جزوه درس

ماشین مخصوص

استاد هاشم نیا

گردآورندگان:

محمد نصیری-مهدی جان نثار

اگر تغذیه متعادل m فاز ($m > 1$) به استاتور ماشین متعادل m فاز وارد شود میدان دوار در فاصله

هوایی شکل خواهد گرفت که اندازه آن ثابت است و با سرعت ثابت و مشخصی به نام سرعت سنکرون

می چرخد $\omega_s = \frac{120f}{P}$ rpm

بنابراین در ماشین های چندفاز حرکت میدان نسبت به سیم (هادی) به راحتی محقق می شود و وجود حرکت

میدان نسبت به سیم، لازمه چرخش روتور است (ولتاژ القا شده در روتور ولتاژ سرعتی است)

تغذیه متعادل:

$$\begin{cases} i_a(t) = I_m \sin \omega t \\ i_b(t) = I_m \sin(\omega t - 120) \\ i_c(t) = I_m \sin(\omega t - 240) = I_m \sin(\omega t + 120) \end{cases}$$

$$mmf(a) = F_a(t, \theta) = F_m \sin \omega t \cos \theta$$

$$F_a(t, \theta) = F_m \sin \omega t \cos \theta = \frac{1}{2} F_m [\sin(\omega t + \theta) + \sin(\omega t - \theta)]$$

$$F_b(t, \theta) = F_m \sin(\omega t - 120) \cos(\theta - 120) = \frac{1}{2} F_m [\sin(\omega t + \theta + 120) + \sin(\omega t - \theta)]$$

$$F_c(t, \theta) = F_m \sin(\omega t + 120) \cos(\theta + 120) = \frac{1}{2} F_m [\sin(\omega t + \theta - 120) + \sin(\omega t - \theta)]$$

$$F_{total}(t, \theta) = F_a + F_b + F_c = \frac{3}{2} F_m \sin(\omega t - \theta)$$

m

برای ۵ فاز:

$$F_a(t, \theta) = F_m \sin \omega t \cos \theta$$

$$F_b(t, \theta) = F_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{5}) \cos(\theta - \frac{2\pi}{5})$$

$$F_c(t, \theta) = F_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{5}) \cos(\theta - \frac{4\pi}{5})$$

$$F_a(t,\theta) = F_m \sin(\omega t - \frac{4\pi}{6}) \cos(\theta - \frac{4\pi}{6})$$
$$F_c(t,\theta) = F_m \sin(\omega t - \frac{8\pi}{6}) \cos(\theta - \frac{8\pi}{6})$$

$$F_{total} = \frac{3}{2} F_m \sin(\omega t - \theta)$$

اگر $m=2$ ، اختلاف فاز مکانی را ابتدا 180° فرض می‌کنیم.

$$F_a(t,\theta) = F_m \sin\omega t \cos\theta$$

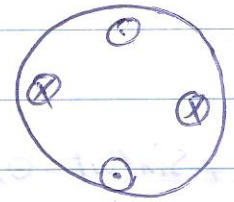
$$F_b(t,\theta) = F_m \underbrace{\sin(\omega t - 180)}_{-\sin\omega t} \underbrace{\cos(\theta - 180)}_{-\cos\theta}$$

$$F_{total} = 2F_m \sin\omega t \cos\theta \longrightarrow$$

اصلاً میدان دوار نیست

چون میدان دوار $(\omega t - \theta)$ دارد.
$(\omega t + \theta)$

در ماشین دو فاز مرسوم است اختلاف فاز زمانی و مکانی 90° ، 180° است.



$$F_a(t,\theta) = F_m \sin\omega t \cos\theta$$

$$F_b(t,\theta) = F_m \underbrace{\sin(\omega t - 90)}_{-\cos\omega t} \underbrace{\cos(\theta - 90)}_{\sin\theta}$$

$$F_{total} = F_m [\sin\omega t \cos\theta - \cos\omega t \sin\theta]$$

$$F_{total} = F_m \sin(\omega t - \theta)$$

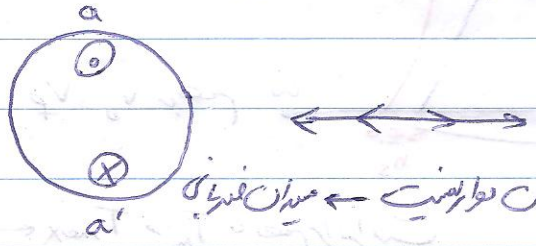
برای اینکه میدان دوار برای تک فاز کن را به دو فاز تبدیل کرده و بعد از راه‌اندازی یکی از فازها را برمی‌داریم.

ماشین القایی تک‌فاز: تحلیل عملکرد در هنگام راه‌اندازی / در حوالی سرعت سنکرون

$$F_{net} = F_a(t,\theta) = F_m \sin\omega t \cos\theta \quad ; (\omega_r = 0 \;/\; s=1)$$

$$= \tfrac{1}{2} F_m [\sin(\omega t + \theta) + \sin(\omega t - \theta)]$$

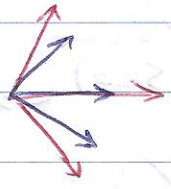
میدان پیشرو — میدان پسرو



$m=1$:
- راستا ثابت (میدان)
- دامنه میدان ثابت نیست ⇐ میدان نوسانی ← میدان پسرو

$m>1$:
- دامنه میدان ثابت ⇐ میدان دوار
- راستای میدان ثابت نیست

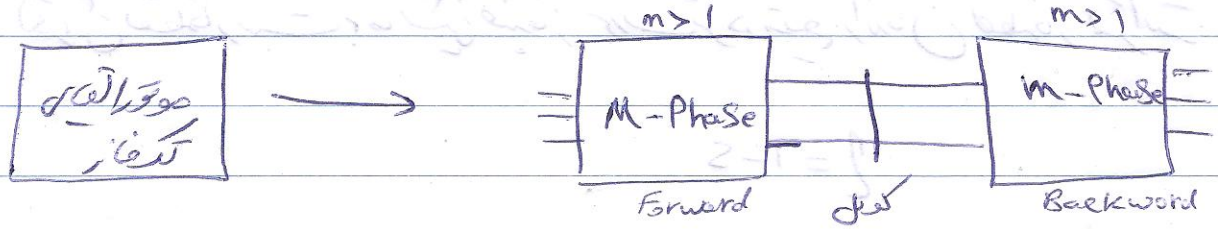
* میدان نوسانی را می‌توان به صورت برهم‌نهی دو میدان دوار یکی پیشرو و دیگری پسرو در نظر گرفت.



در ماشین القایی تک‌فاز، جفت‌راه‌انداز خود $T_{start} = 0$ است.

بنابراین موتور القایی تک‌فاز خود راه‌انداز نیست.

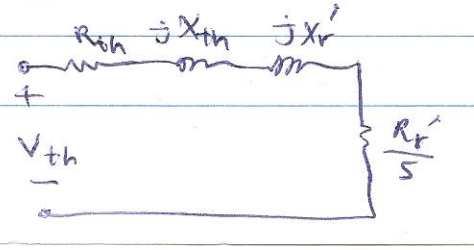
تخمینی از مشخصه موتور القایی تک‌فاز: (امتحانی)



سرعت‌ها با هم برابر، گشتاورها با هم جمع شوند.

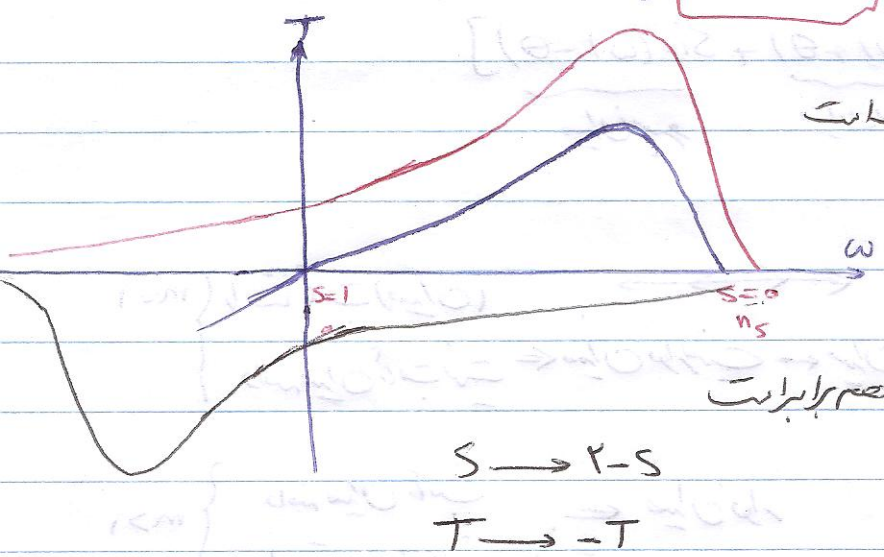
$$\Rightarrow T = \frac{P_{mech}}{\omega_{rot}} = \frac{P_{ag}}{\omega_s} = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_r'}{s} I_r'^2$$

$$I_r' = \frac{V_{th}}{\sqrt{(X_{th} + X_r')^2 + (R_{th} + \frac{R_r'}{s})^2}}$$



$$S_f = S^+ = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad , \quad S_b = S^- = \frac{-\omega_s - \omega_r}{-\omega_s} = 1 + \frac{\omega_r}{\omega_s} = 1 + 1 - S^+$$

$$\Rightarrow \boxed{S^- = 2 - S^+}$$



$T \propto V_{th}^2$

* گشتاور با حضور مقاومت آن متناسب است

فرض کردیم که V_f و V_b با هم

برابرند $\Leftarrow$ T_{max} و T_{min} با هم برابرند

$S \longrightarrow 2 - S$

$T \longrightarrow -T$

نتایج: ① در $S=1$ گشتاور صفر است $\Leftarrow$ گشتاور راه اندازه ندارد.

② در سرعت سنکرون ($S=0$) گشتاور متقابلاً صفر

③ در سرعت کمتر از سرعت سنکرون گشتاور صفر است.

④ متضاد است با ماشین القایی ضدباز مشابه، نازل تر است

⑤ کمترین نقطه کار نسبت به ماشین ضدباز بزرگتر در نتیجه راندمان نقطه کار کمتر است.

$$\eta = 1 - S$$

کنسفاز: در توان های زیر یک اسب بخار معمولاً از موتورهای تک فاز استفاده می شود

$\Leftarrow$ راندمان کم، کاربرد خانگی

سه فاز : در توان های بالاتر از موتورهای خنثی فاز استفاده می‌شود ← راندمان بالاتر ← کاربرد صنعتی

توان لحظه‌ای در تک فاز متغیر با زمان است ولی توان لحظه‌ای در سه فاز ثابت است چرا؟

خنثی فاز : $V_a = V_m \sin \omega t$ $\quad i_a = I_m \sin(\omega t + \varphi)$

$V_b = V_m \sin(\omega t - 120)$ $\quad i_b = I_m \sin(\omega t - 120 + \varphi)$

$V_c = V_m \sin(\omega t + 120)$ $\quad i_c = I_m \sin(\omega t + 120 + \varphi)$

$$P(t) = V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c = \frac{3}{2} V_m I_m \cos\varphi$$

در سیستم خنثی فاز نوسانات توان مکانیکی نداریم.

تک فاز : $V_a = V_m \sin \omega t$ $\quad i_a = I_m \sin(\omega t + \varphi)$

$$P(t) = V_a I_a = V_m I_m \sin\omega t \sin(\omega t + \varphi) = \frac{V_m I_m}{2}\left[\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)\right]$$

گشتاور موتور القایی سه فاز تابع زمان نیست اما در تک فاز گشتاور حول مقدار متوسط خود نوسان می‌کند ← فرکانس $2f_e$ ← نوسانات $P(t)$ و نیز T_e

در سه فاز

میدان‌های ثابت ← جریان متغیر ← القای ولتاژ در روتور (سرعتی) ← میدان دوار استاتور

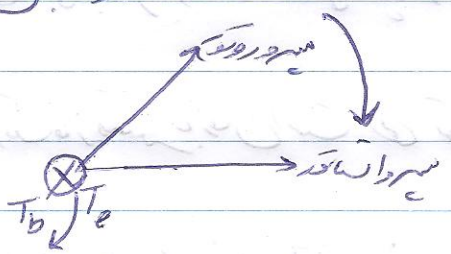
گشتاور ← برهم‌کنش میدان‌ها

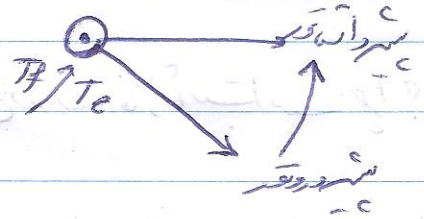
$N_m I_m \cos\omega t \cos\theta = \frac{1}{2} N_m I_m [\cos(\omega t + \theta) + \cos(\omega t - \theta)]$

سرعتی ← سرعتی ← در تک فاز میدان فقط نوسانی است.

توان تک فاز ورودی به موتور القایی تک فاز دارای نوسان است با فرکانس $2f_e$.

www.naserhashemnia.blogfa.com

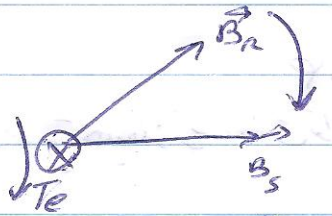




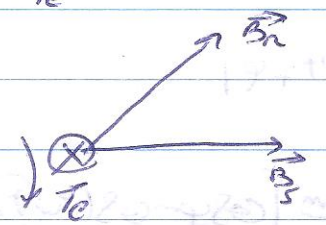
$$T = K \vec{B}_R \times \vec{B}_{net}$$

$$\vec{B}_{net} = \vec{B}_R + \vec{B}_S$$

$$T = K \vec{B}_R \times \vec{B}_S$$



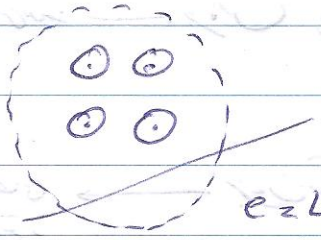
در حالت موتوری میدان استاتور از میدان روتور جلوتر است



در حالت ژنراتوری میدان موتور از میدان استاتور جلوتر است.

انواع ولتاژ القایی: ۱- ولتاژ ترانسفورماتوری: ولتاژی که ناشی از شار عبوری در سیم پیچ القا می‌شود و حرکتی وجود ندارد

۲- ولتاژ سرعتی: ولتاژی که القا شده، ناشی از حرکت سیم در میدان است



سرعت نسبی سیم به میدان

$e = LVB$

$$e = \frac{d\lambda}{dt}$$

$$\begin{cases} \lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \\ \lambda_2 = L_{21} i_2 + L_{22} i_2 \end{cases}$$

$$e_1 = \underbrace{L_{11}\frac{di_1}{dt} + L_{12}\frac{di_2}{dt}}_{\text{ولتاژ ترانسفورماتوری}} + \underbrace{i_1\frac{dL_{11}}{dt} + i_2\frac{dL_{12}}{dt}}_{\text{ولتاژ سرعتی}}$$

ولتاژ القا شده در موتور القایی تک فاز در شرایط (ω_r ، $S=1$):

همانطور که گفته شد موتور تک فاز خواهد بود که اندیس آن استاتور و ثانویه آن روتور باشد بنابراین ولتاژ القایی در روتور خواهیم داشت که از نوع ولتاژ ترانسفورمری است. چون موتور تک فاز قفس سنجابی است پس شبیه ترانسفورمری عمل می‌کند که ثانویه آن اتصال کوتاه شده است.

بررسی ولتاژ القا شده در روتور:

حالت اول: تحلیل ماشین القایی سه فاز:

$B_S = B_{max}\cos(\omega t - \theta_e)$

نسبت به مرجع استاتور

میدان در سه فاز میدان مقاوم است

$(\omega t - \theta)$

$(\omega t + \theta)$

زاویه موقعیت روتور + زاویه میدان نسبت به استاتور = زاویه میدان نسبت به روتور

$$\theta = \theta_1 + \omega_r t$$

میدان از دید روتور: $B_R = B_{max}\cos(\omega t - \omega_r t - \theta_1)$

$$\phi = \int \vec{B_R}\, ds = \int_0^{\pi} B_{max}\cos(\omega - \omega_r t + \theta_1)(lr)\, d\theta_1 =$$

$$= -B_{max}(lr)\sin((\omega - \omega_r)t - \theta_1)\Big]_0^{\pi} = 2B_{max}(lr)\sin(\omega - \omega_r)t$$

$$e = \frac{d\phi}{dt} = 2B_{max}(lr)(\omega - \omega_r)\cos(\omega - \omega_r)t$$

ولتاژ القایی ← از نوع ولتاژ ترانسفورمری است

برای حلقه‌های تشکیل روتور $\Rightarrow \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} = 2B_{max}lr\cos(\omega - \omega_r)t$

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = -2B_{max}\, lr\,(\omega - \omega_r)\sin(\omega - \omega_r)t$$

دامنه ها هم برابرند ولی فازها با هم متفاوت است

بررسی ولتاژ القا شده در موتور القایی تک فاز: میدان در تک فاز میدان قرار نیست

$$B_s = B_{max}\cos\omega t\cos\theta$$

$$B_R = B_{max}\cos\omega t\cos(\theta_1 + \omega_r t)$$

$$\Phi = \int B_R \cdot ds = \int B_{max}\cos\omega t\cos(\omega_r t + \theta_1)(lr)\,d\theta_1$$

$$\Phi = -B_{max}(lr)\cos\omega t\sin(\omega_r t + \theta_1)\Big]_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$\Phi = 2B_{max}(lr)\cos\omega t\cos\omega_r t$$

$$e = \frac{d\Phi}{dt} = 2B_{max}(lr)\left[\omega\sin\omega t\cos\omega_r t - \omega_r\cos\omega t\sin\omega_r t\right]$$

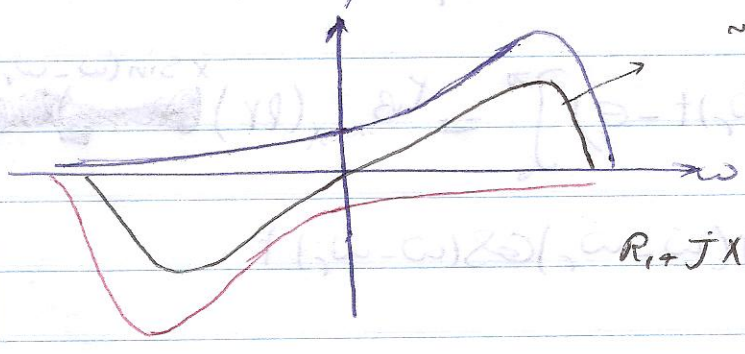
$$\Rightarrow \omega_r = 0 \Rightarrow e = -2B_{max}(lr)\,\omega\sin\omega t$$

* از دیدگاه فاز هم برابرند ولی از دیدگاه دامنه یکسان نیست

$\int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{3\pi}{4}}$

← این ولتاژ از نوع ولتاژ تراکنشوری است چون ولتاژی که می بیند دارای فاز یکسان

ولی دامنه آن یکسان نیست.



شیفته تک فاز

$T \propto V^2$

با صرف نظر کردن از امپدانس نشتی استاتور $R_1 + jX_1$

$$V = E = jX_m I_m$$

معلوم میدان مغناطیسی برآیند

$T \propto$ (دامنه میدان برآیند)^2

فقط در $\omega = \omega_s$ شیفته درست است چون روتور ساکن است و میدان برآیند فوق دارد دیگر در راستای هم نمی بینند.

آیا روتور وقتی هیچ میدان‌های خود و یک وارد را نمی‌بیند؟ نه وقتی که روتور ساکن باشد

مثل هم میبینند ← یکی با سرعت ω_s + دیگری با سرعت ω_s - بنابراین هر چیزی که برای میدان

خود وارد روتور اتفاق می‌افتد برای میدان یک وارد روتور اتفاق می‌افتد

اگر سرعت ω_r کمتر شود یعنی sf_e باشد در این صورت مؤلفه‌ی جریان روتور ناشی از میدان

خود وارد است روتور با فرکانس sf_e خواهد داشت (s را اگر علامت نگذاشتیم منظور s خود وارد است)

نکته: $\omega_r = 0$ دو تا معنی دارد. ← روتور قفل شده ← تا زمانی که روتور قفل باشد آن را می‌بینیم

← شروع راه اندازی ← گذرا است

مؤلفه‌ی جریان روتور ناشی از میدان یک وارد است روتور با فرکانس $(2-s)f_e$ خواهد داشت.

همواره در ماشین‌های القایی سرعت میدان است که روتور با هم برابرند. فقط سرعت روتور

با است که برابر باشد اما سرعت دو تا میدان با هم برابرند $T = K \vec{B}_R \times \vec{B}_{net}$

$T = K \vec{B}_R \times \vec{B}_S$

به این خاطر که نشان دهد ثابت با سرعت دو تا میدان با هم برابر است

* سرعت میدان‌ها در حالت ماندگار با هم برابر است.

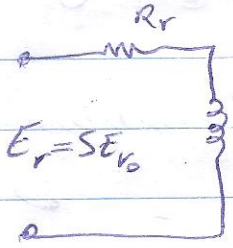
سرعت میدان خود وارد روتور برابر با سرعت میدان خود وارد استاتور خواهد بود

سرعت میدان یک وارد روتور برابر با سرعت میدان یک وارد استاتور خواهد بود. این سرعت

است که مؤلفه‌ی جریان‌های روتور فرکانس عوض نمی‌کند اما میدان‌هایی که این جریان‌ها تولید

می‌باشد سرعتش عوض شده است. اما می‌تواند دامنه میدان‌ها عوض شده باشد.

سؤال: دامنه میدان‌های روتور (یکواردی‌فوروارد) چگونه تغییر می‌کند؟



$$I_r = \frac{E_r}{jsX_{r0} + R_r} \Rightarrow I_r = \frac{E_{r0}}{jX_{r0} + \frac{R_r}{s}}$$

اگر s را کوچکتر از یک شود.

$\uparrow \frac{R_r}{s} \Leftarrow I_r \downarrow \Leftarrow$ جریان روتور کاهش می‌یابد $\Leftarrow$ میدان فوروارد روتور کاهش می‌یابد

طبق قانون لنز میدان روتور میدان عکس‌العمل از میدان استاتور است بنابراین این دو با هم مخالفت می‌کنند. $\Leftarrow$ پس میدان برآیند فوروارد افزایش می‌یابد.

میدان فوروارد استاتور ثابت است چون روتور میدان فوروارد شن کاهش یافته و میدان استاتور و روتور با هم مخالفت هستند بنابراین میدان برآیند فوروارد افزایش یافته.

اگر s را کوچک کنیم از یک

$$I_r = \frac{E_{r0}}{jX_{r0} + \frac{R_r}{2-s}}$$

$\updownarrow \frac{R_r}{2-s} \Leftarrow \uparrow I_r \Leftarrow$ مؤلفه جریان روتور ناشی از بک‌وارد افزایش می‌یابد

$\Leftarrow$ میدان برآیند بک‌وارد کاهش یافته.

فقط در $s=0$ یا سنکرون ($\omega - T$) درست است. چون چرخشی نداریم و روتور میدان فوروارد و بک‌وارد را مثل هم می‌بیند.

نتیجه: تنها در شرایطی می‌توان میدان‌ها را دامنه‌شان را با هم برابر فرض کرد که $s=0$ یا سنکرون باشد

اگر $\theta = \omega_r$ بیشتر شود میدان فورواردِ از میدان بک وارد بیشتر می‌شود. که این پدیده مخالب و مضر است. (طبیعت ماشین) منجر به این می‌شود که مشخصه $(T-\omega)$ فورواردِ با افتاد برود. بنابراین تفاضلش بیشتر می‌شود.

* دامنه میدان‌ها را فقط در $\theta = \omega_r$ برابر گرفت.

* این که گفتیم دامنه میدان‌ها، دامنه میدان‌های برآیند است میدان‌های است تولد همواره دامنه میدان فورواردِ و بک وارد برابر است چون در است تولد همواره یک جریان داریم!

$$I = I_m \cos \omega t$$

$$mmf = N_m I_m \cos \omega t \cos \theta = \frac{1}{2} N_m I_m \left[\underbrace{\cos(\omega t + \theta)}_{\text{سینکرون}} + \underbrace{\cos(\omega t - \theta)}_{\text{پسماند}}\right]$$

تک هر شار اصلی می‌توان همواره میدان است تولد تبدیل می‌شود. تا میدان فورواردِ و بک وارد، دامنه‌های برابر. این میدان‌هایی که می‌توانند دامنه‌اش برابر نباشند برآیند میدان‌های فورواردِ و بک وارد است. عکس العمل میدان روتور منجر به این می‌شود که میدان فورواردِ برآیند بر میدان بک وارد برآیند غلبه کند. و این پدیده مطلوبی است به این دلیل که منجر به این می‌شود که گشتاور عا بیشتر از این چیزی است که از این مشخصه $(T-\omega)$ پیش بینی شده است.

* اگر سرعت آن از مقدار افزایش پیدا کرد این میدان غالب این میدانی است که فورواردِ است (همان میدان مطلوب). اگر سرعت آن برسد به سرعت سنکرون $(\theta = s)$ به شدت میدان

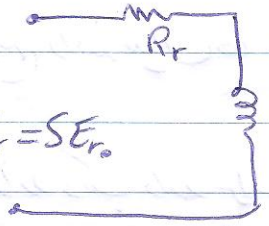
www.naserhashemnia.blogfa.com

میدان فوق دارد بر میدان یک دارد غلبه می‌کند (مقداری خنثی می‌شود ← میدان کم دارد)

* مشخصه که بدست آوردیم این مشخصه تقریبی نیست.

* برای بدست آوردن مشخصه دقیق باید مدل سازی کنیم به صورت یک مدار معادل.

یادآوری: از ماشین آلات سه فاز * بحث مفهومی *



هدف از مدل سازی ارجاع یکی از روتور یا استاتور

یا از استاتور به روتور. معمول است ارجاع می‌دهیم از روتور به استاتور

$\omega_r = (1-S)\omega_s$

به این دلیل که استاتور ساکن است. علاوه تغذیه هم با استاتور متصل است. مدار واقعی روتور

و فرکانس $f_r = Sf_e$

$X_r = L_r\omega_r = 2\pi L_r f_r = 2\pi L_r S f_e$

$= SX_{r0}$

ماشین بحث مستقیم دارد با S. چون هر چه سرعت نسبی روتور و میدان بیشتر شود ولتاژی که در روتور القا می‌شود (هر چه سرعت نسبی بیشتر یا فرکانس بیشتر و هم ولتاژ بیشتر می‌شود)

باید دو تا تبدیل انجام بدهیم. باید بر S تقسیم کنیم چرا؟

* از دیدگاه مفهومی هدف مدل سازی از دیدگاه استاتور است. بنابراین از روتور تغییری دهیم به گونه‌ای که استاتور متوجه این تغییر نشود این تبدیل صحیح است.

www.naserhashemnia.blogfa.com

روتوری که با سرعت کمتر از سرعت فرمانس f_e گردش است تبدیل می‌کنیم به روتوری با این مشخصات:

روتور ساکن با فرمانس f_e: ادعا می‌کنیم که اگر این کار را انجام دهیم یعنی هم فرمانس و هم سرعت روتور را تغییر دهیم به این صورت سرعت میدان روتور تغییری نمی‌کند نسبت به هر ناظری. چرا؟

چون در حالت اول $f_r = S f_e$

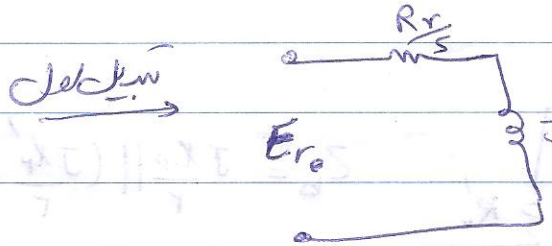
$$\text{سرعت میدان روتور نسبت به روتور} = \frac{120 f_r}{P} = \frac{120 S f_e}{P} = S\omega_s$$

$$\text{سرعت میدان روتور نسبت به استاتور} = \text{سرعت میدان روتور نسبت به روتور} + \text{سرعت روتور نسبت به استاتور}$$

$$= (1-S)\omega_s + S\omega_s = \omega_s$$

آنچه که استاتور می‌بیند از روتور، از میدان روتور است. بنابراین باید میدان روتور تغییری نکند تا سرعت میدان روتور تغییری نکند.

دیگری دوم: دامنه میدان روتور هم باید تغییری نکند. باید فرمانس همان به جای Sf_e شود f_e بنابراین I_r آنقدر تقسیم بر S شود. میدان روتور وابسته به جریان روتور است. بنابراین برای اینکه جریان روتور دچار تغییر نشود مقاومت را تقسیم بر S می‌کنیم و راکتانس را تقسیم بر S می‌کنیم. بنابراین جریان تغییری نمی‌کند در نتیجه دامنه میدان تغییری نمی‌کند.



www.naserhashemnia.blogfa.com

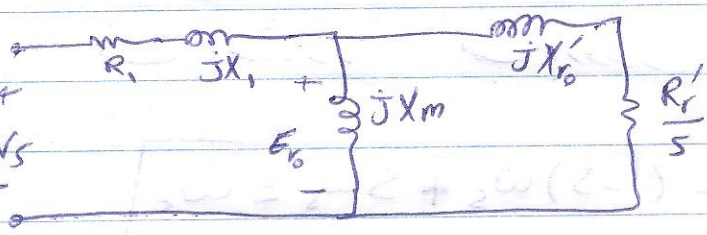
تبدیل دوم: موتوری که ساکن است و مقاومت دور R_2 دارد باید به جای داده شود به استاتور

ساکن با N_s دور.

$N_2 \longrightarrow N_s$

$I_2 \longrightarrow I_2' = \frac{N_2}{N_s} I_2$

* این در تبدیل دوم ← زاویه میدان روتور تغییر نکرده، سرعتش هم (میدان روتور) تغییری نکرد چون نه زاویه تغییری کرده و نه سرعت خود روتور تغییر کرده. بنابراین می‌توانیم روتور را به دنبال استاتور رسم کرد.



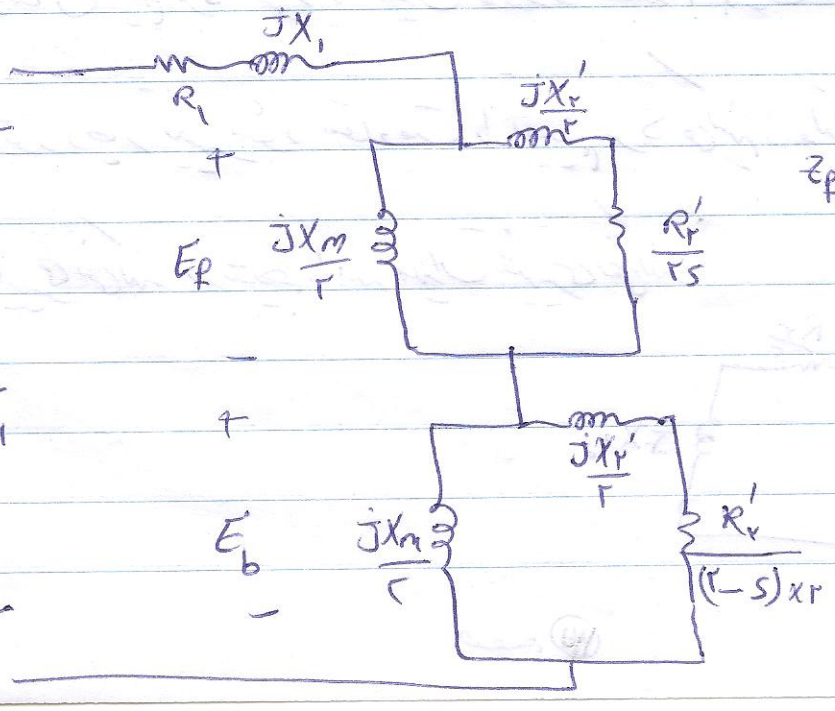
$R_2' = \left(\frac{N_s}{N_2}\right)^2 R_2$

$X_{r0}' = \left(\frac{N_s}{N_2}\right)^2 X_{r0}$

$E_{r0}' = \left(\frac{N_s}{N_2}\right) E_{r0}$

* مدار معادل موتور القایی تک فازه: در اینجا دو سرعت داریم یکی پله و یکی پیوسته و دو المانی که s، $2-s$ و باید استثنا داشته باشیم نه $\frac{R_2'}{s}$، $\frac{R_2'}{2-s}$ باشد.

مدار معادل:

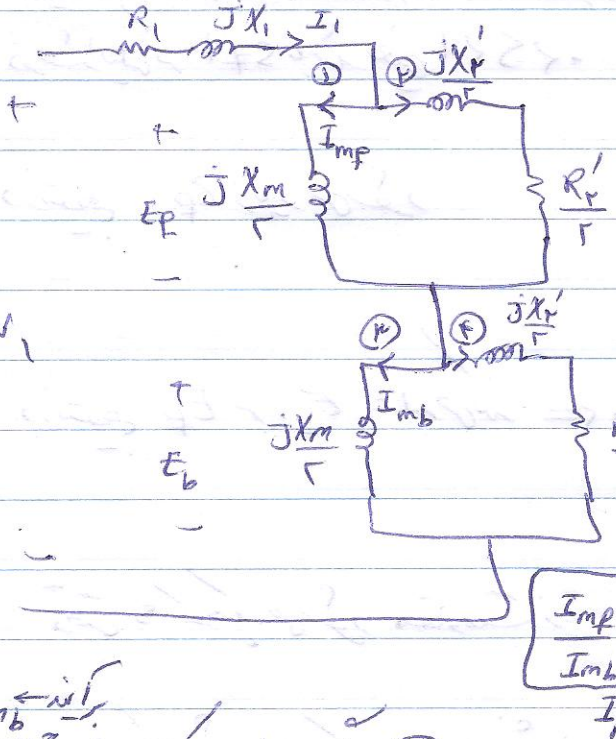


$Z_f = j\frac{X_m}{2} \parallel \left(j\frac{X_2'}{2} + \frac{R_2'}{2s}\right)$

$Z_b = j\frac{X_m}{2} \parallel \left(j\frac{X_2'}{2} + \frac{R_2'}{2(2-s)}\right)$

www.naserhashemnia.blogfa.com

این مدار معادل در کلیه لحظه‌ها صحیح است.



اگر $s=1$ باشد. $Z_f = Z_b$

$\rightarrow E_f = E_b$

* نکته: E_f و E_b همراه‌اند با هم راستا

با شند دامنه میدان یک دارد و فوروارد

نیز همون رابطه را با هم دارند $\leftarrow$

$$\frac{I_{mf}}{I_{mb}} = \frac{E_f}{E_b}$$

$I_{mb} \leftarrow$ برآیند

$I_{mf} \leftarrow$ برآیند

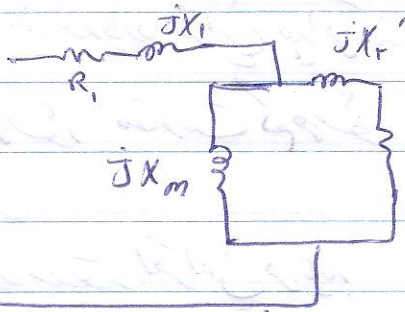
* جریان (1) بنابر میدان فوروارد

* جریان (3) بنابر میدان بکوارد

* جریان (2) بنابر میدان فوروارد در روتور

* جریان (4) بنابر میدان بک وارد در روتور

اگر ساده کنیم



مدار یک ترانسفورمر با تانویه انتقال کوتاه

نکته: چون در موتور القایی تک فاز در صورتیکه موتور ساکن باشد مشابه یک ترانسفورمر عمل می‌کند اما یک ترانسفورمری که ثانویه‌اش موتور است و روتورش از نوع قفس سنجابی است

پس ثانویه‌اش انتقال کوتاه است.

* دامنه میدان‌های استاتور با دامنه میدان‌های روتور هم برابرند.

چون یک جریان بیشتر نداریم.

* نسبت E_f و E_b ها می‌شود نسبت جریان‌ها و نسبت جریان‌ها می‌شود نسبت دامنه‌های میدان‌ها و برآیند

www.naserhashemnia.blogfa.com

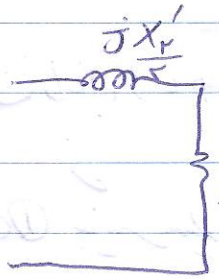
* در $S=1$ یا در آستانه میدان های فوروارد و برگشت برابر است چون گشتاور برابر است $\frac{E_f}{E_b}=1$ است.
بنابراین در مشخصه $(T-\omega)$ گشتاور در $S=1$ صفر خواهد بود.

* در رابطه که $S\neq 1$ باشد یعنی $1>S>0$ ، وقتی که S کم می‌شود $\frac{R_2'}{S}$ زیاد می‌شود

در نتیجه Z_f زیاد می‌شود $\quad E_f = Z_f I_1$

$$E_b = Z_b I_1$$

در نتیجه E_f بر E_b غلبه می‌کند ⇐ میدان برآیند فوروارد بر میدان برآیند برگشت غلبه می‌کند
تحت راکتانس های ثابت

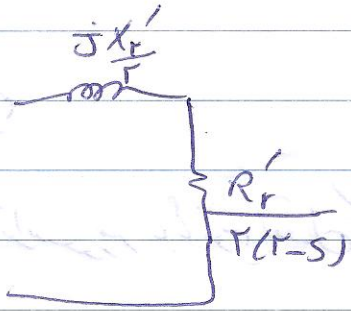


وقتی S کوچک می‌شود مقاومت زیاد می‌شود در نتیجه

جریان کاهش می‌یابد که جریان نشان دهنده میدان فوروارد

مقدار است پس در نتیجه میدان فوروارد مقدار کاهش می‌یابد

⇐ میدان برآیند فوروارد افزایش پیدا می‌کند.



وقتی S کوچک می‌شود مقاومت کم می‌شود در نتیجه

میدان یک فوروارد مقدار افزایش می‌یابد

* فقط از رابطه $Z_f = \frac{E_{20}}{jX_{20}+\frac{R_2'}{S}}$ و $I_2 = \frac{E_{20}}{jX_{20}+\frac{R_2'}{2(2-S)}}$ نیز اثبات کردیم.

مقدار اتلاف تک فازه نیست بلکه دو فاز است که دو فاز متقارن هستند از نظر مقدار و در

هندسی، مقاومت مغناطیس و الکتریکی لقاء مقدار ایی که می‌شوند باعث می‌شود که فاز جریان

دو هی صفر شود این سیستم می‌شود سیستم متقارن و متعادل.

www.naserhashemnia.blogfa.com

یادآوری: ماشین القایی سه فاز

سؤال: از دیدگاه مفهومی چرا گشتاور در زمان حین موتوری یک مقدار ثابت اندازه دارد؟

$$T = \frac{P_{mech}}{\omega_r} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$

هنگامی ماکزیمم می‌شود که مقاومت متعادلش بیشترین توان را جذب کند

مزیت: مخرج کسر تابعی از سرعت روتور نیست.

$$T = K \vec{B}_R \times \vec{B}_s = K \vec{B}_R \times \vec{B}_{net}$$

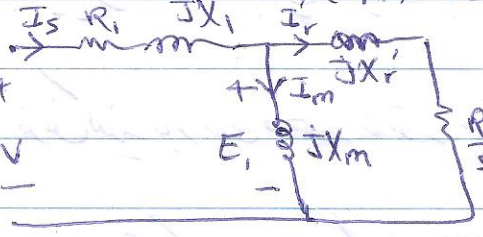
ثوابت طرح ماشین

$$\vec{B}_{net} = \vec{B}_R + \vec{B}_s$$

* گشتاور هست برهمکنش میدان استاتور با میدان روتور یا میدان روتور با میدان برآیند

در موتور القایی سه فاز $\vec{B}_{net}$ تقریباً دامنه ثابتی دارد.

* جریان مولد $\vec{B}_{net}$، جریان مغناطیس کننده است (I_m)



جریان مولد $\vec{B}_R$، جریان روتور است (I'_r)

جریان مولد $\vec{B}_s$، جریان استاتور است (I_s)

* می‌توان تقریباً از امپدانس $R_1 + jX_1$ صرف نظر کرد در نتیجه دو سر jX_m ولتاژ و جریان مغناطیس کننده ثابت بوده و دامنه میدان برآیند $\vec{B}_{net}$ نیز با تغییرات سرعت روتور ثابت می‌ماند.

سؤال: آیا این تقریب در ترانسفورمر معمول است یا ماشین القایی؟

در ترانس معمول است چون X_1 در القایی بیشتر از X_1 در ترانس

راکتانس $= \frac{1}{\text{راکتانس}}$ X_m در القایی کمتر از X_m در ترانس

چون در ماشین القایی قسمتی از مسیر شار مغناطیس از هوا میگذرد بنابراین رلوکتانس مغناطیس شوندگی بیشتر و راکتانس مگنتایزینگ کمتر

www.naserhashemnia.blogfa.com

* بین میدان برآیند، میدان استاتور، میدان روتور در القایی سه فاز این میدانی که می‌توان تقریباً ثابت فرض میدان برآیند است. (نسبت به باتری)

* سرعت میدان های برآیند، استاتور، روتور، سرعت سنکرون است در القایی سه فاز تنها می‌تواند دامنه میدان ها و اندازه بین میدان ها تغییر کند.

سؤال: آیا در القایی تک فاز هم این مطلب درست است؟

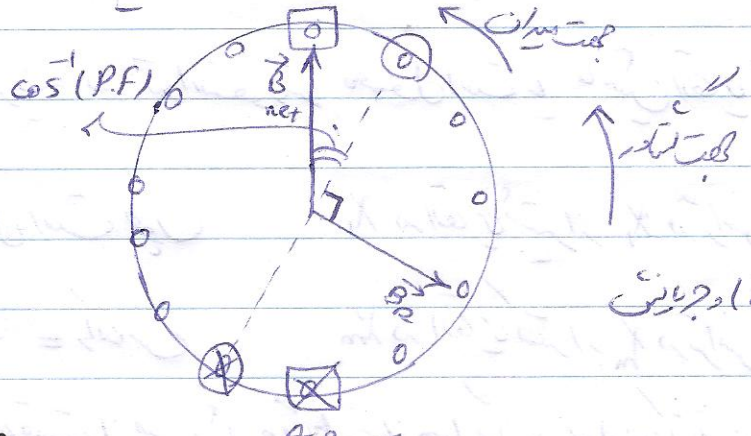
در القایی تک فاز این کار را نمی‌توان کرد چون به صرف نظر کردن از $R_1 + jX_1$ و تلفات رفت و تلفات آهنی ثابت است ولی نمی‌توان گفت e_p و e_b ثابت است چون می‌تواند تغییر کند. بنابراین میدان برآیند نه فوروارد دارد و نه بک وارد دارد در اینجا دامنه‌اش ثابت نیست

فرض کنید بار سفی محور روتور القایی سه فاز نداشته باشیم (اتصال باز یا باری) ؟

سرعت تردیک سرعت سنکرون خواهد بود اگر شاخص باد و اصطکاک وجود دارد ($s \neq 0$)

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s}$$

فرض کنید در یک لحظه از زمان توسط یک عکس از میدان ها بگیریم.



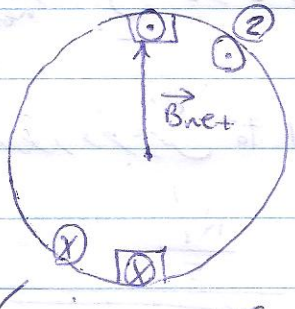
* زاویه بین میدان روتور (B_R) و جریانش 90° درجه است *

www.naserhashemnja.blogfa.com

سوال: در این لحظه از زمان کدام یک از سیم‌پیچ‌های مقابل جریان بیشتری القا می‌شود؟

$$E = LvB$$

به هر حلقه بیشتر جریان القایی بیشتر



جریان القایی بیشتر چون میدان آن را سیم‌پیچ بیشتر است.

$\vec{B}_{net}$: داخله این سیم‌پیچ به زمان بستگی دارد.

* داخله $\vec{B}_{net}$ ثابت است پس جریانی که القا می‌کند از نوع ترانسفورماتوری نیست بلکه جریان القایی حرکتی است

* اندازه جریان یعنی، هم‌فاز با شدت جریان در یک حلقه از زمان متغیر می‌شود

اما مدار روی تخته یک مدار اهمی ساده است بنابراین در این حلقه‌ای که جریان متغیر هم است

جریان متغیر هم بیشتر جریان روی سیم‌پیچ‌های ② متغیر هم است

$$\vec{B}_{net} = B_{max}\cos(\omega t - \theta)$$

$$\Phi = k\int_0^{\pi} B_{max}\cos(\omega t - \theta)\,d\theta = -kB_{max}\sin(\omega t - \theta)\Big]_0^{\pi}$$

$$= 2kB_{max}\sin\omega t \longrightarrow e = \frac{d\Phi}{dt} = 2B_{max}\omega\cos\omega t$$

در لحظه $t=0$ در $\theta=0$ بیشترین B را داریم.

در سیم‌پیچ‌های روی تخته هم جریان برقرار است اما ما ادعا می‌کنیم که میدان برآیند همین است چرا؟

وقتی که میدان خود را رسم می‌کنیم در میدان‌های خود در لحظه‌ای که جریان فازی متغیر است.

www.naserhashemnia.blogfa.com

تعیین کننده میدان برآیند همون هادی است که جریان فاز b ماکزیمم است

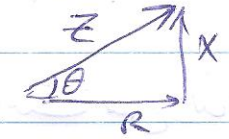
تعیین کننده میدان برآیند همون هادی است.

* زاویه بین $\vec{B}_2$ و $\vec{B}_{net}$ بین 90° تا 180° است.

$\delta = 90 + \theta$

$\cos^{-1}(P.F)$

زاویه بین میدان روتور و جریان 90° است.



$$\cos\theta = \frac{\frac{R_r'}{s}}{\sqrt{(\frac{R_r'}{s})^2 + X_r'^2}}$$

فرض می‌کنیم لغزش روتور را نداشتیم، سرعت سنکرون کاهش می‌یابد

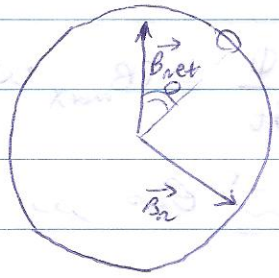
$$T = K |\vec{B}_R| |\vec{B}_{net}| \sin\delta$$

$$\delta = 90 + \theta \longrightarrow \sin\delta = \sin(90+\theta) = \cos\theta$$

(مدیریت قدرت روتور)

حال فرض کنید سرعت روتور را نداشتیم سرعت روتور از حالت بدون بار کمتر خواهد شد.

* زاویه ای که در روتور فضایی که سیم‌های آن بار می‌گذاریم



بیشتر از موضع بی باری است.

از آنجا که سرعت نسبی بین هادی های روتور و میدان $\vec{B}_{net}$ نیرو ایجاد کرده و زاویه روتور نیز بیشتر خواهد شد.

$E = LBv$

سرعت نسبی سیم و میدان

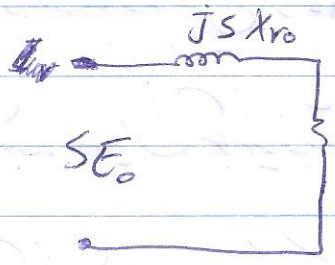
www.naserhashemnia.blogfa.com

$$I_r = \frac{E_{r0}}{\frac{R_r}{S} + jX_{r0}}$$

وقتی که بار می‌گذاریم سرعت روتور کم می‌شود لذا S زیاد می‌شود.

$$\uparrow S \Rightarrow \frac{R_r}{S} \downarrow \Rightarrow I_r \uparrow$$

$\vec{B}_r$ نسبت به حالت قبل بیشتر می‌شود چون I_r بیشتر شده است.



وقتی که S زیاد می‌شود طبیعت سلفی بیشتر می‌شود.

$$T = K\,|\vec{B}_R|\,|\vec{B}_{net}|\,\frac{\sin\delta}{\cos\theta}$$

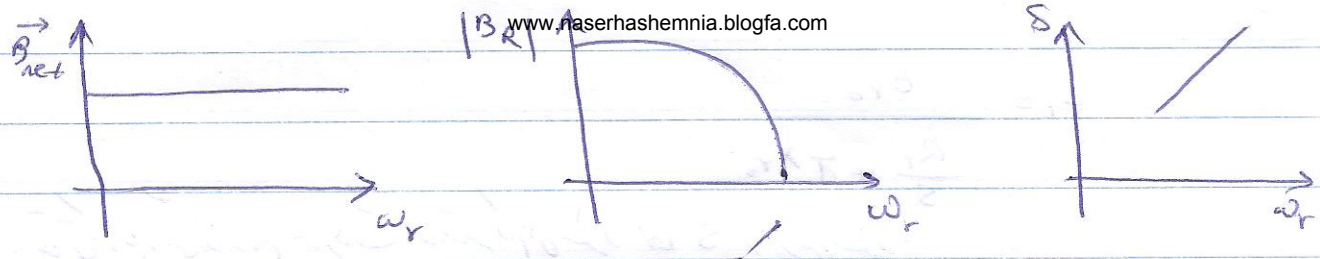
($\vec{B}_{net}$: ثابت، $\uparrow$، $\downarrow$)

* $\cos\theta$ هرچه به مقاومت می‌شد پس بزرگ $\cos\theta$ افزایش می‌یابد هرچه سلفی‌تر شد پس بزرگ θ کاهش می‌یابد *

هرچه خاصیت سلفی بیشتر شود θ نیز زیاد می‌شود اما $\sin\delta$ کوچک خواهد شد.

* دلیل این که گشتاور یک مقدار بیک پیدا می‌کند هم همین است که دو تا عامل داریم در گشتاور که در جهت مخالف هم عمل می‌کنند. هرچه بار گذاری کنیم در روتور از آنجایی که جریان القایی پیدا می‌کند در نتیجه میدان روتور $\vec{B}_R$ افزایش می‌کند گشتاور را زیاد اما از آنجا که روتور طبیعت سلفی‌اش بیشتر می‌شود میل دارد گشتاور را کم کند یک نقطه است که نقطه بهینه است در اوج گشتاور ماکزیمم است. دیاگرام به شکل زیر است.

www.naserhashemnia.blogfa.com

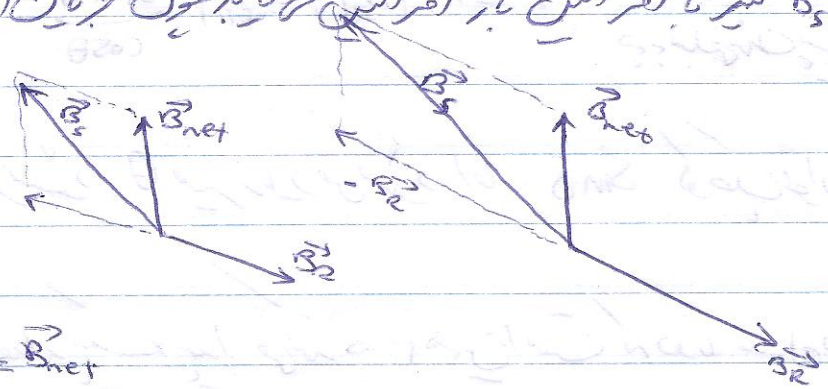


* هرچه سرعت کمتر $\vec{B}_2$ بیشتر است

* تکفاز: وقتی که میدان فوروارد به قدر کوچک شود میدان برآیند فعه‌دار بزرگ می‌شود. چون زاویه بین میدان روتور و استاتور بیش از ۹۰ درجه است. چون بیش از ۹۰ است پس میدان به قدر کوچک شبه میدان برآیند بزرگ می‌شود. اگر زاویه کوچک‌تر از ۹۰ باشد هرکدام کوچک شبه برآیندشون هم کوچک می‌شود.

* $\vec{B}_s$ نیز با افزایش بار افزایش می‌یابد چون جریان استاتور نیز زیاد می‌شود

$\vec{B}_s \propto I_s$



$$\vec{B}_2 + \vec{B}_s = \vec{B}_{net}$$

$$\vec{B}_s = \vec{B}_{net} - \vec{B}_2$$

$$T = k|\vec{B}_2||\vec{B}_s| \sin \delta_{sr}$$

* δ_{sr}: زاویه بین میدان استاتور و روتور

* δ_{sr} زیاد می‌شود در نتیجه $\sin \delta_{sr}$ کم می‌شود

www.naserhashemnia.blogfa.com

نکته: $\vec{B}_{net}$ دامنه‌اش نسبت به بازگیری ثابت است ← در این $\vec{B}_R$ ، $\vec{B}_S$ و $\vec{B}_{net}$ دامنه‌شان نسبت به زمان ثابت است.

مهم* در القایی تک‌فاز $\vec{B}_{net}$ (چه فوروارد، چه بکوارد) نسبت به بازگیری ثابت نیستند

در القایی چندفاز وقتی $\vec{B}_{net}$ ثابت بودست به بازگیری، $\vec{B}_R$ و زاویه $\vec{B}_R$ و $\vec{B}_{net}$ تغییری نکند

مهم ۲:

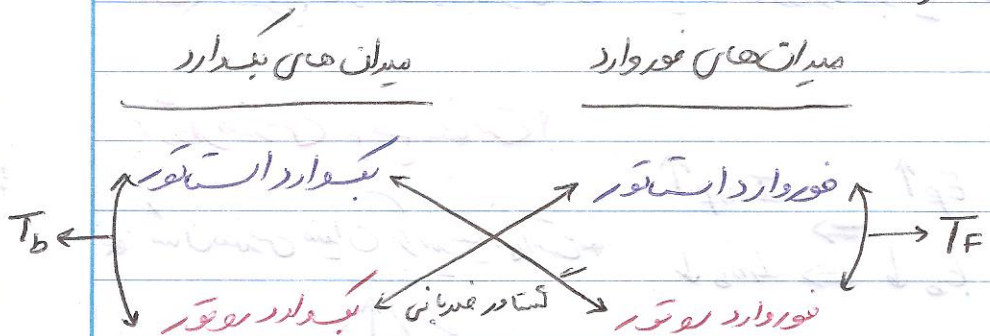
$$T = k|\vec{B}_{net}||\vec{B}_R|\sin\delta \qquad \delta = 90 + \theta$$

($|\vec{B}_{net}|$: ثابت)

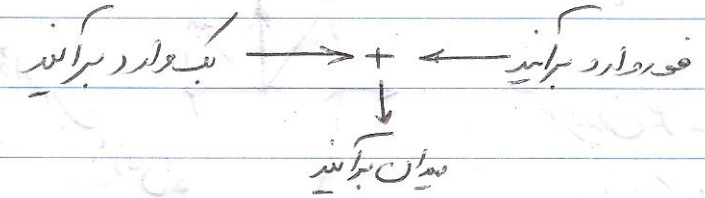
$$T \propto |I_R| \cdot PF$$

($|I_R|$: تابع لختی، PF: تابع لختی روتور)

* میدان‌های موجود در موتور القایی تک‌فاز:



* گشتاور خمیازی مقدار متوسطش صفر و مؤلفه‌ی نوسانی‌اش هارمونیک است.



* با تغییر بار دامنه میدان‌های فوروارد استاتور و بکوارد استاتور نسبت به یکدیگر ثابت هستند چون در استاتور (یک فاز بیشتر نداریم) هر مقدار جریانی که در آن جاری می‌شود (I_S) است.

این I_S دامنه میدان فورواردش و بکورادش، نصف برابر $\frac{N_S I_m}{2}$ است.

(I_S: تک جریان)

$$I_S = I_m \sin\omega t$$

$$mmF = N_S I_m \sin\omega t \cos\theta = \frac{N_S I_m}{2}\left[\underbrace{\sin(\omega t + \theta)}_{\text{بکوارد استاتور}} + \underbrace{\sin(\omega t - \theta)}_{\text{فوروارد استاتور}}\right]$$

www.naserhashemnia.blogfa.com

* راهنه نسبت به بار گیری ثابت نیست بلکه راهنه نسبت به گشتاور (نوع بار و نوع دار) ثابت است

① هرچه کنید سرعت زیاد شود (بار گیری کم شود یا $\downarrow S^+$) در این صورت راهنه میدان فوق دار روتور کاهش می یابد و از طرفی ضریب قدرت فوق دار روتور افزایش می یابد بنابراین میدان فوق دار برآیند افزایش می یابد

② در مورد میدان تک دار ← راهنه ی میدان تک دار روتور افزایش می یابد و از طرفی ضریب قدرت تک دار روتور کاهش می یابد ← میدان تک دار برآیند کاهش می یابد

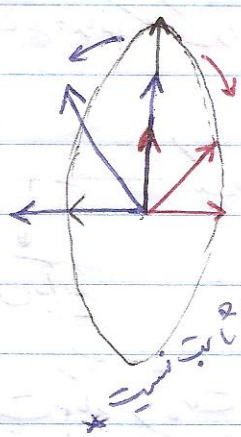
①② هرچه سرعت زیادتر می شود میدان فوق دار برآیند بر میدان تک دار برآیند غالب می شود

از نظر هندسی به چه معناست؟

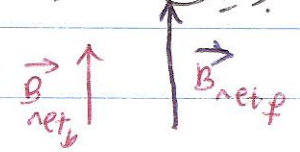
$S\downarrow \Rightarrow Z_f\uparrow \Rightarrow E_f\uparrow \quad I_{rm_f}\uparrow$

$Z_b\downarrow \Rightarrow E_b\downarrow \Rightarrow I_{rm_b}\downarrow$

* مکان هندسی میدان برآیند بیضی است



(چون سرعت مغرضیت میدان f بر میدان b غالب است)



اگر میدان f ساعت گرد بچرخد

میدان تک بار باید ساعت گرد می چرخد

* راهنه نسبت به زمان ثابت نیست

یعنی میدان ← به دایره نزدیک نمی شود ← راهنه $f > b$ ← هرچه S کوچکتر شود

تک بار فوق دار

تک بار نداشته باشیم

* در نقطه راه اندازی چون راهنه میدان ها با هم برابر است ← برآیند یک خط می شود ← میدان دوار نداریم

- در حالتی که آن یک دایره است.

- در $0 < S < 1$ مکان هندسی یک بیضی است ← میدان دوار است اگر چه راهنه اش نسبت به زمان ثابت نیست

www.naserhashemnia.blogfa.com

نکته آزمایش ۲: هرچی $R_r \uparrow$ در راه اندازی $I \downarrow$ راه اندازی بهتر شده و $\cos\varphi \uparrow$ و میدان میاد بهتر

بیشترین مقدار گشتاور راه اندازی در $S=1$ است.

$R_r \uparrow \quad I_r \downarrow \quad \cos\varphi \uparrow$

یک نقطه‌ای است که بیشترین گشتاور است (بهینه)

* استخراج مدار معادل موتور القایی تک فاز با استفاده از مؤلفه‌های متقارن: (مهم) ← امتحانی

ابتدا روش تحلیل موتور القایی ۲ فاز متقارن (ساخت متقارن) و نامتقارن (تغذیه نامتقارن) را بررسی می‌کنیم. اگر بتوانیم چنین موتوری را تحلیل کنیم موتور القایی تک فاز نیز قابل تحلیل است.

به طور کلی ما تنها موتور القایی ۲ فاز نامتقارن است که یک فاز آنرا با جریان صفر در نظر می‌گیریم.

به جای آنکه V_a و V_b را اعمال کنیم که متقارن نباشند (مقدار دامنه‌هایشان برابر نباشد یا اختلاف فاز b و a ۹۰° نباشد)

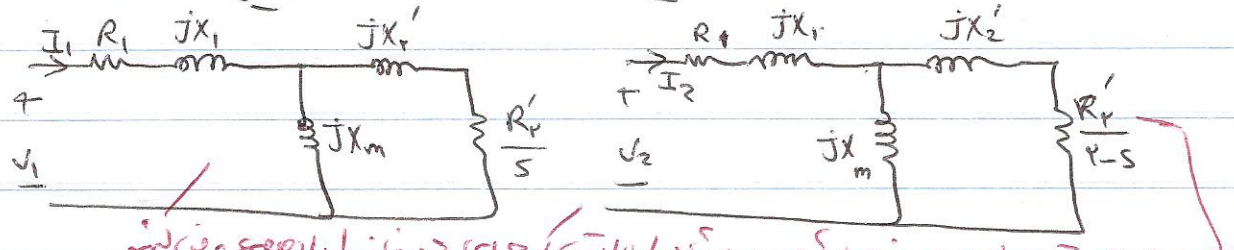
$\begin{cases} V_a \\ V_b \end{cases}$ ⟶ دو ولتاژ Set متقارن اعمال می‌کنیم ⟶ $\begin{cases} V_1 = -jV_1 \\ V_2 = +jV_2 \end{cases}$

یک ماشین القایی متقارن تغذیه متقارن

$$\begin{cases} V_a = V_1 + V_2 \\ V_b = -jV_1 + jV_2 \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} V_1 = \dfrac{V_a + jV_b}{2} \\ V_2 = \dfrac{V_a - jV_b}{2} \end{cases}$$

یک ماشین القایی متقارن تغذیه متقارن

وقتی V_a و V_b متقارن نیستند ← می‌خواهیم ۲ ولتاژ متقارن بدست بیاوریم (V_1 و V_2)



جهت میدان عوض می‌شود ← مشابه این است که جای دو فاز را با هم عوض کنیم

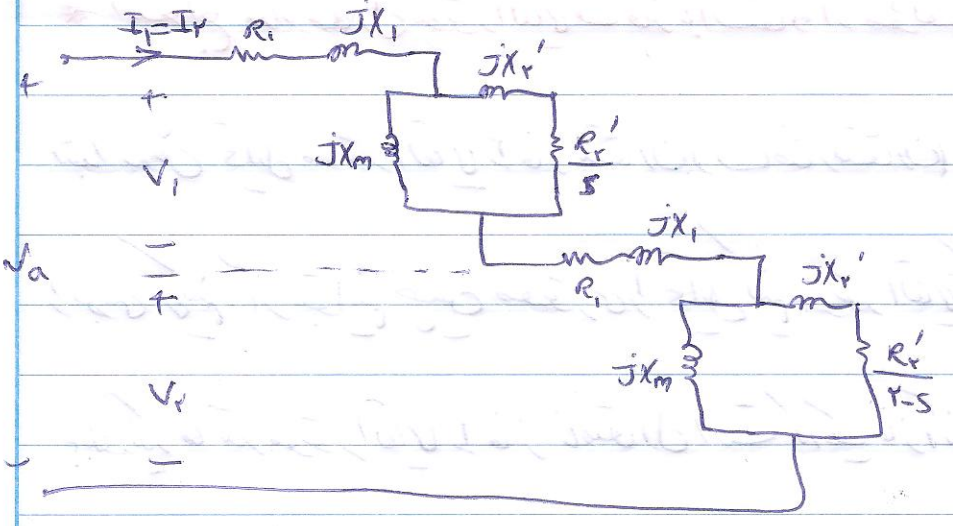
www.naserhashemnia.blogfa.com

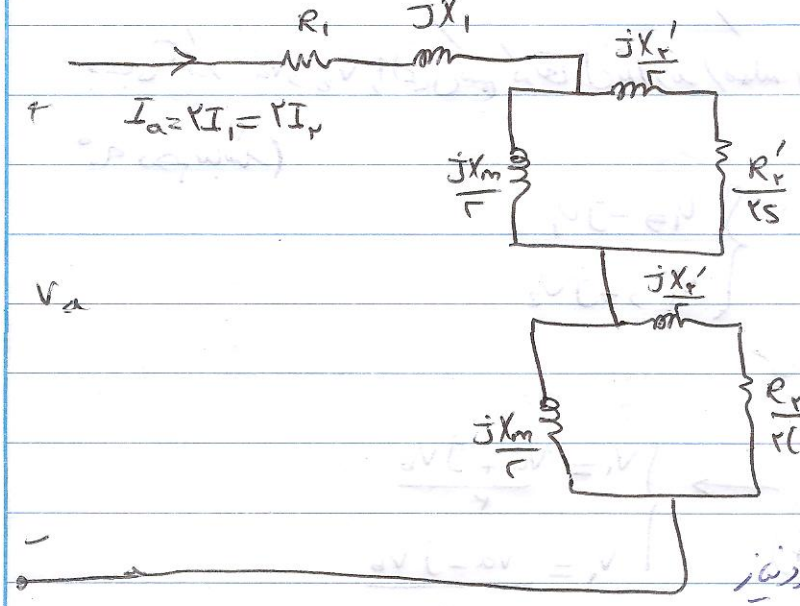
V_a $\begin{pmatrix} V_1 \\ -jV_1 \end{pmatrix} \rightarrow I_1$, $V_b \rightarrow \begin{pmatrix} V_2 \\ jV_2 \end{pmatrix} \rightarrow I_2$

$\rightarrow \begin{cases} I_a = I_1 + I_2 \\ I_b = -jI_1 + jI_2 \end{cases}$

در تک فاز $I_b = 0$ است $\leftarrow \boxed{I_1 = I_2}$ (2) $\leftarrow I_a = 2I_1 = 2I_2$

طبق رابطه $I_1 = I_2$ و $V_a = V_1 + V_2$ می‌توان دو مدار را سری در نظر گرفت.





* امپدانس‌ها را $\frac{1}{2}$ کردیم و جریان را 2 برابر $\leftarrow V_a$ تغذیه می‌کند

و چون $I_a = 2I_1$ را به دست آوردیم

ارزش این است که I_a که جریان خازن مورد نیاز است وجریانی است که در واقعیت وجود دارد

www.naserhashemnia.blogfa.com

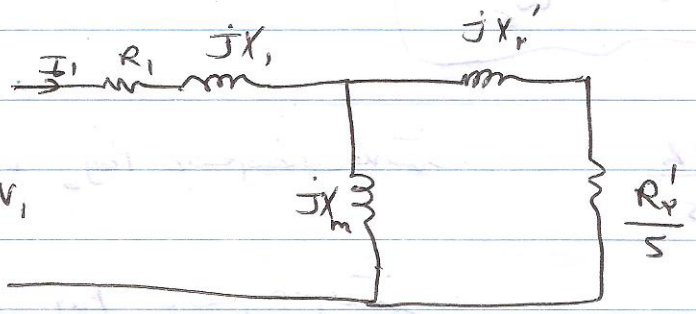
استخراج روابط گشتاور توان الکتریکی و مکانیکی

$\frac{R_r'}{s} \equiv$ R_r' $R_r'\left(\frac{1-s}{s}\right)$ ← توان مکانیکی تولیدی یا مصرفی موتور

$$\frac{R_r'}{s} \equiv P_{ag}$$

$$P_{mech} = (1-s)P_{ag} \Rightarrow P_{mech} \equiv \frac{(1-s)}{s} R_r'$$

$$P_{Cu_{rot}} \equiv R_r' \qquad T = \frac{P_{mech}}{\omega_{rot}} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$

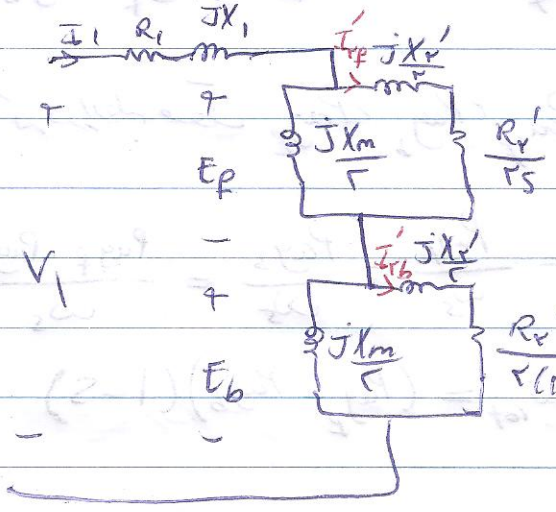


از دیدگاه منابع: $R_e(V_1 I_1^*) = R_1 I_1 + \frac{R_r'}{s} I_r'$

از دیدگاه مکانیکی: $R_e(V_1 I_1^*) = R_1 I_1 + R_r' I_r' + T\omega_r$ (P_{mech})

$$T\omega_r + R_r' I_r' = \frac{R_r'}{s} I_r'$$

$$T = \frac{\frac{R_r'}{s} I_r'(1-s)}{\omega_r} = \frac{\frac{R_r'}{s} I_r'}{\omega_s}$$



گشتاور موتور القایی تک فاز:

$T_f \longrightarrow P_{ag_f} = \frac{R_r'}{2s} I_{rf}'^2$ ← جریان سمت

$Z_f = R_f + jX_f \longrightarrow P_{ag_f} = R_f I_1'^2$

$$T_f = \frac{P_{mech_f}}{\omega_{rot}} = \frac{P_{ag_f}}{\omega_s}$$

www.naserhashemnia.blogfa.com

$$\frac{R_r'}{rs} = \frac{R_r'}{r} + \frac{R_r}{r}\left(\frac{1-s}{s}\right)$$

P_{ag_f} P_{cur_f} P_{mech_f}

$$T_f = \frac{P_{ag_f}}{\omega_s}$$

$$T_b = \frac{P_{mech_b}}{\omega_{rot}}$$

$$\frac{R_r'}{r(r-s)} = \frac{R_r'}{r} + \frac{R_r'}{r}\left(\frac{s-1}{r-s}\right)$$

P_{ag_b} P_{cur_b} P_{mech_b}

$$P_{mech_b}^{(-)} = (s-1)^{(-)} P_{ag_b}^{(+)}$$

$$T_b = \frac{(s-1)P_{ag_b}}{(1-s)\omega_s} \Rightarrow T_b = \frac{-P_{ag_b}}{\omega_s}$$

$$T_b = \frac{-P_{ag_b}}{\omega_s}$$

P_{mech_b} و P_{ag_b} بعضی مواقع علامت.

$$T = T_f + T_b$$

P_{ag_f} و P_{mech_f} بعضی هم علامت.

سؤال امتحانی: ثابت کنید اگر بخواهیم از رابطه $T = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$ برای ماشین سه فاز دو سرعته آن را بکار استفاده کنیم به شرط دهیم $P_{ag} = P_{ag_f} - P_{ag_b}$ ولی اگر بخواهیم توان مکانیکی خروجی را بیابیم:

$$P_{mech} = P_{ag} - P_{cur_b} - P_{cur_f} \qquad P_{ag} = P_{ag_f} + P_{ag_b}$$

که در رابطه فوق P_{cur_b} ، P_{cur_f} ، P_{ag_b} ، P_{ag_f} مثبت هستند.

اثبات: $T = T_f + T_b = \frac{P_{mech_f}}{\omega_{rot}} + \frac{P_{mech_b}}{\omega_{rot}} = \frac{P_{ag_f}}{\omega_s} - \frac{P_{ag_b}}{\omega_s} = \frac{P_{ag_f} - P_{ag_b}}{\omega_s}$

اثبات: $P_{mech} = T \cdot \omega_{rot} = (T_f + T_b)\omega_{rot} = (P_{ag_f} - P_{ag_b})(1-s)$

www.naserhashemnia.blogfa.com

$$\frac{R_r'}{rs} = \frac{R_r'}{r} + \frac{R_r'}{r}\left(\frac{1-s}{s}\right) \qquad P_{curf} = s P_{agf}$$

$$\frac{R_r'}{r(r-s)} = \frac{R_r'}{r} + \frac{R_r}{r}\left(\frac{s-1}{r-s}\right) \qquad P_{curb} = (r-s) P_{agb}$$

$$P_{mech} + P_{curf} + P_{curb} = (P_{agf} - P_{agb})(1-s) + s P_{agf} + (r-s) P_{agb}$$

$$P_{mech} + P_{curf} + P_{curb} = P_{agf}(1-s+s) + P_{agb}(-1+s+r-s)$$

$$\Rightarrow P_{mech} + P_{curf} + P_{curb} = \overbrace{P_{agf} + P_{agb}}^{P_{ag}}$$

مثال: یک موتور القایی تکفاز $r.r\,kV$، $60\,Hz$، $110\,V$ دارای مشخصات زیر است معلوبیت نسبت دامنه میدان

$R_1 = 2.02\,\Omega$

$R_2 = 2.79\,\Omega$

$R_2' = 4.12\,\Omega$

$X_2' = 2.12\,\Omega$

$X_m = 66.8\,\Omega$

بردار مستقیم ← دامنه میدان معکوس (اگر حالت نکون ←) $s = 0.05$

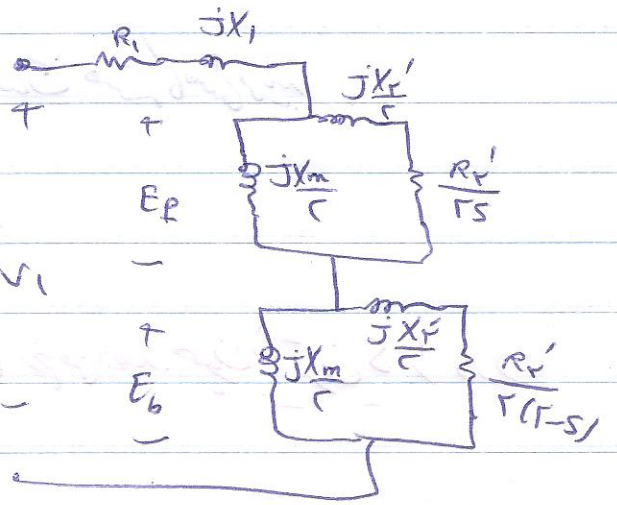
چون ذکر نکرده است که دامنه کدام میدان از چه میدان برگشته

مگر نسبت دامنه میدان بردار مستقیم است تقریبا برابر دامنه میدان بردار معکوس

است تقریبا برابر یک است

تذکر: نسبت دامنه میدان بردار مستقیم برگشته به دامنه میدان بردار معکوس برگشته برابر است با:

$$\frac{I_{mf}}{I_{mb}} = \frac{E_f}{E_b}$$



$$\begin{cases} E_f = Z_f I_1 \\ E_b = Z_b I_1 \end{cases}$$

$$Z_f = j\frac{X_m}{r} \,||\, \left(j\frac{X_r'}{r} + \frac{R_r'}{rs}\right)$$

$$Z_b = j\frac{X_m}{r} \,||\, \left(j\frac{X_r'}{r} + \frac{R_r'}{r(r-s)}\right)$$

www.naserhashemnia.blogfa.com

الف) $S=1 \Rightarrow Z_f = Z_b \Rightarrow E_f = E_b \Rightarrow \boxed{I_{mf} = I_{mb}}$

ب) در $S=0.05$ ، $|Z_f|$ و $|Z_b|$ را محاسبه کرده و مقایسه می‌کنیم.

ج) $\frac{I'_{2f}}{I'_{2b}} = ?$

$$I'_{2f} = I_1 \times \frac{j\frac{X_m}{2}}{\frac{R'_2}{2S} + j\left(\frac{X'_2}{2} + \frac{X_m}{2}\right)}$$

$$I'_{2b} = I_1 \times \frac{j\frac{X_m}{2}}{\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\left(\frac{X_m}{2} + \frac{X'_2}{2}\right)}$$

$$\Rightarrow \frac{I'_{2f}}{I'_{2b}} = \frac{\frac{R'_2}{2(2-S)} + j\left(\frac{X_m}{2} + \frac{X'_2}{2}\right)}{\frac{R'_2}{2S} + j\left(\frac{X_m}{2} + \frac{X'_2}{2}\right)}$$

$0<S<1 \rightarrow \frac{R_2}{S}\uparrow \rightarrow I'_{2f}\downarrow$ دامنه میدان پشت دار روتور بیشتر از دامنه میدان جلودار روتور می‌شود.

چرا تلفات روتور را ثابت می‌گیریم؟

چون با افزایش سرعت، تلفات بار اصطکاک افزایش می‌یابد از طرفی با افزایش سرعت S کاهش می‌یابد و در نتیجه $S^2 f_e$ کاهش می‌یابد ← تلفات هسته کاهش می‌یابد

بنابراین تلفات روتور را ثابت فرض می‌کنیم.

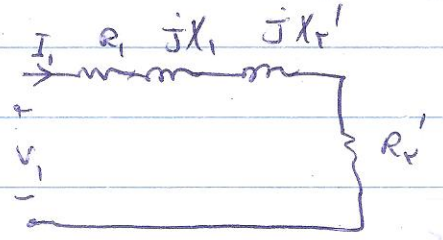
* بیشترین تلفات روتور در ناحیه ترمزی رخ می‌دهد. چون بیشترین S را دارد.

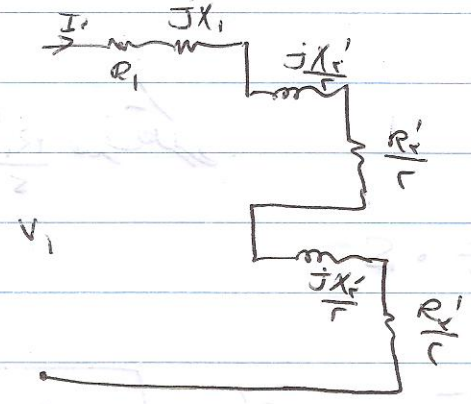
www.naserhashemnia.blogfa.com

مدار معادل تقریبی :

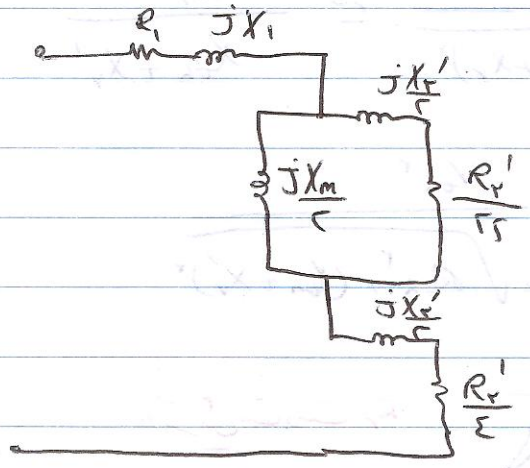
۱) شرایط اتصال کوتاه (روتور قفل شده) ($S=1$) :

X_m مقدار بزرگی نسبت به R_2' و X_2'





۲) شرایط کار نامی (لغزش کوچک)



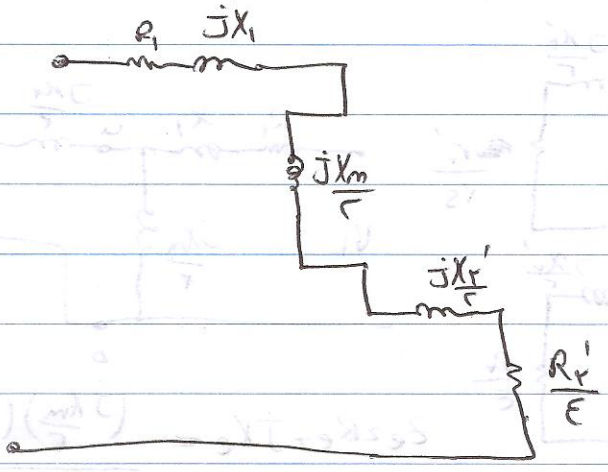
لغزش کوچک ← $\frac{R_2'}{2.5}$ زیاد می‌شود و می‌توان از $\frac{jX_m}{2}$ صرف نظر کرد.

صرف نظر $\frac{jX_m}{2} \Rightarrow Z_b \uparrow$

$\frac{R_2'}{2(2-S)} \subset \frac{R_2'}{4} \Rightarrow Z_b \downarrow$

تقریب خوبی

۳) آزمایش بی‌باری ($S=0$) :



لغزش الکتریکی صفر است (فرض)

لغزش صفر در تقریب خوبی صفر خروجی ایده‌آل می‌باشد، صورتی که

این مطلب برای اتصال بی‌باز درست است.

(از این اختلاف صرف نظر می‌شود)

www.naserhashemnia.blogfa.com

تحقیق اثر تغییر مقاومت روتور روی گشتاور (سه فاز) ← القای تک فاز

$$T = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_2'}{s} \cdot I_2'^2 \qquad I_2'^2 = \frac{V_{th}^2}{(R_{th}+\frac{R_2'}{s})^2 + (X_{th}+X_2')^2}$$

متوقف از X_2' ، X_{th} ، R_{th} نسبت $\frac{R_2'}{s}$ صرف نظر کرد.

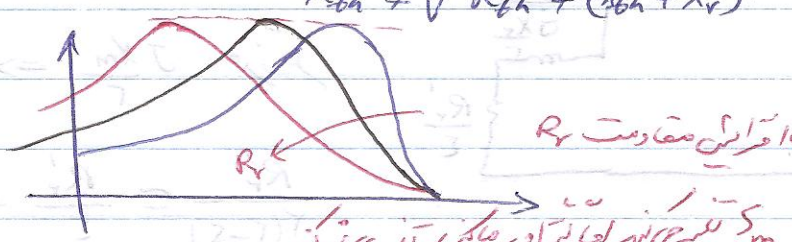
$$T = \frac{3}{\omega_s}\cdot\frac{V_{th}^2}{R_2'}\cdot s$$

ضعیف ترین قسمت مدار روتور

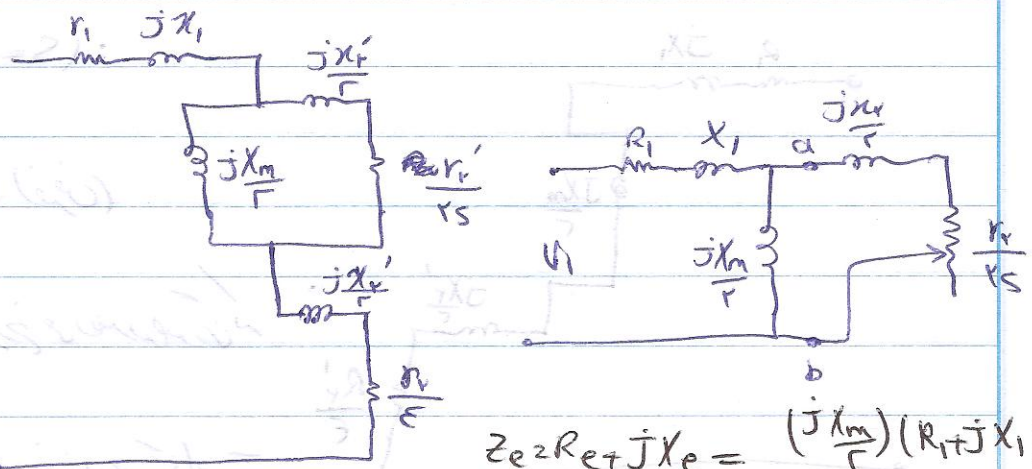
$$\frac{R_2'}{s_m} = \sqrt{R_{th}^2 + (X_{th}+X_2')^2}$$

$$\Rightarrow s_m = \frac{R_2'}{\sqrt{R_{th}^2+(X_{th}+X_2)^2}} \simeq \frac{R_2'}{X_{th}+X_2'}$$

$$T_m = \frac{3}{2\omega_s}\cdot\frac{V_{th}^2}{R_{th}+\sqrt{R_{th}^2+(X_{th}+X_2')^2}}$$



تک فاز ⇒

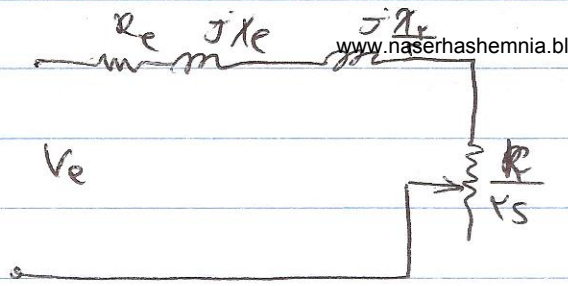


$$\begin{cases} R_1 = r_1 + \frac{r_2'}{4} \\ X_1 = X_1 + \frac{X_2'}{2} \end{cases}$$

$$Z_e = R_e + jX_e = \frac{(j\frac{X_m}{2})(R_1+jX_1)}{R_1 + j(X_1+\frac{X_m}{2})}$$

$$V_e = \frac{(j\frac{X_m}{2})V_1}{R_1 + j(X_1+\frac{X_m}{2})} = \frac{1}{2}\cdot\frac{X_m V_1}{X_1+\frac{X_m}{2}}$$

www.naserhashemnia.blogfa.com



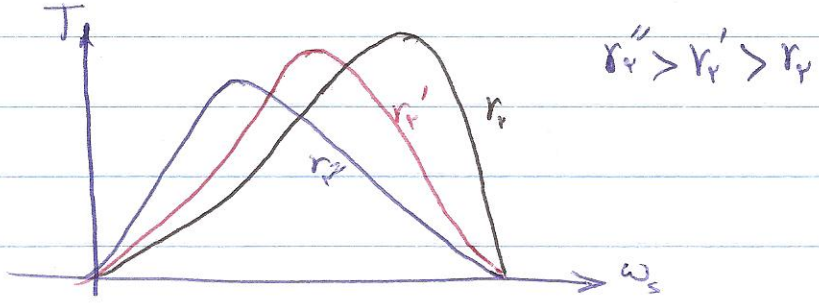
مقصیه حداکثر توان داریم $\frac{r_2}{2S_{mT}} = \sqrt{R_e^2 + \left(X_e + \frac{X_2}{2}\right)^2}$

با تغییر مقاومت r_2 $\Rightarrow S_{mT} = \frac{r_2}{2\sqrt{R_e^2 + \left(X_e + \frac{X_2}{2}\right)^2}}$

S_{mT} تغییر می‌کند

با تغییر مقاومت r_2 $T_{e.m} = \frac{V_e^2}{2\pi n_s} = \frac{1}{2\left(R_e + \sqrt{R_e^2 + \left(X_e + \frac{X_2}{2}\right)^2}\right)}$

گشتاور ماکزیمم تغییر نمی‌کند



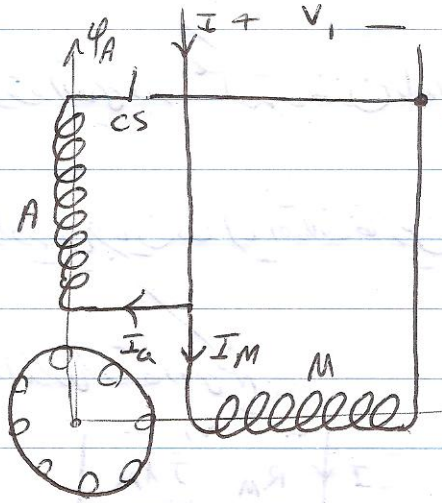
$r_2'' > r_2' > r_2$

www.naserhashemnia.blogfa.com

موتورهای القایی تک فاز در سرعت صفر ($S=1$) گشتاور راه انداز ندارند برای اینکه بتوانیم گشتاور راه انداز ایجاد کنیم موتور را تبدیل می کنیم به موتور دو فاز متعادل و می دانیم در موتور دو فاز متعادل چون اختلاف فاز بین جریان های دو فاز کمتر از 90° خواهد بود.

۱- روش های فاز شکسته Split Phase :

۱-الف) Resistor Split Phase

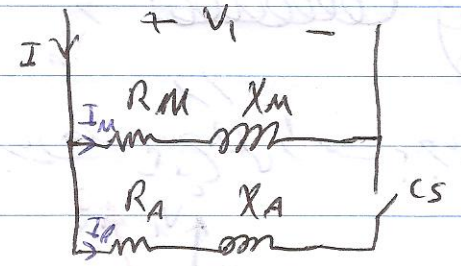


برای ایجاد اختلاف فاز بین جریان سیم پیچ اصلی و فلی مقاومت سیم پیچ کمکی بیشتر از سیم پیچ اصلی و راکتانس سیم پیچ اصلی بیشتر از سیم پیچ کمکی است. اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان فاز کمکی کمتر از اختلاف فاز ولتاژ و جریان سیم پیچ اصلی است.

$R_A > R_M$ ← سطح مقطع کوچکتر است ← مقاومت بیشتر ← تلفات بیشتر ← جریان کمتر

$X_M > X_A$ ← تعداد دور M بیشتر از A است

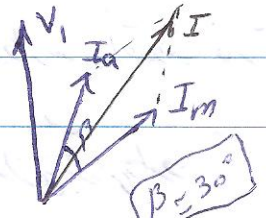
$$\frac{R_A}{X_A} > \frac{R_M}{X_M}$$



اختلاف فاز جریان سیم پیچ کمکی و اصلی در این روش حدوداً 30° است که این اختلاف فاز هم ایجاد گشتاور راه اندازی می کند.

$\alpha_a = tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}$

$\alpha_m = tg^{-1}\frac{X_m}{R_m}$



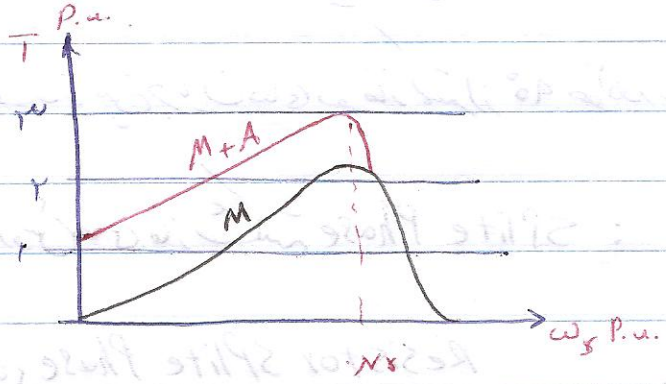
$\alpha_a < \alpha_m$

پس فاز V_1 با I زیاد است

www.naserhashemnia.blogfa.com

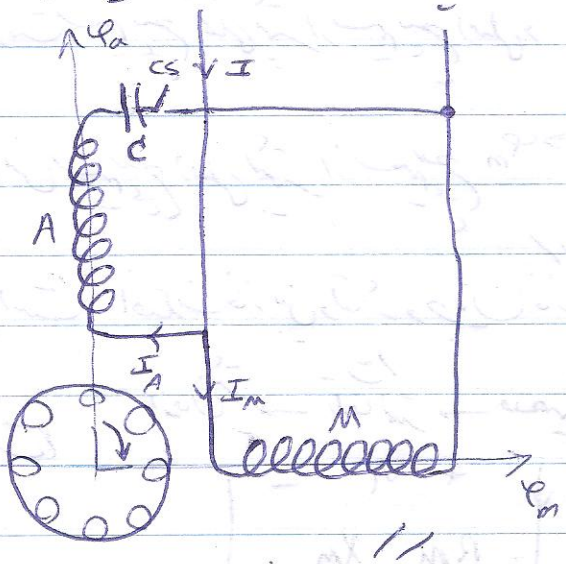
CS (کلید گریز از مرکز) که در سرعت معینی (معمولاً ۷۵٪ سرعت سنکرون) سیم پیچ کمکی AaXiliary را از مدار خارج می‌کند.

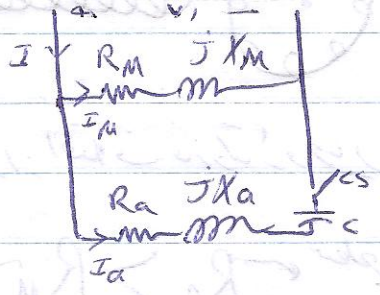
* در موتور القایی دو فاز (متقارن) جریان های فازها هم اختلاف فاز ۹۰° است ولی در یک فاز اختلاف فاز کمتر از ۹۰° است



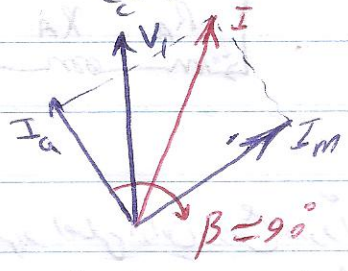
ب) موتور القایی فاز شکافته یا خازن راه انداز:

برای این که زاویه بین جریان ها (یا اختلاف فاز بین جریان سیم پیچ اصلی و کمکی) را به ۹۰° برسانیم از یک خازن سری در راه اندازی استفاده می‌کنیم.





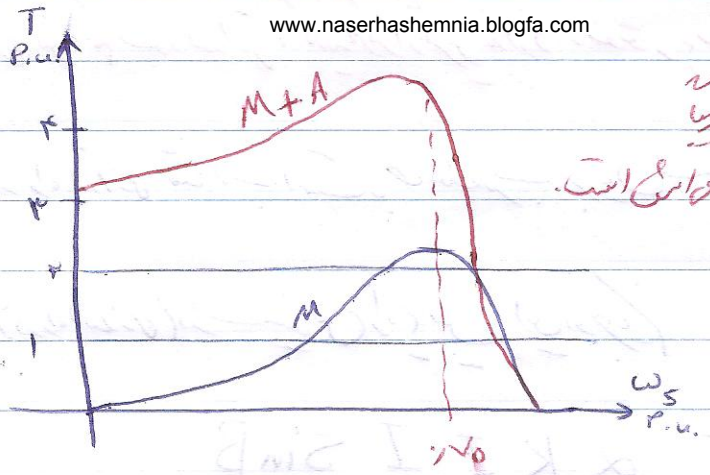
با انتخاب یک خازن مناسب می‌توان زاویه فاز جریان سیم پیچ کمکی را نسبت به جریان سیم پیچ اصلی



۹۰° جلو انداخت.

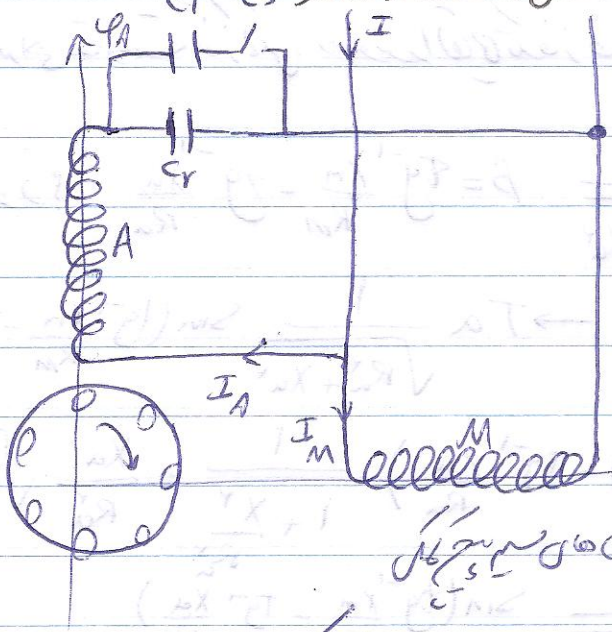
چون در سیم پیچ اصلی و کمکی ۹۰° دارند اختلاف فاز ۹۰° جریان ها یک میدان مغناطیسی دوار در استاتور ایجاد خواهد کرد. استاتور راه اندازی بزرگی دارد.

www.naserhashemnia.blogfa.com



گشتاور راه اندازی تقریباً ۳٫۵ برابر مقدار نامی است.

۱-ج) موتور القایی فاز شکسته با خازن دائمی و خازن راه انداز:

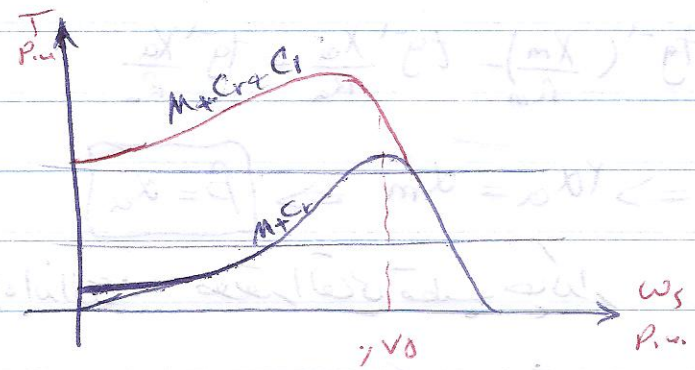


در راه اندازی $C_1 + C_2$ به برق متصل است.

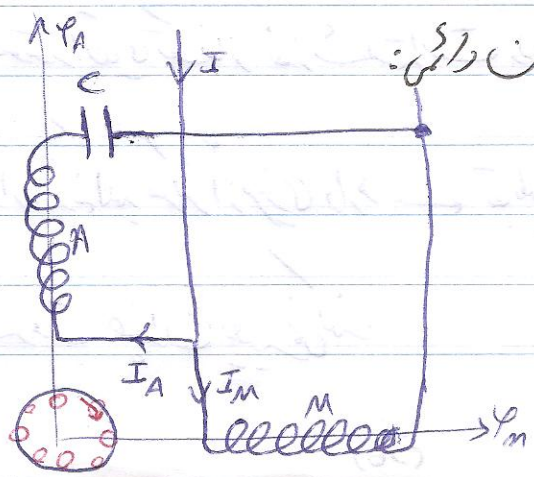
در حالت کار دائم C_2 به کوچک

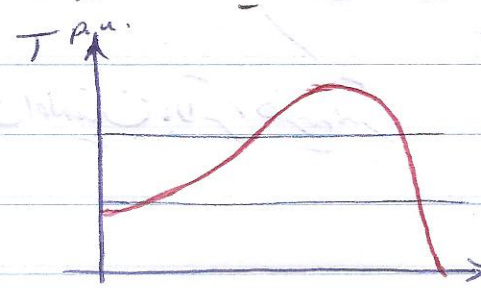
$C_1 >> C_2$

به دلیل ایجاد زاویه ۹۰° اختلاف فاز جریان های سیم پیچ کمکی و اصلی تقریباً ۹۰° است و مشابه موتور القایی دو فاز کار می کند.



۱-د) موتور القایی فاز شکسته با خازن دائمی:





www.naserhashemnia.blogfa.com

* از لحاظ عملکرد نزدیک تر، کم سر و صداتر، گشتاور راه اندازی کمتر، موتور سنکرون به موتور القایی دو فاز تبدیل می شود

نکته: گشتاور راه اندازی متناسب است با حاصلضرب جریان سیم پیچ اصلی در راه اندازی در جریان سیم پیچ کمکی (در راه اندازی) در سینوس زاویه بین این دو جریان

$$T_{start} \alpha K I_m I_a \sin\beta$$

شکل) طراحی مقاومت فاز کمکی موتور القایی تک فاز شکسته از نوع مقاومتی به نحوی که T_{start} حداکثر شود؟

I_m ثابت $\quad I_a = \frac{V_1}{\sqrt{R_a^2 + X_a^2}} \quad \beta = tg^{-1}\frac{X_m}{R_m} - tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}$

$$T \alpha K I_m I_a \sin\beta \rightarrow T \alpha \frac{1}{\sqrt{R_a^2 + X_a^2}} \sin\left(tg^{-1}\frac{X_m}{R_m} - tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}\right)$$

مشتق می گیریم $\Rightarrow \cos\left(tg^{-1}\frac{X_m}{R_m} - tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}\right) \frac{1}{1+\frac{X^2}{R_a^2}} \cdot \frac{X_a}{R_a^2} \sqrt{R_a^2 + X_a^2} =$

$$= \frac{2R_a}{2\sqrt{X_a^2 + R_a^2}} \sin\left(tg^{-1}\frac{X_m}{R_m} - tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}\right)$$

$$\Rightarrow tg^{-1}\left(\frac{X_m}{R_m}\right) - tg^{-1}\frac{X_a}{R_a} = tg^{-1}\frac{X_a}{R_a}$$

$$\Rightarrow 2\alpha_a = \alpha_m \Rightarrow \boxed{\beta = \alpha_a}$$

روش دوم راه اندازی: موتور القایی قطب چاکدار

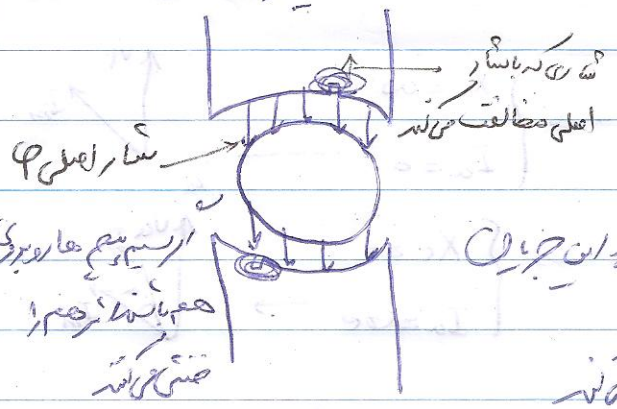
* روتور مثل موتور القایی تک فاز شکسته است ولی در استاتور حلقه های اتصال کوتاه نشده داریم

* زبانه فلزی وجود دارد و نیمی از سر آن دارای حلقه اتصال کوتاه است هنگام راه اندازی تغییر مکان می دهد و تغییر در سرعت جریان تغییر می کند

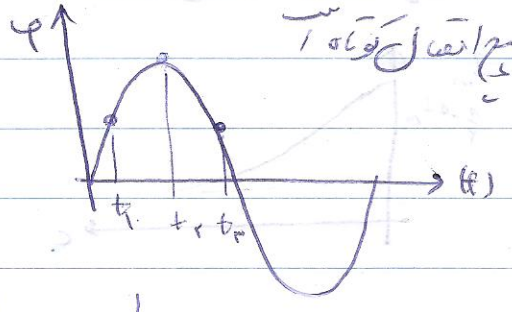
www.naserhashemnia.blogfa.com

ایراد: شار در راه اندازی آن می تواند بسیار زیاد باشد و موتورهای کوچک را خراب کند

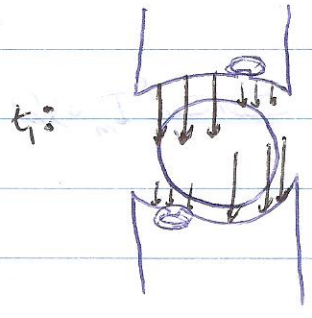
تحلیل: شار متغیر با زمان القای ولتاژ می کند



مسیر برای عبور جریان داده شده این جریان حادث می شود این جریان طبق قانون لنز با عامل به وجود آوردن خود مخالفت می کند

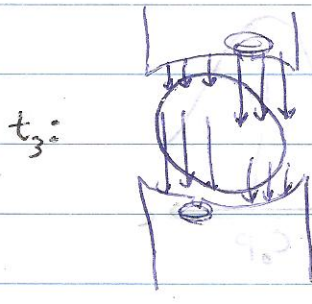


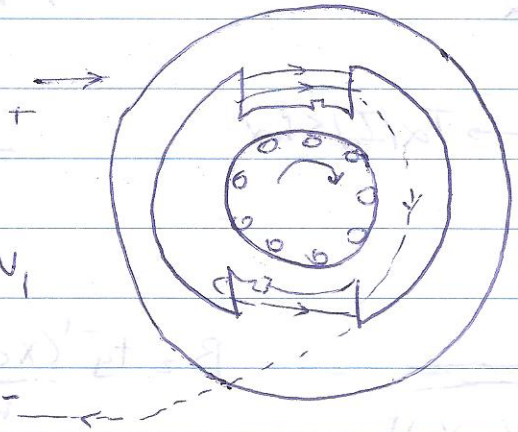
در لحظه t_1: شار دارد افزایش می یابد. جریانی در سیم پیچ القا می شود که شار آن با عامل به وجود آورنده خود مخالفت می کند

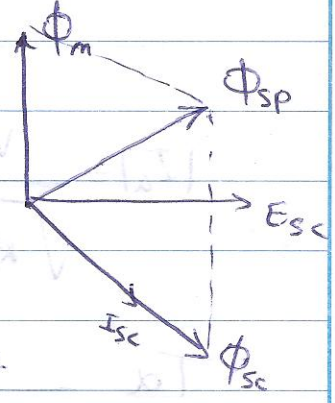


در لحظه t_2: حلقه اتصال کوتاه می باشد

در لحظه t_3: همدیگر را تقویت می کنند







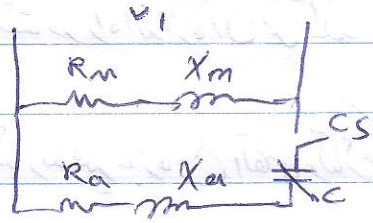
$$E_{sc} = -N\frac{d\Phi_m}{dt}$$

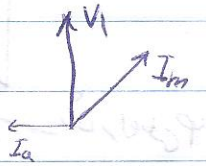
Φ_{sc} و I_{sc} باعث می شوند قسمتی از جریان اشباع صرف تقویت شود

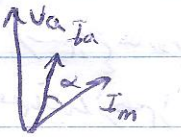
$$\Phi_m + \Phi_{sc} = \Phi_{sp}$$

www.naserhashemnia.blogfa.com

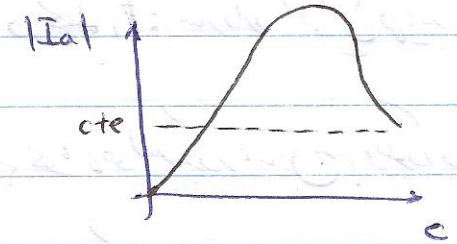
موتور القایی تک فاز نوع Split Phase

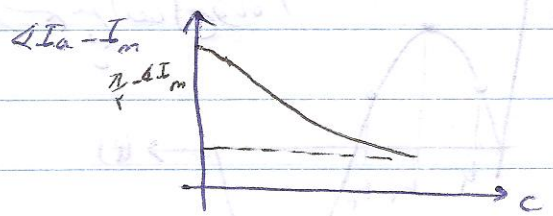


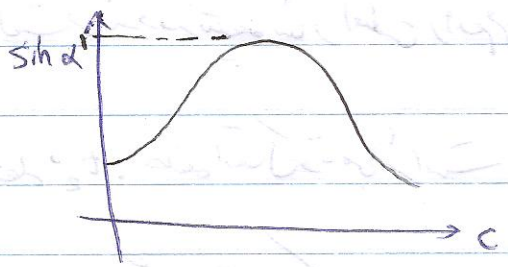
if $C=0 \rightarrow \begin{cases} X_C=\infty \\ I_a=0 \end{cases}$ 

if $C=\infty \rightarrow \begin{cases} X_C=0 \\ I_a=Cte \end{cases}$ 

$\frac{R_m}{R_a} \ll 1$ ، $\frac{X_m}{X_a} \gg 1$ پس بنابراین I_m تقریبا از I_a ۹۰ درجه جلوتر است



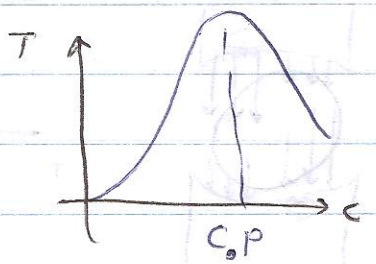




اندازه I_m ثابت است

$T \alpha |I_m| |I_a| \sin\alpha$

$|I_m| \rightarrow cte \rightarrow T \alpha |I_a| \sin\alpha$



$$|I_a| = \frac{V_1}{\sqrt{R_a^2 + (X_a - X_C)^2}}$$

$$\beta = tg^{-1}\frac{(X_C - X_a)}{R_a} + tg^{-1}\frac{X_m}{R_m}$$

$$T \alpha \frac{V_1}{\sqrt{R_a^2 + (X_a - X_C)^2}} \sin\left(tg^{-1}\left(\frac{X_C - X_a}{R_a}\right) + tg^{-1}\frac{X_m}{R_m}\right)$$

www.naserhashemnia.blogfa.com

$$\Rightarrow \cos\left(tg^{-1}\frac{X_c-X_a}{R_a}+tg^{-1}\frac{X_m}{R_m}\right)\cdot\frac{1}{1+\left(\frac{X_c-X_a}{R_a}\right)^2}\cdot\frac{1}{R_a}\sqrt{R_a^2+(X_a-X_c)^2}$$

$$=\sin\left(tg^{-1}\frac{X_c-X_a}{R_a}+tg^{-1}\frac{X_m}{R_m}\right)\cdot\frac{-2(X_a-X_c)}{2\sqrt{R_a^2+(X_a-X_c)^2}}$$

$$\Rightarrow tg\left(\tan^{-1}\frac{X_a-X_a}{R_a}+\tan^{-1}\frac{X_m}{R_m}\right)=\frac{R_a}{X_c-X_a}$$

$$\tan(A+B)=\frac{\tan A+\tan B}{1-\tan A\tan B}$$

$$\frac{\frac{X_c-X_a}{R_a}+\frac{X_m}{R_m}}{1-\left(\frac{X_m}{R_m}\right)\left(\frac{X_c-X_a}{R_a}\right)}=\frac{R_a}{X_c-X_a}$$

$$\Rightarrow \frac{(X_c-X_a)^2}{R_a}+\frac{X_m}{R_m}(X_c-X_a)=R_a-\left(\frac{X_m}{R_m}\right)(X_c-X_a)$$

$$2\frac{X_m}{R_m}=\frac{R}{X_c-X_a}-\frac{X_c-X_a}{R_a}$$

$$2\tan\alpha_m=\cot\alpha_a-\tan\alpha_a \Rightarrow \tan\alpha_a=x$$

$$x^2+2\tan\alpha_m x-1=0 \Rightarrow \tan\alpha_a=\sqrt{\frac{1-\sin\alpha_m}{1+\sin\alpha_m}}$$

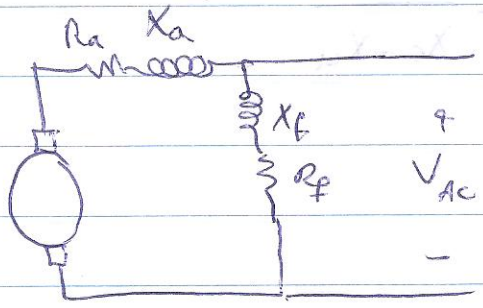
www.naserhashemnia.blogfa.com

موتور DC سری با تغذیه ac نیز کاربرد

$T = k\varphi I_a \qquad \varphi \propto I_f = I_a$

$T = k_f I_a^2$

موتور DC شنت با تغذیه ac:



$T = k\varphi I_a \qquad \varphi \propto I_f$

$\Rightarrow T = k_c I_f I_a$

$\Rightarrow T(t) = k_c I_f(t) I_a(t) \qquad I_f(t) = I_{fm} \sin \omega t$

$I_a(t) = I_{am} \sin(\omega t + \varphi)$

$T(t) = k_c (I_{fm} \sin \omega t)(I_{am} \sin(\omega t + \varphi))$

$T(t) = k_c \frac{I_{fm} I_{am}}{2} [\cos\varphi - \cos(2\omega t + \varphi)]$

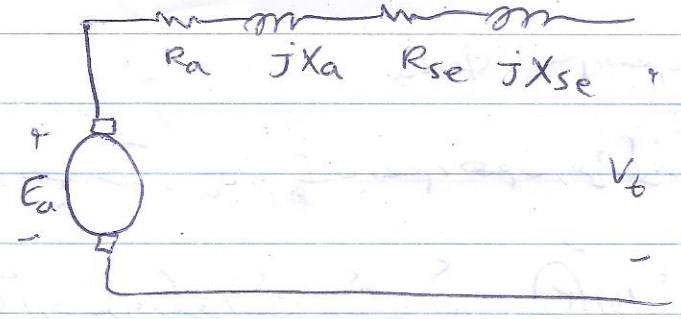
در شتاب یک موتور DC و یک مولد فری متغیر با زمان دارد هر چه اختلاف فاز زمانی بین جریان میدان و آرمیچر بیشتر شود شتاب متوسط کاهش می‌یابد

در موتور DC شنت I_{fm} کوچک است چون که اندوکتانس سیم پیچ شنت خیلی بزرگ است در نتیجه زاویه φ کوچک خواهد بود اختلاف فاز زمانی بین جریان آرمیچر و جریان I_{fm} زیاد است پس استفاده از موتور DC شنت در تغذیه ac صحیح نیست.

www.naserhashemnia.blogfa.com

* موتور DC سری مشکل اختلاف فاز بین I_{am} و I_{fm} وجود ندارد چون جریان

هر دو یکی است.



$$T = k_c (I_{am} \sin \omega t)^2$$

$$T = \frac{1}{2} k_c I_{am}^2 (1 - \cos 2\omega t)$$

موتور DC سری نیز دارای گشتاوری از تابع زمان است.

* برای اینکه گشتاور ماکزیمم شود باید جریان I_{am} افزایش یابد برای اینکار راکتانس X_a و X_{se} را باید کم کنیم یا L_a و L_{se} را باید کم کرد $\leftarrow$ N_a و N_{se} را کم کرد

* تعداد سیم‌های سوزنی آرمیچر را زیاد کنیم (تعداد سیم‌های اسکی را کم کنیم) در این صورت راکتانس کم می‌شود.

* هسته استاتور در معرض فرکانس متغیر بوده حالا در معرض فرکانس 50 Hz یا 60 Hz خواهد بود

* باید هسته استاتور و روتور مورق شود برای اینکه تلفات هسته زیاد نشود

* L_f ذاتاً زیاد است ولی L_a و L_{se} ذاتاً کم هستند.

* در تغذیه DC تلفات هسته فقط در روتور است در استاتور تلفات نداریم

* در تغذیه AC تلفات هسته هم در روتور و هم در استاتور وجود دارد

پس راندمان در DC بیشتر از راندمان در AC است.

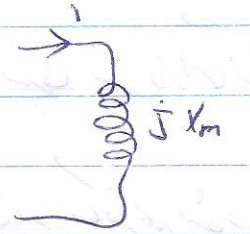
www.naserhashemnia.blogfa.com

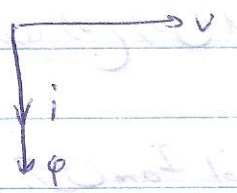
$$\bar{V}_t = \bar{E}_a + (R_a + R_{se})\bar{I}_a + j(X_a + X_{se})\bar{I}_a$$

$\bar{E}_a = k\bar{\varphi}\omega$ ← بعد از Φ و E_a بعد از

$\varphi \propto I_a$ در چه صورتی E_a و I_a با هم هم فاز می‌شوند؟

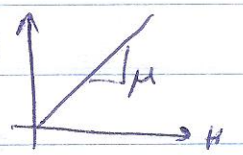
① اگر حلقه‌ی آهنی و آلیاژ نداشته باشیم ② اگر آلیاژ آهنی نداشته باشیم

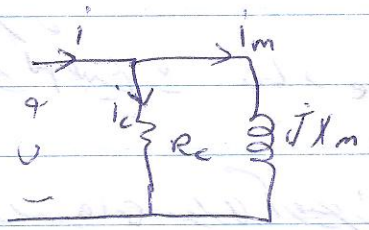


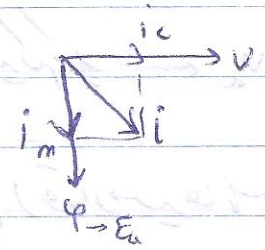


$$L_m = \frac{N^2}{R_m}$$

$$R = \frac{\ell}{\mu A}$$







حالتی را بررسی می‌کنیم که آلیاژ آهنی نداشته باشیم.

I_a از E_a جلوتر است.

اگر آهنی نداشته باشیم.