

پودمان ۴

سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



واحد یادگیری ۴

سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز

آیامی‌دانید:

- کاربرد الکتروموتورهای سه‌فاز چیست؟
- اجزای الکتروموتورهای سه‌فاز کدام‌اند؟
- میدان دوار چگونه تشکیل می‌شود؟
- اساس کار موتورهای آسنکرون چیست؟
- بازپیچی الکتروموتورهای سه‌فاز از چه مراحل تشکیل شده است؟
- تفاوت سیم‌پیچی گام کامل و کسری چیست؟

استاندارد عملکرد

پس از اتمام این واحد یادگیری هنرجویان قادر خواهند بود پس از شناسایی اجزای الکتروموتور سه‌فاز بازپیچی الکتروموتور را به‌طور کامل انجام دهند. همچنین آنها قادر خواهند بود محاسبه و رسم دیاگرام و سیم‌پیچی برای الکتروموتور سه‌فاز یک طبقه و دو طبقه را انجام دهند.

* مقدمه

موتورهای آسنکرون سه فاز القایی، بخش اعظم انرژی مکانیکی کارخانه‌ها و کارگاه‌های تولیدی را تأمین می‌کنند، بالابرها، آسیاب‌ها، تسمه‌نقاله‌ها، فن‌ها و نظایر آن از این دسته است، الکتروموتورها از دو جزء اصلی ساکن (استاتور) و متحرک (روتور) تشکیل می‌شوند. این الکتروموتورها براساس تولید حوزه دوار مغناطیسی در سطح استاتور و القای جریان الکتریکی، در مفتول‌های روتور توسط حوزه دوار ایجاد شده با برق سه فاز، در سطح استاتور 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 حوزه دوار عقب می‌افتد به این علت به این الکتروموتورها، الکتروموتورهای آسنکرون (غیر هم‌زمان) گفته می‌شود.

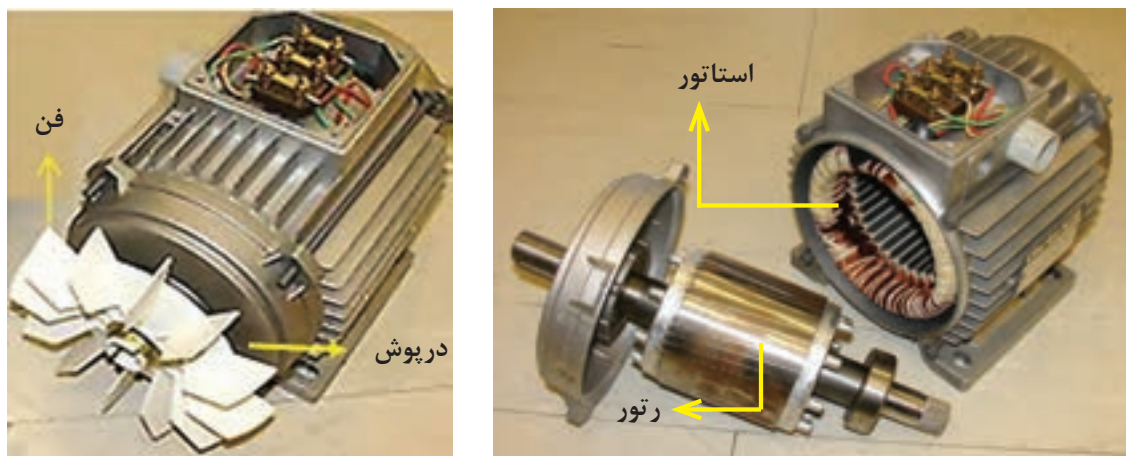
مقدمه آشنایی الکتروموتورها از لحظه ۳۰:۳۰" تا ۳۱:۳۰"

فیلم



ساختمان داخلی موتورهای آسنکرون

قسمت متحرک یا روتور با یک فاصله هوایی کم توسط در پوش‌ها و یاتاقان‌ها در درون قسمت ثابت یا استاتور نصب می‌شود. (شکل ۱)



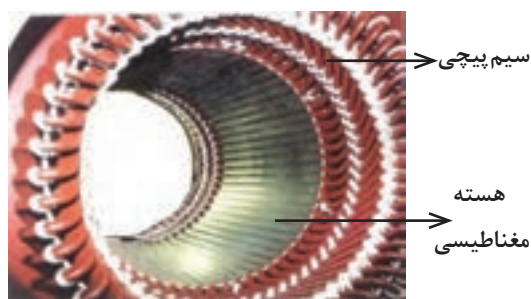
شکل ۱- ساختمان یک موتور آسنکرون

استاتور

استاتور از ورقه‌های آهن سیلیس دار ساخته می‌شود (اصطلاحاً به این نوع ورق‌ها دیناموبلش گفته می‌شود). این



شکل ۲



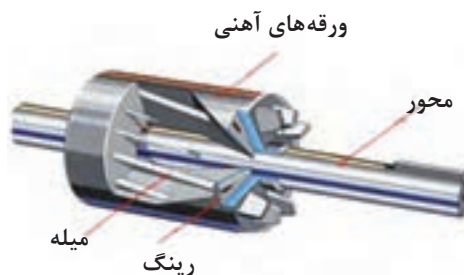
شکل ۳- استاتور موتورهای سه فاز

ورقه‌ها وقتی روی هم قرار می‌گیرند، شیارهایی را پدید می‌آورند (شکل ۲).

در داخل شیارهای استاتور، سیم‌پیچ‌های مسی با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه مکانی، سیم‌پیچی می‌شوند. بعبور جریان از داخل این سیم‌پیچ‌ها، چون جریان‌های الکتریکی سه‌فازه خود دارای اختلاف فاز الکتریکی ۱۲۰ درجه بوده و دائماً در حال تغییر هستند، به همین دلیل یک میدان مغناطیسی در حال چرخش در سطح داخلی استاتور پدید می‌آید که اصطلاحاً به آن میدان «مغناطیسی دوار» می‌گویند. سرعت چرخش میدان مغناطیسی دوار با فرکانس شبکه و قطب‌های موتور، متناسب است. در شکل کلی به قسمت تولیدکننده میدان مغناطیسی دوار در موتورهای الکتریکی، القاکننده می‌گویند. در شکل ۳ یک استاتور سیم‌پیچی شده دیده می‌شود.

روتور

روتور 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 می‌گیرد. میله‌ها یا کلاف‌های روتور وقتی در داخل تغییر شار مغناطیسی، میدان دوار استاتور قرار می‌گیرند. براساس قانون فارادی در آنها جریان القایی جاری می‌شود، به این علت، این موتورها را موتورهای القایی می‌گویند. از آنجایی که برای تغییر شار در مفتول‌های روتور لازم است تا اختلاف سرعت بین میدان دوار و سرعت حرکت روتور وجود داشته باشد (معمولاً سرعت روتور از سرعت میدان دوار کمتر است) به همین دلیل به این موتورها «آسنکرون (غیرهم‌زمان)» می‌گویند. در واقع روتور، قسمت القاکننده موتور آسنکرون است. روتورهای موتورهای القایی آسنکرون به صورت یک پارچه (روتور قفسی) یا روتور سیم‌پیچی شده (روتور رینگ) ساخته می‌شوند (شکل ۴).



روتور قفسی

اجزای داخلی روتور قفسی

شکل ۴- انواع روتور موتورهای سه فاز

تحقیق کنید فرایند ساخت روتور قفسی چگونه است؟

تحقیق



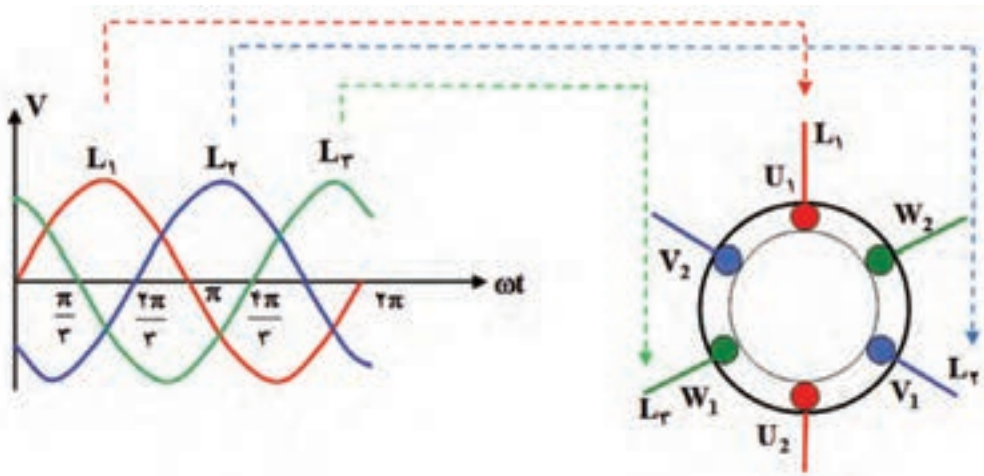
فیلم



اجزای موتور از "۳۱:۳۰" تا "۳۲:۴۵"

چگونگی ایجاد میدان دوار مغناطیسی در استاتور موتورهای سه فاز آسنکرون

استاتور موتورهای سه فاز با برق متناوب سه فاز تغذیه می‌شوند. فازهای شبکه سه فاز متناوب با یکدیگر ۱۲۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند. نمودار فازهای L_1 , L_2 , L_3 در شکل ۵ نشان داده شده است. فرض کنید فاز L_1 سیم پیچ U_1 , U_2 ، فاز L_2 سیم پیچ V_1 , V_2 و فاز L_3 سیم پیچ W_1 , W_2 را تغذیه می‌کنند. در چند موقعیت برق متناوب سه فاز، جهت جریان سیم پیچ‌ها را با توجه به وضعیت فازهای تغذیه در نظر بگیرید و با استفاده از قاعده دست راست، مکان قطب‌ها را در سطح استاتور مشخص کنید.

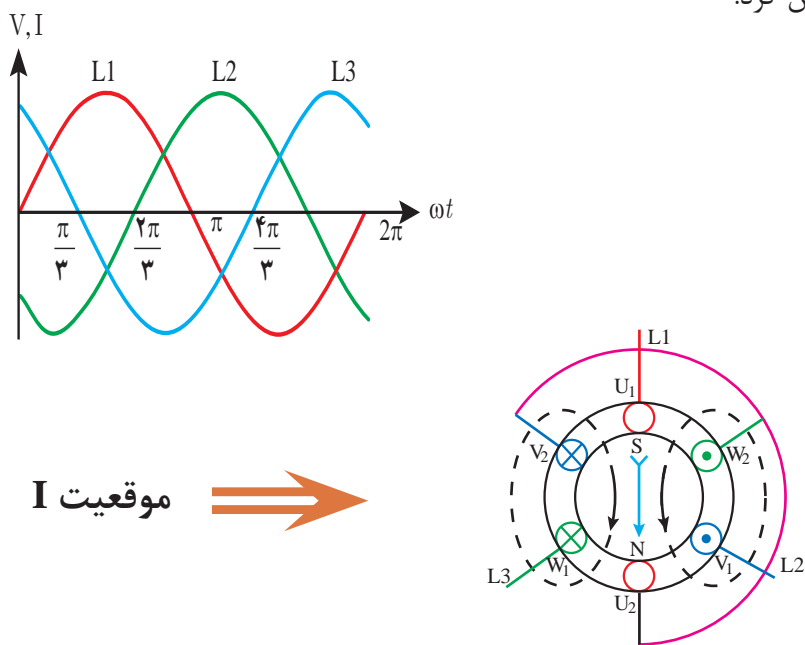


شکل ۵- تغذیه موتور سه فاز با برق سه فاز

در زمان‌هایی که ولتاژ یا جریان متناوب در نیم‌سیکل مثبت است جریان از فاز مربوطه خارج شده و به سر سیم موتور وارد می‌شود که ما طبق قاعده دست راست آن را با علامت \otimes نشان داده و در زمان‌هایی که جریان در نیم‌سیکل منفی است جریان به فاز مربوطه وارد شده و در واقع از سر سیم موتور خارج می‌شود که طبق قاعده دست راست باید آن را با علامت \odot نشان داد.

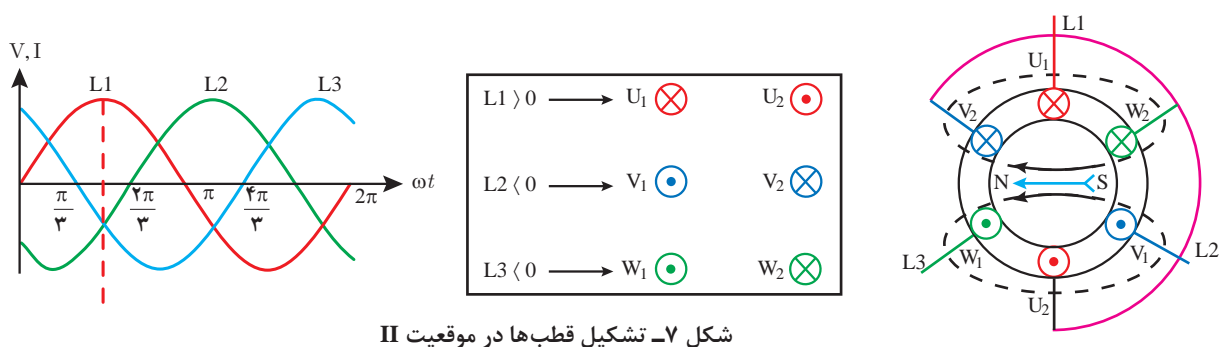
در موقعیت I ($\omega t = 0^\circ$)، مقدار جریان فاز L_1 برابر صفر در نتیجه از سیم پیچ U_1 , U_2 جریانی عبور نمی‌کند. جریان فاز L_2 در نیم‌سیکل مثبت بوده و جریان از سر سیم پیچ سوم یعنی وارد (W_1) و از انتهای سیم پیچ (W_2) خارج می‌شود. پس ورودی W_1 علامت \otimes و خروجی W_2 علامت \odot خواهد داشت. در همین موقعیت فاز L_3 در نیم‌سیکل منفی است، در نتیجه جریان الکتریکی از سر سیم پیچ دوم (V_1) خارج شده و

از انتهای سیم پیچ (V_p) وارد می‌شود، پس ورودی V_1 علامت \odot و خروجی V_p علامت \otimes خواهد داشت. در انتها باید با توجه به قاعده دست راست جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم‌هایی که دارای یک جهت جریان هستند را مشخص کرده و مطابق شکل ۶ میدان مغناطیسی پدید آمده در فضای داخلی استاتور را تعیین کرد.



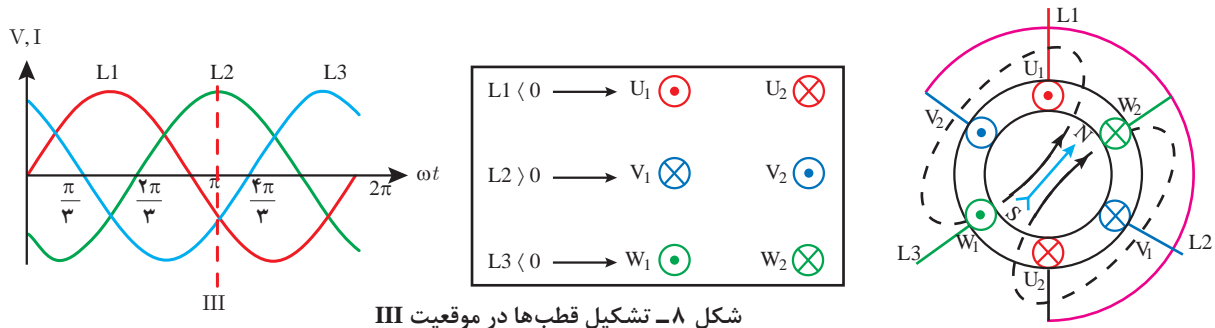
شکل ۶- تشکیل قطب‌ها در موقعیت I

برای خلاصه‌نویسی تحلیل وضعیت میدان مغناطیسی در موقعیت‌های مختلف این تحلیل را به شکل خلاصه‌تری نیز می‌توان نوشت. در اینجا سایر موقعیت‌ها به این شکل بیان شده است. موقعیت II ($\omega t = 90^\circ$) در شکل ۷ نشان داده شده است.

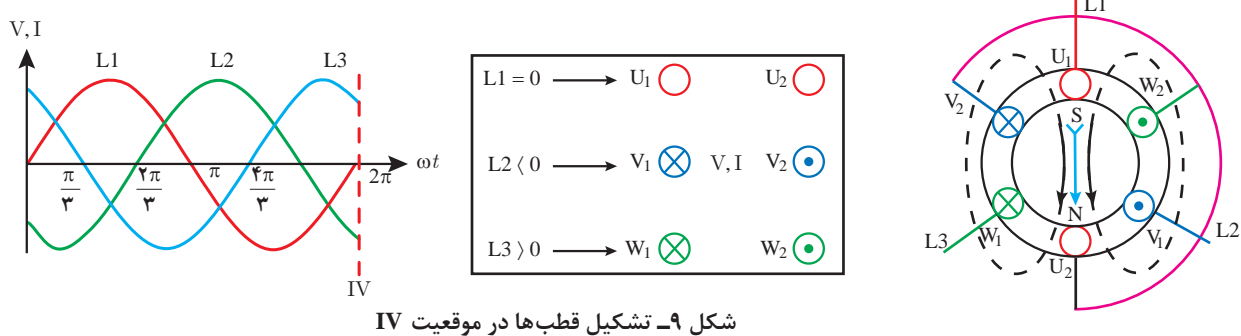


شکل ۷- تشکیل قطب‌ها در موقعیت II

موقعیت III ($\omega t = 210^\circ$) در شکل ۸ نشان داده شده است.



موقعیت IV ($\omega t = 360^\circ$) در شکل ۹ نشان داده شده است.



سؤال

جابه‌جایی جریان فازها چند بار در ثانیه اتفاق می‌افتد؟

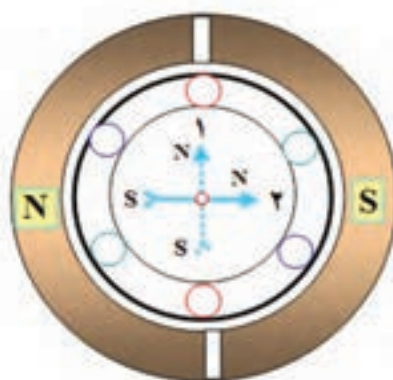
سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون)

هنگام بررسی وضعیت قطب‌ها، با تغییر موقعیت فازها مشخص شد که در یک سیکل کامل تغییرات هر فاز، قطب‌ها یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند. با توجه به فرکانس جریان متناوب، که در هر ثانیه f سیکل کامل دارد، میدان مغناطیسی دوار نیز در هر ثانیه f بار سطح استاتور را خواهد پیمود. به عبارت دیگر سرعت گردش میدان مغناطیسی دوار با فرکانس f رابطه مستقیم دارد.

از طرف دیگر بین دو قطب متوالی N, S اختلاف فاز الکتریکی 180° درجه الکتریکی وجود دارد اگر موتور دو قطب داشته باشد قطب‌های N, S در یک سیکل یک دور کامل سطح استاتور را می‌پیمایند و اگر موتور چهار قطب داشته باشد با وجود 360° درجه الکتریکی قطب‌های N, S در سطح استاتور نیم‌دور یعنی 180° درجه مکانیکی جابه‌جا می‌شوند و هر چه تعداد قطب‌ها بیشتر شود جابه‌جایی مکانیکی کمتر خواهد شد. به عبارت دیگر سرعت میدان مغناطیسی دوار با تعداد نصف قطب‌ها رابطه معکوس دارد (شکل ۱۰).



موتور چهار قطب جابه جایی الکتریکی
۹۰ درجه و جابه جایی مکانیکی ۴۵ درجه



موتور دو قطب جابه جایی الکتریکی
۹۰ درجه و جابه جایی مکانیکی ۹۰ درجه

شکل ۱۰- با افزایش قطبها سرعت موتور کاهش می یابد.

دو نفر روی دو صندلی مقابل هم قرار گیرید و به تناوب جای خود را با هم عوض کنید. حالا این کار را با چهار صندلی و چهار نفر انجام دهید و به ترتیب جای خود را در یک جهت عوض کنید در کدام حالت زودتر به صندلی قبلی بر می گردید؟ چرا؟ اگر تعداد صندلی و افراد بیشتر شود چه اتفاقی در زمان این جابه جایی رخ می دهد؟

فعالیت



با توجه به بررسی مطالب اشاره شده می توان نتیجه گرفت که سرعت میدان مغناطیسی دوار در هر ثانیه از رابطه $N_S = \frac{f}{p}$ به دست می آید. N_S را سرعت سنکرون نیز می گویند. در صنعت سرعت سنکرون بر حسب دقیقه بیان می شود لذا رابطه آن را به صورت $N_S = \frac{f \times 60}{p}$ دور در دقیقه بیان می کنند.

f - فرکانس

p - تعداد نصف قطبها (تعداد زوج قطب)

$$N_S = \frac{f \times 60}{p} \text{ r.p.m} \quad \text{سرعت سنکرون}$$

مثال ۱-۴ استاتور موتور سه فاز آسنکرون ۶ قطب دارد. سرعت سنکرون آن در فرکانسهای ۵۰ هرتز و ۶۰ هرتز چند دور در دقیقه است؟

حل :

$$2p = 6 \rightarrow p = 3, \quad N_S = \frac{f \times 60}{p}$$

$$f = 50 \text{ Hz} \rightarrow N_S = \frac{50 \times 60}{3} = 1000 \text{ r.p.m}$$

$$f = 60 \text{ Hz} \rightarrow N_S = \frac{60 \times 60}{3} = 1200 \text{ r.p.m}$$

۱- round per minute



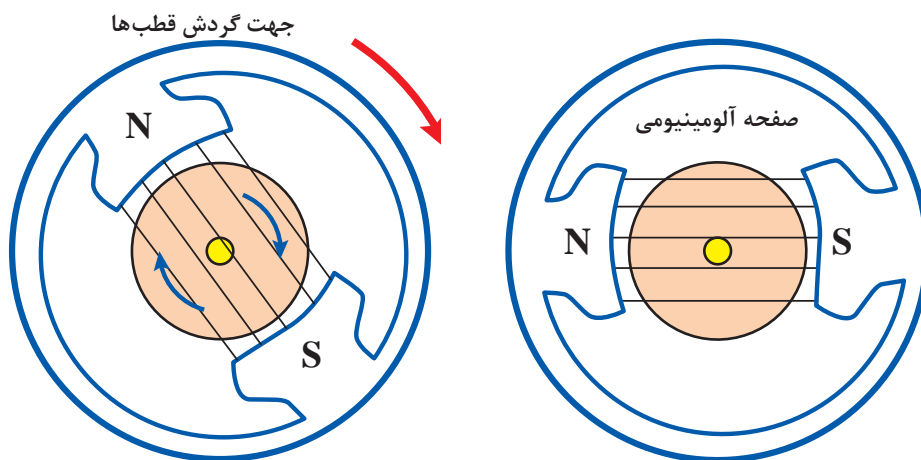
سرعت میدان دوار مولدهای نیروگاه آبی کارون سه استان خوزستان ۱۸۷/۵ r.p.m است. این مولد نیروگاهی چند قطب است؟

اساس کار موتورهای آسنکرون

تصور کنید یک صفحه آلومینیومی قادر است حول محور خود گردش کند، این صفحه در داخل دو قطب مغناطیسی مطابق شکل ۱۱ قرار داده شده و قطب‌های مغناطیسی به گردش درآورده می‌شود. مشاهده می‌شود صفحه آلومینیومی، نیز به دنبال قطب‌ها، ولی با سرعت کمتر از سرعت قطب‌ها به گردش می‌آید. سرعت کم صفحه آلومینیومی باعث می‌شود تا صفحه آلومینیومی با تغییر شار مغناطیسی مواجه شود و در آن جریان القا شود. جریان القا شده در صفحه آلومینیومی در میدان حوزه دوار گشتاور ایجاد نموده و صفحه حول محور خود به گردش درمی‌آید. پس می‌توان نتیجه گرفت :

۱- جریان داخل صفحه آلومینیومی از طریق القای مغناطیسی تأمین می‌شود به همین دلیل این موتورها راه، موتورهای القایی می‌گویند.

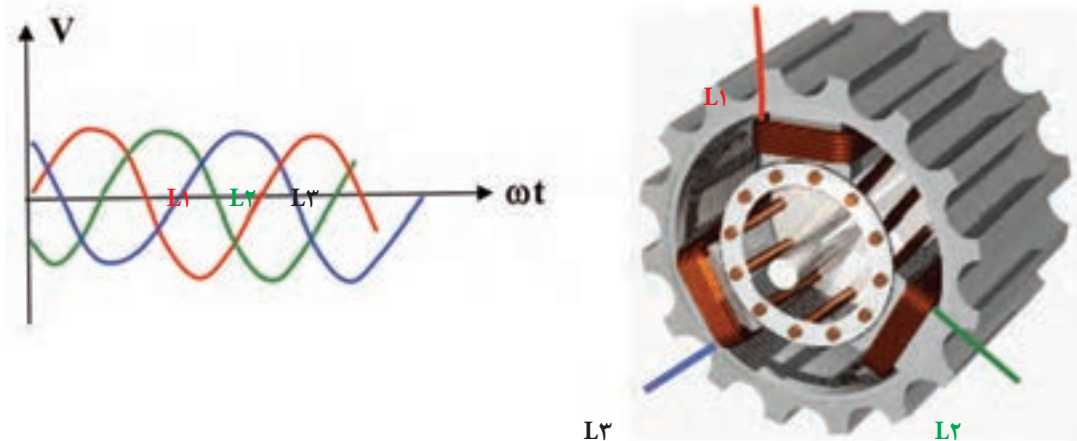
۲- صفحه آلومینیومی لازم است اندکی از حوزه دوار عقب بیفتد تا با تغییر شار مواجه شود، در آن جریان القا شود بنابراین سرعت صفحه آلومینیومی با سرعت حوزه دوار برابر نیست به این نوع موتورها موتورهای آسنکرون (غیر هم زمان) می‌گویند.



شکل ۱۱- صفحه آلومینیومی

در موتورهای صنعتی جریان متناوب سه فاز به سه سیم پیچ سه فاز متصل می‌شود و یک حوزه دوار در سطح استاتور با سرعت سنکرون $N_s = \frac{f \times 60}{p}$ به وجود می‌آید. این میدان مغناطیسی دوار مفتول‌های روتور را

قطع کرده و در آنها جریان القا می‌کند و مفتول‌های جریان‌دار در میدان دوار ایجاد گشتاور نموده و مجموعه روتور را حول محورش به گردش درمی‌آورد و روتور نیز با سرعت N_r به گردش درمی‌آید (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- حوزه دوار در سطح استاتور

سرعت لغزش

اختلاف سرعت حوزه دوار (N_s) با سرعت روتور (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.

$$\%S = \frac{\Delta n}{N_s} \times 100 = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100$$

مثال ۲-۴

موتور سه‌فاز آسنکرون ۲ قطب در هر دقیقه ۲۸۵۰ دور می‌زند. لغزش موتور در فرکانس ۵۰ هرتز شبکه چند درصد است؟ در لغزش ۸ درصد سرعت روتور چند دور در دقیقه خواهد شد؟

حل:

$$2p = 2, \quad f = 50 \text{ Hz}, \quad N_r = 2850 \text{ r.p.m}$$

$$N_s = \frac{f \times 60}{P} = \frac{50 \times 60}{2} = 1500 \text{ r.p.m}$$

$$\%S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 = \frac{1500 - 2850}{1500} \times 100 \rightarrow \%S = \%5$$

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \rightarrow SN_s = N_s - N_r \rightarrow N_r = N_s(1 - S)$$

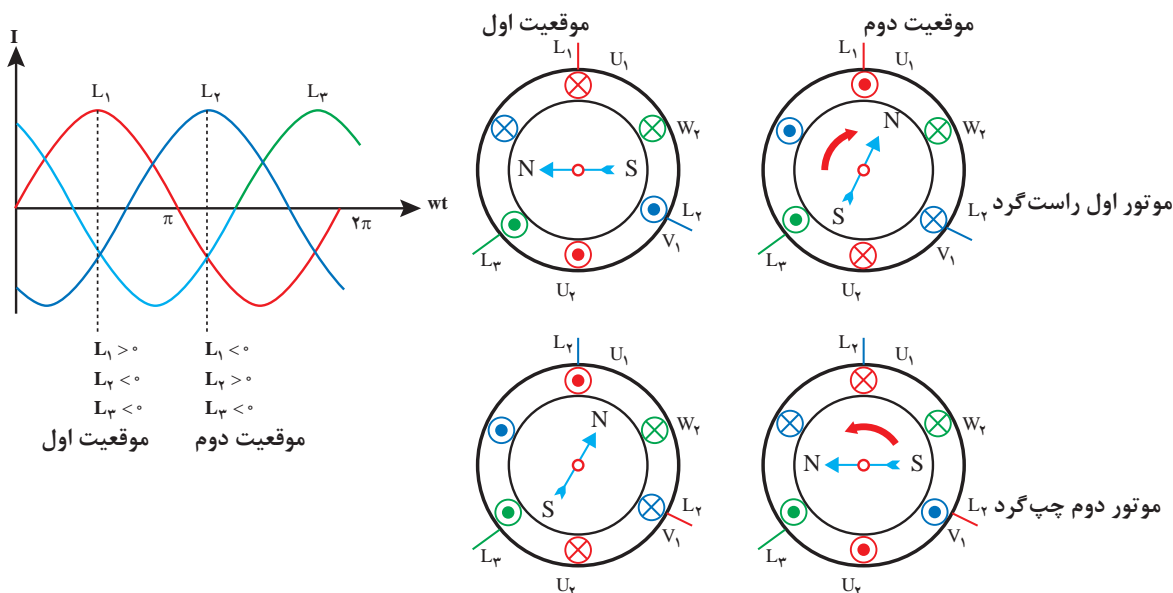
$$N_r = 1500(1 - 0.05) = 1425 \text{ r.p.m}$$



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

بررسی اثر میدان مغناطیسی دوار در تغییر جهت گردش موتورهای آسنکرون

دو الکتروموتور مشابه دو قطب مانند شکل ۱۳ را در نظر گرفته می‌شود. اگر سیم پیچ‌های U_1, V_1, W_1 موتور اول به ترتیب فازهای L_1, L_2, L_3 و سیم پیچ‌های U_2, V_2, W_2 موتور دوم به ترتیب فازهای L_1, L_2, L_3 را تغذیه کند و دو موقعیت وضعیت قطب‌ها در سطح استاتور آنها تعیین شود. مشاهده می‌شود که در موتور اول جابه‌جایی قطب‌ها راست‌گرد و در موتور دوم جابه‌جایی قطب‌ها چپ‌گرد می‌باشد. از آنجایی که گردش روتور در جهت جابه‌جایی قطب‌ها انجام می‌شود بنابراین در موتورهای سه‌فاز آسنکرون با تعویض جای دوفاز در سیم پیچ موتورها، جهت گردش موتورها عوض می‌شود.



شکل ۱۳- تغییر جهت گردش موتور سه‌فاز با تعویض دوفاز

سؤال

تغییر جهت چرخش روتور چه کاربردهایی دارد؟ نام ببرید.

باز کردن الکتروموتورها و استخراج اطلاعات سیم پیچی

برای بازکردن الکتروموتورها، استخراج اطلاعات، سیم پیچی مجدد و نصب مجدد قطعات آن به ابزارهای خاصی نیاز است که در شکل ۱۴ تصویر چند نمونه از آنها مشاهده می‌شود.



انواع پیچ گوشتی



انواع سنبه نشان



آچار فرانسه و بکس زاویه دار



انواع چکش پلاستیکی



آچار تخت و رینگی



انواع پولی کش و بلبرینگ کش



میکرومتر (ریزسنج)



کولیس ورنیه

شکل ۱۴- ابزار مورد نیاز باز کردن الکتروموتورها

خارج کردن و مونتاژ کردن قطعات الکتریکی و مکانیکی در موتورهای الکتریکی

قطعات الکتریکی و مکانیکی ماشین‌های الکتریکی، بیشتر به سه طریق از هم جدا و سپس به همدیگر مونتاژ می‌شوند.

۱- روش گرم کردن

۲- روش بریدن سیم پیچ‌ها و پرچ‌ها

۳- روش پرس کردن

علامت گذاری قطعات هنگام پیاده کردن قطعات مکانیکی توصیه می‌شود، بهتر است بین قسمت‌های جداشونده و

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

قسمت اصلی مشابه شکل ۱۵ علامت گذاری شود تا در مونتاژ این قطعات با تطبیق علائم مشابه بین قسمت اصلی و قطعات جدا شده، سرعت عمل بالا رفته و از جای گذاری اشتباه قطعات جلوگیری شود. برای علامت گذاری بیشتر از سنبه نشان استفاده می شود.



شکل ۱۵- علامت گذاری قطعات جداشونده موتور با سنبه نشان

برای دسترسی به اطلاعات الکتروموتور برای سیم پیچی موجود یا تغییر در وضعیت سیم پیچی یا طراحی سیم پیچی جدید، بهتر است برای الکتروموتور یک شناسنامه تهیه کرد و اطلاعات را در آن ثبت کرد و نقشه موتور را از سیم پیچی موجود، در شناسنامه موتور پیاده کرد.

شناسنامه موتور			
Style:	Frame:	kw یا Hp	Ph
R.P.M یا NO.Poles	Cycles یا c.p.s	Volts	Amps
T یا Deg c Rise	Tim یا Hours	Code:	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type	Serial
Type	Z.S (تعداد شیارها)	کارخانه سازنده	تعداد دور هر کلاف
pitch گام هر کلاف	حفاظت	قطر سیم	$\cos\phi =$
رسم نقشه موتور			
شکل ۱۶- تشکیل شناسنامه موتور			

برای بازپیچی موتورهای الکتریکی لازم است تا کارهای مختلف (مکانیکی و الکتریکی) را انجام دهید. در این کتاب مراحل مورد نظر طی چند مرحله توضیح داده شده است.

مرحله ۱: بازیچی موتور

مرحله اول: باز کردن قطعات مکانیکی و آماده کردن استاتور
۱- ابتدا با پولی کش، پولی موتور را از محور جدا کنید (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- در آوردن پولی از محور موتور

۲- بعد با سنبه درپوش بدنه را علامت گذاری کنید. سپس پیچ‌های موتور را با انتخاب آچار مناسب باز کرده و پس از باز کردن جعبه اتصالات با قلم درپوش‌ها را جدا کنید (شکل ۱۸).

هنگام استفاده از قلم و چکش مراقب انگشتان دست خود باشید. بدنه استاتور را از گرد و خاک و چربی کاملاً پاک کنید.

ایمنی



شکل ۱۸- باز کردن پیچ‌های موتور و درپوش‌ها



شکل ۱۹- ترتیب و توالی باز کردن قطعات موتور

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

۳- قطعات باز شده را، در یک وان آب گرم قرار داده و آنها را کاملاً شست و شو دهید. پس از باز کردن و شست و شوی قطعات، قطعات باز شده را مطابق شکل جمع آوری کنید، مجموعه را تا وصل مجدد آنها، به استاتور، در یک محل امن قرار دهید، تا از آسیب دیدن قطعات و گم شدن آنها جلوگیری شود (شکل ۲۰).



شکل ۲۰- شست و شو و جمع کردن قطعات باز شده



شکل ۲۱- بریدن سیم‌ها توسط قلم

۴- در این مرحله باید با قلم و چکش سیم‌های داخل استاتور را از یک سمت ببرید تا آماده خارج شدن از داخل شیار باشد. در زمان ضربه به قلم دقت کنید تا نوک قلم به ورق دیناموبلش استاتور صدمه وارد نکند (شکل ۲۱).



شکل ۲۲- گرم کردن سیم پیچ

۵- برای خارج کردن راحت‌تر سیم پیچی و عایق روی شیارها، بهتر است استاتور را به مدت لازم در داخل کوره حرارتی قرار دهید یا اینکه آن را در داخل وان حلال لاک سیم پیچی غوطه‌ور کنید تا سیم‌ها و عایق‌های داخل استاتور نرم شده و به راحتی از داخل شیار خارج شوند (شکل ۲۲).

سؤال

آیا ضربه و حرارت بیش از حد روی مشخصه مغناطیسی ورقه دیناموبلش تأثیر منفی دارد؟

۶- چون سیم پیچی گرم و انعطاف پذیر شده است. حالا می توانید مطابق شکل ۲۳ عایق روی سیم پیچی ها را خارج کنید.



شکل ۲۳- خارج کردن پرسپان از شیار

۷- پس از خارج کردن عایق ها می توانید سیم پیچ های سوخته داخل موتور را مطابق شکل ۲۴ از داخل استاتور خارج کنید.



شکل ۲۴-سیم های خارج شده از شیارها

۸- برای سیم پیچی مجدد داخل استاتور لازم است تا داخل آن را به طور کامل تمیز کرد. (شکل ۲۵)



شکل ۲۵-۱ داخل شیارها را با برس تمیز کنید

شکل ۲۵-۲ داخل شیارها را با هوای متراکم بادگیری کنید

۹- در این مرحله باید اولاً: قطر سیم های خارج شده از استاتور را توسط میکرومتر اندازه گیری کرده و ثانیاً: تعداد دور یک بازو از پیچکی را شمارش نموده و سپس مقدار آنها را به پرونده موتور انتقال دهید.

پودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۲۶- اندازه گیری قطر سیم و شمارش تعداد دور یک بازو

۱۰- در این قسمت مطابق شکل ۲۷ طول و قطر داخلی استاتور را اندازه گیری کرده و در شناسنامه موتور ثبت کنید.



شکل ۲۷- اندازه گیری طول و قطر داخلی استاتور

بازپیچی الکتروموتور از لحظه "۳۲:۵۰" تا "۳۸:۳۰"

فیلم



۱۱- داخل شیارهای استاتور را باید با کاغذ عایق (کاغذ پرشمان یا پرسپان) متناسب با ولتاژ فازی موتور و براساس جدول ۱ انتخاب کرده و عایق بندی کنید.
با توجه به اینکه ولتاژ خطی شبکه ایران ۴۰۰ ولت و ولتاژ فازی ۲۳۰ ولت است لذا ضروری است شیارها را با کاغذ به ضخامت ۰/۳ یا ۰/۵ عایق بندی کرد تا سیمها در داخل استاتور با هسته استاتور تماس نداشته باشند. این مرحله باید با دقت کافی انجام شود تا فضای کامل داخل شیارها برای جا زدن سیمها به کار گرفته شود.

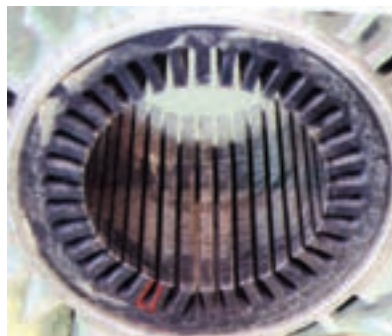
جدول ۱- ضخامت عایق مناسب با ولتاژ فازی

ولتاژ فازی [V]	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۵۰	۴۵۰-۶۰۰	۶۰۰-۸۰۰	۸۰۰-۱۰۰۰
ضخامت عایق [mm]	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۱

۱۲- نحوه تهیه و جا زدن کاغذهای پرشمان را در تصاویر شکل (۲۸) مشاهده می‌کنید.



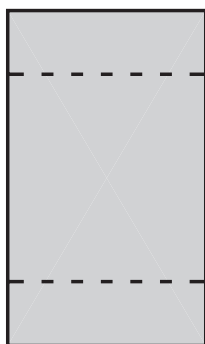
(ب) برش کاغذ پرشپان با کاتر



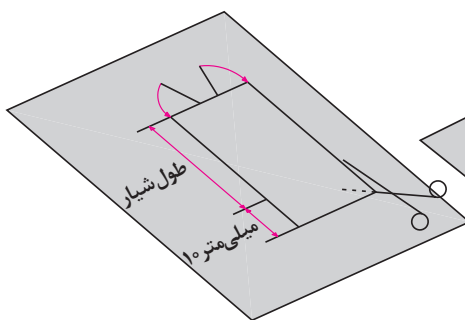
(الف) اندازه‌گیری سطح داخل شیار

هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه و نور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر و گیوتین مراقب انگشتان خود باشید.

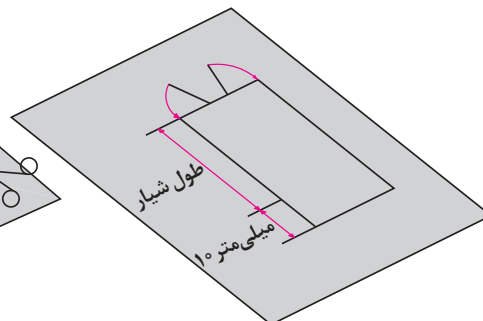
ایمنی



(ث) از هر طرف ۵ میلی‌متر علامت گذاری شود



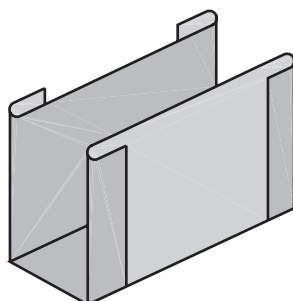
(ت) برش کاغذ پرشپان



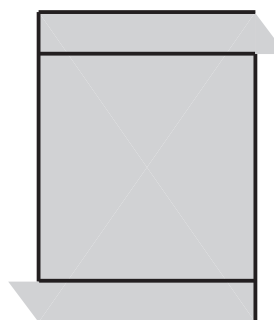
(پ) اندازه‌گذاری کاغذ پرشپان با ۱۰ میلی‌متر اضافی



(ح) عایق آماده شده



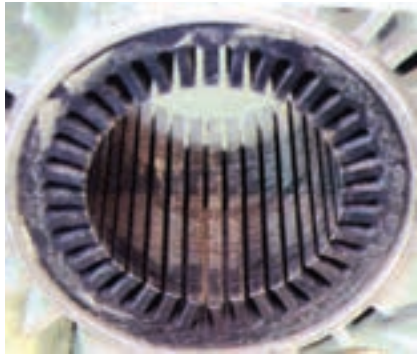
(چ) شکل عایق پس از تا شدن



(ج) از محل علامت گذاری تا می‌شود

شکل ۲۸- عایق کاری داخل شیارها

۱۳- مطابق الگوی نشان داده شده در مرحله قبل باید برای تمامی شیارهای موتور عایق کاغذی (کاغذ پرشمان) را ساخته و در شیارها قرار دهید (شکل ۲۹).



۲۹-۱- عایق در داخل شیار قرار می گیرد



۲۹-۲- استاتور عایق کاری شده

عایق کاری داخل شیارهای استاتور از لحظه "۳۸':۴۰" تا "۴۱':۴۵"

فیلم



ایمنی



کار عملی ۱



هنگام کار از صندلی، سیستم تهویه و نور مناسب استفاده کنید و هنگام تمیز کردن شیارها از ماسک برای جلوگیری از تنفس غبار استفاده کنید. موقع استفاده از کاتر و گیوتین مراقب انگشتان خود باشید.

هدف: خارج کردن سیم پیچی سوخته از داخل استاتور، تهیه شناسنامه مشخصات، عایق کاری شیارها موتور

۱- تحت نظارت مربی خود موتور سیم پیچی شده ای را تحویل گرفته و براساس مراحل و نکاتی که فراگرفته اید سیم های سوخته را از داخل شیارها خارج کنید.

۲- استاتور الکتروموتور را تمیز کنید.

۳- با اندازه گیری طول و اندازه دهانه شیار عایق های کاغذی (کاغذ پرشمان) شیارهای موتور را با راهنمایی مربی خود بسازید.

۴- عایق تمامی شیارهای موتور را در شیارها جا زده و سپس روتور را در داخل آن جا زده و با دست یک دور بچرخانید تا در صورت تماس هر یک از عایق ها با روتور، آن را بررسی کرده و رفع عیب نمایید.

۵- موارد ایمنی مانند برخورد قلم و چکش به انگشتان دست، حفاظت دست از نوک سیم لاکه بریده شده و برس سیمی را به کار گیرید.

۶- مس فلزی گرانبها و ارزشمند است. برای بازیافت و برگشت مجدد سیم های لاکه مستعمل به صنعت، آنها را در یک مخزن جمع آوری کنید و به هیچ وجه دور نریزید.

مرحله ۲: بازیچی موتور



شکل ۳۰- روش تجربی تهیه قالب



شکل ۳۱- تنظیم فک‌های کلاف پیچ
بر اساس قالب تهیه شده



شکل ۳۲- کلاف الگو و کلاف پیچی

۱۴- در این مرحله باید اقدام به تهیه اندازه کلاف الگو برای تنظیم دستگاه کلاف پیچ نمود. به همین خاطر براساس اطلاعاتی که از روی سیم پیچی سوخته برداشته شده یا بر پایه محاسباتی که با آنها آشنا خواهیم شد گام سیم پیچی را مشخص کرده و به دست آورید. سپس از یک روش تجربی که توصیه شده است کمک بگیرید تا بین سیم اندازه و هسته دو انگشت فاصله باشد، ابتدا با سیم‌های مستعمل یک اندازه کلاف تهیه و در داخل شیارهای استاتور قرار دهید. با بررسی اندازه کلاف و کم یا زیاد کردن آن (در صورت نیاز)، اندازه کلاف مناسب برای تنظیم قالب را به دست آورید (شکل ۳۰).

۱۵- پس از تهیه اندازه مناسب کلاف، باید قالب‌ها را به اندازه تهیه شده، بر روی دستگاه کلاف پیچ تنظیم کرده و سپس فک‌ها را با پیچ مهره روی بدنه محکم کنید تا تنظیم قالب‌ها به هم نخورد (شکل ۳۱).

۱۶- پس از مشخص شدن اندازه کلاف الگو و تنظیم کلاف پیچ می‌توانید اقدام به پیچیدن کلاف‌های موتور کنید. با توجه به تعداد دور شمارش شده، شکل سیم پیچی و به تعداد q که در مورد آن صحبت خواهد شد باید اقدام به پیچیدن کلاف‌ها کنید.



هنگام سیم پیچی باید دقت کنید که سیم‌ها به موازات یکدیگر پیچیده شوند و از روی هم عبور نکنند؛ چون در این صورت جا زدن آنها در داخل شیار دشوار است. علاوه بر این، احتمال ساییدگی سیم‌ها بر هم افزایش می‌یابد و در اثر از بین رفتن عایق، خطر اتصال کوتاه حلقه‌ها به یکدیگر نیز وجود دارد.

ایمنی



بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

در شکل ۳۳ یک کلاف که به طور صحیح پیچیده شده و یک کلاف که به طور غلط پیچیده شده و حلقه‌های آن در هم است، مشاهده می‌کنید.



۳۳-۲- کلاف غلط



۳۳-۱- کلاف صحیح



شکل ۳۴- بستن کلاف‌های پیچیده شده روی قالب

۱۷- پس از اتمام کار سیم پیچی کلاف‌ها باید بازوهای کلاف‌ها را، با نخ یا سیم‌های مستعمل بست تا در هنگام جا زدن بازوها در داخل شیارها، رشته سیم‌های کلاف باز نشده و مزاحمتی ایجاد نکنند (شکل ۳۴).

۱۸- در این مرحله مهره کلاف پیچ را شل نموده و فک‌های کلاف پیچ را جمع کنید تا کلاف‌ها آزاد شوند سپس کلاف‌ها را به گونه‌ای تقسیم کنید که هر کلاف q پیچک داشته باشد و از کلاف پیچ جدا کنید.



شکل ۳۵



شکل ۳۶- کلاف مناسب

به این ترتیب که هر سمت کلاف را بین انگشت شست و انگشت نشانه دو دست قرار دهید و با حرکت انگشتان نشانه دو دست به طور متناوب به بالا و آن را در درون شیار قرار می‌دهیم. در ضمن باید با انگشت شست فشار بسیار کمی بر روی سیم‌ها وارد کرد. برای تمرین کردن شیوه انجام این کار ابتدا انگشتان خود را مطابق شکل ۳۷ طوری قرار دهید که انگشتان اشاره (سبابه) بر روی شست قرار گیرد و سه انگشت دیگر به کف دست بچسبند.



شکل ۳۷-۲ حالت دست در کلاف گذاری (۲)

۱۹- پس از سیم‌پیچی کلاف موتور مرحله جا زدن کلاف‌ها در شیارهای موتور است. جا زدن کلاف‌ها باید به ترتیب خاص و با حوصله و دقت کافی انجام شود تا سیم‌ها زخمی نشوند و کلاف‌ها در درون شیارها جای گیرند.

برای این کار باید استاتور را بر روی یک پایه مناسب قرار دهیم. سپس یکی از کلاف‌ها را طوری در دست بگیریم که دو سر کلاف به طرف راست باشد (شکل ۳۶).

پس از آن نوار با سیم نگهدارنده یک بازوی کلاف را به سمت چپ یا راست حرکت دهید تا تمام سیم‌های یک بازوی کلاف آزادانه در بین انگشتان قرار گیرند. آنگاه کلاف را به دقت به داخل استاتور می‌بریم و به آرامی شروع به قرار دادن سیم‌ها در داخل شیار استاتور کنید. معمولاً ضخامت یک کلاف از دهانه یک شیار بیشتر است. بازوی کلاف را نمی‌توان یک‌باره درون شیار قرار داد. به همین دلیل هادی‌های بازوی کلاف در دسته‌های چندتایی در درون شیار جای می‌گیرند.



شکل ۳۷-۱ حالت دست در کلاف گذاری (۱)

سپس مطابق شکل ۳۸ دو انگشت نشانه را به آهستگی به طرف پایین حرکت دهد. این حرکت برای تخت و صاف کردن بازویی از کلاف است که باید درون شیار جای گیرد و در شکل ۳۸ نشان داده شده است. توجه داشته باشید که این عمل به همراه کلاف در داخل استاتور انجام گیرد.

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۳۸-۲ مرتب کردن سیم‌ها جهت کلاف گذاری



شکل ۳۸-۱ طریقه در دست گرفتن کلاف

۲۰- جا زدن کلاف‌های موتور را خود تا تکمیل شدن تمامی شیارها باید ادامه داده و تمامی شیارهای استاتور را کامل کنید شکل (۳۹).



شکل ۳۹- جا زدن سیم پیچ

۲۱- هنگام جا زدن، با قرار دادن سیم‌ها در درون شیار استاتور، باید دقت داشت که مانند شکل ۴۰ الف یک یا چند حلقه از کلاف کشیده نشود یا به صورت متقاطع قرار نگیرد، زیرا در این صورت، علاوه بر اینکه زیبایی سیم پیچ از بین می‌رود، خطر پاره شدن یا اتصال کوتاه بین سیم‌ها نیز وجود دارد. در عین حال، زمان بیشتری صرف جا زدن بازوها در داخل شیار خواهد شد.



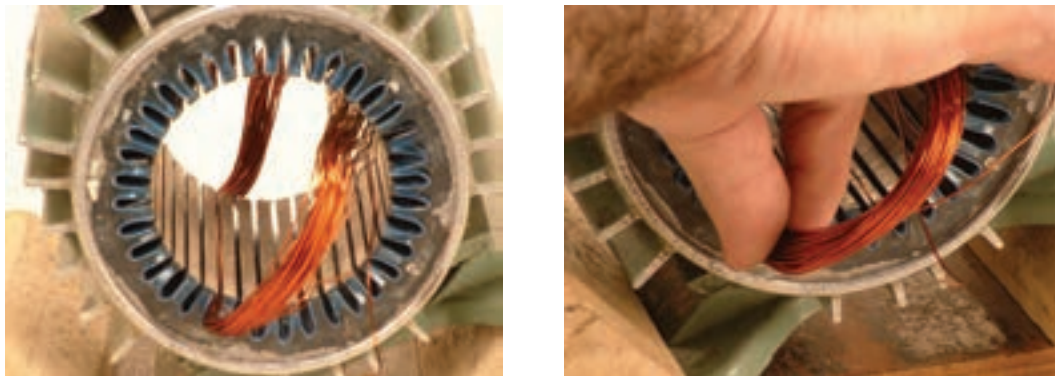
(ب) صحیح



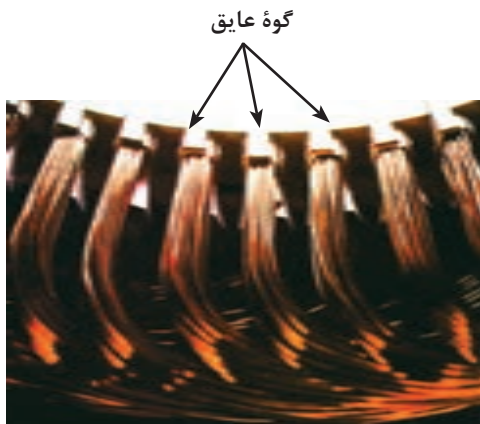
الف) غلط

شکل ۴۰- جا زدن کلاف

۲۲- پس از جا زدن هر کلاف، برای اینکه برای کلاف‌های بعدی جا باشد و علاوه بر آن، در هنگام جا زدن و چرخیدن موتور نیز به سیم‌ها صدمه‌ای وارد نشود باید به کمک انگشتان شست و سبابه مانند شکل ۴۱ در دو محلی که کلاف از شیار خارج می‌شود، کلاف را به سمت خارج از استاتور فشار دهید تا کلاف در دو لبه شیار، تا خورده و فضای خالی مناسب برای کلاف‌های بعدی ایجاد شود.



شکل ۴۱- طریقه کلاف‌گذاری



۲۳- پس از جا زدن کلاف‌ها در شیارهای استاتور باید روی سیم‌ها را با عایق‌های کاغذی یا گوه چوبی که به فرم فضای داخلی شیار در آمده پوشانده شود تا سیم‌ها در داخل شیار موتور کاملاً محکم شوند و از ارتعاش یا خارج شدن آنها جلوگیری شود (شکل ۴۲).

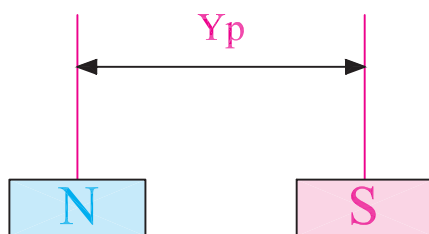
شکل ۴۲- محکم کردن سیم‌ها در داخل شیار با گوه عایق

ادامه بازیچی سیم‌پیچی الکتروموتور از لحظه "۵۰':۴۲" تا "۰۱:۰۰':۰۶"

فیلم



آشنایی با محاسبات، ترسیم دیاگرام و جداول سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز



شکل ۴۳- گام قطبی

برای اجرای سیم‌پیچی موتورهای سه‌فاز لازم است تا تعاریف و محاسبات اولیه آورده شود.

الف) تعداد شیار (Z): تعداد شیارهای داخل پوسته موتور که قابل شمارش است.

ب) تعداد فازها (m): تعداد فازهای شبکه برق

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

جدول ۲- تعداد قطب برای فرکانس ۵۰Hz

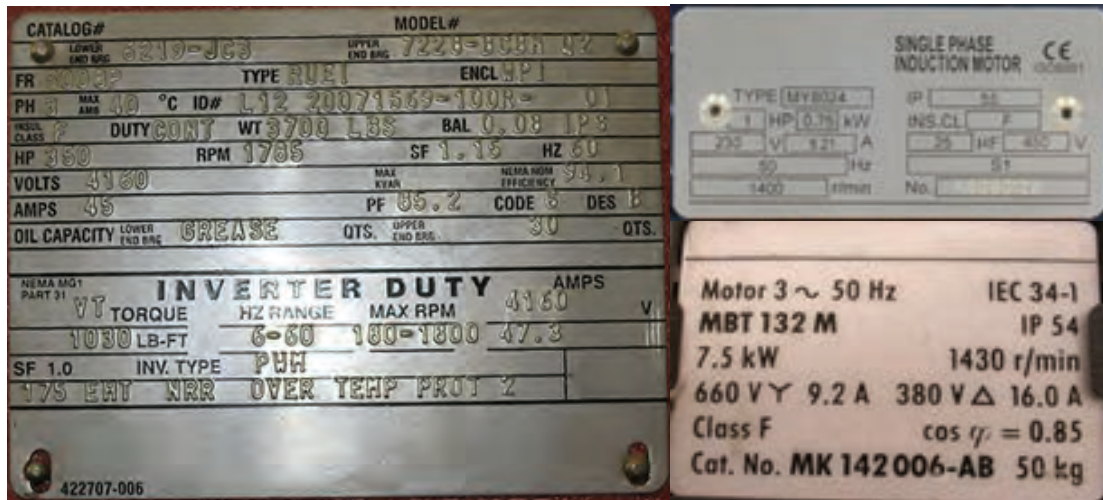
تعداد قطب (۲P)	سرعت سنکرون (rpm)
۲	۳۰۰۰ rpm
۴	۱۵۰۰ rpm
۶	۱۰۰۰ rpm
۸	۷۵۰ rpm
۱۰	۶۰۰ rpm
۱۲	۵۰۰ rpm

که به الکتروموتور اتصال داده می‌شود و اغلب برای تک‌فاز $m=1$ و سه‌فاز $m=3$ است.

(پ) **تعداد قطب‌های موتور (۲P):** تعداد قطب‌های الکتروموتور موتور معمولاً به صورت از پیش تعیین شده است. اما اگر مشخص نباشد می‌توان از روی سرعت روتور که روی پلاک حک شده است آن را تعیین کرد. همیشه از روی مقدار سرعت روتور که کمتر از سرعت سنکرون است می‌توان تعداد قطب موتور را به دست آورد (جدول ۲).

تعداد قطب الکتروموتورهای شکل ۴۴ را تعیین کنید.

فعالیت



شکل ۴۴- پلاک چند الکتروموتور

(ت) **گام قطبی (Y_p):** تعداد شیارهایی از سطح استاتور که توسط یک قطب پوشانده می‌شود را گام قطبی گویند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$Y_p = \frac{Z}{2P}$$

(ث) **گام سیم‌پیچی (Y_z):** عبارت است از فاصله بین دو بازوی یک کلاف برحسب تعداد شیار را گام سیم‌پیچی گویند.

روش به دست آوردن گام سیم پیچی در سیم بندی های مختلف متفاوت است. در قسمت های بعد با آن آشنا خواهید شد.

هـ) تعداد شیار در هر قطب از هر فاز (q): اصطلاحاً به حداقل تعداد کلاف ها برای ایجاد یک جفت قطب متناسب با تعداد فازهای جریان متناوب را گویند و از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$q = \frac{z}{2p.m}$$

د) زاویه الکتریکی بین دو شیار مجاور هم (α_{ez}): اختلاف فاز الکتریکی هر شیار با شیار مجاور را زاویه الکتریکی شیارها گفته و از رابطه زیر تعیین می شود.

$$\alpha_{ez} = \frac{P \times 360}{z}$$

ذ) شیار شروع فازها: چون شروع فازها نسبت به هم 120° درجه الکتریکی اختلاف فاز دارند لذا شروع کلاف های هر فاز نسبت به فاز دیگر 120° درجه اختلاف فاز مکانی دارند که بر اساس روابط زیر می توان محاسبه کرد.

۱ = شروع فاز اول

$$1 + \frac{120}{\alpha_{ez}} = \text{شروع فاز دوم}$$

$$1 + \frac{240}{\alpha_{ez}} = \text{شروع فاز سوم}$$

ر) تعداد کلاف های هر فاز (γ_m): تعداد کلاف ها در هر فاز را با γ_m نشان می دهند و به صورت زیر می توان محاسبه کرد.

$$\gamma_m = \frac{Z \times t}{2m}$$

t- تعداد طبقات سیم پیچی (سیم پیچی موتورهای سه فاز به صورت یک یا دو طبقه هستند).

محاسبه و ترسیم دیاگرام سیم پیچی از لحظه $41':50''$ تا $44':55''$

فیلم

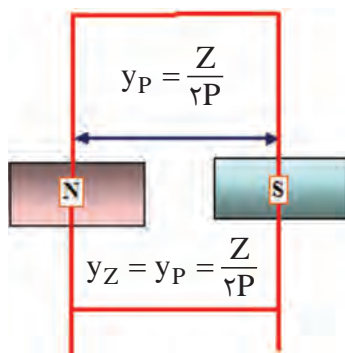


انواع روش های سیم پیچی موتورهای سه فاز

موتورهای الکتریکی سه فاز در قالب یکی از دو نوع ۱- گام کامل و ۲- گام کسری سیم پیچی می شوند که در اینجا به تفکیک هر یک مورد بررسی قرار می گیرد.

سیم پیچی گام کامل

اگر در سیم پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف 180° درجه الکتریکی اختلاف فاز رعایت شود و نیروی محرکه القایی بازوهای رفت و برگشت کلافها جمع جبری شوند سیم بندی را گام کامل گویند. در این سیم بندی تعداد شیارهای موجود بین رفت و برگشت هر کلاف y_p شیار خواهد بود. در این سیم پیچی گام سیم پیچی



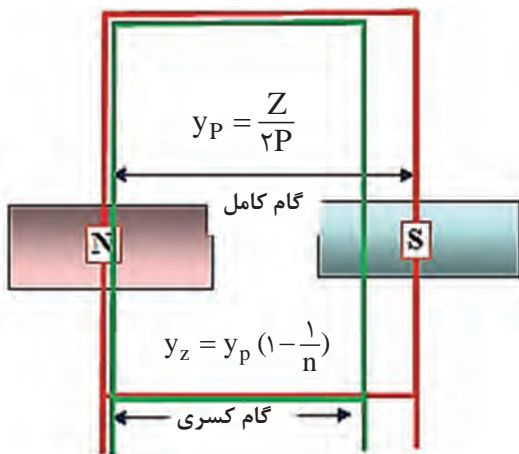
شکل ۴۵- گام قطبی (گام کامل)

$$y_z = y_p = \frac{Z}{2P}$$

با گام قطبی برابر است و از رابطه روبه‌رو می‌توان محاسبه کرد. در موتورهای الکتریکی اگر شار مغناطیسی در سطح استاتور به طور سینوسی و یکنواخت توزیع شود کارکرد موتور بسیار مطلوب خواهد شد ولی در عمل به علت‌های مختلف از قبیل عکس‌العمل میدان روتور، پسماند مغناطیسی و تجمع خطوط میدان در نوک تیز شیارها، باعث می‌شود که شار مغناطیسی در سطح استاتور از حالت سینوسی و یکنواخت خارج و کارکرد موتور از یکنواختی خارج شده و ضمن لرزش، با سروصدا همراه شود. به این دلیل راندمان و عمر موتور کاهش می‌یابد. هر موج سینوسی متناوب از یکسری ریزموج‌ها تشکیل شده است که اصطلاحاً به این ریزموج‌ها «هارمونی - هارمونیک» گفته می‌شود. بر پایه تحقیقات به عمل آمده مشخص شده که دلیل عدم کارکرد یکنواخت و دارای سروصدا بودن موتورهای سه‌فاز در برخی موتورهای هارمونی‌ها هستند. ریزموج‌ها مضارب زوج و فرد از موج اصلی است. ریزموج‌های فرد که فرکانس آنها مضربی از موج اصلی است مانند هارمونی سوم و پنجم و هفتم و ... در موتورهای الکتریکی بیشتر باعث غیریکنواختی میدان مغناطیسی می‌شود.

سیم پیچی گام کسری

اگر در سیم پیچی ابتدا و انتهای یک کلاف کمتر از ۱۸۰ درجه الکتریکی اختلاف فاز داشته باشد سیم‌بندی با «گام کسری» گفته می‌شود. در گام کسری نیروی محرکه‌های الکتریکی بازوی‌های کلاف‌ها جمع‌برداری می‌شوند (شکل ۴۶). چون جمع‌برداری از جمع جبری کمتر است بنابراین نیروی محرکه موتور در سیم‌بندی گام کسری کاهش می‌یابد و توان موتور کمتر می‌شود. به همین خاطر برای جبران کاهش نیروی محرکه، تعداد دور کلاف‌های موتور را به تناسب کوتاهی گام تقویت می‌کنند. در این سیم پیچی گام سیم پیچی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد.



شکل ۴۶- مقایسه سیم‌بندی گام کامل و گام کسری

$$y_z = y_p \left(1 - \frac{1}{n}\right)$$

خصوصیات سیم پیچی گام کسری

در کنار معایبی که برای سیم‌بندی گام کسری بیان شد، می‌توان به مزایای این نوع سیم پیچی اشاره کرد که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱- امکان حذف هارمونی مزاحم

برای حذف هارمونی سوم گام سیم پیچی یک سوم و برای حذف هارمونی پنجم سیم پیچی یک پنجم و برای حذف هارمونی n ام، $\frac{1}{n}$ گام را کسری می‌پسند.

n - شماره هارمونی است که در سیم پیچی گام کسری هدف حذف آن است.

۲- کاهش تلفات و هزینه ساخت موتور

در سیم‌بندی گام کسری پیشانی کلاف‌ها کوتاه‌تر می‌شود در نتیجه سیم مصرفی کاهش یافته، موتور سبک‌تر

شده، تلفات حرارتی کاهش یافته و هزینه ساخت موتور کاهش می‌یابد.

۳- افزایش راندمان موتور

همان‌گونه که اشاره شد در سیم‌پیچی، صرف سیم کاهش می‌یابد و در نتیجه با کاهش تلفات حرارتی راندمان موتور افزایش می‌یابد.

۴- افزایش عمر موتور

با کاهش گام سیم‌پیچی و حذف هارمونیک‌های مزاحم، لرزش‌های موتور کاهش یافته و عمر موتور افزایش می‌یابد.

جدول سیم‌پیچی

ترسیم جدول سیم‌پیچی، رسم دیاگرام سیم‌پیچی را ساده‌تر می‌کند و نشان می‌دهد که در هر شیار سیم‌های کدام فاز قرار گرفته است و کدام شیارها توسط یک فاز اشغال می‌شوند. تعداد ستون‌های جدول، برابر تعداد فازها و تعداد سطرهای جدول برابر تعداد قطب‌ها است. هر ستون جدول به q قسمت تقسیم می‌شود و شروع

فاز اول از شیار ۱، شروع فاز دوم از شیار $1 + \frac{120}{\alpha_{ez}}$ و شروع فاز سوم از شیار $1 + \frac{240}{\alpha_{ez}}$ انجام می‌شود.

جدول سیم‌پیچی به دو صورت جدول عملی و جدول علمی ترسیم می‌شود.

در جدول علمی حروف سرهای موتور در فاز دوم و سوم جابه‌جا شده و طبق توضیحات داده شده و براساس مقادیر محاسبه شده برای q و Y_p و Y_z از عدد یک تا آخرین شماره شیار در داخل ستون‌های جدول به‌طور متوالی پشت سر هم نوشته می‌شوند. اعداد هر سطر با اعداد سطر بالایی به اندازه Y_p یعنی یک گام قطبی فاصله دارند (شکل ۴۷).

m \ τ_p	U_1, U_r	W_1, W_r	V_1, V_r
N			
S	Y_p		Y_p
N		Y_p	
S			

$q=2, \tau_p=4, m=3$

m \ τ_p	U_1, U_r	V_1, V_r	W_1, W_r
N			
S	Y_p		Y_p
N		Y_p	
S			

$q=3, \tau_p=4, m=3$

شکل ۴۷- تشکیل جدول علمی و عملی

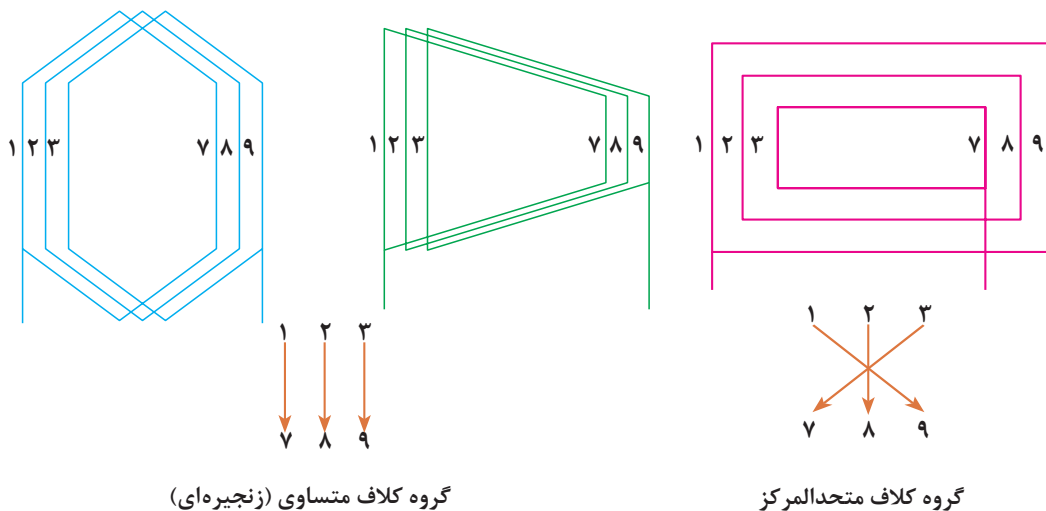
دیاگرام سیم‌پیچی

دیاگرام سیم‌پیچی نقشه و مسیر سیم‌پیچی الکتروموتور است که به شکل‌های مدور (دایره‌ای) یا گسترده رسم می‌شود. این دیاگرام‌ها ممکن است به صورت کلاف مساوی یا متحدالمرکز باشند، در سیم‌بندی کلاف

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

مساوی گام سیم بندی همه کلاف ها یکسان هستند ولی گام کلاف های سیم پیچی متحدالمرکز برابر نیستند (شکل ۴۸).

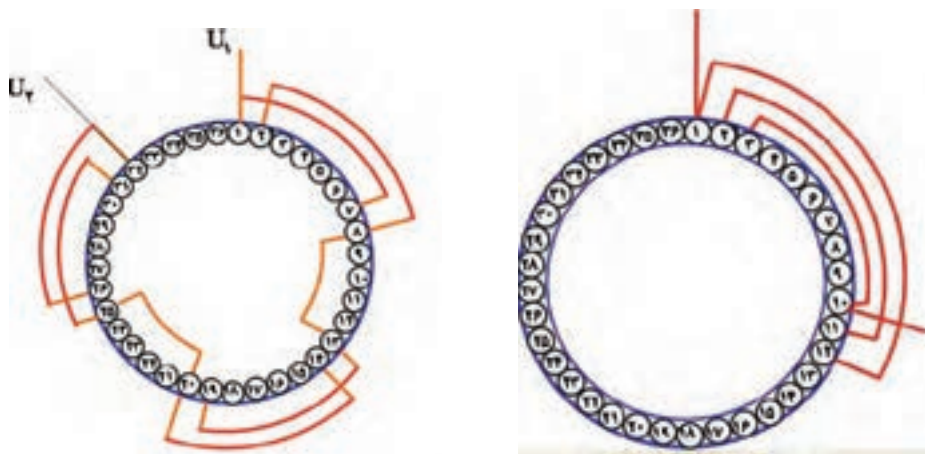
توجه: معمولاً سیم پیچی متحدالمرکز برای الکتروموتورهای یک فاز استفاده می شود.



گروه کلاف متساوی (زنجیره ای)

گروه کلاف متحدالمرکز

شکل ۴۸- دیاگرام گسترده کلاف مساوی



گروه کلاف مساوی مدور

گروه کلاف متحدالمرکز مدور

شکل ۴۹- دیاگرام مدور کلاف مساوی و متحدالمرکز

حالت و فرم کلاف سیم پیچی از لحظه "۴۵:۰۰" تا "۴۶:۴۰"

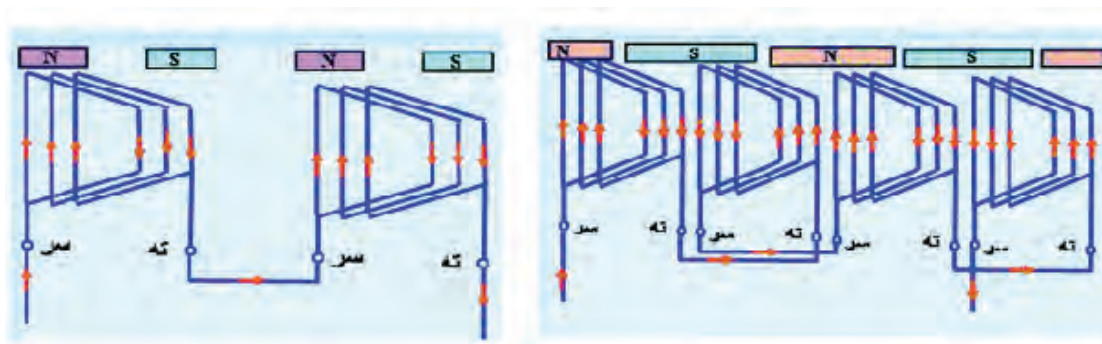
فیلم



سیم پیچی موتورهای یک طبقه

در سیم پیچی یک طبقه در هر شیار یک بازو از هر گروه کلاف مربوط به هر فاز قرار می گیرد. سیم پیچی موتورهای الکتریکی تعداد گروه کلاف های هر فاز با G نشان داده می شود. نوع سیم پیچی ها دو حالت در نظر

گرفته می‌شود. در حالت اول تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر تعداد نصف قطب‌ها می‌باشد. این نوع سیم‌پیچی را سیم‌پیچی به ازای زوج قطب ($G=P$) می‌گویند. در این حالت سربندی کلاف‌ها با اتصال نزدیک صورت می‌گیرد، به این نوع اتصال اصطلاحاً اتصال **سر به ته یا ته به سر** گفته می‌شود. بیشتر موتورها در سیم‌پیچی یک طبقه به ازای زوج قطب سیم‌پیچی می‌شوند. در حالت دوم تعداد گروه کلاف‌ها در هر فاز برابر تعداد قطب‌ها می‌باشد، این نوع سیم‌پیچی، سیم‌پیچی به ازای قطب ($G=2P$) گفته می‌شود. در این حالت سربندی کلاف‌ها با اتصال دور صورت می‌گیرد، به این نوع اتصال اصطلاحاً اتصال **سر به سر یا ته به ته** گفته می‌شود. بیشتر موتورها در سیم‌پیچی دو طبقه به ازای قطب سیم‌پیچی می‌شوند. در شکل‌های ۵۰ به ازای زوج قطب و به ازای قطب و طریقه سربندی آنها نشان داده شده است.



$G=P$ سیم‌بندی به ازای زوج قطب، اتصال نزدیک
(سر به ته، ته به سر)

$G=2P$ سیم‌بندی به ازای قطب، اتصال نزدیک
(سر به سر، ته به ته)

شکل ۵۰- سیم‌بندی به ازای قطب و زوج قطب اتصال دور و نزدیک

مثال - استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۴ قطب را در نظر گرفته و محاسبات رسم دیاگرام موتور به صورت یک طبقه گام کامل را نوشته و رسم کنید.

$$Z=36, 2P=4, Y_Z=Y_P$$

$$Y_P = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{4} = 9$$

$$Y_Z = Y_P = 9$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{2 \times 360}{36} = 20$$

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

$$1 = \text{شروع فاز اول}$$

$$1 = \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{\alpha_{eZ}} = 1 + \frac{120}{20} = 7$$

$$13 = \text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{20}$$

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

جدول سیم پیچی: برای ترسیم جدول سیم پیچی باید به تعداد فازها ستون و به تعداد قطبها ردیف باز کنید و هر ستون را به q قسمت تقسیم کرد.

جدول عملی سیم پیچی

m $2p$	U_1, U_2	W_1, W_2	V_1, V_2
N			
S			
N			
S			

m $2p$	U_1, U_2	W_1, W_2	V_1, V_2
N	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹		
S			
N			
S			

اعداد را از شروع فازها به اندازه q پشت سر هم می نویسیم.

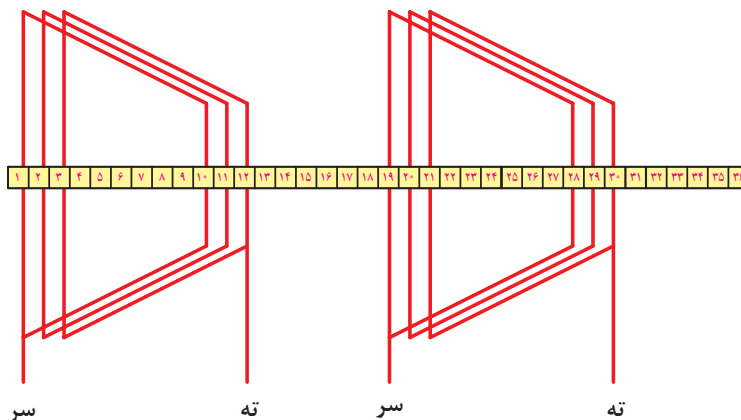
m $2p$	U_1, U_2	w_1, w_2	V_1, V_2
N	۱ ۲ ۳ ۴ ۵ ۶ ۷ ۸ ۹		
yp_s	۱۰ ۱۱ ۱۲ ۱۳ ۱۴ ۱۵ ۱۶ ۱۷ ۱۸		
N	۱۹ ۲۰ ۲۱ ۲۲ ۲۳ ۲۴ ۲۵ ۲۶ ۲۷		
S	۲۸ ۲۹ ۳۰ ۳۱ ۳۲ ۳۳ ۳۴ ۳۵ ۳۶		

خانه های جدول را تا آخرین شماره شیار به ترتیب کامل می کنیم.

شکل ۵۱- تکمیل جدول سیم بندی

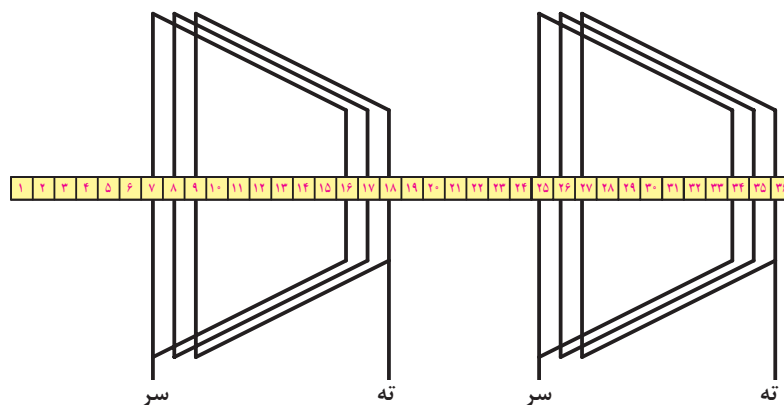
خانه های ردیف های پایین را به فاصله یک گام قطبی کامل کنید.

بر پایه اعداد محاسبه شده در جدول سیم پیچی، دیاگرام گسترده کلاف های فاز اول موتور به صورت شکل ۵۲ رسم می شود.



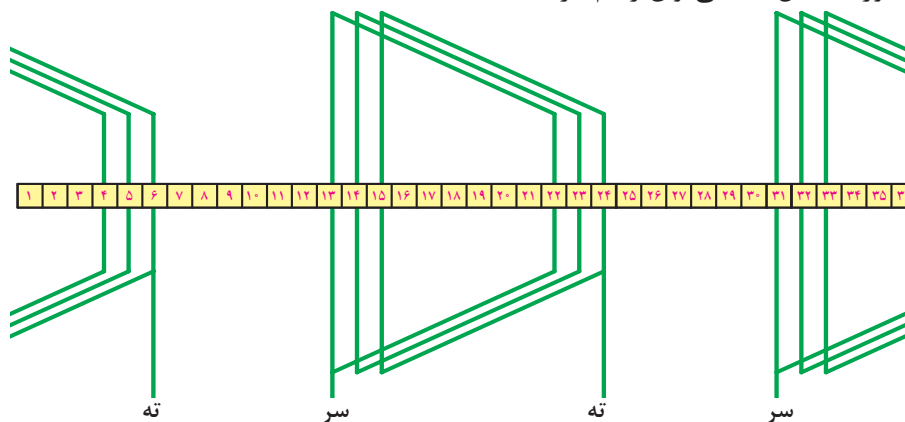
شکل ۵۲

به همین ترتیب با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز دوم موتور را به صورت شکل ۵۳ می‌توان رسم کرد.



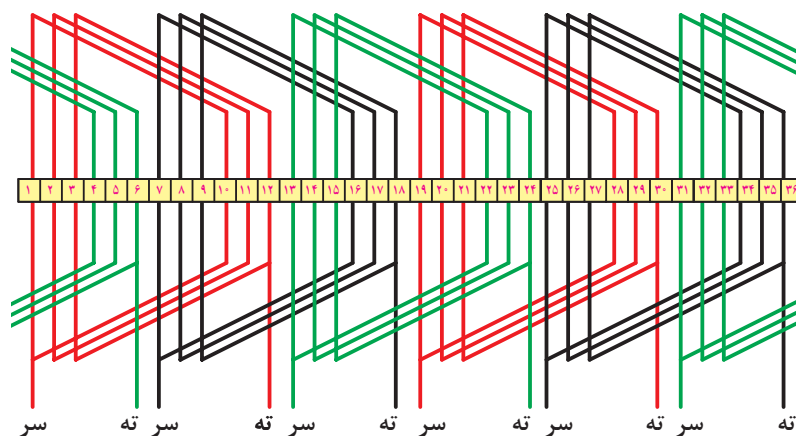
شکل ۵۳- فاز دوم

به همین ترتیب با توجه به اعداد محاسبه شده در جدول سیم‌پیچی، دیاگرام گسترده کلاف‌های فاز سوم موتور را به صورت شکل ۵۴ می‌توان رسم کرد.



شکل ۵۴

در شکل ۵۵ دیاگرام گسترده تکمیل شده موتور مشاهده می‌شود.



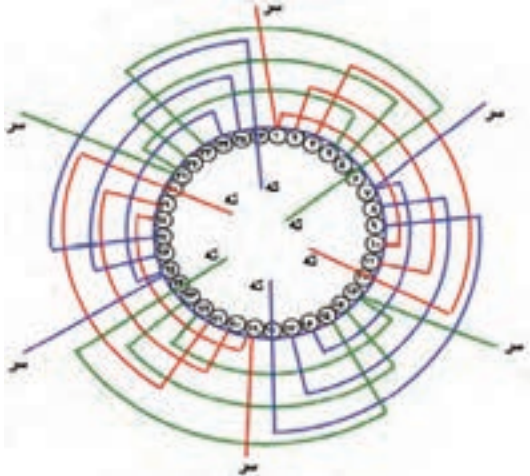
شکل ۵۵

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

شکل ۵۵ دیاگرام گسترده، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی، در هر فاز دو گروه کلاف ۳ پیچکی قرار دارد $q=3$

دیاگرام مدور (دایره‌ای):

دیاگرام دایره‌ای در شکل ۵۶ نشان داده شده است.



استفاده از جدول برای ترسیم دیاگرام از لحظه $48:42''$ تا $46:40''$

فیلم



ترسیم نقشه‌های سیم‌پیچی سه‌فاز از لحظه $48:44''$ تا $50:40''$

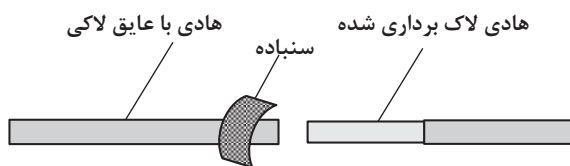
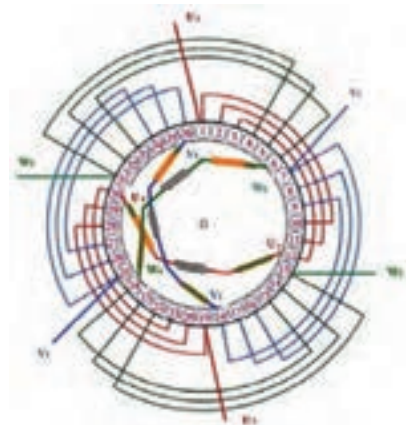
فیلم



شکل ۵۶- دیاگرام مدور، کلاف مساوی با گام کامل سیم‌بندی

مرحله ۳: بازپیچی موتور

۲۴- با توجه به نقشه سربندی سر و ته کلاف‌ها را در هر فاز پیدا کرده و لاک سرسیم‌ها را به اندازه ۲ سانتی‌متر پاک کنید. این کار را می‌توان با کاتر تراش داد یا در حلال لاک قرار داد یا با شعله سوزاند. سپس یک سر را از وارنیش عبور دهید. با دقت زیاد محل لاک‌برداری شده، سرسیم‌ها به اندازه ۱ الی ۱/۵ سانتی‌متر روی هم بپیچید و لحیم‌کاری کنید و وارنیش را به محل لحیم‌کاری هدایت کنید تا وارنیش کاملاً محل لحیم‌کاری را بپوشاند. ابتدا و انتهای هر فاز را به سیم افشان اتصال داده و پس از لحیم‌کاری و گذراندن آنها از وارنیش به جعبه اتصال (تخته کلم) هدایت کنید. مراحل انجام کار مطابق شکل ۵۷ است.



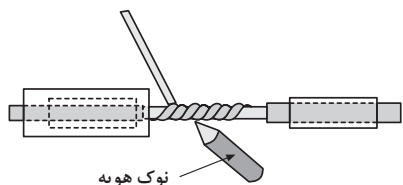
روکش برداری



قرار دادن وارنیش‌ها



سرسیم‌های تابیده شده



نوک هویه

لحیم کاری قسمت تابیده شده



پوشش محل لحیم کاری شده با وارنیش



اتصال سیم افشان به سرفازها و نام گذاری آنها



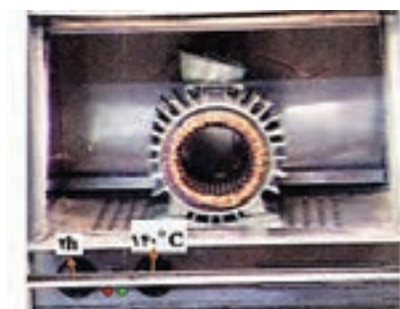
هدایت سیم فازها به تخته کلم

شکل ۵۷- عایق برداری، سربندی، وارنیش گذاری، لحیم کاری و هدایت سیمها به تخته کلم

۲۵- برای جمع بندی سیمها و محکم کردن آنها را نخ بندی می کنند. در نخ بندی از نخ مخصوص سیم پیچی یا کنف استفاده می شود (شکل ۵۸).



شکل ۵۸- نخ بندی سیم پیچی موتور



شکل ۵۹- قرار دادن استاتور در کوره حرارتی برای گرفتن رطوبت سیمها

۲۶- پس از نخ بندی استاتور در کوره حرارتی قرار می دهیم تا به مدت حدود ۲ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس رطوبت سیمها گرفته شود (شکل ۵۹).

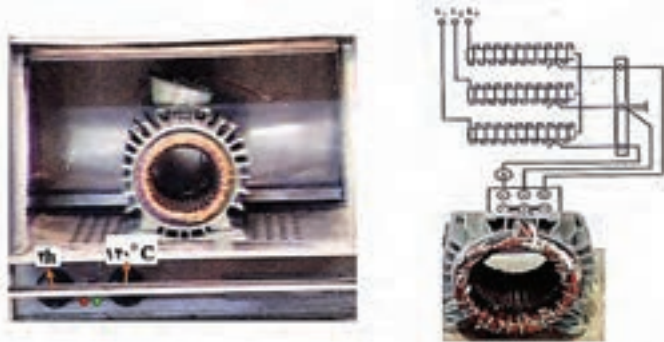


شکل ۶۰- شارلاک زدن سیم پیچی استاتور

۲۷- برای افزایش خاصیت عایقی سیمها و یک پارچه شدن آنها، روی سیمها شارلاک می ریزند. شارلاک باید به اندازه رقیق باشد، که بتواند در داخل سیمها کاملاً نفوذ کند. ضمناً از خاصیت عایقی خوب برخوردار باشد. برای شارلاک زدن بهتر است استاتور را بر روی یک وان مطابق شکل ۶۰ قرار داده، سپس شارلاک را از هر دو طرف بر روی سیمها ریخته تا از هر قسمت موتور، سیمها به حد کافی شارلاک دریافت کنند.

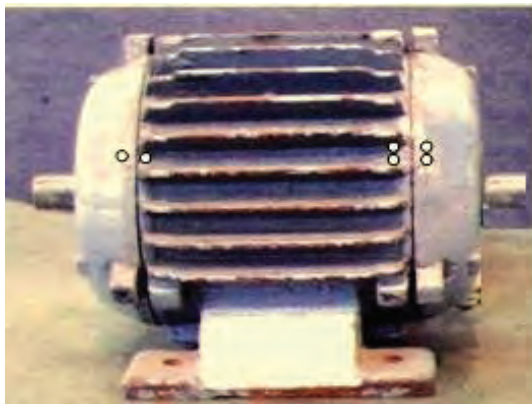
بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

۲۸- با قرار دادن استاتور شارلاک خورده در کوره حرارتی یا با اتصال سیم‌ها خروجی به ولتاژ حدود نصف ولتاژ نامی و عبور جریان الکتریکی و گرم شدن سیم‌ها، شارلاک را خشک می‌کنند (شکل ۶۱).



شکل ۶۱- خشک کردن شارلاک سیم پیچی استاتور

۲۹- پس از خشک شدن شارلاک سیم پیچی، روتور و درپوش‌ها را بر روی استاتور سوار کنید و با توجه به نوع اتصال که در پلاک موتور نوشته شده، اتصال ستاره یا مثلث را برقرار کنید ابتدا اتصال بدنه موتور را آزمایش کنید. در صورت نداشتن اتصال بدنه، موتور را به تابلوی برق وصل کنید. سپس جریان و دور موتور را اندازه‌گیری کنید (شکل ۶۲).



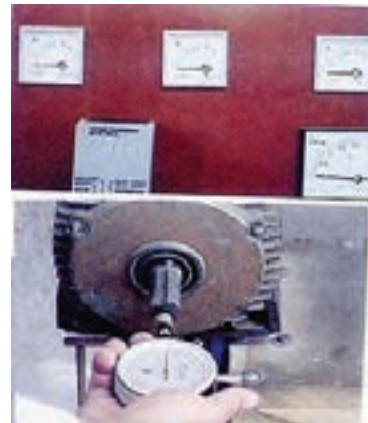
جمع کردن موتور



اتصال ستاره موتور



آزمایش تست بدنه موتور با دستگاه میگر



اتصال موتور به تابلو برق و اندازه‌گیری جریان فازها و دور موتور

شکل ۶۲- آزمایش موتور سیم پیچی شده

فیلم



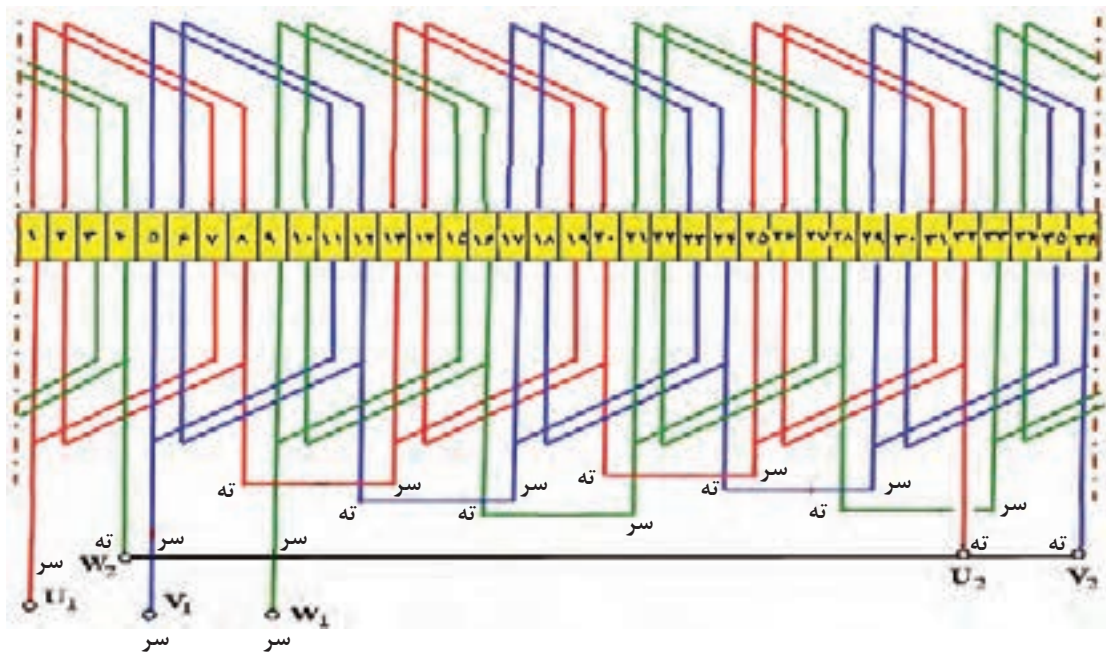
سربندي کلاف‌ها از لحظه "۰۱:۰۵':۱۲" تا "۰۱:۰۷':۵۰"

فیلم



مراحل نهایی سیم‌پیچی از لحظه "۰۱:۰۸':۴۳" تا "۰۱:۱۲':۱۳"

پس از جا زدن همه سیم‌پیچ‌ها باید کلاف‌ها را سربندي کرد. چون سیم‌بندي موتور به ازای جفت قطب است ($G=P$)، لذا سربندي موتور باید به صورت اتصال نزدیک انجام شود (ته به سر، سر به ته) این سربندي در دیاگرام شکل ۶۳ نشان داده شده است.



شکل ۶۳- دیاگرام سربندي کلاف‌ها

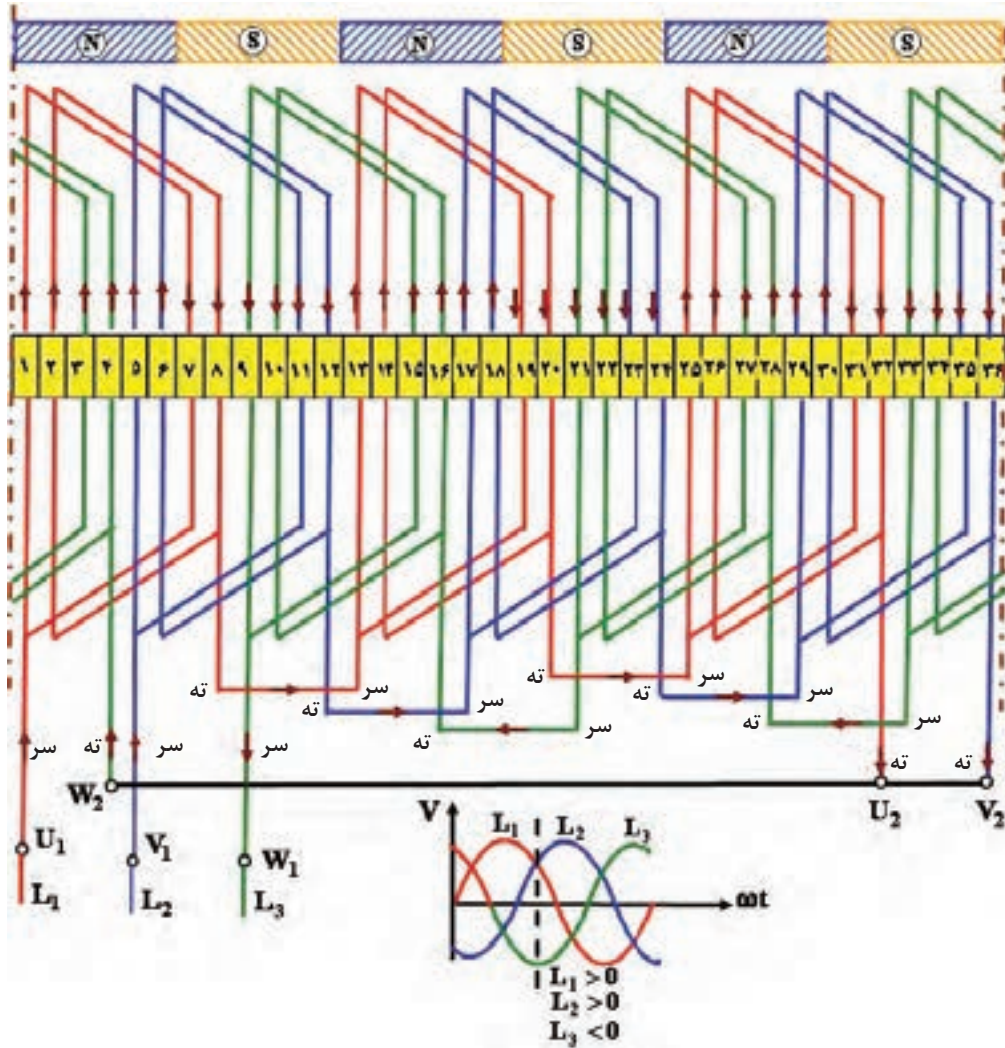
همان‌گونه که اشاره شده است زمانی می‌توان سربندي را درست دانست که با اعمال فازها و تحلیل جریانی مدار سیم‌پیچ‌ها در یک لحظه خاص از موج سه‌فاز، قطب‌سازی موتور به همان تعداد قطب تعریف شده در موتور برسد.

تشکیل قطب در لحظه‌ای که فاز اول و دوم مثبت و فاز سوم منفی است در شکل ۶۴ ترسیم شده است و در شکل ۶۵ دیاگرام دایره‌ای ترسیم شده است.

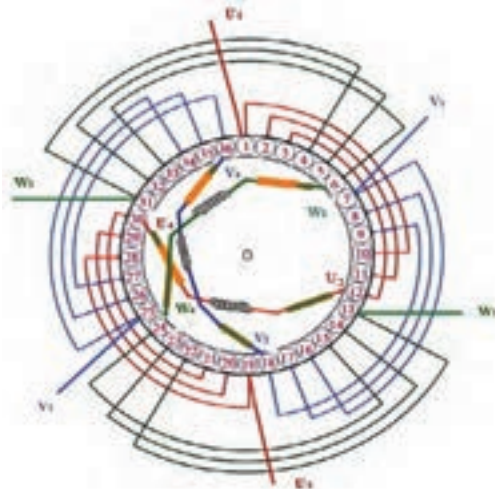
سؤال

سیم‌پیچی الکتروموتور از روی دیاگرام چند قطب است؟

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



شکل ۶۴- سربندی کلاف‌ها در دیاگرام گسترده و تشکیل قطب‌ها در موقعیت $L_1 > 0$, $L_2 > 0$, $L_3 < 0$



شکل ۶۵- سربندی کلاف‌ها در دیاگرام مدور



در تصاویر شکل‌های ۶۶ تا ۷۱ مراحل جا زدن گروه کلاف‌های موتور نشان داده شده است. اولین گروه کلاف را در داخل شیارهای ۱، ۲، ۳ و ۱۰، ۱۱، ۱۲ قرار دهید (شکل ۶۶).

شکل ۶۶- قرار گرفتن اولین گروه کلاف در شیارهای استاتور



گروه کلاف دومی را در شیارهای ۷، ۸، ۹ و ۱۶، ۱۷، ۱۸ قرار دهید (شکل ۶۷).

شکل ۶۷- قرار گرفتن دومین گروه کلاف در شیارها



گروه کلاف سومی را در شیارهای ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۲۲، ۲۳، ۲۴ قرار دهید (شکل ۶۸).

شکل ۶۸- قرار گرفتن سومین گروه کلاف در شیارها

پودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز



باتوجه به دیاگرام سیم‌بندی، گروه کلاف‌های بعدی را مطابق روال فوق در داخل شیارها قرار دهید تا به آخرین گروه کلاف برسید. در این حالت بازوهای قرارگرفته شده در شیارهای ۱،۲،۳ را درآورده و به روی سیم‌ها خم کنید (شکل ۶۹).

شکل ۶۹- درآوردن بازوهای ۱،۲،۳ برای قرار دادن کلاف آخر



گروه کلاف آخر در شیارهای ۳۳، ۳۲، ۳۱، ۶ و ۵، ۴ قرار دهید.

شکل ۷۰- قرار گرفتن آخرین گروه کلاف در شیارهای استاتور

پس از جا زدن بازوهای کلاف آخر حال بازوهای ۱،۲،۳ را به جای اولیه برگردانید.



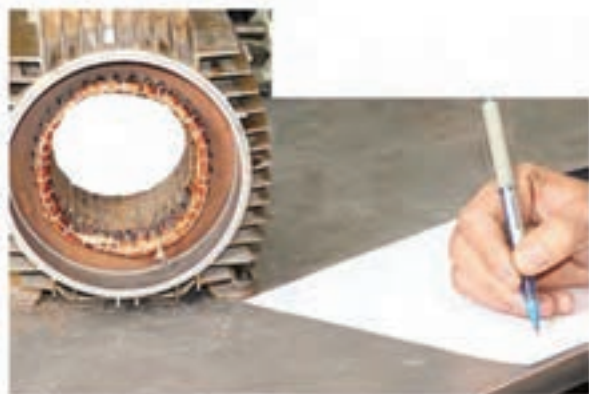
شکل ۷۱- برگرداندن بازوهای ۱، ۲، ۳ به جای اول خود



هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم‌پیچی موتور آسنکرون سه‌فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب) به‌ازای جفت قطب به‌صورت یک طبقه زنجیری

وسایل مورد نیاز:

- پوسته استاتور ۲۴ شیار یا ۳۶ شیار یک عدد خالی از سیم‌پیچی
- استاتور نگهدار یک عدد
- کلاف پیچ یک عدد
- قالب کلاف مساوی یک عدد
- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵، ۲ متر
- هویه یک عدد
- روغن لحیم
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ
- وارنیش با نمره‌های مورد نیازسیم‌ها
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
- آچار تخت و آچار رینگی و آچار بوکس هر کدام یک ست کامل
- انبر دست یک عدد
- پیچ‌گوشتهی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد
- دم‌باریک یک عدد
- سیم‌چین یک عدد
- سیم‌لخت‌کن یک عدد
- چاقو یا کاتر یک عدد
- سنباده نرم یک برگ
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف
- خط‌کش یک عدد
- کولیس یک عدد
- میکرومتر یک عدد
- چکش پلاستیکی یک عدد
- دورسنج موتور یک عدد
- رعایت نکات ایمنی و بهداشتی:**
- صندلی و میز کار مناسب
- لباس کار سالم
- کفش ایمنی



- پاک بودن محیط کار و بدنه استاتور از هرگونه چربی، روغن و سایر آلاینده‌ها
- دستکش یک دست کامل.
- دقت کافی و حوصله زیاد.
- نبودن ابزار و وسایل غیرضروری در روی میز کار.
- استاتور یک موتور ۳۶ شیار یا ۲۴ شیار را تحویل گرفته و تحت نظارت مربی خود محاسبات، رسم دیاگرام موتور به صورت یک طبقه گام کامل (به‌ازای جفت قطب) ۴ قطب نوشته و رسم کنید.

سیم پیچی یک طبقه به ازای قطب (G=۲P)

در سیم‌پیچی یک طبقه به ازای قطب که با گام کسری پیچیده می‌شوند سیم‌پیچی هر فاز در سطح استاتور پخش می‌شود و وضعیت خوبی از نظر تهویه حاصل می‌شود چون در این سیم‌پیچی $G=۲P$ می‌باشد اتصال کلاف‌ها اتصال دور خواهد بود. این سیم‌پیچی با یک موتور ۲۴ شیار که پلاک آن مطابق شکل ۷۲ است. لغزش ۴٪ کار می‌کند ($S=۴\%$) شروع می‌کنیم.

Style: AE-507-2	Frame : B3-12346	kw یا Hp 2Hp	Ph 3~
R.P.M 1440 یا NO.Poles	Cycles 50Hz یا c.p.s	Volts 380/220	Amps 4A
Deg c یا T 50 ° C Rise	Hours 8 h Time	Code:12T-7KGH	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type SHAHIN	Seria 10-21-15678
Type CLASS :F	Z.S 24	MOTEG	η=%80
Pitch 1-6	IP44 حفاظت	0.80 قطر سیم	.COSφ : 0.78

شکل ۷۲- پلاک موتور ۲۴ شیار

۱- محاسبات سیم‌پیچی

$$Z = ۲۴, n_r = ۱۴۴۰ \text{R.P.M}, f = ۵۰ \text{Hz}, I = ۴ \text{A}, \frac{۳۸۰ \text{V}}{۲۲۰ \text{V}}$$

$$P_r = ۲ \text{HP} = ۲ \times ۷۴۶ = ۱۴۹۲ \text{W}, m = ۳, \eta = ۸۰\% \quad d = ۰/۸۰ \text{mm}, \text{COS}\phi = ۰/۷۸$$

$$N_r = N_s(1-S) \rightarrow N_s = \frac{N_r}{1-S} = \frac{۱۴۴۰}{1-۰/۰۴} = ۱۵۰۰ \text{R.P.M}$$

$$N_s = \frac{f \times ۱۲۰}{۲P} \rightarrow ۲P = \frac{f \times ۱۲۰}{N_s} = \frac{۵۰ \times ۱۲۰}{۱۵۰۰} = ۴$$

$$Y_P = \frac{Z}{۲P} = \frac{۲۴}{۴} = ۶$$

در موتورهای یک طبقه به ازای قطب، کسری گام اغلب برابر نصف q می باشد.

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{p \times 36^\circ}{Z} = \frac{2 \times 36^\circ}{24} = 3^\circ$$

$$Y_Z = Y_P - \frac{q}{2} = 6 - \frac{2}{2} = 5$$

۱ = شروع فاز اول

$$\text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{12^\circ}{\alpha_{eZ}} = 1 + \frac{12^\circ}{3^\circ} = 5$$

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{24^\circ}{3^\circ} = 9$$

$2p$	m	U_1, U_2		w_1, w_2		V_1, V_2	
N	Y _P	1	24	3	2	5	4
		7	6	9	8	11	10
N		13	12	15	14	17	16
S		19	18	21	20	23	22

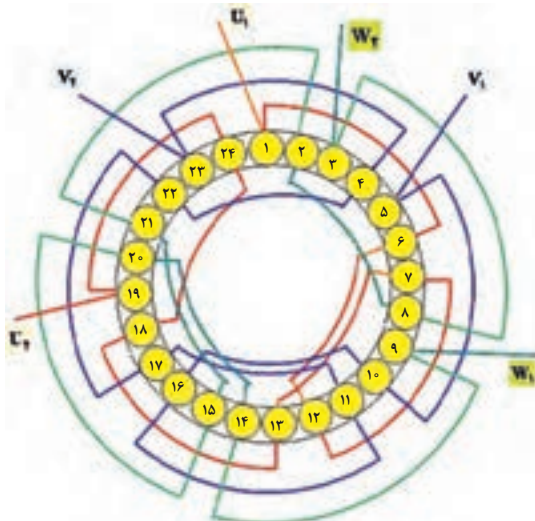
شکل ۷۳- تشکیل جدول

۲- تشکیل جدول

تشکیل جدول در سیم بندی به ازای قطب یک طبقه اعداد متوالی در شروع فازها به اندازه نصف q می باشد (شکل ۷۳). در پر کردن خانه های جدول از شماره شروع هر فاز خانه های کج را با Y_Z و خانه عمودی را با فاصله پر می کنیم. مثلاً در فاز اول که از شیار ۱ شروع می شود خانه کج $1+5=6$ و خانه عمودی $1+6=7$ پر می شود.

۳- رسم دیاگرام مدور

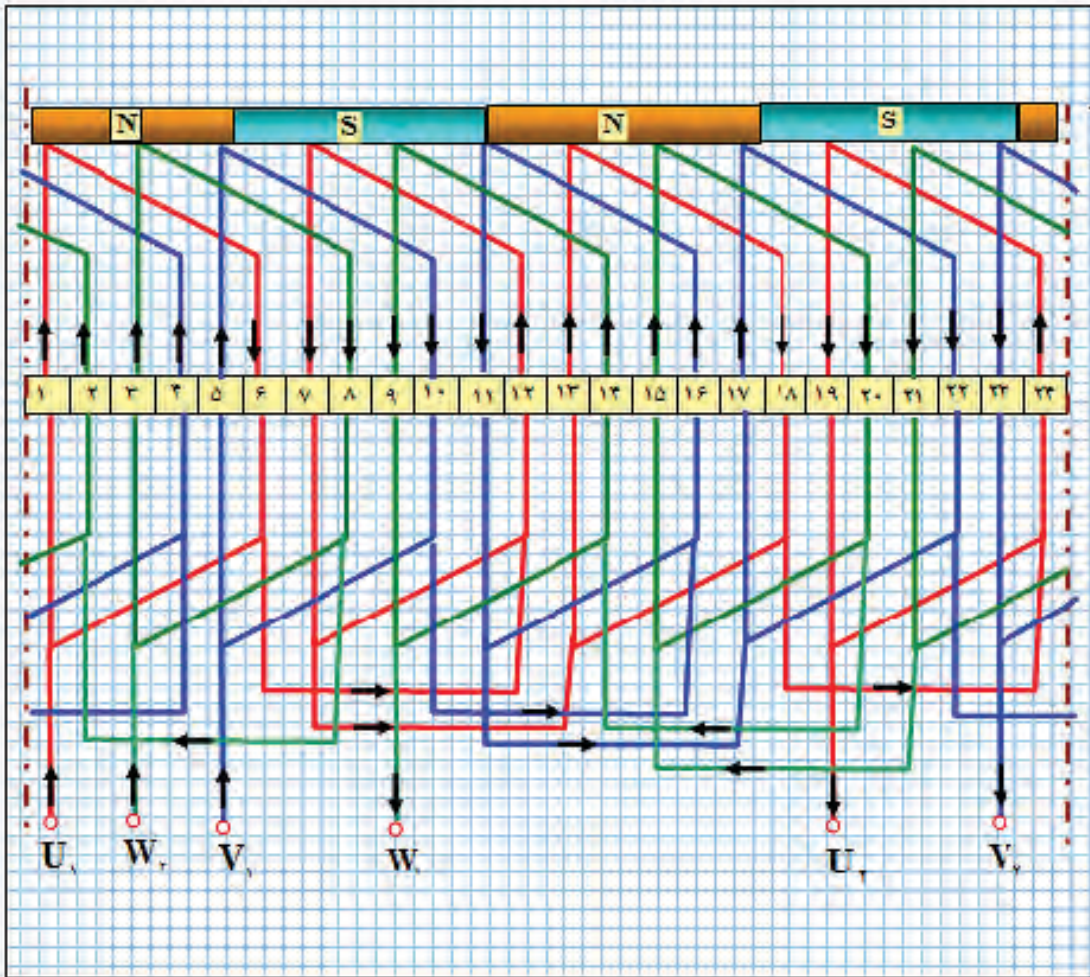
ترسیم دیاگرام مدور طبق جدول ترسیم شده مطابق شکل ۷۴ است.



شکل ۷۴- دیاگرام مدور موتور ۲۴ شیار چهار قطب یک طبقه به ازای قطب

بودمان چهارم: سیم پیچی الکتروموتور سه فاز

رسم دیاگرام گسترده با دیاگرام گسترده مطابق با شکل ۷۵ است.



شکل ۷۵- دیاگرام گسترده موتور ۲۴ شیار چهارقطب یک طبقه به ازای قطب

هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم پیچی موتور آسنکرون سه فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۶ قطب) به ازای قطب به صورت یک طبقه زنجیری

کار عملی ۳



وسایل مورد نیاز :

- پوسته استاتور ۲۴ شیار
- کلاف پیچ یک عدد
- قالب کلاف مساوی یک عدد
- سیم لاکه با قطر مورد نیاز موتور
- سیم افشان نمره ۱ یا ۱/۵ به طول ۲ متر

- هویه یک عدد
- روغن لحیم
- سیم لحیم با قلع ۵۰٪ یا ۶۰٪
- عایق پرشمان ۵/۰ و ۳۵/۰ از هر کدام یک برگ
- وارنیش با نمره‌های مورد نیاز سیم‌ها
- تابلوی آزمایش موتورهای الکتریکی
- آچار تخت و آچاررینگی و آچاربوکس هر کدام یک ست کامل
- انبر دست یک عدد
- پیچ‌گوشتی تخت و چارسو کوچک متوسط و بزرگ هر کدام یک عدد
- دم‌باریک یک عدد
- سیم‌چین یک عدد
- سیم‌لخت‌کن یک عدد
- چاقو یا کاتر یک عدد
- سنباده نرم یک برگ
- نخ موتور پیچی یا کنف یک کلاف
- خط‌کش یک عدد
- کولیس یک عدد
- میکرومتر یک عدد
- چکش پلاستیکی یک عدد
- دورسنج موتور یک عدد

سیم‌پیچی دو طبقه

سیم‌پیچی دو طبقه مانند سیم‌پیچ یک طبقه با گام کامل و گام کسری اجرا می‌شود. اغلب موتورهای صنعتی به صورت دو طبقه با گام کسری اجرا می‌شود و این به خاطر مزایایی است که سیم‌پیچی دو طبقه با گام کسری دارد این مزایا را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.

- ۱- در سیم‌پیچی دو طبقه سیم‌های هر فاز در سطح استاتور به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود.
 - ۲- میدان مغناطیسی یکنواخت‌تر نسبت به سیم‌پیچی یک طبقه در سطح استاتور ایجاد می‌شود.
 - ۳- تهویه سیم‌ها بهتر شده و موتور کمتر گرم می‌شود.
 - ۴- با وجود میدان یکنواخت موتور نرم‌تر کار می‌کند و عمر موتور بیشتر می‌شود.
 - ۵- با کاهش دمای موتور، راندمان موتور افزایش می‌یابد.
 - ۶- با انتخاب کسری گام مناسب هارمونی مزاحم حذف شده و کارکرد موتور ملایم و لرزش‌های آن گرفته می‌شود.
- محاسبات و رسم دیاگرام سیم‌پیچی و سایر مشخصات موتور در سیم دو طبقه تقریباً با موتورهای یک طبقه مشابه است این قسمت با مثال همراه با کار عملی معرفی می‌شود.



سیم پیچی دو طبقه

در شکل روبه‌رو یک نمونه سیم پیچی دو طبقه نشان داده شده است.

سیم پیچی دو طبقه از لحظه ۰۱:۱۲:۱۳ تا ۰۱:۱۴:۵۲

فیلم



مثال - استاتور یک موتور ۳۶ شیار ۶ قطب را در نظر گرفته و سیم پیچی دو طبقه شامل محاسبات، رسم دیاگرام موتور به صورت دو طبقه برای حذف هارمونیک سوم را نوشته و رسم کنید.
حل: محاسبات سیم پیچی

$$Z = 36, N_r = 940 \text{ R.P.M}, f = 50 \text{ Hz}, \frac{380 \text{ V}}{220 \text{ V}}$$

$$P_r = 1/5 \text{ KW} = 1500 \text{ W}, m = 3, \eta = 80\%$$

$$N_r = N_s(1-S) \rightarrow N_s = \frac{N_r}{1-S} = \frac{940}{1-0.04} = 1000 \text{ R.P.M}$$

$$N_s = \frac{f \times 120}{2P} \rightarrow 2P = \frac{f \times 120}{N_s} = \frac{50 \times 120}{1000} = 6$$

$$Y_p = \frac{Z}{2P} = \frac{36}{6} = 6$$

$$q = \frac{Z}{2P \times m} = \frac{36}{6 \times 3} = 2$$

$$\alpha_{eZ} = \frac{P \times 360}{Z} = \frac{3 \times 360}{36} = 30^\circ$$

$$Y_Z = Y_p \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 6 \times \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 4$$

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{30} = 9 \quad \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{30} = 5 \quad \text{شروع فاز اول} = 1$$

تشکیل جدول سیم پیچی موتورهای دو طبقه

در سیم بندی دو طبقه، مانند سیم پیچی یک طبقه، به تعداد هر فاز، ستون و به تعداد هر قطب، ردیف باز می شود. سپس هر ستون به دو قسمت تقسیم می شود و قسمت چپ، هر ستون را در هر فاز، به طبقه اول (رویی) و سمت راست هر ستون را به طبقه دوم (زیرین) منظور می کنیم. ستون های ایجاد شده در هر قسمت فازها را به q قسمت تقسیم می شود. شماره هایی که در ستون ها، در سمت چپ قرار گرفته اند بازوهای طبقه رویی را نشان می دهند و ستون هایی که، در قسمت سمت راست قرار گرفته اند بازوهای طبقه زیرین را نشان می دهند. برای تفکیک شماره ها و بازوهای طبقه رویی با طبقه زیرین، شماره های طبقه زیرین را با پریم و

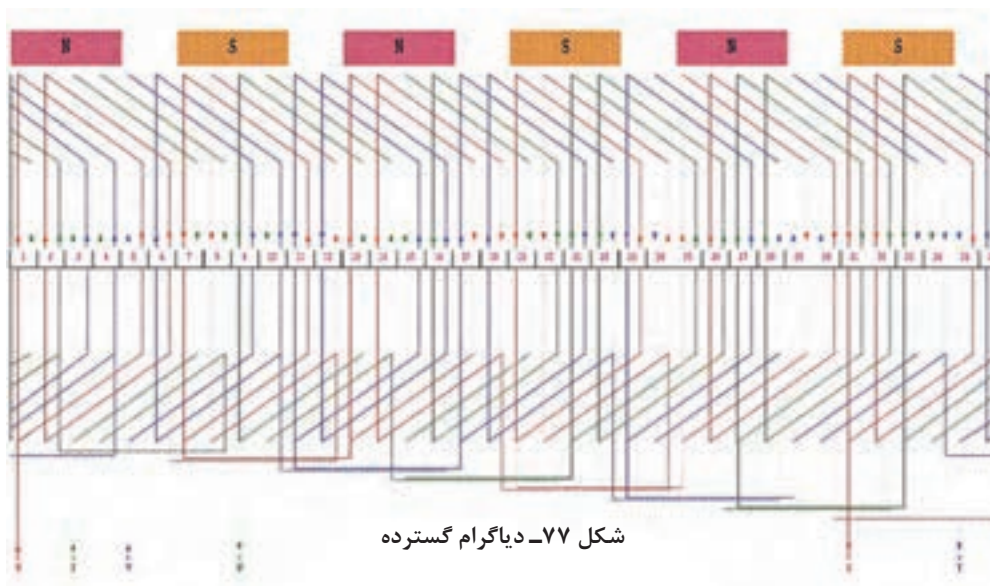
بازوهای طبقه زیرین را با خط چین نشان می‌دهند. با توجه به شروع فازها، شماره شروع فازها در قسمت سمت چپ نوشته می‌شود و به تعداد q عدد در خانه‌های طبقه رویی نوشته می‌شود. بازوی‌های طبقه رویی به بازوهای طبقه زیرین با فاصله گام سیم‌بندی مرتبط می‌شوند. بنابراین از اعداد طبقه رویی با گام Y_Z به اعداد طبقه زیرین فاصله خواهد بود. فاصله اعداد خانه‌های طبقه رویی با اعداد خانه‌های بالایی همان طبقه گام قطبی Y_P می‌باشد. با توجه به شروع فازها جدول تشکیل می‌شود (شکل ۷۶).

$$\text{شروع فاز سوم} = 1 + \frac{240}{30} = 9 \quad \text{شروع فاز دوم} = 1 + \frac{120}{30} = 5 \quad \text{شروع فاز اول} = 1$$

m ۲P	U_1, U_2				W_1, W_2				V_1, V_2			
	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴
N	۱	۲	۳۵'	۳۶'	۳	۴	۱'	۲'	۵	۶	۳'	۴'
S	۷	۸	۵'	۶'	۹	۱۰	۷'	۸'	۱۱	۱۲	۹'	۱۰'
N	۱۳	۱۴	۱۱'	۱۲'	۱۵	۱۶	۱۳'	۱۴'	۱۷	۱۸	۱۵'	۱۶'
S	۱۹	۲۰	۱۷'	۱۸'	۲۱	۲۲	۱۹'	۲۰'	۲۳	۲۴	۲۱'	۲۲'
N	۲۵	۲۶	۲۳'	۲۴'	۲۷	۲۸	۲۵'	۲۶'	۲۹	۳۰	۲۷'	۲۸'
S	۳۱	۳۲	۲۹'	۳۰'	۳۳	۳۴	۳۱'	۳۲'	۳۵	۳۶	۳۳'	۳۴'

شکل ۷۶- جدول موتور ۳۶ شیار ۶ قطب دو طبقه با گام کسری حذف هارمونی سوم

رسم دیاگرام گسترده: چنان که دیاگرام گسترده دیده می‌شود در هر شیار دو بازوی کلاف قرار گرفته است. بازوی رفت با خط پرو بازوی برگشت با خط چین در شکل ۷۷ نشان داده شده است.



شکل ۷۷- دیاگرام گسترده



هدف: محاسبه، ترسیم دیاگرام و سیم پیچی موتور آسنکرون سه فاز (۲۴ یا ۳۶ شیار ۴ قطب) برای حذف هارمونیک سوم به صورت دوطبقه زنجیری

الکتروموتور سه فاز که طول استاتور آن ۱۰۰ mm و قطر استاتور آن ۱۲۰ mm است مورد نظر است. این موتور با حذف هارمونی سوم، با لغزش ۶٪ کار می کند و اطلاعات رو پلاک آن مطابق شکل ۷۸ است.

شناسنامه موتور			
Style	Frame:	1.5 KW	Ph3
R.P M = 940	Cycles = 50 Hz یا c.p.s	Volts 380v/220v Δ / λ	Amps $\eta = \% 80$
Deg c یا T 50C Rise	Time یا Hours	Code:	S.F(Amps)
Service Factor	Housing	Type	Serial
Type □ CLASS C	Z.S = 36 WEIGHT	کارخانه سازنده	تعداد دور هر کلاف
Pitch گام هر کلاف	حفاظت = IP44	قطر سیم =	Cos $\phi = 0.8 =$

شکل ۷۸- پلاک موتور

محاسبات مورد نیاز را انجام داده، سیم پیچی آن را در کارگاه اجرا کنید. سپس آن را به شبکه برق اتصال داده، جریان بی باری و تعداد دور آن را مشخص کرده، در گزارش کار یادداشت کنید.

تعیین معادل سیم ها

بعضی مواقع ممکن است که سیم مورد نیاز در کارگاه موجود نباشد یا برای راحت قرار دادن سیم ها در داخل شیارها از سیم های با مقطع پایین و قابل انعطاف استفاده می شود. در این حالت ممکن است از چند رشته سیم یکسان با مقطع پایین نیز استفاده شود یا از سیم های با مقاطع مختلف معادل سیم مورد نیاز به کار برده شود.

تعیین معادل یک سیم از چند رشته سیم مشابه

اگر قطر سیم مورد نیاز را با D ، قطر سیم معادل را با d و تعداد رشته های سیم معادل را با n نشان دهیم از رابطه زیر قطر سیم معادل با دانستن تعداد رشته آن به دست می آید.

$$d = \frac{D}{\sqrt{n}}$$

در صورتی که بخواهیم تعداد رشته سیم های موازی شده با هم را به دست آوریم بر اساس رابطه فوق می توان چنین نوشت:

$$n = \left(\frac{D}{d}\right)^2$$

تعداد رشته سیم ها

مثال ۴-۸

چند رشته سیم ۰/۸۰ mm معادل سیم ۱/۳۷ mm می باشد.

حل:

$$n = \left(\frac{D}{d}\right)^2 = \frac{1/37^2}{0/80^2} \cong 3 \text{ رشته}$$

تعیین معادل یک سیم از چند رشته سیم غیرمشابه

رابطه بین قطر سیم‌های غیرمشابه، معادل سیم مورد نظر به صورت زیر بیان می شود.

$$D = \sqrt{n_1 d_1^2 + n_2 d_2^2 + n_3 d_3^2 + \dots + n_n d_n^2}$$

D قطر سیم مورد نیاز، n تعداد رشته‌ها و d قطرهای سیم‌های غیرمشابه می باشد.

مثال ۴-۹

چند رشته سیم ۰/۵۰ mm را با دو رشته سیم ۰/۸۰ mm موازی کنیم تا معادل سیم ۱/۳۷ mm شود؟

$$1/37 = \sqrt{n_1 \times (0/45)^2 + 2 \times (0/80)^2} \rightarrow 1/37^2 = 0/2025 \times n_1 + 2 \times 0/64$$

$$n_1 \cong 3 \text{ رشته}$$

استخراج مشخصات از پلاک موتور

سازندگان موتورهای الکتریکی، مشخصات موتورها را روی پلاک موتورها درج می کنند. در اینجا یک نمونه پلاک موتور را در نظر گرفته و با شماره گذاری هر قسمت آن مطابق شکل ۷۹ اطلاعات مربوط به آن مورد بررسی قرار گرفته است.

۱۸			
AC Motor			
Type <input type="checkbox"/> ۱۷			
style ۱	Serial ۱۶		
Frame ۲	Type ۱۵		
HP ۴	Ph ۳	Housing ۱۴	
RPM ۵	۱۳		
Cycles ۶	۱۲		
Volts ۷			
Amps ۸	Code ۱۱		
Drg ^c Rise ۹	Hours ۱۰		
IP۴۴ ۱۹	S۵ ۲۰		

شکل ۷۹- پلاک الکتروموتور

شرح پلاک موتور

۱- **style**: سبک تولید موتور که شامل مشخصات مکانیکی و الکتریکی می باشد، با شماره یا علائمی که در این قسمت نوشته می شود برای کارخانه سازنده قابل شناسایی است. در صورت سفارش خاص یا تولید مجدد این نوع موتور کارخانه سازنده قادر به ساخت آن خواهد شد.

۲- **frame**: چهارچوبی است که موتور توسط انجمن ملی تولیدکنندگان، شناسایی می شود. برای موتورهای کوچک فرم های ۴۲، ۴۸، ۵۶ و ... را می توان نام برد.

۳- **ph**: تعداد فازهای موتور در این قسمت نوشته می شود. تک فاز، دو فاز و سه فاز.

۴- **Hp**: توان خروجی موتور که توان مفید مکانیکی موتور است، به اسب بخار نوشته می شوند یک اسب بخار انگلیسی ۷۳۶ وات و یک اسب بخار امریکایی ۷۴۶ وات می باشد.

۵- **R.P.M**: سرعت گردش روتور را در هر دقیقه بیان می کند.

۶- **cycles**: فرکانس کار موتور را نشان داده در بعضی موارد به جای frequency, cycles نوشته می شود.

۷- **volt**: ولتاژ کاری موتور را نشان می دهد.

توضیح - در انتخاب ولتاژ کاری، نحوه اتصال موتورها به منابع تغذیه، لازم است دقت کافی نمود. اگر غیر از ولتاژ نامی، سیم پیچ های موتور تغذیه شوند، احتمال سوختن سیم پیچ الکتروموتور وجود دارد. اگر روی پلاک موتور ۳۸۰۷ / ۲۲۰۷ نوشته شود این موتور الزاماً در شبکه ایران اتصال ستاره خواهد داشت و اگر روی پلاک موتور ۶۶۰۷ / ۳۸۰۷ نوشته شود، اتصال موتور برای تحویل توان نامی، باید با اتصال مثلث به شبکه وصل شود ولی برای دریافت یک سوم توان نامی، می توانیم آن را با اتصال ستاره به شبکه ایران وصل کنیم ولی راندمان کار کم است.

۸- **Amps**: جریان نامی موتور را، در ولتاژ نامی و فرکانس نامی نشان می دهد.

۹- **Deg C Rise**: درجه حرارت بدنه موتور را در زمان کار موتور نشان می دهد. دمای بدنه موتورها نباید بیش از ۷۰ درجه سانتی گراد افزایش یابد، دمای کار بدنه موتورها در اندازه ۴۰ الی ۵۰ درجه سانتی گراد معمولی است. دمای بدنه موتورها در کلاس های متفاوت با استانداردهای متفاوت ارائه می شود.

۱۰- **Hours**: مدت زمان کار موتور را، در حالت نرمال نشان می دهد.

۱۱- **Code**: حروف نوشته شده در این قسمت بیانگر آن است که، موتور برای هر اسب بخار چند کیلو ولت آمپر توان راکتیو (در حالت روتور قفل شده) از شبکه دریافت می کند. معروف ترین استانداردهای مربوط به این قسمت N.E.M.A می باشد. به عنوان مثال برای حرف M در محدوده ۵/۵ الی ۱۰ کیلو ولت آمپر راکتیو برای هر اسب بخار، در حالت روتور قفل شده، توان راکتیو از شبکه دریافت می کند.

۱۲- **(Amps) s.f**: جریان مجاز موتور در بار کامل موتور است.

۱۳- **Service Factor**: ضریب حداکثر بار مجاز را نشان می دهد. به عبارت دیگر اگر بار نامی به این ضریب ضرب شود، حداکثر باری که موتور برای مدت کوتاه تحمل می کند، مشخص خواهد کرد.

۱۴- **Housing**: محیط کار موتور را از نظر فضای باز یا سر پوشیده نشان می دهد.

۱۵- **Type**: حروف نوشته شده برای کارخانه سازنده نوع (تک فاز، سه فاز، موتور خازنی و ...) ساختمان، قدرت موتور، دور موتور را مشخص می کند.

۱۶- **Serial**: تاریخ تولید، نوع تولید، شماره تولید و ... در این قسمت برای کارخانه سازنده معلوم می شود.

۱۷- **Type**: نوع نگهداری و نصب موتور را مشخص می کند. (در داخل حروفی نوشته می شود) به عنوان

مثال:

حرف A - نشان دهنده تنظیم اتوماتیک موتور است.

حرف D - نشان دهنده تنظیم اتوماتیک موتور با تأخیر زمانی است.

حرف M - نشان دهنده تنظیم مجدد موتور با دست است.

حرف X - نشان دهنده تنظیم مجدد موتور با دست یا اتوماتیک است.

۱۸- برچسب و مارک کارخانه سازنده نصب می شود.

۱۹- در پلاک موتورها علاوه بر اطلاعات فوق علائم حفاظتی با حروف IPXX را نشان می دهند. در علامت

مشخصه IPXX، اولین رقم X پس از IP مشخصه کننده درجه حفاظت موتور در مقابل اجسام خارجی و

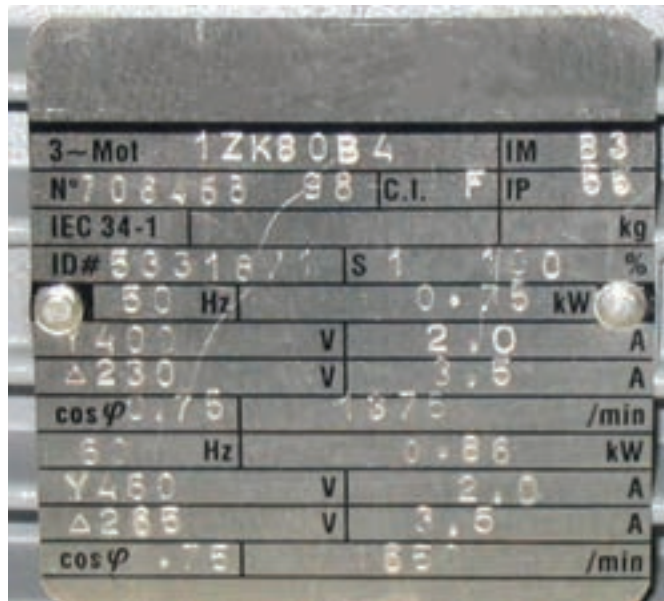
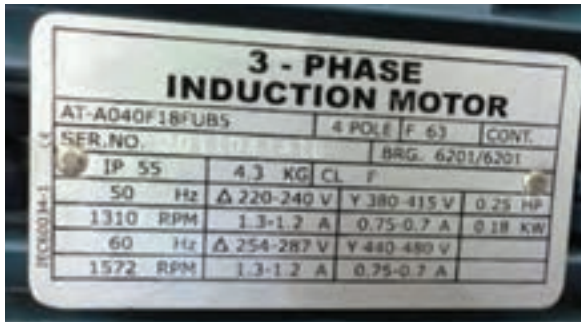
دومین رقم X مشخصه کننده درجه حفاظت موتور در مقابل ایمنی آب می باشد. جدول (IP) در کتاب هنرجو

آورده شده است.

۲۰- زمان کار ماشین را نشان می دهد.

مشخصات پلاک های الکتروموتور داده شده در شکل ۸۰ را استخراج کنید.

فعالیت



شکل ۸۰- چند نمونه پلاک الکتروموتور

عیب‌یابی الکتروموتور

برای تشخیص و رفع عیوب احتمالی در راه‌اندازی الکتروموتورها می‌توان از جدول ۳، انواع معیوب و علت و رفع آنها را مورد بررسی قرار داد.

جدول ۳- عیب‌یابی موتورهای القایی			
علایم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
	برق به موتور نمی‌رسد	فیوز سوخته است	آمپراژ، فیوزها بررسی شود که نباید کمتر از ۱۲۵٪ جریان نامی بار کامل موتور باشد. موتور را از شبکه قطع کنید. فیوزها را تعویض کنید. موتور را به شبکه مجدداً وصل کنید. اگر فیوزها نسوزند خرابی از فیوزها است.
		وسیله حفاظتی اضافه بار قطع کرده است	وسیله حفاظتی اضافه بار (بی‌متال) را وصل کنید اگر دوباره قطع شد مدار الکتریکی را بررسی کنید.
موتور راه‌اندازی نمی‌شود	ولتاژ کافی نیست	تغییر ولتاژ شبکه ولتاژ شبکه با ولتاژ نامی موتور یکی نیست.	مشخصات موجود در پلاک موتور را از قبیل ولتاژ، فرکانس و تعداد فازها را، با مشخصات شبکه، مطابقت دهید. در صورت مشاهده تفاوت‌ها در صدد هماهنگی تلاش شود. مثلاً موتور ac در جریان dc راه‌اندازی نمی‌شود. موتور تک‌فاز با شبکه سه فاز از طریق فاز و نول راه‌اندازی می‌شود موتورهای سه‌فاز با برق تک‌فاز راه‌اندازی نمی‌شوند مگر به کمک خازن‌ها.
		قطع یا تغییر ولتاژ شبکه	ولتاژ ترمینال‌های موتور را با بستن کلید اصلی اندازه‌گیری کنید. مقدار ولتاژ با ۱۰٪ اختلاف باید برابر ولتاژ اسمی موتور باشد، در غیر این صورت شبکه تغذیه مناسب یا تغییر اتصالات موتور لازم است.
		سرسیم‌ها جابه‌جا شده است	اتصالات موتور را با نقشه موتور تطبیق دهید. دیاگرام‌ها را از کتاب‌های مطالعه شده، در اختیار بگیرید و طریقه اتصال را با اتصال موتور تطبیق دهید. ممکن است سرسیم‌ها مطابق نقشه به تخته کلم هدایت نشده باشد. هدایت سرسیم‌ها را در تخته کلم تصحیح کنید. سر کلاف‌ها را با اهم‌متر پیدا کنید و محل اتصال صحیح را بررسی کنید و اصلاح کنید.

جدول عیب یابی موتورهای القایی

علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور داغ می کند	موتور راه اندازی نمی شود	کنترل کننده معیوب است	کنترل کننده های خارجی موتور را بررسی کنید و عیب را رفع کنید.
		کلید راه انداز معیوب است	تعمیر کلید راه انداز، مناسب است کلید راه انداز عوض شود.
موتور به هنگام کار سروصدا می کند	ساییدگی یاتاقان ها و یا دنده ها	کشش تسمه خیلی زیاد و یا عدم انطباق تسمه	عیب مکانیکی را رفع کنید. تسمه ها جایی که مسطح یا V شکل باشند باید دارای کشش کافی برای جلوگیری از لغزش باشد.
		اتصال نامتعادل دنده های درگیر	دنده ها را از نظر اندازه کنترل کنید.
		سنگینی بیش از حد چرخ تایر یا بارها	انتخاب موتور مناسب با بار
	یاتاقان ها کثیف و بیش از حد ساییده شده	محور از مرکز خارج شده	درپوش را بردارید و محور را در مرکز تقارن تنظیم کنید.
		محیط کثیف و ذرات معلق زیاد است	اگر شرایط بد باشد حفاظی برای جلوگیری از ورود مواد زائد به موتور تهیه گردد یا موتور مناسب موقعیت مکان تهیه شود.
		روان کاری غیر کافی	یاتاقان های استوانه ای در شرایط کار عادی سالی یک بار با روغن ماشین سبک و خوب روانکاری شود و در شرایط کار دائم باید دفعات روانکاری بیشتر شود.
موتور داغ می کند	جریان زیاد می کشد یا جریان فازها با هم برابر نیستند	اتصالات شبکه صحیح نیست	اتصالات را یک بار دیگر کنترل کنید
			ابزار محرکه، تسمه (اتصالات مکانیکی) بین موتور و بار بررسی شود که موتور با قدرت مناسب به کار گرفته شده یا نه، بار اضافی عمر موتور را به شدت کاهش می دهد.

جدول عیب یابی موتورهای القایی			
علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
موتور سوخته است	یاتاقان‌ها گیر کرده است	کاربرد غلط	تجدید سیم‌بندی و آزمایشات لازم
سروصدای موتور خیلی زیاد است	روتور نامتعادل	نامتعادل شدن یا کج شدن موتور	روتور نامتعادل سبب ایجاد لرزش می‌شود که می‌توان آن را به سادگی احساس کرد. برای رفع آن بایستی روتور را به طور دینامیکی با وسایل موجود متعادل کرد. همچنین محور کمی تاب برداشته باشد باید صاف شود.
		ساییدگی یاتاقان‌ها	در موتورهای تک‌فاز یاتاقان‌های ساییده و خشک شده سبب افزایش سروصدا می‌شود. سروصدا با فرکانس لغزش ترکیب شده در بی‌باری صدای خرخرگره را می‌دهد. روغن کاری سروصدا را کم می‌کند و گرنه یاتاقان‌ها باید تعویض شوند.
	کلید تلق می‌کند	کلید از جای خود باز شده	کلید بررسی شود در صورت شکستن باید تعویض شود.
	لقی بیش از حد دو سر موتور	جابه‌جا شدن بوش‌ها یا بلبرینگ‌ها	موتور را پیاده کرده، واشرهای مناسب برای رفع لقی در طرف کلید گریز از مرکز اضافه شود اگر موتور در دو طرف محور، جا داشته باشد واشرها را در دو طرف برای رفع لقی اضافه می‌کنند.
	بار با ماشین تطابق کامل ندارد	موتور مناسب انتخاب نشده است	شرایط مکانیکی بار اصلاح شود.
	موتور در جای خود لرزش بیشتری دارد	اتصال موتور به پایه‌ها کامل نیست	شرایط مکانیکی نصب اصلاح شود.
		وسایل یدکی روی موتور خوب بسته نشده	درپوش‌های خود موتور و جعبه اتصالات درپوش روغن، درپوش خازن و لوله روغن محکم شوند.

جدول عیب یابی موتورهای القایی

علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب	
موتور داغ می‌کند	موتور جریان زیاد می‌کشد یا جریان فازها یکسان نیست	ولتاژ مدار زیاد است	ولتاژ ترمینال‌های موتور در حالت بار داری و حین کار، اندازه‌گیری شود. اگر ولتاژ اندازه‌گیری شده بیش از ۱۰٪ ولتاژ نامی باشد ولتاژ تغذیه اصلاح شود و گرنه آزمایش اشباع بار کامل را انجام دهید اگر توان ورودی بیش از توان نامی باشد به احتمال زیاد ولتاژ شبکه درست نیست.	
		فرکانس شبکه با فرکانس نامی موتور یکسان نیست	فرکانس شبکه را با فرکانس موجود در پلاک موتور مقایسه نموده و هماهنگی لازم به عمل آید.	
		راه اندازی به دفعات زیاد	در صورت کنترل اتوماتیک موتور ممکن است. این شرایط به وجود آید در صورت امکان کنترل را برای طولانی کردن سیکل تنظیم کنید.	
	اشکال در تهویه	مسیر تهویه مسدود شده یا کامل نیست	مسیر تهویه را کاملاً تمیز کنید. هدایت هوای خنک‌کننده را با سیستم موجود اصلاح کنید و اطمینان حاصل کنید که در مسیر هوای خنک مانعی وجود ندارد.	
	دمای بدنه خیلی زیاد است	دمای بدنه بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد یا ۱۰۴ درجه فارنهایت، برای موتورهای استاندارد، خیلی زیاد است اگر موتور در داخل محفظه از دمای محیط کار می‌کند دمای این محفظه از دمای محیط کار چند درجه بالاتر است معمولاً دماهای اطراف زیاد تعیین‌کننده نیستند.		
	یاتاقان‌های معیوب	ساییدگی یاتاقان‌ها	تعویض یاتاقان‌ها	
	اتصال کوتاه کلاف‌ها	سوختن سیم‌ها	این حالت توسط سروصدای مغناطیسی غیرعادی با قدرت بی‌باری بیش از حد مشخص می‌شود.	
	سیم‌پیچ با کلید راه‌انداز زمین شده است	خرابی عایق	اگر محل زمین شدن قابل تشخیص نیست موتور باید دوباره سیم‌پیچ شود.	
	کلید راه‌انداز عمل نمی‌کند	خرابی کلید راه‌انداز	تعویض کلید راه‌انداز (تعمیر توصیه نمی‌شود)	

جدول عیب یابی موتورهای القایی			
علائم عیب	نوع عیب	علل عیب	چگونگی رفع عیب
سر و صدای موتور خیلی زیاد است	فاصله هوایی غیر یکنواخت است	کجی محور	محور موتور خم شده، محور را صاف کنید و مواد زائد روی محور را پاک کنید یا باربرداری کنید.
		مواد زائد در فاصله هوایی	سروصدای بی‌قاعده، متناوبی و خراشیده می‌باشد موتور را پیاده و تمیز کنید.
	سروصدای موتور تقویت می‌شود.	متعلقات نصب فرسوده شده‌اند	در چنین شرایطی موتور را از بار جدا کرده و آن را بدون بار بچرخانید. اگر سروصدا پا برجا باشد پیچ‌ها را شل کرده و موتور را در حالی که کار می‌کند به آرامی بلند کنید اگر موتور آرام گرفت پایه‌های نصب تشدیدکننده صدا عمل می‌کنند با روش نصب فنری می‌توان سروصدا را از بین برد.
	زوزه در تکیه‌گاه‌های محور شکستگی محور	نامناسب بودن شرایط نصب بار	محور را بررسی کنید و نارسایی‌های مکانیکی را برطرف کنید.

ارزشیابی شایستگی سیم‌پیچی الکتروموتورهای سه‌فاز

شرح کار:		
شناسایی قطعات ساختمان الکتروموتور باز کردن الکتروموتور محاسبه و رسم دیاگرام	تئوری میدان دوار بازپیچی الکتروموتور	
استاندارد عملکرد: بازپیچی و سیم‌پیچی الکتروموتور سه‌فاز در کارگاه سیم‌پیچی با رعایت موارد ایمنی		
شاخص‌ها:		
شناسایی قطعات الکتروموتور مراحل بازپیچی	آشنایی با میدان دوار رسم دیاگرام	
شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:		
شرایط: فضای مناسب - ابزار مناسب - مدت زمان متناسب با حجم کار ابزار و تجهیزات: بوبین پیچ - الکتروموتور شیار خالی و سوخته - میز تست الکتروموتور - لباس کار - دستکش		
معیار شایستگی:		
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳ نمره هنرجو
۱	بازپیچی الکتروموتور سه‌فاز	۲
۲	سیم‌پیچی و رسم دیاگرام	۲
۳	بازکردن ۱	۱
۴	بازکردن ۲	۱
۲	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: کسب اطلاعات کارتیمی مستندسازی ویژگی شخصیتی	
*	میانگین نمرات	

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