

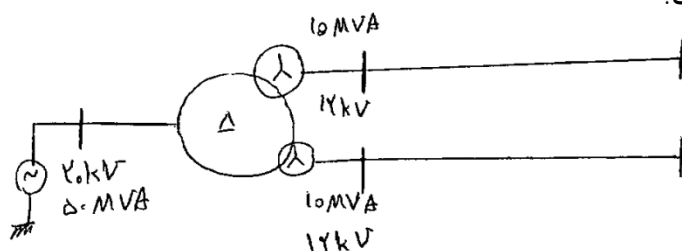
## بررسی سیستم های قدرت

۱ - یک مصرف کننده جریان متناوب را می توان به صورت یک مدار  $RL$  سری مدل نمود اگر ضریب قدرت این مصرف کننده  $\frac{\sqrt{3}}{2}$

پس فاز باشد با تغییر  $0.5\%$  در دامنه ولتاژ چند درصد قدرت راکتیو تغییر می کند؟

- (۱)  $0.8\%$  (۲)  $1.7\%$  (۳)  $0.5\%$  (۴)  $1\%$

۲ - یک ترانسفورماتور سه سیم پیچه با اطلاعات داده شده در شکل زیر موجود است. در این ترانسفورماتور امپدانس نشستی ثالثیه برحسب مقادیر پایه مولد سنکرون موجود چند درصد است؟



(۱)  $18\%$

(۲)  $10.8\%$

(۳)  $54\%$

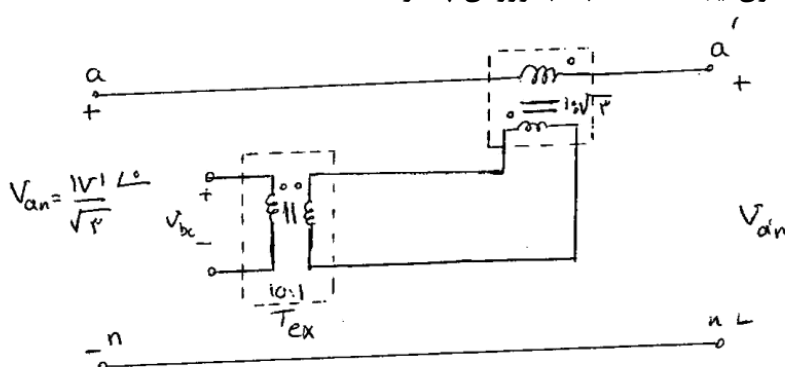
(۴)  $27\%$

$Z_{ps} = 5\%$  (a)  $24 \text{ kV} - 20 \text{ MVA}$

$Z_{pt} = 4\%$  (a)  $24 \text{ kV} - 20 \text{ MVA}$

$Z_{st} = 3\%$  (a)  $12 \text{ kV} - 10 \text{ MVA}$

۳ - در ترانسفورماتور تنظیم شکل زیر شیفت فازی ایجاد شده نسبت به ورودی چقدر است؟



(۱)  $\tan^{-1} 0.1\sqrt{3}$

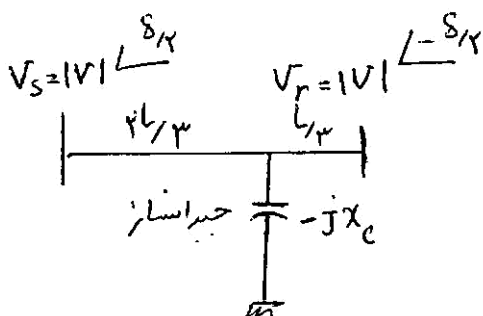
(۲)  $-\tan^{-1} 0.1\sqrt{3}$

(۳)  $\tan^{-1} 0.3$

(۴)  $-\tan^{-1} 0.3$

۴ - اگر در قسمتی از یک خط انتقال به طول  $L$  که دارای راکتانس  $x$  است جبران سازی به صورت زیر نصب کنیم توان انتقالی از این

خط چند درصد تغییر می کند؟ ( $|x_c| = 2|x|$ )



(۱)  $12.5\%$  کاهش می یابد.

(۲)  $14.75\%$  کاهش می یابد.

(۳)  $12.5\%$  افزایش می یابد.

(۴)  $14.75\%$  افزایش می یابد.

۵- ماتریس انتقال در یک خط بلند به صورت زیر داده شده است. اگر در ابتدای این خط خازنی سری به منظور جبران سازی توان راکتیو نصب گردد با فرض اینکه درصد جبران سازی این خازن ۲۵٪ باشد ماتریس انتقال جدید خط با تقریب مناسب کدام است؟

$$T = \begin{bmatrix} 1 \angle 5^\circ & 100 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1 \angle 5^\circ \end{bmatrix}$$

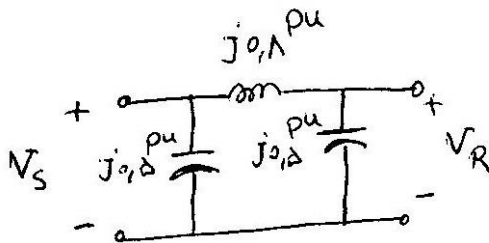
$$\begin{bmatrix} 3 \angle 5^\circ & 75 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 3 \angle 5^\circ \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} 1 \angle 5^\circ & 25 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1 \angle 5^\circ \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} 3 \angle 5^\circ & 25 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1 \angle 5^\circ \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} 1 \angle 5^\circ & 75 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1/0.2 \angle 4/8^\circ \end{bmatrix} \quad (3)$$

۶- مدل  $\pi$  یک خط انتقال بلند بدون تلف به صورت شکل زیر داده شده است. اگر بخواهیم اثر فرانتی این خط را طوری جبران کنیم که ولتاژ بی باری انتهای خط حداکثر ۱/۲۵ P.U. باشد راکتور شنت مورد نیاز دارای راکتانس چند P.U. باید باشد؟



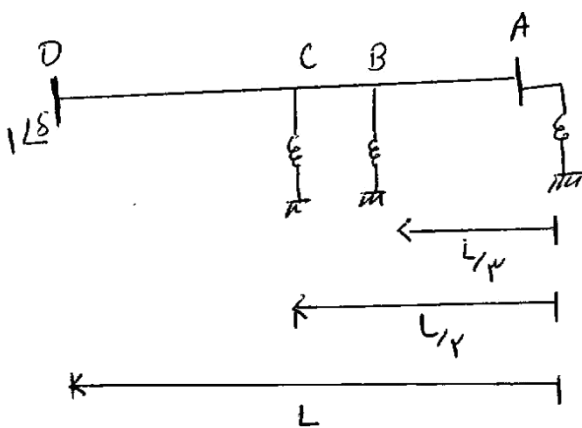
j ۰.۱۸ (۱)

j ۰.۵ (۲)

j ۱ (۳)

j ۳ (۴)

۷- در سیستم قدرت شکل زیر از تعدادی راکتور شنت جهت تثبیت ولتاژ نقاط A و B و C در ۱ P.U. استفاده شده است. حداقل اضافه ولتاژ پدید آمده در این شبکه چند P.U. است؟



$$\frac{1}{\cos \frac{BL}{12}} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\cos \frac{BL}{4}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{\cos \frac{BL}{6}} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\cos \frac{2BL}{3}} \quad (4)$$

۸- یک خط انتقال بدون تلف بلند ۲۳۰ kV دارای ماتریس انتقالی به صورت زیر می باشد. این خط در انتهای خود بار ۵۰۰ MW را تحت ضریب قدرت ۰/۸ پس فاز تغذیه می کند. اگر بخواهیم ولتاژ انتهای خط در حالت بارداری در ۱ P.U. تثبیت گردد توان راکتیو تولیدی خازن جبران ساز مورد نیاز چند P.U. می باشد؟

$$T = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \angle 8^\circ & 52.9 \angle 38^\circ \\ C \angle \theta_c & D \angle \theta_d \end{bmatrix}$$

۵۰۰ (۴)

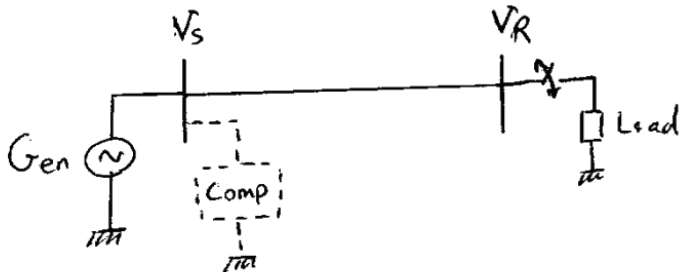
۸۷۵ (۳)

۱۰۰۰ (۲)

۱۲۵ (۱)

۹ - یک خط انتقال بلند از طریق یک مولد سنکرون مطابق شکل زیر باری را تغذیه می‌کند اگر بخواهیم در هنگام بی باری شبکه مولد سنکرون در حالت فوق تحریک بماند چه جبرانسازی باید در ابتدای خط اضافه نمود؟

$$T = \begin{bmatrix} 1 + j0.2 & j1 \\ C & D \end{bmatrix}$$

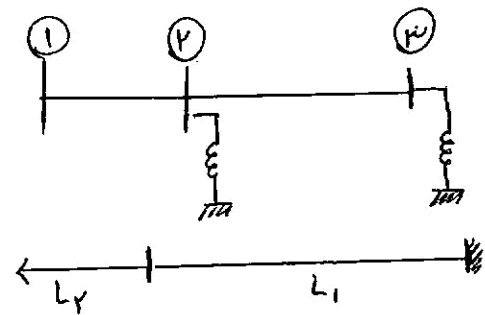


- (۱) جبران‌ساز خازنی با راکتانس بیشتر از  $\frac{20}{9}$  P.U
- (۲) جبران‌ساز سلفی با راکتانس بیشتر از  $\frac{20}{9}$  P.U
- (۳) جبران‌ساز خازنی با راکتانس کمتر از  $\frac{20}{9}$  P.U
- (۴) جبران‌ساز سلفی با راکتانس کمتر از  $\frac{20}{9}$  P.U

۱۰ - در سیستم قدرت شکل زیر جبران‌ساز اثر فرانتی در باس بارهای ۳ و ۲ نصب شده به طوری که ولتاژ این شین‌ها را در مقدار ۱ P.U تثبیت نمایند حداکثر اضافه ولتاژ در این خط چند درصد است؟ (ماتریس انتقال بدون در نظر گرفتن جبران‌سازها به صورت زیر است):

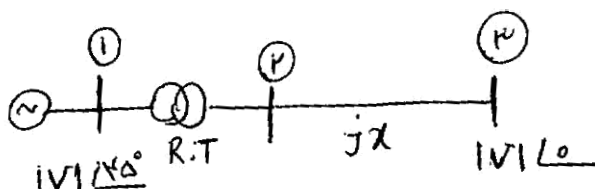
$$T_{12} = \begin{bmatrix} 0.5 & j1.5 \\ j0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & j2 \\ j\frac{1}{4} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad \begin{pmatrix} \cos \frac{\pi}{12} = 0.96 \\ \cos \frac{\pi}{8} = 0.92 \\ \cos \frac{\pi}{6} = 0.86 \end{pmatrix}$$



(۱) ۸٪ (۲) ۱۵٪ (۳) ۱۲٪ (۴) ۴٪

۱۱ - در سیستم قدرت شکل زیر ترانسفورماتور تنظیم ایده‌آل قادر است در محدوده ۱۰٪ ولتاژ نامی، ولتاژ باس (۲) را تنظیم نموده و زاویه ولتاژ این باس را نیز می‌توان  $\pm 15^\circ$  تغییر دهد، نسبت حداکثر توان اکتیو قابل انتقال به مقدار حداقل توان اکتیو قابل انتقال کدام است؟



- (۱) ۱/۸۶
- (۲) ۵/۶۱
- (۳) ۱/۴۱
- (۴) ۲/۱۱

۱۲ - در خصوص جبران‌سازی در خطوط بلند کدام گزینه زیر صحیح نیست؟

- (۱) جبران‌سازی خازنی سری موجب افزایش سطح اتصال کوتاه در سمت گیرنده می‌شود.
- (۲) جبران‌سازی خازنی موازی درست فرستنده هیچ تأثیری بر جریان اتصال کوتاه ندارد.
- (۳) جبران‌سازی خازنی موازی در سمت گیرنده هیچ تأثیری بر جریان اتصال کوتاه ندارد.
- (۴) جبران‌سازی خازنی موازی در وسط خط موجب افزایش جریان اتصال کوتاه می‌گردد.

## بررسی سیستم‌های قدرت

۱- گزینه «۲» صحیح است.

در مدار RL سری می‌توان قدرت راکتیو را به صورت زیر به دست آورد:

$$Q = \frac{x|V|^2}{R^2 + x^2} \Rightarrow \frac{\partial Q}{\partial |V|} = \frac{\Delta Q}{\Delta |V|} = \frac{2|V|x}{R^2 + x^2}$$

از طرفی با توجه به ضریب قدرت بار داریم:

$$\begin{cases} \tan \phi = \frac{Q}{P} = \frac{x}{R} \\ \phi = \cos^{-1} \frac{\sqrt{3}}{2} = 30^\circ \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{x}{R} \Rightarrow R = x\sqrt{3}$$

با جایگذاری در رابطه اول داریم:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\Delta Q}{\Delta |V|} &= \frac{\sqrt{3}|V|}{2x} \\ Q &= \frac{x|V|^2}{R^2 + x^2} = \frac{|V|^2}{4x} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta |V|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{|V|}{\frac{|V|^2}{4Q}} = 2\sqrt{3} \frac{Q}{|V|}$$

جهت اعمال تغییرات ۵٪ در ولتاژ داریم:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2\sqrt{3} \frac{\Delta |V|}{|V|} \xrightarrow{\frac{\Delta |V|}{|V|} = 5\%} \frac{\Delta Q}{Q} = \sqrt{3} \% \approx 1.7 \%$$

۲- گزینه «۱» صحیح است.

امپدانس نشتی ثالثیه را با توجه به مدار معادل ترانسفورماتور سه سیم پیچه می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$Z_t = \frac{1}{3} (Z_{pt} + Z_{st} - Z_{ps})$$

که هر سه مقدار  $Z_{st}$  و  $Z_{pt}$  و  $Z_{ps}$  در صورت مسئله داده شده‌اند فقط باید همگی بر مبنای مقادیر نامی مولد سنکرون پریونیت شوند لذا:

$$\left. \begin{aligned} Z_{ps}^{new} &= 5\% \times \left(\frac{24}{20}\right)^2 \times \frac{50}{20} = 18\% \\ Z_{st}^{new} &= 4\% \times \left(\frac{12}{10}\right)^2 \times \frac{50}{20} = 14/4\% \\ Z_{pt}^{new} &= 3\% \times \left(\frac{12}{10}\right)^2 \times \frac{50}{10} = 21/6\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow Z_t = \frac{1}{3} (21/6 + 14/4 - 18) = 18\%$$

۳- گزینه «۴» صحیح است.

با توجه به ولتاژ فاز a داریم:

$$V_{an} = \frac{|V|}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ \Rightarrow V_{bc} = |V| \angle -90^\circ$$

با توجه به نسبت تبدیل ترانسفورماتور تحریک ( $T_{ex}$ ) داریم:

$$V_{r_{ex}} = V_{l_{se}} = \frac{|V| \angle -90^\circ}{10}$$

چون نسبت تبدیل ترانسفورماتور سری  $(T_{se})$  که  $\sqrt{3}$  است داریم:

$$\Delta V_{bc} = V_{r_{se}} = 0.1 \sqrt{3} |V| \angle -90^\circ$$

با توجه به نقطه‌گذاری‌های صورت گرفته روی ترانسفورماتورها می‌توان  $\vec{V}_{a'n}$  را به صورت زیر به دست آورد:

$$\vec{V}_{a'n} = \vec{V}_{an} + \Delta \vec{V}_{bc} = \frac{|V|}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ + 0.1 \sqrt{3} |V| \angle -90^\circ = \frac{|V|}{\sqrt{3}} - j 0.1 \sqrt{3} |V|$$

$$\angle \vec{V}_{a'n} = -\tan^{-1} \frac{0.1 \sqrt{3} |V|}{\frac{|V|}{\sqrt{3}}} = -\tan^{-1} 0.3$$

۴- گزینه «۳» صحیح است.

با توجه به محل نصب جبران‌ساز و راکتانس کل خط  $(X)$  داریم:

$$X_{se} = \frac{\left( j \frac{2}{3} X \times j \frac{X}{3} \right) + \left( j \frac{X}{3} \times -j X_c \right) + \left( j \frac{2}{3} X \times -j X_c \right)}{-j X_c} = \frac{\frac{2}{9} X^2 - X X_c}{-X_c}$$

با توجه به اینکه  $|X_c| = 2 |X|$  است داریم:

$$X_{se} = \frac{1}{9} X$$

یعنی راکتانس سری بین دو باس نسبت به حالتی که جبران‌ساز وجود ندارد  $\frac{1}{9}$  برابر است. لذا:

$$\frac{P_{new}}{P_{old}} = \frac{X_{old}}{X_{new}} = \frac{X}{\frac{1}{9} X} = \frac{9}{1} = 9 \Rightarrow P_{new} = 9 P_{old}$$

یعنی توان انتقالی ۹٪ افزایش می‌یابد.

۵- گزینه «۳» صحیح است.

از آنجایی که درایه  $B$  در ماتریس انتقال خط بیانگر  $X$  (یا  $X'$ ) خط است داریم:

$$X' = 100 \Omega$$

درصد جبران خازن سری ۲۵٪ است لذا:

$$K = \frac{X_{se}}{X'} = 0.25 \Rightarrow X_{se} = 25 \Omega$$

با توجه به ماتریس انتقال خازن سری که به صورت  $\begin{bmatrix} 1 & -j25 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  در می‌آید داریم:

$$T_{new} = \begin{bmatrix} 1 \angle 5^\circ & 100 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1 \angle 5^\circ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -j25 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \angle 5^\circ & 75 \angle 90^\circ \\ 0.001 \angle 90^\circ & 1.02 \angle 4.8^\circ \end{bmatrix}$$

از آنجایی که نصب جبران‌ساز سری در ابتدا یا انتهای خط تقارن خط را از بین می‌برد  $A \neq D$  گزینه‌های ۲ و ۴ حتماً اشتباه هستند.

۶- گزینه «۲» صحیح است.

راکتانس راکتور شنت به منظور تثبیت ولتاژ انتهای خط در مقدار موردنظر برابر است با:

$$X_{sh} = \frac{B}{\frac{V_s}{V_R} - A}$$

از طرفی طبق مدار معادل داده شده (با توجه به ماتریس T خط) داریم:

$$B = Z' = x' = j \cdot 0.8 \text{ P.U}$$

$$A = 1 + \frac{YZ}{\gamma} = 1 + j \cdot 0.5 \times j \cdot 0.8 = 0.6$$

$$x_{sh} = \frac{j \cdot 0.8}{\frac{1}{1/25} - 0.6} = j 4 \text{ P.U}$$

۷- گزینه «۱» صحیح است.

ولتاژ در نقاط A و B و C و D در مقدار ۱ P.U تثبیت است. لذا اضافه ولتاژها در بین این نقاط رخ می دهند هر چه طول بین دو نقطه تثبیت شده بیشتر باشد اضافه ولتاژ پدید آمده در بین این دو نقطه (در وسط این دو نقطه) بیشتر شده و برعکس. لذا طبق شکل حداقل اضافه ولتاژ در وسط نقاط B و C که

طولی به اندازه  $L_{BC} = \frac{L}{2} - \frac{L}{3} = \frac{L}{6}$  دارد رخ می دهد مقدار این ولتاژ برابر است با:

$$V = \frac{V_c}{\cos \frac{BL_{BC}}{2}} = \frac{1}{\cos \frac{BL}{12}}$$

۸- گزینه «۳» صحیح است.

ابتدا باید زاویه انتقال توان را با شرط  $|V_S| = |V_R| = 1 \text{ P.U.}$  به دست آورد لذا:

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

$$500 = \frac{230 \times 230}{52/9} \cos(38^\circ - \delta) - \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \times 230^2}{52/9} \cos(38^\circ - 8^\circ)$$

$$500 = 1000 \cos(38^\circ - \delta) - 500 \Rightarrow \delta = 38^\circ$$

حال می توان قدرت راکتیو موردنیاز در انتهای خط را جهت تثبیت ولتاژ در ۱ P.U (۲۳۰ KV) به دست آورد:

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

$$Q_R = \frac{230 \times 230}{52/9} \sin(38^\circ - 38^\circ) - \frac{\frac{1}{\sqrt{3}} \times 230^2}{52/9} \sin(38^\circ - 8^\circ) = -500 \text{ MVAR}$$

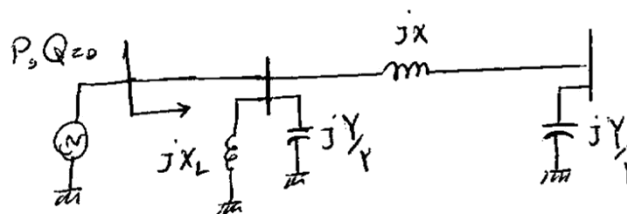
یعنی اگر در سمت مصرف ۵۰۰ MVAR تولید Q داشته باشیم ولتاژ باس مصرف در ۱ P.U. تثبیت می گردد لذا چون بار نیز خود سلفی یا پس فاز است لذا جبران ساز مورد بحث باید توان راکتیو آن را نیز تولید نماید لذا:

$$Q_{comp} = Q_R + Q_{Load} = 500 + \frac{500}{0.6} \times 0.6 = 875 \text{ MVAR}$$

۹- گزینه «۴» صحیح است.

اگر بخواهیم مولد سنکرون در حالت فوق تحریک باقی بماند باید در حالت بی باری جبران سازی سلفی در سمت مولد قرار داد تا علاوه بر مصرف Q تولیدی خازن های خط مقداری نیز از مولد توان راکتیو بکشد لذا می توان در حالت حدی (Q مولد صفر) مدار را به صورت زیر در نظر گرفت:

$$Z_{in} = \infty \text{ or } Y_{in} = 0$$



یعنی باید ادمیتانس ورودی از دید مولد بی‌نهایت گردد لذا ابتدا از ماتریس T مقادیر المان‌ها را استخراج می‌کنیم.

$$Z = jX = j \text{ P.U.}$$

$$1 + \frac{YZ}{Y} = 1 + j \cdot 0.2 \Rightarrow \frac{Y}{Y} = 0.2 \angle 90^\circ$$

$$Y_{in} = \frac{1}{jX - j\frac{Y}{Y}} + j\frac{Y}{Y} + \frac{1}{jX_L} = 0 \longrightarrow X_L = \frac{100}{45} = \frac{20}{9} \text{ P.U.}$$

اگر با  $X_L < \frac{20}{9} \text{ P.U.}$  گردد توان راکتیو مصرفی آن بیش از تولیدی خازن‌ها شده لذا باید توسط مولد تأمین گردد پس مولد به ناحیه فوق تحریک می‌رود.

۱۰- گزینه «۲» صحیح است.

واضح است که در دو نقطه یکی وسط خط ۱-۲ و دیگری وسط خط ۲-۳ ولتاژ بالاتر ۱ P.U می‌گردد باید ببینیم کدام یک بیشتر است.

$$\begin{cases} V_{\max_{1-2}} = \frac{1}{\cos \frac{BL_{12}}{2}} \\ \cos BL_{12} = 0.5 \Rightarrow BL_{12} = \frac{\pi}{3} \end{cases} \Rightarrow V_{\max_{1-2}} = \frac{1}{\cos \frac{\pi}{6}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15 \text{ P.U.}$$

$$\begin{cases} V_{\max_{2-3}} = \frac{1}{\cos \frac{BL_{23}}{2}} \\ \cos BL_{23} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow BL_{23} = \frac{\pi}{4} \end{cases} \Rightarrow V_{\max_{2-3}} = \frac{1}{\cos \frac{\pi}{8}} = \frac{100}{92} = 1.08 \text{ P.U.}$$

پس حداکثر اضافه ولتاژ در وسط خط ۱-۲ رخ داده و برابر ۱.۱۵٪ است.

۱۱- گزینه «۴» صحیح است.

طبق توضیحات صورت تست داریم:

$$V_{r_{\max}} = 1/1 |V| \sqrt{45+15}$$

$$V_{r_{\min}} = 0.9 |V| \sqrt{45+15}$$

با جایگذاری در رابطه توان انتقالی داریم:

$$\begin{aligned} P_{r_{\max}} &= \frac{|V| \times 1/1 |V|}{X} \sin(45+15) \\ P_{r_{\min}} &= \frac{|V| \times 0.9 |V|}{X} \sin(45-15) \end{aligned} \Rightarrow \frac{P_{r_{\max}}}{P_{r_{\min}}} = \frac{1/1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{0.9 \times \frac{1}{2}} = \frac{11}{9} \sqrt{3} \approx 2.11$$

۱۲- گزینه «۴» صحیح است.

موارد مطرح شده در گزینه‌های ۱ و ۲ و ۳ کاملاً صحیح بوده اما در گزینه «۴» با توجه به میزان جبران‌سازی ممکن است با نصب جبران‌ساز در وسط خط جریان اتصال کوتاه افزایش یا کاهش یابد.