ماشین

Subject:
Year. Month. Date. ( )

* سرفصل ها:

۱- ترانسفورماتورها
- ترانس ایده آل و ترانس با بیش از دو سیم پیچ
- ترانس واقعی و مدل آن
- راندمان
- P.U
- افت ولتاژ و رگولاسیون
- موازی سازی

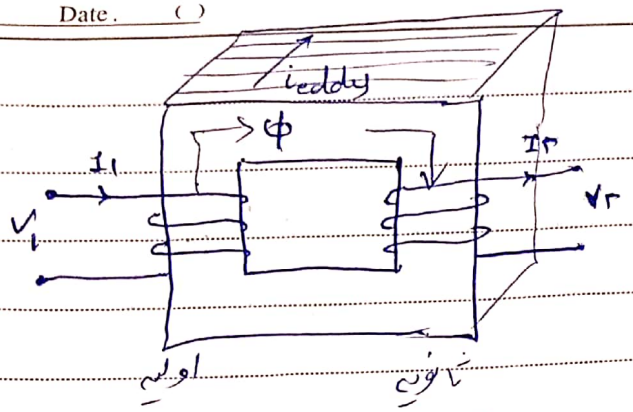
۲- ماشین های الکتریکی
- ساختار
- تقسیم
- مدار معادل
- نمودار توازن توان
- گشتاور
- سرعت گشتاورها
- روش های راه اندازی

۳- ماشین های سنکرون
- ساختار
- مدار معادل
- انواع بار و رگولاسیون ولتاژ
- آرایش سیم پیچی و اتصال کوتاه
- اجزای سنکرون

SAHEL

Scanned by CamScanner

★ ترانسفورماتورها :



$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$ نسبت تبدیل

رابطه اساسی ترانس ایده آل

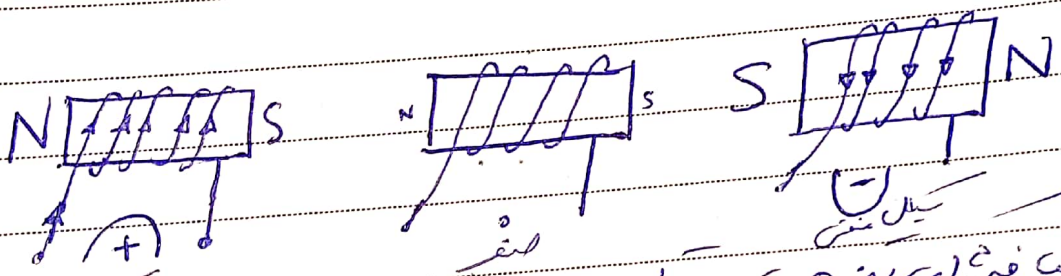
$S_1 = S_2 \Rightarrow V_1 I_1 = V_2 I_2 \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$ توان ظاهری

$P_f + P_h$ هیسترزیس $= P_{fe}$

فوکو

$P_{cu} \Rightarrow$ تلفات سیم پیچ ها

هیسترزیس :



سیکل مثبت — صفر — سیکل منفی

★ انرژی اتلافی برای تغییر جهت مغناطیس لازم است .

$P_f \propto f B_m^2$ ، $P_h \propto f B_m^2$

↓

حداکثر — ماکسیمم چگالی شار

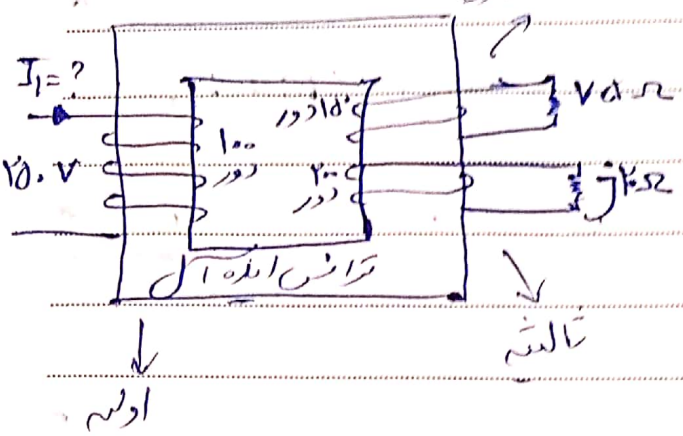
★ در اغلب ماشین های الکتریکی B_m برابر با 1/1 T در نظر گرفته می شود .

Scanned by CamScanner

۱ ۲

★ مثال: در شکل زیر جریان سیم پیچ اولیه را بیابید.

- از مرجع ثانویه را استفاده می‌کنیم



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{۲۵۰}{V_2} = \frac{۱۰۰}{۱۵۰} \Rightarrow V_2 = ۳۷۵$$ ثانویه

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{N_1}{N_3} \Rightarrow \frac{۲۵۰}{V_3} = \frac{۱۰۰}{۲۰۰} \Rightarrow V_3 = ۵۰۰$$ ثالثیه

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{۳۷۵}{۷۵} = ۵\ A$$ جریان ثانویه

$$I_3 = \frac{V_3}{jX} = \frac{۵۰۰}{j۲۰} = -j۲۵$$ جریان ثالثیه

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \Rightarrow \frac{۵}{I_1} = \frac{۱۰۰}{۱۵۰} \Rightarrow I_1 = ۷/۵\ A$$

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{N_1}{N_3} \Rightarrow \frac{-j۲۵}{I_1} = \frac{۱۰۰}{۲۵۰} \Rightarrow I_1 = -j۵۰\ A$$

$$\Rightarrow I_1 = ۷/۵ - j۵۰ \Rightarrow |I_1| = \sqrt{۷/۵^2 + ۵۰^2} = ۵۰/۵$$

SAHEL

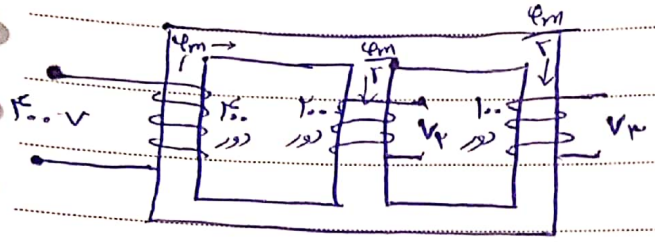
Scanned by CamScanner

Subject:
Year. Month. Date. ( )

۹۸/۷/۱۴ جلسه چهارم

★ نکته: ولتاژی که روی هر سیم پیچ یک ترانس می افتد از رابطه ی $V = 4.44 N f B_m A$ بدست می آید.

★ مثال (۲): در ترانس ایده آل شکل زیر ولتاژ خروجی در سیم پیچ های (۲) و (۳) چقدر است؟

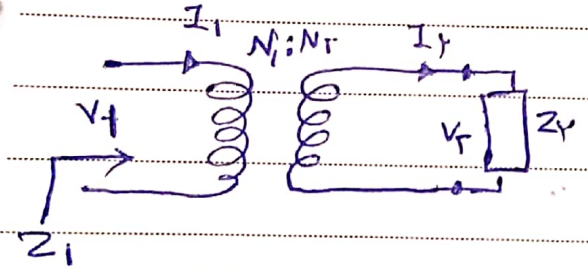


★ چون سطح مقطع تاف ها برابرند شار عبوری نیز $\frac{\varphi_m}{2}$ می شود.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{4.44 N_1 f \varphi_m}{4.44 N_2 f \frac{\varphi_m}{2}} = \frac{N_1}{\frac{N_2}{2}} \Rightarrow \frac{400}{V_2} = \frac{400}{\frac{200}{2}} \Rightarrow V_2 = 100$$

$$\frac{V_1}{V_3} = \frac{4.44 N_1 f \varphi_m}{4.44 N_3 f \frac{\varphi_m}{2}} = \frac{N_1}{\frac{N_3}{2}} \Rightarrow \frac{400}{V_3} = \frac{400}{\frac{100}{2}} \Rightarrow V_3 = 50$$

★ انتقال امپدانس در ترانسفورماتور:



$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \Rightarrow \begin{matrix} V_1 = a V_2 \\ I_1 = \frac{I_2}{a} \end{matrix}$$

$$Z_2 = \frac{V_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} = \frac{a V_2}{\frac{I_2}{a}} = a^2 \frac{V_2}{I_2} = a^2 Z_2 \Rightarrow \frac{Z_1}{Z_2} = a^2$$

مقاومت: $\frac{R_1}{R_2} = a^2$

سلف: $\frac{X_{L_1}}{X_{L_2}} = \frac{2\pi f L_1}{2\pi f L_2} \Rightarrow \frac{L_1}{L_2} = a^2$

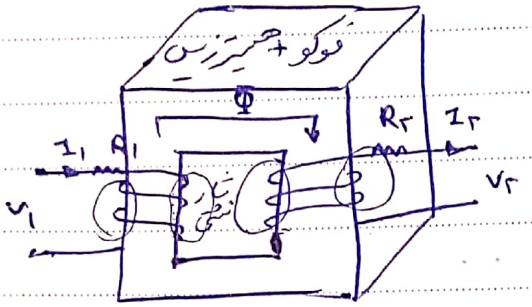
SAHEL

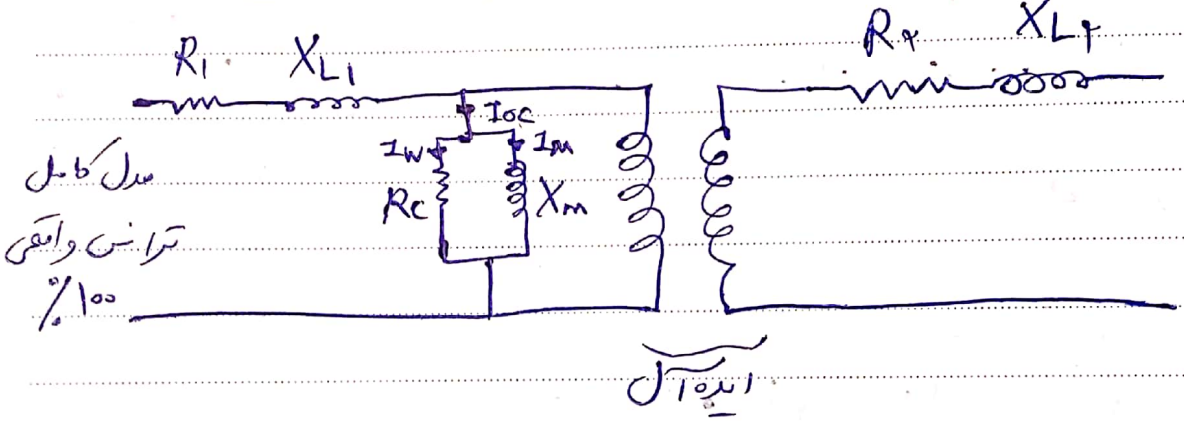
Scanned by CamScanner

Subject :
Year ..... Month ..... Day ..... Page .....

حازن : $\frac{X_{C1}}{X_{C2}} = \frac{\frac{1}{2\pi f C_1}}{\frac{1}{2\pi f C_2}} = \frac{C_2}{C_1} \Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = a^2$

★ مدل ترانسفورماتور واقعی :





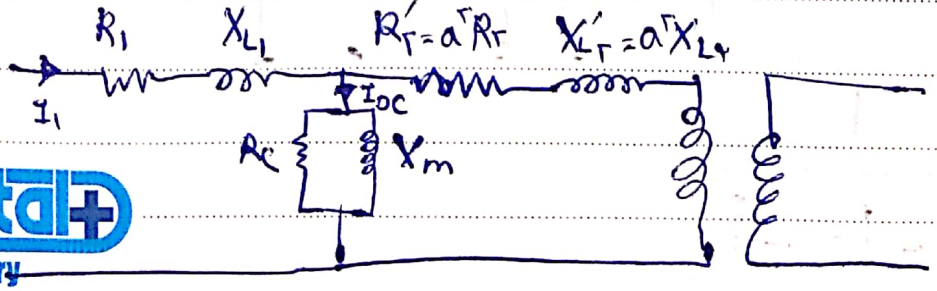
R_1 : مقاومت سیم پیچ اولیه R_2 : مقاومت سیم پیچ ثانویه

R_c : مقاومت تلفات هسته (فولاد + چیزرسن) X_m : راکتانس مغناطیس کننده

X_{L1} : راکتانس پرتی طرف اولیه X_{L2} : راکتانس پرتی طرف ثانویه

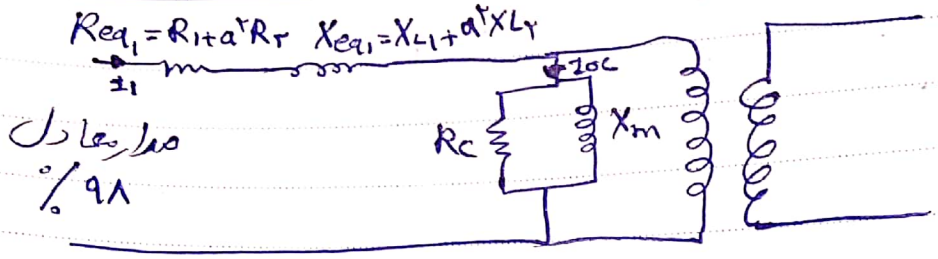
I_{oc} : جریان بی باری (مدار باز) I_m : جریان مغناطیس کننده

I_w : مولفه کار گر جریان بی باری



Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner



$$I_M = I_{oc} \sin \Phi_{oc}$$
$$I_W = I_{oc} \cos \Phi_{oc}$$

(۳۰)

★ مثال: یک ترانسفورماتور تلفات $\frac{1000}{100}$ هوایی در باری $0.5A$ را در ضریب توان ۰/۳ از شبکه دریافت می‌کند. مولفه مغناطیسی جریان ترانسفورماتور چند آمپر است؟

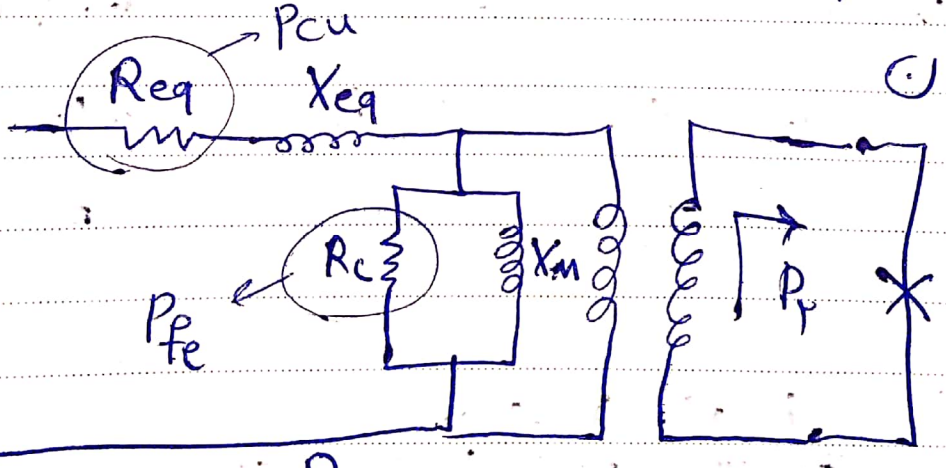
$I_{oc} = 0.5\ A$

$\cos \Phi_{oc} = 0.3$

$\sin \Phi_{oc} = \sqrt{1 - \cos^2 \Phi_{oc}} = \sqrt{1 - (0.3)^2} = 0.95$

$\Rightarrow I_M = I_{oc} \sin \Phi_{oc} = 0.5 \times 0.95 = 0.475\ A$

★ مدار معادل راندمان



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{cu} + P_{fe}}$$

Scanned by CamScanner

Subject :
Year ..... Month ..... Day ..... Page .....

★ ضریب بار: نسبت توان ظاهری مصرف شده به توان ظاهری نامی در لحظه‌ی خاص را ضریب بار می‌گوییم.

$$K = \frac{S}{S_n} = \frac{V \times I}{V \times I_n} = \frac{I}{I_n}$$

↓ ضریب بار

$P = VI\cos\varphi$

$P = V K I_n \cos\varphi$

$P = K V I_n \cos\varphi$

$P = K S_n \cos\varphi$

$P_{cu} = R_{eq} I^2$

$P_{cu} = R_{eq} (KI_n)^2 = K^2 \underbrace{R_{eq} I_n^2}_{P_{cun}}$

$P_{cu} = K^2 P_{cun}$

$$\Rightarrow \eta = \frac{K S_n \cos\varphi}{K S_n \cos\varphi + K^2 P_{cun} + P_{fe}}$$

فرمول اصلی راندمان

★ مثال سوم: (۴۰)

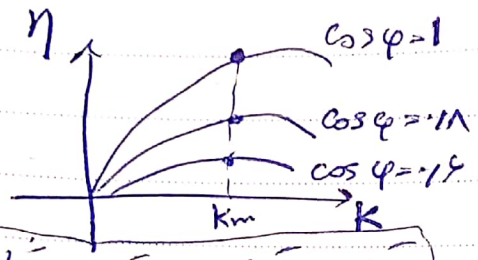
★ مثال: ترانسفورماتوری ۴۰۰ KVA برای بار با ضریب توان ۰/۸ پس فاز و ضریب بار K=۱ متصل شود و تلفات آهنی و مسی آن به ترتیب ۶۰۰ W و ۵۰۰۰ W باشد، راندمان این ترانسفورماتور چقدر خواهد بود؟

$$\eta = \frac{1 \times 400000 \times 0/8}{1 \times 400000 \times 0/8 + 5000 + 1 \times 6000} = 96/6\%$$

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

★ راندمان ماکزیمم : شرط راندمان ماکزیمم یک (۱) $\cos\varphi=1$ باشد و (۲) $K=K_m=\sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cun}}}$ باشد.



شرط راندمان ماکزیمم در هر ماشین الکتریکی ← (تلفات متغیر = تلفات ثابت)

★ مثال ⑤ : در یک ترانسفورماتور ۵ KVA تلفات آهنی و مسی نامی به ترتیب ۳۰۰ و ۱۲۰۰ وات است. ماکزیمم راندمان و ضریب بار در این حالت چقدر است؟

$K_m=\sqrt{\frac{۳۰۰}{۱۲۰۰}}=\frac{۱}{۲}$ $\quad \eta_{max}=\frac{\frac{۱}{۲}\times ۵۰۰۰\times ۱}{\frac{۱}{۲}\times ۵۰۰۰\times ۳۰۰\times(۰/۵)^۲\times ۱۲۰۰}=۸۰/۶\%$

★ پریونیت : با توجه به اینکه در خطوط انتقال و ترانس ها و وسایل موجود در سیستم قدرت عددها در حد kV و MW می باشند و با جابجایی از طرف اولیه به ثانویه ترانس یا بالعکس مقادیر پارامترهای مدار معادل تغییر می کند به همین دلیل از سیستمی به نام پریونیت استفاده می شود که معمولاً مقادیر بین صفر و یک را به پارامترهای مختلف اختصاص می دهد.

$\alpha_{P.U}=\frac{\text{واقعی}\ \alpha}{\alpha_{Base}}$

$V_{P.U}=\frac{V}{V_B}$ $\quad I_{P.U}=\frac{I}{I_B}$ $\quad S_{P.U}=\frac{S}{S_B}$ $\quad Z_{P.U}=\frac{Z}{Z_B}$

Scanned by CamScanner

مقادیر معلوم V_B , S_B ← $I_B = \frac{S_B}{V_B}$, $Z_B = \frac{V_B^2}{S_B}$

* مثال (۶): یک ترانس $\frac{۲۲۰۰}{۵۵۰}$ V و ۳۳KVA موجود است. اگر $Req_{HV} = ۴,۶\Omega$ و $Xeq_{HV} = ۱۷,۶\Omega$ باشد: الف) مقادیر base و باز، جریان و امپدانس در طرف HV را بیابید. ب) مقادیر base را در طرف LV بیابید. ج) $Req(PU)$ و $Xeq(PU)$ از دید LV و HV را بیابید.

الف) $V_{B_{HV}} = ۲۲۰۰ V$ $\quad I_{B_{HL}} = \frac{۳۳۰۰۰}{۲۲۰۰} = ۱۵ A$

$$Z_{B_{HL}} = \frac{(۲۲۰۰)^2}{۳۳۰۰۰} = ۱۴۶,۷ \Omega$$

ب) $V_{B_{LV}} = ۵۵۰ V$ $\quad I_{B_{LV}} = \frac{۳۳۰۰۰}{۵۵۰} = ۶۰ A$

$$Z_{B_{LV}} = \frac{(۵۵۰)^2}{۳۳۰۰۰} = ۹,۱۶ \Omega$$

ج) $Req_{PU\,HV} = \frac{Req_{HV}}{Z_{b\,HV}} = \frac{۴,۶}{۱۴۶,۷} = ۰,۰۳۱۴$ $\quad Req_{LV} = \frac{Req_{HV}}{a^2} = \frac{۴,۶}{۴^2} = ۰,۲۷۵$

$$Req_{PU\,LV} = \frac{Req_{LV}}{Z_{b\,LV}} = \frac{۰,۲۷۵}{۹,۱۶} = ۰,۰۳۰۱$$

$$Xeq_{PU\,HV} = \frac{Xeq_{HV}}{Z_{B\,HV}} = \frac{۱۷,۶}{۱۴۶,۷} = ۰,۱۲$$

$Xeq_{LV} = \frac{Xeq_{HV}}{a^2} = \frac{۱۷,۶}{۴^2} = ۱,۱$ $\quad Xeq_{PU\,LV} = \frac{Xeq_{LV}}{Z_{B\,LV}} = \frac{۱,۱}{۹,۱۶} = ۰,۱۲$

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

موضوع :
سال ماه روز صفحه ۱۵

★ امپدانس PU در طرف HV و LV با هم برابر است.

★ نکته : برای PU کردن روابط باید S_n ، V_n و I_n را به عدد یک تبدیل شود.

$$\eta_{PU} = \frac{K S_n' \cos\varphi}{K S_n' \cos\varphi + P_{FePU} + K^2 P_{CunPU}}$$

$$P_{CunPU} = R_{eqPU}$$

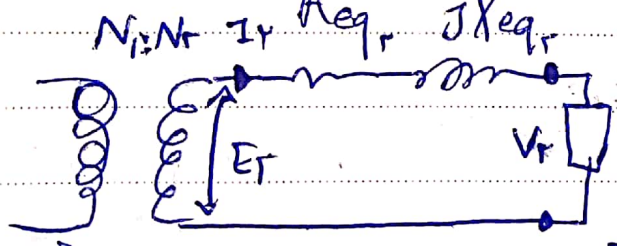
★ حل تمرین چهارم :

★ مثال (۷) : ترانسفورماتور تلفات آهن ۰/۲ پریونیت می باشد و مساوی مقاومت معادل PU ۰/۱ است. این ترانس در ضریب توان ۰/۸ پس فاز و ضریب بار ۰/۵ چه راندمانی دارد؟

$$\begin{cases} P_{FePU} = 0.2 \\ R_{eqPU} = 0.1 \\ \cos\varphi = 0.8 \\ K = 0.5 \end{cases}$$

$$\eta = \frac{K\cos\varphi}{K\cos\varphi + P_{FePU} + K^2 R_{eqPU}} = \frac{0.5 \times 0.8}{0.5 \times 0.8 + 0.2 + (0.5)^2 \times 0.1} = \frac{0.4}{0.4 + 0.2 + 0.025} = 0.64 \Rightarrow 64\%$$

★ افت ولتاژ و رگولاسیون : در محاسبه افت ولتاژ در ترانس ها از شاخه سازی مدار معادل صرف نظر می شود.



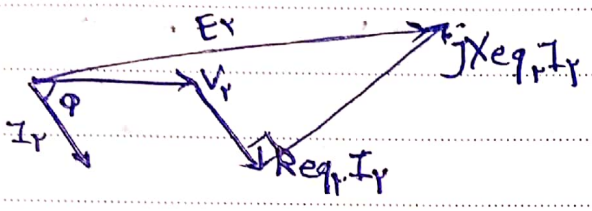
$$\vec{E_2} = R_{eq_2}\vec{I_2} + jX_{eq_2}\vec{I_2} + \vec{V_2}$$

Scanned by CamScanner

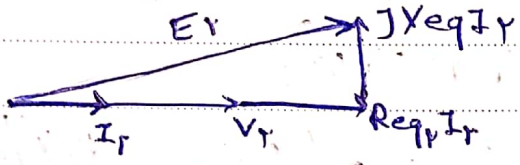
$$\vec{E_2} - \vec{V_2} = Req_2 \vec{I_2} + j Xeq_2 \vec{I_2}$$

ΔV_2 افت ولتاژ ثانویه

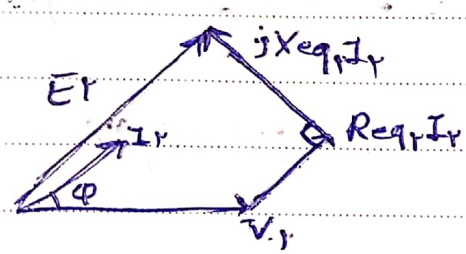
★ بردارهای افت ولتاژ



$E_2 > V_2$ سفاز



$E_2 > V_2$ هفاز



$E_2 > V_2$

$E_2 = V_2$

$E_2 < V_2$ مشفاز

↓

شفی هم مقداری فازی دارد ولی هیچ یک فاز تر نباشد.

E_2 کوچکتر از V_2 می شود.

★ فرمول اساسی افت ولتاژ:

$$E_2 - V_2 = \Delta V = Req_2 I_2 \cos\varphi \pm Xeq_2 I_2 \sin\varphi$$

پس فاز ↙ ↘ پیش فاز

★ رگولاسیون:

$$V.R = \frac{\Delta V}{V_{2n}} = \frac{|E_2 - V_2|}{V_{2n}}$$

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

★ رگولاسیون پریونیت : $VR = K(R_{eq(PU)}\cos\varphi \pm X_{eq(PU)}\sin\varphi)$

★ مثال (۸) : یک ترانس تکفاز $\frac{۳۳۰۰}{۲۳۰}$ V دارای مقاومت معادل ۰/۰۱۵ PU و راکتانس سنکرون معادل ۰/۰۴ PU می‌باشد. اگر ولتاژ اولیه ۳۳۰۰ V الف) در صد تنظیم ولتاژ در بار کامل چقدر است؟ ب) ولتاژ ترمینال در بار کامل چقدر است؟ (ضریب توان بار ۰/۸ پس فاز است)

الف) $VR = K(R_{eq(PU)}\cos\varphi + X_{eq(PU)}\sin\varphi)$

$VR = (۰/۰۱۵ \times ۰/۸ + ۰/۰۴ \times ۰/۶) = ۰/۰۳۶ \rightarrow ۳/۶٪$

ب) $VR = \frac{\Delta V}{V_{۲n}} \Rightarrow ۰/۰۳۶ = \frac{\Delta V}{۲۳۰} \Rightarrow \Delta V = ۸/۲۸$

$V_۲ = ۲۳۰ - ۸/۲۸ = ۲۲۱/۷۲$

★ شرایط ولتاژ رگولاسیون ماکزیمم، مینیمم و صفر :

(۱) شرط VR_{max} : در بار سلفی با $\cos\varphi$ ریز ولتاژ رگولاسیون ماکزیمم است :

$\cos\varphi = \frac{R_{eq}}{Z_{eq}}$ → پس فاز ، $VR_{max} = Z_{eq(PU)}$

(۲) شرط $VR = ۰$: در بار خازنی با $\cos\varphi$ ریز ولتاژ رگولاسیون صفر است :

$\cos\varphi = \frac{X_{eq}}{Z_{eq}}$ → پیش فاز ، $VR = ۰$

Scanned by CamScanner

Subject :
Year Month Day Page

۴) شرط VRmin : در بار خازنی خالص VRmin اتفاق می‌افتد

$\cos\varphi = 0$ → خازنی خالص $VR_{min} = -X_{eq(PU)}$

۹) ★ مثال : در یک ترانسفورماتور با امپدانس $Z = 0.02 + j0.04$ PU الف) در چه باری رگولاسیون ماکزیمم اتفاق می‌افتد و مقدار آن چقدر است؟ ب) در چه باری رگولاسیون صفر اتفاق می‌افتد؟ ج) در چه باری رگولاسیون مینیمم اتفاق می‌افتد و مقدار آن چقدر است؟

الف) $\cos\varphi = \frac{R_{eq}}{Z_{eq}} = \frac{0.03}{0.05} = \frac{3}{5} = 0.6$ پس‌فاز است چون سلفی است

$VR_{max} = Z_{eq(PU)} = 0.05 = 5\%$

ب) $\cos\varphi = \frac{X_{eq}}{Z_{eq}} = \frac{0.04}{0.05} = \frac{4}{5} = 0.8$ پیش‌فاز است چون خازنی است

ج) $VR_{min} = -X_{eq(PU)} = -0.04$

$-0.04 < VR < 0.05$

ولتاژ خروجی زیاد — ولتاژ خروجی کم

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

(۱۰)

★ مثال: در یک ترانسفورماتور جداکثر تنظیم ولتاژ ۵ درصد در ضریب توان ۰/۸ اتفاق می‌افتد. در بار کامل و ضریب توان ۰/۸ پس فاز افت ولتاژ چند درصد است؟

$VR_{max} = 0.05 = Z_{eq\,pu}$ $\quad \cos\varphi = \frac{R_{eq\,pu}}{Z_{eq\,pu}} \Rightarrow 0.8 = \frac{R_{eq\,pu}}{0.05}$

$\rightarrow R_{eq\,pu} = 0.04$ $\quad X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} = \sqrt{0.05^2 - 0.04^2} = 0.03$

$\%V.R = K(R_{eq\,pu}\cos\varphi + X_{eq\,pu}\sin\varphi)$

$= 1(0.04 \times 0.8 + 0.03 \times 0.6) = 0.05 \rightarrow \%5$

★ موازی سازی ترانسفورماتورها: دلایل اصلی موازی سازی ترانسفورماتورها زیاد کردن قدرت خروجی، حمل و نقل آسانتر و ایجاد تراش رزرو می باشد.

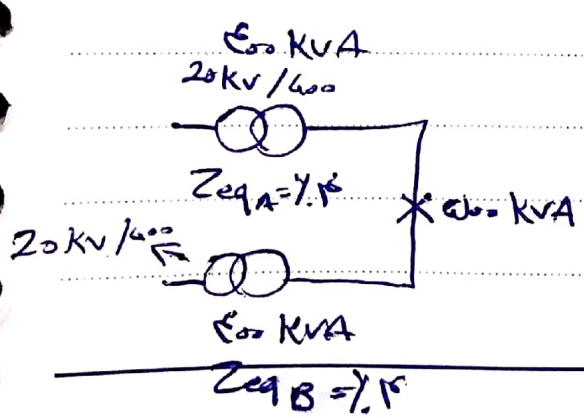
★ شرایط موازی سازی:

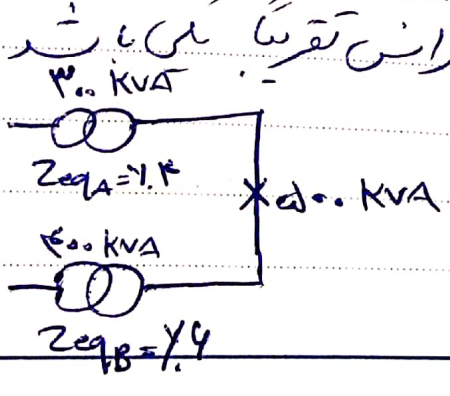
۱) در ترانس های تکفاز باید بلاریته رعایت شود و در ترانس های سه فاز باید گروه برداری یکی باشد.

۲) ولتاژهای اولیه و ثانویه دو ترانس یکی باشد.

۳) امپدانس پریونیت دو ترانس تقریباً یکی باشد.

۴) توان دو ترانس تقریباً یکی باشد.





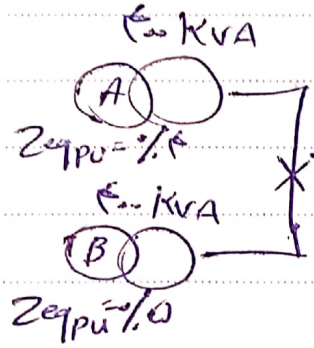
Scanned by CamScanner

★ برای محاسبه سهم هر ترانس موازی از دو فرمول زیر بصورت همزمان استفاده می‌نماییم :

$$\frac{S_A}{S_B} = \frac{S_{nA}}{S_{nB}} \times \frac{Z_{eqB\,PU}}{Z_{eqA\,PU}}$$

$$S_A + S_B = S_L$$

★ مثال (11) : دو ترانس با توان‌های ۴۰۰ KVA و ولتاژهای اتصال کوتاه ۴٪ و ۵٪ در حد نصوص موازی با ۶۰۰ KVA را تغذیه می‌کنند. سهم ترانس با ولتاژ اتصال کوتاه ۵٪ در حد چقدر است ؟



$$\frac{S_A}{S_B} = \frac{۴۰۰}{۴۰۰} \times \frac{٪۵}{٪۴}$$

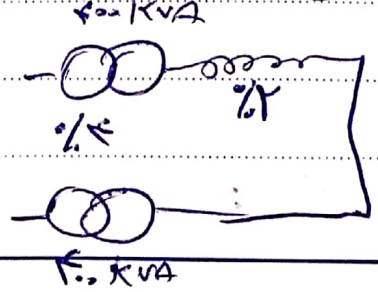
$$\Rightarrow S_A = \frac{۵}{۴} S_B$$

$$S_A + S_B = ۶۰۰ \Rightarrow \frac{۵}{۴} S_B + S_B = ۶۰۰$$

$$\frac{۹}{۴} S_B = ۶۰۰ \Rightarrow S_B = ۲۶۶,۶ \text{ KVA}$$

$$S_A = ۶۰۰ - ۲۶۶,۶ = ۳۳۳,۳ \text{ KVA}$$

★ نکته : در موازی سازی ترانس ، ترانسی که دارای امپدانس پریونیت کوچکتری است ، زودتر دچار اضافه بار می‌شود . در این حالت باید با سری کردن یک امپدانس با ترانس مذکور این عیب را برطرف کنیم .

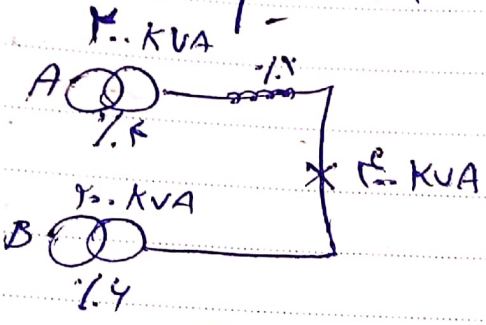


Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

۱۲

★ مثال : دو ترانسفورماتور ۲۰۰ KVA با امپدانس های ۴ و ۶ درصد موازی شده اند و بار ۴۰۰ KVA را تغذیه می کنند - الف) سهم هر ترانس را بیابید
ب) اگر ولتاژ ثانویه ترانس ۲۴۰۰ V باشد چند آمپر از کلید سلف باکلیِ ترانس ها سری شیم تا دما را ضافه بار نشویم؟



الف) $\frac{S_A}{S_B} = \frac{۲۰۰}{۳۰۰} \times \frac{۰/۰۶}{۰/۰۴}$

$S_A = \frac{۳}{۲} S_B$

$S_A + S_B = ۴۰۰ \Rightarrow \frac{۳}{۲} S_B + S_B = ۴۰۰ \Rightarrow \frac{۵}{۲} S_B = ۴۰۰$

$\Rightarrow S_B = ۱۶۰ \text{ KVA}$ $\quad S_A = ۴۰۰ - ۱۶۰ = ۲۴۰ \text{ KVA}$

سهم

ب) $Z_{Base} = \frac{V_B^۲}{S_B} = \frac{۴۰۰^۲}{۲۰۰۰۰۰} = ۰/۸ \Omega$

$Z_{PU} = \frac{Z_{واقعی}}{Z_B} \Rightarrow Z_{واقعی} = ۰/۰۲ \times ۰/۸ = ۰/۰۱۶ \Omega$

۱۳

★ مثال : دو ترانس تلفاز با قدرت شاپ و دارای نسبت تبدیل شاپ، موازی با یکدیگر باری را تغذیه می کنند. اگر امپدانس اتصال کوتاه ترانس A برحسب Ω $Z_{eq_A} = ۱۰ + j۲۰$ و امپدانس ترانس B به صورت $Z_{eq_B} = ۴ + j۸$ باشد سلف مورد نیاز برای اینکه تقسیم بار یکسان بین دو ترانس داشته باشیم چند آمپر است؟

Scanned by CamScanner

Subject :
Year Month Day Page

$Z_{eq_A} = 10 + j20$

$Z_{eq_B} = 4 + j8$

$jX = j14$

$|Z_{eq_A}| = |Z_{eq_B}|$

$\sqrt{10^2 + 20^2} = \sqrt{4^2 + (8+X)^2}$

$100 + 400 = 16 + (8+X)^2$

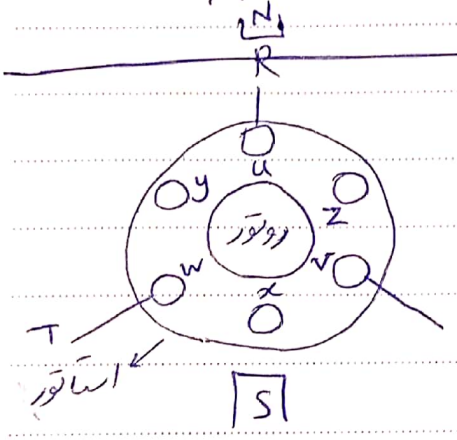
$484 = (8+X)^2 \Rightarrow 8+X = \sqrt{484} = 22$

$\Rightarrow X = 22 - 8 = 14\,\Omega$

فصل دوم

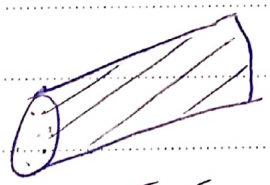
★ ماشین های القایی : سه فاز دارند. ۱۲۰° اختلاف فاز دارند.

تک فاز ۱۲۰° اختلاف فاز دارند.

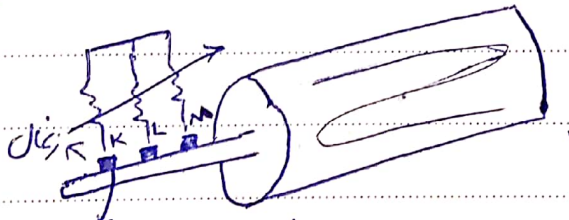


★ روتورهای القایی دو نوع روتور وجود دارد.

روتورهای کم از روتور قفسی و در توانهای بالا از روتور سیم پیچی شده استفاده می شود.



روتور قفس سنجابی (تزریق آلومینیوم یا روش داکاست)

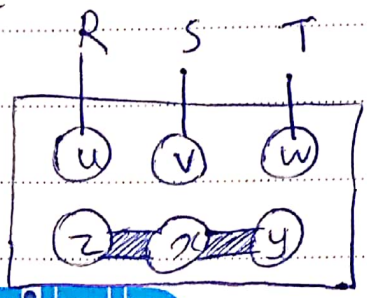


روتور سیم پیچی شده

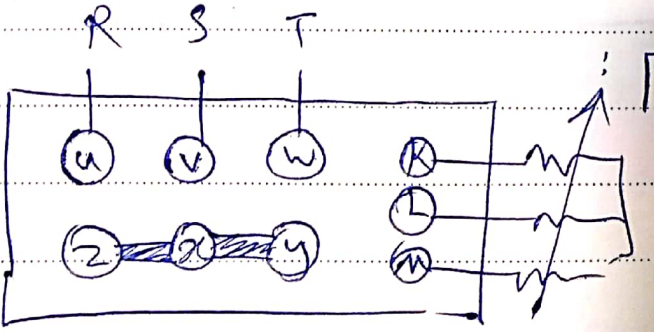
اول کار ← مقاومت زیاد ← شتاب راه اندازی زیاد

بعد ← مقاومت کم ← تلفات کم

★ نحوه کار :



روتور قفسی



روتور سیم پیچی

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

★ سرعت سنکرون :

$$RPM \leftarrow n_s = \frac{120 f}{P} \qquad \frac{rad}{s} \leftarrow \omega_s = \frac{2\pi n_s}{60} \rightarrow RPM = 2\pi n_s \rightarrow RPS$$

$$RPS\ (Hz) \leftarrow n_s = \frac{2f}{P}$$

★ لغزش :

$$\text{لغزش } S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \qquad \%S = S \times 100$$

$$\Delta n = n_s - n_r$$

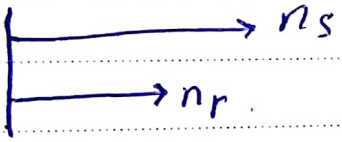
↓

سرعت لغزش

در لحظه راه اندازی : $n_r = 0 \rightarrow S = \frac{n_s - 0}{n_s} = 1$

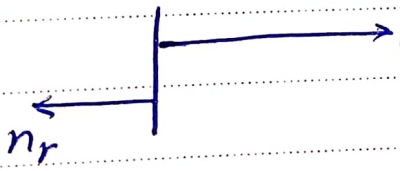
در حالت کار دائمی بدون بار : $n_r \rightarrow n_s \Rightarrow S = \frac{n_s - n_s}{n_s} \rightarrow 0$

★ حالت کار موتوری :



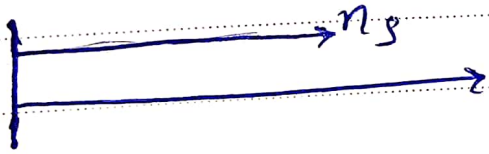
$0 < S \leq 1$

★ حالت کار ترمزی :



$S > 1$

★ حالت ژنراتوری :



$S < 0$

↓

توان الکتریکی تولید می‌شود ولی توان مکانیکی مصرف می‌کند (خلاف قاعده ژنراتور)

Scanned by CamScanner

Subject : Year Month Day Page

* نکات : در لحظه‌ی تعویض جای دو فاز سریعاً جهت میدان مغناطیسی عوض می‌شود ولی به دلیل اینرسی، بعد از مدت کوتاهی جهت چرخش روتور عوض می‌شود. در این حالت موتور وارد حالت ترمزی خواهد شد و لغزش آن نسبت به حالت قبلی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S_{\text{جدید}} = 2 - S_{\text{قدیم}}$$

۲) در لحظه تعویض تعداد قطب‌ها در موتورهای چندسرعته، سرعت سنکرون یا به عبارتی سرعت میدان را تغییر می‌کند اما سرعت روتور به دلیل اینرسی مدت کوتاهی در حالت قبلی می‌ماند در این حالت لغزش از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \frac{n_{s\,\text{جدید}} - n_{r\,\text{قدیم}}}{n_{s\,\text{جدید}}}$$

۳) چنانچه یک موتور القایی با روتور سیم‌پیچی شده را به منبع تغذیه و سیم‌پیچ‌های استاتور را اتصال کوتاه کنیم، موتور با تغذیه معکوس ساخته می‌شود. در این حالت به دلیل جابجایی لتز موتور برعکس میدان دوار خواهد چرخید و لغزش آن از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \frac{n_s + n_r}{n_s}$$

۴) موتور با تغذیه دوگانه: در این موتورها استاتور به ولتاژی با فرکانس f_s و روتور به ولتاژی با فرکانس f_r متصل می‌شود. در این حالت سرعت گردش روتور از رابطه زیر پیدا می‌شود:

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

موضوع :
سال ماه روز صفحه

مثبت برای توالی فاز یکسان

$$n_r = \frac{120\,(f_s \pm f_r)}{P}$$

علامت منفی برای توالی فاز متفاوت

۵) فرکانس جریان القایی در روتور از رابطه‌ی $f_r = sf$ بدست می‌آید.

۶) ولتاژ القایی روی هر فاز روتور از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$E_r = S\,E_2$$

E_r: ولتاژ در حال گردش — E_2: ولتاژ در حال سکون

حل ۹۸،۹،۳

(۱۴)

★ مثال: یک موتور القایی ۲ قطب توسط یک ژنراتور سنکرون ۶۰ Hz چهار قطب که با سرعت ۱۸۰۰ rpm می‌چرخد تغذیه می‌شود. اگر سرعت موتور القایی ۱۱۴۰ rpm باشد فرکانس جریان روتور چقدر است؟

$$n_s = \frac{120 \times 60}{6} = 1200$$

$$S = \frac{1200 - 1140}{1200} = 0.05$$

فرکانس جریان روتور $= S \times f = 0.05 \times 60 = 3\,Hz$

★ نکته مثال: سرعت ژنراتور تأثیری در مثال (موتور القایی) ندارد و فقط فرکانس تولیدی آن به عنوان فرکانس استاتور محاسبه می‌شود.

Scanned by CamScanner

(۱۵) * مثال: یک موتور القایی چهار قطب با روتور سیم پیچی شده فرض است. ولتاژ دو سر هر فاز روتور در حالت سکون برابر ۹۰ V است. اگر روتور در جهت عکس میدان دوار با سرعت ۷۲۰ rpm حرکت شود ولتاژ القا شده در هر فاز روتور در این حالت چند ولت است؟ (فرکانس ۶۰ Hz می باشد)

$$S = \frac{n_s + n_r}{n_s} \Rightarrow S = \frac{1800 + 720}{1800} = 1.4 > 0 \rightarrow \text{حالت ترمزی}$$

$$n_s = \frac{120 \times 60}{4} = 1800 \text{ RPM}$$

$$E_r = S E_r \Rightarrow E_r = 1.4 \times 90 = 126 \text{ V}$$

$$f_r = 1.4 \times 60 = 84 \text{ Hz}$$

(۱۶) * مثال: استاتور یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده و ۸ قطب به یک منبع ۵۰ Hz و روتور آن به یک منبع ۷۵ Hz متصل شده است. سرعت بی باری روتور ~~چقدر می شود~~ اگر توالی فازها یکی باشد چقدر خواهد بود؟

$$n_r = \frac{120 (f_s + f_r)}{P} = \frac{120 (50 + 75)}{8} = 1875 \text{ RPM}$$

توالی فازها یکسان

(۱۷) * مثال: در یک موتور القایی سه فاز ۶ قطب ۵۰ هرتز فرکانس روتور در بار نامی ۲ Hz می باشد. الف) سرعت در بار نامی ب) سرعت در نصف بار نامی.

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

$f_r = S \times f \rightarrow ۲ = S \times ۵۰ \Rightarrow S = ۰/۰۴$

الف)
$n_r = n_s(1-S) \rightarrow n_r = ۱۰۰۰(1-۰/۰۴) = ۹۶۰ \text{ RPM}$

$n_s = \frac{۱۲۰ \times ۵۰}{۶} = ۱۰۰۰ \text{ RPM}$

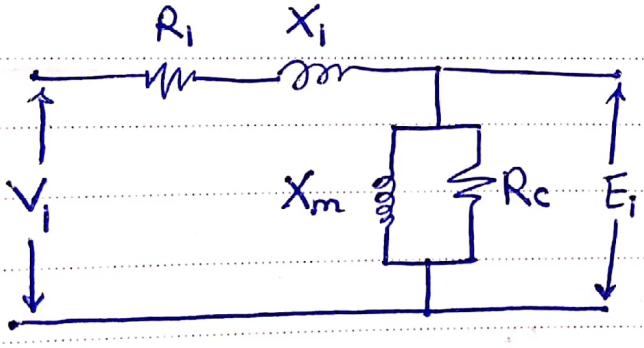
ب) نکته : اگر موتور القایی را خطی فرض کنیم می‌توان گفت اگر بار با نسبتی کاهش یابد، لغزش نیز به همان نسبت کاهش می‌یابد.

$S_{\text{نصف بار نامی}} = ۰/۵ \times S_{\text{بار نامی}} \Rightarrow S_{\text{نصف بار نامی}} = ۰/۵ \times ۰/۰۴ = ۰/۰۲$

$n_r = n_s(1-S_{\text{نصف بار}}) \Rightarrow n_r = ۱۰۰۰(1-۰/۰۲) = ۹۸۰ \text{ RPM}$

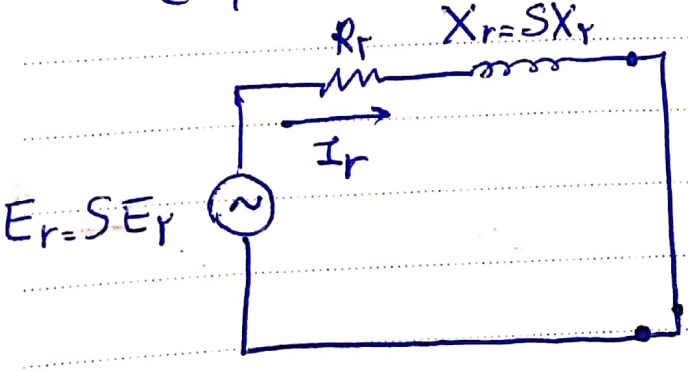
★ مدار معادل موتور القایی :

۱) مدار معادل استاتور :



R_1 : مقاومت سیم پیچ استاتور
X_1 : راکتانس نشتی استاتور
X_m : راکتانس مغناطیس کننده
R_c : مقاومت تلفات هسته استاتور
V_1 : ولتاژ داده شده به استاتور
E_1 : ولتاژ القا شده روی سیم پیچ استاتور

۲) مدار معادل روتور :



R_2 : مقاومت روتور
X_2 : راکتانس نشتی حالت سکون
X_r : راکتانس نشتی حالت حرکت

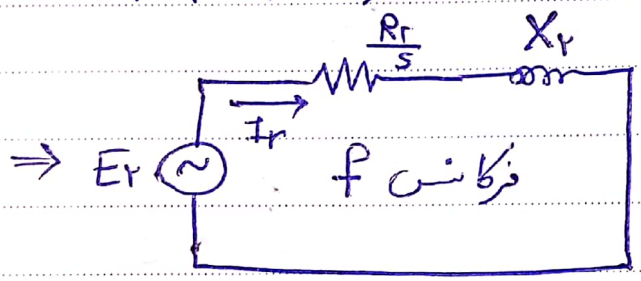
Scanned by CamScanner

Subject :
Year Month Day Page

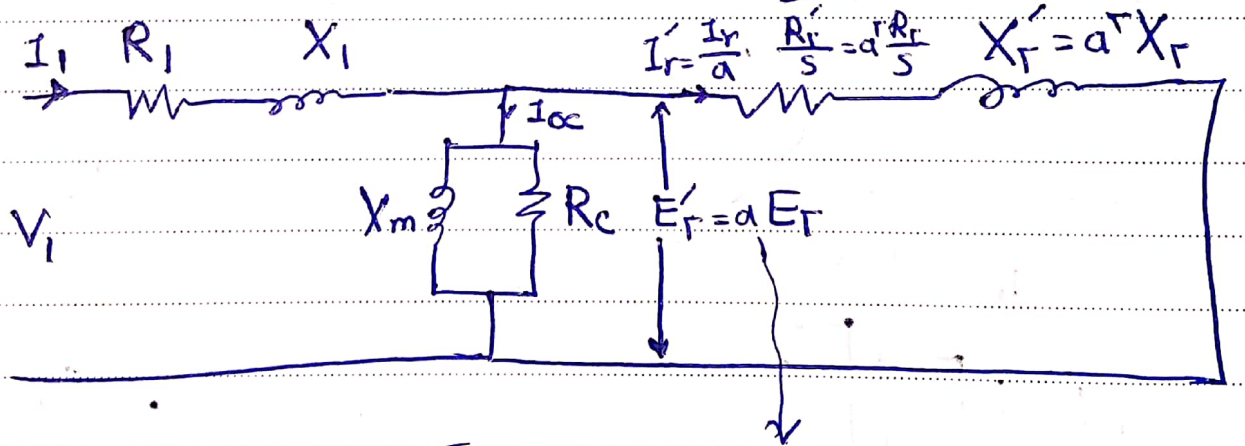
E_2 : ولتاژ حالت سکون
I_2 : جریان حالت حرکت روتور
E_2 : ولتاژ حالت حرکت

★ نکته : فرکانس جریان روتور sf است پس می‌توان مدار معادل روتور را به مدار معادل استاتور حساب کرد اما با توجه به فرمول‌های زیر می‌توان مدار معادل جدیدی برای روتور در نظر گرفت که فرکانس آن f می‌باشد :

$$I_2 = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \xrightarrow[\frac{1}{s} \text{ در صورت و مخرج ضرب}]{} I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_2^2}}$$



★ مدار معادل کلی موتور القایی :



نسبت تبدیل استاتور به روتور

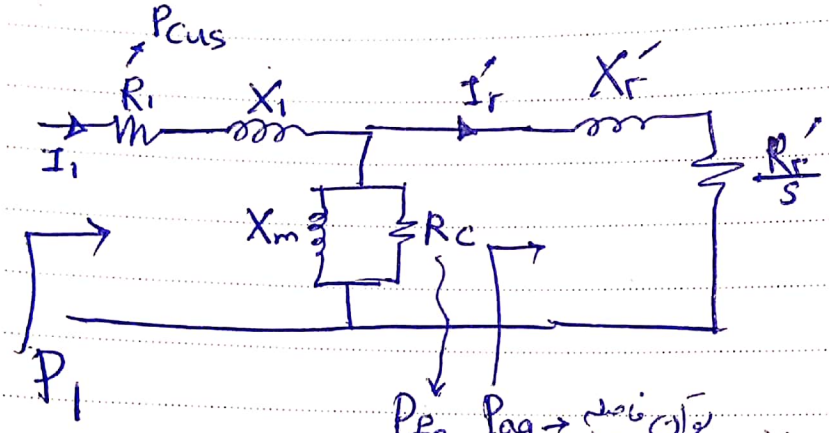
★ نکته : به دلیل وجود فاصله هوایی و کوپل مغناطیسی کمتر نسبت به ترانسفورماتور X_m نسبت به ترانس مقدار کوچکتری است در نتیجه جریان

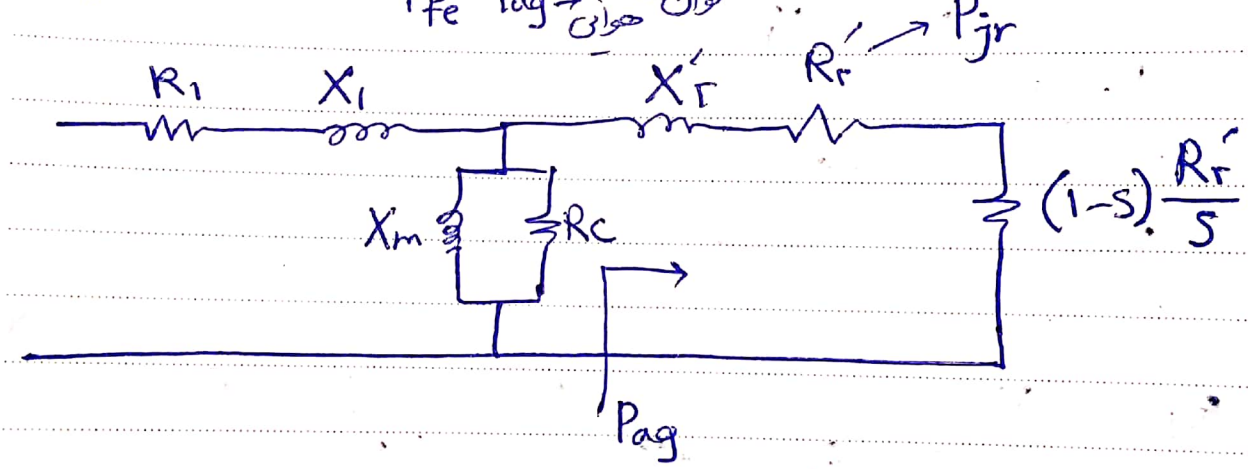
Capital Stationery since1976

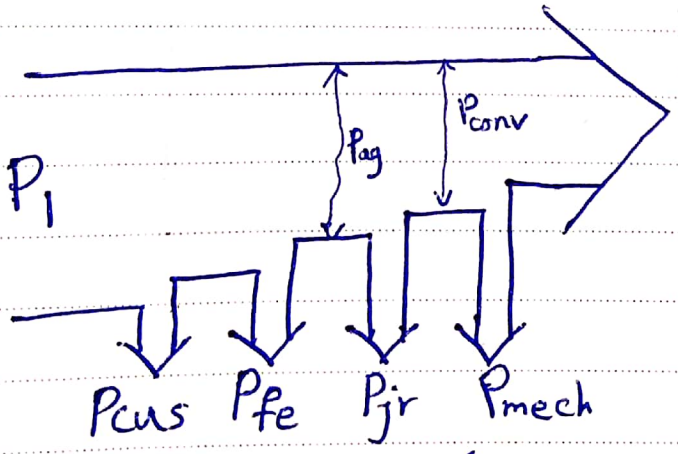
Scanned by CamScanner

عمیقی از شاخه موازی ($I_{o.c}$) مقدار بزرگتری است (بین ۲۰ تا ۴۰ درصد جریان نامی) در نتیجه نمی‌توان شاخه موازی را حذف نمود و یا از این شاخه صرف نظر کرد.

★ نمودار توازن توان:







Pmech : تلفات مکانیکی (تلفات تحویم و اصطکاک)

Pag : توان فاصله هوایی

Pconv : توان تبدیل شده

★ نکته (۱) : توان نوشته شده روی هر موتور، توان الکتریکی ورودی است.

★ نکته (۲) : تلفات مسی روتور و مسی استاتور از روابط

Scanned by CamScanner

$$P_{cus} = 3 R_1 I_1^2$$

$$P_{jr} = 3 R_2' I_2'^2$$

نیز بدست می آیند:

* نکته (۳): معمولاً برای یافتن P_{jr} از رابطه زیر نیز استفاده می شود:

$$P_{jr} = S P_{ag}$$

* نکته (۴): توان تبدیل یافته (P_{conv}) از رابطه زیر معمولاً بدست می آید:

$$P_{conv} = (1-S) P_{ag}$$

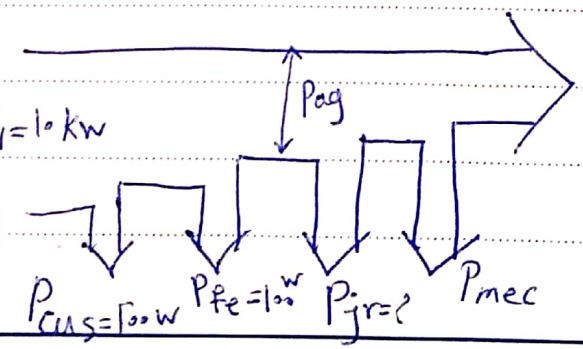
* نکته (۵): معمولاً مجموع تلفات مکانیکی و تلفات آهنی در موتور القایی، تلفات چرخشی یا تلفات ثابت گفته می شود.

$$P_{rot} = P_{fe} + P_{mech}$$

حل سه ۱۰، ۹، ۹۸

(۱۸)

* مثال: یک موتور القایی سه فاز ۶ قطب با اتصال ستاره، توان ورودی ۱۰ kw از یک سیستم با فرکانس ۵۰ Hz دریافت می کند و با سرعت ۹۵۰ rpm می چرخد. در صورتیکه تلفات مسی استاتور ۲۰۰ w و تلفات هسته ۱۰۰ w باشد، تلفات مسی روتور چند وات خواهد بود؟



Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

$P_{jr} = sP_{ag}$ $\quad P_{ag} = P_1 - P_{cus} - P_{fe} = 10000 - 500 - 100 = 9400\ W$

$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05$ $\quad n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1000\ rpm$

$\Rightarrow P_{jr} = 0.05 \times 9400 = 470\ W$

(19)

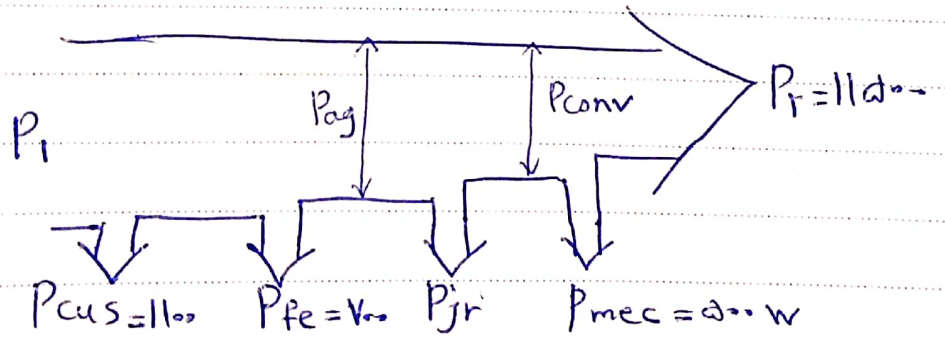
* مثال : یک موتور القایی ۳ فاز 11400 W با مجموع تلفات اصطکاکی و گردشی 500 W و ۴ قطب مفروض است. این موتور در فرکانس 50 Hz در سرعت 2900 rpm می چرخد.

الف) تلفات لزلی روتور چند وات است؟

ب) اگر تلفات آهن و مسی استاتور به ترتیب 400 و 1100 وات باشد، توان انتقالی از فاصله هوایی چقدر است؟

ج) تلفات چرخشی این موتور چند وات می باشد؟

$P_T = 11400$ $\quad P_{mec} = 500\ W$ $\quad P = 2$ $\quad f = 50\ Hz$ $\quad n_r = 2900\ rpm$



الف)

$P_{conv} = P_T + P_{mec} = 11400 + 500 = 11900$

$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{3000 - 2900}{3000} = \frac{1}{30} \approx 0.033$

$P_{conv} = (1-s) P_{ag} \Rightarrow P_{ag} = \frac{11900}{0.967} = 12309.51\ W$

Scanned by CamScanner

$P_{jr} = SP_{ag} \Rightarrow 0/022 \times 12409/01 = 269/01\ W$

ب) $P_1 = P_{ag} + P_{fe} + P_{cus} = 12409/01 + 700 + 1100 = 14209/01$

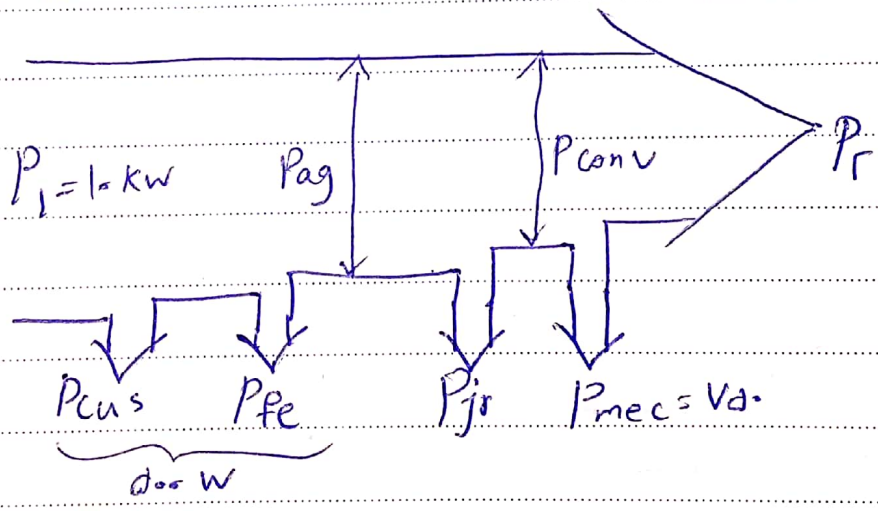
$\eta = \frac{P_r}{P_1} = \frac{11000}{14209/01} = 80/94\ \%$

ج) $P_{rot} = 500 + 700 = 1200\ W$ تلفات ثابت یا چرخشی

(۲۰) ★ مثال: یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب ۵۰ Hz در سرعت ۱۴۴۰ rpm توان ۱۰ kW از شبکه دریافت می‌کند و باری را می‌چرخاند. در این حالت تلفات استاتور ۵۰۰ W و تلفات مکانیکی ۷۵۰ W است. راندمان ماشین چقدر است؟

$P = 4 \quad f = 50\ Hz \quad n_r = 1440\ rpm \quad P_1 = 10\ kW$

$P_{cus} + P_{fe} = 500\ W \quad P_{mec} = 750\ W \quad \eta = ?$



$P_{ag} = P_1 - P_{cus} - P_{fe} = 10000 - 500 = 9500\ W$

$P_{jr} = SP_{ag} \rightarrow P_{jr} = 0/04 \times 9500 = 380\ W$

$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0/04$

Capital Stationery since1976

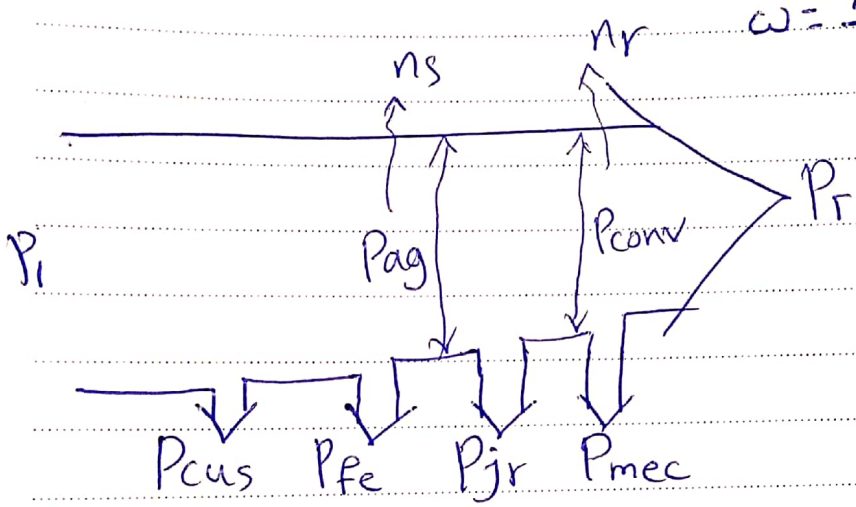
Scanned by CamScanner

$$P_2 = P_{ag} - P_{jr} - P_{mec} = 9500 - 380 - 750 = 8370\ W$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{8370}{10000} = 83.7\ \%$$

~~گشتاور در موتورهای القایی~~ : به طور کلی رابطه $T = \frac{P}{\omega}$ بین گشتاور و توان وجود دارد که در این رابطه ω سرعت زاویه‌ای برحسب $\frac{Rad}{s}$ می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

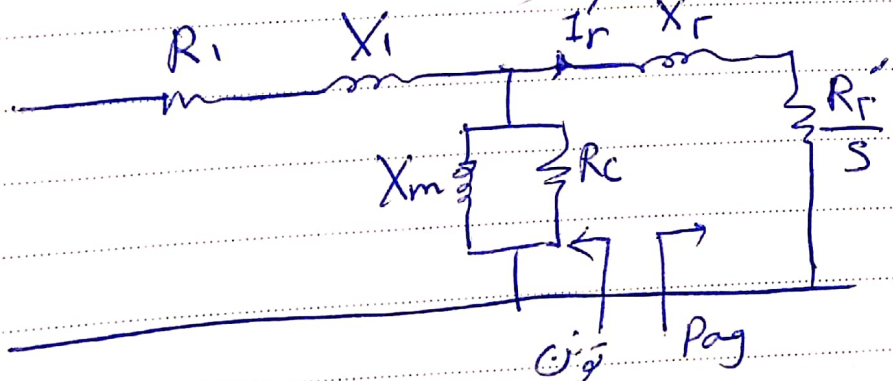
$$\omega = \frac{2\pi n \rightarrow RPM}{60}$$



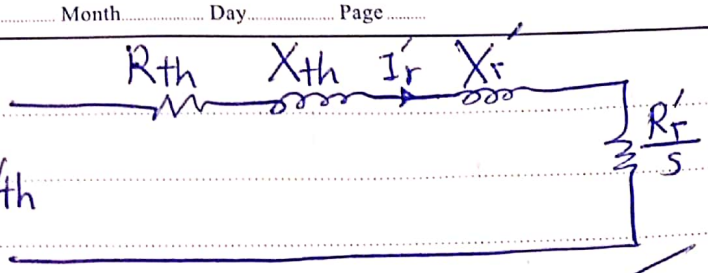
$$n_r = n_s(1-s)$$
$$\omega_r = \omega_s(1-s)$$

$$T_{ag} = \frac{P_{ag}}{\omega_s} \Rightarrow T_{ag} = T_{conv}$$

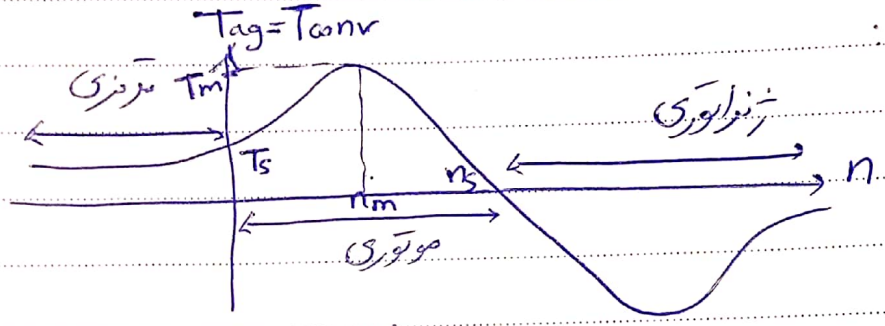
$$T_{conv} = \frac{P_{conv}}{\omega_r} = \frac{P_{ag}(1-s)}{\omega_s(1-s)} = \frac{P_{ag}}{\omega_s}$$



$$P_{ag} = 3\frac{R'_r}{s}(I'_r)^2 = 3\frac{R'_r}{s}\left(\frac{V_{th}}{Z_b}\right)^2$$



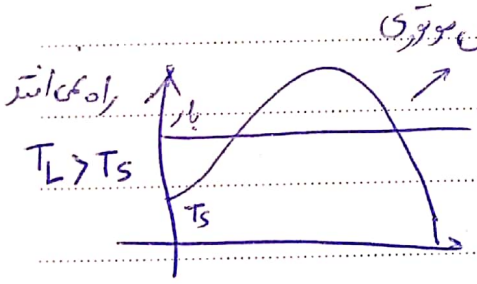
* نکته: با تغییر سرعت، S و Z تغییر می‌کند و می‌توان با مقداردهی نمودار گشتاور-سرعت را رسم نمود:

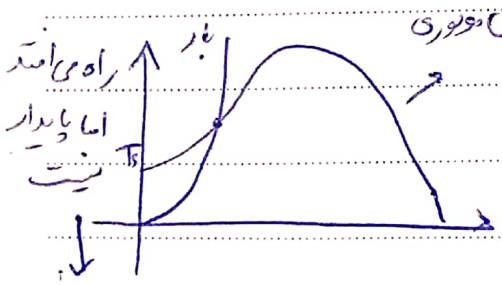


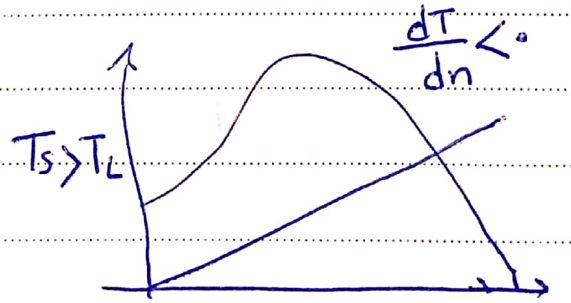
T_m: گشتاور ماکزیمم n_m: سرعت در گشتاور ماکزیمم

T_s: گشتاور راه‌اندازی (استارت)

* شرط راه‌اندازی و کار پایدار یک موتور این است که اولاً گشتاور راه‌اندازی موتور از گشتاور بار بیشتر باشد و ثانیاً محل برخورد نمودار گشتاور-سرعت موتور و بار در نقطه‌ای با شیب منفی باشد.







زیرا در بخش مثبت مزار دارد

راه می‌افتد کار پایدار هم دارد

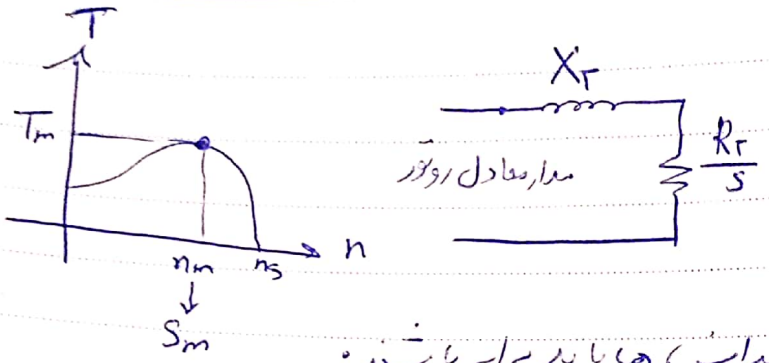
Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

موضوع: جلسه ۹۸/۹/۱۷

سال ... ماه ... روز ... صفحه ۳۰

★ نقش روتور گشتاور ماکزیمم:



برای ماکزیمم شدن توان امپدانس ها باید برابر باشند:

$$\frac{R_r}{S_m} = X_r \Rightarrow S_m = \frac{R_r}{X_r}$$

$$T_{ag} = \frac{3}{\omega_s}\frac{R_r}{S} I_r'^2$$

$$n_m = n_s(1 - S_m)$$

سرعت در گشتاور ماکزیمم

(۲۱)

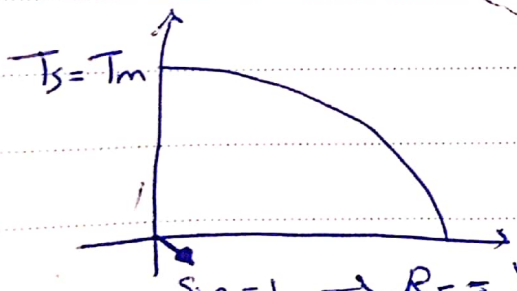
★ مثال: روتور یک موتور القایی سه فاز ۴ قطب ۵۰ هرتز اگر مقاومت و راکتانس حالت سکون روتور به ترتیب ۰/۵ و ۲/۰ اهم در هر فاز باشد در چه لغزشی گشتاور ماکزیمم اتفاق می افتد؟ و سرعت در گشتاور ماکزیمم چقدر است؟

$$S_m = \frac{R_r}{X_r} = \frac{0.5}{2} = 0.25$$

$$n_m = n_s(1 - S_m) \qquad n = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$$

$$n_m = 1500(1 - 0.25) = 1125 \text{ RPM}$$

★ نکته: شرط اینکه گشتاور استارت، ماکزیمم مقدار خود باشد (یعنی در ابتدای کار گشتاور ماکزیمم شود) این است که $S_m = 1$ باشد.



Scanned by CamScanner

Subject : Year Month Day Page

(۲۲) ★ مثال: در یک موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده، مقاومت و راکتانس حالت سکون به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۲ اهم برفاز است. مقاومتی که در مدار روتور باید قرار داده شود تا گشتاور راه اندازی حداکثر شود چقدر است؟

$$R_{ext} = R_r - X_r = 0/2 - 0/05 = 0/15$$

★ نسبت گشتاورها در موتورهای القایی: بین گشتاور کار و گشتاور استارت و گشتاور کار با گشتاور ماکزیمم روابط زیر برقرار است:

$$\frac{T}{T_s} = \frac{s(s_m^2+1)}{s_m^2+s^2} \qquad \frac{T}{T_m} = \frac{2ss_m}{s_m^2+s^2}$$

s: لغزش در حین کار T: گشتاور کار

★ اگر در رابطه $\frac{T}{T_m}$، s را برابر با 1 قرار دهیم:

$$\frac{T_s}{T_m} = \frac{2s_m}{1+s_m^2}$$

(۲۳) ★ مثال: در یک موتور القایی اسپانس حالت سکون هر فاز روتور بصورت آن سری ~~سری~~ با گشتاور ماکزیمم گشتاورمانی می باشد. از 1+ اهم است گشتاورمانی می باشد.

الف) لغزش نامی موتور چقدر است؟ ب) سرعت نامی موتور چند RPM می باشد؟ (موتور دو قطب در فرکانس 50 Hz است)

$$\frac{T_m}{T} = 3 \Rightarrow \frac{T}{T_m} = \frac{1}{3}$$

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

الف)

$$S_m = \frac{R_r}{X_r} = \frac{1}{1} = 1 \qquad \frac{T}{T_m} = \frac{2S\,S_m}{S_m^2 + S^2} \Rightarrow \frac{1}{3} = \frac{2S}{1+S^2}$$

$$\Rightarrow 6S = 1 + S^2 \Rightarrow \begin{matrix} S_1 = 0/172 \checkmark \\ S_2 = 5/8 \times \end{matrix}$$

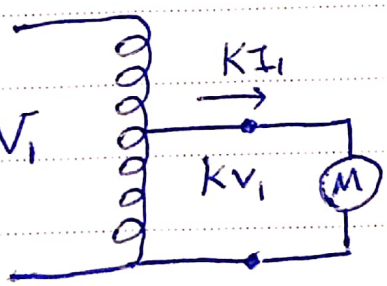
ب) $n_r = n_s(1 - S_2) \Rightarrow n_r = 3000(1 - 0/172) = 2484$

★ انواع روش های راه اندازی: چون در هنگام راه اندازی لغزش برابر با یک می باشد، طبق مدار معادل موتور القایی، $\left(\frac{R_r}{S}\right)$ مقدار کوچکی است پس جریان راه اندازی زیادی می باشد (بین ۵ تا ۷ برابر جریان نامی) در نتیجه این جریان باید کاهش یابد وگرنه باعث آسیب به سیم پیچ ها و تجهیزات حفاظتی خواهد شد.

★ روش اول (راه اندازی مستقیم): در این روش بدون هیچ تجهیزاتی فقط به وسیله یک کنتاکتور موتور را به ولتاژ نامی متصل می نماییم. در این حالت بین گشتاور راه اندازی و گشتاور نامی از رابطه ی زیر پیدا می شود:

$$\frac{T_s}{T_n} = \left(\frac{I_{st}}{I_n}\right)^2 \times S_n \xrightarrow{\text{لغزش}}$$

★ روش دوم: در این روش از یک اتوترانسفورماتور استفاده می شود که باعث کاهش ولتاژ ورودی به موتور می گردد در نتیجه جریان کشیده شده توسط موتور نیز کاهش می یابد.



$$\frac{T_s}{T_n} = K^2\left(\frac{I_{sc}}{I_n}\right)^2 \times S_n \xrightarrow{\text{لغزش}}$$

I_{sc}: جریان راه اندازی اتصال کوتاه

Scanned by CamScanner

(۲۴)

★ مثال: برای راه اندازی یک موتور القایی از یک اتوترانس استفاده می‌شود تا موتور با ۳۶٪ گشتاور بار کامل راه‌اندازی شود. جریان در حالت قفل روتور (اتصال کوتاه) ۵ برابر جریان بار کامل و لغزش در بار کامل ۰/۰۴ می‌باشد. کلید سیم وسط اتوترانسفورماتور در چند درصد قرار می‌گیرد؟

$T_s = 0.36\, T_n$
$I_{sc} = 5\, I_n$
$S_n = 0.04$
$k = ?$

$0.36 = k^2 (5)^2 \times 0.04$

$k^2 = \frac{0.36}{25 \times 0.04} \Rightarrow k = 0.6 = 60\%$

جلسه ۹۸/۹/۲۴

★ روش سوم (ستاره مثلث): در این روش ابتدا موتور به صورت ستاره و سپس به صورت مثلث راه‌اندازی می‌شود. به دلیل اینکه در حالت ستاره ولتاژی کمتر ($\frac{1}{\sqrt{3}}$ برابر کوچکتر) بر روی کلافها قرار می‌گیرد در نتیجه جریان راه‌اندازی هم کاهش می‌یابد. تغییرات گشتاور نسبت به حالت بارنامی از رابطه‌ی زیر بدست می‌شود:

$$\frac{T_s}{T_n} = \frac{1}{3} \left(\frac{I_{sc}}{I_n}\right)^2 \times S_n$$

★ نکته: می‌توان گفت اتصال ستاره مثلث مانند راه‌اندازی اتوترانسی با $k = \frac{1}{\sqrt{3}}$ می‌باشد.

(۲۵)

★ مثال: سرعت بار کامل یک موتور القایی سه فاز ۵۰Hz و ۴ قطب

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

۱۴۴۰ RPM است، نسبت جریان راه‌اندازی به جریان بار کامل این موتور ۴/۳ است. اگر از کلید ستاره مثلث برای راه اندازی موتور استفاده شود نسبت گشتاور راه‌اندازی به گشتاور بار کامل این موتور چقدر است؟

$$S_n = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0/04$$

$$\frac{T_S}{T_n} = \frac{1}{3}(4/3)^2 \times 0/04 = 0/64$$

★ نکته: در حالت ستاره مثلث زمانیکه لازم است تا موتور در حالت ستاره باقی بماند و پس به حالت مثلث تغییر حالت دهد از رابطه‌ی زیر که یک رابطه تجربی می‌باشد یافت می‌شود:

$$t_\lambda = 4 + 2\sqrt{P}$$ (P: توان موتور بر حسب KW)

★ اثر تغییر ولتاژ و فرکانس بر روی گشتاور استارت و گشتاور ماکزیمم: با تغییر ولتاژ و فرکانس، شکل منحنی گشتاور سرعت و پارامترهای آن تغییر می‌کند. مهمترین این پارامترها، گشتاور راه‌اندازی و گشتاور ماکزیمم می‌باشد. این تغییرات توسط روابط زیر یافت می‌شود:

$$\frac{T_{m1}}{T_{m2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$$

$$\frac{T_{S1}}{T_{S2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^3$$

Scanned by CamScanner

Subject :
Year Month Day Page

(۲۶)

* مثال : یک موتور القایی با مقادیر نامی ۲۲۰ V و ۵۰ Hz را اگر با ولتاژ ۶۰ Hz و ۱۱۰ V راه اندازی کنیم : الف) گشتاور ماکزیمم چقدر کم می شود؟ ب) گشتاور استارت چقدر کاهش می یابد؟

الف) $\frac{T_{m1}}{T_{m2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2$

$\frac{T_{m1}}{T_{m2}} = \left(\frac{۲۲۰}{۱۱۰}\right)^2 \left(\frac{۶۰}{۵۰}\right)^2 = ۵,۷۶ \Rightarrow \frac{T_{m2}}{T_{m1}} = \frac{۱}{۵,۷۶} = \%۱۷۳۶$

بنابراین در حالت دوم حدود ٪۸۳ کاهش گشتاور ماکزیمم داریم.

ب) $\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^3$

$\frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \left(\frac{۲۲۰}{۱۱۰}\right)^2 \left(\frac{۶۰}{۵۰}\right)^3 = ۶,۹۱۲ \Rightarrow \frac{T_{s1}}{T_{s2}} = \frac{۱}{۶۹۱۲} = \%۱۴۴۷$

بنابراین در حالت دوم حدود ٪۸۶ کاهش گشتاور استارت داریم.

* نکته : اگر با تغییر مقاومت روتور بخواهیم گشتاور فاصله هوایی (Tag) یا شار فاصله هوایی ثابت بماند در این حالت باید از فرمول زیر برای حل مسائل استفاده کرد :

$$\frac{R_{r1}}{S_1} = \frac{R_{r2}}{S_2}$$

R_{r1} : مقاومت روتور در حالت اول S_1 : لغزش در حالت اول

R_{r2} : مقاومت روتور در حالت دوم S_2 : لغزش در حالت دوم

(۲۷)

* مثال : در یک موتور القایی سه فاز روتور سیم پیچی شده و ۴ قطب ۵۰ Hz با سرعت نامی ۱۴۵۰ RPM مقاومت روتور سه برابر می شود.

Capital Stationery since1976

Scanned by CamScanner

با فرض ثابت بودن بار (ثابت بودن گشتاور هوایی) سرعت چقدر خواهد شد؟

$R_{r_2} = 3R_{r_1}$ $\quad \frac{R_{r_1}}{S_1} = \frac{R_{r_2}}{S_2} \Rightarrow \frac{R_{r_1}}{S_1} = \frac{3R_{r_1}}{S_2}$

$S_1 = \frac{1500 - 1350}{1500} = 0.03 \Rightarrow \frac{1}{0.03} = \frac{3}{S_2} \Rightarrow S_2 = 0.9$

$n_{r_2} = n_s(1 - S_2) \Rightarrow n_{r_2} = 1500(1 - 0.9) = 150$ RPM