

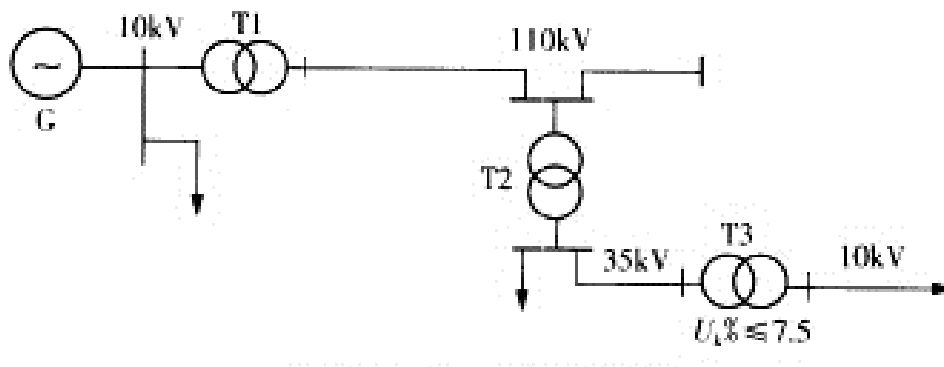
第一章作业

1.1 题

电力系统接线如题图所示，电网各级电压示于图中。试求：

(1) 发电机 G 和变压器 T1、T2、T3 高低压侧绕组的额定电压；

(2) 设变压器 T1 工作于+2.5%抽头，T2 工作于主抽头，T3 工作于-5%抽头，求各变压器的实际变比。



解：

(1) 注意：区分高压侧、低压侧与一次侧、二次侧的概念。

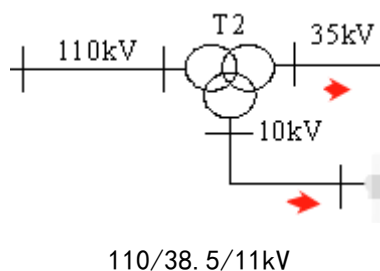
发电机 G：10.5kV；

变压器 T1：10.5/121kV；

变压器 T2：110/38.5kV；

变压器 T3：35/11 (??) kV；

注意：三角符号，不要看成负荷；二次侧接主网*110%，二次侧接配网*105%；三绕组变压器相同的原理

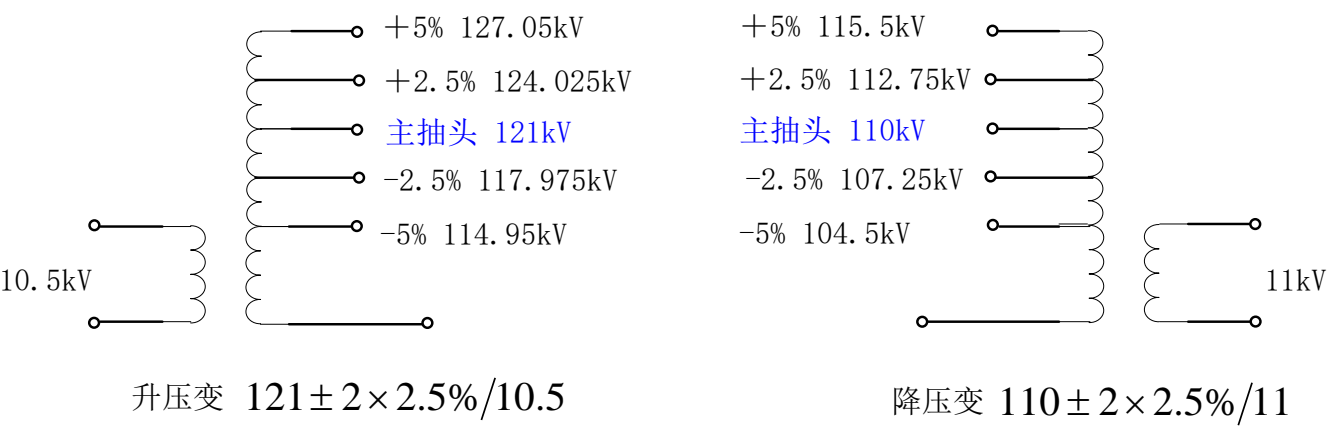


(2) 注意：变压器抽头设置于高压侧，高压侧的实际电压取决于抽头位置。

变压器 T1：10.5/124.02kV (T1 工作于+2.5%抽头：高压侧实际电压为 $U_N \cdot 102.5\%$)；

变压器 T2： 110/38.5kV （T2 工作于主抽头： 高压侧实际电压为 U_N ）；

变压器 T3： 33.25/11kV （T3 工作于-5%抽头： 高压侧实际电压为 $U_N \times 95\%$ ）；

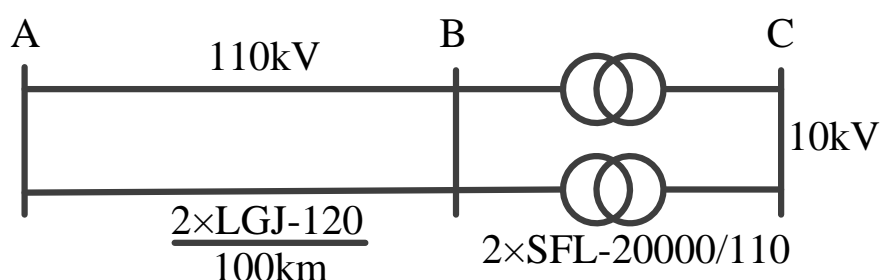


第二章作业

2.1 题

部分电力网络的结构如图所示，导线的排列方式也示于图中，SFL-20000/110 型变压器的特性数据如下：

空载损耗 $P_0=22\text{kW}$ ；空载电流百分数 $I_0\%=0.8$ ；短路损耗 $P_k=135\text{kW}$ ；短路电压百分数 $U_k\%=10.5$ 。



试求：

- (a) 40°C 时每公里线路的参数。
- (b) 变压器的参数。
- (c) 并列运行时的等值参数和等值电路。

解：

(a) 40°C 时每公里线路的参数

查表可得 LGJ-120 每公里参数如下：

温度 20° 时每公里电阻： $r_{20}=0.27\ \Omega/\text{km}$ ；

得温度 40° 时每公里电阻： $r_1=r_{40}=r_{20}[1+\alpha(t-20)]=0.289\ \Omega/\text{km}$ ；

每公里电抗： $x_1=0.415\ \Omega/\text{km}$ ；

每公里电纳： $b_1=2.74\times 10^{-6}\ \text{S}/\text{km}$ ；

每公里电导： $g_1=0\ \text{S}/\text{km}$ ；

(b) 变压器的参数（归算至 110kV 侧，以便形成网络等值电路）

$$R_T = \frac{P_k}{1000} \frac{U_N^2}{S_N^2} = \frac{135}{1000} \frac{110^2}{20^2} \Omega = 4.08 \Omega$$

$$X_T = \frac{U_k \% U_N^2}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} * \frac{110^2}{20} \Omega = 63.5 \Omega$$

$$G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} = \frac{22}{1000} \frac{1}{110^2} S = 1.82 * 10^{-6} S$$

$$B_T = \frac{I_0 \% S_N}{100 U_N^2} = \frac{0.8}{100} * \frac{20}{110^2} S = 13.2 * 10^{-6} S$$

注意：容量的单位为 MVA。

(c) 并列运行时的等值参数和等值电路（并联时阻抗减半，导纳加倍）

线路长度 $l=100\text{km}$ ，则双回并联运行的阻抗和电纳分别为：

$$Z = \frac{1}{2} (r_1 + jx_1) * l = \frac{1}{2} (0.289 + j0.415) * 100 \Omega = 14.45 + j20.15 \Omega$$

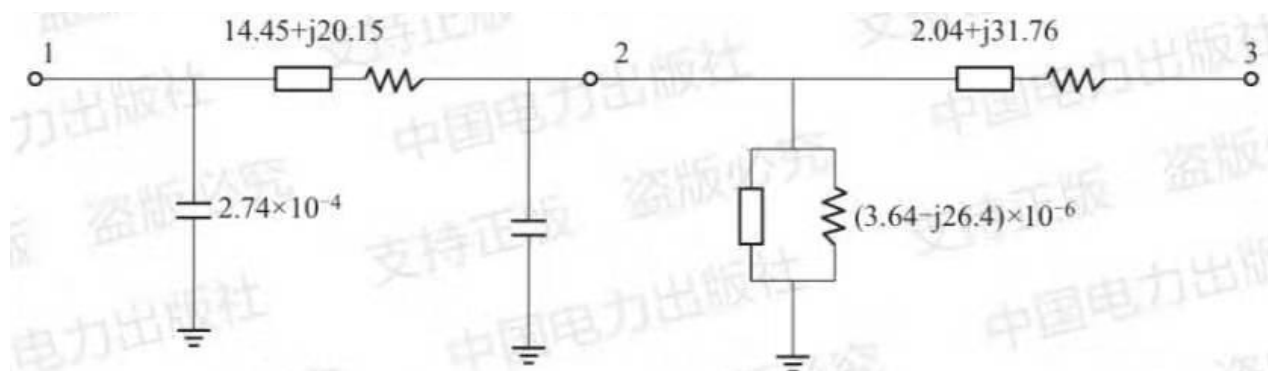
$$\frac{1}{2} B = \frac{1}{2} (2 * b_1 * l) \Omega = \frac{1}{2} (2 * 2.74 * 10^{-6} * 100) = 2.74 * 10^{-4} S$$

并联变压器参数

$$Z_T = \frac{1}{2} (R_T + jX_T) = \frac{1}{2} * (4.08 + j63.5) \Omega = 2.04 + j31.76 \Omega$$

$$Y_T = 2(G_T - jB_T) = 2 * (1.82 - j13.2) * 10^{-6} \Omega = (3.64 - j26.4) * 10^{-6} S$$

等值电路图如下（参数要带上单位）：



2.2 题

某降压变电所中装有一台 SSPSL-31500/110 型三相三绕组变压器, 铭牌上数据为: 容量比 31500/31500/31500kVA、电压比 110/38.5/11kV、 $P_0=46.8\text{kW}$ 、 $I_0\%=0.9$, 短路电压和短路损耗见下表。

试求:

- (1) 变压器绕组的阻抗和导纳 (归算到高压侧);
- (2) 作变压器的等值电路。

绕组	高压-中压	高压-低压	中压-低压
短路电压 $U_k\%$	17	10.5	6
短路损耗 $P_k(\text{kW})$	217	200.7	158.6

解:

(1) 变压器绕组的阻抗和导纳 (归算到高压侧: 即使不给出变比, 由型号也可以看出高压侧电压);

①各绕组的等值电阻

$$P_{k1} = \frac{1}{2}(P_{k(1-2)} + P_{k(1-3)} - P_{k(2-3)}) = \frac{1}{2}(217 + 200.7 - 158.6)\text{kW} = 129.55\text{kW}$$

$$P_{k2} = \frac{1}{2}(P_{k(1-2)} + P_{k(2-3)} - P_{k(1-3)}) = \frac{1}{2}(217 + 158.6 - 200.7)\text{kW} = 87.45\text{kW}$$

$$P_{k3} = \frac{1}{2}(P_{k(1-3)} + P_{k(2-3)} - P_{k(1-2)}) = \frac{1}{2}(200.7 + 158.6 - 217)\text{kW} = 71.15\text{kW}$$

$$R_{T1} = \frac{P_{k1}U_N^2}{1000S_N^2} = \frac{129.55 * 110^2}{1000 * 31.5^2}\Omega = 1.58\Omega$$

$$R_{T2} = \frac{P_{k2}U_N^2}{1000S_N^2} = \frac{87.45 * 110^2}{1000 * 31.5^2}\Omega = 1.07\Omega$$

$$R_{T3} = \frac{P_{k3}U_N^2}{1000S_N^2} = \frac{71.15 * 110^2}{1000 * 31.5^2}\Omega = 0.87\Omega$$

或

$$R_{T2} = R_{T1} \frac{P_{k2}}{P_{k1}} = 1.58 * \frac{87.45}{129.55} \Omega = 1.07 \Omega$$

$$R_{T3} = R_{T1} \frac{P_{k3}}{P_{k1}} = 1.58 * \frac{71.15}{129.55} \Omega = 0.87 \Omega$$

②各绕组的等值电抗

$$U_{k1}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(1-3)}\% - U_{k(2-3)}\%) = \frac{1}{2}(17 + 10.5 - 6) = 10.75$$

$$U_{k2}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-2)}\% + U_{k(2-3)}\% - U_{k(1-3)}\%) = \frac{1}{2}(17 + 6 - 10.5) = 6.25$$

$$U_{k3}\% = \frac{1}{2}(U_{k(1-3)}\% + U_{k(2-3)}\% - U_{k(1-2)}\%) = \frac{1}{2}(10.5 + 6 - 17) = -0.25 \approx 0$$

$$X_{T1} = \frac{U_{k1}\%}{100} * \frac{U_N^2}{S_N} = \frac{10.75}{100} * \frac{110^2}{31.5} \Omega = 41.29 \Omega$$

$$X_{T2} = 24.01 \Omega$$

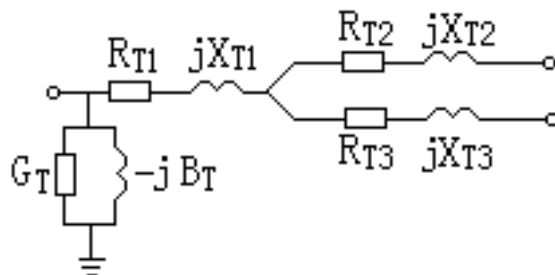
$$X_{T3} \approx 0 \Omega$$

③变压器的导纳

$$G_T = \frac{P_0}{1000 U_N^2} = \frac{46.8}{1000 * 110^2} S = 3.87 * 10^{-6} S$$

$$B_T = \frac{I_0\%}{100} * \frac{S_N}{U_N^2} = \frac{0.9}{100} * \frac{31.5}{110^2} S = 23.43 * 10^{-6} S$$

(4) 等值电路如下 (最好能写成各参数的数值及单位):



(注意: B_T 前符号为负)

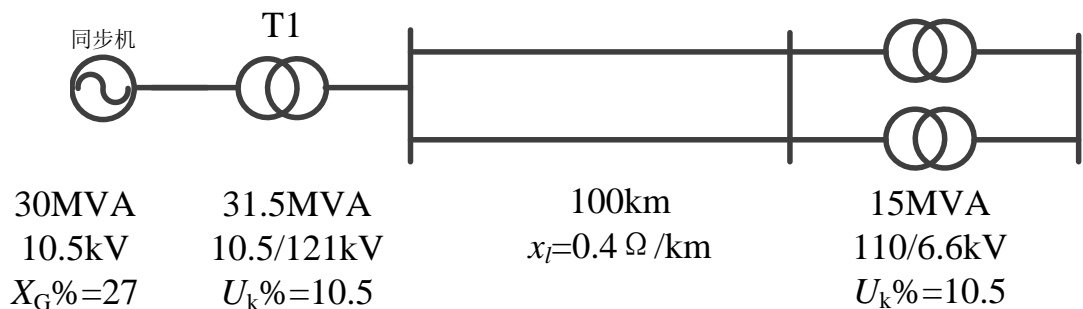
2.3 题

试作图中电力系统以标么值表示的电抗图：

(a) 取 $S_B=100\text{MVA}$, $U_B=100\text{kV}$ 时的电抗图；

(b) 取 $S_B=100\text{MVA}$, $U_B=U_{av}=U_N$ 时的电抗图；(含义需要进一步明确)

注：发电机电抗的求法 $X_G = \frac{X_G\% U_N^2}{100 S_N}$



解：

电抗的有名值计算：

$$X'_G = \frac{X_G\% U_N^2}{100 S_N} = \frac{27}{100} \frac{10.5^2}{30} = 0.99 \Omega$$

$$X_{T1} = \frac{U_{k1}\% U_N^2}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} \frac{121^2}{31.5} = 48.8 \Omega$$

$$X_l = x_l \times l = 0.4 \times 100 = 40.0 \Omega$$

$$X_{T2} = X_{T3} = \frac{U_{k2}\% U_N^2}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} \frac{110^2}{15} = 84.7 \Omega$$

(a) $S_B=100\text{MVA}$, $U_B=100\text{kV}$ 时的电抗图；

题目分析——参数归算法：先将各级的有名值参数都归算到基本级，再除以基本级的基准值，折算为标么值

①确定基本级及基准值：

选取 110kV 作为基本级，基本级基准电压为 $U_B=100\text{kV}$ ，取全网基准功率 $S_B=100\text{MVA}$ 。

$$\text{基本级的阻抗基准值 } Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} = \frac{100^2}{100} = 100$$

②将各级有名值参数都归算到基本级：除 X'_G 外，归算后有名值均不变。

$$X_G = X'_G \left(\frac{121}{10.5} \right)^2 = 0.99 * \left(\frac{121}{10.5} \right)^2 = 131.47 \Omega$$

③将归算后的有名值除以基本级的基准值，折算为标幺值（无单位）：

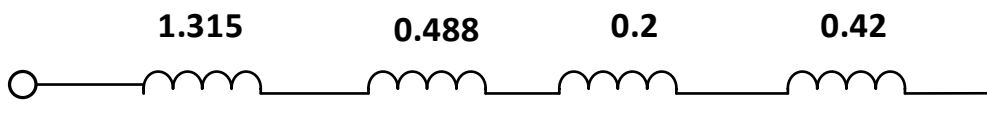
$$X_{G*} = \frac{X_G}{Z_B} = \frac{131.47}{100} = 1.315$$

$$X_{T1*} = \frac{X_{T1}}{Z_B} = \frac{48.8}{100} = 0.488$$

$$X_{l*} = \frac{X_l}{Z_B} = \frac{40}{100} = 0.4$$

$$X_{T2*} = \frac{X_{T2}}{Z_B} = \frac{84.7}{100} = 0.847$$

阻抗图：



(b) $S_B=100\text{MVA}$, $U_B=U_{av}=U_N$ 时的电抗图；

概念：线路平均额定电压 U_{av} ：约定为比线路额定电压高 5% 的电压系列，例如 230，115，10.5，6.3。

题目分析：将线路平均额定电压 U_{av} 选为电压为基准电压，将有名值参数归算至线路平均额定电压（用线路平均额定电压计算变压器有名值参数）。 $Z_B = \frac{U_B^2}{S_B} = \frac{U_{av}^2}{S_B}$

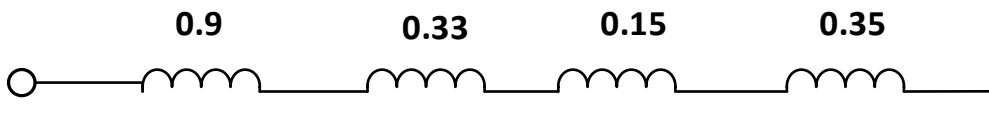
$$X_{G*} = \frac{X_G \% U_{av}^2}{100 S_N} \frac{1}{Z_B} = \frac{X_G \% U_{av}^2 S_B}{100 S_N U_{av}^2} = \frac{X_G \% S_B}{100 S_N} = \frac{27}{100} \frac{100}{30} = 0.9$$

$$X_{T1*} = \frac{U_{k1} \% U_{av}^2}{100 S_N} \frac{1}{Z_B} = \frac{U_{k1} \% U_{av}^2 S_B}{100 S_N U_{av}^2} = \frac{U_{k1} \% S_B}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} \frac{100}{31.5} = 0.33$$

$$X_{l*} = X_l \frac{1}{Z_B} = X_l \frac{S_B}{U_{av}^2} = 40 \times \frac{100}{115^2} = 0.30$$

$$X_{T2*} = \frac{U_{k2} \% S_B}{100 S_N} = \frac{10.5}{100} \frac{100}{15} = 0.70$$

阻抗图：



第三章作业

3.1 题

某 100km、110kV 双回输电线路建于不同时期，其中一回线路用 LGJ-95 型导线架设，另一回用 LGJ-400 型导线架设。试分别计算下列两种负荷下线路中的功率分布和功率损耗。

(a) 输电线路受端变电所运算负荷为 100MVA、 $\cos\varphi = 1.0$;

(b) 输电线路受端变电所运算负荷为 53MVA、 $\cos\varphi = 0.0$

LGJ-95: $r_1 = 0.33\Omega/\text{km}$, $x_1 = 0.429\Omega/\text{km}$, $b_1 = 2.65 \times 10^{-6}S/\text{km}$.

LGJ-400: $r_1 = 0.079\Omega/\text{km}$, $x_1 = 0.393\Omega/\text{km}$, $b_1 = 2.91 \times 10^{-6}S/\text{km}$.

解:

$$R_1 = 33 \Omega \quad X_1 = 42.9\Omega \quad B_1 = 2.65 \times 10^{-4}S$$

$$R_2 = 7.9 \Omega \quad X_2 = 39.3\Omega \quad B_2 = 2.91 \times 10^{-4}S$$

假设两条线路上流过的功率分别为 $P_1 + jQ_1$ 和 $P_2 + jQ_2$ 。由于两回线路并列运行，线路两端电压相等，所以，有如下等式成立：

$$\begin{cases} \Delta U_1 = \frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{U_2} = \Delta U_2 = \frac{P_2 R_2 + Q_2 X_2}{U_2} \\ \delta U_1 = \frac{P_1 R_1 + Q_1 X_1}{U_2} = \delta U_2 = \frac{P_2 R_2 + Q_2 X_2}{U_2} \\ P_1 + P_2 = P \\ Q_1 + Q_2 = Q \end{cases}$$

(1) $P=100\text{MW}, Q=0$ 时，解得

$$\begin{cases} P_1 = 42.1556\text{MW}, Q_1 = -11.3645\text{Mvar} \\ P_2 = 57.8444\text{MW}, Q_2 = 11.3645\text{Mvar} \end{cases}$$

假设全网电压为额定电压 110kV，可得，

$$\Delta S_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_2^2} (R_1 + jX_1) = 5.1989 + j6.7585\text{MVA}$$

$$\Delta S_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} (R_2 + jX_2) = 2.2689 + j11.2870 \text{ MVA}$$

短线路 100km? ? $\Delta S_Y = ??$, 首端功率? ?

(1) $P=0, Q=53\text{Mvar}$ 时, 解得

$$P_1 = 6.0232 \text{ MW} \quad P_2 = -6.0232 \text{ MW} \quad Q_1 = 22.3425 \text{ Mvar} \quad Q_2 = 30.6975 \text{ Mvar}$$

假设全网电压为额定电压 110kV, 可得,

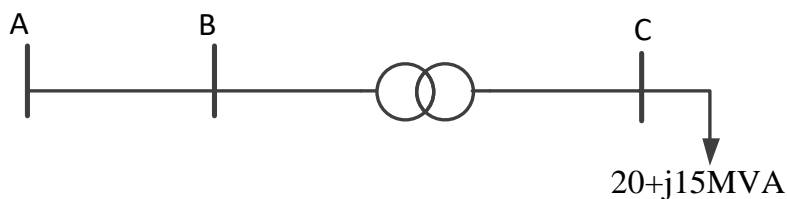
$$\Delta S_1 = \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U_1^2} (R_1 + jX_1) = 1.4604 + j1.8985 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} (R_2 + jX_2) = 0.6389 + j3.1785 \text{ MVA}$$

$\Delta S_Y = ??$, 首端功率? ?

3.2 题

如下图所示, 有一回电压等级为 110kV 的输电线路, 阻抗为 $31.5 + j60.15 \Omega$, 电纳为 $2.13 \times 10^{-4} \text{ S}$ (注: 单个电纳的值, 电纳的一半), 末端接一台容量为 31.5MVA 的降压变压器, 变比为 110/10kV, 变压器阻抗为 $2.317 + j40.3 \Omega$, 导纳为 $2.566 \times 10^{-6} + j1.82 \times 10^{-5} \text{ S}$ 。若 A 点实际电压为 115kV, 试求 B 点实际电压。

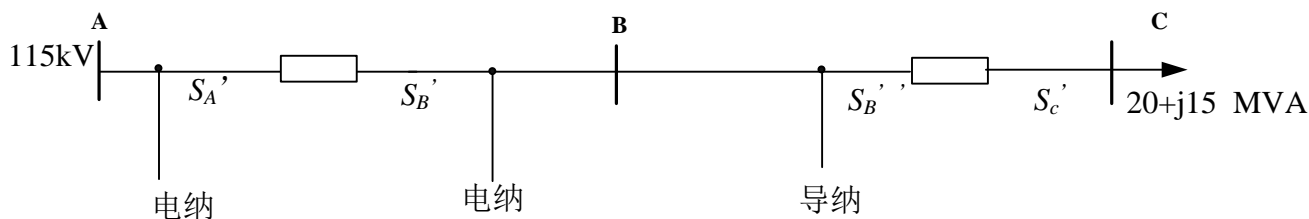


解:

分析: 已知末端功率, 首端电压, 为第三种情况。可采用迭代方法计算, 也可采用简化方法计算。

说明 1: 最好能给出等值电路, 以便标注出各功率符号;

说明 2: 题目中所给电纳值, 若未注明为电纳值的一半, 则为整个线路的电纳值。



(1) 由末端到首端计算功率

设全网电压为额定电压 110kV，可得

变压器阻抗损耗：

$$\Delta \dot{S}_{ZT} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_T + j \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X_T = \frac{20^2 + 15^2}{110^2} * 2.317 + j \frac{20^2 + 15^2}{110^2} * 40.3$$

$$= 0.12 + j2.08 \text{ MVA}$$

变压器导纳损耗：

$$\Delta \dot{S}_{YT} = U_B^2 (G_T + jB_T) = 110^2 (2.566 + j18.2) * 10^{-6} = 0.03 + j0.22 \text{ MVA}$$

线路电纳损耗 (B 节点)：

$$\Delta \dot{S}_{Y/2} = U_B^2 \left(-j \frac{1}{2} B_T \right) = 110^2 (-j2.13 * 10^{-4}) = -j2.58 \text{ MVA}$$

说明：计算出的变压导纳支路的无功损耗一定是正值，线路电纳支路的（无功）损耗一定是负值。线路整体电纳所消耗的无功功率称为线路的充电功率。

线路阻抗支路末端功率：

$$\dot{S}'_B = \dot{S}_C + \Delta \dot{S}_{ZT} + \Delta \dot{S}_{YT} + \Delta \dot{S}_{Y/2}$$

$$= (20 + j15) + (0.12 + j2.08) + (0.03 + j0.22) + (-j2.58) = 20.15 + j14.72 \text{ MVA}$$

线路阻抗功率损耗：

$$\Delta \dot{S}_{Zl} = \frac{20.15^2 + 14.72^2}{110^2} * (31.5 + j60.15) = 1.62 + j3.10 \text{ MVA}$$

线路阻抗支路首端功率：

$$\dot{S}'_A = \dot{S}'_B + \Delta \dot{S}_{Zl} = (20.15 + j14.72) + (1.62 + j3.10) = 21.77 + j17.82 \text{ MVA}$$

(1) 由首端到末端计算电压

由 \dot{S}'_A 和 A 点的电压求 B 点电压（忽略电压横分量）

说明：计算电压降时一定要用阻抗首端或者末端功率。

$$\Delta U_l = \frac{P'_A R_l + Q'_A X_l}{U_A} = \frac{21.77 * 31.5 + 17.82 * 60.15}{115} = 15.28$$

$$U_B = U_A - \Delta U_l = 115 - 15.28 = 99.72\text{kV}$$

若计电压横分量：

$$\Delta U_l = \frac{P'_A R_l + Q'_A X_l}{U_A}$$

$$\delta U_l = \frac{P'_A X_l - Q'_A R_l}{U_A}$$

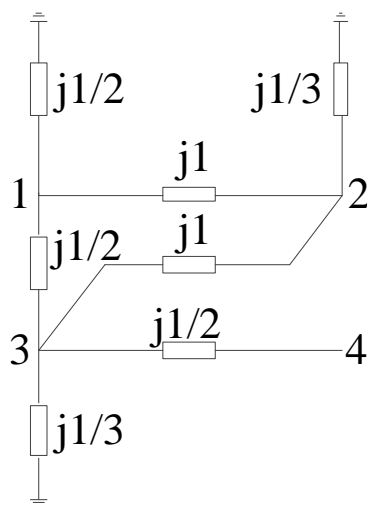
$$U_B = \sqrt{(U_A - \Delta U_l)^2 + \delta U_l^2}$$

第四章作业

4.1 题

如下图所示网络（图中参数均标注为阻抗标么值），要求：

- （1）写出网络的节点导纳矩阵。
- （2）如果切除支路 1-3，节点导纳矩阵如何修改？



解：

- （1）原网络的节点导纳矩阵

支路自导纳和支路互导纳计算：

$$y_{10} = \frac{1}{j1/2} = -j2$$

$$y_{20} = y_{30} = \frac{1}{j1/3} = -j3$$

$$y_{12} = \frac{1}{Z_{12}} = \frac{1}{j1} = -j1$$

$$y_{13} = \frac{1}{Z_{13}} = \frac{1}{j1/2} = -j2$$

$$y_{23} = \frac{1}{Z_{23}} = \frac{1}{j1} = -j1$$

$$y_{34} = \frac{1}{Z_{34}} = \frac{1}{j1/2} = -j2$$

节点导纳元素计算：

$$Y_{11} = y_{10} + y_{12} + y_{13} = -j5, \quad Y_{12} = -y_{12} = j1, \quad Y_{13} = -y_{13} = j2, \quad Y_{14} = 0$$

$$Y_{22} = y_{20} + y_{12} + y_{23} = -j5, \quad Y_{23} = -y_{23} = j1, \quad Y_{24} = 0,$$

$$Y_{33} = y_{30} + y_{13} + y_{23} + y_{34} = -j8, \quad Y_{34} = -y_{34} = j2$$

$$Y_{44} = y_{34} = -j2$$

得出：原节点导纳矩阵 $\mathbf{Y}_B = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j5 & j1 & j2 & 0 \\ j1 & -j5 & j1 & 0 \\ j2 & j1 & -j8 & j2 \\ 0 & 0 & j2 & -j2 \end{bmatrix}$

（2）切除支路 1-3，相当于在支路 1-3 之间增加一条导纳为 $-y_{13} = j2$ 的支路

则原导纳矩阵与节点 Y_{11} 、 Y_{33} 、 Y_{13} 、 Y_{31} 元素均要改变，变为：

$$\mathbf{Y}'_B = \begin{bmatrix} -j3 & j1 & 0 & 0 \\ j1 & -j5 & j1 & 0 \\ 0 & j1 & -j6 & j2 \\ 0 & 0 & j2 & -j2 \end{bmatrix}$$