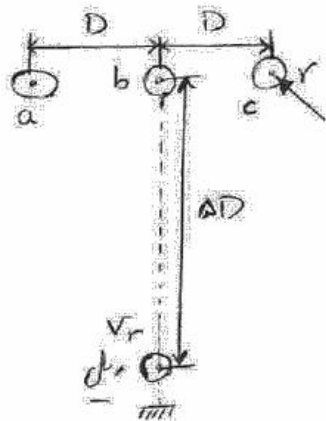


بررسی سیستم های قدرت

۱ - یک خط فشار قوی مطابق شکل زیر روی پایه ای قرار گرفته است. در زیر پایه ریل های وسط خیابان نصب شده اند. اگر بتوان این ریل ها را توسط یک هادی فرضی تقریب زد معادله ولتاژ القایی الکترواستاتیک در این ریل ها (V_r) کدامند؟ (جریان خط را

متعادل فرض نموده و $m \approx e^{\frac{D}{r}}$ بگیرد).



$$\text{Ln} \frac{\sqrt{26}}{\Delta} \cdot V_b \quad (1)$$

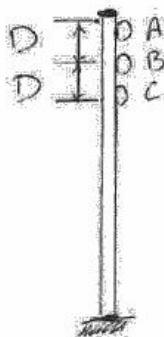
$$\frac{1}{\Delta} \text{Ln} \frac{\sqrt{30}}{\Delta} \cdot V_b \quad (2)$$

$$\text{Ln} \frac{\sqrt{30}}{\Delta} \cdot V_b \quad (3)$$

$$\frac{1}{\Delta} \text{Ln} \frac{\sqrt{26}}{\Delta} \cdot V_b \quad (4)$$

۲ - یک خط سه فاز دارای آرایش برجمی مطابق شکل زیر به عنوان یک خط تکفاز استفاده می گردد. اگر هادی های A, B به عنوان رفت و هادی C به عنوان برگشت استفاده شده و بتوانیم با تغییر فاصله هادی ها ظرفیت خازنی را تغییر دهیم مقدار ظرفیت بین

خط رفت و برگشت کدام است؟ ($\text{Ln} 2 \approx 0.7$)



$$\frac{4\pi}{3} \epsilon_0 \left(\frac{F}{m} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\pi}{3} \epsilon_0 \left(\frac{F}{m} \right) \quad (2)$$

$$\frac{5}{6} \pi \epsilon_0 \left(\frac{F}{m} \right) \quad (3)$$

$$\frac{8}{9} \pi \epsilon_0 \left(\frac{F}{m} \right) \quad (4)$$

۳ - در خصوص خطوط انتقال جریان متناوب فشار قوی کدام گزینه زیر صحیح تر است؟

(۱) باندل کردن هادی های هر فاز موجب کاهش ظرفیت خازنی خط می گردد.

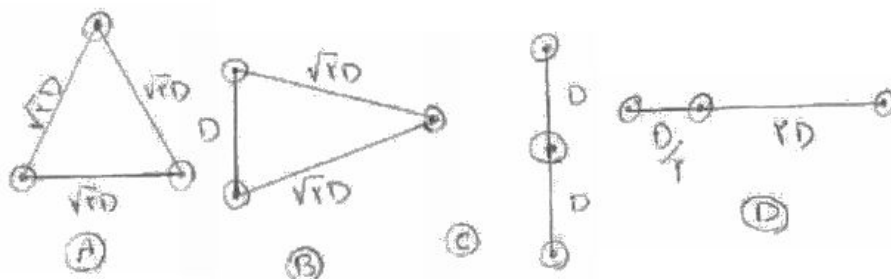
(۲) هر چه ارتفاع دکل کوتاه تر باشد اثر فرانتی در آن خط بیشتر است.

(۳) هر چه ارتفاع دکل کوتاه تر باشد تلفات توان در آن خط کمتر است.

(۴) باندل کردن هادی های هر فاز ضمن کاهش ظرفیت خازنی و موجب کاهش تلفات کرونا می گردد.

۴ - سه هادی مشابه با شعاع یکسان در دسترس است اگر بتوان این هادی‌ها را به طرق زیر نصب نمود در کدام آرایش ظرفیت

خازنی بیشتر است؟



(۱) طرح A و D

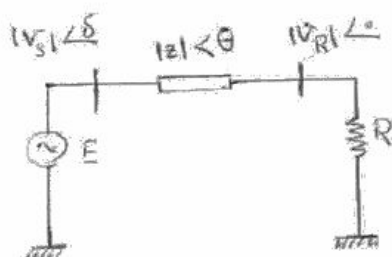
(۲) طرح A و B

(۳) طرح B و C

(۴) طرح A و C

۵ - یک خط انتقال کوتاه مطابق شکل زیر را به یک بار اهمی خالص متصل می‌کنیم اگر زاویه انتقال δ باشد کدام گزینه‌ی زیر درصد

تنظیم ولتاژ این خط را برحسب زاویه انتقال و زاویه خط درست نشان می‌دهد؟



$$\frac{2 \sin \theta}{\sin (\theta - \delta)} - 1 \quad (۳)$$

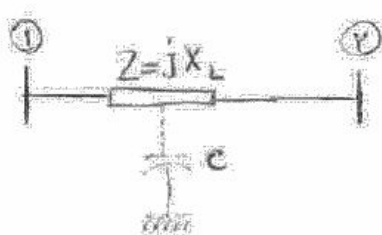
$$\frac{\sin (\theta - \delta)}{\sin 2 \theta} - 1 \quad (۴)$$

$$\frac{\sin \theta}{\sin (\theta - \delta)} - 1 \quad (۱)$$

$$\frac{\sin (\theta - \delta)}{\sin \theta} - 1 \quad (۲)$$

۶ - در شکل زیر یک خط انتقال کوتاه و بدون تلف با راکتانس jX_L بین دو باس (۱) و (۲) قرار دارد. اگر بجهت کنترل ولتاژ خط

خازنی با راکتانس $-jX_C$ در وسط خط نصب کنیم ماتریس انتقال جدید سیستم کدام است؟ (فرض کنید $\frac{|X_L|}{|X_C|} = \frac{1}{2}$ است)



$$\begin{bmatrix} \frac{1}{4} & j\frac{15}{8}X_L \\ j\frac{1}{X_C} & \frac{1}{4} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

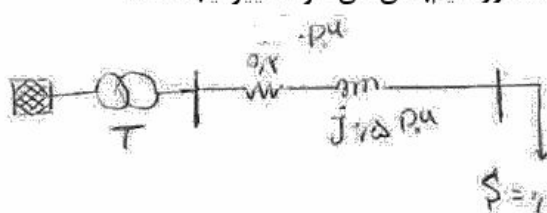
$$\begin{bmatrix} \frac{1}{4} & j\frac{7}{8}X_L \\ j\frac{1}{X_C} & \frac{3}{4} \end{bmatrix} \quad (۴)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{3}{4} & j\frac{7}{8}X_L \\ j\frac{1}{X_C} & \frac{3}{4} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{3}{4} & j\frac{15}{8}X_L \\ j\frac{1}{X_C} & \frac{1}{4} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

۷ - اگر بخواهیم سیستم شکل زیر که مصرف کننده را توسط خطی کوتاه به شبکه متصل نموده، ولتاژ انتهای خط در 1 P.U تنظیم

گردد Tap changer ترانسفورماتور ابتدای خط باید چند درصد در تعداد دور سیم‌بندی‌های خود تغییر ایجاد کند؟



(۲) ۸

(۴) ۶

(۱) ۱۲

(۳) ۱۶

۸- در یک خط انتقال با طول متوسط هنگامی که ابتدای خط به ولتاژ نامی متصل بوده و انتهای آن به صورت مدار باز است جریان 0.475 P.U جذب می‌گردد. در همین خط هنگامی که ابتدای خط به ولتاژ 2 P.U متصل و انتهای آن اتصال کوتاه شده است جریان 5 P.U جذب می‌کند. در این خط اندازه درایه A در ماتریس انتقال کدام است؟

$$(1) \frac{10}{9} \quad (2) \frac{9}{10} \quad (3) \frac{13}{9} \quad (4) \frac{9}{13}$$

۹- در یک خط انتقال کوتاه امپدانس سری خط $Z = 0.001 + j0.002 \frac{\text{PU}}{\text{Km}}$ اگر بخواهیم این خط در بار نامی با ضریب قدرت 0.8 پس فاز تنظیم ولتاژی برابر 5% داشته باشد، حداکثر طول خط باید چند کیلومتر باشد؟

$$(1) 10 \quad (2) 50 \quad (3) 25 \quad (4) 75$$

۱۰- در یک خط انتقال کوتاه با امپدانس $Z = 3 + j4$ از راکتوری در ابتدای خط استفاده می‌کنیم تا در هنگام وقوع اتصال کوتاه در 80% ولتاژ نامی جریان اتصال کوتاه عبوری از خط نصف حالت نامی گردد. ماتریس انتقال این خط در حضور چنین راکتوری کدام است؟

$$(1) \begin{bmatrix} 1 & 3 + j\sqrt{55} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2) \begin{bmatrix} 1 & 3 + j\sqrt{91} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$(3) \begin{bmatrix} 1 & 3 + j\sqrt{7} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4) \begin{bmatrix} 1 & 3 + j\sqrt{33} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

۱۱- یک خط انتقال به طول 200 km و ولتاژ نامی $200\sqrt{3} \text{ kv}$ جریان $400\sqrt{3}$ آمپر را تحت ضریب قدرت $\frac{\sqrt{2}}{2}$ پس فاز به بار تحویل

می‌دهد هرگاه راکتانس سلفی کل خط $\frac{\Omega}{\text{Km}} = 2/0$ ، ظرفیت موازی آن $\frac{1}{60} \frac{\mu\text{F}}{\text{Km}}$ و مقاومت اهمی آن $\frac{\Omega}{\text{Km}} = 2/0$ باشد تلفات

قدرت هنگامی که انتهای آن در ولتاژ نامی تثبیت شده است چند درصد است؟ (سرعت زاویه را برابر $300 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ در نظر بگیرید)

$$(1) 1 \quad (2) 1/25 \quad (3) 2 \quad (4) 2/5$$

۱۲- در تست قبل توان راکتیو دریافتی از ابتدای خط در حالتی که ولتاژ ابتدای آن توسط سیستم **Tap changer** ترانسفورمر موجود در $205\sqrt{3} \text{ kv}$ تثبیت شده است چند **MVAR** است؟

$$(1) 250 \quad (2) 147 \quad (3) 192 \quad (4) 126$$

بررسی سیستم‌های قدرت

۱- گزینه «۴» صحیح است.

$$V_r = \frac{1}{\gamma \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{1}{D_{ar}} + q_b \ln \frac{1}{D_{br}} + q_c \ln \frac{1}{D_{cr}} \right) = \frac{1}{\gamma \pi \epsilon_0} \left[\underbrace{(q_a + q_c)}_{-q_b} \ln \frac{1}{D_{ar}} + q_b \ln \frac{1}{D_{br}} \right] \Rightarrow V_r = \frac{q_b}{\gamma \pi \epsilon_0} \ln \frac{D_{ar}}{D_{br}}$$

از طرفی می‌توان q_b را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$V_b = \frac{1}{\gamma \pi \epsilon_0} \left(q_a \ln \frac{1}{D} + q_b \ln \frac{1}{r} + q_c \ln \frac{1}{D} \right) = \frac{1}{\gamma \pi \epsilon_0} q_b \ln \frac{D}{r} \Rightarrow q_b = \frac{\gamma \pi \epsilon_0 V_b}{\ln \frac{D}{r}}$$

با جایگذاری در معادله V_r داریم:

$$V_r = V_b \frac{\ln \frac{D_{ar}}{D_{br}}}{\ln \frac{D}{r}} = V_b \frac{\ln \frac{\sqrt{26} D}{\Delta D}}{\ln \frac{D}{r}} = \frac{V_b \ln \frac{\sqrt{26}}{\Delta}}{\ln \frac{D}{r}}$$

$$V_r = \frac{1}{\Delta} \ln \frac{\sqrt{26}}{\Delta} \cdot V_b$$

۲- گزینه «۴» صحیح است.

خط رفت دارای دو هادی است لذا:

$$GMR_L = \sqrt[3]{r \cdot D \cdot r \cdot D} = \sqrt{r \cdot D}$$

خط برگشت دارای تک هادی است لذا:

$$GMR_N = r$$

ضمناً GMD نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$GMD = \sqrt[3]{r \cdot D \cdot D} = D \sqrt[3]{r}$$

با جایگذاری در رابطه ظرفیت خط تکفاز داریم:

$$C_{LN} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{\sqrt{GMR_L GMR_N}}} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D \sqrt[3]{r}}{\sqrt{\sqrt{r \cdot D} \cdot r}}} = \frac{4 \pi \epsilon_0}{\gamma \ln \frac{D}{r} + \gamma \ln 2}$$

از آنجایی که مقدار D به عنوان یک متغیر مستقل تحت کنترل یا تنظیم ما است چنانچه D کوچک شود ظرفیت بالا می‌رود لذا اگر مقدار D حداقل شود ظرفیت حداکثر می‌گردد. دقت شود که حداقل مقدار D برابر \sqrt{r} است یعنی دو هادی تقریباً بر هم معاس شوند. که در این صورت داریم:

$$C_{LN} = \frac{\frac{4\pi\epsilon_0}{\sqrt{Ln} \frac{\sqrt{r}}{r} + \sqrt{Ln}}}{\frac{4\pi\epsilon_0}{\Delta Ln}} = \frac{\frac{4\pi\epsilon_0}{\sqrt{r}}}{\Delta Ln} = \frac{\lambda}{\sqrt{r}} \pi \epsilon_0 \frac{F}{m}$$

۳- گزینه «۲» صحیح است.

هر چه ارتفاع دکل کوتاه‌تر باشد تأثیر زمین بر ظرفیت خازنی خط بیشتر شده و مقدار این ظرفیت را بیشتر می‌کند. در نتیجه به علت بالا رفتن ظرفیت جریان شارژینگ، تلفات و ولتاژ بی‌باری خط که همان اثر فرانتی است بیشتر می‌گردد.

۴- گزینه «۳» صحیح است.

رابطه ظرفیت خازنی بین خطوط به صورت $C = \frac{\pi\epsilon_0}{Ln \frac{D_{eq}}{GMR}}$ می‌باشد. طبق این رابطه هر چه D_{eq} کمتر باشد C بیشتر می‌شود (مقدار GMR نیز برای همه گزینه‌ها یکسان است) پس باید به بررسی D_{eq} گزینه‌ها بپردازیم:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\sqrt{r} D \cdot \sqrt{r} D \cdot \sqrt{r} D} = \sqrt{r} D \quad \text{طرح A}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\sqrt{r} D \cdot \sqrt{r} D \cdot D} = \sqrt[3]{r} D \quad \text{طرح B}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot \sqrt{r} D} = \sqrt[3]{r} D \quad \text{طرح C}$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{\frac{D}{\sqrt{r}} \cdot \sqrt{r} D \cdot \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{r}} D} = \sqrt[3]{\frac{\sqrt{r}}{r}} D \quad \text{طرح D}$$

طبق این مقادیر D_{eq} طرح‌های B و C یکسان بوده و دو طرح دیگر کمتر است لذا ظرفیت خازنی در این دو طرح بیشتر است.

۵- گزینه «۱» صحیح است.

چون بار اهمی خالص است پس ولتاژ و جریان انتهای خط با یکدیگر هم فاز هستند یعنی:

$$\angle \vec{I}_R = \angle \vec{I}_S = \angle \vec{V}_R = 0^\circ$$

چون زاویه جریان صفر است می‌توان گفت این جریان فاقد مؤلفه موهومی است لذا:

$$\vec{I}_R = \vec{I}_S = \frac{\vec{V}_S - \vec{V}_R}{\vec{Z}} = \frac{|V_S|}{|Z|} \angle \delta - \theta - \frac{|V_R|}{|Z|} \angle -\theta$$

با جداسازی مولفه‌ها داریم:

$$\text{Im}(I_R) = 0 \Rightarrow \frac{|V_s|}{|Z|} \sin(\delta - \theta) + \frac{|V_R|}{|Z|} \sin \theta = 0$$

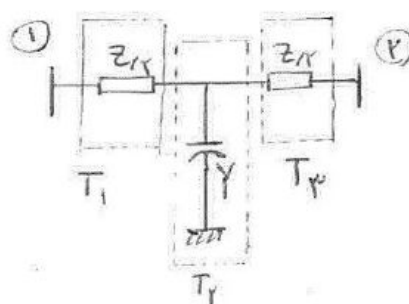
$$\frac{|V_s|}{|V_R|} = \frac{\sin \theta}{\sin(\theta - \delta)}$$

با توجه به تعریف درصد تنظیم ولتاژ خط می‌توان نوشت:

$$V.R = \frac{|V_{R_{NL}}| - |V_{R_{FL}}|}{|V_{R_{FL}}|} = \frac{|V_s|}{|V_R|} - 1 = \frac{\sin \theta}{\sin(\theta - \delta)} - 1$$

۶- گزینه «۱» صحیح است.

با نصب خازن در وسط خط مدار معادل به صورت زیر درمی‌آید:



$$T_{eq} = T_1 \times T_2 \times T_3$$

$$\begin{bmatrix} 1 & \frac{Z}{2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{Z}{2} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 + \frac{YZ}{2} & Z + \frac{YZ^2}{4} \\ Y & 1 + \frac{YZ}{2} \end{bmatrix}$$

با توجه به $Y = \frac{j}{X_c}$ و $\frac{X_L}{X_c} = \frac{1}{2}$ داریم:

$$\begin{bmatrix} 1 + \frac{j}{X_c} \frac{jX_L}{2} & jX_L + \frac{j}{X_c} \frac{(jX_L)^2}{4} \\ \frac{j}{X_c} & 1 + \frac{j}{X_c} \frac{jX_L}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{3}{4} & j\frac{1}{8}X_L \\ j\frac{1}{X_c} & \frac{3}{4} \end{bmatrix}$$

۷- گزینه «۱» صحیح است.

درصد تغییر در سیم‌بندی‌ها همواره برابر درصد تنظیم ولتاژ خط هستند لذا ابتدا باید %V.R خط را به دست آورد:

$$\%V.R = \frac{RP + XQ}{|V_R|^2} = \frac{0.2 \times 0.1 + 0.5 \times 0.2}{1} = 0.12 = 12\%$$

۸- گزینه «۱» صحیح است.

در حالت اول جریان اخذ شده همان جریان شارژینگ خط است لذا:

$$I_{ch} = \frac{C}{A} V_s = 0.1 \text{ P.U}$$

در حالت دوم جریان اخذ شده همان جریان اتصال کوتاه خط بوده اما در ولتاژی کمتر از ولتاژ نامی لذا:

$$I_{sc} = \frac{D}{B} (0.8) V_s = 1.0$$

از نسبت دو جریان داریم:

$$\frac{\frac{C}{A} V_s}{\frac{P}{B} \times 2 V_s} = \frac{0.475}{5} \Rightarrow \frac{CB}{AD} = 0.19 \Rightarrow 0.19 AD = BC$$

از طرفی می‌دانیم در خطوط متوسط $A = D$ و $AD - BC = 1$ است لذا:

$$\begin{cases} 0.19A^2 - BC = 0 \\ A^2 - BC = 1 \end{cases} \Rightarrow A = \frac{1.0}{9}$$

۹- گزینه «۳» صحیح است.

$$\%V.R = R_{pu} \cos \theta + X_{pu} \sin \theta$$

$$0.05 = 0.01 \times L \times 0.8 + 0.02 \times L \times 0.6 \Rightarrow L = 25 \text{ Km}$$

۱۰- گزینه «۱» صحیح است.

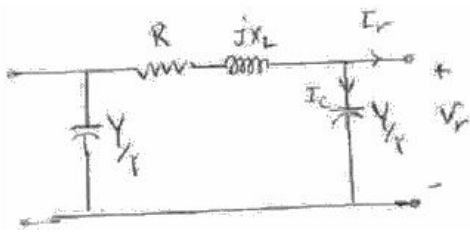
$$\frac{|I_{sc_i}|}{|I_{sc_r}|} = \frac{|V_{sc_i}|}{|V_{sc_r}|} \frac{|Z_{sc_r}|}{|Z_{sc_i}|} \Rightarrow \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 0.8 V_s} \times \frac{|Z_{sc_r}|}{5}$$

$$|Z_{sc_r}| = 8 \Omega \Rightarrow 3^2 + (4 + x)^2 = 8^2$$

$$4 + x = \sqrt{55} \Rightarrow x = 3.4 \Omega$$

۱۱- گزینه «۲» صحیح است.

با توجه به مدار معادل π داریم:



$$\% \Delta P = \frac{\Delta P}{P_r} \times 100 = \frac{r R_r |\vec{I}_r + \vec{I}_c|^2}{r V_r I_r \cos \phi_r} \times 100$$

طبق رابطه فوق فقط جریان I_c مجهول است لذا:

$$I_c = j \frac{Y}{2} V_r = j \frac{C}{2} \omega V_r = j \frac{1}{2} \times \frac{1}{6} \times 10^{-6} \times 200 \times 300 \times 200 \times 10^3 = j 100 \text{ A}$$

$$\vec{I}_c + \vec{I}_r = j 100 + 400 \sqrt{2} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - j \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = 400 - j 300 \Rightarrow |\vec{I}_c + \vec{I}_r| = 500 \text{ A}$$

$$\Delta P = 3 \times 0.2 \times 200 \times 500^2 = 3 \text{ MW}$$

$$P_r = 3 V_r I_r \cos \phi = 3 \times 200 \times 10^3 \times 400 \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 240 \text{ MW} \Rightarrow \% \Delta P = \frac{3}{240} \times 100 = 1.25\%$$

۱۲- گزینه «۲» صحیح است.

توان راکتیو جذب شده/ دفع شده از ابتدای خط تفاضل مجموع توان راکتیو مصرفی بار و خط از مجموع توان راکتیو تولیدی خازنهای خط است لذا داریم:

$$Q_{\text{Load}} = 3 V_r I_r \sin \phi_r = 3 \times 200 \times 10^3 \times 400 \sqrt{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} = j 240 \text{ MVAR}$$

$$Q_{\text{Line}} = 3 X_{\text{Line}} I_{\text{Line}}^2 = 3 \times 40 \times 500^2 = j 30 \text{ MVAR}$$

$$Q_{C_r} = 3 V_r^2 \frac{Y}{2} = 3 \times 200^2 \times \frac{1}{6 \times 2} \times 10^{-6} \times 200 \times 300 = -j 60 \text{ MVAR}$$

$$Q_{C_s} = 3 V_s^2 \frac{Y}{2} = 3 \times 200^2 \times \frac{1}{6 \times 2} \times 10^{-6} \times 200 \times 300 = -j 63 \text{ MVAR}$$

$$Q_s = j 240 + j 30 - j 60 - j 63 = j 147 \text{ MVAR}$$