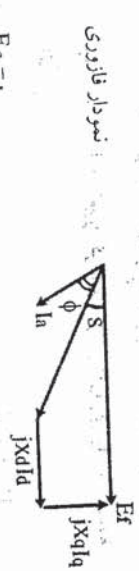


$$I_a = \frac{V_t \times 1.0}{\sqrt{r^2 + 12 \times 12 \times 1.0^2 \times 0.9}} = 0.7849$$

$$\tan \delta = \frac{12 \times 1.0^2 + 0.7849 \times 12 \times 0.9}{12 \times 1.0^2 + 0.7849 \times 12 \times 0.9} \Rightarrow \delta = 72.0^\circ$$

$$P_{base} = \frac{1 \times E_f}{1} \sin(72.0^\circ) + \frac{1^2 (1 - 0.9)}{12 \times 12 \times 0.9} \sin(72.0^\circ) = 1.0 \text{ (pu)}$$

$$E_f = 1.07 \text{ pu}$$



$$E_f = 1.07$$

$$P_{max} = \frac{V_t^2 (x_d - x_q)}{x_d x_q}, \delta = 90^\circ$$

$$P_{max \text{ pu}} = \frac{1^2 (1 - 0.9)}{12 \times 12 \times 0.9} = 0.00185 \text{ pu}$$

$$P_{max} = 0.00185 \times 100 = 0.185 \text{ MW}$$

$$I_d X_d = V_t \cos \delta \Rightarrow I_d = \frac{V_t \cos \delta}{x_d}$$

$$I_d = \frac{1 \times \sqrt{1}}{12} = \frac{\sqrt{1}}{12} \text{ pu} = 0.0833 \text{ pu} \Rightarrow I_d = 0.0833 \text{ pu}$$

$$I_q X_q = V_t \sin \delta$$

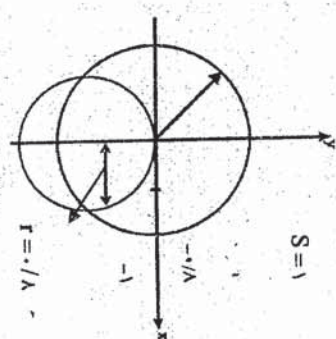
$$I_q = \sqrt{(I_d^2 + I_a^2)} = \sqrt{(0.0833^2 + 0.7849^2)} = 0.794 \text{ pu}$$

$$I_a = 0.7849 \text{ pu}$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{I_d}{I_q}$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{0.0833}{0.7849} \Rightarrow \psi = 6.1^\circ$$

(پیش فاز)



۱۳-۱ یک ژنراتور قطب برجسته ۱۰۰ مگاوات آمپری ۱۰ مریزی و ۱۲ کیلوولتی

مفروض است و داریم:

$$x_d = 1 \text{ pu}$$

$$x_q = 0.5 \text{ pu}$$

مقاومت استاتور ناچیز است و این ژنراتور ۷۲ مگاوات را تحت ضریب توان ۰/۹

پس فاز تحویل شبکه می‌نماید.

الف) E_f و δ را حساب کرده و نمودار فازوری را رسم کنید (V_t را مرجع

بگیرید)

ب) اگر جریان تحریک صفر شود، حداکثر توانی که ژنراتور می‌تواند تحویل دهد

چقدر است. در این شرایط جریان و ضریب توان را حساب کنید و نمودار فازوری

را بکشید.

الف)

$$P = \frac{|V_t| |E_f|}{x_d} \sin \delta + \frac{|V_t|^2 (x_d - x_q)}{x_d x_q} \sin \delta$$

$$\tan \delta = \frac{I_a x_d \cos \phi}{V_t + I_a x_q \sin \phi}, \phi = \cos^{-1} 0.9$$

$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \cos \phi}{V_t}$$

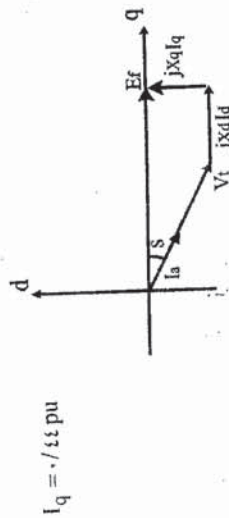
$$\tan(\gamma_0) = \frac{I_a \times 0.90 \times 1}{V_t}$$

$$0.49 = 0.90 I_a \Rightarrow I_a = 0.49 \text{ pu}$$

$$I_d = I_a \cdot \sin \psi, \psi = \delta$$

$$I_d = 0.49 \times \sin 26^\circ \Rightarrow I_d = 0.17 \text{ pu}$$

$$I_q = I_a \cdot \cos \psi \Rightarrow I_q = 0.49 \times \cos 26^\circ = 0.44 \text{ pu}$$



$$I_q = 0.44 \text{ pu}$$

۲۵-۶ یک ژنراتور سنکرون قطب برجسته ۶۰ هرتزی، ۱۱ کیلوولتی، سه فاز و ۴۰ مگاوات آمپری مفروض است و داریم:

$$x_d = 1 \text{ pu}, x_q = 0.5 \text{ pu}$$

ماشین به شبکه بی نهایت وصل است و تحریک طوری تنظیم شده که E_f' معادل ولتاژ شبکه بی نهایت باشد. حداکثر توانی را که ژنراتور در حالت ماندگار (ماندا) می تواند تحویل دهد چقدر است؟ در این شرایط جریان استاتور و ضریب توان را حساب کنید نمودار فازوری مربوط به این شرایط را رسم کنید.

$$P = \frac{V_t |E_f|}{x_d} \sin \delta + \frac{V_t^2 (x_d - x_q)}{2x_d x_q} \sin 2\delta$$

$$|V_t| = |E_f| = 1 \text{ pu}$$

$$\frac{\partial P}{\partial \delta} = 0$$

۲۴-۶ یک ماشین سنکرون قطب برجسته توان اسمی را به باری تحت ضریب فاکتور واحد تحویل می دهد.

$$\phi = 46^\circ$$

راکتانس های محور d و محور q عبارت هستند از:

$$x_q = 0.45 \text{ pu} \text{ و } x_d = 0.90 \text{ pu}$$

مقاومت سیم پیچ استاتور قابل چشم پوشی است.

الف) ولتاژ تحریک (E_f) و ولتاژ پایانه (V_t) را تعیین کنید.

ب) I_q, I_d, I_a را تعیین کرده و نمودار فازوری را رسم نمایید.

الف)

$$P = \frac{|E_f| |V_t|}{x_d} \sin \delta + \frac{V_t^2 (x_d - x_q)}{2x_d x_q} \sin 2\delta$$

$$Q = \frac{|V_t| |E_f|}{x_d} \cos \delta - |V_t|^2 \left(\frac{\sin \delta}{x_q} + \frac{\cos \delta}{x_d} \right)$$

$$p = 1 \text{ pu}, Q = 0 \Rightarrow$$

(چون ضریب فاکتور یک می باشد)

$$1 = \frac{|E_f| |V_t|}{0.45} \sin(20) + \frac{V_t^2 (0.90 - 0.45)}{2 \times 0.90 \times 0.45} \sin 40$$

$$0 = \frac{|E_f| |V_t|}{0.45} \cos(20) - |V_t|^2 \left(\frac{\sin(20)}{0.45} + \frac{\cos(20)}{0.90} \right)$$

$$a = V_t, b = E_f$$

$$1 = 0.44(a.b) + 0.44a^2$$

$$0 = 0.90(a.b) - 1/26a^2 \Rightarrow 0.90a.b = 1/26a^2 \Rightarrow b = 1/37a$$

$$1 = 0.44(1/37a^2) + 0.44a^2 \Rightarrow 1 = 1/85a^2 \Rightarrow a = 0.48$$

$$b = 1/37 \Rightarrow |V_t| = 0.48 \text{ pu}, |E_f| = 1/37 \text{ pu}$$

ب)

الف) E_f و δ را حساب کرده و نمودار فازوری را رسم کنید.

ب) توان های مربوط به تحریک و برجستگی قطب ها را به دست آورید.

ج) اگر ماشین در حالت ژنراتور کار می کند و توانی معادل 0.8 pu را تحت ضریب توان 0.8 پیش فاز تحویل دهد، E_f و δ را حساب کنید.

(الف)

$$I_a = \frac{p}{V \cdot \cos \phi} = \frac{0.8}{1 \times 0.8} = 1 \text{ pu}$$

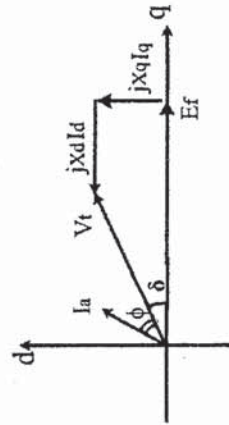
$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \cos \phi}{V_t + I_a X_q \sin \phi}$$

$$\tan \delta = \frac{1 \times 0.6 \times 0.8}{1 + 1 \times 0.6 \times 0.6} = 0.768 \Rightarrow \delta = 37.5^\circ$$

$$P = \frac{V_t E_f \sin \delta}{X_d} + \frac{|V_t|(X_d - X_q)}{X_d X_q} \sin^2 \delta$$

$$0.8 = \frac{1 \times E_f \sin(37.5^\circ)}{1/2} + \frac{1(1/2 - 0.6)}{2 \times 1/2 \times 0.6} \sin^2(37.5^\circ)$$

$$E_f = 1.44 \text{ pu}$$



ب)

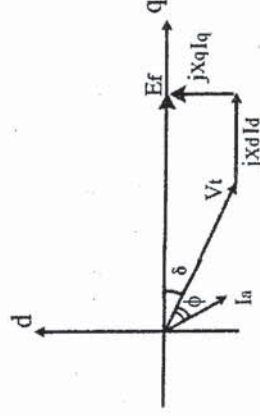
تحریک $p = \frac{|E_f| V_t \sin \delta}{X_d}$

تحریک $p = \frac{1 \times 1.44}{1/2} \sin(37.5^\circ)$

تحریک $p = 0.57 \text{ pu}$

$$1.0 \times 10^{-3} \times 0.8 = \frac{11000 \times E_f}{1/70} = \sin(16/81) + \frac{(11000)^2 (1/70 - 1/0.28)}{2 \times 1/70 \times 1/0.28} \sin^2 \delta$$

$$E_f \approx 0.36 \times 10^3$$



ب)

$$P = S \cos \phi = \frac{|V_t| |E_f|}{X_d} \sin \delta + \frac{|V_t|(X_d - X_q)}{2 X_d X_q} \sin^2 \delta$$

$$1.0 \times 10^{-3} \times 0.8 = \frac{11000 \times E_f}{1/70} = \sin \delta + \frac{(11000)^2 (1/70 - 1/0.28)}{2 \times 1/70 \times 1/0.28} \sin^2 \delta \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \delta} = 0 \Rightarrow \frac{11000 \times E_f}{1/70} = \cos \delta + \frac{(11000)^2 (1/70 - 1/0.28)}{2 \times 1/70 \times 1/0.28} \sin \delta \quad (2)$$

پیدا می شوند δ و E_f

$$I_a = \sqrt{\left(\frac{|E_f| - |V_t| \cos \delta}{X_d} \right)^2 + \left(\frac{|V_t| \sin \delta}{X_q} \right)^2}$$

$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \sin \phi}{V_t + I_a X_q \cos \phi}$$

پیش ضریب توان جدید را نشان می دهد.

۲۷-۶) یک ماشین سنکرون سه فاز با قطب های برجسته مقاومت آرمیچر

این ماشین در حالت موتوری کار می کند و توان 0.8 pu را تحت ضریب توان 0.8

پیش فاز از شبکه می کشد.

$$X_d = 0.9 \text{ pu} \text{ و } X_q = 0.7 \text{ pu}$$

جریان تحریک ماشین سنکرون طوری تنظیم شده است که ولتاژ تحریک ۱ pu را تولید می‌کند. ماشین به یک شبکه بی‌نهایت متصل شده است. ماکزیمم گشتاور یکایی را که می‌تواند به آهستگی و بدون از دست رفتن سنکرونیسم اعصال شود تعیین کنید. جریان تحریک (I_a) و ضریب توان در شرایط گشتاور ماکزیمم را بیابید. نمودار فازروی مربوط به این مورد را رسم کنید.

* در کتاب نوشته شده: جریان تحریک (I_a) که انتخاب می‌باشد و صحیح آن جریان استاتور (I_a) می‌باشد.

$$T_{\max}(\text{pu}) = P_{\max}(\text{pu}) = \frac{|V_t| |E_f|}{X_d} \sin \delta + \frac{|V_t| (X_d - X_q)}{X_d X_q} \sin \delta$$

$$\frac{\partial T}{\partial \delta} = 0$$

$$\frac{|V_t| |E_f|}{X_d} \cos \delta + \frac{|V_t|^2 (X_d - X_q)}{X_d X_q} \times r \cos \delta = 0$$

$$\frac{1 \times 1}{0.9} \cos \delta + \frac{1^2 (0.9 - 0.7)}{0.9 \times 0.7} \cos \delta = 0$$

$$1/1 \cos \delta + 0.47 \cos \delta = 0$$

$$1/1 \cos \delta + 0.47 (r \cos \delta - 1) = 0$$

$$1/1 \times 1 + 0.47 \times 1 - 0.47 = 0 \Rightarrow 0.47 \times 1 + 1/1 \times 1 - 0.47$$

$$\cos \delta \approx 0.71 \Rightarrow \delta = 44^\circ$$

$$T_{\max}(\text{pu}) = \frac{1 \times 1}{0.9} \sin(44^\circ) + \frac{1^2 (0.9 - 0.7)}{0.9 \times 0.7 \times 0.71} \sin(44^\circ)$$

$$T_{\max} \approx 1.7 \text{ pu}$$

$$|I_d| = \frac{|E_f| - |V_t| \cos \delta}{X_d}$$

$$|I_d| = \frac{1 - 1 \times \cos(44^\circ)}{0.9}$$

$$|I_d| = 0.77 \text{ pu}$$

$$\text{برجستگی } P = \frac{|V_t|^2 (X_d - X_q)}{2 X_d X_q} \sin 2\delta$$

$$\text{برجستگی } P = \frac{1^2 (1/2 - 0.7)}{2 \times 1/2 \times 0.7} \sin(2 \times 19/44^\circ)$$

$$\text{برجستگی } P = 0.77 \text{ pu}$$

(ج)

$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \cos \phi}{V_t - I_a X_q \sin \phi}$$

$$\tan \delta = \frac{1 \times 0.7 \times 0.8}{1 \times 1 - 1 \times 0.7 \times 0.8} = 0.72$$

$$\delta = 36/81^\circ$$

$$P = \frac{|V_t| |E_f|}{X_d} \sin \delta + \frac{|V_t|^2 (X_d - X_q)}{2 X_d X_q} \sin 2\delta$$

$$0.8 = \frac{1 \times E_f \sin(36/81^\circ)}{1/2} + \frac{1^2 (1/2 - 0.7)}{2 \times 1/2 \times 0.7} \sin(2 \times 36/81^\circ)$$

$$E_f = 0.8 \text{ pu}$$

مسئله ۶-۲۳ را در صورتی که ماشین سنکرون به عنوان موتور عمل می‌کند،

تکرار کنید.

$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \cos \phi}{V_t - I_a X_q \sin \phi}$$

$$I_a = 7.849$$

$$\tan \delta = \frac{7.849 \times 1 \times 0.9}{1 \times 1 - 7.849 \times 0.9 \times 0.47} = 0.71$$

$$\delta = 35/71^\circ$$

$$P = \frac{1 \times E_f \sin(35/71^\circ)}{1} + \frac{1^2 (1 - 0.7)}{2 \times 1 \times 0.7} \sin(2 \times 35/71^\circ) = \frac{7.7}{100}$$

$$0.774 E_f + 0.174 = 0.77$$

$$E_f = 1/90 \text{ pu}$$

۶-۲۴ یک ماشین سنکرون سه فاز پارامترهای زیر را داراست

۳۱-۶ یک موتور سنکرون سه فاز، ۴۸۰ ولتی، ۱۲۵ اسب بخاری، تحت ضربه توان پیش فاز ۶۰ هرتزی، چهار قطبی با اتصال ستاره مفروض است. موتور سنکرون مقادیر زیر را دارد.

$$R_a \rightarrow 0 \text{ و } L_s = 3/80 \text{ mH}$$

سرعت این موتور با استفاده از سیلکو کونورتور شکل (۳۱-۶ و ب) در حدود ۳۰۰ تا ۸۰۰ دور در دقیقه کنترل شده است.

(الف) میزان تنوع فرکانس منبع را تعیین کنید.

(ب) E_f را در شرایط اسمی حساب کنید.

(ج) توان ماکزیممی را که موتوری می تواند در شرایط زیر تحویل دهد تعیین کنید.

(۱) سرعت اسمی

(۲) پایین ترین سرعت

(الف)

$$n = 3000 \text{ rpm} \Rightarrow f = \frac{np}{120} = \frac{3000 \times 4}{120} = 100$$

$$n = 800 \text{ rpm} \Rightarrow f = \frac{np}{120} = \frac{800 \times 4}{120} = 26.67 \text{ Hz}$$

$$I_a = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \phi} = \frac{125 \times 736}{\sqrt{3} \times 480 \times 0.85} \angle \cos^{-1} 0.85$$

$$I_a = 120 \angle \cos^{-1} 0.85$$

$$X_s = L_s \omega = 2/80 \times 10^{-3} \times 2\pi \times 100 = 1/40$$

$$X_s = 1/40$$

$$E_f = V_t - jX_s I_a = \frac{480}{\sqrt{3}} - (1/40)(120) \angle -36.87^\circ$$

$$E_f = 239.6 \angle -36.87^\circ$$

$$P_{\max} = \frac{|E_f| |V_t|}{X_s}$$

(۱-ج)

$$|I_t| = \frac{|E_f| \sin \delta}{X_q} = \frac{1 \sin(73^\circ)}{0.75} = 1.46$$

$$I_q = 1.46 \text{ pu}$$

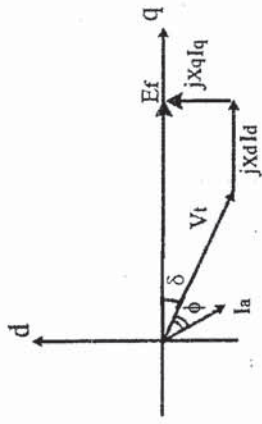
$$I_a = \sqrt{I_q^2 + I_d^2} = \sqrt{(1.46)^2 + (-0.75)^2} = 1.64$$

$$I_a \approx 1.64 \text{ pu}$$

$$\tan \delta = \frac{I_a X_q \cos \phi}{V_t \pm I_a X_q \sin \phi}$$

$$\tan \delta(73^\circ) = \frac{1/16 \times 0.75 \times \cos \phi}{1 \pm 1/16 \times 0.75 \times \sin \phi}$$

$$\cos \phi = 0.716$$



۳۱-۶ یک ماشین سنکرون سه فاز با روتور استوانه ای مفروض است و داریم:

$$X_s = X_d = 0.9 \text{ pu}$$

مقاومت استاتور = ناچیز $X_s = X_d = 0.9 \text{ pu}$
ماشین توان اسمی را تحویل شبکه بی نهایت می دهد. حداقل E_f را طوری حساب کنید که ماشین سنکرونیزم خود را از دست ندهد.

$$P = \frac{|V_t| |E_f|}{X_s} \sin \delta$$

$$P = 1 \text{ pu}, |V_t| = 1 \text{ pu}$$

$$1 = \frac{1 \times E_f}{0.9} \sin \delta, \sin \delta = 0.9$$

$$1 = \frac{1 \times E_f}{0.9} \times 1 \Rightarrow E_{f(\max)} = 0.9 \text{ pu}$$

مثال



یک موتور سنکرون سه فاز با مشخصات زیر مفروض است :

$$X_d = 0.8 \text{ PU} \quad \text{و} \quad X'_d = 0.3 \text{ PU}$$

جریان تحریک طوری تنظیم شده که $E_f = 1 \text{ PU}$ و سنکرونیزم بین موتور و شبکه بی نهایت برقرار شده است .

الف (حداکثر گشتاوری که می توان به آرامی به موتور اعمال نمود تا موتور از حالت سنکرونیزم خارج نشود چقدر است ؟

ب (حداکثر گشتاوری که می توان بطور ناگهانی به محور موتور اعمال نمود بدون اینکه موتور از حالت سنکرون خارج شود چقدر است ؟ آیا موتور می تواند تحت این بار بماند ؟



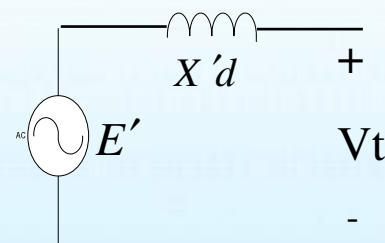
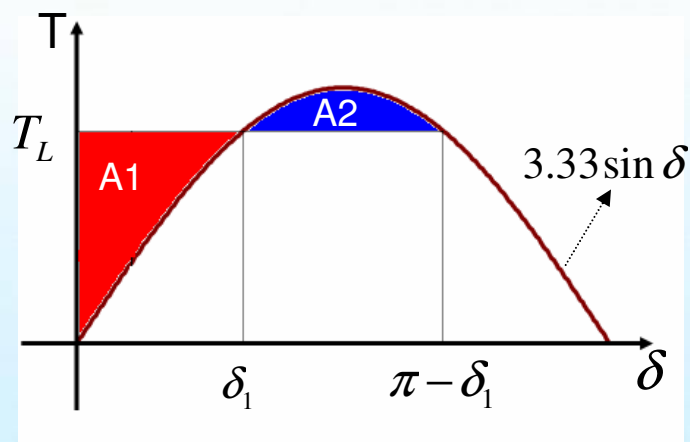
پاسخ



(الف)

$$\sin \delta = 1 \implies T = \frac{V_t E_f}{X_d} (PU) = \frac{1}{0.8} = 1.25$$

ب) حد اکثر بار قابل اعمال به موتور مربوط به زمانیست که سطح شتاب دهنده و سطح شتاب گیرنده مساوی باشند .



مدار معادل حالت گذرا



پاسخ (ادامه)

$$P = \frac{E'V}{X'd} \sin \delta \Rightarrow T = \frac{E'V}{\omega X'd} \sin \delta$$

$$E' = E - X'dI_a \xrightarrow{I_a=0} E' = E = 1 \text{ PU}$$

$$\Rightarrow T = \frac{1}{1 \times 0.3} \sin \delta = 3.33 \sin \delta$$

سطوح A1 و A2 را محاسبه کرده و با یکدیگر برابر قرار می دهیم تا δ_1 بدست آید

$$A1 = T_L \delta_1 - \int_0^{\delta_1} (3.33 \sin \delta) d\delta = (3.33 \sin \delta_1) \delta_1 + 3.33(\cos \delta_1 - 1)$$

$$A2 = \int_{\delta_1}^{\pi-\delta_1} (3.33 \sin \delta) d\delta - T_L (\pi - 2\delta_1) = (6.66 \cos \delta_1) - (3.33 \sin)(\pi - 2\delta_1)$$



پاسخ (ادامه)

$$A_1 = A_2 \implies \delta_1 = 46.5 \implies T_L = 3.33 \sin \delta_1 = 2.42(pu)$$

موتور نمی تواند تحت این بار به کار خود ادامه دهد چرا که این بار فراتر از حد پایداری
استاتیکی ماشین می باشد