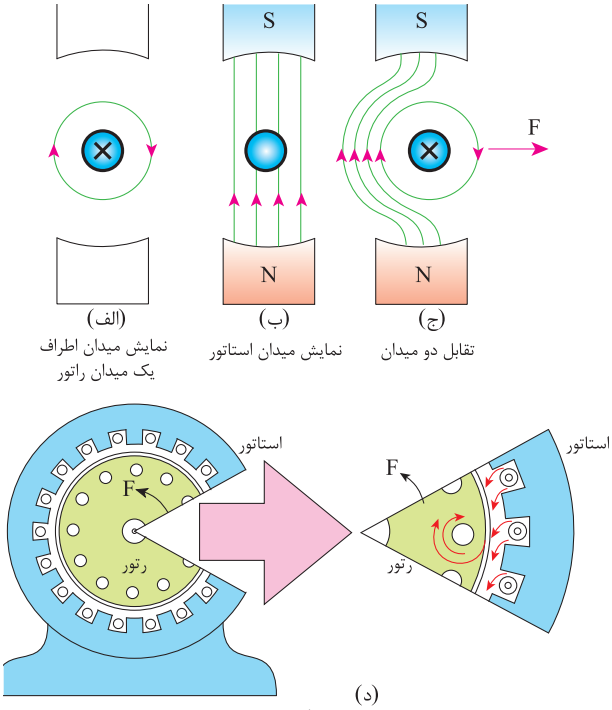
۳

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

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

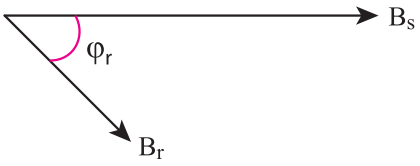
برای چرخش رتور در ماشینهای القایی نیز به گشتاور احتیاج است. این گشتاور بر اثر پدیده الکترومغناطیس ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل(۳۰-الف و ب) نشان داده شده است میدان استاتور و یا رتور به تنهایی برای وارد شدن نیرو به رتور کافی نیست و لازم است برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی دو میدان مغناطیسی بر هم اثر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

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



شکل ۳۰-نحوه تولید گشتاور در موتور القایی

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



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

بیشتر بدانید

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

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

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

Bs چگالی میدان مغناطیسی استاتور

Br چگالی میدان مغناطیس رتور

T گشتاور کار ماشین القایی

$\propto$ علامت تناسب

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

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

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

$$B_s = K_۲ E_r \qquad (۳-۱۷)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

نتیجه ۱:

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

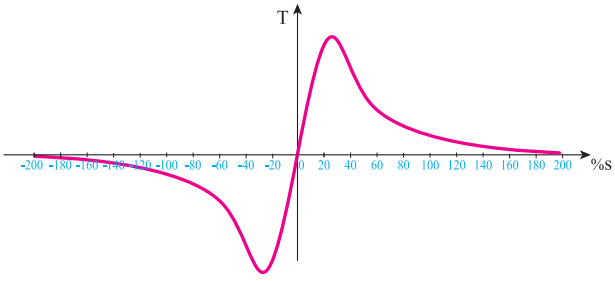
سوال می‌توانید بگوید ۲۰ درصد افزایش ولتاژ باعث چه میزان افزایش در گشتاور ماشین القایی می‌شود؟

نتیجه ۲ :

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

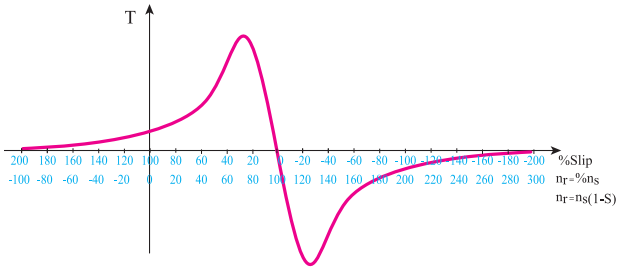
اگر تابع تغییرات گشتاور بر اساس تغییرات لغزش در روی صفحه مختصات ترسیم گردد، منحنی شکل (۳۱) بدست می‌آید که به عنوان منحنی تغییرات تابع گشتاور نسبت به لغزش $T=f(S)$ شناخته می‌شود

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



شکل ۳۱- نمودار تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش

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

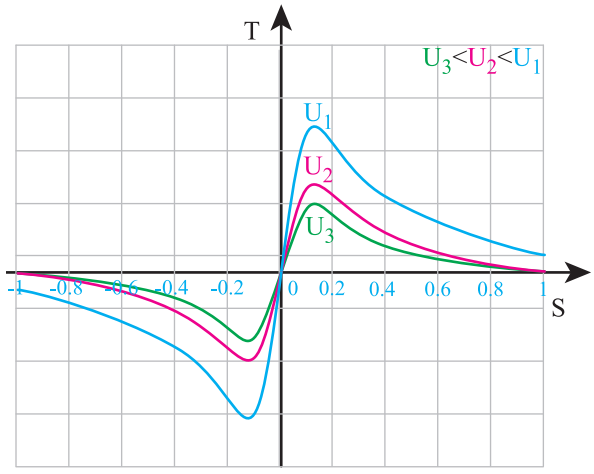


شکل ۳۲ - منحنی تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش و سرعت رتور

۳

نتیجه ۳ :

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



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

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

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

در رابطه(۲۰-۳)

T_1 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U۱

T_2 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U۲

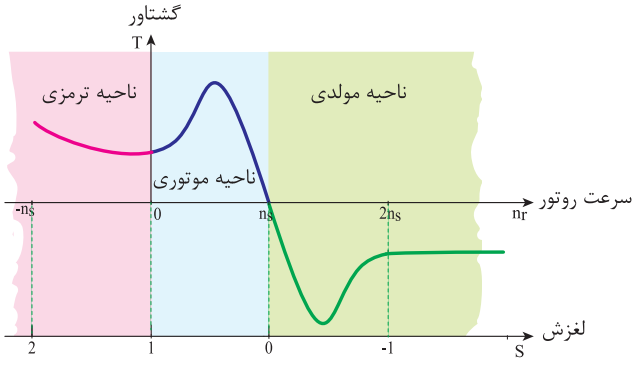
U_1 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت اول

U_2 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت دوم

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

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

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



شکل ۳۴- نواحی مختلف ماشین القایی

خود را بیازمایید

۱) عوامل تعیین کننده گشتاور در ماشینهای القایی کدامند؟

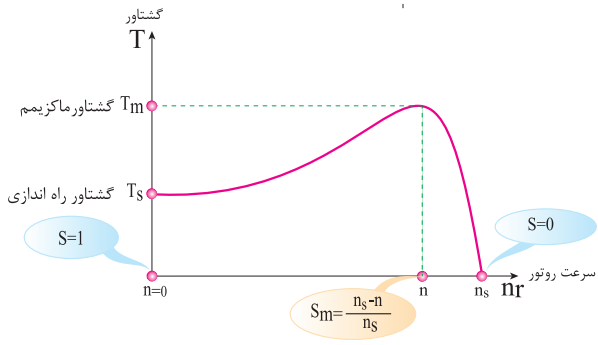
۲) تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی که با ولتاژ ثابت کار می کند چیست؟

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

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

۱۴- مشخصه گشتاور- دور موتور القایی

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



شکل ۳۵-منحنی گشتاور - دور موتور القایی

از مشخصه شکل (۳۵) نکات زیر بدست می‌آید.

نکته ۱

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

نکته ۲

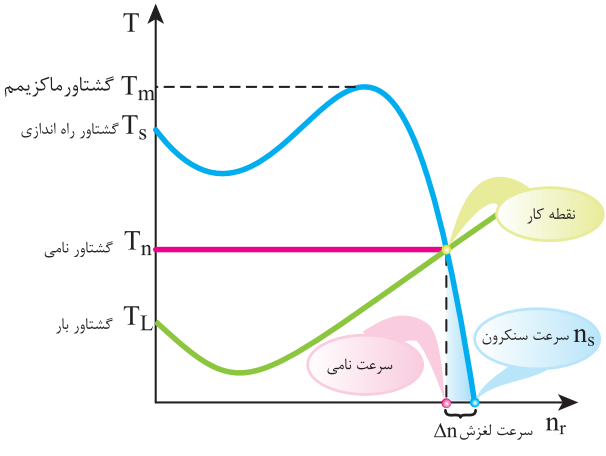
با کمک روابط ریاضی ثابت می‌شود بیشترین مقدار گشتاور "T_m" در لغزشی معادل با نسبت مقاومت اهمی مدار رتور به راکتانس القایی حالت سکون آن ($\frac{R_2}{X_2}$) اتفاق می‌افتد که آن را لغزش بحرانی می‌نامند.

نکته ۳

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

نکته ۴

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



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

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

نکته ۵

در فاصله T_s تا T_m همراه با افزایش سرعت موتور مقدار گشتاور نیز مرتباً زیاد می‌شود. ولی با عبور از نقطه T_m (گشتاور ماکزیمم) این وضعیت تغییر نموده و گشتاور شروع به کاهش می نماید. بنابراین با رسیدن گشتاور موتور (گشتاور محرک) به مقدار گشتاور بار (گشتاور مقاوم) یعنی نقطه ی تلاقی مشخصه گشتاور-دور موتور القایی با مشخصه گشتاور- دور بار مکانیکی (نیروی مقاوم) مطابق شکل (۳۶) سرعت موتور تثبیت می‌گردد. این نقطه را نقطه کار موتور می‌گویند. در واقع برابری دو گشتاور موتور و بار مکانیکی سبب تثبیت سرعت موتور در نقطه‌ی کار می‌شود.

نکته ۶

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

نکته ۷

برای تحلیل رفتار موتور القایی و به حرکت در آوردن بار مکانیکی مقادیر T_m ، T_s و T_n نیز از اهمیت بالایی برخوردار است که سازندگان موتورهای القایی، مقدار T_n و نسبتهای $\frac{T_s}{T_n}$ و $\frac{T_m}{T_n}$ را در برگه مشخصات فنی[۳] در اختیار بهره بردار قرار می‌دهند.

نکته ۸

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

میدان هادیهایی که در شیارهای عمیق جای دارند توسط آهن رتور احاطه می‌شوند. در نتیجه مطابق شکل (۳۷-ب) موجب می‌شود که میدان اطراف آن پراکندگی کمتری داشته باشد لذا در مغناطیس نمودن هسته نقش بیشتری دارد که معادل خاصیت راکتانس سلفی بیشتر در رتور است. چنین موتورهایی در نقطه کار دارای لغزش کمتری هستند و خاصیت کار بهتری دارند.

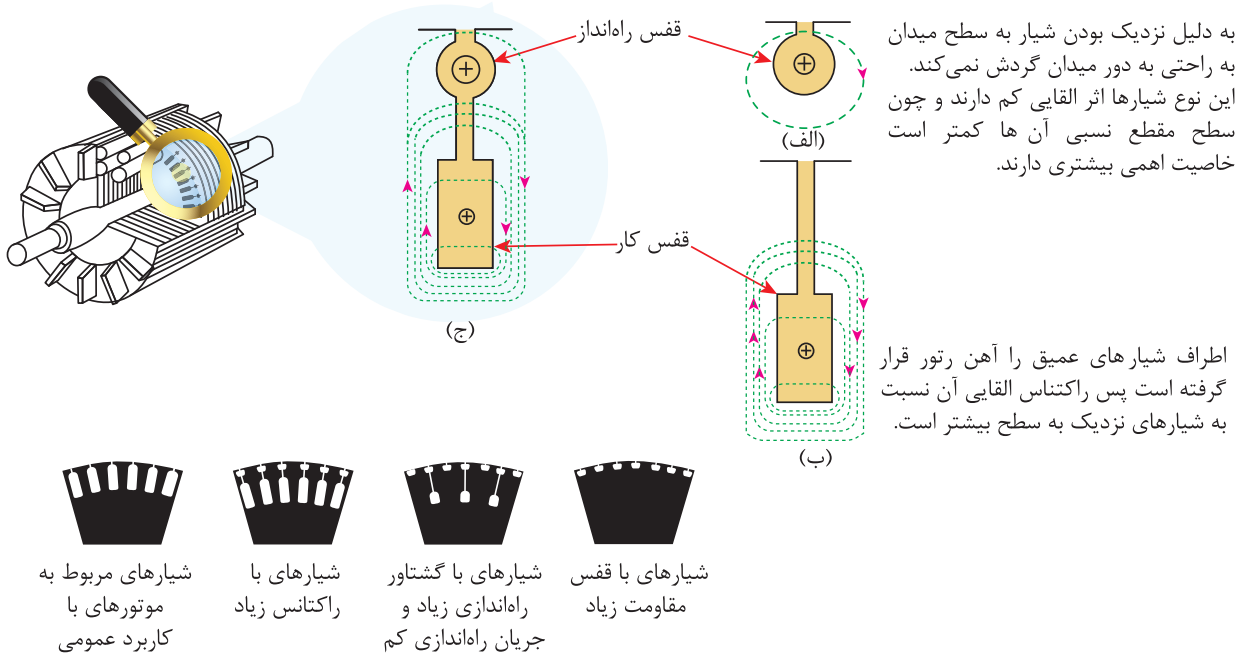
از آنجا که سطح مقطع نسبی مفتولهای نزدیکتر به سطح رتور کوچکتر از مفتولهای عمیق است در نتیجه مقاومت اهمی بیشتری نسبت به مفتولهای درون شیار عمیق دارند. گشتاور موتورهایی که رتور آنها چنین

---

۱) مشخصه گشتاور-دور پمپ

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

۳) Data Sheet



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

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

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

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

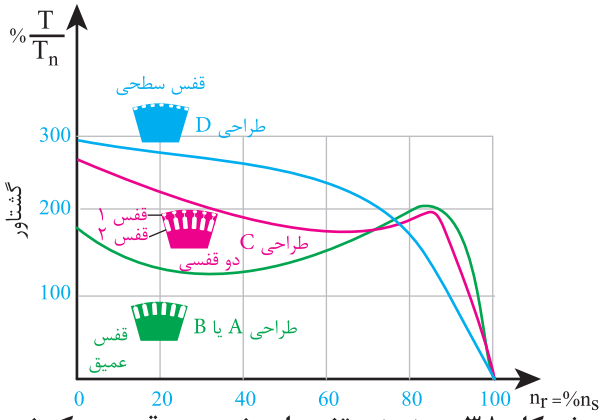
نوع طراحی	گشتاور راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	گشتاور ماکزیمم (درصد نسبت به جریان نامی)	جریان راه‌اندازی (درصد نسبت به جریان نامی)	لغزش	کاربرد عمومی
طراحی A -گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی زیاد	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	مشخص نشده	۰/۵~۵٪	فن، دمنده های هوا، پمپ‌های سانتروفیوژ، کمپرسورها و هرجایی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

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

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

۱) National Electrical Manufacturer Association

۳



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

۱۵–مشخصه ضریب قدرت– سرعت موتور القایی

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

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

نکته

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

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

خود را بیازمایید

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

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

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

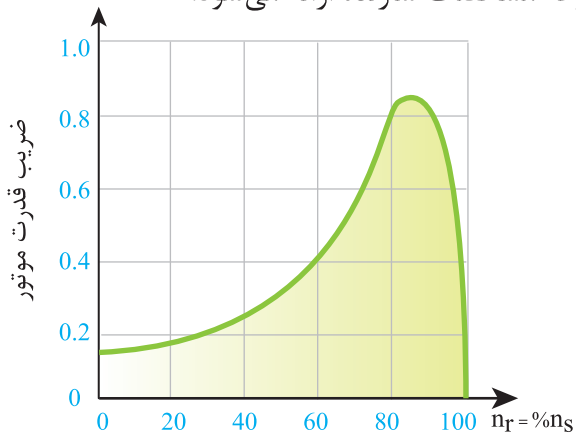
۴) در رتور های قفسی هر چقدر عمق شیارها بیشتر باشد، مقاومت القایی رتور.....(بیشتر/ کمتر) است چرا؟

۵) ساختمان رتور دو قفسی را توضیح دهید.

[1] Power Factor

ضریب قدرت بر حسب دور موتور نمایش داده شده است.

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

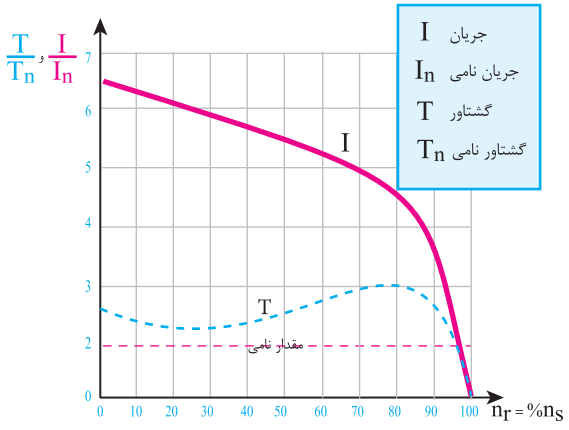
[1] American Petroleum Institute

۳

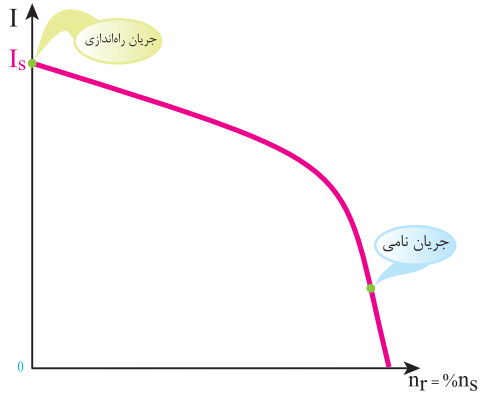
۱۷- مشخصه جریان - دور موتور القایی

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

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



الف)نمایش نسبت جریان به جریان نامی موتور القایی



ب) نمایش جریان راه‌اندازی موتور القایی

شکل ۴۰

خود را بیازمایید

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

الف)جریان مغناطیس کننده

ب) ضریب قدرت

ج) انرژی دریافتی از شبکه

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

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

الف) بار مکانیکی بیشتر از توان موتور باشد.

ب) بار مکانیکی بسیار کمتر از توان موتور باشد.

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

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

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

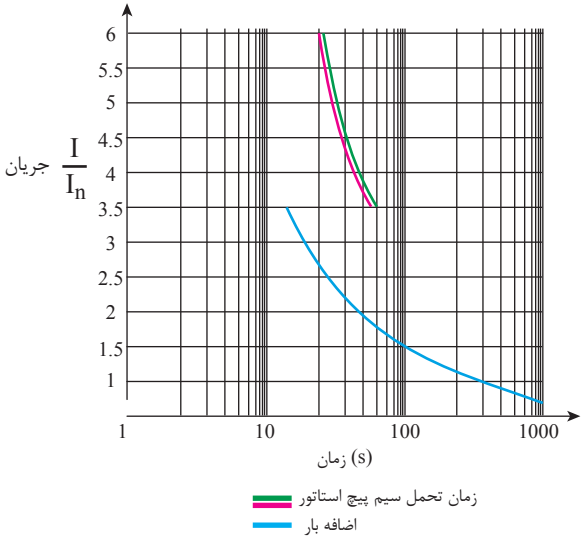
افزایش بیش از اندازه بار می‌تواند حتی به موتور

آسیب بزند. زیرا اضافه بار باعث دریافت جریان بیشتر از شبکه و در نتیجه تولید گرمای اضافی درسیم‌پیچهای موتور می‌شود و در زمان طولانی منجر به از بین رفتن عایق سیم و ذوب شدن آن می‌گردد که آن را در اصطلاح سوختن سیم پیچ موتور می‌گویند.

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

در حالت رتور قفل شده جریان راه‌اندازی از سیم‌پیچهای موتور عبور می‌کند به همین خاطر به جریان راه‌اندازی، معمولا جریان رتور قفل شده[1] نیز می‌گویند.

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

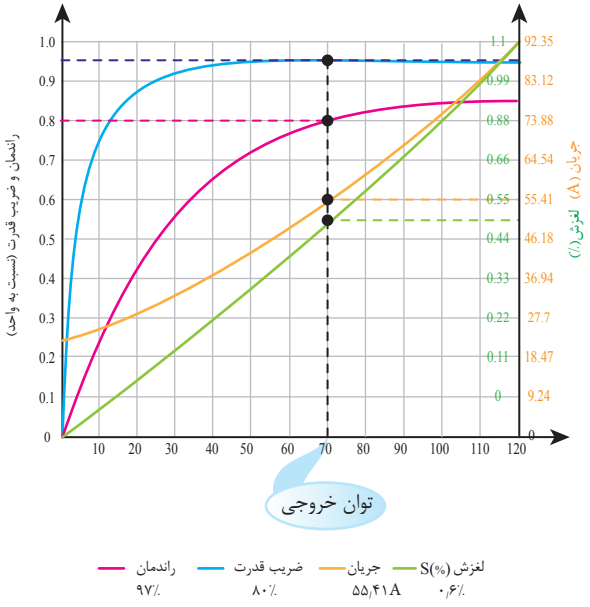


شکل ۴۱ -نمودار زمان تحمل سیم پیچها در اضافه بارهای مختلف

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

به همین خاطر مطالعه تأثیر تغییرات نیروی مقاوم بار برروی مقادیر لغزش (سرعت)، جریان[2]، ضریب قدرت و راندمان بسیار با اهمیت می‌باشد.

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



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

---

۱) Locked Rotor Current

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

P_N kW (hp)	I_N 380 V A	400 V A	415 V A	η 1.0 P_N 0.75 P_N 0.5 P_N	Cos Ø 1.0 P_N 0.75 P_N 0.5 P_N	T_N Nm	$\frac{T_s}{T_N}$	$\frac{I_s}{I_N}$	$\frac{T_m}{T_N}$	$\frac{T_s}{T_N}$
0.75 (1)	1.77	1.69	1.69	**77.0** *77.0* *73.0*	**0.83** *0.77* *0.65*	2.5	2.2	5.5	2.5	2.0
1.1 (1.5)	2.51	2.39	2.39	**81.0** *81.0* *78.0*	**0.82** *0.75* *0.63*	3.7	2.7	6.7	2.7	2.4
1.5 (2)	3.4	3.2	3.2	**82.0** *83.0* *81.0*	**0.82** *0.75* *0.63*	5.0	2.5	6.0	3.0	2.2
2.2 (3)	4.6	4.4	4.4	**84.0** *85.0* *83.0*	**0.86** *0.81* *0.71*	7.4	2.5	6.3	3.0	2.2
3 (4)	5.9	5.7	5.7	**86.5** *87.0* *86.5*	**0.88** *0.83* *0.75*	10.0	3.0	7.8	3.1	2.6
4 (5.5)	7.6	7.2	7.2	**88.0** *89.0* *89.0*	**0.91** *0.89* *0.85*	13.3	3.0	7.8	3.1	2.8
5.5 (7.5	10.5	10.0	10.0	**89.5** *89.5* *88.0*	**0.89** *0.85* *0.73*	18.1	2.7	8.2	3.1	2.4
7.5 (10)	14.0	13.3	13.3	**89.5** *90.0* *89.0*	**0.91** *0.89* *0.82*	24.7	2.5	8.2	3.0	2.3
11 (15)	20.7	19.7	19.7	**90.5** *90.8* *89.7*	**0.89** *0.86* *0.79*	35.8	2.2	7.8	3.0	1.8

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

خود را بیازمایید

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

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

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

۱۹- روشهای راه‌اندازی موتورهای القایی

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

در زمان راه‌اندازی موتور، دو موضوع باید ملاحظه شود:

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

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

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

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

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

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

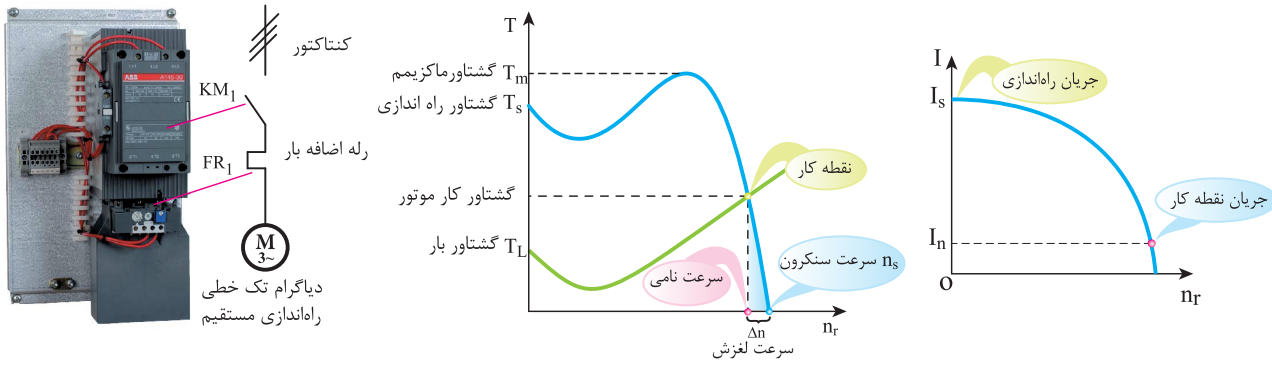
- روش راه‌اندازی استاتوری (قابل کاربرد در کلیه موتورهای القایی)
- روش راه‌اندازی رتوری (قابل کاربرد در موتورهای القایی رتور سیم‌پیچی)

انواع روشهای راه‌اندازی استاتوری عبارتنداز:

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

۱۹-۱-راه‌اندازی مستقیم DOL

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



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

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

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

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

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

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

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

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

۱۹-۲- راه‌اندازی ستاره – مثلث

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

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

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

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

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

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

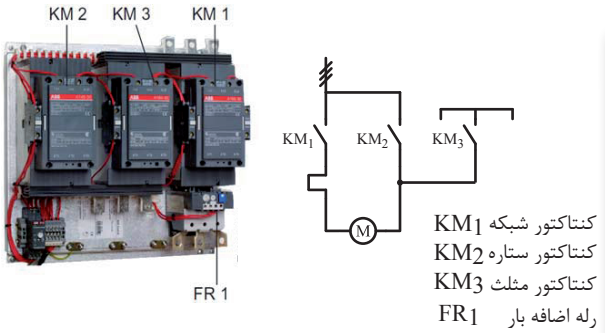
با این روش راه‌اندازی، جریان و گشتاور راه‌اندازی به حدود ۳۰٪ جریان راه‌اندازی حالت مستقیم (DOL) می‌رسد. شکل(۴۴) مدار قدرت و نمودارهای مربوط به راه‌اندازی ستاره-مثلث را نشان می‌دهد.

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

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

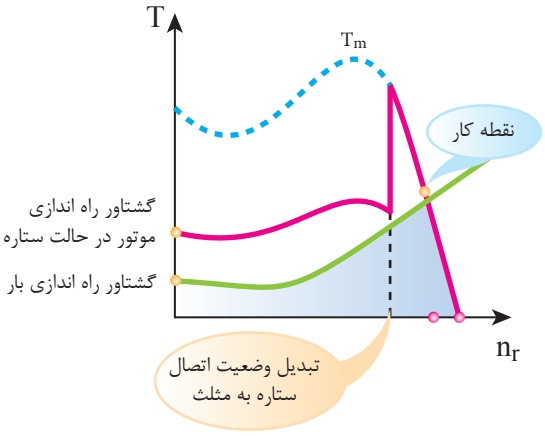
راه‌اندازی بار اطمینان حاصل کرد.

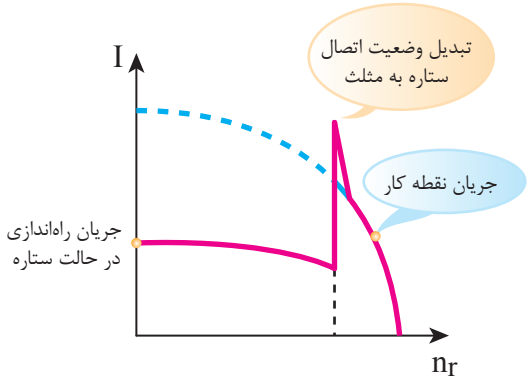
- مـدار کنترل پیچیده‌تر نسـبت بـه راه‌اندازی مستقیم DOL



توجه

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





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

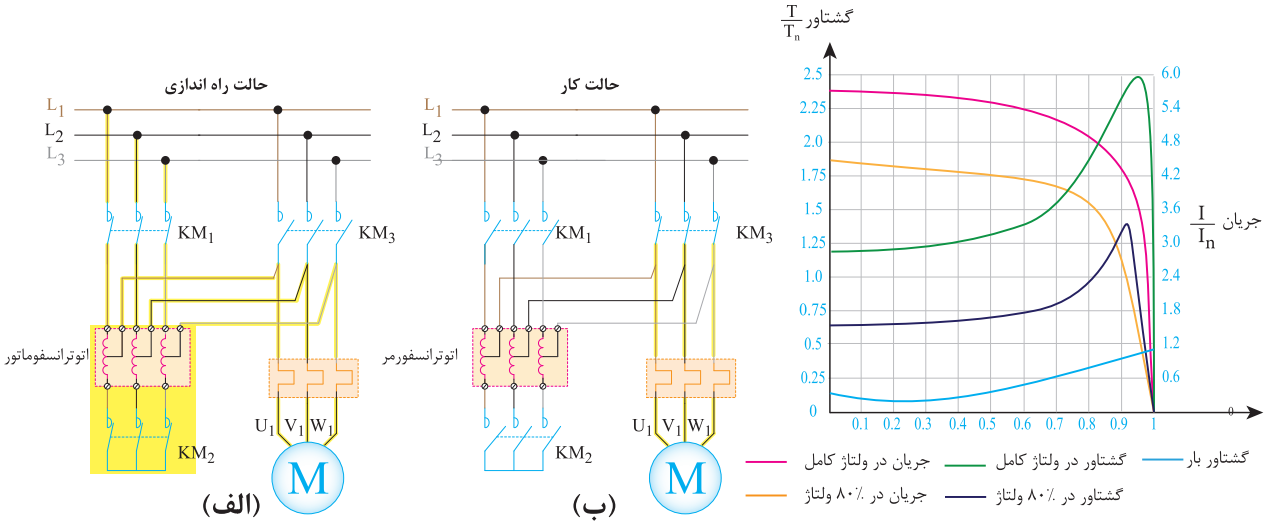
۱۹-۳-راه‌اندازی با اتو ترانسفورماتور

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

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

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

۱) تلفات هارمونیکی از گردش یک جریان در داخل حلقه اتصال مثلث ایجاد می‌شود.این تلفات در اتصال ستاره وجود ندارد.



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

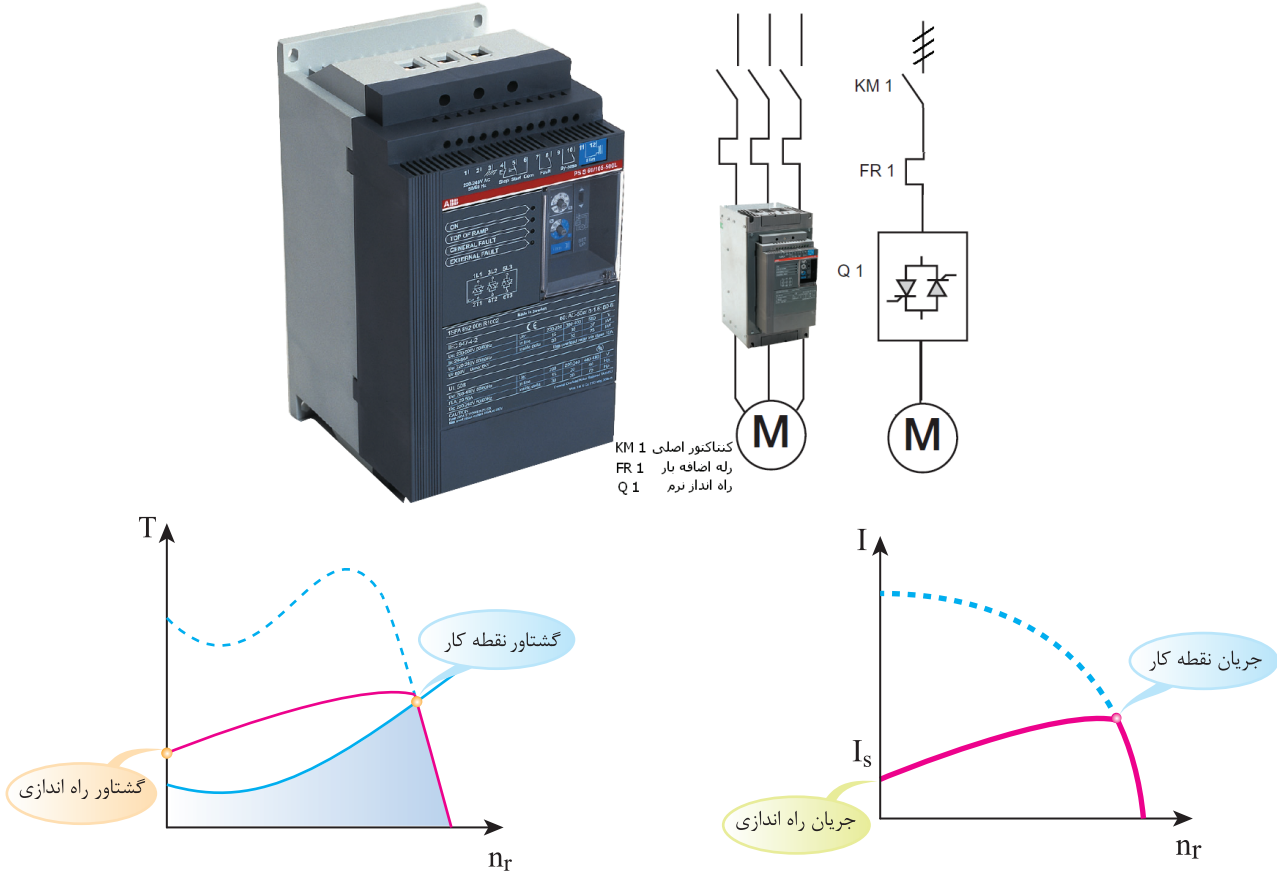
کلیه دستگاههای راه‌انداز نرم(Soft Starter) دارای سیستم توقف نرم(Soft-Stop) نیز می‌باشند.

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

۱ Soft Starter

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

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



شکل۴۶ –مدار راه‌اندازی نرم موتورهای القایی(بالا)– نمودارجریان راه‌اندازی نرم (سمت راست) و گشتاور– دور موتور القایی با راه‌انداز نرم (سمت چپ)

۱۹-۵-روش راه‌اندازی رتوری

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

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

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

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

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

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

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

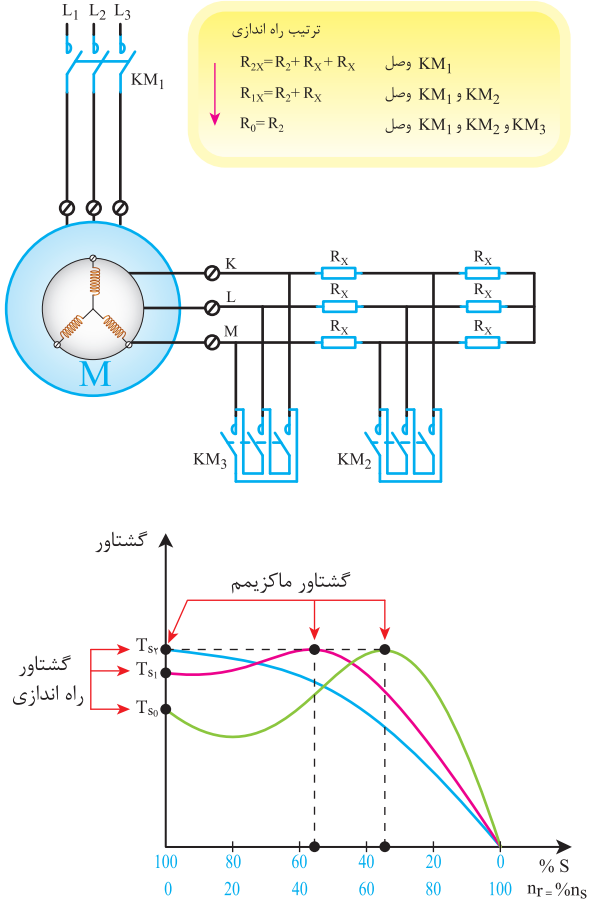
رابطه‌ی $S_m = \frac{R_2}{X_2}$ جایگزین شود، در اینصورت خواهیم داشت:

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

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

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

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

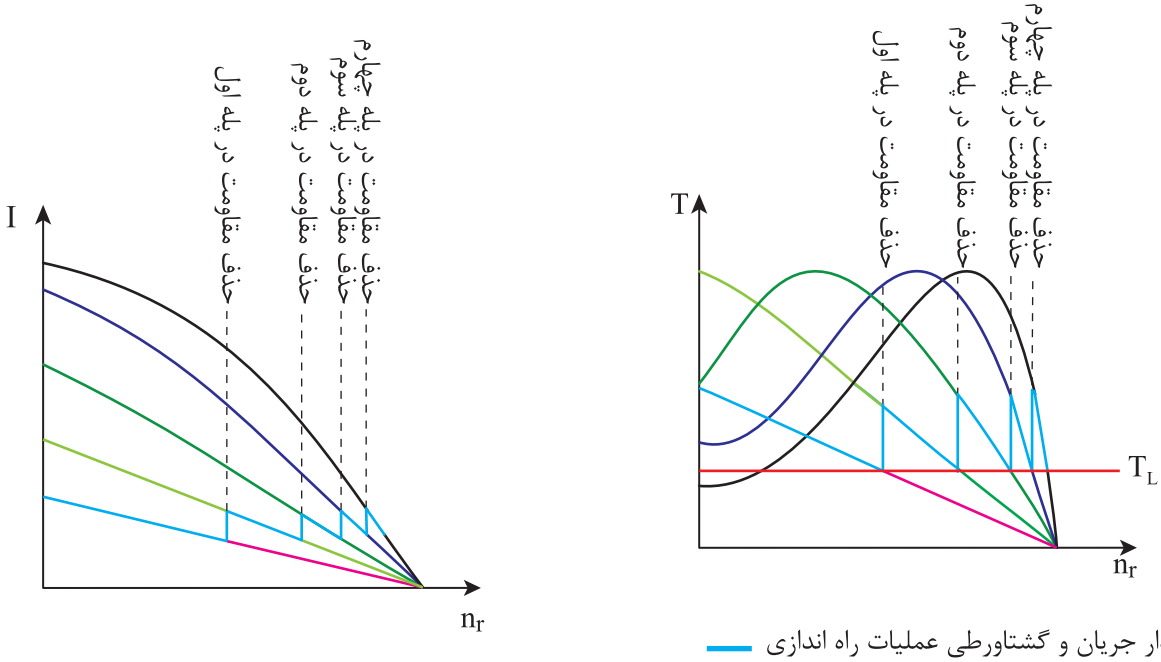


شکل ۴۷ -مدار راه‌اندازی موتور القایی به روش تغییر مقاومت رتور(شکل بالا) و اثر تغییر مقاومت مدار رتور برمنحنی گشتاور- دور (شکل پایین)

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

شکل(۴۸) ، منحنی گشتاورراه‌اندازی موتور القایی

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



نمودار جریان و گشتاورطی عملیات راه اندازی

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

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

خود را بیازمایید

۱) روشهای راه‌اندازی موتورهای القایی را نام ببرید.

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

۳) معایب استفاده از روش راه‌اندازی مستقیم چیست؟

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

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

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

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

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

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

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

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

۲۰-تغییر سرعت موتورهای القایی

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

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

تغییر سرعت میدان دوار(n_s) با:

- روش کنترل هم‌زمان فرکانس و ولتاژ
- تغییر قطبهای سیم‌بندی

تغییر مقدار لغزش(S) با :

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

۲۰-۱ -کنترل هم زمان فرکانس و ولتاژ

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

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

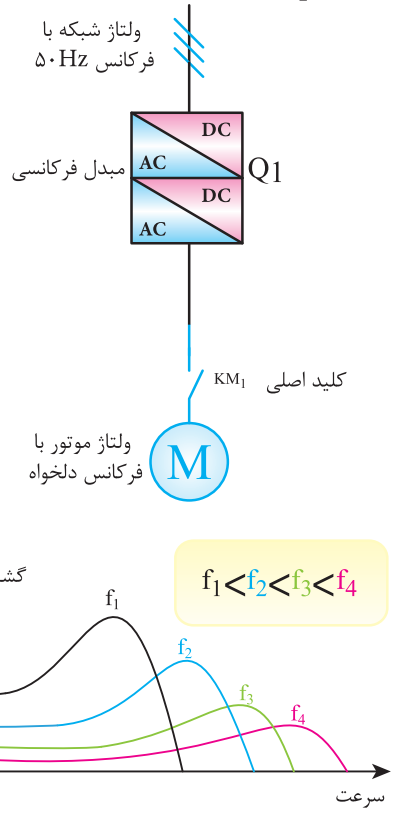
هر مبدل فرکانسی دارای دو بخش می‌باشد. ابتدا ولتاژ AC (۵۰ یا ۶۰ هرتز) در این دستگاه به ولتاژ DC تبدیل می‌شود سپس ولتاژ DC را به ولتاژ Ac ، با فرکانس قابل کنترل معمولا بین ۰~۲۵۰Hz تبدیل می‌کند.

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

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

۱) (Variable Speed Drive Or Variable Frequency Drive)

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



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

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

$$E = ۴/۴۴NBAf \qquad (۳-۲۲)$$

به عبارتی

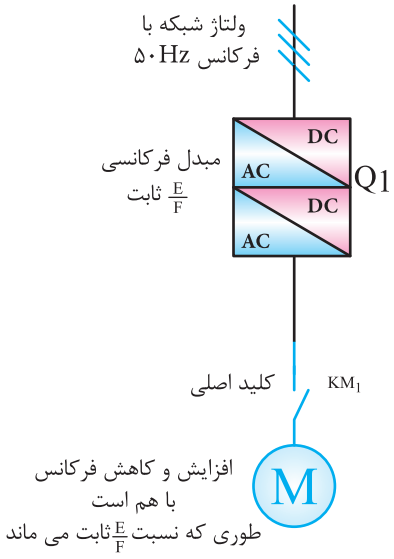
$$E = ۴/۴۴N\varphi f \qquad (۳-۲۳)$$

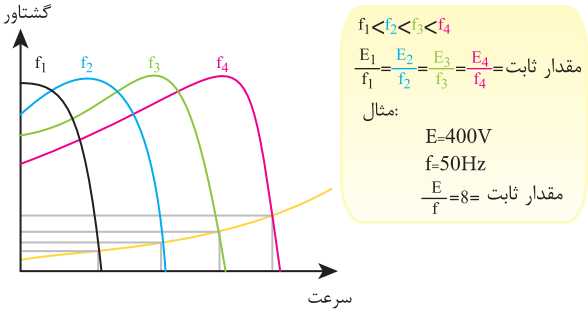
در صورتی که فرکانس به تنهایی افزایش یا کاهش یابد، برای برقراری رابطه (۳-۲۳) باید شار فاصله هوایی کاهش یا افزایش یابد. و از آنجا که تقابل دو میدان باعث ایجاد گشتاور در موتور القایی می‌گردد لذا تغییرات شار مغناطیسی به تغییر گشتاور مفید موتور می‌انجامد.

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

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

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





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