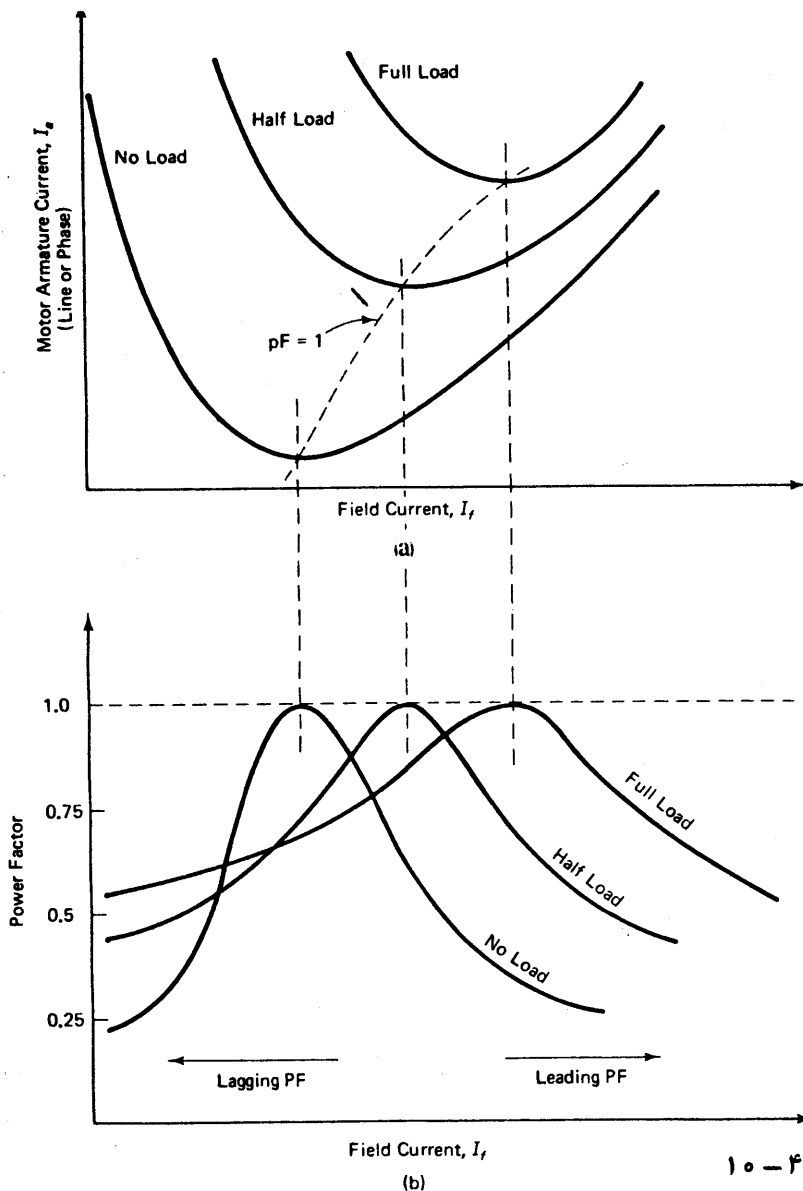
الف: با افزایش بار α_T زیاد می شود.

ب: با افزایش بار یا α_T و لذا E_R بطرف V_p می چرخد.

ج: با چرخیدن E_R بطرف V_p که در اثر افزایش بار صورت می گیرد جریان I_a نیز بهمان میزان α_T می چرخد.

در این حالت دیگر ضریب توان واحد نخواهد بود. لذا در این حالت که بار افزایش یافته اگر بخواهیم دوباره به ضریب توان واحد برسیم، باید E_p را زیاد کنیم به عبارت ساده تر باید جریان تحریک را افزایش دهیم. این امر باعث می گردد که E_R به وضعیت شکل (۱۰-۳b) بچرخد و ضریب توان واحد حاصل گردد.

حال دوباره وضعیت شکل (۳b - ۱۰) را در نظر می‌گیریم و فرض می‌کنیم تحریک ثابت باشد (E_p تغییر نکند). حال اگر بار افزایش یابد، α_T زیاد شده و E_p در جهت عقربه ساعت می‌چرخد، لذا E_R زیاد می‌گردد و در نتیجه I_a افزایش پیدا می‌کند، این امر را در بخش موتورهای DC (جلد اول) اثبات کردیم که در اثر افزایش بار (گشتاور



شکل ۴ - ۱۰

a: منحنی V شکل مربوط به تغییرات جریان استاتور بر حسب جریان تحریک
b: منحنی V شکل معکوس مربوط به تغییرات ضریب توان بر حسب جریان تحریک

بار) ^(۱) جریان آرمیچر افزایش می یابد. در موتور سنکرون نیز افزایش بار باعث ازدیاد جریان استاتور I_a می گردد.

۳-۲-۱۰ منحنی های V شکل در موتورهای سنکرون سه فاز:

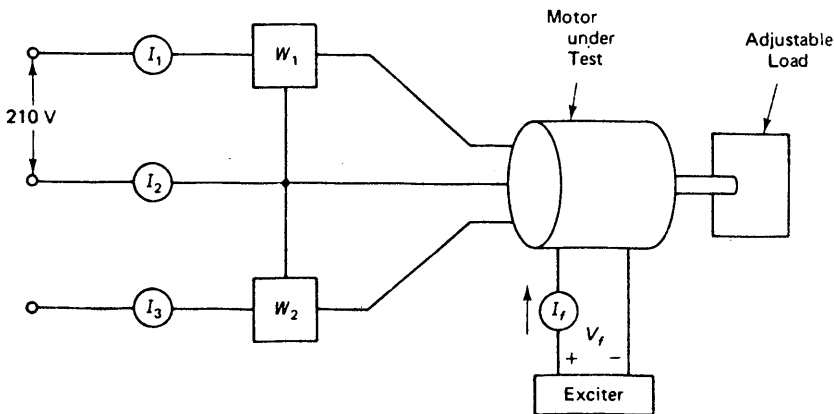
10-2.3 Synchronous Motor V Curves

مطالب بخشهای قبلی (۱-۲-۱) و (۲-۲-۱۰) را می توان بسهولت بر روی منحنی های متداولی مشاهده نمود. یکی از این منحنی ها در شکل (۴-۱۰ a) رسم شده است که تغییرات جریان استاتور را بر حسب جریان تحریک نشان می دهد (I_a بر حسب I_f). این منحنی ها شبیه V می باشند. منحنی های متداول دیگری وجود دارند که تغییرات ضریب توان را بر حسب جریان تحریک (I_f) نشان می دهد (شکل ۴-۱۰ b). این منحنی ها شبیه V معکوس می باشند.

حال بهتر است به مطالب بخشهای (۱-۲-۱) و (۲-۲-۱۰) رجوع کنیم و در تمامی مراحل به شکلهای (۴-۱۰) توجه داشته باشیم. از نظر تئوری کمترین جریان خط ^(۲) در تحت باری مفروض و تحریکی مشخص در ضریب توان واحد رخ می دهد. این امر در شکل های (۴-۱۰) نشان داده شده است.

مثال ۲-۱۰

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است



شکل ۵-۱۰: از آزمایش مربوط به تعیین منحنی V شکل در موتور سنکرون سه فاز

1) Load, Torque

2) Line-Current

ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۲ = توان اسمی

این موتور را مطابق شکل (۵-۱۰) در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار می دهیم و آزمایش‌هایی در شرایط بی‌باری و نصف بار اسمی (یک اسب بخار یا ۷۵۰ وات) بر روی آن انجام می دهیم

Table 10-1 No load

I_f (A)	I (A)	W_1 (W)	W_2 (W)	PF
3	5	680	-250	0.24
6	3.5	500	-100	0.31
7.5	2.6	400	0	0.42
9	1.8	300	60	0.55
11	1.05	190	190	0.995
12	1.25	150	230	0.84
13	1.55	100	300	0.71
15	2.4	-20	430	0.47
16	3	-100	500	0.37
17.5	4.4	-200	600	0.25

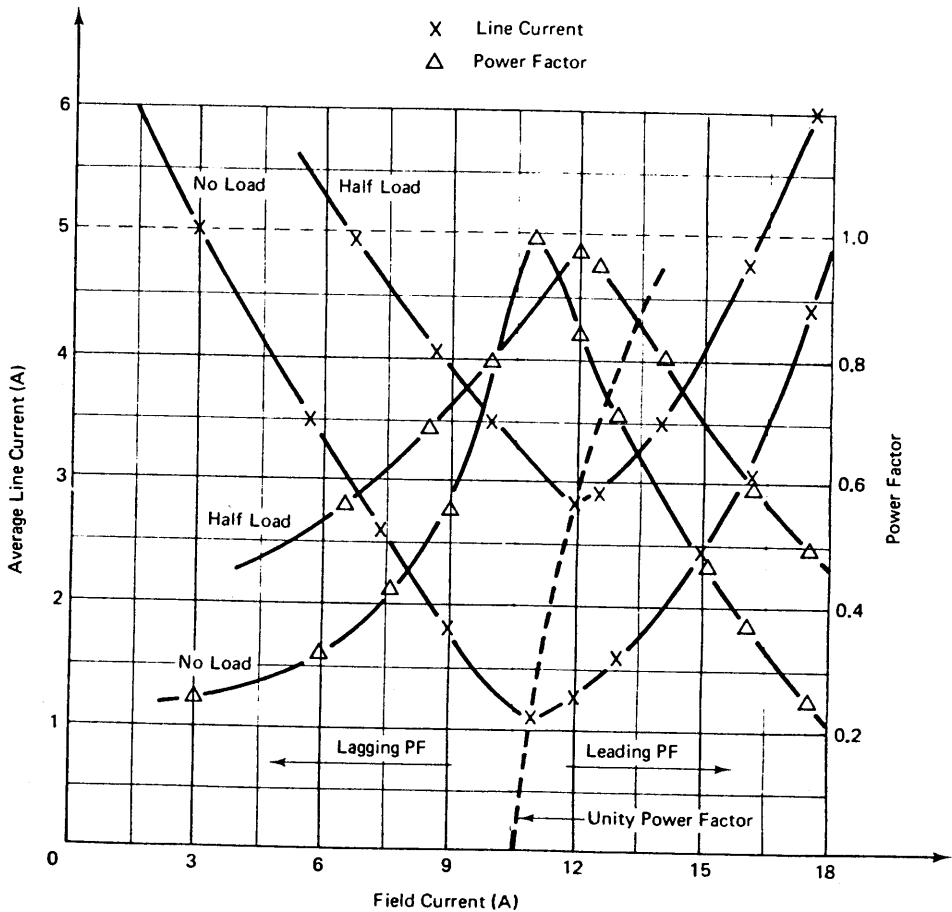
جدول ۱-۱۰ مربوط به آزمایش بی‌باری در موتور سنگرون سه فاز (مثال ۲-۱۰).

Table 10-2 Half load

I_f (A)	I (A)	W_1 (W)	W_2 (W)	PF
6.5	4.95	830	180	0.56
8.5	4.02	680	310	0.68
10	3.48	590	410	0.79
12	2.8	480	510	0.97
12.5	2.9	430	570	0.95
14	3.5	350	670	0.80
16	4.8	240	800	0.60
17.4	6.0	150	930	0.49

جدول ۲-۱۰ مربوط به آزمایش نصف بار اسمی در موتور سنگرون (مثال ۲-۱۰).

جداول (۱-۱۰)، (۲-۱۰) اعداد مربوط به آزمایشها را نشان می دهد. جریان I در این جداول مقدار متوسط جریانهای I_1 ، I_2 ، I_3 می باشد. مطلوبست رسم منحنی‌های V شکل این موتور در دو حالت بی‌باری و نصف بار اسمی.



شکل ۶-۱۰: منحنی‌های V شکل و V شکل معکوس مربوط به مثال ۲-۱۰.

محور افقی: جریان تحریک. محور عمودی سمت چپ: جریان استاتور

محور عمودی سمت راست: ضریب توان

حل:

منحنی جریان متوسط I را بر حسب جریان تحریک در دو حالت فوق رسم

می‌کنیم (شکل ۶-۱۰) این منحنی‌ها بصورت V شکل هستند.

حال برای رسم منحنی‌های V شکل معکوس مربوط به این موتور، باید ضریب توان را در

حالات مختلف بدست آورد. برای این منظور از اعداد واترهای W_1 و W_2 استفاده کرده

و سپس ضریب توان را در حالت‌های مختلف از رابطه زیر بدست می‌آوریم.

$$PF = \cos \theta = \frac{W_1 + W_2}{\sqrt{3} V_L I_L}$$

مثلاً در حالت بی‌باری و جریان تحریک ۳ آمپر داریم.

$$PF = \frac{680 \text{ W} - 250 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 210 \text{ V} \times 5 \text{ A}} = 0.24$$

حال ضریب توان را در حالت‌های گوناگون بدست آورده و ضریب توانها را در حد اول (۱-۱۰) و (۲-۱۰) یادداشت می‌کنیم. حال منحنی‌های V شکل معکوس مربوط به ضریب توان را در شکل (۶-۱۰) رسم می‌کنیم. بسیار جالب است بدانیم که در حالتی که ضریب توان واحد است و اتمترهای W_1 و W_2 اعداد مساوی و مثبت نشان را می‌دهند، منحنی‌های V شکل در تنظیم جریان تحریک^(۱) بسیار موثر و مفید هستند، و می‌توان ضریب توان مورد نیاز را برای موتور تنظیم نمود. از این امر برای تحصح ضریب توان^(۲) استفاده میشود و در بخش (۶-۱۰) همین فصل درباره این موضوع بیشتر توضیح می‌دهیم.

10-3 SYNCHRONOUS MOTOR STARTING TECHNIQUES

۳-۱۰ روشهای مختلف راه اندازی در موتورهای سنکرون سه فاز:

در قسمتهای قبلی گفتیم که در اینگونه موتورها گشتاور راه انداز پدیدار نمی‌شود. لذا باید از روشهای مختلفی برای راه اندازی موتورهای سنکرون استفاده کرد. با این روشها موتور را به سرعت نسبتاً بالایی می‌رسانیم و سپس تحریک را اعمال می‌کنیم در اینصورت سنکرونیزم موتور پا برجا باقی می‌ماند. ما در زیر دو روش مختلف راه اندازی را توضیح می‌دهیم.

۱-۳-۱۰: استفاده از محرک گرداننده کمکی:

10-3.1 Auxillary Drive

اگر بتوانیم بار را از موتور جدا کنیم، در اینصورت میتوان برای راه اندازی آن از این روش استفاده کرد. در اینحالت از یک موتور کوچک که بر روی محور^(۳) موتور سنکرون نصب شده است جهت راه اندازی استفاده می‌شود. هرگاه موتور سنکرون توسط این موتور کمکی به سرعت سنکرون رسید جریان تحریک به رتور موتور سنکرون اعمال می‌گردد. در این هنگام موتور در حالت سنکرونیزم باقی می‌ماند و سپس موتور کمکی را خاموش می‌نماییم. آنگاه بار را به موتور سنکرون وصل می‌کنیم، از آنجائی که در مرحله راه اندازی موتور کمکی باید موتور سنکرون بی‌بار را بچرخش درآورد لذا توان اسمی موتور کمکی می‌تواند حدود ۱۰٪ توان اسمی موتور سنکرون سه فاز باشد. به عبارت دیگر یک موتور کمکی یک

1) Field, Current

2) Power, Factor, Correction

3) Shaft

اسب بخار یا یک کیلو وات می تواند برای راه اندازی یک موتور سنکرون ۱۰ اسب بخاری یا ۱۰ کیلو واتی مورد استفاده قرار گیرد ، معمولاً موتورهای کمکی از انواع زیر انتخاب می شوند .

الف: موتورهای القائی (اسنکرون)

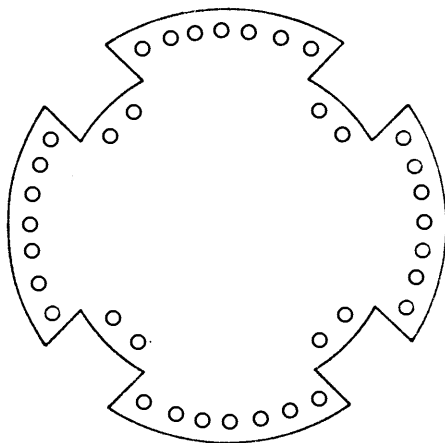
ب: موتورهای DC (جلد اول)

هنگامیکه از موتورهای DC استفاده شود و موتور سنکرون بحالت سنکرونیزم رود ، در اینصورت با استفاده از روش ترمز دینامیکی (جلد اول) بسرعت می توان موتور DC را خاموش و ساکن نمود (بخش ۱۱ - ۵ در جلد اول) .

۲ - ۳ - ۱۰ راه اندازی موتورهای سنکرون سه فاز بصورت اسنکرون :

10-3.2 Induction Start-Synchronous Run

در این روش سیم پیچ رتور بر روی رتور قفس سنجابی قرار می گیرد . به عبارت دیگر در رتور دو مدار وجود دارد . هرگاه به استاتور ولتاژ اعمال شود و مدار تحریک هنوز برق دار نشده باشد ، موتور بصورت موتور اسنکرون (القائی) راه اندازی می شود و سرعتش زیاد می گردد تا بالاخره به لغزشی حدود ۵ الی ۱۰٪ می رسد . در این لحظه مدار تحریک را برق دار می کنیم و موتور سنکرونیزم خود را بدست می آورد و رتور با سرعت سنکرون به چرخش خود ادامه می دهد . در حالتی که رتور با سرعت سنکرون می چرخد ، در مدار قفس سنجابی جریان بوجود نمی آید (چرا؟) ولذا بر روی عملکرد موتور اثر نمی گذارد . به سیم پیچی که در رتور فقط نقش راه اندازی را ایفا می کند *amortisseur* Winding گفته می شود و علاوه بر راه اندازی موتور ، هنگام تغییرات بار که نوساناتی



شکل ۷ - ۱۰ رتور قفس سنجابی از نوع قطب سرحسته

در ماشین رخ می‌دهد تا زاویه α_r در وضعیت جدید مستقر گردد، این نوسانات را مستهلک می‌سازد. بدین جهت به این سیم پیچ لفظ سیم میراساز (مستهلک کننده) یا Damper-winding نیز اطلاق می‌گردد. شکل (۷-۱۰) نمای ساده اینگونه رتورها را نشان می‌دهد.

۴-۱۰: تحلیل عددی توان، راندمان و گشتاور در موتورهای سنکرون سه فاز:

10-4 NUMERICAL ANALYSIS: POWER, EFFICIENCY, AND TORQUE

با توجه به مطالب بخشهای قبلی معادلاتی برای موتورهای سنکرون سه فاز ذکر می‌کنیم. البته در این تحلیل فرضیاتی انجام داده‌ایم تا محاسبات سهلتر انجام گیرد و حتی‌الامکان نتایجی با تقریب خوب حاصل گردد.

۱-۴-۱۰ توان و راندمان

چون در موتورهای سنکرون توان خروجی از نوع مکانیکی است، لذا اندازه‌گیری آن قدری مشکل است. لذا سعی می‌شود مانند موتورهای DC (حلد اول) توان خروجی از رابطه زیر بدست آید:

کل تلفات درون موتور - توان ورودی موتور = توان خروجی موتور

برای بررسی تلفات درون موتور سنکرون سه فاز دیاگرامی مطابق شکل (۸-۱۰) که به دیاگرام پخش توان معروف است در نظر می‌گیریم. البته در این دیاگرام، تلفات مدار تحریک رتور نشان داده نشده است. اگر ضریب توان موتور سنکرون معلوم باشد توان ورودی از رابطه (۲۴-۹) بدست می‌آید در غیر اینصورت از روش دو واتمتری (معادلات ۲۵-۹) استفاده کرده و توان ورودی را بدست می‌آوریم. اگر تلفات مسی استاتور (P_{Cu}) از توان ورودی کسر شود، توان حاصله توسط موتور پدیدار می‌گردد (P_{dev}) .

$$P_{Cu} = 3r_p I_a^2 \quad (10-2)$$

$$P_{dev} = P_i - P_{Cu} \quad (10-3)$$

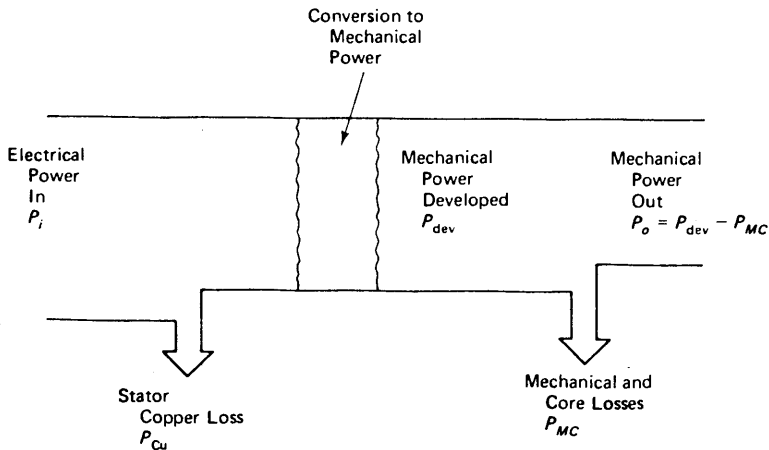
باید توجه داشت که در رابطه (۲-۱۰) تلفات مسی مربوط به هر سه فاز حساب شده است. با آنکه تلفات هسته در استاتور و رتور توأما وجود دارد ولی ما تمامی تلفات هسته را بصورت یک کاسه با تلفات مکانیکی (تهویه و اصطکاک) منظور می‌نمائیم (P_{MC}) . حال اگر تلفات هسته و مکانیکی (P_{MC}) از توان حاصله کسر شود توان خروجی ماشین بدست می‌آید.

$$P_o = P_{dev} - P_{MC} \quad (10-4)$$

با جایگزین رابطه‌های (۱۰-۳) و (۱۰-۲) در رابطه (۱۰-۴) داریم .

$$P_o = P_i - P_{Cu} - P_{MC} \quad (10-5)$$

از رابطه (۱۰-۴) در میابیم که هرگاه موتور بی بار باشد ($P_o = 0$) درینصورت توان حاصله با مجموع تلفات هسته و تلفات مکانیکی برابر است . از آنجائی که P_{MC} از آزمایش بی باری موتور بدست می آید ، ما از آن در آزمایش بار اسمی نیز استفاده می کنیم و آنرا از بی باری تا بار کامل (۱) ثابت در نظر می گیریم .



شکل ۸-۱۰ دیاگرام پخش توان در موتورهای سنکرون سه فاز

تلفات مسی رتور نیز باید در محاسبات راندمان وارد گردد و با توجه به مدار شکل (۱۰-۵) این تلفات اینچنین است .

$$P_f = V_f I_f = R_f I_f^2 \quad (10-6)$$

لذا راندمان موتور سنکرون سه فاز اینچنین بدست می آید .

$$\eta(\%) = \frac{P_i - P_{Cu} - P_{MC} - P_f}{P_i} \times 100 \quad (10-7)$$

مثال ۳-۱۰:

یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت = ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر = ۸ = جریان اسمی (جریان خطی)

ستاره (Y) = طرز اتصال سیم پیچ استاتور

اهم $0.6 =$ مقاومت هر فاز استاتور (r_p)

اهم $6/3 =$ راکتانس هر فاز استاتور (x_p)

زیر تحریک (underexcited) = نوع تحریک

آمپر $10 =$ جریان تحریک (I_f)

اهم $1/5 =$ مقاومت مدار تحریک (R_f)

این موتور را مطابق شکل (۵-۱۰) مورد آزمایش قرار می دهیم و جریان تحریک را ثابت نگه میداریم نتایج آزمایشهای بی باری و بار اسمی (بار کامل) مطابق ذیل است.

No-load test: $V_L = 210 \text{ V}$, $I_L = 1.6 \text{ A (average)}$

$W_1 = 300 \text{ W}$, $W_2 = -30 \text{ W}$

Full-load test: $V_L = 210 \text{ V}$, $I_L = 8 \text{ A (average)}$

$W_1 = 1400 \text{ W}$, $W_2 = 1200 \text{ W}$

مطلوبست:

الف: ضریب توان موتور در حالت بی باری

ب: ضریب توان موتور در حالت بار اسمی (بار کامل)

ج: راندمان در بار اسمی (بار کامل)

حل:

الف: از آزمایش بی باری داریم:

$$P_i = W_1 + W_2 = 300 \text{ W} - 30 \text{ W} = 270 \text{ W}$$

از رابطه (۲۴-۹) داریم:

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{270 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 210 \text{ V} \times 1.6 \text{ A}}$$

no-load PF = 0.46 lagging (since it is underexcited)

باید توجه داشت که ضریب توان فوق پس فاز است زیرا در حالت زیر تحریک ماشین را مورد تست قرار داده ایم.

ب: از آزمایش بار اسمی داریم.

$$P_i = 1400 \text{ W} + 1200 \text{ W} = 2600 \text{ W}$$

$$\begin{aligned} PF &= \frac{2600 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 210 \text{ V} \times 8 \text{ A}} \\ &= 0.89 \text{ lagging (since it is underexcited)} \end{aligned}$$

ضریب توان فوق پس فاز است زیرا در حالت زیر تحریک ماشین را مورد آزمایش قرار دادیم.

ج. در حالت بی‌باری تلفات مسی استاتور اینچنین است (رابطه ۲-۱۰):

$$P_{Cu} = 3 \times 0.6 \Omega \times 1.6 \text{ A}^2 = 4.6 \text{ W}$$

از رابطه (۳-۱۰) داریم.

$$P_{dev} = 270 \text{ W} - 4.6 \text{ W} = 265.4 \text{ W}$$

در حالت بی‌باری توان حاصله با مجموع تلفات هسته و توان مکانیکی برابر است. لذا:

$$P_{MC} = 265.4 \text{ W}$$

تلفات مسی استاتور در بار اسمی بقرار زیر است.

$$P_{Cu} = 3 \times 0.6 \Omega \times 8 \text{ A}^2 = 115.2 \text{ W}$$

تلفات مدار تحریک بقرار زیر است (معادله ۶-۱۰).

$$P_f = R_f I_f^2 = 1.5 \Omega \times 10 \text{ A}^2 = 150 \text{ W}$$

و بالاخره راندمان اینچنین بدست می‌آید (رابطه ۷-۱۰)

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{2600 \text{ W} - 115.2 \text{ W} - 265.4 \text{ W} - 150 \text{ W}}{2600 \text{ W}} \times 100 \\ &= 79.6\% \end{aligned}$$

10-4.2 Torque

۲-۴-۱۰ گشتاور (کویل)

در محاسبات مربوط به گشتاور یک رابطه تقریبی برای زاویه گشتاور (α_T) بدست می‌آوریم. با توجه به شکل (۲-۱۰) در میابیم که E_R مجموع فازورهای $I_a r_p$ و $I_a x_p$ خواهد بود و چون x_p از r_p بمراتب بزرگتر است. لذا با تقریب خوب داریم.

$$E_R = I_a x_p \quad (10-8)$$

با توجه به شکلهای (۳-۱۰) در هر حالت در میابیم که مولفه قائم E_R اینچنین است.

$$\text{vertical component} = E_R \sin(90 - \theta) \quad (10-9)$$

چون $\sin(90 - \theta)$ همان $\cos \theta$ یا ضریب توان است، لذا رابطه (۹-۱۰) اینچنین می‌شود.

$$\text{vertical component} = E_R \times \text{PF} \quad (10-10)$$

با بکارگیری علم مثلثات در شکل‌های (۳-۱۰) داریم ،

$$\begin{aligned} \sin \alpha_T &= \frac{\text{vertical component of } E_R}{E_p} \\ &= \frac{E_R \times \text{PF}}{E_p} \end{aligned} \quad (10-11)$$

$$\alpha_T = \arcsin \frac{E_R \times \text{PF}}{E_p} \quad (10-12)$$

رابطه (۱۲-۱۰) یک رابطه تقریبی اما مفید است. ولتاژ تولید شده در هر فاز موتور (E_p) از رابطه زیر بدست می‌آید ،

$$E_p = \sqrt{(V_p \cos \theta - I_a r_p)^2 + (I_a x_p \pm V_p \sin \theta)^2} \quad (10-13)$$

(+ for leading PF, - for lagging PF)

در رابطه اخیر V_p ولتاژ هر فاز مربوط به منبع تغذیه استاتور می‌باشد. اثبات رابطه (۱۳-۱۰) به عهده دانشجویان است:

مثال ۴-۱۰:

موتوری مطابق مثال (۳-۱۰) را در نظر می‌گیریم مطلوبست:

الف: زاویه گشتاور در حالت بی‌باری.

ب: زاویه گشتاور در حالت بار اسمی (بار کامل)

حل

الف: ابتدا E_p را از رابطه (۱۳-۱۰) بدست می‌آوریم. چون اتصال استاتور ستاره (Y) می‌باشد. لذا:

$$V_p = \frac{210 \text{ V}}{\sqrt{3}} = 121 \text{ V}$$

$$I_a = I_L$$

ازبند الف در مثال (۳-۱۰) داریم.

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.46$$

$$\theta = 62.6^\circ$$

$$\sin \theta = 0.89$$

لذا:

$$E_p = \sqrt{(121 \times 0.46 - 1.6 \times 0.6)^2 + (1.6 \times 6.3 - 121 \times 0.89)^2} = 111.9 \text{ V}$$

از رابطه (۸-۱۰) داریم .

$$E_R = 1.6 \text{ A} \times 6.3 \Omega = 10.1 \text{ V}$$

از رابطه (۱۲-۱۰) داریم .

$$\alpha_T = \arcsin \left(10.1 \times \frac{0.46}{111.9} \right) \\ = 2.38^\circ$$

ب: در این حالت از مقادیر اسمی بدست آمده در مثال (۳-۱۰) استفاده می شود. لذا:

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.89$$

$$\theta = 27.13^\circ$$

$$\sin \theta = 0.46$$

$$E_p = \sqrt{(121 \times 0.89 - 8 \times 0.6)^2 + (8 \times 6.3 - 121 \times 0.46)^2} \\ = 103 \text{ V}$$

از رابطه (۸-۱۰) داریم .

$$E_R = 8 \text{ A} \times 6.3 \Omega = 50.4 \text{ V}$$

از رابطه (۱۲-۱۰) داریم

$$\alpha_T = \arcsin \left(50.4 \times \frac{0.89}{103} \right) \\ = 25.82^\circ$$

گشتاور خروجی و گشتاور حاصله با استفاده از روابط (۳-۵) در فصل ۵ (جلد اول) بدست می آید. زیرا ما در مثال (۳-۱۰) توانهای خروجی و توانهای حاصله را بدست آوردیم .

اما فقط توجه کنید که سرعت در این موتورها همان سرعت سنکرون می باشد .

مثال ۵-۱۰ (سیستم ENG):

موتوری مطابق مثال (۳-۱۰) در نظر می گیریم و فرکانس اسمی آنرا ۶۰ هرتز منظور می داریم گشتاور خروجی و گشتاور حاصله در موتور را در بار اسمی بیابید .

حل:

از رابطه (۳a-۵) در جلد اول استفاده می کنیم و می دانیم S همان سرعت سنکرون است (رابطه ۱a-۹) .

$$S = S_s = 120 \times \frac{60 \text{ Hz}}{4 \text{ poles}} = 1800 \text{ rev/min}$$

از مثال (۳-۱۰) در میابیم که .

$$P_{dev} = 2600 \text{ W} - 115.2 \text{ W} = 2484.8 \text{ W}$$

برای آشنا شدن بیشتر به طرز محاسبه رابطه فوق به معادله (۳-۱۰) رجوع شود .
از رابطه (۳a-۵) استفاده می‌کنیم (جلد اول) .

$$T_{dev} = 7.04 \times \frac{2484.8 \text{ W}}{1800 \text{ rev/min}} = 9.7 \text{ ft-lb}$$

توان خروجی از کسر P_{Mc} و توان حاصله بدست می‌آید (شکل ۸-۱۰) .
 $P_o = 2484.8 \text{ W} - 265.4 \text{ W} = 2219.4 \text{ W}$

از رابطه (۳a-۵) داریم ، (جلد اول) :

$$T_o = 7.04 \times \frac{2219.4 \text{ W}}{1800 \text{ rev/min}} \\ = 8.68 \text{ ft-lb}$$

مثال ۶-۱۰ (سیستم SI)

موتوری مطابق موتور مثال (۳-۱۰) در نظر می‌گیریم و فرکانس اسمی آنرا ۵۰ هرتز منظور می‌داریم . مطلوبست محاسبه گشتاور حاصله و گشتاور خروجی در بار اسمی .

حل

از رابطه (۳b-۵) در جلد اول استفاده می‌کنیم و می‌دانیم همان سرعت سنکرون است (رابطه ۱b-۹) .

$$\omega = \omega_s = 4\pi \times \frac{50 \text{ Hz}}{2 \text{ poles}} = 314 \text{ rad/s}$$

از مثال (۳-۱۰) داریم :

$$P_{dev} = 2600 \text{ W} - 115.2 \text{ W} = 2484.8 \text{ W} = 2.48 \text{ kW}$$

برای آشنا شدن بیشتر به طرز محاسبه رابطه فوق به معادله (۳-۱۰) رجوع شود .
از رابطه (۳b-۵) داریم (جلد اول)

$$T_{dev} = 1000 \times \frac{2.48 \text{ kW}}{314 \text{ rad/s}} \\ = 7.9 \text{ N-m}$$

توان خروجی از کسر P_{Mc} و توان حاصله بدست می‌آید (شکل ۸-۱۰) .
 $P_o = 2484.8 \text{ W} - 265.4 \text{ W} = 2219.4 \text{ W} = 2.22 \text{ kW}$

از رابطه (۳-۵) داریم (جلد اول) :

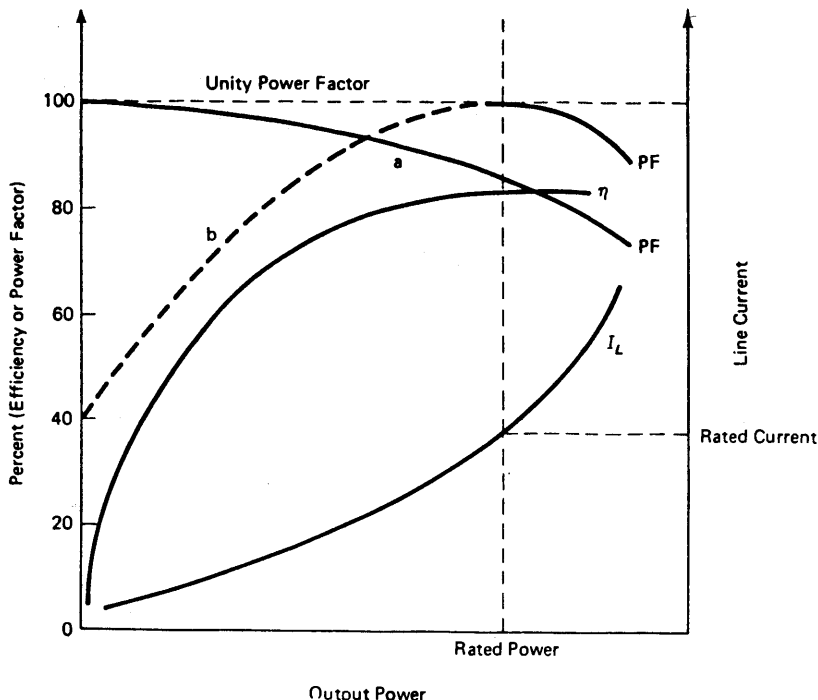
$$T_o = 1000 \times \frac{2.22 \text{ kW}}{314 \text{ rad/s}} = 7.1 \text{ N-m}$$

۵-۱۰ منحنی مشخصه‌های متداول برای موتورهای سنکرون سه فاز:

در موتورهای سنکرون نیز منحنی مشخصه‌هایی همانند موتورهای القایی (اسنکرون) وجود دارد. شکل (۹-۱۰) یک نمونه از این منحنی مشخصه‌ها را برای موتورهای سنکرون نشان می‌دهد و در تمامی این منحنی‌ها جریان تحریک موتور ثابت نگهداشته شده است. منحنی‌های شکل (۹-۱۰) تغییرات جریان خط، راندمان، ضریب توان را بر حسب توان خروجی تحت تحریک ثابت نشان می‌دهند.

در منحنی (۹-۱۰) دو منحنی برای ضریب توان رسم شده است یکی از منحنی‌ها با علامت a مشخص شده و دیگری با علامت b رسم شده است. باید گفت که در منحنی a تحریک طوری تنظیم شده است که ضریب توان در بی‌باری واحد باشد. در منحنی دوم ضریب توان (منحنی b) تحریک طوری تنظیم شده که ضریب توان واحد در بار اسمی (بار کامل) رخ دهد.

در هر دو حالت ضریب توان واحد موقعی رخ می‌دهد که با تغییر جریان تحریک به نقطه‌ای برسیم که جریان خط می‌نیم گردد. این نقطه (جریان می‌نیم) مربوط به



شکل ۹-۱۰: منحنی‌های مشخصه موتورهای سنکرون سه فاز

محور افقی: توان خروجی

محور عمودی سمت چپ: راندمان و ضریب توان بر حسب درصد

محور عمودی سمت راست: جریان خط که موتور را از شبکه می‌کشد

ضریب توان واحد است (شکل ۶-۱۰). باید گفت که در منحنی (b) آن قسمت خط چین مربوط به ضریب توان پیش فاز بوده و قسمت توپر مربوط به ضریب توان پس فاز می باشد.

۶-۱۰ تصحیح ضریب توان: 10-6 POWER FACTOR CORRECTION

روند بهبود و افزایش ضریب توان منبع تغذیه را تصحیح ضریب توان می گویند. قبل از اینکه این قسمت را مطالعه کنید بخشهای (۷-۱) و (۷-۴-۱) را در فصل هفتم مرور کنید و بخوبی مثال (۷-۲۴) را در این فصل درک نمایید.

در فصل هفتم گفتیم که ضریب توان واحد هم به نفع مصرف کننده و هم به نفع تغذیه کننده می باشد. در فصل هفتم دیدیم که اگر ضریب توان کم باشد در اینصورت تنظیم ولتاژ و راندمان مطلوب نخواهد بود. برای مطالعه بیشتر به مثالهای (۷-۱۹)، (۷-۱۶) در فصل ۷ و (۸-۶)، (۸-۷) و (۸-۸) در فصل ۸ مراجعه کنید.

۶-۱۰-۱ علل کاهش ضریب توان: 10-6.1 Causes of a Low Power Factor

در تاسیسات صنعتی لوازم گوناگونی وجود دارند که بر کم شدن ضریب توان موثرند این لوازم عبارتند از:

۱- موتورهای القائی (اسنکرون) که بار آنها کم باشد و دارای ضریب توان کوچک هستند (شکل ۱۵-۹)

۲- ترانسفورماتورهای توزیع^(۱) در حالت بی باری دارای ضریب توان کم می باشند.

۳- ماشینهای جوش یا قوس الکتریکی دارای ضریب توان نسبتاً کمی هستند (حدود ۷۰٪ یا ۵/۷۰).

۴- لامپهای جیوه یا فلورسنت دارای ضریب توان کوچکی هستند (حدود ۵۰٪ یا ۵/۵۰) البته باید گفت که اینگونه لامپها مجهز به لوازمی هستند که ضریب توان آنها را بهبود می بخشد.

۶-۱۰-۲ معایب ضریب توان کم:

10-6.2 Disadvantages of a Low Power Factor

اگر با ضریب توان کم از تاسیساتی بهره برداری کنیم معایبی در نحوه بهره برداری بروز می کند. یکی از این معایب پائین آمدن راندمان بوده که قبلاً به آن اشاره شد. یکی دیگر از معایب ضریب توان کم هزینه های اضافی مربوط به بهره برداری است و می توان

برخی از آنها را نام برد:

۱- اگر تاسیساتی به ۷۰۰ کیلو وات برق نیاز داشته باشد و ضریب توان آن ۰/۷ در نظر گرفته شود، لذا ترانسفورماتور توزیع مربوط به این تاسیسات باید توانی معادل ۱۰۰۰ کیلو وات آمپر داشته باشد. در نتیجه این ترانسفورماتور به مراتب از ترانسفورماتور ۷۰۰ کیلو وات آمپری که در حالت ضریب توان واحد مورد استفاده قرار می گیرد گرانتر است.

۲- اگر بخواهیم توان مفروضی را تحت ضریب توان ۰/۷ تغذیه کنیم، سطح مقطع سیمها و کابلها باید دو برابر سطح مقطع حالتی باشد که بخواهیم همان توان را تحت ضریب توان واحد تغذیه نمائیم.

۳- برخی از شرکت های برق اگر ضریب توان پائین باشد مشترک را جریمه مالی می نمایند.

۴- برخی از شرکتها علاوه بر گرفتن پول ماهیانه بابت کیلو وات ساعت مصرفی پولی نیز بابت کیلو وار ساعت مصرفی از مشترکین دریافت می کنند، لذا اگر ضریب توان کم باشد مشترکین باید پول بیشتری بخاطر کیلو وار ساعت مصرفی بپردازند.

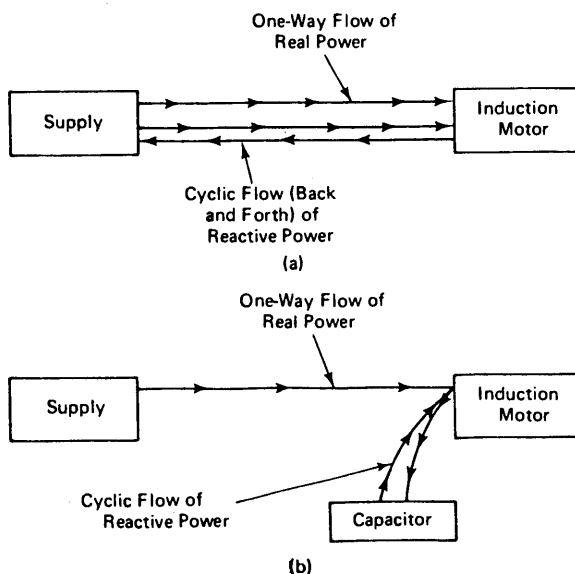
۳- ۶- ۱۰ راههای بهبود ضریب توان:

10-6.3 Ways to Improve the Power Factor

یکی از راههای بهبود ضریب توان آنستکه از لوازم ذکر شده در بخش (۱- ۶) پرهیز کنیم که عموماً این امر غیر ممکن است. برای آنکه بهتر درک کنیم چگونه می توانیم ضریب توان را بهبود بخشیم و لوازم مورد نیاز برای این امر را چگونه انتخاب نمائیم، باید ابتدا بفهمیم که از نظر الکتریکی چه وقایعی رخ می دهد. در بخش (۳- ۹) در فصل نهم دیدیم که جریان وارد شده به موتور القائی (اسنکرون) دارای دو مولفه است. ۱- مولفه اول جریان، که توان حقیقی (کیلو وات) موتور را تامین می کند و به این مولفه همان مولفه اکتیو جریان اطلاق می گردد.

۲- مولفه دوم جریان که باعث ذخیره شدن انرژی در میدان مغناطیسی موتور می گردد و به این مولفه همان مولفه راکتیو جریان گفته می شود.

از آنجائی که جریان متناوب است، لذا میدان مغناطیسی سیکنی را طی می نماید که در طی این سیکل این میدان پدیدار و ساخته می شود و سپس فروپاشی یا شکست^(۱) در این میدان رخ می دهد. هرگاه فروپاشی در میدان مغناطیسی^(۲) رخ دهد، جریان



شکل ۱۰-۱: شمای ساده پخش و توزیع توان از منبع تغذیه به یک موتور القائی (آسنکرون) .

a: تمامی توان راکتیو مورد نیاز موتور را منبع تامین می شود

b: تمامی توان راکتیو موتور از خازن محاور موتور تامین می گردد

راکتیو از موتور به منبع تغذیه پس فرستاده می شود. شکل (a ۱۰-۱۰) شمای کلی مطالب فوق را نشان می دهد.

حال باید وسیله ای پیدا کرد که بتواند هنگام فروپاشی میدان مغناطیسی مولفه راکتیو جریان که از موتور پس فرستاده می شود را ذخیره نماید. یکی از لوازم ایده آل برای این منظور خازن می باشد که می تواند انرژی را در میدان الکتریکی (۱) ذخیره نماید. حال اگر در جوار موتور خازن نصب کنیم، رد و بدل شدن سیکلیک توان راکتیو بین خازن و موتور برقرار می شود و بین منبع تغذیه و موتور فقط مولفه ای از جریان که توان حقیقی (اکتیو) به موتور می رساند برقرار می گردد. شکل (b ۱۰-۱۰) مطالب فوق را روشنتر می سازد. البته در این شکل فرض بر آنست که ضریب توان بهبود یافته به واحد رسیده است. اگر ضریب توان زیاد شده باشد ولی کاملاً به واحد نرسیده باشد در این صورت باز هم بین منبع تغذیه و موتور رد و بدل شدن توان راکتیو ادامه میابد ولی این بار به مراتب کمتر از حالتی است که اصلاً خازن وجود نداشت (شکل a ۱۰-۱۰)

10-6.4 Capacitor Ratings

۴-۶-۱۰ مقادیر اسمی خازن:

خازنهایی که برای بهبود ضریب توان بکار برده می‌شوند دارای مشخصه‌های اسمی زیر هستند.

الف: ولتاژ موثر اسمی که خازن تحت آن مورد بهره برداری قرار می‌گیرد.

ب: توان اسمی بر حسب کیلو وار

ج: فرکانس اسمی

د: نوع سیستم:

۱- د: تک فاز.

۲- د: سه فاز

معمولا برای تصحیح ضریب توان از بیش از یک خازن استفاده می‌کنند. مثلا اگر در یک سیستم ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی تکفاز نیاز به ۸ کیلووار خازن جهت اصلاح ضریب توان داشته باشیم، در اینصورت از دو خازن زیر استفاده می‌کنند.

۱- خازن ۵ کیلو واری، ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی

۲- خازن ۳ کیلو واری، ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی.

گاهی اوقات از خازنهای درولتاژ یا فرکانس کمتری نسبت به مقادیر اسمی خود استفاده می‌کنند. در اینحالت کیلوواری که خازن تامین می‌کند کمتر از توان اسمی (کیلو وار اسمی) خازن خواهد بود.

از فرمولهای زیر معمولا استفاده می‌کنند تا مسائل مربوط به تصحیح ضریب توان را بررسی نمایند.

$$C = \frac{\text{rated var}}{2\pi f_r (V_r)^2} \quad (10-14)$$

$$\text{actual kvar} = \frac{2\pi f C (V)^2}{1000} \quad (10-15)$$

$$\text{rated kvar} = \text{actual kvar} \left(\frac{V_r}{V} \right)^2 \quad (10-16)$$

$$\text{rated kvar} = \text{actual kvar} \frac{f_r}{f} \quad (10-17)$$

در روابط فوق داریم:

C: ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F).

f_r : فرکانس اسمی خازن بر حسب هرتز.

V_r : ولتاژ موثر اسمی خازن بر حسب ولت.

f: فرکانسی که خازن تحت آن مشغول کار است

۷. ولتاژ موثری که خازن تحت آن مشغول انجام وظیفه است (برحسب ولت)
 Actual- KVAR: کیلووار حاصله از خازن تحت شرایطی غیر از شرایط اسمی

مثال ۷-۱۰

یک خازن با مشخصات اسمی زیر مفروض است .

کیلو وار ۱۰ = کیلو وار اسمی = توان اسمی

ولت ۲۴۰ = ولتاژ موثر اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست:

الف: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۱۲۰ ولت و فرکانس ۶۰ هرتز

ب: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۲۴۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز

ج: کیلووار حاصله از خازن تحت ولتاژ موثر ۲۳۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز

حل

از رابطه (۱۰-۱۴) داریم:

$$C = \frac{10000 \text{ var}}{2\pi \times 60 \text{ Hz} \times (240 \text{ V})^2} \approx 460 \mu\text{F}$$

از روابط (۱۵-۱۰) داریم:

$$\text{kvar} = 2\pi \times 60 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{120^2}{1000} \quad \text{الف:}$$

$$= 2.5 \text{ kvar}$$

$$\text{kvar} = 2\pi \times 50 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{240^2}{1000} \quad \text{ب:}$$

$$= 8.32 \text{ kvar}$$

$$\text{kvar} = 2\pi \times 50 \times 460 \times 10^{-6} \times \frac{230^2}{1000} \quad \text{ج:}$$

$$= 7.64 \text{ kvar}$$

حال برای روشنتر شدن نحوه اصلاح ضریب توان مثالهای زیر را مورد بررسی قرار می دهیم .

مثال ۸-۱۰

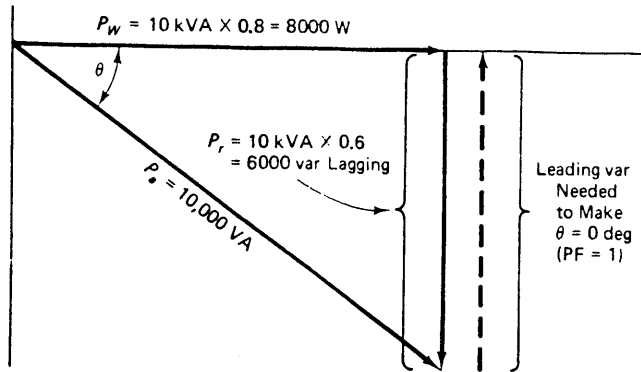
یک بار ۱۰ کیلو ولت آمپری با ضریب توان ۰/۸ پس فاز مفروض است و توسط

منبع ۱۲۰ ولتی تکفاز تغذیه می شود (فرکانس ۶۰ هرتز) . اگر بخواهیم ضریب توان بار

را به واحد برسانیم چه مقدار خازن باید با بار موازی نمائیم .

حل

برای بررسی این مثال از مثلث توان کمک می‌گیریم (بخش ۱-۷ در فصل ۷) .
برای این مثال مثلث توان مطابق شکل (۱۱-۱۰) می‌باشد زیرا ضریب توان ۰/۸ پس فاز است .



شکل ۱۱-۱۰: مثلث توان برای مثال ۸-۱۰ بسهولت داریم:

$$\cos \theta = 0.8$$

$$\theta = 37^\circ$$

$$\sin \theta = 0.6$$

توان اکتیو (حقیقی) و راکتیو از روابط (۷-۱۰) و (۷-۱۱) بدست می‌آیند .

$$P_w = 10,000 \times 0.8 = 8000 \text{ W}$$

$$P_r = 10,000 \times 0.6 = 6000 \text{ var}$$

خط چین نشان داده شده در شکل (۱۱-۱۰) مقدار VAR مورد نیاز جهت اصلاح ضریب توان ، برای رسیدن به ضریب توان واحد را نشان می‌دهد که باید از طرف خازن تامین گردد .

از آنجائی که از خازن باید توانی معادل ۶ کیلو وار حاصل گردد ، لذا باید خازنی با مشخصات اسمی زیر مورد بهره برداری قرار گیرد .

: ولتاژ اسمی ۱۲۰ ولت

: فرکانس اسمی ۶۰ هرتز

: توان اسمی ۶ کیلو وار

حال فرض کنید تنها خازن موجود در بازار ۲۴۰ ولتی باشد . لذا از رابطه (۱۶-۱۰)

استفاده کرده و مقدار توان اسمی حديد خازن را مياييم .

$$\begin{aligned}\text{rated kvar} &= 6 \text{ kvar} \left(\frac{240 \text{ V}}{120 \text{ V}} \right)^2 \\ &= 24 \text{ kvar}\end{aligned}$$

لذا در اينحالت از دو خازن ۲۰ و ۴ كيلو واری بصورت موازی استفاده می‌کنيم .

مثال ۹-۱۰

يك تاسيسات صنعتی توانی سه فاز معادل ۶ كيلو ولت آمپر را تحت ضريب توان ۰/۷۵ (پس فاز) مصرف می‌کند و ولتاژ منبع تغذيه کارخانه ۲۳۰ ولت سه فاز می‌باشد . چه مقدار خازن سه فاز بايد در اين کارخانه نصب کنیم تا ضريب توان کل کارخانه را پس از اصلاح به مقادير زیر برسد .

الف: ۰/۹ پس فاز

ب: واحد

ج: ۰/۹ پيش فاز

حل

از روابط (۱۰-۷) و (۱۱-۷) توان اکتیو و راکتیو کارخانه را قبل از اصلاح ضريب توان بدست می‌آوريم :

$$P_w = 60 \text{ kVA} \times 0.75 = 45 \text{ kW}$$

$$P_r = 60 \text{ kVA} \times \sin 41.4^\circ = 39.7 \text{ kvar}$$

توجه کنید که در ابتدای امر داریم .

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.75$$

$$\theta = 41.4^\circ$$

در بند ب مثال باید داشته باشیم .

$$\text{PF} = 1 \quad \theta = 0^\circ$$

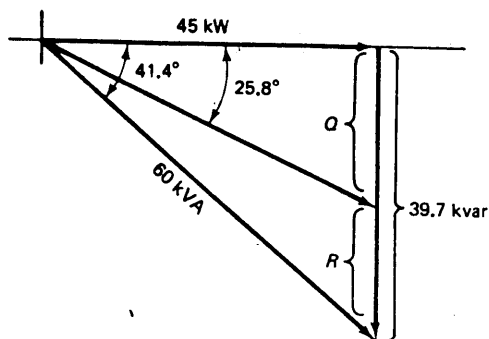
در بندهای الف و ج این مثال باید داشته باشیم .

$$\text{PF} = 0.9 \quad \text{lagging or leading}$$

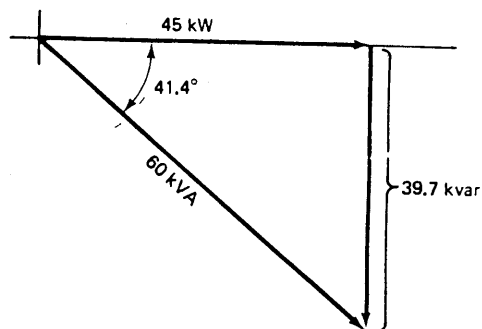
$$\cos \theta = 0.9$$

$$\theta = 25.8^\circ$$

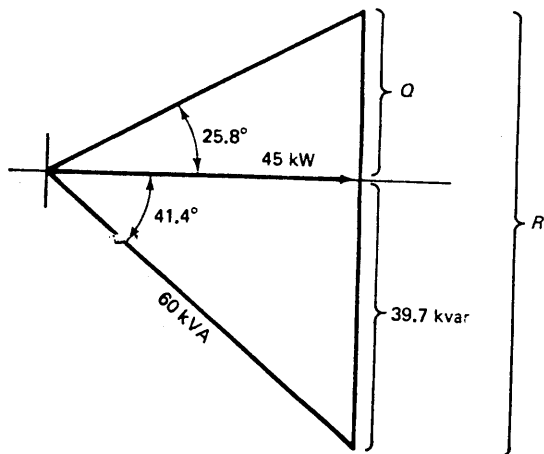
شکل‌های (۱۲-۱۰) مثلشهای توان را برای بندهای الف و ب و ج این مثال را نشان



(a)



(b)



(c)

شکل ۱۲-۱۰ مثلث‌های توان برای مثال ۹-۱۰

می دهند

الف: با توجه به شکل (a) ۱۲ - ۱۰) می خواهیم ضریب توان کل کارخانه به ۰/۹ پس فاز برسد. در اینصورت منبع تغذیه باید هنوز ۱۰ کیلو وار به کارخانه بدهد: بسهولت داریم.

$$Q = 45 \text{ kW} \times \tan 25.8^\circ = 21.75 \text{ kvar}$$

لذا کیلووار حاصله از خازن سه فاز برای بهبود ضریب توان تا ۰/۹ پس فاز اینچنین بدست می آید.

$$\begin{aligned} R &= 39.7 \text{ kvar} - Q \\ &= 39.7 \text{ kvar} - 21.75 \text{ kvar} \\ &= 17.95 \text{ kvar} \end{aligned}$$

ب: چون در اینحالت Q مساوی صفر است لذا کیلووار حاصله از خازن سه فاز برای اصلاح ضریب توان همان ۳۹/۷ کیلووار می باشد (شکل b) ۱۲ - ۱۰).

ج: در اینحالت خازنهای سه فاز باید کیلوواری بیش از ۳۹/۷ تولید کنند. با توجه به شکل (c) ۱۲ - ۱۰)، Q ، تزریقی از منبع به کارخانه اینچنین بدست می آید.

$$\begin{aligned} Q &= 45 \text{ kW} \times \tan 25.8^\circ \\ &= 21.75 \text{ kvar (as before)} \end{aligned}$$

لذا کیلووار حاصله از خازن سه فاز در اینحالت اینچنین بدست می آید.

$$\begin{aligned} R &= 39.7 \text{ kvar} + Q \\ &= 39.7 \text{ kvar} + 21.75 \text{ kvar} \\ &= 61.45 \text{ kvar} \end{aligned}$$

۵-۶-۱۰ کندانسور سنکرون: 10-6.5 The Synchronous Condenser

در بخش قبل دیدیم که وسیله ای چون خازن که دارای ضریب توان پیش فاز می باشد می تواند جهت اصلاح ضریب توان مورد استفاده قرار گیرد. در بخش (۳-۲-۱۰) در همین فصل دیدیم که موتور سنکرون در حالت فوق تحرک نیز می تواند دارای ضریب توان پیش فاز نسبتا کمی باشد. لذا می تواند نقشی مانند خازن برای اصلاح ضریب توان ایفا کند. هرگاه از موتورهای سنکرون بی بار برای اصلاح ضریب توان استفاده شود به آنها کندانسور سنکرون اطلاق می گردد، البته گاهی از موتورهای باردار سنکرون نیز برای تصحیح ضریب توان در حالت فوق تحرک استفاده می شود.

مثال ۱۰-۱۰

یک کارخانه صنعتی ۲۵ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۸۵ (پس فاز) مصرف می کند . برای اصلاح ضریب توان این کارخانه از یک کندانسور سنکرون (ضریب توان تقریباً صفر) استفاده می کنیم . کیلو ولت آمپر این کندانسور را طوری حساب کنید که ضریب توان کارخانه به واحد برسد .

حل

ابتدا توان راکتیو مورد نیاز کارخانه را قبل از تصحیح ضریب توان بدست می آوریم .

$$\text{total kVA} = \frac{25 \text{ kW}}{0.85} = 29.41 \text{ kVA}$$

$$\theta = \arccos 0.85 = 31.8^\circ$$

$$\text{kvar} = 29.41 \text{ kVA} \times \sin 31.8^\circ = 15.5 \text{ kvar}$$

چون تمامی کیلوواتر بدست آمده باید توسط کندانسور سنکرون تامین شود و ضریب توان این کندانسور صفر می باشد ، لذا کیلو ولت آمپر مورد نیاز برای این کندانسور سنکرون ۱۵/۵ کیلو ولت آمپر خواهد بود .

مثال ۱۱-۱۰

در یک کارخانه صنعتی تعدادی موتور القائی سه فاز (اسنکرون) تحت ولتاژ ۲۱۰ ولت کار می کنند و ۳ کیلو ولت آمپر از شبکه می کشند . اگر ضریب توان این مجموعه موتوری ۰/۸۵ باشد و بخواهیم از موتور سنکرون مثال (۲-۱۰) برای تصحیح ضریب توان استفاده کنیم . مطلوبست :

الف ' ضریب توان تصحیح شده کارخانه را بدست آورید ، مشروط بر آنکه موتور سنکرون بی بار بوده و جریان تحریک آن ۱۸ آمپر تنظیم شده باشد .

راهنمایی

برای حل این مثال باید به منحنی های V شکل در شکل (۶-۱۰) رجوع شود .

حل

از منحنی های V شکل برای جریان تحریک ۱۸ آمپر داریم .

$$I_L = 5 \text{ A} \quad \text{PF} = 0.2$$

برای موتور سنکرون داریم :

$$P_a = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 210 \text{ V} \times 5 \text{ A} = 1818.6 \text{ kVA}$$

چون ضریب توان موتور سنکرون ۰/۲ است لذا:

$$\text{Since } PF = 0.2 = \cos \theta,$$

$$\theta = 78.46^\circ$$

$$P_r = 1818.6 \text{ kVA} \times \sin 78.46^\circ$$

$$= 1781.86 \text{ kvar (leading)}$$

$$P_w = 1818.6 \text{ kVA} \times 0.2 = 364 \text{ W (this goes for losses)}$$

برای موتورهای القائی (اسنکرون) داریم:

$$PF = \cos \theta = 0.80$$

$$\theta = 36.87^\circ$$

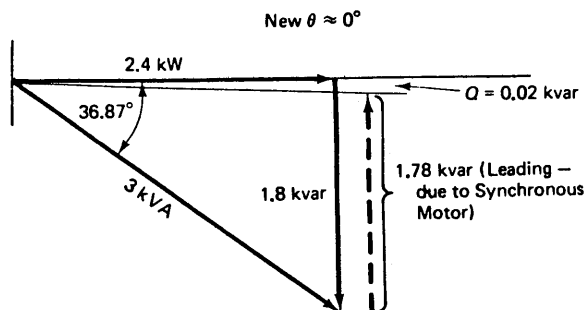
$$\sin \theta = 0.60$$

$$P_r = 3 \text{ kVA} \times \sin \theta = 1.8 \text{ kvar} = 1800 \text{ var}$$

$$P_w = 3 \text{ kVA} \times \cos \theta = 2.4 \text{ kW} = 2400 \text{ W}$$

مثلت توان در شکل (۱۳ - ۱۰) رسم شده است، توان راکتیو خالص اینچنین بدست می آید

$$Q = 1.8 \text{ kvar (lagging)} - 1.78 \text{ kvar (leading)} = 0.02 \text{ kvar} = 20 \text{ var}$$



شکل ۱۳ - ۱۰: مثلث توان برای مثال ۱۱ - ۱۰

توان خالص حقیقی (اکتیو) اینچنین است:

$$P_w = 2.4 \text{ kW} + 364 \text{ W} = 2.764 \text{ kW}$$

از رابطه (۱۲ - ۷) داریم:

$$P_d = \sqrt{(2764)^2 + 20^2} \approx 2764 \text{ VA}$$

از رابطه (۴ - ۷) داریم:

$$PF = \frac{2764 \text{ W}}{2764 \text{ VA}} = 1.0$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 10

Symbol	Definition	Units: English and SI
α_T (۱)	Torque angle	degrees
β (۲)	Synchronous impedance angle	degrees
x_p (۳)	Reactance per phase of stator winding	ohms
r_p (۴)	Resistance per phase of stator winding	ohms
Z_s (۵)	Impedance per phase	ohms
E_p (۶)	Generated stator phase voltage	rms volts
V_p (۷)	Applied stator phase voltage	rms volts
I_f (۸)	Field current	amperes
I_a (۹)	Stator phase current	amperes
E_R (۱۰)	Internal voltage drop across Z_s (this is similar to the armature voltage drop in a dc machine)	rms volts
θ (۱۱)	Angle between V_p and I_a	degrees
$\cos \theta$ (۱۲)	Power factor of motor	—
W_1 and W_2 (۱۳)	Wattmeter readings	watts
P_{cu} (۱۴)	Total stator copper loss	watts
P_{MC} (۱۵)	Sum of mechanical and core losses	watts
V_f (۱۶)	Voltage applied to field winding	dc volts
R_f (۱۷)	Field winding resistance	ohms
C (۱۸)	Capacitor used for power factor correction	farads
f_r (۱۹)	Rated frequency of C	hertz
V_r (۲۰)	Rated voltage of C	rms volts
f (۲۱)	Actual frequency C is used at	hertz
V (۲۲)	Actual voltage C is used at	rms volts
Q (۲۳)	Reactive power delivered by supply lines	var
R (۲۴)	Reactive power supplied by capacitor bank	var

علائم بکار برده شده در فصل دهم

- ۱ - زاویه گشتاور
- ۲ - زاویه امپدانس سنکرون
- ۳ - راکتانس و فاز در استاتور
- ۴ - مقاومت هر فاز در استاتور
- ۵ - امپدانس هر فاز در استاتور
- ۶ - ولتاژ تولید شده در هر فاز استاتور
- ۷ - ولتاژ هر فاز ترمینال ماشین
- ۸ - جریان تحریک
- ۹ - جریان هر فاز استاتور

-
- ۱۵- افت ولتاژ داخل ماشین در دو سر Z این ولتاژ شبیه افت ولتاژ دو سر ارمیچر ماشینهای DC (جلد اول) می باشد.
 - ۱۱- زاویه بین i_a و i_f
 - ۱۲- ضریب توان موتور سنکرون سه فاز
 - ۱۳- اعداد واتمترها
 - ۱۴- کل تلفات مسی در استاتور
 - ۱۵- مجموع تلفات هسته و مکانیکی ،
 - ۱۶- ولتاژ مدار تحریک
 - ۱۷- مقاومت سیم پیچ تحریک
 - ۱۸- خازن جهت تصحیح ضریب توان
 - ۱۹- فرکانس اسمی خازن
 - ۲۰- ولتاژ اسمی خازن
 - ۲۱- فرکانس واقعی کد خازن C تحت آن مورد بهره برداری قرار می گیرد
 - ۲۲- ولتاژ واقعی که خازن C تحت آن کار می کند ،
 - ۲۳- توان راکتیو تحویلی از منبع تغذیه
 - ۲۴- توان راکتیو تامین شده توسط خازن

فصل یازدهم

ژنراتورهای القایی (آسکرون) سه فاز

THE INDUCTION GENERATOR

۱۲ صفحه

فصل ۱۱

ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز

مقدمه

در جلد اول کتاب با تئوری ژنراتورها و موتورهای DC آشنا شدیم ، همچنین در این کتاب درباره موتور ها و ژنراتورهای سنکرون صحبت نمودیم . حال باید دید - همانطور که موتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند ، آیا ژنراتورهای القائی ^(۱) (آسنکرون) سه فاز نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند یا نه ؟ جواب به این سؤال مثبت است ، و چون در اینگونه ژنراتورهای القائی سرعت چرخش محور رتور با سرعت سنکرون برابر نمی‌باشد ، به آنها ژنراتورهای آسنکرون ^(۲) گفته می‌شود . متأسفانه در اکثر کتب ماشینهای الکتریکی توجه زیادی به اینگونه ژنراتورها نمی‌شود . اما باید گفت که در دهه ۱۹۷۰ میلادی که بحران انرژی در جهان پدیدار شد ، توجه به ژنراتورهای آسنکرون سه فاز بیشتر گردید . از این ژنراتورها در سیستمهای تبدیل انرژی الکتریکی بادی ^(۳) به میزان قابل توجهی استفاده می‌گردد .

۱ - ۱۱ تئوری مربوط به عملکرد ژنراتورهای القائی سه فاز

11-1 THEORY OF OPERATION

برای درک عملکرد اینگونه ژنراتورها بهتر است بخش (۳ - ۹) در فصل نهم را مرور نمائیم . در آنجا گفتیم وقتی موتور القائی در حال چرخش است از شبکه جریان می‌کشد و این جریان از دو مولفه تشکیل شده است .

الف : مولفه اول که باعث تحریک موتور شده یا به عبارت ساده‌تر میدان گردنده را بوجود می‌آورد ،

ب : مولفه دوم که توان حقیقی مکانیکی (توان خروجی) و تلفات درون ماشین

-
- 1) Induction-Generator
 - 2) Asynchronous-Generator
 - 3) Wind-Energy-System

را تامین می‌کند.

در حالتی که بار از روی موتور القائی (آسنکرون) سه فاز برداشته شود در این صورت مؤلفه دوم فوق‌الذکر بسیار ناچیز خواهد بود. حال اگر در این نقطه توان مکانیکی به محور ماشین طوری اعمال شود که باعث گردد سرعت رتور از سرعت سنکرون بیشتر شود، درینصورت وقایع زیر رخ می‌دهد.

۱- لغزش حاصله از روابط (۵-۹) و (۶-۹) در فصل نهم منفی می‌گردد و این امر مجاز نیز می‌باشد، زیرا هرگز بر مثبت بودن لغزش اصرار نکردیم. باید گفت که تمامی روابط فصل نهم برای لغزشهای مثبت و منفی معتبر هستند.

۲- با توجه به شکل (۹-۹) و در نظر داشتن این نکته که هادیهای رتور سریعتر از میدان گردنده می‌چرخند، در این صورت حرکت هادیهای رتور نسبت به شار گردنده از چپ به راست خواهد بود. در نتیجه جهت جریان هادیهای رتور با آنچه در شکل (۹-۹) نشان داده شده است متفاوت خواهد بود. همچنین این موضوع را می‌توان بوسیله تغییر علامت لغزش در رابطه (۱۳-۹) بهتر درک نمود.

۳- عوض شدن جهت جریان رتور باعث می‌گردد که جهت نیروی ضد محرکه الکتریکی تولید شده در استاتور نیز تغییر نماید. لذا توان الکتریکی از سیم پیچ استاتور بخارج می‌رود. به عبارت ساده‌تر حالت ژنراتوری پدیدار می‌گردد.

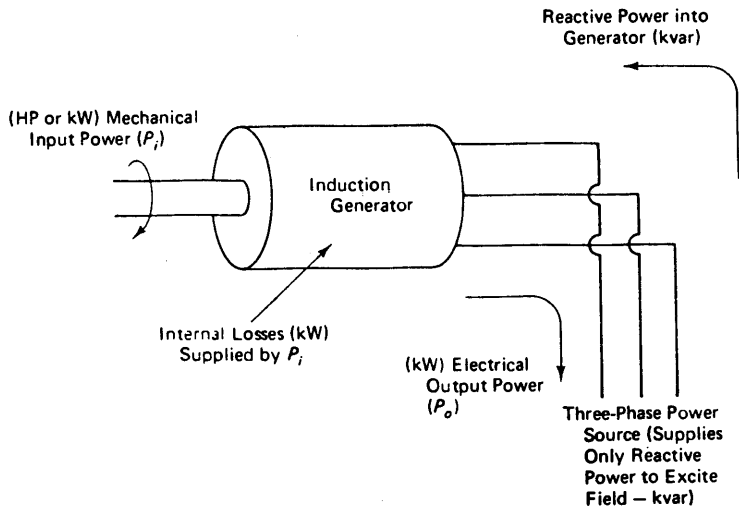
۴- در حالت ژنراتوری تلفات داخل ماشین توسط محرک اولیه^(۱) که محور رتور را می‌چرخاند تامین می‌گردد.

۵- باید توجه داشت که در حالت ژنراتوری، ماشین همواره از خط تغذیه (شبه) جریان تحریک را می‌کشد تا میدان گردنده استاتور پدیدار شود و بدون این تحریک خارجی ژنراتور آسنکرون قادر به عملکرد نیست. لذا ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز یک ماشین با تحریک خودی^(۲) نمی‌باشند. در اینجا متذکر می‌شویم که ژنراتور القائی در حین دریافت توان راکتیو از شبکه جهت تامین میدان گردنده، در همان حال توان اکتیو (حقیقی) تحویل شبکه می‌دهد.

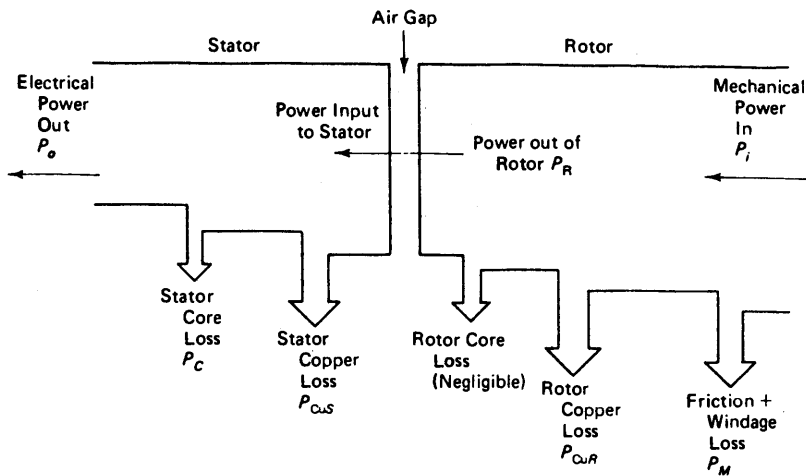
۶- فرکانس ولتاژ تولید شده در استاتور به سرعت میدان گردنده بستگی دارد و بالنتیجه با فرکانس ولتاژ تغذیه (شبه) برابر خواهد بود.

شکل (۱-۱۱) شمای ساده یک ژنراتور القائی سه فاز را نشان می‌دهد. همانطور که گفتیم برای تحریک ژنراتور آسنکرون باید آنرا به یک منبع تامین کننده توان راکتیو (VAR) وصل کنیم. اگر این منبع یک تغذیه سه فاز باشد ژنراتور توان راکتیو از خطوط

دریافت کرده و در همان حال توان حقیقی (اکتیو) تحویل می دهد .



شکل ۱ - ۱۱ شمای یک ژنراتور القائی سه فاز: جهت توانهای اکتیو و راکتیو نیز نشان داده شده اند .



شکل ۲ - ۱۱ نمودار پخش توان در یک ژنراتور القائی سه فاز

۲ - ۱۱ راندمان ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز

1-2 EFFICIENCY

راندمان در این گونه ماشینها مانند سایر ماشینهای الکتریکی تعریف می شود به عبارت دیگر

$$\text{راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}$$

اما می دانیم:

$$\text{کل تلفات درون ماشین} + \text{توان خروجی} = \text{توان ورودی}$$

پس:

$$\text{راندمان} = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{کل تلفات درون ماشین} + \text{توان خروجی}}$$

در اینجا نکات زیر را یادآوری می کنیم

- ۱ - تلفات مکانیکی^(۱) و تلفات هسته^(۲) از آزمایش بی باری^(۳) حاصل می شود و ماشین را در حالت موتوری و بی بار مورد آزمایش قرار می دهیم می دانیم که تلفات هسته و تلفات مکانیکی در دو حالت موتوری و ژنراتوری یکسان می باشد.
- ۲ - تلفات مسی^(۴) در استاتور از رابطه (۳۱ - ۹) در فصل نهم بدست می آید.

- ۳ - تلفات مسی در رتور با استفاده از رابطه (۲۷ - ۹) حاصل می شود. اما باید توجه داشت که طبق شکل (۲ - ۱۱) در ژنراتورهای القایی داریم:

$$P_R = P_o + P_C + P_{CuS} \quad (11-1)$$

- ۴ - توان خروجی^(۵) ژنراتورهای القایی سه فاز اینچنین بدست می آید.

$$P_o = W_1 + W_2 \quad (11-2)$$

در روابط اخیر W_1 و W_2 نمایانگر اعداد وات مترها در مدار تغذیه می باشد (شکل ۱۳ - ۹)

- ۵ - در ژنراتورهای القایی سه فاز نیز همانند موتورهای القایی تلفات هسته و

تلفات مکانیکی (اصطکاک ستهویه) را یک کاسه می نائیم و لذا در رابطه (۱ - ۱۱) PC را صفر می گذاریم.

- ۶ - توان خروجی ژنراتورهای القایی را نیز می توان بطریق دیگری حساب کرد.

$$P_o = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad (11-3)$$

در رابطه اخیر $\cos \theta$ ضریب توان ژنراتور آسنکرون می باشد.

- ۷ - توان مکانیکی ورودی به ژنراتور اینچنین بدست می آید.

- 1) Mechanical losses
- 2) Core losses
- 3) No Load test
- 4) Copper losses
- 5) output power

$$P_i = P_o + P_{\text{cus}} + P_{\text{cur}} + P_M \quad (11-4)$$

در رابطه اخیر P_M شامل تلفات هسته استاتور نیز می باشد (عینا "مانند موتورها")

مثال ۱-۱۱ (سیستم ENG)

یک موتور القائی سه فاز مطابق مثال (۱۲-۹) در فصل نهم را بصورت ژنراتور القائی سه فاز در می آوریم تلفات مکانیکی و هسته از آزمایش بی باری حاصل شده و برابر ۲۱۶ وات می باشد (آنرا ثابت فرض کنید). داده های مربوط به شرایط بارداری ژنراتور آسنکرون بقرار زیر است.

$$\text{Load run: } W_1 = 2.1 \text{ kW}, W_2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$V_L = 208 \text{ V}, I_L = 11 \text{ A}$$

$$S = 1860 \text{ rev/min}$$

راندمان و ضریب توان ژنراتور اسنکرون را بدست آورید.

حل:

از رابطه (۱۱-۲) داریم:

$$P_o = 2100 \text{ W} + 1400 \text{ W} = 3500 \text{ W}$$

از رابطه (۱۱-۳) داریم

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{3500 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 208 \text{ V} \times 11 \text{ A}}$$

$$= 0.88 \text{ (or } 88\%)$$

از مثال (۲۲-۹) بخاطر داریم که مقاومت معادل استاتور یک اهم می باشد. لذا از رابطه (۳۱-۹) داریم:

$$P_{\text{cus}} = \frac{1}{2} (1 \Omega)(11 \text{ A})^2 = 181.5 \text{ W}$$

از رابطه (۹-۶) داریم:

$$s = (1800 \text{ rev/min} - 1860 \text{ rev/min}) \times \frac{100}{1800 \text{ rev/min}}$$

$$= -3.33\%$$

از رابطه (۱۱-۱) می توان منتقله از فاصله هوایی^(۱) یا P_R را بدست آورد.

$$P_R = 3500 \text{ W} + 0 + 181.5 \text{ W} = 3681.5 \text{ W}$$

از رابطه (۲۷ - ۹) داریم

$$P_{\text{Cur}} = 0.0333 \times 3681.5 \text{ W} = 122.7 \text{ W}$$

از رابطه (۴ - ۱۱) توان ورودی بدست می آید

$$\begin{aligned} P_i &= 3500 \text{ W} + 181.5 \text{ W} + 122.7 \text{ W} + 216 \text{ W} \\ &= 4020.2 \text{ W} \end{aligned}$$

از رابطه (۲۱ - ۹) راندمان بدست می آید

$$\eta = \frac{3500 \text{ W}}{4020.2 \text{ W}} \times 100 = 87\%$$

مثال ۲ - ۱۱ (سیستم SI)

یک موتور القائی (آسنکرون) سه فاز مطابق مثال (۲۳ - ۹) مفروض است و آنرا بصورت ژنراتور آسنکرون درمی آوریم. تلفات هسته مکانیکی از آزمایش بی باری بدست می آید و برابر ۱۹۵/۵ وات می باشد (آنرا ثابت فرض می کنیم). داده های مربوط به شرایط بارداری ژنراتور القائی بقرار زیر است.

$$\begin{aligned} \text{Load run: } W_1 &= 1.7 \text{ kW} & W_2 &= 1.1 \text{ kW} \\ V_L &= 230 \text{ V} & I_L &= 8 \text{ A} \\ \omega &= 163 \text{ rad/s} \end{aligned}$$

راندمان و ضریب توان ژنراتور آسنکرون را بدست آورید.

حل:

از رابطه (۲ - ۱۱) داریم

$$P_o = 1700 \text{ W} + 1100 \text{ W} = 2800 \text{ W}$$

از رابطه (۳ - ۱۱) ضریب توان بدست می آید

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{2800 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 230 \text{ V} \times 8 \text{ A}} = 0.88 \text{ (or } 88\%)$$

از مثال (۲۳ - ۹) بخاطر داریم که مقاومت معادل استاتور ۱/۱۳ اهم است. لذا از رابطه (۳۱ - ۹) تلفات مسی در استاتور بدست می آید

$$P_{\text{Cus}} = \frac{3}{2} (1.13 \Omega) (8 \text{ A})^2 = 108.5 \text{ W}$$

از رابطه (b - ۶ - ۹) لغزش بدست می آید

$$\begin{aligned} s &= (157 \text{ rad/s} - 163 \text{ rad/s}) \times \frac{100}{157 \text{ rad/s}} \\ &= -3.82\% \end{aligned}$$

از رابطه (۱ - ۱۱) توان P_R یا توان منتقله از فاصله هوایی بدست می آید

$$P_R = 2800 \text{ W} + 0 + 108.5 \text{ W} = 2908.5 \text{ W}$$

از رابطه (۲۷ - ۹) داریم

$$P_{\text{Cw}} = 0.0382 \times 2908.5 \text{ W} = 111.1 \text{ W}$$

توان ورودی از رابطه (۴ - ۱۱) حاصل می شود

$$\begin{aligned} P_i &= 2800 \text{ W} + 108.5 \text{ W} + 111.1 \text{ W} + 195.5 \text{ W} \\ &= 3215.1 \text{ W} \end{aligned}$$

از رابطه (۲۱ - ۹) راندمان حاصل می گردد

$$\eta = \frac{2800 \text{ W}}{3215.1 \text{ W}} \times 100 = 87.1\%$$

11-3 TYPICAL CHARACTERISTICS

۳ - ۱۱ منحنی مشخصه های متداول برای ژنراتورهای القائی سه فاز

شکل (۳ - ۱۱) منحنی مشخصه های متداول را برای موتورهای و ژنراتورهای القائی (آسنکرون) سه فاز نشان می دهد ، منحنی های سمت راست مربوط به یک موتور القائی است (لغزش مثبت) و منحنی های سمت چپ مربوط به همان ماشین در حالت ژنراتوریست (لغزش منفی) . این منحنی ها شامل تغییرات زیر است .

الف: تغییرات راندمان موتورهای و ژنراتورهای القائی برحسب لغزش

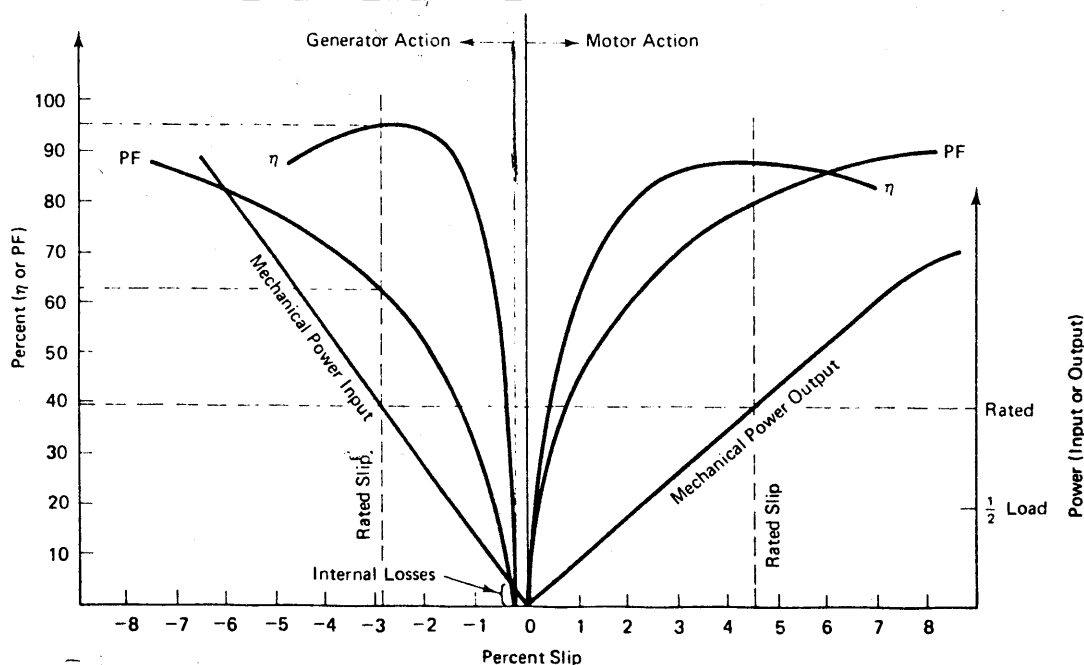
ب: تغییرات ضریب توان موتورهای و ژنراتورهای آسنکرون برحسب لغزش

ج: تغییرات توان مکانیکی موتورهای و ژنراتورهای القائی برحسب لغزش

همانطور که از شکل (۳ - ۱۱) پیداست ، در بار اسمی ، ژنراتور القائی در تحت

لغزش کمتری نسبت به موتور کار می کند .

با توجه به شکل (۳ - ۱۱) درمیابیم که اگر بار ژنراتور القائی کم باشد (بار سبک) (۱) در این صورت ضریب توان خیلی پایین خواهد بود . در نتیجه اثرات نامطلوبی بر روی ضریب توان کل سیستم قدرت خواهد داشت . لذا جهت استفاده بهتر از ژنراتورهای القائی در سیستمهای قدرت ، می بایستی از لوازمی جهت بهبود یا تصحیح ضریب توان استفاده کرد .



شکل ۳-۱۱: منحنی مشخصه‌های متداول برای ژنراتورها و موتورهای القایی سه فاز.

۴-۱۱ تصحیح ضریب توان در یک ژنراتور القایی سه فاز

11-4 POWER FACTOR CORRECTION OF THE INDUCTION GENERATOR

معمولاً ضریب توان ژنراتورهای القایی (اسنکرون) سه فاز حدود ۵۰ تا ۶۵ درصد است. با استفاده از خازن (فصل دهم) می‌توان ضریب توان را به حدود ۸۵ درصد رساند و در نتیجه بهره‌برداری از اینگونه ژنراتورها در شبکه‌های برق بهبود می‌یابد. استفاده از خازن در بهبود ضریب توان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا می‌توان خازن را به اندازه کافی بزرگ انتخاب نمود تا توان راکتیو (وار) مورد نیاز جهت تامین شارگردنده را مهیا سازد. در این صورت می‌توان ژنراتور را از منبع تغذیه قطع نمود و ژنراتور قادر است بار خود را تغذیه کند. در حقیقت ماشین از نظر تحریک خودکفا شده و به عبارت ساده‌تر ژنراتور آسنکرون با تحریک خودی^(۱) بدست می‌آید. در اینجا یادآوری می‌کنیم که فرکانس توان تولید شده در ژنراتورهای القایی با تحریک خودی تابع سرعت ژنراتور می‌باشد. در اینجا به اهمیت وجودی سیستم کنترل سرعت

1) Self excited

یا سیستم گاورنر جهت کنترل دور دوران رتور پی می بریم .

مثال ۳-۱۱ (سیستم ENG)

یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۲ = توان اسمی

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

آنرا تحت توان اسمی بصورت ژنراتور آسنکرون درمی آوریم . منحنی مشخصه های ماشین در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است . اگر بخواهیم ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل کند خازن مورد نیاز را بدست آورده و فرکانس ولتاژ تولید شده را مشخص کنید .

حل :

از شکل (۳-۱۱) اعداد زیر را در شرایط اسمی بدست می آوریم

$$s = -2.8\%$$

$$PF = 63\% (0.63)$$

$$\eta = 95\%$$

از رابطه (۲۱-۹) توان خروجی بدست می آید

$$P_o = 0.95 \times 2 \text{ hp} = 1.9 \text{ hp}$$

$$= 1.9 \text{ hp} \times \frac{746 \text{ W}}{\text{hp}} = 1417.4 \text{ W}$$

از رابطه (۱۱-۷) داریم

$$P_a = \frac{1417.4 \text{ W}}{0.63} = 2249.84 \text{ VA}$$

$$\cos \theta = 0.63$$

می دانیم :

$$\theta = 50.95^\circ$$

$$\sin \theta = 0.78$$

از رابطه (۱۰-۷) داریم

$$P_r = 2249.84 \times 0.78 = 1747.2 \text{ var}$$

لذا خازن باید ۱/۷۴۷ کیلووار را تامین کند

با داشتن لغزش سرعت ماشین را بدست می آوریم و می دانیم سرعت سنکرون ۱۸۰۰ دور در دقیقه است (چرا؟) از رابطه (۹-۶) داریم:

$$-2.8 = \frac{1800 - S}{1800} \times 100$$

$$S = 1800 + 50.4 = 1850.4 \text{ rev/min}$$

از رابطه (۸-۲) داریم

$$f = 1850.4 \times \frac{4}{120} = 61.7 \text{ Hz}$$

اگر این فرکانس در رابطه (۱۷-۱۰) قرار گیرد، مقدار واقعی خازن بدست می آید.

مثال ۴-۱۱ (سیستم SI)

یک موتور القایی (آسنکرون) سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

ولت = ۲۳۰ ولتاژ اسمی ترمینال

کیلووات = ۵ توان اسمی

۶ = تعداد قطبها

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

آنرا تحت بار اسمی بصورت ژنراتور القایی در می آوریم. منحنی مشخصه های مربوطه در شکل (۳-۱۱) رسم شده اند. خازن مورد نیاز جهت آنکه ماشین بصورت تحریک خودی عمل کند را بدست آورید. فرکانس ولتاژ تولید شده را نیز بیابید.

حل:

از شکل (۳-۱۱) در شرایط اسمی داریم

$$s = -2.8\%$$

$$PF = 63\% (0.63)$$

$$\eta = 95\%$$

از رابطه (۲۱-۹) توان خروجی بدست می آید

$$P_o = 0.95 \times 5 \text{ kW} = 4.75 \text{ kW} = 4750 \text{ W}$$

از رابطه (۱۱-۷) داریم

$$P_a = \frac{4750 \text{ W}}{0.63} = 7540 \text{ VA}$$

بسهولت داریم

$$\cos \theta = 0.63$$

$$\theta = 50.95^\circ$$

$$\sin \theta = 0.78$$

از رابطه (۱۰-۷) داریم

$$P_r = 7540 \times 0.78 = 5881 \text{ var}$$

لذا خازن باید ۵/۸۸۱ کیلووار تامین کند با استفاده از رابطه (۶-۹) و داشتن لغزش سرعت ماشین را بدست می آوریم. می دانیم سرعت سنکرون ۱۰۴/۷ رادیان بر ثانیه می باشد (چرا؟)

$$-2.8 = \frac{104.7 - \omega}{104.7} \times 100$$

$$\omega = 104.7 + 2.93 = 107.63 \text{ rad/s}$$

از رابطه (۲-۸) داریم

$$f = 107.63 \times \frac{6}{4\pi} = 51.4 \text{ Hz}$$

این فرکانس را در رابطه (۱۷-۱۰) قرار می دهیم تا ظرفیت دقیق خازن بدست آید

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 11

Symbol	Definition	Units: English and SI
P_r (۱)	Power transferred from rotor to stator across air gap	watts
P_o (۲)	Electrical output power of generator	watts
P_M (۳)	Mechanical loss of generator	watts
$P_{r_{cu}}$ (۴)	Rotor copper loss	watts
$P_{s_{cu}}$ (۵)	Stator copper loss	watts
P_c (۶)	Stator core loss	watts
P_i (۷)	Mechanical power into generator	watts
W_1, W_2 (۸)	Wattmeter readings	watts
V_L (۹)	Generated line voltage	rms volts
I_L (۱۰)	Generated line current	amperes
θ (۱۱)	Angle between V_L and I_L	degrees
$\cos \theta$ (۱۲)	Power factor of generator	
s (۱۳)	Slip	percent, decimal, rev/min, or rad/s
f (۱۴)	Frequency of generated voltage	hertz

علائم بکار برده شده در فصل ۱۱

- ۱ - توان منتقله از رتور به استاتور
- ۲ - توان خروجی ژنراتور
- ۳ - تلفات مکانیکی ژنراتور
- ۴ - تلفات مسی در رتور
- ۵ - تلفات مسی در استاتور
- ۶ - تلفات هسته در استاتور
- ۷ - توان مکانیکی ورودی
- ۸ - اعداد واتمترها
- ۹ - ولتاژ تولید شده (ولتاژ خط).
- ۱۰ - جریان تولید شده (جریان خط)
- ۱۱ - زاویه بین جریان و ولتاژ تولید شده
- ۱۲ - ضریب توان ژنراتور
- ۱۳ - لغزش
- ۱۴ - فرکانس ولتاژ تولید شده

فصل دوازدهم

موتورهای تکفاز

SINGLE-PHASE MOTORS

۲۰ صفحه

فصل ۱۲

موتورهای تکفاز

مقدمه

چون در اکثر منازل، ادارات و اماکن تجاری برق تکفاز AC مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا در این اماکن باید از موتورهای تکفاز AC استفاده نمود. به عنوان مثال می‌توان از لوازمی چون یخچال، ماشین رختشویی، جاروی برق، ماشین فتوکی و ... نام برد که همگی به موتور تکفاز نیاز دارند. موتورهای تکفاز AC کلاً به سه دسته تقسیم می‌شوند.

۱ - موتورهای القائی تکفاز (۱)

۲ - موتورهای سنکرون تکفاز (۲)

۳ - موتورهای یونیورسال (۳)

۱۲-۱ موتورهای القائی تکفاز

12-1 SINGLE-PHASE INDUCTION MOTOR

اینگونه موتورها توسط شبکه تکفاز AC تغذیه می‌شوند و سرعت دوران محور آنها قدری کمتر از سرعت سنکرون می‌باشد. در اینگونه موتورها گشتاور راه‌انداز (۴) تولید نمی‌شود و باید از روشهای خاصی برای راه‌اندازی استفاده نمود.

شکل (۱-۱۲) شمای یک موتور القائی تکفاز را نشان می‌دهد و رتور آن از نوع قفس سنجابی می‌باشد.

هرگاه ولتاژ AC تکفاز به سیم پیچ استاتور اعمال شود یک میدان مغناطیسی نوسانی بدست می‌آید. پلارته این میدان در طول محور مغناطیسی دائماً تغییر می‌کند. به عبارت ساده‌تر در یک لحظه قطب شمال در بالا و قطب جنوب در پایین خواهد بود و در یک لحظه

1) Single phase Induction Motor

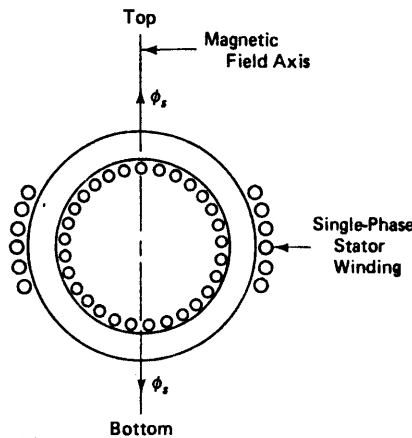
2) Single phase Synchronous motor

3) Universal motor

4) Starting Torque

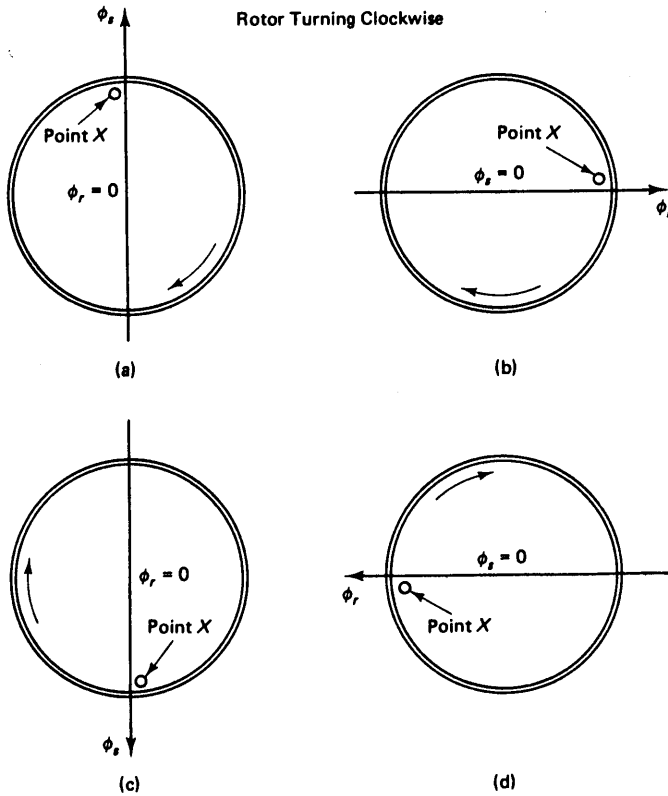
دیگر وضعیت بر عکس می شود، یعنی قطب شمال در پائین و قطب جنوب در بالا قرار می گیرد. این میدان چرخش ندارد و هادیهای رتور را قطع نمی کند. لذا در هادیهای رتور ولتاژ و جریان بوجود نمی آید و با اعمال گشتاوری جهت چرخش رتور پدیدار نمی گردد. واضح است که تا زمانی که میدان استاتور نچرخد رتور حرکت نمی کند و در نتیجه باید در تمامی انواع موتورهای القائی تکفاز بنحوی میدان چرخش درآید.

باید دانست که هرگاه موتور القائی تکفاز بنحوی بچرخش درآید، گشتاور جهت ادامه چرخش در موتور ظاهر می شود. این مطلب را می توان بوسیله تئوری میدانهای متقاطع^(۱) تشریح نمود.



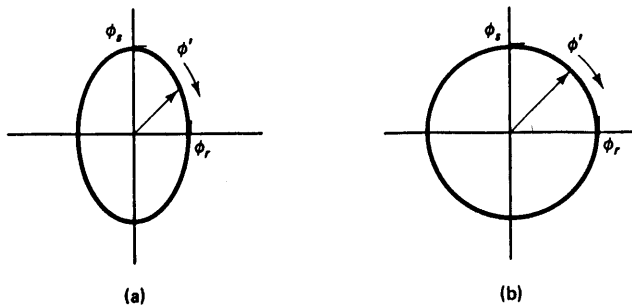
شکل ۱-۱۲ شمای ساده شده یک موتور القائی تک فاز

فرض می کنیم رتور به نحوی بچرخد. لذا هادیها یا میله های رتور شار حاصل از استاتور یا ϕ_s را قطع می کنند. این شار توسط سیم پیچ تکفاز استاتور بوجود می آید (شکل ۱-۱۲). در نتیجه قطع شدن هادیها رتور توسط شار استاتور در این هادیها ولتاژی همفاز شار استاتور القاء می گردد. از آنجائیکه هادیها یا میله های رتور در دو انتها اتصال کوتاه شده اند و خاصیت سلفی آنها زیاد است لذا جریان رتور به میزان ۹۰ درجه از ولتاژ القاء شده در رتور عقب خواهد بود (پس فاز). در اثر جریان رتور شاری معادل ϕ_r تولید می شود که با جریان رتور هم فاز است. با توجه به مطالب فوق در می یابیم که این دو شار (ϕ_s و ϕ_r) با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند و به همین دلیل به آنها لفظ میدانهای متقاطع اتلاق می گردد. شکل (۲-۱۲) وضعیت این دو میدان را در لحظات



شکل ۲-۱۲ جهت میدانها در یک موتور القایی تکفاز در ازااء یک دور چرخش رتور در جهت عقربه ساعت

a : در زمان t_1 b : در زمان t_2 c : در زمان t_3 d : در زمان t_4



شکل ۳-۱۲ : شمای شار منتهجه (ϕ')

a : در حالتی که سرعت رتور کمتر از سرعت سنگرون است
b : در حالتی که سرعت رتور تقریباً "مساوی سرعت سنگرون" است .

مختلف نشان می‌دهد و در این شکلها فرض بر آنستکه رتور در جهت عقربه ساعت (CW) یک دور کامل زده است. باید گفت:

الف: ولتاژ منبع تغذیه استاتور سینوسی است. لذا:

ب: شارهای ϕ_r و ϕ_s سینوسی هستند. پس:

ج: چون ϕ_r و ϕ_s با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند، در این صورت هرگاه ϕ_s ماکزیمم باشد، ϕ_r صفر است و بالعکس هرگاه ϕ_r ماکزیمم باشد، ϕ_s صفر می‌باشد حال چهار حالت شکل (۲-۱۲) را بیشتر توضیح می‌دهیم. می‌دانیم که سرعت رتور قدری کمتر از سرعت سنکرون است. لذا اگر رتور یک دور کامل بزند (۳۶۰ درجه مکانیکی) در این صورت ولتاژ استاتور نیز تقریباً "یک سیکل کامل را طی کرده است (۳۶۰ درجه الکتریکی) حال می‌توان گفت

الف: در لحظه t_1 (شکل ۲-۱۲a) شار ϕ_s ماکزیمم بوده و ϕ_r صفر است.

ب: در لحظه t_2 (شکل ۲-۱۲b) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_1 در جهت عقربه ساعت چرخیده است در این حالت ϕ_s صفر بوده و ϕ_r ماکزیمم است (چرا؟)

ج: در لحظه t_3 (شکل ۲-۱۲c) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_2 چرخیده است. در این حالت ϕ_s ماکزیمم منفی بوده و ϕ_r صفر است (چرا؟)

د: در لحظه t_4 (شکل ۲-۱۲d) رتور ۹۰ درجه نسبت به وضعیت t_3 چرخیده است. در این حالت ϕ_s صفر بوده و ϕ_r ماکزیمم منفی است (چرا؟)

ه: در لحظاتی غیر از لحظات فوق هر دو شار وجود دارند و صفر نمی‌باشند (چرا؟) بهر تاویل در هر یک از حالات "الف" تا "ه" شارهای ϕ_r و ϕ_s (شارهای استاتور و رتور) شار منتهای بنام ϕ' تولید می‌کنند که با سرعت سنکرون (۲) می‌چرخد. یادآوری می‌کنیم که زمان لازم برای آنکه ϕ_s یک سیکل کامل بپیماید به فرکانس منبع تغذیه استاتور بستگی دارد

از مباحث بالا نتیجه می‌شود که هرگاه به نحوی موتور به چرخش درآید میدان گردنده‌ای در درون موتور حاصل می‌شود و تا زمانی که رتور با سرعتی کمتر از سرعت این میدان بچرخد، هادیهای رتور این میدان را قطع کرده و لذا گشتاور مورد نیاز جهت چرخش موتور حاصل می‌گردد. باید خاطر نشان ساخت که:

الف: در سرعتهای کم ϕ_r کوچکتر از ϕ_s بوده و لذا مکان هندسی شار منته

(ϕ') بیضی خواهد بود (شکل ۳-۱۲a)

ب: با سرعت گرفتن رتور و نزدیک شدن سرعت رتور به سرعت سنکرون، ϕ_r

تقریباً با ϕ_r مساوی می‌شود و لذا مکان هندسی شار منتهی دایره خواهد بود (شکل b. ۱۲-۳).

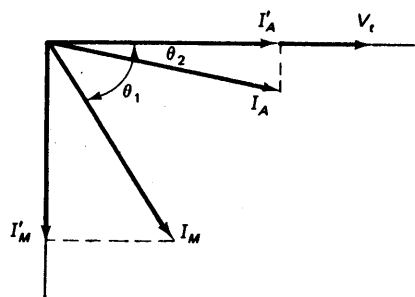
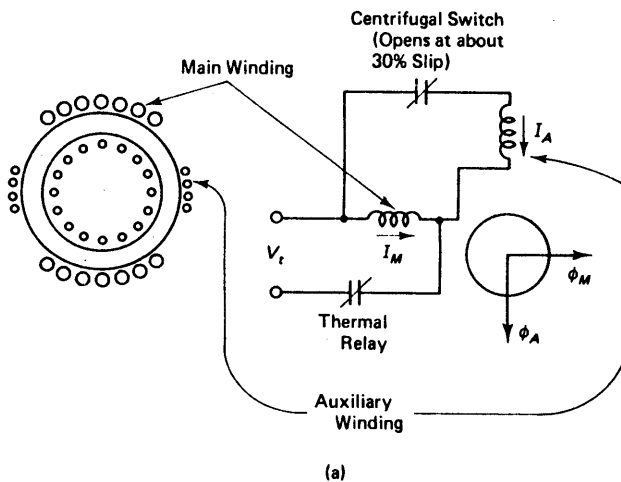
با دانستن این نکته که بالاخره به نحوی میدان گردنده را در موتورهای القایی تکفاز بوجود می‌آوریم، می‌توان از تئوری‌های فصل نهم (موتورهای القایی سه فاز) برای موتورهای القایی تکفاز نیز استفاده نمود.

با توجه به مطالب فوق دیدیم که باید به نحوی موتور بحرکت درآید، (راه اندازی شود) سپس میدان گردنده شکل خواهد گرفت در زیر چند روش راه اندازی را برای موتورهای القایی تکفاز مورد بررسی قرار می‌دهیم.

12-1.1 Split-Phase Motor

۱-۱-۱۲ موتورهای با فاز شکسته

اینگونه موتورها نوعی موتورهای القایی تکفاز محسوب می‌شوند. استاتور



شکل ۴-۱۲ موتورهای القایی تکفاز از نوع فاز شکسته

b: دیاگرام فازوری موتور

a: شمای ساده موتور

این موتورها دارای دو سیم پیچ است که نسبت به یکدیگر ۹۰ درجه جابجائی دارند. این دو سیم پیچ هر دو بصورت پارالل توسط منبع تغذیه تکفاز AC برق دار می گردند.

شکل (۱۲-۴a) شمای این موتورها را نشان می دهد و شکل (۱۲-۴b) دیگرام فازوری جریانهای مربوطه را نمایش می گذارد. دو سیم پیچ استاتور برقرار زیرند:

الف: سیم پیچ اصلی^(۱) که تعداد دور این سیم پیچ زیاد بوده و این سیم پیچ ضخیم نیز می باشد.

ب: سیم پیچ کمکی^(۲) که تعداد دور این سیم پیچ کم بوده و این سیم پیچ نازک نیز می باشد لذا:

۱- سیم پیچ اصلی بیشتر خاصیت سلفی دارد

۲- سیم پیچ کمکی بیشتر خاصیت مقاومتی دارد

در نتیجه

۱-۱: جریان سیم پیچ اصلی (I_M) با ولتاژ منبع (V_i) زاویه بزرگ θ_1 را می سازد

۱-۲: جریان سیم پیچ کمکی (I_A) با ولتاژ منبع (V_i) زاویه کوچک θ_2 را می سازد

از آنجائی که حضور سیم پیچ کمکی بخاطر تولید گشتاور راه انداز می باشد، به آن سیم پیچ راه انداز^(۳) نیز گفته می شود.

با توجه به شکل (۱۲-۴b) در می یابیم که:

۱-۱-۱: I_A دارای مؤلفه های بنام I'_A است.

۱-۱-۲: I_M دارای مؤلفه های بنام I'_M می باشد.

۱-۱-۳: I'_M ، I'_A بر هم عمودند یا به عبارت دیگر بمیزان یک چهارم سیکل الکتریکی با هم اختلاف فاز دارند.

باید خاطر نشان ساخت که جریانهای فوق الذکر شارهای عمود بر هم ϕ_M و ϕ_A را تشکیل می دهند و همانطور که می دانیم درست به شرایط ایجاد میدان گردان در ماشین دست یابی پیدا می کنیم و لذا گشتاور راه انداز در ماشین حاصل می شود.

معمولاً زاویه $\theta_1 - \theta_2$ یا زاویه بین I_M و I_A در این نوع موتورها حدود ۳۰ درجه می باشد و در نتیجه مقدار میدان گردان در حین چرخش نسبت به زمان و مکان تغییر قابل ملاحظه ای می نماید بخاطر این عدم یکنواختی در میدان گردان، گشتاور راه انداز نیز غیر یکنواخت می گردد، اما باید گفت که مقدار متوسط این گشتاور جهت راه اندازی موتور کافی است. در حالت ایده آل زاویه $\theta_1 - \theta_2$ باید ۹۰ درجه باشد، اما این امر از نظر فیزیکی

1) Main-winding 2) Auxilary-winding

3) Starting-winding

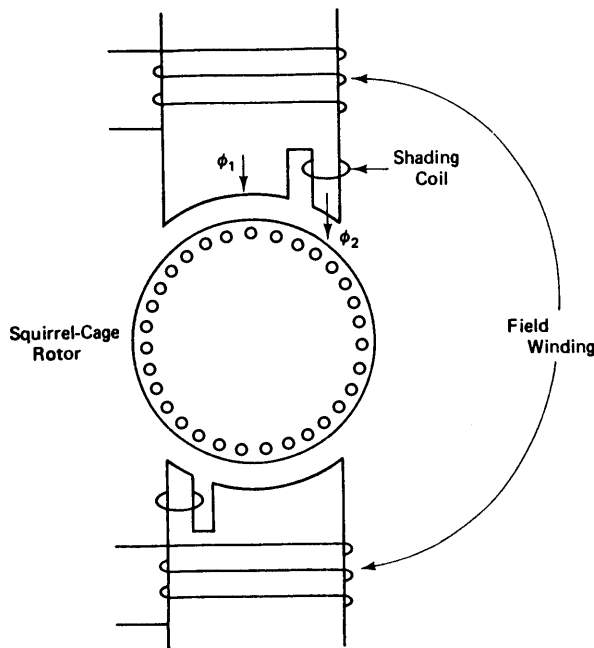
امکان ندارد. سیم پیچ کمکی (راه انداز) دارای تلفات زیاد می باشد (I^2R)، لذا سرعت گرم می شود و در نتیجه برای جلوگیری سوختن آن بهتر است هرگاه لغزش ماشین به حدود ۳۰٪ رسید این سیم پیچ توسط کلید گریز از مرکز^(۱) از مدار خارج شود و هیچگونه اثر سوئی بر عملکرد موتور نخواهد داشت. زیرا این سیم پیچ فقط برای راه اندازی تعبیه شده است.

باید توجه داشت که هنگامیکه موتور مشغول کار است و سیم پیچ راه انداز از مدار خارج می باشد، در این صورت جریان موتور همان I_M بوده و با توجه به شکل (۴b - ۱۲) در میابیم که ضریب توان اینگونه موتورها خیلی پایین است. اینگونه موتورها در توانها $\frac{1}{30}$ تا $\frac{3}{4}$ اسب بخار (۲۵ تا ۶۰۰ وات) ساخته می شوند و لغزش آنها در بار اسمی حدود ۶ درصد است.

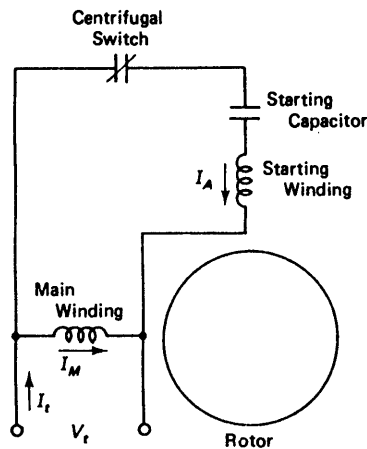
12-1.2 Shaded-Pole Motor

۱-۲-۱۲ موتورهای با قطب جاک دار

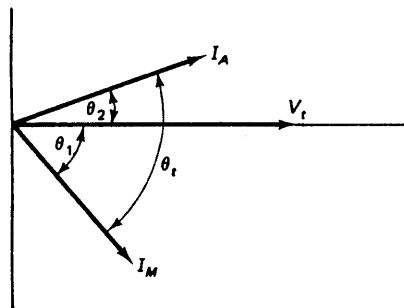
این موتورهای نوعی موتورهای القائی تکفاز می باشند و هرگاه به موتورهای با توان بسیار کم (حدود ۵/۰ وات) نیاز داشتیم از اینگونه موتورها استفاده می شود



شکل ۵-۱۲ شمای موتورهای با قطب جاک دار



(a)



(b)

شکل ۶-۱۲ موتورهای CSM

b : دیاگرام فازوری موتور

a : شمای موتور

راندمان این موتورها کم است (حدود ۵ تا ۲۰ درصد) اما قابلیت اطمینان آنها بسیار بالا است. برادرک عملکرد موتورهای با قطب چاک دار^(۱) به شکل (۵-۱۲) رجوع می‌کنیم و در این شکل یک موتور دو قطبی نشان داده شده است. همانطور که می‌بینیم سیم پیچ دیگری بر روی قطبها بنام سیم پیچ چاک^(۲) قرار دارد که از جنس مسی می‌باشد و شامل یک یا دو دور می‌باشد و بصورت حلقه‌ای بسته^(۳) عمل می‌کند. این حلقه بسته یا سیم پیچ چاک طوربست که جریان عبوری از آن باعث می‌گردد که با تشکیل شار در آن قسمت از قطب مخالفت نماید. به عبارت دیگر در تشکیل شار در آن قسمت از قطب رجوع

1) Shaded-pole-motor

2) Shading-Coil

3) Closed-Loop

تاخیر ایجاد می شود. لذا شار قطبها دو مولفه دارد (ϕ_1 و ϕ_2) که نسبت به یکدیگر از نظر زمانی و مکانی جابجائی دارند. لذا میدان گردان پدید می آید و گشتاور راه انداز حاصل می شود. در اینگونه موتورها برای تعویض جهت دوران موتور به سیم پیچ دیگری (سیم پیچ چاک) در لبه دیگر قطبها نیاز داریم.

12-1.3 Capacitor-Start Motor

۳-۱-۱۲ موتورهای القائی تکفاز با راه انداز خازنی

این موتورها که با علامت اختصاری CSM نامیده می شوند همان موتورهای القائی با فاز شکسته هستند که در مدار سیم پیچ کمکی (راه انداز) یک خازن بنام خازن راه انداز تعبیه شده است (شکل ۶-۱۲). در اثر وجود خازن I_A نسبت به V_i تقدم فاز پیدا می کند و زاویه بین I_A و I_M برابر $\theta_1 + \theta_2$ می گردد که تقریباً معادل ۹۰ درجه می باشد (البته مقدار واقعی زاویه حدود ۸۰ درجه است). لذا شرایط مربوط به عمود بودن جریانهای سیم پیچ اصلی و راه انداز تحقق بیشتری می یابد. بطور کلی گشتاور راه انداز در یک موتور القائی تکفاز اینچنین است.

$$T_s = K I_A I_M \sin \theta_i \quad (12-1)$$

در این رابطه داریم:

I_A : جریان سیم پیچ راه انداز

I_M : جریان سیم پیچ اصلی

θ_i : زاویه بین I_A و I_M

K : ثابت تناسب که به مشخصات فیزیکی موتور بستگی دارد.

می دانیم:

الف: θ_i در موتور با فاز شکسته حدود ۳۰ درجه است.

ب: θ_i در موتور CSM حدود ۸۰ درجه است.

لذا با تقریب خوب می توان گفت که گشتاور راه انداز در موتورهای CSM دو برابر

گشتاور راه انداز در موتورهای با فاز شکسته می باشد.

موتورهای CSM دارای مزایای زیراند:

الف: چون I_A از V_i جلو می افتد لذا نگرانی راجع به اندوکتانس سیم پیچ راه انداز نداریم و لذا تعداد دور آنرا می توان افزود تا شاری برابر سیم پیچ اصلی تولید کند و میدان گردان یکنواختی پدیدار سازد.

ب: چون زاویه I_M و I_A زیاد است لذا جمع فاز روی آنها (I_i) کمتر از جریانی است که در موتور با فاز شکسته وجود دارد. I_i همان جریانی است که موتور از شبکه تکفاز می باشد.

ج. در موتورهای CSM گشتاور راه انداز چهار برابر گشتاور اسمی ماشین است ولی در موتورهای با فاز شکسته گشتاور راه انداز دو برابر گشتاور اسمی خواهد بود.

د. هرگاه پس از راه اندازی سیم پیچ راه انداز همراه با خازن توسط کلید گریز از مرکز مدار خارج شود، درینصورت مشخصه کار هر دو موتور CSM و فاز شکسته یکسان می باشد.

موتورهای CSM در ابعاد $\frac{1}{4}$ تا ۱۰ اسب بخار ساخته می شوند و خازن آنها از نوع الکتrolیتی خشک می باشد (۲۰۰ تا ۶۰۰ میکرو فاراد). شکل (۷-۱۲) منحنی گشتاور برحسب لغزش (TSL) موتورهای القائی تکفاز بدون وسیله راه انداز، موتورهای القائی تکفاز با فاز شکسته و موتورهای القائی تکفاز نوع CSM را نشان می دهد. همچنین اثر خازنهای راه انداز در شکل نشان داده شده است.

در صورت خرابی خازن، موتورهای CSM راه اندازی نمی شوند و یک صدای "هام م م" از آن شنیده می شود. حال می توان بوسیله چرخاندن دستی محور ماشین موتور را در جهت دلخواه راه اندازی نمود.

12-1.3.1 Permanent-Split Capacitor Motor.

۱-۳-۱-۱۲ موتورهای القائی تکفاز که خازن راه انداز در تمامی مراحل در مدار باقی می ماند

این موتورها با علامت اختصاری PSCM نشان داده می شوند و دیگر خازن راه انداز توسط کلید گریز از مرکز از مدار بیرون نمی رود. با توجه به شکل (۶b-۱۲) در میابیم که θ تابع عوامل زیر است.

الف: بار موتور

ب: سرعت ماشین

لذا خازن ایده آل جهت کار دائم ماشین در شرایط بارداری مشابه خازن مورد نیاز برای راه اندازی نخواهد بود یا به عبارت دیگر نمی توان از خازن راه انداز در شرایط کار دائمی ماشین استفاده کرد. از آنجائیکه خازن باید همواره در مدار باقی بماند باید از خازن مخصوص استفاده شود. درباره این موتورها می توان گفت:

الف: مشخصه های موتور در حالت کار بهبود می یابد

ب: گشتاور راه انداز آنها از گشتاور راه انداز موتورهای CSM کمتر است.

ج: راندمان PSCM در بار اسمی نسبتاً خوب است.

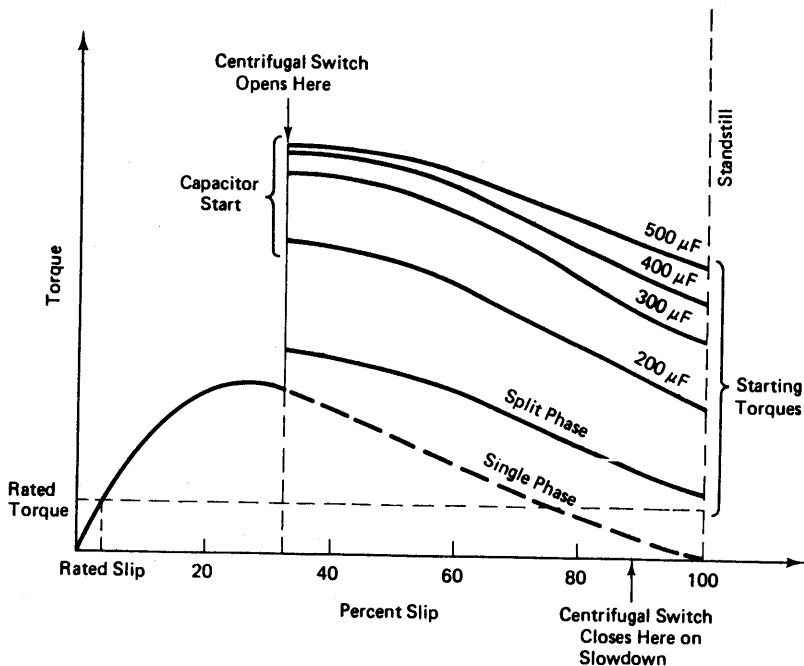
د: ضریب توان موتور PSCM در بار اسمی نسبتاً بالاست.

ه: جریانی که موتورهای PSCM از شبکه می کشند نسبتاً کم است.

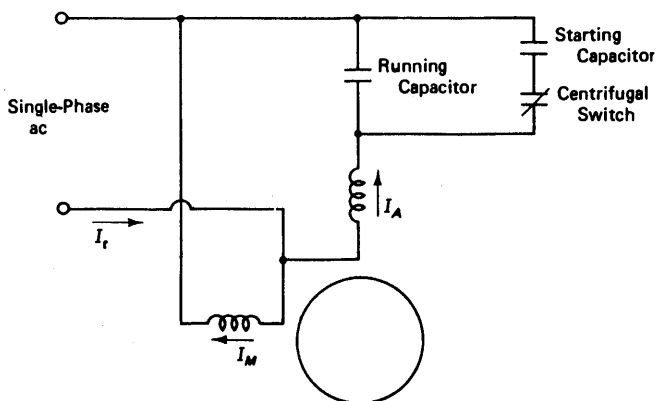
د: در حین کار صدای موتورهای PSCM کم می باشد.

در اینجا یادآوری می کنیم که علت کمی صدای موتور بخاطر آنستکه در بار اسمی

تقریباً "دو میدان عمود بر هم در ماشین وجود دارند. همچنین سیم پیچ کمکی باید طوری طراحی شود - تا بتواند دائماً "در مدار بماند و نسوزد. لذا اینگونه موتورهای قدری گران تمام می‌شوند.



شکل ۷-۱۲: منحنی مشخصه‌های گشتاور بر حسب لغزش (TSL) در موتورهای با فاز شکسته و CSM



شکل ۸-۱۲: شمای موتورهای TCM

12-1.3.2 Two-Value Capacitor Motor.

۲-۳-۱-۱۲ موتورهای القائی تکفاز دو خازنی

این موتورها با علامت TCM نشان داده می شوند (شکل ۸-۱۲). در این موتورها از یک خازن برای راه اندازی استفاده می شود و خازن دوم دائما "حتی در شرایط کار موتور نیز در مدار باقی بماند. هرگاه موتور تکفاز راه اندازی شود هر دو خازن در مدار بوده و گشتاور راه اندازی نسبتا "بالایی حاصل می شود. پس از سرعت گرفتن موتور؛ کلید گریز از مرکز خازن اول یا خازن راه انداز از مدار بیرون می برد. خازن دوم همواره در مدار قرار می گیرد و به آن خازن کار (Running Capacitor) گفته می شود. بالنتیجه مشخصه بهتری در شرایط اسمی پدیدار می گردد. باید گفت:

الف: خازن راه انداز از نوع الکتrolینی خشک می باشد (۳۰۰ تا ۵۰۰ میکروفاراد)
ب: خازن کار از نوع روغنی است (حدود ۲۰ میکروفاراد)

12-1.4 Repulsion-Start Motor

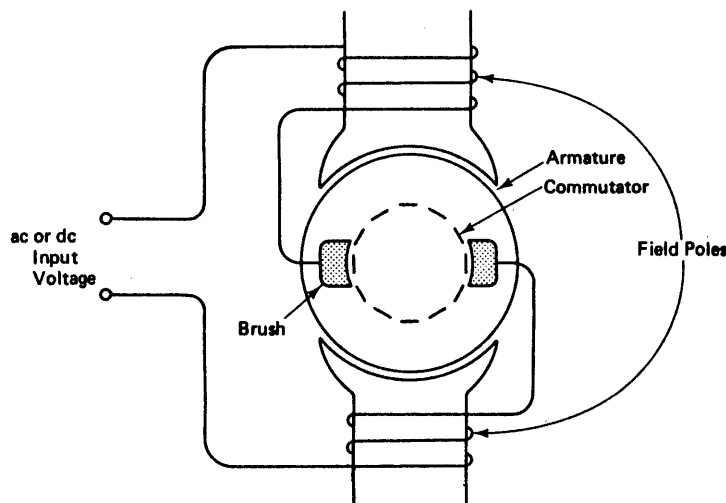
۴-۱-۱۲ موتورهای رپالسیون

این موتورها در قدیم مرسوم بودند ولی امروزه موتورهای CSM و TCM جای آنها را گرفته اند، لذا ما نیز درباره این موتورها چندان صحبت نمی کنیم.

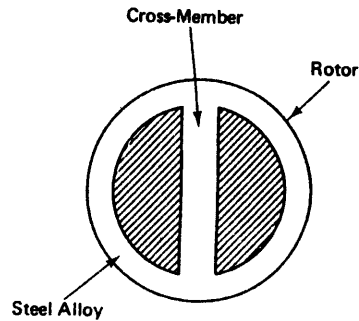
12-2 SERIES MOTOR

۲-۱۲ موتورهای سری یا یونیورسال

در فصل پنجم در جلد اول دیدیم که اگر پلار تیه ولتاژ ترمینال در یک موتور



شکل ۹-۱۲: شمای یک موتور یونیورسال



شکل ۱۰-۱۲: شمای رتور یک موتور هیستریزیس

سری عوض شود، جهت دوران موتور فرق نخواهد کرد. لذا موتور DC سری را می توان با برق متناوب AC بکار برد و با اندک تغییراتی موتورهای DC سری را مناسب برق AC نمود به این موتورها لفظ موتور یونیورسال اطلاق می گردد.

باید گفت که در موتورهای یونیورسال به میدان گردان نیاز نداریم، بلکه گشتاور بخاطر نیروی اعمال شده بر روی هادی حاصل جریان بدست می آید (فصل ۲ جلد اول) شکل (۹-۱۲) یک موتور یونیورسال را نشان می دهد، مشخصه این موتورها مشابه موتورهای DC سری است و موتورهای یونیورسال کوچک گشتاور نسبتاً زیادی ایجاد می کنند و سرعت آنها خیلی بالاست. اینگونه موتورها در لوازم خانگی مانند پنکه، جاروبرقی یافت می شوند.

12-3 SINGLE-PHASE SYNCHRONOUS MOTOR

۳-۱۲ موتورهای سنکرون تکفاز

این موتورها با سرعت سنکرون می چرخند و در موقعی که به سرعت ثابت نیاز داریم از آنها استفاده می کنیم (ساعت، گرامافون). طرز راه اندازی این موتورها مشابه موتورهای القایی تکفاز است و لذا میدان گردنده در این موتورها وجود دارد.

12-3.1 Reluctance Motor

۱-۳-۱۲ موتورهای رلوکتانس

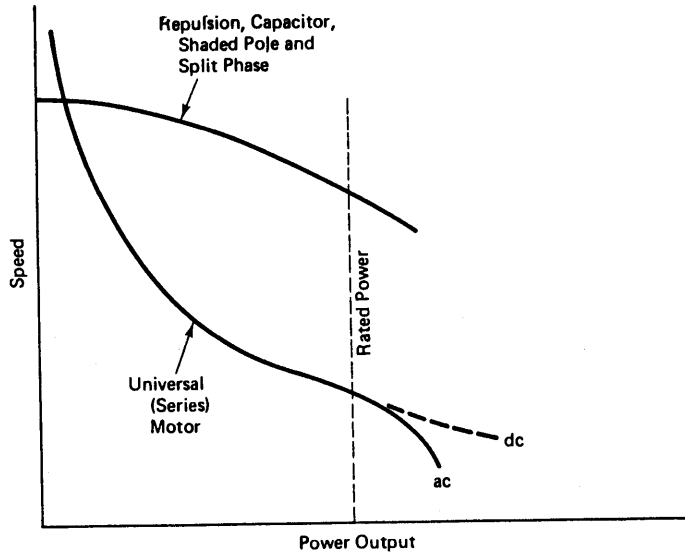
این موتورها نوع تکفازی از موتورهای سنکرون تکفاز است ولی چون در صنعت زیاد مقبولیت ندارند، درباره آنها چندان صحبت نمی کنیم.

12-3.2 Hysteresis Motor

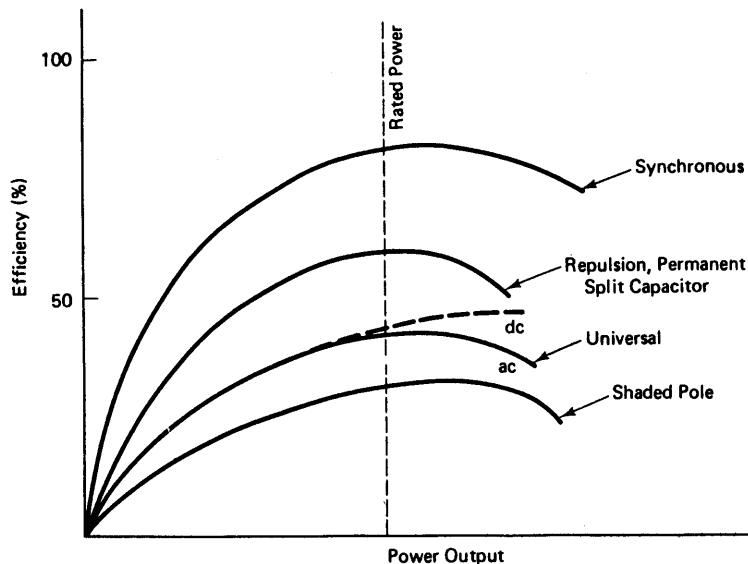
۲-۳-۱۲ موتورهای هیستریزیس

رتور اینگونه موتورها از الیاف مخصوصی از فولاد ساخته شده که دارای اثر هیسترزیس بسیار زیاد است (فصل اول، جلد اول). با گذشتن شار از اینگونه رتورها، گشتاور

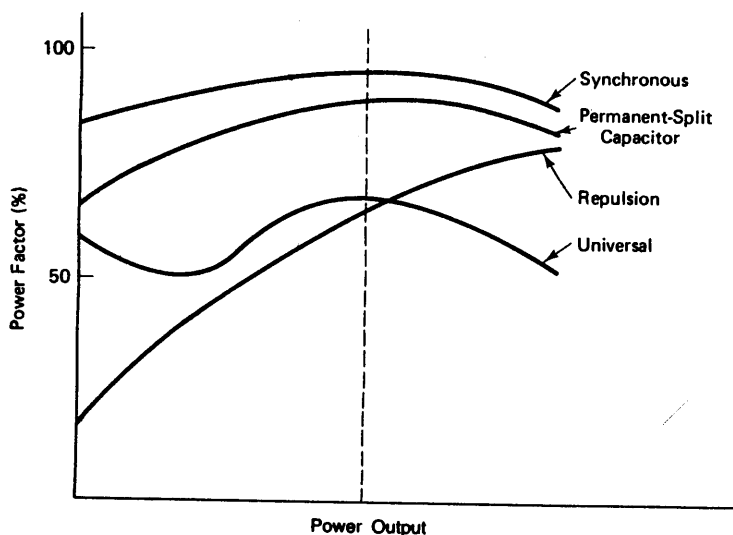
راه انداز بخاطر اثر هیستریزیس پدیدار می گردد. شکل (۱۰-۱۲) شمای رتور اینگونه موتورها را نشان می دهد. این موتورها با سرعت سنکرون میچرخند و حتی با تغییر بار سرعت آنها ثابت می ماند.



شکل ۱۱-۱۲ تغییرات سرعت بر حسب توان خروجی در موتورهای تکفاز



شکل ۱۲-۱۳: تغییرات راندمان بر حسب توان خروجی در موتورهای تکفاز



شکل ۱۳-۱۲ منحنی ضریب توان بر حسب توان خروجی در موتورهای تکفاز

12-4 CHARACTERISTICS

۱۲-۴ منحنی مشخصه‌های موتور تکفاز

شکلهای (۱۲-۱۱)، (۱۲-۱۲) و (۱۲-۱۳) منحنی مشخصه‌های موتورهای تکفاز AC را نشان می‌دهد و می‌توان آنها را با هم مقایسه نمود.

مثال ۱۲-۱ (پیستم - ENG)

یک موتور القائی تکفاز، ۲ اسب بخاری، ۲۲۰ ولتی، ۶۰ هرتزی مفروض است. سرعت اسمی آن ۱۷۲۵ دور در دقیقه بوده و راندمان آن در بار اسمی ۷۰ درصد می‌باشد. اگر ضریب توان موتور در بار اسمی ۰۶ درصد باشد، تعداد قطبهای موتور را بدست آورده و جریانی را که از شبکه می‌کشد محاسبه کنید.

حل

از رابطه (۱۲-۹) داریم و می‌دانیم سرعت سنکرون باید ۱۸۰۰ دور در دقیقه

باشد (چرا؟)

$$P = \frac{120 \times 60 \text{ Hz}}{1800 \text{ rev/min}}$$

$$= 4 \text{ poles}$$

توانهای ورودی و خروجی اینچنین بدست می‌آیند.

$$P_o = 2 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 1492 \text{ W}$$

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{1492 \text{ W}}{0.70} = 2131.4 \text{ W}$$

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.60$$

از رابطه (۱۱-۷) داریم:

$$P_w = VI \cos \theta$$

$$I = \frac{P_w}{V \cos \theta}$$

$$= \frac{2131.4}{220 \text{ V} \times 0.60} = 16.1 \text{ A}$$

مثال ۲-۱۲ (سیستم SI)

یک موتور القایی تکفاز یک کیلوواتی، ۲۳۰ ولتی، ۵۰ هرتزی مفروض است. اگر سرعت آن در بار اسمی ۳۰۰۰ رادیان بر ثانیه بوده و ضریب توان آن در بار اسمی ۵۵ درصد باشد، تعداد قطبهای موتور و جریانی را که از شبکه می کشد را حساب کنید. راندمان موتور در بار اسمی ۶۵ درصد است.

حل

از رابطه (۱۱-۹) استفاده می کنیم و می دانیم سرعت سنکرون موتور باید ۳۱۴۰ رادیان بر ثانیه باشد (چرا؟)

$$P = 4\pi \times \frac{50 \text{ Hz}}{100\pi} = 2 \text{ poles}$$

توانهای خروجی و ورودی اینچنین بدست می آیند.

$$P_o = 1 \text{ kW}$$

$$P_i = \frac{P_o}{\eta} = \frac{1000 \text{ W}}{0.65} = 1538.5 \text{ W}$$

$$\text{PF} = \cos \theta = 0.55$$

از رابطه (۱۱-۷) داریم:

$$P_w = VI \cos \theta$$

$$I = \frac{P_w}{V \cos \theta}$$

$$= \frac{1538.5 \text{ W}}{230 \text{ V} \times 0.55} = 12.16 \text{ A}$$

مثال ۳-۱۲ (سیستم ENG)

یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است.

اسب بخار = ۱۰ = توان اسمی

ولت = ۴۴۰ = ولتاژ اسمی

پس فاز = ۸۵٪ = ضریب توان در بار اسمی

آمپر = ۲۶ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

راندمان موتور را حساب کنید

حل

$$P_o = 10 \text{ hp} \times 746 \text{ W/hp} = 7460 \text{ W}$$

$$P_i = VI \cos \theta = 440 \text{ V} \times 26 \text{ A} \times 0.85$$

$$= 9724 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{7460}{9724} \times 100$$

$$= 77\%$$

مثال ۴-۱۲ (سیستم SI)

یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

ولت = ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

کیلو وات = ۱/۵ = توان اسمی

پس فاز = ۸۰٪ = ضریب توان در بار اسمی

آمپر = ۱۲ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

راندمان موتور را بدست آورید

حل

$$P_o = 1.5 \text{ kW} = 1500 \text{ W}$$

$$P_i = VI \cos \theta = 230 \text{ V} \times 12 \text{ A} \times 0.80$$

$$= 2208 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$= \frac{1500}{2208} \times 100$$

$$= 68\%$$

مثال ۵-۱۲ (سیستم ENG)

یک موتور تکفاز با فاز شکسته ۱۱۵ ولتی، ۲/۲ آمپری، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۱۷۲۵ دور در دقیقه می باشد. اگر راندمان آن در بار اسمی ۶۰ درصد و ضریب توان آنها در بار کامل ۵۰ درصد باشد، توان اسمی و گشتاور اسمی آنرا حساب کنید.

حل

$$P_i = VI \cos \theta$$

$$= 115 \text{ V} \times 7.2 \text{ A} \times 0.50$$

$$= 414 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$$

$$P_o = \eta \times \frac{P_i}{100}$$

$$= 60\% \times 414 \text{ W} / 100\%$$

$$= 248.4 \text{ W}$$

$$P_o = \frac{248.4 \text{ W}}{746 \text{ W/hp}} = 0.33 \text{ hp}$$

$$P_o = \frac{1}{3} \text{ hp (rated power)}$$

از رابطه (۳۸-۵) در جلد اول داریم:

$$T = 7.04 \times \frac{248.4 \text{ W}}{1725 \text{ rev/min}}$$

$$= 1 \text{ ft-lb (rated torque)}$$

مثال ۶-۱۲ (سیستم SI)

یک موتور تکفاز با فاز شکسته با مشخصات زیر مفروض است

ولت = ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر = ۲/۲ = جریان اسمی که در بار اسمی از شبکه می کشد

هرتز = ۵۰ = فرکانس اسمی
 رادیان بر ثانیه = ۱۵۲ = سرعت در بار اسمی
 ۵۵% = راندمان در بار اسمی
 پس فاز = ۴۵% = ضریب توان در بار اسمی
 توان اسمی و گشتاور اسمی آنرا بدست آورید .

حل

$$\begin{aligned}
 P_i &= VI \cos \theta \\
 &= 230 \text{ V} \times 2.2 \text{ A} \times 0.45 \\
 &= 227.7 \text{ W} \\
 \eta &= \frac{P_o}{P_i} \times 100 \\
 P_o &= \eta \times \frac{P_i}{100} \\
 &= 55\% \times 227.7 \text{ W} / 100\% \\
 &= 125.23 \text{ W} \approx 125 \text{ W (rated power)} \\
 &= 0.125 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

با استفاده از رابطه (۵-۳b) در جلد اول داریم

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1000P}{\omega} \\
 &= 1000 \times \frac{0.125 \text{ kW}}{152 \text{ rad/s}} \\
 &= 0.82 \text{ N-m (rated torque)}
 \end{aligned}$$

SYMBOLS INTRODUCED IN CHAPTER 12

Symbol	Definition	Units: English and SI
ϕ_s (۱)	Stator field flux due to stator current	lines or webers
ϕ_r (۲)	Rotor flux due to rotor current	lines or webers
ϕ' (۳)	Resultant flux: vector sum of ϕ_s and ϕ_r	lines or webers
V_i (۴)	Applied single-phase voltage	volts
I_M (۵)	Main stator winding current	amperes
I_A (۶)	Auxiliary stator winding current	amperes
θ_1 (۷)	Angle between V_i and I_M	degrees
θ_2 (۸)	Angle between V_i and I_A	degrees
I'_A (۹)	Component of I_A in phase with $V_i (= I_A \cos \theta_2)$	amperes
I'_M (۱۰)	Component of I_M in quadrature with $V_i (= I_M \sin \theta_1)$	amperes
T_s (۱۱)	Starting torque of single-phase motor	ft-lb or N-m
I_t (۱۲)	Total motor current: vector sum of I_A and I_M	amperes
θ_t (۱۳)	Angle between I_A and I_M in a capacitor-start motor	degrees

علائم بکار برده شده در فصل ۱۲

- ۱ - شار استاتور
- ۲ - شار رتور
- ۳ - شار نتیجه ناشی از رتور و استاتور
- ۴ - ولتاژ ترمینال موتور تکفاز
- ۵ - جریان سیم پیچ اصلی استاتور
- ۶ - جریان سیم پیچ کمکی در استاتور
- ۷ - زاویه بین V_i و I_M
- ۸ - زاویه بین V_i و I_A
- ۹ - مؤلفه I_A که با V_i همفاز است
- ۱۰ - مؤلفه I_M که بر V_i عمود است
- ۱۱ - گشتاور راه انداز در موتور تکفاز
- ۱۲ - کل جریان موتور (مجموع I_M و I_A)
- ۱۳ - زاویه بین I_A و I_M

فضل سیردهم

سؤالات و مسائل فضول

ہفتم تا دوازدہم

۵۴ صفحہ

فصل ۱۳

مسائل فصل هفتم تا فصل دوازدهم

۱- ۱۳ سئوالات مربوط به فصل هفتم

- ۱- فرق بین حلقه‌های لغزان و حاروبکها چیست و هر کدام در کجا مصرف دارند؟
- ۲- عبارات زیر را تعریف کنید

الف: عنصر راکتیو

ب: توان ظاهری

ج: توان حقیقی (اکتیو)

د: توان راکتیو

ه: ضریب توان

۳- آیا هیچگاه ضریب توان بیش از واحد می‌گردد یا نه (چرا؟)

۴- فرق بین سیم پیچ جریان (CC) و سیم پیچ پتانسیل (PC) در واتمترها چیست

۵- واتمتری توانی را در محدوده (رنج) خود اندازه‌گیری می‌کند آیا ممکن است واتمتر در تحت این شرایط خسارت ببیند یا نه (چرا؟)

۶- عبارات زیر را تعریف کنید.

الف: سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور

ب: سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور

ج: ترانسفورماتور کاهنده

د: ترانسفورماتور افزایشده

ه: شار متقابل در ترانسفورماتور

و: شار نشتی در ترانسفورماتور

۷- ضریب توان ترانسفورماتور بی‌بار را چگونه محاسبه و اندازه‌گیری می‌کنند.

۸- آزمایش‌های اتصال کوتاه و مدار باز (بی باری) در ترانسفورماتورها چیست و برای چه منظور انجام می‌شوند.

۹- مزایای اتو ترانسفورماتورها را بیان کنید.

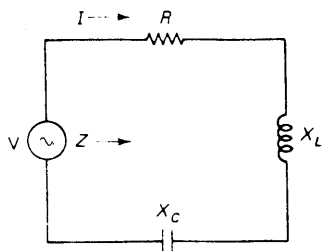
۱۰- چند نوع توان فاز در سیستم سه فاز وجود دارد و چگونه می‌توان توانی فازها را عوض کرد.

۲-۱۳ مسائل فصل هفتم

سیستم (SI و ENG)

۱- در شکل (۱۳-۱) داریم:

$$R = 10 \, \Omega, X_L = 15 \, \Omega, X_C = 0 \, \Omega, \text{ and } V = 230 \, \text{V rms.}$$



شکل ۱-۱۳:

مطلوبست:

الف: امپدانس مدار، Z

ب: جریان در مدار، I

ج: ضریب توان مدار، PF

د: توانهای اکتیو (حقیقی)، راکتیو و ظاهری در مدار

ه: مثلث توان را درین مدار رسم کنید

۲- در شکل (۱۳-۱) داریم

$$R = 20 \, \Omega, X_L = 0 \, \Omega, X_C = 30 \, \Omega, \text{ and } V = 230 \, \text{V rms.}$$

مطلوبست:

الف: امپدانس مدار (Z)

ب: جریان مدار (I)

ج: ضریب توان مدار (PF)

د: توانهای اکتیو (حقیقی)، راکتیو و ظاهری در مدار

ه: مثلث توان را در این مدار رسم کنید

۳- در شکل (۱۳-۱) داریم:

$R = 40 \, \Omega$, $X_L = 15 \, \Omega$, $X_C = 25 \, \Omega$, and $V = 230 \, \text{V rms}$.

مطلوبست:

الف: امپدانس مدار (Z)

ب: جریان مدار (I)

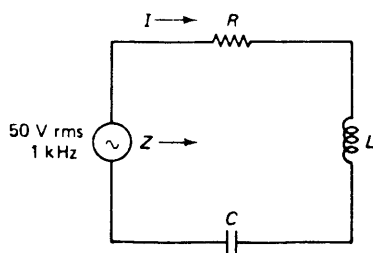
ج: ضریب توان مدار (PF)

د: توانهای حقیقی (اکتیو)، راکتیو و ظاهری در مدار

ه: مثلث توان در این مدار را رسم کنید

۴- در شکل (۲-۱۳) داریم:

$6 \, \text{k}\Omega$, $L = 1.27 \, \text{H}$, and $C = 0.01 \, \mu\text{F}$.



شکل ۲-۱۳

مطلوبست:

الف: امپدانس در این مدار (Z)

ب: جریان در این مدار (I)

ج: ضریب توان در این مدار (PF)

د: انواع توانها در این مدار

ه: مثلث توان را برای این مدار رسم کنید

۵- در شکل (۲-۱۳) داریم:

$R = 7 \, \text{k}\Omega$, $L = 4.77 \, \text{H}$, and $C = 0.0265 \, \mu\text{F}$

مطلوبست:

الف: امپدانس در این مدار (Z)

ب: جریان در این مدار I

ج: ضریب توان در این مدار PF

د: انواع توانها در این مدار

ه: مثلث توان را برای این مدار رسم کنید

۶- چهار مصرف کننده (بار) مطابق جدول (۱-۱۳) مفروض است و به یک منبع تکفاز ۲۳۰ ولتی متصل اند. مطلوبست:

الف: توان حقیقی (اکتیو) هر مصرف کننده

ب: توان راکتیو هر مصرف کننده

ج: توان اکتیو (حقیقی) کل بارها

د: توان راکتیو کل بارها

ه: توان ظاهری کل بارها

د: ضریب توان مربوط به کل مجموعه بارها.

Load	kVA	PF
A	5	1.0
B	10	0.85 lagging
C	12	0.80 lagging
D	10	0.6 leading

جدول (۱-۱۳)

۷- در مساله قبلی (۶) اگر بار D از مدار جدا شود ضریب توان جدید مربوط به کل سه بار دیگر چقدر خواهد شد.

۸- یک بار طبق مدار شکل (۱۱-۷) در فصل هفتم مورد آزمایش قرار می گیرد و نتایج زیر بدست می آید.

ولت ۲۳۰ = عدد ولت متر

آمپر ۱۲/۸ = عدد آمپر متر

کیلو ولت ۲/۷۵ = عدد وات متر

مطلوبست:

الف: توان ظاهری بار

ب: ضریب توان بار

ج: توان راکتیو بار بر حسب kvar

۹- از یک وات متر در اندازه گیری توان در سیستم ۲۳۰ ولتی استفاده می شود (سیستم

تکفاز) مقادیر اسمی سیم پیچ های جریان و ولتاژ وات متر بقرار زیر است.

آمپر ۱۰ = جریان اسمی سیم پیچ CC

ولت ۳۰۰ = ولتاژ اسمی سیم پیچ PC

مطلوبست:

الف: محاسبه حد نهائی (رنج) واتمتر

ب: حداکثر توانی که می‌توان توسط واتمتر اندازه‌گیری نمود بدون آنکه جریان و ولتاژ سیم پیچ‌های CC و PC از حد اسمی خود فراتر روند.
۱۰- واتمتر مساله قبل (مساله ۹) را در نظر می‌گیریم و آنرا در یک سیستم تکفاز ۱۲۰ ولتی نصب می‌کنیم. اگر ضریب توان بار مربوط به سیستم ۰/۷ باشد، حداکثر توانی را که می‌توان توسط واتمتر اندازه‌گیری نمود بدون آنکه جریان و ولتاژ سیم پیچ‌های آن از حد اسمی فراتر روند، بدست آورید.

۱۱- یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی اولیه

دور ۵۰۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

مطلوبست محاسبه تعداد دور سیم پیچ ثانویه مشروط بر آنکه بخواهیم ولتاژهای زیر در ثانویه بدست آید.

الف: ۱۱۵۰ ولت

ب: ۴۶۰ ولت

ج: ۱۲۰۰ ولت

د: ۱۲۰ ولت

ه: ۶۰ ولت

۱۲- مساله ۱۱ را تکرار کنید اینبار ولتاژ اسمی اولیه را ۱۲۰ ولت بگیرید.

۱۳- یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات اسمی زیر مفروض است

ولت ۴۶۰/۲۳۰ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

کیلوولت آمپر ۱۰ = توان اسمی

مطلوبست:

الف: جریان اسمی در اولیه

ب: جریان اسمی در ثانویه

۱۴- یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۱۲۰ = ولتاژ اسمی اولیه

ولت ۱۲/۶ = ولتاژ اسمی ثانویه

ولت آمپر ۳۰۰ = توان اسمی

مطلوبست:

الف: جریان اسمی در اولیه

ب: جریان اسمی در ثانویه

۱۵- یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

کیلو ولت ۱۸ = ولتاژ اسمی اولیه

کیلو ولت ۲۲۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

مگا ولت آمپر ۶۰ = توان اسمی

مطلوبست:

الف. جریان اسمی اولیه

ب. جریان اسمی ثانویه

۱۶- یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰/۴۶۰ = ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

کیلو ولت آمپر ۵ = توان اسمی

بر اولیه ولتاژ اسمی را اعمال می کنیم و ثانویه را باز می گذاریم (حالت بی باری) - وات متر

در اولیه ۱۲ وات را نشان می دهد و آمپر متر اولیه نیز ۳/۵ آمپر را می خواند

مطلوبست:

الف. ضریب توان ترانسفورماتور در حالت بی باری

ب. جریان مغناطیس شونگی

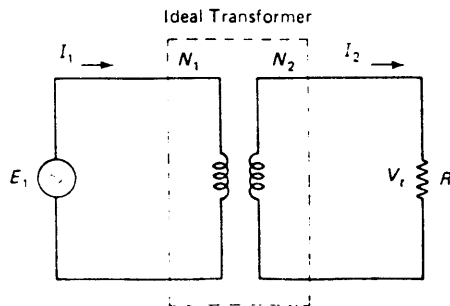
ج. جریانی که تلفات هسته را تأمین می کند

د. اگر به ثانویه یک بار مقاومتی خالص وصل کنیم و واتر اولیه ۲ کیلووات را

نشان دهد، ضریب توان ترانسفورماتور را بیابید.

۱۷- در شکل (۳-۱۳) داریم

$$E_1 = 230 \text{ V}, N_1 = 200, N_2 = 40, \text{ and } R = 2 \Omega.$$



شکل ۳-۱۳

مطلوبست:

الف. نسبت دورها در این ترانسفورماتور

ب. ولتاژ دو سر بار $\frac{V}{2}$

ج. جریان بار (جریان ثانویه I_2)

د. جریان اولیه (I_1)

۱۸- مساله ۱۷ را تکرار کنید ولی اینبار اعداد زیر را در نظر بگیرید

$$E_1 = 120 \text{ V}, N_1 = 400, N_2 = 80, \text{ and } R = 1 \text{ k}\Omega.$$

۱۹- در شکل (۳-۱۳) داریم:

$$E_1 = 230 \text{ V}, V_1 = 920 \text{ V}, \text{ and } I_1 = 20 \text{ A}.$$

مطلوبست:

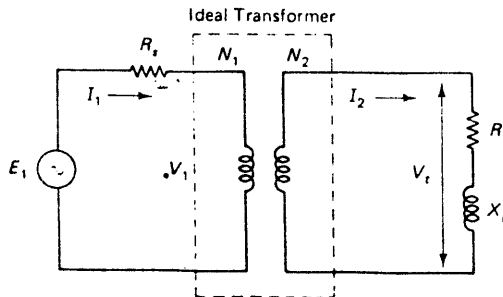
الف. نسبت دورها

ج: جریان ثانویه I_2

د: مقاومت مصرف کننده (R)

۲۰- در شکل (۴-۱۳) داریم:

$$E_1 = 230 \text{ V}, N_1 = 320, N_2 = 40, R = 3 \Omega, X_L = 12.5 \Omega, \text{ and } R_c = 408 \Omega$$



شکل ۴-۱۳

مطلوبست:

الف: جریان اولیه (I_1)

ب: ولتاژ (V_1)

ج: جریان ثانویه (I_2)

د: ولتاژ دو سر بار (V_2)

۲۱- اگر توان اسمی ترانسفورماتور مساله ۲۰ معادل ۶۰ ولت آمپر باشد، حداکثر ولتاژ

E_1 را طوری پیدا کنید بطوریکه مقادیر اسمی در این ترانسفورماتور نقص نگردد.

۲۲- در شکل (۴-۱۳) داریم.

$$E_1 = 120 \text{ V}, N_1 = 100, N_2 = 200, R_c = 2.75 \Omega, \text{ and } R = 5 \Omega.$$

اگر جریان اولیه ۲۴ آمپر باشد، X_L را حساب کنید.

۲۳ - در ترانسفورماتور مساله ۲۲ اگر توان اسمی ۳۰ کیلو ولت آمپر باشد، چه درصدی از جریان اسمی در اولیه جاریست

۲۴ - یک ترانسفورماتور کاهنده تکفاز با مشخصات زیر مفروض است.

$$\text{ولت } 230/28 = \text{ولتاژ ثانویه} / \text{ولتاژ اولیه}$$

$$\text{هرتز } 400 = \text{فرکانس اسمی}$$

$$\text{کیلو ولت آمپر } 0.5 = \text{توان اسمی}$$

ثانویه آنرا اتصال کوتاه کرده و نتایج زیر از آزمایش اتصال کوتاه بدست می آید

$$\text{وات } 18 = \text{عدد واتمتر طرف اولیه}$$

$$\text{ولت } 12 = \text{عدد ولتمتر طرف اولیه}$$

$$\text{جریان اسمی} = \text{عدد آمپر متر طرف اولیه}$$

مطلوبست:

$$\text{الف: } R_{r1}$$

$$\text{ب: } X_{r1}$$

$$\text{ج: } R_{r2}$$

$$\text{د: } X_{r2}$$

۲۵ - یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

$$\text{ولت } 1200/230 = \text{ولتاژ ثانویه} / \text{ولتاژ اولیه}$$

$$\text{هرتز } 50 = \text{فرکانس اسمی}$$

$$\text{کیلو ولت آمپر } 17/5 = \text{توان اسمی}$$

با آن آزمایش اتصال کوتاه انجام می دهیم (اولیه اتصال کوتاه شده است) نتایج زیر از این آزمایش بدست می آید.

$$\text{وات } 18 = \text{عدد واتمتر طرف ثانویه}$$

$$\text{ولت } 12 = \text{عدد ولتمتر طرف ثانویه}$$

$$\text{جریان اسمی} = \text{عدد آمپر متر ثانویه}$$

مطلوبست:

$$\text{الف: } R_{r2}$$

$$\text{ب: } X_{r2}$$

$$\text{ج: } R_{r1}$$

$$\text{د: } X_{r1}$$

۲۶ - یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت $120/1200 =$ ولتاژ ثانویه / ولتاژ اولیه

هرتز $60 =$ فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر $5 =$ توان اسمی

با آن آزمایش اتصال کوتاه انجام می دهیم (ثانویه اتصال کوتاه می گردد) اعداد زیر از این آزمایش بدست می آید

وات $240 =$ عدد واتمتر طرف اولیه

ولت $9 =$ عدد ولتمتر اولیه

جریان اسمی $=$ عدد آمپر متر اولیه

مطلوبست .

الف : R_{e1}

ب : X_{e1}

ج : R_{e2}

د : X_{e2}

۲۷ - یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر در شکل (۵ - ۱۳) نشان داده شده است .

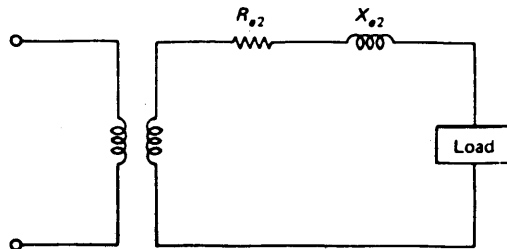
وات $230 =$ ولتاژ اسمی اولیه

ولت $460 =$ ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز $50 =$ فرکانس اسمی

اهم $0.04 = R_{e2}$

اخم $0.1 = X_{e2}$



شکل ۵ - ۱۳

این ترانسفورماتور بار اسمی خود را تحت ضریب توان واحد تغذیه می کند ، درصد تنظیم ولتاژ آنرا حساب کنید .

۲۸ - مساله ۲۷ را تکرار کنید . اینبار ضریب توان را 0.8 پس فاز بپذیرید .

۲۹ - در ترانسفورماتور شکل (۵ - ۱۳) مشخصات بقرار زیر است .

ولت $120 =$ ولتاژ اسمی اولیه

وات $12/6 =$ ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز $60 =$ فرکانس اسمی

ولت آمپر $250 =$ توان اسمی

$$R_{e2} = 0.005 \Omega \text{ and } X_{e2} = 0.008 \Omega$$

اگر این ترانسفورماتور بار اسمی خود را تحت ضریب توان واحد تغذیه کند، درصد تنظیم ولتاژ آنرا حساب کنید.

۳۰- مساله ۲۹ را تکرار کنید، این بار ضریب توان را 0.9 پیش فاز بگیرید.

۳۱- ترانسفورماتور مطابق شکل (۵-۱۳) مفروض است و مشخصات آن بقرار زیر است:

ولت $4600 =$ ولتاژ اسمی اولیه

وات $230 =$ ولتاژ اسمی ثانویه

هرتز $50 =$ فرکانس اسمی

کیلو ولت آمپر $12 =$ توان اسمی

با آزمایش اتصال کوتاه به نتایج زیر می‌رسیم

$$R_{e2} = 0.15 \Omega \text{ and } X_{e2} = 0.2 \Omega$$

درصد تنظیم ولتاژ را در شرایط بار اسمی تحت حالت‌های زیر بدست آورید.

الف: ضریب توان بار واحد باشد

ب: ضریب توان بار 0.8 پس فاز در نظر گرفته شود

ج: ضریب توان بار 0.85 پیش فاز منظور گردد.

۳۲- یک ترانسفورماتور تکفاز $230/115$ ولتی، 10 کیلوولت آمپری مفروض است و بار

اسمی را با ضریب توان واحد تغذیه می‌کنند مطلوب است:

الف: توان خروجی

ب: جریان در ثانویه

۳۳- مساله ۳۲ را تکرار کنید. این بار ترانسفورماتور نصف بار اسمی را با ضریب توان

0.85 پس فاز تغذیه می‌کند.

۳۴- یک ترانسفورماتور $115/230$ ولتی، 4 کیلوولت آمپری مفروض است و بر روی آن

آزمایش‌های بی‌باری (مدار باز) و اتصال کوتاه انجام می‌دهیم. نتایج این دو آزمایش

در جدول (۲-۱۳) آمده است.

Open-circuit test (high side open)	Short-circuit test (high side shorted)
$V = 115 \text{ V}$	$V = 7 \text{ V}$
$I = 0.5 \text{ A}$	$I = \text{rated current}$
$W = 220 \text{ W}$	$W = 100 \text{ W}$

جدول (۲-۱۳)

راندماں این ترانسفورماتور را در شرایط زیر حساب کنید

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۰/۷۵ پس فاز

ج: نصف بار اسمی (نصف بار کامل) و ضریب توان واحد

د: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۷۵ پس فاز

ه: یک چهارم بار اسمی و ضریب توان ۰/۵ پس فاز

۳۵- یک ترانسفورماتور تکفاز مفروض است و توان اسمی آن ۵۰ کیلو ولت آمپر می باشد.

در آزمایش مدار باز واتمتر ۶۰۰ وات و در آزمایش اتصال کوتاه واتمتر ۸۰۰ وات را نشان

می دهد. راندماں ترانسفورماتور را در این شرایط زیر حساب کنید

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۰/۹ پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۹ پس فاز

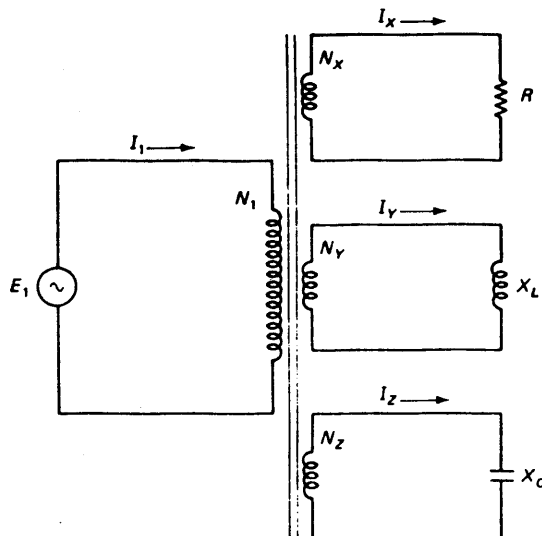
د: نصف بار اسمی و ضریب توان ۰/۶ پس فاز

ه: ۱۲۰٪ بار اسمی و ضریب توان ۰/۸ پس فاز

۳۶- در شکل (۶-۱۳) داریم:

$$E_1 = 220 \text{ V}, N_1 = 400, N_x = 200, N_y = 100, N_z = 1000, R = 10 \Omega,$$

$$X_L = 2 \Omega, \text{ and } X_C = 50 \Omega -$$



شکل ۶-۱۳

مطلوبست:

الف: I_X

ب: I_Y

ج: I_Z

د: I_1

ه: ضریب توان ترانسفورماتور

و: ولت آمپر مورد نیاز در سیم پیچ Z

۳۷- در شکل (۶-۱۳) داریم:

$$E_1 = 32 \text{ V}, R = \infty \text{ (open circuit)}, X_L = 1 \Omega, \text{ and } X_C = 100 \Omega.$$

تعداد دورها را مطابق مساله ۳۶ بگیرید. مطلوبست:

الف: جریان اولیه

ب: ضریب توان ترانسفورماتور

۳۸- در شکل (۶-۱۳) داریم:

$$E_1 = 120 \text{ V}, N_1 = 100, N_X = 50, N_Y = 1000, N_Z = 500, R = 2 \Omega.$$

$$X_L = 1200 \Omega, \text{ and } X_C = 150 \Omega$$

مطلوبست:

الف: I_X

ب: I_Y

ج: I_Z

د: ولت آمپر مورد نیاز در سیم پیچ اولیه

ه: ولت آمپر مورد نیاز در سیم پیچ Y

۳۹- یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۲۰/۲۴۰ ولتی، ۶ کیلوولت آمپری مفروض است. می خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور ۱۲۰/۳۶۰ ولتی بسازیم، شمار مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی بیابید.

الف: جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۰- یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۴۰/۲۸ ولتی، یک کیلوولت آمپری مفروض است. می خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور ۲۱۲/۲۸ ولتی بسازیم. شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی حساب کنید.

الف: جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۱- یک ترانسفورماتور تکفاز $۱۱۰/۴۴۰$ ولتی، ۵۰ کیلو ولت آمپری مفروض است، می‌خواهیم از آن یک اتو ترانسفورماتور $۴۴۰/۵۵۰$ ولتی بسازیم. شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط اسمی حساب کنید.

الف: جریان اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اتو ترانسفورماتور

۴۲- در مساله ۴۱ چه مقدار کیلو ولت آمپر توسط عمل القاء و چه مقدار توسط عمل هدایت به مصرف کننده منتقل می‌شود

۴۳- یک ترانسفورماتور تکفاز $۲۲۰/۱۰$ ولتی، ۵ کیلو ولت آمپری مفروض است و از آن یک اتو ترانسفورماتور $۲۲۰/۲۳۰$ ولتی می‌سازیم. مطلوبست:

الف: کیلو ولت آمپر اسمی

ب: چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل هدایت مربوط می‌شود

ج: چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل القاء مربوط می‌گردد.

۴۴- یک ترانسفورماتور تکفاز $۱۱۰/۲۳۰$ ولتی ۲۰ کیلو ولت آمپری مفروض است و از آن برای ساخت اتو ترانسفورماتور $۲۳۰/۱۲۰$ ولتی استفاده می‌شود. شمای مداری را رسم کنید و مقادیر زیر را در شرایط بار اسمی بیابید.

الف: جریان اسمی اولیه اتو ترانسفورماتور

ب: جریان اسمی ثانویه اتو ترانسفورماتور

ج: کیلو ولت آمپر اسمی اتو ترانسفورماتور

۴۵- در اتو ترانسفورماتور مساله ۴۴ چه مقدار از کیلو ولت آمپر اسمی به عمل القاء و چه مقدار به عمل هدایت مربوط می‌گردد.

۴۶- یک ترانسفورماتور تکفاز مفروض است در آزمایش مدار باز (بی‌باری) وات متر عدد ۱۸۰ وات را نشان می‌دهد، در آزمایش اتصال کوتاه واتر ۲۳۰ وات را می‌خواند. راندمان ترانسفورماتور را در شرایط زیر حساب کنید.

الف: نصف بار اسمی و ضریب توان $۰/۷$ پس فاز

ب: بار اسمی و ضریب توان واحد

ج: ۱۲۵% بار اسمی و ضریب توان $۰/۸$ پس فاز

۴۷- یک سیستم سه فاز ۱۲۰ ولتی توانی معادل ۶۰ کیلو ولت آمپر را به بار متعادل مثلثی (Δ) تحویل می‌دهد. مطلوبست:

الف: ولتاژ خط در محل مصرف کننده (بار)

ب: جریان خط در محل مصرف کننده (بار)

ج: ولتاژ فاز در محل مصرف کننده

د: جریان فاز در محل مصرف کننده

۴۸ - مساله ۴۷ را تکرار کنید. این بار مصرف کننده را، از نوع ستاره (Y) بگیرید.

۴۹ - یک سیستم سه فاز ۶۰۰ ولتی توانی معادل ۱۰ کیلو ولت آمپر را به بار متعادل مثلثی (Δ) تحویل می دهد مطلوبست:

الف: ولتاژ خط برای بار

ب: جریان خط برای مصرف کننده

ج: ولتاژ فاز برای بار

د: جریان فاز برای مصرف کننده

۵۰ - مساله ۴۹ را تکرار کنید ولی این بار مصرف کننده را از نوع ستاره (Y) بگیرید.

۵۱ - یک کارگاه صنعتی توانی معادل ۲۵ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان ۰/۸۵ پس فاز از شبکه ۲۳۰ ولتی سه فاز دریافت می دارد مطلوبست:

الف: جریان خط برای این کارگاه

ب: توان حقیقی (اکتیو) وارده به این کارگاه

ج: توان راکتیو تغذیه شده به این کارگاه

۵۲ - مساله ۵۱ را تکرار کنید. اینبار ضریب توان را واحد بگیرید.

۵۳ - یک کارخانه توانی معادل ۳۰ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۸ پس فاز از شبکه ۴۰۰ ولتی سه فاز دریافت می دارد مطلوبست:

الف: توان ظاهری طلب شده توسط کارخانه

ب: جریان خط برای این کارخانه

ج: توان راکتیوی که کارخانه از شبکه می کشد

۵۴ - مساله ۵۳ را تکرار کنید. این دفعه ضریب توان را واحد بگیرید.

۵۵ - یک ترانسفورماتور سه فاز با مشخصات زیر مفروض است و یک بار متعادل را تغذیه می کند.

ولت ۱۳۲۰۰ = ولتاژ اسمی اولیه

ولت ۴۰۰ = ولتاژ اسمی ثانویه

Δ-Δ = نوع اتصالات سیم پیچ ها

کیلوولت آمپر ۶۰ = توان اسمی

مطلوبست.

الف: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

ب: جریان خط در طرف فشار قوی

ج: جریان خط در طرف فشار ضعیف

د: جریان فاز در طرف فشار قوی

ه: جریان فاز در طرف فشار ضعیف

۵۶ - مساله ۵۵ را تکرار کنید ، این دفعه نحوه اتصال ترانسفورماتور را Δ -Y در نظر بگیرید .

۵۷ - یک ترانسفورماتور سه فاز با مشخصات زیر مفروض است و یک بار متعادل اسمی را تغذیه می کند .

ولت $480 =$ ولتاژ اسمی اولیه

ولت $13200 =$ ولتاژ اسمی ثانویه

ولت آمپر $25000 =$ توان اسمی

Δ -Y = نوع اتصال سیم پیچها

مطلوبست:

الف: جریان خط در طرف فشار قوی

ب: جریان خط در طرف فشار ضعیف

ج: جریان فاز در طرف فشار قوی

د: جریان فاز در طرف فشار ضعیف

ه: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

۵۸ - مساله ۵۷ را تکرار کنید . این بار نحوه اتصالات سیم پیچها را Δ -Y بگیرید .

۵۹ - از سه عدد ترانسفورماتور تکفاز استفاده کرده و یک ترانسفورماتور سه فاز

بصورت Δ -Y می سازیم و از آن در سیستم سه فاز ۴۰۰ کیلو ولت به ۲۴ کیلو ولت استفاده می نمائیم . بار این ترانسفورماتور سه فاز ۳۵۰ مگا ولت آمپر است ، مطلوبست ،

الف: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

ب: جریان اولیه

ج: جریان ثانویه

۶۰ - مساله ۵۹ را تکرار کنید این بار نحوه اتصالات را " Δ -Y " بگیرید .

۶۱ - یک ترانسفورماتور سه فاز بار متعادل ۵۰ کیلو واتی را تحت ولتاژ ۲۱۰ ولت تغذیه

می کند . ضریب توان بار ۰/۹ پس فاز بوده و اتصالات بصورت Δ -Y می باشد ، اگر ولتاژ

شبکه تغذیه که به اولیه ترانسفورماتور وصل می گردد . ۶۰۰ ولت باشد مطلوبست :

الف: جریان خط در طرف فشار قوی

ب: جریان خط در طرف فشار ضعیف

ج: نسبت تبدیل ترانسفورماتور

۶۲ - یک ترانسفورماتور سه فاز ولتاژ ۱۵۰ ولت را به ولتاژ ۲۶۰۰ ولت تبدیل کرده و توانی معادل ۵ مگا ولت آمپر تحویل می دهد. مطلوبست محاسبات زیر شروط بر آنکه نحوه اتصالات این ترانسفورماتور A-Y باشد.

الف: جریان سیم پیچ های اولیه

ب: جریان سیم پیچ های ثانویه

ج: ولتاژ سیم پیچ های اولیه

د: ولتاژ سیم پیچ های ثانویه

۶۳ - مساله ۶۲ را تکرار کنید این بار نحوه اتصالات را "Y-Δ" بگیرید.

۶۴ - دو ترانسفورماتور تک فاز ۱۲۰/۳۳۰ ولتی، ۲۰ کیلو ولت آمپری بصورت مثلث باز بسته شده اند. مطلوبست:

الف: جریان اسمی اولیه

ب: جریان اسمی ثانویه

ج: کل کیلو وات آمپری که می تواند این مجموعه ارائه دهد

د: اگر ترانسفورماتور تک فاز دیگری این مجموعه را بصورت Δ-Δ درآورد،

کیلو ولت آمپری که مجموعه جدید می تواند ارائه دهد چیست.

۶۵ - یک ترانسفورماتور سه فاز "Δ-Δ" مفروض است. و ولتاژ ۴۸۰ ولت را به ۲۴۰ ولت تبدیل می کند و در این حالت ۵ کیلو ولت آمپر می تواند براحتی تامین نماید. حال اگر این ترانسفورماتورها بصورت مثلث باز مورد بهره برداری قرار گیرد، چه مقدار کیلو ولت آمپر می تواند تامین نماید، مشروط بر آنکه شرایط اسمی سیم پیچ ها نقض نگردد.

سیستم (ENG)

۶۶ - یک ترانسفورماتور تک فاز مربوط به هواپیما موجود است و مشخصات آن بقرار

زیر می باشد.

ولت ۲۸ = ولتاژ اسمی اولیه

دور ۲۰۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست:

الف: حداکثر شار متقابل در هسته این ترانسفورماتور

ب: اگر فرکانس ۶۰ هرتز باشد، فرض الف را تکرار کنید

۶۷- یک ترانسفورماتور تکفاز ۱۱۵/۲۵ ولتی، ۶۰ هرتزی در دست ساخت می باشد. میخواهیم حداکثر شار متقابل ۲۵۰ (Kiloline) باشد مطلوبست؛

الف: تعداد دور سیم پیچ اولیه

ب: تعداد دور سیم پیچ ثانویه

۶۸- یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۸/۱۲۰ ولتی مفروض است و تعداد دور اولیه آن ۷۰ دور می باشد. هسته این ترانسفورماتور از ماده ایست که حداکثر چگالی شار آن $120 \text{ Kilolines/in}^2$ می باشد. مطلوبست محاسبه حداقل سطح مقطع برای این

هسته در شرایط زیر

الف: فرکانس ۶۰ هرتز

ب: فرکانس ۴۰۰ هرتز

۶۹- یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۸/۱۴ ولتی، ۴۰۰ هرتزی در دست ساخت بوده و تعداد دور سیم پیچ ثانویه آن ۲۰۰ می باشد. اگر سطح مقطع هسته ۵ اینچ مربع باشد. حداکثر چگالی شار مورد نیاز برای این هسته را بیابید.
۷۰- مساله ۶۹ را تکرار کنید. این دفعه فرکانس را ۶۰ هرتز بگیرید.

سیستم (SI)

۷۱- یک ترانسفورماتور تکفاز که در هواپیما مورد استفاده قرار می گیرد دارای مشخصات زیر است.

ولت ۲۸ = ولتاژ اسمی اولیه

دور ۳۲۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست:

الف: حداکثر شار متقابل در هسته ترانسفورماتور

ب: اگر فرکانس ۵۰ هرتز باشد فرض الف را تکرار کنید

۷۲- یک ترانسفورماتور تکفاز ۲۳۰/۲۵ ولتی، ۵۰ هرتزی در دست ساخت می باشد. اگر بخواهیم حداکثر شار متقابل هسته ۰/۰۰۳ و برگردد مطلوبست.

الف: تعداد دور سیم پیچ اولیه

ب: تعداد دور سیم پیچ ثانویه

۷۳- یک ترانسفورماتور تکفاز مطابق مشخصات ذیل مفروض است

ولت ۲۸ = ولتاژ اولیه

ولت ۲۳۰ = ولتاژ ثانویه

دور ۵۰ = تعداد دور سیم پیچ اولیه

تسلا ۲ = حداکثر چگالی شار هسته

سطح مقطع می نیمم هسته را در شرایط زیر حساب کنید

الف: فرکانس ۵۰ هرتز

ب: فرکانس ۴۰۰ هرتز

۷۴ - یک ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات زیر در دست ساخت می باشد

ولت ۲۸ = ولتاژ اولیه

ولت ۷ = ولتاژ ثانویه

دور ۱۵۰ = تعداد دور ثانویه

متر مربع ۰/۰۰۰۳۵ = سطح مقطع هسته

هرتز ۴۰۰ = فرکانس اسمی

مطلوبست محاسبه چگالی شار ماکزیمم مورد نیاز هسته

۷۵ - مساله ۷۴ را تکرار کنید. این دفعه فرکانس را ۵۰ هرتز بگیرید.

۳- ۱۳ سئالات فصل هشتم

۱- فرق اساسی بین ژنراتورهای سنکرون و ژنراتورهای DC چیست و امتیازات ژنراتورهای سنکرون را بیان کنید .

۲- عبارات زیر را تعریف کنید

الف: تحریک کننده (اکساتیر)

ب: راکتانس سنکرون

ج: امپدانس سنکرون

د: رتور

ه: استاتور

۳- در چه موقعی راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون رخ می دهد

۴- تلفات ثابت در ژنراتور سنکرون چیست و تلفات متغیر کدامند .

۵- منحنی اشباع در حالت بی باری در ژنراتورهای سنکرون چیست .

۶- ولتاژ اسمی از چه قسمتی از منحنی اشباع در حالت بی باری بدست می آید .

۷- منحنی بار در ژنراتور سنکرون چیست .

۴- ۱۳ مسائل فصل هفتم

سیستم (ENG)

۱- ژنراتورهای سنکرون زیر را تحت چه سرعتی بچرخانیم تا همگی ولتاژی ۶۰ هرتزی ایجاد کنند

الف: ژنراتور ۴ قطبی

ب: ژنراتور ۶ قطبی

ج: ژنراتور ۱۲ قطبی

د: ژنراتور ۳۶ قطبی

۲- در یک ژنراتور سنکرون ولتاژ ۴۰۰ هرتزی پدیدار می شود . این فرکانس موقعی بدست

می آید که ژنراتور با سرعت ۲۶۷۰ دور در دقیقه چرخانده شود . تعداد قطبهای ژنراتور

را حساب کنید .

۳ - یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت $120 =$ ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز $60 =$ فرکانس ولتاژ

دور $800 =$ کل تعداد دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بدست آورید .

۴ - یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت $28 =$ ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز $400 =$ فرکانس ولتاژ

دور $360 =$ کل تعداد دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بیابید

۵ - مساله ۴ را تکرار کنید . اینبار ژنراتور را سه فاز بگیرید و ولتاژ 28 ولت را مربوط

به ولتاژ خط بدانید . نوع اتصال سیم پیچهای استاتور ستاره می باشد .

۶ - یک ژنراتور سنکرون هشت قطبی تحت سرعت 900 دور در دقیقه می چرخد . تعداد

دور سیم پیچ استاتور 640 دور بوده و شار هر قطب 60000 ماکسول می باشد . ولتاژ تولید

شده در ماشین را حساب کنید .

۷ - فرکانس یک ژنراتور سنکرون ، 60 هرتز می باشد . تعداد دور سیم پیچ استاتور 240

دور بوده و شار هر قطب 110000 ماکسول می باشد . ولتاژ تولید شده در ماشین را حساب

کنید .

سیستم (SI)

۸ - اگر بخواهیم فرکانس ولتاژ تولید شده توسط ژنراتورهای سنکرون زیر 50 هرتز باشد ،

آنها را باید با چه سرعتی بچرخانیم .

الف : ژنراتور دو قطبی

ب : ژنراتور قطبی

ج : ژنراتور 16 قطبی

د : ژنراتور 36 قطبی

۹ - اگر ژنراتور سنکرون تحت سرعت 420 رادیان بر ثانیه بچرخد فرکانس ولتاژ تولید

شده 50 هرتز خواهد بود . تعداد قطبهای این ژنراتور را بدست آورید .

۱۰ - یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت $230 =$ ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز ۵۰ = فرکانس ولتاژ

دور ۶۰۰ = تعداد کل دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را حساب کنید

۱۱ - یک ژنراتور سنکرون تکفاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۸ = ولتاژ تولید شده در ماشین

هرتز ۴۰۰ = فرکانس ولتاژ

دور ۲۴۰ = تعداد کل دور سیم پیچ استاتور

شار هر قطب را بدست آورید

۱۲ - مساله ۱۱ را تکرار کنید. اینبار ژنراتور را سه فاز با اتصال ستاره در نظر بگیرید و

۲۸ ولت را ولتاژ خط بدادید.

۱۳ - یک ژنراتور سنکرون ۶ قطبی را با سرعت ۴۰۰ رادیان بر ثانیه می چرخانیم. شار

هر قطب ۷۵/۰۰۰۰ و بر بوده و تعداد دور سیم پیچ استاتور ۶۰۰ دور می باشد. ولتاژ

تولید شده در ماشین را حساب کنید.

۱۴ - در یک ژنراتور سنکرون فرکانس ۵۰ هرتز پدیدار می شود. اگر شار هر قطب ۱۲/۰۰۰

و بر بوده و تعداد دور سیم پیچ استاتور ۴۰۰ دور باشد، ولتاژ تولید شده در ماشین را

بدست آورید.

سیستم (SI و ENG)

۱۵ - مشخصات اسمی یک ژنراتور سنکرون سه فاز بقرار زیر است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۲۰ = توان اسمی

جریان اسمی ژنراتور را بیابید (جریان خط).

۱۶ - مساله ۱۵ را تکرار کنید ولی اینبار ولتاژ اسمی را ۲۰۸ ولت و توان اسمی را ۵۰ کیلو

ولت آمپر بگیرید.

۱۷ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۱۰ = توان اسمی

اتصال ستاره (Y) = نوع اتصال استاتور

با آن آزمایشهای مقاومت، مدار باز و اتصال کوتاه انجام می دهیم و نتایج زیر بدست

می آید. Resistance test: $V = 4 \text{ V}$, $I = 20 \text{ A}$

Short-circuit test: $I_L = \text{rated current}$

Open-circuit test: $I_f = 19 \text{ A}$

$I_f = 19 \text{ A}$

$V = 85 \text{ V}$

مطلوبست

- الف: مقاومت هر فاز این ژنراتور
 ب: راکتانس سنکرون هر فاز این الترناتور
 ج: امپدانس سنکرون این ماشین (مربوط به هر فاز)
 ۱۸ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است
 ولت $230 =$ ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)
 کیلو ولت آمپر $30 =$ توان اسمی
 اتصال مثلث (Δ) = نوع اتصال استاتور
 با آن آزمایشهای مقاومت، مدار باز و اتصال کوتاه انجام می دهیم و نتایج زیر حاصل می شود.

Short-circuit test: $I_L = \text{rated current}$

$$I_f = 23 \text{ A}$$

Open-circuit test: $I_f = 23 \text{ A}$ Resistance test: $V = 3.6 \text{ V}, I = 28 \text{ A}$

$V = 65 \text{ V}$ مطلوبست:

- الف: مقاومت هر فاز در این ژنراتور
 ب: راکتانس سنکرون هر فاز در این الترناتور
 ج: امپدانس سنکرون در این ماشین (مربوط به هر فاز)
 ۱۹ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است
 ولت $600 =$ ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)
 کیلو ولت آمپر $50 =$ توان اسمی
 اتصال ستاره (Y) = طرز اتصال استاتور
 اهم $0.2 =$ مقاومت هر فاز استاتور
 اهم $1/9 =$ راکتانس سنکرون هر فاز
 این ژنراتور بار اسمی را تحت ضریب توانهای ذیل تغذیه می کند. در هر حالت تنظیم ولتاژ را بدست آورید.

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان 0.8 پس فاز

ج: ضریب توان 0.85 پیش فاز

د: در فرض الف ولتاژی باری را بدست آورید (ولتاژ خط)

۲۰ - مساله ۱۹ را تکرار کنید، این دفعه اتصال استاتور را از نوع مثلث (Δ) بگیرید.

۲۱ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر ۲ = توان اسمی

اتصال ستاره (Y) = طرز اتصال استاتور

اهم ۵/۱۲ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۵/۹ = راکتانس سنکرون هر فاز

این ژنراتور بار اسمی را تحت ضریب توانهای ذیل تغذیه می‌کند. ولتاژ تولید شده در ماشین را در هر یک از حالات زیر حساب کنید.

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان ۵/۷ پس فاز

۲۲ - مساله ۲۱ را تکرار کنید. این دفعه اتصال استاتور را مثلث (Δ) بگیرید.

۲۳ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

کیلو ولت ۱۳/۲ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

مگا ولت آمپر ۱ = توان اسمی

اتصال مثلث (Δ) = طرز اتصال استاتور

اهم ۵/۱۶ = مقاومت هر فاز استاتور

۵/۹ = راکتانس سنکرون در هر فاز

این ژنراتور بار اسمی را تحت شرایط زیر تغذیه می‌کند تنظیم ولتاژ را در هر حالت حساب کنید.

الف: ضریب توان واحد

ب: ضریب توان ۵/۷ پس فاز

ج: ضریب توان ۵/۹ پیش فاز

۲۴ - مساله ۲۳ را تکرار کنید. این دفعه اتصال استاتور را از نوع ستاره (Y) بگیرید.

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	120	120	120
I_{dc} (A)	1.8	3.8	4.5
V_f (V)	0	8.4	2.5
I_f (A)	0	9.6	2.8
E_{gt} (V)	≈ 0	270	0
I_1 (A)	0	0	25
I_2 (A)	0	0	24
I_3 (A)	0	0	24.1

۲۵ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز ۲۴۰ ولتی و ۱۰ کیلوولت آمپری مطابق شکل (۹ - ۸) در فصل هشتم مورد آزمایش قرار می گیرد تا تلفات آن محاسبه شود. نتایج آزمایشها مطابق جدول (۳ - ۱۳) می باشد و تمامی نتایج بر اساس سرعت اسمی درج گردیده است. اگر راندمان موتور DC ثابت و معادل ۸۰٪ فرخی شود، راندمان الترناتور را در تحت شرایط زیر بیابید.

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۷٪ پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان ۷٪ پس فاز

۲۶ - در مساله ۲۵ درصدی از بار اسمی را بیابید که در آن راندمان ماکزیمم رخ دهد.

۲۷ - یک ژنراتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت = ۶۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلوولت آمپر ۵۰ = توان اسمی

برای تعیین تلفات آن از آزمایش مطابق شکل (۹ - ۸) در فصل هشتم استفاده می شود و نتایجی مطابق جدول (۴ - ۱۳) بدست می آید. اعداد این جدول بر اساس سرعت اسمی درج شده اند. اگر راندمان موتور DC معادل ۸۵٪ و ثابت فرض شود، راندمان ژنراتور را در شرایط زیر بیابید.

الف: بار اسمی و ضریب توان واحد

ب: بار اسمی و ضریب توان ۸/۵٪ پس فاز

ج: نصف بار اسمی و ضریب توان واحد

د: یک چهارم بار اسمی و ضریب توان ۷/۵٪ پس فاز

Meter	Test 1	Test 2	Test 3
V_{dc} (V)	230	230	230
I_{dc} (A)	10	19	25
V_f (V)	0	38	14
I_f (A)	0	11	4
E_{at} (V)	≈ 0	730	0
I_1 (A)	0	0	42
I_2 (A)	0	0	44
I_3 (A)	0	0	45

جدول ۴ - ۱۳

۲۸ - در چه درصدی از بار اسمی راندمان ماکزیمم برای ژنراتور مساله ۲۷ رخ می دهد.

۲۹ - منحنی بار یک ژنراتور سنکرون سه فاز مطابق شکل (۷ - ۱۳) می باشد (منحنی

a. مشخصات ژنراتور بقرار زیر است.

ولت $230 =$ ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر $10 =$ توان اسمی

مطلوبست:

الف: جریان اسمی ماشین

ب: درصد تنظیم ولتاژ در ژنراتور

۳۰ - منحنی بار یک ژنراتور سنکرون سه فاز مطابق شکل (۷ - ۱۳) می باشد (منحنی b).

مشخصات ژنراتور بقرار زیر است.

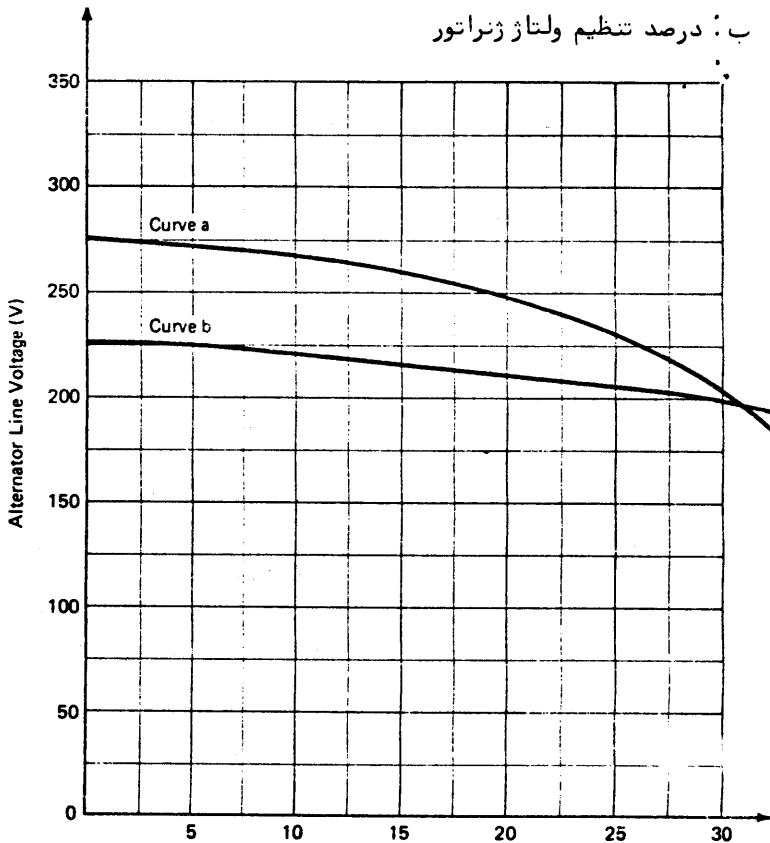
ولت $210 =$ ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو ولت آمپر $7/8 =$ توان اسمی

مطلوبست:

الف: جریان اسمی ماشین

ب: درصد تنظیم ولتاژ ژنراتور



شکل ۷ - ۱۳ Alternator Line Current (A)

۵-۱۳ سئوالات مربوط به فصل نهم

- ۱- عبارات زیر را تعریف کنید
 - الف: رتور قفس سنجابی
 - ب: رتور قفس سنجابی مضاعف
 - ج: رتور سیم پیچی شده
 - د: رعوستای حلقه‌های لغزان
- ۲- سرعت میدان گردنده استاتور چیست، آیا سرعت محور رتور در موتورهای القائی با سرعت میدان گردنده برابر است.
- ۳- منظور از رتور قفل شده یا بلوکه شده چیست.
- ۴- چرا به موتورهای القائی لفظ اسنکرون نیز اطلاق می‌گردد
- ۵- لغزش چیست و آیا همان تنظیم سرعت معنی می‌دهد
- ۶- در چه موقع فرکانس جریان رتور با فرکانس منبع تغذیه برابر است، آیا فرکانس جریان رتور صفر می‌شود.
- ۷- منظور از عبارت pull-out چیست.
- ۸- روشهای راه اندازی موتورهای القائی را بیان کنید.
- ۹- در تحت بار مفروض مقاومت رتور را افزایش می‌دهیم
 - الف: سرعت رتور چگونه تغییر می‌کند
 - ب: سرعت رتور در حالت pull-out چگونه تغییر می‌نماید
 - ج: گشتاور راه انداز چگونه عوض می‌شود
 - د: گشتاور در حالت 'pull-out' چگونه تغییر می‌یابد.

۶-۱۳ مسائل فصل نهم

سیستم (ENG)

- ۱- یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی مفروض است.
- سرعت سنکرون را برای این موتور در حالات زیر حساب کنید

الف: موتور دو قطبی

ب: موتور ۴ قطبی

ج: موتور ۸ قطبی

د: موتور ۱۲ قطبی

ه: موتور ۳۲ قطبی

۲ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار ۱ = توان اسمی

ولت ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۱۱۰۰ = سرعت موتور

این موتور چند قطبی است

۳ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت ۲۵۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اسب بخار ۵ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

هرگاه ولتاژ اسمی به موتور اعمال شود گشتاور راه انداز معادل ۳۰ فوت - پوند " خواهد بود . مطلوبیست .

الف: گشتاور راه انداز در صورتیکه ولتاژ منبع به ۲۳۰ ولت کاهش یابد .

ب: اگر بخواهیم گشتاور راه انداز ۳۵ "فوت پوند" گردد چه ولتاژی باید به موتور اعمال کنیم .

۴ - موتور مساله ۳ را در نظر می گیریم . اگر این موتور از شبکه ۱۲۰ آمپر تحت ضریب توان ۰/۸۵ بکشد ، راندمان موتور را بدست آورید .

یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۱۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

اسب بخار ۲ = توان اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۵۵۰ = سرعت در بار اسمی

"فوت - پوند" ۲۵ = گشتاور راه انداز

الف: گشتاور خروجی در بار اسمی چیست

ب: اگر ولتاژ ماشین به ۲۳۰ ولت افزایش یابد گشتاور راه انداز جدید چقدر

می شود .

۶ - در موتور مساله ۵، اگر ضریب توان موتور در بار اسمی 0.9 پس فاز و راندمان موتور در بار کامل 0.82 فرض شوند، جریانی را که موتور از شبکه در شرایط اسمی می کشد پیدا کنید.

۷ - یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است،

$$۸ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{ولت} = ۲۴۰ = \text{ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)}$$

$$\text{اسب بخار} = ۵ = \text{توان اسمی}$$

$$\text{هرتز} = ۶۰ = \text{فرکانس منبع تغذیه}$$

$$\text{دور در دقیقه} = ۷۹۰ = \text{سرعت موتور در بار اسمی}$$

$$0.01 = \text{لغزش موتور در بی باری}$$

مطلوبست:

الف: لغزش موتور در بار اسمی (بر حسب درصد)

ب: سرعت موتور در بی باری

۸ - یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۴۰۰

دور در دقیقه میباشد. مطلوبست محاسبه لغزش در شرایط اسمی

الف: بر حسب دور در دقیقه

ب: بر حسب درصد

ج: بصورت عددی اعشاری

۹ - یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن ۱۷۲۰ دور در دقیقه

بی باشد. اگر بار موتور را زیاد کنیم لغزش دو برابر می شود. درینصورت سرعت جدید

موتور را بیابید.

۱۰ - یک موتور سنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بی باری ۱۴۹۰

دور در دقیقه می باشد. اگر لغزش آن در بار اسمی ۷% باشد، مطلوبست:

الف: تعداد قطبها در این ماشین

ب: سرعت ماشین در بار اسمی

۱۱ - یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی، ۱۲ قطبی مفروض است و لغزش آن در بار

اسمی ۶% می باشد.

سرعت آنرا در بار اسمی حساب کنید.

۱۲ - یک موتور القائی سه فاز، ۶۰ هرتزی، ۸ قطبی مفروض است و سرعت آن در بی باری

۸۹۵ دور در دقیقه می باشد. اگر سرعت آن در بار اسمی ۸۳۰ دور در دقیقه باشد.

مطلوبست:

الف: لغزش در بار اسمی بر حسب درصد

ب: تنظیم سرعت بر حسب درصد

۱۳ - یک موتور اسنکرون سه فاز، ۶۰ هرتزی چهار قطبی مفروض است و لغزش آن در بی باری ۵/۵ درصد می باشد. اگر لغزش آن در بار اسمی ۴٪ باشد درصد تنظیم سرعت موتور - را بیابید.

۱۴ - یک موتور اسنکرون سه فاز، ۶۰ هرتزی، ۲ قطبی مفروض است و لغزش آن در بی باری ۱۰۰ دور در دقیقه می باشد. اگر تنظیم سرعت آن ۱۲٪ باشد لغزش موتور را در بار اسمی بر حسب دور در دقیقه حساب کنید.

۱۵ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

اهم ۵/۱ = مقاومت رتور (هر فاز)

اهم ۵/۴ = مقاومت رتور در حالت سکون (هر فاز)

مطلوبست:

الف: امپدانس رتور در حالت سکون.

ب: امپدانس رتور در لغزش ۱۰٪

ج: امپدانس رتور در لغزش ۱٪

۱۶ - یک موتور القائی سه فاز ۶۰ هرتزی مفروض است.

مطلوبست:

الف: فرکانس جریان استاتور

ب: فرکانس جریان رتور در حالت سکون

ج: فرکانس جریان رتور در لغزش ۵٪

د: فرکانس جریان رتور در لغزش ۵/۵ درصد

۱۷ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۱۰ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه ۶۶۰ = سرعت در بار اسمی

الف: سرعت آنرا در نصف بار اسمی حساب کنید

ب: سرعت موتور در یک چهارم بار اسمی چیست

۱۸ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

دور در دقیقه $1140 =$ سرعت در بار اسمی

اگر بار موتور را 20% زیاد کنیم ، سرعت جدید موتور را بیابید

۱۹ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

$$4 = \text{تعداد قطبها}$$

$$60 = \text{هرتز} \quad \text{فرکانس منبع تغذیه}$$

$$1690 = \text{سرعت در بار اسمی}$$

اگر بار موتور را کم کنیم سرعت آن به 1725 دور در دقیقه می رسد . بگویید بار جدید چند درصد بار اسمی می باشد .

۲۰ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

$$208 = \text{ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)}$$

$$5 = \text{توان اسمی} \quad \text{اسب بخار}$$

$$60 = \text{فرکانس اسمی} \quad \text{هرتز}$$

$$830 = \text{سرعت در بار اسمی}$$

اگر بار را کم کنیم سرعت به 860 دور در دقیقه می رسد . مطلوبست

الف : گشتاور اسمی موتور

ب : گشتاور بار در شرایط بار کم

ج : توان خروجی در شرایط بار کم

۲۱ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

$$4 = \text{تعداد قطبها}$$

$$60 = \text{فرکانس منبع تغذیه} \quad \text{هرتز}$$

$$10 = \text{توان اسمی} \quad \text{اسب بخار}$$

$$0.05 = \text{مقاومت رتور در هر فاز} \quad \text{اهم}$$

$$0.25 = \text{راکتانس رتور در حالت سکون در هر فاز} \quad \text{اهم}$$

مطلوبست :

الف : لغزش در حالت pull-out

ب : حداقل سرعت ماشین را بیابید که تحت آن بتواند به دوران ادامه دهد

و بحالت سکون سوق داده نشود .

۲۲ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

$$6 = \text{تعداد قطبها}$$

$$60 = \text{فرکانس منبع تغذیه} \quad \text{هرتز}$$

$$5 = \text{توان اسمی} \quad \text{اسب بخار}$$

دور در دقیقه ۱۱۲۰ = سرعت در بار اسمی
 اهم ۰/۰۷ = مقاومت هر فاز رتور
 اهم ۰/۳ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست:

الف: گشتاور خروجی در حالت بار اسمی

ب: گشتاور ماکزیمم.

راهنمایی: در فرض ب فرض کنید که گشتاور با لغزش در تمامی مراحل تا نقطه

Pull-out متناسب می باشد.

۲۳ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۴ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم ۰/۰۸ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۳۵ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

دور در دقیقه ۱۷۰۰ = سرعت در بار اسمی

اهم ۰/۱۲ = مقاومت هر فاز مربوط به رثوستای حلقه لغزان

مطلوبست:

الف: سرعت موتور در حالت Pullout را حساب کنید، در این حالت فرض

می کنیم رثوستا در مدار نیست (مقاومت رثوستا صفر فرض شود).

ب: سرعت موتور در حالت Pullout را بدست آورید. در این حالت

رثوستا کاملاً " در مدار است.

ج: در حالتی که رثوستا کاملاً " در مدار است، سرعت اسمی جدید ماشین را

حساب کنید.

۲۴ - یک موتور اسنکرون سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است

۱۲ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس منبع تغذیه

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم ۰/۰۳ = مقاومت هر فاز رتور

اهم ۰/۲ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

اگر رثوستا در مدار رتور نباشد، مطلوبست:

الف: سرعت در حالت pull-out

ب: اگر بخواهیم سرعت در حالت pullout به ۳۵۰ دور در دقیقه برسد چه مقدار مقاومت باید توسط رتورثوستا به هر فاز رتور اضافه نماییم .
۲۵ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

$$۸ = \text{تعداد قطبها}$$

$$۶۰ = \text{هرتز} \quad \text{فرکانس منبع تغذیه}$$

$$۲۴۰ = \text{ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)} \quad \text{ولت}$$

$$۱۰ = \text{توان اسمی} \quad \text{اسب بخار}$$

$$۱۰ = \text{جریان اسمی (جریان خط)} \quad \text{آمپر}$$

برای آنکه راندمان و تلفات آنرا در بار اسمی بدست آوریم آنرا مورد آزمایشهای مقاومت ، بی باری و بار اسمی قرار می دهیم و نتایج زیر بدست می آید .

$$\text{Stator resistance test: } r_s = 0.5 \, \Omega$$

$$\text{No-load test: } W_1 = 660 \, \text{W}, \quad W_2 = -240 \, \text{W}$$

$$V_L = 240 \, \text{V}, \quad I_L = 10 \, \text{A}$$

$$\text{Rated-load test: } W_1 = 5.2 \, \text{kW}, \quad W_2 = 4.9 \, \text{kW}$$

$$V_L = 240 \, \text{V}, \quad I_L = 28 \, \text{A}$$

$$S = 860 \, \text{rev/min}$$

مطلوبست :

الف: راندمان موتور در بار اسمی

ب: ضریب توان موتور در بار اسمی

۲۶ - یک موتور القائی سه فاز ، ۶۰ هرتزی ، ۶ قطبی ، ۴ آمپری ، ۲۱۰ ولتی ، یک اسب بخاری را بخاطر تعیین تلفات و راندمان در شرایط اسمی مورد آزمایشهای مقاومت ، بی باری و بار اسمی قرار می دهیم و نتایج زیر بدست می آید .

$$\text{Stator resistance test: } r_s = 1.0 \, \Omega$$

$$\text{No-load test: } W_1 = 200 \, \text{W}, \quad W_2 = -120 \, \text{W}$$

$$V_L = 210 \, \text{V}, \quad I_L = 0.5 \, \text{A}$$

$$\text{Rated-load test: } W_1 = 580 \, \text{W}, \quad W_2 = 550 \, \text{W}$$

$$V_L = 210 \, \text{V}, \quad I_L = 3.5 \, \text{A}$$

$$S = 1120 \, \text{rev/min}$$

مطلوبست :

الف: راندمان ماشین در شرایط اسمی

ب: ضریب توان موتور در شرایط اسمی

سیستم (SI)

۲۷ - یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است . سرعت سنکرون مربوط به این موتور را در حالات زیر بدست آورید .

الف : موتور ۲ قطبی

ب : موتور ۴ قطبی

ج : موتور ۶ قطبی

د : موتور ۱۶ قطبی

هـ : موتور ۳۶ قطبی

۲۸ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

کیلو وات ۱ = توان اسمی

رادیان بر ثانیه ۹۵ = سرعت اسمی

تعداد قطبهای این ماشین را حساب کنید

۲۹ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو وات ۵ = توان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی (منبع تغذیه)

اگر هنگامیکه ولتاژ اسمی به موتور اعمال می گردد ، گشتاور راه انداز معادل ۴۵ "نیوتون متر" باشد مطلوبست ؛

الف : گشتاور راه انداز هنگامیکه ولتاژ ۲۱۰ ولت به موتور اعمال شود

ب : اگر بخواهیم گشتاور اسمی ۶۰ "نیوتن متر" گردد چه ولتاژی باید به ماشین

اعمال کنیم .

۳۰ - اگر موتور مساله ۲۹ جریان ۱۶/۵ آمپر تحت ضریب توان ۰/۸۸ پس فاز از شبکه بکشد ، راندمان آنرا حساب کنید .

۳۱ - یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

کیلو وات ۱/۵ = توان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس منبع تغذیه (فرکانس اسمی)

رادیان بر ثانیه ۵۰ = سرعت در بار اسمی

نیوتن متر ۴۰ = گشتاور راه انداز

مطلوبست :

الف: گشتاور خروجی در بار اسمی

ب: اگر ولتاژ اعمال شده به ماشین ۲۵۰ ولت گردد ، گشتاور راه انداز چقدر خواهد شد .

۳۲- اگر موتور مساله ۳۱ در شرایط بار کامل دارای ضریب توان ۰/۹۲ پس فاز و راندمان ۰/۸۶ باشد ، چه حریانی از شبکه می کشد .

۳۳- یک موتور اسکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

$$۶ = \text{تعداد قطبها}$$

$$\text{ولت} = ۴۶۰ = \text{ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)}$$

$$\text{کیلو وات} = ۱۰ = \text{توان اسمی}$$

$$\text{هرتز} = ۵۰ = \text{فرکانس اسمی}$$

$$\text{رادیان بر ثانیه} = ۹۸ = \text{سرعت اسمی}$$

$$۱\% = \text{لغزش در حالت بی باری}$$

مطلوبست :

الف: لغزش در بار کامل (بر حسب درصد)

ب: اگر تمام بار از روی موتور برداشته شود ، سرعت موتور را بیابید

۳۴- یک موتور القائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۳۵ رادیان بر ثانیه است . مطلوبست محاسبه لغزش در بار اسمی :

الف: بر حسب رادیان بر ثانیه

ب: بر حسب درصد

ج: بصورت عدد اعشاری

۳۵- یک موتور القائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی تحت سرعت ۱۵۲ رادیان بر ثانیه می چرخد .

اگر بار موتور زیاد شود ، لغزش موتور دوبر می شود . سرعت جدید موتور چیست .

۳۶- یک موتور اسکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است و سرعت بی باری آن ۹۲ رادیان بر ثانیه است . اگر لغزش آن در بار کامل ۵/۵% باشد ، مطلوبست :

الف: تعداد قطبهای ماشین

ب: سرعت موتور در بار کامل

۳۷- یک موتور القائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی ، ۳۶ قطبی مفروض است و لغزش آن در بار کامل

۷/۵% است سرعت آن در بار اسمی چیست .

۳۸- یک موتور اسکرون سه فاز طبق مشخصات زیر مفروض است

$$۶ = \text{تعداد قطبها}$$

هرتز = ۵۰ فرکانس منبع تغذیه

رادیان بر ثانیه = ۱۰۳ = سرعت در حالت بی‌باری

رادیان بر ثانیه = ۹۶ = سرعت در بار اسمی

مطلوبست :

الف : لغزش در بار اسمی (بر حسب درصد)

ب : درصد تنظیم سرعت

۳۹ - یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی ، ۴ قطبی مفروض است لغزش در حالت

بی‌باری ۰/۷ درصد و در حالت بار اسمی ۵/۵٪ می‌باشد . درصد تنظیم سرعت را بیابید .

۴۰ - یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

۲ = تعداد قطبها

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

رادیان بر ثانیه = ۳ = لغزش در حالت بی‌باری

۱۰٪ = درصد تنظیم سرعت

لغزش در بار اسمی را بر حسب رادیان بر ثانیه حساب کنید .

۴۱ - یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات ذیل مفروض است

اهم = ۰/۰۸ = مقاومت هر فاز رتور

اهم = ۰/۳۵ = راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست :

الف : امپدانس رتور در حالت سکون

ب : امپدانس رتور در لغزش ۱۲٪

ج : امپدانس رتور در لغزش ۰/۵ درصد

۴۲ - یک موتور اسنکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی مفروض است

مطلوبست :

الف : فرکانس جریان رتور در حالت سکون

ب : فرکانس جریان رتور در لغزش ۴٪

ج : فرکانس جریان رتور در لغزش ۰/۴ درصد

د : فرکانس جریان استاتور

۴۳ - یک موتور القائی سه فاز ، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات زیر مفروض است :

۶ = تعداد قطبها

رادیان بر ثانیه = ۱۰۰ = سرعت در بار اسمی

سرعت موتور را در حالات زیر بدست آورید

الف: بار موتور معادل نصف بار اسمی گردد

ب: بار موتور معادل یک چهارم بار کامل باشد

۴۴ - یک موتور القائی سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۴ قطبی مفروض است سرعت آن در بار کامل ۱۵۵ رادیان بر ثانیه می باشد. اگر بار موتور ۲۵٪ افزایش یابد سرعت جدید موتور را حساب کنید.

۴۵ - یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۸ قطبی مفروض است و سرعت آن در بار اسمی ۷۴ رادیان بر ثانیه می باشد. اگر بار آنرا کم کنیم سرعت آن به ۷۶ رادیان بر ثانیه می رسد. این بار کم چند درصد بار اسمی می باشد.

۴۶ - یک موتور القائی سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

ولت = ۴۶۰ ولتاژ اسمی ترمینال

کیلو وات = ۱۰ توان اسمی

رادیان بر ثانیه = ۴۸ سرعت در بار اسمی

اگر بار موتور را کم کنیم سرعت به ۵۰ رادیان بر ثانیه می رسد. مطلوب است.

الف: گشتاور اسمی موتور

ب: گشتاور بار در تحت شرایط بار کم

ج: توان خروجی موتور در تحت شرایط بار کم

۴۷ - یک موتور اسنکرون سه فاز طبق مشخصات ذیل مفروض است.

۶ = تعداد قطبها

هرتز = ۵۰ فرکانس اسمی

کیلو وات = ۷/۵ توان اسمی

اهم = ۰/۰۷ مقاومت هر فاز رتور

اهم = ۰/۳ راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوب است:

الف: لغزش در شرایط pull-out

ب: کمترین سرعتی را که موتوری می توانند تحت آن بچرخد بدون آنکه بحالت

سکون سوق داده شود پیدا کنید.

۴۸ - یک موتور اسنکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی طبق مشخصات زیر مفروض است

کیلو وات = ۱۰ توان اسمی

رادیان بر ثانیه = ۱۵۱ سرعت در شرایط اسمی

اهم = ۰/۰۴ مقاومت هر فاز رتور

اهم $0/2 =$ راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی در شرایط اسمی

ب : ماکزیمم گشتاور موتور .

راهنمایی : در فرض ب فرض کنید که گشتاور در تمامی مراحل تا حالت Pullout با لغزش متناسب است .

۴۹ - یک موتور القایی سه فاز ، ۵۰ هرتزی مطابق مشخصات زیر مفروض است :

$6 =$ تعداد قطبها

سیم پیچی شده = نوع رتور

اهم $0/1 =$ مقاومت هر فاز رتور

اهم $0/5 =$ راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون

رادیان بر ثانیه ۹۸ = سرعت در شرایط اسمی

اهم $0/15 =$ مقاومت هر فاز مربوط به رئوستای حلقه لغزان

مطلوبست :

الف : سرعت در حالت Pullout بدون اثر رئوستا (مقاومت رئوستا

صفر می باشد)

ب : سرعت در حالت Pullout با فرض آنکه رئوستا کاملاً " در مدار قرار

دارد .

ج : سرعت اسمی ماشین را در شرایطی که رئوستا کاملاً " در مدار قرار دارد حساب

نمایند .

۵۰ - یک موتور استکرون سه فاز ، ۵۰ هرتزی که رتور آن سیم پیچی شده می باشد مفروض

است . مقاومت هر فاز رتور معادل $0/1$ اهم و راکتانس هر فاز رتور در حالت سکون برابر

$0/45$ اهم است ، اگر رئوستا در مدار رتور نباشد مطلوبست :

الف : سرعت در حالت Pullout

ب : اگر بخواهیم سرعت در حالت Pullout به ۱۱۰ رادیان بر ثانیه

برسد ، مقاومت هر فاز رئوستائی که در مدار رتور قرار می گیرد را حساب کنید .

۵۱ - یک موتور القایی سه فاز ، ۵۰ هرتزی ، ۵ کیلو واتی ، ۲۳۰ ولتی ، ۱۶ آمپری ، ۴

قطبی مفروض است و با آن آزمایشهای مقاومت ، بی باری و بار اسمی را انجام می دهیم .

نتایج زیر از این آزمایشها حاصل شده است .

Stator resistance test: $r_s = 1.1 \Omega$

No-load test: $W_1 = 450 \text{ W}, \quad W_2 = -150 \text{ W}$

$V_L = 230 \text{ V}, \quad I_L = 5 \text{ A}$

Rated-load test: $W_1 = 3.2 \text{ kW}, \quad W_2 = 2.5 \text{ kW}$

$V_L = 230 \text{ V}, \quad I_L = 16 \text{ A}$

$\omega = 149.2 \text{ rad/s}$

مطلوب است:

الف: راندمان ماشین در بار اسمی

ب: ضریب توان موتور در بار کامل

۵۲- یک موتور استکرون سه فاز، ۵۰ هرتزی، ۵۵۰ ولتی، ۱۴/۵ آمپری، ۸ قطبی، ۱۰ کیلوواتی مفروض است و با آن آزمایشهای مربوط به مقاومت بی‌باری و بار اسمی را انجام می‌دهیم. نتایج زیر حاصل می‌شود.

Stator resistance test: $r_s = 1.0 \Omega$

No-load test: $W_1 = 920 \text{ W}, \quad W_2 = -260 \text{ W}$

$V_L = 550 \text{ V}, \quad I_L = 4.7 \text{ A}$

Rated-load test: $W_1 = 6.3 \text{ kW}, \quad W_2 = 5.4 \text{ kW}$

$V_L = 550 \text{ V}, \quad I_L = 14.5 \text{ A}$

$\omega = 73.9 \text{ rad/s}$

مطلوب است:

الف: راندمان موتور در بار کامل

ب: ضریب توان ماشین در شرایط اسمی

۷- ۱۳ سئوالات مربوط به فصل دهم

- ۱- موتور القائی یک ماشین اسنکرون است. چرا به موتورهای سنکرون لفظ سنکرون اتلاق می‌گردد.
- ۲- منظور از لغزش قطب چیست.
- ۳- زاویه گشتاور و زاویه امیدانس سنکرون را تعریف کنید.
- ۴- با افزایش بار موتور سنکرون، چه تغییراتی در زاویه گشتاور و سرعت موتور ایجاد می‌شود.
- ۵- تفاوت بین فوق تحریک، زیر تحریک و تحریک نرمال را بیان کنید و در این حالات چه تفاوت‌هایی در ضریب توان پدیدار می‌شود.
- ۶- منحنی‌های V را بیان کنید.
- ۷- روشهای راه اندازی موتورهای سنکرون را تعریف کنید.
- ۸- سیم پیچ‌های مستهلک کننده یا میراساز در موتورهای سنکرون چه نقشی دارند.
- ۹- عیوب ضریب توان پائین را بیان دارید.
- ۱۰- چرا برای تصحیح ضریب توان از خازن کمک می‌گیریم.
- ۱۱- کندانسور سنکرون را تعریف کنید.

۸- ۱۳ مسائل فصل دهم

سیستم (ENG, SI)

- یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات ذیل مفروض است
- اهم $0/1 =$ مقاومت هر فاز استاتور
- اهم $1/2 =$ راکتانس سنکرون استاتور در هر فاز
- زاویه گشتاور را در تحت شرایط گشتاور ماکزیم بدست آورید.
- ۲- اگر در یک موتور سنکرون مقاومت هر فاز استاتور $0/3$ اهم و راکتانس هر فاز استاتور $2/8$ اهم باشد، بیشترین زاویه گشتاور چیست
- ۳- یک موتور سنکرون سه فاز طبق مشخصات زیر مفروض است.

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار $1 \frac{1}{3} = 1$ کیلو وات = توان اسمی

آنرا مطابق شکل (۵-۱۰) در فصل دهم مورد آزمایش قرار می دهیم. جداول (۵-۱۳)

و (۶-۱۳) مربوط به آزمایشهای بی باری و بار اسمی می باشد. منحنی های V را در حالات بی باری و بار اسمی بر روی یک گراف رسم کنید.

۴- یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

No load			
I_f (A)	Average I_L (A)	W_1 (W)	W_2 (W)
2	2.6	430	-180
4	1.7	310	-62
5	1.4	248	0
6	0.95	190	48
7.4	0.6	120	118
8	0.7	95	140
8.7	0.82	60	190
10	1.3	-20	265
10.8	1.6	-125	370

جدول (۵-۱۳)

Full load			
I_f (A)	Average I_L (A)	W_1 (W)	W_2 (W)
2.4	7	1000	210
4.5	6	810	370
5.7	4.8	710	490
7	4.2	660	550
8.6	3.4	600	610
9.5	3.7	420	800
10.5	4.2	290	920
12	5.8	170	1050
13.4	6.9	65	1140

جدول (۶-۱۳)

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

آمپر ۱۲ = جریان اسمی

اتصال ستاره (Y) = نوع اتصال استاتور

اهم ۵/۰ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم ۴/۵ = راکتانس هر فاز استاتور

اهم ۱/۸ = مقاومت مدار تحریک

آنرا طبق شکل (۵-۱۰) در فصل دهم مورد آزمایش قرار می دهیم و طی آزمایش جریان تحریک را ثابت و معادل ۱۱ آمپر تنظیم می کنیم (حالت زیر تحریک). نتایج آزمایشها

بقرار زیر است .

No-load test: $V_L = 230 \text{ V}$, $I_L = 2 \text{ A}$ (average)

$W_1 = 500 \text{ W}$, $W_2 = -210 \text{ W}$

Full-load test: $V_L = 230 \text{ V}$, $I_L = 12 \text{ A}$ (average)

$W_1 = 2250 \text{ W}$, $W_2 = 2100 \text{ W}$

مطلوبست :

الف: ضریب توان در حالت بی باری

ب: ضریب توان در بار کامل

ج: راندمان در شرایط اسمی

۵- یک موتور سنکرون سه فاز مطابق مشخصات زیر مفروض است

ولت $= ۴۶۰$ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر $= ۱۰$ = جریان اسمی

اتصال مثلث (Δ) = نوع اتصال استاتور

اهم $= ۰/۹$ = مقاومت هر فاز استاتور

اهم $= ۷/۵$ = راکتانس هر فاز استاتور

اهم $= ۱/۴$ = مقاومت مدار تحریک

آنرا مطابق شکل (۵ - ۱۰) در فصل دهم مورد آزمایش قرار می دهیم و جریان تحریک را ثابت و معادل ۱۸ آمپر می گیریم (حالت فوق تحریک). نتایج این آزمایشها بقرار زیر است .

No-load test: $V_L = 460 \text{ V}$, $I_L = 4.4 \text{ A}$ (average)

$W_1 = 920 \text{ W}$, $W_2 = -340 \text{ W}$

Full-load test: $V_L = 460 \text{ V}$, $I_L = 10 \text{ A}$ (average)

$W_1 = 4.0 \text{ kW}$, $W_2 = 3.5 \text{ kW}$

مطلوبست :

الف: ضریب توان در حالت بی باری

ب: ضریب توان در بار اسمی

ج: راندمان در شرایط بار کامل

۶- در مساله ۴ مطلوبست :

الف: زاویه گشتاور در شرایط بی باری

ب: زاویه گشتاور در حالت بار اسمی

۷- در مساله ۵ مطلوبست .

الف: زاویه گشتاور در حالت بی باری

ب: زاویه گشتاور در شرایط اسمی

۸- یک خازن با مشخصات زیر مفروض است.

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

کیلو وار ۵ = توان اسمی

از این خازن در شرایط زیر برای تصحیح ضریب توان استفاده می شود. در هر یک از حالات زیر کیلووار جدید خازن چقدر خواهد بود.

الف: ولتاژ ۱۲۰ ولت، فرکانس ۶۰ هرتز.

ب: ولتاژ ۲۱۰ ولت، فرکانس ۶۰ هرتز

ج: ولتاژ ۱۵۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز

۹- یک خازن با مشخصات ذیل مفروض است

کیلو وار ۲۰ = توان اسمی

ولت ۴۸۰ = ولتاژ اسمی

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

از این خازن در حالات زیر برای تصحیح ضریب توان استفاده می شود. در هر حالت کیلو وار جدید خازن را بدست آورید.

الف: ولتاژ ۱۲۰ ولت، فرکانس ۶۰ هرتز

ب: ولتاژ ۲۳۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز.

ج: ولتاژ ۴۶۰ ولت، فرکانس ۵۰ هرتز.

۱۰- یک بار تکفاز با مشخصات زیر به یک شبکه تکفاز ۲۳۰ ولتی، ۵۰ هرتزی متصل شده است.

کیلو وات آمپر ۵ = توان بار

پس فاز ۰/۷۵ = ضریب توان بار

برای تصحیح ضریب توان بار به دو سر آن خازن نصب می کنیم
مطلوبست:

الف: کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان به ۰/۹ پس فاز برسد.

ب: کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان واحد گردد.

ج: کیلووار خازنی مورد نیاز برای آنکه ضریب توان به ۰/۹ پیش فاز برسد.

۱۱- مساله ۱۰ را تکرار کنید ولی این دفعه فرض بر آنستکه تنها خازن های ۲۴۰ ولتی، ۶۰ هرتزی در دسترس هستند.

- ۱۲- رابطه (۱۴-۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .
 ۱۳- رابطه (۱۵-۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .
 ۱۴- روابط (۱۶-۱۰) ، (۱۷-۱۰) در فصل دهم را اثبات کنید .
 ۱۵- یک مصرف کننده ۱۵ کیلوولت آمپری که ضریب توان آن ۰/۸۵ پس فاز است به یک شبکه تکفاز ، ۱۲۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی متصل است . خازنهای موجود ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی هستند و می خواهیم ضریب توان را واحد نمائیم .
 مطلوبست :

الف : کیلووارخازنی مورد نیاز را بدست آورید .

ب : ظرفیت خازنی مورد نیاز را حساب کنید (بر حسب فاراد)

- ۱۶- یک کارخانه توانی معادل ۱۰۰ کیلو ولت آمپر را تحت ضریب توان ۰/۷ پس فاز مصرف می کند و این توان را از شبکه سه فاز ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی دریافت می کند . اگر بخواهیم ضریب توان واحد گردد . کیلووار خازن مورد نیاز را که از یک مجموعه سه فاز خازن حاصل می گردد ، بدست آورید ، مشروط بر آنکه :

الف : فقط خازنهای ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی موجود می باشند .

ب : فقط خازنهای ۶۰۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی در دسترس هستند .

- ۱۷- مساله ۱۶ را تکرار کنید . این دفعه می خواهیم ضریب توان به ۰/۹ پس فاز برسد .
 ۱۸- در مساله ۱۶ اگر توان ظاهری اخذ شده از شبکه ثابت باشد (۱۰۰ کیلو ولت آمپر) در شرایط زیر چه مقدار توان حقیقی وارد کارخانه می شود .

الف : اگر ضریب توان کارخانه ۰/۷ پس فاز باشد .

ب : اگر ضریب توان کارخانه واحد در نظر گرفته شود .

- ۱۹- یک کارخانه دارای مصرفی معادل ۵۰۰ کیلو وات تحت ضریب توان ۰/۶۷ پس فاز باشد . این کارخانه به شبکه سه فاز ۴۶۰ ولتی ، ۵۰ هرتزی متصل است . مطلوبست :

الف : توان ظاهری تحویل به کارخانه (بر حسب کیلو ولت آمپر)

ب : کیلووار خازن مورد نیاز جهت تصحیح ضریب توان

در صورتیکه بخواهیم ضریب توان واحد گردد .

- ج : در حالتی که ضریب توان واحد گردد کارخانه چقدر توان ظاهری از شبکه دریافت می کند .

- ۲۰- یک کارخانه صنعتی ۳۵۰ کیلو وات را تحت ضریب توان ۰/۷۸ پس فاز از شبکه فاز ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی ، دریافت می دارد . یک مجموعه خازنی سه فاز ۲۵۰ کیلو واری ، ۲۴۰ ولتی ، ۶۰ هرتزی برای تصحیح ضریب توان بکار می رود . ضریب توان جدید کارخانه را حساب کنید .

۲۱ - مساله ۲۰ را تکرار کنید اگر مجموعه خازن سه فاز ۲۵۰ کیلو واری، ۴۸۰ ولتی، ۶۰ هرتزی در نظر گرفته شود.

۲۲ - در مساله ۲۰ ظرفیت هر یک از خازنها را بر حسب فاراد حساب کنید.

۲۳ - یک تاسیسات صنعتی توانی معادل ۳۸ کیلو وات را تحت ضریب توان ۷۵٪ پس فاز مصرف می کند اگر برای تصحیح ضریب توان از یک کندانسور سنکرون استفاده شود تا ضریب توان واحد گردد، درینصورت مشخصه اسمی این کندانسور را پیدا کنید. فرض بر آنستکه کندانسور سنکرون بی بار عمل می کند و ضریب توان آن بسیار کم است (حدود ۰/۲).
 ۲۴ - یک کارخانه صنعتی توان معادل ۲ کیلو وات را تحت ضریب توان ۸۵٪ پس فاز از شبکه سه فاز ۲۱۰ ولتی دریافت می کند. برای تصحیح ضریب توان از موتور سنکرون مطابق مثال (۲ - ۱۰) در فصل دهم. این موتور در ضمن آنکه ضریب توان را بهبودی بخشد نیمی از بار اسمی خود را تغذیه می کند. اگر بخواهیم ضریب توان کارخانه واحد گردد مطلوبست:

الف: جریان تحریک موتور سنکرون

ب: راندمان موتور سنکرون.

۲۵ - در مساله ۲۴ محاسبات زیر را انجام دهید.

الف: قبل از آنکه موتور سنکرون نصب شود این کارخانه چه مقدار کیلو ولت آمپر از شبکه می کشید.

ب: پس از نصب موتور این کارخانه چه مقدار توان ظاهری (کیلو ولت آمپر) از شبکه می کشد.

۲۶ - مساله ۲۴ را تکرار کنید. این بار ضریب توان را به ۰/۹۵ پیش فاز برسانید.

۲۷ - اگر در مساله ۲۴، جریان تحریک موتور سنکرون ۱۹ آمپر باشد مطلوبست.

الف: ضریب توان بهبود یافته کارخانه

ب: میزان توان ظاهری (کیلو وات آمپر) تحویلی به کارخانه

سیستم (ENG)

۲۸ - یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

ولت ۲۰۸ = ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

۱۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

سرعت موتور را بیابید.

۲۹ - در موتور مساله ۲۸ اگر ولتاژ منبع به ۲۳۰ ولت و فرکانس به ۵۰ هرتز تغییر یابد

سرعت جدید چیست .

۳۰ - یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

ولت = ۲۴۰ ولتاژ اسمی ترمینال (ولتاژ خط)

اسب بخار ۴ = توان اسمی

۶ = تعداد قطبها

هرتز ۶۰ = فرکانس اسمی

این موتور تحت بار اسمی می چرخد ، مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی موتور

ب : اگر بار ۷۰٪ کاهش یابد ، سرعت موتور را بیابید .

۳۱ - مساله ۳۰ را تکرار کنید ولی این بار فرض کنید موتور نصف بار اسمی خود را تغذیه می کند .

۳۲ - درصد تنظیم سرعت موتور مساله ۳۰ را بیابید .

سیستم (SI)

۳۳ - یک موتور سنکرون سه فاز ، ۲۳۰ ولتی ، ۲۴ قطبی ، ۵۰ هرتزی مفروض است . سرعت آنرا بیابید .

۳۴ - اگر موتور مساله ۳۳ با ولتاژ ۲۴۰ ولت و فرکانس ۶۰ هرتز تغذیه شود ، سرعت جدید آن چیست .

۳۵ - یک موتور سنکرون سه فاز ، ۴۶۰ ولتی ، ۴/۵ کیلو واتی ، ۸ قطبی ، ۵۰ هرتزی در تحت بار اسمی می چرخد ، مطلوبست :

الف : گشتاور خروجی موتور

ب : اگر بار بمیزان ۶۰٪ کم شود ، سرعت جدید موتور چیست .

۳۶ - مساله ۳۵ را تکرار کنید . این دفعه موتور را نصف بار اسمی را تغذیه می کند

۳۷ - درصد تنظیم سرعت در موتور مساله ۳۵ را پیدا کنید .

۹-۱۳ سؤالات فصل یازدهم

- ۱- چرا به ژنراتورهای القائی لفظ آسنکرون اتلاق می‌گردد
- ۲- آیا چرخاندن محور موتور القائی با سرعت زیاد برای حالت ژنراتوری کافی است، آیا به‌عامل دیگری نیز جهت عملکرد ژنراتور نیاز داریم.
- ۳- لغزش منفی یعنی چه
- ۴- آیا فرکانس ولتاژ تولید شده در ژنراتورهای القائی به سرعت رتور بستگی دارد.

۱۰-۱۳ مسائل فصل ۱۱

سیستم (ENG)

- ۱- یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار	۲	= توان اسمی
ولت	۲۱۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
آمپر	۶	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۸	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور درآورده و نتایج زیر از حالت بارداری ژنراتور بدست می‌آید.

$$\text{Load test results: } W_1 = 750 \text{ W, } W_2 = 670 \text{ W}$$

$$V_L = 210 \text{ V, } I_L = 5.8 \text{ A}$$

$$S = 925 \text{ rev/min}$$

مقاومت معادل استاتور ۱/۴ اهم و تلفات مکانیکی و هسته ۱۰۰ وات می‌باشد. مطلوبیست:

الف: ضریب توان ژنراتور القائی

ب: راندمان ژنراتور آسنکرون

- ۲- یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

اسب بخار	۱۴	= توان اسمی
ولت	۲۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر	۳۵	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۱۲	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور آسنکرون درآورده و نتایج زیر در حالت بارداري حاصل می شود .

$$\text{Load test results: } W_1 = 5.2 \text{ kW, } W_2 = 4.5 \text{ kW}$$

$$V_L = 240 \text{ V, } I_L = 33.5 \text{ A}$$

$$S = 620 \text{ rev/min}$$

مقاومت معادل استاتور ۷/۰ اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۶۰۰ وات می باشد . مطلوبست :

الف : ضریب توان ژنراتور القایی

ب : راندمان ژنراتور آسنکرون

۳- یک موتور القایی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است .

اسب بخار	۳۵	= توان اسمی
ولت	۲۴۰	= ولتاژ اسمی ترمینال
آمپر	۸۵	= جریان اسمی (جریان خط)
هرتز	۶۰	= فرکانس اسمی
	۱۶	= تعداد قطبها

آنرا بصورت ژنراتور درمی آوریم و اعداد زیر از شرایط بارداري ژنراتور حاصل می گردد

$$\text{Load test results: } W_1 = 12.4 \text{ kW, } W_2 = 11.5 \text{ kW}$$

$$V_L = 240 \text{ V, } I_L = 83 \text{ A}$$

$$S = 470 \text{ rev/min}$$

مقاومت معادل استاتور ۳/۰ اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۱۶۰۰ وات می باشد . مطلوبست .

الف : ضریب توان ژنراتور القایی

ب : راندمان ژنراتور آسنکرون

۴- یک موتور القایی سه فاز ، ۵ اسب بخار ، ۲۴۰ ولتی ، هشت قطبی ، ۶۰ هرتزی مفروض

است و آنرا در تحت توان اسمی بصورت ژنراتور درمی آوریم . منحنی مشخصه این ماشین

در شکل (۳-۱۱) در فصل یازدهم رسم شده است مطلوبست

الف : اگر بخواهیم ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل کند خازن مورد نیاز را

بدست آورید .

ب : در حالتی که ژنراتور بصورت تحریک خودی عمل می کند ،

فرکانس ولتاژ تولید شده چیست .

ج : اگر خازنهای موجود ۴۸۰ ولتی و ۶۰ هرتزی باشند چه میزان از این خازنها

را باید بکار برد.

سیستم (SI)

۵ یک موتور اسنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

$$\begin{aligned} \text{کیلو وات} &= ۵ & \text{توان اسمی} \\ \text{ولت} &= ۲۳۰ & \text{ولتاژ اسمی ترمینال} \\ \text{آمپر} &= ۱۴ & \text{جریان اسمی (جریان خط)} \\ \text{هرتز} &= ۵۰ & \text{فرکانس اسمی} \\ &= ۶ & \text{تعداد قطبها} \end{aligned}$$

آنرا بصورت ژنراتور القایی درمیآوریم و اعداد زیر از شرایط بارداری ژنراتور حاصل می شود

$$\text{Load test results: } W_1 = 2.2 \text{ kW}, \quad W_2 = 1.4 \text{ kW}$$

$$V_L = 230 \text{ V}, \quad I_L = 12 \text{ A}$$

$$\omega = 108 \text{ rad/s}$$

اگر مقاومت معادل استاتور یک اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۲۸۰ وات باشد، مطلوبست

الف: ضریب توان ماشین

ب: راندمان ژنراتور القایی

۶- یک موتور اسنکرون سه فاز، ۱۵ کیلو واتی، ۲۳۰ ولتی، ۴۰ آمپری، هشت قطبی، ۵۰ هرتزی، مفروض است. آنرا بصورت ژنراتور القایی درآورده و نتایج زیر در شرایط بارداری حاصل می گردد.

$$\text{Load test results: } W_1 = 6 \text{ kW}, \quad W_2 = 4 \text{ kW}$$

$$V_L = 230 \text{ V}, \quad I_L = 35 \text{ A}$$

$$\omega = 81 \text{ rad/s}$$

مقاومت معادل استاتور ۶/۰ اهم و تلفات هسته و مکانیکی ۷۰۰ وات می باشد. مطلوبست:

الف: ضریب توان ژنراتور القایی

ب: راندمان ماشین

۷- یک موتور القایی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است.

$$\begin{aligned} \text{کیلو وات} &= ۲۵ & \text{توان اسمی} \\ \text{ولت} &= ۴۶۰ & \text{ولتاژ اسمی ترمینال} \\ \text{آمپر} &= ۳۴ & \text{جریان اسمی (جریان خط)} \\ &= ۱۶ & \text{تعداد قطبها} \end{aligned}$$

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

آنرا بصورت ژنراتور درآورده و در شرایط بارداری نتایج زیر بدست می آید.

Load test results: $W_1 = 9.8 \text{ kW}$, $W_2 = 6.5 \text{ kW}$

$V_L = 460 \text{ V}$, $I_L = 30 \text{ A}$

$\omega = 41 \text{ rad/s}$

اگر مقاومت معادل استاتور ۴/۱۰ اهم و تلفات مکانیکی و هسته ۱۴۰۰ وات باشد مطلوبست

الف: ضریب توان ژنراتور آسنکرون

ب: راندمان ماشین

۸- یک موتور القائی سه فاز با مشخصات زیر مفروض است

کیلو وات ۱۰ = توان اسمی

ولت ۴۶۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

۱۲ = تعداد قطبها

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

آنرا تحت توان اسمی بصورت ژنراتور درمی آوریم و منحنی مشخصه مربوطه در شکل (۳-۱۱)

در فصل یازدهم نشان داده شده است. مطلوبست:

الف: اگر بخواهیم ماشین بصورت تحریک خودی عمل کند خازن مورد نیاز را

بدست آورید.

ب: در حالتی که ژنراتور از نوع تحریک خودی است، فرکانس ولتاژ تولید شده

چیست.

ج: اگر خازنهای موجود ۴۸۰ ولتی و ۶۰ هرتزی باشند ظرفیت خازن مورد نیاز

را محاسبه کنید.

۱۱- ۱۳ سئوالات فصل دوازدهم

- ۱- چرا به موتورهای تکفاز AC نیاز داریم
 - ۲- سه نوع موتور تکفاز القائی نام برید
 - ۳- منظور از میدان متقاطع چیست
 - ۴- چرا در هنگام کار، موتور تکفاز با فاز شکسته دارای ضریب توان پائینی می باشد
 - ۵- چرا در موتورهای نافاز شکسته کلید گریز از مرکز نصب می کنیم
 - ۶- نام دیگر سیم پیچ کمکی در موتور با فاز شکسته چیست
 - ۷- سیم پیچ چاک چیست
 - ۸- چرا در موتورهای CSM از خازن استفاده می کنیم
 - ۹- موتورهای CSM و فاز شکسته را از نظر مشخصه های آنها در لحظات راه اندازی و کار دائمی مقایسه کنید.
 - ۱۰- موتورهای PSCM را شرح دهید
 - ۱۱- موتورهای TCM را شرح دهید
 - ۱۲- موتورهای یونیورسال را شرح دهید
 - ۱۳- در ساعتها از کدام نوع موتور استفاده می شود و چرا؟
 - ۱۴- کدامیک از موتورهای تکفاز دارای بهترین تنظیم سرعت است.
 - ۱۵- کدامیک از موتورهای تکفاز زیر دارای بهترین راندمان درباراسمی می باشد
- الف: موتور یونیورسال
ب: موتور سنکرون

۱۲- ۱۳ مسائل فصل ۱۲

سیستم (ENG)

- ۱- یک موتور القائی با فاز شکسته با مشخصات زیرمفروض است

$$\text{اسب بخار} = \frac{3}{4} = \text{توان اسمی}$$

$$\text{ولت} = ۱۲۰ = \text{ولتاژ اسمی ترمینال}$$

هرتز = ۶۰ = فرکانس اسمی

۶۵٪ = راندمان در بار اسمی

پس فاز = ۵۵٪ = ضریب توان در بار اسمی

در بار اسمی این موتور چه جریانی از شبکه می کشد

۲ - یک موتور CSM ، ۲۴۰ ولتی ، ۵ اسب بخاری ، ۶۰ هرتزی مفروض است موتور در بار اسمی ۳۸ آمپر از شبکه می کشد و ضریب توان آن در بار اسمی ۶۰ درصد است ، راندمان موتور چیست .

۳ - یک موتور با فاز شکسته مفروض است و توان اسمی آن $\frac{1}{4}$ اسب بخار می باشد . مشخصات دیگر موتور بقرار زیر است .

ولت = ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

آمپر = ۴/۵ = جریان کشیده شده از شبکه

دور در دقیقه = ۱۱۴۰ = سرعت در بار اسمی

۶۵٪ = راندمان در بار اسمی

مطلوبست :

الف : ضریب توان موتور در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی موتور

۴ - یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار = ۲ = توان اسمی

ولت = ۲۴۰ = ولتاژ اسمی ترمینال

هرتز = ۶۰ = فرکانس اسمی

۷۵٪ = راندمان در بار اسمی

آمپر = ۱۲ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

مطلوبست :

الف : توان ورودی به ماشین در بار اسمی

ب : ضریب توان موتور در بار اسمی

۵ - یک موتور PSCM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار = ۵/۵ = توان اسمی

ولت = ۱۱۵ = ولتاژ اسمی ترمینال

دور در دقیقه = ۱۱۱۰ = سرعت در بار اسمی

آمپر = ۶ = جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی

۶۰٪ = ضریب توان در بار اسمی

مطلوبست :

الف : راندمان ماشین در بار اسمی

ب : گشتاور اسمی موتور

۶ - یک موتور TCM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار $5/75 =$ توان اسمیولت $115 =$ ولتاژ اسمی ترمینالدور در دقیقه $1725 =$ سرعت در بار اسمیآمپر $7/8 =$ جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی $90\% =$ راندمان در بار اسمی

ضریب توان موتور را در بار اسمی بدست آورید

۷ - یک موتور CSM با مشخصات زیر مفروض است

اسب بخار $2 =$ توان اسمیولت $115 =$ ولتاژ اسمی ترمینالهرتز $60 =$ فرکانس اسمیدور در دقیقه $3450 =$ سرعت اسمیآمپر $26 =$ جریان کشیده شده از شبکه در بار اسمی $60\% =$ ضریب توان در بار اسمی

مطلوبست :

الف : گشتاور اسمی موتور

ب : راندمان موتورهای در بار اسمی

۸ - یک موتور با فاز شکسته با مشخصات زیر مفروض است :

ولت $115 =$ ولتاژ اسمی ترمینالدور در دقیقه $1140 =$ سرعت اسمیهرتز $60 =$ فرکانس اسمیآمپر $4 =$ جریان اسمیپس فاز $55\% =$ ضریب توان اسمیفوت - پوند $5/77 =$ گشتاور اسمی

مطلوبست :

الف : توان اسمی موتور بر حسب اسب بخار

ب : راندمان موتور در بار اسمی

سیستم (SI)

۹ - یک موتور با فاز شکسته و مشخصات زیر مفروض است:

کیلو وات	۵/۵	=	توان اسمی
ولت	۲۳۰	=	ولتاژ اسمی ترمینال
هرتز	۵۰	=	فرکانس اسمی
%	۶۰	=	راندمان در بار اسمی
%	۵۰	=	ضریب توان در بار اسمی

این موتور چه جریانی از شبکه می کشد؟

۱۰ - یک موتور ۴۶۰ ولتی، ۵/۳ کیلوواتی، ۵۰ هرتزی از نوع CSM مفروض بوده و ضریب توان آن در بار اسمی ۶۳ درصد می باشد. اگر این موتور در شرایط اسمی ۱۵ آمپر از شبکه بکشد، راندمان موتور در بار اسمی چیست.

۱۱ - یک موتور ۲۳۰ ولتی، ۲۰۰ وات، ۵/۲ آمپری از نوع فاز شکسته مفروض بوده و سرعت اسمی آن ۹۹/۴ رادیان بر ثانیه است. اگر راندمان آن در بار اسمی ۶۰ درصد باشد مطلوبست.

الف: ضریب توان در بار اسمی

ب: گشتاور اسمی موتور

۱۲ - یک موتور ۱/۵ کیلوواتی، ۲۳۰ ولتی، ۵۰ هرتزی، ۱۳ آمپری از نوع CSM مفروض است راندمان آن در بار کامل ۷۸ درصد می باشد. مطلوبست:

الف: توان ورودی به ماشین در بار اسمی

ب: ضریب توان موتور در بار اسمی

۱۳ - یک موتور ۳۰۰ وات، ۲۳۰ ولتی، ۶/۲ آمپری از نوع PSCM مفروض است و سرعت اسمی آن ۹۶/۸ رادیان بر ثانیه می باشد. اگر ضریب توان آن در بار اسمی ۶۰ درصد باشد مطلوبست:

الف: راندمان موتور در بار اسمی

ب: گشتاور اسمی ماشین

۱۴ - یک موتور ۶۰۰ وات، ۲۳۰ ولتی، ۹/۳ آمپری از نوع TCM مفروض است و سرعت اسمی آن ۱۵۰/۴ رادیان بر ثانیه می باشد. اگر راندمان آن در بار اسمی ۸۶ درصد باشد، ضریب توان موتور در بار اسمی چیست.

۱۵ - یک موتور ۱/۵ کیلو وات، ۲۳۰ ولتی، ۵۰ هرتزی از نوع CSM مفروض است و سرعت اسمی آن ۳۰۰/۸ رادیان بر ثانیه می باشد.

اگر این موتور در بار اسمی جریان ۱۰ آمپر را تحت ضریب توان ۷۵ درصد از شبکه بکشد مطلوبست:

الف: گشتاور اسمی

ب: راندمان در بار اسمی

۱۶- یک موتور با فاز شکسته طبق مشخصات زیر مفروض است:

ولت ۲۳۰ = ولتاژ اسمی

رادیان بر ثانیه $99/4 =$ سرعت اسمی

آمپر $1/2 =$ جریان اسمی

هرتز ۵۰ = فرکانس اسمی

$50\% =$ ضریب توان در بار اسمی

نیوتن متر $5/6 =$ گشتاور اسمی

مطلوبست:

الف: توان اسمی بر حسب وات

ب: راندمان در بار اسمی

فہرست مطالب

فهرست

۷	فصل اول: آشنایی با مدارهای مغناطیس
۷	مقدمه
۷	۱-۱: تشابه بین مغناطیس و الکتریسیته
۷	۱-۱-۱: شار
۹	۱-۱-۲: نیروی محرکه مغناطیس
۱۳	۱-۱-۳: رلوکتانس
۱۶	۱-۲: رابطه غیر طیفی بین H و B در مواد فرو مغناطیسی
۲۱	۱-۲-۱: هیستریزیس
۲۵	۱-۳: مدارهای مغناطیسی
۳۹	فصل دوم: چگونگی پیدایش ولتاژ و گشتاور
۳۹	مقدمه
۳۹	۲-۱: ولتاژ القاء شده در یک هادی
۴۳	۲-۱-۱: پلاریته ولتاژ القاء شده
۴۵	۲-۱-۲: بررسی وضعیت یک هادی در یک مسیر دایره‌ای
۴۸	۲-۱-۳: ولتاژ القاء شده متوسط در یک هادی
۵۱	۲-۲: ولتاژ القاء شده در یک کلاف
۵۸	۲-۳: قانون لنز
۵۹	۲-۴: نیروی تولید شده توسط یک هادی
۶۰	۲-۴-۱: قانون بیو ساوار
۶۰	۲-۴-۲: جهت نیرو
۶۳	۲-۵: گشتاور تولید شده توسط یک هادی
۶۸	۲-۵-۱: گشتاور حاصله توسط یک کلاف
۶۹	۲-۶: نیروی ضد محرکه
۷۳	فصل سوم: ساختمان ماشینهای DC
۷۳	مقدمه
۷۳	۳-۱: ارمیچر

۷۴	۱-۱-۳ کموتاسیون (یکسو سازی)
۷۶	۱-۱-۲ ۳-حاروبکها
۷۸	۱-۱-۳ ۳-عکس العمل ارمیچر
۷۹	۳-۲ قطبهای کمکی (قطبهای فرعی)
۷۹	۳-۳ سیم پیچهای جبران کننده
۸۰	۳-۴ قطبهای اصلی ماشینهای DC
۸۳	۳-۵ ساختمان مکانیکی ماشینهای DC
۸۴	۳-۶ سیم پیچهای ارمیچر در ماشینهای DC
۸۵	۳-۶-۱ سیم پیچی مجاور از نوع سیمپلکس
۸۹	۳-۶-۲ سیم پیچی موجی از نوع سیمپلکس
۹۱	۳-۶-۳ مقایسه سیم پیچهای مجاور و موجی
۹۹	فصل چهارم: مشخصههای ژنراتور DC
۹۹	مقدمه
۹۹	۴-۱ معادلات اساس ژنراتور DC
۱۰۲	۴-۱-۱ تحلیل ترسیمی معادله ژنراتور DC
۱۰۶	۴-۲ مدار معادل ژنراتور DC
۱۰۸	۴-۳ ژنراتورهای DC از نوع تحریک جداگانه
	۴-۳-۱: منحنی مغناطیس شوندگی در حالت بی باری در یک ژنراتور DC با
۱۰۹	تحریک جداگانه
۱۱۴	۴-۴ تنظیم ولتاژ
۱۱۷	۴-۵ راندمان ژنراتور DC
۱۱۸	۴-۵-۱ تلفات توان سرگردان
۱۲۰	۴-۵-۲ تلفات مسی
۱۲۰	۴-۵-۳ تلفات بار سرگردان
۱۲۱	۴-۵-۴ دیاکرام پخش توان
۱۲۴	۴-۶ ژنراتور DC موازی یا شنت
۱۲۷	۴-۶-۱ عدم تولید ولتاژ در ژنراتور DC شنت
۱۲۸	۴-۶-۲ مشخصه بار در ژنراتور DC شنت

۱۳۳	۴-۷ ژنراتور DC سری
۱۳۶	۴-۸ ژنراتور DC کمپوند
۱۳۷	۴-۸-۱ ژنراتور DC کمپوند نقصان
۱۳۸	۴-۸-۲ ژنراتور DC کمپوند اضافی
۱۴۴	۴-۹ موازی کردن ژنراتورهای DC
۱۴۵	۴-۹-۱ موازی کردن ژنراتورهای DC شنت
۱۵۰	۴-۹-۲ موازی کردن ژنراتورهای DC کمپوند
۱۵۷	فصل پنجم: موتورهای DC
۱۵۷	مقدمه
۱۵۷	۵-۱ معادله موتور DC
۱۵۸	۵-۱-۱ رابطه بین گشتاور و توان
۱۶۰	۵-۱-۲ اندازه‌گیری گشتاور
۱۶۳	۵-۲ نیروی ضد محرکه
۱۶۴	۵-۳ مدار معادل موتور
۱۶۵	۵-۳-۱ رفتار موتور DC در تحت شرایط باردار
۱۶۶	۵-۳-۲ منحنی گشتاور، سرعت
۱۷۰	۵-۴ تنظیم سرعت
۱۷۲	۵-۵ راندمان موتور DC
۱۷۴	۵-۵-۱ دیاگرام پخش توان
۱۷۵	۵-۵-۲ اندازه‌گیری تلفات توان سرگردان در موتور DC
۱۷۶	۵-۵-۳ راندمان ماکزیمم
۱۷۷	۵-۶ موتور DC شنت
۱۷۸	۵-۶-۱ جهت چرخش موتور DC شنت
۱۷۸	۵-۶-۲ اثر بار بر روی موتور DC شنت
۱۸۰	۵-۶-۳ اثر شار بر روی موتورهای DC شنت
۱۸۷	۵-۷ موتور DC سری
۱۸۸	۵-۷-۱ جهت چرخش موتور DC سری
۱۸۸	۵-۷-۲ اثر بار بر روی موتور DC سری

صفحه	عنوان
۱۹۰	۵-۸ : موتور DC کمپوند
۱۹۱	۵-۸-۱ : موتور DC کمپوند نقصانی
۱۹۲	۵-۸-۲ : موتور DC کمپوند اضافی
۱۹۹	۵-۸-۳ : مقایسه موتورهای DC
۱۹۹	۵-۹ : موتورهای DC با آهن ریای دائم
۲۰۰	۵-۱۰ : راه اندازی موتورهای DC
۲۰۱	۵-۱۰-۱ : راه اندازی سه نقطه ای
۲۰۳	۵-۱۰-۲ : راه اندازی چهار نقطه ای
۲۰۳	۵-۱۰-۳ : راه اندازی اتوماتیک
۲۰۷	۵-۱۱ : متوقف کردن موتورهای DC
۲۱۳	فصل ششم : مسائل فصلهای اول تا پنجم
۲۱۳	۶-۱ : سئوالات و مسائل فصل اول
۲۲۱	۶-۲ : سئوالات و مسائل فصل دوم
۲۲۷	۶-۳ : سئوالات و مسائل فصل سوم
۲۳۳	۶-۴ : سئوالات و مسائل فصل چهارم
۲۴۶	۶-۵ : سئوالات و مسائل فصل پنجم
۲۶۵	فصل هفتم : ترانسفورماتورها
۲۶۵	۷-۱ : مدارهای تکفاز
۲۷۷	۷-۱-۱ : اندازه گیری توان
۲۷۹	۷-۱-۱-۱ : اضافه بار در و اتومتر
۲۸۰	۷-۲ : اصول اولیه ترانسفورماتور ✓
۲۸۰	۷-۲-۱ : ساختمان ترانسفورماتور ✓
۲۸۲	۷-۲-۲ : ترانسفورماتور ایده آل ✓
۲۸۵	۷-۳ : ترانسفورماتور واقعی یا غیر ایده آل ✓
۲۸۵	۷-۳-۱ : مقادیر اسمی ترانسفورماتورها ✓
۲۸۷	۷-۳-۲ : روابط اساسی ✓
۲۹۰	۷-۳-۲-۱ : بازتاب امپدانس در اولیه و ثانویه ترانسفورماتور ✓

۲۹۳	✓ ۷-۳-۲-۲ : مدار معادل ترانسفورماتور
۲۹۸	✓ ۷-۳-۲-۳ : محدودیتهای فیزیکی
۳۰۱	✓ ۷-۳-۳ : تنظیم ولتاژ
۳۰۵	✓ ۷-۳-۴ : راندمان
۳۰۹	✓ ۷-۳-۵ : ترانسفورماتورهای چند سیم پیچ
۳۱۲	✓ ۷-۳-۶ : اتو ترانسفورماتور
۳۱۶	✓ ۷-۴ : مروری بر ثوری مدارهای سه فاز
۳۱۷	✓ ۷-۴-۱ : روابط مربوط به سیستمهای سه فاز
۳۲۲	۷-۴-۲ ✗ : اندازه گیری توان در سیستم سه فاز
۳۲۳	۷-۵ : ترانسفورماتورهای سه فاز
۳۲۵	۷-۵-۱ : طرز اتصالات سیم پیچ ها در ترانسفورماتورهای سه فاز
۳۴۱	فصل هشتم : ژنراتور سنکرون
۳۴۱	۸-۱ : ساختمان ژنراتور سنکرون
۳۴۳	۸-۲ : رابطه مربوط به فرکانس در ژنراتور سنکرون
۳۴۵	۸-۳ : ولتاژ تولید شده در سیم پیچ های استاتور
۳۴۶	۸-۴ : ژنراتور سنکرون سه فاز
۳۴۷	۸-۴-۱ : طرز اتصال سیم پیچ های استاتور
۳۴۹	۸-۴-۲ : مقادیر اسمی ژنراتور سنکرون سه فاز
۳۴۹	۸-۵ : مدار معادل ژنراتور سنکرون سه فاز
۳۵۰	۸-۵-۱ : اندازه گیری مقاومت سیم پیچ های استاتور
۳۵۱	۸-۵-۲ : اندازه گیری راکتانس سنکرون
۳۵۴	۸-۶ : تنظیم ولتاژ
۳۶۰	۸-۷ : راندمان ژنراتور سنکرون
۳۶۰	۸-۷-۱ : آزمایشهای لازم جهت تعیین تلفات ژنراتور سنکرون سه فاز
۳۶۴	۸-۷-۲ : راندمان ماکزیمم در ژنراتور سنکرون
۳۶۵	۸-۸ : منحنی مشخصه های ژنراتور سنکرون سه فاز
۳۶۵	۸-۸-۱ : منحنی اشباع در حالت بی باری
۳۶۶	۸-۸-۲ : منحنی های بار

۳۶۸	: منحنی مشخصه های دیگر برای ژنراتور سنکرون	۸-۸-۳	
۳۷۳	: موتورهای القایی سه فاز	فصل نهم	✓
۳۷۳	: ساختمان موتورهای القایی	۹-۱	✓
۳۷۳	: استاتور موتورهای القایی سه فاز	۹-۱-۱	✓
۳۷۴	: رتور موتورهای سه فاز	۹-۱-۲	✓
۳۷۴	: رتور قفس سنجابی ساده	۹-۱-۲-۱	✓
۳۷۵	: رتور قفس سنجابی مضاعف	۹-۱-۳-۲	✗
۳۷۶	: رتورهای سیم پیچی شده	۹-۱-۲-۳	✓
۳۷۸	: مفاهیم میدان گردنده	۹-۲	✓
۳۸۰	: جهت چرخش میدان گردنده	۹-۲-۱	✓
۳۸۰	: سرعت چرخش میدان گردنده	۹-۲-۲	✓
۳۸۱	: شکل میدان گردنده	۹-۲-۳	✓
۳۸۲	: تئوری مربوط به عملکرد موتورهای القایی سه فاز	۹-۳	✓
۳۸۵	: مشخصه های اسمی موتورهای القایی سه فاز	۹-۳-۱	✓
۳۸۸	: روابط سرعت در موتورهای القای سه فاز	۹-۴	✓
۳۸۸	: لغزش	۹-۴-۱	✓
۳۹۳	: تنظیم سرعت	۹-۴-۲	✓
۳۹۵	: تحلیل رفتار رتور در موتورهای القایی سه فاز	۹-۵	✓
۳۹۹	: رابطه گشتاور - توان	۹-۵-۱	✓
۴۰۲	: منحنی گشتاور - لغزش	۹-۵-۲	✓
۴۰۵	: رتورهای سیم پیچی شده	۹-۵-۳	✓
۴۰۸	: راندمان	۹-۶	✓
۴۰۹	: تعریف تلفات در موتورهای القایی سه فاز	۹-۶-۱	✓
۴۱۰	: تشریح پخش توان در موتورهای القایی سه فاز	۹-۶-۲	✓
۴۱۴	: محاسبه راندمان	۹-۶-۴	✓
۴۱۸	: منحنی مشخصه های معروف در موتورهای القایی سه فاز	۹-۷	✓
۴۱۸	: منحنی مشخصه های موتور القایی سه فاز (بر حسب لغزش)	۹-۷-۱	✓
	: منحنی مشخصه های موتورهای القای	۹-۷-۲	✓

۴۲۰	سه فاز (برحسب توان خروجی)	
	اثر رتورهای سیم پیچی شده بر روی مشخصه های	۹-۷-۳ ✓
۴۲۰	موتورهای القایی سه فاز	
۴۲۱	روش راه اندازی موتورهای القایی سه فاز	۹-۸ ✓
۴۲۹	موتورهای سنکرون سه فاز	فصل ۱۰
۴۲۹	ساختمان موتورهای سنکرون	۱۰-۱ ✓
۴۲۹	تئوری عملکرد موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۲ ✓
۴۳۲	اثر تغییرات تحریک در موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۲-۱ +
۴۳۵	اثر بار بر روی موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۲-۲ +
۴۳۷	منحنی های شکل در موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۲-۳ +
۴۴۰	روشهای مختلف راه اندازی در موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۳ ✓
۴۴۰	استفاده از محرک گرداننده کمکی	۱۰-۳-۱
۴۴۱	راه اندازی موتورهای سنکرون بصورت آسنکرون	۱۰-۳-۲ ✓
۴۴۲	تحلیل عددی توان، راندمان، گشتاور در موتورهای سنکرون	۱۰-۴
۴۴۲	توان و راندمان	۱۰-۴-۱
۴۴۵	گشتاور (کوئل)	۱۰-۴-۲
۴۴۸	منحنی مشخصه های متداول برای موتورهای سنکرون سه فاز	۱۰-۵
۴۵۰	تصحیح ضریب توان	۱۰-۶ ✓
۴۵۰	علت کاهش ضریب توان	۱۰-۶-۱
۴۵۰	معایب ضریب توان کم	۱۰-۶-۲
۴۵۱	راههای بهبود ضریب توان	۱۰-۶-۳
۴۵۳	مقادیر اسمی خازن	۱۰-۶-۴
۴۶۵	ژنراتورهای القایی سه فاز	فصل ۱۱
۴۶۵	تئوری مربوط به عملکرد ژنراتورهای القایی سه فاز	۱۱-۱
۴۶۷	راندمان ژنراتورهای القایی سه فاز	۱۱-۲
۴۷۱	منحنی مشخصه های متداول برای ژنراتورهای القایی سه فاز	۱۱-۳
۴۷۹	موتورهای تکفاز	فصل ۱۲
۴۷۹	موتورهای القایی تکفاز	۱۲-۱

۴۸۳	۱- ۱- ۱۲ : موتورهای با فاز شکسته
۴۸۵	۱- ۱- ۱۲ : موتورهای با قطب چاک دار
۴۸۷	۱- ۱- ۱۲ : موتورهای القایی تکفاز با راه انداز خازنی
	۱- ۳- ۱- ۱۲ : موتورهای القایی تکفاز که خازن راه انداز در
۴۸۸	تمامی مراحل در مدار باقی می ماند
۴۹۰	۲- ۳- ۱- ۱۲ : موتورهای القایی تکفاز دو خازنی
۴۹۰	۴- ۱- ۱۲ : موتورهای ریپالسیونی
۴۹۰	۲- ۱۲ : موتورهای سری یا یونیورسال
۴۹۱	۳- ۱۲ : موتورهای سنکرون تکفاز
۴۹۱	۱- ۳- ۱۲ : موتورهای رکوتانس
۴۹۱	۲- ۳- ۱۲ : موتورهای هیستریزیس
۴۹۳	۴- ۱۲ : منحنی مشخصه های موتور تکفاز
۵۰۱	فصل ۱۳ : مسایل فصل هفتم تا فصل دوازدهم
۵۰۱	۱- ۱۳ : سئوالات مربوط به فصل هفتم
۵۰۲	۲- ۱۳ : مسایل فصل هفتم
۵۱۹	۳- ۱۳ : سئوالات فصل هشتم
۵۱۹	۴- ۱۳ : مسایل فصل هشتم
۵۲۶	۵- ۱۳ : سئوالات مربوط به فصل نهم
۵۲۶	۶- ۱۳ : مسایل مربوط به فصل نهم
۵۳۹	۷- ۱۳ : سئوالات مربوط به فصل دهم
۵۳۹	۸- ۱۳ : مسایل فصل دهم
۵۴۶	۹- ۱۳ : سئوالات فصل یازدهم
۵۴۶	۱۰- ۱۳ : مسایل فصل یازدهم
۵۵۰	۱۱- ۱۳ : سئوالات فصل دوازدهم
۵۵۰	۱۲- ۱۳ : مسایل فصل دوازدهم

واژه‌نامه

A

1) Air-gap	فاصله هوائی
2) Alternating-Current (AC)	جریان متناوب
3) Angle	زاویه
4) Armature	ارمیچر
5) Armature Winding	سیم پیچ ارمیچر
6) Armature Current	جریان آرمیچر
7) Armature Voltage	ولتاژ آرمیچر
8) Armature Shaft	محور آرمیچر
9) Armature Power Losses	تلفات آرمیچر
10) Average Torque	گشتاور متوسط
11) Average-Voltage	ولتاژ متوسط

B

1) Break	ترمز
2) Back-Electromotive Force	نیروی ضد محرکه
3) Bearing	یاطقان
4) Breakdown	فروپاشی شکست
5) Breakdown Point	نقطه فروپاشی
6) Bus-Bar	شین - باس بار
7) Brush	جارو بک

C

1) Cast Iron	چدن
2) Cast Steel	فولاد ریخته‌گری
3) Core	هسته
4) Current	جریان
5) Conductor	هادی
6) Copper	مس
7) Copper Wire	سیم مسی

8) Conductivritvity	هدایت ویژه
9) Coercive Force	نیروی خنثی کننده
10) Coil	کلاف - پیچک
11) Clock Wise(CW)	در جهت عقربه ساعت
12) Counter Clock Wise(CCW)	در جهت خلاف عقربه ساعت
13) Core Losses	تلفات هسته
14) Copper Losses	تلفات مسی
15) Compound Machine	ماشین کمپوند یا مختلط
16) Compound Motor	موتور کمپوند یا مختلط
17) Compound Generator	ژنراتور کمپوند یا مختلط
18) Commulatively Compound	کمپوند اضافی
19) Cylinder	استوانه
D	
1) Direct Current(DC)	جریان مستقیم
2) DC Generator	ژنراتور جریان مستقیم
3) DC Motor	موتور جریان مستقیم
4) Divertor	دیورتور یا منحرف کننده
5) Data	داده
6) Direction	جهت
7) Dynamo	دینامو
8) Drop	افت
9) Density	چگالی - تراکم
10) Device	وسيله، افزار
11) Dynamic Breaking	ترمز دینامیکی
12) Delay	تاخیر
13) Differentialy Compound	کمپوند نقصانی

E

1) Electromotive Force(EMF)	نیروی محرکه الکتریکی
-------------------------------	----------------------

2) End Bell	درپوش انتهای ماشین
3) Efficiency	راندمان - بهره
4) Eddy-Current	جریان گردابی
5) Equivalent-Circuit	مدار معادل
6) Electrical Output	خروجی الکتریکی
7) Electrical Input	ورودی الکتریکی

F

1) Full Load	بار کامل - تمام بار
2) Flux	شار
3) Flux Density	چگالی شار
4) Force	نیرو
5) Frequency	فرکانس - تواتر
6) Field	میدان
7) Field Pole	میدان حاصله از قطبها
8) Frame	قاب یا بدنه ماشین
9) Field-Current	جریان میدان - جریان تحریک
10) Fan	پنکه
11) Friction	اصطکاک
12) Friction-Belt	کمر بند اصطکاک
13) Field-Intensity	شدت میدان

G

1) Generator	ژنراتور - مولد - الترناتور
2) Generated-Voltage	ولتاژ تولید شده

H

1) Hysteresis	هیستریزیس
2) Hysteresis Loop	حلقه هیستریزیس

I

1) Induced Voltage	ولتاژ القاء شده
--------------------	-----------------

K

- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| 1) KirChhoff's Voltage Low (KVL) | قانون ولتاژ کیرشف |
| 2) Kirchhoff's Current Low (KCL) | قانون جریان کیرشف |
| 3) Knol | مهره |
| 4) Knee | پاشنه |

L

- | | |
|-------------------|---------------|
| 1) Loop | حلقه |
| 2) Load | بار |
| 3) Load Current | جریان بار |
| 4) Left-Hand-Rule | قانون دست چپ |
| 5) Lap-Winding | سیم پیچ مجاور |
| 6) Losses | تلفات |
| 7) Load-Torque | گشتاور بار |

M

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| 1) Magnetic Circuit | مدار مغناطیسی |
| 2) Magnetomotive-Force (MMF) | نیروی محرکه مغناطیسی |
| 3) Moment of Inertia | مان اینرسی |
| 4) Maintenance | نگهداری |
| 5) Mechanical Losses | تلفات مکانیکی |
| 6) Maximum Torque | گشتاور ماکزیمم |

N, O

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1) North Pole | قطب شمال (قطب مثبت) |
| 2) No-Load | بی باری |
| 3) No-Load-Current | جریان بی باری |
| 4) No-Load-Voltage | ولتاژ بی باری |
| 5) Namplate | پلاک |
| 6) Outpout Voltage | ولتاژ خروجی |

P

- | | |
|-----------------|---------------------------------|
| 1) Power | توان |
| 2) Power Losses | تلفات توان |
| 3) Power Flow | پخش توان |
| 4) Permability | نفوذ پذیری مغناطیسی (پرمابلیته) |
| 5) Pole | قطب |

R

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1) Rated Voltage | ولتاژ اسمی |
| 2) Rated Power | توان اسمی |
| 3) Rated Speed | سرعت اسمی |
| 4) Rated Current | جریان اسمی |
| 5) Resistivity | مقاومت ویژه |
| 6) Reluctance | مقاومت مغناطیسی - رلوکتانس |
| 7) Resistance | مقاومت |
| 8) Regulation | تنظیم |
| 9) Rotational-Losses | تلفات چرخشی |

S, T

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) Speed Regulation | تنظیم سرعت |
| 2) Series Machine | ماشینهای سرعت |
| 3) Seperately-Excited | تحریک جداگانه |
| 4) Shunt Machines | ماشینهای موازی یا شنت |
| 5) Stall | سکون |
| 6) Starter | راه انداز |
| 7) Starting-Current | جریان راه اندازی |
| 8) STRAY-Power-Losses | تلفات توان سرگردان |
| 9) Torque | گشتاور |

V, W

- | | |
|-------------|---------|
| 1) Winding | سیم پیچ |
| 2) Wave | موج |
| 3) Velocity | سرعت |

A

Active Power	توان اکتیو (حقیقی)
Apparent Power	توان ظاهری
Auto Transformer	اتو ترانسفورماتور
Air gap	فاصله هوائی
Alternating Current (AC)	جریان متناوب
Asynchronous motor	موتور آسنکرون
Asynchronous generator	ژنراتور آسنکرون

B

Blocked Rotor	رتور قفل شده یا بلوکه شده
---------------	---------------------------

C

Capacitor	خازن
Core	هسته
Core Losses	تلفات هسته
Copper Losses	تلفات مسی
Cylindrical Rotor	رتور صاف یا استوانه‌ای
Connection	اتصال
Circuit	مدار
Clock wise	جهت عقربه ساعت
Counter Clock wise	خلاف جهت عقربه ساعت

D

Delta Connection	اتصال مثلث
Damper Winding	سیم پیچ میراساز یا مستهلک کننده
Decimal	اعشاری

E

Eddy Current	جریان گردابی
Energy Conversion	تبدیل انرژی
Efficiency	بهره یا راندمان
Electromotive Force	نیرو محرکه الکتریکی

F

Field Winding	سیم پیچ تحریک (میدان)
---------------	-------------------------

Field Current	جریان تحریک (میدان)
Field	میدان
Flux	شار
Full Load	بار کامل
Full Load Slip	لغزش در بار کامل
Full Load Current	جریان در بار کامل
Frequency	فرکانس

G

Generator	ژنراتور مولد
Generated Voltage	ولتاژ تولید شده

H

Hysteresis Losses	تلفات هیستریزیس
Hysteresis motor	موتور هیستریزیس

I

Induced Voltage	ولتاژ القاء شده
Induction motor	موتور القائی
Inductance	اندوکتانس
Industry	صنعت
Industrial load	بار صنعتی
Induction generator	ژنراتور القائی

J K L

Leading	پیش فاز ، تقدم فاز
Lagging	پس فاز ، تأخیر فاز
Leading power factor	ضریب توان پیش فاز
Lagging power factor	ضریب توان پس فاز
Leakage	نشتی
Leakage flux	شار نشتی
Laminated	مورق
Laminated Core	هسته مورق
Line Voltage	ولتاژ خط
Line Current	جریان خط

Locked		قفل شده
Locked rotor		رتور قفل شده
Motor	M N	موتور
No Load		بی باری
No Load test		آزمایش بی باری
No Load slip		لغزش در حالت بی باری
No Load test		آزمایش بی باری
	O	
Open Circuit		مدار باز
Open Circuit test		آزمایش مدار باز یا بی باری
Open delta		مثلث باز
	P Q	
Power factor		ضریب توان
Power factor correction		تصحیح یا بهبود ضریب توان
Primary winding		سیم پیچ اولیه
Power triangle		مثلث توان
Power factor Angle		زاویه ضریب توان
Pole		قطب
Pole slip		لغزش قطب
Phase Voltage		ولتاژ فاز
Phase Current		جریان فاز
Phase Angle		زاویه فاز
	R	
Rotor		رتور
Rated current		جریان اسمی
Rated power		توان اسمی
Rated speed		سرعت اسمی
Rated Voltage		ولتاژ اسمی
Reactive power		توان راکتیو
Rotating field		میدان گردان

Rotating flux	شار گردان
Regulation	تنظیم
Resistance	مقاومت
Resistive	مقاومتی
Reactance	راکتانس

S

Stator	استاتور
Synchronous generator	ژنراتور سنکرون
Synchronous motor	موتور سنکرون
Synchronous Condenser	کندانسور سنکرون
Secondary winding	سیم پیچ ثانویه
Single phase	تکفاز
Single phase transformer	ترانسفورماتور تکفاز
Single phase motor	موتور تکفاز
Single phase induction motor	موتور القائی تکفاز
Single phase Asynchronous motor	موتور آسنکرون تکفاز
Squirrel cage rotor	رتور قفس سنجابی
Short Circuit	اتصال کوتاه
Short Circuit test	آزمایش اتصال کوتاه
Starting Torque	گشتاور راه انداز
Starting Current	جریان راه اندازی
Slip	لغزش
Speed Regulation	تنظیم سرعت
Synchronous speed	سرعت سنکرون
Starter	راه انداز
Stall	سکون
Salient pole	قطب برجسته

T

Transformer	ترانسفورماتور
Three phase	سه فاز
Three phase transformer	ترانسفورماتور سه فاز

Three phase generator	ژنراتور سه فاز
Three phase motor	موتور سه فاز
Three phase Induction motor	موتور القائی سه فاز
Three phase Asynchronous motor	موتور آسنکرون سه فاز
Three phase Synchronous motor	موتور سنکرون سه فاز
Three phase Induction generator	ژنراتور القائی سه فاز
Three phase Load	بار سه فاز
Three phase power	توان سه فاز

U V W

Universal motor	موتور یونیورسال
Voltage regulation	تنظیم ولتاژ
winding	سیم پیچ
wounded rotor	رتور سیم پیچی شده

X Y Z

Y-Connection	اتصال ستاره
Y- Δ Switch	کلید ستاره مثلث