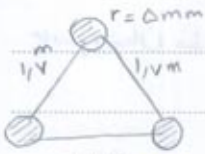
Subject:

Year. Month. Date. ( ) ۴۲



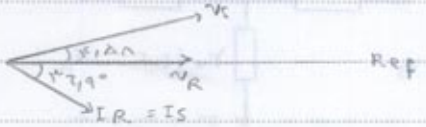
$L = 2\times10^{-7}\ln\frac{1.7}{\sqrt[r']{5\times10^{-3}\times0.7788}} = 12.158\times10^{-7}\ H/m$

$X = 2\pi\times50\times12.158\times10^{-7}\times15000 = 5.72\ \Omega$ (خط) $\qquad Z = 2.58 + j5.72\ \Omega$

$V_S = V_R + ZI_R$ (نامی)

$V_S = \frac{11000}{\sqrt{3}}\angle0^\circ + (2.58+j5.72)\,19\angle-36.9^\circ \Rightarrow V_S = 7457\angle4.58^\circ$ (فاز)

$V_S = 7.457\ kV\times\sqrt{3} = 12.91\ kV$ (خطی)



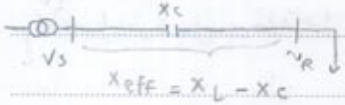
محاسبه ضریب قدرت ابتدای خط: $\cos\varphi_S = \cos(\hat{V_S, I_S}) = \cos(36.9+4.58) = \cos(41.48)$

محاسبه رگولاسیون خط: $\%Reg = \frac{|V_S|-|V_R|}{|V_R|}\times100 = \frac{12.91-11}{11}\times100 = 17\%$ (ولتاژ آخر خط بار دوم) (ولتاژ آخر خط بدون بار)

که این مقدار غیرقابل قبول است (معمولاً ٪۵-۶ می‌شود)، که دلیل آن رگولاسیون زیاد به دلیل اندوکتانس خط است.

پس برای بهبود رگولاسیون (بهبود افت ولتاژ): ۱) استفاده از هادی با مقطع بالاتر (هزینه زیاد می‌شود)

۲) استفاده از خازن سری در خط

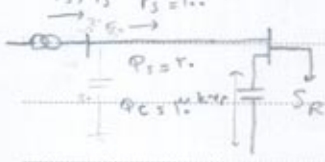


تعیین مقدار مورد نیاز خازن: $1.5 = 5.72 - X_C \Rightarrow X_C = 4.22 \rightarrow X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi\times50\times C} \rightarrow C = ?$

برای داشتن رگولاسیون مورد نیاز

اما گذاشتن خازن باعث امکان ایجاد یک تشدید رزونانسی می‌شود که ممکن است موجب عمل نکردن رله‌ها شود پس چون باعث نوسان می‌شود این روش معمولاً در خطوط توزیع استفاده نمی‌شود.

۳) استفاده از خازن موازی در خط (بهبود رگولاسیون)



$S_R = P_R + jQ_R = 100 + j50$ (kW, kVAr)

خازن توان راکتیو وارد می‌کند. بنابراین لازم است توان راکتیو کمتری از خط بیاید.

بنابراین جریان عبوری از خط و افت ولتاژ کمتر می‌شود و رگولاسیون بهبود می‌یابد.

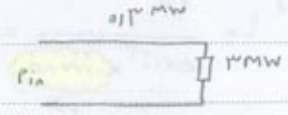
باید حد امکان خازن به بار نزدیک باشد.

این روش خطر رزونانس ندارد.

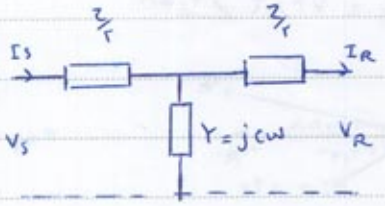
PAPCO

محاسبه راندمان خط:

$$\eta = \frac{۴\times۱۰^۶}{۴\times۱۰^۶ + ۳\times۱۰^۵}\times۱۰۰ = \frac{P_R}{P_{Loss}+P_R}\times۱۰۰ = \frac{P_R}{P_S}\times۱۰۰$$

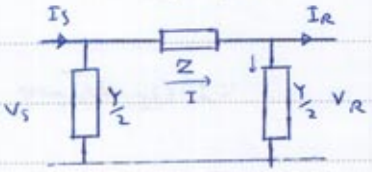


مدل خط متوسط: در مدل خط متوسط از کاپاسیتانس خط نمی‌توان صرفنظر کرد. اما چون کاپاسیتانس در کل خط پخش شده، برای مدلسازی کاپاسیتانس خط را در دو سمت خط قرار می‌دهیم:



در مدل خط انتقال معمولاً مدل π استفاده می‌شود:

مدل T



مدل π نامی

$$\begin{bmatrix} V_S \\ V_R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad \begin{cases} V_S = AV_R + BI_R \ * \\ I_S = CV_R + DI_R \end{cases}$$

این‌ها معادلاتی هستند که ولتاژ و جریان ابتدا و انتهای خط را به هم مربوط می‌کنند.

$$V_S = V_R + ZI \ , \quad I = I_R + \frac{Y}{2}V_R$$

محاسبه پارامترهای مدل π خط متوسط:

$$V_S = V_R + Z\left(I_R + \frac{Y}{2}V_R\right) \rightarrow V_S = V_R + ZI_R + \frac{ZY}{2}V_R$$

$$\rightarrow \boxed{V_S = \left(1+\frac{ZY}{2}\right)V_R + Z\,I_R} \xrightarrow{*} A = 1+\frac{ZY}{2} \ , \ B = Z$$

$$I_S = I + \frac{Y}{2}V_S \Rightarrow I_S = \left(I_R + \frac{Y}{2}V_R\right) + \frac{Y}{2}\left[\left(1+\frac{ZY}{2}\right)V_R + ZI_R\right]$$

$$\rightarrow \boxed{I_S = Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right)V_R + \left(1+\frac{ZY}{2}\right)I_R} \xrightarrow{*} C = Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right) \qquad D = 1+\frac{ZY}{2}$$

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\frac{ZY}{2} & Z \\ Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right) & 1+\frac{ZY}{2} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

در اینجا اگر $Y = 0$ بگذاریم به حالت مدل خط کوتاه می‌رسیم.

PqPCO

$I_{ch} = I_S\Big|_{I_R=0} = Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right)V_R$

$\begin{cases} V_S = AV_R + BI_R \xrightarrow{I_R=0} V_S = AV_R \rightarrow V_R^{NL} = V_S/A \\ I_S = CV_R + DI_R \xrightarrow{I_R=0} I_S = CV_R \rightarrow I_{ch} = \frac{C}{A}V_S = \frac{C}{D}V_S \end{cases}$ جریان بارسری خط :

Subject:

Year. Month. Date. ۴۷

$Reg\,\% = \frac{V_R^{NL} - V_R^{FL}}{V_R^{FL}} \times 100$

$V_S = AV_R + BI_R$ ثانی $\begin{cases} I_R \text{ جریان نامی} \rightarrow V_R^{FL} \\ I_R = 0 \rightarrow |V_R^{NL}| = \frac{|V_S|}{|A|} \end{cases}$

$Reg\,\% = \frac{\frac{|V_S|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} \times 100$ فرمول کلی رگولاسیون $\Rightarrow$

خط کوتاه $\begin{cases} A = 1 \\ A = 1 + \frac{ZY}{2} \end{cases}$ خط متوسط

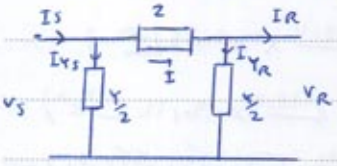
$\begin{cases} A = D = 1 + \frac{ZY}{2} & \text{بدون دیما} \\ C = Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right) & \text{واحد } \Omega \\ B = Z & \text{واحد } \Omega \end{cases}$ $\rightarrow$ خروجی پریونیت است

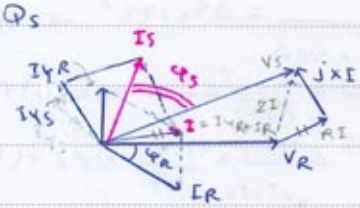
برای پریونیت شدن بر Z_b تقسیم می کنیم

برای پریونیت شدن بر Y_b تقسیم می کنیم

$S_S = V_S I_S^* = P_S + jQ_S$

* رگولاسیون در بارنامی تعریف می شود.

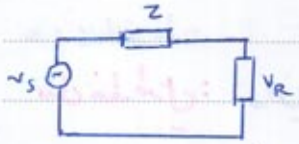




رسم دیاگرام برداری و ولتاژ ابتدای خط :

برای محاسبه Q_R یا باید به ما P_R و Q_R را بدهند یا باید P_R و $\cos\varphi_R$ را بدهند.

اگر V_R سلفی یا اهمی باشد به دلیل افت ولتاژ در امپدانس Z ، $V_R < V_S$



اما اگر V_R خازنی باشد ممکن است که $V_S = V_R$ برابر یا حتی کمتر شود.

مثال) یک خط انتقال سه فاز 230^{kV} به طول 150^{km} از هادی های ACSR، Partridge تشکیل شده است.

خط متوسط

خط دارای آرایش افقی، فاصله هادی ها 5^m است. مقاومت اهمی هر فاز $0.2\,\Omega/km$ است.

اگر بار انتهای خط در ولتاژ 230^{kV} برابر 200^{MW} با ضریب توان ۰.۸۵ پس فاز باشد حساب کنید.

الف) ولتاژ و جریان ابتدای خط ؟ ب) توان اکتیو و راکتیو ابتدای خط ؟

ج) ضریب توان ابتدای خط ؟ د) رگولاسیون خط ؟ ه) راندمان خط ؟

P4PCO

$$\begin{cases} V_S = (1+\frac{YZ}{2})V_R + ZI_R \\ I_S = Y(1+\frac{ZY}{4})V_R + (1+\frac{ZY}{2})I_R \end{cases}$$

$z = R + jx$

الف) محاسبه پارامترها خط: معادلات خط متوسط:

$R = 0.12\ \Omega/km \times 100\ km = 30\ \Omega$

محاسبه R:

محاسبه L: $D_{eq} = \sqrt[3]{5 \times 5 \times 10} = 7.9\ m$

$L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_{eq}}{D_S}$ از جدول A-1 $D_S = 0.7788 \times 0.0328\ ft = 0.0255\ m$

$\Rightarrow L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{7.9}{0.0255} = 14.72 \times 10^{-7}$ $\Rightarrow$ خط $x = L\omega\ell = 14.72 \times 10^{-7} \times 2\pi \times 50 \times 100\ km = 29.25\ \Omega$

$\Rightarrow z = R + jx = 30 + j29.25\ \Omega = 41.87 \angle 44.11^\circ$

خط $Y = j\omega C\ell$ $C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}}$ از جدول $r = 0.7788 \times 0.0328 = 0.0255\ m$

$r = \frac{\text{قطر}}{2}$ شعاع هادی به فوت

$\Rightarrow C = \frac{2 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12}}{\ln \frac{7.9}{0.0255}} = 8.34 \times 10^{-12}\ F/m$ $\Rightarrow Y = j8.34 \times 10^{-12} \times 2\pi \times 50 \times 100 \times 10^3 = j3.94 \times 10^{-4}$ $3.94 \times 10^{-4} \angle 90^\circ$

$$\begin{cases} A = D = 1 + \frac{ZY}{2} = 1 + \frac{41.87 \angle 44.11^\circ \times 3.94 \times 10^{-4} \angle 90^\circ}{2} = 1.014 \angle 1.55^\circ \\ B = Z = 41.87 \angle 44.11^\circ \\ C = Y(1+\frac{ZY}{4}) = 3.94 \times 10^{-4} \angle 90^\circ (1.007 \angle 1.55^\circ) = 3.967 \times 10^{-4} \angle 91.55^\circ \end{cases}$$

A و D معمولاً نزدیک به 1

$$|I_R| = \frac{P_R}{\sqrt{3} V_R \cos\varphi_R} = \frac{200 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 230 \times 10^3 \times 0.85} = 590.74\ A \rightarrow I_R = 590.74 \angle -31.8^\circ$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_S = AV_R + BI_R = (1.014 \angle 1.55^\circ \times \frac{230 \times 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ) + (41.87 \angle 44.11^\circ \times 590.74 \angle -31.8^\circ) \\ I_S = CV_R + DI_R = (3.967 \times 10^{-4} \angle 91.55^\circ \times \frac{230 \times 10^3}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ) + (1.014 \angle 1.55^\circ \times 590.74 \angle -31.8^\circ) \end{cases}$$

ب) توان اکتیو و راکتیو ابتدای خط:

$S_S = V_S I_S^* = P_S + jQ_S \rightarrow P_S, Q_S$

ج) ضریب قدرت ابتدای خط:

$\text{tg}\varphi_S = \frac{Q_S}{P_S} \Rightarrow \varphi_S = \text{tg}^{-1}\frac{Q_S}{P_S}$ پس فاز پس فاز

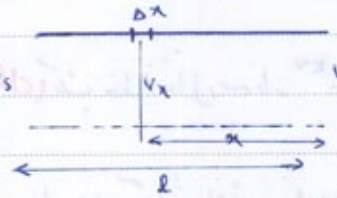
د) رگولاسیون:

$\%\ Reg = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|} \times 100 = \frac{\frac{|V_S|}{1.014} - \frac{230 \times 10^3}{\sqrt{3}}}{\frac{230}{\sqrt{3}} \times 10^3} \times 100$

هـ) راندمان خط:

$\%\eta = \frac{P_R}{P_S} \times 100 = \frac{200 \times 10^6}{P_S} \times 100$

مدل خط طویل: در این مدل از پارامترهای خط صرف نظر می‌شود بلکه پارامترهای خط بصورت کمیت توزیع شده در نظر گرفته می‌شوند.



می‌آییم جزء کوچکی از خط را که اندازه آن Δx است انتخاب می‌کنیم.

اگر بخواهیم آن الا به انتهای خط باید $x = 0$ و اگر بخواهیم ابتدای خط باید $x = \ell$ می‌گذاریم.

$z = R + jL\omega$ Ω/m — R: Ω/m، L: H/m

امپدانس واحد طول

امپدانس Δx $= \Delta x \cdot z$

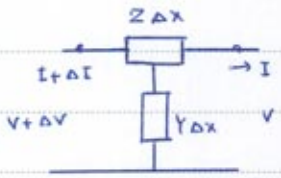
$Y = jC\omega$ S/m — C: F/m

ادمیتانس واحد طول

ادمیتانس Δx $= \Delta x \cdot Y$

P4PCO

Subject :
Year . Month . Date .



در اثر عبور جریان از این یک افت ولتاژ خواهیم داشت :

$$\Delta V = \Delta x \cdot Z \cdot I$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta x} = ZI \rightarrow \left(\frac{dv}{dx} = ZI\right)$$

$$\Delta I = \Delta x \cdot y \cdot V$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta x} = y \cdot V \rightarrow \left(\frac{dI}{dx} = y \cdot v\right)$$

$$\Rightarrow \frac{d^2V}{dx^2} = Z\frac{dI}{dx} \rightarrow \boxed{\frac{d^2V_x}{dx^2} = Z y V_x} * \qquad \boxed{\frac{d^2I}{dx^2} = y \cdot Z \cdot I} **$$

$$* \rightarrow V_x = A_1 e^{\sqrt{yz}\,x} + A_2 e^{-\sqrt{yz}\,x}$$

$$** \rightarrow I_x = \frac{A_1}{\sqrt{z/y}} e^{\sqrt{yz}\,x} - \frac{A_2}{\sqrt{z/y}} e^{-\sqrt{yz}\,x} \qquad \text{که: } \gamma = \sqrt{yz} \qquad Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} V_x = A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x} \\ I_x = \frac{A_1}{Z_c} e^{\gamma x} - \frac{A_2}{Z_c} e^{-\gamma x} \end{cases}$$

A_1 و A_2 مقادیر ثابت هستند.
با شرایط اولیه

اگر ولتاژ و جریان انتهای خط را بخواهیم $x = 0$ بنابراین داریم :

$$\begin{cases} V_R = A_1 + A_2 \\ I_R = \frac{A_1}{Z_c} - \frac{A_2}{Z_c} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V_R = A_1 + A_2 \\ Z_c I_R = A_1 - A_2 \end{cases}$$

$$A_1 = \frac{V_R + Z_c I_R}{2} \qquad A_2 = \frac{V_R - Z_c I_R}{2}$$

سر ابتدای $x = l$ داریم :

$$\begin{cases} V_S = \left(\frac{V_R + Z_c I_R}{2}\right) e^{\gamma l} + \left(\frac{V_R - Z_c I_R}{2}\right) e^{-\gamma l} \\ I_S = \left(\frac{V_R + Z_c I_R}{2 Z_c}\right) e^{\gamma l} - \left(\frac{V_R - Z_c I_R}{2 Z_c}\right) e^{-\gamma l} \end{cases}$$

می بینیم که ولتاژ و جریان ابتدای خط بهم ربط پیدا کرد.

PqPCO

$$\begin{cases} V_S = V_R \left(\frac{e^{\gamma L} + e^{-\gamma L}}{2} \right) + Z_c I_R \left(\frac{e^{\gamma L} - e^{-\gamma L}}{2} \right) \\ I_S = \frac{V_R}{Z_c} \left(\frac{e^{\gamma L} - e^{-\gamma L}}{2} \right) + I_R \left(\frac{e^{\gamma L} + e^{-\gamma L}}{2} \right) \end{cases}$$

معادلات خط طویل با در نظر گرفتن تلفات

$$\rightarrow \begin{cases} V_S = V_R \cosh \gamma L + Z_c I_R \sinh \gamma L \\ I_S = \frac{V_R}{Z_c} \sinh \gamma L + I_R \cosh \gamma L \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A = D = \cosh \gamma L \\ B = Z_c \sinh \gamma L \\ C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma L \end{cases}$$

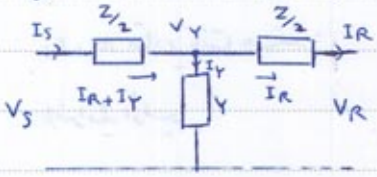
$$\begin{cases} V_S = A V_R + B I_R \\ I_S = C V_R + D I_R \end{cases}$$

مقایسه این به طور کلی:

خط کوتاه: $A = D = 1 \quad , \quad B = Z \quad , \quad C = 0$

خط متوسط: $A = D = 1 + \frac{ZY}{2} \quad , \quad B = Z \quad , \quad C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$

خط بلند (مدل T): $A = D = \cosh \gamma L \quad , \quad B = Z_c \sinh \gamma L \quad , \quad C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma L$



* (مدل T (خط متوسط):

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2} \qquad B = Z\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$$

$$C = Y$$

در خط بلند (مدل T):

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh \gamma L & Z_c \sinh \gamma L \\ \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma L & \cosh \gamma L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \ \Omega$$

برای محاسبه V_S و I_S نیاز داریم تا γL و Z_c را محاسبه کنیم.

در خطوط هوایی Z_c: ۲۰۰-۴۰۰ Ω امپدانس مشخصه خط (چون مقاومتی نیست و تلفات است.)

محاسبه γ:

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y}$$

Z = امپدانس واحد طول

Y = ادمیتانس واحد طول

PAPCO

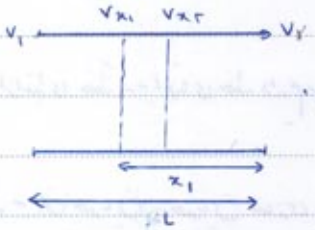
Subject:
Year. Month. Date.

آ) $Z = z \cdot l$ (امپدانس واحد طول) $Y = y \cdot l$ (ادمیتانس واحد طول) $\Rightarrow \gamma L = \sqrt{Z \cdot Y}$ (امپدانس کل خط) (ادمیتانس کل خط)

$\gamma = \sqrt{(R+jL\omega)(jC\omega)} = \alpha + j\beta$ ← ثابت فاز ← ثابت تضعیف ← ضریب انتشار

γ یک عدد مختلط است چون Z یک عدد مختلط است.

$e^{\gamma L} = A e^{\alpha l + j\beta L}$ $\quad e^{-\gamma L} = A e^{-\alpha - j\beta L} = A e^{-\alpha l} \cdot e^{-j\beta L}$



α اندازه را تغییر می دهد و β فاز را تغییر می دهد.

α باعث شده اندازه V_{x1} و V_{x2} متفاوت شود و β باعث اختلاف فاز V_{x1} و V_{x2} می شود.

ابتدا و انتهای خط به اندازه βL اختلاف فاز دارند

دو نقطه x_1 و x_2 به اندازه $\beta(x_2 - x_1)$ اختلاف فاز دارند

محاسبه $\cosh$, $\sinh$: $\cosh \gamma L = \cosh(\alpha L + j\beta L) = \cosh \alpha L \cos \beta L + j \sinh \alpha L \sin \beta L$

$\sinh \gamma L = \sinh(\alpha L + j\beta L) = \sinh \alpha L \cos \beta L + j \cosh \alpha L \sin \beta L$

خط طویل بدون تلفات: یعنی اگر بیاییم از مقاومت خط صرف نظر کنیم.

$R = 0$, $G = 0$

$\gamma = \sqrt{(R+jL\omega)(jC\omega)} = j\omega\sqrt{LC} = j\beta$ $\quad \Rightarrow Z_C = \sqrt{\frac{jL\omega}{jC\omega}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$

چون $\gamma = \alpha + j\beta$ $\Rightarrow \gamma = j\beta$ که $\beta = \omega\sqrt{LC}$

$\cosh \gamma l \to \cos \beta l$

$\sinh \gamma l \to j \sin \beta l$

نتیجه:

$$\begin{cases} V_S = V_R \cos \beta L + j Z_C I_R \sin \beta L \\ I_S = j \frac{V_R}{Z_C} \sin \beta L + I_R \cos \beta L \end{cases}$$

معادلات خط طویل بدون تلفات.

PaPCO

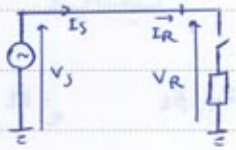
وضعیت ولتاژ و جریان در شرایط بی باری خط: (یعنی جریان = ۰)

(بدون تلفات)

$I_R = 0$

$V_S = V_R \cos\beta L$ * $\rightarrow V_R = \frac{V_S}{\cos\beta L}$ $\qquad \beta = 2\pi f\sqrt{LC}\ \frac{rad}{m}$ $\qquad \beta = 0.06\ ^\circ/_{km}$

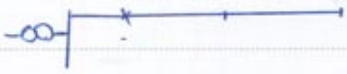
$\Rightarrow V_R = \frac{V_S}{\cos 60^\circ} = 2V_S$ *



$I_S = j\frac{V_R}{Z_c}\sin\beta L$ $\rightarrow$ می توان جریان خازنی خط را از این رابطه بدست آورد $\rightarrow I_{Ch} = I_S\big|_{I_R=0}$

از ابتدای خط که به انتهای خط داریم می رویم ولتاژ زیادی شود. در انتهای خط ولتاژ دو برابر می شود. جریان هم افزایش می یابد.

* $V_S < V_R$



که به این جریان، جریان خازنی خط (Charging Current) می شود.

پس اگر یک خط را برق دار کنیم: ۱) در خط جریان بار پیری (طولی) بوجود می آید. ۲) اثر فرانتی: زیاد شدن ولتاژ خط طول بدون بار (که چون خط طول است ولتاژ در انتهای خط خیلی زیادی شود)

آنالیز می شود کاری کرد که ولتاژ ابتدا و انتهای خط با هم برابر شود.

گفتیم اگر بار خط صفر باشد $I_R = 0$ بنابراین اگر از ابتدای خط به انتهای خط برویم ولتاژ افزایش یافت. $V_S < V_R$

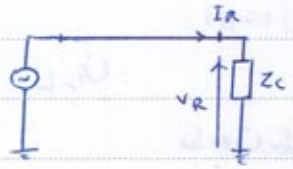
$I_R = 0 \rightarrow V_R > V_S$ افزایش ولتاژ کم باری

$I_R = ? \rightarrow V_R = V_S$ ایده آل ولتاژ صفر

حالا می خواهیم I_R را طوری حساب کنیم که $V_S = V_R$

(بدون ولتاژ صفح است ← بار خطی)

در انتهای خط باری قرار دهیم که مقدارش برابر با امپدانس مشخصه خط باشد (Z_c)



$I_R = \frac{V_R}{Z_c}$ $\qquad V_R = Z_c I_R$

از طرفین اندازه می گیریم

$V_S = V_R\cos\beta L + j\underbrace{V_R\sin\beta L}_{Z_c I_R} \rightarrow V_S = V_R(\cos\beta L + j\sin\beta L) \longrightarrow |V_S| = |V_R|$

βL = اختلاف فاز

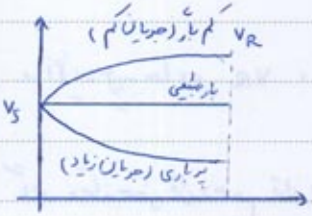
در اینجا گرد لاسیون صفر می شود.

P4PCO

حالا اگر جریان I_R را از این مقدار بیشتر کنیم یا Z_C را کوچکتر کنیم $V_R < V_S$ بنابراین افت ولتاژ خواهیم داشت.

بارزیاد - پرباری

بنابراین در خطوط کوتاه که اثر خازنی کم است افت ولتاژ داریم یعنی حالت $V_R < V_S$ اتفاق می‌افتد.



بنابراین همیشه در خطوط توزیع که خطوط کوتاه هستند بحث افت ولتاژ مطرح است.

به حالتی که پروفیل ولتاژ سطح است می‌گوییم خط در شرایط SIL است:

SIL = Surge Impedance Loading

یا اینکه می‌گوییم خط در شرایط بار طبیعی = Natural Loading است. یا اینکه می‌گوییم خط نهایت به این معنی که

چون خط طول است سطح ولتاژ رفت داریم و ولتاژ برگشت نداریم یعنی در همه جای خط ولتاژ برابر است.

Natural Loading ← (سطح بودن ولتاژ) ثابت بودن ولتاژ خط
پروفایل صاف

SIL یعنی اگر خط بدون تلفات باشد،

$Z_C = \sqrt{\frac{Z}{Y}}$ $\quad Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}}$

Z_C ↓ Surge Impedance

به امپدانس مشخصه، Surge Impedance می‌گوییم. یعنی Load خط برابر با امپدانس مشخصه آن (Z_C) است.

توان راکتیوی که خاصیت خازنی خط تولید می‌کند با توان راکتیوی که خاصیت سلفی خط جذب می‌کند برابر باشند.

$Q_C = Q_L$

اگر توان راکتیو جذبی بیش از توان راکتیو تولیدی باشد در جریان زیاد اتفاق می‌افتد که افت ولتاژ داریم.

$Q_L > Q_C$

خاصیت خازنی غلبه در خط طویل

اما اگر توان راکتیو تولیدی بیش از توان راکتیو جذبی باشد در جریان کم اتفاق می‌افتد که افزایش ولتاژ داریم

$Q_C > Q_L$

PqPCO

اما SIL در چه توانی است؟ پس می آیم SIL را برحسب توان محاسبه می کنیم:

$P = V_R \cdot I_R$

$P = V_R \frac{V_R}{Z_c} \xrightarrow[V_R = V_S = V \text{ نامی}]{\text{در شرایط SIL}} P = V \cdot \frac{V}{Z_c} = \frac{|V_n|^2}{Z_c}$ ولتاژ نامی

به این دلیل به جای V_R ، V گذاشتیم چون در شرایط SIL ولتاژ خط در همه جا یکسان است.

اگر ولتاژ خطی بگیریم توان سه فاز بدست می آید. اگر ولتاژ فازی بگیریم توان تک فاز بدست می آید.

$SIL_{MW} = P_{3\phi} = V \cdot \frac{V}{Z_c} = \frac{|V_n|^2}{Z_c}$ خطی

مثال) خط انتقالی به طول $l = 400\,km$ داریم. همچنین $Z_c = 200\,\Omega$ و خط بدون تلفات است. SIL (توان طبیعی) این خط چند است؟ با فرض $V = 400\,kV$

$l = 400\,km$

$SIL = \frac{400^2}{200} = 800\,MW$

یعنی اگر از این خط $800\,MW$ توان عبور کند پروفیل ولتاژش ثابت است.

از دید توان:

هرچه توان کمتری عبور کند افزایش ولتاژ داریم. بدترین حالت زمانیست که توان عبوری صفر شود. (اتصال باز) $I = 0$ و $Z_c \uparrow$

هرچه توان بیشتری عبور کند افت ولت داریم. بدترین حالت زمانیست که خط اتصال کوتاه باشد (البته هم بار نگذرد.) $Z_c \downarrow$

از دید پایداری:

برای اینکه کاهش ولتاژ داشته باشیم Z_c را از 200 کمتر می کنیم و اگر در انتهای خط افزایش ولتاژ بخواهیم داشته باشیم Z_c را از 200 بیشتر می کنیم.

از دید جریان:

$I = \frac{400/\sqrt{3}}{200} = \frac{2000}{\sqrt{3}} = 700\,A$

- $= 700$ پروفیل ولتاژ
- < 700 افزایش ولتاژ
- > 700 افت ولت

PqPCO

مثال) یک خط سه‌فاز بطول $225\ mi$ در ولتاژ $132\ kV$ و فرکانس $60\ Hz$ کار می‌کند. پارامترهای خط عبارتند از:

$R = 0.169\ \Omega/mi$ ، $L = 2.093\ mH/mi$ ، $C = 0.0142\ \mu F/mi$ (خط طول). اگر خط انتقال توان $40\ MW$ را در ولتاژ $132\ kV$

و ضریب قدرت پس‌فاز 0.95 تحویل بار دهد. ولتاژ و جریان ابتدای خط، راندمان خط، رگولاسیون خط را محاسبه کنید.

الف) محاسبه Z و Y خط:

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad A = D = \cosh \gamma\ell$$

$$B = Z_c \sinh \gamma\ell$$

$$C = \frac{1}{Z_c} \sinh \gamma\ell$$

$$X = 2\pi f L = 2\pi(60) \times 2.093 \times 10^{-3} = 0.789$$

امپدانس سری واحد طول $z = 0.169 + j\,0.789\ \Omega/mi = 0.807 \angle 77.9^\circ\ \Omega/mi$

کل خط $z = (0.169 + j\,0.789) \times 225$

ادمیتانس موازی واحد طول $y = j\omega C = j\,2\pi(60) \times 0.0142 \times 10^{-6} = j\,5.38 \times 10^{-7} = 5.38 \times 10^{-9} \angle 90^\circ$ (μ)

کل خط $Y = j\,5.38 \times 10^{-4} \times 225$

ب) محاسبه Z_c و γ و $\gamma\ell$:

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{0.807 \angle 77.9^\circ}{5.38 \times 10^{-9} \angle 90^\circ}} = 387.3 \angle -71.05^\circ\ \Omega$$

$$\gamma = \sqrt{z \cdot y} = \sqrt{0.807 \angle 77.9^\circ \times 5.38 \times 10^{-9} \angle 90^\circ}$$

$$\gamma\ell = \sqrt{\quad} \times 225 = 0.46 \angle 83.95^\circ = 0.0494 + j\,0.4599$$

$$\sinh \gamma\ell = \sinh(0.0494 + j\,0.4599)$$

آزاد شیم: $\sinh \gamma L = \frac{e^{\gamma\ell} - e^{-\gamma\ell}}{2}$

$$2\sinh \gamma L = e^{0.0494 + j0.4599} - e^{-0.0494 - j0.4599}$$

$$2\sinh \gamma L = e^{0.0494 \angle 0.4599} - e^{-0.0494 \angle -0.4599}$$

(رادیان)

$$2\sinh \gamma L = 1.051 \angle 0.4599 - 0.952 \angle -0.4599 \Rightarrow \sinh \gamma\ell = 0.4603 \angle 83.4^\circ$$

Subject:

Year. Month. Date. ۵۵

$\cosh\gamma\ell = 0.8950\angle 1.42^\circ$ به همین ترتیب:

ج) محاسبه ثابت‌های A, B, C, D:

$$\begin{cases} A = D = \cosh\gamma\ell = 0.8950\angle 1.42^\circ \\ B = Z_c \sinh\gamma\ell = 387.3\angle -4.05^\circ \times 0.4052\angle 84.4^\circ \\ C = \frac{1}{Z_c}\sinh\gamma\ell = \frac{0.4052\angle 34.4^\circ}{387.3\angle -4.05^\circ} \end{cases}$$

د) محاسبه V_S: ولتاژ ابتدای خط

$$V_S = V_R \cosh\gamma L + Z_c I_R \sinh\gamma\ell$$

$V_R = \frac{132}{\sqrt{3}} = 76.2\ kV$ یا $76.2\times10^3\ V$

$|I_R| = \frac{400\times10^6}{\sqrt{3}\times132\times10^3\times0.95} = 1841.1\ A$ (خط)

$I_R = 1841.1\angle -18.195^\circ$

$\Rightarrow V_S = 76.2\times10^3\times0.8950\angle 1.42^\circ + 387.3\angle -4.05^\circ \times 0.4052\angle 84.4^\circ \times 1841.1\angle -18.195^\circ$

$= 89.28\times10^3\angle 19.39^\circ\ V = 89.28\angle 19.39^\circ\ kV$ (بازی)

V_S خط $= \sqrt{3}\times V_S = \sqrt{3}\times 89.28 = 154.64\ kV$

$V_S = \frac{154.64}{\sqrt{3}} = 89.28\ kV$ $\quad V_R = \frac{132\ kV}{\sqrt{3}} = 76.2\ kV$

$I_S = 1422.42\angle 12.74^\circ$ $\quad I_R = 1841.1\angle -18.19^\circ$

محاسبه I_S: جریان ابتدای خط

$I_S = CV_R + DI_R = 1422.42\angle 12.74^\circ$

ه) محاسبه راندمان خط:

$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}}\times 100$ $\quad$ $P_{out} = 40\ MW$ (سمت گیرنده) $\quad$ (P_{out}: باتوجه به P_{in} سمت گیرنده)

P_{in} سمت فرستنده $\quad$ در این صورت باید حتما P_{in} سمت گیرنده

$S_S = V_S I_S^* = 89.28\times10^3\angle 19.39^\circ \times 1422.42\angle -12.74^\circ$ (بازی / فرستنده)

$\Rightarrow S_S = 89.28\times10^3\times1422.42\angle 19.39 - 12.74^\circ$ $\quad S_S = P_S + jQ_S$

$P_S = 89.28\times10^3\times1422.42\cos(6.93^\circ) = 1.51\cos\theta$ توان فرستنده

$P_S = 14.45\times10^7$ (واحد بازی) $\rightarrow$ گیرنده $P_S = 14.45\ MW$ $\quad 3\times14.45 = 43.35\ MW$ فرستنده

$\Rightarrow \eta\% = \frac{40}{43.35}\times100 = 92\%$ (فرستنده)

(می‌توانیم توان راکتیو جریان را هم از P_S با رابطه مثلثاتی $\cos$ و $\sin$ بدست آوریم)

$Q_S = |S|\sin\theta$

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date.

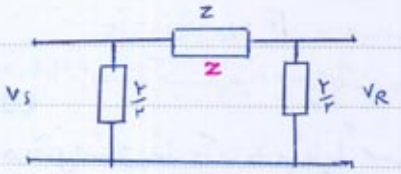
ز) محاسبه رگولاسیون خط:

$$Reg\% = \frac{\frac{|V_S|}{|A|} - |V_R|}{|V_R|} \times 100$$

$$Reg\% = \frac{\frac{89.2}{0.9850} - 74.2}{74.2} \times 100$$

اگر خواستیم ضریب قدرت ابتدای خط را بدست آوریم ابتدا زاویه را از رابطه $\varphi_S = tg^{-1}\frac{Q_S}{P_S}$ بدست آوردیم سپس $\cos\varphi_S$ را بدست آوردیم.

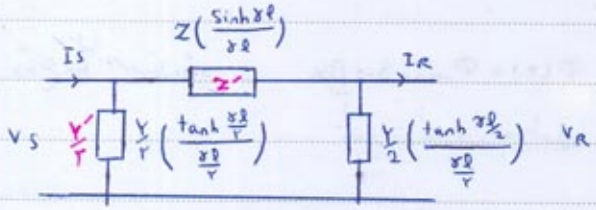
مدل π خط طویل:



در خط متوسط داشتیم:

$$\begin{cases} V_S = (1+\frac{ZY}{2})V_R + Z I_R \\ I_S = Y(1+\frac{ZY}{4})V_R + (1+\frac{ZY}{2}) I_R \end{cases}$$

آماده خط طویل برای رسیدن به همین روابط:



در خط طویل اگر مقادیر داخل پرانتز به سمت ۱ میل کنند

$$\begin{cases} V_S = V_R \cosh\gamma l + Z_c I_R \sinh\gamma l \\ I_S = \frac{V_R}{Z_c}\sinh\gamma l + I_R \cosh\gamma l \end{cases}$$

به همان رابطه خط متوسط می رسیم:

حالا همین را ثابت می کنیم:

$$Z_c \sinh\gamma l = Z'$$

$$\sqrt{\frac{Z}{Y}}\sinh\gamma l = Z' \rightarrow \sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot \frac{\sinh\gamma l}{\gamma l} \times \gamma l = Z'$$

$$\sqrt{\frac{Z}{Y}} \cdot \sqrt{ZY}\ \frac{\sinh\gamma l}{\gamma l} = Z' \rightarrow Z(\frac{\sinh\gamma l}{\gamma l}) = Z'$$

$$1+\frac{Z'Y'}{2} = \cosh\gamma l \rightarrow \frac{Z'Y'}{2} = \cosh\gamma l - 1 \rightarrow \frac{Y'}{2} = \frac{\cosh\gamma l - 1}{Z'} = \frac{\cosh\gamma l - 1}{\sqrt{\frac{Z}{Y}}\sinh\gamma l} =$$

$$= \sqrt{\frac{Y}{Z}}\ \frac{\cosh\gamma l - 1}{\sinh\gamma l} \times \frac{\frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}} = \frac{Y}{2}\left(\frac{\tanh\frac{\gamma l}{2}}{\frac{\gamma l}{2}}\right)$$ (?)

هرچقدر خط کوتاه تر باشد عبارت داخل پرانتز بهتر به سمت ۱ میل می کند.

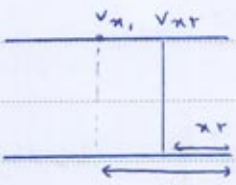
PqPCO

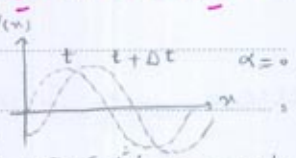
تمرین: مثال قبل را با این مدل هم حل کنید و نتایج بدست آمده را با هم مقایسه کنید.

تفسیر معادلات خط طویل:

$$V_x = \underbrace{\left(\frac{V_R + Z_c I_R}{2}\right) e^{\gamma x}}_{V_{x1}} + \underbrace{\left(\frac{V_R - Z_c I_R}{2}\right) e^{-\gamma x}}_{V_{x2}}$$

موج برگشت — موج رفت





$V(x,t)$ دقت کنید هم تابع زمان و هم تابع مکان است

برای رسم V_{x1}، t ثابت در نظر گرفته و حسب مکان رسم می‌کنیم

تابعی از زمان

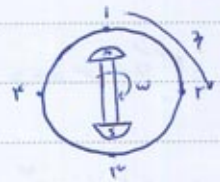
$V_R = V_{Rm} \cos \omega t = \sqrt{2}\, |V_R| \cos \omega t$

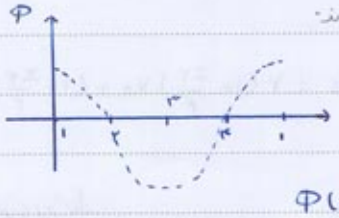
V_{x1} تابع زمان و مکان $\Leftarrow$ V_R تابع زمان

اصطلاحاً به آن موج سیار می‌گویند.

اگر x و t را با هم در نظر بگیریم یک موج سینوسی که در زمان حرکت می‌کند.

مثال)





در داخل استاتور شاری که داریم تقریباً سینوسی است

و تابع مکان است.

$\Phi(x) = \Phi_{max} \sin \beta x$

تغییرات شار در واحد طول

حالا روتور را می‌چرخانیم (با سرعت ω) : حالا شاری که خواهیم داشت یک موج سینوسی است که تابع زمان هم شده است: (انگار یک سینوسی داریم که دارد حرکت می‌کند ← حوزهٔ دوّار) ← موج سیّار

$\Phi(x,t) = \Phi_m \sin(\beta x + \omega t)$

آیا در اینجا داریم:

$V_x = V_{x1} + V_{x2}$ $\qquad$ $\gamma = \alpha + j\beta$

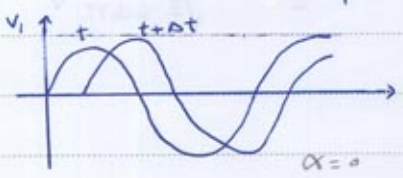
$$V_1(x,t) = Re\left[\sqrt{2} \left| \frac{V_R + Z_c I_R}{2} \right| e^{\alpha x} e^{j\beta x} e^{j\omega t}\right]$$

$= K e^{\alpha x} \cos(\beta x + \omega t)$

$$V_1(x,t) = \sqrt{2} \left| \frac{V_R + Z_c I_R}{2} \right| e^{\alpha x} \cos(\beta x + \omega t + \Phi)$$

اگر در آن واحد به نقاط مختلف خط نگاه کنیم

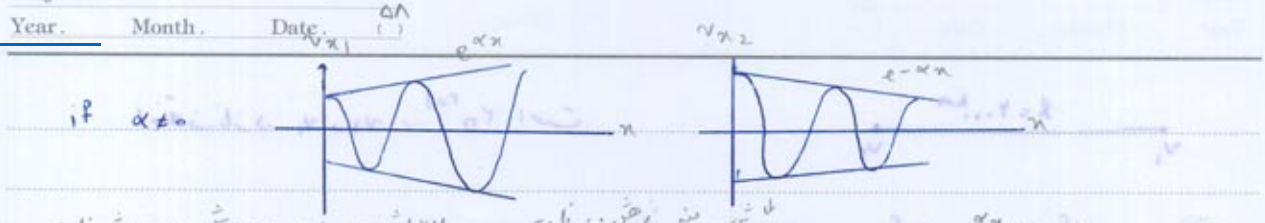
و تأخیرهای متفاوت خواهیم دید.



و تأخیر هر نقطه برای هر لحظه متفاوت خواهد بود.

Subject:

Year. Month. Date.



if $\alpha \neq 0$

با افزایش x: دامنه V_{x1} افزایش، نامیرا می‌شود

با افزایش x: دامنه V_{x2} کاهش، نامیرا می‌شود

اگر $\alpha \neq 0$ پوش منفی $e^{\alpha x}$ خواهد بود.

اگر $\alpha = 0$ باشد در این صورت پوش در خط افقی می‌شود.

بین موج رفت و برگشت ولتاژ و هم‌چنین بین موج رفت ولتاژ و موج رفت جریان نیز ارتباط وجود دارد.

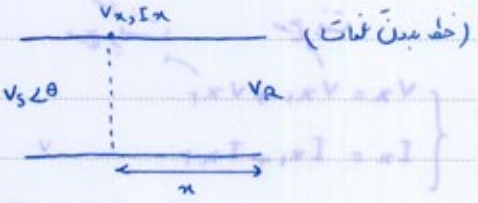
شکل بالا نشان می‌دهد که در خط دو موج در حال رفت و برگشت داریم که ولتاژ در هر نقطه برابر مجموع این دو موج می‌باشد.

$V_x = V_{x1} + V_{x2}$

* امواج سیار: (travelling Wave)

$$V_x = \frac{V_R + Z_C I_R}{2} e^{\gamma x} + \frac{V_R - Z_C I_R}{2} e^{-\gamma x}$$

$$I_x = \frac{V_R + Z_C I_R}{2Z_C} e^{\gamma x} - \frac{V_R - Z_C I_R}{2Z_C} e^{-\gamma x}$$



$$Z_C = \sqrt{\frac{z}{y}} \xrightarrow[\text{بدون تلفات}]{\text{تقریب}} Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\gamma = \sqrt{Z \cdot Y} = \alpha + j\beta \xrightarrow{\text{بدون تلفات}} \gamma = j\beta = j\omega\sqrt{LC}$$

α: ثابت تضعیف، β: ثابت فاز

$$\gamma = j\sqrt{L\omega \cdot C\omega} = j\omega\sqrt{LC} \qquad \beta = \omega\sqrt{LC} = 2\pi f\sqrt{LC}$$

در هر نقطه V تابع مکان و زمان است.

$\theta = \beta x$ (rad, rad/m) اختلاف فاز مکانی

$\beta = \omega\sqrt{LC}$

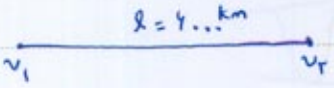
طول موج: طولی از خط که اختلاف فاز در ابتدا و انتهای آن به اندازه 2π باشد. $2\pi = \beta\lambda$ طول موج

$\lambda = \frac{2\pi}{\beta}$

سرعت انتشار $V = f \cdot \lambda$

$$3 \times 10^8 = 50\lambda \Rightarrow \lambda = 6000 \text{ km}$$

PqPCO



اختلاف فاز در v_1 و v_2، $2\pi^{rad}$ است

سرعت انتشار $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

$v = \frac{f \times 2\pi}{\beta} = \frac{2\pi f}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

* اگر هادی‌ها در خلأ باشد $\mu \to \mu_0$ ، $\varepsilon \to \varepsilon_0$ و $\varepsilon_r \mu_r$

$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln\frac{D}{r}$ $\quad C = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}}$

در نتیجه سرعت کم می‌شود.

$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 10^{-7} \times 8.85 \times 10^{-12}}} \simeq 3 \times 10^8 \ m/s$

* همین است مشخصه اصلی $\sqrt{\frac{L}{C}}$ را با ید هند و با توجه به رابطه سرعت انتشار که می‌دانیم L و C را می‌خواهند.

* دیاگرام لاتیس : Latice Diagram

موج رفت — موج برگشت

ولتاژ در هر نقطه جمع دو ولتاژ است.

$$\begin{cases} V_x = V_{x1} + V_{x2} \\ I_x = I_{x1} + I_{x2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_R = V_{R1} + V_{R2} \\ I_R = I_{R1} + I_{R2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_x = \left(\frac{V_R + Z_C I_R}{2}\right) e^{\gamma x} + \left(\frac{V_R - Z_C I_R}{2}\right) e^{-\gamma x} \\ I_x = \left(\frac{V_R + Z_C I_R}{2Z_C}\right) e^{\gamma x} - \left(\frac{V_R - Z_C I_R}{2Z_C}\right) e^{-\gamma x} \end{cases}$$

با توجه به شباهت V_{x1} و V_{x2} می‌خواهیم رشته‌ای پیدا کنیم که از روی V_{x1} ولتاژ V_{x2} را محاسبه کنیم. $V_{x2} = k_R V_{x1}$ ضریب انعکاس

داریم:

$\frac{V_{x1}}{Z_C} = I_{x1} \longrightarrow \frac{V_{x1}}{I_{x1}} = Z_C$

$\frac{-V_{x2}}{Z_C} = I_{x2} \longrightarrow \frac{-V_{x2}}{I_{x2}} = Z_C$

$\frac{V_R}{I_R} = Z_R$ $\qquad \frac{V_{R1} + V_{R2}}{I_{R1} + I_{R2}} = Z_R \longrightarrow \frac{V_{R1} + V_{R2}}{\frac{V_{R1}}{Z_C} - \frac{V_{R2}}{Z_C}} = Z_R$

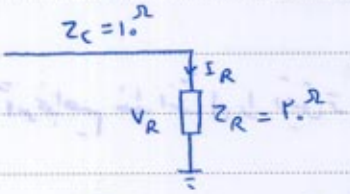
PAPCO

$$\rightarrow \frac{V_{R1}+V_{R2}}{V_{R1}-V_{R2}} = \frac{Z_R}{Z_C}$$

$$\frac{2V_{R1}}{2V_{R2}} = \frac{Z_R+Z_C}{Z_R-Z_C} \Rightarrow V_{R2} = \underbrace{\left(\frac{Z_R-Z_C}{Z_R+Z_C}\right)}_{k_R} V_{R1} \rightarrow V_{x2} = \underbrace{k_R}_{\text{ضریب انعکاس}} V_{x1}$$

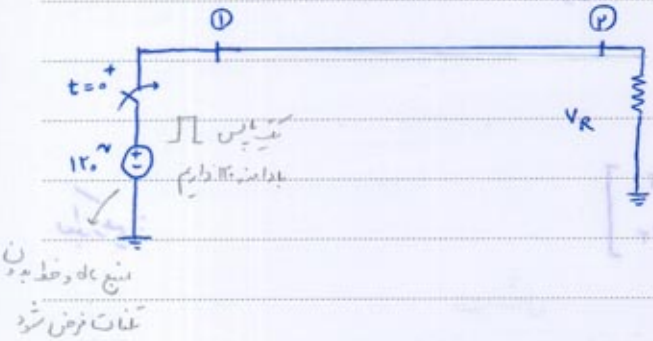
این روش مناسب برای بدست آوردن ولتاژ گذرا است.

مثال)



$$\Rightarrow k_R = \frac{20-10}{20+10} = \frac{1}{3}$$

مثال) کابلی با امپدانس مشخصه 30Ω مفروض است. ولتاژ انتهای خط را در لحظه زمانی $V_R(0,5T)$ بدست آورید.



منبع dc و خط بدون تلفات فرض شود

T: مدت زمانی که موج طول خط را طی می‌کند.

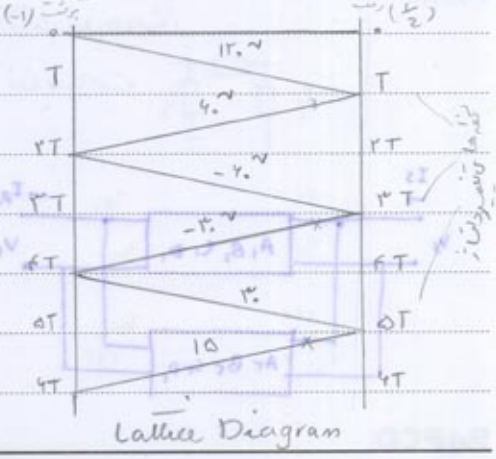
* اگر منبع ac داشتیم می‌بایست به تعداد منبع dc تبدیل می‌کردیم و برای هر یک جوابی را بدست می‌آوردیم.

بعد از T ثانیه موج رفت از ① به ② می‌رسد.

ضریب انعکاس رفت $k_{R1} = \frac{Z_R-Z_C}{Z_R+Z_C} = \frac{90-30}{90+30} = \frac{60}{120} = \frac{1}{2}$

ضریب انعکاس برگشت $k_{R2} = \frac{0-30}{0+30} = -1$ (انعکاس منبع)

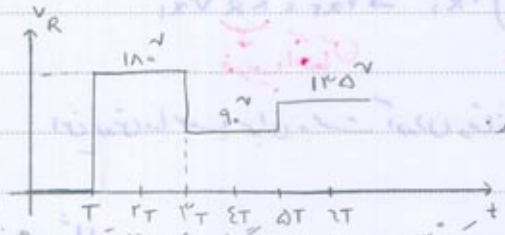
← دیاگرام مناسب برای بررسی حالت گذرا



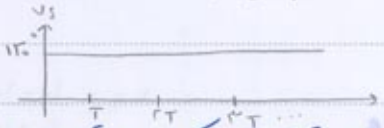
Subject:
Year. Month. Date. (۶۱)

در $t=0$ در انتهای خط ولتاژ صفر است چون T تا به آنجا طول می‌کشد ولتاژ به انتهای خط برسد.

ولتاژ در هر لحظه: $V_R = V_{R1} + V_{R2}$

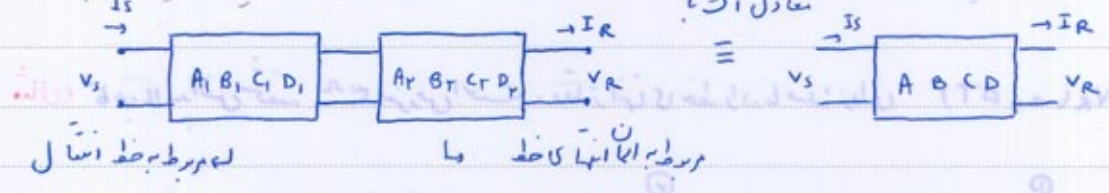


اگر می‌گفت ولتاژ ابتدای خط را رسم کنید برای همه زمان‌ها ۱۲۰ می‌شد.



تا لحظه $t=T$ که ۱۲۰ داریم چون موجی به گذشته تا ابتدای خط طول ۲T نخواهد

! اگر بخواهیم خط انتقال را دقیق‌تر مدل کنیم با دو تا مدار معادل مدل کنیم. ۱۲۰ داریم برای ۲T بعدی ۶۰ می‌آید ۶۰ ـ پس باز هم ۱۲۰ داریم و همین‌طور می‌رود.

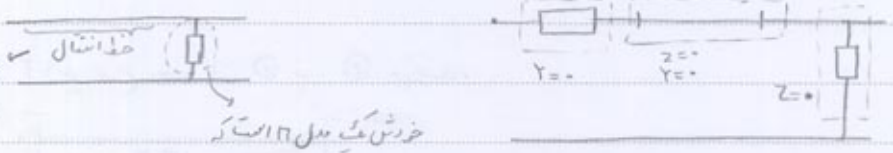


مربوط به ابتدای خط — مربوط به انتهای خط

باهم سری شده‌اند

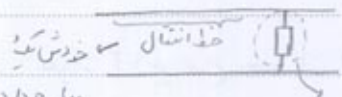
$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix}$$

بعد رعیه:

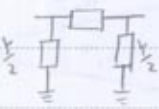


مثال:

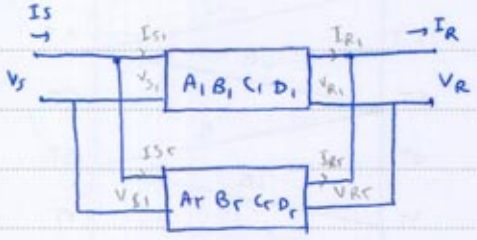
۳ مدل Π → برای پیدا کردن معادل، ۳ تا را در هم ضرب می‌شوند.



خودش یک مدل Π است که z آن ممانعت است



* اگر باهم موازی شده باشند:



تمرین) معادل را بدست آورده اگر دو خط مشابه باشند چه اتفاقی برای A B C D می‌افتد؟

معادل است با

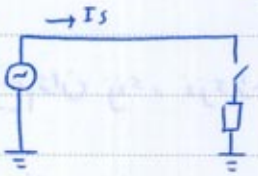
$$A = \frac{A_1 B_2}{B_1 + B_2} \qquad B = \frac{B_1 B_2}{B_1 + B_2}$$

$$C = C_1 + C_2 = \frac{(A_1 - A_2)(D_2 - D_1)}{B_1 + B_2}$$

$$D = \frac{B_2 D_1 + B_1 D_2}{B_1 + B_2}$$

* برای دو خط کفشان z ها نصف و y ها دو برابر می‌شود.

* جریان بارگیری (جریان شارژ خط): جریانی که از منبع وارد خط می‌شود وقتی بار صفر است.



$$V_S = A V_R + B I_R \xrightarrow{I_R = 0} V_S = A V_R$$
$$I_S = C V_R + D I_R \xrightarrow{I_R = 0} I_S = C V_R$$

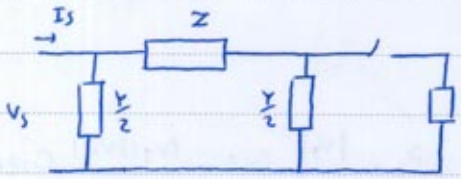
I_S وقتی I_R صفر باشد.

$$I_S = \frac{C}{A} V_S$$

جریان بارگیری

خط کوتاه → $I_S = 0$ چون خازن نداریم ($I_R = I_S$ چون $C = 0$)

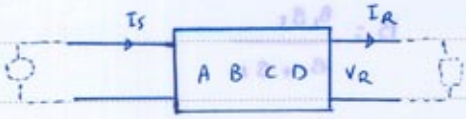
خط متوسط → $A = 1 + \frac{ZY}{2} \qquad C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$

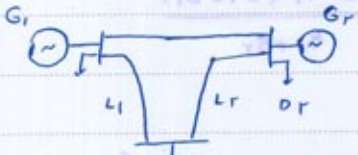


$$\begin{cases} V_S = \left(1 + \frac{ZY}{2}\right) V_R \\ I_S = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right) V_R \end{cases}$$

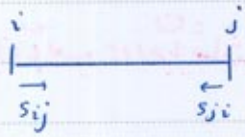
$$I_S = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right) \frac{1}{\left(1 + \frac{ZY}{2}\right)} V_S$$

توان عبوری از خط انتقال:



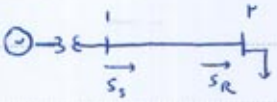


در این شبکه قدرت تولیدی از توان توسط D_2 مصرف می‌شود و قدرت در L_2 مصرف می‌شود همیشه به D_3 توان وارد می‌شود. برای همین بهتر است همیشه توان تزریقی



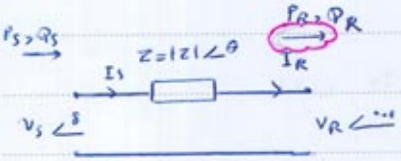
حساب کنیم. پس مثلاً در شکل زیر:

می‌خواهیم توان S_{ij} و S_{ji} را حساب می‌کنیم که منفی بدست می‌آید.



در این شکل خط کوتاه است پس معلوم است که توان از کجا وارد و تزریق می‌شود.

محاسبه S_S و S_R برحسب پارامترهای خط یعنی A B C D.



خط کوتاه:

$$S_S = V_S \cdot I_S^* \qquad S_R = V_R \cdot I_R^*$$

می‌خواهیم رابطه‌ای برحسب توان‌های S_S و S_R بدست آوریم که فقط برحسب ولتاژها باشد و نیازی به جریان نداشته باشیم.

$$I_S = I_R = \frac{|V_S|\angle\delta - |V_R|\angle 0^\circ}{|Z|\angle\theta}$$

$$S_S = P_S + jQ_S \qquad S_R = P_R + jQ_R$$

$$S_S = |V_S|\angle\delta \left(\frac{|V_S|\angle\delta - |V_R|\angle 0^\circ}{|Z|\angle\theta}\right)^*$$

توان اکتیو و راکتیوی که منبع وارد خط می‌کند

$$\begin{cases} P_S = \dfrac{|V_S|^2}{|Z|}\cos\theta - \dfrac{|V_S||V_R|}{|Z|}\cos(\theta+\delta) \\ Q_S = \dfrac{|V_S|^2}{|Z|}\sin\theta - \dfrac{|V_S||V_R|}{|Z|}\sin(\theta+\delta) \end{cases}$$

$$S_R = |V_R|\angle 0^\circ \left(\frac{|V_S|\angle\delta - |V_R|\angle 0^\circ}{|Z|\angle\theta}\right)^* \Rightarrow \begin{cases} P_R = \dfrac{|V_S||V_R|}{Z}\cos(\theta-\delta) - \dfrac{|V_R|^2}{|Z|}\cos\theta \\ Q_R = \dfrac{|V_S||V_R|}{|Z|}\sin(\theta-\delta) - \dfrac{|V_R|^2}{|Z|}\sin\theta \end{cases}$$

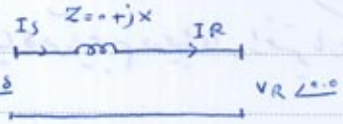
توان اکتیو و راکتیو بار

PAPCO

$\Delta P = R|I|^2$ توان اکتیو مصرفی خط

$\Delta Q = X|I|^2$ توان راکتیو مصرفی خط

$P_S - P_R = \Delta P \rightarrow P_S +$ توان تزریقی $= \Delta P$

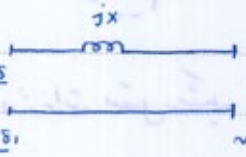


خط کوتاه با صرف نظر کردن از مقاومت اهمی : $R = 0$

$$P_S = \frac{|V_S|^2}{X}\cos 90^\circ - \frac{|V_S||V_R|}{X}\overbrace{\cos(90+\delta)}^{-\sin\delta}$$

$$\begin{cases} P_S = \dfrac{|V_S||V_R|}{X}\sin\delta \\ P_R = \dfrac{|V_S||V_R|}{X}\sin\delta \end{cases} \qquad P_S = P_R = P = \frac{|V_S||V_R|}{X}\sin\delta$$

$$\begin{cases} Q_S = \dfrac{|V_S|^2}{X} - \dfrac{|V_S||V_R|}{X}\cos\delta \\ Q_R = \dfrac{|V_S||V_R|}{X}\cos\delta - \dfrac{|V_R|^2}{X} \end{cases}$$



$\delta_{12} = \delta_1 - \delta_2$ $\qquad P = \frac{|V_1||V_2|}{X}\sin\delta \simeq \frac{|V|^2}{X}\sin\delta$

بنابراین توانی (اکتیو) که از خط عبور می‌کند تابع موارد زیر است :

۱) ولتاژ ← رابطه مستقیم ، به همین دلیل بیشتر از خطوط طولانی استفاده می‌شود تا توان انتقالی زیادتر شود چون ولتاژ بالاتری دارند ← خطی

۲) رکتانس خط ← رابطه عکوس ، به همین دلیل وقتی باندل می‌کنیم یا در خط انتقال خازن سری می‌گذاریم X کاهش می‌یابد و لذا توان انتقالی افزایش می‌یابد. هرچه قدر خط طولانی‌تر شود چون X بیشتر می‌شود توان انتقالی خط کاهش می‌یابد.

به همین دلیل عموماً در خطوط طولانی هم همیشه از خازن سری استفاده می‌شود تا توان انتقالی خط افزایش یابد.

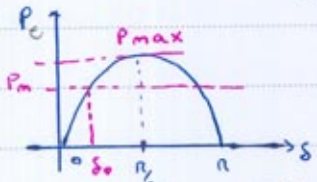
PdPCO

$X_{eff} = X_L - X_C$

۲) اختلاف فاز - رابطه سینوسی (رابطه غیرخطی) هرچه قدر δ افزایش یابد با ثابت ماندن x توان انتقالی خط افزایش می‌یابد.

عموماً برای افزایش توان انتقالی خط ما تا دیم فقط δ را تغییر دهیم چون x و V ثابت هستند مثلاً در یک ژنراتور برا

افزایش δ می‌آییم دریچه بخار را بیشتر باز می‌کنیم. آمار رابطه غیرخطی است: $P = K \sin\delta \qquad K = \frac{|V_1||V_2|}{x}$



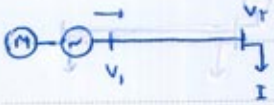
P_m = توان مکانیکی که توربین وارد می‌کند. باید با توان الکتریکی برابر باشد = محل تلاقی نقطه δ_0

اگر بخواهیم توان خط افزایش یابد باید توان مکانیکی افزایش یابد. δ افزایش.

$\delta = \pi/2 \Rightarrow P_{max} = \frac{|V|^2}{x}$

انواع ژنراتور: ۱) ژنراتور ایزوله ۲) ژنراتور متصل به شبکه سراسری

۱) در ژنراتور ایزوله برای تغییر توان انتقالی خط بار را تغییر می‌دهیم تا ولتاژ V_2 تغییر کند.

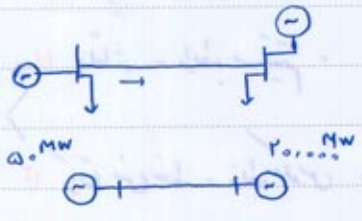


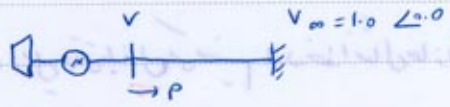
اصطلاحاً می‌گوییم ولتاژ V_2 کنترل شده نیست. با کاهش بار V_2 کاهش می‌یابد.

۲) آمار در ژنراتور متصل به شبکه ولتاژ V_2 و ولتاژ V_1 ثابت هستند. بنابراین افت ولت ثابت است.

در حالت معادل: ژنراتور وصل می‌شود به شبکه که معادل است با یک باس معادل تونن. که امپدانس داخلی آن صفر است.

پس توان که به آن وارد شود تغییری نمی‌کند.





اگر بخواهد بپرسد که آیا باید توان انتقالی خط افزایش یابد این را از روی فرکانس می‌فهمد. اگر خط توان انتقالی آن از محدوده بازه

مورد نظر کم شود فرکانس کم می‌شود پس اگر فرکانس کم شد دریچه توربین بخار را بیشتر باز می‌کند تا توان افزایش یابد.

که تغییرات با تنظیم δ انجام می‌شود.

در نمودار با افزایش توان مکانیکی ، افزایش یافته ولذا توان انتقالی خط افزایش می یابد. که مقدار ماکسیمم این توان مکانیکی در $\frac{\pi}{2}$ اتفاق می افتد. اگر توان مکانیکی از این مقدار فراتر رود توان الکتریکی از توان مکانیکی کمتر می شود پس $P_{acc} > 0$ می شود و روتور شتاب می گیرد.

$$P_{acc} = P_m - P_e \quad \text{if} \quad P_m > P_e \Rightarrow P_{acc} > 0$$

اگر از $\delta = \frac{\pi}{2}$ بیشتر شود ژنراتور ناپایدار می شود پس به $\delta = \frac{\pi}{2}$ حد پایداری (Stability limit) می گوییم.

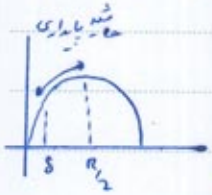
پس ماکسیمم توان مکانیکی که می توان از ژنراتور گرفت در $\delta = \frac{\pi}{2}$ می باشد. ← ماکسیمم توانی که می توان از خط عبور داد تا پایدار بماند.

این برای توان اکتیو بود حالا می آییم ببینیم که در مورد توان راکتیو چه اتفاقی می افتد.

$$Q_S = \frac{|V_S|^2}{X} - \frac{|V_S||V_R|}{X}\cos\delta \qquad \text{توان راکتیو ابتدای خط}$$

$$Q_S = \frac{|V_S|}{X}\left(|V_S| - |V_R|\cos\delta\right)$$

در خطوط انتقال سعی می شود که δ کوچک باشد : عیب : توان انتقالی خط کاهش می یابد. حسن : ژنراتور باید در δ کوچک پایدار باشد تا پایدار بماند کار کند. بنابراین هرچه از $\delta = \frac{\pi}{2}$ دورتر شویم حاشیه پایداری بیشتری داریم و بهتر است.



بنابراین $\cos\delta_0 \simeq 1$ در نظر می گیریم بنابراین :

$$Q_S = \frac{|V_S|}{X}\left(|V_S| - |V_R|\right) \qquad \left(|V_S| > |V_R|\cos\delta\right) \rightarrow Q_S > 0$$

if $|V_S| > |V_R|$ ⇒ توان راکتیو وارد خط می شود (به شبکه توان راکتیو می دهد)

if $|V_S| = |V_R|$ ⇒ توان راکتیو وارد خط نمی شود (از شبکه جذب هم نمی کند)

if $|V_S| < |V_R|$ ⇒ از شبکه توان راکتیو جذب می کند

* پس توان انتقالی خط تابع موارد زیر است : ۱) اندازه ولتاژ : برای تنظیم ولتاژ باید جریان تحریک مدار را تنظیم کنیم. (V_R را نمی توانیم تنظیم کنیم)

Subject:
Year. Month. Date. ۴۷

$V_R \downarrow$ Q_S

ژنراتور از دوی ولتاژی نمی‌دهد که توان راکتیو شبکه تغییر کرده، چون اگر توان راکتیو شبکه افزایش یابد ولتاژ ترمینال آن کاهش می‌یابد.

* توان اکتیو در بهره برداری رابطه‌ٔ تنگاتنگی با δ دارد: $P \longrightarrow \delta$

$P = f(\delta, |V|)$ ← رابطه قوی

در مورد توان راکتیو، رابطه قوی با $|V|$ ولتاژ دارد: $Q \longrightarrow |V|$

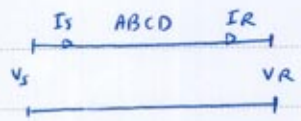
$Q = f(\delta, |V|)$

به همین دلیل عمدتاً دقت صحبت از تغییر ولتاژ است توان راکتیو مطرح می‌شود. کنترل توان راکتیو ⟷ کنترل دامنه ولتاژ

۲) اختلاف فاز یعنی δ که این رابطه، رابطه‌ٔ ضعیفی است.

$$S_1 = V_1 I^* = \left(\frac{V_1 \angle \delta - V_2 \angle 0}{X \angle 90}\right)^* V_1$$

* حالا می‌خواهیم در حالت کلی توان عبوری از خط انتقال را بدست آوریم:



$S_S = V_S \cdot I_S^*$

$A = |A| \angle \alpha \qquad B = |B| \angle \beta \qquad D = |D| \angle \alpha \qquad V_S = |V_S| \angle \delta \qquad V_R = |V_R| \angle 0.0$

$$\begin{cases} V_S = AV_R + BI_R \\ I_S = CV_R + DI_R \end{cases}$$

$S_R = V_R I_R^*$

$$I_R = \frac{V_S - AV_R}{B} = \frac{|V_S|\angle\delta - |A||V_R|\angle\alpha}{|B|\angle\beta}$$

$$S_R = |V_R|\angle 0.0 \left(\frac{|V_S|\angle\delta - |A||V_R|\angle\alpha}{|B|\angle\beta}\right)^* \rightarrow S_R = |V_R|\angle 0.0 \left(\frac{|V_S|}{|B|}\angle\delta-\beta - \frac{|A||V_R|}{|B|}\angle\alpha-\beta\right)^*$$

$$S_R = |V_R|\angle 0.0 \left(\frac{|V_S|}{|B|}\angle\beta-\delta - \frac{|A||V_R|}{|B|}\angle\beta-\alpha\right)$$

$$S_R = \frac{|V_R||V_S|}{|B|}\angle\beta-\delta - \frac{|A||V_R|^2}{|B|}\angle\beta-\alpha$$

Subject:
Year. Month. Date. ۹۸

$$\begin{cases} P_R = \dfrac{|V_R||V_S|}{|B|}\cos(\beta-\delta) - \dfrac{|A||V_R|^2}{|B|}\cos(\beta-\alpha) \\ Q_R = \dfrac{|V_R||V_S|}{|B|}\sin(\beta-\delta) - \dfrac{|A||V_R|^2}{|B|}\sin(\beta-\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_S = \dfrac{|D|}{|B|}|V_S|^2\cos(\beta-\alpha) - \dfrac{|V_R||V_S|}{|B|}\cos(\beta+\delta) \\ Q_S = \dfrac{|D|}{|B|}|V_S|^2\sin(\beta-\alpha) - \dfrac{|V_R||V_S|}{|B|}\sin(\beta+\delta) \end{cases}$$

توجه: اگر ولتاژها ولتاژ نامی باشند توانها تک نماز و اگر ولتاژها (V_R و V_S) ولتاژ خطی باشند توانها سه نماز.

* در مدل خط کوتاه: $A=D=1 \quad B=|Z|\angle\beta \quad \alpha=0.0$

خط کوتاه:

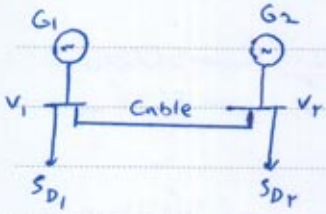
$$P_S = \frac{1}{|Z|}|V_S|^2\cos\beta - \frac{|V_R||V_S|}{|Z|}\cos(\beta+\delta)$$

در خط کوتاه بدون تلفات: $R=0.0 \quad Z=jX=\underbrace{|X|}_{|Z|}\underbrace{\angle 90^\circ}_{\angle\beta} \quad \beta=90 \quad |Z|=|X|$

خواهیم داشت:

$$P_S = \frac{1}{X}|V_S|^2\cos 90 - \frac{|V_R||V_S|}{|X|}\cos(90+\delta) \rightarrow P_S = \frac{|V_R||V_S|}{X}\sin\delta$$

مثال) دو نیروگاه از طریق کابلی هم متصل اند. دو مصرف کننده D_1 و D_2 با توانهای زیر در محل دو نیروگاه داریم.



$S_{D_1} = 10+j4 \ Pu$

$S_{D_2} = 25+j10 \ Pu$

امپدانس کابل (بدون تلفات): $Z_{line} = 0.0+j0.05 \ Pu$

$|V_1| = |V_2| = 1 \ Pu$

ژنراتور 1 می تواند حداکثر 20 Pu توان حقیقی ایجاد کند. $P_{G_1} = 20 \ Pu$

الف) توان تولیدی نیروگاهها را محاسبه کنید. (S_{G_1} ، S_{G_2})

ب) تعادل توان را در این مدار بررسی کنید.

Subject:
Year. Month. Date. 49

توان اکتیو در تمام خط‌کشان است چون R=0
اما توان راکتیو در ابتدا و انتهای خط‌کشان متفاوت چون X داریم.

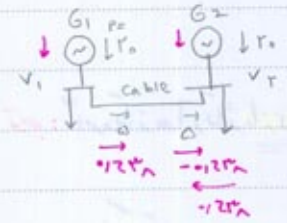
الف و ب)

$S_{G1} = P_{G1} + jQ_{G1}$ $S_{G2} = P_{G2} + jQ_{G2}$ $P_{G1} = 20\ Pu$

$\begin{cases} P_{G1} = 20\ Pu \\ Q_{G1} = ? \end{cases}$ $\begin{cases} P_{G2} = ? \\ Q_{G2} = ? \end{cases}$

$P_{D1} + P_{D2} = 10 + 25 = 40\ Pu$ (خط تلفات ندارد.) برای محاسبه می‌آییم ببینیم این دو ژنراتور چقدر مصرف دارند.

$P_{G2} = 40 - P_{G1} = 40 - 20 = 20\ Pu$



توانی که وارد خطی می‌شود را داریم: چون: توان خط = 0

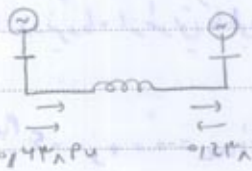
$P_S = \frac{|V_1||V_2|}{X}\sin\delta \Rightarrow \Delta = \frac{1\times1}{0.05}\sin\delta \Rightarrow \delta = 14.5$ لذا:

$Q_1 = \frac{|V_1|^2}{X} - \frac{|V_1||V_2|}{X}\cos\delta = \frac{(1.0)^2}{0.05} - \frac{1.0\times1.0}{0.05}\cos 14.5^\circ = 0.738\ Pu$

$Q_{G1} = 0.738 + 5 = 5.738\ Pu \rightarrow \boxed{S_{G1} = 20 + j5.738\ Pu}$

$Q_2 = \frac{|V_1||V_2|}{X}\cos\delta - \frac{|V_2|^2}{X} \rightarrow Q_2 = -\frac{1.0\times1.0}{0.05} + \frac{(1.0)^2}{0.05}\cos 14.5 = -0.738$

$Q_{G2} = 10 + 0.738 = 10.738\ Pu$ $\boxed{S_{G2} = 20 + j10.738\ Pu}$



هر ژنراتور 0.738 Pu توان راکتیو به خط تزریق می‌کند که سلف مصرف می‌کند.

مقداری از توان را مصرف کننده 1 و مقدار دیگر را مصرف کننده 2 مصرف می‌کنند (چون خط بدون تلفات)

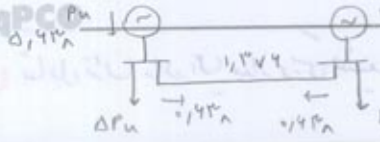
$P_{G1} + P_{G2} = 40\ Pu \rightarrow$

$Q_{G1} + Q_{G2} = 5.738 + 15.738 = 21.476\ Pu$

مقداری از توان راکتیو توسط مصرف کننده 1 و مقداری توسط مصرف کننده 2 مصرف می‌شود و بقیه توسط خط مصرف می‌شود.

توان راکتیو تلفی خط $= 21.476 - (15 + 5) = 1.476\ Pu$

به این مسأله، مسأله پخش توان گوییم. دو ژنراتور توان اکتیو و راکتیو تولید می‌کنند و مصرف کننده‌ها توان اکتیو و راکتیو مصرف می‌کنند.



تعادل توان راکتیو:

Subject:
Year. Month. Date. ۷۰

برای امتحان دستی محاسبه توان راکتیو خط:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{jX} = \frac{1\angle 14.5 - 1\angle 0.0}{0.05\angle 90}$$

$$Q = X|I|^2 \qquad |I|^2 = I \cdot I^* \longrightarrow Q = X|I|^2 = 1.376 \text{ Pu}$$

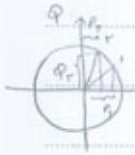
ج) ضریب قدرت توان را محل نیروگاها تعیین کنید.

محاسبه ضریب قدرت (توان) در باسهای ۱ و ۲:

$$\tan\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} = \frac{5.238}{20} \Rightarrow \varphi_1 \longrightarrow \cos\varphi_1 = 0.9643 \quad \text{پس ناز}$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} = \frac{15.238}{20} \Rightarrow \varphi_2 \longrightarrow \cos\varphi_2 = 0.7880 \quad \text{پس ناز}$$

ژنراتورها جریان نسبت به ولتاژ پس فاز از خود توان راکتیو تولید می‌کنند. هرچه زاویه φ بزرگتر شود $\cos\varphi$ کوچکتر شده



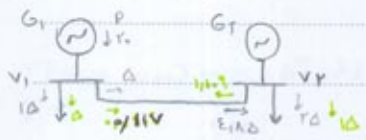
توان اکتیو کمتر و توان راکتیو تولیدی بیشتر می‌شود و این برای نیروگاه خوب نیست چون می‌خواهد توان اکتیو بیشتری تولید کند.

به همین دلیل در نیروگاه برای این که توان اکتیو خروجی پایین نیاید جازن نصب می‌کنند.

تمرین) همین مسأله را حل کنید اگر امپدانس خط: $Z = 0.005 + j\,0.05$ Pu یعنی اینکه خط تلفات داشته باشد.

$$Z = 0.0502\angle 84.28^\circ$$

در اینجا دیگر توان انتهای خط با هم برابر نیست و باید P_R را هم از روی P_S به دست آوریم.



$S_{D1} = 15 + j\,5$ $\quad S_{D2} = 25 + j\,15$

$S_{G1} = P_{G1} + jQ_{G1}$ $\quad S_{G2} = P_{G2} + jQ_{G2}$

$\begin{cases} P_{G1} = 20 \text{ Pu} \\ Q_{G1} = ? \end{cases}$ $\quad \begin{cases} P_{G2} = ? \\ Q_{G2} = ? \end{cases}$

$$P_S = \frac{|V_1|^2}{|Z|}\cos\theta - \frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\cos(\theta+\delta) \Rightarrow \Delta = \frac{(1.0)^2}{0.0502} \times 0.0996 - \frac{(1.0)(1.0)}{0.0502}\cos(84.28+\delta)$$

$$\Rightarrow \Delta = 1.98 - \frac{\cos(84.28+\delta)}{0.0502} \Rightarrow \cos(84.28+\delta) = -0.115 \Rightarrow 84.28+\delta = 98.62 \rightarrow \delta = 14.34$$

$$Q_S = \frac{|V_1|^2}{|Z|}\sin\theta - \frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\sin(\theta+\delta) = \frac{(1.0)^2}{0.0502} \times 0.995 - \frac{(1.0)(1.0)}{0.0502} \times 0.248 = 0.117 \text{ Pu}$$

P4PCO

$$\Rightarrow \quad Q_{G_1} = Q_S + Q_{D_1} = 0.117 + 5 = 5.117 \quad \Rightarrow \boxed{S_{G_1} = 20 + j\,5.117}$$

$$P_R = \frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\cos(\theta - \delta) - \frac{|V_2|^2}{|Z|}\cos\theta$$

$$P_R = \frac{(1.0)(1.0)}{0.052}\cos(88.28 - 87.43) - \frac{(1.0)^2}{0.052}\cos 88.28 = -63.85$$

$$\Rightarrow P_{G_2} = P_R + P_{D_2} = -63.85 + 25 = -38.85$$

$$Q_R = \frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\sin(\theta - \delta) - \frac{|V_2|^2}{|Z|}\sin\theta = \frac{(1.0)(1.0)}{0.052}\sin(88.28 - 87.43) - \frac{(1.0)^2}{0.052}\sin 88.28$$

$$\Rightarrow Q_R = 18.711 - 19.82 = -1.109 \quad \Rightarrow Q_{G_2} = Q_R + Q_{D_2} = 1.109 + 15 = 16.109$$

$$\Rightarrow \boxed{S_{G_2} = 20.15 + j\,16.109}$$

محاسبه توان راکتیو مصرفی خط :

$$Q_{G_1} + Q_{G_2} = 5.117 + 16.109 = 21.129$$

$$\Rightarrow 21.129 - (15 + 5) = 1.129 \text{ pu}$$

ج) ضریب قدرت توان را در محل نیروگاه‌ها محاسبه کنید.

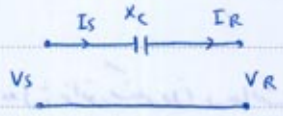
$$\tan\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} = \frac{5.117}{20} = 0.2585 \Rightarrow \varphi_1 = \tan^{-1}(0.2585) = 14.35 \rightarrow \cos\varphi_1 = 0.97$$

$$\tan\varphi_2 = \frac{Q_2}{P_2} = \frac{16.109}{20.15} = 0.799 \Rightarrow \varphi_2 = \tan^{-1}(0.799) = 38.72 \rightarrow \cos\varphi_2 = 0.78$$

Subject:
Year. Month. Date. ۷۲/۱

جبران سازی خطوط انتقال : ۱) جبران سری - خازن ۰ ۲) جبران موازی - خازن یا راکتور

اگر برای جبران سازی یک خازن سری بگذاریم راکتانس آن $X_C = \frac{1}{jC\omega}$ ، حالا می‌خواهیم ببینیم که اگر خازن بگذاریم پارامترها خط چگونه تغییر می‌کنند ؟



$$\begin{cases} V_S = AV_R + BI_R \\ I_S = CV_R + DI_R \end{cases}$$

قبلاً داشتیم $B = Z$ که $Z = R + jL\omega$ ($R + jX_L$) حالا داریم : $Z' = R + j(X_L - X_C)$

$$Z' = R + jX_L\left(1 - \frac{X_C}{X_L}\right)$$

$$X_{eff} = X_L - X_C = X_L\left(1 - X_C/X_L\right)$$

اگر $X_L = 40\,\Omega$ و $X_C = 20\,\Omega = \frac{X_L}{2}$ یعنی ۵۰٪ جبران سازی کرده‌ایم. $Z' = R + \frac{X_L}{2}$ ← ملاک : $\frac{X_C}{X_L}$

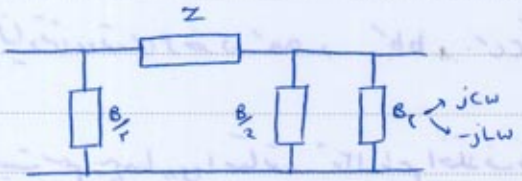
حالا اگر بخواهیم جبران موازی انجام دهیم : (توجه: در حالت قبل جبران سری X خط را تغییر می‌داد)

ابتدا Z جدید را در مسائل بدست می‌آوریم سپس همه مسأله را مثل روال قبل حل می‌کنیم.

درجه جبران سازی یا جبران‌سازی خازن یا راکتانس است. (در جبران موازی اگر بخواهیم با خازن جبران کنیم.) : $k = \frac{B_C}{B}$ ← میزان جبران سازی

اگر بگوییم ۱۰۰٪ جبران سازی $B_C = B$ یا صفر $\Rightarrow$ $B_C = 0$ موسیتانس کل خط (بدون جبران) ($Y = G + jC\omega$)

یا اگر بگوییم ۵۰٪ جبران سازی $B_C = 50\%B$. $B_{eff} = B - B_C = B\left(1 - \frac{B_C}{B}\right)$ (با جبران / بدون جبران)



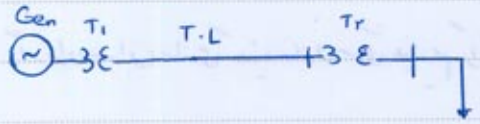
در مدل π : برای محاسبه در حالت جبران سازی :

یک روش این است که B_C موازی با $\frac{B}{2}$ معادل آن را قرار دهیم.

یک روش دیگر این است که مدل π نامی با پارامترها A ، B ، C و D را در نظر می‌گیریم B_C موازی آن شده. $D_2 < B_2 > A_2$

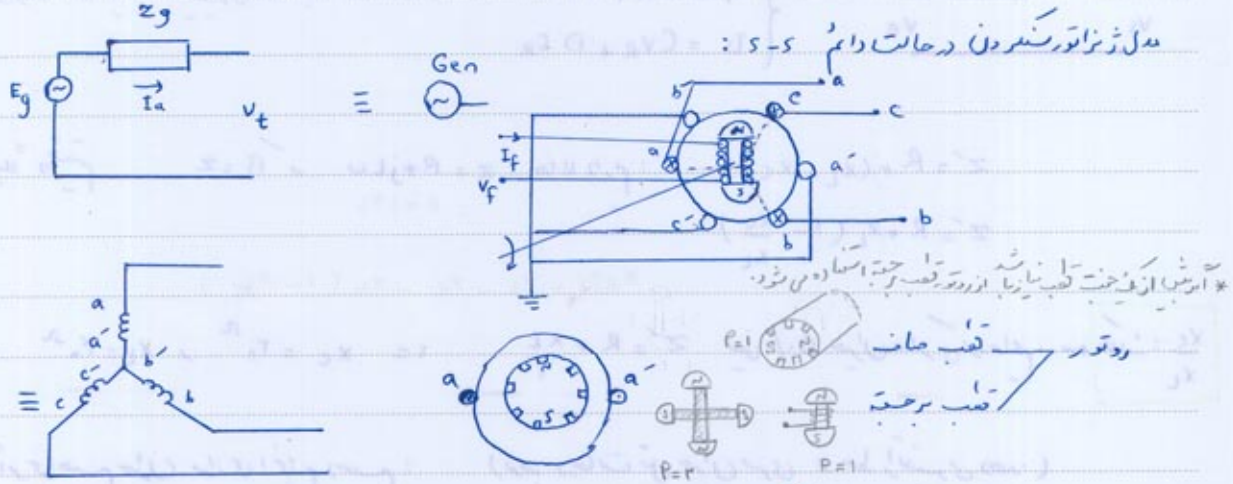
Subject:
Year. Month. Date. ۷۳

فصل ۶ : مدلسازی ژنراتور سنکرون - ترانسفورماتور - بارهای مصرفی (مدلسازی سیستم قدرت)



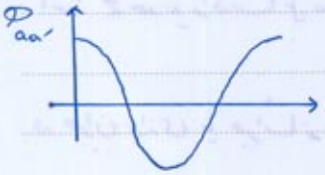
ژنراتور سنکرون دارای سرعت ثابت است - ژنراتور مورد بررسی ما در این درس دارای سه کلاف و ۶ شیار (از ۳ سه کلاف) روی استاتور است.

مدل ژنراتور سنکرون در حالت دائم S-S :



* آرمیچر از نوع قطب ناصاف یا برجسته استفاده می شود.

روتور دقتی می چرخد شار aa' تغییر می کند بنابراین هادی aa' یک شار سینوسی می بیند یعنی شار پیوست هادی aa'



یک شار سینوسی است.

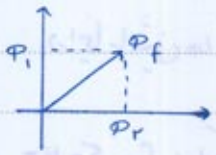
$$e_{aa'} = \frac{d\Phi_{aa'}}{dt}$$

$$e_{aa'} = e_m \sin \omega t$$

$$e_{bb'} = e_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \qquad e_{cc'} = e_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$$

دقتی روتور 120° بچرخد در bb' یک دقتاژ سینوسی ایجاد می کند.

بنابراین دقتی روتور می چرخد در aa' و bb' و cc' یک شار ایجاد می کند. این اختلاف فاز به این دلیل است که موقعیت سیم پیچ های روی استاتور 120° با هم اختلاف فاز دارند. روتور قطب صاف است چون ناصافی هوای در هر جا یکسان است در نتیجه این شار موقعیت روتور تغییر نمی دهد اما در روتور به شکل که ناصافی هوای در هر جا یکسان نیست



شار در مسیرهای مختلف مقاومت مغناطیسی متفاوتی می بیند به همین دلیل باید دو مورد تعریف کنیم :

Φ_1 در مسیر آهن است که $R \downarrow$ ، Φ_2 در مسیر هوا است که $R \uparrow$

پس باید ۲ دنا تا تعریف کنیم و محاسبات پیچیده می شود . به همین دلیل در همان ابتدا هر یک از دنا را تعریف می کنیم که در دنا تاثیر ایجاد می کند و در نهایت دنا تاثیرها را با هم جمع می کنیم . (به این روش ساده تر است .)

چرا قطب و صاف و برجسته درست کرده اند ؟ در قطب صاف تعداد سیم پیچی ها محدود است اگر تعداد سیم پیچ را بخواهیم زیاد کنیم باید قطب برجسته درست کنیم . چون در قطب صاف ۲ قطب بیشترین توانیم بگذاریم چون شکل استوانه بهم می ریزد اگر بخواهیم تعداد سیم پیچ ها را زیاد کنیم باید فاصله هوایی را زیاد تر کنیم لذا به بیشتر از ۲ قطب نیاز داریم . بیشتر از ۲ قطب را قطب برجسته می سازند . حال بیشتر از ۲ قطب چرایی خواهیم ؟ چون $e_{aa'} = e_m \sin 2\pi f t$ چون اگر دو قطب را شبیه با هم بکنیم در هر چرخیدن فرکانس $1\,Hz$ ایجاد می شود (چون یک دور هر چرخیدن یک سیکل سینوسی تشکیل می شود .)

هر چه تعداد قطب را زیاد تر کنیم می توانیم تعداد دور را کمتر کنیم .

$$n = \frac{f}{p} \rightarrow N = \frac{f \cdot 60}{P}$$

(N: rpm ، P: زوج قطب)

یعنی با تعداد دور کمتری به همان فرکانس $1\,Hz$ دست می یابیم .

هر چه تعداد قطب ها را بیشتر کنیم می توانیم با تعداد دور کمتری f را ایجاد کنیم .

کاربرد قطب برجسته در هیدروژنراتورها است . اما دور کم و قطب صاف در توربوژنراتورها است . (سرعت زیاد است .)

اگر سرعت بر حد نیاز نباشد می توان از توربوژنراتورهای آبی که سرعت کم است استفاده می شود .

ممکن است ایجاد دور زیاد هزینه زیادی ببرد یا ممکن نبوده ای باشد که دور زیاد ایجاد کند . به همین دلیل تعداد قطب ها را زیاد می کنند .

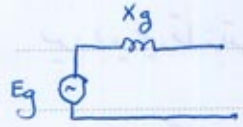
$f = \frac{NP}{60}$ ← زوج قطب ، $f = \frac{NP}{120}$ ← قطب ، $f = \uparrow n P$ ← در ژنراتور ، زوج قطب

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۷۵

در اینجا ماشین هایی که ما بررسی می‌کنیم قطب صاف است. و ۳۰۰۰ rpm می‌چرخد و در دو سر ۹۰ ولتاژی با

$f = 50\,Hz$ ایجاد می‌کند.



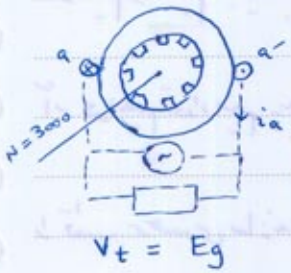
Z_g می‌تواند امپدانس و می‌تواند راکتانس باشد. مثلاً اگر مقاومت اهمی خیلی کم باشد

آنا مقدار Z_g یا X_g چقدر است؟ روی پلاک نامی نوشته شده:

$21\,kV$, $100\,MVA$, $X = 12\%$ → یعنی $Z_g = 0.12\,pu$

آنا مقدار واقعی Z را خواستیم باید تبدیل مبنا انجام دهیم. (یادآوری Z_b)

فرض کنیم ژنراتور با $N = 3000$ می‌چرخد و ولت‌متر را به دو سر ۹۰ می‌زنیم.



$V_t = E_g$

حالا اگر بیاییم و از ژنراتور بارگیری کنیم ژنراتور افت ولتاژ دارد: (به خاطر خاصیت اهمی سیم پیچ)

در حالت بدون بار

در حالت بارگیری:

$$V_t = E_g - R_a I_a - jX_a I_a$$

$$V_t = E_g - \underbrace{(R_a + jX_a)}_{Z_a} I_a$$

امپدانس سیم پیچ استاتور

آنا وقتی از ماشین بارگیری می‌کنیم چون از سیم پیچ استاتور جریان می‌گذرد این جریان عبوری از سیم پیچ دو اطراف

خودش یک میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که باعث می‌شود شار ایجاد شده توسط ژنراتور را کم می‌کند (در خلاف جهت هم)

یعنی خاصیت مقاومتی روتور را کم می‌کند بنابراین ولتاژ باز هم کمتر می‌شود. بنابراین رابطه به صورت زیر در می‌آید:

$e = N\frac{d\phi}{dt}$

$V_t = E_g - Z_a I_a$ — افت ولتاژ ناشی از عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر (۵۷)

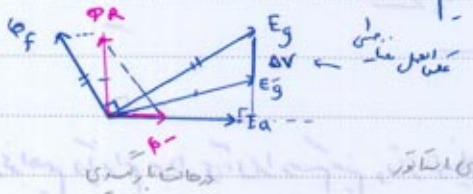
این ΔV تابع موارد زیر است: ۱) نسبت مستقیم با جریان I_a دارد. (که اگر فقط تابع این جریان بودی می‌توانستیم با یک مقاومت معادل کنیم: $\Delta V = RI$ اما اینجا باید بنویسیم که با بردار I_a هم چه رابطه‌ای دارد.)

۲) با جریان I_a اختلاف فاز ۹۰° دارد.

لذا افت ولتاژ ناشی از خاصیت مغناطیسی را می‌توان با یک راکتانس مدل کرد. $\Delta V = X_\phi I_a$

چرا اختلاف فاز ۹۰°؟ وقتی جریانی از روتور عبور کند شاری ایجاد می‌شود که با بندری

چون زاویه ۹۰° دارد. این حالتی است که از ژنراتور با بندری گفته‌ایم.



حالا اگر با بندری کنیم جریان I_a یک شار ϕ ایجاد می‌کند.

شار ناشی از عکس‌العمل مغناطیسی آرمیچر

بنابراین در این حالت شار ϕ_R را داریم یعنی شار کم شده.

پس در حالت بی باری شار ϕ_f نیروی محرکه E_g را ایجاد می‌کند و در حالت با بندری ϕ_R، نیروی محرکه $E_{\acute{g}}$ را ایجاد می‌کند که مقدار آن کوچکتر است چون ϕ_R کمتر است. تفاضل این دو بردار نیروی محرکه، ΔV است. $E_g - E_{\acute{g}} = \Delta V$

هرچه I_a عقب‌تر باشد بردار ϕ عقب‌تر، بردار ϕ_R کوچکتر، بردار $E_{\acute{g}}$ کوچکتر و ΔV بزرگتر می‌شود به همین دلیل

گفتیم که ΔV با I_a نسبت مستقیم دارد.

$V_t = E_g - R_a I_a - j X_a I_a - j X_\phi I_a$

$V_t = E_g - R_a I_a - j (X_a + X_\phi) I_a$

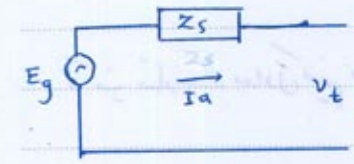
X_s ← راکتانس سنکرون

P4PCO

Subject:
Year. Month. Date.

$$V_t = E_g - R_a I_a - jX_s I_a \rightarrow V_t = E_g - \underbrace{(R_a + jX_s)}_{Z_s} I_a$$

Z_s = امپدانس سنکرون ماشین



ولتاژ ترمینال — برداری فرضی فرضی داخلی — امپدانس سنکرون — برداری اتاتره

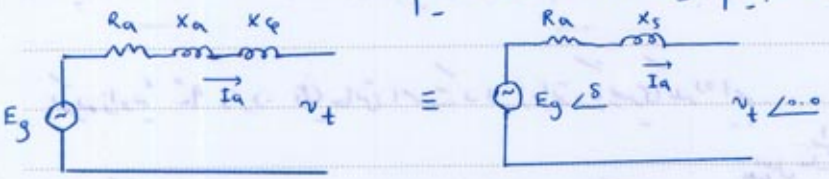
$$V_t = E_g - Z_s I_a$$

بنابراین در حالت کلی:

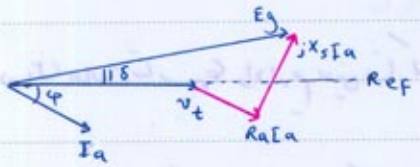
که به آن معادله ماشین سنکرون می‌گویند.

اگر R_a ناچیز باشد طوری که بتوان از آن صرفنظر کرد داریم: $V_t = E_g - jX_s I_a$

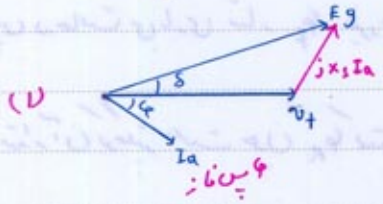
این رابطه برای فاز a بود برای فاز b خواهیم داشت 120° اختلاف فاز دهیم.



اگر خواهیم دیاگرام برداری آن را رسم کنیم ولتاژ ترمینال را مبنا می‌گیریم:

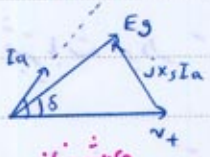


حالا اگر از R_a صرفنظر کنیم خواهیم داشت: $R_a = 0.0$



در این مدار معادل جریان پس فاز است. ممکن است که جریان با ولتاژ هم فاز باشد:

یا اینکه جریان پیش فاز باشد:



بنابراین می‌توان گفت که ژنراتور سه تا مدل کاری دارد. چگونه می‌توان از یک مدل به مدل دیگر رفت؟ ۱) با راکتیو دهیم (نوع)

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۷۸

به حالت (۱) فوق تحریک ، به حالت (۲) تحریک عادی و به حالت (۳) زیر تحریک می‌گوییم.

داریم: $Q = (|Eg|\cos\delta - |V_t|)\times\frac{|V_t|}{X}$ که در حالت (۱) $Q > 0$ تولید (۲) $Q = 0.0$

$Q_R = \frac{|V_R|}{X}(|V_s|\cos\delta - |V_R|)$ ← در حالت با سلفی ← جبران

در حالت (۳) $Q < 0.0$ جذب (مصرف).

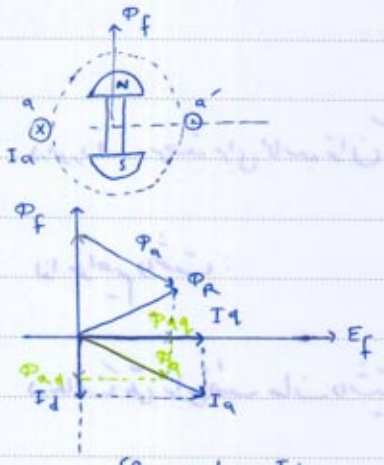
از نظر توان اکتیو: $P = V_t\, I_a \cos\varphi$ که در هر سه حالت مثبت می‌شود.

پس ژنراتور همواره توان اکتیو تولید می‌کند و از نظر توان راکتیو ممکن است تولید کننده یا مصرف کننده دارد که تبعی به بار دارد.

اگر بار سلفی باشد ← فوق تحریک و اگر خازنی باشد ← زیر تحریک.

به یک روش دیگر هم می‌توان توان اکتیو را محاسبه کرد: $P = \frac{|Eg||V_t|}{X}\sin\delta$ که در تمام این حالتها $P > 0$ می‌شود.

مدل‌سازی ژنراتور سنکرون (ادامه)



$\varphi_{ad} = L_d \cdot I_d$

$\varphi_{aq} = L_q \cdot I_q$

برای تبدیل ژنراتور سنکرون به مدار معادل باید به دو قسمت تقسیم کرد:

جریان I_a که از سیم پیچ a عبور می‌کند شار Φ_a را ایجاد می‌کند که مجموع

در تأخیر است. در اینجا I_a با Φ_a با یک زاویه‌ای

ارتباط ندارد. زیرا رلوکتانس در جهت‌های مختلف متفاوت است.

پس جریان را به دو قسمت I_d و I_q تقسیم می‌کنیم که در رلوکتانس‌ها متفاوت Φ های متفاوت می‌دهد. Φ_R شار برآیند است.

همان طور که می‌بینیم $\Phi_R < \Phi_q$ یعنی Φ_{ad} خاصیت ضد مغناطیسی دارد.

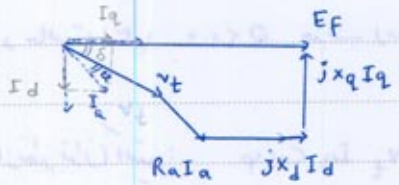
PqPCO

Subject:
Year. Month. Date. ۷۹

$V_t = E_f - R_a I_a - j X_d I_d - j X_q I_q$ روتور با قطب برجسته $X_d \neq X_q$

$V_t = E_f - R_a I_a - j X_s I_a$ روتور با قطب صاف $X_d = X_q = X_s$

حال دیاگرام برداری را رسم می‌کنیم:



راکتانس مربوط به شار عمل سنکرونی یا سنکرون

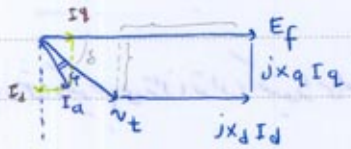
$X_d = X_{\varphi d} + X_L$

$X_q = X_{\varphi q} + X_L$

" دیاگرام برداری ماشین سنکرون با قطب برجسته "

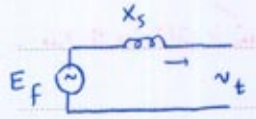
X_φ در راستای محور x و در قطب برجسته یکسان نیست. در قطب صاف داریم: $X_s = X_\varphi + X_L$

اگر از R_a صرفنظر کنیم خواهیم داشت:



$R_a = 0$

برای محاسبه توانها در قطب صاف داشتیم:



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

در مورد قطب برجسته برای محاسبه توان اکتیو باید بیاییم توان اکتیو را در راستای دو محور q و d محاسبه کنیم و با هم جمع کنیم.

لذا خواهیم داشت:

$P = |V_t| \cos\delta \cdot I_q + |V_t| \sin\delta \cdot I_d$ *

در حالت کلی برای قطب صاف داشتیم: $P = |V_t||I_a|\cos\varphi_a$ و چون در این رابطه I_a داشتیم آمدیم این نرمال را داخلی تبدیل کردیم که رابطه را فقط برحسب ولتاژ داشته باشیم و I_a حذف شود.

در مورد قطب برجسته نمی‌توان برای نرمال کلی I_a نوشت چون مقدار I_a در راستا دو محور می‌باشد لذا بصورت * می‌نویسیم.

حالای آیم رابطه را طوری تبدیل می‌کنیم که فقط برحسب ولتاژ باشد:

$$E_f - v_t \cos\delta = X_d \cdot I_d$$

$$I_d = \frac{|E_f| - |v_t|\cos\delta}{X_d} \quad , \quad v_t \sin\delta = x_q I_q \Rightarrow I_q = \frac{|v_t|\sin\delta}{x_q}$$

$$\Rightarrow P = \frac{|v_t|\cos\delta\,|v_t|\sin\delta}{x_q} + |v_t|\sin\delta\left(\frac{|E_f| - |v_t|\cos\delta}{X_d}\right)$$

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

$$\boxed{P = \frac{|v_t||E_f|}{x_d}\sin\delta + \frac{|v_t|^2}{2}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\delta}$$

توان اکتیو قطب برجسته

قبلاً داشتیم:

$$\boxed{P = \frac{|v_t||E_f|}{x_s}\sin\delta}$$

توان اکتیو قطب صاف

برای محاسبه توان راکتیو باز باید توان راکتیو را در راستای دو محور d و q حساب کنیم و از هم کم کنیم. درواقع در مورد توان راکتیو علامت داریم چون در راستای دو محور از هم کم می‌شوند. اما در مورد توان اکتیو چون هر دو توان اکتیو تولید می‌کنند باهم جمع می‌کردیم.

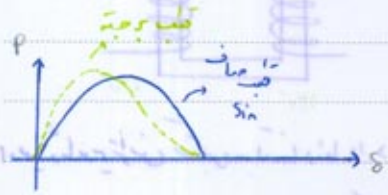
$$Q = |v_t|\cos\delta\, I_d - |v_t|\sin\delta\, I_q$$

باید در جریان عبوری رسم کنیم

سپس I_d و I_q را از فرمول بالا جایگذاری می‌کنیم و یک رابطه‌ای هم برحسب ولتاژها برای توان راکتیو بدست می‌آید.

$$Q = \frac{|v_t|\cos\delta\,(|E_f| - |v_t|\cos\delta)}{X_d} - |v_t|\sin\delta\,\frac{|v_t|\sin\delta}{x_q}$$

$$Q = \frac{|v_t||E_f|}{x_d}\cos\delta - \frac{|v_t|^2}{x_d}\cos^2\delta - \frac{|v_t|^2}{x_q}\sin^2\delta$$



* در قطب صاف این نمودار کاملاً سینوسی است ولی در حالت قطب برجسته مقداری جزئی

از حالت سینوسی خارج می‌شود که این به خاطر اضافه شدن جمله دوم در رابطه P_e بالاست.

PARCO

اما اثر جمله دوم خیلی کم است بنابراین برای سادگی می‌توان از اثر جمله دوم صرفنظر کرد.

* چرا در فرمول های توان سعی می‌کنیم رابطه را برحسب ولتاژها بنویسیم و برحسب جریان نباشه؟

۱) در شبکه های قدرت بدست آوردن ولتاژ ها بسیار آسان است.

۲) ما معمولاً $\cos\varphi$ را نداریم و بدست آوردن آن کار مشکلی است و باید با کار اضافه (که با یم مشخص نیست) دوباره φ را بدست آوردیم.

* مدلسازی ترانسفورماتورهای قدرت:

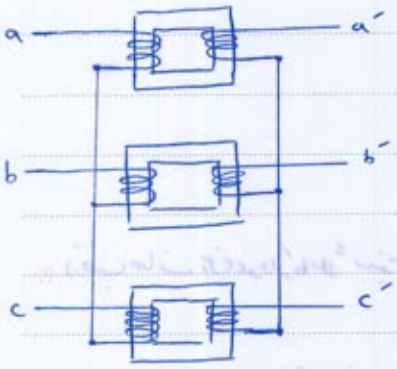
۱) ترانس تک فاز
۲) ترانس های قدرت سه فاز
- معمولی
  - اولیه (۳ سیم پیچ)
  - ثانویه (۳ سیم پیچ)
- سه سیم پیچه
  - اولیه P
  - ثانویه S
  - ثالثیه T

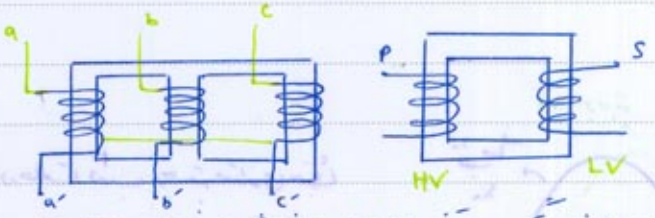
ترانس تک فاز سه سیم پیچه هم می‌توانیم داشته باشیم.

در ترانس معمولی قدرت سه فاز ۶ تا سیم پیچ و در سه سیم پیچه ۹ تا سیم پیچ داریم.

ترانس تک فاز در مراحل توزیع و ترانس های سه فاز در مراحل انتقال و همگی برای تبدیل ولتاژ استفاده می‌شوند.

در درس بررسی ۱ ترانس سه فاز را آماده حالت تک فاز مدل می‌کنیم و بررسی می‌کنیم. می‌دانیم که ما هی از ۳ تا ترانس تک فاز تک ترانس سه فاز درست کنیم. بصورت تقابل: ←





اولیه و ثانویه ترانس شبکه با استاندارد است همیشه ثابت نگه داشته است بهتر است دو طرف را بصورت HV و LV تعیین کنیم.

PdPCO

Subject:
Year Month Date ۸۲

* برای تعیین اینکه کدام سمت HV و کدام سمت LV است : طرفی که سیم نازکتر اما تعداد دور بیشتر است یعنی

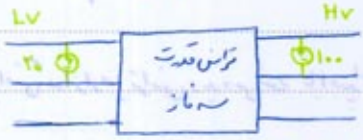
مقاومت بیشتر اما جریان آن کمتر است ← سمت HV است . و برعکس .

$R = \frac{\rho L}{A}$

از روی بوشینگ ترانس هم می‌توان تشخیص داد چون بوشینگ‌های فشار بالا مربوط به طرف HV است و برعکس .

نکته : هرگاه نسبت ترانس قدرت سه فاز $\frac{20}{100}$ یعنی این ولتاژها مربوط به خط هستند . (اصلاً مهم نیست که اتصالشان

مثلث یا ستاره است .) یعنی ولتاژ بین دو فاز (خط) ۲۰ یا ۱۰۰ است .



حال اگر با ۳ ترانس تکفاز یک ترانس سه فاز درست کنیم با مشخصات $\begin{cases} 10^{kv}/5\,kv \\ 10\,kVA \end{cases}$ تکفاز در اینجا حتماً باید گفته شود که

اتصال ستاره یا مثلث است :

$\frac{Y}{Y}$ $\frac{10\sqrt{3}}{5\sqrt{3}}$, 30 kVA

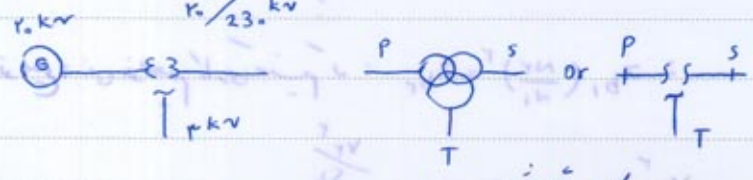
$\frac{Y}{\Delta}$ $\frac{10\sqrt{3}}{5}$, 30 kVA $\qquad \frac{\Delta}{\Delta}$ $\frac{10}{5}$, 30 kVA

در حالت تکفاز نوع اتصال مهم است اما در حالت سه فاز نوع اتصال مهم نیست $\frac{\Delta}{Y}$ $\frac{10}{5\sqrt{3}}$, 30 kVA

* ترانس سه سیم پیچه در چه جاهایی کاربرد دارد ؟

۱) در نیروگاه ولتاژ تولیدی شود برای انتقال باید ولتاژ را افزایش دهیم . و خود نیروگاه نیز به ولتاژ لازم دارد پس به ۲ ترانس نیاز داریم

پس از ترانس ۳ سیم پیچه استفاده می‌کنیم . چنانکه به سطح ولتاژ نزدیک‌تر باشد بهتر است .



بنابراین کار ۲ ترانس را انجام می‌دهد .

نحوه‌ی نمایش

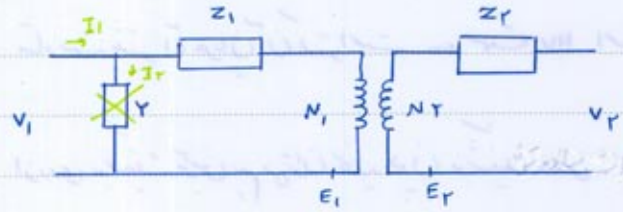
۲) در جاهایی برای جبران سازی به سه سوم ترانس نیاز داریم و از ترانس ۳ سیم پیچه استفاده می‌کنیم .

P4PCO

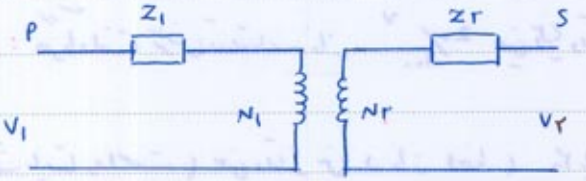
Subject:
Year. Month. Date. ۸۳

* همواره هرگاه خواستیم یک سطح ولتاژ را به یک سطح ولتاژ مقاومت تبدیل کنیم از ترانس سه سیم پیچه استفاده می‌کنیم.

مدار معادل ترانس:



ما در بررسی سیستم‌ها قدرت از شاخه است



صرفنظر می‌کنیم تا محاسبات ساده‌تر شود. بنابراین داریم:

امپدانسی که از اولیه ترانس دیده می‌شود با امپدانسی که از ثانویه ترانس دیده می‌شود مقاومت است.

$$Z_{12} = Z_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2$$

$$\rightarrow Z_{PS} = Z_P + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_S$$

* اگر بتوانیم کاری کنیم که $Z_{12} = Z_1 + Z_2$ بنویسیم خیلی خوب می‌شود زیرا از دو طرف که نگاه کنیم یک مقاومت می‌بینیم و حتی اگر چند ترانس پشت سر هم داشته باشیم راحت آنها را روی هم می‌گذاریم و مقاومت‌ها را با هم جمع می‌کنیم.

این مشکل با پریونیت به راحتی حل می‌شود:

$$Z_{12}^{pu} = \frac{Z_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2}{Z_{b1}} = \frac{Z_1}{Z_{b1}} + \frac{\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 Z_2}{Z_{b1}}$$

$$= \frac{Z_1}{Z_{b1}} + \frac{Z_2}{\underbrace{Z_{b1}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2}_{Z_{b2} = ?}}$$

$$Z_b = \frac{V_b^2}{S_b} \qquad Z_{b1} = \frac{V_{b1}^2}{S_b}$$

$$Z_{12} = Z_1^{pu} + \underbrace{Z_2^{pu}}_{?}$$

توضیح: می‌خواهیم کاری کنیم که: $Z_{b1}\left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = Z_{b2}$:

$$\frac{Z_{b2}}{Z_{b1}} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

$$V_b = V_{b2} = V_2 \rightarrow Z_{b2} = \frac{V_{b2}^2}{S_b} \quad , \quad \frac{Z_{b2}}{Z_{b1}} = \frac{V_2^2/S_b}{V_1^2/S_b}$$

$$\hookrightarrow \frac{Z_{b2}}{Z_{b1}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2$$

PAPCO

Subject :

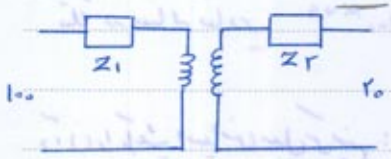
Year Month . Date . ۸۴

لذا اگر امپدانس اولیه را با ولتاژ اولیه پریونیت کنیم و امپدانس ثانویه را با ولتاژ ثانویه پریونیت کنیم، این مشکل حل می‌شود.

یعنی ۲ مبنا برای ولتاژ انتخاب می‌کنیم زیرا نسبت ولتاژها مثل نسبت تعداد دورهاست. و به راحتی داریم:

$$Z_{12}^{Pu} = Z_1^{Pu} + Z_2^{Pu}$$

پس تنها در ترانس زمانی می‌توانیم امپدانس‌ها را با هم جمع کنیم که: ۱) امپدانس‌ها پریونیت باشند در ولتاژ طرف خودشان



۲- این ولتاژهای مبنا نسبتشان با نسبت دورها برابر باشند یعنی:

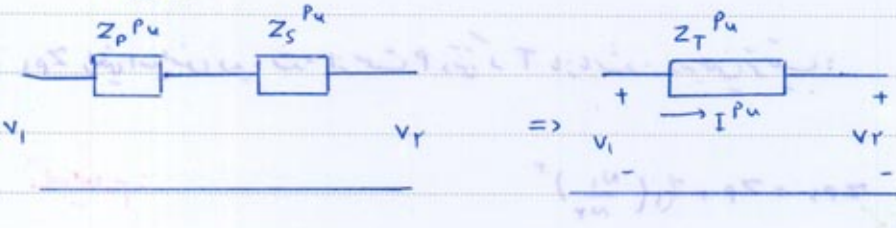
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{100}{20} = 5$$

اگر طرف اولیه را با $V_{b_1} = 50$ پریونیت کردیم طرف ثانویه را حتماً با 10^V پریونیت باید کنیم زیرا $\frac{V_{b1}}{V_{b2}} = \frac{N_1}{N_2}$

باید برقرار باشد. چون:

$$\frac{V_{b1} = 50}{V_{b2} = 10} = 5 \qquad V_{b2} = 10^V$$

* مزیت جمع امپدانس‌ها:



جریان را حساب می‌کنیم این جریان بدست آمده هم در طرف اولیه است هم در طرف ثانویه. یعنی اگر $I^{Pu} = 0.5^{Pu}$ باشد

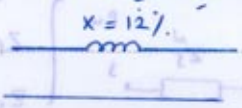
برای جریان واقعی در طرف ثانویه داریم:

$$I_{b1} = \frac{S_b}{V_{b1}} \quad , \quad I_{b2} = \frac{S_b}{V_{b2}}$$

$$I_1^{Pu} = I_2^{Pu} = I^{Pu}$$

$$\frac{I_{1\,\text{واقعی}}}{I_{b1}} = 0.5 \quad , \quad \frac{I_{2\,\text{واقعی}}}{I_{b2}} = 0.5$$

* مدل ترانس می‌تواند مقاومتی باشد که آن را در پلاک ترانس می‌دهند.



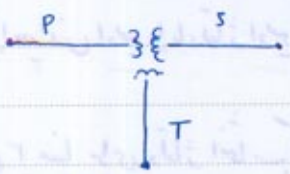
P4PCO

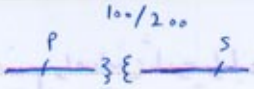
مثال: ترانس

Subject :

Year . Month . Date . ۸۵

ترانس سه سیم پیچ :





$$Z_{pu} = Z_{p\,pu} + Z_{s\,pu}$$

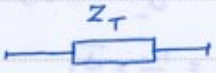
برای پریونیت کردن در ترانس : S_b و $\begin{cases} V_{b1} \\ V_{b2} \end{cases}$ داریم :

$$Z_{b1} = \frac{V_{b1}^2}{S_b} \quad , \quad Z_{b2} = \frac{V_{b2}^2}{S_b}$$

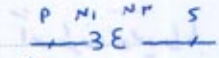
بین V_{b1} و V_{b2} باید نسبت تبدیل برقرار باشد (200 / 100) بهینه است همان مقادیر نامی را برای آنها انتخاب کنیم .

مثلاً در مسأله مقادیر $100\,MVA$ ، 220/132 و $X_T = 12\% = 0.12\,pu$ را می دهند ، Z^{pu} را هم محاسبه می کنیم

و آن را با یک امپدانس مدل می کنیم :



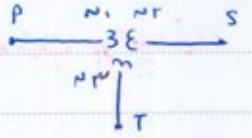
وقتی ترانس سه سیم پیچ باشد سه تا امپدانس باید برای آن تعریف کنیم : مثلاً :



$$\rightarrow \quad Z_{PS} = Z_P + Z_S \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

سه امپدانس عبارتند از : Z_{PS} ، Z_{PT} و Z_{ST}

Z_{PS} یعنی امپدانس دیده شده از سمت P وقتی که T باز باشد . به همین ترتیب :

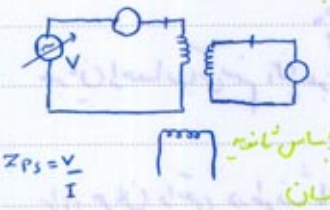


مقادیر معلوم :

$$Z_{PS} = Z_P + Z_S \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$Z_{PT} = Z_P + Z_T \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2$$

$$Z_{ST} = Z_S + Z_T \left(\frac{N_2}{N_3}\right)^2$$



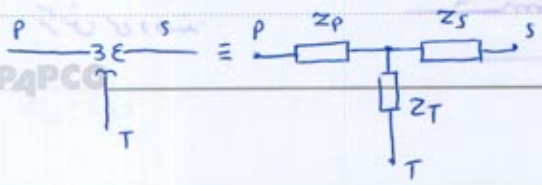
مقادیر مجهول

حالا می خواهیم سه تا معادله را از روابط بالا حذف کنیم . این کار را با روش های ادمیتانسی انجام می دهیم .

لذا در حالت pu داریم :

$$\begin{cases} Z_{PS} = Z_P + Z_S \\ Z_{PT} = Z_P + Z_T \\ Z_{ST} = Z_S + Z_T \end{cases}$$

لذا مدار معادل زیر را داریم :

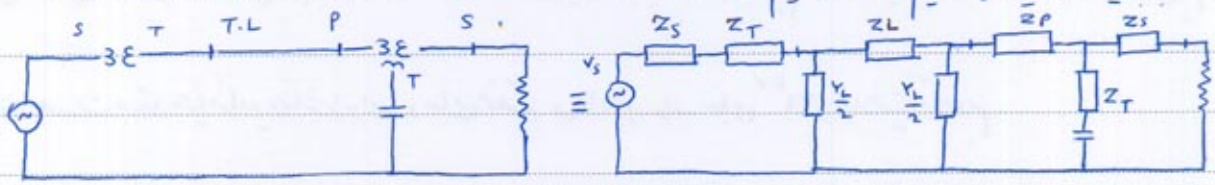


معادلات pu

Subject:
Year. Month. Date. ( )

پس اگر سه تا ترانس داشتیم با ۳ تا اصپدانس موازی می‌کنیم . بعلاوه مقادیر اسپدانس ها حتماً باید پریونیت باشه و شرط براساس ولتاژ اونیه در دوتای اول و براساس ثانویه رعایت شده باشد . (اتصال اسپدانس ها بصورت ستاره)

بنابراین مدار زیر را می‌توانیم مدلسازی کنیم :



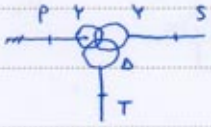
$$Pu\begin{cases} Z_{PS} = Z_P + Z_S \\ Z_{PT} = Z_P + Z_T \\ Z_{ST} = Z_S + Z_T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} Z_P = \frac{1}{2}(Z_{PS} + Z_{PT} - Z_{ST}) \\ Z_S = \frac{1}{2}(Z_{PS} + Z_{ST} - Z_{PT}) \\ Z_T = \frac{1}{2}(Z_{PT} + Z_{ST} - Z_{PS}) \end{cases}$$

معادلات پریونیت

بنابراین (ادامه) داریم :

مثال) یک ترانس سه سیم پیچه دارای مشخصات زیر است :

P : Y 66 kV 15 MVA
S : Y 13.2 kV 10 MVA
T : Δ 2.3 kV 5 MVA



با صرفنظر کردن از مقاومت اهمی راکتانس ترانس بصورت زیر است :

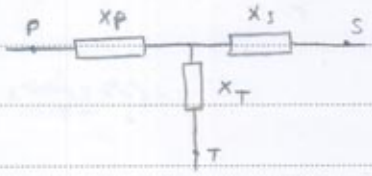
$X_{PS} = 7\%$ $X_{PS} = 0.07^{Pu}$ 15^{MVA} 66^{kV}

$X_{PT} = 9\%$ $X_{PT} = 0.09^{Pu}$ 15^{MVA} 66^{kV}

$X_{ST} = 8\%$ $X_{ST} = 0.08^{Pu}$ 10^{MVA} 13.2^{kV} $\rightarrow X_{ST} = 0.08 \times \frac{15}{10} = 0.12^{Pu}$

$X_{ST} = 0.08 \times \left(\frac{15}{10}\right)\left(\frac{13.2}{13.2}\right)^2$

مدار معادل ترانس را رسم کرده و مقدار X هر طرف ترانس سه سیم پیچ را محاسبه کنید.



ابتدا باید حتماً کنیم که مقادیر X ها در حالت پریونیت هستند یا نه.

اگر در X_{ST} ولتاژ پیم اشتباه برود مثلاً در ولتاژ 3-2 بود باید تغییر مبنای دادیم به این صورت اصلاح می‌کردیم :

$X_{ST} = 0.08 \left(\frac{15}{10}\right)\left(\frac{2.3}{13.2}\right)^2$

PAPCO

Z_P و Z_S و Z_T می‌تواند مقداری منفی هم باشد $X_P = \frac{1}{2}(0.07 + 0.09 - 0.12) = 0.02$

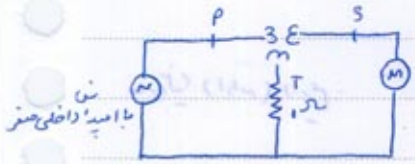
$X_S = \frac{1}{2}(0.07 + 0.12 - 0.09) = 0.05$

$X_T = \frac{1}{2}(0.09 + 0.12 - 0.07) = 0.07$ آما مقدار Z_{PS} ، Z_{PT} و Z_{ST} همواره مثبتند.

پس نکته‌ای که در این گونه مسائل وجود دارد فقط این است که باید مقادیر پریونیت شده باشند و اگر نبود اصلاح کنیم.

اگر درصورت مسئله این مقادیر و مقادیر را برای x های مختلف نمی‌داد پس باید در مبنای 22 kv پریونیت می‌کردیم.

مثال) همین ترانس سه سیم پیچ مثال قبلی بصورت زیر به منبع و موتور سنکرون و مقاومت متصل شده است.



مشخصات مسأله: $13.2\ kv$ ، $7.5\ MVA$ موتور و $P = 5\ MW$ آن مصرف مقاومت

$X_M = 20\%$ موتور

مدار معادل آن را رسم کرده و مقادیر امپدانس ... مدار را برحسب پریونیت روی آن نشان دهید.

(مقادیر مبنا را برای ادامه مسأله انتخاب کنید.) $S_b = 15\ MVA$

$V_b = 66\ kV$

از مسأله قبل داریم: $X_T = 0.07$ $X_S = 0.05^{Pu}$ $X_P = 0.02^{Pu}$

برای هرکدام از وسایل مقادیر مبنا براساس مقادیر ناحیه خود وصل شده است.

$X_M = 0.12^{Pu}$ $\quad 13.2 \quad 7.5$

$X_M \quad 13.2 \quad 15$

$\hookrightarrow X_M = 0.2 \frac{15}{7.5} = 0.4^{Pu}$

و همچنین داریم: $R = 1.0 \frac{15}{5} = 3^{Pu}$

برای محاسبه مقاومت R با توجه به ترانس و ولتاژ: ولتاژ مبنای ناحیه T $Z_b = \frac{(2.3\ kv)^2}{15\ MVA}$ که $\frac{R}{Z_b}$

P4PCO