

电力系统分析 期末试题标准答案

西南交通大学电气工程学院

一、简答题

1. 试标出图1所示各元件的额定电压。

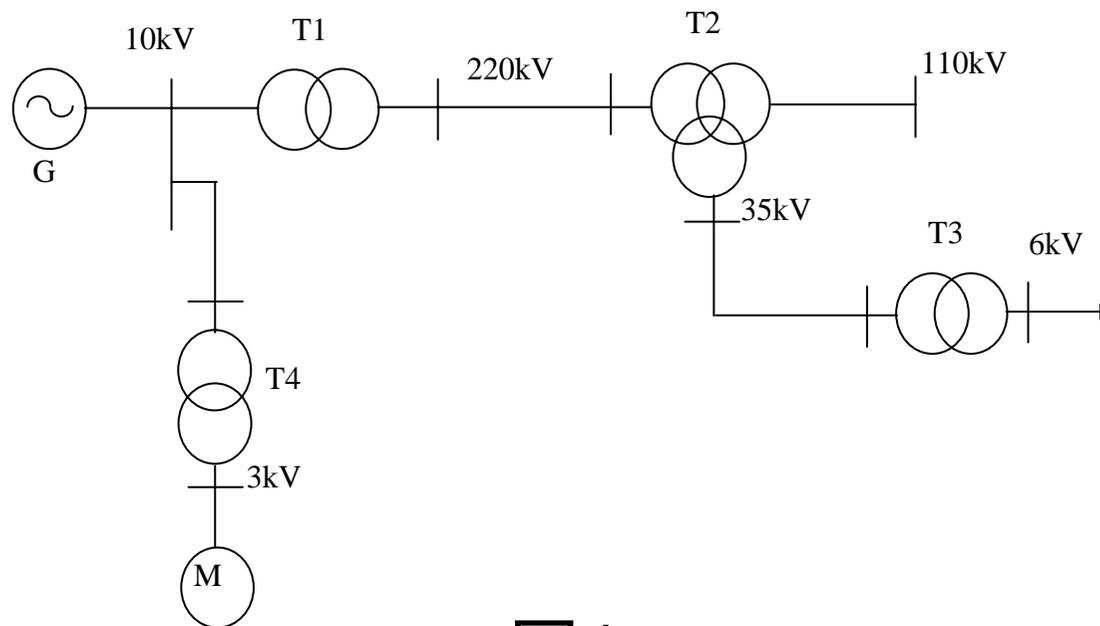
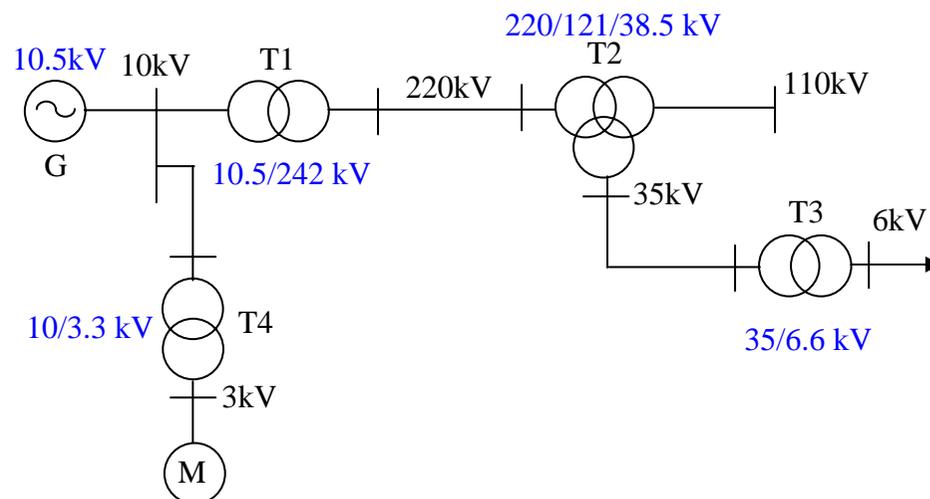


图1



解:



$$G: 10 \times (1+5\%) = 10.5 \text{ kV}$$

$$T1: 10 \times (1+5\%) / 220 \times (1+10\%) = 10.5 / 242 \text{ kV}$$

$$T2: 220 / 110 \times (1+10\%) / 35 \times (1+10\%) = 220 / 121 / 38.5 \text{ kV}$$

$$T3: 35 / 6 \times (1+10\%) = 35 / 6.6 \text{ kV}$$

$$T4: 10 / 3 \times (1+10\%) = 10 / 3.3 \text{ kV}$$

发电机和变压器等元件的额定电压已标在图中（蓝色字体）。



2. 频率为**50Hz**时线路正序电纳的计算公式为：

$$b_1 = \frac{17.45}{\ln \frac{D_m}{r}} \times 10^{-6}$$
。若使用分裂导线时，应如何对上式进行修改。为什么使用分裂导线？



解:

1) 当使用分裂导线时，线路正序电纳的计算公式为：

$$b_1 = \frac{17.45}{\ln \frac{D_m}{r_{eq}}} \times 10^{-6}$$

2) 采用分裂导线的目的是减少单位长度电抗以及减少电晕放电。

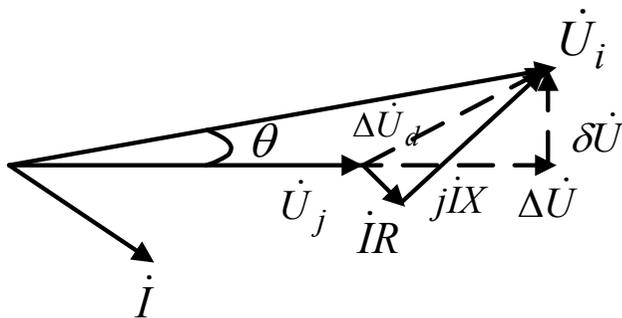
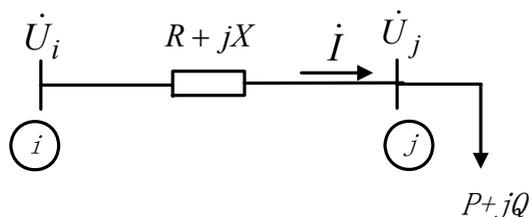


3. PQ分解法是对牛顿-拉夫逊法的简化，其简化前提是电力系统中有功功率分布主要受节点电压相角影响，无功功率主要受节点电压幅值影响。请分析这一前提的正确性。



解:

以节点的输电线路为例：矢量分析图如下，其中的简化是因为高压线路中一般地说 $R \ll X$



$$\begin{cases} \Delta U = \frac{PR + QX}{U_j} \\ \delta U = \frac{PX - QR}{U_j} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \Delta U \approx \frac{QX}{U_j} \\ \delta U \approx \frac{PX}{U_j} \end{cases}$$



4. 对于有个节点的电力网，试给出它的节点电压方程，并推导潮流计算时的功率方程。

解：1) 节点电压方程为：

$$\dot{I}_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j, i = 1, 2, \dots, n$$

2) 功率方程的推导为：

$$\dot{I}_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j, i = 1, 2, \dots, n$$



$$\tilde{S}_i = P_i + jQ_i = \dot{U}_i^* \dot{I}_i = \dot{U}_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} \dot{U}_j \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$



4. 如图2所示的系统

(1) 试作出潮流计算时所用的等值电路，各元件以用符号表示即可，如 R_{T1}

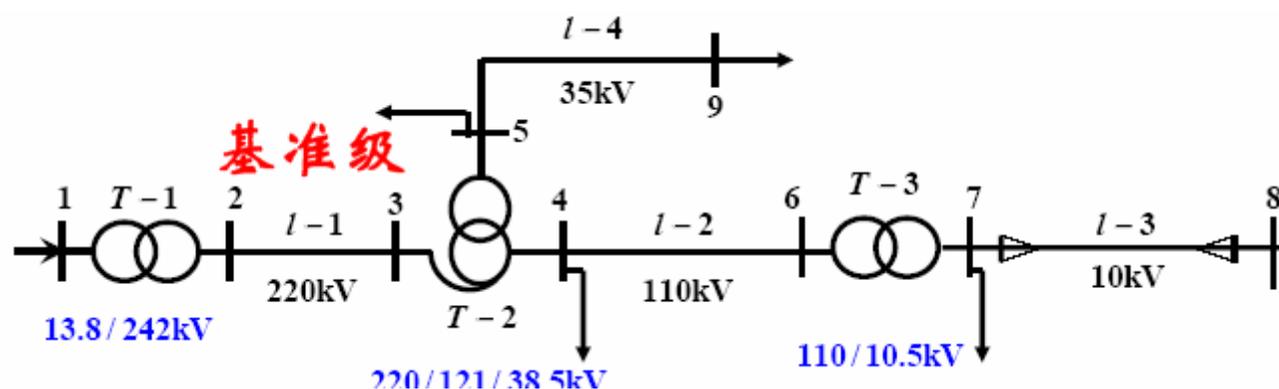


图2

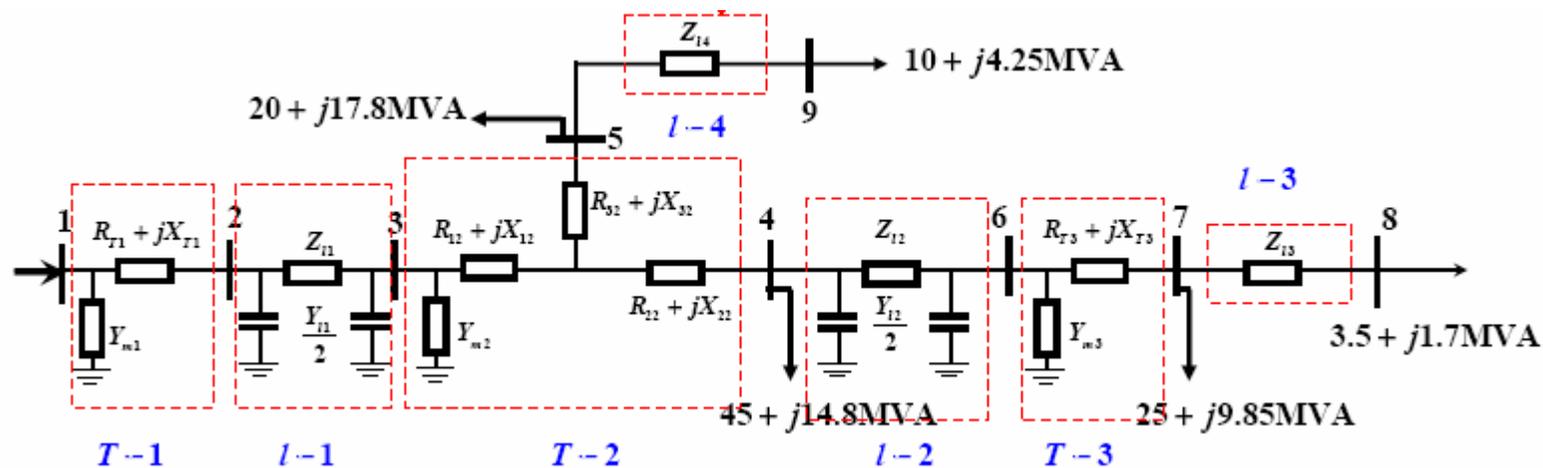


(2) 求35kV线路元件L-4参数的标么值(取220kV为基本级, $S_B=100\text{MVA}$, $U_B=220\text{kV}$)。已知该线路的长度为13km, 其它原始参数为: $r_1 = 0.17\Omega/\text{km}$, $x_1 = 0.38\Omega/\text{km}$, 变压器T-2为三绕组变压器, 高压侧接在-2.5%分接头运行, 其它变压器均接在主接头运行。各变压器参数如下:

	额定容量 MVA	额定电压 kV	$U_k\%$	P_k kW	$I_0\%$	P_0 kW
T1	180	13.8/242	13	893	0.5	175
T3	63	110/10.5	10.5	280	0.61	60
T2	120	220/121/38.5	9.6(高一中) 35(高一低) 23(中一低) 已归算	448(高一中) 1652(高一低) 1512(中一低) 已归算	0.35	89



解 (1)





(2) :

1) 35kV电压等级的基准为:

$$U_{B(35)} = \frac{U_B}{k_{13(T2)}} = 220 \times \frac{38.5}{220(1-0.025)} = 39.5\text{kV}$$

2) L-4元件参数阻抗的标么值为:

$$Z_{l4*} = (r_1 + jx_1)l \frac{S_B}{U_{B(35)}^2} = (0.17 + j0.38) \times 13 \times \frac{100}{39.5^2} = 0.1416 + j0.317$$



6. 如图3所示系统，图中给出了各支路阻抗和对地导纳的标么值；变压器所给参数为漏抗和变比。

(1) 试写出各节点类型和潮流计算待求解变量。

(2) 节点电压以极坐标形式表示的牛顿—拉夫逊法潮流计算修正方程如下：

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ J & L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ U^{-1} \Delta U \end{bmatrix}$$

试给出图示系统的修正方程（以符号表示，不必具体计算）以及潮流计算求解步骤。

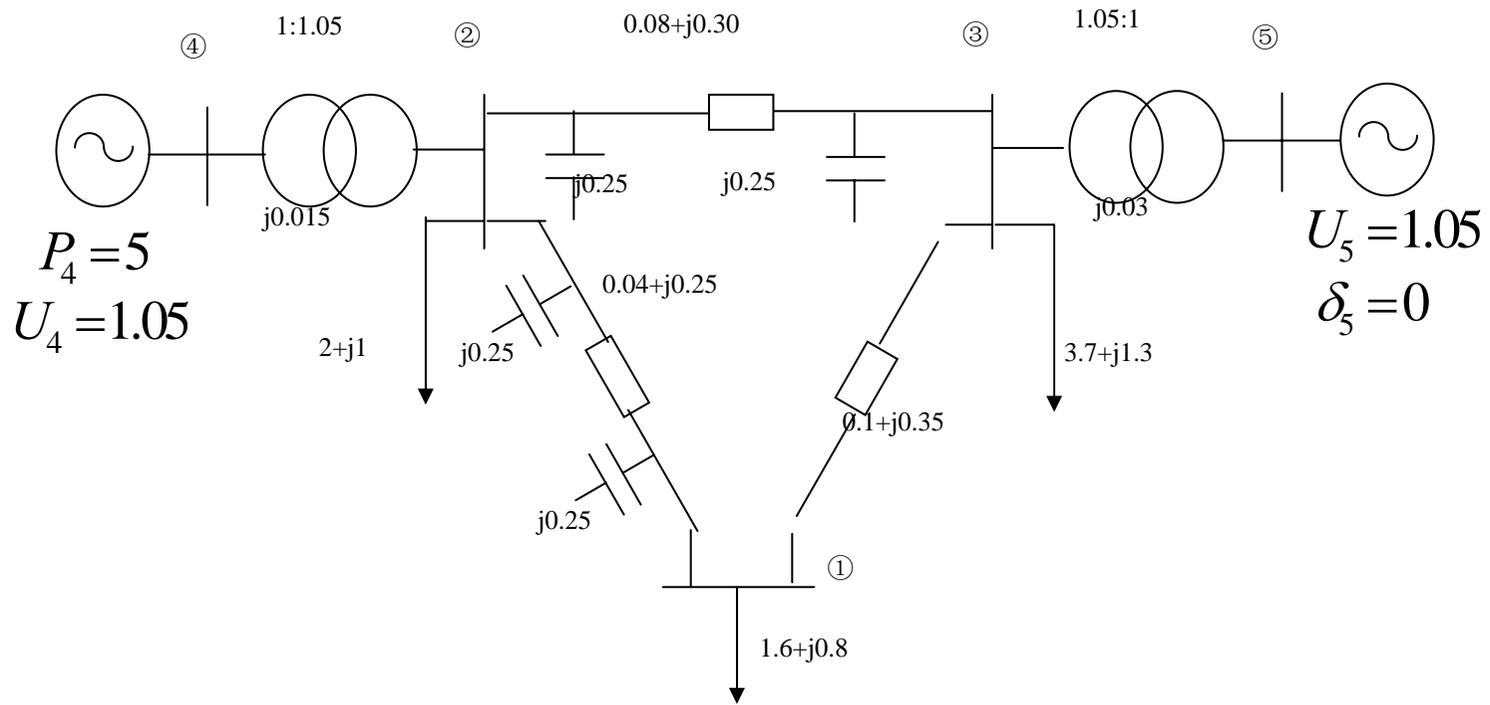


图3



解：

(1) 各节点类型及待求解变量如下：

节点1、2、3为**PQ**节点；待求解变量为：**电压幅值与相角。**

节点4为**PV**节点；待求解变量为：**电压相角与无功功率。**

节点5为平衡节点；待求解变量为：**有功功率与无功功率。**



(2) 潮流计算的修正方程为:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \Delta P_4 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} & H_{14} & N_{11} & N_{12} & N_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} & H_{24} & N_{21} & N_{22} & N_{23} \\ H_{31} & H_{32} & H_{33} & H_{34} & N_{31} & N_{32} & N_{33} \\ H_{41} & H_{42} & H_{43} & H_{44} & N_{41} & N_{42} & N_{43} \\ J_{11} & J_{12} & J_{13} & J_{14} & L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ J_{21} & J_{22} & J_{23} & J_{24} & L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ J_{31} & J_{32} & J_{33} & J_{34} & L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1 \\ \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \Delta \delta_4 \\ U_1^{-1} \Delta U_1 \\ U_2^{-1} \Delta U_2 \\ U_3^{-1} \Delta U_3 \end{bmatrix}$$



潮流计算的步骤为：

- 1) 设置节点2和3的电压幅值初值和相角初值，节点4的电压相角初值，以及迭代精度。
- 2) 利用公式求各节点的 ΔP 、 ΔQ ;
- 3) 求雅可比矩阵各参数;
- 4) 求解修正方程得到电压幅值和相角的变化量
- 5) 校验变化量是否小于设定的迭代精度，若小于迭代结束，否则返回第二步。



二图4所示系统，各元件参数均为导纳标么值。

- (1) 试写出节点导纳矩阵；
- (2) 试写出图4系统PQ分解法潮流计算的修正方程。
- (3) 若第 k 次迭代时，PV节点的无功功率补偿设备的无功功率达到上界，第 $k+1$ 次迭代时应如何处理这个节点？
- (4) 用直流法进行潮流计算。

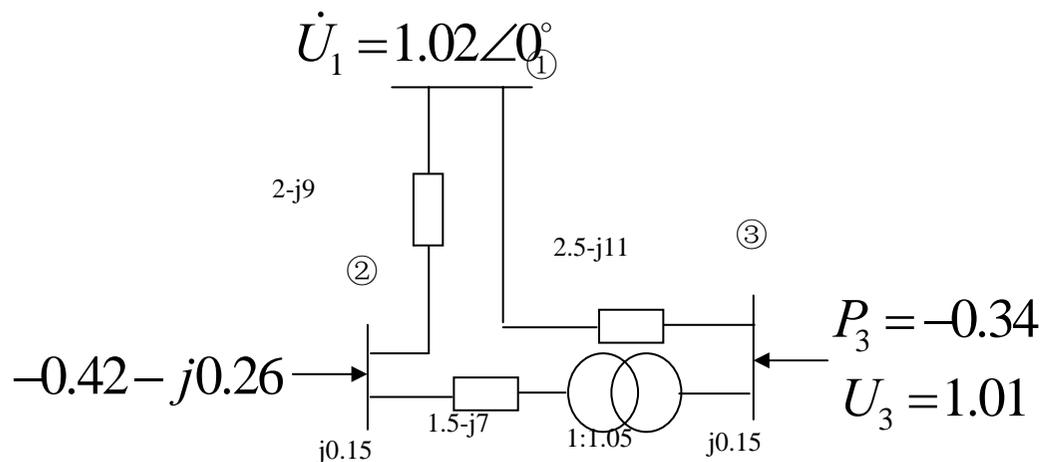


图4



解:

(1) 节点导纳矩阵的求解如下:

$$Y_{11} = y_{12} + y_{13} = 4.5 - 20j$$

$$Y_{21} = Y_{12} = -y_{12} = -2 + 9j$$

$$Y_{31} = Y_{13} = -y_{13} = -2.5 + 11j$$

$$Y_{22} = y_{12} + y_{23} + y_{22} = 3.5 - 15.85j$$

$$Y_{23} = Y_{32} = -y_{23} = -1.5 + 7j$$

$$Y_{33} = y_{13} + y_{23} + y_{33} = 4 - 17.85j$$

得:

$$Y = \begin{bmatrix} 4.5 - 20j & -2 + 9j & -2.5 + 11j \\ -2 + 9j & 3.5 - 15.85j & -1.5 + 7j \\ -2.5 + 11j & -1.5 + 7j & 4 - 17.85j \end{bmatrix}$$



(2) 修正方程为:

$$\begin{bmatrix} \frac{\Delta P_2}{U_2} \\ \frac{\Delta P_3}{U_3} \end{bmatrix} = B' \begin{bmatrix} U_2 \Delta \delta_2 \\ U_3 \Delta \delta_3 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} \frac{\Delta Q_2}{U_2} \end{bmatrix} = B'' [\Delta U_2]$$

其中:

$$B' = \begin{bmatrix} -16 & 7 \\ 7 & -18 \end{bmatrix}$$

$$B'' = -16$$

(3) 在第k+1次迭代时将该节点作为PQ节点处理.



(4) 直流潮流法求解为:

(分析: 先求待求量—节点2和3的相角, 再求有功功率分布)

1) 考虑简化条件得:

$$B_0 = -B = -\begin{bmatrix} B_{22} & B_{23} \\ B_{32} & B_{33} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} -16 & 7 \\ 7 & -18 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 & -7 \\ -7 & 18 \end{bmatrix}$$

已知: $P = \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.42 \\ -0.34 \end{bmatrix}$

故: $\delta = B_0^{-1}P = \begin{bmatrix} -0.0422 \\ -0.0357 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \end{bmatrix}$

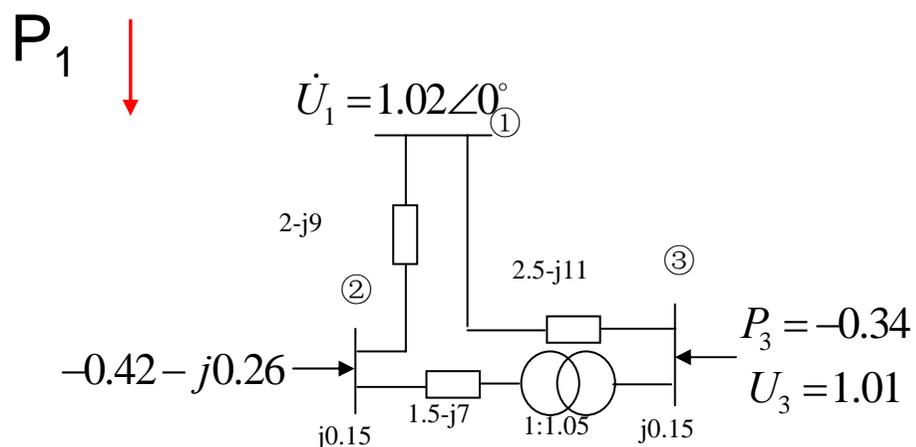


2) 功率分布及验证

$$P_{12} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{x_{12}} = \frac{0 - (-0.0422)}{1/9} = 0.38$$

$$P_{13} = \frac{\delta_1 - \delta_3}{x_{13}} = \frac{0 - (-0.0357)}{1/11} = 0.393$$

$$P_{23} = \frac{\delta_2 - \delta_3}{x_{23}} = \frac{(-0.0422) - (-0.0357)}{1/7} = -0.0455$$



$$P_1 = P_{13} + P_{12} = 0.38 + 0.393 = 0.773$$

$$P_2' = P_{23} + P_{21} = -0.0455 - 0.38 = -0.4255 \approx -P_2$$

$$P_3' = P_{31} + P_{32} = -0.393 + 0.0455 = 0.3475 \approx P_3$$

故功率达到了平衡。



三、已知某系统接线如图5所示。各元件参数均已知。 S_B 取120 MVA，各线路平均额定电压为基准。忽略变压器励磁支路和负荷。

(1) 当k点发生三相对称短路时短路次暂态电流，

并给出故障计算等值电路图。

(2) 当k点发生bc两相短路时，给出正序和负序等值网络；求故障点的短路电流；求发电机G1各相的馈出电流

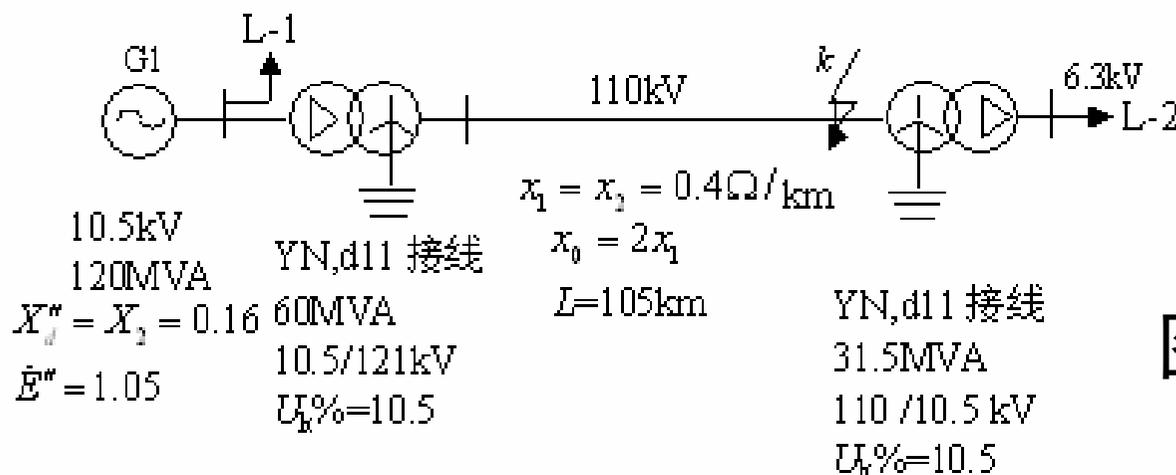
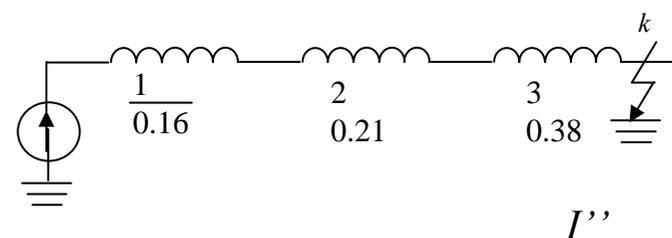


图5



解： (1) 求故障计算等值电路图

$$x_2 = \frac{U_k \%}{100} \times \frac{S_B}{S_N} = \frac{10.5}{100} \times \frac{120}{60} = 0.21$$



$$x_3 = 0.4 \cdot l_1 \cdot \frac{S_B}{U_{1p}^2} = 0.4 \cdot 105 \cdot \frac{120}{115^2} = 0.38 \quad E''$$

短路次暂态电流:

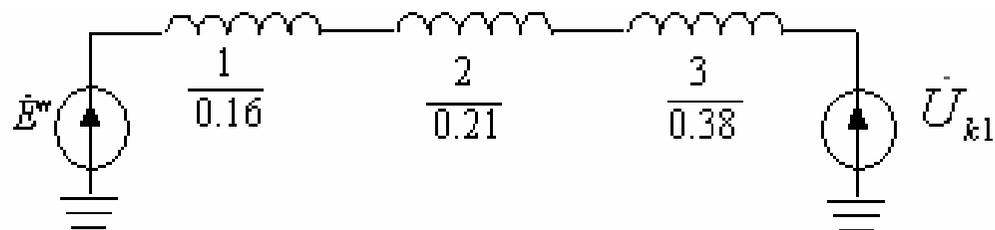
$$I'' = \frac{E''}{x_1 + x_2 + x_3} = \frac{1.05}{0.16 + 0.21 + 0.38} = 1.4$$

有名值为:

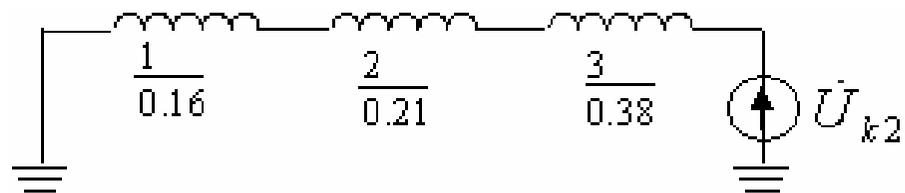
$$I'' = 1.4 \times I_B = 1.4 \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 115} = 0.84 \text{ kA}$$



(2) 正序网络为:



负序网络为:





正序和负序的总阻抗均为：

$$X_{\Sigma 1} = X_{\Sigma 2} = x_1 + x_2 + x_3 = 0.75$$

$$\dot{U}_{d0} = \frac{109}{115} \angle 0^\circ = 0.948 \angle 0^\circ$$

正序和负序电流为：

$$\dot{I}_{da1} = \frac{\dot{U}_{d0}}{j(X_{\Sigma 1} + X_{\Sigma 2})} = \frac{0.948}{j1.5} = -j0.632$$

$$\dot{I}_{da2} = -\dot{I}_{da1} = j0.632$$



不对称短路电流为：

$$I_{db} = I_{dc} = \sqrt{3}I_{da1} = 1.095$$

不对称短路电流的有名值为：

$$I_{db} = I_{dc} = 1.095 \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 115} = 0.659 \text{kA}$$



发电机各相电流标么值为：

$$I_{Ga} = |e^{j30^\circ} \dot{I}_{da1} + e^{-j30^\circ} \dot{I}_{da2}| = 0.632$$

$$I_{Gb} = |a^2 e^{j30^\circ} \dot{I}_{da1} + a e^{-j30^\circ} \dot{I}_{da2}| = 1.264$$

$$I_{Gc} = |a e^{j30^\circ} \dot{I}_{da1} + a^2 e^{-j30^\circ} \dot{I}_{da2}| = 0.632$$

发电机各相电流的有名值为：

$$I_{Ga} = 0.632 \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 10.5} = 4.17 \text{kA}$$

$$I_{Gb} = 1.264 \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 10.5} = 8.34 \text{kA}$$

$$I_{Gc} = 0.632 \times \frac{120}{\sqrt{3} \times 10.5} = 4.17 \text{kA}$$

六. 如图所示网络, 各元件参数可用电抗 X 加下标分别表示。

- (1) 试画出d点发生不对称接地短路时的零序网络。
- (2) 试画出k点发生不对称接地短路时的零序网络。

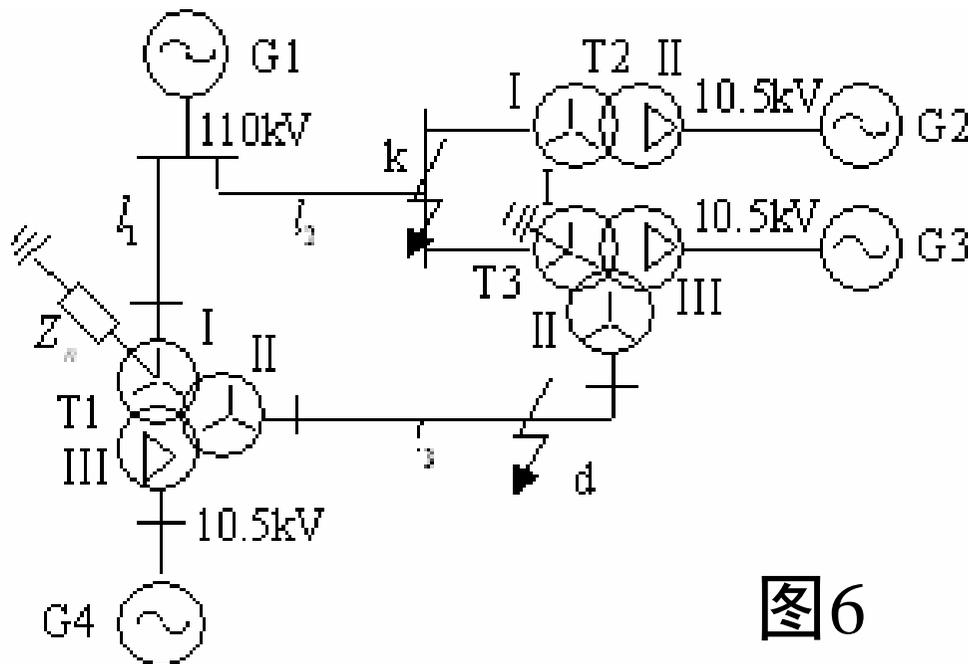
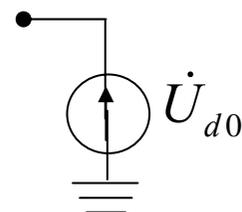


图6

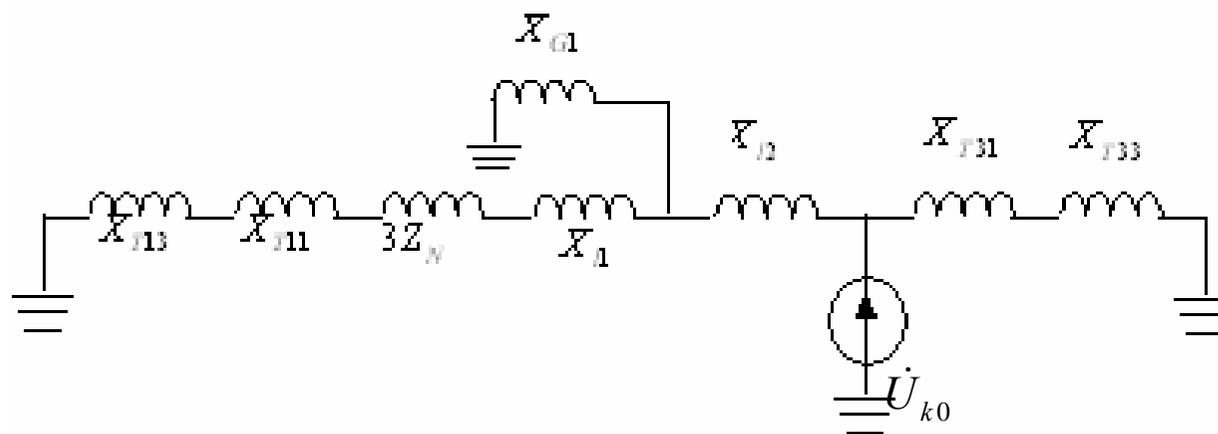


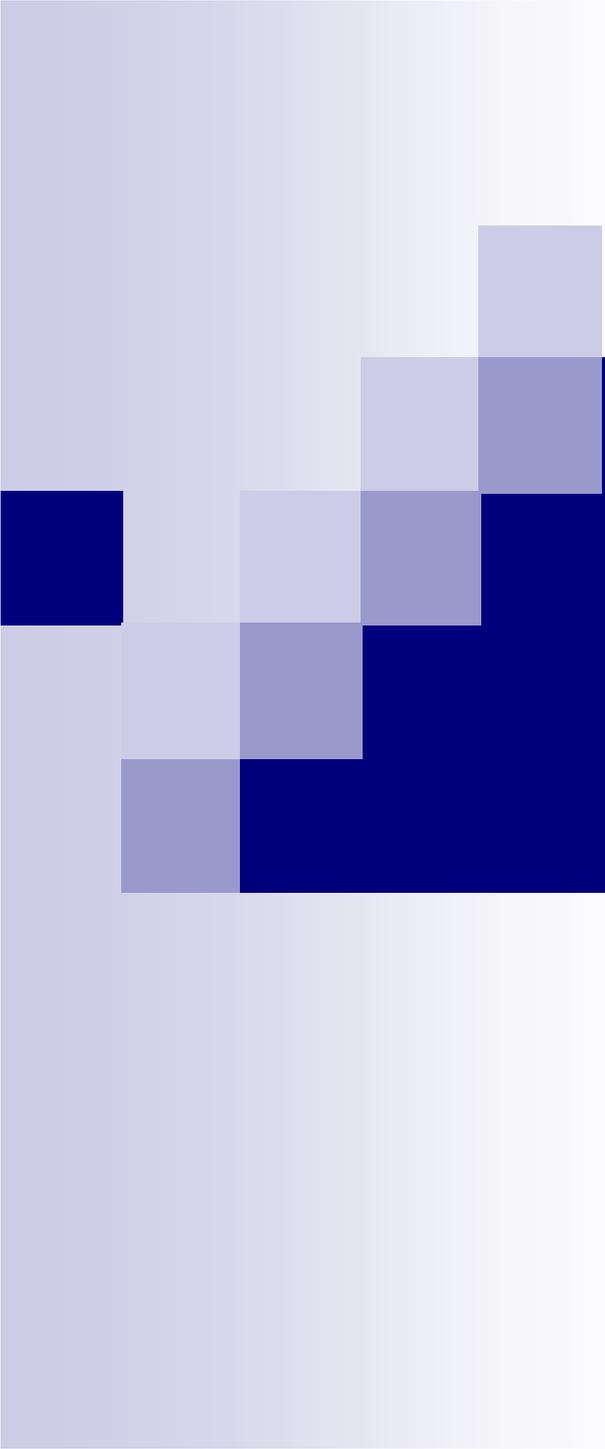
解:

(1) d点短路时零序电流流不通, 故零序网络为:



(2) k点短路时零序网络为:





The End