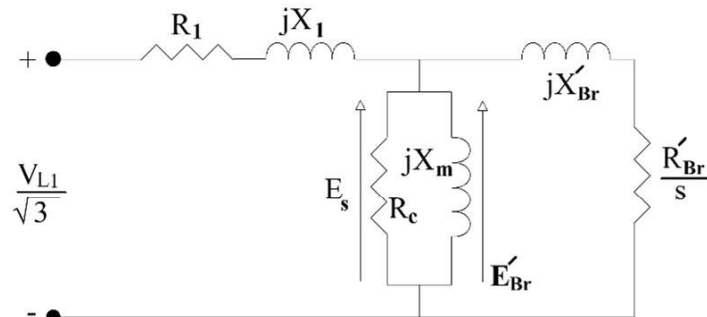




شکل (۲-۲۶) مدار معادل ماشین القایی

R_1 و X_1 : مقاومت و راکتانس معادل ستاره هر سیم‌پیچ استاتور

R_c و X_m : تلفات هسته و خاصیت مغناطیس‌شوندگی هسته

E'_{Br} : ولتاژ فاز القاشده در روتور

R'_{Br} و X'_{Br} : مقاومت و راکتانس معادل ستاره روتور در حالت سکون؛ که به سمت استاتور منتقل شده‌اند.

s : لغزش

نکته ۵۴-۶) در حالت راه‌اندازی به دلیل بزرگ بودن مقدار s (برابر با یک) موتور القایی خاصیت سلفی داشته و با افزایش سرعت موتور (کاهش مقدار لغزش به سمت صفر) خاصیت مقاومتی آن افزایش می‌یابد.

نکته ۵۵-۶) با توجه به مدل ماشین القایی؛ این نوع ماشین همواره مصرف‌کننده توان راکتیو و به صورت پس‌فاز خواهد بود.

مقدار ضریب توان در روتور ماشین القایی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{R_{Br}}{s}}{\sqrt{\left(\frac{R_{Br}}{s}\right)^2 + X_{Br}^2}} \quad (۲-۶۶)$$

نکته ۵۶-۶) هرچه فاصله‌ی هوایی در یک ماشین القایی افزایش یابد، خاصیت سلفی آن افزایش یافته و در نتیجه ضریب توان کاهش می‌یابد.

پرسش ۸۹-۶) کدام گزینه صحیح است؟ (ق.ب-۹۳ «۳۱»)

الف) ضریب توان بیشتر بارهای صنعتی پس‌فاز و عقب است.

ب) ضریب توان بیشتر بارهای صنعتی پیش‌فاز و جلو است.

ج) بارهای پس‌فاز جریان بیشتری از خط می‌کشند.

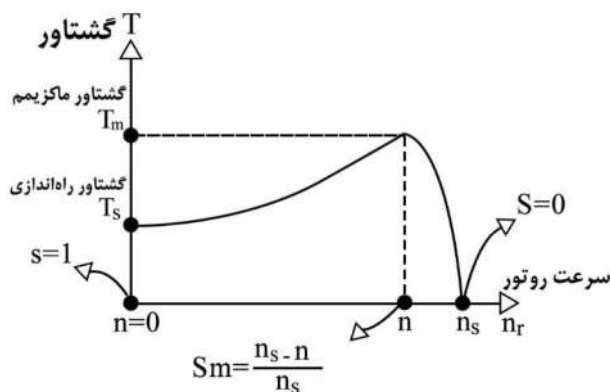
د) گزینه‌های الف و ج صحیح هستند.

پاسخ) با توجه به مدار معادل موتورهای القایی که تشکیل شده از مقاومت و سلف است؛ و با توجه به اینکه بیشتر بارهای صنعتی از نوع موتورهای AC هستند، ضریب توان آنها پس‌فاز می‌باشد. همچنین بارهای پس‌فاز به دلیل افزایش توان راکتیو مصرفی، موجب افزایش مقدار توان و در نتیجه افزایش جریان می‌شوند. گزینه د صحیح است.



۵-۴-۲ گشتاور در ماشین‌های القایی

مقدار نیرویی که در شفت موتورهای القایی به صورت چرخشی بوده و باعث چرخش اجسام می‌شود، گشتاور نام دارد. چنانچه قسمت مربوط به موتور القایی در نمودار گشتاور-لغزش را به صورت جداگانه بررسی کنیم، داریم:



شکل (۲۷-۲) مشخصه گشتاور خروجی در موتور القایی

که این مشخصه را با عنوان مشخصه خروجی در موتورهای القایی شناخته و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

نکته ۵۷-۶) در منحنی گشتاور-لغزش، نقطه‌ای مربوط به گشتاور ماکزیمم به مختصات (s_m, T_m) را نقطه شکست (نقطه بازگشت) تعریف می‌کنند.

نکته ۵۸-۶) در یک موتور القایی، رابطه‌ی زیر بین هر گشتاور دلخواه و گشتاور ماکزیمم برقرار است:

$$\frac{\tau_e}{\tau_{e_{max}}} = \frac{2}{\frac{s}{s_{max\tau}} + \frac{s_{max\tau}}{s}} \quad (۲-۶۷)$$

پرسش ۹۰-۶) در یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب که به شبکه ۶۰ هرتز متصل است، گشتاور حداکثر ۵ برابر گشتاور بار کامل و گشتاور راه اندازی ۲ برابر گشتاور بار کامل است. با صرف نظر کردن از مقاومت استاتور، لغزش در گشتاور

حداکثر، برابر با کدام مورد است؟ $(\sqrt{2} = 1/41, \sqrt{21} = 4/58, \sqrt{3} = 1/73)$ (د. ۹۸-۲۴)
الف) ۴/۷۹ ب) ۴/۶ ج) ۰/۲۱ د) ۰/۱۵

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_{fl}} = 2, \quad \frac{\tau_{e_{max}}}{\tau_{fl}} = 5$$

پاسخ) طبق داده‌های مساله داریم:

با تقسیم عبارت اول بر دوم داریم:

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_{e_{max}}} = 0.4$$

حال طبق نکته بالا و با توجه به اینکه مقدار لغزش در راه‌اندازی برابر با یک است، داریم:

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_{e_{max}}} = \frac{2}{\frac{1}{s_{max\tau}} + \frac{s_{max\tau}}{1}} = 0.4 \rightarrow s_{max\tau} = 0.21$$

گزینه ج صحیح است.



۲-۴-۶ راه‌اندازی موتورهای القایی

موتورهای القایی به هنگام راه‌اندازی، جریان زیادی (حدود ۵ تا ۸ برابر جریان نامی) را از ترمینال استاتور می‌کشند. این موضوع سبب آسیب رساندن هم به قطعات داخلی موتور و هم به تجهیزات موجود در مسیر آن خواهد شد. بنابراین برای محدود کردن این جریان، ولتاژ ورودی را در لحظه راه‌اندازی محدود کرده و سپس به تدریج آن را تا مقدار نامی بالا می‌بریم. البته باید این نکته را در نظر داشت که با کاهش ولتاژ ورودی، گشتاور راه‌اندازی نیز کاهش می‌یابد و این مقدار نباید از حد مجاز کمتر شود. رابطه گشتاور راه‌اندازی با جریان راه‌اندازی به صورت زیر می‌باشد:

$$(۲-۶۸) \quad \frac{\tau_{st}}{\tau_{fl}} = \left(\frac{I_{st}}{I_{fl}} \right)^2 \times s_{fl} \times \alpha^2$$

α ، درصد کاهش ولتاژ در ترانسفورماتور در هنگام راه‌اندازی است.

نکته ۵۹-۶) مقدار α در راه‌اندازی به روش مستقیم برابر با یک است.

پرسش ۶-۹۱) اگر نسبت گشتاور راه‌اندازی موتور القایی مساوی گشتاور بار کامل آن باشد و لغزش بار کامل ۱٪ باشد، نسبت جریان راه‌انداز به جریان بار کامل برابر است با: (ق.ل-۸۴ «۴۶»)

الف) ۵ ب) ۱ ج) ۱۰۰ د) ۱۰

پاسخ) طبق رابطه‌ی بالا داریم:

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_{fl}} = \left(\frac{I_{st}}{I_{fl}} \right)^2 \times s_{fl} \times \alpha^2 \rightarrow 1 = \left(\frac{I_{st}}{I_{fl}} \right)^2 \times 0.01 \times 1^2 \rightarrow \frac{I_{st}}{I_{fl}} = \sqrt{100} = 10$$

گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۶» آزمون «الکترونیک و مخابرات قوه قضاییه» سال ۸۴ می‌باشد.

نکته ۶۰-۶) «موتور دوقفسی» یکی از انواع موتورهای القایی هستند؛ که روتور آن دارای دو شیار می‌باشد. ویژگی این نوع موتورها داشتن گشتاور راه‌اندازی بالا و همچنین لغزش کم در هنگام کار می‌باشد.

پرسش ۶-۹۲) چرا موتورهای القایی (آسنکرون) سه‌فاز بزرگ از نوع قفس سنجابی را به صورت روتور دو قفسه می‌سازند؟ (ق.ب-۸۱ «۲۶»)

الف) به خاطر آن‌که در حالت کار عادی محور لرزشی نداشته باشد.

ب) به خاطر آنکه مساله راه‌اندازی موتور بهبود یابد.

ج) به خاطر آنکه راندمان موتور بالا رود.

د) به خاطر آنکه لغزش موتور در حالت کار عادی کاهش یابد.

پاسخ) هدف از طراحی روتور دو قفسه‌ای، افزایش گشتاور راه‌اندازی است. گزینه ب صحیح است.

انواع روش‌های راه‌اندازی موتورهای القایی عبارتند از:

- راه‌اندازی مستقیم (Direct On Line)
- راه‌اندازی کلید ستاره-مثلث
- راه‌اندازی با اتوترانسفورماتور
- راه‌اندازی با افزایش مقاومت روتور
- راه‌اندازی اینورتری (Soft Starter)



پرسش ۹۳-۶) راه‌اندازی موتورهای سه‌فاز به چند طریق امکان‌پذیر است؟ (د.ل-۷۵ «۱»)

الف) اتصال مستقیم

ب) اتصال ستاره مثلث

ج) اتو ترانسفورماتور با مقاومت راه‌انداز

د) همه گزینه‌ها

پاسخ) با توجه به روش‌های راه‌اندازی موتور القایی، گزینه د صحیح است.

الف) راه‌اندازی مستقیم (DOL)

راه‌اندازی مستقیم ساده‌ترین و رایج‌ترین (ارزانترین) روش راه‌اندازی موتور القایی است. ضعف بزرگ این روش، بالا بودن جریان راه‌اندازی و احتمال آسیب دیدن تجهیزات می‌باشد.

ب) روش‌های راه‌اندازی غیرمستقیم

ب-۱) راه‌اندازی با کلید ستاره-مثلث

در این روش ابتدا به‌منظور کاهش جریان راه‌اندازی، موتور را با اتصال ستاره به برق وصل می‌کنند. پس از عبور جریان راه‌اندازی اولیه (که حدود یک سوم اتصال مثلث است)، اتصال سیم‌پیچ‌ها به مثلث تبدیل می‌شود. چنانچه پس از راه‌اندازی اتصال ستاره به مثلث تبدیل نشود، موتور با گشتاور کمتر و تلفات بیشتر به کار خود ادامه می‌دهد. به همین دلیل برای تغییر اتصال این روش، از یک تایمر در مدار فرمان استفاده می‌شود.

پرسش ۹۴-۶) در مواقع استارت الکتروموتورهای آسنکرون سه‌فاز از کلیدهای ستاره-مثلث استفاده می‌شود. زیرا:

(د.ت-۷۳ «۶»)

الف) برای کنترل سرعت الکتروموتور که به طور ناگهانی زیاد شود.

ب) برای جلوگیری از افت ولتاژ در مدار

ج) برای کنترل جریان استارت که در ستاره ۳ برابر مثلث است.

د) برای کنترل جریان استارت که در مثلث ۳ برابر ستاره است.

پاسخ) طبق توضیحات فوق، از کلید ستاره-مثلث جهت کنترل جریان راه‌اندازی در موتورهای القایی استفاده می‌شود و جریان راه‌اندازی در اتصال ستاره یک‌سوم حالت مثلث است. گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲» آزمون "برق، الکترونیک و مخابرات دادگستری" سال ۸۰ و مشابه پرسش «۱۴» آزمون "برق، ماشین‌آلات دادگستری" سال ۸۰ و پرسش «۲» آزمون "برق، ماشین‌آلات دادگستری" سال ۷۵ و پرسش «۷» آزمون "برق، الکترونیک و مخابرات" سال ۷۳ و پرسش «۷۵» آزمون "برق، الکترونیک و مخابرات دادگستری" سال ۹۵ و پرسش «۴۳» آزمون "برق، الکترونیک و مخابرات قوه قضاییه" سال ۹۴ و پرسش «۱۳» آزمون "برق، ماشین‌آلات قوه قضاییه" سال ۸۸ و پرسش «۸» آزمون "برق، ماشین‌آلات دادگستری" سال ۱۴۰۰ می‌باشد.

پرسش ۹۵-۶) کدام پاسخ صحیح‌تر است؟ (د.ب-۷۸ «۷»)

الف) راه‌انداز ستاره مثلث اتوماتیک برای کنترل جریان استارت است.

ب) در الکتروموتورها، معمولاً سرعت رتور از استاتور کمتر است.

ج) جهت تغییر گردش دور موتور، جای دو فاز را عوض می‌کنند.

د) کلیه موارد فوق

پاسخ) طبق موارد ارائه شده، کلید ستاره-مثلث جهت کنترل جریان راه‌اندازی در موتورهای القایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (گزینه الف صحیح است). به صورت رایج، موتورهای استفاده از نوع آسنکرون بوده و سرعت رتور از استاتور کمتر است (گزینه ب صحیح است). همچنین طبق توضیحات ارائه شده در بخش میدان دوار، با تغییر جای دو فاز از سه‌فاز در موتور القایی، می‌توان جهت چرخش آن را تغییر داد (گزینه ج صحیح است). گزینه د صحیح است.



پرسش ۹۶-۶) می‌دانیم برای راه‌اندازی موتورهای القایی (آسنکرون) سه‌فاز، از کلید ستاره مثلث استفاده می‌کنیم. حال بگوئید کدام یک از جملات زیر صحیح است؟ (ق.ب-۸۱ «۲۴»)

الف) ابتدا در وضعیت ستاره موتور را راه‌اندازی می‌کنیم و پس از سرعت‌گیری، آن را در وضعیت مثلث قرار می‌دهیم.

$$\text{زیرا: } I_Y = \frac{1}{3} I_{\Delta}$$

ب) ابتدا در وضعیت مثلث موتور را راه‌اندازی می‌کنیم و پس از سرعت‌گیری، آن را در وضعیت مثلث قرار می‌دهیم.

$$\text{زیرا: } I_{\Delta} = \frac{1}{3} I_Y$$

ج) ابتدا در وضعیت ستاره موتور را راه‌اندازی می‌کنیم و پس از سرعت‌گیری، آن را در وضعیت مثلث قرار می‌دهیم.

$$\text{زیرا: } I_Y = \frac{1}{6} I_{\Delta}$$

د) ابتدا در وضعیت مثلث موتور را راه‌اندازی می‌کنیم و پس از سرعت‌گیری، آن را در وضعیت ستاره قرار می‌دهیم.

$$\text{زیرا: } I_{\Delta} = \frac{1}{6} I_Y$$

پاسخ طبق توضیحات ارائه شده، در راه‌اندازی ستاره-مثلث ابتدا به‌منظور کاهش جریان راه‌اندازی، موتور را با اتصال ستاره به برق وصل می‌کنند. پس از عبور جریان راه‌اندازی اولیه که حدود یک سوم اتصال مثلث است، اتصال سیم‌پیچ‌ها به مثلث تبدیل می‌شود. گزینه الف صحیح است.

نکته ۶۱-۶) در راه‌اندازی ستاره-مثلث، با راه‌اندازی اولیه موتور به صورت ستاره، تایمر شروع به کار کرده و بعد از رسیدن به دور نامی، اتصال موتور به صورت مثلث می‌شود. تنظیم موتور برای تغییر وضعیت اتصال و مقدار گشتاور توسط تایمر انجام می‌شود

پرسش ۹۷-۶) در مدارات راه‌انداز با ستاره-مثلث اتوماتیک، نقش تایمر چیست؟ (د.ب-۹۰ «۶»)

الف) تنظیم زمان کافی برای ایجاد گشتاور حرکت موتور

ب) بالانس کردن ولتاژ فازهای مصرفی

ج) اندازه‌گیری سرعت کارکرد موتور

د) بالانس کردن جریان فازهای مصرفی

پاسخ طبق توضیحات فوق، گزینه الف صحیح است.

پرسش ۹۸-۶) دلیل استفاده از مدار ستاره مثلث اتوماتیک در راه‌اندازی الکتروموتورهای سه‌فاز چیست؟ و محدوده آمپراژ رله بی‌متال یک دستگاه الکتروموتور ۲۵ اسب سه‌فاز با استفاده از ولتاژ ۳۸۰ ولت و ضریب قدرت ۰.۷۵ را بنویسید. (د.ت-۷۷ «۲» تشریحی)

پاسخ در ابتدای راه‌اندازی موتور آسنکرون، جریان هجومی در لحظه راه‌اندازی حدود ۵ الی ۸ برابر جریان نامی بوده که این امر منجر به آسیب به موتور می‌شود. از این رو، از کلید ستاره-مثلث برای کاهش مقدار جریان به یک‌سوم جریان نامی استفاده می‌شود. مقدار جریان رله به گونه ای انتخاب می‌شود که جریان نامی در بازه آن باشد، پس:

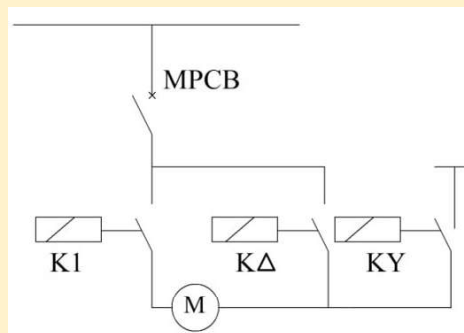
$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{25 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.75} = 37.78 \text{ A}$$

بنابراین، رله بی‌متال باید دارای جریان ۳۰ تا ۴۰ آمپر باشد.

نکته ۶۲-۶) برای اطمینان از عملکرد صحیح کنتاکتور و عدم تاثیر جریان بار روی آن، جریان کنتاکتور بیش از جریان بار (حدود ۲۵ درصد)، انتخاب می‌شود.

پرسش ۹۹-۶) برای راه‌اندازی با کلید ستاره مثلث اتوماتیک یک دستگاه الکتروموتور سه‌فاز به قدرت ۲۵ اسب در مدار ۳۸۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز، دیاگرام مدار اصلی را رسم کرده و ظرفیت آمپراژ تجهیزات مربوطه را تعیین نمایید. (د.ب-۷۶ «۲۹» تشریحی)

پاسخ) دیاگرام راه‌اندازی ستاره-مثلث به صورت زیر است:



شکل (۲۸-۲) دیاگرام راه‌اندازی ستاره-مثلث

مقدار جریان بار برای موتور (با در نظر گرفتن ضریب توان برابر ۰/۸) برابر است با:

$$I_L^A = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \varphi} = \frac{25 \times 746}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 35.42 \text{ A}$$

مقدار جریان بی‌متال براساس جریان نامی را می‌توان بین ۳۰ تا ۵۰ آمپر انتخاب نمود. کنتاکتورهای K1، KY و KΔ از نوع

$$I_L^Y = \frac{I_L^A}{\sqrt{3}} = \frac{35}{\sqrt{3}} = 20.5 \text{ A}$$

AC3 و ۲۵ درصد بیش از جریان نامی انتخاب می‌شود. پس:

و جریان کنتاکتورها را ۲۵٪ بیشتر و برابر با ۲۵ آمپر در نظر می‌گیریم. بر این اساس نزدیکترین مقدار برای انتخاب کنتاکتور ۳۲ آمپر خواهد بود. فیوز نیز دو برابر جریان نامی (۳۵ آمپر) انتخاب می‌شود؛ که نزدیک ترین نرم به ۷۰ آمپر، فیوز ۸۰ آمپر است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۱» آزمون "برق، ماشین آلات دادگستری" سال ۷۲ و پرسش «۱۰» آزمون "برق، ماشین آلات دادگستری" سال ۸۰ می‌باشد.

نکته ۶-۶۳) استفاده از راه‌اندازی Y.Δ، برای کاهش جریان در حالتی تعریف شده است که ولتاژ سمت مثلث، رادیکال ۳ برابر ولتاژ سمت ستاره باشد؛ به عبارت دیگر، در راه‌اندازی ستاره - مثلث، باید نسبت ولتاژ حالت مثلث، رادیکال ۳ برابر حالت ستاره باشد.

پرسش ۱۰۰-۶) روی پلاک یک موتور القایی ۳۸۰/۲۲۰ ولت درج شده است. این موتور در شبکه برق ایران باید دارای کدام اتصال در راه‌اندازی باشد؟ (د.ل-۸۸ «۶»)

الف) مثلث در راه‌اندازی و ستاره در کار

ب) ستاره

ج) مثلث

د) ستاره در راه‌اندازی و مثلث در کار

پاسخ) اعداد نوشته شده بیانگر این موضوع هستند که این موتور می‌تواند تحت ولتاژ ۳۸۰ ولت خط و ۲۲۰ ولت فاز کار کند. پس چنانچه این موتور به صورت مثلث بهره‌برداری شود آسیب می‌بیند. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۱۰۱-۶) روی پلاک مشخصات الکتروموتوری ۳۸۰/۲۲۰ درج گردیده است. این الکتروموتور چگونه باید در شبکه برق ایران به کار گرفته شود؟ (ق.ب-۱۴۰۲ «۱۲»)

الف) صرفاً به صورت ستاره

ب) صرفاً به صورت مثلث

ج) راه‌اندازی ستاره سپس مثلث

د) راه‌اندازی مثلث سپس ستاره



پاسخ) با توجه به اینکه این الکتروموتور می‌تواند با ولتاژ خط ۳۸۰۷ و ولتاژ فاز ۲۲۰۷ کار کند، تنها می‌توان به صورت ستاره از آن بهره‌برداری کرد. گزینه الف صحیح است.

از معایب راه اندازی ستاره-مثلث (نسبت به راه‌اندازی مستقیم) می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از سه کلید (کنتاکتور) به جای یک کلید
- هزینه بیشتر
- گشتاور راه‌اندازی پایین‌تر
- مدار کنترل پیچیده‌تر

پرسش ۱۰۲-۶) برای راه‌اندازی موتوری به صورت ستاره-مثلث در حالت معمولی از چند کنتاکتور بایستی استفاده کرد؟ (ق.ت-۹۳ «۸۷»)

الف) یک کنتاکتور ب) سه کنتاکتور ج) دو کنتاکتور د) چهار کنتاکتور

پاسخ) با توجه به دی‌گرام راه‌اندازی با استفاده از کلید ستاره-مثلث، بایستی از سه کنتاکتور از نوع AC3 جهت راه‌اندازی استفاده کرد. گزینه ب صحیح است.

نکته ۶-۶۴) گشتاور راه‌اندازی در روش ستاره-مثلث، حدود یک‌سوم حالت مستقیم است. در نتیجه قبل از راه‌اندازی، باید مطمئن شویم که گشتاور راه‌اندازی از گشتاور بار بیشتر است.

ب-۲) راه‌اندازی با اتوترانسفورماتور

ترانسفورماتوری که در آن، قسمتی از سیم‌پیچی، در هر دو مدار اولیه و ثانویه مشترک باشد «اتوترانسفورماتور» نامیده می‌شود. در یک ترانسفورماتور دو سیم‌پیچه، اولیه و ثانویه از لحاظ الکتریکی نسبت به یکدیگر عایق هستند؛ در حالی که در یک اتوترانسفورماتور، دو سیم‌پیچی از لحاظ الکتریکی به هم مرتبط می‌باشند. در شروع راه‌اندازی، سر وسط اتوترانسفورماتور، 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 می‌رسد.

ب-۳) راه‌اندازی با افزایش مقاومت روتور

در این روش، مقاومت اهمی مدار روتور با استفاده از یک مقاومت خارجی زیاد شده و در نتیجه جریان کم می‌شود. یکی از مزایای این روش، افزایش گشتاور راه‌اندازی همراه با کاهش جریان راه‌اندازی است.

نکته ۶-۶۵) با توجه به اینکه دسترسی به مدار روتور فقط در موتورهای دارای روتور سیم‌پیچی شده امکان پذیر است، این روش راه‌اندازی (افزایش مقاومت روتور)، فقط در این موتورها قابل استفاده است.

پرسش ۱۰۳-۶) برای راه‌اندازی موتورهای القایی (آسنکرون) سه‌فاز با روتور سیم‌بندی شده، از کدام یک از وسایل زیر می‌توان استفاده نمود؟ (ق.ب-۸۱ «۲۵»)

الف) فقط اتوترانسفورماتور ب) فقط کلید ستاره مثلث

ج) فقط رتوستا در مدار روتور د) هر سه وسیله فوق

پاسخ) با توجه به توضیحات ارائه‌شده، از تمامی روش‌ها در موتور با روتور سیم‌بندی‌شده می‌توان استفاده کرد. همچنین روش قرار دادن رتوستا در مدار روتور، مختص روتورهای سیم‌بندی‌شده می‌باشد. گزینه د صحیح است.

ب-۴) راه‌اندازی نرم (Soft Starter)

در راه‌اندازی نرم، جهت کنترل ولتاژ و جریان ورودی، از تجهیزاتی مانند تریستور و مدارهای کنترل، استفاده می‌شود. در این روش با افزایش تدریجی ولتاژ ورودی، جریان راه‌اندازی به آرامی به جریان نامی می‌رسد. در نتیجه گشتاور خروجی موتور نیز به



آرامی افزایش می‌یابد و به این ترتیب از بروز تنش‌های مکانیکی در هنگام راه‌اندازی جلوگیری می‌شود. جریان راه‌اندازی در این روش حدود ۲ تا ۵ برابر جریان نامی می‌باشد. استفاده از راه‌انداز نرم عمر موتور را افزایش می‌دهد. تنها عیب بزرگ این روش، هزینه بالای آن نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. تمامی دستگاه‌های دارای راه‌انداز نرم، دارای سیستم توقف نرم (Soft Stop) نیز هستند؛ که در این روش به صورت مشابه ولتاژ موتور به تدریج کاهش یافته و موتور به آرامی متوقف می‌شود.

نکته ۶۶-۶۷) در موتورهای بزرگ (بیش از ۱۵۰ کیلووات)، به دلیل تنش‌های مکانیکی زیاد در هنگام راه‌اندازی، از **Soft Starter** استفاده می‌شود.

پرسش ۱۰۴-۶) بکارگیری Soft-Starter برای موتورهای الکتریکی هنگامی توصیه می‌شود که (د.ب-۸۶ «۳۳»)

الف) ولتاژ ورودی نوسان داشته باشد.

ب) قدرت موتور از ۱۵۰ کیلووات بیشتر باشد.

ج) نیاز به دور متغیر موتور داشته باشد.

د) قدرت نامی موتور بیشتر از یک سوم قدرت منبع تغذیه باشد.

پاسخ) با توجه به نکته فوق، گزینه ب صحیح است.

ب-۵) راه‌اندازی با اینورتر

اینورتر تبدیلی است که جریان مستقیم دریافتی را به جریان متناوب تبدیل می‌کند که از آن، برای کنترل سرعت موتور نیز استفاده می‌شود. اینورتر، بهتر از راه‌انداز نرم موتور می‌باشد؛ ولی قیمت آن بیش از سافت استارتر بوده و صرفاً زمانی استفاده می‌شود که اهداف دیگری جز کاهش جریان راه‌اندازی مدنظر باشد که مهمترین هدف، همان کنترل دور موتور است. زمانی که بار ثابت نیست و متناسب با تغییر بار باید از دور تغییر کند، اینورتر برتری خود را نشان می‌دهد مانند استفاده از موتور در پمپ آبرسانی، آسانسور، جرثقیل و ... تغییرات دور موتور در اینورتر، با تغییر فرکانس ایجاد می‌شود؛ لذا امکان افزایش فرکانس خروجی تا چندین برابر فرکانس ورودی وجود دارد. در استفاده از اینورتر، با افزایش فرکانس، امکان افزایش دور موتور، بیشتر از دور نامی وجود دارد. با افزایش دور موتور بیشتر از دورنامی در این حالت کاهش گشتاور ایجاد می‌شود.

پرسش ۱۰۵-۶) نسبت جریان راه‌اندازی به جریان نامی در روش ستاره مثلث برابر و در روش VVVF برابر (جریان نامی) است. (ق.ت-۱۴۰۲ «۳۱»)

الف) ۳ تا ۵ - ۱ تا ۲ ب) ۲ تا ۳ - ۱ تا ۲ ج) ۳ تا ۵ - ۲ تا ۳ د) ۲ تا ۳ - ۱ تا ۱/۵

پاسخ) گزینه ب صحیح است.

۲-۴-۷) روش‌های مختلف کنترل سرعت

به طور کلی برای تغییر سرعت موتورهای القایی روش‌های زیر به کار گرفته می‌شود:

الف) تغییر ولتاژ

طبق رابطه‌ی گشتاور، تغییر ولتاژ منجر به جابجایی مشخصه گشتاور سرعت شده و چنانچه گشتاور بار ثابت فرض شود، این جابجایی منجر به تغییر سرعت در موتورهای القایی می‌شود.

ب) تغییر سرعت سنکرون با تغییر فرکانس

برای کنترل دور موتور القایی معمولاً از کنترل همزمان فرکانس و ولتاژ استفاده می‌شود. بدین ترتیب فرکانس و ولتاژ طوری تغییر می‌کنند که نسبت V/f در موتور ثابت بماند. امروزه اغلب از کنترل‌کننده‌های اینورتری به نام VFD جهت کنترل سرعت موتور (با کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس) استفاده می‌شود. انجام این تغییر سرعت، با اینورتر انجام می‌شود.

پرسش ۱۰۶-۶) برای اینکه موتور سه فاز ۳۸۰/۲۲۰V و ۵۰Hz با منبع ۶۰Hz بتواند کار کند، ولتاژ بایستی چه مقدار باشد؟ (ق.ل-۸۴ «۴۵»)



الف) ۷ ۲۶۴	ب) ۷ ۴۵۶	ج) ۷ ۴۰۰	د) ۷ ۲۲۰
پاسخ) با توجه به مطلب فوق، جهت ثابت ماندن شار در موتور القایی، توان و فرکانس باید با یک نسبت تغییر کنند. پس داریم: $\frac{V_2}{V_1} = \frac{f_2}{f_1} \rightarrow \frac{V_2}{380} = \frac{60}{50} \rightarrow V_2 = 456v$ گزینه ب صحیح است.			
پرسش ۱۰۷-۶) در یک دستگاه الکتروموتور سه‌فازی که برای فرکانس ۶۰ هرتز طراحی و ساخته شده است، چنانچه آن را به برق با فرکانس ۵۰ هرتز وصل کنیم، چه تغییری حاصل می‌شود؟ توضیح دهید. (د.ب-۷۶ «۳۹» تشریحی) پاسخ) با توجه به اینکه سرعت به تعداد قطب و فرکانس وابسته می‌باشد و با در نظر گرفتن رابطه‌ی سرعت سنکرون، سرعت نسبت مستقیم با فرکانس دارد. پس داریم: $\frac{n_{s2}}{n_{s1}} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{50}{60} \rightarrow n_{s2} = 0.83n_{s1}$ پس سرعت و به دنبال آن گشتاور کاهش می‌یابد. این پرسش، مشابه پرسش «۱۷» آزمون «برق، ماشین و تاسیسات کارخانجات دادگستری» سال ۸۸ می‌باشد.			

ج) تغییر سرعت سنکرون با تغییر تعداد قطب‌ها

با توجه به رابطه سرعت سنکرون، با تغییر تعداد قطب می‌توان سرعت میدان دوار و در نتیجه سرعت روتور (n_m) را تغییر داد. بدین ترتیب افزایش تعداد قطب منجر به کاهش سرعت می‌شود. کنترل سرعت به روش تغییر تعداد قطب، بیشتر در روتورهای قفس سنجابی انجام می‌شود؛ چراکه تعداد قطب‌های سیم‌پیچ‌ها در استاتور و روتور قفس سنجابی همواره با هم برابر هستند.

د) تغییر مقدار لغزش با تغییر مقاومت مدار روتور

چنانچه گشتاور بار را ثابت فرض کنیم، با افزایش مقدار مقاومت روتور، مقدار لغزش و تلفات افزایش و در نتیجه سرعت کاهش می‌یابد. در این روش مقدار گشتاور حداکثر تغییر نخواهد کرد و تنها سرعت وقوع آن تغییر می‌کند. این روش کنترل سرعت، مخصوص روتورهای سیم‌پیچی شده است.

پرسش ۱۰۸-۶) در یک مدار القایی سه‌فاز روتور سیم‌پیچی شده تحت بار مشخص، با افزایش مقاومت رتو ستا در مدار روتور: (ق.ل-۹۳ «۴۸»)

الف) تلفات افزایش و سرعت کاهش می‌یابد. ب) تلفات و سرعت هر دو کاهش می‌یابد.

ج) تلفات و سرعت هر دو افزایش می‌یابد. د) تلفات کاهش و سرعت افزایش می‌یابد.

پاسخ) در صورت سوال اشاره شده که تحت بار مشخص، یعنی در گشتاور ثابت، طبق موارد بیان شده، در بار با گشتاور ثابت، با افزایش مقاومت روتور سرعت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه توان خروجی نیز کم می‌شود؛ یعنی تلفات افزایش پیدا کرده است. گزینه الف صحیح است.

ه) موتور دالاندر

در موتورهای القایی روشی برای سیم‌پیچی وجود دارد که به اتصال دالاندر معروف است. در اتصال دالاندر می‌توان با تغییر محل اتصال سیم‌پیچ‌های موتور تعداد قطب‌ها را نصف یا دوبرابر کرد. بنابراین سرعت موتورهای دالاندر، دو مقدار تند یا کند می‌باشد.

پ) کنترل سرعت با اینورتر

قبلاً اشاره شد که از اینورتر برای کاهش جریان راه‌اندازی الکتروموتور استفاده می‌شود، اما اینورتر امکانات کنترلی (مانند تغییر سرعت) و حفاظتی گسترده‌ای نیز فراهم می‌کند اما هزینه اجرای آن بسیار زیاد است. جایی که علاوه بر کاهش جریان راه‌اندازی، امکانات دیگری، به ویژه تغییر سرعت، نیاز است از اینورتر استفاده می‌شود.

پرسش ۱۰۹-۶) امروزه کنترل دور موتور الکتروموتورهای سه‌فاز AC، به وسیله کدام مورد زیر انجام می‌شود؟ (د.ب-۹۵ «۴۴»)

الف) رتو ستا ب) اینورتر

(ج) کوپله کردن با جعبه دنده صنعتی
 (د) کم و زیاد کردن شدت جریان ورودی
پاسخ: با توجه به پیشرفت المان‌های الکترونیک قدرت در سال‌های اخیر، استفاده از کنترل‌کننده‌های اینورتری جهت کنترل دور موتورهای القایی بسیار پرکاربرد شده است. گزینه ب صحیح است.

پرسش ۱۱۰-۶) دستگاه‌های اینورتر در صنعت چه کاربردی دارد؟ (د-ل-۹۵ «۳۲»)
 (الف) کاهش توان مصرفی موتور
 (ب) تبدیل دما در قسمت‌های مختلف
 (ج) کنترل قدرت و سرعت موتور
 (د) محافظت موتورها در مقابل اضافه بار
پاسخ: اینورترها با استفاده از ادوات الکترونیک قدرت می‌توانند جهت کنترل ولتاژ به کار برده شوند و کنترل ولتاژ نیز یکی از روش‌های کنترل سرعت و قدرت موتورهای آسنکرون می‌باشد. گزینه ج صحیح است.

۲-۴-۸ رفتار ژنراتوری ماشین القایی

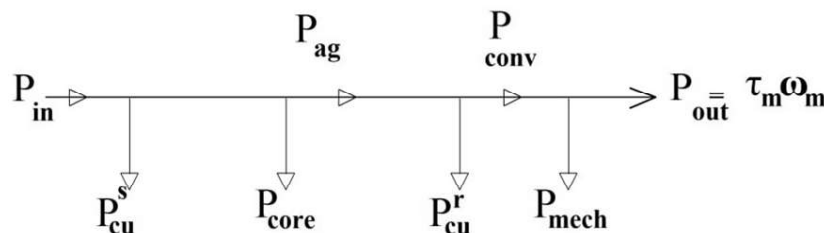
یک ماشین الکتریکی در حالت موتوری، انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. عملکرد ژنراتور دقیقاً برعکس موتور الکتریکی است. در این حالت، ژنراتور القایی توان اکتیو به شبکه تزریق می‌کند. البته برای قرار گرفتن در ناحیه ژنراتوری، سرعت روتور باید بیشتر از سرعت میدان دوار (لغزش منفی) باشد. در ژنراتور القایی، توان اکتیو تحویلی به شبکه، فقط به سرعت روتور (n_m) بستگی دارد.

نکته ۶۷-۶) در ژنراتور القایی هر چه سرعت روتور بیشتر باشد، توان اکتیو تولید شده بیشتر است؛ و بالعکس با کاهش سرعت، توان اکتیو کمتری به شبکه تزریق می‌شود.
نکته ۶۸-۶) ژنراتور القایی، ژنراتوری است که می‌تواند با دور متغیر کار کند؛ بدون آنکه تأثیری روی فرکانس شبکه ایجاد نماید. کاربرد این نوع ژنراتورها در نیروگاه‌های بادی است؛ زیرا سرعت باد را نمی‌توان کنترل نمود.

۲-۴-۹ تلفات و راندمان در ماشین‌های القایی

الف) پخش توان در موتورهای القایی

در موتور القایی نیز همانند موتور DC، توان الکتریکی از شبکه گرفته می‌شود و به صورت مکانیکی به بار متصل بر شفت موتور می‌رسد. این روند همواره دارای تلفات توان اکتیو می‌باشد. با استفاده از نمودار زیر می‌توانیم توان گرفته شده از تغذیه، تلفات و توان خروجی را محاسبه کنیم:



شکل (۲۹-۲) دیاگرام پخش توان در موتورهای القایی

P_{in} : توان ورودی (الکتریکی)	P_{cu}^s : تلفات اهمی استاتور (الکتریکی)
P_{conv} : توان تبدیل شده (بصورت مکانیکی)	P_{core} : تلفات الکتریکی هسته (استاتور)
P_{mech} : تلفات مکانیکی	P_{ag} : توان انتقالی یا توان فاصله هوایی (الکتریکی)
P_{out} : توان خروجی (مکانیکی)	P_{cu}^r : تلفات اهمی روتور (الکتریکی)

روابط زیر بر پارامترهای نمودار فوق حاکم است:

$$P_{in} = 3V_{ph} I_{ph} \cos \varphi = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad (۲-۶۹)$$

$$P_{out} = \tau_m \omega_m \quad (۲-۷۰)$$