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[1] (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

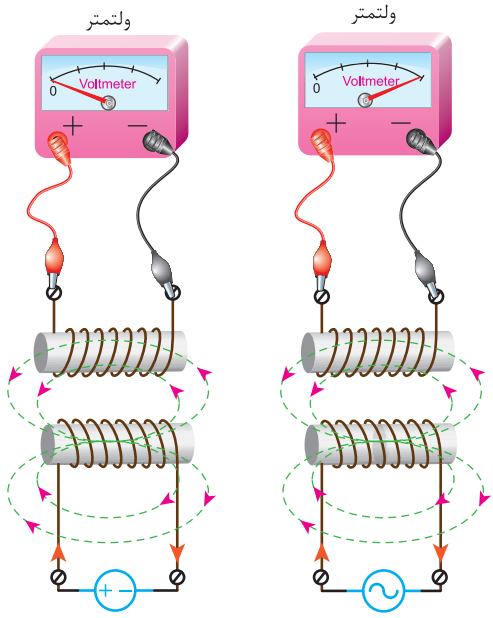
۱) در ماشین القایی هر چقدر دوره تناوب بزرگتر باشد سرعت میدان دوار ..... است.

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.

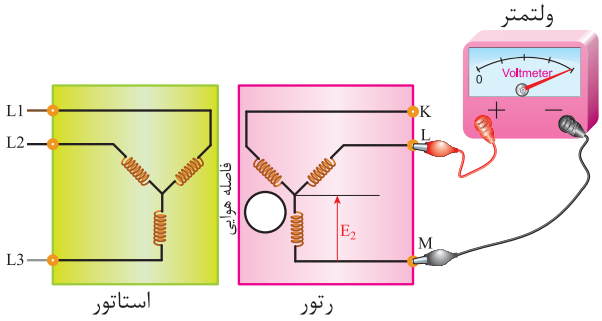


شکل ۱۷- ایجاد ولتاژ القایی باولتاژ متناوب(سمت راست)
عدم ایجاد ولتاژ القایی با ولتاژ جریان مستقیم(سمت چپ)

[1] 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.

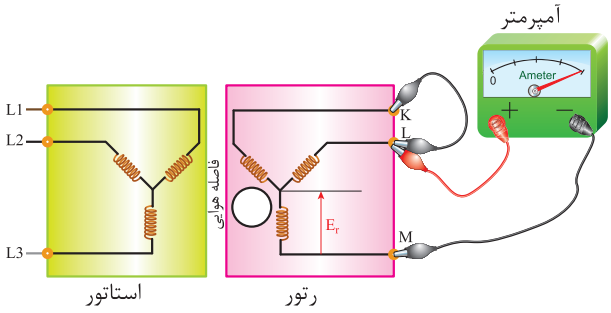
از طرفی با قرار دادن یک ولتمتر مطابق شکل(۱۸) در دو سر خروجی رتور سیم پیچ شده می‌توان القای ولتاژ ترانسفورماتوری را بر روی هادیهای رتور ملاحظه کرد. از آنجا که رتور در این حالت ساکن است و چرخش ندارد. این ولتاژ را ولتاژ حالت سکون رتور می‌نامند و ولتاژ فازی معادل آن را با E_2 نمایش می‌دهند.



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:

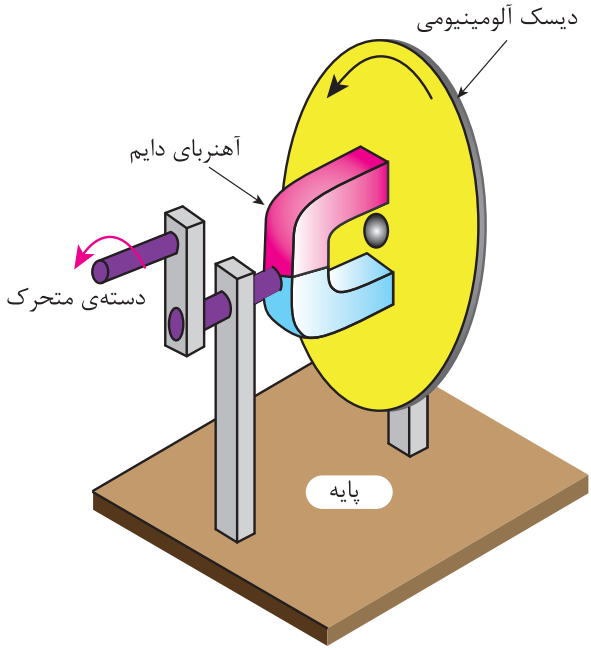
با عبور جریان از مدار رتور در اطراف سیم پیچهای رتور نیز میدانی ایجاد می‌شود که طبق قانون لنز، این میدان با عامل بوجود آورنده خود (یعنی میدان دوار ایجاد کننده ولتاژ القایی) مقابله می کند. یعنی با افزایش سرعت رتور و کم شدن اختلاف سرعت آن با میدان دوار ، مفتول ها یا سیم پیچهای رتور خطوط میدان کمتری را قطع 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.



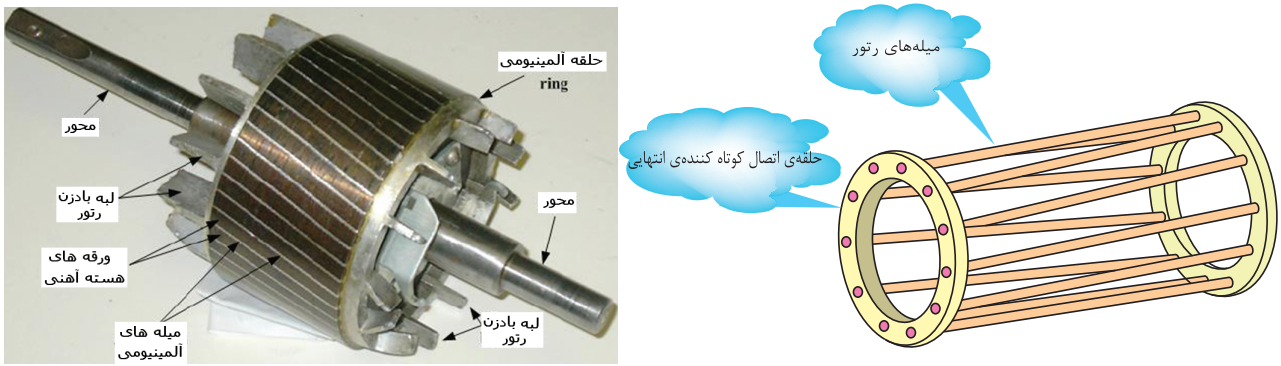
شکل ۲۰ – یک وسیله ساده برای فهم بهتر اثرمیدان دوار در چرخش دیسک

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؟

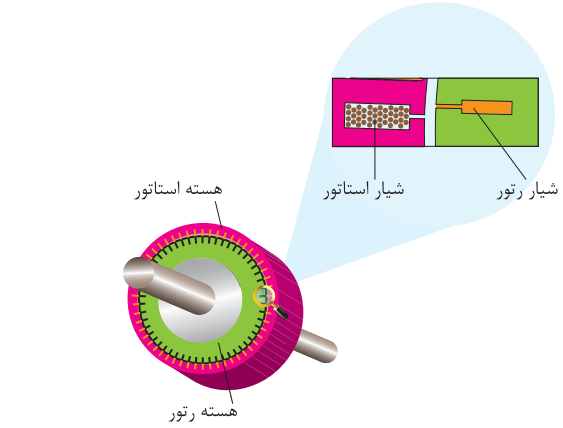
حال اگر قرار باشد که با بسته شدن مدار رتور ماشین القایی و عبور جریان از آن به رتور نیرو وارد شود چه بهتر که ازمفتولهایی مسی یا آلومینیومی مطابق شکل (۲۱) استفاده شود .



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

۳

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.

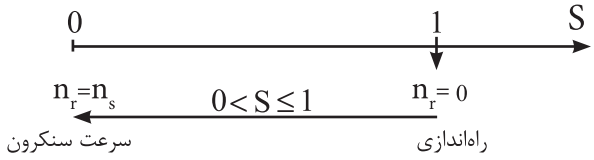
۱۰-۳-لغزش موتور در حین کار

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.

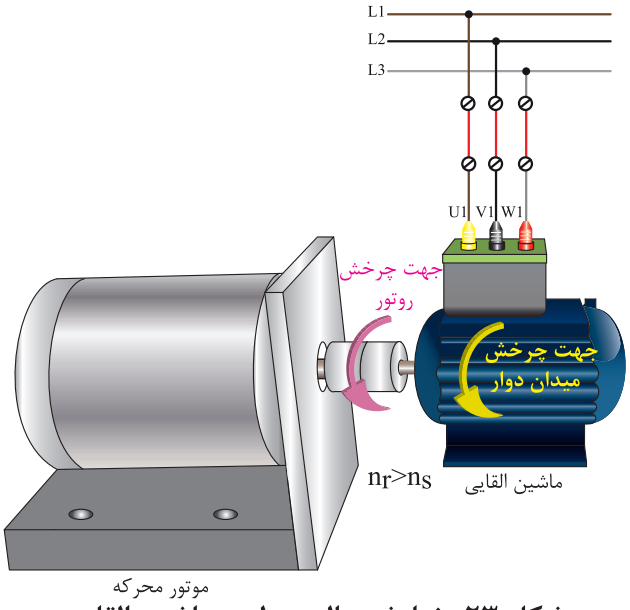
لغزش موتور القایی در حین کار بیش از لغزش در سرعت سنکرون است.

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.



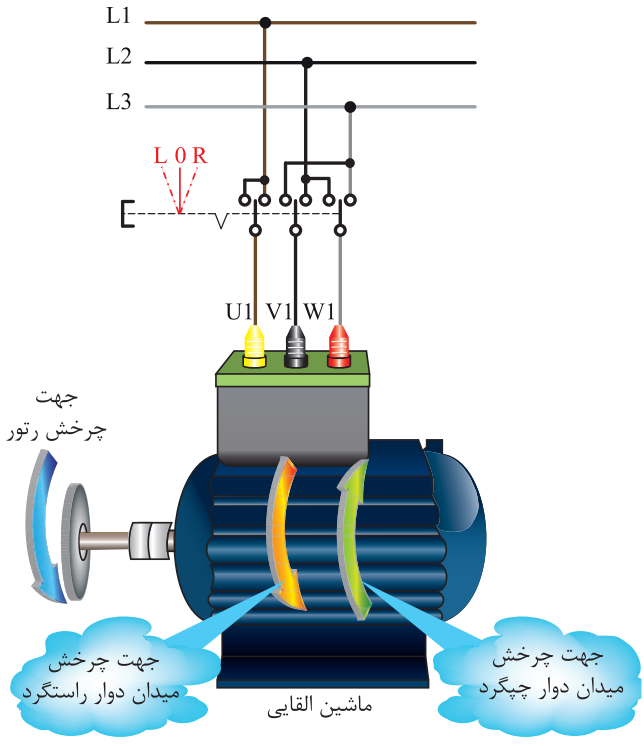
شکل ۲۳- نمایش حالت مولدی ماشین القایی

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:

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

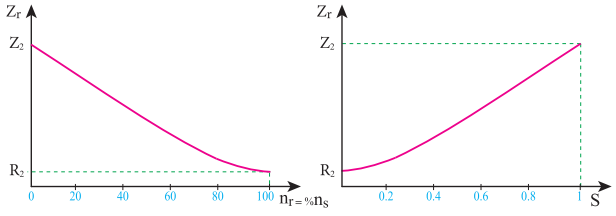
$$Z_r = \sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2} \qquad (3-10)$$

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.

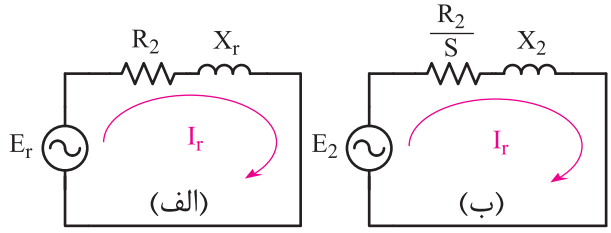


شکل ۲۵-منحنی تغییر امپدانس رتور بر حسب تغییرات لغزش و سرعت رتور

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

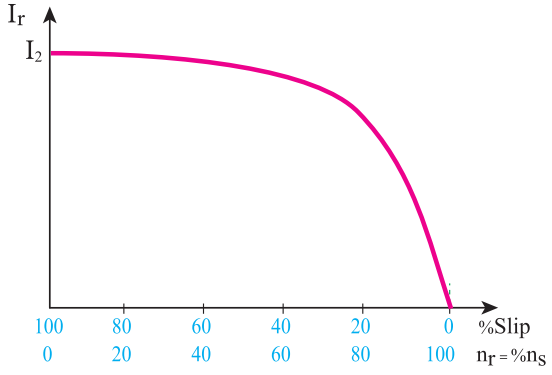
بیشتر بدانید

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

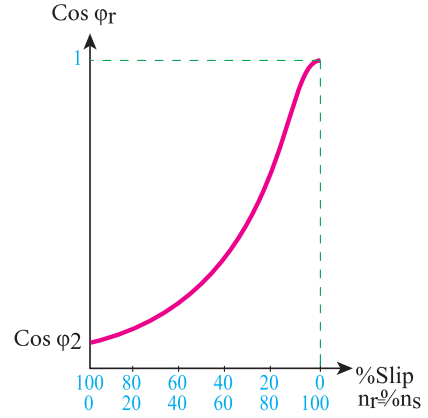
ضریب قدرت مدار R-L سری شکل(۲۶-الف) با رابطه (۱۳-۳) تعریف می‌شود.

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

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:

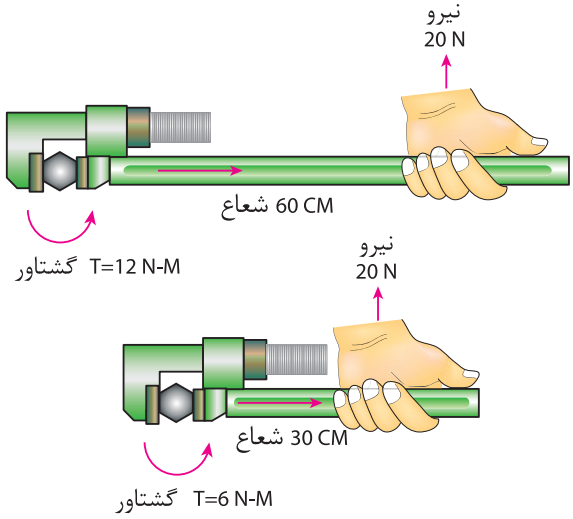
الف) در لحظه راه‌اندازی ب) در لغزش ۰/۰۵

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