



پردیس دانشکده های فنی

به نام خدا  
دانشکده برق و کامپیوتر  
بررسی سیستم های قدرت ۱ - تمرین سری سوم  
پاییز ۱۴۰۰



دانشگاه تهران

- لطفاً تمرین را تا تاریخ ۲۷ آبان ساعت ۲۳:۵۵ در سایت درس آپلود نمایید. لازم به ذکر است بعد از این زمان محل آپلود بسته شده و تمرین ها با تأخیر تحویل گرفته نمی شود.
- جواب را در قالب فایل پی دی اف که اسم آن نام و نام خانوادگی و شماره دانشجویی شما بوده در سایت درس آپلود نمایید.
- در صورت مشاهده تمرین های یکسان نمره منفی لحاظ می گردد.
- دانشجویانی که آخرین رقم شماره دانشجویی آن ها زوج بوده به سؤالات زوج و افرادی که آخرین رقم شماره دانشجویی آن ها فرد بوده به سؤالات فرد پاسخ دهند.
- توصیه می شود برای تمرین بیشتر دانشجویان همه سؤالات را حل نمایند ولی فقط سؤالاتی که مربوط به آنهاست را در سایت درس آپلود نمایند.
- سؤالاتی که با علامت \* مشخص شده اند امتیازی بوده و حل آن ها اجباری نمی باشد. لازم به ذکر است سؤالات امتیازی نمره شما را از ۱۰۰ فراتر نمی برد و صرفاً برای جبران کاستی نمره شما در سؤالات دیگر می باشد.
- ابتدا نکات بیان شده در انتهای سؤالات را مطالعه نمایید. این نکات به شما در حل سؤالات کمک خواهد کرد.

۱. ژنراتور سنکرون سه‌فازی با مشخصات نامی  $22 \text{ kV}$ ،  $200 \text{ MVA}$  و راکتانس  $0.6$  پریونیت از طریق امپدانس رابط  $0.36 + j1.44$  اهم مطابق شکل (۱) به یک شین بی‌نهایت با ولتاژ  $24 \text{ kV}$  متصل شده است. قدرت و ولتاژ مبنای سیستم را به ترتیب  $100 \text{ MVA}$  و  $24 \text{ kV}$  در نظر بگیرید. (ژنراتور را به صورت یک منبع ولتاژ ایده‌آل سری با راکتانس مربوطه مدل نمایید).

الف: مدار معادل سیستم را بر حسب مقادیر پریونیت نمایش دهید.

ب: اگر ژنراتور فقط توان اکتیو  $1/1 \text{ pu}$  به شین بی‌نهایت تزریق کند، ولتاژ داخلی ژنراتور را محاسبه کنید. (منظور از ولتاژ داخلی ژنراتور همان ولتاژ منبع ایده‌آل مذکور می‌باشد).



شکل (۱)

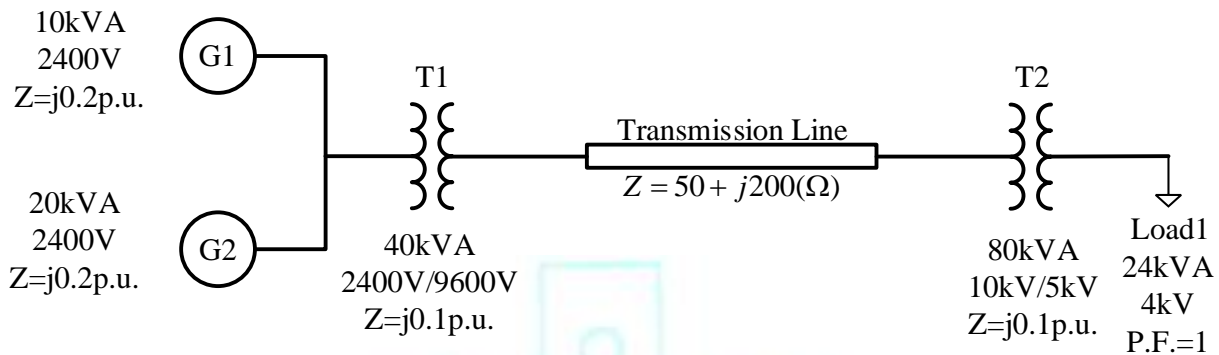
۲. برای سیستم شکل (۲):

الف: دیاگرام امپدانسی برحسب پریونیت را رسم کنید. توان مبنا را برابر  $100$  کیلوولت آمپر و ولتاژ مبنای ژنراتورها را برابر  $2400$  ولت در نظر بگیرید.

ب: با فرض اینکه ضریب توان بار برابر  $1$  باشد، اگر ژنراتور  $G1$  به صورت ناگهانی از مدار خارج گردد، با فرض ثابت ماندن ولتاژ تمامی شین‌ها نسبت به حالت قبل، ژنراتور  $G2$  چند درصد overload می‌شود؟ (از تلفات ترانسفورماتور، خط انتقال و سایر تجهیزات صرف‌نظر شود).

راهنمایی: هنگامی که یک ژنراتور تحت باری بزرگتر از مقدار نامی خودش قرار می‌گیرد، اصطلاحاً می‌گویند که ژنراتور overload شده است. اگر  $S_{Demand}$  مقدار بار مصرفی و  $S_{Generation}$  میزان توان نامی ژنراتور باشد، با صرف نظر از تلفات تجهیزات، overload بر حسب ولت‌آمپر به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$overload = |S_{Demand}| - |S_{Generation}|$$

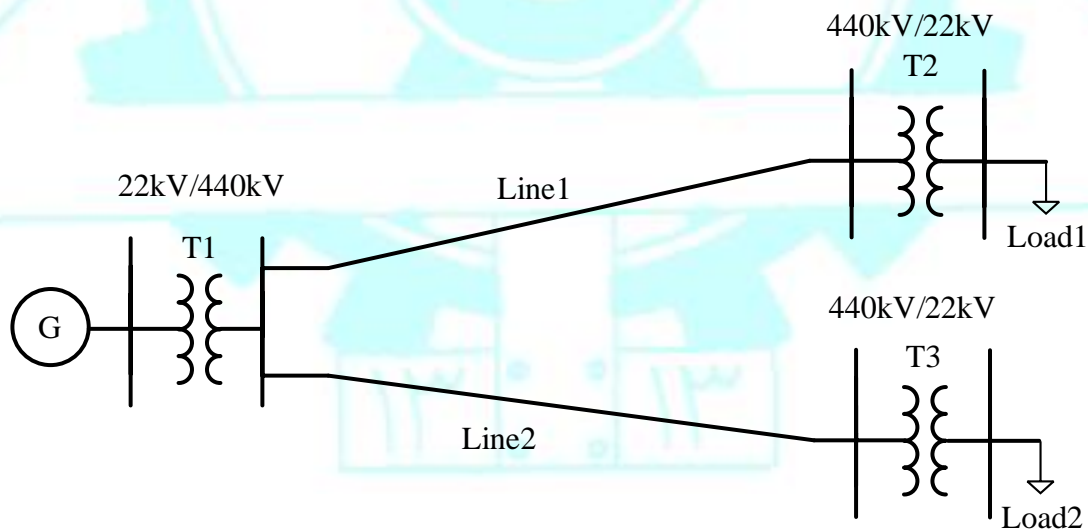


شکل (۲)

۳. با در نظر گرفتن  $V_{base} = 22kV$  و  $S_{base} = 100MVA$  در سیستم نمایش داده شده در شکل (۳)، جریان هر یک از خطوط و ژنراتور را بر حسب پریونیت و آمپر محاسبه نمایید. (از تلفات تمامی تجهیزات صرف نظر کرده و زاویه ولتاژ در ترمینال بارها را صفر فرض کنید).

Load1:  $22kV, Z = 11.17 + j7.45(\Omega)$

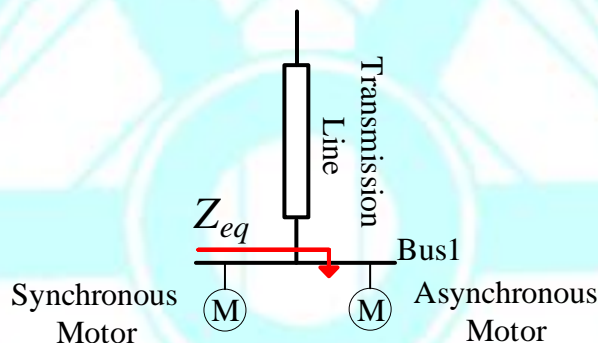
Load2:  $22kV, P = 0.8p.u., Q = 0.2p.u., S_{base} = 50MVA$



شکل (۳)

۴. در یک خط انتقال سه فاز با امپدانس  $(۱۰ + j۳۰)$  اهم، ولتاژ انتهای خط انتقال برابر  $kV (۱۰۰ \pm ۰)$  است. چنانچه این خط یک بار اهمی- سلفی با توان اکتیو  $۴۰ MW$  و توان راکتیو  $۰/۳ pu$  و ضریب توان  $۰/۸$  را تغذیه کند، فازور ولتاژ ابتدای خط بر حسب پریونیت را محاسبه نمایید. (مقدار ولتاژ مبنا را برابر  $kV ۱۰۰$  در نظر بگیرید).

۵. یک خط انتقال سه فاز، دو بار را در ولتاژ  $V$  تغذیه می کند. Load1 موتور سنکرون با توان اکتیو  $۰/۱۲ pu$  و ضریب توان  $۰/۸$  پیش فاز و Load2 یک موتور آسنکرون با توان اکتیو  $۰/۲ pu$  هستند. اگر امپدانس  $Z_{eq}$  نمایش داده شده در شکل (۴) برابر  $۱۱۹/۲۹ + j۲۶/۰۹$  اهم باشد، مقدار امپدانس مبنا را محاسبه نمایید. (ولتاژ مبنا را همان  $V$  در نظر بگیرید و زاویه ولتاژ در باس ۱ را صفر فرض کنید).



شکل (۴)

۶. با توجه به سیستم قدرت شکل (۵) و با در نظر گرفتن مشخصات ژنراتور به عنوان مبنا، به سؤالات زیر پاسخ دهید.

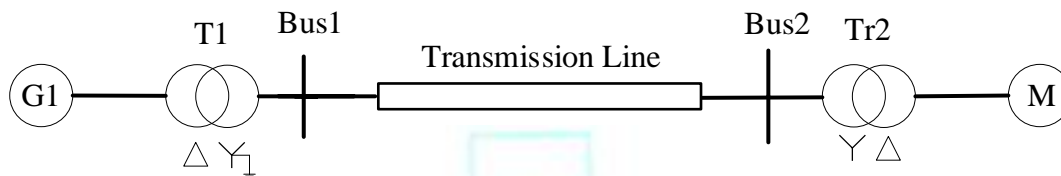
**الف:** مدار معادل پریونیت این سیستم را رسم کنید و مقادیر راکتانس ها را بر حسب پریونیت در آن مشخص نمایید.

**ب:** اگر در سیستم قدرت بالا، موتور سنکرون توان  $۱۸$  مگاوات را در ولتاژ نامی  $۱۳/۸$  کیلوولت و ضریب توان  $۰/۹$  پیش فاز جذب کند، مقادیر جریان موتور، خط انتقال و ژنراتور را بر حسب پریونیت و آمپر محاسبه کنید. همچنین ولتاژ ترمینال ژنراتور و ولتاژ ابتدای خط انتقال را بر حسب پریونیت و کیلوولت بدست آورید.

$G: 30MVA, 13.8kV, X = 100\%$

$T1: 25MVA, 13.2kV / 132kV, X = 10\%$  ,  $T2: 25MVA, 138kV / 13.8kV, X = 8\%$

$M: 25MVA, 13.8kV, X = 80\%$  ,  $Line: Z_{Line} = 12.7 + j63.48(\Omega)$



شکل (۵)

۷. سیستم نمایش داده شده در شکل (۶) را در نظر بگیرید.

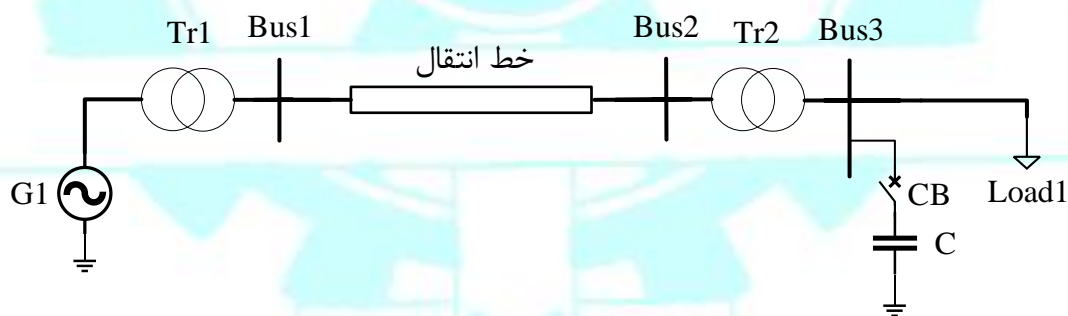
مشخصات ژنراتور را به عنوان مبنا در نظر گرفته و به سوالات زیر پاسخ دهید.

$G: 3MVA, 20kV, X_G = 3\%$

$Tr1: 20kV / 230kV, 3MVA, X_{Tr1} = 5\%$

$Tr2: 230kV / 11kV, 3MVA, X_{Tr2} = 5\%$

$Load1 = 2MVA, \cos \phi = 0.8lag$



شکل (۶)

الف: امپدانس Load1 را بر حسب پریونیت محاسبه نمایید.

ب: فرض کنید می‌خواهیم از طریق بستن کلید CB و وارد کردن خازن C به مدار، ضریب توان در Bus3 را به ۰/۹۵ پس‌فاز بهبود دهیم. مقدار ادمیتانس خازن C برای این منظور را بر حسب پریونیت بدست آورید.

۸. سیستم نمایش داده شده در شکل (۷) را در نظر بگیرید. با در نظر گرفتن مقادیر مبنای ۱۳/۸ kV و ۱۰۰ MVA در سمت ژنراتور به سوالات زیر پاسخ دهید.

الف: امپدانس بین دو باس ۱ و ۴ را بر حسب پریونیت محاسبه نمایید.

ب: پارامتر  $K$  که به صورت  $\bar{K} = \frac{\bar{I}_{Line2}}{\bar{I}_{Line1}}$  تعریف می‌گردد را بدست آورید.

$G: 90MVA, 13.8kV, X_G = 18\%$

$T1: 13.8kV / 220kV, 50MVA, X_{T1} = 12\%$

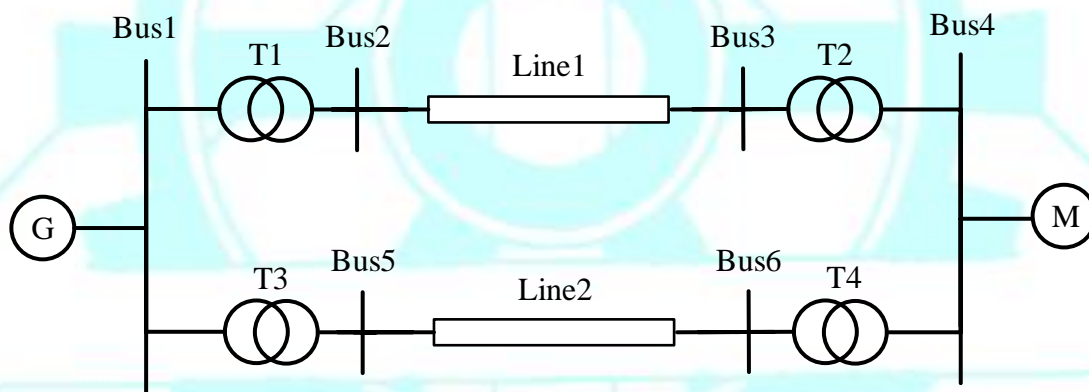
$T2: 220kV / 11kV, 50MVA, X_{T2} = 12\%$

$T3: 13.8kV / 132kV, 50MVA, X_{T3} = 8\%$

$T4: 132kV / 11kV, 50MVA, X_{T4} = 8\%$

$Line1: 220kV, Z_{Line1} = 2.42 + j36.3(\Omega)$

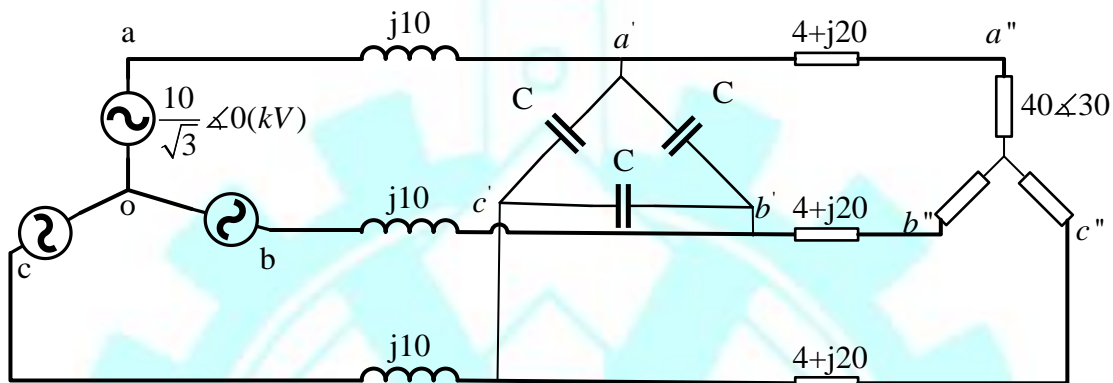
$Line2: 132kV, Z_{Line2} = 1.7425 + j34.85(\Omega)$



شکل (۷)



۹. با توجه به سیستم سه فاز متعادل نمایش داده شده در شکل (۸)، اگر ولتاژ مبنا همان مقدار ولتاژ منبع و توان مبنا ۱ MVA باشد، جریانه‌های  $\bar{I}_a$ ،  $\bar{I}_b$  و  $\bar{I}_c$  و فازور ولتاژهای خطی و فازی ترمینال ژنراتور ( $V_{a'o}$  و  $V_{a'b'}$ ) را بر حسب پریونیت بدست آورید. ( $f = 60\text{Hz}$  و  $C = 44.21\mu\text{F}$ )



شکل (۸)

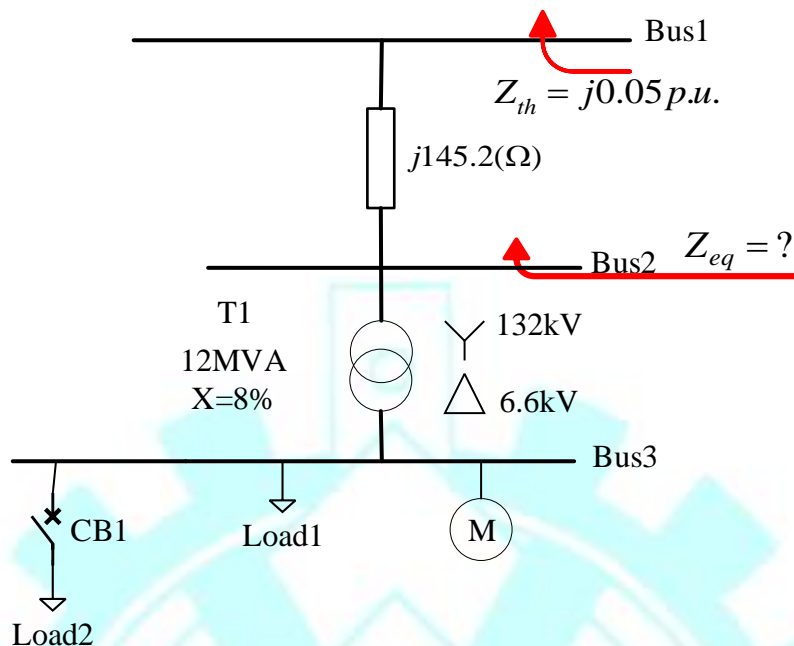
۱۰. با توجه به سیستم نمایش داده شده در شکل (۹)، به سؤالات زیر پاسخ دهید.

**الف:** امپدانس دیده شده از باس ۲ ( $Z_{eq}$ ) را بر حسب اهم و پریونیت محاسبه نمایید. حال این امپدانس را به سمت ثانویه ترانسفورماتور منتقل کنید و مجدداً مقدار آن را بر حسب اهم و پریونیت بدست آورید. چه نتیجه‌ای می‌توان گرفت؟ (مشخصات ترانسفورماتور را به عنوان مبنا در نظر بگیرید).

**ب:** ضریب توان در باس ۳ را محاسبه نمایید. (زاویه ولتاژ این باس را برابر صفر در نظر بگیرید. کلید CB1 نیز در این حالت باز است).

$$\text{Load1: } Z = 10.89 + j1.815(\Omega)$$

$$\text{Motor: } V = 6.6\text{kV}, P_M = 0.667\text{ p.u.}, Q_M = 0.5\text{ p.u.}, S_{base} = 6\text{MVA}$$



شکل (۹)

\*۱۱. در شکل (۹) فرض کنید در باس ۳ Load2 با ضریب توان  $0.8$  پس فاز به شبکه اضافه گردد. اگر ولتاژ باس ۱ را برابر  $pu$  ( $0.5 \angle 0^\circ$ ) در نظر بگیریم و حداقل اندازه مجاز ولتاژ در باس ۳ برابر  $0.95$  پریونیت باشد:

الف: حداکثر توان بار مذکور بر حسب پریونیت و مگاوات آمپر چقدر باید باشد؟

ب: آیا اضافه نمودن Load2 در باس ۳ سبب overload شدن ترانسفورماتور T می‌گردد؟ در صورتی که پاسخ شما مثبت است، میزان overload ترانسفورماتور را محاسبه کرده و راهکاری برای کاهش این بارگذاری پیشنهاد کنید.

\*۱۲. خط انتقال سه‌فازی در فرکانس  $50$  هرتز و با امپدانس  $Z_s = 0.5 + j2$  باری را تغذیه می‌کند. بار مذکور در ضریب توان  $0.8$  پس فاز و ولتاژ  $10$  kV، توان  $200$  kW را جذب می‌کند. (ولتاژ و توان مبنا به ترتیب  $10$  kV و  $5$  MVA در نظر بگیرید).

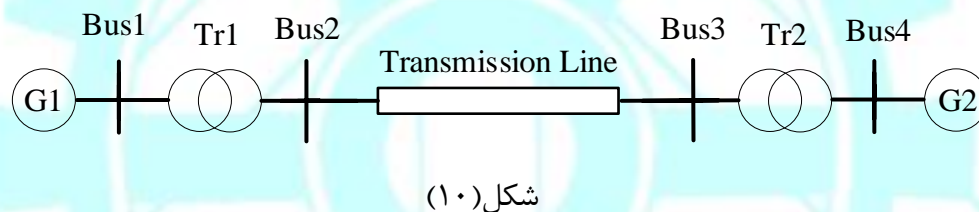
الف: ولتاژ ابتدای خط و توان‌های اکتیو و راکتیو تولیدی ابتدای خط را بر حسب پریونیت بدست آورید.



**ب:** اگر ولتاژ ابتدای خط برابر  $10 \text{ kV}$  و بار انتهایی خط دارای امپدانس  $Z_L = 18 + j45$  با اتصال مثلث باشد، ولتاژ انتهایی خط را بر حسب پریونیت محاسبه کنید.

**ج:** برای آنکه ولتاژ انتهایی خط در حالت (ب) را نیز به  $10 \text{ kV}$  برسانیم تا افت ولتاژ خط جبران شود، سه خازن با مقادیر یکسان با آرایش ستاره با بار موازی می‌نماییم، توان و راکتانس این خازن بر حسب پریونیت را محاسبه نمایید.

**\*۱۳.** سیستم قدرت نمایش داده شده در شکل (۱۰) را در نظر بگیرید. نسبت امپدانس تونن دیده شده توسط ترمینال ژنراتور  $G2$  (باس ۴) در مقادیر مبنای ژنراتور  $G2$ ، به امپدانس تونن دیده شده توسط ترمینال ژنراتور  $G1$  (باس ۱) در مقادیر مبنای ژنراتور  $G1$  را محاسبه نمایید.



$G1: 100\text{MVA}, 20\text{kV}, X_{G1} = 10\%$

$Tr1: 20\text{kV} / 400\text{kV}, 80\text{MVA}, X_{Tr1} = 5\%$

$Tr2: 400\text{kV} / 20\text{kV}, 50\text{MVA}, X_{Tr2} = 8\%$

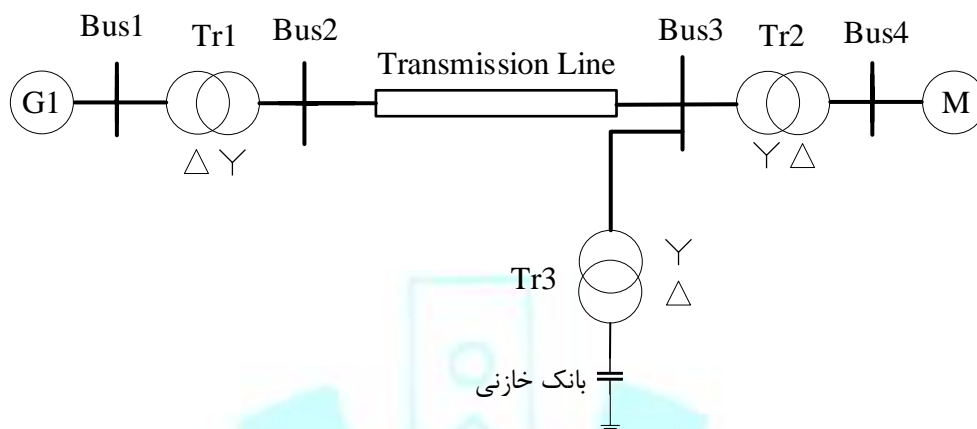
$G2: 60\text{MVA}, 18\text{kV}, X_{G2} = 10\%$

$\text{Transmission\_Line}: X_L = 20\Omega$

**\*۱۴.** سیستم قدرت نشان داده شده در شکل (۱۱) را در نظر بگیرید.

**الف:** نمودار امپدانسی سیستم در مبنای پریونیت را رسم نمایید. ( $Tr3$  از ۳ ترانسفورماتور تکفاز با مشخصات داده شده تشکیل شده است. ولتاژ مبنا در سمت ژنراتور  $20 \text{ kV}$  و توان مبنا برابر  $100 \text{ MVA}$  در نظر گرفته شود).

**ب:** اگر توان ظاهری موتور  $45 \text{ MVA}$  و ضریب توان  $0.8$  پس‌فاز باشد، ولتاژ شین ۳ چند پریونیت خواهد شد؟



شکل (۱۱)

$G : 60MVA, 20kV, 50Hz, X = 90\%$

$Tr1 : 50MVA, 20kV / 200kV, X = 10\%$

$Tr2 : 50MVA, 200kV / 20kV, X = 10\%$

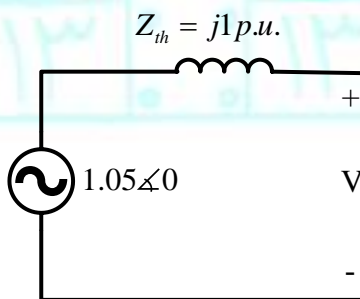
$Tr3 : 3 \times Tr_{1\phi}, Tr_{1\phi} : 10MVA, 120kV / 20kV, X = 12\%$

$M : 43.2MVA, 18kV, X = 85\%$

$Line : 200kV, Z = (120 + j200) \frac{\Omega}{Ph}$

$Cap.Bank : Y, Q_{3\phi} = 6.6MVar, 20kV$

\*۱۵. مدار معادل تونن یک شبکه از دید نقطه‌ای از سیستم قدرت مطابق شکل (۱۲) می‌باشد و  $S_{base} = 100MVA$  است، اگر خازنی با قدرت نامی  $20 MVar$  در این نقطه نصب گردد و توان نامی خود را به شبکه تحویل دهد، جریان خازن برحسب پریونیت چقدر می‌باشد؟



شکل (۱۲)

\*۱۶. منبع تکفازی یک بار تکفاز با توان  $S = \frac{200}{\sqrt{2}} \angle 45^\circ \text{ kVA}$  را از طریق خطی با امپدانس  $0.2 + j\frac{4}{3} \text{ p.u.}$

تغذیه می‌کند. اگر ضریب توان منبع  $0.6$  و همچنین نسبت جریان مبنا به امپدانس مبنا در این شبکه برابر  $40$

باشد. موارد زیر را محاسبه نمایید. (توان مبنا را برابر  $200 \text{ kVA}$  در نظر بگیرید.)  $\left(\frac{I_{base}}{Z_{base}}\right) = 40$

**الف:** اندازه جریان عبوری از خط انتقال بر حسب پریونیت را بدست آورید.

**ب:** ولتاژ مبنا و همچنین امپدانس مبنا در این شبکه را محاسبه کنید.

### نکات:

- ۱- در سیستم پریونیت نوع اتصال ترانسفورماتور اهمیتی ندارد که مثلاً از نوع مثلث/ستاره یا از انواع دیگر باشد.
- ۲- در ترانسفورماتور مثلاً  $20 \text{ kV} / 200 \text{ kV}$  اگر ولتاژ مبنا در سمت فشارضعیف  $20 \text{ kV}$  است در سمت فشارقوی ولتاژ مبنا برابر  $200 \text{ kV}$  خواهد بود. همین‌طور در این ترانسفورماتور جریان مبنا در سمت فشارضعیف  $10$  برابر جریان مبنا در سمت فشارقوی است.
- ۳- زمانی که ولتاژ سیستم با ولتاژ مبنا یکسان باشد، توان بر حسب پریونیت همان جریان بر حسب پریونیت است. به بیان دقیق‌تر:

$$|S_{p.u.}| = |V_{p.u.}| |I_{p.u.}| \xrightarrow{|V_{p.u.}|=1} |S_{p.u.}| = |I_{p.u.}|$$

$$S_{p.u.} = V_{p.u.} \times I_{p.u.}^* \xrightarrow{\text{if } V_{p.u.}=1, \theta_v=0} S_{p.u.} = I_{p.u.}^*$$

\*لطفاً در صورت هر گونه سوال یا مشکل به ایمیل زیر پیام دهید.

[ha.aslani76@gmail.com](mailto:ha.aslani76@gmail.com)

سربلند و موفق باشید.