

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

بیشتر بدانید



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

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

$$T = K_f B_s B_r \cos \phi_r \quad (3-17)$$

B_s چگالی میدان مغناطیسی استاتور

B_r چگالی میدان مغناطیس رتور

T گشتاور کار ماشین القایی

$\propto$ علامت تناسب

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

$$E_r \propto B_s \Rightarrow E_r = K_f B_s \Rightarrow$$

$$B_s = \frac{1}{K_f} E_r \Rightarrow B_s = K_f E_r \quad (3-18)$$

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

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

از جایگزینی روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۹)

در رابطه (۳-۱۷) خواهیم داشت:

$$T = K_f B_s B_r \cos \phi_r \Rightarrow T = \underbrace{K_f K_f K_f}_K E_r I_r \cos \phi_r$$

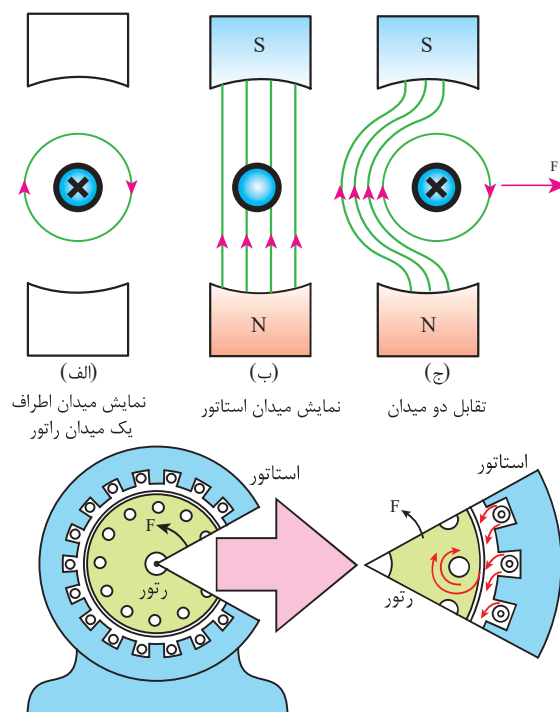
$$T = K E_r I_r \cos \phi_r$$

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

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

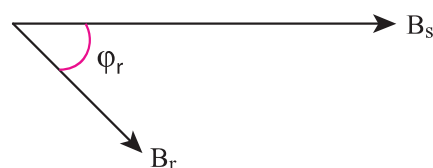
برای چرخش رتور در ماشین‌های القایی نیز به گشتاور احتیاج است. این گشتاور بر اثر نیروی الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود. همانطور که در شکل (۳-۱۰ الف و ب) نشان داده شده است میدان استاتور و یا رتور به تنهایی برای وارد شدن نیرو به رتور کافی نیست و لازم است برای ایجاد گشتاور الکترومغناطیسی دو میدان مغناطیسی برهم اثر نمایند.

در شکل (۳-۱۰ ج و د)، مشاهده می‌شود که گشتاور وارد شده به رتور و گردش آن، با اثر متقابل دو میدان ایجاد شده است. این دو میدان یکی توسط جریان استاتور و دیگری ناشی از جریان رتور می‌باشد.



شکل ۳-۱۰ نحوه تولید گشتاور در موتور القایی

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



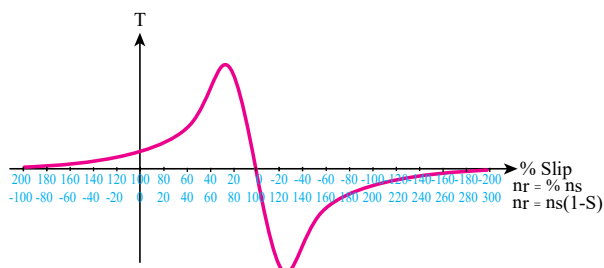
بنابراین عوامل تعیین کننده گشتاور ماشین القایی، اندازه

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

نتیجه ۱:

رابطه $(20-3)$ نشان می‌دهد که گشتاور ماشین القایی با مجذور نیروی محرکه القایی رتور در حالت سکون (E_r) نسبت مستقیم دارد. از طرفی نیروی محرکه القایی رتور وابسته به ولتاژ ورودی ماشین (ولتاژ استاتور) می‌باشد. بنابراین گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نسبت مستقیم دارد.

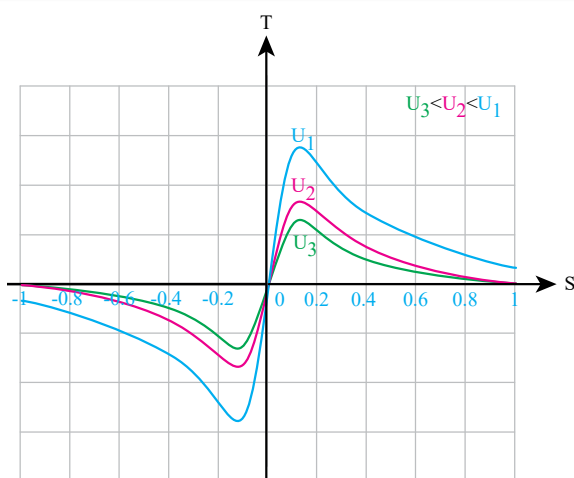
البته از آنجا که در تحلیل ماشین القایی تصور تغییرات سرعت راحت‌تر است، لذا در اغلب اوقات بجای مشخصه گشتاور بر حسب لغزش شکل (31) از مشخصه گشتاور بر حسب دور شکل (32) استفاده می‌شود.



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

نتیجه ۳:

منحنی شکل (31) و (32) در ولتاژ مشخصی ترسیم شده است. یعنی ولتاژ استاتور ماشین القایی ثابت لحاظ گردیده است. اما با توجه به رابطه $(20-3)$ ، گشتاور ماشین القایی با مجذور ولتاژ استاتور نیز 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.



شکل ۳۳- اثر تغییرات ولتاژ بر منحنی گشتاور-لغزش ماشین القایی

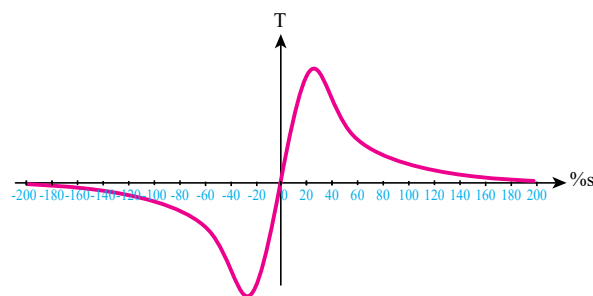
سوال

می‌توانید بگویید ۲۰ درصد افزایش ولتاژ ورودی باعث چه میزان افزایش در گشتاور ماشین القایی می‌شود؟

نتیجه ۲:

از آنجا که کمیت‌های R_p و X_p همواره مقداری ثابت دارند، با توجه به رابطه $(20-3)$ اگر ماشین القایی در یک ولتاژ مشخص استفاده شود، تنها عامل تغییر دهنده گشتاور ماشین القایی، لغزش می‌باشد. لذا با ترسیم تابع تغییرات گشتاور بر اساس تغییرات لغزش در روی صفحه مختصات، منحنی شکل (31) به دست می‌آید که به عنوان منحنی تغییرات تابع گشتاور نسبت به لغزش $T = f(S)$ شناخته می‌شود.

توجه: از دانش آموزان انتظار می‌رود شکل کیفی منحنی‌های زیر را به خاطر بسپارند.



شکل ۳۱- نمودار تغییرات گشتاور ماشین القایی بر حسب لغزش

خود را بیازمایید



۱- عوامل تعیین کننده گشتاور در ماشین های 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 $(-1 \leq S \leq 0)$ ترسیم نمایید.

با توجه به وابستگی گشتاور به مجذور ولتاژ ورودی می توان رابطه تناسبی (۳-۲۱) را نوشت.

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2} \quad (3-21)$$

در رابطه (۳-۲۱)

T_1 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U_1

T_2 گشتاور ماشین القایی در ولتاژ U_2

U_1 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت اول

U_2 ولتاژ استاتور ماشین القایی در حالت دوم

آیا حالا می توانید به سؤال مربوط به نتیجه ۱ به راحتی

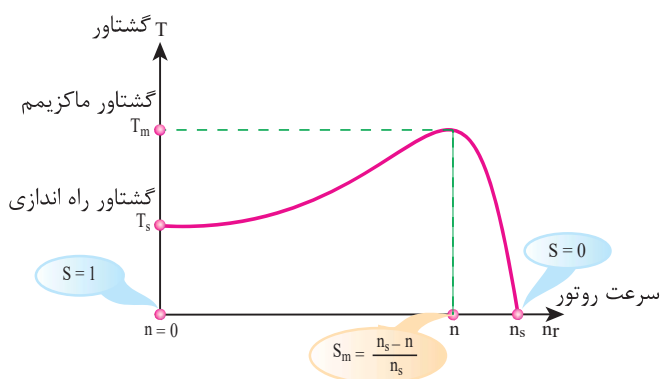
پاسخ دهید؟

۳-۱۲ ناحیه بندی ماشین القایی بر اساس مشخصه گشتاور - دور

مطابق آنچه در توصیف رفتار ماشین های القایی با توجه به مقادیر مختلف لغزش «بند ۱» بیان شد می توان 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.

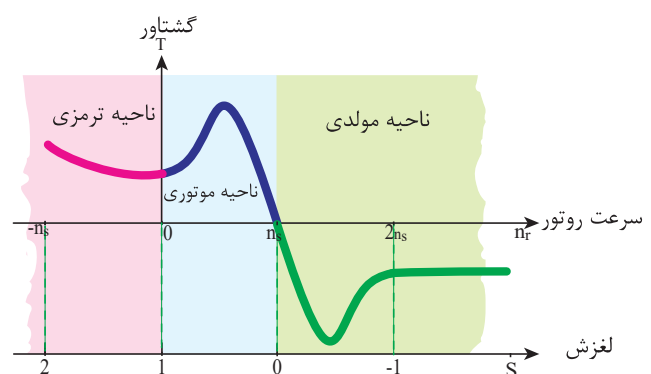
۳-۱۳ مشخصه گشتاور - دور موتور القایی

با توجه به شکل (۳۵)، ناحیه عملکرد موتوری ماشین القایی در سرعت $0 < n_r \leq n_s$ و یا $0 < S \leq 1$ می باشد. 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 می دهد.

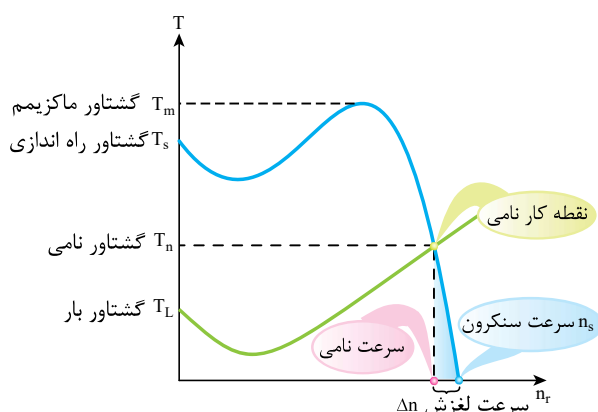


شکل ۳۵- منحنی گشتاور - دور موتور القایی

از مشخصه شکل (۳۵) نکات زیر به دست می آید.



شکل ۳۴- نواحی مختلف ماشین القایی



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 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 ($\frac{R_r}{X_r}$) 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 می‌دهند، 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.

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 می‌نماید. بنابراین با رسیدن گشتاور موتور (گشتاور محرک) به مقدار گشتاور بار (گشتاور مقاوم) یعنی نقطه 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. درواقع برابری گشتاور موتور و بار مکانیکی سبب تثبیت سرعت موتور در نقطه کار می‌شود.

۱- مشخصه گشتاور- دور بپ

۲- چگونگی مشخصه‌های گشتاور- دور بارهای مقاوم وابسته به عملکرد مکانیکی آن می‌باشد و توصیف آن از حوصله کتاب خارج است.



نکته ۶: گشتاور مورد نظر سازنده موتور

القایی در نقطه 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 ۸: در موتورهای القایی رتور

قفسی به جای سیم‌پیچ 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.



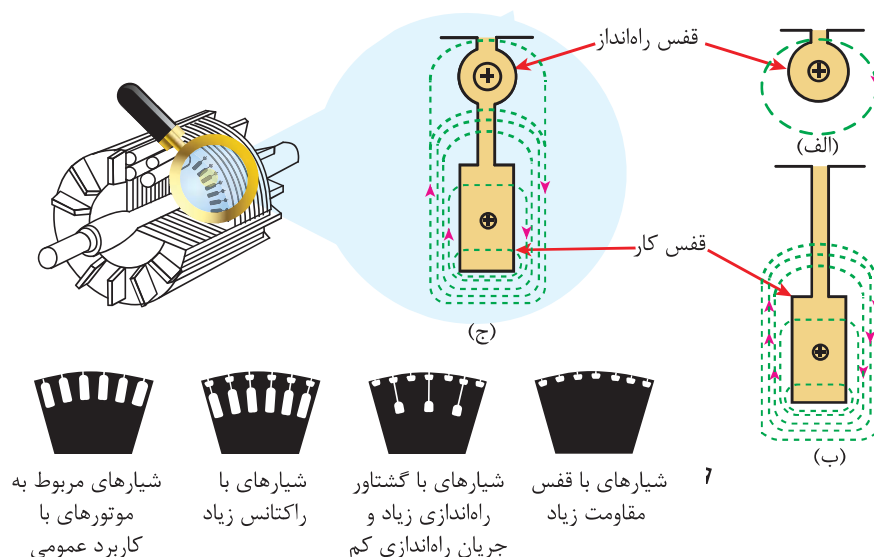
نکته ۷: برای تحلیل رفتار موتور القایی و

به حرکت در آوردن بار مکانیکی مقادیر T_n ، T_m ، و T_s از اهمیت بالایی برخوردار است که سازندگان موتورهای القایی، مقدار T_n و نسبت‌های $\frac{T_m}{T_n}$ و $\frac{T_s}{T_n}$ را در برگه مشخصات فنی^۱ در اختیار بهره‌بردار قرار می‌دهند.

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

به دلیل نزدیک بودن شیار به سطح میدان به راحتی به دور آن گردش نمی‌کند. این نوع شیارها اثر القایی کم دارند و چون سطح مقطع نسبی آن‌ها کمتر است خاصیت اهمی بیشتری دارند.

اطراف شیارهای عمیق را آهن رتور قرار گرفته است پس راکتانس القایی آن نسبت به شیارهای نزدیک به سطح بیشتر است.



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

این نوع رتورها را رتور دو قفسی می‌نامند. موتورهای دو قفسی به دلیل داشتن هر دو خاصیت دارای گشتاور راه‌اندازی بالا و همچنین لغزش کم در نقطه کار می‌باشند.

به طور کلی استاندارد NEMA^۱ مشخصه کارکرد انواع موتورهای رتور قفسی را به چهار دسته (A,B,C,D) تقسیم نموده که در جدول (۴) آمده است.

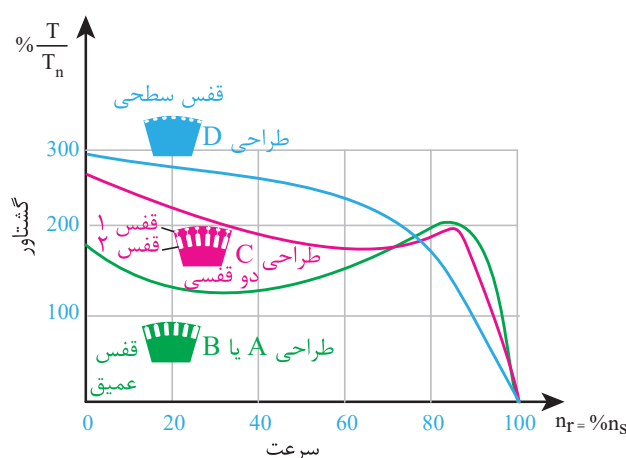
اهمی بیشتری نسبت به مفتول‌های درون شیار عمیق دارند. گشتاور موتورهایی که رتور آنها چنین خصوصیتی دارد در زمان راه‌اندازی بیشتر است ولی در نقطه کار با لغزش زیاد کار می‌کند شکل (۳۷- الف).

یکی از انواع موتورهای رتور قفسی که رتور آن دارای هر دو نوع شیار می‌باشد در شکل (۳۷- ج) نشان داده شده است.

* مقادیر بیشتر مربوط به موتورهایی با توان کمتر است.

جدول ۴- مشخصات انواع رتورهای قفسی طبقه‌بندی شده بر اساس استاندارد NEMA

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	۵٪~۵۰٪	فن، دمنده‌های هوا، پمپ‌های سانترفیوژ، کمپرسورها و هر جایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز باریه نسبت کم باشد.
طراحی B- گشتاور راه‌اندازی معمولی جریان راه‌اندازی معمولی	۷۰~۲۷۵*	۱۷۵~۳۰۰	۶۰۰~۸۰۰	۵٪~۵۰٪	فن، دمنده‌های هوا، پمپ‌های سانترفیوژ، کمپرسورها و هر جایی که گشتاور راه‌اندازی مورد نیاز باریه 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 هر جایی که راه‌اندازی زیر بار مورد نیاز باشد.
طراحی D- گشتاور راه‌اندازی زیاد لغزش زیاد	۲۷۵*	۲۷۵	۶۰۰~۸۰۰	≥۵٪	ماشین پانچ، بالابرها، پمپ‌های چاه نفت و هر جایی که مقدار بار مکانیکی همراه یا بدون چرخ طیار زیاد باشد.



شکل ۳۸- منحنی مشخصه گشتاور- دور انواع موتورهای قفسی بر اساس استاندارد NEMA