

ماشینهای الکتریکی سه فاز

جلسه اول

مقدمه

ساده‌تر از موتورهای DC است. ولی مکانیزم عملکرد، کنترل سرعت و گشتاور در این نوع موتورها نیازمند درک عمیق‌تری از مفاهیم الکتریسیته و مغناطیس می‌باشد. این نوع موتور در قدرت‌های متنوع (کسری از کیلووات تا چند ده مگاوات) ساخته و بهره‌برداری می‌شوند.

موتورهای القایی سه فاز، پرکاربردترین موتورهای هستند که برای به حرکت درآوردن، چرخ‌های صنعت از آنها استفاده می‌شود. طراحی ساده و مستحکم، قیمت ارزان، هزینه نگهداری پایین و اتصال آسان به منبع سه فاز امتیازات اصلی موتورهای القایی هستند. با اینکه ساختمان موتورهای القایی سه فاز به مراتب



شکل ۱- انواع موتورهای الکتریکی و کاربرد آن در صنعت

۳-۱- ساختمان ماشین‌های القایی

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

در شکل (۲) ساختمان ماشین القایی نشان داده شده است.

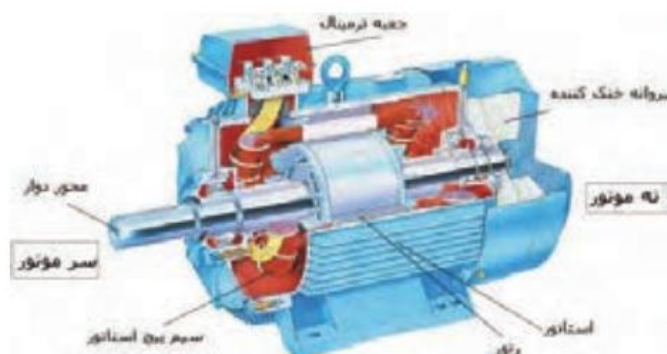
۳-۱-۱- استاتور : استاتور ماشین القایی، شامل بدنه،

هسته مغناطیسی، سیم‌پیچ‌ها و یاتاقان‌ها می‌باشد.^۱

هسته استاتور، مجموعه‌ای از ورق‌های فولادی است که دارای شیار در سطح داخلی آن مطابق شکل (۳-الف) می‌باشد که پس از قرار گرفتن در کنار هم تشکیل یک حجم استوانه‌ای توخالی را مطابق شکل (۳-ب) می‌دهد.

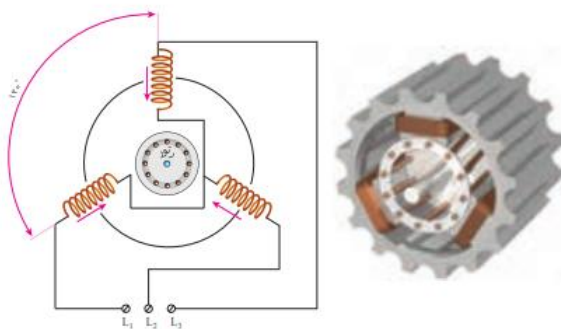
سیم‌پیچ‌های سه فاز ماشین القایی در داخل همین شیارها قرار می‌گیرند.

در فصل ۱ با پدیده هیستریزس و فوکو آشنا شدید. در ماشین‌های القایی نیز به دلیل تلفات هیستریزس، جنس هسته باید از فولاد الکتریکی با پسماند کم^۲ انتخاب شود تا تلفات هیستریزس ماشین به حداقل ممکن برسد. همچنین برای کاهش تلفات فوکو نیز از روش ورق، ورق کردن هسته بهره می‌گیرند. ابعاد هسته استاتور به گونه‌ای است که به راحتی در بدنه فولادی، چدنی یا آلومینیومی استاتور محکم می‌شود این بدنه به صورت پره دار ساخته می‌شود تا برای تهویه بهتر، سطح تماس بیشتری با هوای محیط (سطح بیرونی) خود داشته باشد. وظیفه بدنه، پوشش نهایی ماشین القایی می‌باشد که هسته و سیم‌پیچ‌ها را در خود جای داده است و ضمن محافظت ماشین در برابر ورود اجسام خارجی امکان نصب ماشین را فراهم می‌کند. همچنین برای اتصال سیم‌پیچ‌ها روی بدنه ماشین جعبه ترمینال^۳ قرار می‌گیرد.



شکل ۲- اجزای تشکیل دهنده یک موتور القایی

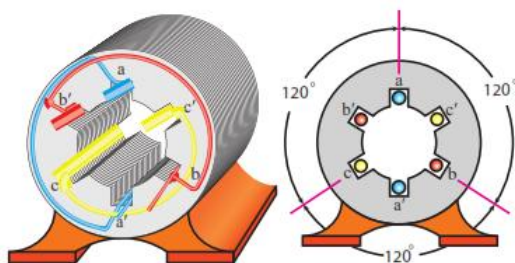
۲-۱-۳- سیم پیچ: استاتور ماشین القایی سه فاز با توجه به محیط 360° دایره‌ای شکل خود باید حداقل دارای سه سیم پیچ با اختلاف زاویه 120° مکانی از هم مطابق شکل (۴) باشد.



به اختلاف مکانی 120° درجه سیم پیچ توجه کنید.

شکل ۴- استقرار سیم پیچ‌های ماشین القایی و مدار الکتریکی آن

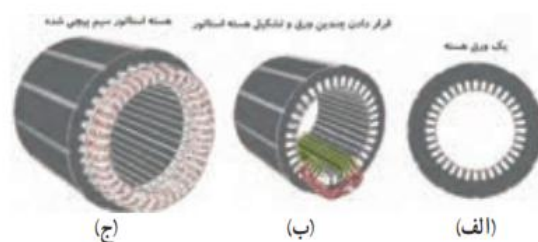
در عمل سیم پیچ‌های سه فاز استاتور ماشین القایی احتیاج به حداقل ۶ شیار مطابق شکل (۵) دارند. سیم پیچ‌ها به گونه‌ای جاسازی می‌شوند که هر سیم پیچ با دیگری 120° درجه اختلاف فاز مکانی داشته باشد. در این شکل سه دسته سیم پیچ با حروف (aa', bb', cc') مشخص شده‌اند. در ماشین‌های القایی صنعتی شیارهای استاتور بیشتر از این تعداد می‌باشند.



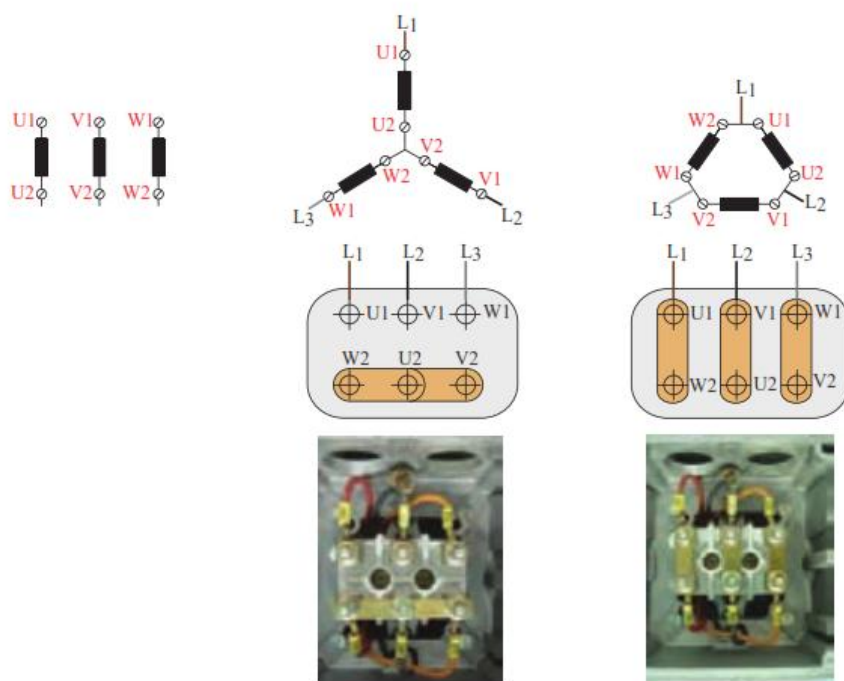
شکل ۵- استاتور ماشین الکتریکی سه فاز دو قطب شامل سه کلاف تک حلقه

به علاوه دو درپوش و یاتاقان‌های طرفین ماشین به گونه‌ای طراحی می‌شوند که قسمت متحرک ماشین (رتور) به راحتی در داخل استاتور بچرخد و تکیه‌گاه مکانیکی مناسبی برای رتور فراهم شود. این بخش در ساختار الکتریکی ماشین نقشی ندارد و جزو تجهیزات مکانیکی ماشین به حساب می‌آید.

در موتورهای سنگین که جابه‌جایی آن برای افراد میسر نیست، یک قلاب در بالای بدنه ماشین پیش‌بینی می‌شود که بتوان با جرثقیل آن را جابه‌جا نمود.



شکل ۳- هسته استاتور، بدنه و سیم پیچ استاتور



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

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 می دهد.



شکل ۷- رتور قفسی در ابعاد مختلف

در ماشین های القایی، سر و ته سیم پیچ ها (aa' , bb' , cc') را به داخل جعبه ترمینال می آورند تا به ترمینال های خروجی متصل شوند. بدین ترتیب تغییر اتصال ستاره و یا مثلث در جعبه ترمینال بسیار ساده مانند شکل (۶) می باشد.

۳-۱-۲ رتور: رتور ماشین های القایی بر دو نوع

است:

- رتور قفسی
- رتور سیم پیچی شده

هسته هر دو نوع رتور از ورقه های مغناطیسی دایره ای شکلی تشکیل شده اند که از مرکز آن محور فولادی رتور عبور کرده است. محور فولادی رتور بایستی از نظر مکانیکی از استحکام کافی برخوردار بوده ولی از نظر خاصیت مغناطیسی ضعیف باشد.

۳-۱-۴ 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.

۵-۱-۳- رتور سیم پیچی شده (Wound rotor):

بر روی این نوع رتور سه دسته سیم پیچ با اختلاف مکانی 120° درجه مانند استاتور ماشین القایی سه فاز با همان تعداد قطب پیچیده می شوند. این سیم پیچ ها نسبت به بدنه رتور عایق شده است. نمایی از این نوع رتور در شکل (۸) دیده می شود.



شکل ۸- رتور سیم پیچی شده در ابعاد مختلف

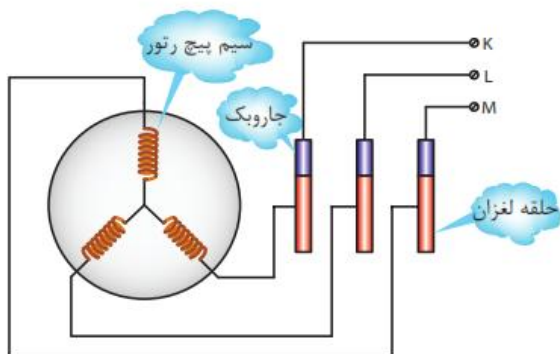
نکات قابل توجه در رابطه با ماشین های القایی رتور سیم پیچی عبارتست از:

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

ب) تعداد قطب های سیم پیچی رتور باید برابر با تعداد قطب های سیم پیچی استاتور باشد.

سیم پیچ های رتور اغلب با اتصال ستاره^۱ به هم وصل می شوند و سه سر دیگر سیم پیچ ها توسط حلقه های لغزان^۲ و جاروبک به بیرون رتور جهت اتصال به مقاومت راه انداز انتقال داده می شوند.

بدین ترتیب در ماشین های القایی رتور سیم پیچی، امکان دسترسی به مدار داخلی رتور وجود دارد. مدار الکتریکی و اتصال سیم پیچ های رتور به حلقه های لغزان در شکل (۹) نشان داده شده است.



شکل ۹- مدار الکتریکی رتور سیم پیچی

خود را بیازمایید



- ۱- مزیت های ماشین القایی جریان متناوب نسبت به ماشین های جریان مستقیم را بیان کنید.
- ۲- به قسمت ثابت ماشین القایی... و به قسمت متحرک آن... می گویند.
- ۳- قسمت های اصلی استاتور ماشین القایی را نام ببرید.
- ۴- چرا هسته استاتور ماشین های القایی را به صورت ورقه ورقه و با پسماند کم می سازند؟
- ۵- اجزای تشکیل دهنده رتور قفسی را نام ببرید.

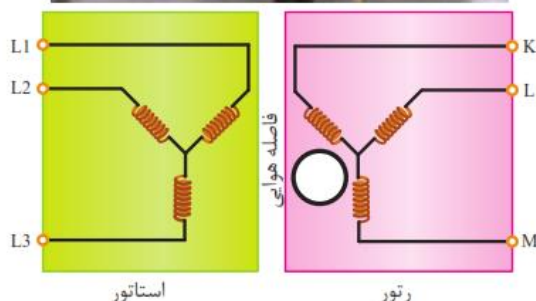
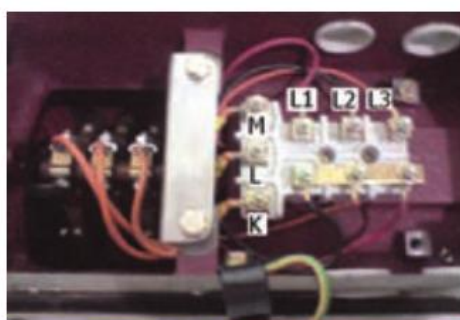
۱- گاهی در صنعت می توان موتورهای القایی رتور سیم پیچی شده ای یافت که سیم پیچ های رتور آن با اتصال مثلث به هم وصل شده باشند.

جلسه دوم

۳-۲- اساس کار موتورهای القایی

مطابق شکل (۱۰)، مدار الکتریکی موتور القایی سه فاز رتور سیم پیچی شده مانند یک ترانسفورماتور سه فاز است. در واقع هر دو از اثر القای نیروی محرکه در سیم پیچ طرف دیگر استفاده می کنند لذا به این موتور ها، موتور های القایی گفته می شود. البته در ساختار موتور القایی بین سیم استاتور (اولیه) و رتور

(ثانویه) علاوه بر هسته مغناطیسی، فاصله هوایی نیز وجود دارد و از آنجا که در قدرت های یکسان، نیروی محرکه مغناطیسی بیشتری جهت غلبه بر تلفات مکانیکی رتور و مقاومت مغناطیسی ناشی از فاصله هوایی بین استاتور و رتور مورد نیاز است، بنابراین در قدرت یکسان جریان بی باری موتور های القایی نسبت به ترانسفورماتور ها بیشتر می باشد.



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

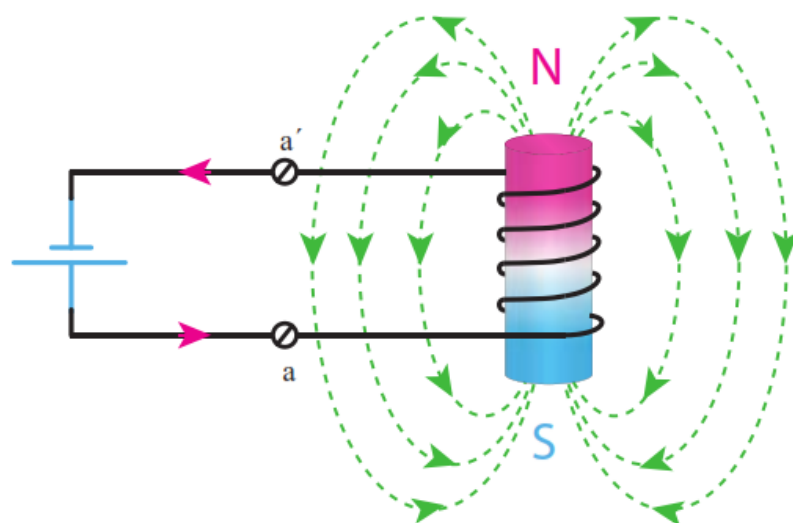
۳-۳- پدیده میدان دوار در ماشین های القایی

در این بخش پس از معرفی ساختار ماشین القایی سه فاز، ثابت می شود که چگونه با عبور جریان سه فاز از سه سیم پیچ استاتور ماشین القایی می توان میدان دوار ایجاد کرد به طوری که این میدان پیرامون هسته استاتور گردش نموده و بدین ترتیب شرایط لازم برای چرخش رتور را فراهم کند. البته برای اثبات موضوع فوق از معادلات ریاضی بهره

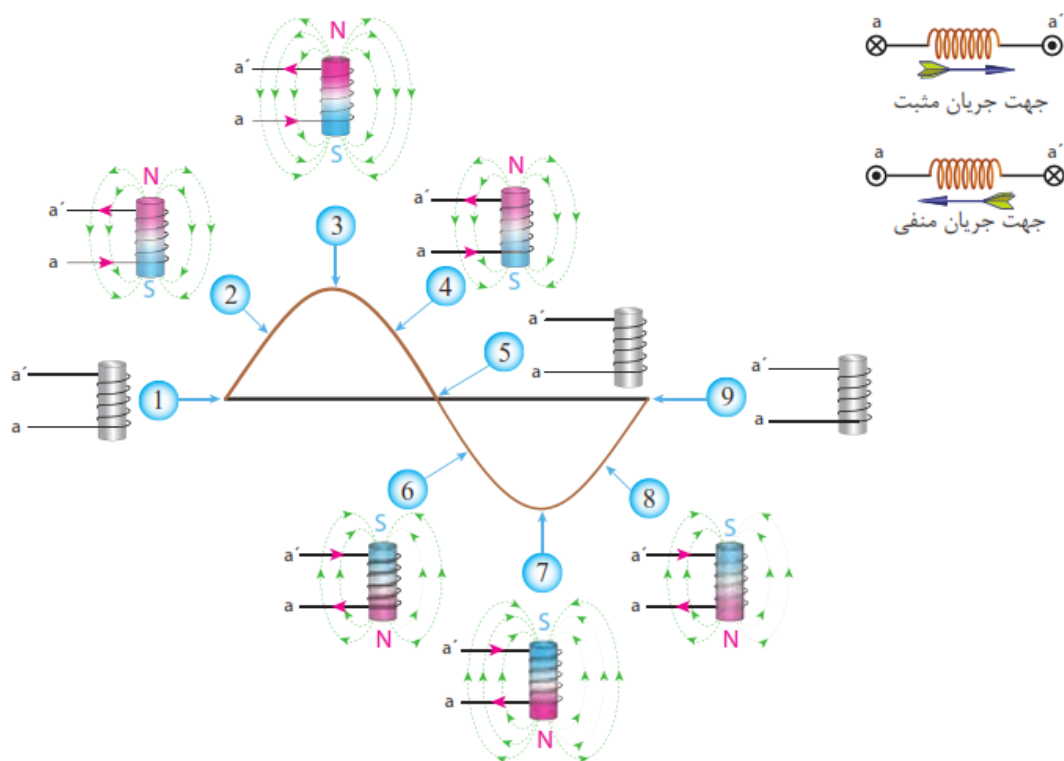
می گیرند ولی از آنجا که می توان این موضوع را با دلایل فیزیکی نیز شرح داد، لذا برای اثبات میدان دوار از تشریح فیزیکی میدان استفاده می گردد.

در آغاز انواع میدان های ایجاد شده توسط جریان های مستقیم و متناوب یادآوری می شود. مطابق شکل (۱۱) با عبور جریان DC از یک سیم پیچ می توان میدان ثابت ایجاد کرد. زیرا اندازه و جهت این میدان همواره ثابت است. همچنین با عبور

پای متناوب تک فاز میدانی متغیر ایجاد می‌شود که به صورت
 ضربانی می‌گویند. جهت میدان‌های مغناطیسی اطراف سیم پیچ در
 جریانی جهت آن در هر نیم سیکل مرتب تغییر می‌کند که به آن میدان
 جریان متناوب تک‌فاز مطابق شکل (۱۲) می‌باشد.



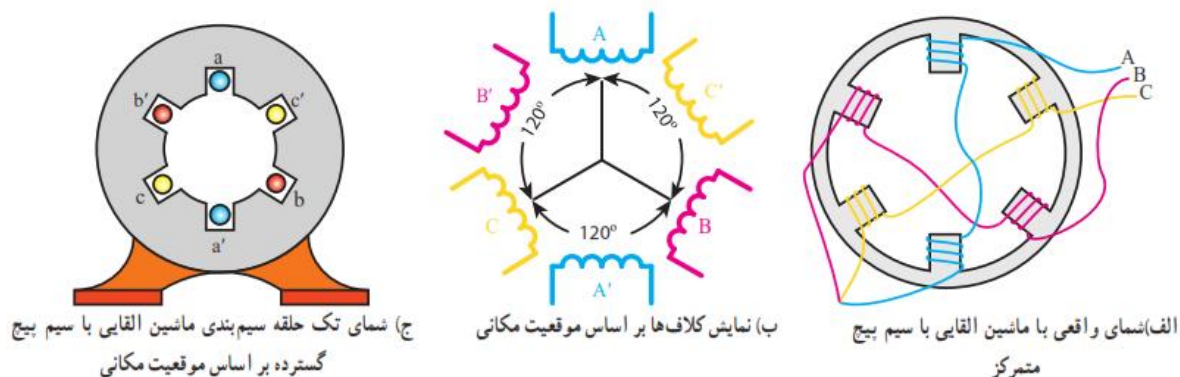
شکل ۱۱- میدان مغناطیسی حاصل از منبع جریان مستقیم



شکل ۱۲- جهت میدان مغناطیسی سیم پیچ در جریان متناوب

پیکان نشان داده شده در شکل ۱۲ جهت جریان فرضی وارد و خارج شده از سیم پیچ 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 خواهد شد.

شکل (۱۳- الف) سیم‌بندی سه فاز ماشین القایی دوقطبی ساده را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۳- ب، ج)، سیم‌پیچ‌های سه فاز a, b, c در بدنه استاتور، با اختلاف 120° درجه مکانی نسبت به یکدیگر جاسازی شده‌اند در این ماشین بازوی برگشت سیم‌پیچ‌های هر فاز استاتور، ماشین



(د) شکل واقعی ماشین القایی سیم پیچ متمرکز مدل آزمایشگاهی

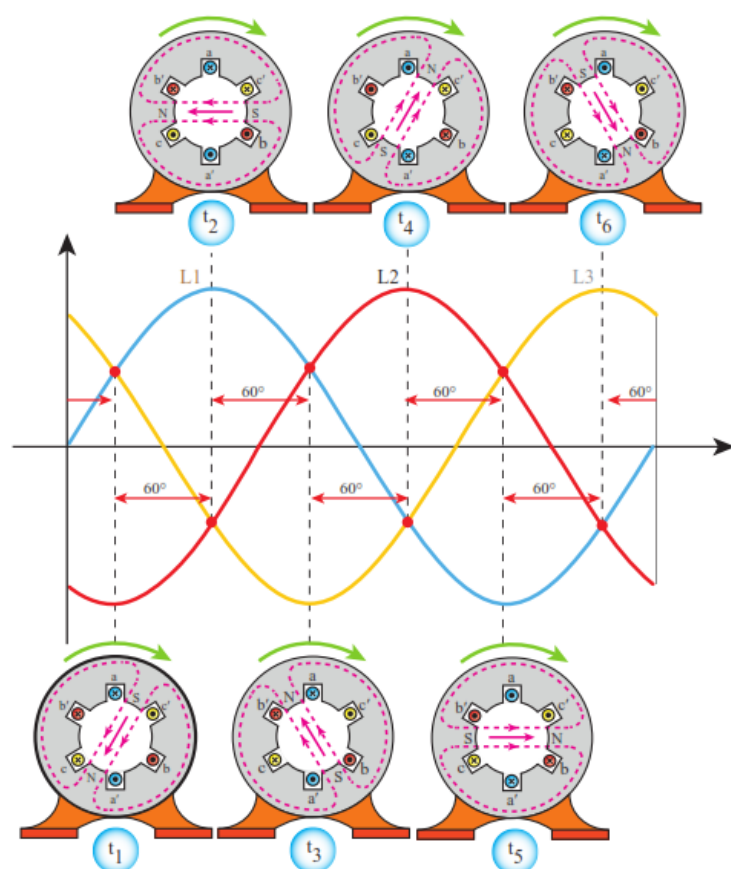
شکل ۱۳- ماشین القایی سه فاز

را به دو نیم تبدیل نموده است یعنی بازوی رفت سیم پیچ مثلاً a با بازوی برگشت آن یعنی a' ، 180° درجه اختلاف مکانی دارد بنابراین در این ماشین القایی میدان دو قطبی ایجاد می‌شود.

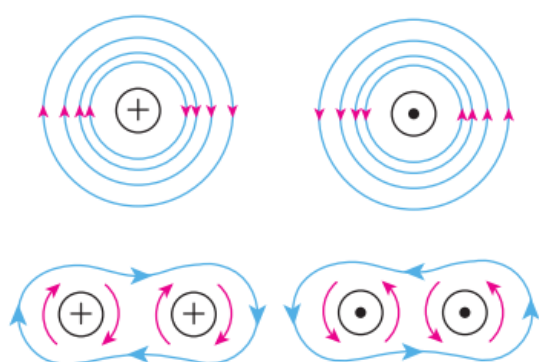
برای شروع انتهای سیم‌پیچ‌های سه فاز استاتور یعنی (a', b', c') را با اتصال ستاره به هم متصل کرده و ابتدای آنها یعنی (a, b, c) را به منبع برق سه فاز با ولتاژ مناسب، وصل می‌کنند. بلافاصله پس از اتصال برق سه فاز به سیم‌پیچ‌های

استاتور، جریان الکتریکی در آن جاری می‌شود و سپس در هادی‌های هر سیم پیچ متناسب با جهت جریان عبوری از آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود.

برای تحلیل آسان‌تر میدان دوار، اندازه و جهت جریان‌های سه فاز در شکل (۱۴) در زمان‌های t_1 تا t_6 در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه فاصله هر یک از نمونه‌های زمانی 60° درجه از یکدیگر می‌باشد. بنابراین با تحلیل این ۶ نقطه می‌توان گردش کامل میدان دوار را در مسیر دایره‌ای (یعنی 360° درجه) بررسی نمود.



شکل ۱۴- میدان دوار استاتور در یک دوره تناوب



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

جدول (۱) تحلیل جهت جریان هر یک از سیم پیچ ها را در یک دوره تناوب شکل موج سه فاز نشان می دهد. جهت جریان هادی های هر شیار و وضعیت میدان های مغناطیسی استاتور در هر یک از زمان های t_1 تا t_6 به کمک جدول (۱) به دست می آید. از آنجا که شیارهای استاتور، هادی های 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 می توان جدول (۱) را کامل نمود. بنابراین با توجه به میدان مغناطیسی اطراف هادی های هم جوار، جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در هر لحظه به دست می آید.

به عنوان نمونه با توجه به شکل موج جریان‌های سینوسی سه فاز، در لحظه t_1 فاز a مثبت، فاز b منفی و فاز c مثبت است. پس علامت جهت جریان در ابتدای سیم پیچ a ، $\otimes$ و در انتهای آن یعنی a' ، $\odot$ درج می‌شود. این علامت‌ها 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.

جدول ۱- جهت جریان سیم پیچ‌های استاتور

	علامت جریان هر فاز			جهت جریان در مقاطع سیم پیچ						
	I_a	I_b	I_c	a	a'	b	b'	c	c'	
t_1	+	-	+	$\otimes$	$\odot$	$\odot$	$\otimes$	$\otimes$	$\odot$	
t_2	+	-	-	$\otimes$	$\otimes$	$\odot$	$\otimes$	$\odot$	$\odot$	
t_3	+	+	-	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$	$\odot$	$\odot$	
t_4	-	+	-	$\odot$	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$	$\odot$	$\odot$	
t_5	-	+	+	$\odot$	$\odot$	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$	$\odot$	
t_6	-	-	+	$\odot$	$\odot$	$\odot$	$\otimes$	$\otimes$	$\otimes$	

جهت گردش میدان



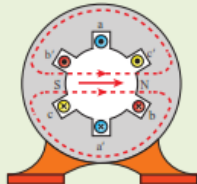
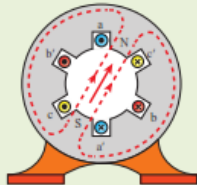
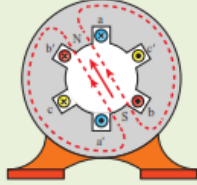
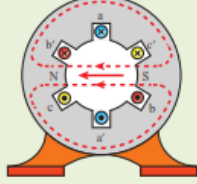
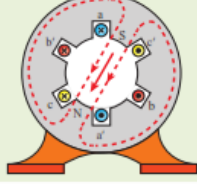
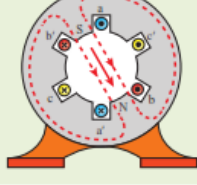
۳-۲- تغییر جهت چرخشی میدان دوار

شکل (۱۶) انجام شده است.

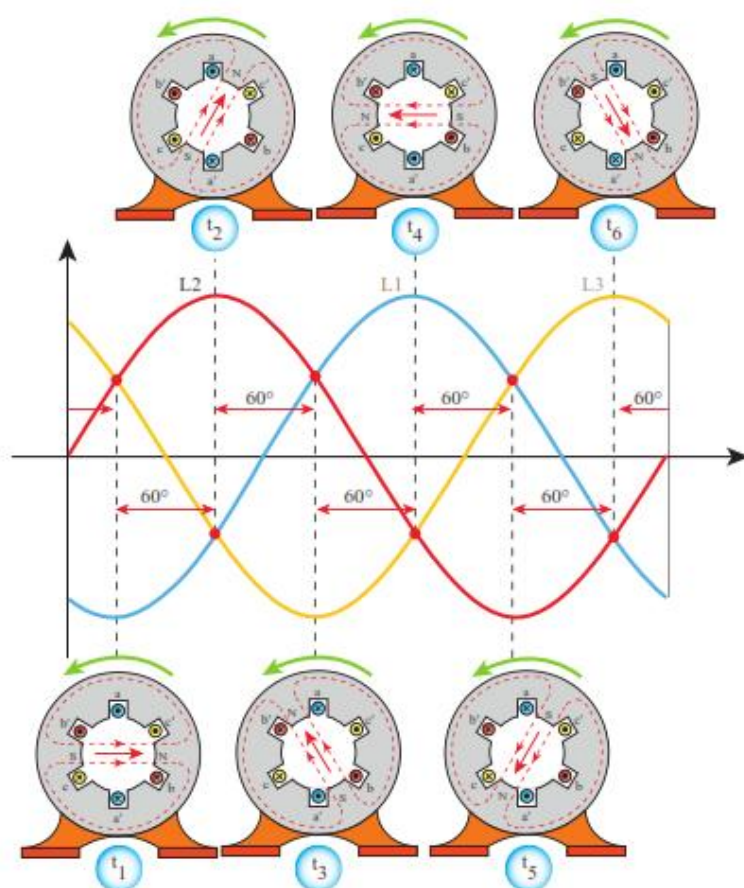
شکل (۱۶) جهت چرخش میدان مغناطیسی دوار را با تعویض جای فاز a و b نمایش می‌دهد. از این روش برای تغییر جهت گردش موتور القایی استفاده می‌شود.

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

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

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
←



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

جلسه سوم

۳- عوامل مؤثر در سرعت میدان دوار

همانطور که ملاحظه کردید برای ترسیم میدان دوار از موج جریان‌های سه فاز در فواصل منظم و در یک دوره ب استفاده می‌شود. حالا تصور کنید هر چه دوره تناوب زمان کوتاه‌تری تکرار گردد مسلماً سرعت چرخشی میدان نیز بیشتر خواهد شد و بالعکس با افزایش زمان دوره تناوب مدت میدان دوار کندتر می‌شود.

یکی از کمیت‌های شبکه برق متناوب، فرکانس f است که با تناوب T نسبت عکس دارد. پس می‌توان نتیجه گرفت یکی از عوامل مؤثر بر سرعت میدان دوار، فرکانس شبکه برق می‌باشد از آنجا که فرکانس متناسب با عکس زمان تناوب است، بنابراین هس فرکانس، سرعت چرخش میدان دوار، کم می‌شود و با ش فرکانس، سرعت چرخش میدان دوار زیاد می‌شود. سرعت میدان دوار ماشین القایی را با n_s نمایش می‌دهند را سرعت سنکرون می‌نامند.

سرعت میدان دوار متناسب با فرکانس است بنابراین رسیم:

$$n_s \propto f$$

از آنجا که جریان عبوری از سیم پیچ‌ها در یک دوره تناوب

فقط یکبار تغییر جهت می‌دهند، می‌توان نتیجه گرفت که قطب‌های S و N میدان دوار در این مدت فقط یکبار عوض می‌شود. بنابراین در یک ماشین دو قطبی که قطب‌ها (360°) درجه محیط استاتور را اشغال کرده‌اند در یک دوره تناوب، میدان دوار یک دور محیط استاتور را طی می‌کند در حالی که در یک ماشین چهار قطبی که هر دو قطب آن (180°) درجه محیط استاتور را اشغال کرده است در یک دوره تناوب، میدان دوار تنها نیم دور (180°) درجه محیط استاتور را طی می‌کند. پس می‌توان نتیجه گرفت، افزایش تعداد قطب‌های استاتور باعث کم 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 $\frac{2}{p}$ متناسب است.

$$n_s \propto \frac{2}{p}$$

p تعداد قطب‌ها

n_s سرعت میدان دوار

جدول ۳- اثر افزایش تعداد قطب ماشین القایی بر سرعت رتور

تعداد قطب‌ها	محیط اشغال شده توسط یک جفت قطب	چرخش میدان در یک دوره تناوب
۲	$\frac{360^\circ}{\frac{2}{2}} = \frac{360^\circ}{1} = 360^\circ$	$\frac{2}{2} = 1$ یک دور کامل
۴	$\frac{360^\circ}{\frac{4}{2}} = \frac{360^\circ}{2} = 180^\circ$	$\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ نیم دور
۶	$\frac{360^\circ}{\frac{6}{2}} = \frac{360^\circ}{3} = 120^\circ$	$\frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ ثلث دور
...	...	...
p	$\frac{360^\circ}{\frac{p}{2}}$	$\frac{2}{p}$ دور

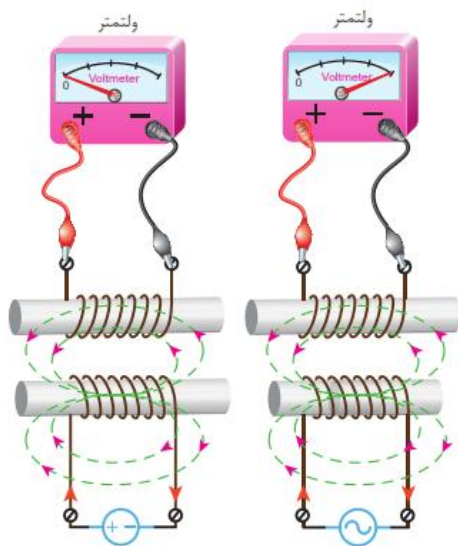
خود را بیازمایید



- ۱- در ماشین القایی هر چقدر دوره تناوب بزرگ تر باشد سرعت میدان دوار است.
- ۲ چرا در ماشین های القایی هر چقدر تعداد قطب ها بیشتر باشد سرعت میدان دوار کمتر می شود؟
- ۳ سرعت میدان دوار ماشین القایی ۱۰۰۰ RPM و فرکانس شبکه ۵۰ Hz می باشد. تعداد قطب های ماشین را به دست آورید.

۳-۶- نحوه ایجاد چرخش رتور در موتورهای القایی

تغییرات فوران عامل ایجاد نیروی محرکه القایی در سیم پیچ است. از آنجا که جریان DC فوران با مقدار ثابت تولید می کند لذا سیم پیچ حامل جریان DC در سیم پیچ مجاور خود نیروی محرکه القا نمی کند.



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

رابطه سرعت میدان دوار با در نظر گرفتن هر دو عامل فرکانس و تعداد قطب های سیم پیچی به صورت زیر نوشته می شود :

$$n_s = \frac{2 \times f}{P} \quad (3-1)$$

(n_s بر حسب دور در ثانیه)

سرعت میدان دوار در رابطه (۳-۱) بر حسب دور بر ثانیه می باشد ولی از آنجا که سرعت ماشین های دوار را معمولاً بر حسب دور بر دقیقه (RPM) نمایش می دهند، لذا رابطه سرعت میدان دوار به صورت رابطه (۳-۲) خواهد شد.

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} \quad (3-2)$$

در رابطه (۳-۲) :

n_s سرعت میدان دوار بر حسب RPM

f فرکانس شبکه برق بر حسب Hz

P تعداد قطب های سیم بندی ماشین القایی

به یاد داشته باشید که فرکانس در شبکه های برق ثابت است در نتیجه حداکثر سرعت میدان دوار در ماشین القایی دو قطبی ایجاد می شود.

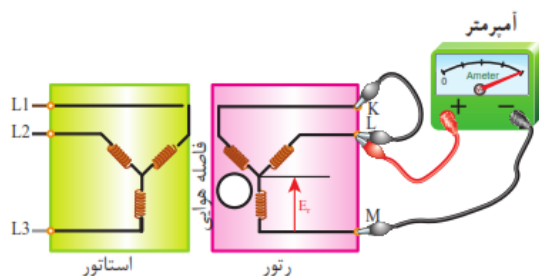
مثال : سرعت میدان دوار یک ماشین ۲ قطبی در شبکه برق

ایران با فرکانس (۵۰ Hz) چقدر است؟

$$n_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ RPM}$$

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

که سیم پیچ استاتور به برق اتصال داشته باشد رتور به حرکت خود ادامه خواهد داد.

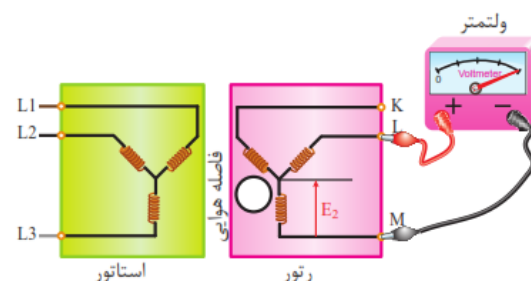


شکل ۱۹- مدار الکتریکی ماشین القایی رتور سیم پیچی شده در حالی که استاتور آن توسط منبع سه فاز برقرار و مدار رتور آن اتصال کوتاه است

ولتاژ القاء شده در مدار بسته رتور باعث جاری شدن جریان در سیم پیچ های آن می شود.

آمپر متر شکل (۱۹) جریان یکی از فازهای سیم پیچ رتور را نشان می دهد. این جریان را جریان رتور می نامند و آن را با I_r نمایش می دهند.

با اتصال سیم پیچ استاتور ماشین القایی رتور سیم پیچی شده به منبع ولتاژ متناوب و ایجاد میدان دوار در استاتور طبق قانون القای فارادی، نیروی محرکه ای متناسب با آهنگ تغییرات فوران در سیم پیچ های رتور القاء خواهد شد. اما، با باز بودن مدار خروجی K, L, M رتور شکل (۱۸)، رتور حرکت نمی کند و با قرار دادن یک ولت متر مطابق شکل (۱۸) در دو سر سیم پیچی رتور می توان مقدار نیروی محرکه القایی سیم پیچی رتور را اندازه گرفت. از آنجا که رتور در این حالت ساکن است و چرخش ندارد، این نیروی محرکه القایی را ولتاژ حالت سکون رتور می نامند و آن را با E_r نمایش می دهند.



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

خود را بیازمایید



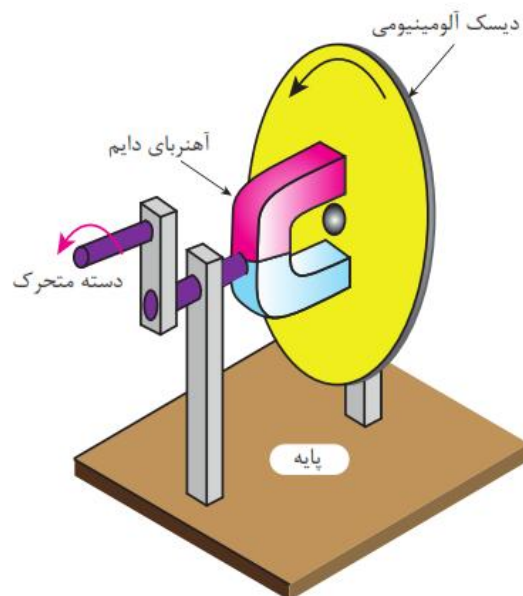
- ۱- چرا برای به چرخش در آمدن رتور ماشین القایی علاوه بر میدان دوار، سیم پیچی رتور نیز باید حامل جریان باشد؟
- ۲- منظور از ولتاژ حالت سکون در ماشین القایی با رتور سیم پیچی شده چیست؟
- ۳- هرچقدر اختلاف سرعت رتور و میدان دوار کمتر باشد ولتاژ القایی در رتور است.

در واقع با ایجاد میدان دوار استاتور، نیروی محرکه E_r در سیم پیچی رتور القاء می شود ولی از آنجا که جریانی از مدار رتور عبور نمی کند در نتیجه نیروی لورنس هم به سیم پیچی رتور وارد نمی شود.

در صورتی که بخواهیم به رتور نیروی لورنس وارد شود باید در سیم پیچی رتور جریان جاری شود. بنابراین اگر حلقه های خروجی مدار رتور مطابق شکل (۱۹) به یکدیگر اتصال داده شوند و آمپر متر در مسیر M و L قرار گیرد، مدار رتور بسته می شود و در سیم پیچی رتور جریان جاری می شود و نیروی لورنس پدید می آید لذا رتور حول محورش می گردد و تا زمانی

۷-۳- موتورهای القایی رتور قفس سنجایی

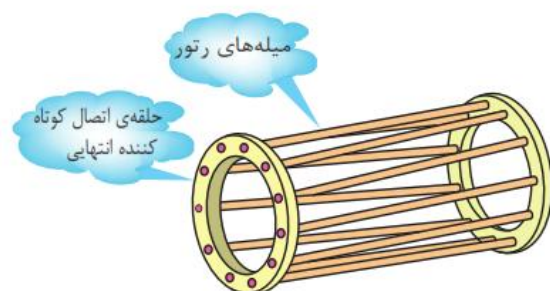
شکل (۲۰) چگونگی چرخش رتور قفسی در موتورهای القایی را به سادگی نمایش داده است. شما می‌توانید با تهیه وسایل نشان داده شده، این آزمایش را انجام دهید. در این آزمایش با چرخاندن دسته متحرک، آهنربای دائم می‌چرخد و در پی آن دیسک آلومینیومی نیز که اندکی از آهنربا فاصله دارد به حرکت در می‌آید.



شکل ۲۰- یک وسیله ساده برای فهم بهتر اثر میدان دوار در چرخش دیسک

آیا با توجه به چرخش میدان و تغییر میدان مغناطیسی در دیسک آلومینیومی مطابق آنچه در شکل (۲۰) می‌بینید، می‌توان نتیجه گرفت که عامل چرخش دیسک القای نیروی محرکه و ایجاد جریان القایی در آن است؟

در شکل (۲۱) ابتدا و انتهای مفتول‌ها به یکدیگر متصل و در نتیجه مدار اتصال کوتاه شده‌ای در هادی‌های رتور ایجاد شده است و از آنجا که شکل ایجاد شده شبیه یک قفس است، به همین دلیل به رتور شکل (۲۱) رتور قفسی می‌گویند. برای ساختن این نوع رتور ابتدا ورقه‌های هسته رتور را کنار یکدیگر قرار می‌دهند تا هسته یکپارچه رتور تشکیل شود سپس



شکل ۲۱- ساختمان رتور قفسی (سمت راست) رتور کامل با معرفی اجزای آن (سمت چپ)

ماشین‌های القایی قفس سنجایی از نظر ساختمان ساده تر و از نظر اقتصادی به صرفه تر از ماشین‌های رتور سیم‌پیچی شده هستند و کمتر به تعمیر و نگهداری احتیاج دارند.

آلومینیوم و یا گاهی مس ذوب شده را به داخل هسته رتور تزریق می‌نمایند. ماده مذاب تزریق شده در هسته پس از سرد شدن به شکل مفتول‌هایی درمی‌آیند که در داخل هسته قالب‌گیری شده است. لذا این هادی‌ها نسبت به هسته عایق نیستند.

خود را بیازمایید



– وظیفه دو حلقه ای که در طرفین میله‌های رتور قفسی به مفتول‌ها متصل می‌شوند، چیست؟

تحقیق کنید



چرا جریان القاشده در هادی‌های رتور قفسی با اینکه رتور عایق نشده است، به بدنه ماشین منتقل نمی‌شود؟

۸-۳- لغزش در ماشین‌های القایی

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

$$\Delta n = n_s - n_r \quad (3-3)$$

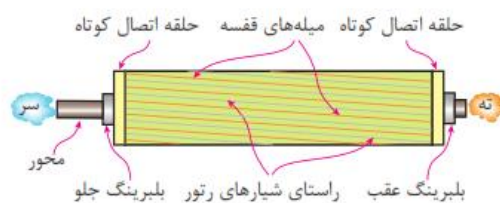
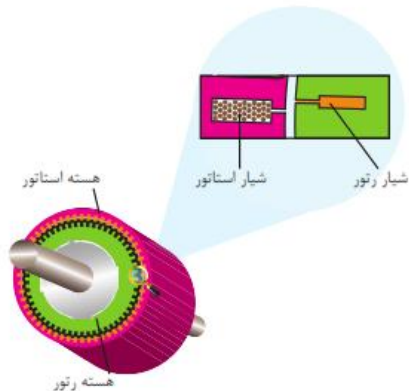
از آنجا که سرعت رتور متغیر است لذا سرعت لغزش هم به تناسب آن تغییر می‌کند. نسبت سرعت لغزش به سرعت میدان دوار را لغزش می‌گویند و آن را با S نمایش می‌دهند.

$$S = \frac{\Delta n}{n_s} \quad (3-4)$$

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (3-5)$$

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

$$\% S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100$$



شکل ۲۲- نمایش انحراف شیارهای رتور نسبت به امتداد شیارهای استاتور

از آنجا که شکل (۲۱) شبیه قفس سنجاب به نظر می‌رسد، ماشین‌های القایی که ساختمان رتور آنها این‌گونه است را قفس سنجایی نیز می‌گویند.

مطابق شکل (۲۲) در اغلب ماشین‌های القایی شیارهای رتور با محور ماشین موازی نیستند یعنی شیارها نسبت به محور ماشین مورب است. این عمل باعث کاهش سر و صدای رتور در زمان چرخش آن می‌شود. معمولاً انحراف شیارهای رتور به اندازه بهنای یک شیار استاتور در نظر گرفته می‌شود. در ماشین‌های القایی با شیارهای مورب، راه‌اندازی سریع‌تر بوده و قابلیت تحمل اضافه بار در چنین ماشین‌هایی بیشتر است.

جلسه چهارم

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

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

$$\Delta n = n_s - n_r = 1500 - 1450 = 50 \text{ RPM}$$

$$S = \frac{\Delta n}{n_s} = \frac{50}{1500} = 0.033$$

$$0.033 \times 100 = 3\%$$

با توجه به رابطه (۳-۵) می توان نوشت :

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

$$n_r = n_s (1 - s) \quad (3-6)$$

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

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

$$n_s = \frac{120 \cdot f}{P} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ RPM}$$

$$S = 10\% = \frac{10}{100} = 0.1$$

$$n_r = n_s (1 - S) = 1500 (1 - 0.1) = 1350 \text{ RPM}$$

۳-۹-۳ رفتار ماشین های القایی در لغزش های مختلف

در بخش قبل گفته شد که لغزش ماشین القایی با مقادیر مختلف سرعت رتور تغییر می کند. در این قسمت مقادیر لغزش در سرعت های متفاوت رتور بررسی می گردد.

۳-۹-۱ لغزش در زمان راه اندازی : به محض اتصال سیم پیچ های استاتور ماشین القایی سه فاز به برق یعنی

هنگام راه اندازی سرعت رتور صفر است ولی میدان دوار با سرعت سنکرون می چرخد. بنابراین خواهیم داشت :

$$n_r = 0 \Rightarrow S = \frac{n_s - 0}{n_s} = 1$$

$$\Delta n = n_s$$

لغزش ماشین در زمان راه اندازی برابر ۱ یا ۱۰۰٪ است.

۳-۹-۲ لغزش در سرعت سنکرون :

اگر رتور بتواند با سرعتی برابر سرعت سنکرون و یا با همان سرعت میدان دوار گردش کند لغزش ماشین صفر می شود.

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

$$\Delta n = 0$$

این کار 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.

۳-۹-۳ لغزش موتور در حین کار :

رتور موتور القایی پس از راه اندازی دور می گیرد و سرعت آن به تدریج افزایش می یابد. با زیاد شدن سرعت رتور، اختلاف سرعت رتور با سرعت میدان دوار کم می شود. این افزایش سرعت تا جایی که نزدیک به سرعت سنکرون است می تواند ادامه یابد. زیرا اگر سرعت رتور با میدان دوار برابر شود، میدان استاتور هم نمی تواند هادی های رتور را قطع نماید و در نتیجه نیرویی به رتور وارد نمی شود. با وجود وزن خود رتور و نیروی اصطکاک یا تاقان ها و هوا، سرعت رتور هرگز به سرعت سنکرون نمی رسد بلکه در نزدیک آن پایدار می شود. از آنجا که در موتورهای القایی بین

سرعت میدان دوار و سرعت رتور همواره اختلاف وجود دارد در نتیجه به آنها موتورهای آسنکرون^۱ نیز گفته می‌شود.

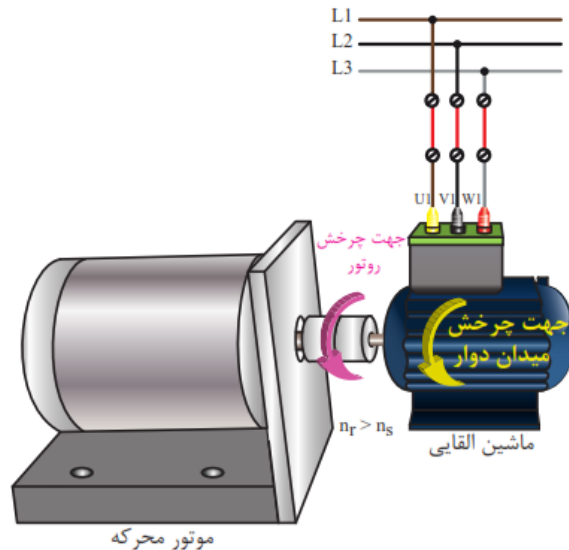
لغزش موتور القایی در حین کار کمتر از لغزش زمان راه‌اندازی است.

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



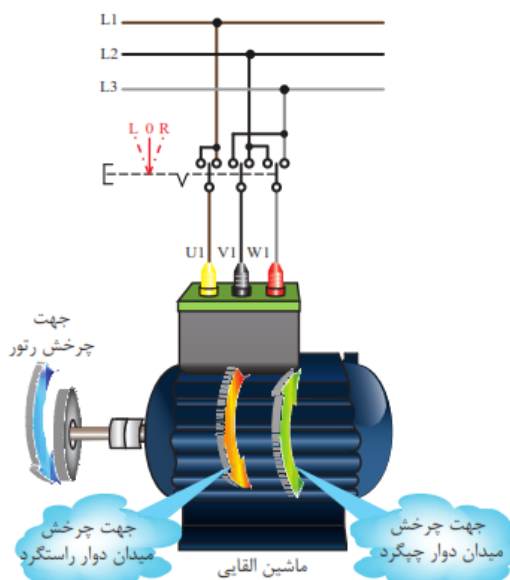
۳-۹-۴ لغزش منفی: اگر محور رتور ماشین

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



شکل ۲۳- نمایش حالت مولدی ماشین القایی

این وضعیت را در ماشین‌های القایی حالت ژنراتوری می‌نامند. **۳-۹-۵ لغزش‌های بزرگ‌تر از واحد (بیش از ۱۰۰٪):** شکل (۲۴) یک ماشین القایی را نشان می‌دهد که توسط کلید راستگرد، چپگرد سه فاز به شبکه برق متصل است. اگر این ماشین به حالت موتور در جهت راستگرد راه‌اندازی شود، رتور آن راستگرد می‌چرخد. حال چنانچه موتور به وسیله کلید ابتدا از شبکه قطع شود و بلافاصله به طور لحظه‌ای چپگرد راه‌اندازی گردد، میدان دوار آن چپگرد شده و سرعت رتور سریعاً به صفر می‌رسد. در نتیجه با توجه به جهت گردش رتور در حالت راستگرد پیش از ایستادن رتور، میدان دوار به حالت چپگرد در آمده و در نتیجه اختلاف سرعت رتور با سرعت سنکرون افزایش می‌یابد و لذا مقدار لغزش بیش از واحد خواهد شد. به این وضعیت عملکرد، حالت ترمزی ماشین القایی می‌گویند.



شکل ۲۴- نمایش حالت ترمزی ماشین القایی

مطابق رابطه (۳-۵) 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 بزرگ تراز واحد، رفتار ترمزی دارد.

خود را بیازمایید



- ۱- با افزایش سرعت رتور، مقدار سرعت لغزش می‌یابد.
- ۲- رفتار ماشین القایی را در لحظه راه‌اندازی تشریح کنید.
- ۳- آیا امکان دارد موتور القایی در سرعت سنکرون قرار گیرد؟ چرا؟
- ۴- در ماشین‌های القایی اگر رتور با سرعتی بیشتر و در جهت میدان دوار بچرخد، ماشین در ناحیه کار کرده و لغزش آن است.
- ۵- سرعت چرخش رتور موتور 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 می‌گردد برابر با ۱/۵- می‌باشد. سرعت میدان دوار آن چقدر است؟

۱-۳-۱-۰ فرکانس ولتاژ القایی مدار رتور : موتور

القایی مانند ترانسفورماتوری است که سیم پیچ اولیه آن سیم پیچ 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

فرکانس ولتاژ مدار رتور 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 می‌یابد، 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 (۳-۷) به صورت خطی تغییر می‌کند.

$$f_r = Sf \quad (3-7)$$

در رابطه (۳-۷)،

f_r فرکانس ولتاژ مدار رتور

S لغزش

f فرکانس ولتاژ استاتور

سوال در سرعت سنکرون، f_r ماشین القایی چقدر می‌شود؟

۱-۳-۱-۰ کمیت‌های الکتریکی رتور

برای استفاده از موتور القایی باید رفتار آن را در مواردی همچون راه‌اندازی، ترمز و کنترل دور بتوان پیش‌بینی نمود. لذا ضروری است که کمیت‌های الکتریکی رتور مورد بررسی قرار گیرند. هر یک از کمیت‌های الکتریکی رتور متناسب با لغزش به گونه‌ای خاص تغییر می‌کنند.

۱- به همین خاطر گاهی به ترانسفورماتورهای ماشین‌های الکتریکی ساکن نیز می‌گویند.

جلسه پنجم

با افزایش سرعت رتور، لغزش کم می‌شود و چون هادی‌های رتور با سرعت کمتری توسط میدان قطع می‌شوند، نیروی محرکه القایی رتور کاهش می‌یابد.

نیروی محرکه القایی هر فاز مدار رتور را با E_r نمایش می‌دهند. این نیروی محرکه با افزایش یا کاهش لغزش به‌طور خطی اضافه و یا کم می‌شود و از رابطه (۳-۹) پیروی می‌کند.

$$E_r = SE_r \quad (3-9)$$

خود را بیازمایید



۱- رفتار موتور القایی در چه شرایطی شبیه ترانسفورماتور می‌باشد؟

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

۳- ولتاژ القایی رتور در لحظه راه‌اندازی..... و در سرعت سنکرون برابر با..... می‌باشد.

۴- راکتانس القایی مدار رتور از زمان راه‌اندازی تا سرعت سنکرون چگونه تغییر می‌کند؟

۵- یک موتور القایی ۵۰ HZ دارای راکتانس القایی $1/6 \Omega$ و مقاومت اهمی 0.5Ω و ولتاژ القایی ۳۰ V در لحظه راه‌اندازی می‌باشد کمیت‌های فوق در لغزش ۸٪ چقدر است؟

۵-۳-۱-۵ **امپدانس رتور:** هادی‌های رتور ماشین القایی، دارای مقاومت اهمی R_r 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 Z_r نمایش می‌دهند.

۲-۳-۱-۳ **راکتانس رتور:** با عبور جریان از مفتول و یا سیم‌پیچ‌های رتور، در اطراف آن میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و چون اطراف هادی‌ها را هسته آهنی رتور فرا گرفته است، اثر القایی ناشی از جریان عبوری از آن افزایش می‌یابد. بدین سبب در مدار رتور اثر سلفی (راکتانس القایی) نیز وجود دارد که آن را با X_r نمایش می‌دهند. اثر راکتانس سلفی با فرکانس جریان عبوری از آن رابطه مستقیم دارد^۱. بنابراین هر چقدر فرکانس رتور کمتر شود (یعنی سرعت رتور به سرعت سنکرون نزدیک‌تر شود) راکتانس آن نیز کاهش می‌یابد.

با توجه به رابطه راکتانس سلفی و فرکانس رتور نتیجه می‌گیریم:

$$X_r = 2\pi f_r L_r$$

$$f_r = Sf$$

$$X_r = 2\pi S f L_r = \underbrace{2\pi f L_r}_{X_r} \Rightarrow \text{با جایگزینی مقدار } f_r \text{ داریم:}$$

$$X_r = S X_r$$

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

۳-۳-۱-۳ **مقاومت مدار رتور:** از آنجا که هادی‌های رتور ماشین القایی دارای طول و سطح مقطع معینی هستند لذا مقدار مقاومت اهمی ثابتی دارند. مقدار مقاومت اهمی هر فاز مدار رتور را با R_r نشان می‌دهند.

۴-۳-۱-۴ **ولتاژ رتور:** پیش از این چگونگی ایجاد نیروی محرکه القایی در مدار رتور بیان گردید^۱ و ملاحظه شد که با ایجاد میدان دوار استاتور، در مدار رتور، نیروی محرکه القا می‌شود.

البته باید توجه داشت که در زمان راه‌اندازی موتور القایی بیشترین نیروی محرکه در مدار رتور القاء می‌گردد. زیرا لغزش ۱۰۰٪ است. این ولتاژ را ولتاژ حالت سکون رتور می‌نامند و آن را با E_r نمایش می‌دهند.

$$X_r = 2\pi f_r L_r \quad ۱-$$

۲- اساس کار ماشین‌های الکتریکی و پدیده میدان دوار

بیشتر بدانید



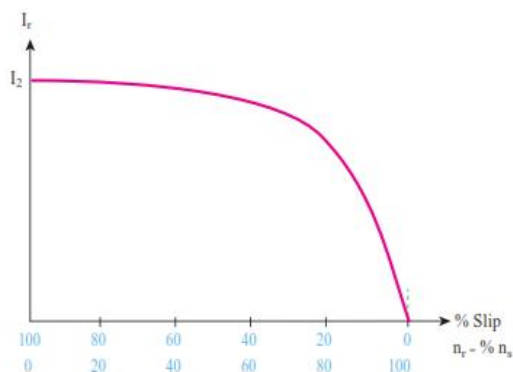
اما از آنجایی که با تغییر لغزش در مدار شکل (۲۶-الف) هر دو کمیت (E_r, X_r) با هم تغییر می کنند برای سهولت در تحلیل مدار معادل الکتریکی رتور می توان مقادیر مربوط به کمیت های (E_r, X_r) را در رابطه (۳-۱۲) قرار داده و به رابطه (۳-۱۳) رسید.

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} \Rightarrow I_r = \frac{SE_r}{\sqrt{R_r^2 + (SX_r)^2}}$$

$$\Rightarrow I_r = \frac{SE_r}{S \sqrt{\left(\frac{R_r}{S}\right)^2 + X_r^2}}$$

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{S}\right)^2 + X_r^2}} \quad (3-13)$$

شکل (۲۶-ب) مدار معادل الکتریکی رتور را بر اساس رابطه (۳-۱۳) نشان می دهد. در این رابطه تنها کمیت متغیر لغزش است. نمودار این رابطه در شکل (۲۷) نشان داده شده است.



شکل ۲۷ - منحنی تغییر جریان رتور بر حسب تغییرات لغزش و سرعت رتور

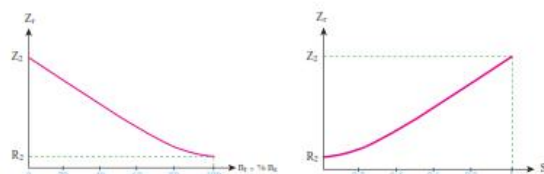
با جایگزینی رابطه (۳-۱۰) راکتانس رتور در رابطه امپدانس مدار $L-R$ سری داریم:

$$Z_r = \sqrt{R_r^2 + X_r^2} \quad (3-10)$$

$$Z_r = \sqrt{R_r^2 + (SX_r)^2} \quad (3-11)$$

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

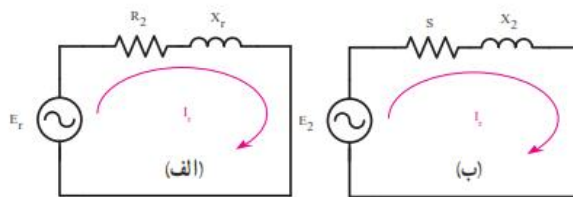
البته لازم به یادآوری است، تغییرات امپدانس بر حسب فرکانس مدار $R-L$ سری را در درس مدارهای الکتریکی خوانده اید. این تغییرات با توجه به رابطه (۳-۱۱) خطی نیست. نمودار شکل (۲۵) بر اساس تغییر لغزش و تأثیر آن بر امپدانس مدار رتور ترسیم شده است و نشان می دهد که این امپدانس به صورت منحنی (غیر خطی) تغییر می نماید.



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

۳-۱-۶- جریان رتور: در صورت بسته بودن مسیر سیم پیچ یا هادی های مدار رتور از آن جریان جاری می شود. میزان جریان عبوری از مدار رتور به ولتاژ القاء شده و امپدانس مدار رتور وابسته است. رابطه (۳-۱۲) با توجه به مدار معادل شکل (۲۶-الف) به دست می آید:

$$I_r = \frac{E_r}{Z_r} = \frac{E_r}{\sqrt{R_r^2 + X_r^2}} \quad (3-12)$$



شکل ۲۶ - مدار معادل الکتریکی یک فاز 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

۶/۰ و ۲ اهم می‌باشد. اگر ولتاژ القایی رتور در

زمان راه‌اندازی ۴۲ ولت باشد، جریان رتور را

در راه‌اندازی و در لغزش ۱۵/۰ به دست آورید.

۴- با توجه به داده‌های سؤال ۳ ضریب

قدرت رتور را در حالات زیر به دست آورید:

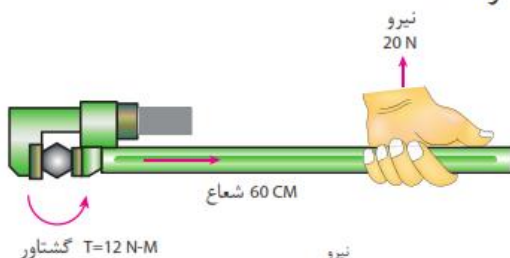
الف) در لحظه راه‌اندازی ب) در لغزش

۵/۰

۱۱-۳ گشتاور ماشین‌های القایی

به شکل (۲۹) توجه کنید. با کدام آچار باز کردن پیچ

آسانتر است؟



شکل ۲۹- مقایسه گشتاور وارد شده به پیچ

در واقع گشتاور وابسته به نیرویی است که در فاصله

مشخص، به جسم وارد می‌شود تا آن را حول یک محور بچرخاند.

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

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،

جریان و به دنبال آن تلفات رتور افزایش می‌یابد.

۷-۱-۳ ضریب قدرت مدار رتور: ضریب قدرت

مدار R-L سری شکل (۲۶- الف) با رابطه (۳-۱۴) تعریف

می‌شود.

$$\cos \phi_r = \frac{R_r}{Z_r} \quad (3-14)$$

که با جایگذاری مقدار Z_r در رابطه فوق می‌توان نوشت:

$$\cos \phi_r = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (sX_r)^2}} \quad (3-15)$$

در لحظه راه‌اندازی ضریب قدرت ماشین مقداری ثابت

خواهد داشت ولی با افزایش بی در بی سرعت (کاهش لغزش)،

راکتانس سلفی مدار رتور (X_r) به طور غیر خطی کاهش می‌یابد

به طوری که در سرعت سنکرون امپدانس مدار رتور برابر با

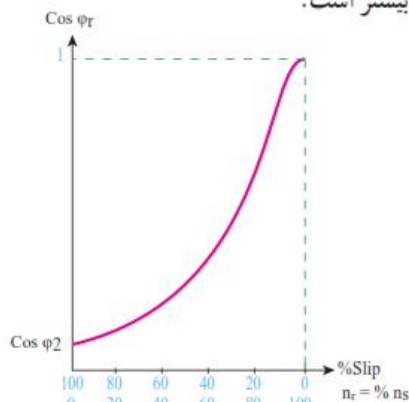
مقدار R_r می‌شود و در نتیجه ضریب قدرت مدار رتور به مقدار

واحد می‌رسد. ضریب قدرت مدار رتور در لحظه راه‌اندازی را

با $\cos \phi_r$ نمایش می‌دهند. هر چه ضریب قدرت رتور 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

میدان‌های استاتور و رتور و اختلاف فاز بین آن دو می‌باشد.

بیشتر بدانید



$$T \propto B_s B_r \cos \varphi_r \quad (3-16)$$

تقابل دو میدان استاتور (B_s) و رتور (B_r) را برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی می‌توان به صورت رابطه (۳-۱۷) نوشت.

$$T = K_s B_s B_r \cos \varphi_r \quad (3-17)$$

B_s چگالی میدان مغناطیسی استاتور

B_r چگالی میدان مغناطیس رتور

T گشتاور کار ماشین القایی

$\propto$ علامت تناسب

وابستگی ولتاژ القایی رتور به میدان مغناطیسی استاتور را می‌توان با رابطه (۳-۱۸) نشان داد.

$$E_r \propto B_s \Rightarrow E_r = K_s B_s \Rightarrow$$

$$B_s = \frac{1}{K_s} E_r \Rightarrow$$

$$B_s = K_s E_r \quad (3-18)$$

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

$$B_r \propto I_r \Rightarrow B_r = K_r I_r \quad (3-19)$$

از جایگزینی روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۹)

در رابطه (۳-۱۷) خواهیم داشت:

$$T = K_s B_s B_r \cos \varphi_r \Rightarrow T = \underbrace{K_s K_r K_r}_{K} E_r I_r \cos \varphi_r$$

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

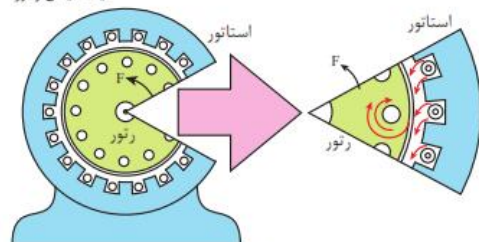
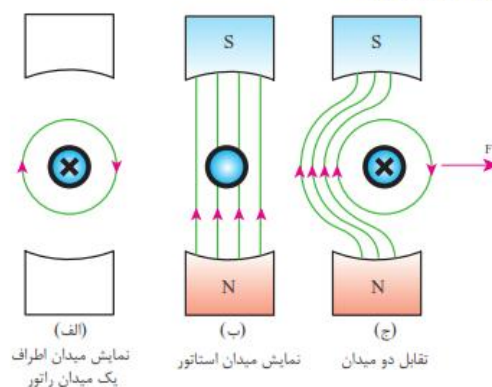
$$T = K S E_r \times \frac{E_r}{\sqrt{R_r^2 + (S X_r)^2}} \times \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + (S X_r)^2}}$$

$$T = K E_r^2 \times \frac{S R_r}{R_r^2 + (S X_r)^2} \quad (3-20)$$

۱) رابطه تناسب گشتاور با اندازه میدان‌های استاتور و رتور و اختلاف فاز بین آنها را می‌توان با ضرب یک مقدار ثابت نظیر K_s به تساوی تبدیل نمود.

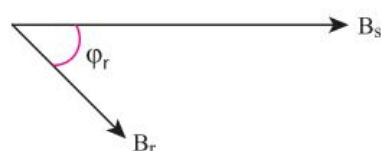
برای چرخش رتور در ماشین‌های القایی نیز به گشتاور احتیاج است. این گشتاور بر اثر نیروی الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل (۳-۳۰ الف و ب) نشان داده شده است میدان استاتور و یا رتور به تنهایی برای وارد شدن نیرو به رتور کافی نیست و لازم است برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی دو میدان مغناطیسی بر هم اثر نمایند.

در شکل (۳-۳۰ ج و د)، مشاهده می‌شود 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 ناشی از جریان رتور می‌باشد.



شکل ۳-۳۰ نحوه تولید گشتاور در موتور القایی

میدان‌های استاتور و رتور هر یک دارای اندازه و جهت مشخصی می‌باشند، پس می‌توان آنها را با بردار نمایش داد از طرفی این دو بردار با هم به میزان φ_r اختلاف فاز دارند.



بنابراین عوامل تعیین کننده گشتاور ماشین القایی، اندازه

