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.

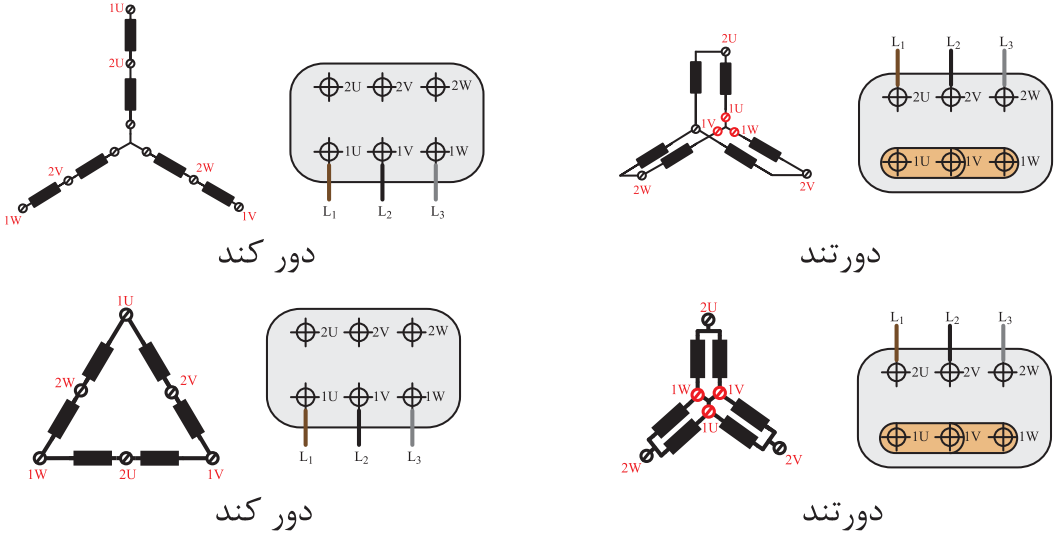
الف) استفاده از موتور دالاندر

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

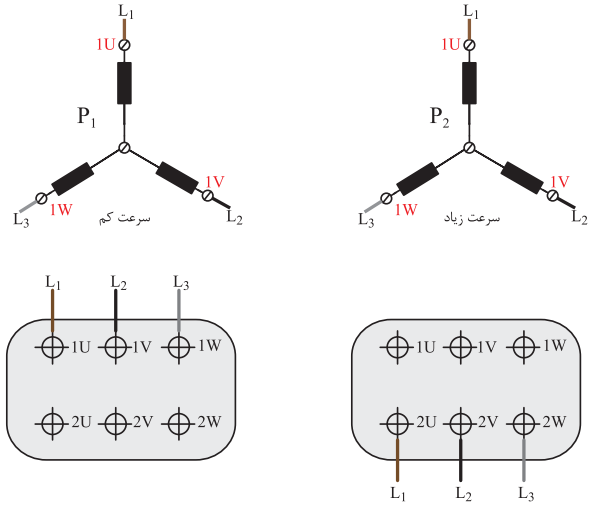
تغییـــر توان و گشـــتاور موتور در ســـرعت تند و یا کند می‌شـــود. به همیـــن خاطر توان و گشـــتاور موتور های دالاندر در اتصالات مختلف در برگه ی مشـــخصات فنی موتور توسط سازنده ارائه می‌گردد.

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.



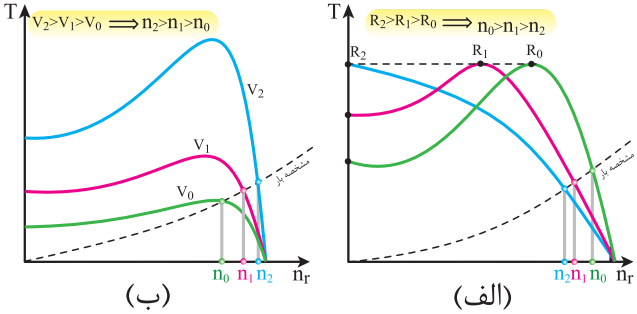
شـــکل ۵۳ -جعبه ترمینال و نحوه اتصال یک نوع موتور با سیم پیچ جداگانه

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؟

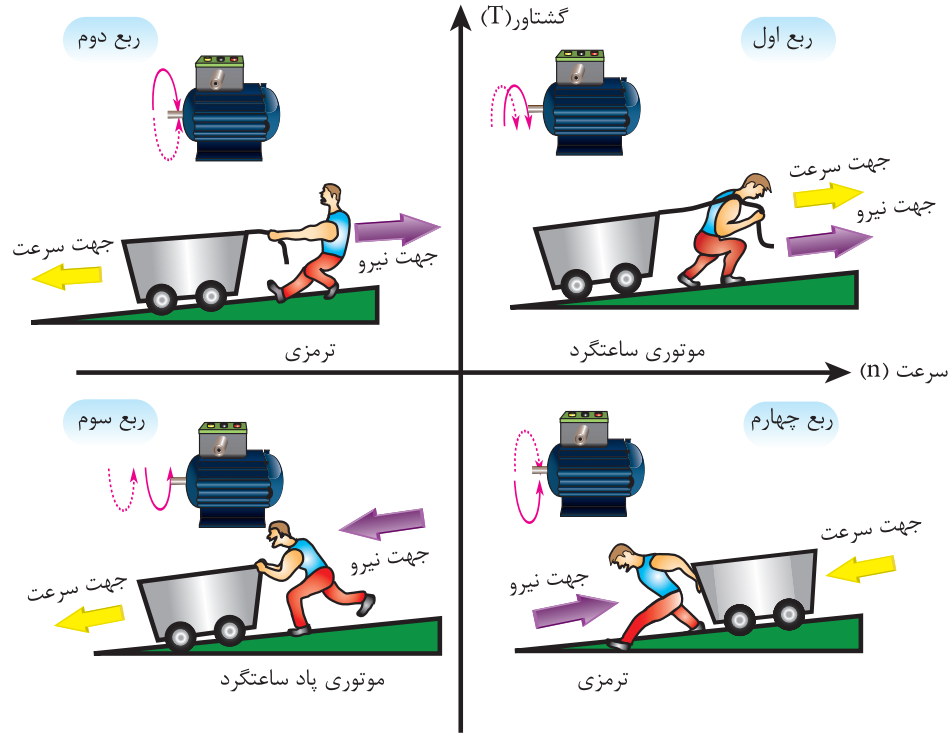
۲۱- ترمز موتورهای القایی

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

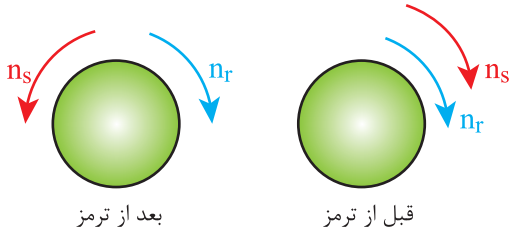
-ترمز با جریان مستقیم

-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

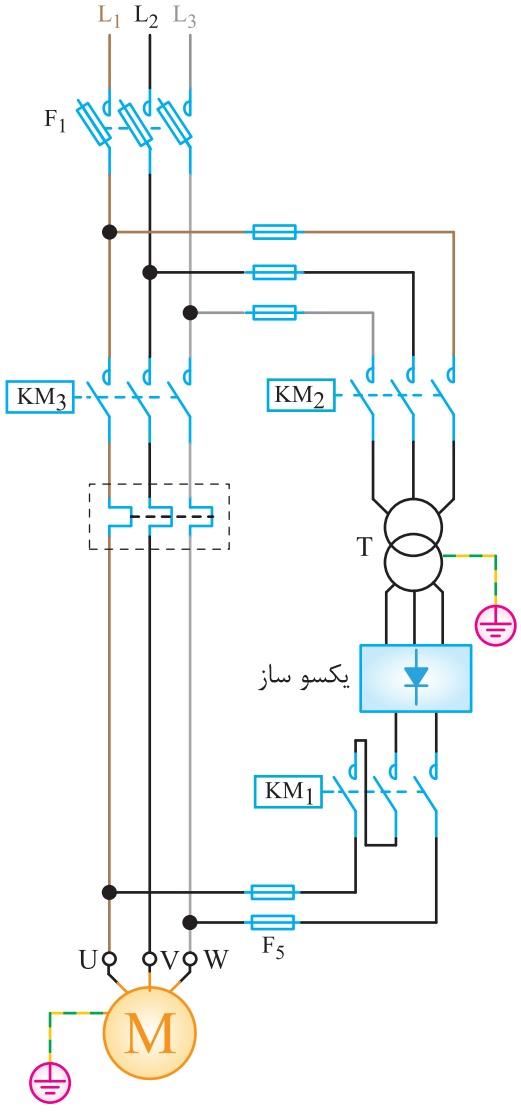
تمهیـدات لازم برای معکوس نشـدن جهت گردش رتور پس از انجام ترمز باید پیش‌بینی شود.

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

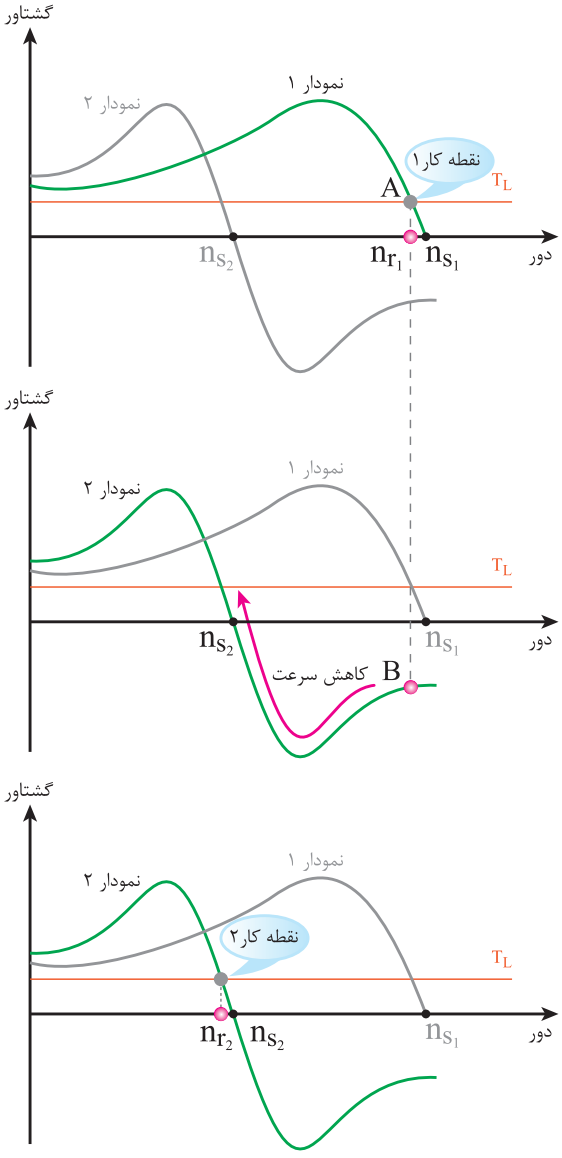
شکل (۵۸) نمودار گشتاور-دور موتور القایی دالاندر را نشـان می‌دهد. در موتورهای دالاندر ، سرعت میدان دوار در حالـت دور کند نصف حالت دور تند می‌باشـد. لذا نمودار (۱) مربوط به دور تند و نمودار(۲) مربوط به دور کند موتور دالاندر است. فرض کنید موتور با سرعت n_{r1} در حال چرخش اسـت و بخواهیم متوقف شـود، برای انجـام عمل ترمز می‌توان اتصـال موتور را از دور تند به دور کند تغییر داد. این موضوع سـبب می‌شود که سـرعت میدان دوار بلافاصله از n_{s1} به n_{s2} کاهش یابد. به این ترتیب در مشخصه گشتاور - دور ، وضعیت موتـور از نقطـه ی A ، روی نمودار (۱) به نقطه ی B ، روی نمودار (۲) شـکل(۵۸) جا به جا می‌شـود. ولی به دلیل اینرسـی بار و رتور ، سـرعت رتور هنوز به این حد کاهش نیافته اسـت. در این حالت تا زمان رسیدن سرعت رتور به نقطه ی کار جدید، مقدار گشتاور موتور مسیر نشان داده شـده در نمودار (۲) را طی می نماید تا سرعت آن در نقطه ی کار جدید تثبیت شود.

فاصلـه بیـن نقطه ی B تا نقطـه ی کار (۲) ناحیه مولدی ماشـین در دور کند می‌باشـد ولی چون تداوم نیروی مکانیکی مانند مولدها روی محور ماشـین وجود ندارد ، سـرعت محور سریعا رو به کاهش می گذارد. تا سرعت آن روی نقطه ی کار (۲) تثبیت شود.

بنابرایـن با ایـن روش ترمزی توقـف کامل حاصل نمی‌شـود بلکه کاهش سریع سرعت تا زمان وارد شدن ماشـین به ناحیه موتوری و رسیدن موتور به نقطه کار جدید ادامه می یابد که روی نمودار ۲ شکل(۵۸) نشان داده شده اسـت. آیا چنین کاهش سرعتی را در هنگام اتومبیل سـواری و اسـتفاده راننده از دنده معکوس در سرعت بالا دیده اید؟

ایـن روش ترمزی برای موتـور بالابرها و جرثقیل‌ها کاربرد دارد.

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

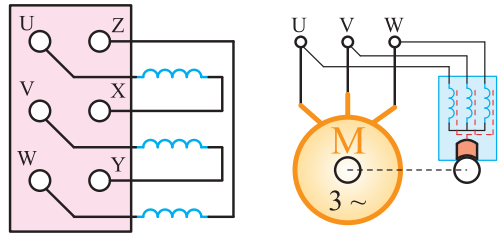


شکل ۵۸ -تشـریح عملکرد ترمز مولدی در موتور دالاندر

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

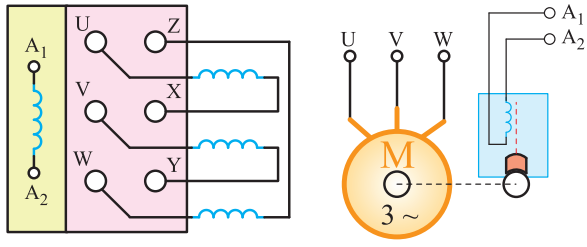


شمای اتصالات در روی پلاک ترمینال‌ها

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.

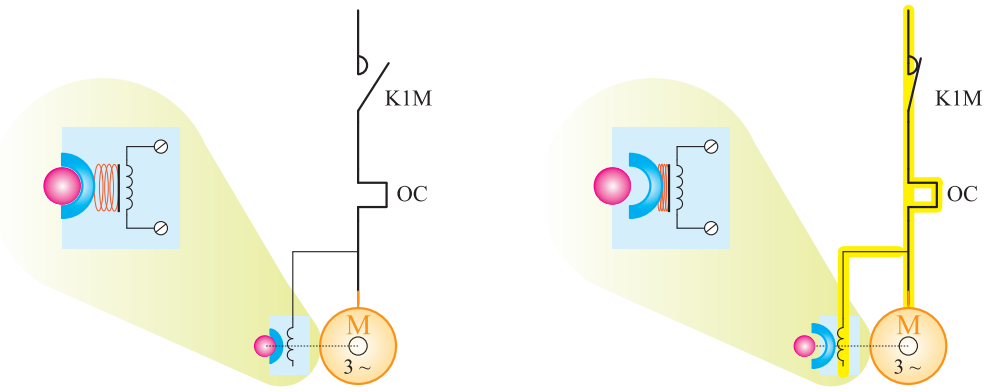
در این روش برای برقدار نمودن بوبین الکترومغناطیسی باید از مدار فرمان اسـتفاده شـود. زیرا قفل شدن محور موتور با اعمال جریان الکتریکی به بوبین الکترومغناطیسی مربوط به دیسک صورت می گیرد.

نکته ۱

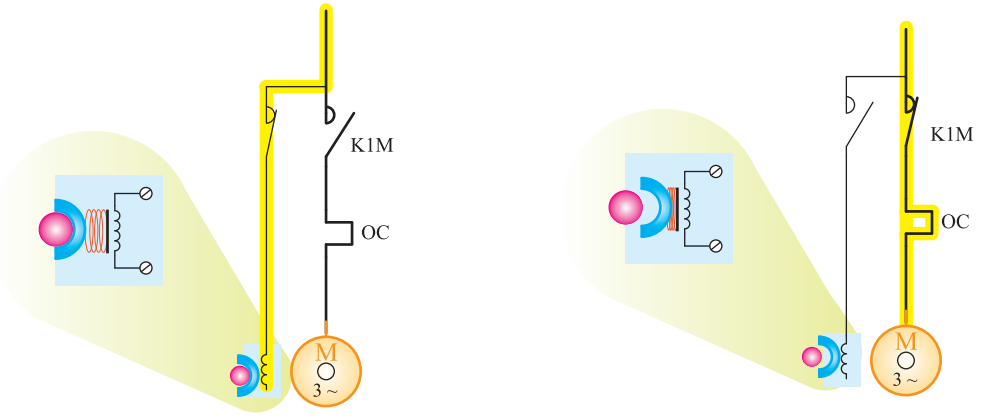
برخی سازندگان موتور، ولتاژ تغذیه ترمز را متفاوت بـا ولتاژ اصلی موتور در نظر می گیرند که باید مورد توجه بهره بردار قرار گیرد.

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

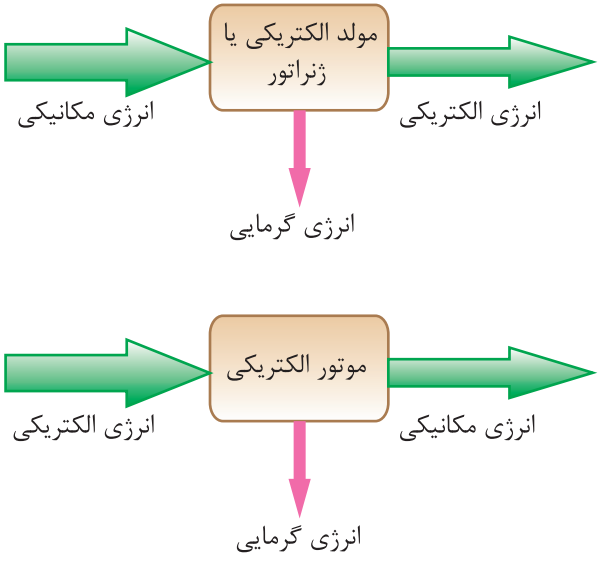


شکل ۶۱ -با فرمان ترمز الکترومکانیکی موتور خاموش و دیسک به محور می چسبد

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.

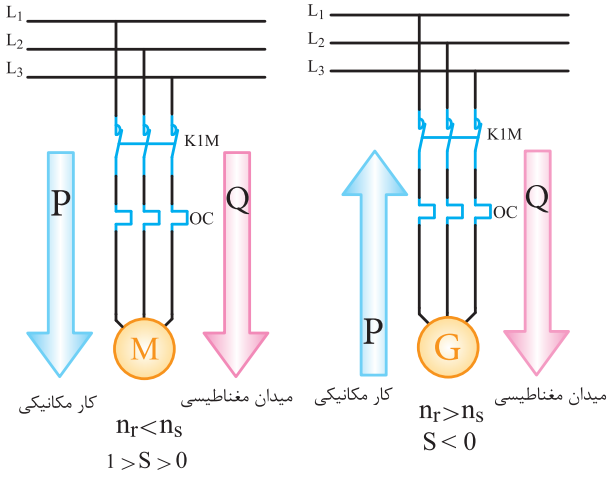


شـــکل ۶۲ -نمایش مولد و موتور الکتریکی از نقطه نظر انرژی

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:

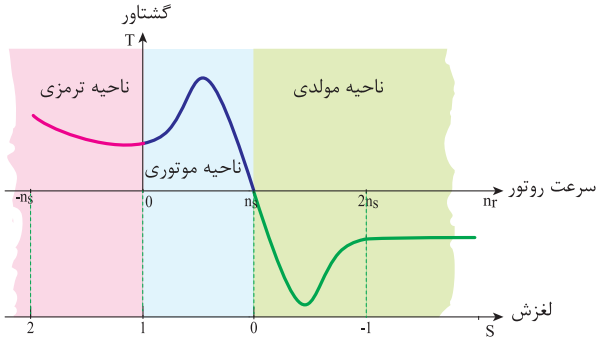
الف) اتصال مولد القایی به شبکه برق

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

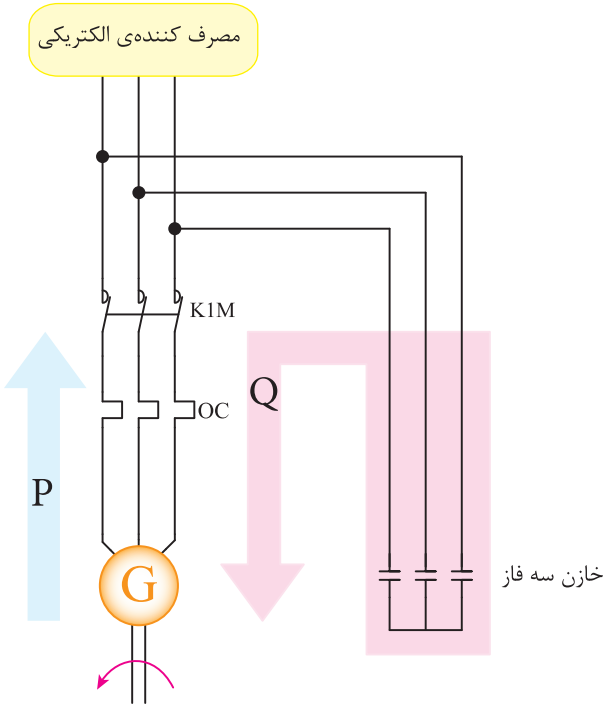
هر چه چرخش مولد سریعتر باشد توان اکتیو تولید شده بیشتر اســـت و بالعکس با کاهش سرعت توان اکتیو کمتری به شبکه تحویل می‌شود.

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؟

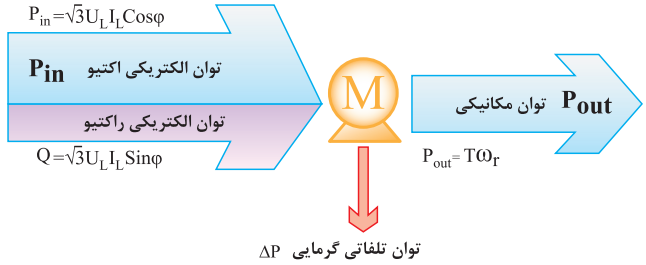
۳) یک ماشین القایی سه فاز به شبکه برق متصل است و در ناحیه مولدی کار می کند:

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.

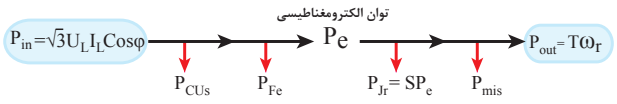
بنابراین تلفات رتور را مطابق رابطه(۳-۳۵) به دست می‌آید.

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

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:

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

یا

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

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.

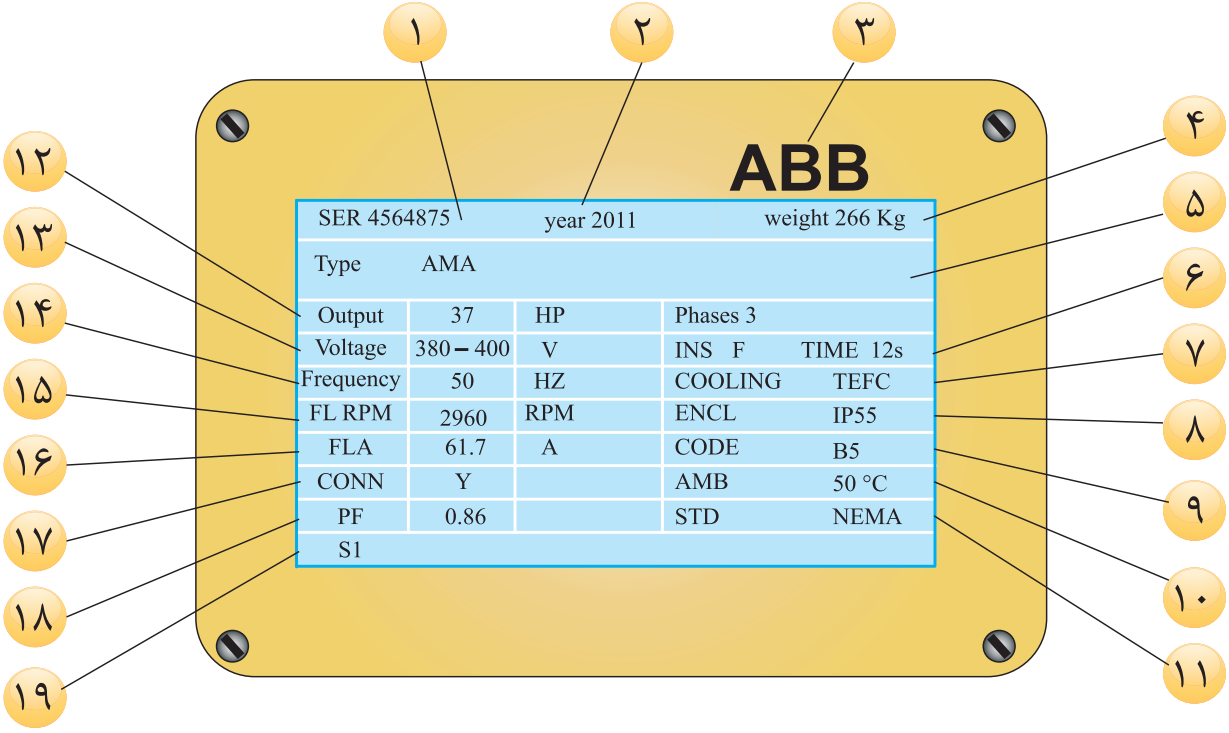
از عیــوب موتور رتور قفســی می‌توان مــوارد زیر را برشمرد:

- 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 اشیاء 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