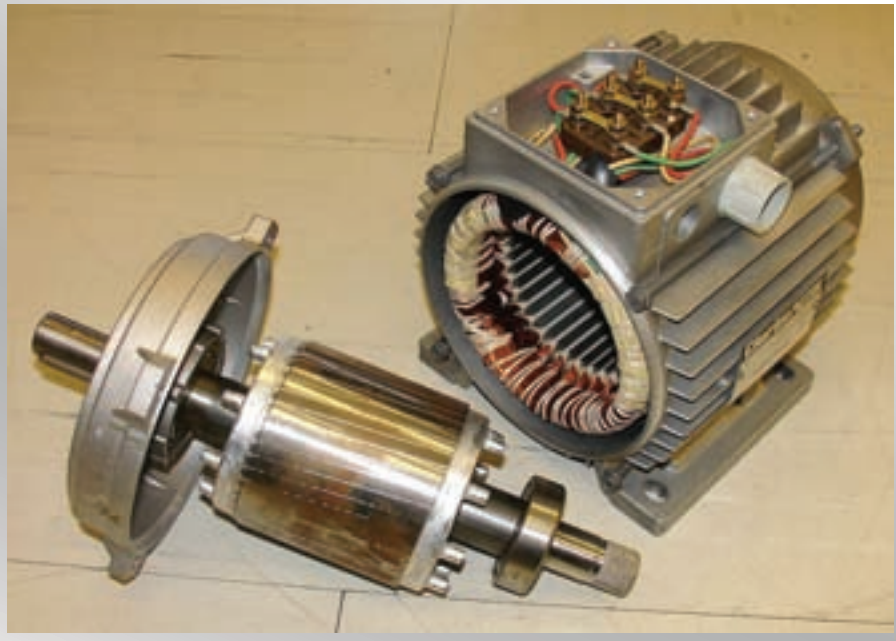
۳

ماشینهای القایی سه فاز



۱- مقدمه
۲- ساختمان ماشین‌های القایی
۲-۱- استاتور
۲-۲- سیم پیچ
۲-۳- رتور
۳- اساس کار موتورهای القایی
۴- پدیده میدان دوار در ماشینهای القایی
۵- تغییر جهت چرخشی میدان دوار
۶- عوامل موثر در سرعت میدان دوار
۷- نحوه ایجاد چرخش رتور در موتورهای القایی
۸- موتورهای القایی از نوع رتور قفس سنجابی
۹- لغزش در ماشین‌های القایی
۱۰- رفتار ماشین‌های القایی در لغزش های مختلف
۱۰-۱- لغزش در زمان راه‌اندازی
۱۰-۲- لغزش در سرعت سنکرون
۱۰-۳- لغزش موتور در حین کار
۱۰-۴- لغزش منفی
۱۰-۵- لغزشهای بزرگتر از واحد (بیش از ۱۰۰٪)
۱۱- کمیتهای الکتریکی رتور
۱۱-۱- فرکانس ولتاژ القایی مدار رتور
۱۱-۲- راکتانس رتور
۱۱-۳- مقاومت مدار رتور
۱۱-۴- ولتاژ رتور
۱۱-۵- امپدانس رتور
۱۱-۶- جریان رتور
۱۱-۷- ضریب قدرت مدار رتور
۱۲- گشتاور ماشین‌های القایی
۱۳- ناحیه بندی ماشین القایی بر اساس مشخصه گشتاور-دور
۱۴- مشخصه گشتاور- دور موتور القایی
۱۵- مشخصه ضریب قدرت- سرعت موتور القایی

۱۶- تأثیر فاصله هوایی میان رتور و استاتور بر مقدار ضریب قدرت موتور
۱۷- مشخصه جریان – دور موتور القایی
۱۸- تحلیل رفتار موتور القایی در بارهای مختلف "مشخصه‌های خروجی"
۱۹- روشهای راه‌اندازی موتورهای القایی
۱۹-۱- راه‌اندازی مستقیم DOL
۱۹-۲- راه‌اندازی ستاره – مثلث
۱۹-۳- راه‌اندازی با اتو ترانسفورماتور
۱۹-۴- راه‌اندازی با تجهیزات الکترونیک قدرت-راه‌اندازی نرم
۱۹-۵- روش راه‌اندازی رتوری
۲۰- تغییر سرعت موتورهای القایی
۲۰-۱- کنترل هم زمان فرکانس و ولتاژ
۲۰-۲- تغییر قطبهای سیم‌بندی
۲۰-۳- موتور دالاندر
۲۰-۴- قراردادن دو سیم‌بندی مجزا در داخل استاتور
۲۰-۵- تغییر مقدار لغزش
۲۱- ترمز موتورهای القایی
۲۱-۱- ترمز جریان مخالف
۲۱-۲- ترمز با جریان مستقیم
۲۱-۳- ترمز مولدی
۲۱-۴- ترمز الکترومکانیکی
۲۲- رفتار مولدی ماشین القایی
۲۲-۱- اتصال مولد القایی به شبکه برق
۲۲-۲- استفاده از خازن (مولد القایی در حالت منفرد)
۲۳- تلفات و راندمان
۲۴- مقایسه موتورهای رتور قفسی و رتور سیم‌پیچی
۲۵- پلاک خوانی موتورهای القایی و استفاده از برگه مشخصات فنی

۳

مقدمه

موتورهای القایی سه فاز، پرکاربردترین موتورهایی هستند که برای به حرکت در آوردن ، چرخهای صنعت از آنها استفاده می‌شود. طراحی ساده و مستحکم , قیمت ارزان , هزینه نگه داری پایین و اتصال آسان به منبع سه فاز امتیازات اصلی موتورهای القایی هستند. با اینکه ساختمان موتورهای القایی سه فاز به مراتب ساده تر از موتورهای DC است. ولی مکانیزم عملکرد، کنترل سرعت و گشتاور در این نوع موتورها نیازمند درک عمیقتری از مفاهیم الکتریسته و مغناطیس می‌باشد.

این نوع موتور در قدرتهای متنوع (کسری از کیلو وات تا چند ده مگا وات) ساخته و بهره برداری می‌شوند.

شکل ۱ – انواع موتورهای الکتریکی وکاربردآن در صنعت

۲- ساختمان ماشین‌های القایی

بطور کلی هر ماشـــین القایی (موتور یا مولد القایی) از دو بخش اســـتاتور و رتور تشکیل شده است. استاتور بخش ثابت و رتور بخش متحرک ماشین می‌باشد.

در شکل(۲) ســـاختمان ماشـــین القایی نشان داده شده است.

هر یک از اجزای ماشـــین بر حســـب عملکردشان بر روی یکـــی از این دو بخش قـــرار می گیرند. مثلا پروانه خنک کننده روی رتور نصب می‌شود.

۲-۱- استاتور

استاتور ماشین القایی ، شامل بدنه ، هسته مغناطیسی ، سیم پیچها و یاتاقانهای سر و ته می‌باشد.[۱]

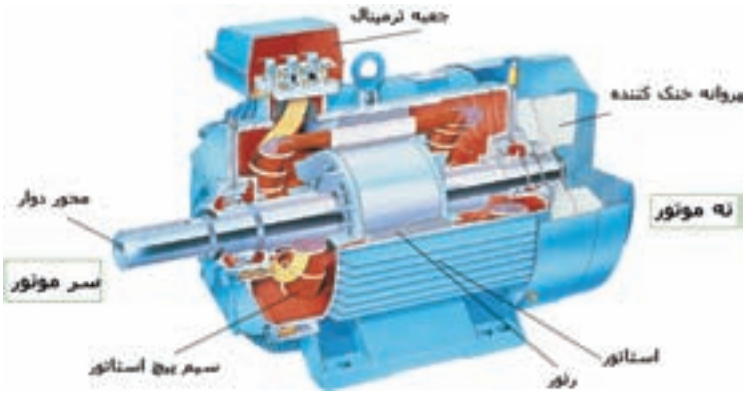
هســـته اســـتاتور ، مجموعه ای از ورقهـــای فولادی اســـت که دارای شیار در سطح داخلی آن مطابق شکل (۳-الف) می‌باشد پس از قرار گرفتن در کنار هم تشکیل یک حجم استوانه ای مطابق شکل (۳-ب) می‌دهد.

سیم پیچهای سه فاز ماشین القایی در داخل همین شیارها قرار می‌گیرند.

در فصل ۱ با پدیده هیســـترزیس و فوکو آشنا شدید. در ماشـــینهای القایی نیز به دلیل تلفات هیسترزیس، جنس هســـته باید از فولاد مغناطیســـی با پسماند کم[۲] انتخاب شـــود تا تلفات هیســـترزیس ماشین به حداقل ممکن برســـد. همچنین برای کاهش تلفات فوکو نیز از روش ورق ،ورق کردن هسته بهره می گیرند.

ابعاد هســـته اســـتاتور بگونه ای است که براحتی در بدنـــه ی فولادی، چدنی یا آلومینیومی اســـتاتور محکم می‌شود این بدنه بصورت پره دار ساخته می‌شود تا برای تهویه بهتر، سطح تماس بیشتری با هوای محیط (سطح بیرونی) خود داشته باشد.

وظیفه ی بدنه ، پوشش نهایی ماشین القایی می‌باشد که هســـته و ســـیم پیچها را در خود جای داده است و ماشـــین را در برابر ورود اجسام خارجی به آن محافظت می‌کند. همچنین برای اتصال سیم پیچ ها روی بدنه‌ی



شکل ۲ - اجزای تشکیل دهنده یک موتور القایی

---

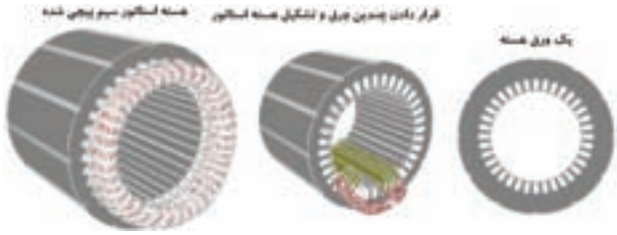
۱) درصورت نیاز ممکن است به منظور خنک سازی ماشین القایی و یا حفاظت آن از لوازم بیشتری نظیر فن ،هیتر یا گرم کن ، سنسور لرزش ، مقاومتهای متغیر با دما و ... در آن استفاده شود.

۲) فولاد سیلیس دار

ماشین جعبه ترمینال[1] قرار می‌گیرد.

بـه علاوه دو درپـوش و یاتاقانهای طرفین ماشـین بگونه ای طراحی می‌شـوند که قسمت متحرک ماشین (رتـور) براحتی در داخل اسـتاتور بچرخـد و تکیه گاه مکانیکی مناسـبی برای رتور فراهم شود. این بخش در سـاختار الکتریکی ماشین نقشی ندارد و جزو تجهیزات مکانیکی ماشین بحساب می‌آید.

در موتورهای سـنگین که جابه جایی آن برای افراد میسـر نیسـت، یک قلاب در بالای بدنه ماشـین پیش بینی می‌شود که بتوان با جرثقیل آن را جابه‌جا نمود.

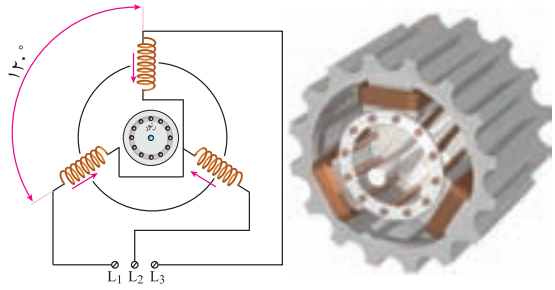


(الف) (ب) (ج)

شکل ۳-هسته استاتور، بدنه و سیم‌پیچ استاتور

۲-۲-سیم پیچ

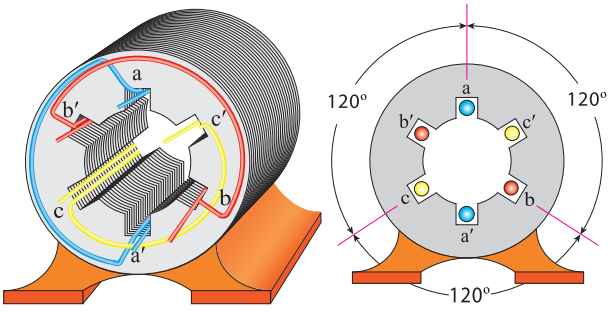
اسـتاتور ماشین القایی سـه فاز با توجه به محیط ۳۶۰° دایـره ای شـکل خود باید حداقل دارای سـه سـیم پیچ با اختلاف زاویه ۱۲۰° مکانی از هم مطابق شـکل(۴)باشـد.



به اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه سیم پیچ توجه کنید.

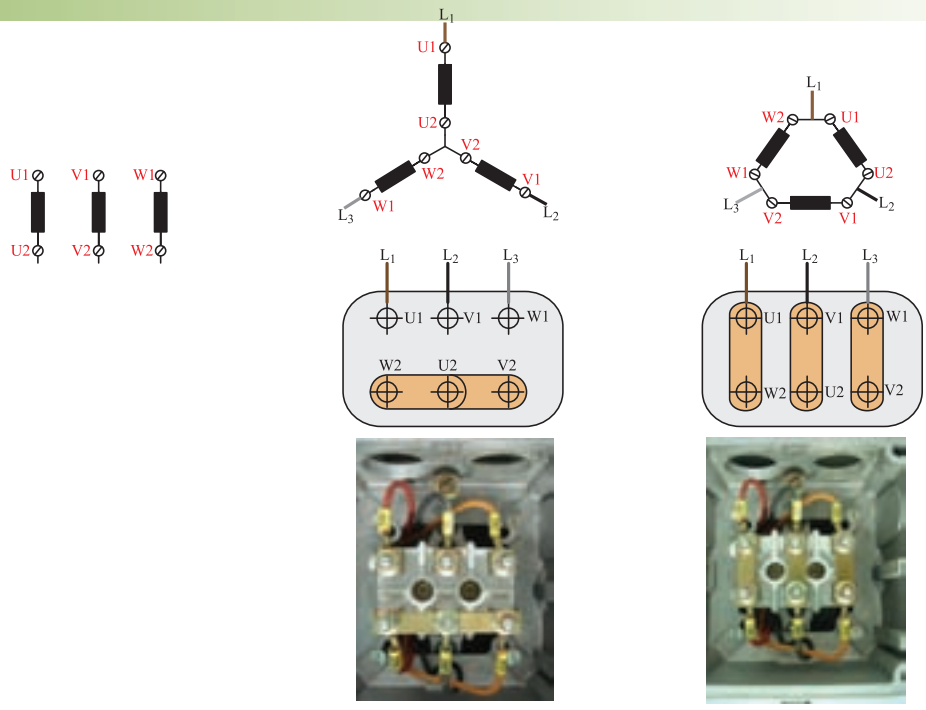
شـکل ۴ - استقرار سـیم پیچ های ماشـین القایی ومدار الکتریکی آن

در عمل سـیم پیچ های سه فاز اسـتاتور ماشین القایی احتیاج به حداقل ۶ شـیار مطابق شـکل (۵) دارند. سـیم پیچها به گونه ای جاسـازی می‌شـوند کـه هر سـیم‌پیچ با دیگری ۱۲۰ درجـه اختلاف فاز مکانی داشـته باشـد. در این شکل سـه دسته سیم پیچ با حروف(aa□,bb□,cc□) مشخص شده اند. در ماشـین های القایی صنعتی شـیارهای اسـتاتور بیش تر از این تعداد می باشـند.



شـکل ۵- استاتورماشـین الکتریکی سـه فاز دو قطب شامل سه کلاف تک حلقه

[1] Terminal Box



شکل ۶ -نحوه اتصال سر سیم ها در ترمینال ماشین القایی سه فاز

درماشینهای القایی،سروته‌سیم‌پیچها(aa،bb،cc) را به داخل جعبه ترمینال می آورند تا به ترمینالهای خروجی متصل شوند. بدین ترتیب تغییر اتصال ستاره و یا مثلث در جعبه ترمینال بسیار ساده مانند شکل (۶) می‌باشد.

۲-۳- رتور

رتور ماشین‌های القایی بر دو نوع است:

- رتور قفسی
- رتور سیم پیچی شده

هر دو نوع رتور از ورقه های مغناطیسی دایره‌ای شکلی تشکیل شده‌اند که از مرکز آن محور فولادی رتور عبورکرده است. محور فولادی رتور بایستی از نظر مکانیکی از استحکام کافی برخوردار بوده ولی از نظر خاصیت مغناطیسی ضعیف باشد.

۲-۳-۱ - رتور قفسی

این نوع رتور ، از تعدادی میله های مسی یا آلومینیومی مطابق شکل(۲۱) تشکیل شده است که آنها را در داخل شیارهای ورقه مغناطیسی رتور تعبیه کرده اند. سپس این میله ها از هر دو طرف توسط دو حلقه هم جنس با میله ها (آلومینیوم یا مس) به هم متصل شده اند. شکل(۷) ابعاد چند نوع رتور قفسی را نشان می‌دهد.

شکل ۷- رتور قفسی در ابعاد مختلف

۲-۳-۲ -رتور سیم پیچی شده (Wound rotor)

بر روی این نوع رتور سه دسته سیم پیچ با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه مانند استاتور ماشین القایی سه فاز با همان تعداد قطب پیچیده می‌شوند. این سیم پیچ ها نسبت به بدنه رتور عایق شده است.

نمایی از این نوع رتور در شکل(۸) دیده می‌شود.

شکل ۸ -رتور سیم پیچی شده در ابعاد مختلف

نکات قابل توجه در رابطه با ماشینهای القایی رتور سیم پیچی عبارتست از:

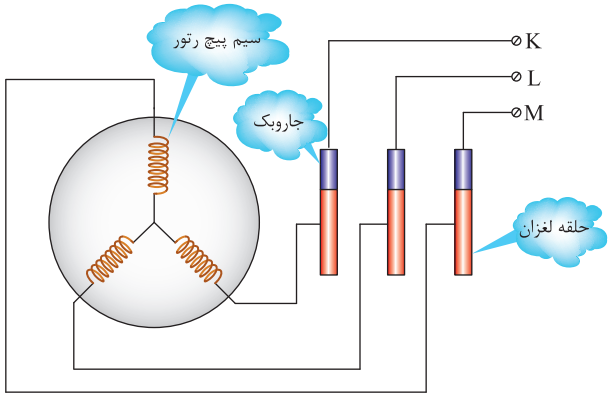
الف) تعداد شیارهای رتور همواره کمتر از تعداد شیارهای استاتور است.

ب) تعداد قطبهای حاصل شده از سیم پیچی رتور باید برابر با تعداد قطبهای حاصل شده از سیم پیچی استاتور باشد.

سیم پیچهای رتور اغلب با اتصال ستاره[1] به هم وصل می‌شوند و سه سر دیگر سیم پیچها توسط حلقه های لغزان[2] و جاروبک به بیرون رتور جهت اتصال به مقاومت راه‌انداز انتقال داده می شوند.

بدین ترتیب در ماشینهای القایی رتور سیم پیچی، امکان دسترسی به مدار داخلی رتور وجود دارد.

مدار الکتریکی و اتصال سیم پیچهای رتور به حلقه های لغزان در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹-مدار الکتریکی رتور سیم پیچی

خود را بیازمایید

۱) مزیتهای ماشین القایی جریان متناوب نسبت به ماشین های جریان مستقیم را بیان کنید.

۲) به قسمت ثابت ماشین القایی.....و به قسمت متحرک آن..... میگویند.

۳) قسمتهای اصلی استاتور ماشین القایی را نام ببرید.

۴) چرا هسته استاتور ماشین‌های القایی را بصورت ورقه ورقه و با پسماند کم می سازند؟

۵) اجزای تشکیل دهنده رتور قفسی را نام ببرید.

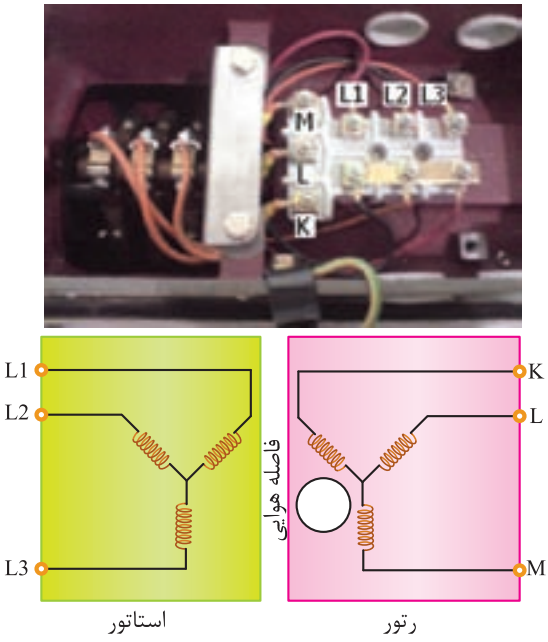
۱) گاهی در صنعت می‌توان موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده ای یافت که سیم پیچ های رتور آن با اتصال مثلث به هم وصل شده باشند.

۲) Slip ring

۳- اساس کار موتورهای القایی

مطابق شـکل (۱۰) ، مـدار الکتریکی موتور القایی سه فاز رتور سـیم پیچی شده مانند یک ترانسفورماتور سه فاز اسـت. در واقع هر دو از اثر القای ولتاژ در سیم پیچ طرف دیگر اسـتفاده می کنند لذا به این موتورها ، موتورهای القایی گفته می‌شود.

البته در سـاختار موتور القایی بین سـیم پیچ اولیه (اسـتاتور) و ثانویه(رتور) علاوه بر هسـته مغناطیسی، فاصلـه هوایی نیز وجـود دارد و از آنجا که در قدرتهای یکسان، نیروی محرکه مغناطیسی بیشتری جهت غلبه بر تلفات مکانیکی رتور و مقاومت مغناطیسـی ناشـی از فاصلـه هوایی بین اسـتاتور و رتور مورد نیاز اسـت ، بنابراین در قدرت یکسـان جریان بـی باری موتورهای القایی نسبت به ترانسفورماتورها بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۰ -مدار الکتریکی(پایین) و جعبه ترمینال(بالا)
موتور القایی با رتور سیم پیچی شده

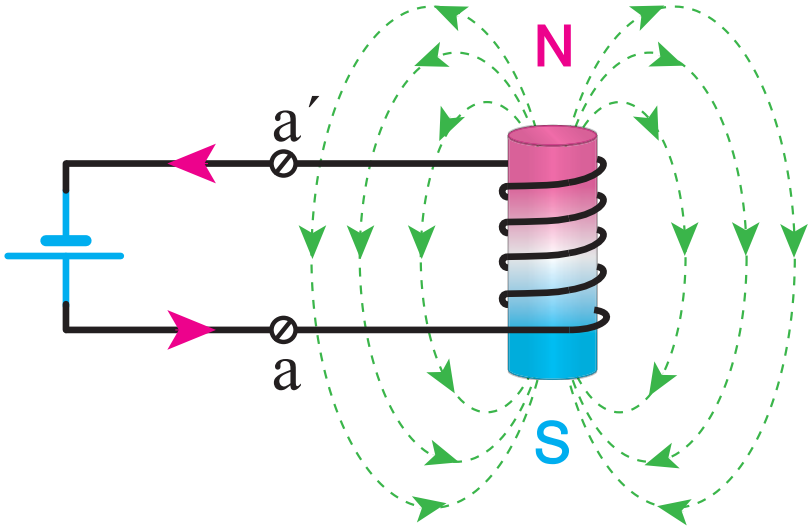
۴-پدیده میدان دوار در ماشینهای القایی

در این بخش پس از معرفی سـاختار ماشین القایی سه فاز ، ثابت می‌شود که چگونه با عبور جریان سه فاز از سه سیم پیچ اسـتاتور ماشین القایی می‌توان میدان دوار ایجـاد کـرد بطوریکه این میدان پیرامون هسـته اسـتاتور گردش نموده و بدین ترتیب شرایط لازم برای چرخش رتور را فراهم کند.

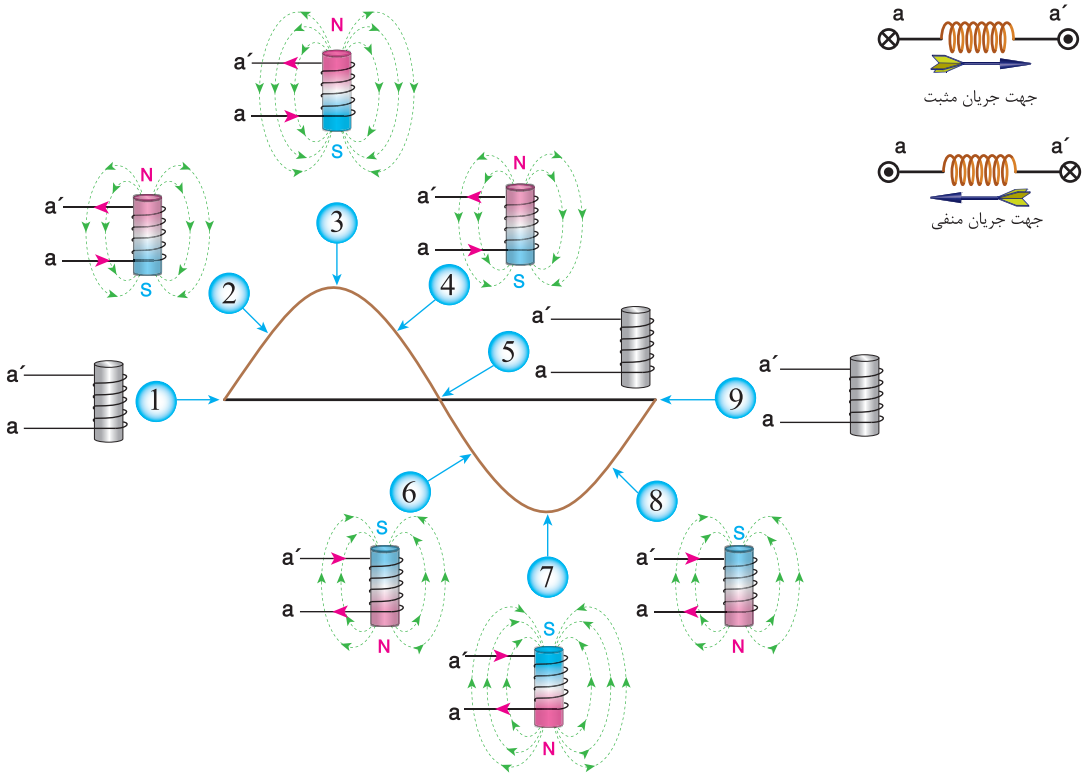
البته بـرای اثبات موضوع فـوق از معادلات ریاضی بهره می گیرند ولی از آنجا که می‌توان این موضوع را با دلایل فیزیکی نیز شرح داد، لذا برای اثبات میدان دوار از تشریح فیزیکی میدان استفاده می‌گردد.

در آغاز انواع میدان های ایجاد شده توسط جریانهای مستقیم و متناوب یادآوری می‌شود. مطابق شکل (۱۱) با عبور جریان DC از یک سـیم پیـچ می‌توان میدان

ثابت ایجاد کـرد. زیرا اندازه و جهت این میدان همواره ثابت اسـت. همچنیـن با عبور جریان متنـاوب تک فاز میدانی متغیر ایجاد می‌شـود که بصورت ضربانی جهت آن در هر نیم سیکل مرتب تغییر می کند.



شکل ۱۱-میدان مغناطیسی حاصل از منبع جریان مستقیم



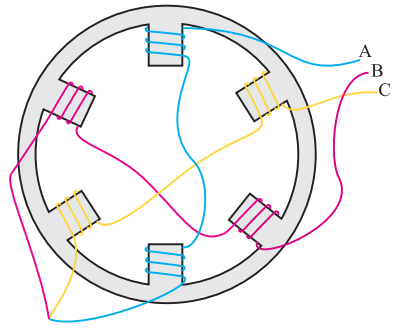
شکل ۱۲-جهت میدان مغناطیسی سیم پیچ در جریان متناوب

این میدان را میدان ضربانی می گویند. جهت میدانهای مغناطیسی اطراف سیم پیچ در جریان متناوب تکفاز مطابق شکل (۱۲) می‌باشد.

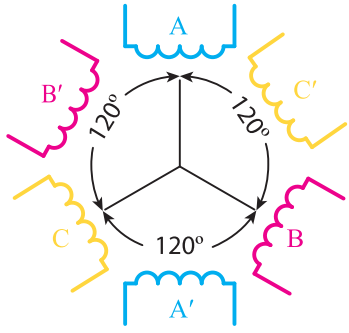
پیکان جهت جریان فرضی وارد و خارج شده از سیم‌پیچ را نشان می‌دهد.

در ادامه نشان داده می‌شود که با عبور جریانهای متناوب سه فاز در سه سیم پیچ مطابق شکل(۱۳) میدانهای گردشی یا دوار ایجاد می‌شود.

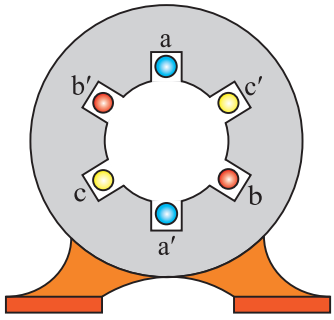
شکل (۱۳-الف) سیم بندی سه فازه ماشین القایی دوقطبی ساده را نشان می دهد. با توجه به شکل (۱۳-ب ، ج) ، سیم پیچهای سه فاز c,b,a در بدنه استاتور ، با اختلاف ۱۲۰ درجه مکانی نسبت به یکدیگر جاسازی شده اند در این ماشین بازوی برگشت سیم پیچهای هر فاز استاتور ، ماشین را به



الف)شمای واقعی با ماشین القایی با سیم پیچ متمرکز



ب)نمایش کلافها بر اساس موقعیت مکانی



ج)شمای تک حلقه سیم بندی ماشین القایی با سیم پیچ گسترده بر اساس موقعیت مکانی

د)شکل واقعی ماشین القایی سیم پیچ متمرکز مدل آزمایشگاهی

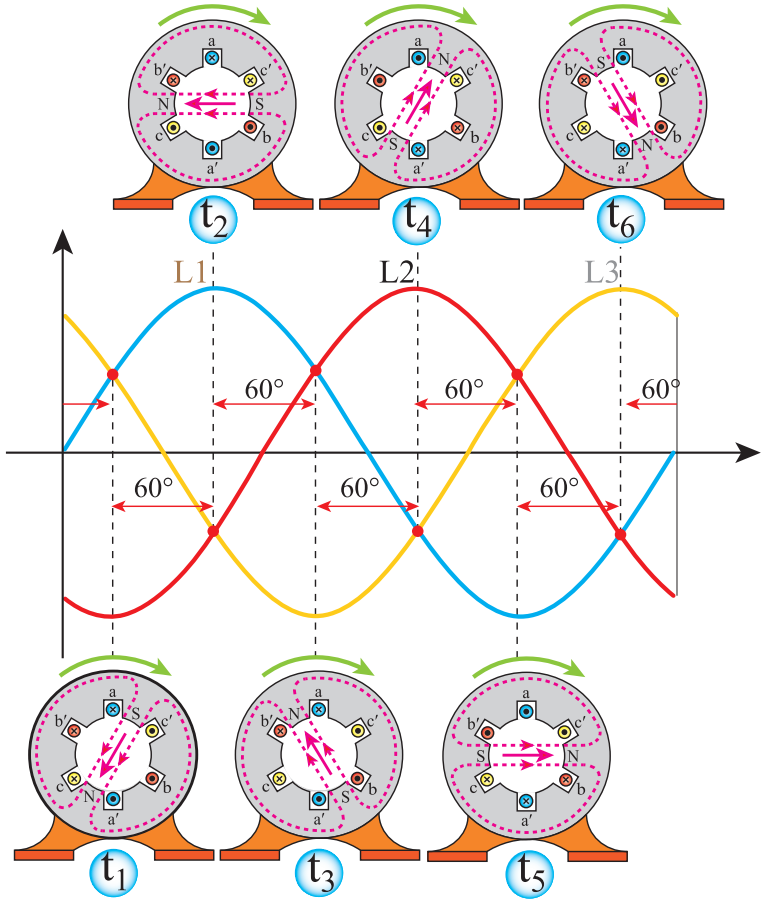
شکل ۱۳-ماشین القایی سه فاز

دو نیم تبدیل نموده است یعنی بازوی رفت سیم پیچ مثلا a با بازوی برگشت آن یعنی a□، ۱۸۰° درجه اختلاف مکانی دارد بنابراین در این ماشین القایی میدان دو قطبی ایجاد می‌شود.

حال انتهای سیم پیچهای سه فاز استاتور یعنی (a□,b□,c□) را با اتصال ستاره به هم متصل کرده و ابتدای آنها یعنی (a,b,c) را به منبع برق سه فاز با ولتاژ مناسب ، وصل می کنند.

بلافاصله پس از اتصال برق سه فاز به سیم پیچهای استاتور، جریان الکتریکی در آن جاری می‌شود و سپس در هادی های هر سیم پیچ متناسب با جهت جریان عبوری از آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.

برای تحلیل آسان تر میدان دوار ، اندازه و جهت جریانهای سه فازه شکل (۱۴) را در زمانهای t_1 تا t_6

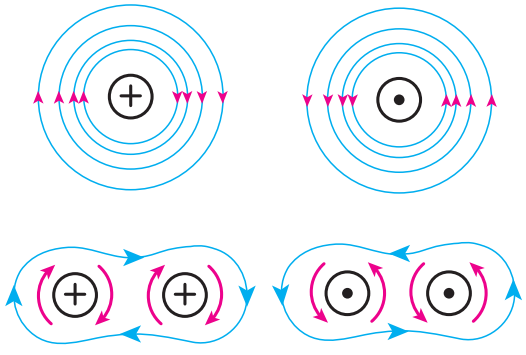


شکل ۱۴-میدان دوار استاتور در یک دوره تناوب

در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه فاصله هر یک از نمونه های زمانی بر اساس سرعت زاویه ای، ۶۰ درجه از یکدیگر می‌باشد. بنابراین با تحلیل این ۶ نقطه می‌توان گردش کامل میدان دوار را در مسیر دایره ای (یعنی ۳۶۰ درجه) بررسی نمود.

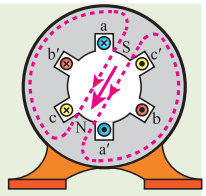
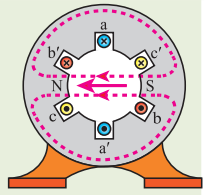
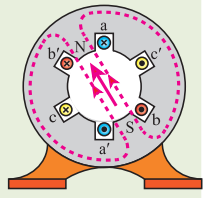
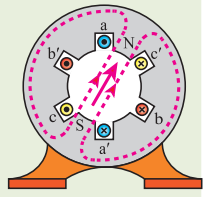
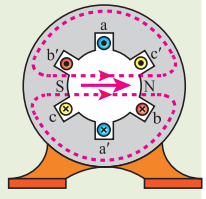
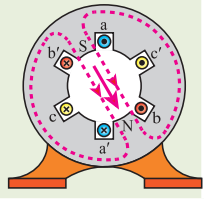
جدول (۱) تحلیل جهت جریان هر یک از سیم پیچها را در یک دوره تناوب شکل موج سه فاز نشان می دهد. جهت جریان هادیهای هر شیار و وضعیت میدانهای مغناطیسی استاتور در هر یک از زمانهای t_1 تا t_6 به کمک جدول (۱) بدست می‌آید.

از آنجا که شیارهای استاتور، هادیهای هر فاز را در خود جای داده اند و جهت جریان هادی های هر شیار در هر لحظه با توجه به فرض فوق قابل علامت گذاری هستند. لذا می‌توان جدول(۱) را کامل نمود. بنابراین با توجه به میدان مغناطیسی اطراف هادی های هم جوار ، جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در هر لحظه بدست می‌آید.



شکل ۱۵- میدان مغناطیسی اطراف سیم حامل جریان و دو سیم مجاور یا جریان هم جهت

به عنوان نمونه با توجه به شکل موج جریانهای سینوسی سه فاز ،در لحظه t_1 ، مقدار جریان فاز a مثبت، فاز b منفی و فاز c مثبت است. پس علامت جهت جریان در ابتدای سیم پیچ a ، ⊗ و در انتهای آن یعنی a□ ، ⊙ درج می‌شود. این علامت ها برای فازهای دیگر نیز به همین ترتیب در سطر مربوط به هر زمان قرار داده می‌شود. با در نظر گرفتن جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده از زمان t_1 تا t_6 می‌توان نتیجه گرفت که میدان مغناطیسی در هسته استاتور می‌چرخد. این میدان در حال گردش را میدان دوار می‌گویند.

	علامت جریان هر فاز			جهت جریان در مقاطع سیم پیچ						
	I_a	I_b	I_c	a	c□	b	a□	c	b□	
t_1	+	−	+	⊗	⊙	●	⊙	⊗	●	
t_2	+	−	−	⊗	⊗	●	⊙	⊙	●	
t_3	+	+	−	⊗	⊗	●	⊙	⊙	●	
t_4	−	+	−	⊙	⊗	●	⊗	⊙	●	
t_5	−	+	+	⊙	⊙	●	⊗	⊗	●	
t_6	−	−	+	⊙	⊙	●	⊗	⊗	●	

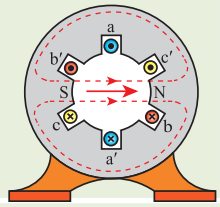
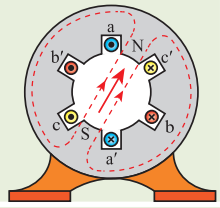
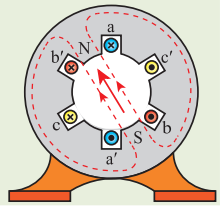
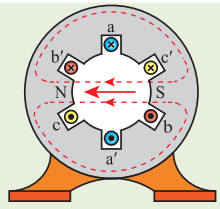
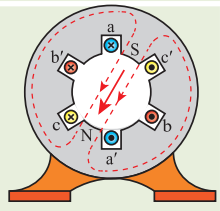
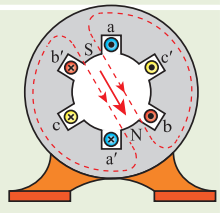
جهت گردش میدان

جدول۱- جهت جریان سیم پیچهای استاتور

۵- تغییر جهت چرخشی میدان دوار

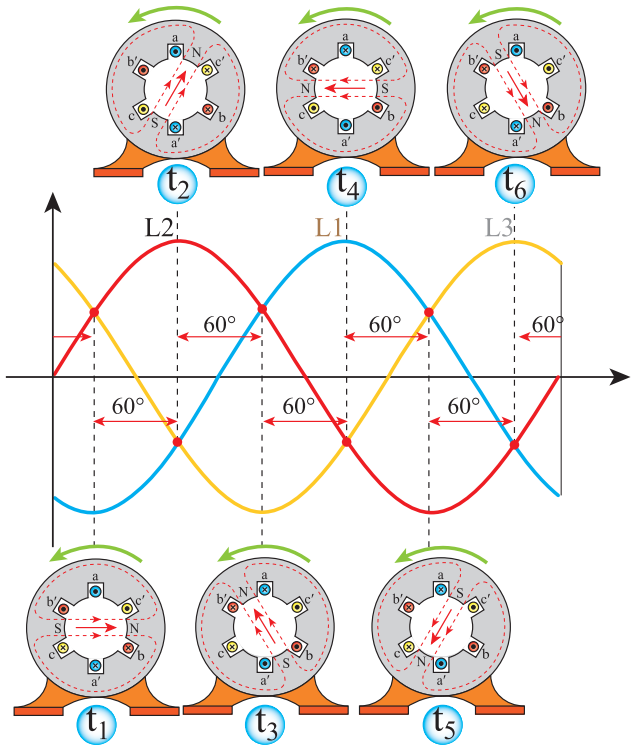
در صورتی که جای دو فاز از سه فاز متصل شده به ماشین القایی به اختیار عوض شود، میدان دوار ماشین القایی سه فاز تغییر جهت می‌دهد. این تغییر در جدول(۲) بر اساس شکل (۱۶) انجام شده است .

شکل (۱۶) جهت چرخش میدان مغناطیسی دوار را با تعویض جای فاز a و b نمایش می دهد. از این روش برای تغییر جهت گردش موتور القایی استفاده می‌شود.

زمان	علامت جریان هر فاز			جهت جریان در مقاطع سیم پیچ						
	I_a	I_b	I_c	a	c□	b	a□	c	b□	
t_1	−	+	+	⊙	⊙	⊗	⊗	⊗	●	
t_2	−	+	−	⊙	⊗	⊗	⊗	●	●	
t_3	+	+	−	⊗	⊗	⊗	●	●	●	
t_4	+	−	−	⊗	⊗	●	●	●	⊗	
t_5	+	−	+	⊗	●	●	●	⊗	⊗	
t_6	−	−	+	⊙	●	●	⊗	⊗	⊗	

جهت گردش میدان ←

جدول ۲- اثر تغییر جای دو فاز بر جهت میدان دوار



شکل ۱۶ - جهت جریان سیم پیچ های استاتور و تغییر جهت میدان دوار در یک دوره تناوب

خود را بیازمایید

۱) چرا جریان بی‌باری موتورهای القایی بیشتر از ترانسفورماتورها می‌باشد؟

۲)آیا می‌توان با جریان مستقیم میدان دوار ایجاد کرد؟

۳) با توجه به علامت جریان‌های داده شده در جدول زیر، جهت جریان در سیم‌پیچ‌های ماشین القایی و جهت میدان دوار را تعیین کنید.

زمان	علامت جریان هر فاز			جهت جریان در مقاطع سیم پیچ					
	I_a	I_b	I_c	a	c□	b	a□	c	b□
t_1	+	+	−						
t_2	−	+	−						
t_3	−	+	+						
t_4	−	−	+						
t_5	+	−	+						
t_6	+	−	−						

۶- عوامل موثر در سرعت میدان دوار

همانطور که ملاحظه کردید برای ترسیم میدان دوار از شکل موج جریانهای سه فاز در فواصل منظم و در یک دوره تناوب استفاده گردید. حالا تصور کنید هر چه دوره تناوب سریعتر باشد، و یا به عبارت دیگر در زمان کوتاه تری تکرار گردد مسلما سرعت چرخشی میدان دوار نیز بیشتر خواهد شد و بالعکس با افزایش زمان دوره تناوب سرعت میدان دوار کندتر می‌شود.

یکی از کمیتهای شبکه برق متناوب، فرکانس محسوب می‌شود که با دوره تناوب نسبت عکس دارد. پس می توان نتیجه گرفت یکی از عوامل موثر سرعت میدان دوار، فرکانس شبکه برق می‌باشد ولی از آنجا که متناسب با عکس زمان تناوب است، بنابراین با کاهش فرکانس ، سرعت چرخش میدان دوار ، کاهش یافته و با افزایش فرکانس ، سرعت چرخش میدان دوار افزایش می یابد.

سرعت میدان دوار ماشین القایی را با n_s نمایش می‌دهند. این سرعت را سرعت سنکرون نیز می‌نامند.

سرعت میدان دوار متناسب با فرکانس است بنابراین می نویسیم:

$$n_S \propto f$$

از آنجا که جریان عبوری از سیم پیچها در طول یک دوره تناوب فقط یکبار تغییر جهت می‌دهد ، می‌توان نتیجه گرفت که میدان دوار در این مدت فقط یکبار (N , S) می‌شود. بنابراین در یک ماشین دو قطبی ، که قطبها (۳۶۰ درجه) محیط استاتور را اشغال کرده است در طول یک دوره تناوب، میدان دوار کل محیط استاتور را طی می‌کند در حالی که در یک ماشین چهار قطبی که هر دو قطب آن (۱۸۰ درجه) محیط استاتور را اشغال کرده است با گذشت زمان یک دوره تناوب ، میدان دوار تنها نیم دور (۱۸۰ درجه) محیط استاتور را طی می کند. پس می‌توان نتیجه گرفت ، افزایش تعداد قطبهای استاتور باعث کند شدن سرعت میدان دوار می‌شود.

بنابراین عامل دیگر تعیین کننده سرعت میدان دوار ، تعداد قطبهای سیم بندی ماشین القایی می‌باشد.

با مراجعه به جدول(۳) دیده می‌شود که میدان دوار ماشین ۴ قطبی در مقایسه با ماشین ۲ قطبی در یک دوره تناوب نیم دور محیط استاتور را طی می‌کند.

با توجه به جدول(۳) سرعت میدان دوار با رابطه $\frac{۲}{P}$ متناسب است.

$$n_S \propto \frac{۲}{P}$$

p تعداد قطبها

n_s سرعت میدان دوار

رابطه سرعت میدان دوار با در نظر گرفتن هر دو عامل

چرخش میدان در یک دوره تناوب	محیط اشغال شده توسط یک جفت قطب	تعداد قطبها
$\frac{۲}{۲}$ = یک دور کامل	$\frac{۳۶۰}{۱} = ۳۶۰$	۲
$\frac{۲}{۴}$ = نیم دور	$\frac{۳۶۰}{۲} = ۱۸۰$	۴
$\frac{۲}{۶}$ = ثلث دور	$\frac{۳۶۰}{۳} = ۱۲۰$	۶
...	...	...
$\frac{۲}{p}$ دور	$\frac{۳۶۰}{\frac{P}{۲}}$	p

جدول۳- اثر افزایش تعداد قطب ماشین القایی بر سرعت رتور

فرکانس و تعداد قطبهای سیم پیچی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$n_S = \frac{۲ \times f}{P} \qquad (۳-۱)$$

(n_s بر حسب دور در ثانیه)

سرعت میدان دوار در رابطه (۳-۱) بر حسب دور در ثانیه می‌باشد ولی از آنجا که سرعت ماشین‌های دوار را معمولا بر حسب دور در دقیقه[۱] (RPM) نمایش می‌دهند. لذا رابطه سرعت میدان دوار به صورت رابطه (۳-۲) خواهد شد.

$$n_S = \frac{۱۲۰ \times f}{P} \qquad (۳-۲)$$

در رابطه (۳-۲):

n_s سرعت میدان دوار بر حسب RPM

f فرکانس شبکه برق بر حسب Hz

P تعداد قطبهای سیم بندی ماشین القایی

به یاد داشته باشید که چون کمیت فرکانس در شبکه های برق ثابت است و تولید کنندگان برق تلاش مضاعف در جهت ثابت نگه داشتن این کمیت الکتریکی در شبکه‌های برق دارند در نتیجه حداکثر سرعت میدان دوار در یک ماشین القایی دو قطبی ایجاد می‌شود. بنابراین سرعت میدان دوار ماشین‌های القایی در اتصال به شبکه‌ی برق مقدار حداکثری خواهد داشت.

مثال سرعت میدان دوار یک ماشین ۲ قطبی در شبکه برق ایران با فرکانس (۵۰Hz) چقدر است؟

$$n_S = \frac{۱۲۰f}{P} = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۲} = ۳۰۰۰RPM$$

این سرعت بیشترین مقداری است که میدان دوار ماشین القایی در اتصال به شبکه برق کشور ایران می‌تواند داشته باشد.

خود را بیازمایید

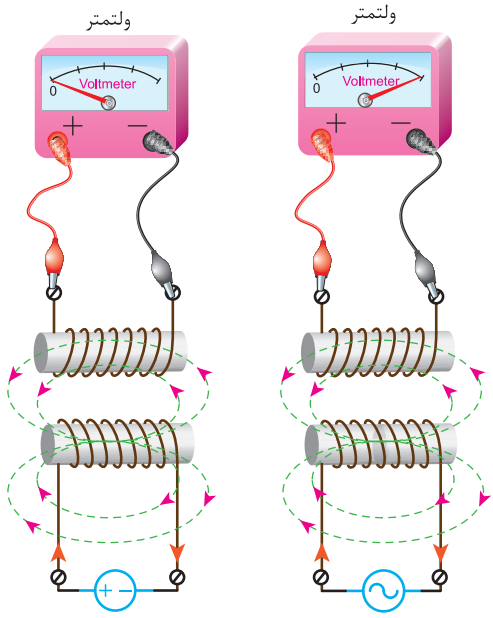
۱) در ماشین القایی هر چقدر دوره تناوب بزرگتر باشد سرعت میدان دوار ..... است.

۲) چرا در ماشین‌های القایی هر چقدر تعداد قطبها بیشتر باشد سرعت میدان دوار کمتر می‌شود؟

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

۷-نحوه ایجاد چرخش رتور در موتورهای القایی

تغییرات فوران عامل ایجاد ولتاژ القایی در ماشینهای AC است. از آنجاکه میدان ثابت تغییر فوران ندارد بنابراین با عبور جریان DC از یک سیم پیچ نمی‌توان روی سیم پیچ دیگری ولتاژ القا نمود. برای یادآوری این موضوع به شکل(۱۷) توجه کنید.

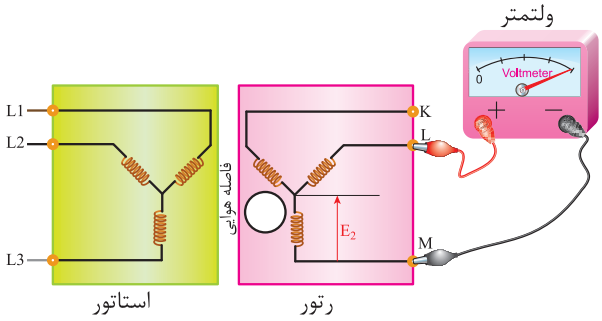


شکل ۱۷- ایجاد ولتاژ القایی باولتاژ متناوب(سمت راست)
عدم ایجاد ولتاژ القایی با ولتاژ جریان مستقیم(سمت چپ)

۱) Revolution Per Minute

یعنی با اتصال سیم پیچ استاتور ماشین القایی رتور سیم پیچی شده به برق و ایجاد میدان دوار در آن و با استناد به قانون القای ولتاژ فارادی، ولتاژی متناسب با آهنگ تغییرات فوران در سیم پیچهای رتور القاءخواهد شد. اما ، با باز بودن مدار خروجی M,L,K رتور شکل(۱۸) ، رتور حرکت نمی کند.

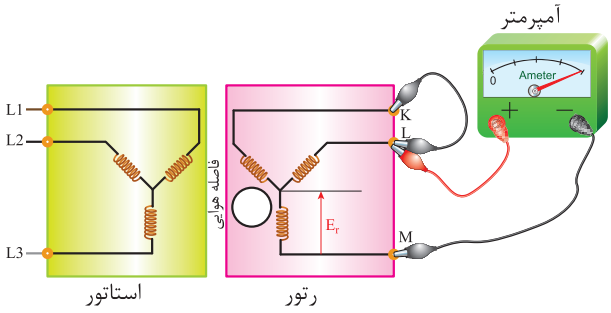
از طرفی با قرار دادن یک ولتمتر مطابق شکل(۱۸) در دو سر خروجی رتور سیم پیچ شده می‌توان القای ولتاژ ترانسفورماتوری را بر روی هادیهای رتور ملاحظه کرد. از آنجا که رتور در این حالت ساکن است و چرخش ندارد. این ولتاژ را ولتاژ حالت سکون رتور می‌نامند و ولتاژ فازی معادل آن را با E_2 نمایش می‌دهند.



شکل ۱۸ – مدار الکتریکی ماشین القایی رتور سیم پیچی شده در حالی که استاتور آن توسط منبع سه فاز برقدار گردیده و مدار رتور آن باز است

در واقع با ایجاد میدان دوار استاتور ، ولتاژ E_2 در مدار رتور القاء می‌شود ولی از آنجا که جریانی از مدار رتور عبور نمی‌کند در نتیجه نیرویی هم به رتور وارد نمی‌شود.

در صورتی که بخواهیم رتور حرکت کند باید در مدار رتور جریان جاری شود. بنابراین اگر حلقه های خروجی رتور مطابق شکل (۱۹) به یکدیگر اتصال داده شوند و آمپرمتر در مسیر M و L قرار گیرد، مسیر جریان مدار رتور بسته می‌شود و تا زمانی که سیم پیچ استاتور به برق اتصال داشته باشد رتور به حرکت خود ادامه خواهد داد.



شکل ۱۹ – مدار الکتریکی ماشین القایی رتور سیم پیچی شده در حالی که استاتور آن توسط منبع سه فاز برقدار و مدار رتورآن اتصال کوتاه است

ولتاژ القاء شده در مدار بسته ی رتور باعث عبور جریان از سیم پیچهای آن می‌شود.

آمپرمتر شکل (۱۹) جریان یکی از فازهای سیم پیچ رتور را نشان می دهد. این جریان را جریان رتور می‌نامند و آن را با I_r نمایش می‌دهند.

البته در آزمایش دیده می‌شود که جریان این آمپرمتر پس از راه‌اندازی کاهش می یابد. در بیان علت این رخداد می‌توان گفت:

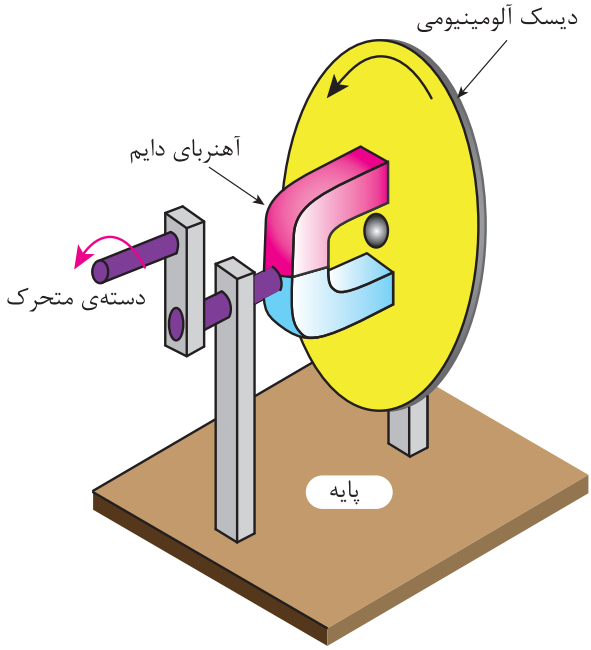
با عبور جریان از مدار رتور در اطراف سیم پیچهای رتور نیز میدانی ایجاد می‌شود که طبق قانون لنز، این میدان با عامل بوجود آورنده خود (یعنی میدان دوار ایجاد کننده ولتاژ القایی) مقابله می کند. یعنی با افزایش سرعت رتور و کم شدن اختلاف سرعت آن با میدان دوار ، مفتول ها یا سیم پیچهای رتور خطوط میدان کمتری را قطع نموده و در نتیجه ولتاژ القایی و متعاقب آن جریان رتور کاهش می یابد. بدین ترتیب به رتور نیرویی وارد می‌شود که باعث چرخش آن می‌گردد.

خود را بیازمایید

۱) چرا برای به چرخش در آمدن رتور ماشین القایی علاوه بر میدان دوار ، مسیر جریان هادی های رتور نیز باید بسته باشد؟

۲) منظور از ولتاژ حالت سکون در ماشین القایی با رتور سیم پیچی شده چیست؟

۳) هرچقدر اختلاف سرعت رتور ومیدان دوار کمتر باشد ولتاژ القایی در رتور ..... است.



شکل ۲۰ – یک وسیله ساده برای فهم بهتر اثرمیدان دوار در چرخش دیسک

۸–موتورهای القایی از نوع رتور قفس سنجابی

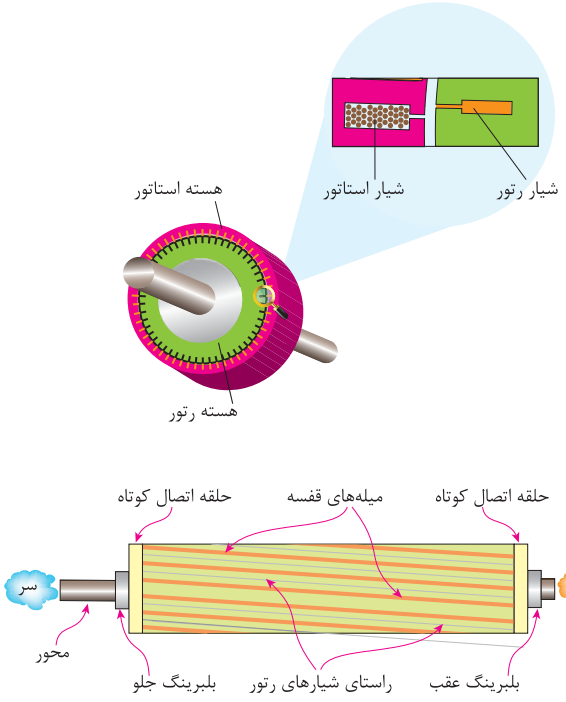
شکل (۲۰) چگونگی چرخش رتور قفسی در موتورهای القایی را به سادگی نمایش داده است. شما می‌توانید با تهیه وسایل نشان داده شده، این آزمایش را انجام دهید. در این آزمایش با چرخاندن دسته متحرک، آهنربای دائم می‌چرخد و در پی آن دیسک آلمینیومی نیز که اندکی از آهنربا فاصله دارد به حرکت در می‌آید.

آیا با توجه به چرخش میدان و تغییر میدان مغناطیسی در دیسک آلمینیومی مطابق آنچه در شکل (۲۰) می بینید، می توان نتیجه گرفت که عامل چرخش دیسک القای ولتاژ و ایجاد جریان القایی در آن است؟

حال اگر قرار باشد که با بسته شدن مدار رتور ماشین القایی و عبور جریان از آن به رتور نیرو وارد شود چه بهتر که ازمفتولهایی مسی یا آلومینیومی مطابق شکل (۲۱) استفاده شود .

شکل۲۱– ساختمانی رتور قفسی(سمت راست) رتور کامل با معرفی اجزائ آن(سمت چپ)

در شـــکل (۲۱) ابتدا و انتهـــای مفتولها به یکدیگر متصـــل و در نتیجه مدار اتصال کوتاه شـــده ای در رتور ایجاد شـــده است و از آنجا که شـــکل ایجاد شده شبیه یک قفس اســـت ، به همین دلیل به رتور شـــکل (۲۱) رتور قفســـی می گویند. برای ساختن این نوع رتور ابتدا ورقه های هســـته رتور را کنار یکدیگر قرار می دهند تا هســـته یکپارچه رتور تشکیل شـــود سپس آلومینیوم و یا گاهی مس ذوب شـــده را به داخل هسته رتور تزریق می‌نمایند. ماده ی مذاب تزریق شـــده در هسته پس از سرد شدن به شکل مفتولهایی در می آیند که در داخل هسته قالب گیری شده است. لذا این هادیها نسبت به هسته عایق نیستند.



شـــکل ۲۲- نمایش انحراف شـــیارهای رتور نســـبت به امتداد شیارهای استاتور

از آنجا که شکل (۲۱) شبیه قفس سنجاب بنظر می رسد، ماشین‌های القایی که ساختمان رتور آنها اینگونه است را قفس سنجابی نیز می گویند.

مطابـــق شـــکل (۲۲) در اغلب ماشـــین‌های القایی شـــیارهای رتور با محور ماشـــین موازی نیســـتند یعنی شـــیارها نسبت به محور ماشـــین مورب است. این عمل باعث کاهش ســـر و صدای رتـــور در زمان چرخش آن می‌شـــود . معمولاً انحراف شـــیارهای رتـــور به اندازه‌ی پهنای یک شـــیار اســـتاتور در نظر گرفته می‌شـــود. در ماشین‌های القایی با شیارهای مورب، راه‌اندازی سریعتر بـــوده و قابلیت تحمل اضافه بار در چنین ماشـــینهایی بیشتر است.

ماشـــین‌های القایی قفس سنجابی از نظر ساختمان ساده تر و از نظر اقتصادی به صرفه تر از ماشین‌های رتور ســـیم پیچی شده هســـتند و کمتر به تعمیر و نگهداری احتیاج دارند.

خود را بیازمایید

۱) وظیفه دو حلقه ای که در طرفین میله های رتور قفسی به مفتولها متصل می شوند، چیست؟

تحقیق کنید

چرا ولتاژ و جریان القاءشده در هادی‌های رتور قفسی با اینکه رتور عایق نشـــده اســـت ولی به بدنه ماشین منتقل نمی‌شود؟

۹- لغزش در ماشین‌های القایی

در ماشین القایی به اختلاف سرعت رتور (n_r) با سرعت میدان دوار (n_s) سرعت لغزش می گویند. و آن را با رابطه (۳-۳) نشان می دهند.

$$\Delta n = n_s - n_r \qquad (۳-۳)$$

از آنجا که سرعت رتور می‌تواند مقادیر مختلفی داشته باشد لذا سرعت لغزش هم به تناسب آن تغییر می‌کند. نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را لغزش می‌گویند و آن را با S نمایش می‌دهند.

$$S = \frac{\Delta n}{n_S} \qquad (۳-۴)$$

$$S = \frac{n_S - n_r}{n_S} \qquad (۳-۵)$$

حاصل رابطه(۳-۵) به صورت اعشار می‌باشد. ولی گاهی لغزش را در ماشین‌های القایی به صورت درصد نیز نمایش می‌دهند:

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

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

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

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

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

$$۰/۰۳ \times ۱۰۰ = ۳\%$$

با توجه به رابطه (۳-۵) می‌توان نوشت:

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

$$n_r = n_s(۱ - s) \qquad (۳-۶)$$

از رابطه(۳-۶) برای محاسبه سرعت رتور می‌توان استفاده نمود.

مثال اگر لغزش یک موتور القایی چهار قطب در فرکانس ۵۰ HZ ، ده درصد باشد، سرعت رتور را محاسبه نمایید.

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

$$S = ۱۰\% = \frac{۱۰}{۱۰۰} = ۰/۱$$

$$n_r = n_s(۱ - S) = ۱۵۰۰(۱ - ۰/۱) = ۱۳۵۰\text{RPM}$$

۱۰- رفتار ماشین‌های القایی در لغزش های مختلف

در بخش قبل گفته شد که لغزش ماشین القایی با مقادیر مختلف سرعت رتورتغییر می‌کند. در این قسمت مقادیر لغزش در سرعتهای متفاوت رتور بررسی می‌گردد.

۱۰-۱-لغزش در زمان راه‌اندازی

به محض اتصال سیم پیچهای استاتور ماشین القایی سه فاز به برق یعنی هنگام راه‌اندازی سرعت رتور صفر است ولی میدان دوار با سرعت سنکرون می‌چرخد. بنابراین خواهیم داشت:

$$n_r = ۰ \Rightarrow S = \frac{n_s - ۰}{n_s} = ۱$$

$$\Delta n = n_s$$

لغزش ماشین در زمان **راه‌اندازی** برابر ۱ یا ۱۰۰٪ است.

۱۰-۲-لغزش در سرعت سنکرون

اگر رتور بتواند با سرعتی معادل سرعت سنکرون و یا به عبارت دیگر با همان سرعت میدان دوار گردش کند لغزش ماشین صفر می‌شود.

$$n_r = n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_s}{n_s} = 0$$

$$\Delta n = 0$$

اینکار زمانی امکان پذیر است که رتور ماشین القایی به کمک یک نیروی محرکه خارجی به اندازه سرعت میدان دوار در همان جهت چرخانده شود.

لغزش ماشین القایی در **سرعت سنکرون** صفر است.

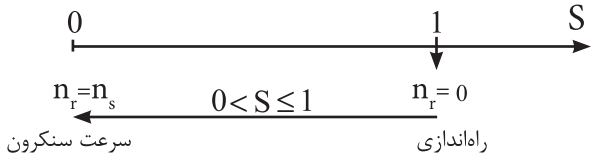
۱۰-۳-لغزش موتور در حین کار

رتور موتور القایی پس از راه‌اندازی دور می گیرد و سرعت آن پی در پی افزایش می‌یابد. با زیاد شدن سرعت رتور، اختلاف سرعت رتور و میدان دوار کم و کمتر می‌شود. این افزایش سرعت تا جایی که نزدیک به سرعت سنکرون است می‌تواند ادامه یابد. زیرا اگر سرعت رتور با میدان دوار برابر شود، میدان استاتور هم نمی‌تواند هادیهای رتور را قطع نماید و در نتیجه نیرویی به رتور وارد نمی‌شود. با وجود وزن خود رتور و نیروی اصطکاک یاتاقانها و هوا، سرعت رتور هرگز به سرعت سنکرون نمی‌رسد بلکه در نزدیک آن پایدار می‌شود. از آنجا که در موتورهای القایی بین سرعت میدان دوار و سرعت رتور همواره اختلاف وجود دارد در نتیجه به آنها موتورهای آسنکرون[1] نیز گفته می‌شود.

لغزش موتور القایی در حین کار کمتر از لغزش زمان راه‌اندازی است.

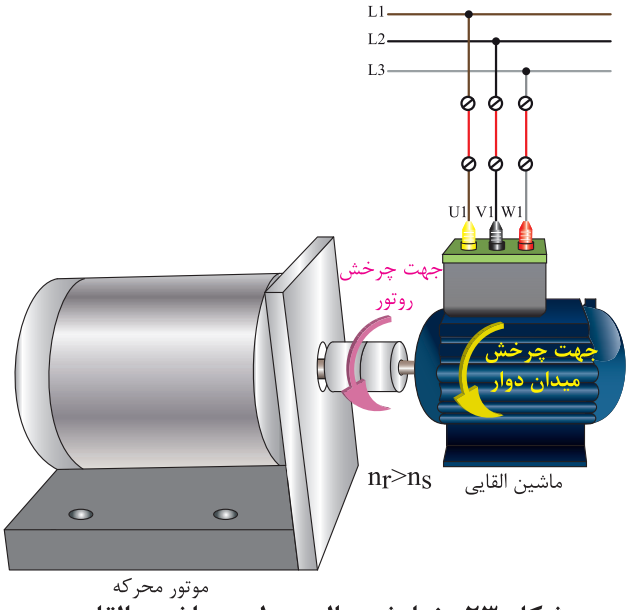
لغزش موتور القایی در حین کار بیش از لغزش در سرعت سنکرون است.

لغزش موتور القایی در حین کار نزدیک به سرعت سنکرون است.



۱۰-۴- لغزش منفی

اگر محور ماشین القایی متصل شده به شبکه برق توسط وسیله ایی با سرعتی بیش از سرعت سنکرون در جهت چرخش میدان دوار چرخانده شود، بنابراین طبق رابطه(۵-۳) چون $n_r > n_s$ می‌باشد مقدار لغزش منفی خواهد شد.



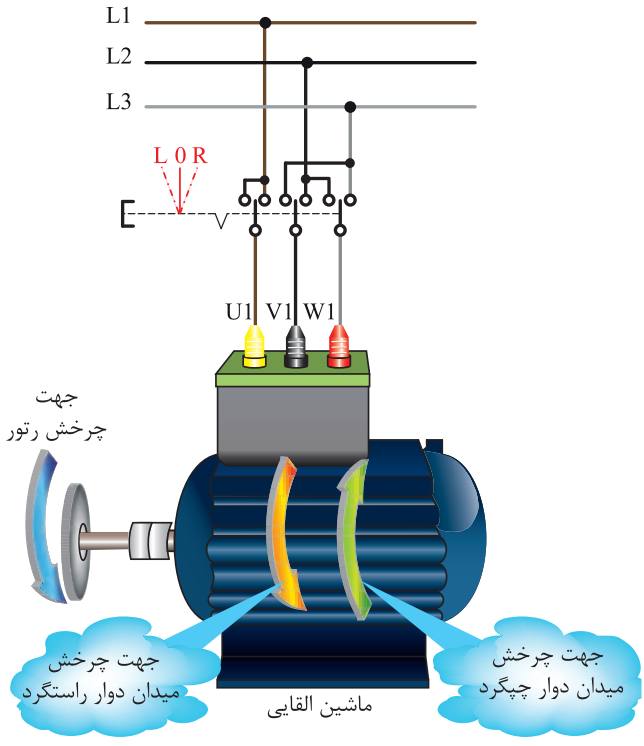
شکل ۲۳- نمایش حالت مولدی ماشین القایی

۱)غیر همزمان

این وضعیت را در ماشـــین‌های القایی حالت مولدی می‌نامند.

۱۰-۵-لغزشهای بزرگتر از واحد (بیش از ٪۱۰۰)

شـــکل (۲۴) یک ماشین القایی را نشان می‌دهد که توســـط کلید راســـتگرد، چپگرد ســـه فاز به شبکه برق متصل است. اگر این ماشین به حالت موتوری در جهت راستگرد راه‌اندازی شـــود، رتور آن راستگرد می‌چرخد. حال چنانچه موتور بوســـیله‌ی کلید ابتدا از شبکه قطع شود و بلافاصله به طور لحظه ای چپگرد راه‌اندازی گردد، میدان دوار آن چپگرد شده و سرعت رتور سریعا به صفر می رســـد. در نتیجه بـــا توجه به جهت گردش رتور در حالت راســـتگرد پیش از ایستادن رتور ، میدان دوار به حالت چپگرد در آمده و در نتیجه اختلاف ســـرعت رتور با ســـرعت ســـنکرون افزایش می‌یابد و لذا مقدار لغزش بیـــش از واحد خواهد شـــد. به این وضعیـــت عملکرد ، حالت ترمزی ماشین القایی می‌گویند.



شکل ۲۴ - نمایش حالت ترمزی ماشین القایی

مطابق رابطه (۵ـ۳) داریم:

$$S=\frac{n_s-n_r}{n_s}\Rightarrow S=\frac{n_s-(-n_r)}{n_s}=\frac{n_s+n_r}{n_s}>1$$

ماشین القایی در لغزشهای بزرگتر از واحد، رفتار ترمزی دارد.

خود را بیازمایید

۱) بـــا افزایش ســـرعت رتور ،مقدار ســـرعت لغزش ..... می یابد.

۲) رفتـــار ماشـــین را در لحظـــه راه‌اندازی تشـــریح کنید.

۳) آیا امکان دارد موتور القایی در ســـرعت سنکرون قرار گیرد؟ چرا؟

۴) در ماشـــینهای القایی اگر رتور با سرعتی بیشتر ودر جهت میدان دوار بچرخد، ماشـــین در ناحیه.... کار کرده و لغزش آن .... است.

۵) ســـرعت چرخش رتور موتـــور القایی ۴ قطب در شبکه ۵۰ HZ برابر با ۱۴۲۵ RPM می‌باشد لغزش آن را به اعشار و درصد محاسبه کنید.

۶) لغزش موتور القایی که محور آن با سرعت ۲۵۰۰ RPM مـــی گـــردد برابر با ۱/۵- می‌باشـــد. سرعت میدان دوار آن چقدر است؟

۱۱-کمیتهای الکتریکی رتور

برای استفاده از موتور القایی باید رفتار آن را در مواردی همچون راه‌اندازی ، ترمز و کنترل دور بتوان پیش بینی نمود. لذا ضروری است که کمیتهای الکتریکی رتور مورد بررسی قرار گیرند. هر یک از کمیتهای الکتریکی رتور با سرعت رتور و یا به عبارتی لغزش به گونه ای خاص تغییر می کنند. برخی از آنها خطی و بعضی بصورت غیر خطی تغییر می کنند و البته کمیتی که مقدار آن ثابت باشد نیز وجود دارد.

در ذیل به توضیح این کمیتها پرداخته شده است.

۱۱-۱-فرکانس ولتاژ القایی مدار رتور

موتور القایی مانند ترانسفورماتوری است که سیم پیچ اولیه آن سیم‌پیچ استاتور و ثانویه آن هادی‌های رتور است. اما مهمترین تفاوتی که بین آنها وجود دارد یکسانی فرکانس برق در دو سمت ترانسفورماتور و تفاوت فرکانس برق در استاتور و رتور موتورهای القایی است. زیرا با توجه به امکان گردش رتور موتورهای القایی ، فرکانس ولتاژ القایی مدار رتور یعنی (f_r) تغییر نموده و تابع سرعت رتور ماشین می‌باشد.

فرکانس ولتاژ مدار رتور با کاهش سرعت لغزش ($\Delta n = n_s - n_r$) کم و با افزایش آن زیاد می‌شود.

در واقع تنها در صورت ساکن بودن رتور ، فرکانس ولتاژ استاتور و رتور برابر است و با افزایش سرعت رتور چون سرعت لغزش کاهش می یابد ، فرکانس ولتاژ القایی رتور نیز کم می‌شود[۱].

سرعت میدان دوار و رتور در سرعت سنکرون برابر می‌باشند. بنابراین مقدار فرکانس ولتاژ مدار رتور در شرایطی که اختلاف سرعت بین میدان دوار و رتور وجود ندارد، صفر است.

همچنین در حالت سکون ماشین القایی نیز سرعت لغزش به اندازه میدان دوار است در نتیجه فرکانس ولتاژ مدار رتور با فرکانس منبع برابر می‌باشد. بنابراین در لغزش واحد فرکانس ولتاژ مدار رتور با فرکانس میدان دوار برابر است. در سرعتهایی هم که بین نقطه سکون و سرعت سنکرون وجود دارد ، مقدار فرکانس ولتاژ مدار رتور متناسب با سرعت لغزش مطابق رابطه(۷-۳) بصورت خطی تغییر می‌کند.

$$f_r = Sf \qquad (۷-۳)$$

در رابطه (۷-۳) ،

f_r فرکانس ولتاژ مدار رتور

S لغزش

f فرکانس ولتاژ استاتور

سوال در سرعت سنکرون ، f_r ماشین القایی چقدر می‌شود؟

۱۱-۲-راکتانس رتور

با عبور جریان از مفتول و یا سیم پیچهای رتور، در اطراف آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و چون اطراف هادیها را هسته ی آهنی رتور فرا گرفته است، اثر القایی ناشی از جریان عبوری از آن افزایش می یابد. بدین سبب در مدار رتور اثر سلفی (راکتانس القایی) نیز وجود دارد که آن را با X_r نمایش می‌دهند. می‌دانیم که اثر راکتانس سلفی با فرکانس جریان عبوری از آن رابطه مستقیم دارد[۲]. بنابراین هر چقدر فرکانس رتور کمتر شود(یعنی سرعت رتور به سرعت سنکرون نزدیکتر شود) راکتانس آن نیز کاهش می یابد.

با توجه به رابطه‌ی راکتانس سلفی و فرکانس رتور نتیجه می گیریم:

---

۱) به همین خاطر گاهی به ترانسفورماتورها ماشین‌های الکتریکی ساکن نیز می گویند

۲) $x_r = 2\pi f_r l_r$

$$x_r = 2\pi f_r l_r$$

با جایگزینی مقدار f_r داریم:

$$f_r = Sf$$

$$x_r = 2\pi S f l_r = S\underbrace{2\pi f l_r}_{x_2} \Rightarrow$$

$$x_r = Sx_2 \qquad (3-8)$$

راکتانس رتور ماشین القایی در زمان راه‌اندازی را با X_2 نشان می‌دهند.

۱۱-۳-مقاومت مدار رتور

از آنجا که هادی‌های رتور ماشین القایی دارای تعداد و سطح مقطع معینی هستند لذا مقدار مقاومت اهمی مشخصی دارند. مقاومت اهمی معادل هر فاز مدار رتور را با R_2 نشان می‌دهند.

۱۱-۴-ولتاژ رتور

پیش از این چگونگی ایجاد ولتاژ القایی در مدار رتور بیان گردید [1] و ملاحظه شد که با ایجاد میدان دوار استاتور، در مدار رتور، ولتاژ القا می‌شود.

البته باید توجه داشت که در زمان راه‌اندازی موتور القایی بیشترین ولتاژ در مدار رتور القاء می‌گردد. زیرا سرعت لغزش به اندازه ی سرعت سنکرون است. این ولتاژ را ولتاژ حالت سکون رتور می‌نامند و آن را با E_2 نمایش می‌دهند.

با افزایش سرعت رتور، سرعت لغزش کم می‌شود و چون هادی های رتور با سرعت کمتری توسط میدان قطع می‌شوند، ولتاژ رتور کاهش می یابد.

در حالت کلی ولتاژ معادل فازی مدار رتور را با E_r نمایش می‌دهند. این ولتاژ با افزایش یا کاهش لغزش بطور خطی اضافه و یا کم می‌شود و از رابطه(۳-۹) پیروی می‌کند.

$$E_r = SE_2 \qquad (3-9)$$

خود را بیازمایید

۱) رفتار موتور القایی در چه شرایطی شبیه ترانسفورماتور می باشد؟

۲) در ماشین القایی فرکانس رتور به چه عواملی بستگی دارد؟

۳) ولتاژ القایی رتور در لحظه راه‌اندازی....ودر سرعت سنکرون برابر با.... می باشد.

۴) راکتانس القایی مدار رتور از زمان راه‌اندازی تا سرعت سنکرون چگونه تغییر می کند؟

۵) یک موتور القائی ۵۰ HZ دارای راکتانس القایی ۱/۶Ω و مقاومت اهمی۰/۵Ω و ولتاژ القایی ۳۰ V در لحظه راه‌اندازی می باشدکمیتهای فوق در لغزش ۰/۰۸ چقدر است؟

۱۱-۵ - امپدانس رتور

هادیهای رتور ماشین القایی، دارای مقاومت اهمی R_2 و همچنین راکتانس القایی X_r می‌باشند. بنابراین اثر با هم بودن آنها در مدار جریان متناوب می‌تواند معادل یک مدار سری R-L در نظر گرفته شود. در نتیجه امپدانس این مدار مفروض مربوط به رتور بوده و آن را با Zr نمایش می دهند.

با جایگزینی رابطه(۳-۸) راکتانس رتوردر رابطه امپرانس مدار R-L سری داریم:

$$Z_r = \sqrt{R_2^2 + X_r^2} \qquad (3-8)$$

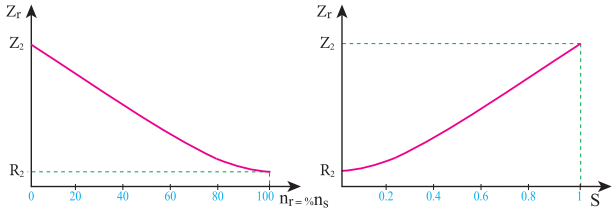
$$Z_r = \sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2} \qquad (3-10)$$

۱) اساس کار ماشینهای الکتریکی و پدیده ی میدان دوار

می‌توان نمودار تغییرات امپدانس مدار رتور را بر اساس لغزش مطابق رابطه (۱۰-۳) ترسیم نمود.

البته لازم به یادآوری است ، تغییرات امپدانس بر حسب فرکانس مدار R-L سری را در درس مدارهای الکتریکی خوانده اید. این تغییرات با توجه به رابطه (۱۰-۳) خطی نیست.

نمودار شکل (۲۵) بر اساس تغییر لغزش و تاثیر آن بر امپدانس مدار رتور ترسیم شده است و نشان می‌دهد که این امپدانس بصورت منحنی (غیر خطی) تغییر می نماید.

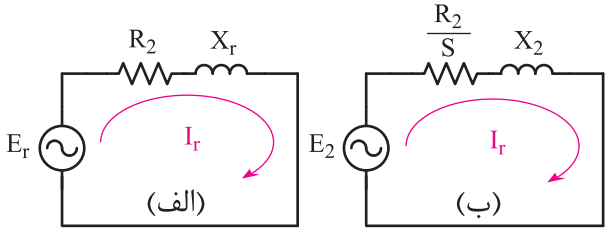


شکل ۲۵-منحنی تغییر امپدانس رتور بر حسب تغییرات لغزش و سرعت رتور

۱۱-۶-جریان رتور

در صورت بسته بودن مسیر سیم پیچ یا هادیهای مدار رتور از آن جریان جاری می‌شود. میزان جریان عبوری از مدار رتور به ولتاژ القاء شده و امپدانس مدار رتور وابسته است.رابطه (۱۱-۳) با توجه به مدار معادل شکل(۲۶-الف) بدست می‌آید:

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{E_r}{\sqrt{R^2_2 + X^2_r}} \qquad (۱۱-۳)$$



شکل ۲۶ -مدار معادل الکتریکی یک فاز رتور

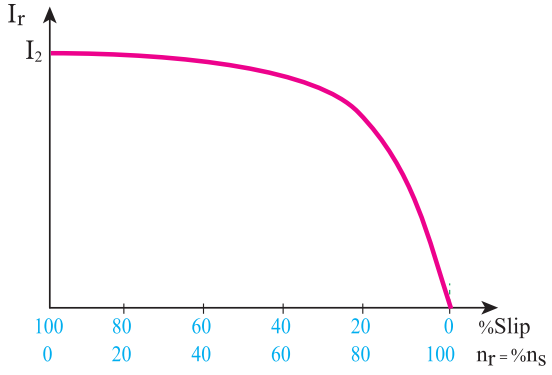
بیشتر بدانید

اما از آنجاییکه با تغییر لغزش در مدار شکل(۲۶-الف) هر دوکمیت (E_r,X_r) با هم تغییر می کنند برای سهولت در تحلیل مدار معادل الکتریکی رتور می‌توان مقادیر مربوط به کمیتهای (E_r,X_r) را در رابطه (۱۱-۳) قرار داده و به رابطه ی(۱۲-۳) رسید.

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} \Rightarrow I_r = \frac{SE_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \Rightarrow I_r = \frac{SE_2}{S\sqrt{(\frac{R_2}{S})^2 + X^2_2}}$$

$$I_r = \frac{E_2}{\sqrt{(\frac{R^2_2}{S}) + X^2_2}} \qquad (۱۲-۳)$$

شکل(۲۶-ب) مدار معادل الکتریکی رتور را بر اساس رابطه (۱۲-۳) نشان می‌دهد. در این رابطه تنها کمیت متغیر لغزش است. نمودار این رابطه در شکل (۲۷) نشان داده شده است.



شکل ۲۷ -منحنی تغییرجریان رتور بر حسب تغییرات لغزش و سرعت رتور

با توجه به نمودار شکل(۲۷) مشاهده می‌شود که جریان رتور در سرعت سنکرون به صفر می‌رسد. یعنی در این سرعت هیچ جریانی از مدار رتور عبور نمی‌کند.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در سرعت سنکرون به دلیل عدم عبور جریان از رتور، هیچ نیرویی به رتور وارد نمی‌شود. همچنین با افزایش لغزش موتور ، جریان و به دنبال آن تلفات رتور افزایش می یابد. جریان رتور در زمان راه‌اندازی را با I_2 نمایش می دهند.

۱۱-۷-ضریب قدرت مدار رتور

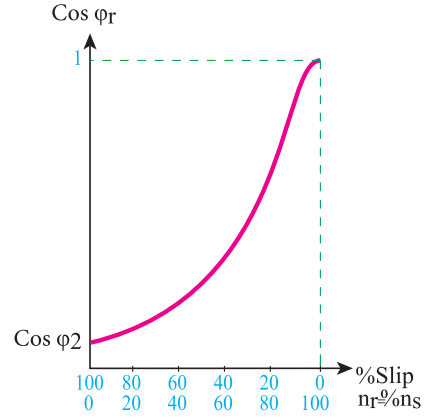
ضریب قدرت مدار R-L سری شکل(۲۶-الف) با رابطه (۱۳-۳) تعریف می‌شود.

$$\cos\varphi_r = \frac{R_2}{Z_r} \qquad (۱۳-۳)$$

که با جایگذاری مقدار Zr در رابطه فوق می‌توان نوشت :

$$\cos\varphi_r = \frac{R_2}{\sqrt{R^2_2 + (SX_2)^2}} \qquad (۱۴-۳)$$

در لحظه راه‌اندازی ضریب قدرت ماشین مقداری ثابت خواهد داشت ولی با افزایش پی در پی سرعت (کاهش لغزش) ، راکتانس سلفی مدار رتور(X_r) بطور غیر خطی کاهش می یابد به طوری که در سرعت سنکرون امپدانس مدار رتور برابر با مقدار R_2 می‌شود و در نتیجه ضریب قدرت مدار رتور به مقدار واحد می رسد. ضریب قدرت مدار رتور در لحظه راه‌اندازی را با $\cos\varphi_2$ نمایش می دهند. هر چه ضریب قدرت روتور موتور القایی در زمان راه‌اندازی بیشتر باشد، گشتاور راه‌اندازی موتور به نسبت بیشتر است.



شکل ۲۸ - منحنی تغییرات ضریب قدرت بر حسب تغییرات لغزش و سرعت رتور

خود را بیازمایید

۱) جریان رتور در سرعت سنکرون چقدر است؟ چرا؟

۲) مقدار ضریب قدرت مدار رتور در سرعت سنکرون چقدر است؟

۳) مقاومتهای اهمی و راکتانس القایی رتور یک موتور القایی در راه‌اندازی به ترتیب ۰/۶ و ۲ اهم می باشد. اگر ولتاژ القایی رتور در زمان راه‌اندازی ۴۲ ولت باشد، جریان رتور را در راه‌اندازی و در لغزش ۰/۱۵ بدست آورید.

۴) با توجه به داده های سوال ۳ ضریب قدرت رتور را در حالات زیر بدست آورید:

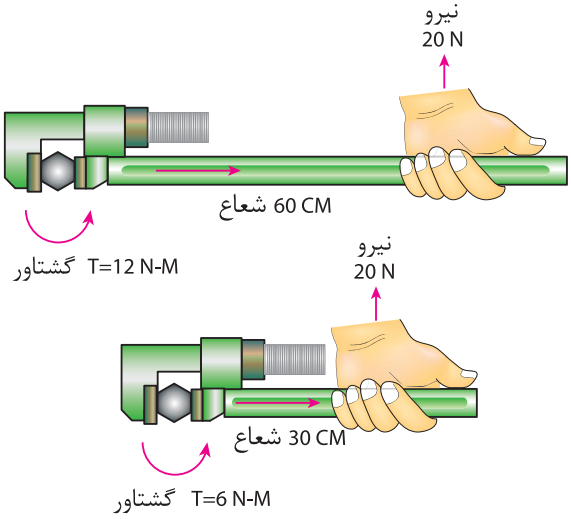
الف) در لحظه راه‌اندازی ب) در لغزش ۰/۰۵

۱۲-گشتاور ماشین‌های القایی

با مفهوم گشتاور و مفهوم آن در درس ماشینهای الکتریکی DC آشنا شده اید.

به عنوان یادآوری موضوع به شکل(۲۹) توجه کنید.

با کدام آچار باز کردن پیچ آسانتر است؟



شکل ۲۹-مقایسه گشتاور وارد شده به پیچ

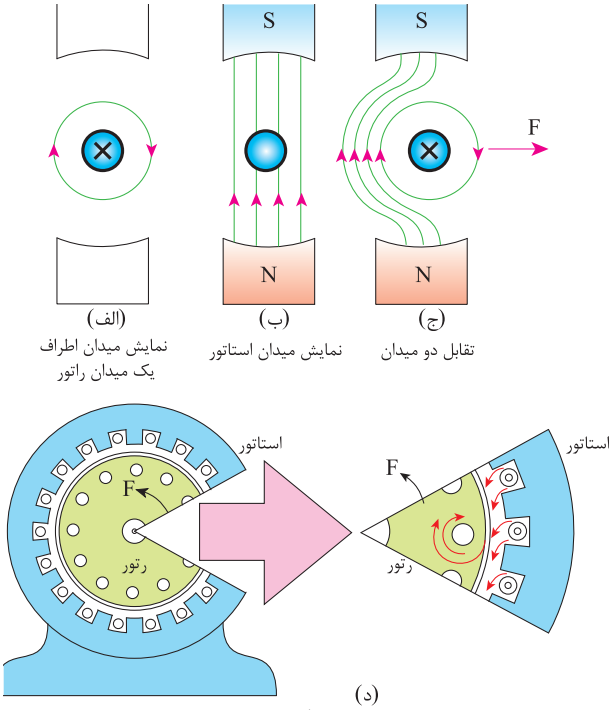
۳

در واقع گشتاور وابسته به نیرویی است که در فاصله ی مشخص، به جسم وارد می‌شود تا آن را حول یک محور بچرخاند. لذا با اعمال گشتاور ، جسم وادار به چرخش می‌شود.

در شکل(۲۹) با اعمال گشتاور به پیچ، پیچ می‌چرخد.

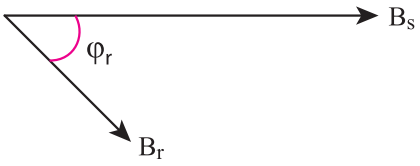
برای چرخش رتور در ماشینهای القایی نیز به گشتاور احتیاج است. این گشتاور بر اثر پدیده الکترومغناطیس ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل(۳۰-الف و ب) نشان داده شده است میدان استاتور و یا رتور به تنهایی برای وارد شدن نیرو به رتور کافی نیست و لازم است برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی دو میدان مغناطیسی بر هم اثر نمایند.

در شکل(۳۰-ج و د) ، می‌توان مشاهده نمود که گشتاور وارد شده به رتور و گردش آن ، با اثر متقابل دو میدان ایجاد شده است. این دو میدان یکی توسط جریان استاتور و دیگری به دلیل وجود جریان رتور شکل گرفته است.



شکل ۳۰-نحوه تولید گشتاور در موتور القایی

میدانهای استاتور و رتور هر یک دارای اندازه و جهت مشخصی می باشند ، پس می‌توان آنها را با بردار نمایش داد از طرفی چون این دو بردار کاملا هم اندازه و هم جهت نیستند لذا با هم به میزان φ_r اختلاف زاویه دارند.



بنابراین عوامل تعیین کننده گشتاور ماشین القایی، اندازه ی میدانهای استاتور و رتور و اختلاف زاویه بین آن دو می‌باشد .

بیشتر بدانید

تقابل دو میدان استاتور(Bs)و رتور (Br) را برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی می‌توان بصورت رابطه‌ی(۳ـ۱۶) نوشت.

$$T \propto B_s \times B_r \times \cos\varphi_r \qquad (۳-۱۵)$$

$$T = K_۱ B_s B_r \cos\varphi_r \qquad (۳-۱۶)$$

Bs چگالی میدان مغناطیسی استاتور

Br چگالی میدان مغناطیس رتور

T گشتاور کار ماشین القایی

$\propto$ علامت تناسب

وابستگی ولتاژ القایی رتور به میدان مغناطیسی استاتور را می‌توان با رابطه (۳-۱۷) نشان داد.

$$E_r \propto B_s \Rightarrow E_r = K_۰ B_s \Rightarrow$$

$$B_s = \frac{۱}{K_۰} E_r \Rightarrow$$

$$B_s = K_۲ E_r \qquad (۳-۱۷)$$

۱) رابطه تناسب گشتاور با اندازه ی میدان های استاتور و رتور و اختلاف فاز بین آنها را می‌توان با ضرب یک مقدار ثابت نظیر $K_۱$ به تساوی تبدیل نمود.

چگالی میدان مغناطیس رتور نیز متناسب با جریان رتور می‌باشند بنابراین:

$$B_r \propto I_r \Rightarrow B_r = K_3 I_r \qquad (۳-۱۸)$$

از جایگزینی روابط (۳-۱۷) و (۳-۱۸) در رابطه (۳-۱۶) خواهیم داشت:

$$T = K_1 B_s B_r \cos\varphi_r \Rightarrow T = \underbrace{K_1 K_2 K_3}_{K} E_r I_r \cos\varphi_r$$

$$T = K E_r I_r \cos\varphi_r$$

$$T = K S E_2 \times \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}}$$

$$T = K E_2^2 \frac{S R_2}{R_2^2 + (SX_2)^2} \qquad (۳-۱۹)$$

نتیجه ۱:

رابطه (۳-۱۹) نشان می‌دهد که گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ القایی رتور در حالت سکون (E_2^2) نسبت مستقیم دارد. از طرفی ولتاژ القایی رتور وابسته به ولتاژ ورودی ماشین (ولتاژ استاتور) می‌باشد. بنابراین گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نسبت مستقیم دارد.

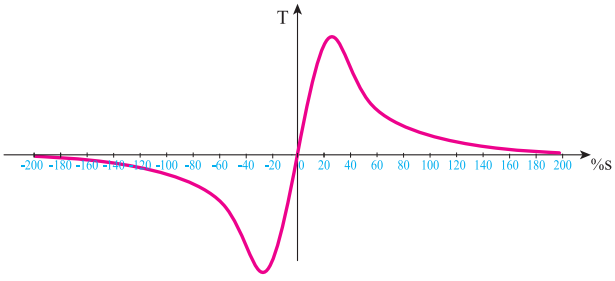
سوال می‌توانید بگوید ۲۰ درصد افزایش ولتاژ باعث چه میزان افزایش در گشتاور ماشین القایی می‌شود؟

نتیجه ۲ :

از آنجا که کمیتهای R_2 و X_2 همواره مقداری ثابت دارند، با توجه به رابطه (۳-۱۹) اگر ماشین القایی در یک ولتاژ مشخص استفاده شود ، تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی، لغزش می‌باشد.

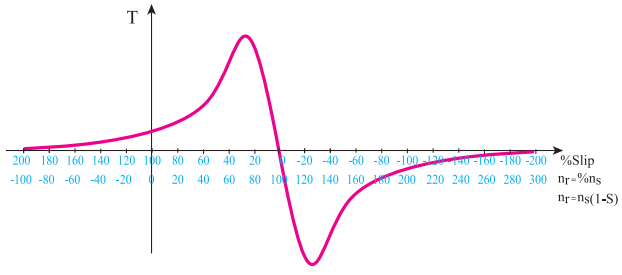
اگر تابع تغییرات گشتاور بر اساس تغییرات لغزش در روی صفحه مختصات ترسیم گردد، منحنی شکل (۳۱) بدست می‌آید که به عنوان منحنی تغییرات تابع گشتاور نسبت به لغزش $T=f(S)$ شناخته می‌شود

توجه : از دانش آموزان انتظار می رود شکل کیفی منحنی های زیر را به خاطر بسپارند.



شکل ۳۱- نمودار تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش

البته از آنجا که در تحلیل ماشین القایی تصور تغییرات سرعت راحت تر است. لذا در اغلب اوقات بجای مشخصه گشتاور بر حسب لغزش شکل (۳۱) از مشخصه گشتاور بر حسب دور شکل (۳۲) استفاده می‌شود.

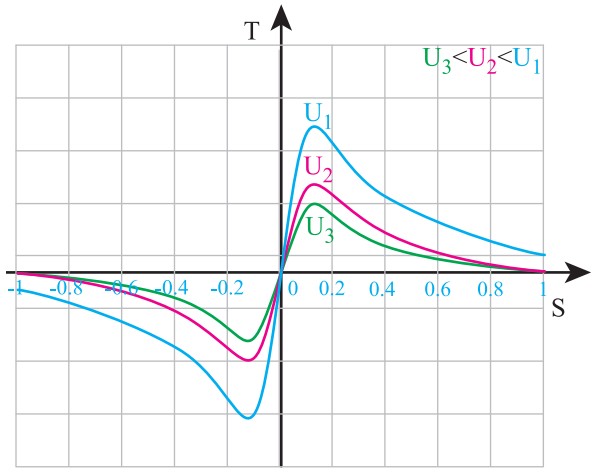


شکل ۳۲ - منحنی تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش و سرعت رتور

۳

نتیجه ۳ :

منحنی شکل (۳۱ و ۳۲) در ولتاژ مشخصی ترسیم شده است. یعنی ولتاژ استاتور ماشین القایی ثابت لحاظ گردیده است. از طرفی با توجه به رابطه(۱۹-۳) ، چون گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نسبت مستقیم دارد بنابراین با تغییر ولتاژ استاتور، منحنی (گشتاور-دور) $T=f(n_r)$ یا (گشتاور-لغزش) $T=f(S)$ با نسبت مجذوری جابه‌جا خواهند شد.



شکل۳۳- اثر تغییرات ولتاژ بر منحنی گشتاور- لغزش ماشین القایی

با توجه به وابستگی گشتاور به مجذور ولتاژ می‌توان رابطه‌ی تناسبی (۲۰-۳) را نوشت.

$$\frac{T_1}{T_2}=\frac{u_1^2}{u_2^2} \qquad (۲۰-۳)$$

در رابطه(۲۰-۳)

T_1 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U۱

T_2 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U۲

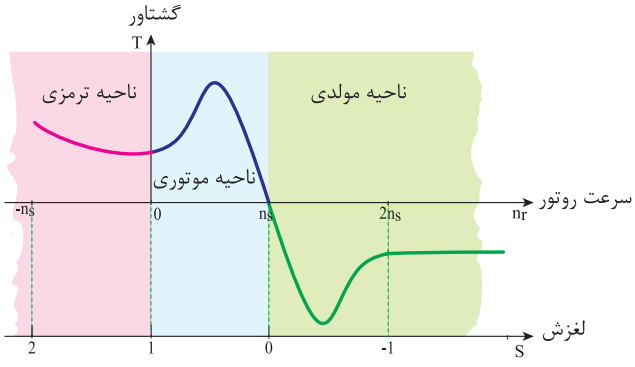
U_1 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت اول

U_2 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت دوم

آیا حالا می‌توانید به سؤال مربوط به نتیجه ۱ به راحتی پاسخ دهید؟

۱۳-ناحیه بندی ماشین القایی بر اساس مشخصه گشتاور- دور

مطابق آنچه در توصیف رفتار ماشینهای القایی با توجه به مقادیر مختلف لغزش "بند ۱۰" بیان گردید می‌توان نواحی عملکرد ماشین القایی را بر روی منحنی (گشتاور- دور) و (گشتاور- لغزش) ماشین القایی مشخص نمود. این تقسیم بندی در شکل (۳۴) نشان داده شده است.



شکل ۳۴- نواحی مختلف ماشین القایی

خود را بیازمایید

۱) عوامل تعیین کننده گشتاور در ماشینهای القایی کدامند؟

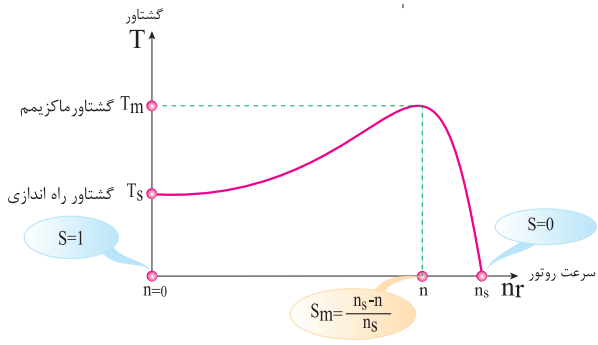
۲) تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی که با ولتاژ ثابت کار می کند چیست؟

۳) در یک ماشین القایی ، ولتاژ شبکه ۵ درصد کاهش می یابد. گشتاور ماشین چقدر تغییر می کند؟

۴) منحنی مشخصه گشتاور- لغزش یک ماشین القایی را در فاصله (۰≤S≤ ۱-) ترسیم نمایید.

۱۴- مشخصه گشتاور- دور موتور القایی

با توجه به شکل (۳۵)، ناحیه عملکرد موتوری ماشین القایی در سرعت $0< n_r \leq n_s$ و یا $1 > S \geq 0$ می‌باشد. لذا در تحلیل رفتار موتوری فقط همین ناحیه را ترسیم نموده و مورد بررسی قرار می دهند. شکل(۳۵) مشخصه گشتاور- دور موتور القایی را نشان می‌دهد.



شکل ۳۵-منحنی گشتاور - دور موتور القایی

از مشخصه شکل (۳۵) نکات زیر بدست می‌آید.

نکته ۱

در لحظه راه‌اندازی ($n_r = 0$ و یا $S = 1$) گشتاور برابر مقدار "T_s" است که به عنوان گشتاور راه‌اندازی شناخته می‌شود.

نکته ۲

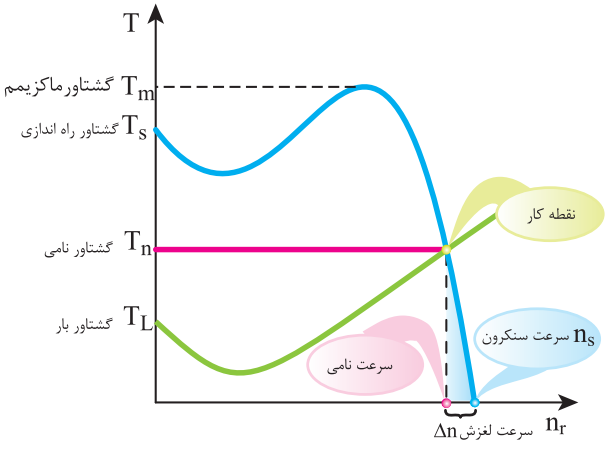
با کمک روابط ریاضی ثابت می‌شود بیشترین مقدار گشتاور "T_m" در لغزشی معادل با نسبت مقاومت اهمی مدار رتور به راکتانس القایی حالت سکون آن ($\frac{R_2}{X_2}$) اتفاق می‌افتد که آن را لغزش بحرانی می‌نامند.

نکته ۳

از آنجا که در فاصله نقطه T_s تا T_m روی مشخصه گشتاور- دور موتور، افزایش گشتاور و سرعت با هم رخ می دهند، بنابراین در این فاصله امکان تثبیت سرعت وجود ندارد. یا به عبارتی موتور در حال افزایش سرعت است.

نکته ۴

هر موتور القایی مقدار مشخصی گشتاور راه‌اندازی "T_s" دارد که به طراحی آن وابسته است. برای چرخاندن هر بار مکانیکی باید به این مقدار گشتاور دقت ویژه داشت. زیرا گشتاور راه‌اندازی موتور القایی باید بیش از گشتاور راه‌اندازی بار مکانیکی باشد تا موتور بتواند آن را به حرکت درآورد.



شکل ۳۶-تقابل نمودار گشتاور-دور بار مکانیکی و گشتاور - دور موتور القایی و تشکیل نقطه کار

در شـــکل (۳۶) مشخصه گشتاور- دور موتور القایی و یک نوع بار مکانیکی[۱] ترسیم شده است[۲].

نکته ۵

در فاصله T_s تا T_m همراه با افزایش سـرعت موتور مقدار گشتاور نیز مرتبا زیاد می‌شود. ولی با عبور از نقطه T_m (گشـتاور ماکزیمم) ایـن وضعیت تغییر نموده و گشتاور شروع به کاهش می نماید. بنابراین با رسـیدن گشتاور موتور (گشتاور محرک) به مقدار گشـتاور بار (گشـتاور مقاوم) یعنی نقطه ی تلاقی مشـخصه گشـتاور-دور موتـور القایی با مشـخصه گشـتاور- دور بار مکانیکی (نیـروی مقاوم) مطابق شکل (۳۶) سرعت موتور تثبیت می‌گردد. این نقطه را نقطـه کار موتـور می‌گویند. در واقـع برابری دو گشـتاور موتور و بار مکانیکی سـبب تثبیت سرعت موتور در نقطه‌ی کار می‌شود.

نکته ۶

گشـتاور مورد نظر سازنده موتور القایی در نقطه ی کار را گشـتاور نامی موتور می‌نامند و آن را با" T_n " نمایش می‌دهند. مسـلماً این گشتاور در یک لغزش و سرعت مشـخص اتفاق می‌افتد. که بر روی پلاک موتور نیز یادداشت می‌شود.

نکته ۷

بـرای تحلیـل رفتار موتـور القایی و بـه حرکت در آوردن بـار مکانیکـی مقادیـر T_m ، T_s و T_n نیـز از اهمیـت بالایی برخوردار اسـت که سـازندگان موتورهای القایی، مقدار T_n و نسـبتهای $\frac{T_s}{T_n}$ و $\frac{T_m}{T_n}$ را در برگه مشـخصات فنی[۳] در اختیار بهره بردار قرار می‌دهند.

نکته ۸

در موتورهای القایی رتور قفسـی بجای سـیم پیچ از هادیهای مفتولی شـکل در هسـته رتور استفاده می‌شـود. شکل شیار رتورهای قفسی که مفتولها در آن جا دارند، تأثیر بسزایی در نحوه عملکرد موتور و مشخصه گشتاور- دور آن دارد.

میدان هادیهایی که در شـیارهای عمیق جای دارند توسـط آهن رتور احاطـه می‌شـوند. در نتیجه مطابق شـکل (۳۷-ب) موجب می‌شـود که میدان اطراف آن پراکندگی کمتری داشته باشد لذا در مغناطیس نمودن هسـته نقش بیشتری دارد که معادل خاصیت راکتانس سـلفی بیشتر در رتور است. چنین موتورهایی در نقطه کار دارای لغزش کمتری هسـتند و خاصیت کار بهتری دارند.

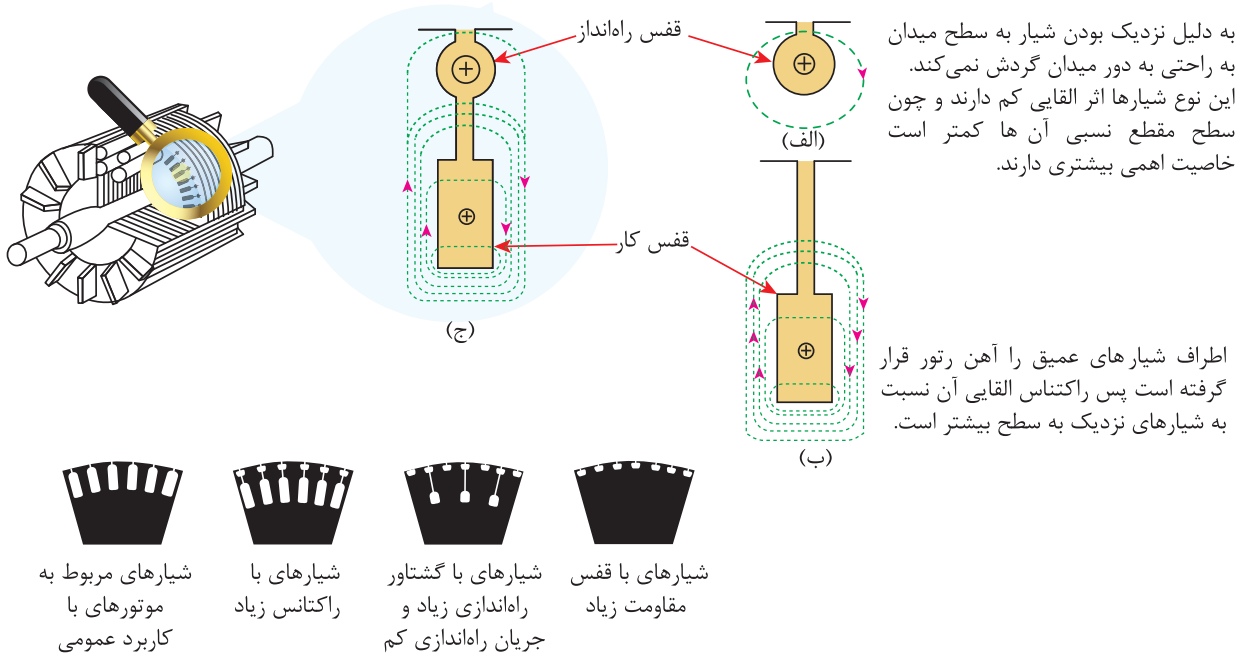
از آنجا که سـطح مقطع نسبی مفتولهای نزدیکتر به سـطح رتور کوچکتر از مفتولهای عمیق است در نتیجه مقاومت اهمی بیشتری نسبت به مفتولهای درون شیار عمیق دارند. گشـتاور موتورهایی کـه رتور آنها چنین

---

۱)مشخصه گشتاور-دور پمپ

۲)چگونگی مشخص ههای گشتاور – دور بارهای مقاوم وابسته به عملکرد مکانیکی آن می باشد و توصیف آن از حوصله کتاب خارج است.

۳) Data Sheet



شکل ۳۷ – انواع قفس رتور ماشینهای القایی از لحاظ شکل و چگونگی استقرار

خصوصیتی دارد در زمان راه‌اندازی بیشتر است ولی در نقطه کار با لغزش زیاد کار می کنند شکل (۳۷-الف).

یکی از انواع موتورهای رتور قفسی که رتور آن دارای هر دو نوع شـــیار می‌باشد در شکل (۳۷-ج) نشان داده شده اســـت. این نوع رتورها را رتور دو قفسی می‌نامند. موتورهای دو قفسی بدلیل داشتن هر دو خاصیت دارای گشتاور راه‌اندازی بالا و همچنین لغزش کم در نقطه کار می‌باشند.

بطور کلی استاندارد NEMA[1] مشخصه کارکرد انواع موتورهای رتور قفســـی را به چهار دســـته(A,B,C,D) تقسیم نموده که در جدول (۴) آمده است.

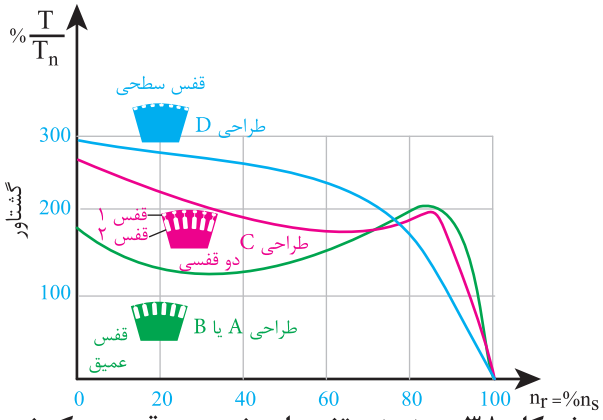
نوع طراحی	گشتاور راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	گشتاور ماکزیمم (درصد نسبت به جریان نامی)	جریان راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	لغزش	کاربرد عمومی
طراحی A -گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی زیاد	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	مشخص نشده	۰/۵~۵٪	فن، دمنده های هوا، پمپ‌های سانتروفیوژ، کمپرسورها و هرجایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز باربه نسبت کم باشد.
طراحی B-گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی معمولی	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	۶۰۰~۸۰۰	۰/۵~۵٪	فن، دمنده های هوا، پمپ‌های سانتروفیوژ، کمپرسورها و هرجایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز باربه نسبت کم باشد.
طراحی C-گشتاور راه‌اندازی زیاد جریان راه‌اندازی معمولی	۲۰۰~۲۸۵*	۱۹۰~۲۲۵	۶۰۰~۸۰۰	۱~۵٪	تسمه نقاله‌ها سنگ شکن‌ها، ماشین‌های همزن و هرجایی که راه‌اندازی زیر بار مورد نیاز باشد.
طراحی D گشتاور راه‌اندازی زیاد جریان راه‌اندازی زیاد	۲۷۵*	۲۷۵	۶۰۰~۸۰۰	>= ۵٪	ماشین پانچ، بالابرها، پمپ‌های چاه نفت و هرجایی که مقدار بار مکانیکی همراه یا بدون چرخ طیار زیاد باشد.

***مقادیر بیشتر مربوط به موتورهایی با توان کمتر است.**

جدول۴- مشخصات انواع رتورهای قفسی طبقه بندی شده و منحنی مشخصه گشتاور – دور مربوط به هر کدام

۱) National Electrical Manufacturer Association

۳



شکل ۳۸ – منحنی تغییرات ضریب قدرت یک نوع موتور القایی برحسب سرعت رتور

۱۵–مشخصه ضریب قدرت– سرعت موتور القایی

همانطور که در درس تحلیل مدار خوانده‌اید، یکی از مهمترین پارامترهای شبکه‌های برق، ضریب قدرت مصرف کننده می‌باشد. در واقع ضریب قدرت[1] (PF)یا Cos φ ناشی از اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان است.

از آنجا که سیم‌پیچ استاتور موتور القایی به شبکه برق متصل می‌شود لذا خاصیت اهمی–سلفی داشته و بین ولتاژ و جریان مصرفی اختلاف فاز ایجاد می نماید. برای جبران یا اصلاح ضریب توان باید میزان اختلاف فاز را دانست تا بتوان برای کاهش آن در شبکه تصمیم‌گیری نمود.

نکته

توجه داشته باشید که مقدار این ضریب قدرت با ضریب قدرت رتور متفاوت است و نباید با هم اشتباه شوند. از دیدگاه شبکه برق، موتور القایی ، یک مصرف کننده ی الکتریکی است و ضریب قدرت آن در شبکه کاربرد دارد ولی ضریب قدرت رتور در تحلیل داخلی موتور القایی اهمیت دارد.

از آنجا که تغییر سرعت رتور باعث تغییر امپدانس مدار رتور می‌شود و همچنین بدلیل القای متقابل مدار رتور و تأثیر آن بر میدان استاتور، امپدانس کلی موتور نیز تغییر می‌کند. بنابراین تغییر سرعت رتور بر ضریب قدرت موتور نیز اثر گذار است. تحلیل عمیق این تغییرات به کمک روابط پیچیده ریاضی و معادلات مربوط به ماشین القایی اثبات می‌شود که از حوصله این کتاب خارج است. در شکل (۳۹) منحنی تغییرات

خود را بیازمایید

۱) منحنی گشتاور –دور موتور القایی را ترسیم نموده و بر روی آن نقطه گشتاور ماکزیمم را مشخص کنید. این گشتاور در چه لغزشی اتفاق افتاده ومقدار لغزش چگونه محاسبه می شود؟

۲) نقطه کار در منحنی گشتاور– دور ، نشان دهنده چیست؟

۳) چه عاملی سبب تثبیت سرعت موتور در زیر بار می گردد؟

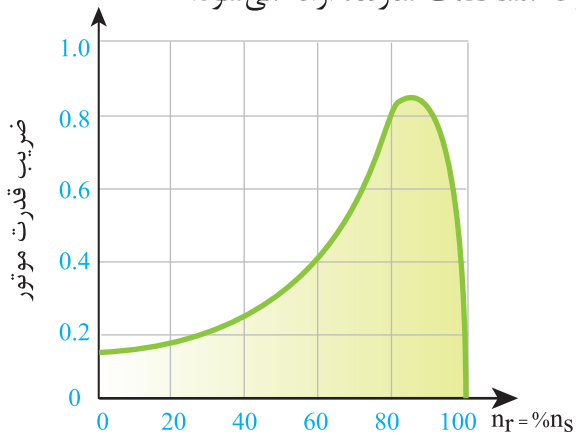
۴) در رتور های قفسی هر چقدر عمق شیارها بیشتر باشد، مقاومت القایی رتور.....(بیشتر/ کمتر) است چرا؟

۵) ساختمان رتور دو قفسی را توضیح دهید.

[1] Power Factor

ضریب قدرت بر حسب دور موتور نمایش داده شده است.

البته لازم به ذکر است که ضریب قدرت در لحظه راه‌اندازی هر موتور به دلیل اهمیت ویژه‌ای که دارد در برگه مشخصات سازنده ارائه می‌شود.



شکل۳۹ -منحنی تغییرات ضریب قدرت یک نوع موتور القایی برحسب سرعت رتور

با توجه به شکل (۳۹) ملاحظه می‌شود که در زمان راه‌اندازی ضریب قدرت موتور بسیار کم است ولی با افزایش سرعت، مقدار آن افزایش یافته و پس از عبور از لغزش بحرانی مقدار آن رو به کاهش می گذارد و در سرعت سنکرون صفر می‌شود. هر چند سرعت رتور در موتورهای القایی هیچگاه به سرعت سنکرون نمی رسد ولی بیانگر این موضوع است که موتور القایی در بی باری(سرعت نزدیک به سرعت سنکرون) ضریب قدرت کوچکی خواهد داشت.

بنابراین در انتخاب موتور القایی برای چرخش بار مکانیکی مشخص نباید توان موتور را خیلی بالاتر از آن اختیار نمود، زیرا باعث هرزگردی (بی‌باری) وکاهش ضریب قدرت و در نتیجه دریافت توان راکیتو بیشتر موتور از شبکه برق می‌شود که اتلاف انرژی در پی خواهد داشت و مقرون به صرفه نیست.

در استانداردهای مختلف ، میزان متفاوتی برای بیشتر بودن توان موتور الکتریکی از توان مکانیکی بار مشخص شده است. در جدول (۵) توان موتور پمپ به نسبت بار مکانیکی آن بر اساس استاندارد[1] API۶۱۰ ارائه شده است.

انتخاب توان نامی موتور(٪)	توان مکانیکی	
	hp	kw
۱۲۵	<۳۰	<۲۲
۱۱۵	۳۰-۷۵	۲۲-۵۵
۱۱۰	>۷۵	>۵۵

جدول۵- انتخاب توان موتور بر حسب توان مورد نیاز پمپ بر اساس استاندارد API

انتخاب موتور القایی که توان آن خیلی بیشتر از توان مکانیکی بار است، باعث مصرف بیهوده انرژی می‌گردد

۱۶-تأثیر فاصله هوایی میان رتور و استاتور بر مقدار ضریب قدرت موتور

در موتورهای القایی با ثابت بودن ولتاژ و فرکانس، شار مغناطیسی عبوری از فاصله هوایی نیز ثابت خواهد ماند. اما اگر دو موتور با مشخصات کاملاً یکسان و با فاصله هوایی متفاوت بین استاتور و رتور هر دو به یک شبکه برق یعنی به ولتاژ و فرکانس یکسان متصل شوند، موتوری که دارای فاصله هوایی بیشتر است، برای عبور شار یکسان از فاصله هوایی خود به جریان مغناطیس کننده‌ی بیشتری احتیاج دارد. جریان مغناطیس کننده‌ی بیشتر به معنای دریافت توان راکتیو بیشتر از شبکه برق می‌باشد که باعث کاهش ضریب قدرت موتور می‌گردد.

موتورهای القایی که رتور و استاتور آن فاصله هوایی بیشتری دارند ، انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌کنند.

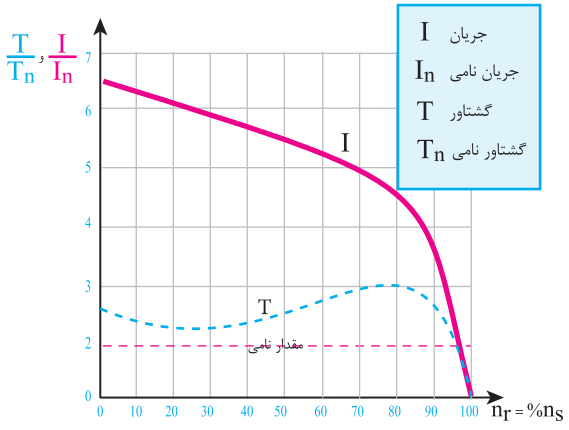
[1] American Petroleum Institute

۳

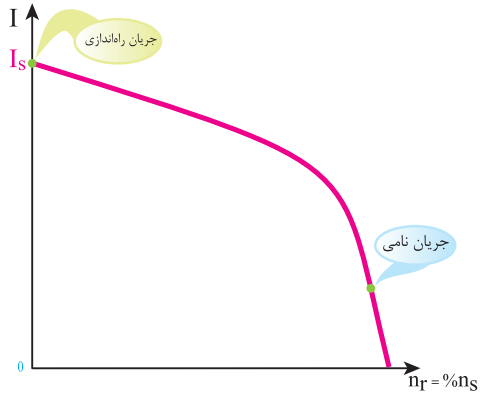
۱۷- مشخصه جریان - دور موتور القایی

یکی دیگر از مشخصه‌هایی که سازندگان موتور القایی در اختیار مصرف کننده قرار می‌دهند، مشخصه جریان - دور می‌باشد. این مشخصه بیانگر تغییرات جریان استاتور موتور القایی در حین عملیات راه‌اندازی است. جریان راه‌اندازی را با "I_s" نشان می دهند و مقدار آن تقریبا ۵ تا ۸ برابر جریان نامی "I_n" موتور می‌باشد. بسیاری از سازندگان بجای درج مقدار جریان راه‌اندازی، نسبت $\frac{I_s}{I_n}$ را ارائه می‌کنند.

نمونه ای از منحنی مشخصه جریان –دور موتور القایی در شکل (۴۰) آمده است. در انتخاب فیوز و یا رله‌های حفاظتی موتور، از این مشخصه استفاده می‌شود.



الف)نمایش نسبت جریان به جریان نامی موتور القایی



ب) نمایش جریان راه‌اندازی موتور القایی

شکل ۴۰

خود را بیازمایید

۱) با افزایش فاصله هوایی رتور و استاتور موتور القایی هر یک از کمیتهای زیر چه تغییری می کند؟

الف)جریان مغناطیس کننده

ب) ضریب قدرت

ج) انرژی دریافتی از شبکه

۲) در موتور های القایی جریان راه‌اندازی حدودا چند برابر جریان نامی می باشد؟

۳) در هر یک از حالات زیر عملکرد موتور القایی بر روی بار مکانیکی چگونه خواهد بود؟

الف) بار مکانیکی بیشتر از توان موتور باشد.

ب) بار مکانیکی بسیار کمتر از توان موتور باشد.

۱۸- تحلیل رفتار موتور القایی در بارهای مختلف "مشخصه‌های خروجی"

در موتور القایی پس از سپری شدن راه‌اندازی و رسیدن موتور به نقطه کار ، مقادیر جریان، توان، ضریب قدرت، لغزش و راندمان تثبیت می‌شوند. البته این در شرایطی است که نیروی مقاوم بار، کمیتهای ولتاژ و فرکانس شبکه ثابت باشند. مقادیر ولتاژ و فرکانس شبکه را تقریباً می‌توان ثابت فرض کرد.

ولی در موارد زیادی تغییرات نیروی مقاوم بار نظیر تغییرات مواد داخل همزن های صنعتی ، کم یا زیاد شدن جریان آب عبوری از یک پمپ (بدلیل باز و بسته شدن شیرآب) اجتناب ناپذیر است.

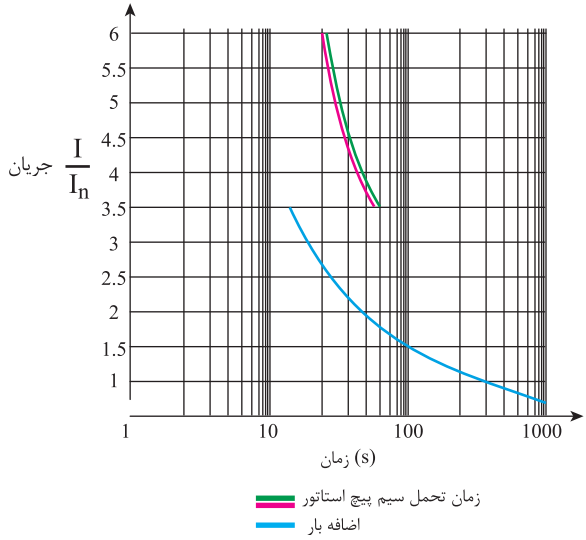
افزایش بیش از اندازه بار می‌تواند حتی به موتور

آسیب بزند. زیرا اضافه بار باعث دریافت جریان بیشتر از شـبکه و در نتیجه تولید گرمای اضافی درسیم‌پیچهای موتور می‌شـود و در زمان طولانی منجر به از بین رفتن عایـق سـیم و ذوب شـدن آن می‌گردد کـه آن را در اصطلاح سوختن سیم پیچ موتور می‌گویند.

گاهی آن قدر اضافه بار زیاد اسـت که موتور قادر به چرخاندن آن نمی‌شـود در این هنـگام می‌گویند رتور قفل شـده اسـت. به محض وقوع این اتفاق برق موتور باید قطع شود در غیر این صورت سوختن سیم پیچهای موتور حتمی است.

در حالت رتور قفل شـده جریـان زمان راه‌اندازی از سـیم‌پیچهای موتـور عبور می‌کند بـه همین خاطر به جریـان راه‌اندازی، معمولا جریان رتور قفل شـده[1] نیز می‌گویند.

مقدار زمانی سـیم‌پیچ استاتور موتور القایی با توجه به جریان رتور قفل شـده می‌تواند تحمل کند توسـط سازنده بصورت نمودار و یا یک عدد در برگه مشخصات فنی موتور ذکر می‌گردد. ایـن زمان برای تنظیم زمان قطع رله حفاظتی موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

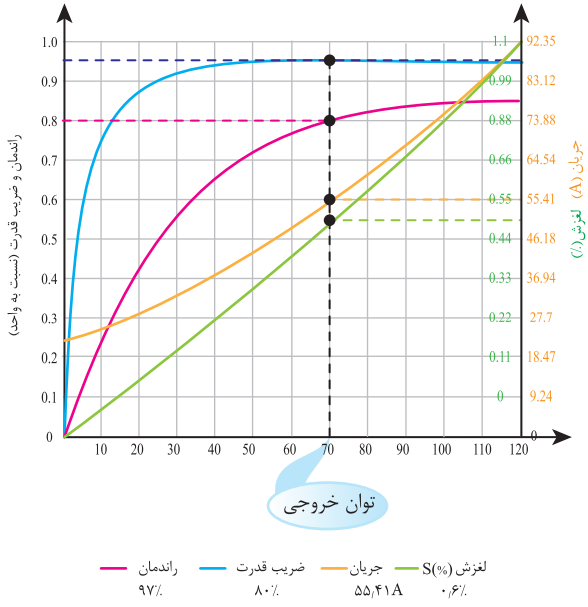


شـکل ۴۱ -نمودار زمان تحمل سـیم پیچهـا در اضافه بارهای مختلف

در نمودارشـکل(۴۱)، جریان روتور قفل شده ۶ برابر جریان نامی بوده و ۲۰ ثانیه توسط موتور قابل تحمل است. البته لازم به توضیح است که در بیشتر موارد تغییرات بار حـول مقادیر نامی اتفاق می افتد هر چند ممکن اسـت در صورت اسـتفاده نادرست از دسـتگاه و یا خرابی‌های مکانیکی (ناشی از بلبرینگ، یاتاقان و ....) اضافه بارهایی تا ۲۵ درصد مقدار نامی بار یا حتی بیشتر نیز رخ دهد.

بـه همین خاطر مطالعه تأثیر تغییرات نیروی مقاوم بار بـرروی مقادیر لغزش (سـرعت)، جریـان[2]، ضریب قدرت و راندمان بسیار با اهمیت می‌باشد.

انواع منحنی مشخصه خروجی در شکل (۴۲ -الف) با یکدیگر نشان داده شـده است. کارخانه های سازنده موتـور القایی گاهی این اطلاعـات را به صورت جدول ارائه می‌نمایند.



شکل ۴۲ -الف) نمودار اثر تغییر بار مکانیکی بر مقادیر راندمـان، ضریب قدرت ، جریـان و لغزش در یک نمونه موتور القایی

---

۱) Locked Rotor Current

۲) چون ولتاژ و فرکانس ثابت فرض می‌شـود، مقادیر جریان و قدرت با یک نسـبت تغییر می‌کنند و داشتن هر کدام به منزله ی مشخص شدن کمیت دیگری نیز است.

P_n kW (hp)	I_n 380 V A	400 V A	415 V A	η 1.0 P_n 0.75 P_n 0.5 P_n	Cos Ø 1.0 P_n 0.75 P_n 0.5 P_n	T_n Nm	$\frac{T_s}{T_n}$	$\frac{I_s}{I_n}$	$\frac{T_m}{T_n}$	$\frac{T_s}{T'_n}$
0.75 (1)	1.77	1.69	1.69	77.0 77.0 73.0	0.83 0.77 0.65	2.5	2.2	5.5	2.5	2.0
1.1 (1.5)	2.51	2.39	2.39	81.0 81.0 78.0	0.82 0.75 0.63	3.7	2.7	6.7	2.7	2.4
1.5 (2)	3.4	3.2	3.2	82.0 83.0 81.0	0.82 0.75 0.63	5.0	2.5	6.0	3.0	2.2
2.2 (3)	4.6	4.4	4.4	84.0 85.0 83.0	0.86 0.81 0.71	7.4	2.5	6.3	3.0	2.2
3 (4)	5.9	5.7	5.7	86.5 87.0 86.5	0.88 0.83 0.75	10.0	3.0	7.8	3.1	2.6
4 (5.5)	7.6	7.2	7.2	88.0 89.0 89.0	0.91 0.89 0.85	13.3	3.0	7.8	3.1	2.8
5.5 (7.5	10.5	10.0	10.0	89.5 89.5 88.0	0.89 0.85 0.73	18.1	2.7	8.2	3.1	2.4
7.5 (10)	14.0	13.3	13.3	89.5 90.0 89.0	0.91 0.89 0.82	24.7	2.5	8.2	3.0	2.3
11 (15)	20.7	19.7	19.7	90.5 90.8 89.7	0.89 0.86 0.79	35.8	2.2	7.8	3.0	1.8

شکل ۴۲ـ ب) برگه ی مشخصات فنی چند نمونه موتور القایی

خود را بیازمایید

۱) منظور از جریان رتور قفل شده در موتور القایی چیست؟

۲) در یک موتور القایی جریان راه‌اندازی ۲۴ آمپر و جریان نامی ۴/۸ آمپر است. جریان رتور قفل شده چقدر است؟

۳) کاربرد منحنی زمان تحمل سیم پیچ استاتور بر حسب جریان رتور قفل شده را شرح دهید.

۱۹- روشهای راه‌اندازی موتورهای القایی

با توجه به تنوع بار (انواع پمپ ها، کمپرسورها، بالابرها، نوارهای نقاله، همزن ها و...) موتورهای القایی و میزان بار آنها در شروع راه‌اندازی ، همچنین نوع و یا شکل قفس رتور جریان راه‌اندازی در این نوع موتورها نسبتا زیاد و حدود ۵ تا ۸ برابر جریان نامی آنها است. بنابراین بررسی روش‌های راه‌اندازی از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

در زمان راه‌اندازی موتور، دو موضوع باید ملاحظه شود:

الف) نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور نامی $(\frac{T_s}{T_n})$ این نسبت نشان می‌دهد که موتور القایی برای

رسیدن به نقطه کار به چه مدت زمانی احتیاج دارد، هر چه مقدار این نسبت بیشتر باشد موتور شتاب بیشتری گرفته و زودتر به نقطه کار می‌رسد.

ب) نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی ($\frac{I_s}{I_n}$)

مقدار این نسبت هر چه بیشتر باشد یعنی جریان راه‌اندازی بیشتر است. در طی زمان راه‌اندازی به دلیل ازدیاد جریان ،شبکه برق، کابل و منبع تغذیه تحت فشار قرار می‌گیرند و لذا دچار افت ولتاژ می‌شوند.

بنابراین هرچه نسبت $\frac{I_s}{I_n}$ کمتر باشد، شرایط راه‌اندازی بهتر است.

با در نظر گرفتن این دو موضوع می‌توان راه‌اندازی موتور القایی را بطور کلی با دو روش انجام داد:

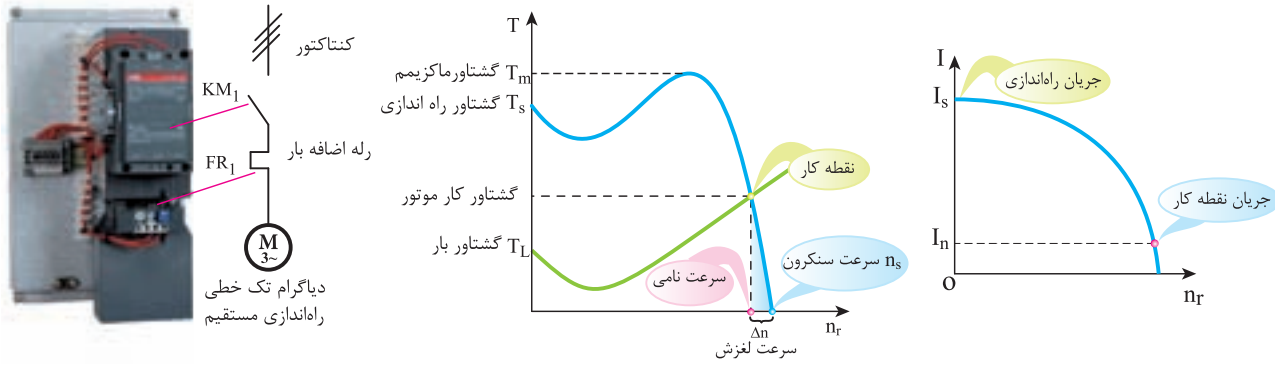
- روش راه‌اندازی استاتوری (قابل کاربرد در کلیه موتورهای القایی)
- روش راه‌اندازی رتوری (قابل کاربرد در موتورهای القایی رتور سیم‌پیچی)

انواع روشهای راه‌اندازی استاتوری عبارتنداز:

- راه‌اندازی مستقیم Direct On Line(DOL)
- راه‌اندازی ستاره-مثلث Star Delta(0YD)
- راه‌اندازی با اتو ترانسفور ماتور
- راه‌اندازی نرم (با تجهیزات الکترونیک قدرت) Soft Starter

۱۹-۱-راه‌اندازی مستقیم DOL

این روش ساده‌ترین راه برای راه‌اندازی موتور القایی و در عین حال به دلیل مقرون به صرفه بودن رایج‌ترین روش می‌باشد. در این روش تنها (از یک کلید قطع و وصل (کنتاکتور) مطابق شکل (۴۳) استفاده می‌شود.



شکل ۴۳ -مدار قدرت و نمودار های مربوط به راه‌اندازی مستقیمDOL

با اتصال مستقیم موتور به شبکه هیچ تغییری در منحنی مشخص گشتاور-دور شکل(۴۳) ایجاد نمی‌شود. بنابراین از معایب این روش، جریان بالای راه‌اندازی پس از وصل کلید است. هر چند وقتی از این روش استفاده می‌شود، کابل، شبکه برق (ترانسفورماتور یا ژنراتور و دیگر تجهیزات متصل به شبکه) باید تحمل عبور جریان بالای راه‌اندازی[1] (۵ تا ۸ برابر جریان نامی) و افت ولتاژ حاصل از این جریان را تا چند ثانیه داشته باشند.

بعلاوه در این روش گشتاور راه‌اندازی موتور بسیار زیاد است که در صورت اختلاف خیلی زیاد با گشتاور بار در زمان راه‌اندازی، نیروی بیشتری به اتصالات مکانیکی موتور و تجهیزات متصل به آن وارد می‌شود که با گذشت زمان باعث کاهش عمر مکانیکی تجهیزات می‌گردد.

در انتخاب دیگر روشهای راه‌اندازی استاتوری مهمترین هدف، کاهش جریان بالای راه‌اندازی است، زیرا

۱) نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی موتورهای کوچکتر ، بیشتر از موتورهای با قدرت بالا می‌باشد.

جریان راه‌اندازی موتور القایی در روش اتصال مستقیم (DOL) زیاد است. ساده‌ترین راه برای کاهش جریان راه‌اندازی، کم کردن ولتاژ ورودی در زمان راه‌اندازی می‌باشد. در بخشهای قبل تأثیر تغییر ولتاژ برگشتاور موتور القایی بحث گردید. با توجه به شکل (۳۳) باید توجه داشت که کاهش ولتاژ استاتور در زمان راه‌اندازی ، علاوه بر کاهش جریان راه‌اندازی موتور، باعث کاهش گشتاور راه‌اندازی نیز می‌شود. بنابراین نمی‌توان بدون مطالعه بار متصل به موتور ولتاژ ورودی موتور را کاهش داد.

برای کاهش ولتاژ استاتور شیوه‌های مختلفی وجود دارد که هریک دارای مزایا و معایب خاص خود می باشند. که در ذیل معرفی شده است.

- قرار دادن مقاومت پر قدرت در مسیر جریان موتور (این روش به دلیل کاهش راندمان موتور و اتلاف انرژی منسوخ شده است)
- روش ستاره- مثلث
- استفاده از اتوترانسفورماتور
- استفاده از راه‌انداز نرم

۱۹-۲- راه‌اندازی ستاره – مثلث

مهمترین مشکل راه‌اندازی مستقیم (DOL)، عبور جریان زیاد در زمان راه‌اندازی است. برای حل این مشکل می‌توان از راه‌اندازی به صورت ستاره-مثلث بهره برد.

روابط این دو نوع اتصال در درس مدارهای الکتریکی آورده شده است.

لیکن استفاده از آن روابط و کاربرد عملی آن در اینجا حائز اهمیت است.

لازم به توضیح است که فقط موتورهایی را می‌توان با این روش راه‌اندازی نمود که سیم‌پیچ هر فاز آنها تحمل اتصال به ولتاژ خط (U_L) را داشته باشد. یعنی در شبکه فشار ضعیف برق ایران بتواند ۳۸۰ V ولتاژ خط را تحمل نماید.زیرا در اتصال مثلث سیم‌پیچهای هر فاز به ولتاژ خط متصل می‌شوند.

راه‌اندازی هر موتور القایی به صورت ستاره- مثلث امکان پذیر نیست.

در راه‌اندازی به صورت ستاره- مثلث ابتدا برای کاهش جریان راه‌اندازی، موتور را با اتصال ستاره به برق متصل می کنند سپس بعد از عبور جریان اولیه راه‌اندازی که در اتصال ستاره $\frac{۱}{۳}$ جریان راه‌اندازی اصلی است، اتصال سیم‌پیچها را به مثلث تبدیل می‌نمایند. زمان راه‌اندازی در این روش گاهی به ۱۵ ثانیه می‌رسد. در صورتی که عمل تغییر اتصال به موقع انجام نشود، ممکن است موتور در زیر بار بماند. زیرا توان حالت مثلث ۳ برابر توان در حالت ستاره است و موتور برای غلبه بر نیروی مقاوم بار به حالت مثلث احتیاج دارد. به همین خاطر برای تغییر اتصال این روش راه‌اندازی در مدار فرمان از تایمر استفاده می‌شود.

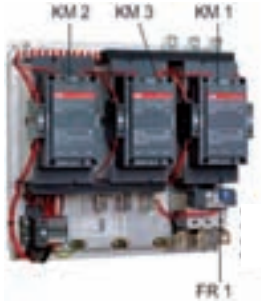
با این روش راه‌اندازی، جریان و گشتاور راه‌اندازی به حدود ۳۰٪ جریان راه‌اندازی حالت مستقیم (DOL) می‌رسد. شکل(۴۴) مدار قدرت و نمودارهای مربوط به راه‌اندازی ستاره-مثلث را نشان می‌دهد.

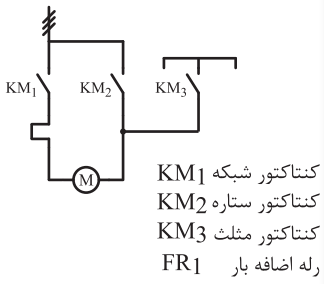
از معایب(راه‌اندازی ستاره- مثلث) می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از سه کلید قطع و وصل (کنتاکتور) بجای یک کلید در راه‌اندازی مستقیم DOL
- بالارفتن هزینه کابل و کابل کشی (زیرا باید سر و ته، کلافهای سه فاز موتور به تابلو منتقل شوند)
- کاهش گشتاور راه‌اندازی که باید پیش از انتخاب این روش از بالاتر بودن آن نسبت به گشتاور

راه‌اندازی بار اطمینان حاصل کرد.

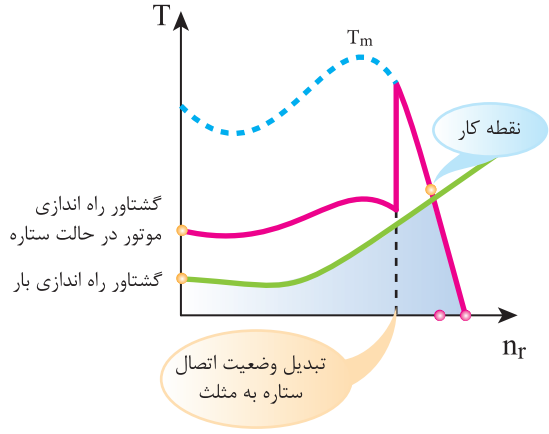
- مـدار کنترل پیچیده‌تر نسـبت بـه راه‌اندازی مستقیم DOL

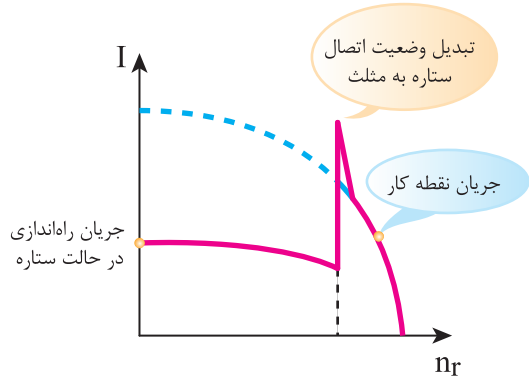




توجه

بدلیـل ایجاد تلفـات هارمونیکـی[1] در اتصال مثلث توصیه می‌شـود موتورهای با توان بـالا را با اتصال مثلث به برق متصل نکنند.





شـکل ۴۴ -مـدار قـدرت و نمودار هـای مربوط به راه‌اندازی ستاره- مثلث

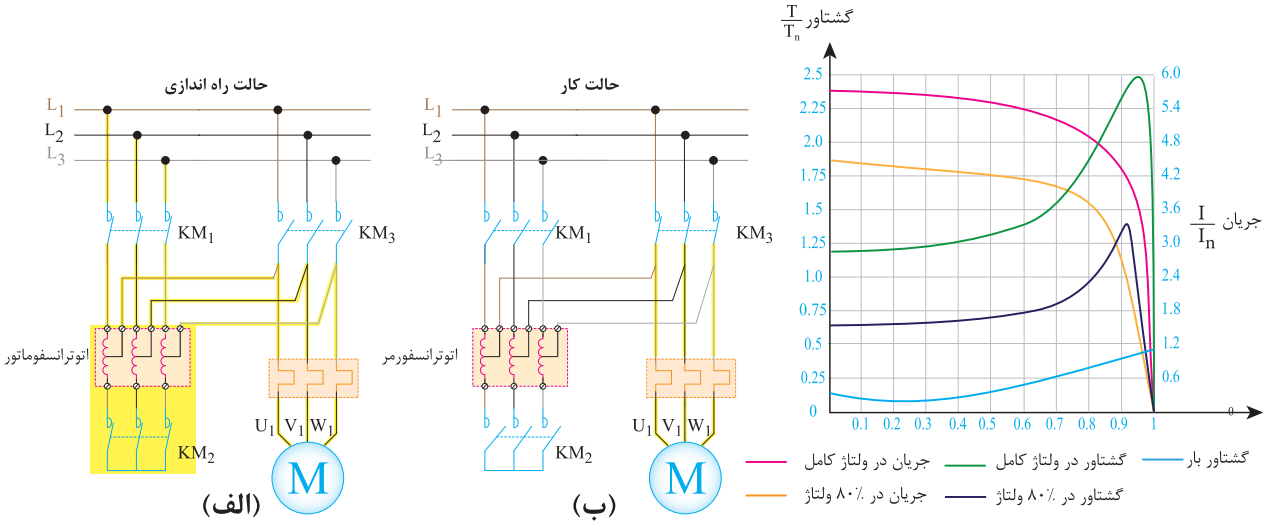
۱۹-۳-راه‌اندازی با اتو ترانسفورماتور

در شکل (۴۵) راه‌اندازی موتور سه فاز القایی به کمک اتو ترانسفورماتور نشان داده شده است. در این روش برای کـم کردن جریان راه‌انـدازی از کاهش ولتاژ به کمک اتو ترانسـفورماتور استفاده می‌شـود. اتو ترانسفورماتور های راه‌انـداز موتور القایی مطابق شـکل (۴۵) دارای دو سـر خروجی هستند. که در این نمونه ولتاژ برای راه‌اندازی در ۸۰٪ درصد ولتاژ نامی تامین شده است.

در شروع راه‌اندازی، سر وسط اتو ترانسفورماتور ، ولتاژی متناسب با راه‌اندازی موتور را در اختیار موتور قرار می‌دهد. لذا جریان راه‌اندازی کنترل شده و در ادامه با عبور از مرحله راه‌اندازی، مدار کنترل عمل تغییر اتصال را انجام می‌دهد و ولتاژ شبکه به طور کامل به موتور می رسد.

این روش به سه کلید قطع و وصل (کنتاکتور) و یک اتو ترانسفورماتور متناسـب با توان موتور احتیاج دارد. در راه‌انـدازی موتورهای توان زیاد که امـکان راه‌اندازی آنها بصورت سـتاره – مثلث وجود ندارد، از این روش می‌توان استفاده نمود.

۱) تلفـات هارمونیکـی از گـزارش یک جریان در داخل حلقه اتصال مثلث ایجاد می‌شـود.این اتصالات در اتصال سـتاره وجود ندارد.



شکل ۴۵ -مدار قدرت راه‌اندازی موتور القایی توسط اتو ترانسفورماتور و اثر کاهش جریان راه‌اندازی با استفاده از اتوترانسفورماتور در منحنی گشتاور- دور الف) حالت راه‌اندازی ب) حالت کار

۱۹-۴-راه‌اندازی با تجهیزات الکترونیک قدرت-راه‌اندازی نرم

یکی دیگر از روشهای مفید راه‌اندازی، استفاده از روش راه‌اندازی نرم[1] می‌باشد که در حال حاضر بسیار پر کاربرد است. این تجهیز ساختار متفاوتی نسبت به دیگر روش های راه‌اندازی دارد.

یک نمونه راه‌انداز نرم در شکل (۴۶) نشان داده شده است.

در داخل این وسیله از تجهیزات الکترونیک قدرت نظیر تریستورها و مدارهای کنترل استفاده شده است. وظیفه المانهای الکترونیک قدرت و مدارات کنترلی، تنظیم ولتاژ مناسب جهت حرکت درآوردن موتور می‌باشد، بطوری که در زمان راه‌اندازی مشکلی برای موتور و شبکه برق ایجاد نشود.

در این روش ابتدا موتور با ولتاژ کم راه‌اندازی می‌شود سپس بطور همزمان جریان موتور نیز توسط المانهای الکترونیک قدرت کنترل گردیده و افزایش ولتاژ به گونه ای است که جریان راه‌اندازی به آرامی به جریان نامی برسد.

افزایش ولتاژ ورودی موتور به صورت تدریجی تا ولتاژ نامی ادامه می‌یابد. در نتیجه گشتاور خروجی موتور نیز تدریجی اضافه می‌شود. بدین ترتیب از ایجاد ضربه (شوک) های مکانیکی در زمان راه‌اندازی جلوگیری می‌گردد.

یعنی در زمان راه‌اندازی مقدار گشتاور به اندازه‌ای است که تنها بر نیروی اصطکاک و ایستایی موتور غلبه می کند. به همین خاطر به این روش راه‌اندازی، راه‌اندازی نرم می‌گویند.

در این روش جریان راه‌اندازی، حدودا بین ۲تا ۵ برابر جریان نامی می‌باشد.

یکی از مزایای این روش امکان تنظیم دقیق گشتاور مورد نیاز در هر لحظه است که هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات مکانیکی را کاهش می‌دهد.

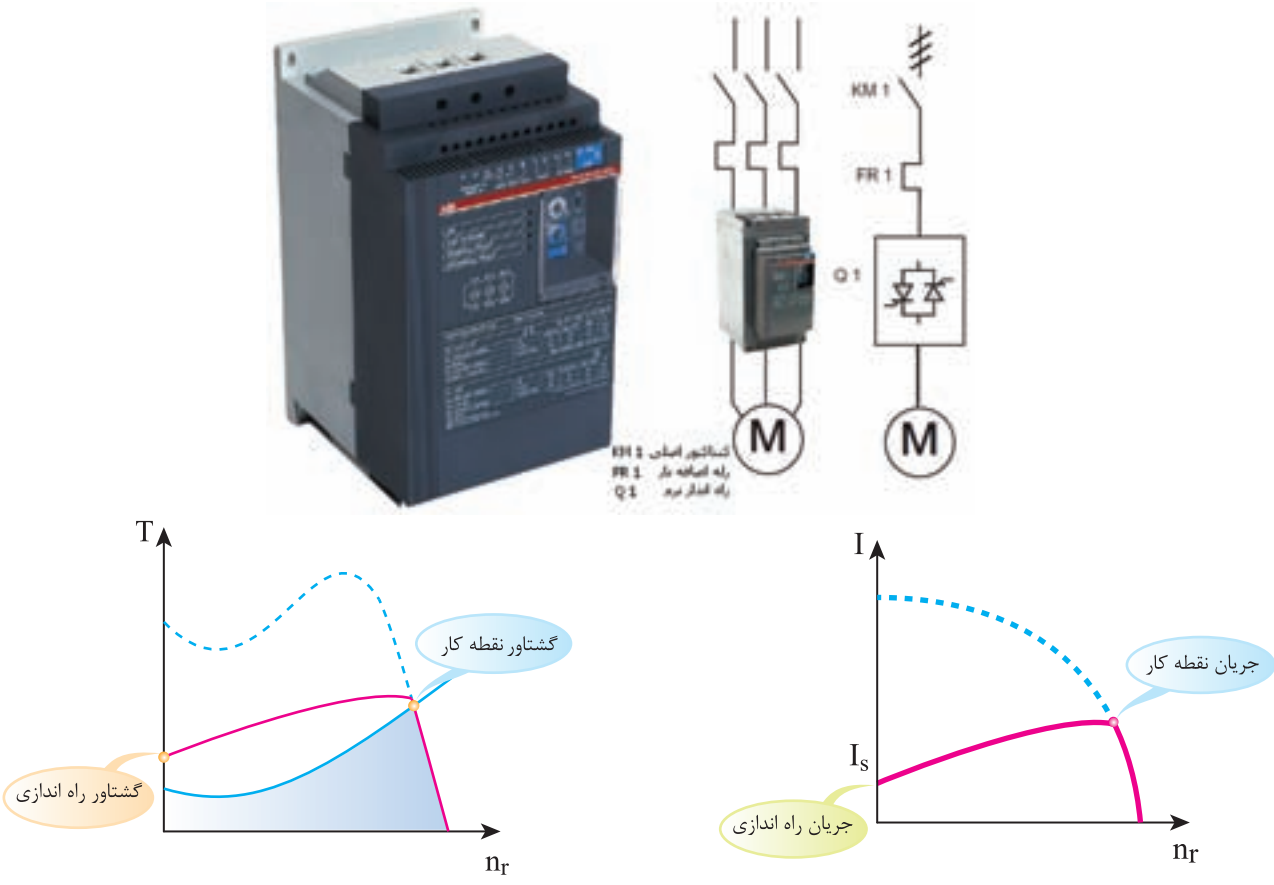
کلیه دستگاههای راه‌انداز نرم(Soft Starter) دارای سیستم توقف نرم(Soft-Stop) نیز می‌باشند.

از آنجا که اینرسی یا لختی یک جسم متحرک پس از فرمان خاموشی موتور می‌تواند باعث ادامه حرکت شود لذا ممکن است باعث ایجاد آسیب در تجهیزات

[1] Soft Starter

مکانیکی متصل شده گردد. به همین خاطر کارشناسان مکانیک ترجیح می‌دهند که فرمان ایستادن موتور نیز بصورت نرم صورت گیرد تا در زمان ایستادن نیز تنشهای مکانیکی به حداقل ممکن برسد. هر چند این خصوصیت از نظر کارشناسان برق بی‌اهمیت است.

استفاده از راه‌انداز نرم باعث افزایش طول عمر مکانیکی موتورمی‌شود. شاید تنها عیب آن گرانتر بودن آن نسبت به دیگر روش‌های راه‌اندازی است که با افزایش تولید و فراگیر شدن تجهیزات الکترونیک قدرت به نظر می رسد در آینده نزدیک قیمت آن بطور قابل توجهی کاهش یابد.



شکل ۴۶ -مدار راه‌اندازی نرم موتورهای القایی(بالا)- نمودارجریان راه‌اندازی نرم (سمت راست) و گشتاور- دور موتور القایی با راه‌انداز نرم (سمت چپ)

۱۹-۵-روش راه‌اندازی رتوری

با توجه به آنکه تنها در موتور رتور سیم پیچی امکان دسترسی به مدار رتور وجود دارد، این روش راه‌اندازی فقط در این موتورها قابل استفاده است.

برای کاهش جریان راه‌اندازی موتور در این روش، مقاومت اهمی مدار رتور را افزایش می‌دهند. در واقع افزایش مقاومت اهمی مدار رتور باعث افزایش امپدانس مدار رتور و به دنبال آن کاهش جریان و افزایش ضریب قدرت مدار رتور می‌شود. از طرفی با کاهش جریان مدار رتور میدان مغناطیسی حاصل از آن ضعیف‌تر می‌گردد

بطوریکه مدار رتور به القاگر ضعیفتری نیاز داشته و در نتیجه باعث افزایش ضریب قدرت کلی موتور و کاهش جریان استاتور می‌شود.

یکی از مزیتهای این روش راه‌اندازی، افزایش گشتاور راه‌اندازی همراه با کاهش جریان راه‌اندازی است. اندازه گشتاور راه‌اندازی به مقدار مقاومت اضافه شده به مدار رتور (R_x) وابسته است.

پیش از این گفته شد که لغزش موتور القایی در گشتاور ماکزیمم از رابطه $S_m = \frac{R_2}{X_2}$ بدست می‌آید.

حالا با توجه به رابطه فوق برای یافتن گشتاور ماکزیمم کافیست در رابطه گشتاور (۳-۱۹):

$$T = KE_2^2 \frac{SR_2}{R_2^2 + (SX_2)^2}$$

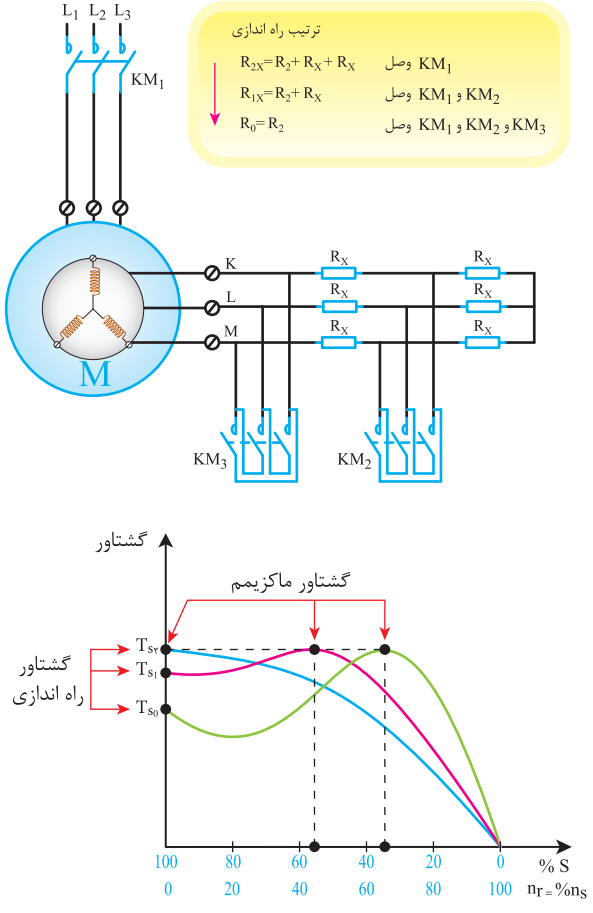
رابطه‌ی $S_m = \frac{R_2}{X_2}$ جایگزین شود، در اینصورت خواهیم داشت:

$$T_m = KE_2^2 \frac{\frac{R_2}{X_2} \times R_2}{R_2^2 + (\frac{R_2}{X_2} \times X_2)^2} \Rightarrow T_m = KE_2^2 \frac{R_2^2}{2R_2^2 X_2}$$

$$T_m = KE_2^2 \frac{1}{2X_2} \qquad (۳-۲۱)$$

در رابطه (۳-۲۱) پیداست که گشتاور ماکزیمم موتور القایی به مقاومت اهمی مدار رتور وابسته نیست ولی با توجه به رابطه $S_m = \frac{R_2}{X_2}$ مقدار مقاومت اهمی مدار رتور می‌تواند مقدار لغزش مربوط به گشتاور ماکزیمم را تغییر دهد. از عبارت فوق می‌توان نتیجه گرفت که افزایش مقاومت مدار رتور باعث جابه‌جا شدن مختصات گشتاور ماکزیمم ، در نمودار گشتاور- دور می‌شود و آن را به مختصات لحظه راه‌اندازی می‌تواند نزدیک تر کند این موضوع در شکل (۴۷) نشان داده شده است.

مقاومتهای سه فاز خارج از موتور (همان R_x) از طریق حلقه‌های لغزان می‌توانند باعث افزایش مقدار مقاومت مدار رتور(R_2) ، افزایش امپدانس مدار رتور(Z_2) ، افزایش ضریب قدرت مدار رتور($Cos\varphi_2$) شوند.

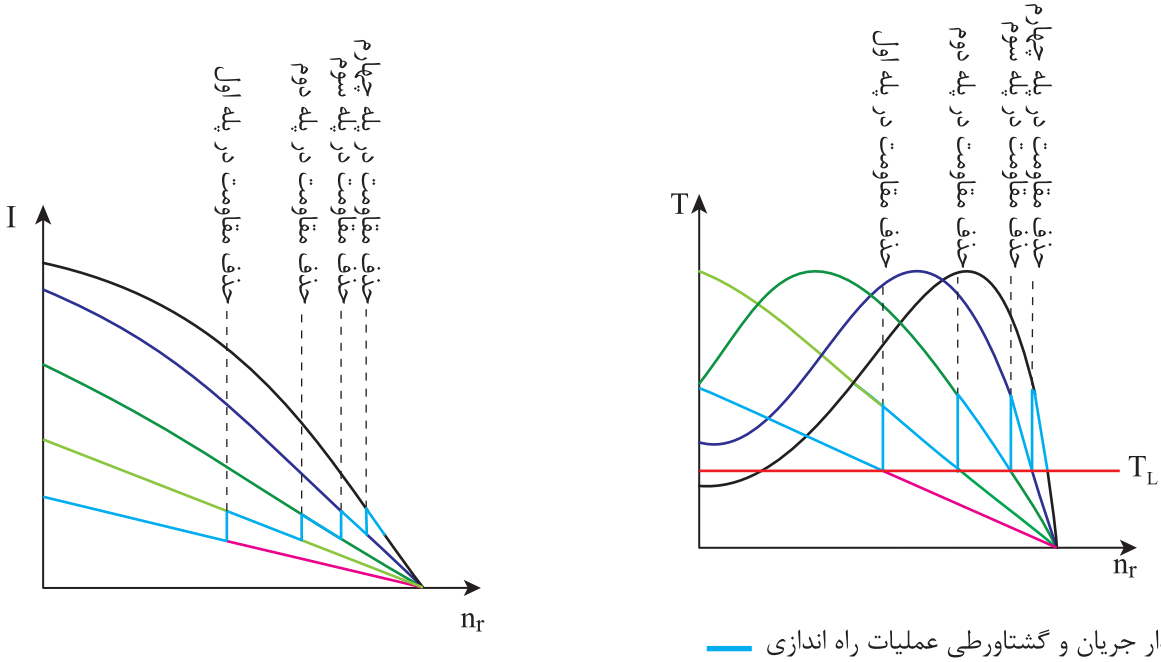


شکل ۴۷ -مدار راه‌اندازی موتور القایی به روش تغییر مقاومت رتور(شکل بالا) و اثر تغییر مقاومت مدار رتور برمنحنی گشتاور- دور (شکل پایین)

البته باید توجه داشت که بخشی از انرژی الکتریکی در مقاومت اضافه شده به مدار رتور به حرارت تبدیل و تلف می‌شود. امروزه می‌توان با کمک المانهای الکترونیک قدرت بجای تغییر مقاومت مدار رتور، ولتاژ مدار رتور را تغییر داد و بدین ترتیب از تلفات انرژی در این بخش جلوگیری نمود.

شکل(۴۸) ، منحنی گشتاورراه‌اندازی موتور القایی

رتور سیم پیچی را نشان می‌دهد. این موتور توسط چهار پله مقاومت رتور مفروض می‌باشد و با خارج کردن تدریجی مقاومتهای راه‌انداز آن جریان راه‌اندازی را تا نقطه ی کار مهار نموده است.



نمودار جریان و گشتاورطی عملیات راه اندازی

شکل ۴۸ –راه‌انداز چهار پله ای موتور القایی رتور سیم پیچی و نمایش چگونگی مهار جریان راه‌اندازی

مهمترین کاربرد موتور القایی رتور سیم‌پیچی در مواردی است که بار مکانیکی به گشتاور راه‌اندازی زیاد و قطع و وصل پی در پی موتور احتیاج داشته باشد. البته قیمت این موتورها و هزینه تعمیر و نگهداری آن در مقایسه با موتور القایی رتور قفسی زیاد است همچنین به دلیل اتصال جاروبک و احتمال ایجاد جرقه نمی‌توان از آن در هر مکانی استفاده نمود.

خود را بیازمایید

۱) روشهای راه‌اندازی موتورهای القایی را نام ببرید.

۲) برداشت شما از نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور نامی چیست؟

۳) معایب استفاده از روش راه‌اندازی مستقیم چیست؟

۴) در روشهای راه‌اندازی استاتوری ساده ترین راه کاهش جریان راه‌اندازی چیست؟

۵) روش راه‌اندازی ستاره–مثلث برای کدام یک از موتورهای القایی قابل اجرا می باشد

۶) اگر در روش راه‌اندازی ستاره- مثلث فاصله زمانی بین اتصال ستاره و مثلث بیش از حد باشد چه اتفاقی می افتد؟چرا؟

۷) کاربرد روش راه‌اندازی با اتو ترانسفور ماتور در کجاست؟

۸) روش راه‌اندازی نرم چه مزیتهائی نسبت به دیگر روشهای استاتوری دارد؟

۹) روش راه‌اندازی رتوری فقط در موتورهای القایی ..... قابل اجرا می باشد.

۱۰) افزایش مقاومت رتور چه اثری بر گشتاور ماکزیمم و لغزش نظیر گشتاور ماکزیمم دارد؟

۱۱) مهمترین کاربرد موتور القایی با رتور سیم پیچی شده در چه نوع بار هایی می باشد؟

۲۰-تغییر سرعت موتورهای القایی

گاهی در صنایع مختلف لازم است، سرعت موتور قابل کنترل باشد در گذشته یکی از ضعفهای موتور القایی را دشواری تنظیم سرعت آن و تنها برتری موتورهای DC را کنترل پذیری آسان سرعت آن می‌دانستند. در حال حاضر با رشد صنعت الکترونیک و توسعه تجهیزات الکترونیک قدرت، کنترل سرعت موتورهای القایی به سهولت امکان پذیر شده است.

بطور کلی برای تغییر سرعت موتورهای القایی روشهای زیر بکار گرفته می‌شود.

تغییر سرعت میدان دوار(n_s) با:

- روش کنترل هم‌زمان فرکانس و ولتاژ
- تغییر قطبهای سیم‌بندی

تغییر مقدار لغزش(S) با :

- تغییر ولتاژ
- تغییر مقاومت مدار رتور(مخصوص موتورهای رتور سیم‌پیچی)

۲۰-۱ -کنترل هم زمان فرکانس و ولتاژ

با توجه به رابطه(۲-۳) می توان با تغییر فرکانس، سرعت میدان دوار را تغییر داد. اما لازمه ی استفاده از این روش داشتن یک مبدل فرکانس است. شکل (۴۹) نمای ظاهری یک نمونه از مبدلهای فرکانسی را نشان می‌دهد . مبدل فرکانسی را VSD [۱] یا VFD نیز می‌گویند.

شکل ۴۹ -نمای ظاهری یک نمونه از مبدل فرکانسی کنترل کننده سرعت موتور القایی

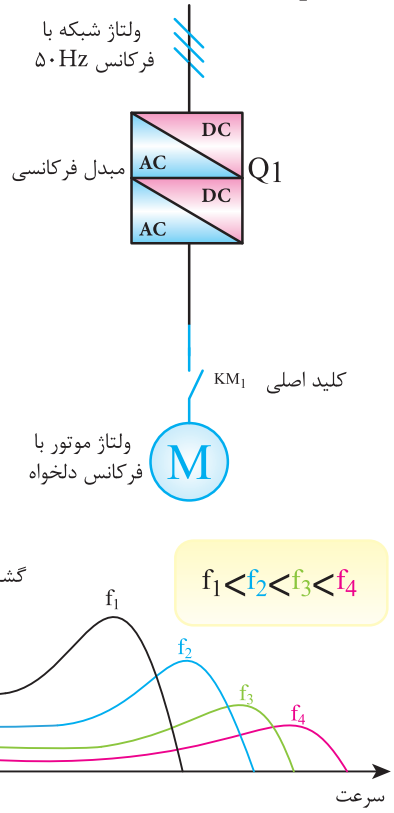
هر مبدل فرکانسی دارای دو بخش می‌باشد. ابتدا ولتاژ AC (۵۰ یا ۶۰ هرتز) در این دستگاه به ولتاژ DC تبدیل می‌شود سپس ولتاژ DC را به ولتاژ Ac ، با فرکانس قابل کنترل معمولا بین ۰~۲۵۰Hz تبدیل می‌کند.

نکته ی قابل توجه اینکه ، تغییر فرکانس علاوه بر تغییر سرعت سنکرون بر روی ولتاژ القاء شده رتور و همچنین سایر کمیتهای مغناطیسی موتور و گشتاور نیز اثر می گذارد.

مشخصه گشتاور – دور موتور القایی در فرکانسهای مختلف در شکل (۵۰) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۵۰) ملاحظه می‌شود که با افزایش فرکانس ، گشتاور موتور مرتب کاهش یافته و با کاهش فرکانس گشتاور موتور افزایش می‌یابد. این موضوع بسیار با اهمیت است. زیرا با افزایش بیش از حد فرکانس ممکن است گشتاور موتور از گشتاور بار کمتر شود و موتور

۱) (Variable Speed Drive Or Variable Frequency Drive)

زیر بار بماند. از طرفی با کاهش فرکانس موتور، هسته ماشین به ناحیه ی اشباع مغناطیسی وارد می‌شود ، لذا برای جلوگیری از سوختن سیم پیچ ماشین در هر دو حالت باید بطور همزمان ولتاژ و فرکانس تغییر نماید، بطوری که نسبت $\frac{E}{F}$ ثابت بماند.



شکل ۵۰ -شمای تک خطی اتصال مبدل فرکانسی به موتور القایی(شکل بالا) اثر تغییر فرکانس بر گشتاور و سرعت (شکل پایین)

در فصل اول بیان گردید که ولتاژ القایی در یک سیم‌پیچ از رابطه (۳-۲۲) بدست می‌آید.

$$E = ۴/۴۴NBAf \qquad (۳-۲۲)$$

به عبارتی

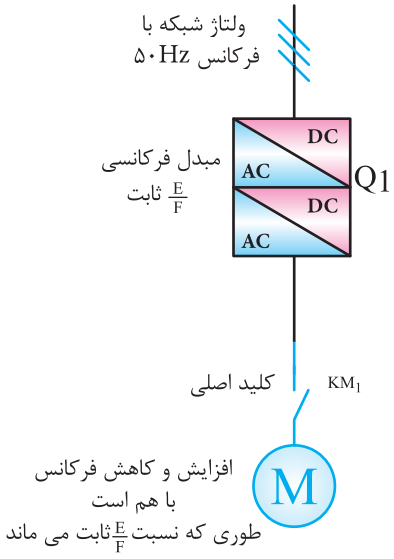
$$E = ۴/۴۴N\varphi f \qquad (۳-۲۳)$$

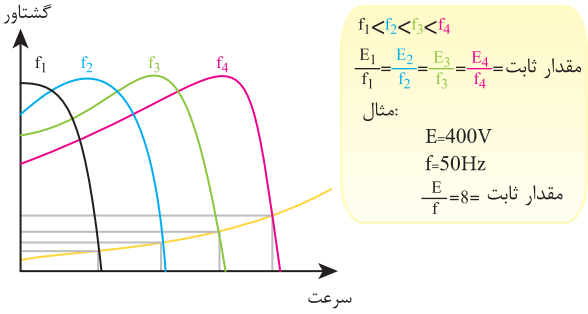
در صورتی که فرکانس به تنهایی افزایش یا کاهش یابد، برای برقراری رابطه (۳-۲۳) باید شار فاصله هوایی کاهش یا افزایش یابد. و از آنجا که تقابل دو میدان باعث ایجاد گشتاور در موتور القایی می‌گردد لذا تغییرات شار مغناطیسی به تغییر گشتاور مفید موتور می‌انجامد.

بنابراین برای تثبیت مقدار شار مغناطیسی لازم است بطور همزمان ولتاژ و فرکانس با یک نسبت تغییر کنند زیرا با توجه به رابطه (۳-۲۳) داریم:

$$\frac{E}{f} = ۴/۴۴N\varphi \qquad (۳-۲۴)$$

در شکل (۵۱) شمای تک خطی راه‌اندازی و کنترل دور موتور القایی به وسیله یک مبدل ولتاژ- فرکانس نشان داده شده است.





شکل ۵۱ -شمای تک خطی اتصال مبدل فرکانس/ ولتاژ به موتور القایی(شکل بالا) اثر تغییر فرکانس و ولتاژ همزمان بر منحنی گشتاور- دور(شکل پایین)

۳

ایـن مبدلها به دلیل داشـتن الگوریتم‌های پیچیده کنترلـی و دارا بـودن تجهیزات الکترونیـک قدرت، از قیمـت بالایی برخوردار هسـتند ولی البتـه با افزایش قیمت انرژی الکتریکی کاربرد این تجهیزات روز به روز در صنایع مختلف رو به افزایش است.

خود را بیازمایید

۱) روشهای کنترل سـرعت موتورهای القایی را نام ببرید.

۲) عملکرد مبدل فرکانس در کنترل سـرعت موتور القایی چگونه است؟

۳) افزایش بیش از حد فرکانس شـبکه چه اثری بر گشتاور موتور القایی دارد؟چرا؟

۴) رابطه ای بر اسـاس محاسـبه شـار مغناطیسی بنویسید که نشان دهد برای ثابت ماندن آن بایستی ولتاژ و فرکانس همزمان تغییر کنند.

۲۰-۲-تغییر قطبهای سیم‌بندی

یکی دیگر از راه‌های تغییر سرعت میدان دوار با توجه به رابطـه(۲-۳) تغییر تعداد قطبهای سـیم‌بندی موتور القایی است. ولی می‌دانیم تعداد قطبهای موتور القایی:

اولاً به ساختمان موتور وابسته است.

ثانیـاً از لحـاظ فیزیکی تعـداد قطبهـا مضرب زوج می‌باشند.(۲,۴,۶,...)

بنابرایـن تغییر تعـداد قطبها باعث تغییر پیوسـته سـرعت نمی‌شود بلکه سـرعت بطور ناپیوسته و پله ای تغییر می‌کند. با این توصیف، تغییر تعداد قطبهای موتور القایی به روش‌های زیر امکان پذیر است.

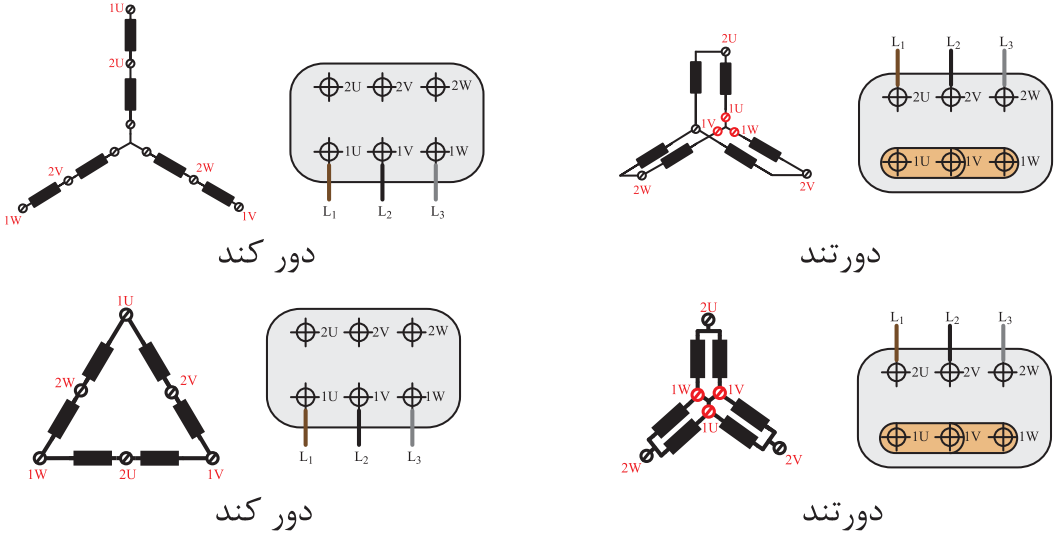
الف) استفاده از موتور دالاندر

ب) قراردادن دو سیم‌بندی مجزا در داخل استاتور

۲۰-۳-موتور دالاندر

در موتورهای القایی روشـی برای سـیم پیچی وجود دارد که به اتصال دالاندر معروف اسـت. در اتصال سـیم پیچ های موتـور دالاندر می‌توان تعداد قطبها را با تغییر محل اتصال برق به موتور نصف و یا دو برابر نمود. بنابراین سرعت موتورهای دالاندر به نسبت ۱ به ۲ می‌باشد.

انتخـاب نوع اتصـالات داخلی موتـور دالاندر باعث



شکل ۵۲ -جعبه ترمینال و نحوه اتصال دو نوع موتور دالاندر

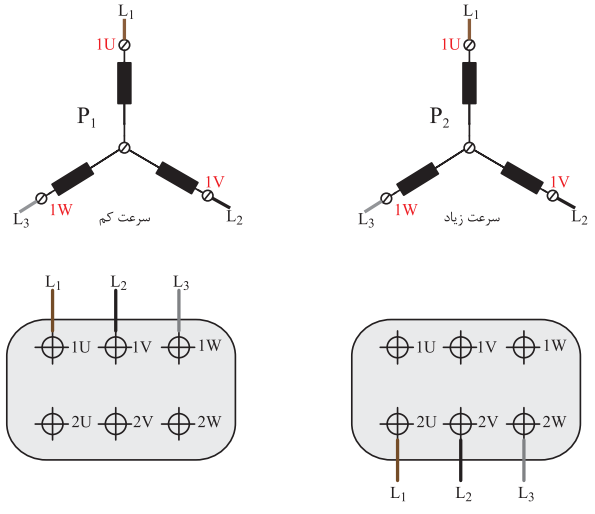
تغییـــر توان و گشـــتاور موتور در ســـرعت تند و یا کند می‌شـــود. به همیـــن خاطر توان و گشـــتاور موتور های دالاندر در اتصالات مختلف در برگه ی مشـــخصات فنی موتور توسط سازنده ارائه می‌گردد.

شـــکل(۵۲) چگونگـــی اتصـــال دو نـــوع از متداول ترین موتورهای دالاندررا به شـــبکه برق ســـه فاز نشان می‌دهد.

۲۰-۴-قراردادن دو سیم‌بندی مجزا در داخل استاتور

اگر در اســـتاتور موتور القایی دو گروه سیم‌پیچ کاملاً مستقل از هم قرار گیرند بطوریکه هیچ ارتباط الکتریکی بین آنها وجود نداشته باشد، در این صورت آن را موتور القایی با سیم‌پیچ جداگانه یا مستقل می‌نامند.

در ایـــن موتور هـــر یک از ســـیم‌پیچها می‌توانند با تعداد قطب مشـــخصی طراحی و در استاتور موتور قرار داده شـــوند. که البتـــه در یک زمان فقط یکـــی از آنها باید در مدار باشـــد. مثلاً با داشـــتن موتـــوری که دارای دو ســـیم‌پیچ ۴ و ۶ قطبـــی در فرکانس ۵۰HZ اســـت می‌توان به هر دو سرعت۱۵۰۰ RPM و ۱۰۰۰RPM دسترسی داشت.



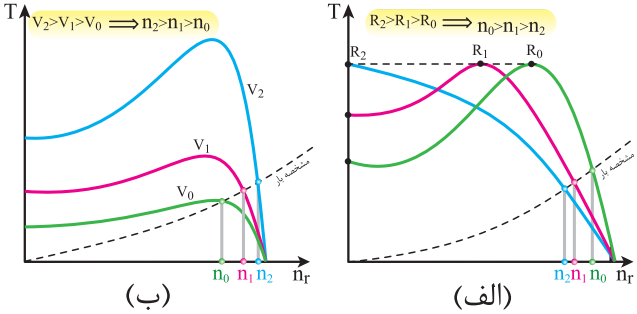
شـــکل ۵۳ -جعبه ترمینال و نحوه اتصال یک نوع موتور با سیم پیچ جداگانه

از ایـــن نمونه موتور در قدرتهـــای کمتر از ۲۰KW در صنعت اســـتفاده می‌شود. البته مدل تک فاز این نوع موتور در کولرهای آبی استفاده می‌شود.

۲۰-۵-تغییر مقدار لغزش

در صورتی که در نظر باشـــد بـــا تغییر مقدار لغزش، بدون تغییر ســـرعت میدان دوار ، ســـرعت چرخشی بار مکانیکی تغییر کند، باید مطابق شکل (۵۴-ب) از تغییر ولتاژ و یا شـــکل (۵۴-الـــف) از تغییر مقاومت مدار رتور استفاده شود.

در هر دو نمودار شکل(۵۴) ملاحظه می‌شود ، تغییر مقادیر ولتاژ و یا مقاومـــت رتور باعث تغییر دور و جابه جایی نقطـــه کار می‌گردد یعنی نســـبت به حالت اول سرعت لغزش تغییر می‌کند.



شکل ۵۴- اثر تغییر ولتاژ(ســـمت چپ)وتغییر مقاومت رتور(سمت راست)بر سرعت موتور القایی

۲۰-۵-۱-تغییر سرعت به کمک تغییر ولتاژ

بـــا توجه به رابطه(۱۹-۳) گشـــتاور موتـــور القایی با مجذور ولتاژ متناسب است. یعنی می‌توان با تغییر ولتاژ موتور القایی مطابق شکل (۵۴-ب) نقطه کار را جابه‌جا نمود و در نتیجه سرعت گردش رتور را تغییر داد. البته باید توجه داشت که :

اولاً : نمی‌تـــوان ولتـــاژ را بیـــش از حـــد ولتاژ نامی افزایش داد . زیرا باعث اشـــباع مغناطیسی هسته موتور

می‌گردد و در ضمن ممکن است ، عایق سیم پیچها تحمل این ولتاژ را نداشته باشد.

ثانیاً: کاهش ولتاژ علاوه بر کم کردن سرعت باعث کم شدن گشتاور و توان موتور نیز می‌شود در این حالت امکان بیشتر شدن گشتاور بار از گشتاور موتور و زیر بار ماندن آن وجود دارد.

۲۰-۵-۲-تغییر سرعت به کمک تغییر مقاومت مدار رتور

پیش از این گفته شد که افزایش در مقاومت مدار رتور باعث کاهش جریان راه‌اندازی می‌شود. ضمن اینکه منحنی گشتاور موتور بصورت شکل (۵۴-الف) تغییر می‌کند.

با توجه به شکل (۵۴-الف) تغییر مقاومت مدار رتور، باعث جابه جایی نقطه کار موتور می‌شود. از معایب این روش کنترل سرعت، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- افزایش مقاومت مدار رتور برای کاهش سرعت باعث افزایش تلفات و کاهش راندمان در موتور می‌شود.
- از این روش فقط در موتورهای القایی رتور سیم پیچی می‌توان استفاده کرد.

خود را بیازمایید

۱) در موتور های القایی هر چقدر تعداد قطب بیشتر شود سرعت موتور .... می شود.

۲) موتوری دالاندر دارای ۶ قطب در یکی از سرعتهای (کند یا تند) مفروض است، اگر فرکانس شبکه ۵۰HZ باشد، به نظر شما سرعت میدان دوارآن در دور کند و تند چقدر است؟

۳) مهمترین عیب موتور چند سرعته با سیم پیچ مجزا را بنویسید.

۴) آیا می توان بدون تغییر سرعت میدان دوار ، سرعت موتور القایی را تغییر داد؟ با استفاده از کدام روش؟

۵) آیا می توان برای کاهش سرعت موتور القایی از طریق کنترل ولتاژ ،مقدار ولتاژ ورودی را تا هر سطح دلخواه کاهش داد؟چرا؟

۶) کنترل سرعت موتور های القایی از روش تغییر مقاومت رتور با چه عیب هایی همراه است؟

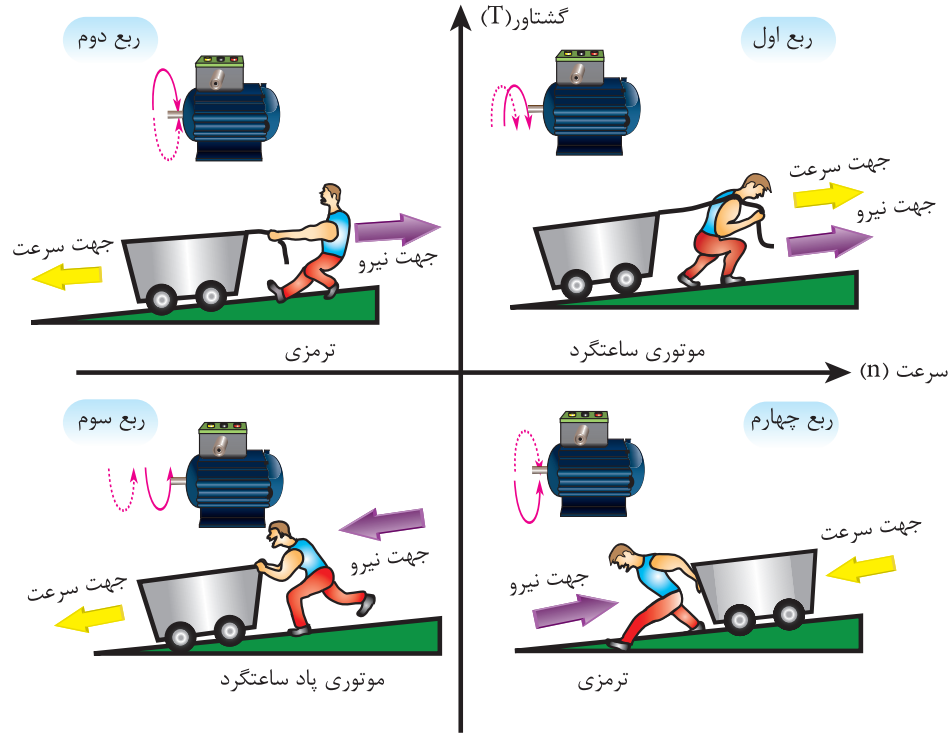
۲۱- ترمز موتورهای القایی

رتور موتور الکتریکی در حال گردش بدلیل سرعتی که دارد، دارای انرژی جنبشی (اینرسی حرکتی) است و پس از خاموش شدن نیز تمایل به ادامه چرخش دارد. این انرژی به وزن و ابعاد رتور نیز بستگی دارد. بنابراین پس از فرمان خاموشی موتور، تا مدتی رتور به چرخش خود ادامه می‌دهد.

در بعضی از بارهای مکانیکی (مانند پمپ و فن) اصراری برای توقف سریع رتور وجود ندارد. چرا که بار متصل به آن نیاز به ایست فوری ندارد. اما در بارهایی نظیر بالابرها، ماشین‌های نساجی و... زمان و محل ایستادن ماشین اهمیت دارد. در نتیجه لازم است به محض خاموش شدن موتور، رتور کاملاً متوقف شود. عمل توقف سریع رتور را در موتورهای الکتریکی، ترمز گویند.

در شکل(۵۵) چهار ناحیه عملکردی موتور بر اساس محورهای گشتاور و دور مشخص شده است. با توجه به علامت سرعت و گشتاور در ناحیه ی دوم و چهارم شکل(۵۵) ، که خلاف یکدیگر می باشند حالت ترمزی رخ می‌دهد.

برای توقف موتور، باید انرژی جنبشی محور دوار سریعاً مستهلک شود. برای رسیدن به این هدف لازم



شکل ۵۵ -چهار ناحیه عملکردی موتور الکتریکی با توجه به جهت سرعت رتور و گشتاور

است انرژی جنبشی موتور به انرژی حرارتی تبدیل شود و یـا آنکه با تبدیل انرژی جنبشـی به انرژی الکتریکی بتوان آن را به شبکه برق بر گرداند.

اکثر روشـهای ترمـزی، انرژی جنبشـی رتور را به حرارت تبدیل می‌کنند اما در روش برگرداندن انرژی به شبکه برق ، حرارت داخلی موتور افزایش نمی‌یابد و در نتیجه عمر کاری موتور طولانی تر می‌شود.

بطور کلی برای ترمز موتورهای القایی روشـهای زیر وجود دارد:

-ترمز جریان مخالف

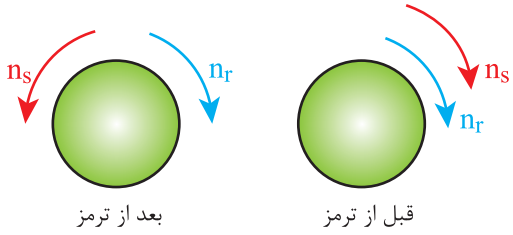
-ترمز با جریان مستقیم

-ترمز مولدی

-ترمزالکترومکانیکی

۲۱-۱ - ترمز جریان مخالف

می‌تـوان با تغییر جای دو فاز جهت چرخش میدان دوار در اسـتاتور را تغییر داد. حالا فرض کنید، موتوری با سـرعت n_r در یک جهت در حال چرخش است. اگر به محض خاموش کـردن موتور جای دوفاز ورودی آن عوض شـود، میدان دوار سـریعاً تغییر جهت می‌دهد ولی رتور به دلیل انرژی ذخیره شده در آن می خواهد همچنان در جهت قبلـی به چرخش ادامه دهد. که در نتیجه منجر به توقف آنی حرکت رتور می‌شود.



شـکل ۵۶ -جهت سرعت میدان دوار و سرعت رتور در حالت موتوری و ترمزی

۳

بـا توجه به تعریف لغزش ، مطابق شـکل(۵۶) و به دلیـل آنکه n_s و n_r خلاف جهت یکدیگر هسـتند. [۱]، می‌توان نوشت:

$$S=\frac{n_s-(-n_r)}{n_s}>1$$

به یاد دارید که در ماشـینهای القایی هرگاه لغزش بزرگتر از واحد (S>۱) شـود، ماشین در ناحیه عملکرد ترمـزی قرار مـی گیرد. البته در اسـتفاده از این روش ترمزی نکات زیر باید مد نظر قرار گیرند:

نکته ۱

بـه دلیل اینکه لغزش در ایـن روش بزرگتر از واحد اسـت لذا جریان ترمزی از جریان راه‌اندازی بیشـتر می‌شـود. پـس در انتخاب موتـور و تجهیزات قطع وصل کننده ی آن باید توجه ویژه داشت.

نکته ۲

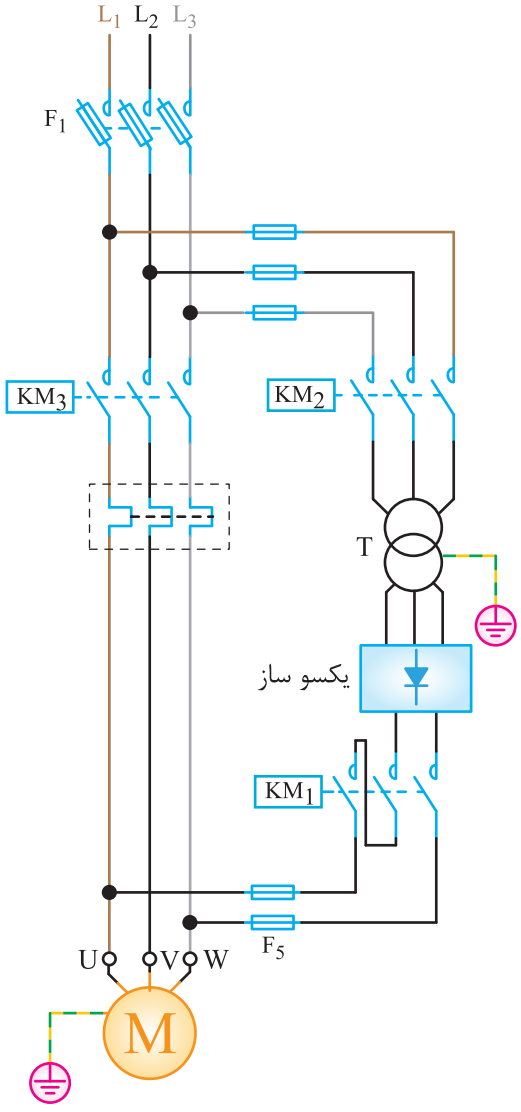
تمهیـدات لازم برای معکوس نشـدن جهت گردش رتور پس از انجام ترمز باید پیش‌بینی شود.

نکته ۳

انتخـاب این روش برای ترمـز موتورهای کوچک به دلیل اینرسی بسیار کمی که دارند توصیه نمی‌شود. زیرا پس از ترمز ، جهت چرخش در آن سریعاً عکس گردیـده و پس از گـردش در جهت مخالف متوقف می‌شود.

۲۱-۲-ترمز با جریان مستقیم

در این روش ابتدا سـیم‌پیچهای اسـتاتور موتور ، از شـبکه برق جدا می‌شوند و بلافاصله به یک منبع ولتاژ مسـتقیم (DC) وصل می‌گردند. ایـن روش را ترمز با جریان مستقیم موتور القایی می‌گویند.



شکل ۵۷ -ترمز با جریان مستقیم موتور القایی

شـکل (۵۷) مدار قدرت ترمز با جریان مسـتقیم را نشان می‌دهد.

همانطور که در شـکل(۵۷) ملاحظه می‌گردد کلید

۱) اهمیتی ندارد n_s را مثبت و n_r را منفی درنظر گرفت و یا بالعکس مهم این اسـت که این دو در خلاف جهت یکدیگر می باشـند. زیرا حالت ترمزی به این مفهوم است. $S=\frac{-n_s-n_r}{-n_s}>1$

KM۲ اتصـال مدار یکسوسـاز را بر عهده دارد . در این روش پـس از قطـع ولتـاژ AC ورودی توسـط کلید KM۳ کلید KM۱ وصل گردیده و برق یکسـو شده را به کلافهای موتور می رساند. با اتصال ولتاژ مستقیم به کلافهای موتور میدان سـاکن در استاتور تولید می‌شود کـه در نتیجه ی القای این میدان سـاکن رتور سـریعا متوقف می‌گردد.

نکات قابل توجه در این روش عبارتند از :

نکته ۱

ولتـاژ منبـع DC به مراتـب باید کمتـر از ولتاژ شـبکه باشـد. معمولاً برای تأمین این ولتاژ مطابق شـکل (۵۷) از یک ترانسفورماتور کاهنده به همراه یکسوسـاز اسـتفاده می‌شـود.

نکته ۲

بـرای انجام ترمز آرام، جریان DC اعمال شـده به سـیم پیچ باید تقریباً ۱/۳ برابـر جریان نامی موتور باشـد بدین لحاظ نسـبت به ترمز جریـان مخالف برتری دارد. (جریان ترمزی آن کمتر است)

نکته ۳

جریان DC اعمال شده به سیم‌پیچها با توقف موتور باید قطع شـود. چـون در ایـن روش تغییر جهت چرخش رخ نمی‌دهد، می‌تـوان از آن در موتورهای کوچک القایی نیز استفاده کرد.

نکته ۴

برای افزایش گشـتاور ترمـزی در موتورهای القایی رتور سـیم پیچی ، علاوه بر اتصـال جریان DC ، می‌توان از اضافه کـردن مقاومت الکتریکی به مدار سیم پیچی رتور نیز استفاده نمود.

۲۱-۳-ترمز مولدی

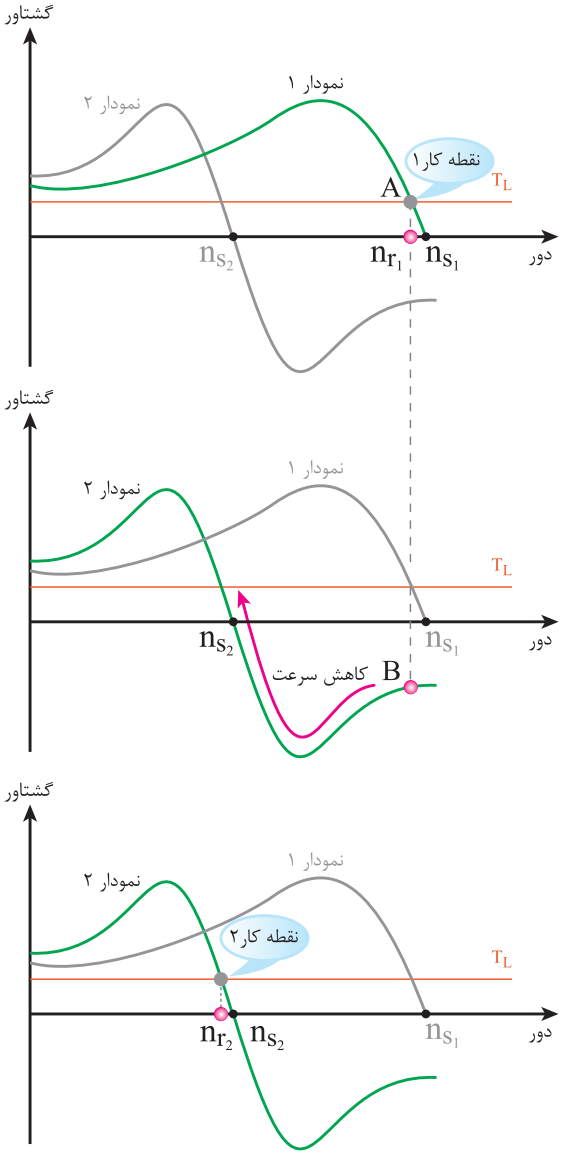
شکل (۵۸) نمودار گشتاور-دور موتور القایی دالاندر را نشـــان می‌دهد. در موتورهای دالاندر ، سرعت میدان دوار در حالـــت دور کند نصف حالت دور تند می‌باشـــد. لذا نمودار (۱) مربوط به دور تند و نمودار(۲) مربوط به دور کند موتور دالاندر است. فرض کنید موتور با سرعت n_{r1} در حال چرخش اســـت و بخواهیم متوقف شـــود، برای انجـــام عمل ترمز می‌توان اتصـــال موتور را از دور تند به دور کند تغییر داد. این موضوع ســـبب می‌شود که ســـرعت میدان دوار بلافاصله از n_{s1} به n_{s2} کاهش یابد. به این ترتیب در مشخصه گشتاور - دور ، وضعیت موتـــور از نقطـــه ی A ، روی نمودار (۱) به نقطه ی B ، روی نمودار (۲) شـــکل(۵۸) جا به جا می‌شـــود. ولی به دلیل اینرســـی بار و رتور ، ســـرعت رتور هنوز به این حد کاهش نیافته اســـت. در این حالت تا زمان رسیدن سرعت رتور به نقطه ی کار جدید، مقدار گشتاور موتور مسیر نشان داده شـــده در نمودار (۲) را طی می نماید تا سرعت آن در نقطه ی کار جدید تثبیت شود.

فاصلـــه بیـــن نقطه ی B تا نقطـــه ی کار (۲) ناحیه مولدی ماشـــین در دور کند می‌باشـــد ولی چون تداوم نیروی مکانیکی مانند مولدها روی محور ماشـــین وجود ندارد ، ســـرعت محور سریعا رو به کاهش می گذارد. تا سرعت آن روی نقطه ی کار (۲) تثبیت شود.

بنابرایـــن با ایـــن روش ترمزی توقـــف کامل حاصل نمی‌شـــود بلکه کاهش سریع سرعت تا زمان وارد شدن ماشـــین به ناحیه موتوری و رسیدن موتور به نقطه کار جدید ادامه می یابد که روی نمودار ۲ شکل(۵۸) نشان داده شده اســـت. آیا چنین کاهش سرعتی را در هنگام اتومبیل ســـواری و اســـتفاده راننده از دنده معکوس در سرعت بالا دیده اید؟

ایـــن روش ترمزی برای موتـــور بالابرها و جرثقیل‌ها کاربرد دارد.

باید توجه داشـــت که در کنار این روش ترمزی لازم است از سایر روشهای ترمزی نیز استفاده شود.

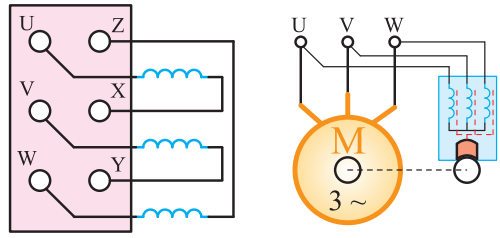


شکل ۵۸ -تشـــریح عملکرد ترمز مولدی در موتور دالاندر

۲۱-۴-ترمز الکترومکانیکی

در این شـیوه به کمک یک دیسـک مغناطیسی یا همان صفحه ی الکترومکانیکی عمل ترمز انجام می‌شود. در اغلب مواقـع الکتروموتورهایی که از این روش ترمز اسـتفاده می کنند به همراه دیسـک بصورت یکپارچه ساخته می‌شوند.

الف)ترمز با تغذیه از خود

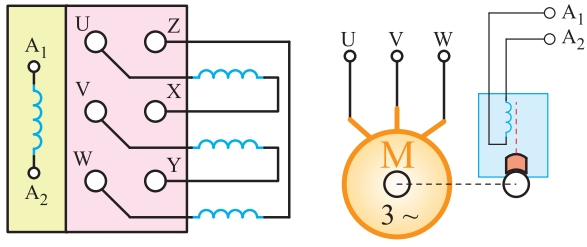


شمای اتصالات در روی پلاک ترمینال‌ها

نماد ترمز موتوری که در نبود جریان فعال می‌شود.

قابل اجرا فقط در موتورهایی که ترمز آنها در نبود جریان عمل می‌کند.

ب)ترمز با تغذیه مستقل (۱ یا ۳ سیم‌پیچ)



شمای اتصالات در روی پلاک ترمینال‌ها

نماد ترمز موتوری که در نبود جریان فعال می‌شود.

در هردو روش ترمز الکترو مکانیکی قابل اجرا است.

شکل ۵۹ -انواع موتورهای القایی با ترمز الکترومکانیکی

این روش ترمزی به دو صورت انجام می‌شود :

الف) ترمز الکترومکانیکـی که در زمان نبود جریان برق عمل می کند.

در شکل(۶۰) مشاهده می‌شـود که در هنگام قطع برق موتور، فنر به صفحه مغناطیسـی یا همان دیسک فشـار آورده و آن را محکم به محور می چسـباند ولی به محض برقدار شدن موتور ، بوبین الکترومغناطیسی، دیسک را از روی محور جدا می نماید.

ب) ترمـز الکترومکانیکی که با عبـور جریان عمل می کند.

شـکل(۶۱) نمونه ای از یک موتور الکتریکی با این نوع ترمز را نشان می‌دهد.

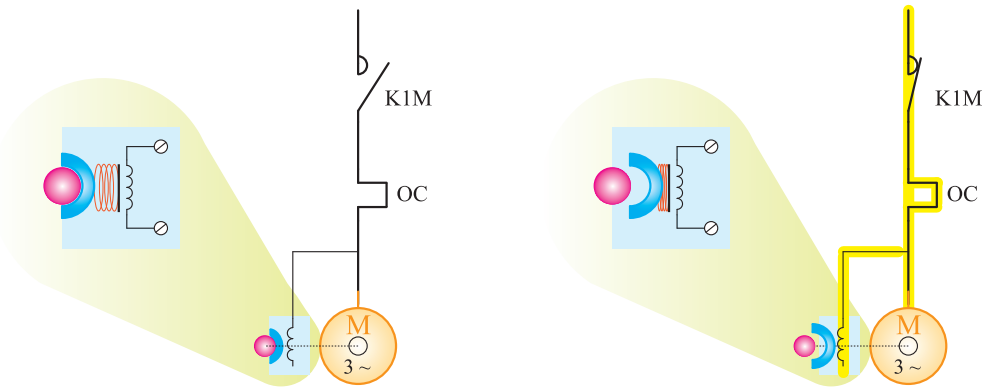
در این روش برای برقدار نمودن بوبین الکترومغناطیسی باید از مدار فرمان اسـتفاده شـود. زیرا قفل شدن محور موتور با اعمال جریان الکتریکی به بوبین الکترومغناطیسی مربوط به دیسک صورت می گیرد.

نکته ۱

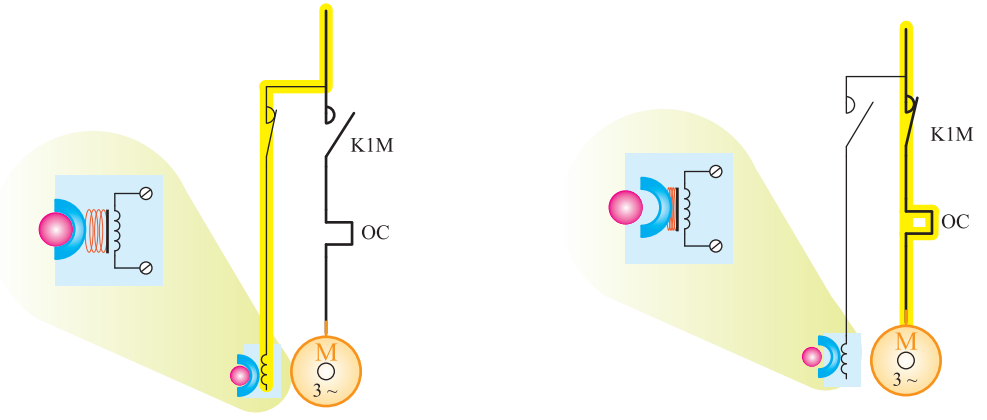
برخی سازندگان موتور، ولتاژ تغذیه ترمز را متفاوت بـا ولتاژ اصلی موتور در نظر می گیرند که باید مورد توجه بهره بردار قرار گیرد.

نکته ۲

ترمـز الکترومکانیکی گزینـه ی خوبی جهت ترمز مکمـل بارهای ثقلـی نظیر آسانسـورها و جرثقیل محسوب می‌شود.



شکل ۶۰ -با خاموش شدن موتور ، دیسک به محور می چسبد

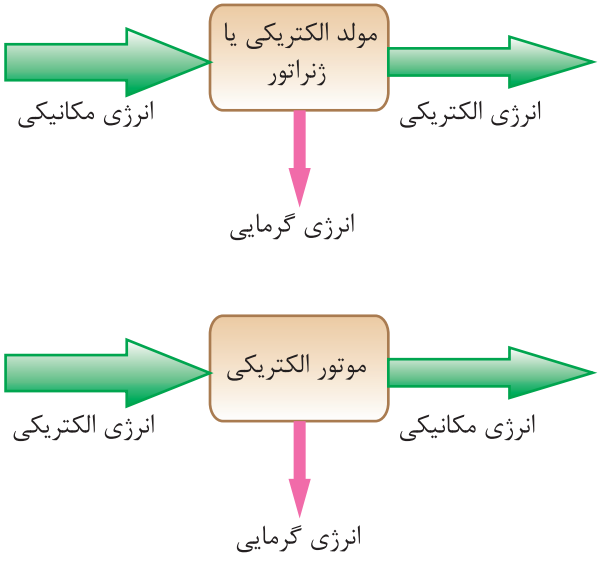


شکل ۶۱ -با فرمان ترمز الکترومکانیکی موتور خاموش و دیسک به محور می چسبد

۲۲- رفتار مولدی ماشین القایی

ماشـــین الکتریکی به عنوان موتور ، انرژی الکتریکی را از طریق میدان مغناطیسی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند.

به ماشـــینی که انرژی مکانیکـــی را با کمک میدان مغناطیســـی به انـــرژی الکتریکی تبدیـــل می‌کند مولد گوینـــد. بنابراین عملکرد مولد دقیقا عکس حالت موتور الکتریکی تعریف می‌شود. تعاریف مولد و موتور بصورت طرح واره در شکل(۶۲) نشان داده شده است.

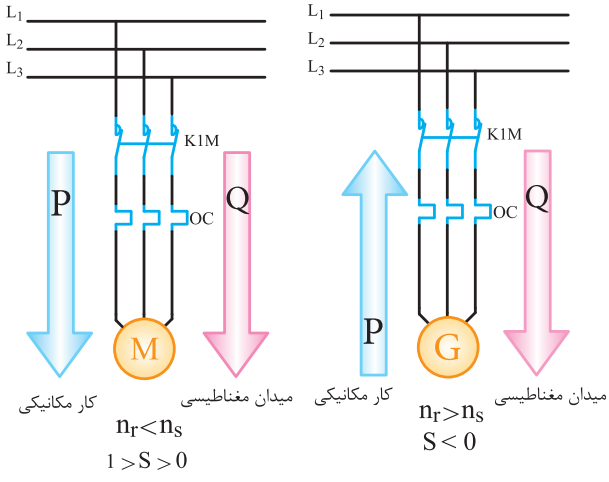


شـــکل ۶۲ -نمایش مولد و موتور الکتریکی از نقطه نظر انرژی

ماشـــین القایی، می‌تواند هـــم به صورت مولد و یا به عنوان موتور اســـتفاده شـــود. ماشـــین القایی در حالت موتوری از شبکه برق توان اکتیو (P) و توان راکتیو (Q) جـــذب می‌کند. که توان اکتیو (P) را به مصرف خروجی جهت غلبه بر بار مکانیکی می رساند و البته بخشی از آن نیز تلف می‌شود. همچنین موتور القایی برای ایجاد میدان دوار مغناطیسی نیاز به توان راکتیو(Q) دارد.

شـــکل (۶۳) این واقعیت را نمایـــش می‌دهد. البته ســـمت انتقال توان اکتیو و راکتیو (P,Q) در موتورها از شبکه برق به طرف محور موتور می‌باشد.

اما در حالتی که ماشین القایی به عنوان مولد استفاده شود ، قدرت مکانیکی(ورودی) به محور ماشین القایی مطابق شـــکل (۶۳) به صورت توان اکتیو(P) به شـــبکه برق تحویل می‌شود البته به شرطی که توان راکتیو(Q) مورد نیاز ماشین تأمین شود.



شکل ۶۳ -موتور و مولد القایی متصل به شبکه برق

برای تأمین توان راکتیو(Q) دو راه وجود دارد:

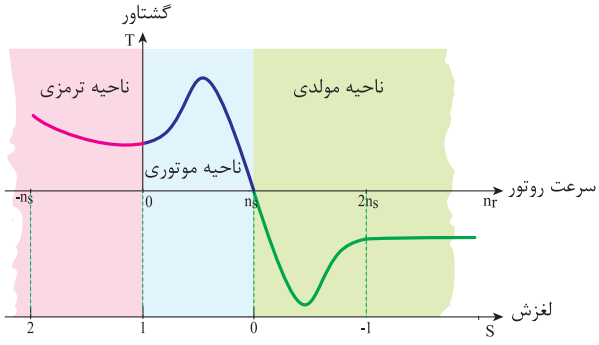
الف) اتصال مولد القایی به شبکه برق

ب) اســـتفاده از خـــازن برای مولـــد القایی در حالت منفرد

۲۲-۱-اتصال مولد القایی به شبکه برق

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

با اتصال مولد القایی به شـــبکه برق ، ســـرعت میدان دوار همواره ثابت و از رابطه (۲-۳) تبعیت می‌کند و چون سرعت رتور به سرعت محرک مکانیکی وابسته می‌باشد ، تاثیـــری بر فرکانس ندارد.اما از آنجا که مولد با فرکانس ثابت شبکه کار می‌کند، توان اکتیو تحویلی به شبکه فقط به سرعت رتوربستگی دارد.



شکل ۶۴ -یادآوری نواحی مختلف ماشین القایی

نکته

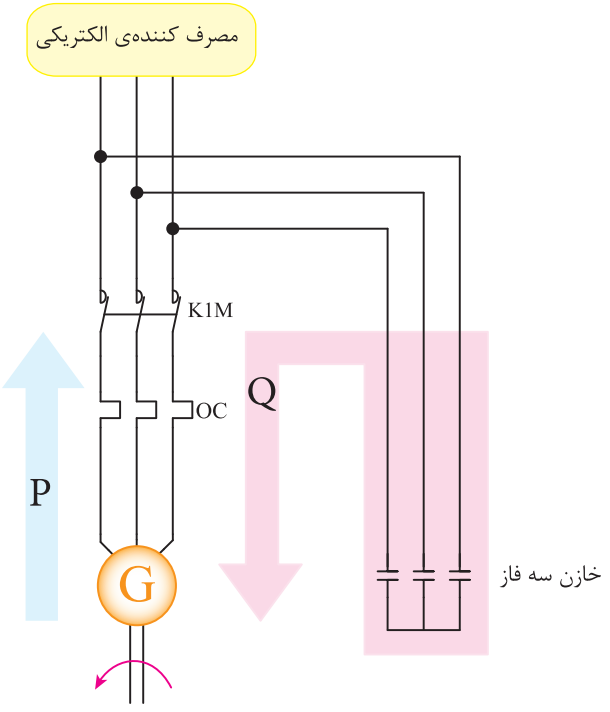
هر چه چرخش مولد سریعتر باشد توان اکتیو تولید شده بیشتر اســـت و بالعکس با کاهش سرعت توان اکتیو کمتری به شبکه تحویل می‌شود.

بنابراین مولد القایی، مولدی است که می‌تواند با دور متغییـــر کار کند بدون آنکه تأثیـــری روی فرکانس شـــبکه ایجـــاد نمایـــد کاربرد ایـــن نـــوع مولدها در

نیروگاه‌های بادی است. زیرا سرعت باد را نمی‌توان کنترل نمود.

۲۲-۲-استفاده از خازن (مولد القایی در حالت منفرد)

هرگاه از مولد القایی بصورت منفرد استفاده شود، باید آن را مطابق شکل (۶۵) بجای اتصال به شبکه الکتریکی سه فاز به خازن وصل نمود.



شکل ۶۵- مولد القایی در حالت منفرد

چون خازن تولید کننده ی توان راکتیو است. بنابراین می‌توان برای تأمین توان راکتیو (Q) جهت تولید میدان دوار ماشین از اتصال خازن ها به صورت شکل (۶۵) استفاده کرد. با توجه به وابستگی فرکانس به سرعت چرخش رتور و منفرد بودن مولد ، فرکانس برق تولید شده در این حالت کاملاً به دور رتور وابسته است. لازم به ذکر است که شرط ایجاد ولتاژ ، وجود پسماند مغناطیسی در رتور اینگونه مولدها می‌باشد.

کاربرد این مولدها در مواردی است که بار مصرفی فقط از نوع اکتیو باشد.(مانند مولدهای جوشکاری)

تحقیق کنید

چرا باید مولد القایی در حالت منفرد از نوع اکتیو باشد؟

خود را بیازمایید

۱) نقش توانهای اکتیو و راکتیو دریافتی از شبکه توسط موتورهای القایی را توضیح دهید.

۲) اگر بخواهیم یک ماشین القایی بصورت مولد کار کند چه نوع توانی را از شبکه دریافت وچه نوعی از توان را به شبکه تحویل می دهد؟

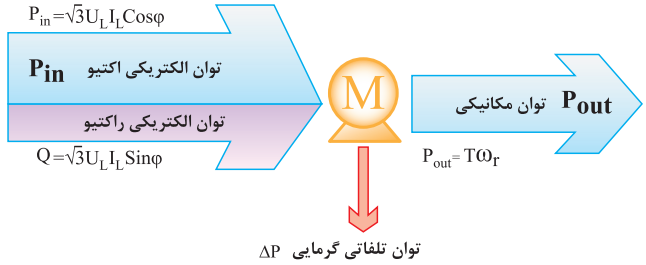
۳) یک ماشین القایی سه فاز به شبکه برق متصل است و در ناحیه مولدی کار می کند:

الف) سرعت رتور را با سرعت میدان دوار مقایسه کنید ب) اگر سرعت رتور در حال تغییر باشد چه اثری بر فرکانس شبکه دارد؟

۲۳ - تلفات و راندمان

از آنجا که ماشینهای القایی بیشتر به عنوان موتور القایی استفاده می‌شوند. در این بخش تلفات و راندمان موتور القایی مورد بحث قرار می گیرند. موتور القایی توان الکتریکی از شبکه دریافت می‌نمایند و توان مکانیکی را به خروجی تحویل می‌دهد.

نمودار دریافت توان الکتریکی و تحویل توان مکانیکی در شکل (۶۶) نشان داده شده است.



شکل ۶۶ -دیاگرام توان در موتورهای القایی سه فاز

ملاحظه می‌شـود، بخشی از توان دریافتی از شبکه برق مطابق شـکل (۶۶)، توان راکتیو اسـت؛ این بخش از توان برای تولید میدان دوار، وارد ماشـین می‌شود و چون مجدداً به شبکه برمی‌گردد، در محاسبات تلفات و راندمان ماشین به حساب نمی‌آیند.

بخش دیگـری از توان ورودی به موتور القایی، توان اکیتو اسـت. این توان در موتورهای سـه فـاز از رابطه (۳-۲۵) محاسبه می‌شود.

$$P_{in}=\sqrt{3}U_L I_L Cos\varphi \qquad (۳-۲۵)$$

در رابطه(۳-۲۵)

U_L ولتاژ خط بر حسب V

I_L جریان خط بر حسب V

$Cos\varphi$ ضریب قدرت موتور

مقدار توان مکانیکی طراحی شده روی محور موتور القایـی را توان نامی موتور تعریـف می کنند و آن را با P_n نمایش می‌دهند. این توان غالباً بر روی پلاک موتور درج می‌شود و همچنین در برگه مشخصات فنی موتور نیز ارائه می‌گردد.

توان نامی موتور القایی سـه فـاز از رابطه (۳-۲۶) قابل محاسبه است.

$$P_n=T_n\omega_r \qquad (۳-۲۶)$$

$$P_n=T_n\times\frac{2\pi n_r}{60} \qquad (۳-۲۷)$$

در رابطه (۳-۲۷) ،

T_n گشتاور نامی یا مفید بر حسب N-m

n_r سرعت نامی رتور بر حسب RPM

P_n توان نامی رتور بر حسب W

اگـر بار مکانیکی روی محور با توان نامی موتور برابر باشد در این صورت خواهیم داشت:

$$P_{out}=P_n$$

راندمان موتور القایی را مانند دیگر ماشینها براساس نسـبت توان خروجی به تـوان ورودی مطابق با رابطه (۳-۲۸) می‌توان محاسبه نمود. این راندمان بازای توان نامی موتور القایی می‌باشد.

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (۳-۲۸)$$

راندمان را می‌توان بصورت درصد یا نسبت به واحد هم محاسبه کرد.

$$\%\eta=\frac{P_{out}}{P_{in}}\times 100 \qquad (۳-۲۹)$$

$$\eta=\frac{P_{out}}{\sqrt{3}U_L I_L Cos\varphi} \qquad (۳-۳۰)$$

مطابـق دیاگـرام شـکل (۶۶) می‌تـوان راندمان را بصورت رابطه (۳-۳۲) نیز نوشت:

$$P_{in}=P_{out}+\Delta P \qquad (۳-۳۱)$$

$$\eta=\frac{P_{out}}{P_{out}+\Delta P} \qquad (۳-۳۲)$$

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_r \qquad (۳-۳۳)$$

ΔP در رابطه (۳-۳۳) ، مجموعه تلفات موتور القایی است که شامل تلفات استاتور و رتور می‌باشد.

ΔP_s تلفات استاتور موتور القایی بر حسب (W)

ΔP_r تلفات رتور موتور القایی بر حسب (W)

تلفات استاتور ΔP_s شامل تلفات اهمی در سیم‌پیچهای استاتور (Pcu_s) و تلفات آهنی(P_{Fe}) می‌باشد. تلفات آهنی موتور القایی جزو تلفات ثابت موتور بوده که به دلیل حضور جریانهای گردابی در هسته و تلفات هیسترزیس ایجاد می‌شوند[۱].

$$\Delta P_s = P_{Cus} + P_{Fe} \qquad (۳-۳۴)$$

ΔP_r شامل تلفات اهمی سیم پیچ رتور در موتورهای القایی رتور سیم پیچی و یا تلفات اهمی حاصل از مفتولهای به کار رفته در موتورهای رتور قفسی می‌باشد . لذا تلفات اهمی در رتور را تلفات ژولی رتور[۲] می‌نامند. و آن را با P_{jr} نمایش می‌دهند.

بخش دیگری از تلفات در رتور، تلفات مکانیکی است. که به علت وجود اصطکاک هوا و یاتاقانها ایجاد می‌شود و چون سرعت موتور القایی ثابت است، تلفات مکانیکی نیز ثابت می‌باشد این تلفات را با P_{mis} نشان می‌دهند.

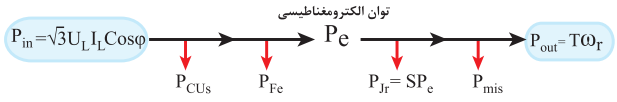
بنابراین تلفات رتور را مطابق رابطه(۳-۳۵) به دست می‌آید.

$$\Delta P_r = P_{jr} + P_{mis} \qquad (۳-۳۵)$$

با جایگزینی مقدار ΔP_r و ΔP_s می‌توان تلفات کل ماشین را از رابطه ی(۳-۳۶) بدست آورد.

$$\Delta P = P_{Cu_s} + P_{Fe} + P_{jr} + P_{mis} \qquad (۳-۳۶)$$

نمودار توازن توان در موتورهای القایی در شکل (۶۷) نمایش داده شده است.



شکل ۶۷- نمودار توازن توان در موتورهای القایی

توان الکترومغناطیسی (P_e) توانی است که از طریق میدان دوار استاتور در فاصله هوایی به رتور منتقل می‌شود و سپس با افت تلفات ژولی رتور به توان مکانیکی در خروجی تبدیل می‌گردد.

توان الکترومغناطیسی (P_e) را می‌توان بطور مستقیم از رابطه (۳-۳۷) نیز محاسبه نمود.

$$P_e = T_e \omega_s \qquad (۳-۳۷)$$

$$P_e = T_e \times \frac{۲\pi n_s}{۶۰} \qquad (۳-۳۸)$$

در رابطه (۳-۳۸):

T_e گشتاور الکترو مغناطیس بر حسب N-m

n_s سرعت سنکرون موتور القایی بر حسب RPM

P_e توان الکترو مغناطیس بر حسب W

همچنین با توجه به دیاگرام توان شکل (۶۷) داریم:

$$P_e = P_۱ - (P_{Cus} + P_{Fe}) \qquad (۳-۳۹)$$

$$P_e = P_{out} + P_{jr} + P_{mis} \qquad (۳-۴۰)$$

تلفات ژولی رتور را می‌توان از حاصلضرب لغزش در

۱) از آنجا که فرکانس رتور در حال چرخش کم است لذا تلفات آهنی رتور را می‌توان چشم پوشی کرد زیرا تلفات آهنی با مجذور فرکانس نسبت مستقیم دارد.

۲) تلفات ایجاد کننده گرما

توان الکترومغناطیسی به دست آورد.

$$P_{jr} = SP_e \qquad (۳-۴۱)$$

در رابطه (۳-۴۱)،

S لغزش موتور

P_e توان الکترو مغناطیس بر حسب w

P_{jr} تلفات ژولی رتور بر حسبw

رابطه (۳-۴۱) نشـان می‌دهدکه بـا افزایش لغزش، تلفات ژولی در مدار رتور افزایش یافته و در نتیجه توان خروجی کاهش می‌یابد.

همچنانکـه در بخش تغییر سـرعت موتورهای رتور سـیم پیچی عنوان شـد، افزایش مقاومت مدار رتور به منظور کاهش سـرعت و یا افزایش گشـتاور راه‌اندازی باعث افزایش لغزش می‌گردد.

بنابراین طبق رابطه(۳-۴۱) افزایش لغزش ، افزایش تلفات ژولـی در مدار رتور را در پی دارد و به دنبال آن راندمان موتور کاهش می یابد.

با توجه به اینکه تلفات مسـی در اسـتاتور و تلفات ژولی رتور هر یک به جریان عبوری از آن وابسته هستند و ایـن جریان نیز با تغییرات بـار، تغییر می‌کند. لذا به مجموع تلفات مسی‌اسـتاتور و تلفات ژولی رتور **تلفات متغیر** موتور القایی می‌گویند.

$$\text{تلفات متغیر} = P_{Cus} + P_{jr} \qquad (۳-۴۲)$$

تلفات مکانیکی رتور و تلفات آهنی در استاتور تلفات ثابت هستند و به مجموع آنها **تلفات ثابت** موتور القایی می‌گویند. بنابراین داریم:

$$\text{تلفات ثابت} = P_{Fe} + P_{mis} \qquad (۳-۴۳)$$

پـس تلفات کل موتـور القایی برابـر مجموع تلفات ثابت و تلفات متغیر است.

$$\Delta P = \text{تلفات ثابت} + \text{تلفات متغیر}$$

$$\Delta P = P_{Cus} + P_{jr} + P_{Fe} + P_{mis} \qquad (۳-۴۵)$$

روابـط فوق در حل بسـیاری از مسـائل مربوط به محاسبه راندمان سودمند است.

خود را بیازمایید

۱) چرا در محاسـبات توان تلفاتی و راندمان ماشین القایی از توان راکتیو استفاده نمی شود؟

۲) منظور از توان نامی موتور القایی چیست؟ رابطه آن را نوشته وکمیتهای آن را معرفی کنید.

۳) چرا در موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده با افزایش مقاومت رتور ، راندمان کاهش می یابد؟

۴) منظـور از تلفات ثابت ومتغیر در ماشـین القایی چیست؟

۲۴-مقایسه موتورهای رتور قفسی و رتور سیم‌پیچی

از مزایای اســتفاده از موتور القایی رتور قفسی بجای رتور سیم پیچی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- موتور قفســی در یک توان مشــخص، مقاومت اهمی کمتری در رتور داشــته و لذا تلفات ژولی رتور در آن کمتر است.
- موتور رتور سیم‌پیچی نیاز به حلقه‌های لغزان، جاروبک و سیم پیچی رتور دارد در نتیجه گرانتر از یک موتور رتور قفسی است.
- موتــور قفســی به دلیــل نداشــتن جاروبک و حلقه‌های لغزان، بدنه ی ساده و محکم دارد، لذا هزینه تعمیر و نگهداری آن کمتر است.

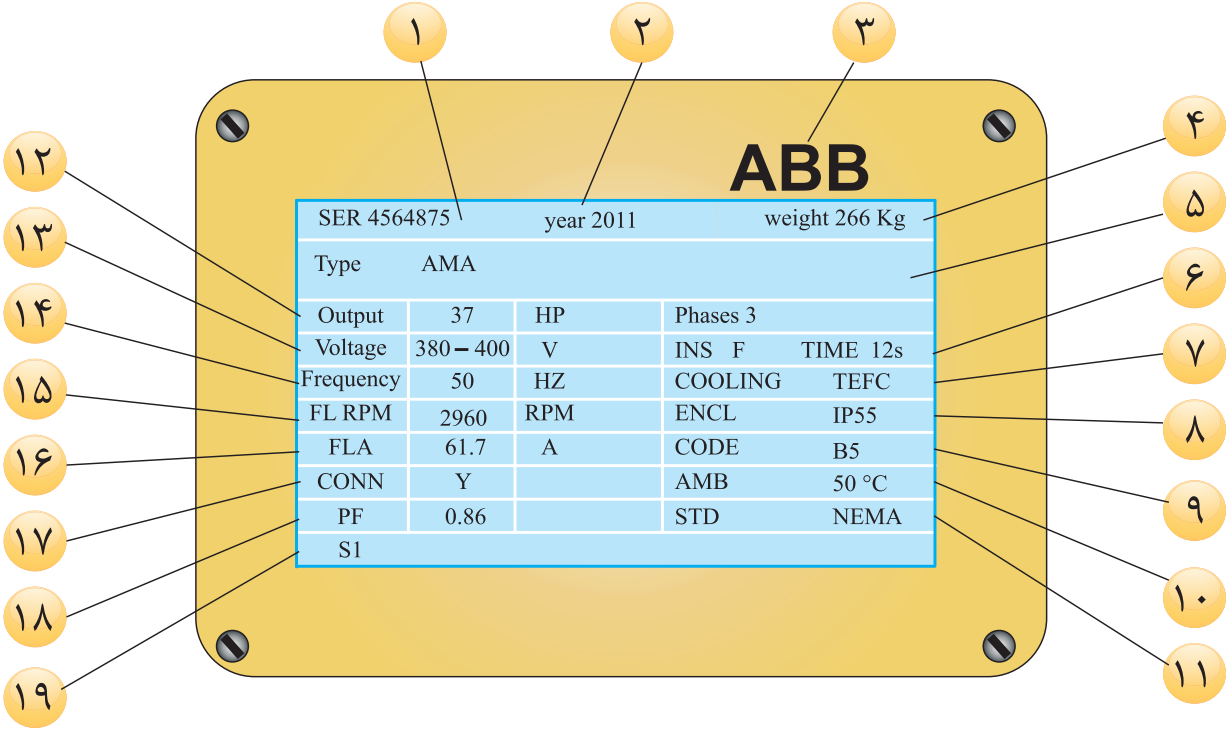
از عیــوب موتور رتور قفســی می‌توان مــوارد زیر را برشمرد:

- گشــتاور راه‌اندازی کمتر نسبت به موتور رتور سیم‌پیچی
- ضریب قدرت کم در هنگام راه‌اندازی

با این حال چون موتورهای رتور قفســی ساختمان ســاده‌ای دارند، تعمیر و نگهداری آنها ساده است و در هر مکانی قابل اســتفاده هســتند و از نظــر قیمت نیز در قــدرت یکســان، ارزان تر از موتور رتور ســیم‌پیچی می‌باشند بدین لحاظ امروزه جایگاه ویژه‌ای برای کاربرد در اکثر صنایع پیدا کرده اند.

۲۵-پلاک خوانی موتورهای القایی و استفاده از برگ مشخصات فنی

در شکل (۶۸) یک نمونه پلاک موتور القایی با توضیحات مربوطه نشان داده شده است . لازم به توضیح است که برگه ی مشخصات فنی همان موتور نیز در ادامه آمده است.



شکل ۶۸ -نمونه پلاک موتور

مشخصه	توضیحات
۱. Serial number	شماره سریال کارخانه ۴۵۶۴۸۷۵
۲. Manufacturing year	سال تولید ۲۰۱۱ به میلادی
۳. Manufacturer	سازنده [ABB]
۴. Machine weight [Kg]	وزن ماشین به کیلوگرم (۲۶۶ کیلوگرم)
۵. Type designation	نوع موتور با توجه به کد کارخانه
۶. Insulation class	کلاس عایقی F با ۱۲ ثانیه تحمل در حالت قفل شدگی رتور
۷. Type of cooling [IC code]	روش خنک سازی TEFC (تقسیم بندی با توجه به استاندارد NEMA)
۸. Degree of protection [IP class]	درجه حفاظتی IP۵۵ (تقسیم بندی با توجه به استاندارد ۶۰۰۳۴-۵)
۹. Mounting arrangement [IM code]	چگونگی نصب B۵(تقسیم بندی با توجه به استاندارد NEMA)
۱۰. Ambient Temprature	دمای محیط ۵۰ درجه سانتیگراد
۱۱. Standard	استاندارد ساخت NEMA
۱۲. Output [Kw] or [Hp]	توان خروجی به کیلو وات یا اسب بخار ۳۷ کیلو وات
۱۳. Stator voltage [V] & Number Of Phase	ولتاژ استاتور به ولت و تعداد فاز ۳۸۰/۴۰۰ ولت سه فاز
۱۴. Frequency [Hz]	فرکانس منبع ۵۰ هرتز
۱۵. Rotating speed [rpm]	سرعت رتور ۲۹۶۰ دور در دقیقه
۱۶. Stator current [A]	جریان استاتور به ۶۱,۷ آمپر
۱۷. Type of connection	ستاره
۱۸. Power factor [cosfi]	ضریب قدرت موتور ۰,۸۶
۱۹. Duty	روش استفاده دائمی (تقسیم بندی با توجه به استاندارد ۶۰۰۳۴-۱) [S۱]

توان خروجی	Output	: 37 kW	
فرکانس	Frequency	: 50 Hz	
تعداد قطب	Poles	: 2	
سرعت نامی	Rated speed	: 2960 rpm	
لغزش	Slip	: 1.33 %	
ولتاژ نامی	Rated voltage	: 400V	
جریان نامی	Rated current	: 67.1 A	
جریان راه اندازی	L. R. Amperes	: 470 A	
نسبت جریان راه اندازی به جریان نامی	Il/In	: 7.0	
جریان بی باری	No load current	: 25.0 A	
گشتاور نامی	Rated torque	: 12.2 kgfm	
گشتاور راه اندازی	Locked rotor torque	: 260 %	
گشتاور ماکزیمم	Breakdown torque	: 280 %	
کلاس عایقی	Insulation class	: F	
زمان تحمل روتور قفل شدن	Locked rotor time	: 12 s (hot)	
ضریب افزایش دما	Service factor	: 1.00	
ضریب قدرت نامی	Rated Power factor	: 0.86	
ضریب قدرت در حالت روتور قفل شده	Locked rotor Power factor	: 0.17	
روش استفاده	Duty cycle	: S1	
دمای محیط	Ambient temperature	: 50°C	
روش خنک سازی	Cooling method	: TEFC	
درجه حفاظت در برابر آب و اتساء خارجی	Enclosure	: IP55	
چگونگی نصب	Mounting	: B5	
جهت چرخش	Rotation	: Counter clockwise	خلاف عقربه ساعت
وزن تقریبی	Aprox. weight*	: 266 kg	

پرسشهای پایان فصل(۳)

۱)نحوه تولید میدان دوار در ماشـین های القایی را توضیح دهید.

۲)چگونه می‌توان جهت میدان را در ماشـین القایی تغییر داد؟

۳)در یک ماشـین القایی با رتور سـیم پیچی شده ؛ اسـتاتور دارای ۲۴ شـیار و ۶قطـب و بااتصال مثلث می‌باشد. در موردتعداد شیار، تعداد قطب و نحوه اتصال سیم پیچی رتور توضیح دهید.

۴)چرا جریـان رتور موتور القایی بعـد از راه‌اندازی کاهش می یابد؟

۵)اجزای تشـکیل دهنده رتور قفسـی را نام برده و وظیفه هر یک را بیان کنید.

۶) اسـتاتور موتور القایی دارای ۸ قطب می‌باشـد، در یک سـیکل کامل جریان عبـوری از آن، رتور چند دور میزند؟

۷)رفتار ماشین را در لغزش ۰ و۱ با یکدیگر مقایسه کنید.

۸) مشـخصه گشتاور - دور ماشـین القایی را رسم نموده و نواحی موتوری، مولدی و ترمزی را در آن نشان دهید.

۹)یک رتور قفسـی، شـیارهای نزدیک به سـطح با سـطح مقطع کوچک دارد ، مقاومت القایی و اهمی آن چگونه است؟

۱۰)چرا در رتور قفسـی هر چه عمق شـیار بیشتر باشد راکتانس القایی رتور بیشتر است؟

۱۱)در روش راه‌اندازی مستقیم چه نکاتی را باید در نظر داشت؟

۱۲)روش راه‌اندازی نرم را توضیح دهید.

۱۳)در لحظه راه‌اندازی موتور القایی رتور سیم پیچی شـده هر چقدر مقاومت اهمی رتور بیشتر باشد ،جریان راه‌اندازی ..... وگشتاور راه‌اندازی..... خواهد بود.

۱۴)مزایا و معایب موتور های القایی رتور سیم پیچی را نسبت به موتورهای رتور قفسی بیان کنید.

۱۵)مشخصه گشتاور- دور موتور القایی جهت کنترل سرعت به روش همزمان ولتاژ و فرکانس را در ۳ مرحله ترسیم نمایید.

۱۶)تفاوت موتور دالاندر و موتور چند سرعته با سیم پیچ مجزا را بیان کنید.

۱۷)آیا می‌توان در موتور ها از روش ترمز مولدی، به تنهایی استفاده نمود؟چرا؟

۱۸)چـرا یک ماشـین القایی که بصـورت مولد کار می‌کند به توان راکتیو احتیاج دارد؟

۱۹)چرا در ماشـینهای القایی تلفات آهنی و تلفات مکانیکی را در تمام مراحل کاری ثابت فرض میکنند؟

۲۰)مشخصات فنی موتور HXR ۴۰۰LD۴۱ را از کاتالوگ صفحه بعد استخراج نمایید.

Output kW	Motor type	Speed r/min	Efficiency Full load 100%	Efficiency 3/4 load 75%	Power factor Full load 100%	Power factor 3/4 load 75%	Current I_N A	Current $\frac{I_s}{I_N}$	Current I_0 A	Torque T_N Nm	Torque $\frac{T_s}{T_N}$	Torque $\frac{T_{max}}{T_N}$	Motor weight kg
		6000 V 50 Hz				1500 r/min = 4 poles							
160	HXR 355LA4 1	1487	94.6	94.3	0.82	0.77	20	5.6	8	1028	0.9	2.2	1720
180	HXR 355LA4 2	1486	94.7	94.5	0.81	0.77	23	5.4	9	1157	0.8	2.0	1730
200	HXR 355LA4 3	1486	94.9	94.8	0.83	0.79	25	5.3	10	1285	0.8	2.1	1730
224	HXR 355LC4 1	1486	95.0	94.9	0.82	0.79	28	5.3	11	1440	0.8	2.1	1730
250	HXR 355LC4 2	1486	95.3	95.3	0.83	0.80	30	5.5	11	1606	0.8	2.1	1830
280	HXR 355LC4 3	1487	95.4	95.3	0.84	0.81	34	6.5	13	1798	1.1	2.3	1780
315	HXR 355LE4	1488	95.6	95.6	0.85	0.81	37	6.5	14	2021	1.1	2.3	1970
355	HXR 400LC4	1486	96.0	96.0	0.86	0.84	41	5.2	13	2281	0.7	2.0	2530
400	HXR 400LD4 1	1487	96.2	96.2	0.86	0.83	47	5.5	15	2568	0.8	2.1	2660
450	HXR 400LD4 2	1490	96.5	96.5	0.87	0.85	52	6.2	16	2884	0.9	2.2	2720
500	HXR 400LE4	1490	96.6	96.6	0.88	0.86	57	6.1	17	3204	0.9	2.1	2850
560	HXR 400LG4	1491	96.8	96.8	0.87	0.85	64	6.3	19	3587	0.9	2.2	3100
630	HXR 450LE4	1492	96.9	96.8	0.87	0.84	72	6.6	24	4031	0.8	2.4	3810
710	HXR 450LG4	1492	97.0	97.0	0.88	0.86	80	6.4	24	4545	0.8	2.3	4130
800	HXR 450LJ4	1492	97.2	97.2	0.88	0.87	90	6.3	25	5121	0.8	2.2	4450
900	HXR 500LF4	1491	97.1	97.1	0.89	0.87	100	6.1	28	5763	0.8	2.2	5430
1000	HXR 500LG4	1492	97.2	97.2	0.89	0.87	112	6.2	32	6401	0.8	2.2	5690
1120	HXR 500LJ4	1493	97.3	97.3	0.88	0.86	125	6.6	37	7165	0.8	2.3	6080
1250	HXR 500LP4	1493	97.5	97.5	0.88	0.86	140	6.5	42	7994	0.8	2.3	7030

مسایل پایانی فصل ۳

۱) یک ماشین القایی شش قطب، ۶۰HZ با سرعت ۸۸۰RPM می چرخد . بدست آورید:

الف) سرعت میدان دوار

ب)سرعت لغزش

ج) مقدار لغزش

۲)کمیتهای رتور یک موتور القائی ۵۰HZ در لحظه راه‌اندازی به ترتیب :

$X_{۲}=۲\Omega$ ، $R_{۲}=۰/۵\Omega$ ، $E_{۲}=۵۰v$ می‌باشد.

مطلوب است محاسبه هر یک از کمیتهای فوق در لغزش ۱۵ درصد

۳)یک موتور القایی ۴ قطب ۵۰ هرتز در لحظه راه‌اندازی دارای مقاومت اهمی ۰/۴ Ω و راکتانس ۱/۲ Ω می‌باشد. چنانچه ولتاژ القایی هر فاز رتور ۴۵ ولت باشد، جریان وضریب قدرت رتور را در حالات زیر بدست آورید:

الف) در راه‌اندازی

ب) در سرعت ۱۳۵۰ RPM

۴)اگر در یک ماشین القایی مقادیر ولتاژ، مقاومت القایی و مقاومت اهمی به ترتیب ۴۰V، ۱/۵ Ω ، ۰/۶ Ω ، باشد بدست آورید:

الف) در چه لغزشی جریان رتور ۲/۵ آمپر خواهد شد؟

ب)در چه لغزشی اختلاف فاز رتور ۴۵ درجه خواهد شد؟

ج) اگر سرعت میدان دوار ۱۰۰۰ RPM باشد در چه سرعتی گشتاور ماکزیمم اتفاق می افتد؟

۵)توان الکترومغناطیسی یک موتور القایی ۶۴۰۰ وات وتلفات استاتور ۳۶۰ وات وراندمان ۸۹ درصد می‌باشد. توانهای ورودی وخروجی موتور را بدست آورید.

۶)توان دریافتی یک موتور القایی از شبکه ۴۰۰ ولت در بار نامی برابر با ۶۸۵۰W و توان الکترومغناطیسی آن ۶۳۴۰ وات است . اگر تلفات آهنی موتور ۲۳۰ W و ضریب قدرت موتور ۰/۸۷ باشد. بدست آورید:

الف)تلفات مسی استاتور

ب) جریان دریافتی موتور از شبکه

۷)یک موتور القایی ۴۰۰ ولت ، در بار نامی ۳۵۰ آمپر از شبکه دریافت می‌کند. چنانچه مجموع تلفات ۲۰ کیلو وات و ضریب قدرت آن ۰/۸۳ باشد ، بدست آورید:

الف) توان دریافتی از شبکه

ب) توان خروجی

ج) راندمان موتور

۸) یک موتور القایی ۶ قطب در شبکه ۴۰۰V ، ۵۰ HZ بار مکانیکی نامی با توان ۳۵۰۰W را می چرخاند. اگر تلفات ژولی رتور ۱۸۹W وتلفات مکانیکی آن ۸۱W باشد بدست آورید:

الف)توان الکترومغناطیسی

ج)گشتاورالکترومغناطیسی

د) لغزش موتور در نقطه کار و سرعت رتور

ه) گشتاور خروجی