موضوع امتحان: تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱

مقطع و رشته: کارشناسی برق

نام استاد: بهروز آدینه

نام دانشجو: .....

استفاده از ماشین‌حساب:

مجاز است ☑ مجاز نیست ☐

شماره دانشجویی: .....

نوع ماشین‌حساب: ساده

تاریخ امتحان: ۱۳۹۶/۰۳/۲۹

ساعت امتحان: ۸ صبح

وقت امتحان: ۱۲۰ دقیقه

شماره صندلی: .....

استفاده از جزوه - کتاب آزاد است:

بلی ☐ خیر ☑

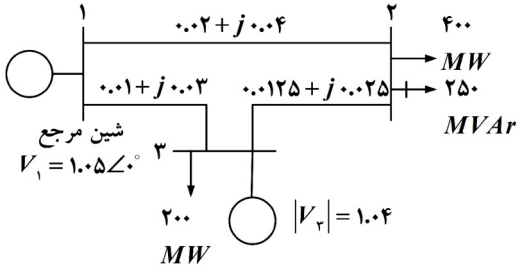
شماره	سوالات	بارم

در جدول زیر چیزی ننویسید.

سوال ۱	سوال ۲	سوال ۳	سوال ۴	سوال ۵	سوال ۶	جمع
۳۲	۱۳	۲۱	۱۱	۲۹	۱۴	۱۲۰

۱

در شکل زیر نمایش تک‌خطی یک سیستم قدرت ساده با سه شین ارائه شده است که در آن شین‌های ۱ و ۳ دارای ژنراتور هستند. اندازه ولتاژ شین ۱ در مقدار ۱/۰۵ پریونیت تنظیم شده است. اندازه ولتاژ شین ۳ نیز در ۱/۰۴pu تثبیت شده و قدرت تولیدی این شین ۲۰۰MW است. بار شین ۲ توان ۴۰۰MW و ۲۵۰MVAr مصرف می‌کند. امپدانس خطوط برحسب پریونیت در مبنای ۱۰۰MVA مشخص شده و از سوسپتانس باردهی خط چشم‌پوشی شده است با استفاده از روش مجزای سریع، مساله پخش بار را حل کرده و مقادیر را برای تکرار صفر و یک بدست آورید. (مقادیر اندازه ولتاژ شین ۲ و زاویه شین ۲ و ۳ را تا ۶ رقم اعشار بدست آورید.)



پاسخ: در ابتدا باید امپدانس‌های خطوط را به ادمیتانس تبدیل کرد:

$$y_{12} = \frac{1}{0.02 + j0.04} = 10 - j20,\ y_{13} = \frac{1}{0.01 + j0.03} = 10 - j30,$$
$$y_{23} = \frac{1}{0.0125 + j0.025} = 16 - j32$$

حال ماتریس ادمیتانس شین در این سیستم را بدست می‌آوریم:

$$\begin{bmatrix} 20 - j50 & -10 + j20 & -10 + j30 \\ -10 + j20 & 26 - j52 & -16 + j32 \\ -10 + j30 & -16 + j32 & 26 - j62 \end{bmatrix}$$

در این سیستم، شین ۱ به عنوان شین مرجع انتخاب شده است. ماتریس سوسپتانس شین مربوط برای ارزیابی زاویه‌های فاز $\Delta\delta_2$ و $\Delta\delta_3$ عبارتست از:

$$B' = \begin{bmatrix} -52 & 32 \\ 32 & -62 \end{bmatrix} \Rightarrow (B')^{-1} = \begin{bmatrix} -0.028182 & -0.014545 \\ -0.014545 & -0.023634 \end{bmatrix}$$

روابط بین توان اکتیو در شین‌های ۲ و ۳ و توان راکتیو در شین ۲ عبارتند از:

$$P_2 = |V_2||V_1||Y_{12}|\cos(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) + |V_2|^2|Y_{22}|\cos\theta_{22} + |V_2||V_3||Y_{23}|\cos(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$
$$P_3 = |V_3||V_1||Y_{31}|\cos(\theta_{31} - \delta_3 + \delta_1) + |V_3||V_2||Y_{32}|\cos(\theta_{32} - \delta_3 + \delta_2) + |V_3|^2|Y_{33}|\cos\theta_{33}$$

$$Q_2 = -|V_2||V_1||Y_{12}|\sin(\theta_{21} - \delta_2 + \delta_1) - |V_2|^2|Y_{22}|\sin\theta_{22} - |V_2||V_3||Y_{23}|\sin(\theta_{23} - \delta_2 + \delta_3)$$

مقادیر بار و تولید برحسب pu بیان شده و مطابق زیر بدست می‌آیند:

$$S_2^{sch} = -\frac{400 + j250}{100} = -4/0 - j2/5\text{pu},\ P_3^{sch} = \frac{200}{100} = 2\text{pu}$$

ولتاژ شین مرجع $|V_1| = 1/05\angle 0^o\text{pu}$ بوده و اندازه ولتاي شین ۳ عبارت است از $|V_2| = 1/04\text{pu}$. با شروع از تخمین اولیه $|V_2^{(0)}| = 1$، $\delta_2^{(0)} = 0/0$ و $\delta_3^{(0)} = 0/0$ باقیمانده توان‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2^{sch} - P_2^{(0)} = -4 - (-1/14) = -2/86$$

$$\Delta P_3^{(0)} = P_3^{sch} - P_3^{(0)} = 2 - (0/5616) = 1/4384$$

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2^{sch} - P_2^{(0)} = -2/5 - (-2/28) = -0/22$$

بارم ۱

الگوریتم پخش بار مجزای سریع نتیجه زیر را می‌دهد:

$$\begin{bmatrix}\Delta\delta_2^{(0)}\\ \Delta\delta_3^{(0)}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0/028182 & -0/014545\\ -0/014545 & -0/023634\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\frac{-2/86}{1}\\ \frac{1/4384}{1/04}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}-0/06483\\ -0/008909\end{bmatrix}$$

با توجه به اینکه شین ۳ تنظیم شده است، سطر و ستون متناظر آن در B' حذف شده و خواهیم داشت: $B'' = [-52]$ داریم:

$\Delta|V_2| = -\left[\frac{-1}{52}\right]\left[\frac{-0/22}{1/0}\right] = 0/004230$ ولتاژ جدید شین‌ها در تکرار اول عبارتند از:

$$\Delta\delta_2^{(0)} = -0/06483,\ \delta_2^{(1)} = 0 + (-0/06483) = -0/06483$$

$$\Delta\delta_3^{(0)} = -0/008989,\ \delta_2^{(1)} = 0 + (-0/008989) = -0/008989$$

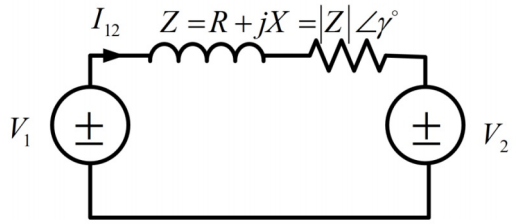
$$\Delta|V_2^{(0)}| = -0/004230,\ |V_2^{(1)}| = 1 + (-0/004230) = -0/04230$$

اگر امپدانس بین ماشین ۱ و ۲ در شکل زیر $Z = -j5\Omega$ باشد و $V_1 = 100\angle 0^o\text{V}$ و $V_2 = 100\angle 30^o\text{V}$ باشند.

۱- کدام ماشین توان تولید و کدام مصرف می‌کند؟

۲- تعیین کنید که هر ماشین چه مقدار توان راکتیو و اکتیو تولید یا مصرف می‌کنند.

P و Q تولید شده یا مصرف شده توسط امپدانس خط را بیابید.



بارم ۲

پاسخ:

$$I_{12} = \frac{V_1 - V_2}{Z} = \frac{100 - (86/6 + j50)}{-j50} = 10 + j2/68 = 10/35\angle 15^o$$

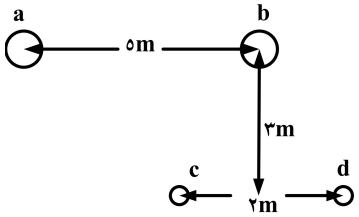
$$S_1 = V_1 I_{12}^* = 100 \times (10 - j2/68) = 1000 - j268\text{VA}$$

$$S_2 = -V_2 I_{12}^* = -(86/6 + j50) \times (10 - j2/68) = -1000 - j267/9\text{VA}$$

ماشین ۱ مقدار ۱۰۰۰ وات توان اکتیو تولید و ۲۶۸ وار توان راکتیو مصرف می‌کند.

ماشین ۲ مقدار ۱۰۰۰ وات توان حقیقی مصرف و ۲۶۷/۹ وار توان راکتیو مصرف می‌کند.

$$Q_c = X_c|I_{12}|^2 = 5 \times 10/35^2 = 535/6\text{VAr}$$

۳	یک خط سه‌فاز جابه‌جا شده با ولتاژ ۵۰۰kV یک هادی ACSR از نوع Bitten ۴۵/۷ با اندازه ۱۲۷۲۰۰۰cmil در هر فاز تشکیل شده است. آرایش هادی به صورت افقی است. قطر هر یک از هادی‌ها ۱/۳۴۵ اینچ و GMR آن‌ها ۰/۵۳۲۸ اینچ می‌باشد. فاصله هادی‌ها از یکدیگر ۳۵ft است. الف) اندوکتانس و ظرفیت خازنی هر فاز در هر کیلومتر خط را بدست آورید. ب) اگر در این خط انتقال هادی‌ها با دو هادی ACSR از نوع Rook ۲۴/۷ با اندازه ۶۳۶۰۰۰cmil جایگزین گردد. به طوری که کل سطح مقطع آلومینیوم آن با سطح مقطع آلومینیوم یک هادی Bitten برابر باشد. فاصله بین خطوط از مرکز هادی‌های گروهی اندازه‌گیری شده و دارای همان مقدار قبلی می‌باشد. هادی‌های دارای قطر ۰/۹۷۷ اینچ و GMR آن‌ها ۰/۳۹۲۴ اینچ است. فاصله بین هادی‌های فرعی یک گروه ۱۸ اینچ می‌باشد. اندوکتانس و ظرفیت خازنی هر فاز را در هر کیلومتر خط بدست آورده و با مقادیر حالت الف مقایسه کنید. پاسخ: الف- $\text{GMD} = \sqrt[3]{۳۵ \times ۳۵ \times ۷۰} = ۴۴/۰۹۷\,\text{ft}, \text{r} = \frac{۱/۳۴۵}{۲ \times ۱۲} = ۰/۰۵۶\,\text{ft}$ $\text{GMR} = \frac{۰/۵۳۲۸}{۱۲} = ۰/۰۴۴۴\,\text{ft}, \text{L} = ۰/۲ \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}} = ۰/۲ \ln \frac{۴۴/۰۹۷}{۰/۰۴۴۴} = ۱/۳۸\,\frac{\text{mH}}{\text{km}}$ $\text{C} = \frac{۰/۰۵۵۶}{\ln \frac{\text{GMD}}{\text{r}}} = \frac{۰/۰۵۵۶}{\ln \frac{۴۴/۰۹۷}{۰/۰۵۶}} = ۰/۰۰۸۳\,\frac{\mu\text{f}}{\text{km}}$ ب- $\text{r} = \frac{۰/۹۷۷}{۲} = ۰/۴۸۸۵\,\text{inch}, \text{GMD} = ۴۴/۰۹۷\,\text{ft}, \text{GMR}_\text{L} = \frac{\sqrt{d \times D_s}}{۱۲} = \frac{۱۸ \times ۰/۳۹۲۴}{۱۲}$ $= ۰/۲۲۱۴۷\,\text{ft}, \text{GMR}_\text{C} = \frac{\sqrt{d \times r}}{۱۲} = \frac{۱۸ \times ۰/۴۸۸۵}{۱۲} = ۰/۲۴۷۱\,\text{ft}, \text{L} = ۰/۲ \ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_L}$ $= ۰/۲ \ln \frac{۴۴/۰۹۷}{۰/۲۲۱۴۷} = ۱/۰۵۸۸\,\frac{\text{mH}}{\text{km}}, \text{C} = \frac{۰/۰۵۵۶}{\ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_C}} = \frac{۰/۰۵۵۶}{\ln \frac{۴۴/۰۹۷}{۰/۲۴۷۱}} = ۰/۰۱۰۷\,\frac{\mu\text{f}}{\text{km}}$ تغییرات ظرفیت خازنی $= \frac{C_۲ - C_۱}{C_۱} = \frac{۰/۰۱۰۷ - ۰/۰۰۸۳}{۰/۰۰۸۳} = ۲۸/۹٪,$ تغییرات اندوکتانس $= \frac{L_۲ - L_۱}{L_۱} = \frac{۱/۰۵۸۸ - ۱/۳۸}{۱/۳۸} = -۲۲/۳٪$	بارم
۴	یک خط قدرت تک‌فاز ۶۰ هرتز و یک خط تلفن با یکدیگر موازی هستند. خط تلفن به طور متقارن و مستقیم زیر فاز b قرار دارد. جریان موثر خط قدرت ۲۲۶ آمپر می‌باشد. فرض کنید جریان عبوری از سیم‌های زمین نشده تلفن صفر باشد. اندازه ولتاژ القا شده را در هر کیلومتر خط تلفن محاسبه نمایید.  پاسخ: $D_{ac} = \sqrt{۴^۲ + ۳^۲} = ۵, D_{ad} = \sqrt{۶^۲ + ۳^۲} = ۶/۷۰۸۲, D_{bc} = D_{bd} = \sqrt{۳^۲ + ۱^۲} = ۳/۱۶۲۲$ $\lambda_{cdI_a} = ۰/۲ I_a \ln \frac{D_{ad}}{D_{ac}} = ۰/۲ \times ۲۲۶ \ln \frac{۶/۷۰۸۲}{۵} = ۱۳/۲۸\,\frac{\text{mWb}}{\text{km}}, \lambda_{cdI_b} = ۰/۲ I_b \ln \frac{D_{bd}}{D_{bc}} = ۰$ $\lambda_{cd} = \lambda_{cdI_a} + \lambda_{cdI_b} = ۱۳/۲۸\,\frac{\text{mWb}}{\text{km}}, \text{V} = \frac{d\lambda}{dt} \Rightarrow V(j\omega) = j\omega\lambda$ $\Rightarrow |V| = \omega\lambda = ۲\pi \times ۶۰ \times ۱۳/۲۸ \times ۱۰^{-۳} = ۵\,\frac{\text{V}}{\text{km}}$	بارم

۵	یک خط انتقال سه‌فاز به طول ۳۰۰ کیلومتر و ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت و فرکانس ۶۰ هرتز مفروض است. اندوکتانس خط $۰/۹۷\ \frac{\text{mH}}{\text{km}}$ در هر فاز و ظرفیت خازنی هر فاز $۰/۰۱۱۵\ \frac{\mu\text{F}}{\text{km}}$ می‌باشد. با فرض اینکه خط بدون تلفات باشد: الف) ثابت فاز (β)، امپدانس مشخصه (Z_C)، سرعت انتشار (ν) و طول موج (λ) خط را تعیین نمایید. ب) بار نامی در سمت دریافت خط ۸۰۰ مگاوات با ضریب قدرت ۰/۸ پس‌فاز و ولتاژ ۵۰۰ کیلوولت می‌باشد. ولتاژ و جریان سمت ارسال و تنظیم ولتاژ خط را بدست آورید. (مقادیر خط به خط ولتاژ مد نظر است.) پاسخ: الف- $\beta = \omega\sqrt{LC} = ۲\pi \times ۶۰ \times \sqrt{۰/۹۷ \times ۰/۰۱۱۵ \times ۱۰^{-۹}} = ۰/۰۰۱۲۵۹\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}, Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}}$ $= \sqrt{\frac{۰/۹۷ \times ۱۰^{-۳}}{۰/۰۱۱۵ \times ۱۰^{-۶}}} = ۲۹۰/۴۳\ \Omega, \nu = \frac{۱}{\sqrt{LC}} = \frac{۱}{۰/۹۷ \times ۰/۰۱۱۵ \times ۱۰^{-۹}} = ۲/۹۹۴ \times ۱۰^{۵}\ \frac{\text{km}}{\text{s}},$ $\lambda = \frac{\nu}{f} = \frac{۲/۹۹۴ \times ۱۰^{۵}}{۶۰} = ۴۹۹۰\text{km}$ ب- $\beta l = ۰/۰۰۱۲۵۹ \times ۳۰۰ = ۰/۳۷۷۷\ \text{rad} = ۲۱/۶۴۱^{o}, V_R = \frac{۵۰۰\angle ۰^{o}}{\sqrt{۳}} = ۲۸۸/۶۷۵\angle ۰^{o}\ \text{kV},$ $S_{R(۳\phi)} = \frac{۸۰۰}{۰/۸}\angle cos^{-۱}۰/۸ = ۱۰۰۰\angle ۳۶/۸۷^{o} = ۸۰۰ + j۶۰۰\text{MVA}, I_R = \frac{S^{*}_{R(۳\phi)}}{۳V^{*}_{R}} =$ $\frac{۱۰۰۰\angle ۳۶/۸۷^{o} \times ۱۰^{۳}}{۳ \times ۲۸۸/۶۷۵\angle ۰^{o}} = ۱۱۵۴/۷\angle -۳۶/۸۷^{o}\text{A}, V_S = cos\beta l V_R + jZ_C sin\beta l I_R$ $= ۰/۹۲۹۵ \times ۲۸۸/۶۷۵\angle ۰^{o} + j۲۹۰/۴۳ \times ۰/۳۶۸۸ \times ۱۱۵۴/۷\angle -۳۶/۸۷^{o} \times ۱۰^{-۳}$ $= ۳۵۶/۵۳\angle ۱۶/۱^{o}\ \text{V}, |V_{S(L-L)}| = \sqrt{۳}V_S = ۶۱۷/۵۳\ \text{V}, I_S = j\frac{۱}{Z_C}sin\beta l V_R + cos\beta l I_R$ $= j\frac{۱}{۲۹۰/۴۳}۰/۳۶۸۸ \times ۲۸۸/۶۷۵\angle ۰^{o} \times ۱۰^{۳} + ۰/۹۲۹۵ \times ۱۱۵۴/۷\angle -۳۶/۸۷^{o}$ $= ۹۰۲/۳\angle -۱۷/۹^{o}\text{A}, \text{V.R.}\% = \frac{\frac{V_S}{A} - V_R}{V_R} = \frac{\frac{۳۵۶/۵۳}{۰/۹۲۹۵} - ۲۸۸/۶۷۵}{۲۸۸/۶۷۵} \times ۱۰۰ = ۳۲/۸۷\%$	بارم
۶	به سوالات زیر پاسخ دهید: الف- DG چیست؟ یک مثال بزنید. ب- مزایای یک سیستم پریونیت را ذکر کنید. (دو مورد) ج- مزایای باندل کردن خطوط انتقال را نام ببرید. (چهار مورد) د- پدیده کرونا چیست؟ مشکلات آن چیست؟ چه عواملی باعث تشدید این پدیده می‌شوند؟ ه- ثابت‌های ABCD یک خط کوتاه را بنویسید. (نیازی به اثبات نیست.) و- منظور از SIL یک خط چیست؟ توضیح دهید.	بارم