

بررسی سیستم‌های قدرت ۱

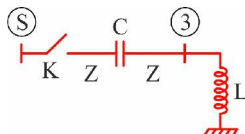
۱. ثابت‌های یک خط انتقال به شرح زیر است:

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} < 5^\circ, B = 100 < 50^\circ \Omega, D = \frac{\sqrt{2}}{2} < 5^\circ, C = 0.001 < 91^\circ S$$

اندازه‌ی ولتاژ خط به خط در ابتدای خط 400kV می‌باشد، در انتهای خط توان اکتیو 3 فاز 800MW با ضریب قدرت 0.8 پیش‌فاز مصرف می‌شود. اگر بخواهیم ولتاژ خط به خط انتهای خط نیز 400kV باشد، مقدار توان راکتیو مصرفی یا تولیدی که باید به انتهای خط اضافه شود، کدام ویژگی را باید داشته باشد؟

- (۱) 200MVar، توان راکتیو تولیدی
(۲) 200MVar، توان راکتیو مصرفی
(۳) 600MVar، توان راکتیو مصرفی
(۴) 600MVar، توان راکتیو تولیدی

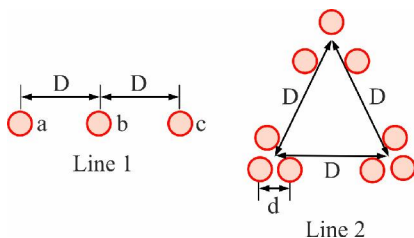
۲. خط انتقال طویل زیر، توسط خازن سری (C) جبران شده است. همچنین جهت کاهش اثر فرانتی، راکتور (L) در انتهای خط نصب شده است. بعد از بستن کلید k یک موج سیار پله‌ای ($u_f = u_0$) در خط منتشر می‌شود. حداکثر دامنه‌ی ولتاژ در انتهای خط در لحظه‌ی رسیدن موج پله به انتهای خط (از انعکاسات از ابتدای خط صرف‌نظر می‌شود). چند ولت است؟



- (۱) صفر
(۲) $2u_0$
(۳) u_0
(۴) $-\frac{u_0}{2}$

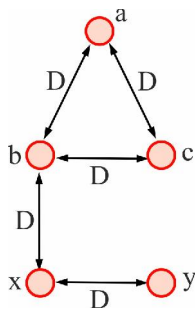
۳. در خطوط انتقال سه فاز 1 و 2، شعاع مؤثر هر هادی D_s می‌باشد. مقدار d چقدر باشد، تا اندوکتانس خطوط

برابر شوند؟



- (۱) $\frac{D_s}{\sqrt{2}}$
(۲) $2D_s$
(۳) $\sqrt{2}D_s$
(۴) برابری اندوکتانس این دو خط ممکن نیست.

۴. در پایین خط انتقال سه فاز a-b-c خط تلفن x-y قرار گرفته است. (شکل زیر) $V_x - V_y$ ناشی از القای الکترواستاتیک خط انتقال بر خط تلفن، چند ولت است؟ قطر تمامی هادی‌ها را برابر r فرض کنید.

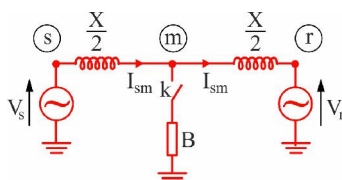


$$\begin{aligned} (1) \quad & \frac{\ln\left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{\ln \frac{D}{r}} (V_c - V_b) \\ (2) \quad & \frac{\ln \sqrt{2}}{\ln \frac{D}{r}} (V_b - V_c) \\ (3) \quad & \frac{\ln \sqrt{2}}{\ln \frac{D}{r}} (V_c - V_b) \\ (4) \quad & \frac{\ln\left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{\ln \frac{D}{r}} (V_b - V_c) \end{aligned}$$

۵. یک خط توزیع، باری با ضریب قدرت واحد را تغذیه می‌کند. این خط دارای مقاومت R و راکتانس X است و از ظرفیت خازنی آن صرف‌نظر می‌شود. اگر ولتاژ انتهای خط برابر $\bar{V}_R = V_R \angle 0$ و ولتاژ ابتدای آن $\bar{V}_s = V_s \angle \delta$ باشد، تنظیم ولتاژ خط انتقال (V_R) بر حسب δ ، کدام است؟

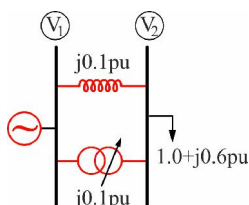
$$\begin{aligned} (1) \quad & V_R = \frac{\frac{R}{X} \sin \delta - \cos \delta}{1 + \cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta} \\ (2) \quad & V_R = \frac{1 + \cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta}{\frac{R}{X} \sin \delta - \cos \delta} \\ (3) \quad & V_R = \frac{1 + \frac{R}{X} \sin \delta - \cos \delta}{\cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta} \\ (4) \quad & V_R = \frac{\cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta}{1 + \frac{R}{X} \sin \delta - \cos \delta} \end{aligned}$$

۶. در سیستم قدرت زیر، داریم: $V_r = V \angle -\frac{\delta}{2}$ و $V_s = V \angle +\frac{\delta}{2}$ در حالی که کلید K باز است توان انتقالی از خط برابر است با P_0 . بعد از بستن کلید K سوسپتانس B وارد مدار می‌شود. در این حالت توان عبوری از خط با همان زوایای ماشین‌ها برابر با P_1 است. مقدار $\frac{P_0}{P_1}$ برابر کدام گزینه است؟



$$\begin{aligned} (1) \quad & \left(1 - \frac{XB}{4}\right) \\ (2) \quad & XB \\ (3) \quad & \frac{XB}{4} \\ (4) \quad & (1 - XB) \end{aligned}$$

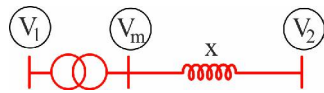
۷. در سیستم تغذیه‌ی بار زیر، اندازه‌ی ولتاژ V_2 برابر 1.02 pu است. میزان توان راکتیوی که از طریق ترانسفورماتور تپ چنجدار به بار منتقل می‌شود، چند پریونیت است؟



- (۱) 0.2
(۲) 0.6
(۳) 0.4
(۴) 0.3

۸. در شکل زیر، ترانسفورماتور به گونه‌ای عمل می‌کند، که $\frac{V_m}{V_1} = e^{j\alpha}$ در صورتی که داشته باشیم:

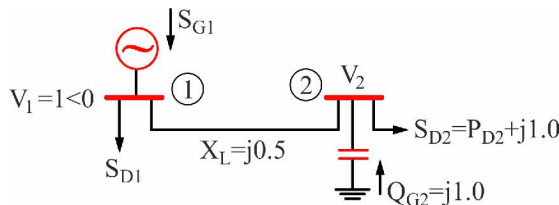
$V_2 = V \angle -\frac{\delta}{2}, V_1 = V \angle \frac{\delta}{2}$ توان عبوری از خط انتقال با راکتانس X با کدام رابطه محاسبه می‌شود؟



$$P = \frac{V^2}{X} \sin \delta \quad (1) \quad P = \frac{V^2}{X} (\sin \delta + \sin \alpha)$$

$$P = \frac{V^2}{X} \sin(\delta + \alpha) \quad (2) \quad P = \frac{V^2}{X} \left(\frac{\sin \delta}{\sin \alpha} \right) \quad (3)$$

۹. در مدار زیر، مقدار P_{D2} بر حسب زاویه ولتاژ شین ۲، برابر کدام است؟



$$-\sin 2\delta_2 \quad (1)$$

$$\cos \delta_2 \quad (2)$$

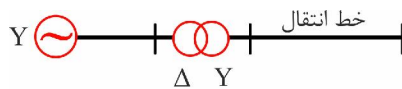
$$\sin \delta_2 \quad (3)$$

$$\sin 2\delta_2 \quad (4)$$

۱۰. در سیستم قدرت زیر، داریم: $V_r = V_0 \angle -\frac{\delta}{2}, V_s = V \angle \frac{\delta}{2}$ در زمانی که کلید K باز است، توان عبوری از

خط برابر P_0 بوده است. زمانی که کلید K را می‌بندیم، منبع ولتاژ V_m با دامنه‌ی V وارد مدار می‌شود. در این

حالت توان عبوری از خط با همان زاویه ماشین‌ها برابر P_1 شده است. نسبت P_1 به P_0 کدام است؟



$$\cos \frac{\delta}{2} \quad (1) \quad \sin \delta$$

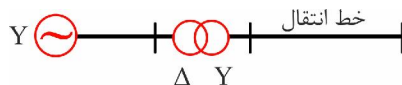
20kV 150MVA 176.33km
300MVA 20kV/230kV $X=1 \frac{\Omega}{\text{km}}$
 $X_s=20\%$ $X=0.1 \text{ Pu}$

$$\sin \frac{\delta}{2} \quad (2) \quad \cos \delta$$

۱۱. در دیاگرام تک خطی شکل زیر، یک ژنراتور سنکرون از طریق یک ترانسفورماتور به یک خط انتقال بی‌بار

متصل شده است. سیستم سه فاز متعادل است. راکتانس مدار معادل تونن به صورت پریونیتی از دید انتهای خط،

کدام است؟ مقادیر نامی ژنراتور را به عنوان مقادیر مبنا در نظر بگیرید.



$$0.9 \quad (1)$$

$$1.2 \quad (2)$$

$$1.3 \quad (3)$$

$$1.4 \quad (4)$$

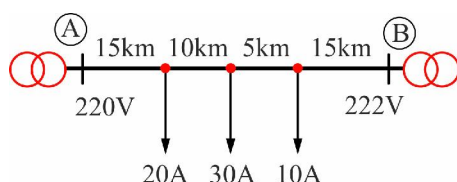
20kV 150MVA 176.33km
300MVA 20kV/230kV $X=1 \frac{\Omega}{\text{km}}$
 $X_s=20\%$ $X=0.1 \text{ Pu}$

۱۲. در شکل زیر اگر جریان تزریقی از طریق پست A i آمپر و مقاومت هر کیلومتر از خط توزیع 0.001Ω باشد،

جریان عبوری از i چند آمپر است؟

$$-14.4 \quad (1) \quad -8.73$$

$$8.73 \quad (2) \quad 14.4$$



پاسخ تشریحی

۱. گزینه ۱ درست است.

توالی انتقال به مصرف کننده برابر است با:

$$P_R = \frac{|V_S||V_R|}{|B|} \cos(\theta_B - \delta) - \frac{|A||V_R|^2}{|B|} \cos(\theta_B - \theta_A)$$

با توجه به صورت سوال $P_R = 800 \text{ MW}$

$$\Rightarrow 800 = \frac{400 \times 400}{100} \cos(50 - \delta) - \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \times 400^2}{100} \cos(50 - 5)$$

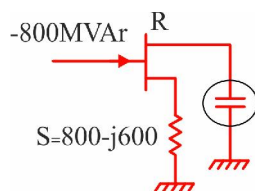
$$\rightarrow \delta = 50^\circ$$

توان راکتیو برابر است با:

$$Q_R = \frac{|V_S||V_R|}{|B|} \sin(\theta_B - \delta) - \frac{|A||V_R|^2}{|B|} \sin(\theta_B - \theta_A)$$

$$Q_R = \frac{400 \times 400}{100} \sin(50 - 50) - \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} \times 400^2}{100} \sin(50 - 5) = -800 \text{ MVAr}$$

بار انتها به صورت $\delta = 800 - j600$ بوده است.



$$Q_C = 800 - 600 = 200 \text{ MVAr} \quad \text{تولیدی}$$

۲. گزینه ۲ درست است.

با توجه به حل مسئله در حالت گذرا، خازن خط را می توان به صورت اتصال کوتاه و سلف را مدار باز در نظر گرفت در نتیجه ولتاژ رسیده به انتهای خط $2u_0$ می شود.

$$u_t = \frac{2(SL)}{(SL) + z} u_0$$

$S \rightarrow \infty$ (در حوزه لاپلاس)

۳. گزینه ۴ درست است.

اندوکتانس را برای خطوط ۱ و ۲ با هم برابر قرار می دهیم.

$$L_1 = L_2$$

$$\rightarrow 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[3]{2D}}{D_s} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{\sqrt[3]{D_s d^2}} \rightarrow \frac{\sqrt[3]{2}}{D_s} = \frac{1}{\sqrt[3]{D_s d^2}} \rightarrow d = \frac{D_s}{\sqrt{2}}$$

$$D_s = e^{\frac{1}{4}} r \rightarrow d = 0.55r$$

اما می دانیم $d > 2r$ در نتیجه برابری اندوکتانس این ۲ خط ممکن نیست.

۴. گزینه ۲ درست است.

ابتدا ولتاژ القایی روی هریک از خطوط x و y را می نویسیم:

$$V_x = j\omega 2 \times 10^{-7} \left(I_a \ln \frac{1}{D_{ax}} + I_b \ln \frac{1}{D_{bx}} + I_c \ln \frac{1}{D_{cx}} \right)$$

$$V_y = j\omega 2 \times 10^{-7} \left(I_a \ln \frac{1}{D_{ay}} + I_b \ln \frac{1}{D_{by}} + I_c \ln \frac{1}{D_{cy}} \right)$$

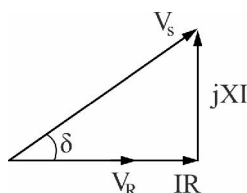
$$D_{ax} = D_{ay}$$

$$V_x - V_y = j\omega 2 \times 10^{-7} \left(I_a \ln \frac{D_{by}}{D_{bx}} + I_c \ln \frac{D_{cy}}{D_{cx}} \right) = j\omega 2 \times 10^{-7} (I_b - I_c) \ln \sqrt{2}$$

$$\left. \begin{aligned} V_b &= j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} I_b = j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} I_b \\ V_c &= j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} I_c = j\omega 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} I_c \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_b - V_c = 2 \times 10^{-4} j\omega (I_b - I_c) \ln \frac{D}{r}$$

$$\rightarrow V_x - V_y = \frac{\ln \sqrt{2}}{\ln \frac{D}{r}} (V_b - V_c)$$

۵. گزینه ۳ درست است.



$$VR = \frac{|V_S| - |V_R|}{|V_R|}$$

$$V_S \angle \delta = (V_R + IR) + jXI \rightarrow V_S (\cos \delta + j \sin \delta) = (V_R + IR) + jXI$$

$$V_S \cos \delta = V_R + IR \quad (I)$$

$$V_S \sin \delta = IX \rightarrow I = \frac{V_S}{X} \sin \delta \quad (II)$$

با جایگذاری معادله II در I داریم:

$$V_S \cos \delta = V_R + V_S \sin \delta \frac{R}{X}$$

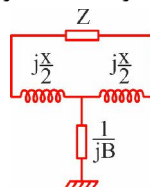
$$V_S \left(\cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta \right) = V_R$$

$$\rightarrow VR = \frac{V_S \left(1 - \cos \delta + \frac{R}{X} \sin \delta \right)}{V_S \left(\cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta \right)} = \frac{1 - \cos \delta + \frac{R}{X} \sin \delta}{\cos \delta - \frac{R}{X} \sin \delta}$$

۶. گزینه ۱ درست است.

$$P_0 = \frac{V \times V}{X} \sin \delta = \frac{V^2}{X} \sin \delta$$

در صورت بسته بودن کلید K با در نظر گرفتن تبدیل ستاره به مثلث داریم:



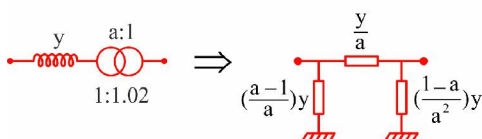
$$Z = \frac{\left(j\frac{X}{2} \right) \left(j\frac{X}{2} \right) + \left(j\frac{X}{2} \right) \left(\frac{1}{jB} \right) + \left(j\frac{X}{2} \right) \left(\frac{1}{jB} \right)}{\frac{1}{jB}} = jX \left(1 - \frac{XB}{4} \right)$$

$$P_1 = \frac{V^2}{Z} \sin \delta = \frac{V^2}{X \left(1 - \frac{XB}{4} \right)} \sin \delta$$

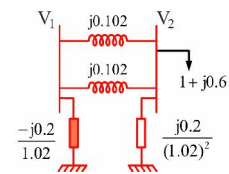
$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{Z}{X} = 1 - \frac{XB}{4}$$

۷. گزینه ۳ درست است.

اگر ترانس تپ چنجر دار به صورت مدل π ، مدل کنیم داریم:



$$y = -j10 \\ a = 1.02 \Rightarrow$$



$$\left. \begin{aligned} Q_1 + 2Q &= 0.6 \\ Q_1 &= BV^2 = \frac{(0.2)}{(1.02)^2} \times (1.02)^2 = 0.2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Q = 0.2$$

$$Q \text{ ترانس} = Q = 0.2 + 0.2 = 0.4$$

۸. گزینه ۴ درست است.

$$V_m = V_1 e^{j\alpha} = V \angle \left(\frac{\delta}{2} + \alpha \right)$$

$$V_2 = V \angle -\frac{\delta}{2} \rightarrow P = \frac{V^2}{X} \sin \left(\frac{\delta}{2} + \alpha + \frac{\delta}{2} \right) = \frac{V^2}{X} \sin(\delta + \alpha)$$

۹. گزینه ۱ درست است.

توان راکتیو انتقالی از شین ۲ برابر است با:

$$Q_g = Q_t + Q_D$$

$$1 = Q_t + 1 \rightarrow Q_t = 0 = \frac{V_2}{X} (V_2 - V_1 \cos \delta) \\ \Rightarrow V_2 - \cos \delta = 0 \Rightarrow V_2 = \cos \delta$$

$$P_{D_2} = \frac{V_1 V_2}{X} \sin(0 - \delta) = -2V_2 \sin \delta = -2 \cos \delta \sin \delta = -\sin 2\delta_2$$

۱۰. گزینه ۲ درست است.

چون جبران کننده ایده آل، در وسط خط انتقال نصب شده با توجه به تغییر یکنواخت زاویه از ابتدا تا انتهای خط زاویه ولتاژ برابر صفر درجه خواهد بود.

$$P_0 = \frac{V^2}{X} \sin \delta$$

$$P_1 = \frac{V^2}{X} \sin \frac{\delta}{2}$$

$$\frac{P_0}{P_1} = \frac{\sin \delta}{2 \sin \frac{\delta}{2}} = \cos \frac{\delta}{2}$$

۱۱. گزینه ۴ درست است.

$$V_b = 20 \text{ kV}$$

$$V_b (\text{خط}) = 230 \text{ kV}$$

$$S_b = 300 \text{ MVA}$$

$$X^{(\text{new})} \text{ ترانس} = 0.1 \times \left(\frac{300}{150} \right) \left(\frac{20}{20} \right)^2 = 0.2$$

$$\text{خط } X = 176.33 \Omega$$

$$Z^b = \frac{V_b^2}{S_b} = \frac{230^2}{300} = 176.33 \rightarrow X_{pu} = 1 \text{ pu}$$

$$1 + 0.2 + 0.2 = 1.4 \text{ pu}$$

۱۲. گزینه ۲ درست است.

$$V_a - V_b = R(\ell_1 i + \ell_2(i - 20) + \ell_3(i - 50) + \ell_4(i - 60))$$

$$-2 = 0.001(45i - 1350) \rightarrow -2 = -1.35 + 0.045i \rightarrow i = -14.4$$