تمرینات فصل پنجم

تحلیل سیستم‌های انرژی الکتریکی ۱

به نام خدا

تاریخ تحویل: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴

سوال۱: یک خط سه فاز ۶۰ هرتز، $۳۴۵kV$، $۲۰۰km$ دارای ثابت‌های خط زیر است:

$$z = ۰/۰۳۲ + j۰/۳۵ \ \frac{\Omega}{km}, \quad y = j۴/۲ \times ۱۰^{-۶} \ \frac{S}{km}$$

بار کامل در سمت دریافت خط $۷۰۰MW$ در ۰/۹۹ پس‌فاز و در ۰/۹ ولتاژ نامی می‌باشد. مدل خط متوسط را در نظر بگیرید. مقادیر زیر را محاسبه کنید:

الف- پارامترهای ABCD خط در مدل π.

ب- ولتاژ، جریان و توان سمت ارسال خط.

ج- درصد تنظیم ولتاژ.

د- بازده خط انتقال در بار کامل و همچنین تلفات خط.

حل:

الف-

$$Z = zl = (۰/۰۳۲ + j۰/۳۵)(۲۰۰) = ۶/۴ + j۷۰ = ۷۰/۲۹\angle ۸۴/۷۸^o \ \Omega$$

$$Y = yl = (j۴/۲ \times ۱۰^{-۶})(۲۰۰) = ۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o \ S$$

$$A = D = ۱ + \frac{ZY}{۲} = ۱ + (\frac{(۷۰/۲۹\angle ۸۴/۷۸^o)(۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o)}{۲}) = ۱ + ۰/۰۲۹۵۲\angle ۱۷۴/۷۸^o$$
$$= ۰/۹۷۰۶ + j۰/۰۰۲۶۹ = ۰/۹۷۰۶\angle ۰/۱۵۹^o \ per\,unit$$

$$B = Z = ۷۰/۲۹\angle ۸۴/۷۸^o \ \Omega$$

$$C = Y(۱ + \frac{ZY}{۴}) = (۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o)(۱ + \frac{(۷۰/۲۹\angle ۸۴/۷۸^o)(۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o)}{۴})$$
$$= (۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o)(۱ + ۰/۰۰۱۴۷۶\angle ۱۷۴/۷۸^o) = (۸/۴ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰^o)(۰/۹۸۵۳ + j۰/۰۰۱۳۴)$$
$$= ۸/۲۷۷ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰/۰۸^o \ S$$

ب-

$$V_R = (۰/۹۵)(۳۴۵) = ۳۲۷/۸ \ kV_{LL}, \quad V_R = \frac{۳۲۷/۸}{\sqrt{۳}}\angle ۰^o = ۱۸۹/۲\angle ۰^o \ kV_{LN}$$

$$I_R = \frac{۷۰۰\angle cos^{-۱}(۰/۹۹)}{\sqrt{۳} \times ۰/۹۵ \times ۳۴۵ \times ۰/۹۹} = ۱/۲۴۶\angle ۸/۱۱^o \ kA$$

$$V_S = AV_R + BI_R = (۰/۹۷۰۶\angle ۰/۱۵۹^o)(۱۸۹/۲\angle ۰^o) + (۷۰/۲۹\angle ۸۴/۷۸^o)(۱/۲۴۶\angle ۸/۱۱^o)$$
$$= ۱۸۳/۶\angle ۰/۱۵۹^o + ۸۷/۵۵\angle ۹۲/۸۹^o = ۱۷۹/۲ + j۸۷/۹۵ = ۱۹۹/۶\angle ۲۶/۱۴^o \ kV_{LN}$$

$$V_S = ۱۹۹/۶\sqrt{۳} = ۳۴۵/۸ \ kV_{LL} \approx ۱/۰۰ \ per\,unit$$

$$I_S = CV_R + DI_R = (۸/۲۷۷ \times ۱۰^{-۴}\angle ۹۰/۰۸^o)(۱۸۹/۲\angle ۰^o) + (۰/۹۷۰۶\angle ۰/۱۵۹^o)(۱/۲۴۶\angle ۸/۱۱^o)$$
$$= ۰/۱۵۶۶\angle ۹۰/۰۸^o + ۱/۲۰۹\angle ۸/۲۷^o = ۱/۱۹۶ + j۰/۳۳۱ = ۱/۲۴۱\angle ۱۵/۵^o \ kA$$

$$P_S = \sqrt{۳} V_S I_S cos(\angle V_S - \angle I_S) = (\sqrt{۳})(۳۴۵/۸)(۱/۲۴۱) cos(۲۶/۱۴^o - ۱۵/۵^o) = ۷۳۰/۵ \ \ MW$$

ج-

$$V_{RNL} = \frac{V_S}{A} = \frac{۳۴۵/۸}{۰/۹۷۰۶} = ۳۵۶/۳ \ \ kV_{LL}$$
$$\% \, VR = \frac{V_{RNL} - V_{RFL}}{V_{RFL}} = \frac{۳۵۶/۳ - ۳۲۷/۸}{۳۲۷/۸} \times ۱۰۰ = ۸/۷\%$$

د-

$$P_L = P_S - P_R = ۷۳۰/۵ - ۷۰۰ = ۳۰/۵ \ \ MW$$
$$\eta = \frac{P_R}{P_S} \times ۱۰۰ = \frac{۷۰۰}{۷۳۰/۵} \times ۱۰۰ = ۹۵/۸\%$$

سوال۲: یک خط سه فاز ۶۰ هرتز، $۷۶۵kV$ و $۳۰۰km$ دارای امپدانس و ادمیتانس زیر است:

$$z = ۰/۰۱۶۵ + j۰/۳۳۰۶ = ۰/۳۳۱۰\angle ۸۷/۱۴^o \ \ \frac{\Omega}{km}, \ \ y = j۴/۶۷۴ \times ۱۰^{-۶} \ \ \frac{S}{km}$$

مقادیر دقیق پارامترهای ABCD خط را محاسبه کنید. مقدار دقیق B را با مقدار آن را در مدل π مقایسه کنید.

حل:

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} = \sqrt{\frac{۰/۳۳۱۰\angle ۸۷/۱۴^o}{۴/۶۷۴ \times ۱۰^{-۶}\angle ۹۰^o}} = \sqrt{۷/۰۸۲ \times ۱۰^۴ \angle = ۲۸۶^o} = ۲۶۶/۱\angle - ۱/۴۳^o$$

$$\gamma l = \sqrt{zy} \times l = \sqrt{(۰/۳۳۱۰\angle ۸۷/۱۴^o)(۴/۶۷۴ \times ۱۰^{-۶}\angle ۹۰^o)} \times ۳۰۰ = ۰/۳۷۳۱\angle ۸۸/۵۷^o$$
$$= ۰/۰۰۹۳۱ + j۰/۳۷۳۰ \ \ per\ unit$$

$$e^{\gamma l} = e^{۰/۰۰۹۳۱} e^{+j۰/۳۷۳۰} = ۱/۰۰۹۴\angle ۰/۳۷۳۰ \ \ rad = ۰/۹۴۰۰ + j۰/۳۶۷۸$$

$$e^{-\gamma l} = e^{-۰/۰۰۹۳۱} e^{-j۰/۳۷۳۰} = ۰/۹۹۰۷\angle - ۰/۳۷۳۰ \ \ rad = ۰/۹۲۲۶ - j۰/۳۶۱۰$$

$$cosh(\gamma l) = \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{۲} = ۰/۹۳۱۳ + j۰/۰۰۳۴ = ۰/۹۳۱۳\angle ۰/۲۰۹^o$$

$$sinh(\gamma l) = \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{۲} = ۰/۰۰۸۷ + j۰/۳۶۴۴ = ۰/۳۶۴۵\angle ۸۸/۶۳^o$$

$$A = D = cosh(\gamma l) = ۰/۹۳۱۳\angle ۰/۲۰۹^o \ \ per\ unit$$

$$B = Z_c sinh(\gamma l) = (۲۶۶/۱\angle -۱/۴۳)(۰/۳۶۴۵\angle ۸۸./۶۳^o) = ۹۷/۰\angle ۸۷/۲^o \ \Omega$$

$$C = \frac{sinh(\gamma l)}{Z_c} = \frac{۰/۳۶۴۵\angle ۸۸./۶۳^o}{۲۶۶/۱\angle -۱/۴۳} = ۱/۳۷ \times ۱۰^{-۳}\angle ۹۰/۰۶^o \ S$$

$$B_\pi = Z = zl = (۰/۳۳۱۰\angle ۸۷/۱۴^o)(۳۰۰) = ۹۹/۳\angle ۸۷/۱۴^o$$

$$\text{اختلاف دو مقدار} = \frac{B - B_\pi}{B} \times ۱۰۰ = \frac{۹۹/۳ - ۹۷}{۹۹/۳} \times ۱۰۰ = ۲/۳٪$$

یعنی مقدار B در مدل π ۲ درصد بزرگتر است.

سوال۳: پارامترهای یک خط انتقال ۲۰۰ مایلی در ۶۰ هرتز عبارت است از:

مقاومت $r = ۰/۲۱ \ \frac{\Omega}{mi}$ بر فاز

راکتانس سری $x = ۰/۷۸ \ \frac{\Omega}{mi}$ بر فاز

سوسپتانس موازی $b = ۵/۴۲ \times ۱۰^{-۶} \ \frac{S}{mi}$ بر فاز

ثابت تضعیف α، طول موج λ و سرعت انتشار خط را در ۶۰ هرتز بیابید.

حل:

$$z = r + jx = (۰/۲۱ + j۰/۷۸) = ۰/۸۰۸\angle ۷۴/۹۳^o \ \frac{\Omega}{mi}, \ \ y = jb = j۵/۴۲ \times ۱۰^{-۶} = ۵/۴۲ \times ۱۰^{-۶}\angle ۹۰^o \ \frac{S}{mi}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{zy} = \sqrt{(۰/۸۰۸\angle ۷۴/۹۳^o)(۵/۴۲ \times ۱۰^{-۶}\angle ۹۰^o)} = ۲/۰۹۲ \times ۱۰^{-۳}\angle ۸۲/۴۷^o$$
$$= ۲/۷۴۴ \times ۱۰^{-۴} + j۲/۰۷۴ \times ۱۰^{-۳} \ mi^{-۱}$$

$$\lambda = \frac{۲\pi}{\beta} = \frac{۲\pi \times ۱۰^۳}{۲/۰۷۴} = ۳۰۳۰ \ mi$$

$$\nu = \frac{۲\pi f}{\beta} = \frac{۱۲۰\pi \times ۱۰^۳}{۲/۰۷۴} = ۱۸۱۷۷۰ \frac{mi}{s}$$

سوال۴: توان سه فاز $۳۶۰۰ MW$ باید از طریق چهار خط انتقال مشابه ۶۰ هرتز در فاصله ۳۰۰ کیلومتر انتقال داده شود. برای طراحی مقدماتی خط، ثابت فاز و امپدانس موجی به صورت زیر است:

$$Z_c = ۳۴۳ \ \Omega, \ \ \beta = ۹/۴۶ \times ۱۰^{-۴} \ \frac{rad}{km}$$

براساس معیار بارپذیری عملی خط، سطح ولتاژ اسمی مناسب را برحسب kV برای هر یک از خطوط انتقال بدست آورید. فرض کنید $V_S = ۱ pu$، $V_R = ۰/۹ pu$ و زاویه توان $\delta = ۳۶/۸۷^o$ باشند.

حل:

$$\beta l = (۹/۴۶ \times ۱۰^{-۴})(۳۰۰)(\frac{۱۸۰}{\pi}) = ۱۶/۲۶^o$$

توان هر خط انتقال:

$$P = \frac{۳۶۰۰}{۴} = ۹۰۰ \ \ MW$$

$$P_R = \frac{V_S V_R SIL}{sin(\beta l)} sin\delta \Rightarrow ۹۰۰ = \frac{(۱/۰)(۰/۹)SIL}{sin(۱۶/۲۶^o)} sin(۳۶/۸۷^o) \Rightarrow SIL = ۴۶۶/۶۶ \ \ MW$$

$$SIL = \frac{kV_{rated}}{Z_c} \Rightarrow kV_{rated} = \sqrt{Z_c SIL} = \sqrt{(۳۴۳)(۴۶۶/۶۶)} = ۴۰۰ \ \ kV$$