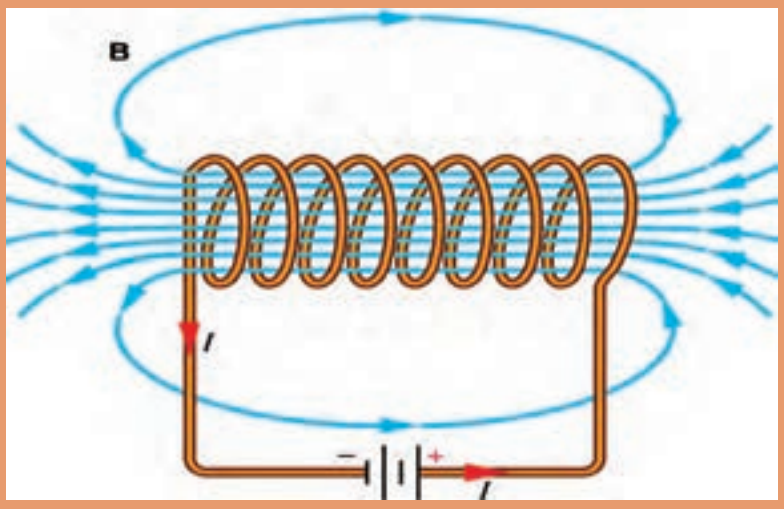
پودمان ۴

کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی



واحد یادگیری ۵

بررسی کمیت‌های مغناطیسی

آیا تا کنون پی برده‌اید

- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان چگونه است؟
- کمیت‌های مغناطیسی چگونه تجزیه و تحلیل می‌شوند؟
- ضریب نفوذ مغناطیسی چگونه بررسی می‌شود؟
- مقاومت مغناطیسی یک مدار مغناطیسی بدون فاصلهٔ هوایی و با فاصلهٔ هوایی چگونه تحلیل می‌شود؟
- روابط حاکم بر مدار مغناطیسی ساده با کمک قانون نیروی محرکهٔ مغناطیسی چگونه تحلیل می‌شود؟
- مدارهای مغناطیسی با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی چگونه است؟

استاندارد عملکرد

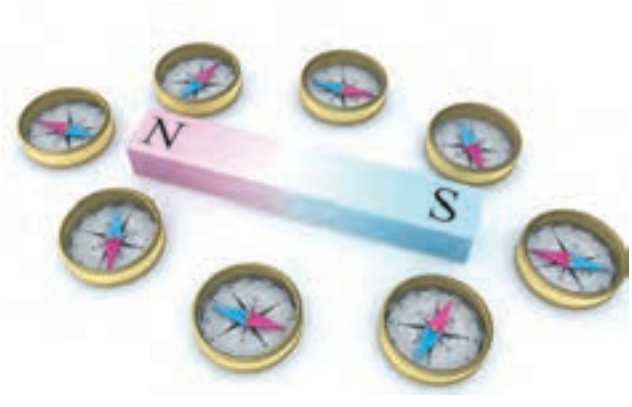
در پایان این واحد یادگیری، هنرجو باید بتواند انواع کمیت‌های مغناطیسی را بررسی کرده و مدارهای مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.

فیلم

فیلم آموزشی در مورد میدان‌های مغناطیسی را ببینید.

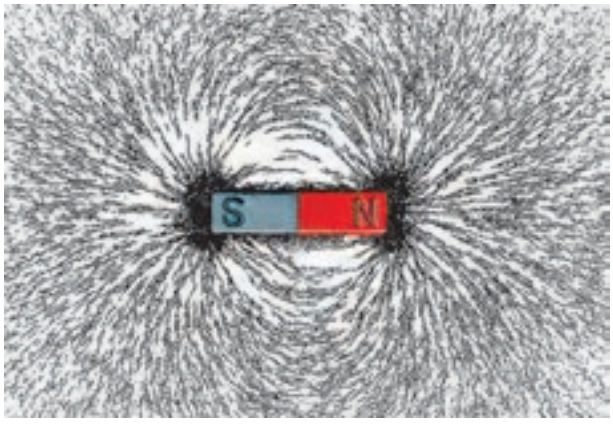
میدان مغناطیسی

در فضای اطراف یک آهن‌ربا یا مغناطیس طبیعی خاصیتی وجود دارد که ذرات آهن را به خود جذب می‌کند؛ به این فضا، میدان مغناطیسی (Magnetic Field) می‌گویند. میدان مغناطیسی بر قطب‌نما تأثیر می‌گذارد و باعث انحراف آن می‌شود؛ پس با حرکت‌دادن قطب‌نما در اطراف آهن‌ربا می‌توان به‌وجود میدان مغناطیسی پی‌برد (شکل ۱).



شکل ۱

با قراردادن یک مقوا بر روی یک آهن‌ربا و پاشیدن براده‌های آهن به روی مقوا می‌توان خطوط نیروی مغناطیسی را مشاهده کرد (شکل ۲). هر خط نیروی میدان مغناطیسی را یک ماکسول (max well) [MAX] می‌گویند.



شکل ۲

خطوط نیروی میدان مغناطیسی دارای فشردگی بیشتری نسبت به سایر نقاط است این نقاط را قطب‌های مغناطیسی (Magnetic Poles) می‌نامند و با حروف N و S نشان می‌دهند.

فوران مغناطیسی

در شکل ۲ خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک آهن‌ربا نمایش داده شده است. به مجموع خطوط نیروی میدان مغناطیسی اطراف یک مغناطیس یا آهن‌ربا «فوران» یا «شار مغناطیسی» (Magnetic Flux) می‌گویند و آن را با φ نشان می‌دهند.
واحد فوران مغناطیسی ولت. ثانیه (V.Sec) است که به اصطلاح به آن وبر Wb می‌گویند.

تحقیق کنید

تحقیق کنید یک وبر برابر چند ماکسول است.

چگالی فوران مغناطیسی

چگالی فوران مغناطیسی که با B نشان داده می‌شود، کمیتی است که تراکم یا فشردگی خطوط میدان مغناطیسی در سطح مقطع A را نشان می‌دهد. اگر سطح مورد نظر واحد انتخاب شود فوران عبوری از واحد سطح را «چگالی فوران مغناطیسی» تعریف می‌کنند.
چگالی فوران مغناطیسی از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

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

در این رابطه:

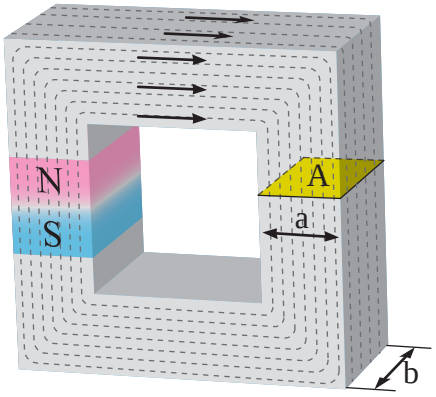
φ فوران مغناطیسی برحسب وبر Wb؛

A مساحت مقطعی که فوران مغناطیسی φ از آن می‌گذرد برحسب مترمربع m^2؛

B چگالی فوران مغناطیسی برحسب وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ می‌باشد.

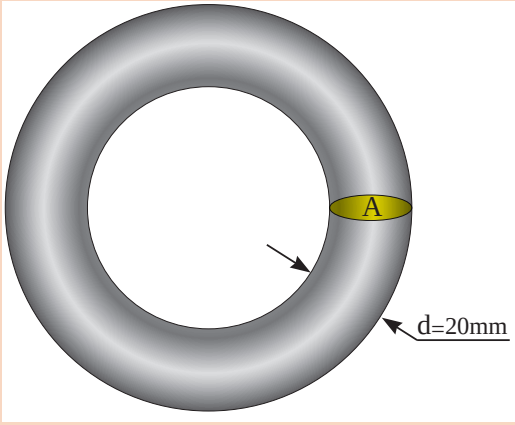
واحد چگالی فوران مغناطیسی B وبر بر مترمربع $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$ است که اصطلاحاً به آن تسلا (Tesla) [T] می‌گویند.

کار در کلاس



آهن‌ربایی با فوران مغناطیسی ۰/۰۲mwb مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. چگالی فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند گاوس می‌باشد؟ در صورتی که b=۲۰mm و a=۱۰ mm باشد.

کار در کلاس



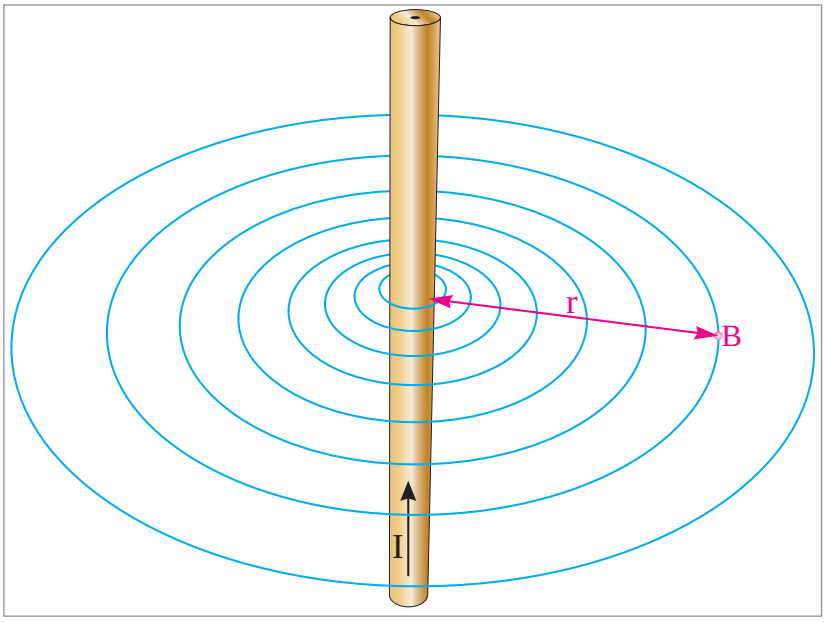
آهن ربایی با چگالی فوران مغناطیسی ۱۰۰۰۰ G مطابق شکل روبه‌رو در نظر است. فوران مغناطیسی در سطح مقطع A هسته چند میلی‌وبر است؟

تحقیق کنید

جهت میدان الکترومغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی چگونه است؟

مقدارچگالی فوران مغناطیسی اطراف هادی حامل جریان الکتریکی

آمپر(Ampere) و ماکسول دانشمندانی بودند که ثابت کردند چگالی فوران مغناطیسی B اطراف هادی حامل جریان، با شدت جریان الکتریکی هادی، نسبت مستقیم و با فاصله از هادی نسبت عکس دارد و رابطهٔ زیر را برای تعیین مقدار چگالی فوران مغناطیسی B در نقطه‌ای به فاصله r از یک هادی حامل جریان به شدت I را براساس شکل ۳ ارائه کردند.



شکل ۳

در این رابطه :

$$B = K\frac{I}{r}$$

B چگالی فوران مغناطیسی برحسب $\left[\frac{wb}{m^2}\right]$؛

K ضریبی است که به محیط اطراف هادی بستگی دارد و برای هوا مقدار آن ۲×۱۰^{-۷} برحسب $\left[\frac{wb}{A.m}\right]$ است.

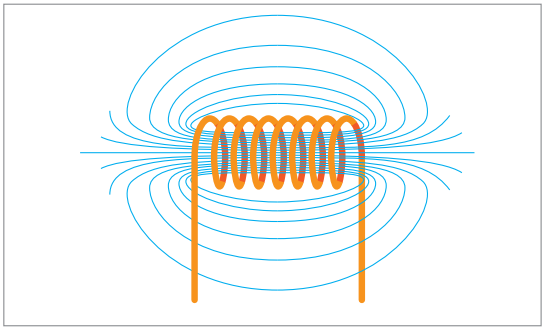
I شدت جریان الکتریکی هادی بر حسب [A]؛

و r فاصله از هادی بر حسب [m] می‌باشد.

کار درکلاس

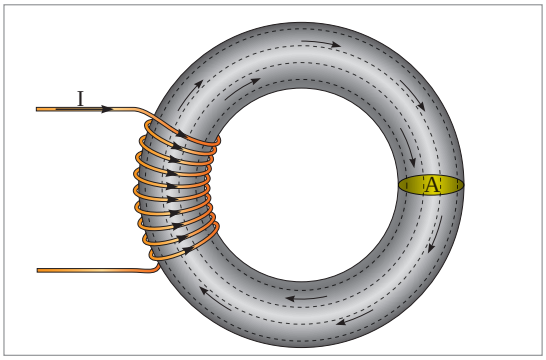
چگالی فوران میدان مغناطیسی در نقطه‌ای به فاصله ۱Cm از هادی حامل جریان ۱۰A چند گاوس است؟

میدان مغناطیسی سیم پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۴

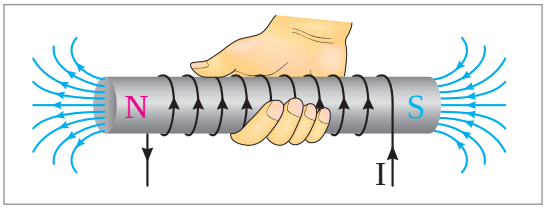
میدان مغناطیسی حامل جریان الکتریکی در سرتاسر دو طرف هادی توزیع می‌شود و متمرکز نیست و مقدار چگالی فوران مغناطیسی(B) در هر نقطه از اطراف هادی، متغیر و کم است. اگر هادی حامل جریان الکتریکی به‌صورت سیم‌پیچ (Winding) در آورده شود، ضمن اینکه میدان الکترومغناطیسی در درون سیم‌پیچ متمرکز می‌شود چگالی فوران مغناطیسی B نیز افزایش می‌یابد (شکل۴).



شکل ۵

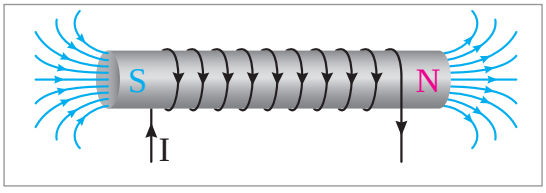
با قرار دادن سیم‌پیچ بر روی یک هسته از جنس مواد فرو مغناطیس مطابق شکل ۵ و عبور جریان الکتریکی از آن، میدان الکترومغناطیسی با چگالی B بیشتری نسبت به سیم‌پیچ با هسته هوا ایجاد می‌شود. هستهٔ فرومغناطیس باعث می‌شود میدان الکترومغناطیسی درون سیم‌پیچ متمرکزتر شود؛ لذا چگالی فوران مغناطیسی افزایش می‌یابد.

جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی



شکل ۶

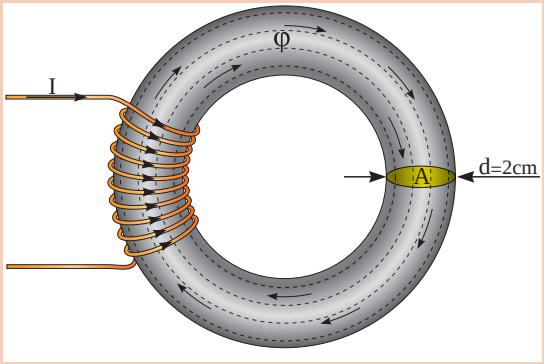
جهت میدان الکترومغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی از قاعدهٔ دست راست (Right Hand Rule) تعیین می‌شود. بدین منظور مطابق شکل۶ اگر انگشتان دست راست در جهت جریان الکتریکی سیم‌پیچ قرار گیرد، انگشت شست جهت میدان الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد. با تعیین جهت میدان الکترومغناطیسی، محل قطب‌های N و S مشخص می‌شود. طبق قرارداد، محل خروج فوران مغناطیسی را با حرف N و محل ورود آن را با حرف S نشان می‌دهند.



شکل ۷

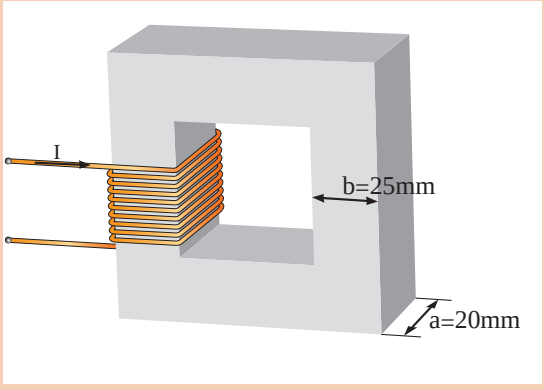
جهت میدان مغناطیسی سیم‌پیچ نیز تابع جهت جریان سیم‌پیچ است و با تغییر جهت جریان، جهت میدان مغناطیسی تغییر می‌کند (شکل۷).

کار در کلاس



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

کار در کلاس



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

نیروی محرکهٔ مغناطیسی سیم‌پیچ حامل جریان الکتریکی

حاصل ضرب شدت جریان الکتریکی در تعداد حلقه‌های سیم پیچ را نیروی محرکهٔ مغناطیسی‌گویند و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

در این رابطه : $\theta = NI$

θ : نیروی محرکهٔ مغناطیسی بر حسب آمپر دور [A.T]؛

N : تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ بر حسب دور [T]؛

I : شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ بر حسب آمپر [A] می‌باشد.

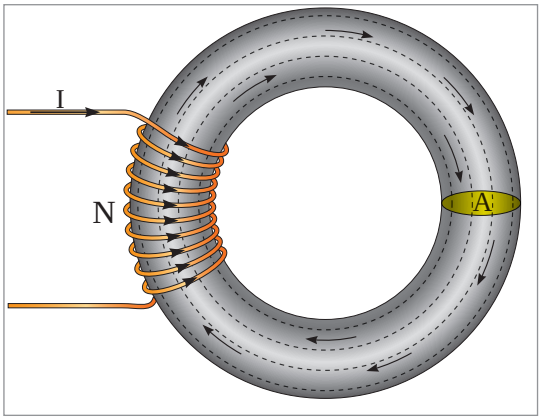
بنابراین، مقدار نیروی محرکه مغناطیسی، تابع شدت جریان الکتریکی سیم‌پیچ و تعداد حلقه‌های آن است.

کار در کلاس

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

شدت میدان مغناطیسی

فوران میدان مغناطیسی یک سیم‌پیچ حامل جریان، از تمام نقاط سطح مقطع هسته می‌گذرد. خطوط نیروی میدان مغناطیسی به موازات یکدیگر طول مسیر هسته را طی می‌کنند و یکدیگر را قطع نمی‌کنند (شکل۸).



شکل ۸

نسبت نیروی محرکهٔ مغناطیسی θ به طول متوسط هستهٔ L_C را «شدت میدان مغناطیسی» گویند وآن را با H نمایش می‌دهند و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

در این رابطه :

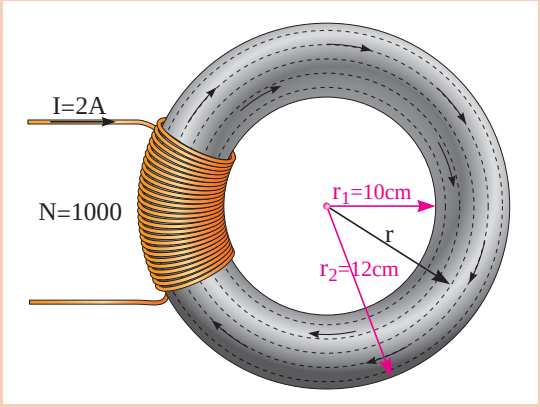
H: شدت میدان مغناطیسی برحسب آمپر دور بر متر $\left[\frac{AT}{M}\right]$

N: تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ

L: طول متوسط هسته بر حسب متر [M] می‌باشد.

کار در کلاس

شدت میدان مغناطیسی شکل روبه‌رو را به‌دست آورید؟



کار در کلاس

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

ضریب نفوذ مغناطیسی

نسبت چگالی فوران مغناطیسی B به شدت میدان مغناطیسی H را ضریب نفوذ مغناطیسی (Permeability) تعریف می‌کنند و آن را با μ نمایش می‌دهند و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

$$\mu = \frac{B}{H}$$

دراین رابطه :

μ : ضریب نفوذ مغناطیسی برحسب وبر بر آمپر دورمتر $\left[\frac{Wb}{A.T.m}\right]$

B : چگالی فوران مغناطیسی برحسب وبر بر مترمربع $\left[\frac{Wb}{m^2}\right]$

H : شدت میدان مغناطیسی برحسب آمپر دور بر متر $\left[\frac{A.T}{m}\right]$ می‌باشد.

کار در کلاس

واحدضریب نفوذ مغناطیسی μ چگونه به‌دست می‌آید؟

ضریب نفوذ مغناطیسی سیم‌پیچ بدون هسته در خلأ

نسبت چگالی فوران مغناطیسی B به شدت میدان مغناطیسی H را «B ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ» گویند و آن را با «μ» نشان می‌دهند و از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\mu_o = \frac{B_o}{H_o}$$

در این رابطه :

B_o : چگالی فوران مغناطیسی در خلأ؛

H_o : شدت میدان مغناطیسی در خلأ؛

μ_o : ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ می‌باشد.

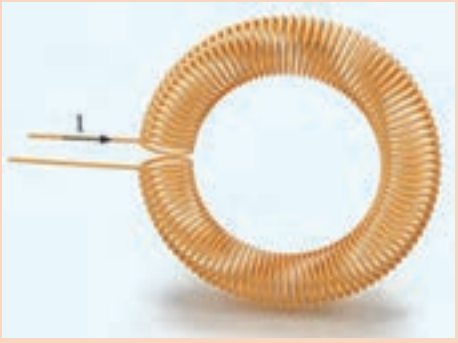
ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ همواره مقداری ثابت دارد و برابر است با :

$$\mu_o = ۴\pi \times ۱۰^{-۷} \left[\frac{wb}{A.T.M}\right]$$

تحقیق کنید

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

کار در کلاس



سیم‌پیچی بدون هسته در خلأ دارای ۱۰۰۰ حلقه و طول متوسط ۱۰ سانتی‌متر در شکل روبه‌رو 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؟

ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی

ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ $\mu_o = ۴\pi \times ۱۰^{-۷} \left[\frac{wb}{A.T.M}\right]$ می‌باشد و مقدار آن ثابت است؛ لذا به عنوان شاخص انتخاب شده است و نفوذپذیری مغناطیسی مواد با نفوذپذیری مغناطیسی خلأ مقایسه و نسبت به آن سنجیده می‌شود.

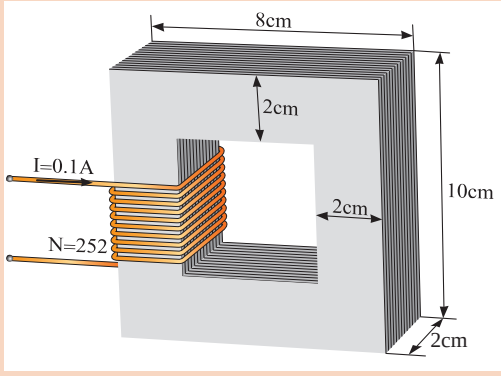
نسبت ضریب نفوذ مغناطیسی μ به ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ μ_o را «ضریب نفوذ مغناطیسی نسبی» (Relative Permeability) گویند و آن را با μ_r نمایش می‌دهند که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o}$$

تحقیق کنید

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

کار در کلاس



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

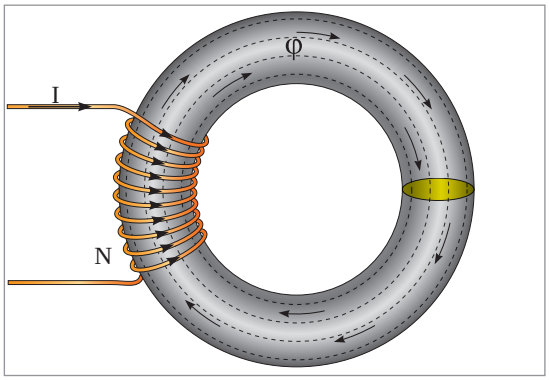
کار در کلاس

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

تحقیق کنید

خصوصیات میدان ناشی از ولتاژ AC و DC را بررسی کنید.

مدارهای مغناطیسی



شکل ۹

در شکل۹، شدت جریان الکتریکی I به سیم‌پیچی در هستهٔ فرومغناطیس فوران مغناطیسی φ را جاری می‌کند.

این پدیده از بعضی جهات مشابه جریان الکتریکی است که یک باتری در هادی جاری می‌کند.

همان‌طور که اتصال هادی به باتری، مسیر بسته‌ای برای جاری شدن جریان فراهم می‌کند و آن را «مدار الکتریکی» می‌نامند، مسیر بسته‌ای که فوران مغناطیسی در آن برقرار می‌شود نیز«مدار مغناطیسی» نامیده می‌شود.

قانون اُهم بین کمّیت‌های ولتاژ، جریان و مقاومت در یک مدار الکتریکی، رابطهٔ زیر را ارائه کرده است :

$$R = \frac{E}{I}$$

باتوجه به شباهت‌های میان کمیت‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌توان قانون اهم را برای یک مدار مغناطیسی به‌صورت رابطهٔ زیر نوشت:

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

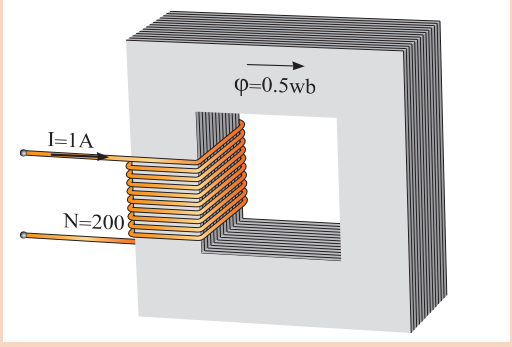
در این رابطه:

θ نیروی محرکهٔ مغناطیس سیم‌پیچ بر حسب {A .T}

φ فوران مغناطیسی هسته برحسب {wb}

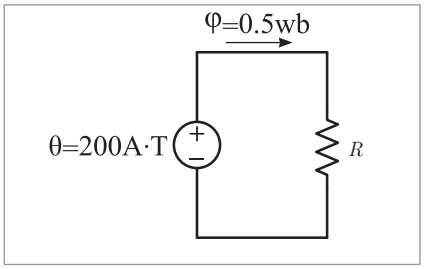
و R مقاومت مغناطیسی هسته برحسب $\left[\frac{A.T}{wb}\right]$ می‌باشد.

مثال



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

θ=N×I=۲۰۰×۱=۲۰۰A.T



مدار الکتریکی معادل با درج مقادیر مغناطیسی بر روی آن به‌صورت شکل روبه‌رو است.
مقاومت مغناطیسی از رابطهٔ زیر برابر است با:

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

مقاومت مغناطیسی هسته: مقاومت مغناطیسی هسته از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

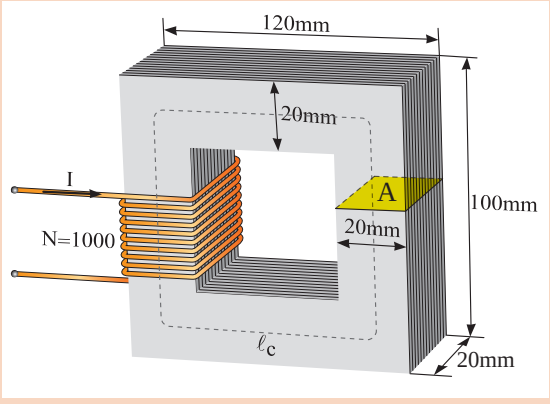
$$R=\frac{\ell_c}{\mu_o\mu_r}$$

در این رابطه:
ℓ_c : طول متوسط هسته برحسب [M]؛

μ_o :ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب $\left[\frac{Wb}{A.T.m}\right]$؛
μ_r : سطح مقطع هسته برحسب [$m^۲$]؛

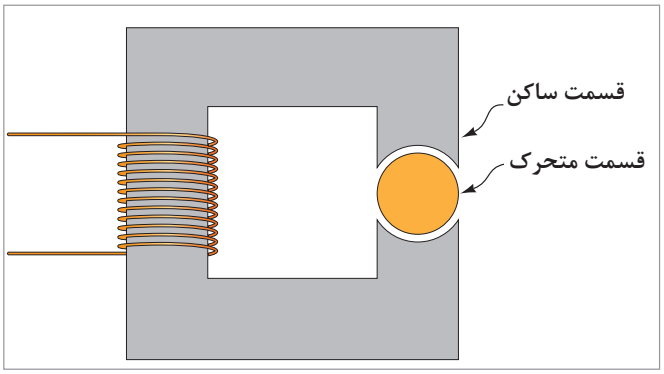
R : مقاومت مغناطیسی هسته برحسب $\left[\frac{A.T}{wb}\right]$می‌باشد.

کار در کلاس

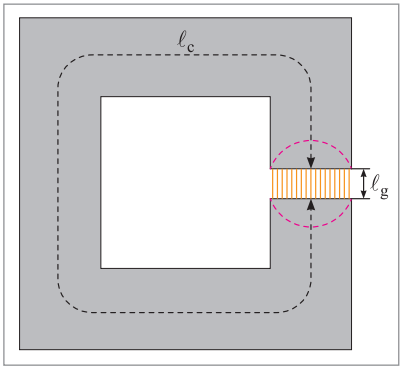


اگر فوران مغناطیسی در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو برابر با ۴mwb باشد، جریان سیم‌پیچ چند آمپرمتر است؟ در صورتی که $\pi=۳$ و و $\mu_r=۶۰۰۰$ باشد.

مدار مغناطیسی با شکاف هوایی: مدارهای مغناطیسی، مقدمهٔ تحلیل ماشین‌های الکتریکی اعم از ترانسفورمر و وسایل تبدیل انرژی از قبیل ژنراتورها و موتورهای الکتریکی می‌باشند.



شکل ۱۰



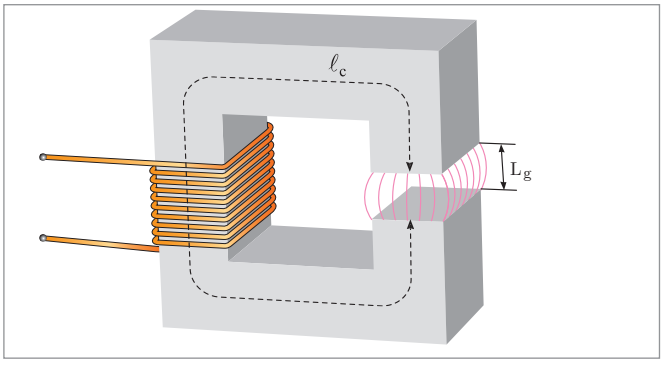
شکل ۱۱

ترانسفورماتورها ساختمانی شبیه هستهٔ فرومغناطیسی شکل ۱۰ دارند. وسایل تبدیل انرژی مانند ژنراتورها و موتورهای الکتریکی که دارای اجزای متحرک می‌باشند، بین قسمت متحرک و ساکن در هسته فرومغناطیس «شکاف هوایی» ایجاد می‌کنند.

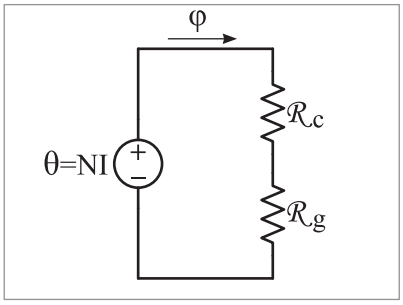
اگر قسمت متحرک به دو نیمهٔ متحرک تقسیم شود و هر یک از این نیمه‌ها به سمت قسمت ساکن سوق داده شود، شکل ۱۱ به‌دست می‌آید.

این شکل، یک مدار مغناطیسی با شکاف هوایی را نشان می‌دهد که فوران مغناطیسی φ مسیر هسته و شکاف هوایی را طی می‌کند. اگر در مدار مغناطیسی طول شکاف هوایی Lg از ابعاد سطح مقطع هستهٔ مغناطیسی بسیار کوچک‌تر باشد، می‌توان با روش مدار الکتریکی، معادل آن را تحلیل کرد. هرگاه که طول شکاف هوایی Lg از ابعاد سطح مقطع هستهٔ مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ به بیرون نشت کند و سطح مقطع مؤثر شکاف هوایی بزرگ‌تر از سطح مقطع هستهٔ مغناطیسی دو طرف آن شود، در این صورت نمی‌توان با روش مدار الکتریکی معادل آن را تحلیل کرد.

اکنون با فرض اینکه طول شکاف هوایی Lg درشکل ۱۱ به حد کافی کوچک است و چگالی فوران مغناطیسی B هسته نیز یکنواخت می‌باشد، می‌توان مدار الکتریکی معادل شکل ۱۲ را بـرای تحلیل آن در نظر گرفت. از



شکل ۱۲



شکل ۱۳

آنجایی که فوران مغناطیسی، مسیر هسته و شکاف هوایی را طی می‌کند، لذا مقاومت مغناطیسی آنها در مدار الکتریکی معادل با هم سری می‌شوند.

در شکل۱۳، مقاومت مغناطیسی هستهٔ R_C از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$R_C = \frac{L_C}{\mu_o \mu_r A}$$

مقاومت مغناطیسی شکاف هوایی R_g نیز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$R_g = \frac{L_g}{\mu_o \mu_r A}$$

در این رابطه: L_g طول شکاف هوایی برحسب $[m]$ ؛

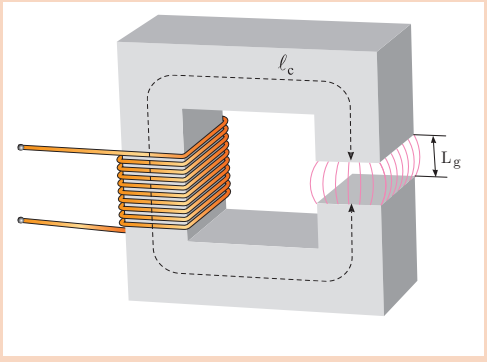
$\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ ضریب نفوذ مغناطیسی خلأ بر حسب $\left[\frac{wb}{A.T.m}\right]$ ؛

μ_r ضریب نفوذ نسبی هوا؛

A سطح مقطع هسته برحسب $[m^2]$؛

و R_g مقاومت مغناطیسی برحسب $\left[\frac{A.T}{wb}\right]$ می‌باشد.

کار در کلاس



در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو، 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؟

تحقیق کنید

چرا با ایجاد شکاف هوایی، جریان سیم‌پیچ افزایش می‌یابد؟

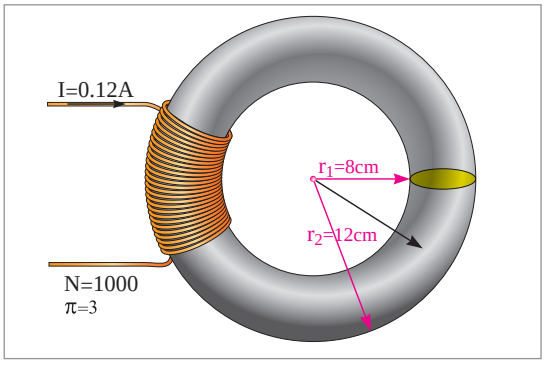
ارزشیابی

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

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

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

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

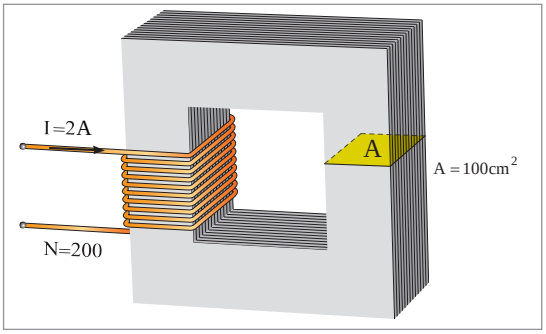


۵ مقاومت و فوران مغناطیسی در هسته یک مدار مغناطیسی به ترتیب $۵۰۰\frac{AT}{WB}$ و ۱۰ mwb می‌باشد. اگر جریان سیم‌پیچ روی هسته ۲۰mA باشد تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ را به‌دست آورید.

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

الف) مقاومت مغناطیسی هسته

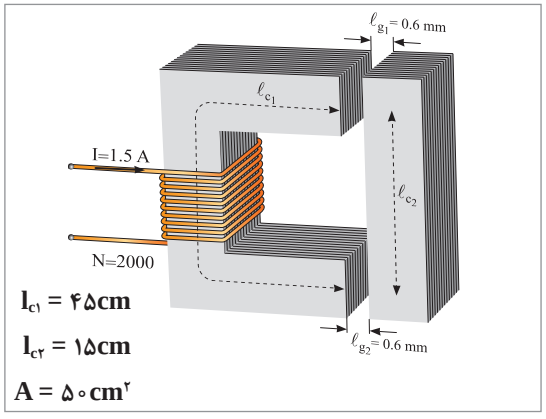
ب) اگر یک فاصله هوایی ۱/۲mm در هسته ایجاد شود و بخواهیم فوران هسته همان مقدار قبلی بماند، جریان سیم‌پیچ را چند آمپر باید افزایش دهیم(π=۳)



۷ در مدار مغناطیسی شکل روبه‌رو مطلوب است محاسبهٔ:

الف) مقاومت مغناطیسی درصورتی که فوران مغناطیسی هسته ۱۲mwb باشد.

ب) ضریب نفوذ نسبی هسته.



جدول ارزشیابی بررسی کمیّت‌های مغناطیسی

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی	بررسی کمیّت‌های مغناطیسی	تجزیه و تحلیل کمّیت‌های‌مغناطیسی در مدارهای با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی	بالاتر از حدّ انتظار	۱ـ میدان‌های مغناطیسی و کمیّت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳ـ مدارهای مغناطیسی با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ **هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌های بالا را داشته باشد.**	۳
			در حدّ انتظار	۱ـ میدان‌های مغناطیسی و کمّیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳ـ مدارهای مغناطیسی با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ **هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.**	۲
			پایین‌تر از حدّ انتظار	۱ـ میدان‌های مغناطیسی و کمیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند. ۳ـ مدارهای مغناطیسی با فاصله هوایی و بدون فاصله هوایی را تجزیه و تحلیل نماید. ■ **هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌های بالا را داشته باشد.**	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی بررسی کمیّت‌های مغناطیسی

۱ـ شرح کار:

- میدان‌های‌مغناطیسی و کمّیت‌های مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.
- ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.
- مدارهای مغناطیسی با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی را تجزیه و تحلیل نماید.

۲ـ استاندارد عملکرد:

بررسی وتجزیه و تحلیل‌کردن مدارهای مغناطیسی

۳ـ شاخص‌ها:

تشریح کامل از میدان‌های مغناطیسی و ماشین‌های الکتریکی

۴ـ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه پرده‌نگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

۴ـ معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	میدان‌های‌مغناطیسی را بررسی و تحلیل کند.	۲	
۲	کمّیت‌های مغناطیسی را بررسی و تحلیل کند.	۱	
۳	ضریب نفوذ مغناطیسی را تجزیه و تحلیل کند.	۱	
۴	مدارهای مغناطیسی با فاصلهٔ هوایی و بدون فاصلهٔ هوایی را تجزیه و تحلیل نماید.	۱	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی، ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛ ۴ـ اخلاق حرفه‌ای.	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.

واحد یادگیری ۶

بررسی ماشین‌های الکتریکی

آیا تا کنون پی برده‌اید

- ساختمان ماشین‌های القایی و اساس کار آنها چگونه است؟
- مفاهیم آسنکرون و سنکرون و اصول کار آنها چگونه است؟
- دیاگرام توازن قدرت در موتورهای آسنکرون چگونه رسم می‌شود؟
- روابط توان، تلفات و بازده چگونه بررسی می‌شود؟
- ساختمان ظاهری و داخلی ماشین سنکرون چگونه است؟
- ساختمان داخلی موتورهای القایی تک‌فاز چگونه است؟
- انواع موتورهای القایی تک‌فاز چگونه بررسی می‌شود؟

استاندارد عملکرد

انتظار می‌رود در پایان این واحد یادگیری هنرجو انواع ماشین‌های سه فاز سنکرون و آسنکرون را شناسایی کرده و انواع موتورهای تک‌فاز را تحلیل نماید.

ماشین‌های القایی سه فاز

با گسترش شبکه‌های جریان متناوب و استفاده از برق سه فاز به عنوان برق صنعتی، امروزه قسمت عمده‌ای از موتورهای الکتریکی از نوع جریان متناوب سه فاز هستند. اصولاً موتورهای جریان متناوب نسبت به موتورهای جریان مستقیم دارای ساختمان ساده‌تر، عمر مفید بیشتر و تعمیر و نگهداری راحت‌تری هستند که موجب برتری اقتصادی این موتورها بر موتورهای Dc می‌شوند.

فیلم

فیلم مربوط به عملکرد ماشین‌های سه فاز را مشاهده کنید.

کار در کلاس

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

ماشین‌های القایی سه فاز از لحاظ کارکرد به دو دستهٔ سنکرون وآسنکرون تقسیم می‌شوند.
موتورهای آسنکرون سه فاز القایی، بخش اعظم انرژی مکانیکی کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی را تأمین می‌کنند. بالابرها، آسیاب‌ها، تسمه نقاله‌ها، فن‌ها و نظایر اینها از این دسته‌اند، الکتروموتورها از دو جزء اصلی ساکن (استاتور) و متحرک (روتور) تشکیل می‌شوند. این الکتروموتورها براساس تولید حوزهٔ دوّار مغناطیسی در سطح استاتور و القای جریان الکتریکی، در مفتول‌های روتور، توسط حوزهٔ دوّار ایجاد شده با برق سه فاز، کار می‌کنند. در این الکتروموتورها جریان مفتول‌ها از طریق القای الکترومغناطیسی تأمین می‌شود، به این علت به آنها موتورهای القایی گفته می‌شود. برای تأمین جریان لازم است گردش روتور کمی به تأخیر افتد، تا تغییر شار مغناطیسی در مفتول‌ها امکان‌پذیر شود. لذا سرعت روتور کمی از سرعت حوزهٔ دوّار عقب می‌افتد. به این علت به این الکتروموتورها، الکتروموتورهای آسنکرون (غیر هم زمان) گفته می‌شود.

شکل۱ـ انواع موتورهای الکتریکی و کاربردآنها در صنعت

ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

به‌طور کلی هر ماشین القایی (موتور یا مولد القایی) از دو بخش استاتور و رتور تشکیل شده است. قسمت متحرک یا رُتور با یک فاصله هوایی کم توسط در پوش‌ها و یاتاقان‌ها در درون قسمت ثابت یا استاتور نصب می‌شود (شکل۲).

شکل ۲ـ ساختمان یک موتور آسنکرون

استاتور

استاتور از ورقه‌های آهن سیلیس‌دار ساخته می‌شود (اصطلاحاً به این نوع ورق‌ها دینامو‌بلش گفته می‌شود) این ورقه‌ها وقتی روی هم قرار می‌گیرند، شیارهایی را پدید می‌آورند (شکل ۳).

شکل ۳ــ استاتور موتورهای سه فاز

تحقیق کنید

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

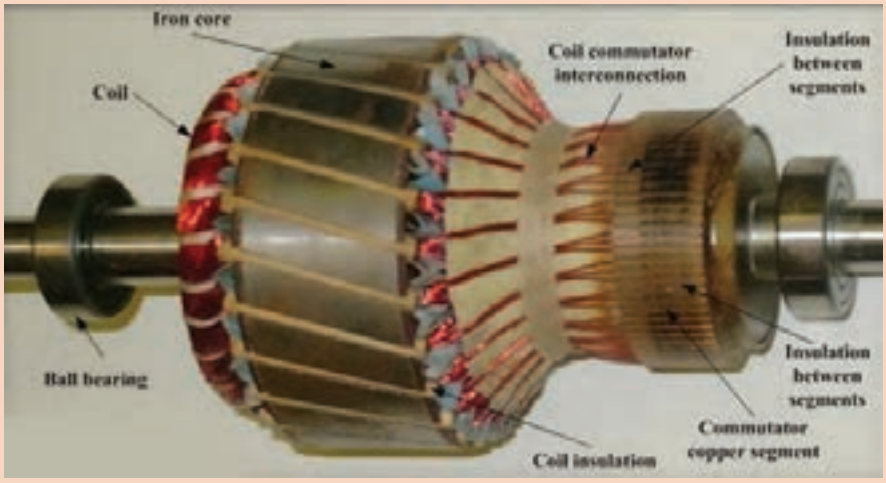
رُتور

رُتورِ موتورهای القایی از میله‌ها یا کلاف‌هایی از جنس مس یا آلومینیوم تشکیل می‌شود. این میله‌ها یا کلاف‌ها در داخل شیارهای ایجاد شده با ورقه‌های دینامو‌بلش، قرار می‌گیرند. رتورهای موتورهای القایی آسنکرون به‌صورت یکپارچه (رُتور قفسی) یا رُتور سیم‌پیچی شده (رُتور رینگی) ساخته می‌شوند.

رُتور قفسی	این نوع رُتور، از تعدادی میله‌های مسی یا آلومینیومی تشکیل شده است که آنها را در داخل شیارهای ورقهٔ مغناطیسی رُتور تعبیه کرده‌اند. این میله‌ها از هر دو طرف توسط دو حلقهٔ هم جنس با میله‌ها (آلومینیوم یا مس) به هم متصل شده‌اند.	
رُتور سیم‌پیچی شده	بر روی این نوع رُتور، سه دسته سیم‌پیچ با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه مانند استاتور ماشین القایی سه فاز با همان تعداد قطب، پیچیده می‌شود. این سیم‌پیچ‌ها نسبت به بدنهٔ رتور، عایق شده‌اند.	

کار درکلاس

اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.

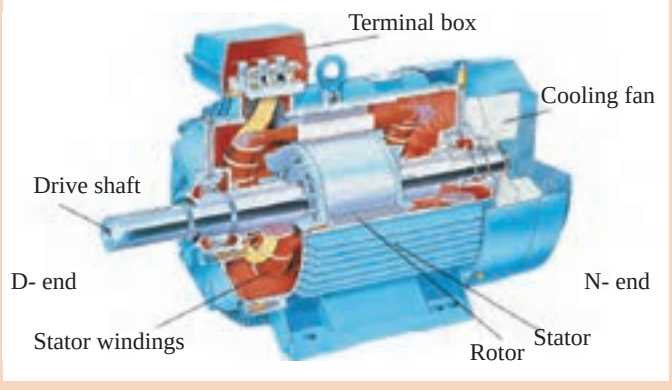


مقایسهٔ موتورهای رتور قفسی و رتور سیم‌پیچی

مزایا	معایب
موتور رتور قفسی در یک توان مشخص، مقاومت اهمی کمتری داشته و لذا تلفات مسی رتور در آن کمتر است.	گشتاور راه‌اندازی کمتر، نسبت به موتور رتور سیم‌پیچی
موتور رتور سیم‌پیچی، نیاز به حلقه‌های لغزان، جاروبک و سیم‌پیچی رتور دارد، در نتیجه گران‌تر از یک موتور رتور قفسی است.	ضریب قدرت کم در هنگام راه‌اندازی
موتور رتور قفسی به دلیل نداشتن جاروبک و حلقه‌های لغزان، هزینه تعمیر و نگهداری کمتری دارد.	

کار درکلاس

اصطلاحات انگلیسی شکل زیر را ترجمه کنید.



تحقیق کنید

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

سرعت میدان دوّار (سرعت سنکرون)

در صورتی‌که میدان دوّار استاتور از طریق سه سیم‌پیچ که نسبت به یکدیگر ۱۲۰ درجه اختلاف فاز دارند تولید شده باشد ، سرعت میدان دوّار برابر فرکانس شبکه خواهد بود.
سرعت میدان مغناطیسی دوّار تابع فرکانس شبکه وتعداد قطب‌های سیم پیچی است و از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید.

×۶۰

از این رابطه :
N_S: سرعت سنکرون بر حسب دور بر دقیقه؛
F: فرکانس شبکه برق برحسب هرتز؛
P : تعداد نصف قطب‌ها (تعداد زوج قطب) می‌باشد.

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؟

فعالیت

سرعت میدان دوّار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه در استان خوزستان ۱۸۷/۵ rpm است. این مولد نیروگاهی چند قطب دارد؟

سرعت لغزش

در ماشین‌های القایی، سرعت حرکت رتور با سرعت میدان دوّار اختلاف دارد و این اختلاف باعث القای جریان در مدار رتور می‌شود. مقدار این اختلاف سرعت حوزهٔ دوار (N_S) با سرعت رتور (N_r) را سرعت لغزش می‌گویند و با Δn نشان می‌دهند.

$$\Delta n = N_S - N_r$$

لغزش

نسبت سرعت لغزش به سرعت سنکرون را لغزش یا ضریب لنگی می‌گویند و آن را با S نشان داده و برحسب درصد بیان می‌کنند.

$$\%S = \frac{\Delta n}{NS} \times ۱۰۰ = \frac{N_S - N_r}{N_S} \times ۱۰۰$$

مثال

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

$$n_s = \frac{۱۲۰f}{p} = \frac{۱۲۰\times۵۰}{۴} = ۱۵۰۰RPM$$

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

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

$$۰/۰۳ \times ۱۰۰ = ۳٪$$

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؟

کار در کلاس

یک موتور القایی شش قطب با فرکانس ۵۰ هرتز، به شبکه متصل و در بار نامی، دارای لغزش۵ درصد است. سرعت حرکت رتور چقدر است؟

فیلم

فیلم مربوط به اساس کار موتورهای آسنکرون را مشاهده کنید.

اساس کارموتورهای آسنکرون

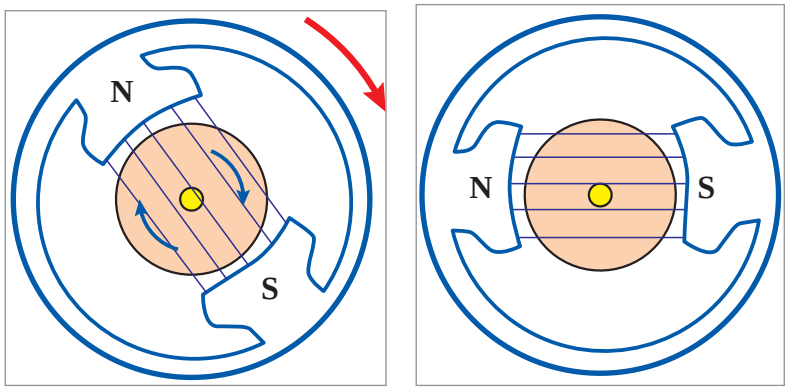
تصور کنید یک صفحهٔ آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند. این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۴ قرار داده شده و قطب‌ها به گردش درآورده می‌شوند. مشاهده می‌شود صفحه آلومینیومی‌نیز به دنبال قطب‌ها، ولی با سرعتی کمتر از سرعت قطب‌ها به‌گردش می‌آید.

سرعت کم صفحهٔ آلومینیومی باعث می‌شود تا صفحهٔ آلومینیومی با تغییر شار مغناطیسی مواجه شده و در آن، جریان القا شود. جریان القا شده در صفحهٔ آلومینیومی در میدان حوزهٔ دوّار گشتاور ایجاد نموده و صفحه، حول محور خود به گردش درمی‌آید. پس می‌توان نتیجه گرفت:

۱ جریان داخل صفحهٔ آلومینیومی ازطریق القای مغناطیسی تأمین می‌شود و به همین دلیل این موتورها را، موتورهای القایی می‌گویند.

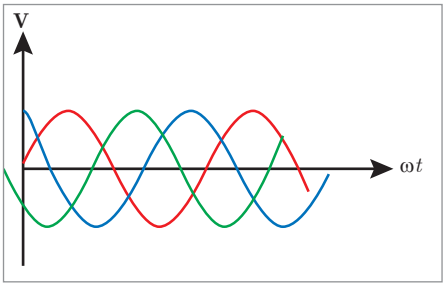
۲ صفحهٔ آلومینیومی‌لازم است اندکی از حوزهٔ دوّار عقب بیفتد تا با تغییر شار مواجه شده و در آن، جریان

القا شود. بنابراین، سرعت صفحهٔ آلومینیومی‌با سرعت حوزهٔ دوّار برابر نیست به این نوع موتورها، موتورهای آسنکرون (غیرهم‌زمان) می‌گویند. (شکل ۴)



شکل ۴ــ صفحهٔ آلومینیومی

در موتورهای صنعتی، جریان متناوب سه فاز به سه سیم‌پیچ سه فاز متصل می‌شود و یک حوزهٔ دوّار در سطح استاتور با سرعت سنکرون $\frac{\times ۶۰}{}$ به‌وجود می‌آید. این میدان مغناطیسی دوّار مفتول‌های رتور را قطع کرده و در آنها جریان القا می‌کند و مفتول‌های جریان‌دار، در میدان دوّار ایجاد گشتاور نموده و مجموعهٔ رتور را حول محورش به گردش درمی‌آورند و روتور نیز با سرعت Nr به گردش درمی‌آید (شکل ۵).



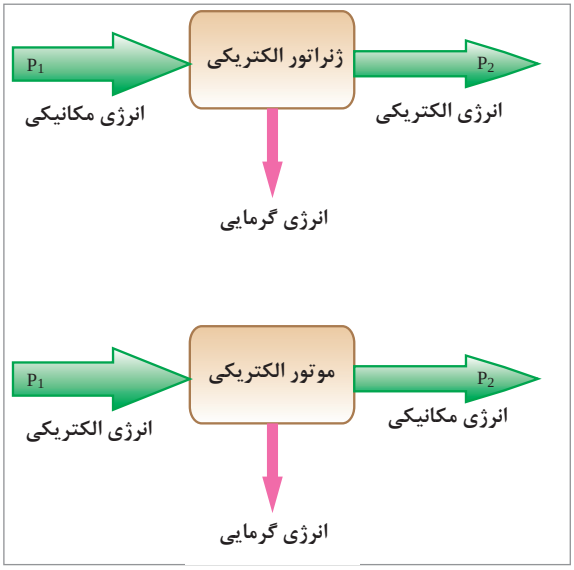
شکل ۵ــ حوزهٔ دوّار در سطح استاتور

فعالیت

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

رفتار ژنراتوری ماشین القایی

ماشین الکتریکی به عنوان 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 طرح واره در شکل۶ نشان داده شده‌اند.



شکل ۶ــ نمایش ژنراتور وموتور الکتریکی از نقطه نظر انرژی

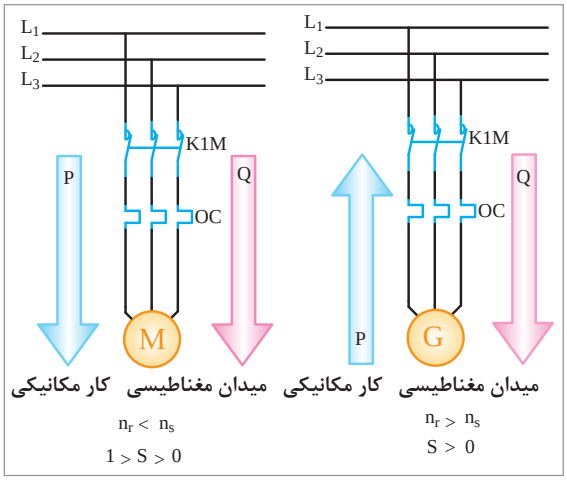
ماشین القایی می‌تواند هم به‌صورت ژنراتور و هم به‌عنوان موتور استفاده شود. ماشین القایی در حالت موتوری از شبکهٔ برق، توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) را جذب می‌کند که توان اکتیو (P) را جهت غلبه بر بار مکانیکی به مصرف خروجی می‌رساند و البته بخشی از آن نیز تلف می‌شود. توان راکتیو را موتور القایی برای ایجاد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

تحقیق کنید

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

شکل۷ این واقعیت را نمایش می‌دهد. البته سمت انتقال توان اکتیو و راکتیو (Q و P) در موتورها از شبکهٔ 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 ۷ به‌صورت توان اکتیو (P) به شبکهٔ برق تحویل می‌شود، البته به شرطی که توان راکتیوِ (Q) مورد نیاز ماشین تأمین شود.



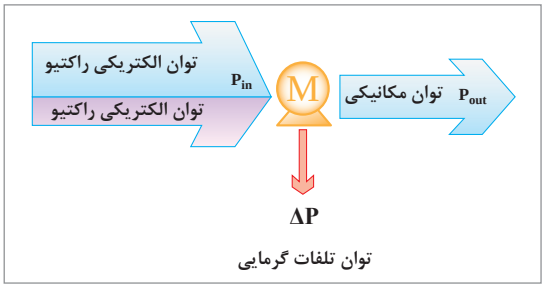
شکل ۷ــ موتور وژنراتور القایی متصل به شبکه برق

تحقیق کنید

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

تلفات و راندمان

از آنجا که ماشین‌های القایی بیشتر به عنوان موتور استفاده می‌شوند، در این بخش تلفات و راندمان موتور القایی مورد بحث قرار می‌گیرد. موتور القایی توان الکتریکی را از شبکه دریافت می‌نماید و توان مکانیکی را به خروجی تحویل می‌دهد. نمودار دریافت توان الکتریکی و تحویل توان مکانیکی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸ــ دیاگرام توان در موتورهای القایی سه فاز

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بخشی از توان دریافتی از شبکهٔ برق، مطابق (شکل ۸)، توان راکتیو است. این بخش از توان برای تولید میدان دوّار، وارد ماشین می‌شود و چون مجدداً به شبکه برمی‌گردد، در محاسبات تلفات و راندمان ماشین به حساب نمی‌آید. بخش دیگری از توان ورودی به موتور القایی، توان اکتیو است. این توان در موتورهای سه فاز از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$P_{in} = \sqrt{۳} U_L I_L \cos\varphi$$

در این رابطه :

U_L: ولتاژ خط بر حسب ولت؛

I_L: جریان خط بر حسب آمپر؛

و $\cos\varphi$ ضریب قدرت موتور می‌باشد.

حداکثر توانی را که موتور می‌تواند به بار تحویل دهد، توان نامی‌موتور می‌نامند و آن را بر روی پلاک موتور درج می‌کنند، همچنین در برگهٔ مشخصات فنی موتور نیز ارائه می‌گردد.

راندمان: راندمان موتور القایی را مانند دیگر ماشین‌ها براساس نسبت توان خروجی به توان ورودی مطابق رابطهٔ زیر می‌توان محاسبه نمود.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

بازده (راندمان) را می‌توان به‌صورت درصد یا نسبت به واحد هم می‌توان محاسبه کرد.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times ۱۰۰$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{\sqrt{۳} U_L I_L \cos\varphi}$$

فیلم

فیلم مربوط به عملکرد ماشین‌های سنکرون را مشاهده کنید.

ماشین‌های سنکرون

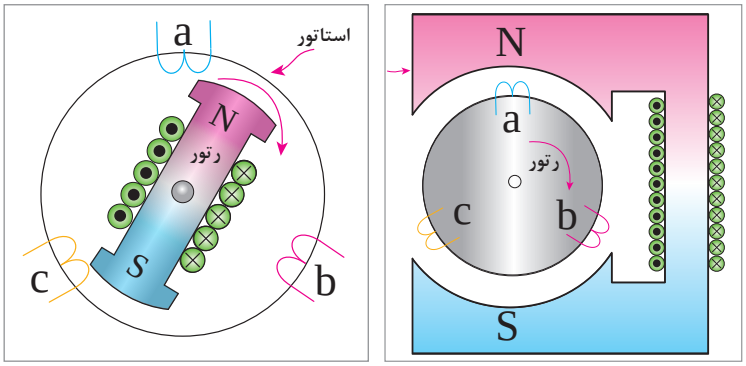
ماشین سنکرون ماشینی است که سرعت رتور با سرعت میدان دوّار آن برابر است. ماشین سنکرون به عنوان ژنراتور سنکرون به منظور تولید انرژی الکتریکی و یا موتور سنکرون قابل استفاده می‌باشد.

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

الف) به کمک میدان مغناطیسی ساکن: در این حالت، میدان مغناطیسی ساکن به‌وسیلهٔ سیم پیچ تحریک درون استاتور به‌وجود می‌آید و سه سیم پیچ مشابه با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° روی رتور قرار داده می‌شود و در داخل میدان مغناطیسی ساکن استاتور چرخانده می‌شود .

مطابق شکل (۹ـ الف).

ب) به کمک میدان مغناطیسی دوّار: در این حالت، میدان مغناطیسی به‌وسیلهٔ سیم‌پیچ تحریک بر روی رتور به‌وجود می‌آید و با چرخش رتور میدان مغناطیسی دوّار فراهم می‌شود و سیم‌پیچ مشابه، درون استاتور با اختلاف فاز مکانی ۱۲۰° قرار داده می‌شود (مطابق شکل ۹ـ ب).



ب الف

شکل ۹ـ روش‌های تولید انرژی الکتریکی در ژنراتورهای سنکرون سه فاز

در ماشین‌های سنکرون، سیم پیچ تولیدکنندهٔ میدان مغناطیسی را «سیم پیچ تحریک» و جریان عبوری از آن را «جریان تحریک» می‌گویند.

کار در کلاس

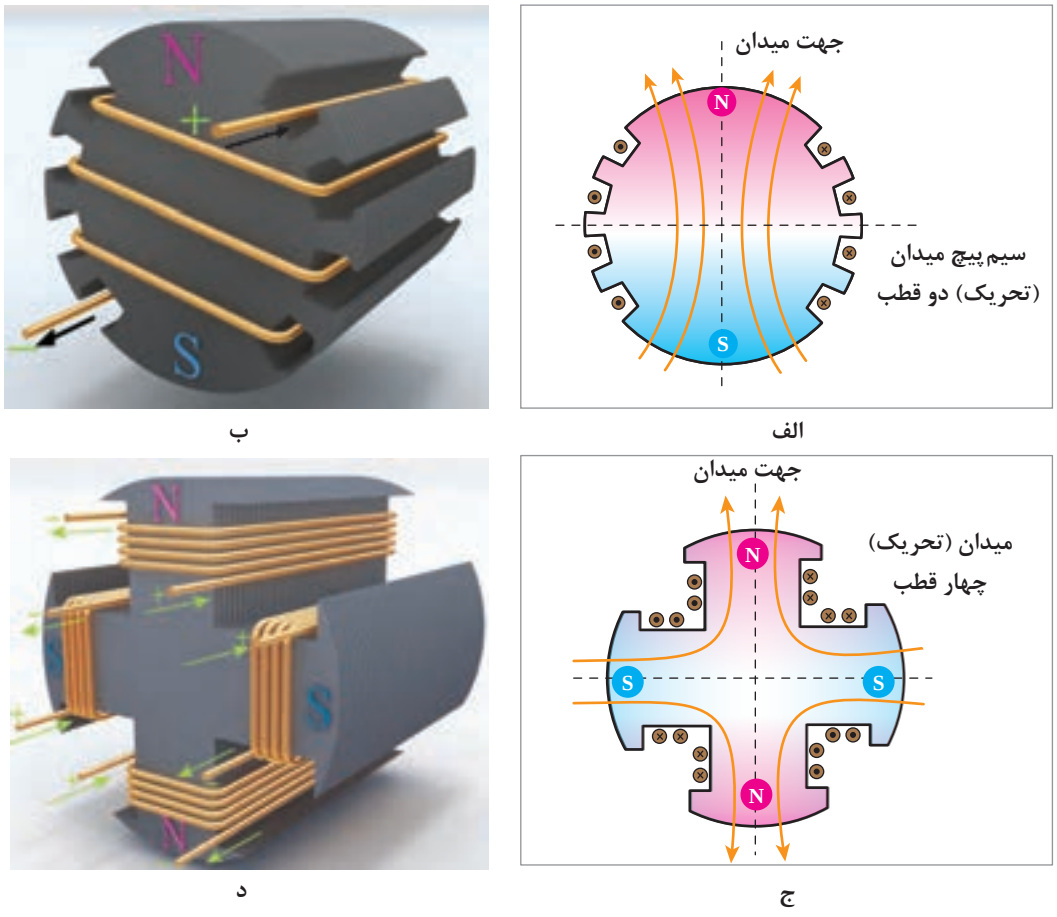
به چه دلایلی القاگر بودن رتور (چرخش میدان مغناطیسی توسط رتور) و دریافت انرژی الکتریکی از سیم‌پیچ‌های استاتور، مزیت بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد.

ساختمان ژنراتورهای سنکرون

ژنراتورهای سنکرون از دو قسمت اصلی استاتور و رتور تشکیل شده‌اند.

استاتور: استاتور ژنراتور سنکرون شبیه استاتور ماشین‌های القایی است و به‌صورت سه فاز، سیم‌پیچی می‌شود که سیم‌پیچ‌های هر فاز نسبت به یکدیگر ۱۲۰° الکتریکی اختلاف فاز مکانی دارند. به‌طور کلی اگر رتور این ژنراتور دو قطبی یک دور کامل بزند، بر روی سیم پیچ هر فاز، نیروی محرکه‌ای به شکل سینوسی القا خواهد شد.

رتور: در رتور ژنراتور سنکرون با جاری شدن جریان در سیم پیچ تحریک، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود تا با چرخش رتور، میدان دوّار تولید شود. (شکل ۱۰)، طرح وارهٔ ایجاد میدان مغناطیسی دوقطبی و چهار قطبی را با سیم‌پیچ‌های رتور ماشین سنکرون نشان می‌دهد. در رتور ماشین سنکرون برای داشتن هستهٔ مغناطیسی، ورقه‌های آهنی سیلیس‌دار را روی هم قرار می‌دهند تا هسته مناسبی برای عبور میدان مغناطیسی ایجاد شـــود. سپس با قرار دادن سیم پیچ‌ها 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.

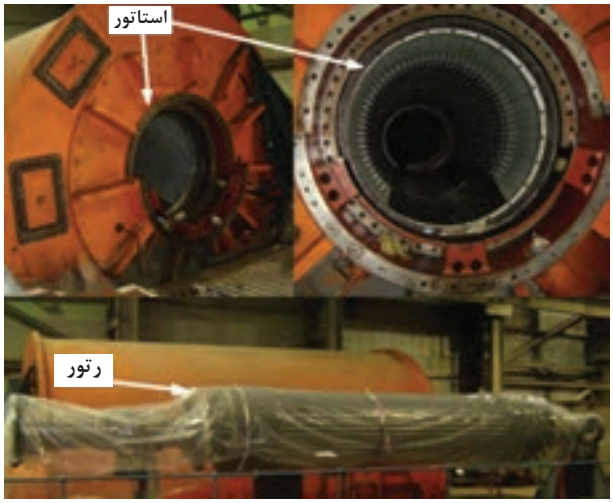


شکل ۱۰ـ طرح وارهٔ رتور دو قطبی و چهار قطبی ماشین سنکرون

انواع رتور ماشین‌های سنکرون

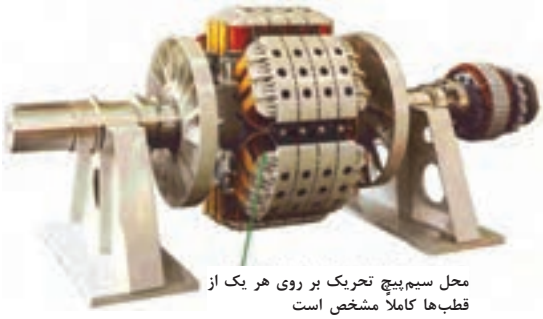
الف) رتور با قطب صاف یا استوانه‌ای: این رتورها مانند (شکل ۱۰ـ الف و ب) به‌صورت استوانه‌هایی ساخته می‌شوند و به آن، رتور با قطب صاف گفته می‌شود. غالباً رتورهای دو قطب به‌صورت قطب صاف ساخته می‌شوند. رتورهای با قطب صاف در ژنراتورهای با سرعت‌های زیاد استفاده می‌شوند. طول این رتورها نسبت به قطر آن بیشتر و متناسب با سرعت زیاد ساخته می‌شود. سیم پیچ‌های تحریک در سطح خارجی استوانه و

به موازات محور ماشین در داخل شیارهای رتور تعبیه شده و بر روی استوانه رتور قرار می‌گیرند. شکل ۱۱ تصویر استاتور و رتور یک توربو ژنراتور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ رتور و استاتور یک توربو ژنراتور

ب) رتور با قطب برجسته: رتور ژنراتورهای با تعداد قطب زیاد و سرعت کم معمولاً از نوع قطب برجسته هستند. طول این رتورها به نسبت قطر آن کمتر است و متناسب با سرعت‌های کم ساخته می‌شود. ساختمان رتور قطب برجسته و چگونگی قرارگیری سیم‌پیچ‌های تحریک بر روی آن در شکل ۱۲ نشان داده شده است. رتور ژنراتور نیروگاه‌های آبی و دیزل ژنراتورها این‌گونه ساخته می‌شوند.



شکل ۱۲ــ رتور قطب برجسته

در شکل۱۳ رتور ژنراتور نیروگاه‌های آبی در حال قرارگیری در استاتور نشان داده شده است.

شکل۱۳ــ رتور نیروگاه آبی سد شهید عباسپور درحال قرارگیری در استاتور

فرکانس ژنراتور سنکرون: فرکانس ولتاژ ژنراتور سنکرون به عوامل زیر بستگی دارد:
الف) تعداد قطب‌های سیم‌پیچی؛
ب) سرعت رتور.
درقسمت قبل، رابطهٔ سرعت سنکرون ماشین‌های القایی بیان شد. در اینجا، رابطه برحسب فرکانس نوشته می‌شود:

$$n_s = \frac{۶۰ \times f}{p}$$

$$f = \frac{n_s \times p}{۱۲۰}$$

دراین رابطه :
n_S سرعت گردش رتور ژنراتور سنکرون بر حسب دور در دقیقه (RPM)؛
P تعداد جفت قطب؛
f فرکانس بر حسب (Hz) می‌باشد.

مثال

رتور یک ژنراتور دو قطبی با سرعت ۳۰۰۰دور در دقیقه بچرخد، 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 بر حسب فرکانس بیان شده است.

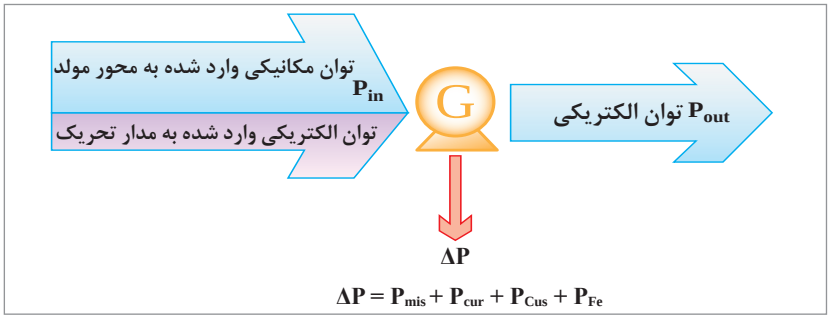
کار درکلاس

می‌خواهیم فرکانس ولتاژ ژنراتوری ۵۰ هرتز باشد :
الف) اگر رتور این ماشین چهار قطبی باشد، محور ژنراتور را با چه سرعتی بچرخانیم؟
ب) اگر سرعت رتور (محور ژنراتور)، ۷۵۰ RPM باشد، از ژنراتور چند قطبی باید استفاده کرد؟

تلفات و راندمان در ژنراتورهای سنکرون

به دلیل تفاوت ساختمان ژنراتورهای سنکرون نسبت به دیگر ماشین‌ها (ژنراتورها)، لازم است در محاسبهٔ راندمان بیشتر دقت شود. چرا که توان ورودی ژنراتور سنکرون از دو بخش تأمین می‌شود:
بخش اول، توان الکتریکی (DC) مربوط به مدار تحریک (P_{dc})؛
بخش دوم، توان مکانیکی (P_{mec}) ورودی.

برای آشنایی بیشتر به دیاگرام شکل ۱۴ توجه شود.



شکل ۱۴ـ دیاگرام توازن توان ژنراتور سنکرون

اگر توان ورودی و خروجی از رابطه‌های زیر به‌دست آید:

$$P_{in} = P_{mec} + P_{dc}$$

$$P_{out} = \sqrt{3} U_L I_L \cos\varphi$$

در این رابطه :

U_L: ولتاژ خط برحسب ولت؛

I_L: جریان خط بر حسب آمپر

و $\cos\varphi$ ضریب قدرت شبکه می‌باشد.

با توجه به دیاگرام توان (شکل۱۴) داریم :

$$\Delta P = P_{in} - P_{out}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Delta P}$$

ΔP یا مجموع تلفات ژنراتور سنکرون، از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = \Delta P_{mis} + \Delta P_{Cur} + \Delta P_{Cus} + \Delta P_{Fe}$$

در این رابطه :

ΔP_{mis}: تلفات مکانیکی رتور برحسب وات؛

ΔP_{Cur}: تلفات مسی رتور برحسب وات؛

ΔP_{Cus}: تلفات مسی استاتور برحسب وات؛

و ΔP_{Fe}: تلفات آهنی ماشین برحسب وات می‌باشد.

که ΔP_{Cur} و ΔP_{Cus} از رابطه‌های زیر به‌دست می‌آید:

$$\Delta P_{cur} = R_f I_f^2$$

$$\Delta P_{cus} = 3 R_s I_{ph}^2$$

که در رابطه‌های صفحه قبل
R_f مقاومت تحریک بر حسب اهم؛
I_f جریان تحریک بر حسب آمپر؛
R_s مقاومت هر فاز سیم پیچ استاتور؛
I_{ph} جریان عبوری از هر فاز سیم پیچ استاتور می‌باشد.

کار در کلاس

یک ژنراتور سنکرون ۴۰۰ ولت با اتصال ستاره، باری با جریان ۸۰ آمپر و ضریب قدرت ۰/۷ را تأمین می‌کند. اگر از تلفات مسی رتور صرف نظر کنیم و تلفات هسته، ۴۰۰ وات و تلفات مکانیکی، ۶۰۰ وات و مقاومت هر فاز استاتور ۰/۰۴ اهم باشد، راندمان ژنراتور را محاسبه کنید.

تحقیق کنید

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

ساختمان موتور سنکرون

ساختمان موتورهای سنکرون سه‌فاز مشابه ژنراتورهای سنکرون است البته تفاوت‌های جزئی بین آنها وجود دارد؛ به عنوان نمونه رتور موتورهای سنکرون غالباً از نوع قطب برجسته است. در صورتی‌که در ژنراتورها چنین نیست همچنین در ساختمان رتور موتورهای سنکرون از میله‌های قفس سنجابی استفاده می‌شود.

اصول کار موتور سنکرون

اگر سیم پیچ‌های سه فاز استاتور موتور سنکرون را به شبکه سه فاز متصل کنیم، مطابق آنچه که در موتورهای القایی گفته شد، میدان دوّاری با سرعت ns طبق رابطه زیر در داخل موتور ایجاد می‌گردد.

$$n_s = \frac{۶۰ \times f}{p}$$

کار در کلاس

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

تحقیق کنید

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

کاربرد موتور سنکرون

با توجه به جدول زیر و مقایسهٔ ویژگی‌های دو موتور القایی (آسنکرون) و سنکرون، از موتور سنکرون می‌توان جهت اصلاح ضریب قدرت شبکه استفاده نمود. به همین علت به موتور سنکرون، خازن سنکرون هم می‌گویند. از دیگر کاربردهای این موتور استفاده از آن در بارهایی می‌باشد که نیاز به سرعت ثابت دارند. موتورهای سنکرون به دلیل پیچیدگی ساختمان در مقایسه با موتورهای القایی بسیار گران‌ترند، ولی استفاده از موتورهای سنکرون در توان‌های خیلی زیاد به‌صرفه‌تر است.

موتور القایی(آسنکرون)	موتور سنکرون
دارای گشتاور راه‌اندازی می‌باشد.	گشتاور راه اندازی ندارد (به یک سیستم راه‌اندازی نیاز دارد).
سرعت آن با افزایش بار افت می‌کند و هرگز در سرعت سنکرون نمی‌چرخد.	در تمام بارهای ممکن با سرعت سنکرون می‌چرخد.
به تحریک DC نیاز ندارد.	به تحریک DC نیاز دارد.
ضریب قدرت این موتور همواره پس فاز است.	می‌تواند در ضریب قدرت‌های متفاوت پس فاز، یا پیش‌فاز و یا واحد کار کند.
برای گردش بارهای مکانیکی به‌کار گرفته می‌شود.	هم برای گردش بارهای مکانیکی و هم به‌عنوان اصلاح‌گر ضریب قدرت می‌تواند در شبکه استفاده شود.

خلاقیت ایرانی، فاتح جنگ آب

حادثهٔ عظیم دفاع مقدس پر از ماجراهای باشکوه و صحنهٔ خلاقیت و ابتکار رزمندگان جوان ایرانی بود. یکی از این جنبه‌ها جنگ آب بود که در ابتدا نه ایران و نه عراق شناخت کاملی از آن نداشتند. به مرور و با تجربهٔ عملیات مختلف، استفاده از موانع طبیعی از جمله دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، کانال‌های آب و باتلاق‌ها در دستور کار قرار گرفت. یکی از برتری‌های نظامی‌عراق استفاده از ادوات نظامی‌سنگین مانند تانک بود و باید با راهکاری این کمبود جبران می‌شد. به‌طور مثال با غرقاب ساختن منطقهٔ وسیعی از زمین به‌منظور ایجاد مانع آبی گسترده و صعب‌العبور می‌توانست ماشین جنگی رژیم بعثی را از کار انداخت.

استفاده از پمپ‌های آب خاص می‌توانست یکی از ده‌ها راهکار جنگ آب باشد. در آن هنگام، بزرگ‌ترین پمپ‌های ساخت کشور از انواع سانتریفیوژ، توربینی و شناور بود که با شرایط متغیر و طبیعیِ مورد نیاز در صحنه‌های عملیات، منطبق نبود. پشتیبانی و مهندسی جنگ جهاد سازندگی پس از بررسی‌های فراوان و پس از عدم توانایی در ساخت کارخانه‌های پمپ‌سازیِ آن روز کشور، پمپ‌های خندق را طراحی کردند و آن را ساختند. شهید داوود جابری از چهره‌های شاخص در این طرح خلاقانه بود.

شهید داود جابری

این نوع پمپ مخصوص حجم زیاد و ارتفاع کم بود. ظرفیت و بازده این پمپ در مقایسه با دستگاه پمپ برقیِ ساخت داخل، بسیار بالاتر بود به‌طوری که ظرفیت آن از ۱۲۵ لیتر در ثانیه به ۳۶۰ لیتر در ثانیه رسید و آزمایش‌ها نشان داد که بازده این پمپ ۸۶ درصد است. (در مقابل پمپ‌های قبلی که بازده آنها ۴۵ تا ۵۰ درصد بود).

موتورهای برقیِ ۳۰۰ تا ۴۵۰ کیلوولت آمپر برای این نوع پمپ استفاده شد و ظرفیتی باورنکردنی برای پمپاژ مقادیر عظیمی آب و راه‌اندازی رودخانه‌های بزرگ مصنوعی ایجاد شد. فناوریِ این پمپ، از نوع شعاعی و با پره‌های خاصی بود که آجر، شن و ماسه، گِل‌ولای، تخته‌پاره و طناب‌های سرگردان در آب‌های منطقهٔ عملیاتی را به‌راحتی پمپ می‌کرد.

هر پمپ می‌توانست دو لولهٔ ۳۵ سانتی‌متری را با فشار تغذیه کند. قالب‌ها و نقشه‌های این پمپ، بعد از جنگ به کارخانهٔ «پمپیران» در تبریز داده شد و این کارخانه، پمپ مزبور را تولید و روانهٔ بازار ایران نمود. شکل ۱۵ و۱۶ استفاده از این پمپ را در دفاع مقدس نشان می‌دهد.

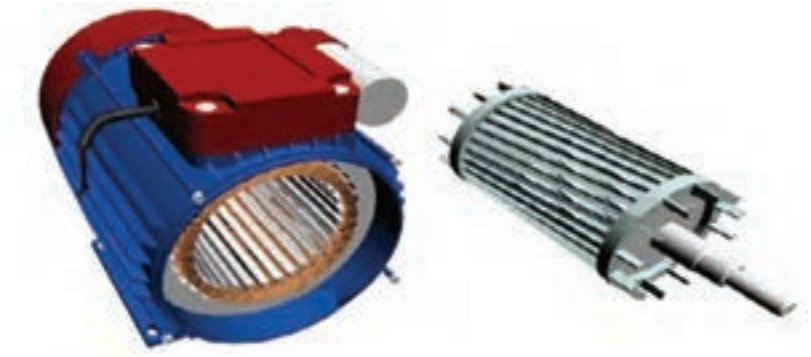
شکل ۱۵ و ۱۶ــ استفاده از پمپ در دفاع مقدس

فیلم

فیلم مربوط به موتورهای تک فاز را مشاهده کنید.

موتورهای تک فاز

اصول کار موتور تک فاز اغلب براساس اصول القای جریان در رتور می‌باشد. میدان دوار مورد نیاز برای راه‌اندازی و چرخش از روش‌های مختلفی ساخته می‌شوند. درشناورها نیز همانند صنایع مختلف، موتورهای تک‌فاز کاربردهای فراوانی دارند از جمله برای پمپ‌های آب شیرین برخی از پمپ‌های تخلیه، پمپ‌های تهویهٔ هوا و موارد متعدد دیگر از این موتورها استفاده می‌شود (شکل ۱۷).



شکل ۱۷ــ رتور و استاتور موتورتک‌فاز

شکل۱۸ــ روتور و استاتور موتورتک‌فاز

به‌طور کلی انواع موتورهای الکتریکی که در شبکه‌های برق تک‌فاز جریان متناوب استفاده می‌شوند، جزء ماشین‌های مخصوص به حساب می‌آیند.

از آنجا که موتورهای الکتریکی تک فاز بسیار متنوع هستند، لذا هر یک بنا بر ویژگی‌های خود در جایی کاربرد دارند. این موتورها معمولاً در قدرت‌های کم تا ۴ کیلو وات ساخته می‌شوند.

علاوه بر دسترسی ساده به برق تک فاز در هر مکان، سازندگان لوازم خانگی، دلیل اصلی استفاده از موتورهای الکتریکی تک فاز را قیمت ارزان و مشخصه گشتاور ـ دور خاص این موتورها می‌دانند (شکل۱۸).

به‌طور کلی موتورهای تک‌فاز به سه دسته کلی تقسیم می‌شوند:

الف) موتور القایی تک‌فاز؛

ب) موتور یونیورسال؛

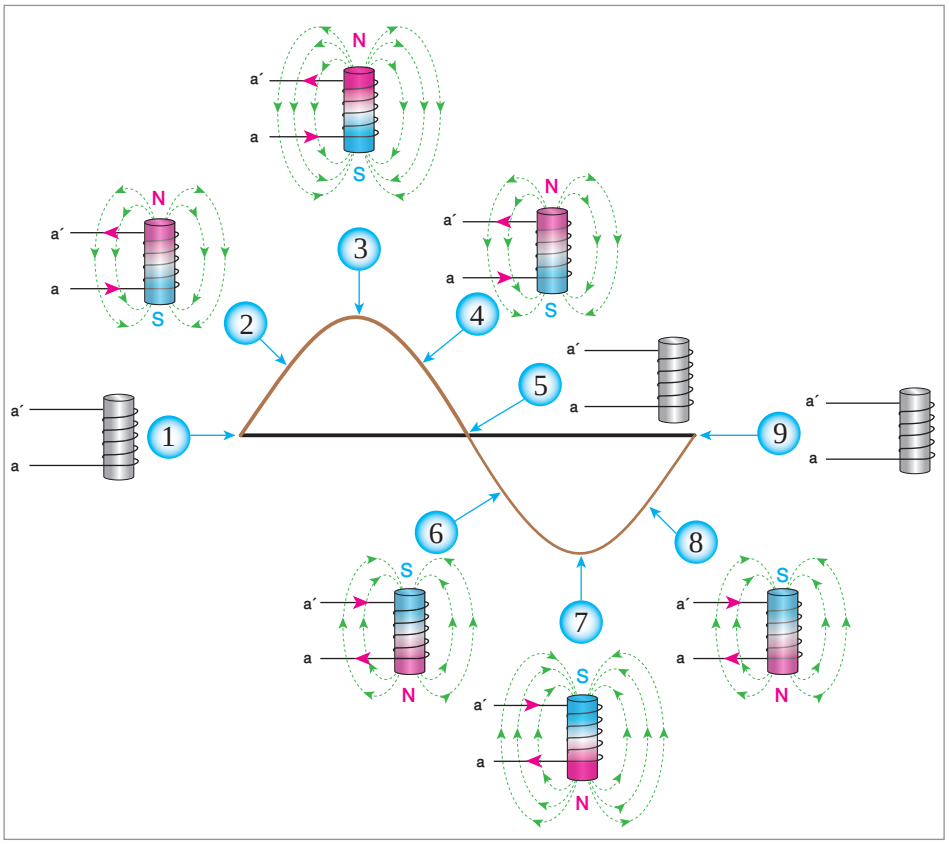
ج) موتور سنکرون تک فاز.

موتورهای القایی تک فاز

به‌طور کلی عامل ایجاد چرخش در موتورهای القایی سه فاز، ایجاد میدان دوّار در داخل استاتور می‌باشد. در صورتی‌که با عبور جریان AC تک فاز از یک سیم پیچ، میدان ضربانی ایجاد می‌شود.

برای ساختن موتور القایی تک فاز، باید بتوان با ابتکاری خاص، میدان دوّار ایجاد نمود. هر چند طرح‌های ارائه شده در جهت ایجاد میدان دوّار دارای نواقصی است، اما برای چرخش موتورهای با توان کم، کافی می‌باشد.

در واقع چگونگی القای ولتاژ در هادی‌های رتور و چرخش آن در موتورهای سه فاز و تک فاز شبیه یکدیگر است. از این رو به دلیل سادگی ساختمان موتورهای القایی تک‌فاز، رتور همهٔ آنها را از نوع قفسه سنجابی می‌سازند (شکل۱۹).



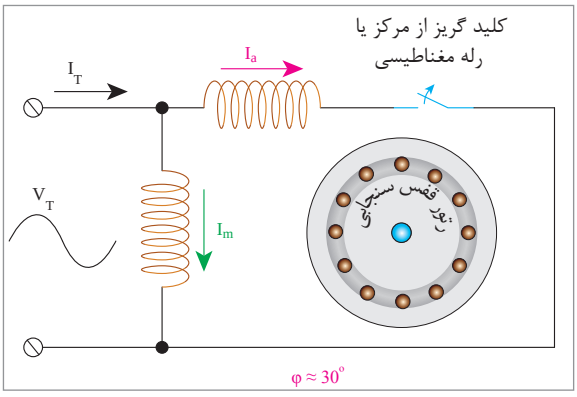
شکل ۱۹ـ ولتاژ و جریان تک‌فاز در یک سیم پیچ میدان ضربانی ایجاد می‌کند.

موتورهای تک فاز القایی براساس انتخاب المان ایجادکنندهٔ اختلاف فاز به‌صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- موتورهای القایی تک‌فاز با فاز شکسته؛
- موتورهای القایی با خازن راه‌انداز؛
- موتور القایی با خازن دائم کار؛
- موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه انداز و دائم کار)؛
- موتور القایی قطب چاک‌دار.

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

از آنجا که مقاومت اهمی سیم‌پیچ راه‌انداز زیاد می‌باشد، در صورت ادامه کار موتور، تلفات حرارتی در سیم‌پیچ راه انداز باعث افزایش دمای سیم‌پیچ و سوختن آن می‌شود. به همین خاطر باید پس از راه اندازی 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 (شکل ۲۰).



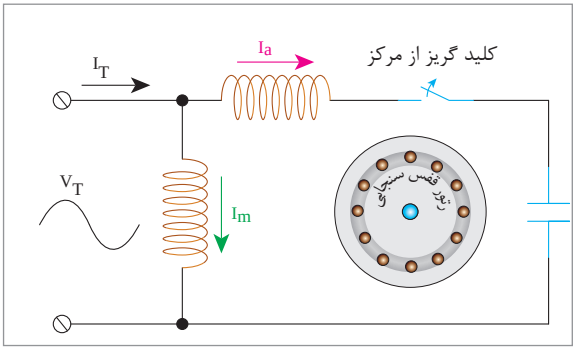
شکل ۲۰ــ موتور القایی تک فاز، فاز شکسته

تحقیق کنید

در مورد کلید گریز از مرکز در موتورهای تک فاز تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

موتورهای القایی با خازن راه انداز: شکل ۲۱ ایجاد اختلاف فاز جریان سیم پیچ اصلی و راه انداز را به کمک یک خازن سری شده با سیم پیچ راه‌انداز نشان می‌دهد. با محاسبهٔ مقدار مناسب ظرفیت خازن می‌توان اختلاف زاویه بین دو جریان را در زمان راه اندازی به 90° 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 راه اندازی موتور، عبورجریان زیاد از خازن باعث سوختن آن می‌شود به همین خاطر باید خازن را توسط کلید گریز از مرکز از مدار خارج کرد.

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



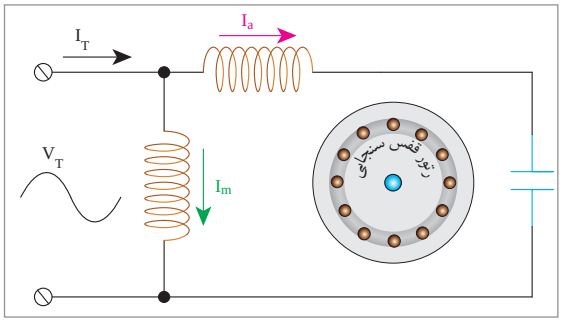
شکل ۲۱ــ موتور القایی با خازن راه انداز

بحث کلاسی

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

موتور القایی با خازن دائم کار: اگر مطابق شکل ۲۲ خازن سری شده با سیم‌پیچ راه‌انداز طوری محاسبه گردد تا در موقع راه‌اندازی اختلاف فاز اندک ولی در زمان کار اختلاف فاز تقریباً ۹۰° شود، می‌توان خازن را در مدار نگه داشت. در این صورت مقدار ظرفیت خازن دائم کار نسبت به خازن راه انداز 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.

بازده (راندمان)، ضریب قدرت و گشتاورکار این موتورها در حالت کار، بسیار خوب است.



شکل ۲۲ــ موتور القایی با خازن دائم کار

تحقیق کنید

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

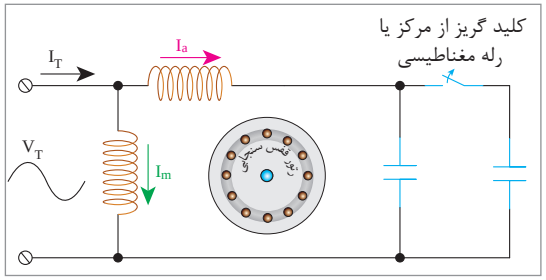
موتورهای القایی دو خازنی (خازن راه انداز و دائم کار): اگر در موتور القایی از هر دو خازن دائم‌کار و راه‌انداز مطابق (شکل ۲۳) هم‌زمان استفاده شود، موتور را دوخازنی می‌گویند.

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

در ابتدای راه اندازی 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، به‌وسیلهٔ کلید گریز از مرکز خازن راه انداز از مدار خارج می‌شود و تنها خازن، روغنی در مدار باقی می‌ماند.

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، سیم پیچ 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.

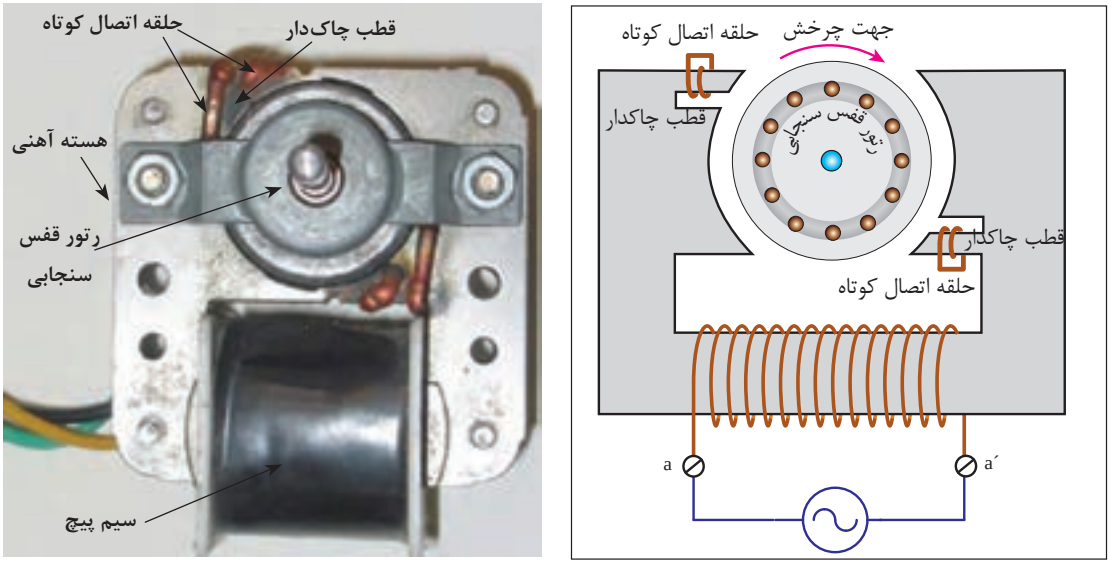


شکل ۲۳ــ موتور القایی دو خازنی (خازن راه انداز و دائم کار)

فعالیت کلاسی

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

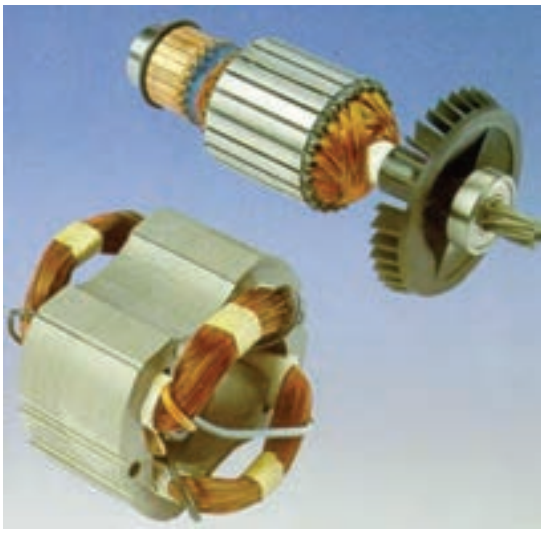
موتور القایی قطب چاک‌دار: اگر بر روی قطب‌های برجستهٔ موتور، شیارهایی تعبیه گردد و یک یا چند حلقهٔ هادی اتصال کوتاه شده مطابق شکل ۲۴ داخل آن قرار داده شود، در این صورت به این نوع موتور القایی، موتور قطب چاک‌دار می‌گویند.
گشتاور راه اندازی و ضریب بهرهٔ این موتورها بسیار کم است و در توان‌های کمتر از ۱۵۰ 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.

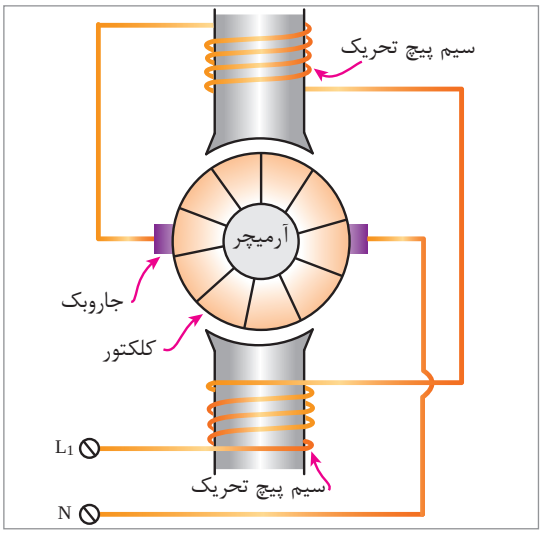


شکل۲۴ـ موتور القایی قطب چاک‌دار (به جهت چرخش و قطب‌ها توجه شود)

موتور یونیورسال

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 بر اساس تغییر پلاریتهٔ ولتاژ اعمالی بر موتور امکان‌پذیر است، بنابراین با اتصال منبع تغذیهٔ 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 تغذیهٔ جریان مستقیم باشد.
از آنجا که این موتورها می‌توانند با هر دو نوع جریان متناوب و یا مستقیم کار کنند، موتورهای یونیورسال نامیده می‌شوند (شکل ۲۵).





شکل ۲۵ــ شکل ظاهری موتور یونیورسال

کار در کلاس

درکدام یک از لوازم خانگی از موتور یونیورسال استفاده می‌شود؟

تحقیق کنید

انواع موتورهای القایی تک‌فاز را از نظر ساختمان و کاربرد با یکدیگر مقایسه کرده ونتیجه را به‌صورت پرده‌نگار در کلاس ارائه نمایید.

استفاده از موتورهای سه فاز در شبکهٔ برق تک فاز

الکتروموتورهای سه فاز را می‌توان با جریان تک فاز راه‌اندازی نمود.

در راه اندازی الکتروموتورهای سه فاز با جریان تک فاز، از یک خازن استفاده می‌کنند (در الکتروموتورهای با قدرت زیاد اغلب از دو خازن که به دلیل زیاد شدن ظرفیت، موازی بسته شده‌اند نیز استفاده می‌شود) که خازن، با سیم‌پیچی سری یا موازی می‌شود و جریان در شاخه‌ای که با آن سری شده است جلو افتاده و اختلاف فاز به‌وجود می‌آورد و باعث گردش موتور می‌شود.

جهت گردش موتور بستگی به روش اتصال خازن دارد. قدرت الکتروموتور نیز به روش اتصال پلاک موتور (ستاره یا مثلث) و انتخاب نوع خازن (تعیین ظرفیت) بستگی دارد که معمولاً با انتخاب دقیق می‌توان حداکثر قدرت در حالت تک‌فاز را به ۷۰ تا ۷۵ درصد در حالت سه فاز رساند.

مقدار ظرفیت خازن به ازای هر کیلو وات قدرت با ولتاژهای مختلف شبکه (طرز اتصال کلاف‌ها) به شرح زیر می‌باشد:

شبکهٔ ۱۱۰ ولتی ظرفیت خازن ۲۵۰ میکروفاراد؛

شبکهٔ ۲۲۰ ولتی ظرفیت خازن ۷۰ میکروفاراد؛

شبکهٔ ۳۸۰ ولتی ظرفیت خازن ۲۲ میکروفاراد.

تحقیق کنید

دلیل اتصال ستاره در موتور سه فاز با ولتاژ ۲۲۰/۱۲۵ هنگام استفاده در شبکه برق تک فاز چیست؟

ارزشیابی

۱ آیا می‌توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟

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

۳ سرعت میدان دوار ماشین القایی۱۰۰۰RPM و فرکانس شبکه ۵۰Hz می‌باشد. تعداد قطب‌های ماشین را به‌دست آورید.

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

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

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

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

۸ یک ماشین القایی شش قطب، ۶۰HZ با سرعت ۸۸۰RPM می‌چرخد، به‌دست آورید:

الف) سرعت میدان دوار ب) سرعت لغزش ج) مقدار لغزش

۹ یک موتور القایی ۴۰۰ ولت، در بار نامی ۳۵۰ آمپر از شبکه دریافت می‌کند. چنانچه مجموع تلفات ۲۰کیلووات و ضریب قدرت آن ۸۳/۰ باشد، به‌دست آورید:

الف) توان دریافتی از شبکه ب) توان خروجی ج) راندمان موتور

۱۰ چرا به موتورهای تک فاز AC نیاز داریم؟

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

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

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

۱۴ مقدار خازن مورد نیاز جهت راه‌اندازی یک موتور سه فاز۱/۵kw به‌صورت تک فاز چقدر باید باشد؟

جدول ارزشیابی بررسی ماشین‌های الکتریکی

عنوان پودمان (فصل)	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره‌دهی)	نمره
کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی	بررسی ماشین‌های الکتریکی	تجزیه و تحلیل ماشین‌های القایی سه فاز و تک فار و کاربری آن‌ها	بالاتر از حد انتظار	۱ـ ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ دیاگرام توان و تلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳ـ ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه وتحلیل کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی همهٔ شاخص‌ها را داشته باشد.**	۳
			در حد انتظار	۱ـ ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ دیاگرام توان وتلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳ـ ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.**	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱ـ ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه و تحلیل کند. ۲ـ دیاگرام توان وتلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید. ۳ـ ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند. ■ **هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌ها را داشته باشد.**	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی شایستگی کاربری ماشین‌های الکتریکی دریایی

۱ـ شرح کار:

- ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه وتحلیل کند.
- دیاگرام توان وتلفات را در ماشین‌ها تجزیه و تحلیل نماید.
- ماشین‌های الکتریکی تک‌فاز را تجزیه و تحلیل کند.

۲ـ استاندارد عملکرد

بررسی وتجزیه و تحلیل کردن ماشین‌های الکتریکی

۳ـ شاخص‌ها

تشریح کامل از ماشین‌های الکتریکی

۴ـ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس مناسب همراه پرده‌نگار باشد.

ابزار و تجهیزات:

۵ ـ معیار شایستگی

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	ماشین‌های القایی سه فاز را تجزیه وتحلیل کند.	۲	
۲	دیاگرام توان وتلفات را در ماشین‌ها تجزیه وتحلیل نماید.	۱	
۳	ماشین‌های الکتریکی تک فاز را تجزیه و تحلیل کند.	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشتی و توجهات زیست‌محیطی: ۱ـ رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها؛ ۲ـ دقت و تمرکز در اجرای کار؛ ۳ـ شایستگی تفکر و یادگیری مادام‌العمر؛ ۴ـ اخلاق حرفه‌ای.		۲	
میانگین نمرات			*

*** حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.**