بسم الله الرحمن الرحیم

نمونه آزمونهای مستند و پُرتکرار برگزار شده استخدامی

ماشین‌های الکتریکی (۱و۲)

قابل استفاده برای تمامی گرایش‌های رشته مهندسی برق(قدرت، الکترونیک، مخابرات، کنترل) در مقاطع کاردانی، کارشناسی و کارشناسی ارشد

(آمادگی مطلق)

از سری کتابهای ***GET***

خلاصه درس

نمونه آزمونهای مستند و برگزار شده

با پاسخنامه واقعاً تشریحی

مؤلف

مهندس جواد خشت زر

انتشارات رویای سبز

کتاب ماشین های الکتریکی و دیگر کتاب های آمادگی استخدامی مهندسی برق را از انتشارات رویای سبز به آدرس اینترنت *WWW.ROYAYESABZPUP.COM* خریداری نمایید .با استفاده از این کتاب ها که آزمون محور و دقیق هستند .به میانگین حداقل ۵۰ درصد در هر درس خواهید رسید.

سرشناسه	:	جواد خشت زر، ۱۳۶۹
عنوان و نام پدیدآور	:	ماشین های الکتریکی
مشخصات نشر	:	
مشخصات ظاهری	:	۱۳۶ صفحه – مصور
فروست	:	
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۸۶۳۹-۸۵-۵
وضعیت فهرست نویسی	:	
یادداشت	:	
موضوع	:	ماشین های الکتریکی—راهنمای آموزشی(عالی)
موضوع	:	ماشین‌های‌الکتریکی—آزمون‌ها و تمرین‌ها(عالی)
شناسه افزوده	:	
رده‌بندی کنگره	:	
رده‌بندی دیویی	:	
شماره کتابشناسی ملی	:	

نام کتاب: ماشین های الکتریکی

ناشر: انتشارات رویای سبز

مدیرتولید و ناظرفنی چاپ:

محمّدعلی عزیزی

نوبت چاپ : اول ۱۳۹۷

تیراژ : ۱۱۰۰ نسخه

قیمت : ۲۰۰۰۰ تومان

مرکز فروش: تهران- خیابان انقلاب- خیابان فخر رازی پایین‌تر از خیابان لبافی نژاد کوچه ماستری فراهانی پلاک ۱۰ واحد۳

"مرکز پخش و توسعه کتاب ایران فرهنگ" " انتشارات رویای سبز "

تلفن: ۰۹۱۲۲۲۳۴۲۲۲ – ۰۹۱۲۲۲۰۱۴۶۳- ۰۹۲۱۳۵۰۲۶۹۶ -۶۶۴۱۱۰۴۳ - ۶۶۱۷۶۶۳۰

مقدمه

حمد و سپاس

خداوندی را سزاست که به ما توانایی بخشید تا بتوانیم در راه اعتلای آموزشی و ورود نیروهای متخصص و توانمند برای پیشرفت اهداف علمی این مرز و بوم گامی کوچک اما مؤثر برداریم.

اصل پذیرفته‌شدن مورد توجه و عنایت اندیشمندان، صاحب‌نظران، کارشناسان و سایر دست‌اندرکاران این حوزه آموزشی و تخصصی می‌باشد؛ به همین منظور پیش‌بینی ضرورت تهیه و تنظیم مجموعه‌ای که ظرفیت لازم را برای جذب و انتخاب برترین‌ها در این رشته‌ی مهم دارا بود ما را برآن داشت تا با تلاش فراوان و تنظیم خلاصه مهم‌ترین نکات و بهترین سئوالات استاندارد و درج و ثبت بعضی از داده‌ها و اطلاعاتی که یک داوطلب ورزیده باید بداند درجه‌بندی و با بهترین مقیاس‌های استاندارد حال حاضر تهیه و پیش روی شما عزیزان قرار دهیم. لذا با امید موفقیت شما متقاضی گرامی و توان سنجش یادگیری یادگیرندگان و تقویت جایگاه آموزش آنان و ابراز برتری مسلّم در فرآیند تکمیل نیروهای زبده و متخصص در جای‌جای میهن عزیزمان بتوانیم با اتکاء به قدرت لایزال الهی و بهره‌گیری از رهنمودهای بزرگان سربلند و پیروز بوده و تمام تلاش خود را در راه ارتقای جایگاه این رشته و به کارگیری بهینه‌ی آن در سربلندی ایران عزیز به‌کار بندیم.

اکنون عصری است که سرعت و شتاب ابزار رسیدن به توانایی است، لذا سوالات طرح شده آزمون‌های استخدامی برگزار شده بوده، تا سرعت و توانایی شما را در امتحانات پیش‌رو تضمین کند.

این مجموعه برای اولین بار در کشور با دقت و ظرافت فراوان گردآوری شده است که حاصل تجربه اینجانب در تدریس و تجربیاتی که در طی برگزاری و شرکت در آزمون‌های مختلف استخدامی در کشور داشته ام می‌باشد. تولید مجموعه حاضر ترکیبی از خلاصه درس و نمونه سوالات تضمینی برگزار شده می‌باشد و پاسخ‌ها طوری طراحی شده که برای داوطلبین گران‌قدر کاملاً قابل فهم و استنباط باشد.

لازم به ذکر است باتوجه به اینکه ممکن است در یک آزمون استخدامی فقط تعدادی از دروس جزو منابع آزمون باشد، جهت سهولت متقاضیان گرامی به تفکیک دروس پرداختیم. در این مجموعه خلاصه درس طوری گنجانده شده است که ریشه اصلی مطلب را بیان نماید. همچنین علاوه بر مطالب شرح داده شده در کتاب، پاسخ سوالات نیز به صورت کاملاً تشریحی شرح داده شده است تا متقاضیان محترم زمان خود را صرف یافتن پاسخ سوالات در شرح خلاصه ننمایند. امیدواریم مجموعه حاضر مورد استقبال شما عزیزان قرار بگیرد.

در اینجا لازم است از آقای مهندس عزیزی مدیریت محترم انتشارات ایران‌فرهنگ و رویای سبز جهت چاپ این کتاب و تمام کسانی که در جهت خلق این اثر مشوقم بودند کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

در پایان لازم است از خوانندگان محترم این کتاب درخواست نمایم که در صورت مشاهده هرگونه اشتباه انشایی و املایی، این حقیر را از طریق ایمیل زیر مطلع نمایند تا در هرچه بهتر شدن این اثر از مشارکت شما عزیزان بهره کافی را ببرم.

Iranfarhang.book@gmail.com

javadkheshtzar@gmail.com

فهرست

خلاصه مباحث ماشین های الکتریکی ۱و۲ ..... ۱۰

فصل اول ماشین های الکتریکی جریان مستقیم DC ۲۲

فصل دوم ترانسفورماتور ۵۵

فصل سوم موتورهای القایی ۷۵

نمونه آزمونهای مستند و پر تکرار برگزار شده ۹۰

پاسخنامه تشریحی ۱۱۵

منابع و مأخذ جهت پاسخگویی ۱۳۵

خلاصه مباحث

ماشین های الکتریکی ۱و۲

(چکیده ای از مهمترین مباحث و نکات درسی که هر داوطلبی جهت شرکت در آزمون های استخدامی می بایست از آنها اطلاع داشته باشد)

فصل اول

ماشین های الکتریکی جریان مستقیم *DC*

تحلیل مدارات مغناطیسی

برای تحلیل مدارات مغناطیسی خطی می‌توان از مدار معادل الکتریکی آن استفاده کرد به طوری که :

نیروی محرکه مغناطیسی θ ← معادل ولتاژ V

فوران مغناطیسی φ ← معادل جریان I

مقاومت مغناطیسی Rm ← معادل مقاومت الکتریکی R

و قوانین اهم، KVL و KCL نیز برقرار است.

$$Rm = \frac{\theta}{\varphi}$$

$$\theta = \sum_{i=1}^{n} Hi \,.\, Li$$

$$\theta = H_1 I_1 + H_2 H_2 + H_3 I_{3+\dots}$$

نکته: در صورت وجود فاصله‌ی هوایی در هسته، رلوکتانس از جمع رلوکتانس هسته و فاصله هوایی بدست می آید.

$$Rm = R_C + R_g$$

نکته: رلوکتانس و شدت میدان مغناطیسی در فاصله هوایی بسیار بیشتر از هسته می‌باشد.

محاسبه‌ی مقاومت آرمیچر (Ra)

سیم بندی آرمیچر شامل کلاف های n دوری است که به صورت سری و موازی به هم وصل می‌شوند و مقاومت آرمیچر Ra را ایجاد می‌کند. برای محاسبه‌ی مقاومت آرمیچر کافیست مقاومت کل هادی‌های آرمیچر Rt را داشته باشیم و با توجه به تعداد مسیرهای موازی $2a$ مقاومت آرمیچر را از روی مدار معادل الکتریکی آن حساب - شود.

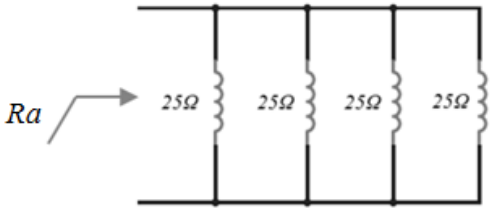
نکته: هر دور n از سیم پیچ معادل دو هادی است زیرا هر بازوی حلقه یک هادی محسوب می شود. $Z=2n$

مثال- اگر مقاومت کل سیم پیچ‌های آرمیچر یک ماشین DC چهار قطب $2P=4$ برابر ۱۰۰ اهم باشد، مقاومت آرمیچر را حساب کنید در صورتی که سیم بندی حلقوی ساده باشد.

$Rt=100\ \Omega$

$2a = 2P = 4$

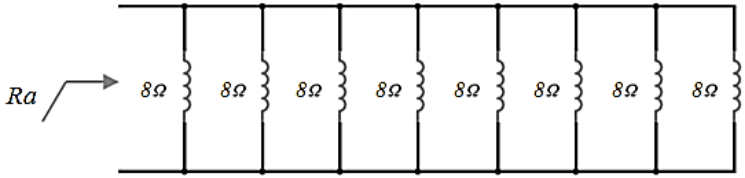
چهار مسیر موازی تشکیل شده از آنجایی که مقاومت کل ۱۰۰ اهم است پس مقاومت هر مسیر۲۵ اهم خواهد بود، اکنون باید مقاومت معادل چهار مقاومت موازی ۲۵ اهم را بدست آورد.



$$Rm = \frac{Rt}{2a} = \frac{100}{4} = 25\Omega$$

$$Ra = \frac{Rm}{2a} = \frac{25}{4} = 6/25\Omega$$

مثال– آرمیچر یک ماشین DC چهار قطب، دارای ۳۲۰ هادی القاشونده می‌باشد اگر مقاومت هر هادی ۰/۲ اهم باشد و سیم بندی از نوع حلقوی مرکب با درجه مرکب بودن $m=۲$ باشد مقاومت آرمیچر چقدر است؟



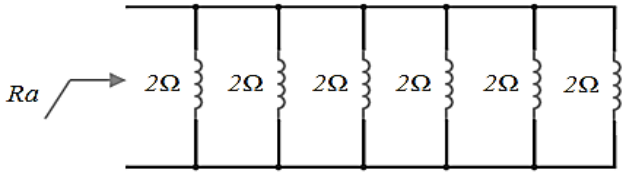
$$Rt = 320 \times 0/2 = 64\Omega$$

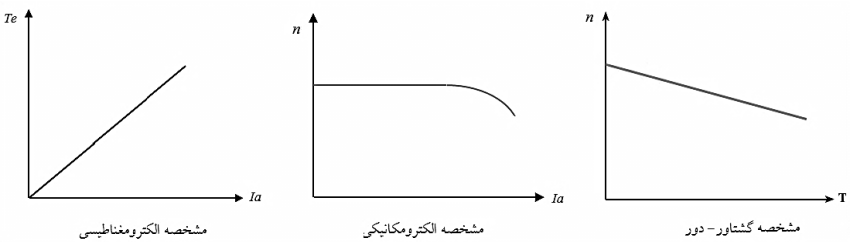
$$2a = 2Pm = 4 \times 2 = 8$$

$$Rm = \frac{Rt}{2a} = \frac{64}{8} = 8\Omega$$

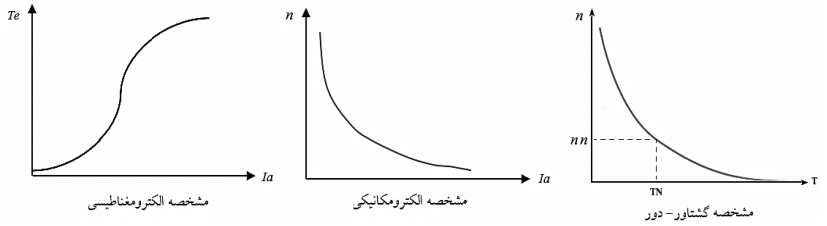
$$Ra = \frac{Rm}{2a} = \frac{8}{8} = 1\Omega$$

مثال– آرمیچر یک ماشین DC به صورت حلقوی مرکب سه گانه، ۲ قطب سیم پیچی شده و دارای ۳۰۰ دور می‌باشد، اگر مقاومت هر هادی ۰/۰۲ اهم باشد، مقاومت آرمیچر چقدر است؟

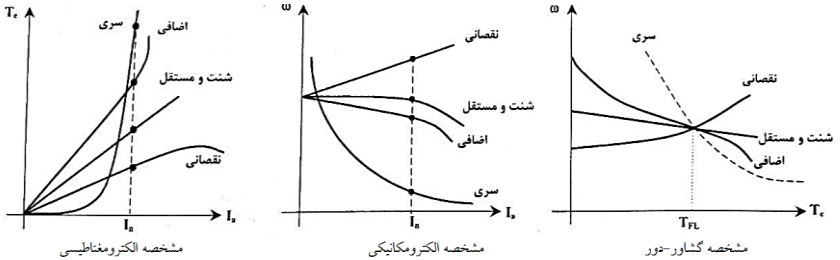




مشخصه‌های موتور تحریک سری:



مقایسه مشخصه‌های انواع موتورهای *DC*



کاربرد موتورهای *DC*

موتور تحریک مستقل و شنت: این نوع موتورها نباید زیر بارهای سنگین راه اندازی شود چون جریان آرمیچر بیش از حد زیاد می‌شود، بیشترین کاربرد در بارهای ثابت مانند دمنده‌ها و هواکش‌ها است.

موتور تحریک سری: درکاربردهایی که احتیاج به گشتاور راه‌اندازی بالایی است مانند چرثقیل‌ها، بالابرها و ... استفاده می‌شود. همچنین از نوع خاصی از موتور سری به‌نام

موتور کششی در وسایل نقلیه مانند اتوبوس‌های برقی و لوکوموتیوها استفاده می شود.

موتور کمپوند: در مواردی که به خصوصیات موتور سری احتیاج باشد ولی با برداشتن بار مهار گسسته نشود مانند دستگاه پرس استفاده می‌شود. در مواردی که احتیاج به سرعت ثابتی باشد مثلاً در آزمایشگاه‌ها از موتور کمپوند نقصانی استفاده می‌شود.

اثر قطع تحریک در موتورهای *DC*

موتور شنت و تحریک مستقل: با قطع مدار تحریک فوران ماشین به شدت کاهش می‌یابد و به فوران پسماند می‌رسد لذا سرعت ماشین به طور خطرناکی افزایش می‌یابد . ولی اگر پسماند وجود نداشته باشد، برای یک لحظه سرعت ماشین بالا می رود و سپس متوقف می‌شود.

موتور سری: با قطع مدار تحریک در موتور سری، چون مدار آرمیچر نیز قطع می‌شود موتور متوقف می‌شود.

موتور کمپوند: اگر مدار تحریک شنت موتور کمپوند قطع شود، تبدیل به موتور سری می‌شود، گشتاور آن افزایش و سرعت کاهش می‌یابد. اگر تحریک سری قطع شود در صورتی که پسماند وجود نداشته باشد موتور متوقف می شود.

تغییر جهت گردش موتورهای *DC*

طبق رابطه‌ی $T=K\varphi Ia$ برای تغییر جهت گردش موتورهای *DC* می‌توان جهت جریان آرمیچر Ia یا جهت جریان تحریک If را معکوس کرد. معمولاً جهت جریان آرمیچر عوض می‌شود زیرا در هنگام عوض کردن جهت جریان تحریک برای یک لحظه تحریک قطع و فوران به شدت کاهش می یابد.

نکته: در صورت تغییر دو سر ورودی موتور به دلیل اینکه به صورت همزمان جهت جریان Ia و If عوض می‌شود، لذا جهت گردش عوض نخواهد شد.

روش های ترمز در موتورهای *DC*

برای ایجاد حالت ترمزی در موتورهای DC انرژی جنبشی محور یا مستهلک می‌شود یا به شبکه برگشت داده می‌شود تا متوقف شود که به یکی از سه روش زیر انجام می شود.

۱- ترمز دینامیکی: در این روش مدار آرمیچر از شبکه جدا شده و دو سر آن به یک مقاومت متغیر وصل می‌شود، انرژی جنبشی محور به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و داخل مقاومت متغیر تخلیه شده و به گرما تبدیل می‌شود.

۲- ترمز با جریان مخالف (*Pluging*): در این روش برای ایجاد گشتاور ترمزی در یک لحظه جای دوسر آرمیچر عوض می‌شود. با این کار گشتاور تولیدی برعکس شده و موتور سریعاً متوقف می‌شود.

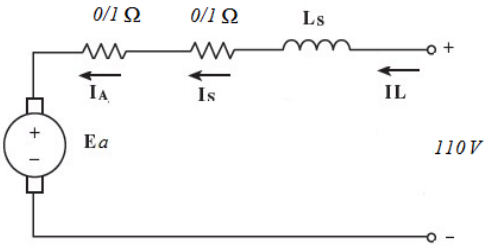
۳-ترمز مولدی: در مواردی که بار موتور تحت تاثیر شتاب حاصل از نیروی وزن خود بتواند به سرعتی بیش از سرعت بی‌باری خود برسد (مانند وسایل نقلیه در سرپائینی یا حرکت رو به پائین آسانسور) ماشین وارد ناحیه‌ی مولدی خود می‌شود و انرژی محور آن به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود و به شبکه باز می‌گردد.

نکته: ترمز مولدی بیشتر به عنوان محدود کننده است و باید در کنار آن از ترمز مکانیکی استفاده شود.

نکته: از ترمز مولدی نمی‌توان در موتور سری استفاده کرد زیرا هیچگاه ولتاژ آرمیچر نمی‌تواند از ولتاژ شبکه بیشتر شود.

مثال- در یک موتور سری ۱۱۰ولت با سرعت ٤٧ رادیان بر ثانیه باری را به حرکت

در می‌آورد و جریان ۸۰ آمپر از شبکه دریافت می‌کند، اگر با کاهش بار این موتور، جریان دریافتی از شبکه نصف شود، سرعت موتور چقدر می‌شود؟



$$Ea = Vt - (Ra + Rs).Ia$$

$$Ea_1 = 110 - (0/1 + 0/1) \times 80 = 94\ V$$

$$Ea_2 = 110 - (0/1 + 0/1) \times 40 = 102\ V$$

$$\frac{Ea_1}{Ea_2} = \frac{Ia_1}{Ia_2} \times \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

$$\frac{94}{102} = \frac{80}{40} \times \frac{47}{\omega_2} \Rightarrow \omega_2 = 102 rad/s$$

تلفات در ماشین‌های الکتریکی *DC*

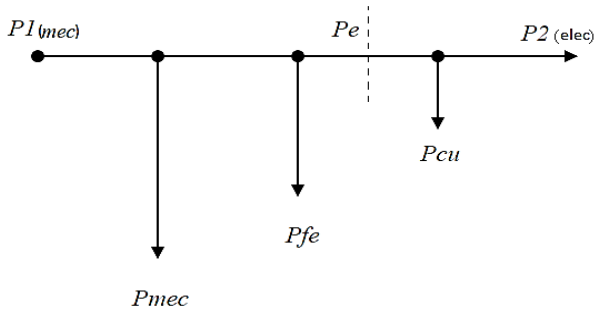
در ماشین‌های جریان مستقیم تلفات مکانیکی، تلفات آهنی و تلفات مسی وجود دارد. تلفات مکانیکی به دلیل اصطکاک قسمت‌های دوار، تلفات آهنی به دلیل وجود تلفات فوکو و هیسترزیس در هسته آرمیچر و تلفات مسی ناشی از عبور جریان از سیم پیچ های روتور و استاتور ماشین ایجاد می شود.

به مجموع تلفات آهنی و مکانیکی تلفات ثابت و به تلفات مسی، تلفات متغیر می گویند.

نکته: در ماشین های تحریک مستقل، تلفات تحریک جزء تلفات ماشین محسوب نمی‌شود.

نکته: به توان تبدیل شده، توان الکترومغناطیسی می‌گویند. $Pe = Ea.Ia$

دیاگرام توازن توان در مولدهای *DC*



روابط استخراج شده از روی دیاگرام توازن توان

$$\Delta P = Pmec + Pfe + Pcu$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$Pe = P1 - (Pmec + Pfe)$$

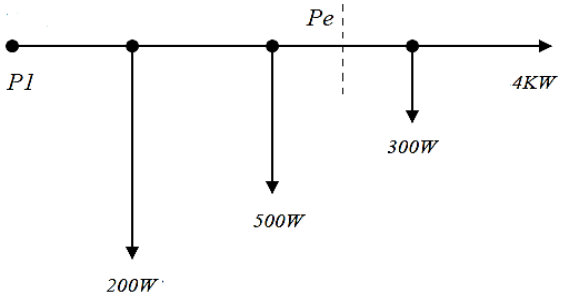
$$Pe = P2 + Pcu$$

$$Pe = Ea \,.Ia$$

$$P2 = V_2 . I_2$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

مثال– در یک ژنراتور $4KW\ DC$، تلفات مسی $300W$، تلفات هسته $500W$ و تلفات مکانیکی $200W$ است، توان الکترومغناطیسی و راندمان چقدر است؟

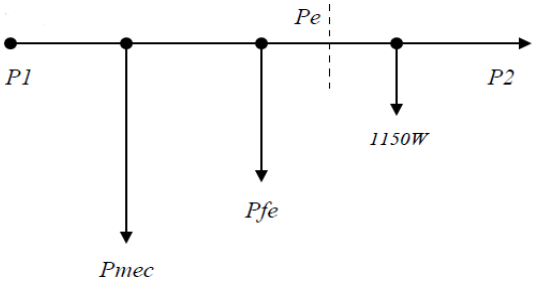


$$Pe = P2 + Pcu = 4000 + 300 = 4300W$$

$$P1 = Pe + (Pmec + Pfe) = 4300 + (500 + 200) = 5000W$$

$$\eta = \frac{4000}{5000} \times 100 = \%80$$

مثال- در یک مولد DC باری تحت ولتاژ $۲۰۰V$ و جریان $۴۰A$ تغذیه می‌کند، اگر راندمان مولد ۸۰٪ و تلفات مسی $۱۱۵۰W$ باشد، توان الکترومغناطیسی و تلفات ثابت را حساب کنید؟



$$P_2 = V_2 . I_2 = 200 \times 40 = 8000 \text{ W}$$

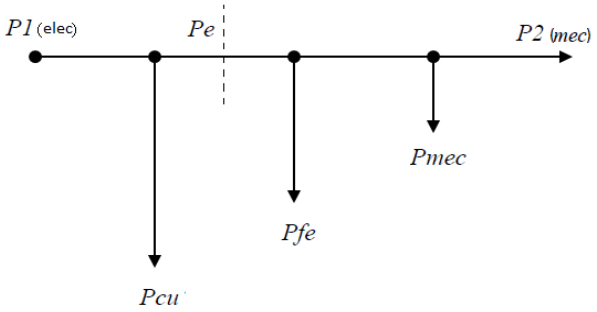
$$Pe = P_2 + Pcu = 8000 + 1150 = 9150 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{8000}{0/8} = 10000W$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 10000 - 8000 = 2000\ W$$

$$Pmec + Pfe = \Delta P - Pcu = 2000 - 1150 = 850 \text{ W}$$

دیاگرام توازن توان در موتورهای *DC*



روابط استخراج شده از روی دیاگرام توازن توان

$$\Delta P = Pmec + Pfe + Pcu$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

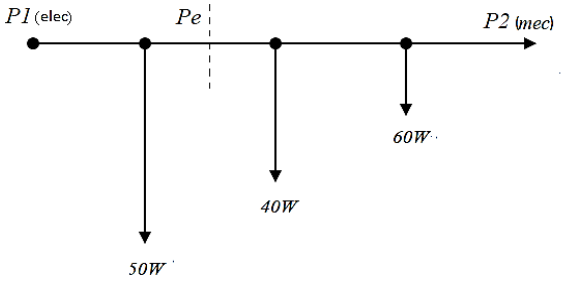
$$Pe = P_1 - Pcu$$

$$Pe = P_2 + (Pmec + Pfe)$$

$$Pe = Ea \,.Ia$$

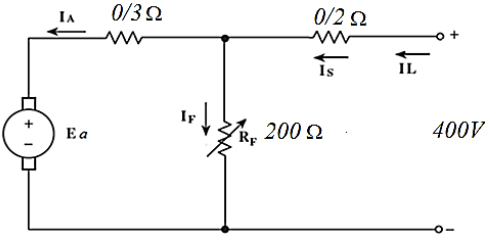
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$$

مثال– در یک موتور جریان مستقیم $۲۰۰V - ۱۰A$ با تلفات مسی $۵۰W$ ، تلفات آهنی $۴۰W$ و تلفات مکانیکی $۶۰W$ مفروض است، توان الکترومغناطیسی و راندمان ماشین را حساب کنید.



$$P_2 = V_2 \cdot I_2 = 200 \times 10 = 2000\ W$$
$$Pe = P_1 - Pcu = 2000 - 50 = 1950\ W$$
$$P_2 = Pe - (Pfe + Pmec) = 1950 - (40+60) = 1850\ W$$
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1850}{2000} \times 100 = 92/5\%$$

مثال- در یک موتور کمپوند شنت کوتاه ۴۰۰V مقاومت آرمیچر ۰/۳ اهم و مقاومت های تحریک سری و شنت به ترتیب ۰/۲ اهم و ۲۰۰ اهم می باشد، اگر جریان خط این موتور ۵۰آمپر و مجموع تلفات آهنی و مکانیکی آن ۳ کیلووات باشد، راندمان چقدر است؟



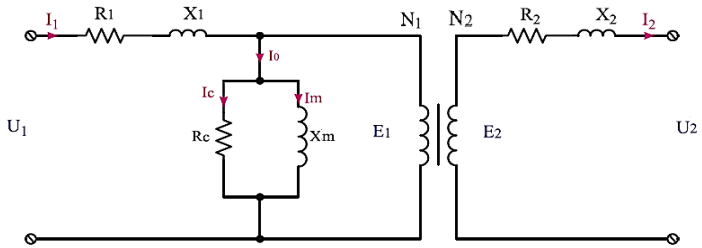
$$Vf = Vt - RsIl = 400 - 0/2 \times 50 = 390V$$
$$If = \frac{390}{200} = 1/95A$$
$$Ia = IL - If = 50 - 1/95 = 48/05A$$
$$Ea = Vf - RaIa = 390 - 0/3 \times 48/05 = 375/58V$$
$$Pcut = Pcur + Pcuf + Pcus =$$
$$Pcut = (0/3 \times 48/05^2) + (0/2 \times 50^2) + (200 \times 1/95^2) = 1935/1W$$
$$\Delta P = Pcu + Pfe + Pmec = 1935/1 + 3000 = 4953/1W$$
$$P_1 = Vt.IL = 400 \times 50 = 20000W$$
$$P_2 = 20000 - 4953/1 = 15046/9W$$
$$\eta = \frac{15046/9}{20000} \times 100 = 75/23\%$$

فــصل دوم

تــرانــسفورمــاتــور

ترانسفورماتور واقعی

در ترانسفورماتور واقعی تلفات توان و افت ولتاژ وجود دارد برای تحلیل ترانسفورماتور در حالت واقعی از مدار معادل زیر استفاده می‌شود.



در این مدار معادل

$R_۲$ و $R_۱$: مدل کننده مقاومت اهمی سیم پیچ های اولیه و ثانویه

$X_۲$ و $X_۱$: راکتانس مدل کننده فوران پراکندگی

Rc : مقاومت مدل کننده تلفات هسته

Xm : راکتانس مدل کننده میدان اصلی

Ic : جریان به وجود آورنده تلفات هسته

Im : جریان مغناطیس کننده

$I.$: جریان بی باری ترانسفورماتور

در ترانسفورماتور واقعی جریان بی‌باری از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند که از دو مؤلفه Ic و IL تشکیل می‌شود، این دو جریان با هم ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.

ترانسفورماتورهای سه فاز

در شبکه های انتقال و توزیع به دلیل سه فاز بودن سیستم از ترانسفورماتورهای سه فاز برای تبدیل ولتاژ استفاده می‌شود. ترانسفورماتورهای سه فاز در هر سمت دارای سه سیم پیچ است که به صورت ستاره یا مثلث بسته می‌شوند. اتصال ستاره را در سمت فشار قوی با حرف Y و در سمت فشارضعیف با حرف y نشان داده می‌شود.

برای اتصال مثلث نیز در سمت فشار قوی با حرف D و در سمت فشار ضعیف با حرف d نشان داده می‌شود.

نکته: اتصال زیگزاگ یک نوع اتصال بین ستاره و مثلث است که هر سیم‌پیچ به دو نیم سیم‌پیچ سری تبدیل می‌شود و هر نیم سیم پیچ روی یک بازوی هسته پیچیده می‌شود. اتصال زیگزاگ تنها در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع به کار می رود و با حرف z نشان داده می‌شود.

محاسبه‌ی سهم بار ترانسفورماتورهای موازی

اگر دو ترانسفورماتور با توان‌های نامی Sn_1 و Sn_2 با هم موازی شوند و به صورت مشترک بار ΣS را تغذیه کنند، سهم ترانسفورماتور اول S_1 و سهم ترانسفورماتور دوم S_2 از تأمین بار خواهد بود که یکی از دو حالت زیر پیش خواهد آمد.

۱-اگر ولتاژ اتصال کوتاه دو ترانسفورماتور برابر باشند.

$$S_1 = \frac{\Sigma s \ . Sn_1}{Sn_1 + Sn_2}$$

$$S_2 = \frac{\Sigma s \ . Sn_2}{Sn_1 + Sn_2}$$

۲- اگر ولتاژ اتصال کوتاه دو ترانسفورماتور برابر نباشند.

در این حالت ابتدا ولتاژ اتصال کوتاه معادل UKt محاسبه می‌شود و سپس سهم بار هر ترانسفورماتور از روابط زیر بدست می‌آید.

$$UKt = \frac{Sn_1 + Sn_2}{\frac{Sn_1}{UK_1} + \frac{Sn_2}{Uk_2}}$$

$$S_1 = \frac{\Sigma s \ . Sn_1}{Sn_1 + Sn_2} \times \frac{\%UKt}{UK_1}$$

$$S_2 = \frac{\Sigma s \ . Sn_2}{Sn_1 + Sn_2} \times \frac{\%UKt}{UK_2}$$

مثال- دو ترانسفورماتور سه‌فاز با ولتاژ اتصال کوتاه ٤٪ با توان‌های Sn_1=۳۰۰KVA و Sn_2=۲۰۰KVA به صورت موازی بار ۲۵۰KVA را تغذیه می‌کنند، سهم بار هر ترانسفورماتور چقدر است؟

$$S_1 = \frac{\Sigma s \ . Sn_1}{Sn_1 + Sn_2} = \frac{250 \times 300}{300 + 200} = 150 KVA$$

$$S_2 = \frac{\Sigma s \ . Sn_2}{Sn_1 + Sn_2} = \frac{250 \times 200}{300 + 200} = 100 KVA$$

$$\Sigma s = S_1 + S_2 = 150 + 100 = 250 KVA$$

مثال- ترانسفورماتور ۲۵۰KVA با ولتاژ اتصال کوتاه ۳/۸٪ و یک ترانسفورماتور ۱٦۰KVA با ولتاژ اتصال کوتاه ٤٪ با هم موازی می‌شوند و بار ۲۸۰KVA را تغذیه می‌کنند، سهم بار هر ترانسفورماتور از تأمین بار چقدر است؟

$$UKt = \frac{Sn1 + Sn2}{\frac{Sn1}{UK1} + \frac{Sn2}{Uk2}} = \frac{250 + 160}{\frac{250}{3/8} + \frac{160}{4}} = \%3/88$$

$$S_1 = \frac{\Sigma s \ . Sn_1}{Sn_1 + Sn_2} \times \frac{\%UKt}{UK_1} = \frac{280 \times 250}{250 + 160} = 173/3 KVA$$

$$S_2 = \Sigma s - S_1 = 280 - 173/3 = 106/7 \ KVA$$

نکته: باید دقت شود که هیچ کدام از ترانسفورماتورها دچار اضافه بار نشود و مقدار

فصل سوم

موتورهای القایی (آسنکرون) سه فاز

مقدمه

یکی از پرکاربردترین تجهیزات الکتریکی در صنعت، موتورهای القایی سه‌فاز است، ساختمان ساده، امکان طراحی در ابعاد و توان های مختلف، تعمیر، نگهداری و بهره برداری ساده، عدم استفاده از جاروبک از مهمترین ویژگی‌های این موتور الکتریکی است.

ساختمان موتورهای القایی سه فاز

۱- استاتور: قسمت ساکن موتور القایی استاتور نام دارد که سیم پیچی سه فازه در شیارهای آن تعبیه‌می شود. که به صورت ستاره یا مثلث بسته و به شبکه متصل می شود.

۲- روتور: به قسمت گردنده‌ی موتورهای القایی روتور می‌گویند که به دو صورت روتور قفسی(قفس سنجابی) و روتور سیم پیچی تولید می‌شوند. در نوع رتور قفسی از یک هسته مغناطیسی مورق استوانه‌ای شکل با شیارهایی روی آن تشکیل شده است که توسط آلومینیوم یا مس پر می‌شوند و دو طرف آن ها اتصال کوتاه می شود.

نکته: روتور قفسی فاقد قطب بندی بوده و با هر نوع استاتوری از لحاظ قطب کار می کند.

در موتورهای روتور سیم پیچی همانند موتورهای DC روتور، سیم پیچی می‌شود و برای کاربردهای خاص استفاده می شود.

اساس کار موتورهای القایی سه فاز

در موتورهای القایی سه فاز در استاتور سه سیم پیچ با اختلاف مکانی ۱۲۰ درجه وجود دارد، این سیم پیچ‌ها به شبکه سه فاز که اختلاف فاز الکتریکی بین فازها ۱۲۰ درجه است متصل می‌شود که باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی دوار Bs با سرعت Ns در فاصله‌ی هوایی می‌شود، این میدان دوار در مدار روتور ولتاژی را القا می‌کند که سبب جاری شدن جریان و تولید میدان مغناطیسی Br می‌شود. در اثر تقابل میدان مغناطیسی استاتور Bs و میدان مغناطیسی روتورBr، گشتاور Te ایجاد می‌شود که موجب حرکت رتور با سرعت Nr در جهت میدان دوار می شود.

$$|\overrightarrow{Te}| = KBrB_{net}Sin\delta$$

$$Ns=\frac{۶۰\,f}{P}$$

$$Nr=Ns(۱-S)$$

Ns سرعت میدان دوار (سرعت سنکرون) بر حسب دوردردقیقه RPM است.

لغزش($Slip$)

به اختلاف سرعت میدان دوار Ns و سرعت محور Nr ، سرعت لغزش ΔN می گویند و به نسبت سرعت لغزش به سرعت سنکرون، لغزش S می‌گویند.

$$\Delta N = Ns - Nr$$

$$S = \frac{Ns - Nr}{Ns}$$

$$Nr = Ns\left(1 - S\right)$$

مثال- در یک موتور القایی ۶ قطب با فرکانس $۵۰Hz$ و ولتاژ $۳۸۰V$ در بار نامی دارای لغزش ۵٪ است، سرعت روتور چقدر است؟

$$Ns = \frac{60\,f}{P} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000\,RPM$$

$$\mathrm{Nr} = \mathrm{Ns}\left(1 - \mathrm{S}\right) = 1000 \times \left(1 - 0.05\right) = 950\ \mathrm{RPM}$$

حدود تغییرات لغزش

S=۱ : مربوط به لحظه‌ی راه اندازی موتور

S=۰ : مربوط به حالت بی باری موتور

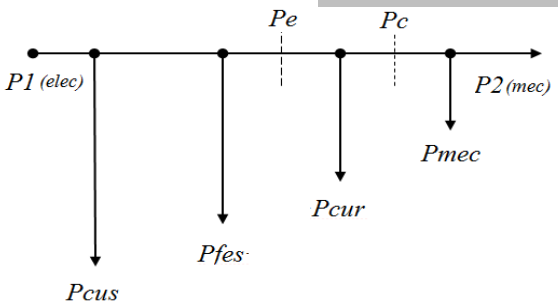
S<۰ : لغزش منفی بیانگر بیشتر بودن Nr نسبت به Ns است که نشان دهنده‌ی حالت مولدی ماشین است.

S>۱ : لغزش‌های بزرگتر از واحد بیانگر برعکس بودن جهت گردش Nr نسبت به Ns است که نشان دهنده‌ی حالت ترمزی ماشین است.

نکته: حالت کار موتوری ماشین القایی از ۰ تا ۱ است.

نکته: با تعویض جای دو فاز از سه فاز موتور، لغزش در لحظه‌ی تعویض جای دوفاز S-۲ است که به لغزش ۲۰۰٪ مشهور است.

دیاگرام توازن توان موتورهای القایی



در این دیاگرام

P_1 : توان ورودی الکتروموتور به فرم الکتریکی

P_{fes} : تلفات آهنی استاتور

P_{cus} : تلفات مسی استاتور

P_{cur} : تلفات مسی روتور

P_{mec} : تلفات مکانیکی

P_e : توان الکترومغناطیسی یا توان فاصله هوایی (P_{ag})

P_c : توان تبدیل شده از فرم الکتریکی به فرم مکانیکی

P_2 : توان خروجی الکتروموتور به فرم مکانیکی

نکته : تلفات آهنی روتور بسیار کم است لذا صرف نظر می شود.

روابط استخراج شده از دیاگرام توازن توان

$$\Delta P = Pcus + Pfes + Pcur + Pmec$$

$$\Delta P = P1 - P2$$

$$Pe = P1 - (Pcus + Pfes)$$

$$Pe = P2 + (Pmec + Pcur)$$

$$Pc = P1 - (Pcus + Pfes + Pcur)$$

$$Pc = P2 + Pmec$$

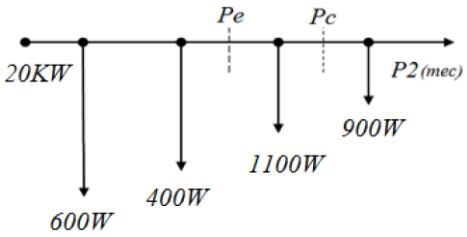
$$Pc = Pe(1 - S)$$

$$Pcur = S.Pe$$

$$P1 = \sqrt{3} VL\ IL\ Cos\varphi$$

$$\eta = \frac{P2}{P1} \times 100$$

مثال- در یک موتور القایی سه فاز $۲۰KW$، ٦ قطب با فرکانس $۵۰Hz$ کار می‌کند، اگر تلفات مکانیکی $۹۰۰W$، تلفات مسی روتور $۱۱۰۰W$، تلفات مسی استاتور $٦۰۰W$ و تلفات آهنی $٤۰۰W$ باشد، سرعت روتور چقدر است؟



$$Ns = \frac{60\ f}{P} = \frac{60 \times 50}{3} = 1000\ RPM$$

$$Pe = P2 + (Pmec + Pcur) = 20 + 0/9 + 1/1 = 22\ KW$$

$$S = \frac{Pcur}{Pe} = \frac{1/1}{22} = 0/05$$

$$Nr = 1000 \times (1 - 0/05) = 950\ RPM$$

راه اندازی موتورهای القایی سه فاز

در لحظه‌ی راه اندازی یک موتور القایی سه فاز جریانی معادل چند برابر جریان نامی از موتور می‌گذرد که موجب آسیب دیدن موتور و تجهیزات می‌شود. برای کنترل جریان راه اندازی موتورهای سه فاز از روش های زیر استفاده می شود.

۱- راه اندازی مستقیم(*DOL*)

در این روش که برای موتورهای با توان کم استفاده می‌شود سیم‌پیچ‌های استاتور مستقیم به شبکه وصل می‌شود و جریان راه اندازی ٤ تا ٧ برابر جریان نامی از آن عبور می‌کند. نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور کار از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید.

$$\frac{Ts}{T} = (\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2 .S$$

$$|\overrightarrow{\text{Isc}}| = |\overrightarrow{\text{Ist}}| = |\overrightarrow{\text{IBR}}|$$

مثال- در یک موتور سه فاز القایی ٤ قطب به صورت مستقیم(*DOL*) به شبکه‌ی $٤٦٠V$، $٦٠Hz$ وصل می‌شود که در لحظه‌ی راه اندازی جریانی معادل ٦ برابر جریان نامی از آن عبور می‌کند. اگر سرعت موتور $١٧١٠RPM$ باشد نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور نامی چقدر است؟

$$S = \frac{Ns - Nr}{Ns} = \frac{1800 - 1710}{1800} = 0/05$$

$$\frac{Ts}{T} = (\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2 .S$$

$$\frac{Ts}{T} = (\frac{6\,In}{In})^2 \times 0/05 \;=\; 1/8$$

۲-راه اندازی به کمک اتوترانسفورماتور

در این روش برای کاهش جریان راه اندازی به کمک یک اتوترانسفورماتور متغیر،

موتور سه فاز راه‌اندازی می‌شود، به این ترتیب که ولتاژ از لحظه‌ی راه اندازی به تدریج زیاد می شود تا به ولتاژ نامی برسد که سبب کنترل جریان راه اندازی می‌شود. اگر تپ اتوترانسفورماتور K باشد، نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاورکار از رابطه‌ی زیر بدست می آید.

$$\frac{Ts}{T} = K^2(\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2.S$$

مثال- در لحظه‌ی راه اندازی یک موتور سه فاز توسط اتوترانسفورماتوری که Tap آن روی ۰/۸٦ تنظیم شده است جریانی معادل ٦ برابر جریان نامی از آن عبور می کند. اگر لغزش در بار نامی ۰/۰۲۸ باشد، نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور بار نامی چقدر است؟

$$\frac{Ts}{T} = K^2(\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2.S$$

$$\frac{Ts}{T} = (0/86)^2(6)^2 \times 0/028 = 0/75$$

۳- راه اندازی به روش ستاره مثلث

در این روش در ابتدای راه اندازی اتصال سیم پیچ‌های استاتور به صورت ستاره است، از آنجایی که در حالت ستاره ولتاژ اعمالی به کلاف ها $\frac{۱}{\sqrt{۳}}$ می‌شود، جریان و گشتاور $\frac{۱}{۳}$ خواهد بود. بعد از گذشت زمان t اتصال سیم پیچ ها به مثلث تبدیل می شود.

$$\frac{Ts}{T} = \frac{1}{3}(\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2.S$$

$$t = ٤ + ٢\sqrt{P}$$

دراین رابطه t زمان راه‌اندازی ستاره بر حسب s و P توان موتور برحسب KW است.

مثال- در راه اندازی یک موتور سه فاز القایی ۲۲KW به روش ستاره مثلث جریان راه اندازی به ۵ برابر جریان نامی محدود می‌شود، اگر لغزش بار نامی ٤٪ باشد،

نسبت گشتاور راه اندازی به گشتاور کار را حساب کنید. اتصال سیم پیچ‌های استاتور بعد از چند ثانیه از ستاره به مثلث تبدیل می‌شود؟

$$\frac{Ts}{T} = \frac{1}{3}(\frac{|\overrightarrow{Isc}|}{|\overrightarrow{In}|})^2 .S$$

$$\frac{Ts}{T} = \frac{1}{3}(5)^2 \times 0/04 = 0/33$$

$$t = 4 + 2\sqrt{P} = 4 + 2\sqrt{22} = 13/38 \text{ Sec}$$

نکته: علاوه بر سه روش فوق روش‌های دیگری برای راه اندازی موتورهای سه فاز در صنعت استفاده می‌شود که مهمترین آن‌ها راه‌اندازی نرم موتورهای الکتریکی (*SoftStsrter*) است که با استفاده از المان های نیمه هادی قدرت موتور راه اندازی می شود.

تأثیر تغییرات ولتاژ و فرکانس بر گشتاور

رابطه‌ی بین تغییرات ولتاژ و فرکانس منبع بر گشتاور راه اندازی Ts و گشتاور ماکزیمم از روابط زیر بدست می‌آید.

$$\frac{Ts_1}{Ts_2} = (\frac{V_1}{V_2})^2(\frac{f_2}{f_1})^3$$

$$\frac{Tm_1}{Tm_2} = (\frac{V_1}{V_2})^2(\frac{f_2}{f_1})^2$$

نمونه آزمونهای مستند و پُرتکرار برگزار شده

ماشین های الکتریکی (۱و۲)

۷۳- قرار دادن مقاومت اهمی در مدار روتور باعث کاهش کدام پارامتر می‌شود؟

الف-گشتاور راه اندازی

ب- گشتاور ماکزیمم

ج- جریان راه اندازی

د-ضریب قدرت

۷٤- اگر ولتاژ و فرکانس منبع تغذیه یک موتور القایی سه فاز به ۹۰٪ کاهش یابد، گشتاور راه اندازی نسبت به مقدار قبلی آن چقدر است؟

الف- ۰/۹ ب- ۱/۱۱ ج-۰/۸۱ د-۱

۷۵- جریان بی‌باری موتورهای سه فاز القایی چند درصد جریان نامی موتور است؟

الف- ۱ ب- ۵ ج-۳۰ د-۸۰

۷٦- در کدام یک از روش‌های ترمز، ماشین القایی به صورت مولد کار می‌کند؟

الف- زیرسنکرون

ب- فوق سنکرون

ج-جریان مخالف

د-جریان مستقیم

۷۷- لغزش ۱۰۰٪ و ۲۰۰٪ به ترتیب مربوط به کدام حالت کاری موتور القایی سه فاز است؟

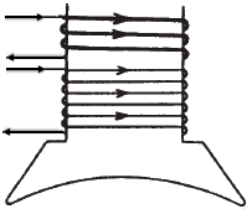
الف- راه اندازی- ترمزی

ب- بی باری- راه اندازی

ج- ترمزی- بی باری

د-راه اندازی- بی‌باری

۷۸- شکل زیر مربوط به کدام مولد *DC* است؟



الف- کمپوند نقصانی ب- کمپوند اضافی- ج- سری د- شنت

۷۹- در موازی کردن ترانسفورماتورها باید ولتاژ اتصال کوتاه کوچکتر نسبت به ترانسفورماتور بزرگتر چگونه است؟

الف- کمتر ب- بیشتر ج- برابر د- مهم نیست

۸۰- در ترانسفورماتورهای فرکانس بالا کدام کمیت را می توان از مدار معادل حذف کرد؟

الف- مقاومت مدل کننده تلفات هسته

ب- مقاومت مدل کننده مقاومت سیم پیچ‌ها

ج- راکتانس مدل کننده فوران پراکندگی

د- راکتانس مدل کننده میدان اصلی

پاسخنامه تشریحی

ماشین های الکتریکی (۱و۲)

۷۳- گزینه (ج) صحیح است. افزودن مقاومت در مدار روتور باعث کاهش جریان راه اندازی می‌شود.

۷٤- گزینه (الف) صحیح است.

$$\frac{Ts_1}{Ts_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^3$$

$$\frac{Ts_1}{Ts_2} = \left(\frac{V_1}{0/9V_1}\right)^2 \left(\frac{0/9f_1}{f_1}\right)^3 = 0/9$$

۷۵- گزینه (ج) صحیح است. در موتورهای القایی سه فاز جریان بی‌باری بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است.

۷٦- گزینه (ب) صحیح است. در ترمز فوق سنکرون به دلیل شتاب ناشی از حرکت مانند بالابرها، سرعت روتور Nr از سرعت سنکرون Ns بیشتر می‌شود. ماشین وارد ناحیه مولدی می‌شود که سبب عکس شدن جهت گشتاور و ایجاد حالت ترمزی می‌شود.

۷۷- گزینه (الف) صحیح است. لغزش S=۱ یا ۱۰۰٪ مربوط به لحظه‌ی راه اندازی و لغزش S=۲ یا ۲۰۰٪ مربوط به لحظه‌ی عوض کردن جای دو فاز از سه فاز موتور است که موجب می‌شود موتور ابتدا متوقف شود و سپس در جهت مخالف بچرخد، که به لغزش ترمزی مشهور است.

۷۸- گزینه (ب) صحیح است. در مولد های کمپوند از دو سیم پیچ استفاده می‌شود، سیم پیچ سری با تعداد دور کم و قطر زیاد و سیم پیچ موازی با تعداد دور زیاد و

قطر کم، اگر جهت جریان و فوران هردو سیم پیچ یکسان باشد، کمپوند اضافی و اگر جهت جریان و فوران دو سیم پیچ مخالف هم باشند کمپوند نقصانی ایجاد می‌شود. شکل فوق کمپوند اضافی می‌باشد.

۷۹- گزینه(ب) صحیح است. ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور کوچکتر تحت هیچ عنوان نباید کمتر از ولتاژ اتصال کوتاه ترانسفورماتور بزرگتر باشد. زیرا به دلیل امپدانس سری کمتر، سهم بیشتری از بار را متحمل می‌شود.

۸۰- گزینه (د) صحیح است. با توجه به رابطه $XM=۲\pi f$ به دلیل زیاد بودن فرکانس مقدار راکتانس بسیار زیاد است و چون به صورت موازی در مدار معادل قرار می-گیرد می‌توان آن را حذف کرد.

منابع و مأخذ جهت پاسخگویی

۱- ماشین‌های الکتریکی، تئوری، عملکرد و کاربردها – تألیف پروفسور بیم بهارا – ترجمه دکتر سلطانی، دکتر لسانی
۲- ماشین‌های الکتریکی، تحلیل، بهره برداری و کنترل – تألیف دکتر پ.س.سن – ترجمه دکتر مهرداد عابدی
۳- ماشین های الکتریکی – تألیف چاپمن – ترجمه دکتر جواد فیض
٤- ماشین های الکتریکی – تألیف امانوئل ترجمه دکتر عابدی
۵- ماشین های الکتریک AC - DC – تألیف بی ال تراژا
٦- ماشین های الکتریکی DC – تألیف امیرحسین ترکمانی
۷- ماشین های الکتریکی AC – تألیف محمد علی مددی

۸- ماشین های الکتریکی– تألیف مهندس رضا پژمانفر

۹- متمم ماشین های الکتریکی – تالیف حبیب الله رواقی، هلمان آذیش، پیمان حسینی

۱۰- ترانسفورماتورهای قدرت (تئوری و ساختمان) – تألیف محمد رضا مشکوه الدینی