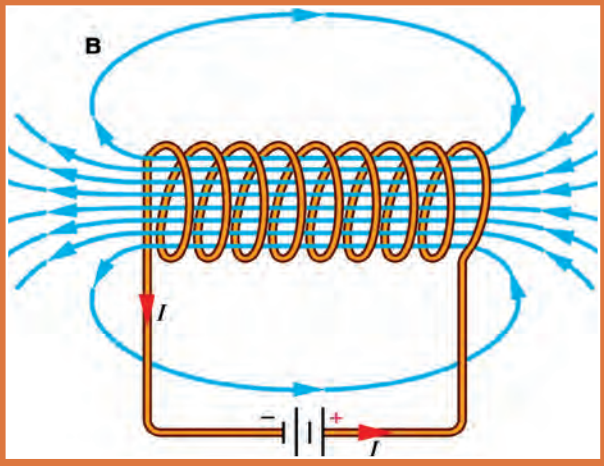
فصل ۴

کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی



واحد یادگیری ۵

بررسی کمیت‌های مغناطیسی

نوع درس: نظری **کل ساعت:** ۳۰ ساعت **ساعت نظری:** ۳۰ ساعت

سؤالات پیشنهادی

- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را تعریف کند.
- رابطه میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان را توضیح دهد.
- کمیت‌های مغناطیسی را نام ببرد.
- نیروی محرکه مغناطیسی را تعریف کند.
- رابطه نیروی محرکه مغناطیسی را توضیح دهد.
- شدت میدان مغناطیسی را تعریف کند.
- رابطه شدت میدان مغناطیسی را توضیح دهد.
- فوران مغناطیسی را تعریف کند و واحدهای آن را نام ببرد.
- چگالی میدان مغناطیسی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی و رابطه آن را توضیح دهد.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی در خلأ را تعریف کند و عدد خاص آن را بیان کند.
- ضریب نفوذ میدان مغناطیسی نسبی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- مدارهای مغناطیسی را تعریف کند و اجزای آن را نام ببرد.
- مقاومت مغناطیسی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- مقاومت مغناطیسی یک مدار مغناطیسی با فاصله هوایی را تعریف کند و رابطه آن را توضیح دهد.
- اجزای یک مدار مغناطیسی ساده را با یک مدار الکتریکی ساده مقایسه کند.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده را با مدار الکتریکی ساده مقایسه کند.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده را با کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی تحلیل نماید.
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده با فاصله هوایی را به کمک قانون نیروی محرکه مغناطیسی تحلیل نماید.

ماکسول

جیمز کلارک ماکسول در ۱۳ نوامبر سال ۱۸۳۱ در ادینبرای اسکاتلند متولد شد. از کودکی به ریاضیات و فیزیک علاقه فراوان داشت، در سال ۱۸۴۷ وارد دانشگاه ادینبرا شد و در ۱۸۵۰ به دانشگاه کمبریج رفت و در سال ۱۸۵۴ از تحصیل فراغت یافت.
ماکسول از سال ۱۸۵۶ تا ۱۸۶۵ استاد کالج مارشال در آبردین و کالج کینگ لندن بود، وی در سال ۱۸۷۳ کتابی به نام دوره الکتریسیته و مغناطیس منتشر کرد و بلافاصله به سمت استاد کرسی فیزیک‌دانشگاه انتخاب شد. ولی عمر وی کوتاه بود و در سال ۱۸۷۹ در سن ۴۹ سالگی وفات یافت.

ویلهم‌وبر

ویلهم وبر در سال ۱۷۹۵ میلادی در آلمان به دنیا آمد. وی فیزیک‌دان بود و شهرتش به مطالعات در زمینه مغناطیس مربوط می‌شود. وبر در سال ۱۸۷۸ میلادی دیده از جهان فرو بست.

تحقیق کنید:

تحقیق کنید یک وبر برابر چند ماکسول است.

پاسخ:

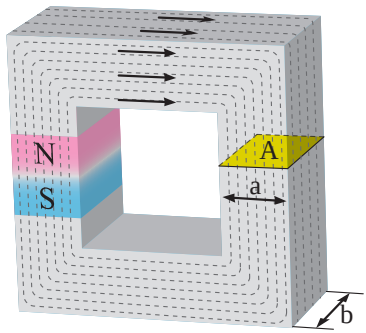
$1[v.sec] = 1[web] = 10^{8}[max]$

گاوس

کارل فردریش گاوس در سال ۱۷۷۷ میلادی در آلمان به دنیا آمد. معاصرانش او را سلطان ریاضی‌دانان می‌نامیدند. استعداد ریاضی گاوس از دوران کودکی ظاهر شد.خود او، وقتی دوران کودکی‌اش را به یاد می‌آورد، به شوخی می‌گفت: «من شمردن را پیش از حرف زدن یاد گرفتم» او آموزش عالی خود را در دانشگاه گوتینگن گذراند. بعدها به مدت ۵۰ سال، کرسی استادی همین دانشگاه را به عهده داشت. گاوس در سال ۱۸۵۵ درگذشت.

کار در کلاس:

آهنربایی با فوران مغناطیسی ۰/۰۲mwb مطابق شکل زیر در نظر است. چگالی فـوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گـاوس می‌باشد؟ درصورتی که $b = ۲۰mm$ و $a = ۱۰\ mm$ باشد.



پاسخ:

- سطح مقطع A برابر است با: $A = a.b = ۱۰\times۲۰ = ۲۰۰[mm^۲]$
- واحد سطح مقطع به مترمربع تبدیل می‌شود:

$$\frac{۱m}{A}=\frac{۱^۶ mm^۲}{۲۰۰mm^۲}$$

$$A=\frac{۲۰۰\times۱}{۱۰^۶}=۲۰۰\times۱۰^{-۶}=۲\times۱۰^{-۴}[m^۲]$$

- واحد فوران مغناطیسی به وبر تبدیل می‌شود:

$$\frac{۱wb}{\varphi}=\frac{۱۰^۳ mwb}{۰/۰۲mwb}$$

$$\varphi=\frac{۰/۰۲\times۱}{۱۰^۳}=۰/۰۲\times۱۰^{-۳}=۲\times۱۰^{-۵}[web]$$

- از رابطه چگالی فوران مغناطیسی به‌دست می‌آید:

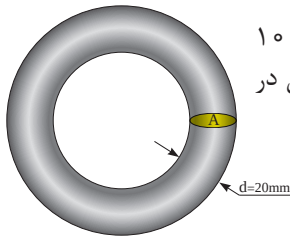
$$B=\frac{\varphi}{A}=\frac{۲\times۱۰^{-۵}}{۲\times۱۰^{-۴}}=۰/۱\left[\frac{wb}{m^۲}\right]=[T]$$

- واحد چگالی فوران مغناطیسی به گاوس تبدیل می‌شود:

$$\frac{۱T}{۰/۱T}=\frac{۱۰^۴ G}{B}$$

$$B=\frac{۰/۱\times۱۰^۴}{۱}=۰/۱\times۱۰^۴=۱۰۰۰[G]$$

کار در کلاس:



آهنربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی وبر است؟

پاسخ:

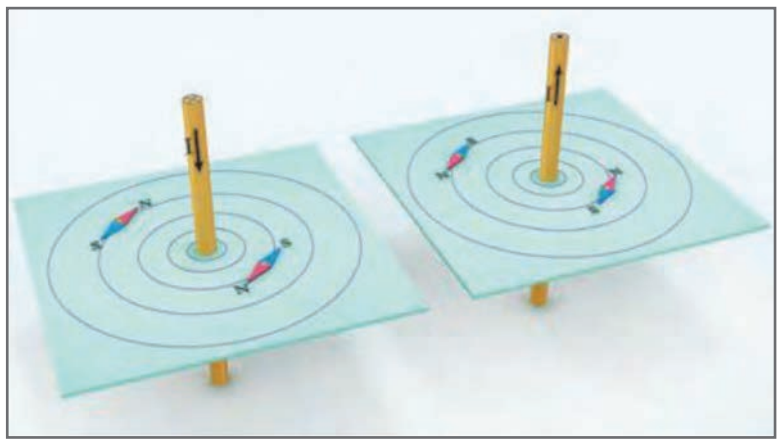
$$B = ۱۰۰۰۰ \times ۱۰^{-۸} = ۱۰^{-۴}\ T$$

$$A = \frac{\pi d^{۲}}{۴} = \frac{\pi}{۴} \times ۴۰۰ \times ۱۰^{-۶} = ۱۰^{-۴}\pi m^{۲}$$

$$\varphi = B \times A = ۱۰^{-۴} \times ۱۰^{-۴}\pi$$

دانش افزایی

جریان الکتریکی، میدان مغناطیسی تولید می‌کند اورستد اولین کسی بود که به بررسی ارتباط بنیادی میان جریان الکتریکی و مغناطیس پرداخت و نظریه الکترومغناطیس را ارائه کرد. وی برای تشریح این نظریه با قرار دادن یک عقربه مغناطیسی در تمام نقاط مختلف اطراف یک هادی حامل جریان مطابق شکل مشاهده کرد عبور جریان الکتریکی باعث انحراف عقربه مغناطیسی می‌شود و با تغییر جهت جریان الکتریکی در هادی، جهت عقربه‌های مغناطیسی تغییر می‌کند.



کار در کلاس:

چگالی فوران میدان مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله ۱CM از هادی حامل جریان ۱۰A چند گاوس است؟

پاسخ:

- واحد فاصله برحسب متر تبدیل می‌شود.

$$\frac{1m}{r}=\frac{100cm}{1cm}$$

$$r=\frac{1\times 1}{100}=0/01m$$

- چگالی میدان مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$B=k\frac{i}{r}$$

$$B=2\times 10^{-7}\times\frac{10}{0/01}=2\times 10^{-4}\left[\frac{wb}{m^2}\right].[T]$$

- واحد چگالی فوران مغناطیسی به گوس تبدیل می‌شود:

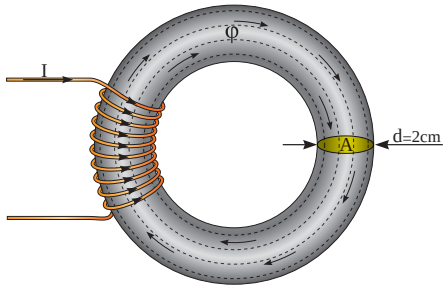
$$\frac{10}{2\times 10^{-4}T}=\frac{10^4 G}{B}$$

$$B=\frac{2\times 10^{-4}\times 10^4}{1}=2[G]$$

نیکولا تسلا

نیکولا تسلا در سال ۱۸۵۶ در امپراتوری اتریش مجارستان متولد شد و در سال ۱۸۸۴ به‌عنوان یک فیزیک‌دان به ایالات متحده آمریکا مهاجرت کرد. او پیشگام تولید، انتقال و استفاده از جریان الکتریکی متناوب شد. در سال ۱۸۸۸ شرکت وستینگ هاوس امتیاز تسلا شامل موتور و ژنراتور الکتریکی را خرید و این شرکت از سیستم جریان متناوب تسلا برای روشنایی استفاده کرد.

تسلا در طی زندگی‌اش یک میراث حقیقی از اختراعات به‌جای گذاشت که امروزه هنوز جذاب است. جهان به افتخار نام او نام واحد چگالی شار مغناطیسی را تسلا گذاشت. نیکولا تسلا در سال ۱۹۴۳ در اتاق یک هتل در شهر نیویورک دیده از جهان فروبست.



کار در کلاس: سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی شکل روبه‌رو، میدان الکترومغناطیسی با فوران ۳/۱۴mwb در هسته تولید می‌کند. چگالی فوران مغناطیسی در هسته چند تسلا است؟

پاسخ:

■ چگالی فوران از رابطه $B=\frac{\varphi}{A}$ به‌دست می‌آید ابتدا واحد فوران را به وبر تبدیل می‌کنیم و سپس مساحت سطح مقطع را محاسبه کنیم:

$$\frac{1wb}{\varphi}=\frac{10^{3}mwb}{\frac{3}{14}}\Rightarrow\varphi=\frac{3/14}{10^{3}}=3/14\times10^{-3}[wb]$$

$$A=\frac{\pi d^{2}}{4}$$

$$A=\frac{\pi(2)^{2}}{4}=3/14\,[cm^{2}]$$

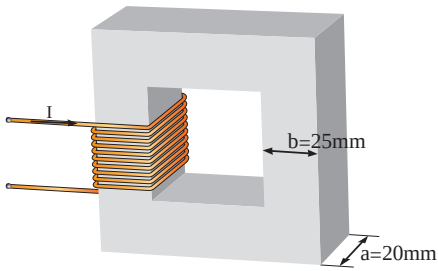
$$\frac{1m^{2}}{A}=\frac{10^{4}cm^{2}}{3/14}\Rightarrow A=\frac{1\times3/14}{10^{4}}=3/14\times10^{-4}[m^{2}]$$

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

$$B=\frac{3/14\times10^{-3}}{3/14\times10^{-4}}=10\left[\frac{wb}{m^{2}}\right]=[T]$$

کار در کلاس:

سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی شکل روبه‌رو، چگالی فوران مغناطیسی ۱ تسلا را در هسته ایجاد کرده است. فوران مغناطیسی هسته چند میلی وبر است؟



پاسخ:

$A = a.b = 20\times25 = 500\times10^{-6}\,[m^{2}]$

$\varphi = B\times A = 1\times500\times10^{-6}\,[web]$

کار در کلاس:

از یک سیم‌پیچ با ۵۰۰۰ دور، جریان الکتریکی ۰/۱ آمپر می‌گذرد. نیروی محرکهٔ مغناطیسی آن چند آمپر است؟

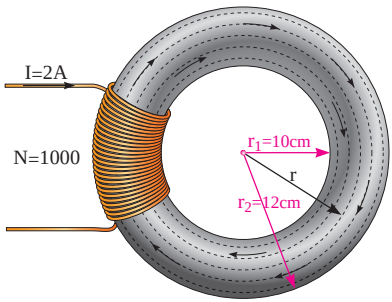
پاسخ:

$\theta = NI$

$\theta = ۵۰۰۰ \times ۰/۱ = ۵۰۰ [A.T]$

کار در کلاس:

شدت میدان مغناطیسی شکل روبه‌رو را به‌دست آورید.



پاسخ:

- شدت میدان مغناطیسی H از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\theta = \frac{NI}{L_C}$$

- طول متوسط هسته L_C به شکل دایره است. برای محاسبه آن باید ابتدا شعاع متوسط هسته را به‌دست آورد:

$$r = \frac{r_۱ + r_۲}{۲} = \frac{۱۰ + ۱۲}{۲} = ۱۱cm$$

- محیط دایره از رابطه مقابل به‌دست می‌آید:

$L = ۲\pi R$

$L_C = ۲ \times ۳/۱۴ \times ۱۱ = ۶۹/۰۸ [cm]$

- واحد طول متوسط را به متر تبدیل می‌کنیم:

$$\frac{۱m}{L_C} = \frac{۱۰۰cm}{۶۹/۰۸cm}$$

$$L_C = \frac{۶۹/۰۸ \times ۱}{۱۰۰} = ۰/۶۹۰۸m$$

- اکنون شدت میدان مغناطیسی از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$H = \frac{NI}{L_C} = \frac{۱۰۰ \times ۲}{۰/۶۹۰۸} = ۲۸۹۵/۱۹ [\frac{AT}{M}]$$

آمپر

آندره آمپر در سال ۱۷۷۵ در شهر لیون فرانسه به دنیا آمد. در سال ۱۸۰۹ سمت استادی آنالیز و مکانیک پلی تکنیک را به‌دست آورد. وی در سال ۱۸۳۶ به دنبال کار مداوم که روح و تن او را خسته و فرسوده کرده بود در گذشت.

کار درکلاس:

شدت میدان مغناطیسی در هسته به طول ۲۰ cm برابر $۲۰۰۰[\frac{AT}{m}]$ است. اگرسیم‌پیچ این هسته دارای ۴۰۰۰ دور باشد، شدت جریان الکتریکی آن چند آمپر است؟

پاسخ:

$$H = ۲۰۰۰[\frac{AT}{m}]$$

$$L = ۰/۲[m]$$

$$N = ۴۰۰۰ \text{ دور}$$

$$HL = NI \rightarrow I = \frac{۲۰۰۰ \times ۰/۲}{۴۰۰۰} = ۰/۱[A]$$

کار درکلاس:

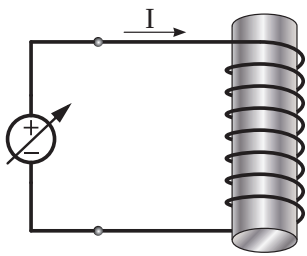
واحدضریب نفوذ مغناطیسی μ چگونه به‌دست می‌آید؟

پاسخ:

$$[\mu] = \frac{\frac{wb}{m^۲}}{\frac{A.T}{m}} = \frac{wb.m}{ATm^۲} = [\frac{wb}{AT.m}]$$

تحقیق کنید:

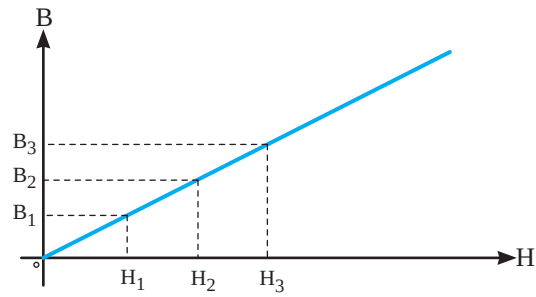
در مورد ضریب نفوذ مغناطیسی در خلأ تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.



پاسخ:

برای نشان دادن ضریب نفوذ مغناطیسی در خلأ، جریان مستقیم از سیم‌پیچ بدون هسته در خلأ عبور داده شده است. جریان الکتریکی سیم‌پیچ از صفر به آهستگی تا حداکثر مجاز

افزایش داده می‌شود. افزایش جریان I، شدت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ را طبق رابطه $H = \frac{NI}{L}$ افزایش می‌دهد. اگر تغییرات چگالی فوران مغناطیسی B درون سیم‌پیچ نسبت به افزایش شدت میدان مغناطیسی H سیم‌پیچ رسم شود، نمودار خطی شکل به‌دست می‌آید.

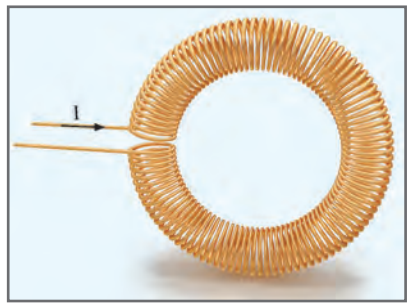


در شکل بالا مشاهده می‌شود تغییرات چگالی فوران مغناطیسی B نسبت به تغییر شدت میدان مغناطیسی H خطی است. شیب این خط مقداری ثابت دارد و بیانگر «ضریب نفوذ مغناطیسی در خلأ» می‌باشد. طبق تعریف، نسبت چگالی فوران مغناطیسی B به شدت میدان مغناطیسی H در هر نقطه از این نمودار را«ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ» گویند و آن را با «μ_0» نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0}$$

کار در کلاس:

سیم‌پیچی بدون هسته در خلأ دارای ۱۰۰۰ حلقه و طول متوسط ۱۰ سانتی‌متر در شکل زیر نشان داده شده است. چگالی فوران مغناطیسی درون این سیم‌پیچ در خلأ ۰/۶ وبر بر متر مربع اندازه‌گیری شده است. جریان الکتریکی سیم‌پیچ چند آمپر است؟



پاسخ:

- شدت میدان مغناطیسی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\mu_0 = \frac{B_0}{H_0}$$

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{0/6}{4\pi \times 10^{-7}} = 500000[\frac{A.T}{M}]$$

- جریان سیم‌پیچی از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

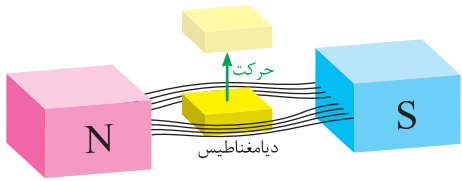
$$H = \frac{NI}{L}$$

$$I = \frac{H.L}{N} = \frac{5000000 \times 10 \times 10^{-2}}{1000} = 50[A]$$

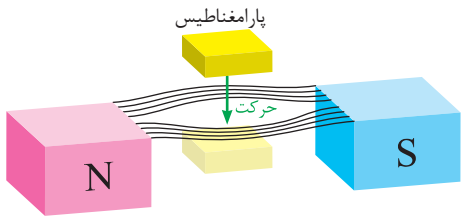
تحقیق کنید:

مواد براساس ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی به چند گروه دسته‌بندی می‌شوند؟ بررسی کنید و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پاسخ:



مواد دیامغناطیس: ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی μ_r مواد دیامغناطیس کمی کمتر از یک می‌باشد. جیوه، نقره، قلع و آب از این مواد هستند. در مواد دیامغناطیس مولکول‌های مغناطیسی به‌وجود نمی‌آید. هنگامی که مواد دیامغناطیس در میدان مغناطیسی آهن‌ربای قوی مطابق شکل مقابل قرار می‌گیرند: فوران مغناطیسی را از خود عبور نمی‌دهند. میدان مغناطیسی را غیریکنواخت می‌کنند و از طرف میدان مغناطیسی دفع می‌شوند.



مواد پارامغناطیس: ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی μ_r مواد پارامغناطیس کمی از یک بیشتر است. آلومینیم، هوا و پلاتین از این مواد هستند. مواد پارامغناطیس، مولکول‌های مغناطیسی ضعیفی دارند؛ هنگامی که مواد پارامغناطیس در میدان مغناطیسی آهن‌ربای قوی مطابق شکل قرار می‌گیرند. مولکول‌های مغناطیسی آنها می‌کوشند

تا در جهت میدان مغناطیسی منظم شوند و به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند. عامل این حرکت نیروی جاذبه بین مولکول‌های مغناطیسی این مواد و میدان مغناطیسی است که به آهنربا تبدیل می‌شوند و با خروج از میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی خود را از دست می‌دهند.

مواد فرومغناطیس: ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی μr مواد فرومغناطیس بین ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ است. آهن و آلیاژهای آن از این مواد هستند. مواد فرومغناطیسی مولکول‌های مغناطیسی بسیار قوی دارند. هنگامی که مواد فرومغناطیس در میدان مغناطیسی آهن ربای قوی قرار می‌گیرند:

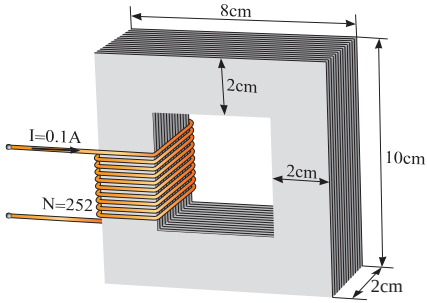
- مولکول‌های مغناطیسی آنها در جهت میدان مغناطیسی منظم می‌شوند و به بالاترین درجه هم‌سویی می‌رسند.
- به طرف ناحیه قوی میدان مغناطیسی کشیده می‌شوند و جذب قطب‌ها می‌شوند.
- به آهنربا تبدیل می‌شوند و با خروج از میدان مغناطیسی، خاصیت آهنربایی خود را از دست نمی‌دهند.
- اگر دمای مواد فرومغناطیس از یک مقدار معین که دمای «کوری» نامیده می‌شود بالاتر برود، هم‌سویی مولکول‌های مغناطیسی از بین می‌رود و این مواد پارامغناطیس می‌شوند.

در جدول زیر ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی μr چند نمونه از مواد در ناحیه اشباع نشده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

مواد فرومغناطیس		مواد پارامغناطیس		مواد دیامغناطیس	
ماده	μ_r	ماده	μ_r	ماده	μ_r
آهن بدون آلیاژ	تا ۶۰۰۰	هوا	۱/۰۰۰۰۰۰۴	جیوه	۰/۹۹۹۷۵
فولاد الکتریکی	تا ۶۵۰۰	اکسیژن	۱/۰۰۰۰۰۰۳	نقره	۰/۹۹۹۹۸۱
آهن نیکل آلیاژ	۳۰۰۰۰۰	آلومینیم	۱/۰۰۰۰۳۲	قلع	۰/۹۹۹۸۸
فریت‌مغناطیسی	۱۰۰۰۰	پلاتین	۱/۰۰۰۳۶	آب	۰/۸۹۹۹۱

کار در کلاس:

ضریب نفوذ مغناطیسی μ هستهٔ شکل روبه‌رو را که از جنس فولاد ورق است به‌دست آورید.



پاسخ:

محیط بیرونی هسته برابر است با: $L_{C1} = ۲(۱۰+۸) = ۳۶\,[CM]$

محیط درونی هسته برابر است با: $L_{C2} = ۲(۶+۴) = ۲۰\,[CM]$

محیط متوسط برابر است با: $L_C = \frac{۳۶+۲۰}{۲} = ۲۸\,[CM]$

شدت میدان مغناطیسی از رابطه زیر برابراست با:

$$H = \frac{NI}{L_C} = \frac{۲۵۲\times ۰/۱}{۲۸\times ۱۰^{-۲}} = ۹۰[\frac{AT}{M}]$$

منحنی ضریب نفوذ مغناطیسی برابر است با:

$$H = ۹۰\left[\frac{AT}{M}\right] \rightarrow \mu_r = ۶۰۰۰$$

رابطه ضریب نفوذ مغناطیسی برابر است با:

$\mu = \mu_۰\mu_r$

$$\mu = ۴\pi\times ۱۰^{-۷}\times ۶۰۰۰ = ۷/۵\times ۱۰^{-۳}[\frac{wb}{A.T.M}]$$

کار در کلاس:

هستهٔ فرومغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی $\frac{wb}{AT.m}$ ۰/۵و طول ۲۰ cm در نظر گرفته است. اگر روی این هسته، سیم‌پیچ ۲۰۰۰ دوری با شدت جریان الکتریکی ۲۰mA قرار گیرد، چگالی شار هسته چند تسلا خواهد شد؟

پاسخ:

$$\mu = ۰/۵\left[\frac{wb}{AT\,m}\right]$$

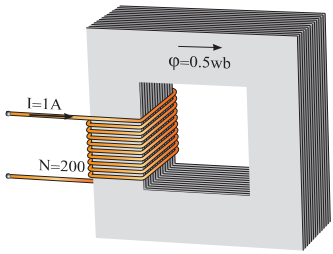
$$L = ۰/۲[m] \qquad B = \mu\frac{NI}{L} \Rightarrow B = \frac{۰/۵ \times ۲۰۰۰ \times ۲۰ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۲} = ۱۰۰[T]$$

N = ۲۰۰۰ دور

I = ۲۰×۱۰$^{-۳}$[A]

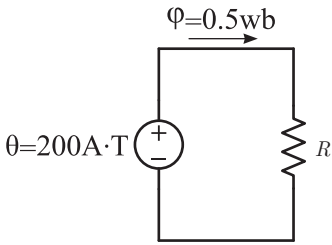
مثال:

فوران مغناطیسی در هستهٔ شکل روبه‌رو برابر ۰/۵Wb است. مقاومت مغناطیسی هسته چقدر می‌باشد؟



پاسخ:

$$\theta = N \times I = ۲۰۰ \times ۱ = ۲۰۰\ A.T$$



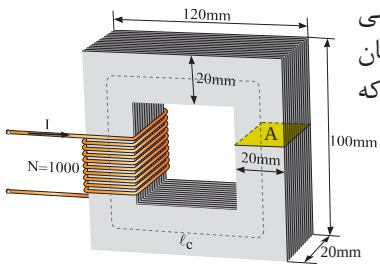
مدار الکتریکی معادل با درج مقادیر مغناطیسی بر روی آن به‌صورت شکل روبه‌رو است:

مقاومت مغناطیسی از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$R = \frac{\theta}{\varphi} = \frac{۲۰۰}{۰/۵} = ۴۰۰\begin{cases} A.T \\ wb \end{cases}$$

کار در کلاس:

اگر فوران مغناطیسی در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو برابر با ۴mwb باشد، جریان سیم‌پیچ چند آمپرمتر است؟ در صورتی که $\pi = ۳$ و $\mu_r = ۶۰۰۰$ باشد.



پاسخ:

- محیط بیرونی هسته برابر است با: $l_1 = (120+100) \times 2 = 440\,mm$
- محیط درونی هسته برابر است با: $l_2 = (80+60) \times 2 = 280\,mm$
- محیط متوسط برابر است با:

$$l_c = \frac{l_1 + l_2}{2} = \frac{440+280}{2} = 360\,mm$$

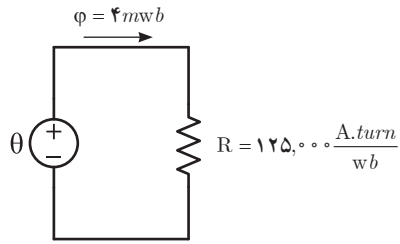
سطح مقطع بازوی هسته A که به شکل مربع است برابراست با:

سطح مقطع هسته $A_C = 20 \times 20 = 400\,mm^2$

مقاومت مغناطیسی هسته از رابطه زیر برابر است با:

$$R_c = \frac{l_c}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{360 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 6000 \times 400 \times 10^{-6}} = 125000\left[\frac{AT}{wb}\right]$$

- مدار الکتریکی معادل رسم و مقادیر بر روی آن درج می‌شود:



- نیروی محرکه مغناطیسی از رابطه زیر برابر است با:

$$R = \frac{\theta}{\varphi}$$

$$\theta = R_c.\varphi = 125000 \times 4 \times 10^{-3} = 500\,[A]$$

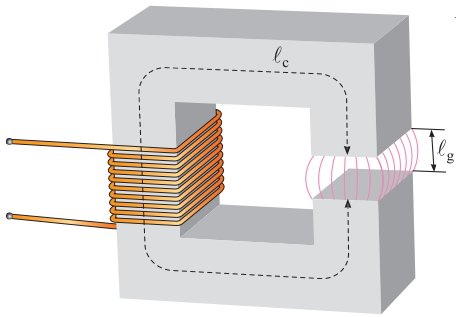
- جریان سیم‌پیچ از رابطه زیر برابر است با:

$$\theta = NI$$

$$I = \frac{\theta}{N} = \frac{500}{1000} = 0/5\,[A]$$

کار در کلاس:

در مدار مغناطیسی شکل زیر، شکاف هوایی به طول ۰/۴۸ mm ایجاد شده است. با فرض اینکه طول متوسط هسته تغییر نکرده است، برای داشتن فوران مغناطیسی ۴mwb، جریان سیم‌پیچ چند آمپر است؟



پاسخ:

- مقاومت مغناطیسی هسته تغییر نمی‌کند و برابر است با:

$$R_C = \frac{L_C}{\mu_0 \mu_1 A} = ۱۲۵۰۰۰ \left[\frac{A.T}{wb}\right]$$

- طول شکاف هوایی برحسب متر برابر است با:

$L_g = ۰/۴۸ \times ۱۰^{-۳} [m]$

- طول شکاف هوایی بسیار کوچک‌تر از ابعاد سطح مقطع هسته می‌باشد، لذا سطح مقطع شکاف هوایی با هسته برابر است.یعنی:

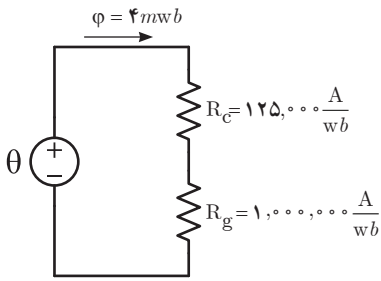
$A_g = A_C = ۴۰۰ \times ۱۰^{-۶} [m^۲]$

- برای سهولت در محاسبات ضریب نفوذ نسبی هوا برابر است با: $\mu_r = ۱$

مقاومت مغناطیسی هوا از رابطه بالا برابر است با:

$$R_g = \frac{L_g}{\mu_0 \mu_r A} = \frac{۰/۴۸ \times ۱۰^{-۳}}{۴\pi \times ۱۰^{-۳} \times ۱ \times ۴۰۰ \times ۱۰^{-۶}} = ۱۰۰۰۰۰۰ \left[\frac{A.T}{wb}\right]$$

- مدار الکتریکی معادل رسم می‌شود و مقادیر در آن نوشته خواهد شد:



■ مقاومت مغناطیسی معادل از رابطه زیر برابر است با:

$$R_{eq} = R_C + R_g = ۱۲۵۰۰۰ + ۱۰۰۰۰۰۰ = ۱۱۲۵۰۰۰ \left[\frac{A.T}{wb}\right]$$

■ نیرو محرکه مغناطیسی از رابطه زیر برابر است با:

$$R = \frac{\theta}{\varphi} \Rightarrow \theta = R.\varphi$$

$$\theta = ۱۱۲۵۰۰۰ \times ۴ \times ۱۰^{-۳} = ۴۵۰۰ [A.T]$$

■ جریان سیم‌پیچ از رابطه زیر برابر است با:

$$\theta = NI \Rightarrow I = \frac{F}{N} = \frac{۴۵۰۰}{۱۰۰۰} = ۴/۵ [A]$$

تحقیق کنید:

چرا با ایجاد شکاف هوایی، جریان سیم‌پیچ افزایش می‌یابد؟

پاسخ:

با ایجاد فاصلهٔ هوایی طول فاصلهٔ هوایی افزایش یافته و مقاومت کاهش می‌یابد و جریان افزایش می‌یابد.

ارزشیابی

۱ چگالی فوران مغناطیسی در فاصله ۲ cm از یک هادی حامل جریان ۳ T است. جریان الکتریکی هادی چند آمپر است؟

پاسخ:

$d = ۲ \times ۱۰^{-۲} m$

$$B = ۳ \times ۱۰^{-۴} \qquad \rightarrow B = K\frac{I}{d} \rightarrow I = \frac{Bd}{K} \times \frac{۳ \times ۱۰^{-۴} \times ۲ \times ۱۰^{-۲}}{۲ \times ۱۰^{-۷}} = ۳۰A$$

۲ نیروی محرکه مغناطیسی یک سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری، {A.turn} ۲۰۰ است. شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ چند آمپر است؟

پاسخ:

$\theta = ۲۰۰ AT$

$N = ۱۰۰۰$ دور

$$\rightarrow I = \frac{\theta}{N} = \frac{۲۰۰}{۱۰۰۰} = ۰/۲A$$

۳ هسته فرومغناطیسی با ضریب نفوذ مغناطیسی $۰/۵\frac{wb}{A.T.M}$ و طول ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. اگر روی این هسته سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دوری با شدت جریان الکتریکی ۲۰ mA قرار داده شده باشد، چگالی شار هسته چند تسلا خواهد شد؟

پاسخ:

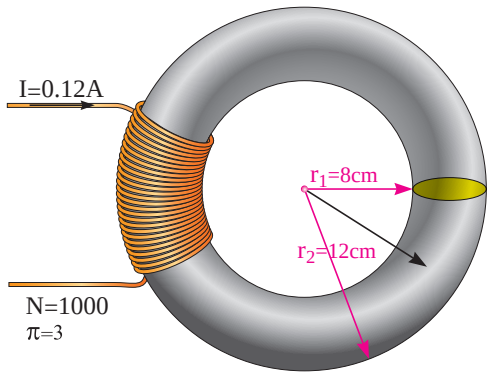
$$\mu = ۰/۵\left[\frac{wb}{ATm}\right]$$

$$L = ۰/۲[m] \qquad B = \mu\frac{NI}{L} \Rightarrow B = \frac{۰/۵\times۲۰۰۰\times۲۰\times۱۰^{-۳}}{۰/۲} = ۱۰۰[T]$$

$N = ۲۰۰۰$ دور

$I = ۲۰\times۱۰^{-۳}[A]$

۴ ضریب نفوذ مغناطیسی μ هسته شکل زیر که از جنس فولاد ورق است را به‌دست آورید.



پاسخ:

$$r = \frac{۸+۱۲}{۲} = ۱۰cm = ۰/۱m$$

$$\rightarrow L = ۲\pi r = ۰/۲\pi[m]$$

$N = ۱۰۰۰$

$I = ۰/۱۲[A]$ $\qquad B = \mu_{۰}\mu_{r}\frac{NI}{L} = ۴\pi\times۱۰^{-۷}\times\frac{۱۰۰۰\times۰/۱۲}{۰/۲\pi} = ۲۴\times۱۰^{-۵}[T]$

$\mu_r = ۱$

۵ مقاومت و فوران مغناطیسی در هسته یک مدار مغناطیسی به ترتیب $۵۰۰\frac{AT}{WB}$ و ۱۰mwb می‌باشد. اگر جریان سیم‌پیچ روی هسته ۲۰mA باشد تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ را به‌دست آورید.

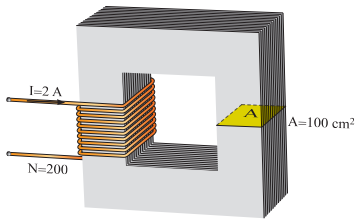
پاسخ:

$$R_m = ۵۰۰\frac{AT}{wb}$$

$\varphi = ۰/۰۱wb$ $\qquad$ $R_m\varphi = NI$

$I = ۲۰\times۱۰^{-۳}A$ $\qquad$ $N = \frac{۵۰۰\times۰/۰۱}{۰/۰۲} = ۲۵۰$ (دور)

۶ در مدار مغناطیسی شکل زیر فوران مغناطیسی هسته ۱۰mwb است؛ مطلوب است:



الف) مقاومت مغناطیسی هسته

ب) اگر یک فاصله هوایی ۱/۲mm در هسته ایجاد شود و بخواهیم فوران هسته همان مقدار قبلی بماند، جریان سیم‌پیچ را چند آمپر باید افزایش دهیم ($\pi=۳$)

پاسخ:

الف)

$\varphi = ۱۰\times۱۰^{-۳}wb$ $\qquad$ $NI = R_m\varphi$

$N = ۲۰۰$ $\qquad$ $R_m = \frac{۲۰۰\times۲}{۰/۰۱} = ۴۰۰۰۰\frac{A}{wb}$

ب)

$I = ۲A$ $\qquad$ $L_g = ۱/۲\times۱۰^{-۳}m$

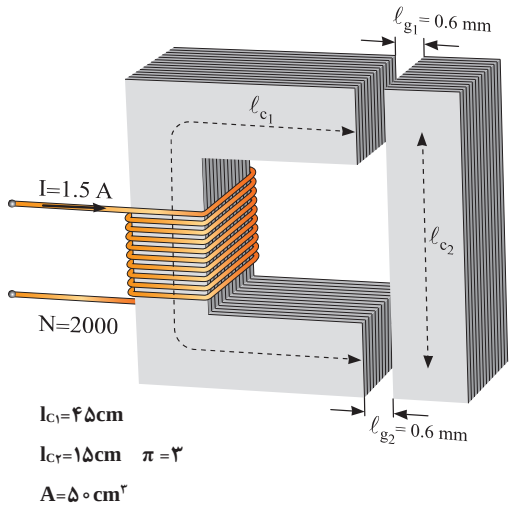
$A = ۱۰۰\times۱۰^{-۴}m^۲$

$$\varphi_g = ۱۰\times۱۰^{-۳} \rightarrow B_g = \frac{\varphi}{A} = \frac{۱۰\times۱۰^{-۳}}{۱۰^{-۲}} = ۱T$$

$$B_g = \mu_۰\mu_r H_g \rightarrow H_g = \frac{۱}{۴\pi\times۱۰^{-۷}}$$

$$H_g = \frac{NI}{L_g} \rightarrow I = \frac{\frac{۱}{۱۲}\times۱۰^{۷}\times۱/۲\times۱۰^{-۳}}{۲۰۰} = ۵A$$

۷ در مدار مغناطیسی شکل زیر مطلوب است محاسبه:
الف) مقاومت مغناطیسی در صورتی‌که فوران مغناطیسی هسته ۱۲ mwb باشد.
ب) ضریب نفوذ نسبی هسته



l_{c_1}=۴۵cm
l_{c_2}=۱۵cm π =۳
A=۵۰cm^2

پاسخ:

φ =۱۲×۱۰$^{-3}$wb $\quad R_m$=? $\quad R_m\varphi$ = NI

$$R_m \frac{۱/۵\times۲۰۰۰}{۱۲\times۱۰^{-۳}} = ۰/۲۵\times۱۰^{۶}\frac{A}{wb}$$

$$R_g = \frac{L_g}{\mu_r \mu_۰ A} = \frac{۱/۲\times۱۰^{-۳}}{۱\times۱۲\times۱۰^{-۷}\times۵۰\times۱۰^{-۴}} = ۲\times۱۰^{۵}T$$

$$R_m = R_C + R_g \rightarrow ۲۵۰۰۰۰ = ۲۰۰۰۰۰ + R_C \rightarrow R_C = ۵۰۰۰۰\frac{A}{wb}$$

$$R_C = \frac{L_C}{\mu_۰ \mu_r A} \rightarrow \mu_r \frac{۶۰\times۱۰^{-۲}}{۱۲\times۱۰^{-۷}\times۵\times۱۰^{-۴}\times۵۰\times۱۰^{۴}} = ۲۰۰۰$$

واحد یادگیری ۶

بررسی ماشین‌های الکتریکی

سؤالات پیشنهادی

- مفاهیم آسنکرون و سنکرون را تعریف کند.
- ماشین آسنکرون را در دو حالت موتوری و مولدی تعریف کند.
- ساختمان ظاهری و داخلی ماشین آسنکرون را از روی شکل توضیح دهد.
- اساس کار موتورهای آسنکرون را توضیح دهد.
- لغزش را تعریف کند.
- کاربرد موتورهای روتور سیم‌پیچی را بیان کند.
- انواع تلفات در موتورهای آسنکرون را تعریف کند.
- انواع ماشین های سنکرون را نام ببرد.
- ساختمان ظاهری و داخلی ماشین سنکرون را از روی شکل توضیح دهد.
- اساس کار موتورهای سنکرون را توضیح دهد.
- لغزش در موتورهای سنکرون را توضیح دهد.
- ساختمان داخلی مولدهای سنکرون را توضیح دهد.

- اساس کار مولدهای سنکرون را توضیح دهد.
- انواع تلفات در مولدهای سنکرون را تعریف کند.
- دیاگرام توازن قدرت در مولدهای سنکرون را رسم کند.
- روابط توان، تلفات و بازده را توضیح دهد.
- ساختمان داخلی موتورهای القایی تک فاز را از روی شکل شرح دهد.
- طرز کار موتورهای القایی تک فاز را توضیح دهد.
- انواع موتورهای القایی تک فاز را نام ببرد.
- شکل واقعی موتور فاز شکسته را از میان موتورهای تک فاز دیگر تمییز دهد.
- ساختمان موتور فاز شکسته را توضیح دهد.
- شکل مداری موتور یک فاز شکسته را رسم کند.
- طرز کار موتور یک فاز شکسته را توضیح دهد.
- کاربردهای موتور تک فاز شکسته را بیان کند.
- ساختمان موتور با خازن راه‌انداز را توضیح دهد.
- شکل واقعی موتور تک فاز خازن دائم کار را از میان موتورهای دیگر تمییز دهد.
- کاربرد موتورهای تک فاز با خازن دائم کار را بیان کند.
- کاربردهای مولد القایی تک فاز را بیان کند.
- ساختمان موتورهای تک فاز دوخازنی را توضیح دهد.
- ساختمان موتور قطب چاک‌دار را از روی شکل توضیح دهد.
- طرز کار موتور قطب چاک‌دار را توضیح دهد.
- شکل واقعی موتور یونیورسال را از دیگر موتورهای تک فاز تمییز دهد.
- ساختمان داخلی موتورهای یونیورسال را از روی شکل توضیح دهد.
- طرز کار موتور یونیورسال را توضیح دهد.
- کاربردهای مولد القایی تک فاز را بیان کند.

کار در کلاس:

چگونگی تولید میدان مغناطیسی دوّار در ماشین‌های جریان متناوب را بررسی کنید.

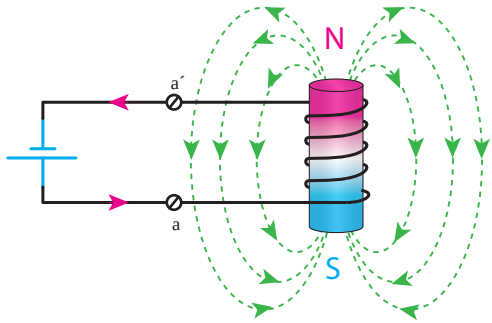
پاسخ:

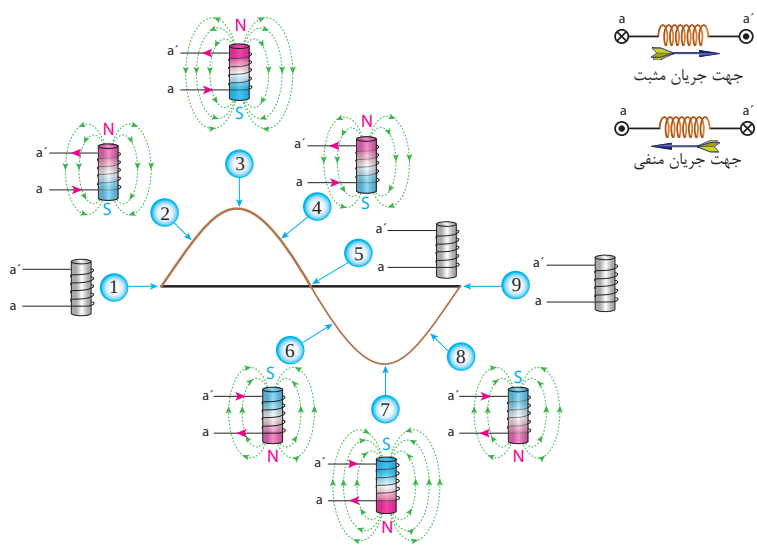
در این بخش پس از معرفی ساختار ماشین القایی سه فاز، ثابت می‌شود که چگونه با عبور جریان سه فاز از سه سیم‌پیچ استاتور ماشین القایی می‌توان میدان دوار ایجاد کرد به‌طوری که این میدان پیرامون هسته استاتور گردش نموده و بدین ترتیب شرایط لازم برای چرخش رتور را فراهم کند.

البته برای اثبات موضوع فوق از معادلات ریاضی بهره می‌گیرند ولی از آنجا که

می‌توان این موضوع را با دلایل فیزیکی نیز شرح داد، لذا برای اثبات میدان دوار از تشریح فیزیکی میدان استفاده می‌گردد.

در آغاز انواع میدان‌های ایجاد شده توسط جریان‌های مستقیم و متناوب یادآوری می‌شود. مطابق شکل پایین با عبور جریان DC از یک سیم‌پیچ می‌توان میدان ثابت ایجاد کرد. زیرا اندازه و جهت این میدان همواره ثابت است. همچنین با عبور جریان متناوب تک فاز میدانی متغیر ایجاد می‌شود که به‌صورت ضربانی جهت آن در هر نیم سیکل مرتب تغییر می‌کند که به آن میدان ضربانی می‌گویند. جهت میدان‌های مغناطیسی اطراف سیم‌پیچ در جریان متناوب تک‌فاز مطابق شکل پایین می‌باشد.





پیکان نشان داده شده در شکل بالا جهت جریان فرضی وارد و خارج شده از سیم‌پیچ را نشان می‌دهد.

تحقیق کنید:

چرا هستهٔ استاتور ماشین‌های القایی را به صورت ورقه ورقه و با پسماند کم می‌سازند؟

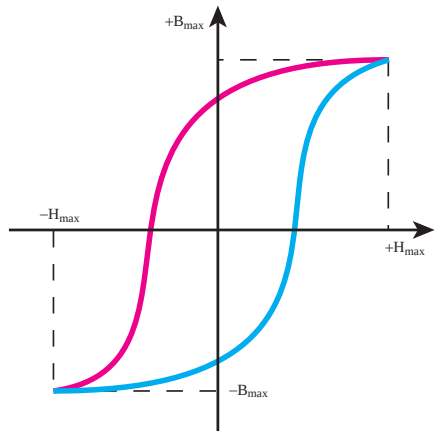
پاسخ:

هسته استاتور، مجموعه‌ای از ورق‌های فولادی است که دارای شیار در سطح داخلی آن می‌باشد که پس از قرار گرفتن در کنار هم تشکیل یک حجم استوانه‌ای توخالی را می‌دهد.

سیم‌پیچ‌های سه فاز ماشین القایی در داخل همین شیارها قرار می‌گیرند. در فصل قبل با پدیده هیسترزیس و فوکو آشنا شدید. در ماشین‌های القایی نیز به دلیل تلفات هیسترزیس، جنس هسته باید از فولاد الکتریکی با پسماند کم انتخاب شود تا تلفات هیسترزیس ماشین به حداقل ممکن برسد. همچنین برای کاهش تلفات فوکو نیز از روش ورق، ورق کردن هسته بهره می‌گیرند.

تلفات هیسترزیس

اگر نیروی محرکه مغناطیسی در مدار مغناطیسی به‌طور متناوب تغییر جهت دهد در این صورت منحنی B ـ H یعنی چگالی میدان مغناطیسی برحسب شدت میدان مغناطیسی مطابق شکل خواهد شد.



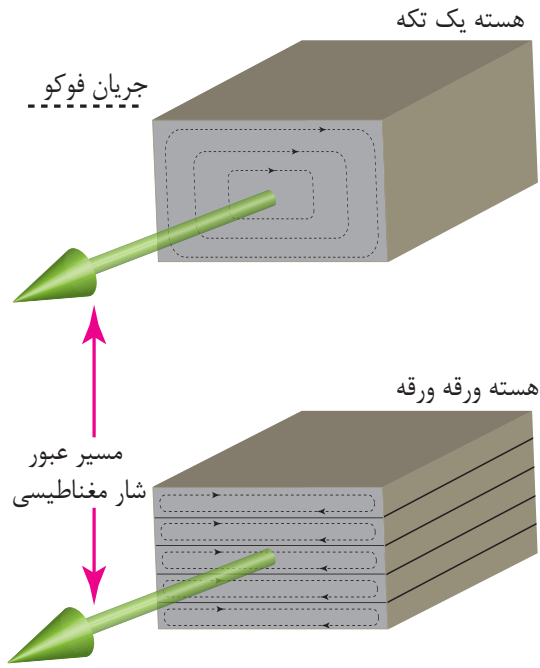
حلقه نشان داده شده در شکل را حلقه هیسترزیس می‌گویند. این حلقه بیانگر آن است که در هر سیکل برای تغییر جهت میدان مغناطیسی در مولکول‌های هسته انرژی الکتریکی لازم است. هرچه حلقه باریک‌تر باشد مساحت آن کمتر و در نتیجه انرژی تلف شده به‌صورت گرما در آن کمتر خواهد بود و بالعکس. به مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان صرف تغییر جهت شار مغناطیسی در هسته می‌شود را تلفات هیسترزیس گویند.

مقدار تلفات هیسترزیس به فرکانس و جنس هسته بستگی دارد. برای کاهش تلفات هیسترزیس جنس هسته از مواد فرومغناطیس با پسماند کم انتخاب می‌شود. هرچه فرکانس شبکه بیشتر باشد عمل تغییر جهت میدان مغناطیسی سریع‌تر صورت می‌گیرد لذا افزایش فرکانس باعث افزایش تلفات هیسترزیس می‌شود اما از آنجا که فرکانس شبکه جنس هسته جزء ثابت ساختمان ترانسفورماتور هستند پس مقدار این تلفات ثابت می‌باشد.

تلفات فوکو

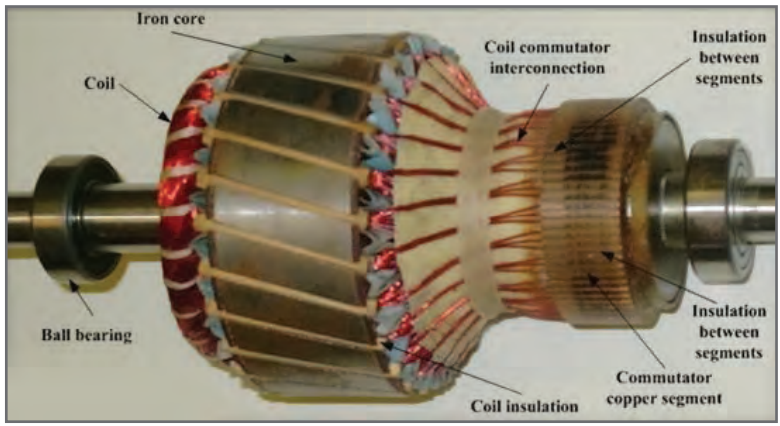
با عبور شار مغناطیسی از هسته، در هستهٔ ترانسفورماتور نیز نیروی محرکه القا می‌شود و چون هسته ترانسفورماتور هادی است، لذا جریان الکتریکی در آن القا می‌شود. مسیر حرکت جریان القایی هسته عمود بر مسیر عبور شار و مانند گرداب در مقطع هسته می‌باشد به همین خاطر آن را جریان گردابی می‌گویند.

در شکل برش مقطعی از یک هسته و مسیر جریان گردابی نشان داده شده است. با جاری شدن جریان گردابی در هسته، به‌دلیل وجود مقاومت الکتریکی آن، هسته ترانسفورماتور گرم می‌شود. مقدار انرژی که در واحد زمان ناشی از جریان‌های گردابی در هسته به گرما تبدیل می‌شود را تلفات فوکو گویند.

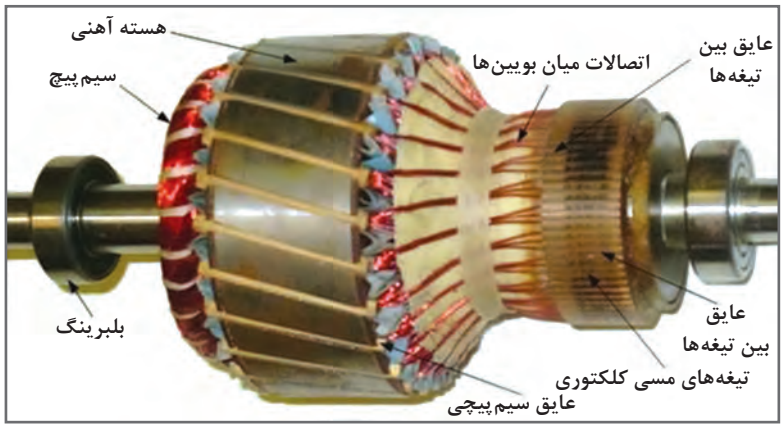


کار در کلاس:

اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.

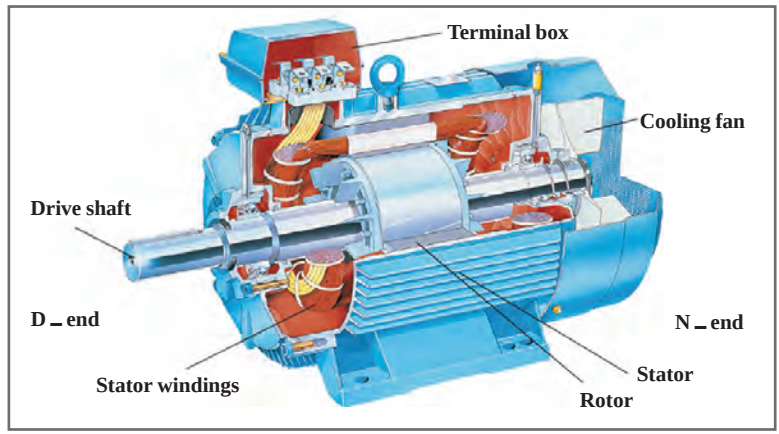


پاسخ:

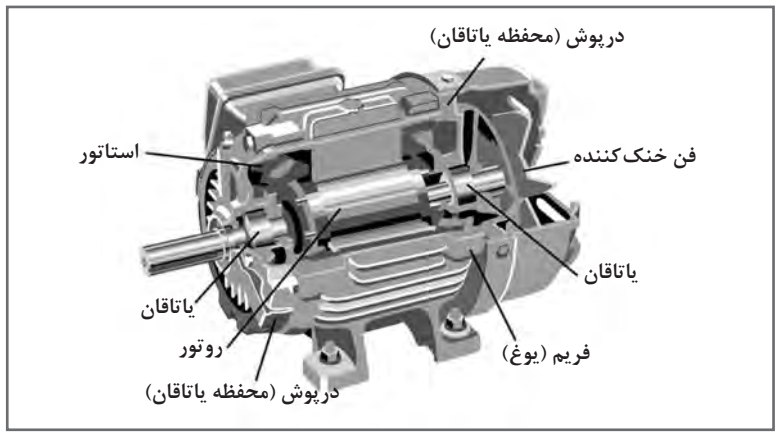


کار در کلاس:

اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.



پاسخ:

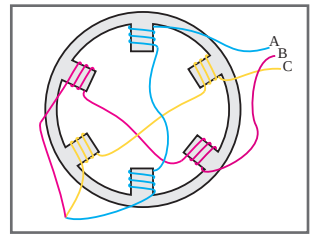


تحقیق کنید:

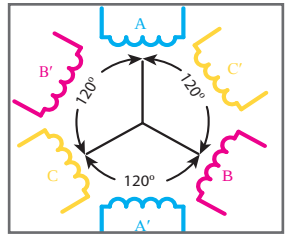
در مورد چگونگی ایجاد میدان دوّار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

پاسخ:

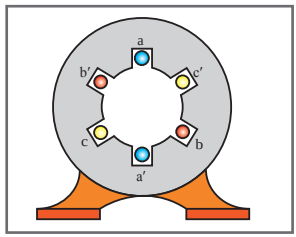
در ادامه نشان داده می‌شود که با عبور جریان‌های متناوب سه فاز در سه سیم‌پیچ مطابق شکل پایین میدان‌های گردشی یا دوار ایجاد خواهد شد. شکل (الف) سیم‌بندی سه فازه ماشین القایی دوقطبی ساده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (ب ،ج) سیم‌پیچ‌های سه فاز a,b,c در بدنه استاتور، با اختلاف ۱۲۰ درجه مکانی نسبت به یکدیگر جاسازی شده‌اند در این ماشین بازوی برگشت سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور، ماشین را به دو نیم تبدیل نموده است یعنی بازوی رفت سیم‌پیچ مثلاً a با بازوی برگشت آن یعنی a′، ۱۸۰ درجه اختلاف مکانی دارد بنابراین در این ماشین القایی میدان دو قطبی ایجاد می‌شود.



الف)شمای واقعی با ماشین القایی



ب) نمایش کلاف‌ها بر اساس موقعیت مکانی

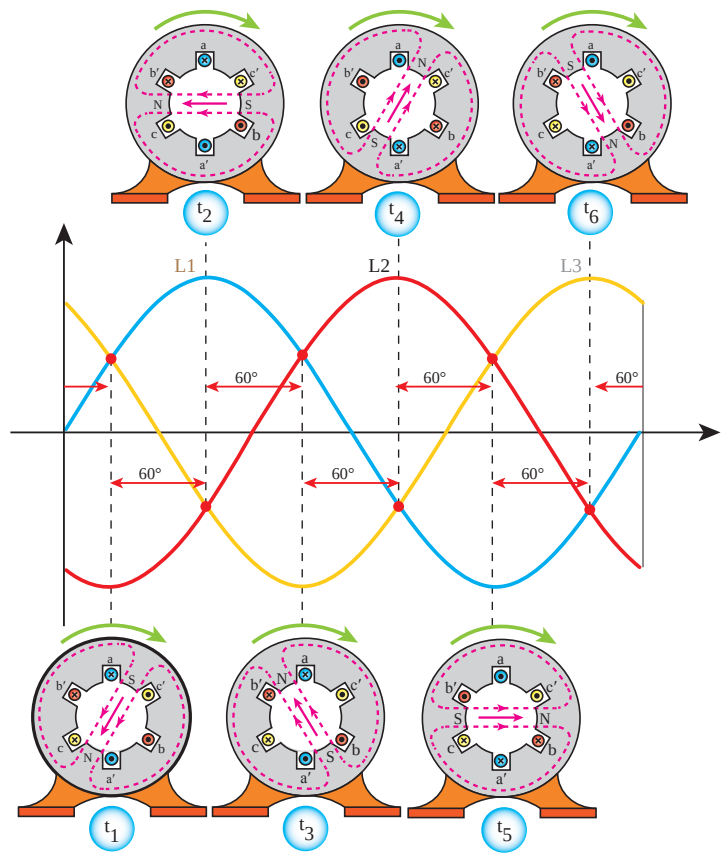


ج) شمای تک حلقه سیم‌بندی ماشین القایی با سیم‌پیچ گسترده براساس موقعیت مکانی با سیم‌پیچ متمرکز

د) شکل واقعی ماشین القایی سیم‌پیچ متمرکز مدل آزمایشگاهی

برای شروع انتهای سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور یعنی (a′ , b′ , c′) را با اتصال ستاره به هم متصل کرده و ابتدای آنها یعنی (a,b,c) را به منبع برق سه فاز با

ولتاژ مناسب، وصل می‌کنند. بلافاصله پس از اتصال برق سه فاز به سیم‌پیچ‌های استاتور، جریان الکتریکی در آن جاری می‌شود و سپس در هادی‌های هر سیم‌پیچ متناسب با جهت جریان عبوری از آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.
برای تحلیل آسان‌تر میدان دوار، اندازه و جهت جریان‌های سه فازه شکل پایین در زمان‌های t_1 تا t_6 در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه فاصله هر یک از نمونه‌های زمانی ۶۰ درجه از یکدیگر می‌باشد. بنابراین با تحلیل این ۶ نقطه می‌توان گردش کامل میدان دوار را در مسیر دایره‌ای (یعنی ۳۶۰ درجه) بررسی نمود.



کار در کلاس:
استاتور موتور سه فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانس‌های ۵۰ و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟

پاسخ:

$$۲P=۶ \quad \rightarrow \quad P=۳ \quad , \quad NS=\frac{F\times ۶۰}{p}$$

$$F=۵۰Hz \rightarrow NS=\frac{۵۰\times ۶۰}{۳}=۱۰۰۰rpm$$

$$F=۶۰Hz \rightarrow NS=\frac{۶۰\times ۶۰}{۳}=۱۲۰۰rpm$$

مثال:

رتور موتور القایی چهار قطب در فرکانس ۵۰HZ با سرعت ۱۴۵۰RPM می‌چرخد مطلوب است سرعت لغزش و لغزش این موتور القایی:

پاسخ:

$$n_s \frac{۱۲۰f}{p}=\frac{۱۲۰\times ۵۰}{۴}=۱۵۰۰RPM$$

$$\Delta n = n_s - n_r = ۱۵۰۰ - ۱۴۵۰ = ۵۰RPM$$

$$S=\frac{\Delta n}{n_s}=\frac{۵۰}{۱۵۰۰}=۰/۰۳$$

$$۰/۰۳\times ۱۰۰ = ۳٪$$

کار در کلاس:

یک موتور القایی دو قطب در هر دقیقه ۲۸۵۰ دور می‌زند. لغزش موتور در فرکانس ۵۰ هرتز شبکه، چند درصد است؟ در لغزش ۸ درصد، سرعت رتور چند دور در دقیقه خواهد شد؟

پاسخ:

$$۲P \quad , \quad f = ۵۰Hz \quad , \quad Nr = ۲۸۵۰ \ r.p.m$$

$$NS=\frac{F\times ۶۰}{p}=\frac{۵۰\times ۶۰}{۱}=۳۰۰۰rpm$$

$$٪S=\frac{NS-Nr}{NS}\times ۱۰۰=\frac{۳۰۰۰-۲۸۵۰}{۳۰۰۰}\times ۱۰۰ \quad \rightarrow \quad ٪S = ٪۵$$

$$S=\frac{NS-Nr}{NS} \quad \rightarrow \quad SN_S = N_S - N_r \quad \rightarrow \quad N_r = N_S(۱-S)$$

$$N_r = ۳۰۰۰(۱ - ۰/۰۸) = ۲۷۶۰rpm$$

کار در کلاس:

یک موتور القایی شش قطب با فرکانس ۵۰ هرتز، به شبکه متصل و در بار نامی، دارای لغزش ۵ درصد است. سرعت حرکت رتور چقدر است؟

پاسخ:

$$N_S = \frac{F \times ۶۰}{p} = \frac{۵۰ \times ۶۰}{۳} = ۱۰۰۰ \text{rpm}$$

$$N_r = N_S\,(۱ - S) = ۱۰۰۰ \times (۱ - ۰/۰۵) = ۹۵۰ \text{RPM}$$

فعالیت

تغییرات لغزش (S) و سرعت لغزش (Δn) به چه عاملی بستگی دارد؟

پاسخ:

در ماشین القایی به اختلاف سرعت رتور (n_r) با سرعت میدان دوار (n_s) سرعت لغزش می‌گویند و آن را با رابطه زیر نشان می‌دهند.

$$\Delta n = ns - nr$$

از آنجا که سرعت رتور متغیر است لذا سرعت لغزش هم به تناسب آن تغییر می‌کند. نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را لغزش می‌گویند و آن را با S نمایش می‌دهند.

$$S = \frac{\Delta n}{n_s}$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

معمولاً لغزش را در ماشین‌های القایی به‌صورت درصد نمایش می‌دهند و آن را از رابطه زیر محاسبه می‌کنند.

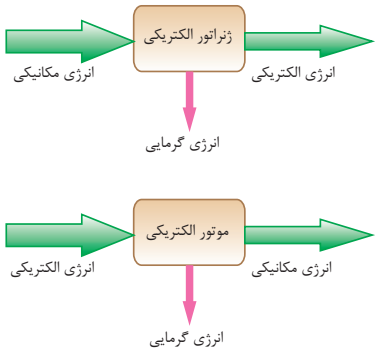
$$\% S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times ۱۰۰$$

تحقیق کنید:

در مورد توان اکتیو و راکتیو تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

پاسخ:

ماشین الکتریکی به‌عنوان موتور، انرژی الکتریکی را از طریق میدان مغناطیسی به

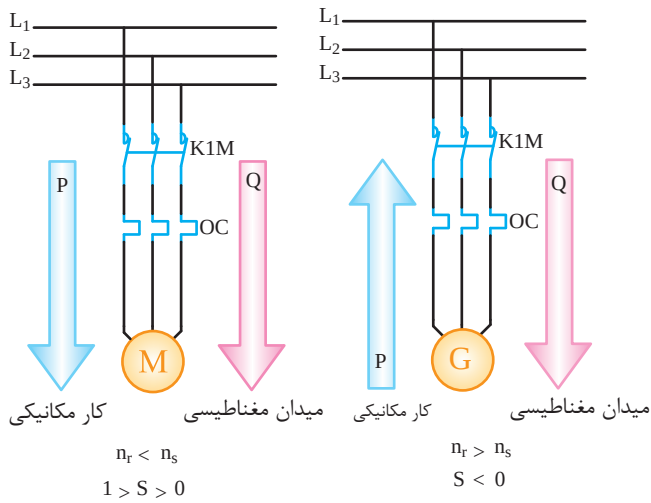


انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. همچنین به ماشینی که انرژی مکانیکی را با کمک میدان مغناطیسی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند، ژنراتور می‌گویند. بنابراین عملکرد ژنراتور دقیقاً عکس حالت موتور الکتریکی تعریف می‌شود. تعاریف ژنراتور و موتور به‌صورت طرح‌واره در شکل روبه‌رو نشان داده شده است.

ماشین القایی، میتواند هم به‌صورت ژنراتور و یا به عنوان موتور استفاده شود. ماشین القایی در حالت موتوری از شبکه برق توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) جذب می‌کند. که توان اکتیو (P) را به مصرف خروجی جهت غلبه بر بار مکانیکی می‌رساند و البته بخشی از آن نیز تلف می‌شود. توان راکتیو را موتور القایی برای ایجاد میدان دوار مغناطیسی نیاز دارد.

شکل پایین این واقعیت را نمایش می‌دهد. البته سمت انتقال توان اکتیو و راکتیو (Q,P) در موتورها از شبکه برق به طرف موتور می‌باشد.

اما در حالتی که ماشین القایی به عنوان ژنراتور استفاده شود، قدرت مکانیکی (ورودی) به محور ماشین القایی مطابق شکل پایین به‌صورت توان اکتیو (P) به شبکه برق تحویل می‌شود البته به شرطی که توان راکتیو (Q) مورد نیاز ماشین تأمین شود.



تحقیق کنید:

در مورد چگونگی اتصال ژنراتور القایی به شبکه برق تحقیق کرده و نتیجه را به کلاس ارائه دهید.

برای تأمین توان راکتیو (Q) دو راه وجود دارد: الف) اتصال ژنراتور القایی به شبکه برق ب) استفاده از خازن

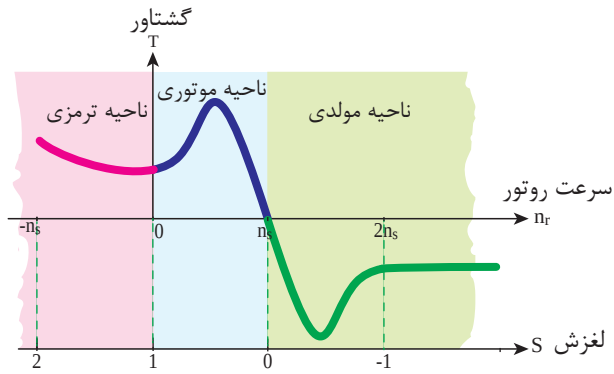
پاسخ:

اتصال ژنراتور القایی به شبکه برق

در این حالت ژنراتور القایی، توان راکتیو (Q) را از شبکه برق سه فاز دریافت نموده و در نتیجه توان اکتیو (P) را به شبکه برق تحویل می‌دهد. البته نباید فراموش کرد که باید سرعت رتور از سرعت میدان دوار بیشتر باشد ($n_s < n_r$) در این صورت لغزش منفی است ($S < 0$) تا ماشین القایی در ناحیه ژنراتوری قرار گیرد.

با اتصال ژنراتور القایی به شبکه برق، سرعت میدان دوار همواره ثابت و از رابطه بالا تبعیت می‌کند و چون سرعت رتور به سرعت محرک مکانیکی وابسته می‌باشد، تأثیری بر فرکانس ندارد. اما از آنجا که ژنراتور با فرکانس ثابت شبکه کار می‌کند، توان اکتیو تحویلی به شبکه فقط به سرعت رتور بستگی دارد.

بنابراین ژنراتور القایی، ژنراتوری است که می‌تواند با دور متغیر کار کند بدون آنکه تأثیری روی فرکانس شبکه ایجاد نماید کاربرد این نوع ژنراتورها در نیروگاه‌های بادی است. زیرا سرعت باد را نمی‌توان کنترل نمود.

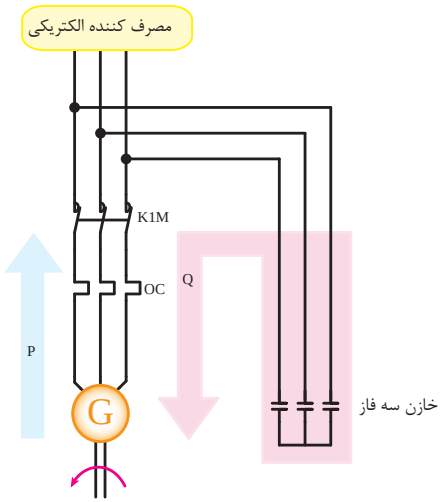


نکته

هر چه سرعت رتور ژنراتور سریع‌تر باشد توان اکتیو تولید شده بیشتر است و بالعکس با کاهش سرعت، توان اکتیو کمتری به شبکه تحویل می‌شود.

استفاده از خازن (مولد القایی در حالت منفرد)

هرگاه از ژنراتور القایی به‌صورت منفرد استفاده شود، باید توان راکتیو موردنیاز آن را مطابق شکل پایین توسط خازن تأمین نمود.



با توجه به وابستگی فرکانس به سرعت چرخش رتور و منفرد بودن ژنراتور، فرکانس برق تولید شده در این حالت کاملاً به سرعت رتور وابسته است. لازم به ذکر است که شرط ایجاد ولتاژ، وجود پسماند مغناطیسی در رتور این‌گونه ژنراتورها می‌باشد. کاربرد این ژنراتورها در مواردی است که بار مصرفی فقط از نوع اکتیو باشد. (مانند ژنراتورهای جوشکاری)

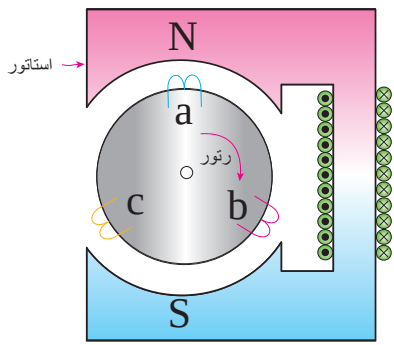
کار در کلاس:

به چه دلایلی القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم‌پیچ‌های استاتور، مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد.

پاسخ:

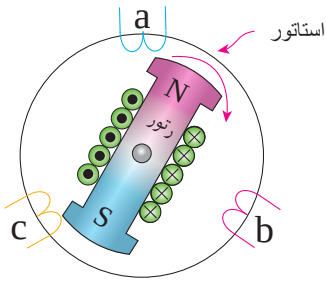
ژنراتور سنکرون سه فاز به دو روش انرژی الکتریکی تولید می‌کند:

به کمک میدان مغناطیسی ساکن:



در این حالت میدان مغناطیسی ساکن به‌وسیله سیم‌پیچ تحریک درون استاتور به‌وجود می‌آید و سه سیم‌پیچ مشابه با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° روی رتور قرار داده می‌شود و در داخل میدان مغناطیسی ساکن استاتور چرخانده می‌شود (مطابق شکل روبه‌رو).

به کمک میدان مغناطیسی دوار: در این حالت میدان مغناطیسی به‌وسیله سیم‌پیچ تحریک برروی رتور به‌وجود می‌آید و با چرخش رتور میدان مغناطیسی دوار فراهم می‌شود و سیم‌پیچ مشابه درون استاتور با اختلاف فاز مکانی° ۱۲۰ قرار داده می‌شود (مطابق شکل مقابل).



در ماشین‌های سنکرون سیم‌پیچ تولیدکننده میدان مغناطیسی را سیم‌پیچ تحریک و جریان عبوری از آن را جریان تحریک می‌گویند.

البته القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم‌پیچ‌های استاتور مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد زیرا:

الف) جریان تحریک خیلی کمتر از جریان آرمیچر می‌باشد و در نتیجه ارتباط آن از طریق حلقه‌های لغزان و جاروبک آسان‌تر و بی‌دردسرتر است.

ب) عایق‌بندی سیم‌پیچ‌های رتور به علت داشتن ولتاژ پایین (زیر ۱۰۰۰ ولت) بسیار آسان و ساده است.

ج) دریافت ولتاژ و جریان بالای سه فاز، از ترمینال‌های ثابت استاتور به سادگی امکان‌پذیر است.

د) از آنجا که قدرت ژنراتورهای نیروگاهی غالباً زیاد است، حجم سیم‌بندی القاشونده و در نتیجه وزن آن به مراتب بیشتر ازسیم‌پیچ تحریک بوده و لذا پیاده‌سازی آن بر روی رتور (که دائماً متحرک می‌باشد،) مشکل عدم توازن وزن مکانیکی را در پی خواهد داشت. هر چند دلایل فوق استفاده از چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور را در تمامی موارد توجیه می‌کند، اما گاهی در ژنراتورهای با قدرت کم از میدان مغناطیسی ساکن در استاتور و تولید ولتاژ سه فاز توسط سیم‌پیچ‌های رتور استفاده می‌شود. در ادامه، ژنراتورهای سنکرونی بررسی خواهند شد که اصول عملکردشان همان چرخش میدان مغناطیسی است.

مثال:

رتور یک ژنراتور دو قطبی با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه می‌چرخد، در نتیجه، فرکانس ولتاژ تولید شده ۵۰ هرتز خواهد شد یعنی:

$$f = \frac{n_s \times p}{۱۲۰}$$

$$f = \frac{۳۰۰۰ \times ۲}{۱۲۰} = ۵۰Hz$$

رابطه، همان رابطهٔ سرعت سنکرون در ماشین‌های القایی است که در اینجا برحسب فرکانس بیان شده است.

کار در کلاس:

می‌خواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتوری ۵۰ هرتز باشد:

پاسخ:

الف) اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد، محور ژنراتور را با چه سرعتی بچرخانیم؟

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \Rightarrow n_s = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۴} = ۱۵۰۰ RPM$$

ب) اگر سرعت رتور (محور ژنراتور)، ۷۵۰ rpm باشد، از ژنراتور چند قطبی باید استفاده کرد؟

$$P = \frac{۱۲۰ \times f}{n_s} \Rightarrow n_s = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۷۵۰} = ۸$$

تحقیق کنید:

مزایای استفاده از چند ژنراتور سنکرون به جای یک ژنراتور بسیار بزرگ را بنویسید.

پاسخ:

موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

در نیروگاه‌ها به جای یک ژنراتور بزرگ از چند ژنراتور کوچک‌تر به صورت موازی با یکدیگر استفاده می‌شود، علت این کار:

- بالا بردن ضریب اطمینان تأمین شبکه برق
- تغییر دائم قدرت درخواستی از شبکه

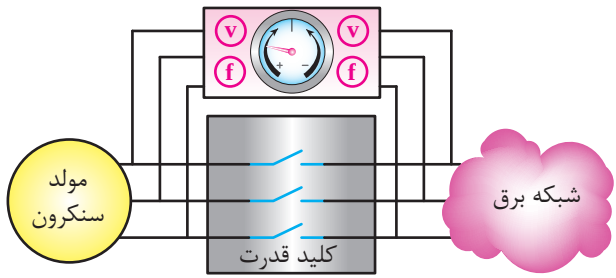
شرایط موازی کردن ژنراتورها

- برابری ولتاژ خروجی ژنراتورها
- برابری فرکانس ژنراتورها
- رعایت توالی فاز در ژنراتورها

برای انجام عملیات موازی کردن دو ژنراتور سنکرون با هم و یا یک ژنراتور سنکرون با شبکه برق سراسری از مداری مطابق شکل پایین استفاده می‌شود. مدار موازی‌سازی شامل دو دستگاه ولت‌متر، دو فرکانس متر و یک دستگاه سنکرونسکوپ می‌باشد.

یکی از ولت متر و فرکانس مترها ولتاژ و فرکانس طرف ژنراتور و دیگری ولتاژ و فرکانس طرف شبکه برق را اندازه‌گیری می‌کند. نشانگر سنکرونسکوپ زاویه فاز

بین ولتاژهای شبکه و ژنراتور را جهت کنترل توالی فازها نشان می‌دهد. وجود این سه دستگاه در تابلوی فرمان نیروگاه برای عمل موازی‌سازی لازم است. برای برابر شدن ولتاژ ژنراتورها جریان تحریک آنها را تغییر می‌دهند و برای تساوی شدن فرکانس آنها سرعت ژنراتورها را تنظیم می‌کنند.



سرعت چرخش عقربه سنکرونسکوپ به اختلاف فاز بین ژنراتور و شبکه برق بستگی دارد. هنگامی که عقربه دستگاه سنکرونسکوپ در وسط و روی عدد صفر ایستاد بهترین زمان وصل کلید قدرت بوده و موازی کردن ژنراتور بلامانع است.

کار در کلاس:

به چه دلیل موتورهای سنکرون هنگام راه‌اندازی نیاز به یک راه‌انداز کمکی دارند؟

پاسخ:

اصول کار موتور سنکرون

اگر سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور موتور سنکرون را به شبکه سه فاز متصل کنیم، مطابق آنچه که در موتورهای القایی گفته شد، میدان دواری با سرعت nsطبق رابطه زیردر داخل موتور ایجاد می‌گردد.

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p}$$

اگر سیم‌پیچی رتور این موتورکه مانند رتور ژنراتورهای سنکرون است و تعداد قطب‌های آن با تعداد قطب‌های استاتور برابر می‌باشد را به منبع ولتاژ DC متصل کنیم، بر اثر عبور جریان تحریک از آن، رتور ماشین تبدیل به آهنربای دائم با تعداد قطب‌هایی متناسب با میدان گردان می‌شود. اما از آنجا که سرعت میدان دوار (مثلاً با فرکانس ۵۰ HZ) خیلی زیاد است، قطب‌های ساکن رتور، قطب‌های دوار را لحظه‌ای در مقابل و خیلی سریع در مخالف خود می‌بینند، بنابراین گشتاور یا نیروی راه‌اندازی به آن وارد نمی‌شود و رتور حرکت نمی‌کند. اما اگر رتور را با سرعتی نزدیک به سرعت سنکرون به حرکت در آوریم در این حالت دو قطب غیر همنام رتور و میدان دوار با یکدیگر قفل شده و با سرعت ثابت (میدان دوار) و در جهت چرخش میدان شروع به گردش می‌کنند. چون گشتاور راه‌اندازی موتور سنکرون صفر است پس موتور سنکرون نیاز به راه‌انداز دارد.

تحقیق کنید:

در مورد روش‌های راه‌اندازی موتور سنکرون تحقیق کنید و نتیجه را به‌صورت پرده‌نگار نمایش دهید.

پاسخ:

روش‌های راه‌اندازی موتور سنکرون

راه‌اندازی داخلی: برای راه‌اندازی موتورهای سنکرون به این شیوه از رتورهایی که بر روی آنها میله‌های قفس سنجابی تعبیه گردیده، استفاده می‌شود. بدین ترتیب که موتور در لحظهٔ راه‌اندازی مانند موتور القایی راه می‌افتد و بعد از آنکه سرعت رتور به ۷۵٪ سرعت میدان دوار رسید جریان تحریک سیم‌پیچ رتور را برقرار می‌کنند، لذا موتور به‌صورت سنکرون به‌کار خود ادامه خواهد داد. به این روش راه‌اندازی روش القایی نیز می‌گویند. از دیگر ویژگی‌های میله‌های قفس سنجابی در رتور موتورهای سنکرون خنثی کردن ضربات ناشی از بار به موتور در شرایط اضافه بار می‌باشد.

راه‌اندازی خارجی: در این روش به کمک یک محرک خارجی موتور سنکرون را راه‌اندازی می‌نمایند، سپس محرک خارجی را خاموش و از سیستم خارج می‌کنند.

بحث کلاسی

دلیل استفاده از خازن راه‌انداز در موتورهای القایی با خازن راه‌انداز را بررسی کنید.

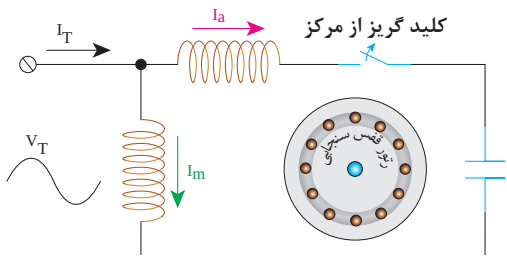
پاسخ:

موتورهای القایی با خازن راه‌انداز: شکل پایین ایجاد اختلاف فاز جریان سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز را به کمک یک خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز نشان می‌دهد.

با محاسبه مقدار مناسب ظرفیت خازن می‌توان اختلاف زاویه بین دو جریان را در زمان راه‌اندازی به ۹۰ درجه رساند. در نتیجه گشتاور راه‌اندازی چنین موتوری بسیار خوب می‌باشد. زیرا بیشترین مقدار گشتاور در موتور القایی تک‌فاز با ایجاد این زاویه به‌دست می‌آید.

بعد از راه‌اندازی موتور، عبورجریان زیاد از خازن باعث سوختن آن می‌شود به همین خاطر باید خازن را توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج کرد.

با توجه به اینکه از خازن راه‌انداز جریان زیادی عبور می‌کند، باید ظرفیت آن نیز زیاد باشد. از طرفی چون این خازن مدت کوتاهی در مدار است بنابراین می‌توان از خازن‌های الکترولیتی استفاده کرد، زیرا با در نظر گرفتن ظرفیت خازن‌های الکترولیتی، حجم آنها کوچک و قیمتشان ارزان است. موتورهای القایی با خازن راه‌انداز مشخصه راه‌اندازی خوبی داشته و به‌طور کلی در وسایلی همچون کمپرسورها، دستگاه‌های چند کاره نجاری و... کاربرد دارند.



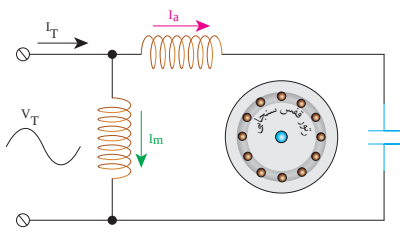
تحقیق کنید:

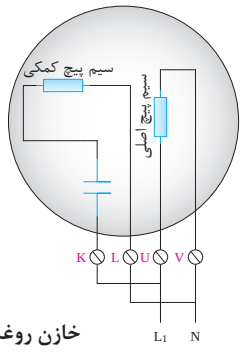
به چه دلایلی موتور القایی با خازن دائم کار را در وسایل خانگی استفاده می‌کنند؟

پاسخ:

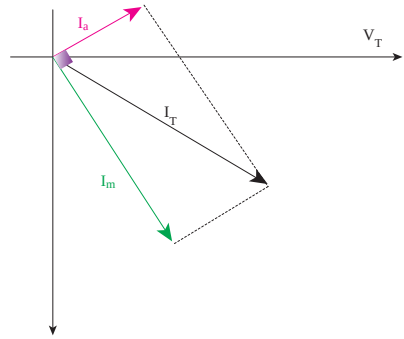
موتور القایی با خازن دائم کار: اگر مطابق شکل پایین خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز طوری محاسبه گردد تا در موقع راه‌اندازی اختلاف فاز اندک ولی در زمان کار، اختلاف فاز تقریباً ۹۰ درجه شود می‌توان خازن را در مدار نگه داشت. در این صورت مقدار ظرفیت خازن دائم کار نسبت به خازن راه‌انداز کمتر است و در زمان راه‌اندازی جریان کمتری از آن عبور می‌کند. از طرفی چون خازن دائم کار مدت زمان بیشتری باید در مدار بماند بنابراین خازن الکترولیت برای آن مناسب نیست. لذا خازن این موتورها از نوع روغنی انتخاب می‌شود که قیمت آنها گران‌تر از خازن‌های الکترولیت است.

- راندمان، ضریب قدرت و گشتاور کار این موتورها در حالت کار بسیار خوب است.
- به دلیل اینکه سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج نمی‌شود در نتیجه سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز را در این موتورها مانند هم در نظر می‌گیرند و هر کدام نصف شیارهای استاتور را اشغال می‌کنند.
- از خصوصیات خوب این موتورها سر و صدای کم در زمان کار می‌باشد ضمن آنکه با تغییر ولتاژ سرعتشان قابل کنترل است. به همین خاطر در وسایلی همچون پنکه، ماشین لباسشویی خانگی و هر جایی که تغییر بار در نقطه کار نداشته باشیم، مناسب است.





خازن روغنی



فعالیت کلاسی

در ابتدای راه‌اندازی موتورهای القایی دو خازنی، دو خازن به چه صورت در مدار قرار می‌گیرند؟

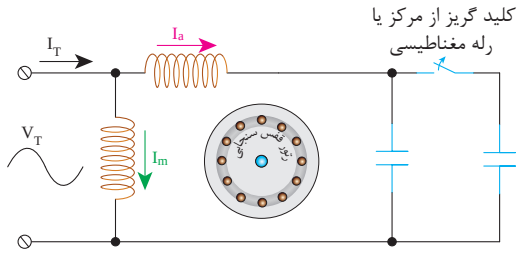
پاسخ:

موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار): اگر در موتور القایی از هر دو خازن دائم کار و راه‌انداز مطابق شکل پایین هم زمان استفاده شود، موتور را دو خازنی می‌گویند.

همان‌طور که در بخش‌های پیشین به آن اشاره شد خازن راه‌انداز از نوع الکترولیتی و با ظرفیت زیاد می‌باشد در حالی که خازن دائم کار از نوع روغنی و دارای ظرفیت کم است.

در ابتدای راه‌اندازی موتور، هر دو خازن با هم موازی بوده و با سیم‌پیچ راه‌انداز به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرند ولی پس از رسیدن دور موتور به ۷۵ درصد دور نامی به وسیله کلید گریز از مرکز خازن راه‌انداز از مدار خارج می‌شود و تنها خازن روغنی در مدار باقی می‌ماند. به دلیل وجود این دو خازن، این نوع موتورها هم دارای مشخصه گشتاور راه‌اندازی خوب می‌باشند و هم در زمان کار آرام و بی‌صدا کار می‌کنند. در این موتورها سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز شبیه یکدیگر در نظر گرفته می‌شود.

این موتورها غالباً جزء موتورهای صنعتی محسوب می‌شوند و در وسایلی مانند ماشین لباسشویی صنعتی، یخچال‌های صنعتی، موتورهای بالابر و... کاربرد دارند.



کار در کلاس:

در کدام یک از لوازم خانگی ازموتور یونیورسال استفاده می‌شود.

پاسخ:

موتور یونیورسال: رابطهٔ گشتاور آن از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$T = kI^{2}$

در رابطه بالا

K ضریبی است که به ساختمان داخلی موتور سری بستگی دارد

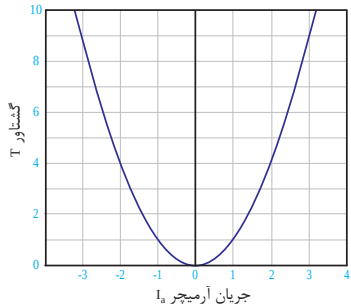
Ia جریان عبوری از آرمیچر برحسب آمپر

T گشتاور موتور برحسب N_m

با توجه به رابطه گشتاور موتور سری رابطه مجذوری با جریان آرمیچر دارد. به‌طور مثال تغییرات گشتاور براساس جریان آرمیچر به‌ازای K=۱ به صورت منحنی شکل زیر در خواهد آمد.

با توجه به شکل زیر، با تغییر جهت جریان آرمیچر، مقدار گشتاور یا نیروی وارد شده به محور منفی نمی‌شود بنابراین جهت گشتاور همواره مثبت بوده و عوض نمی‌گردد. از آنجایی که تغییر جهت جریان تنها براساس تغییر پلاریته ولتاژ اعمالی بر موتور امکان‌پذیر است بنابراین با اتصال منبع تغذیه جریان متناوب به موتور سری، این موتور با رفتار مشابهی که در جریان مستقیم دارد می‌تواند استفاده شود.

البته بدیهی است برای عملکرد بدون آسیب موتور، باید اندازهٔ ولتاژ مؤثر منبع تغذیه متناوب، معادل مقدار ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم باشد. از آنجا که این موتورها می‌توانند با هر دو نوع جریان متناوب و یا مستقیم کار کنند، موتورهای یونیورسال نامیده می‌شوند.



باید توجه داشت با اتصال موتور سری به جریان متناوب، علاوه‌بر مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌های موتور به دلیل وجود اندوکتانس آن، مقاومت القایی نیز به مدار اضافه می‌شود در نتیجه امپدانس آن افزایش می‌یابد، بنابراین به نسبت اتصال موتور به جریان مستقیم، جریان کمتری از سیم‌پیچ های موتور عبور می‌کند.

با مفهوم عکس العمل آرمیچر در درس ماشین الکتریکی DC آشنا شده‌اید. پدیدهٔ عکس‌العمل آرمیچر با عبور جریان متناوب از موتور سری هم ایجاد می‌شود که باعث تضعیف میدان اصلی موتور و تغییر مکان صفحهٔ خنثی می‌گردد.

برخلاف جریان مستقیم، با اتصال موتور یونیورسال به جریان متناوب، در هستهٔ سیم‌پیچ تحریک نیز، تلفات فوکو و هیسترزیس ایجاد خواهد شد و در نتیجه برای مقابله با آن باید جنس هسته از فولاد مغناطیسی مرغوب و به صورت ورقه ورقه ساخته شود.

به‌طور کلی برای بهبود عملکرد موتور یونیورسال در جریان متناوب باید ملاحظات ویژه‌ای در طراحی، ساختمان و سیم‌پیچی آن رعایت شود.

یکی از خصوصیات موتور یونیورسال افزایش سرعت آن در بی‌باری و کاهش سرعت آن در زیر بار می‌باشد. این همان خاصیت موتور سری است. زیرا بر اثر کاهش جریان آرمیچر Ia، فوران (شار مغناطیسی قطب‌ها) نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه برای جبران ولتاژ آرمیچر طبق رابطه پایین، رتور باید با سرعت بیشتری بچرخد.

$$Ea = k\varphi\omega$$

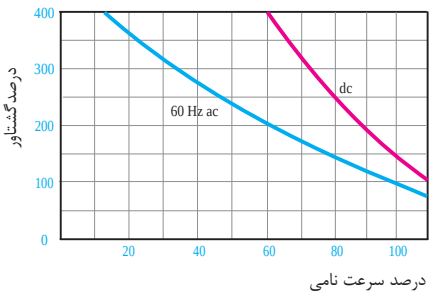
ولتاژ آرمیچر برحسب ولت

K ضریب ثابتی است که به ساختمان موتور بستگی دارد

φ شار مغناطیسی زیر هر قطب برحسب وبر

ω سرعت زاویه رتور برحسب رادیان بر ثانیه

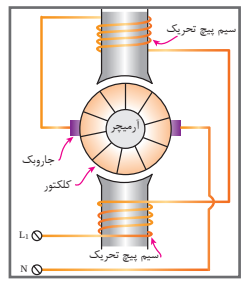
البته گشتاور موتور یونیورسال به‌دلیل وجود راکتانس سیم‌پیچ‌های آرمیچر و قطب‌ها و همچنین عکس‌العمل آرمیچر از موتور سری کمتر است. این تفاوت در مشخصه گشتاور آنها در شکل زیر نشان داده شده است.



از محاسن این نوع موتور حجم کم و سبکی وزن آن به نسبت قدرت تولیدی آن می‌باشد.

همچنین گشتاور فوق‌العاده این موتور در زیر بار، سهولت در کنترل سرعت و استفاده از آن در سرعت‌های بالا (حتی تا ۲۰۰۰۰ RPM) از دیگر مزایای این موتور به‌شمار می‌آید.

این نوع موتور حداکثر تا توان $\frac{3}{4}$ اسب بخار ساخته می‌شود و در وسایل و ابزارهای کارگاهی مانند مته، سنگ فرز وبرخی لوازم خانگی مانند جاروبرقی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

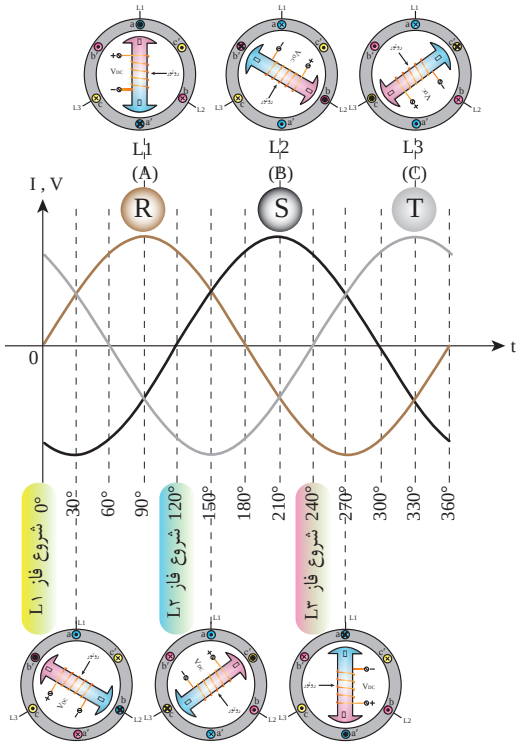


ارزشیابی

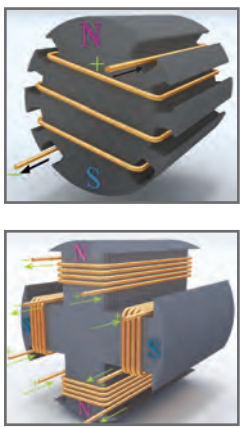
۱ آیا می‌توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟

پاسخ:

در رتور ژنراتور سنکرون با جاری شدن جریان در سیم‌پیچ تحریک میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود تا با چرخش رتور میدان دوار تولید شود. شکل زیر طرح‌واره ایجاد میدان مغناطیسی دوقطبی و چهار قطبی را با سیم‌پیچ‌های رتور ماشین سنکرون نشان می‌دهد. در رتور ماشین سنکرون برای داشتن هسته مغناطیسی، ورقه‌های آهنی سیلیس‌دار را روی هم قرار می‌دهند تا هسته مناسبی برای عبور میدان مغناطیسی ایجاد شود. سپس با قرار دادن سیم‌پیچ‌ها در این هسته و اتصال آنها به منبع جریان مستقیم، رتور ماشین الکترومغناطیس می‌شود. اتصال سیم‌پیچ‌های میدان (تحریک) به منبع جریان مستقیم از طریق دو عدد رینگ و جاروبک صورت می‌گیرد.



تولید ولتاژ سه‌فاز با گردش میدان دو قطبی



طرح واره رتور دوقطبی و چهار قطبی ماشین سنکرون

۲ چرا در ماشین‌های القایی هر چقدر تعداد قطب‌ها بیشتر باشد سرعت میدان دوارکمتر می‌شود؟

پاسخ:

از آنجا که جریان عبوری از سیم‌پیچ ها در یک دوره تناوب فقط یکبار تغییر جهت می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که قطب‌های N و S میدان دوار در این مدت فقط یکبار عوض می‌شود. بنابراین در یک ماشین دو قطبی که قطب‌ها (۳۶۰ درجه) محیط استاتور را اشغال کرده‌اند در یک دوره تناوب، میدان دوار یک دور محیط استاتور را طی می‌کند در حالی که در یک ماشین چهار قطبی که هر دو قطب آن (۱۸۰ درجه) محیط استاتور را اشغال کرده است در یک دوره تناوب، میدان دوار تنها نیم دور (۱۸۰ درجه) محیط استاتور را طی می‌کند. پس می‌توان نتیجه گرفت، افزایش تعداد قطب‌های استاتور باعث کم شدن سرعت میدان دوار می‌شود

۳ سرعت میدان دوار ماشین القایی ۱۰۰۰ RPM و فرکانس شبکه ۵۰ Hz می‌باشد. تعداد قطب‌های ماشین را به‌دست آورید.

پاسخ:

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \rightarrow P = \frac{۱۲۰ \times f}{n_s} = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۱۰۰۰} = ۶ \quad \text{قطب}$$

۴ سرعت چرخش رتور موتور القایی۴ قطب در شبکه ۵۰ HZ برابر با ۱۴۲۵ RPM می‌باشد لغزش آن را به اعشار و درصد محاسبه کنید.

پاسخ:

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۴} = ۱۵۰۰ \text{RPM}$$

$$\% \quad = \frac{N_s \quad N_r}{} \times ۱۰۰ = \frac{۱۵۰۰ \times ۱۴۲۰}{۱۵۰۰} \times ۱۰۰ = \% ۵$$

$$S = ۰/۰۵$$

۵ لغزش موتور القایی که محور آن باسرعت ۲۵۰۰ RPM می‌گردد برابر با ۱/۵- می‌باشد. سرعت میدان دوار آن چقدر است؟

پاسخ:

$$-\frac{۱/۵}{۱۰۰} = -۰/۰۱۵$$

$$N_s = \frac{N_r}{۱ - S} = \frac{۲۵۰۰}{۱ - (-۰/۰۱۵)} = ۲۴۶۳ \text{RPM}$$

۶ منظور از تلفات ثابت و متغیر در ماشین القایی چیست؟

پاسخ:

با توجه به اینکه تلفات مسی در استاتور و تلفات مسی رتور به جریان سیم‌پیچ استاتور و رتور وابسته هستند و این جریان نیز با تغییرات بار، تغییر می‌کند. لذا به مجموع تلفات مسی استاتور و تلفات مسی رتور تلفات متغیر موتور القایی می‌گویند.
تلفات مکانیکی رتور و تلفات هسته در استاتور تلفات ثابت هستند و به مجموع آنها تلفات ثابت موتور القایی می‌گویند.

۷ چرا در ماشین‌های القایی تلفات هسته و تلفات مکانیکی را در تمام مراحل کاری ثابت فرض می‌کنند؟

پاسخ:

بخش دیگری از تلفات در رتور، تلفات مکانیکی است که به علت وجود اصطکاک هوا و یاتاقان‌ها ایجاد می‌شود و چون سرعت موتور القایی ثابت است، تلفات مکانیکی نیز ثابت می‌باشد این تلفات را با Pmis نشان می‌دهند.
از آنجا که فرکانس رتور در حال چرخش کم است لذا از تلفات آهنی رتور می‌توان چشم‌پوشی کرد زیرا تلفات آهنی با مجذور فرکانس نسبت مستقیم دارد.

۸ یک ماشین القایی شش قطب، ۶۰HZ با سرعت ۸۸۰RPM می‌چرخد.

الف) سرعت میدان دوار ب) سرعت لغزش ج) مقدار لغزش را به‌دست آورید:

پاسخ:

الف)

$$n_s = \frac{۱۲۰ \times f}{p} \rightarrow \frac{۱۲۰ \times ۶۰}{۶} = ۱۲۰۰RPM$$

ب)

$$\Delta N = N_s - N_r = ۱۲۰۰ - ۸۸۰ = ۳۲۰RPM$$

ج)

$$\% S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times ۱۰۰ = \frac{۱۲۰۰ \times ۸۸۰}{۱۲۰۰} \times ۱۰۰ = \% ۲۶$$

۹ یک موتور القایی ۴۰۰ ولت، در بار نامی ۳۵۰ آمپراز شبکه دریافت می‌کند. چنانچه مجموع تلفات ۲۰ کیلو وات و ضریب قدرت آن ۰/۸۳ باشد، الف) توان دریافتی از شبکه ب) توان خروجی ج) راندمان موتور را به‌دست آورید:

پاسخ:

الف)

$$P_{in} = \sqrt{۳} U_L I_L COS_{\varphi} = \sqrt{۳} \times ۴۰۰ \times ۳۵۰ \times ۰/۸۳ = ۲۰۱۲۶۴/۳۰ W$$

ب)

$$P_{out} = P_{in} - \Delta P = ۲۰۱۲۶۴/۳۰ - ۲۰۰۰۰ = ۱۸۱۲۶۴/۳ W$$

ج)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰ = \frac{۲۰۱۲۶۴/۳۰}{۲۰۱۲۶۴/۳۰} = ٪۹۰/۰۶$$

۱۰ چرا به موتورهای تک فاز AC نیاز داریم؟

پاسخ:

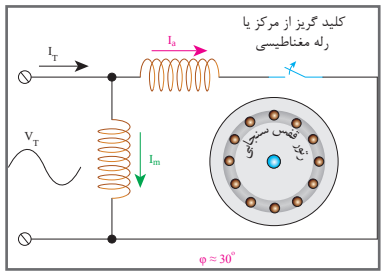
غالباً در ساختمان‌های مسکونی، کارگاه‌های کوچک، مغازه‌ها و فروشگاه‌ها از شبکه برق تک فاز استفاده می‌شود. بنابراین برای استفاده از وسایلی همچون کولر، یخچال، ماشین لباسشویی، پمپ‌های آب خانگی و دیگر وسایل مورد نیاز در زندگی امروزی به موتور تک فاز الکتریکی احتیاج می‌باشد.

۱۱ انواع موتورهای تک فاز القایی را نام برده و نحوهٔ عملکرد آن را شرح دهید.

پاسخ:

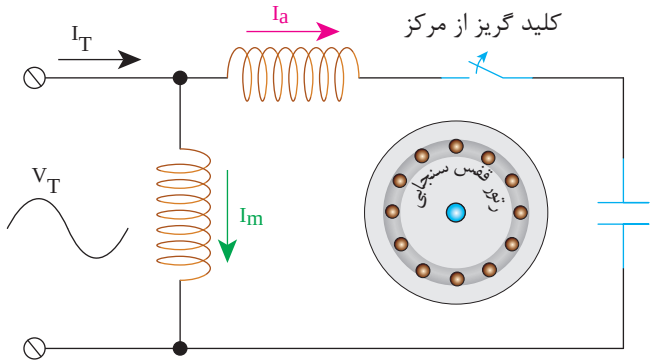
موتورهای القایی تک فاز با فازشکسته: در این موتورها برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز، نسبت مقاومت اهمی به القایی، سیم‌پیچ راه‌انداز را بیشتر از سیم‌پیچ اصلی اختیار می‌کنند.

از آنجا که مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز زیاد می‌باشد، در صورت ادامه کار موتور، تلفات حرارتی در سیم‌پیچ راه‌انداز باعث افزایش دمای سیم‌پیچ و سوختن آن می‌شود. به همین خاطر باید پس از راه‌اندازی موتور و زمانی که سرعت آن حدوداً به ۷۵ درصد سرعت نامی رسید، سیم‌پیچ راه‌انداز از مدار خارج گردد. برای این کار در بعضی موتورها مانند موتور کولر آبی از کلید گریز از مرکز و در برخی دیگر مانند یخچال و فریزر از رلهٔ مغناطیسی استفاده می‌شود.



موتور القایی تک فاز شکسته

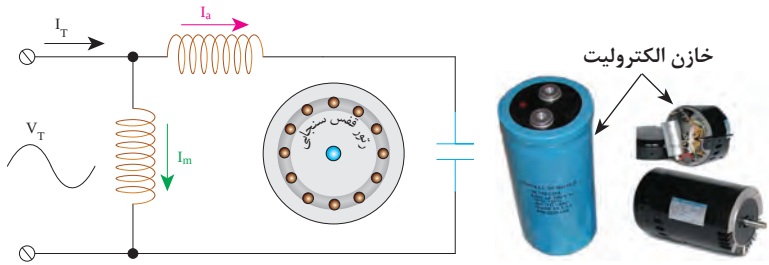
موتورهای القایی با خازن راه‌انداز: ایجاد اختلاف فاز جریان سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز را به کمک یک خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز نشان می‌دهد. با محاسبهٔ مقدار مناسب ظرفیت خازن می‌توان اختلاف زاویه بین دو جریان را در زمان راه‌اندازی به ۹۰ درجه رساند. در نتیجه، گشتاور راه‌اندازی چنین موتوری بسیار خوب می‌باشد. زیرا بیشترین مقدار گشتاور در موتور القایی تک فاز با ایجاد این زاویه به‌دست می‌آید. بعد از راه‌اندازی موتور، عبورجریان زیاد از خازن باعث سوختن آن می‌شود به همین خاطر باید خازن را توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج کرد.



موتور القایی با خازن راه‌انداز

موتورهای القایی با خازن راه‌انداز مشخصهٔ راه‌اندازی خوبی داشته و به‌طور کلی در وسایلی همچون کمپرسورها، دستگاه‌های چند کارهٔ نجاری و... کاربرد دارند.

موتور القایی با خازن دائم کار: اگر مطابق شکل، خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز طوری محاسبه گردد تا در موقع راه‌اندازی اختلاف فاز اندک ولی در زمان کار اختلاف فاز تقریباً ۹۰ درجه شود، می‌توان خازن را در مدار نگه داشت. در این صورت مقدار ظرفیت خازن دائم کار نسبت به خازن راه‌انداز کمتر است و در زمان راه‌اندازی جریان کمتری از آن عبور می‌کند. از طرفی چون خازن دائم کار باید مدت زمان بیشتری در مدار بماند، بنابراین، خازن الکترولیت برای آن مناسب نیست. لذا خازن این موتورها از نوع روغنی انتخاب می‌شود که قیمت آنها گران‌تر از خازن‌های الکترولیت است.
راندمان، ضریب قدرت و گشتاورکار این موتورها در حالت کار بسیار خوب است.

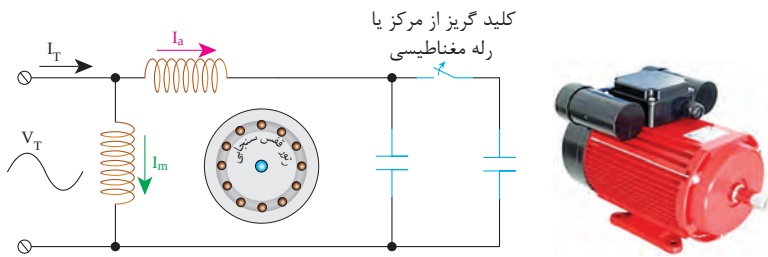


موتور القایی با خازن دائم کار

موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار): اگر در موتور القایی از هر دو خازن دائم کار و راه‌انداز مطابق شکل زیر، هم زمان استفاده شود، موتور را دو خازنی می‌گویند.

خازن راه‌انداز، از نوع الکترولیتی و با ظرفیت زیاد می‌باشد در حالی که خازن دائم کار از نوع روغنی و دارای ظرفیت کم است.

در ابتدای راه‌اندازی موتور، هر دو خازن با هم موازی بوده و با سیم‌پیچ راه‌انداز به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرند ولی پس از رسیدن دور موتور به ۷۵ درصد دور نامی، به وسیلهٔ کلید گریز از مرکز خازن راه‌انداز از مدار خارج می‌شود و تنها خازن روغنی در مدار باقی می‌ماند.



موتور القایی دو خازنی (خازن راه‌انداز و دائم کار)

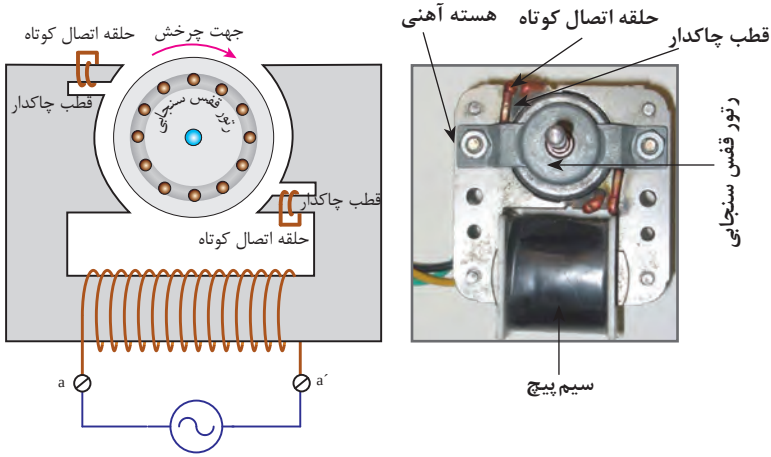
به دلیل وجود این دو خازن، این نوع موتورها هم دارای مشخصهٔ گشتاور راه‌اندازی خوب می‌باشند و هم در زمان کار، آرام و بی‌صدا کار می‌کنند. در این موتورها، سیم‌پیچ اصلی و راه‌انداز، شبیه یکدیگر در نظر گرفته می‌شود.

این موتورها غالباً جزء موتورهای صنعتی محسوب می‌شوند و در وسایلی مانند ماشین لباسشویی صنعتی، یخچال‌های صنعتی، موتورهای بالابر و... کاربرد دارند.

موتورالقایی قطب چاک‌دار: اگر بر روی قطب‌های برجستهٔ موتور، شیارهایی تعبیه گردد و یک یا چند حلقهٔ هادی اتصال کوتاه شده مطابق شکل زیر داخل آن قرار داده شود، در این صورت به این نوع موتور القایی، موتور قطب چاک دار می‌گویند.

گشتاور راه‌اندازی و ضریب بهرهٔ این موتورها بسیار کم است و در توان‌های کمتر از ۱۵۰ وات ساخته می‌شوند. معمولاً مزیت اصلی این موتورها سادگی ساختمان آنها می‌باشد.

پمپ آب کولر، فن‌های کوچک آشپزخانه و... وسایلی هستند که از این موتورها در ساخت آنها استفاده می‌شود.



موتور القایی قطب چاک‌دار (به جهت چرخش و قطب‌ها توجه شود)

۱۲ در ابزارهای دستی از چه نوع موتور تک فازی استفاده می‌شود و چرا؟

پاسخ:

موتور قطب چاک‌دار به علت ساده بودن ساختمان آن

۱۳ تفاوت‌های عملکردی موتور یونیورسال را در جریان DC و AC توضیح دهید.

پاسخ:

رابطهٔ گشتاور آن از رابطه زیر تبعیت می‌کند:

$T = kI^{2}$

در رابطه بالا

K ضریبی است که به ساختمان داخلی موتور سری بستگی دارد

Ia جریان عبوری از آرمیچر برحسب آمپر

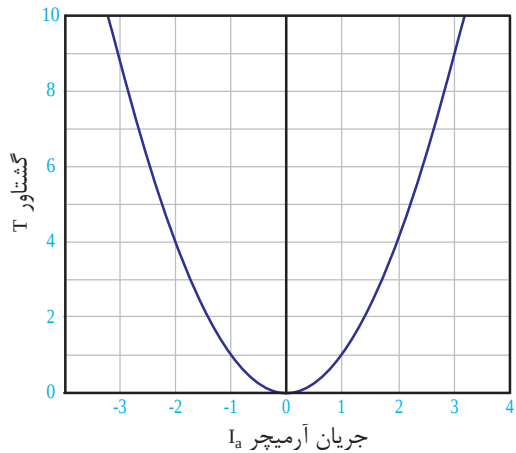
T گشتاور موتور بر حسب N-m

با توجه به رابطه گشتاور موتور سری رابطه مجذوری با جریان آرمیچر دارد. به‌طور مثال تغییرات گشتاور براساس جریان آرمیچر به‌ازای K=۱ به‌صورت منحنی شکل زیر در خواهد آمد.

با توجه به شکل زیر، با تغییر جهت جریان آرمیچر، مقدار گشتاور یا نیروی وارد شده به محور منفی نمی‌شود بنابراین جهت گشتاور همواره مثبت بوده و عوض نمی‌گردد.

از آنجایی که تغییر جهت جریان تنها براساس تغییر پلاریته ولتاژ اعمالی بر موتور امکان‌پذیر است بنابراین با اتصال منبع تغذیه جریان متناوب به موتور سری، این موتور با رفتار مشابهی که در جریان مستقیم دارد می‌تواند استفاده شود.

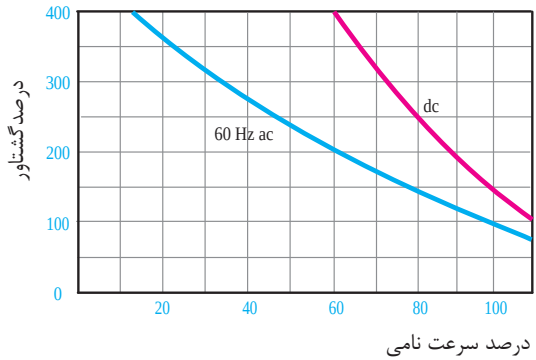
البته بدیهی است برای عملکرد بدون آسیب موتور، باید اندازهٔ ولتاژ مؤثر منبع تغذیه متناوب، معادل مقدار ولتاژ منبع تغذیه جریان مستقیم باشد. از آنجا که این موتورها می‌توانند با هر دو نوع جریان متناوب و یا مستقیم کار کنند، موتورهای یونیورسال نامیده می‌شوند.

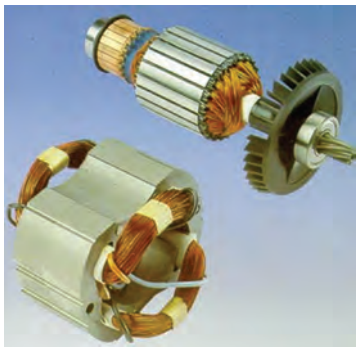


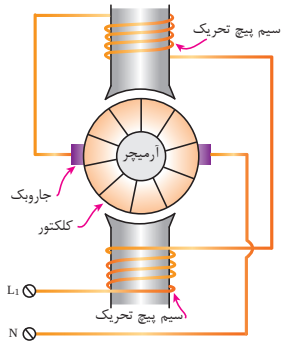
باید توجه داشت با اتصال موتور سری به جریان متناوب، علاوه‌بر مقاومت اهمی سیم‌پیچ‌های موتور به دلیل وجود اندوکتانس آن، مقاومت القایی نیز به مدار اضافه می‌شود در نتیجه امپدانس آن افزایش می‌یابد، بنابراین به نسبت اتصال موتور به جریان مستقیم، جریان کمتری از سیم‌پیچ‌های موتور عبور می‌کند.
با مفهوم عکس‌العمل آرمیچر در درس ماشین الکتریکی DC آشنا شده‌اید. پدیدهٔ عکس‌العمل آرمیچر با عبور جریان متناوب از موتور سری هم ایجاد می‌شود که باعث تضعیف میدان اصلی موتور و تغییر مکان صفحهٔ خنثی می‌گردد.
برخلاف جریان مستقیم، با اتصال موتور یونیورسال به جریان متناوب، در هستهٔ سیم‌پیچ تحریک نیز، تلفات فوکو و هیسترزیس ایجاد خواهد شد و در نتیجه برای مقابله با آن باید جنس هسته از فولاد مغناطیسی مرغوب و به صورت ورقه ورقه ساخته شود.
به‌طور کلی برای بهبود عملکرد موتور یونیورسال در جریان متناوب باید ملاحظات ویژه‌ای در طراحی، ساختمان و سیم‌پیچی آن رعایت شود.
یکی از خصوصیات موتور یونیورسال افزایش سرعت آن در بی باری و کاهش سرعت آن در زیر بار می باشد. این همان خاصیت موتور سری است. زیرا بر اثر کاهش جریان آرمیچر Ia ، فوران (شار مغناطیسی قطب‌ها)نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه برای جبران ولتاژ آرمیچر طبق رابطه پایین، رتور باید با سرعت بیشتری بچرخد.

$$Ea = k\varphi\omega$$

ولتاژ آرمیچر بر حسب ولت
K ضریب ثابتی است که به ساختمان موتور بستگی دارد
φ شار مغناطیسی زیر هر قطب برحسب وبر
ω سرعت زاویه رتور بر حسب رادیان بر ثانیه
البته گشتاور موتور یونیورسال به دلیل وجود راکتانس سیم‌پیچ‌های آرمیچر و قطب‌ها و همچنین عکس‌العمل آرمیچر از موتور سری کمتر است. این تفاوت در مشخصه گشتاور آنها در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.







۱۴ مقدار خازن مورد نیاز جهت راه‌اندازی یک موتور سه فاز ۱/۵ Kw به‌صورت تک فاز چقدر باید باشد؟

پاسخ:

$$C\ (\mu F) = ۷۰ \times P\ (kw) = ۷۰ \times ۱/۵ = ۱۰۵\ \mu F$$