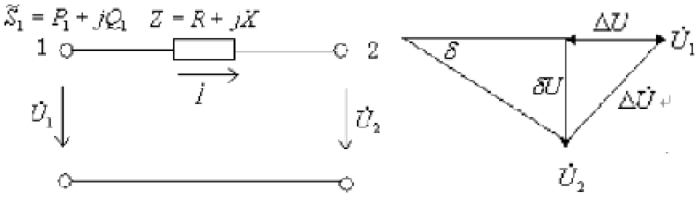
电力系统分析（下） 复习资料

1. 什么是电力系统的潮流计算？

根据给定的网络结构和运行条件，通过电压、功率平衡方程，求出整个网络的运行状态，包括各母线的电压、网络中的功率分布以及功率损耗等。

2. 已知以U_1为参考相量的输电线路及其相量图，电压降$\Delta\dot{U}=\frac{P_1R+Q_1X}{U_1}+\mathrm{j}\frac{P_1X-Q_1R}{U_1}$，写出其横分量和纵分量。



答 纵分量$\Delta U=\frac{P_1R+Q_1X}{U_1}$；横分量$\delta U=\frac{P_1X-Q_1R}{U_1}$

3. 已知始端发电厂母线电压和负荷功率，写出开式网的潮流计算方法。

答 已知始端发电厂母线电压和负荷功率，则潮流计算方法为：

（1） 假设全网运行在额定电压下，计算各段功率损耗及电源功率。

（2） 用始端电压和计算出的电源功率 ，计算各段的电压降落。

（3） 利用计算出的各点电压，重新按步骤（1）计算各阻抗、导纳支路上功率损耗，以求得较准确的发电机电源功率。

4. 什么是闭式网的功率分点？它分为那两种类型？闭式网的网络电压最低点如何界定？

功率分点：功率从两侧流入的点为功率分点，分为有功功率分点和无功功率分点。

若有功功率分点和无功功率分点为同一点，则该点为网络电压最低点。

若有功功率分点和无功功率分点不为同一点，则一般无功功率分点为网络电压最低点。

5. 写出节点导纳矩阵$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{n2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix}$的自导纳和互导纳

答 自导纳Y_{11}、Y_{22}、…Y_{nn}。余为互导纳。

6. 什么是电力网的 PQ 节点，PV 节点，平衡节点？如果某一闭合网共有 n 个节点，那么 PQ、

PV、平衡节点之间是如何分配这 n 节点的？

答 PQ 节点的有功功率 P 和无功功率 Q 是给定的，节点电压（U、δ）是待求量；PV 节点的有功功率 P 和电压模值 U 是给定的，节点的无功功率 Q 和电压的角度δ是待求量；平衡节点的电压模值 U 和电压的角度δ是给定，有功功率 P 和无功功率 Q 是待求量。有一个平衡节点，m-1 个 PQ 节点，n-m 个 PV 节点。

7. 牛顿-拉夫逊法的核心是什么？牛顿-拉夫逊法潮流计算最终是否收敛与一维非线性方程的初值有关吗？

答 牛顿拉夫逊算法的核心是将非线性方程的求解转换成相应线性修正方程的迭代求解（或是修正方程式的建立和求解）。 初值选择适当收敛；初值选择不当不收敛。

8. 写出雅克比矩阵的特点

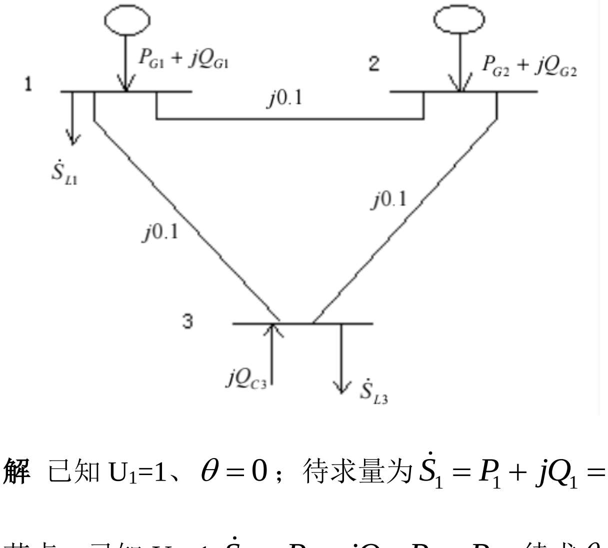
答 雅可比矩阵具有以下特点：

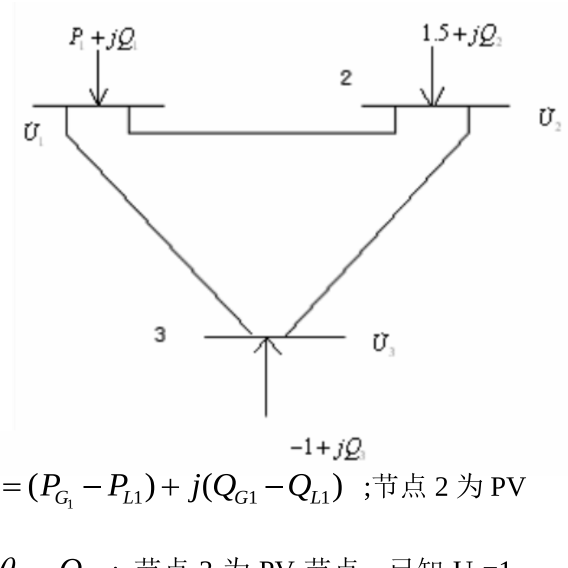
（1）雅可比矩阵中元素是节点电压的函数，迭代过程中每次迭代电压都要修正，因此雅可比矩阵中元素每次迭代都改变。

（2）雅可比矩阵不是对称阵。

（3）雅可比矩阵为稀疏阵。

9. 对下图所示的三节点简单电力系统作牛顿法潮流计算。线路阻抗标幺值已标明在图上，负荷功率的标幺值为：$S_{L1}=1+\mathrm{j}0.5, S_{L3}=1+\mathrm{j}1$，$P_{G2}=1.5$。节点 3 装有无功补偿装置，在运行时，各节点电压的幅值 $U_1=U_2=U_3=1$。节点 1 为平衡节点，用牛顿拉夫逊法计算潮流。并计算出 Q_{C3}、Q_{G2} 及线路功率 $\dot{S}_{12}$（收敛精度 $\varepsilon=10^{-3}$）。





解 已知 $U_1=1$、$\theta=0$；待求量为 $\dot{S}_1=P_1+jQ_1=(P_{G_1}-P_{L1})+j(Q_{G1}-Q_{L1})$ ；节点 2 为 PV 节点，已知 $U_2=1, \dot{S}_2=P_2+jQ_2, P_2=P_{G2}$，待求 θ_2、Q_{G2}；节点 3 为 PV 节点，已知 $U_3=1$，

$\dot{S}_3 = P_3 + jQ_3 = (-P_{L3}) + j(Q_{C3} - Q_{L3})$ ，待求量为 Q_{C3}， θ_3。

（1）采用直角坐标式

未知量 $\dot{U}_2$、$\dot{U}_3$，已知量 P2、P3、U2、U3.

第一步：形成导纳矩阵 $Y_B = \begin{bmatrix} -j20 & j10 & j10 \\ j10 & -j20 & j10 \\ j10 & j10 & -j20 \end{bmatrix}$

第二步：设定电压初始值

$\dot{U}_1 = e_1 + jf_1 = 1 + j0$、$\dot{U}_2^{(0)} = e_2^{(0)} + jf_2^{(0)} = 1 + j0$、$\dot{U}_3^{(0)} = e_3^{(0)} + jf_3^{(0)} = 1 + j0$

第三步；计算功率不平衡量和电压不平衡量

$$\Delta P_2^{(0)} = P_2 - P_2^{(0)} = 1.5 - \left[e_2^{(0)} \sum_{j=1}^{3} \cdot \left(G_{2j} e_j^{(0)} - B_{2j} f_j^{(0)} \right) + f_2^{(0)} \sum_{j=1}^{3} \left(G_2 f_j^{(0)} \right) + B_{2j} e_j^{(0)} \right]$$

=1.5- 0 = 1.5

$$\Delta P_3^{(0)} = P_3 - P_3^{(0)} = -1 - \left[e_3^{(0)} \sum_{j=1}^{3} \cdot \left(G_{3j} e_j^{(0)} - B_{3j} f_j^{(0)} \right) + f_3^{(0)} \sum_{j=1}^{3} \left(G_3 f_j^{(0)} \right) - B_{3j} e_j^{(0)} \right]$$

= -1 - 0 = - 1

$$\left(\Delta U_2^{(0)} \right)^2 = U_2^2 - \left(e_2^{(0)2} + f_2^{(0)2} \right) = 1 - 1 = 0$$

$$\left(\Delta U_3^{(0)} \right)^2 = U_3^2 - \left(e_3^{(0)2} + f_3^{(0)2} \right) = 1 - 1 = 0$$

第四步：求雅克比矩阵

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta P_2}{\partial e_2} & \frac{\partial \Delta P_2}{\partial f_2} & \frac{\partial \Delta P_2}{\partial e_3} & \frac{\partial \Delta P_2}{\partial f_3} \\ \frac{\partial \Delta U_2^2}{\partial e_2} & \frac{\partial \Delta U_2^2}{\partial f_2} & \frac{\partial \Delta U_2^2}{\partial e_3} & \frac{\partial \Delta U_2^2}{\partial f_3} \\ \frac{\partial \Delta P_3}{\partial e_2} & \frac{\partial \Delta P_3}{\partial f_2} & \frac{\partial \Delta P_3}{\partial e_3} & \frac{\Delta P_3}{\partial f_3} \\ \frac{\partial \Delta U_3^2}{\partial e_2} & \frac{\partial \Delta U_3^2}{\partial f_2} & \frac{\partial \Delta U_3^2}{\partial e_3} & \frac{\partial \Delta U_3^2}{\partial f_3} \end{bmatrix}$$

$$\left. \frac{\partial \Delta \mathrm{P}_2}{\partial \mathrm{e}_2} \right|_0 = \left[-\sum_{j=1}^{3} \left(G_{2j} e_j - B_{2j} f_j \right) - G_{22} e_2 - B_{22} f_2 \right]_0 = 0$$

$$\left. \frac{\partial \Delta \mathrm{P}_2}{\partial \mathrm{f}_2} \right|_0 = \left[-\sum_{j=1}^{3} \left(G_{2j} f_j + B_{2j} e_j \right) + B_{22} e_2 - G_{22} f_2 \right]_0 = -20$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{P}_2}{\partial \mathrm{e}_3}\Big|_0 = \left[-G_{23}e_2 - B_{23}f_2\right]_0 = 0$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{P}_2}{\partial \mathrm{f}_3}\Big|_0 = \left[B_{23}e_2 - G_{23}f_2\right]_0 = 10$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{P}_3}{\partial \mathrm{e}_3}\Big|_0 = \frac{\partial \Delta \mathrm{P}_3}{\partial \mathrm{e}_2}\Big|_0 = 0$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{P}_3}{\partial \mathrm{f}_2}\Big|_0 = 10$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{P}_3}{\partial \mathrm{f}_3}\Big|_0 = -20$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{U}_3^2}{\partial \mathrm{e}_3}\Big|_0 = -2$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{U}_3^2}{\partial \mathrm{f}_3}\Big|_0 = 0$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{U}_2^2}{\partial \mathrm{e}_2}\Big|_0 = -2e_2\Big|_0 = -2$$

$$\frac{\partial \Delta \mathrm{U}_2^2}{\partial \mathrm{f}_2}\Big|_0 = -2f_2\Big|_0 = 0$$

$$J^{(0)} = \begin{bmatrix} 0 & -20 & 0 & 10 \\ -2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 & -20 \\ 0 & 0 & -2 & 0 \end{bmatrix}$$

第五步：求修正量

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \Delta U_2^{2(0)} \\ \Delta P_3^{(0)} \\ \Delta U_3^{2(0)} \end{bmatrix} = -J^{(0)} \begin{bmatrix} \Delta e_2^{(0)} \\ \Delta f_2^{(0)} \\ \Delta e_3^{(0)} \\ \Delta f_3^{(0)} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta e_2^{(0)} \\ \Delta f_2^{(0)} \\ \Delta e_3^{(0)} \\ \Delta f_3^{(0)} \end{bmatrix} = (-J^{(0)})^{-1} \begin{bmatrix} 1.5 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0667 \\ 0 \\ -0.01667 \end{bmatrix}$$

第六步：计算各节点电压的一次近似值

$$e_2^{(1)} = e_2^{(0)} + \Delta e_2^{(0)} = 1$$

$$f_2^{(1)} = f_2^{(0)} + \Delta f_2^{(0)} = 0 + 0.0667 = 0.0667$$

$$e_3^{(1)} = e_3^{(0)} + \Delta e_3^{(0)} = 1$$

$$f_3^{(1)} = f_3^{(0)} + \Delta f_3^{(0)} = -0.01667$$

返回第三步重新迭代。

第二次迭代：

$$\begin{bmatrix} \Delta e_2^{(1)} \\ \Delta f_2^{(1)} \\ \Delta e_3^{(1)} \\ \Delta f_3^{(1)} \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} -\dfrac{0.5}{3} & -20 & -\dfrac{2}{3} & 10 \\ -2 & -\dfrac{0.4}{3} & 0 & 0 \\ \dfrac{0.5}{3} & 10 & \dfrac{2}{3} & -20 \\ 0 & 0 & -2 & \dfrac{0.1}{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\dfrac{0.04}{9} \\ -0.01667 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.00224 \\ 0.0000267 \\ -0.000139 \\ -0.0000267 \end{bmatrix}$$

$$e_2^{(2)} = 0.997776$$

$$f_2^{(2)} = 0.0666934$$

$$e_3^{(2)} = 0.999861$$

$$f_3^{(2)} = -0.0166934$$

这时

$$\Delta P_2^{(2)} = -3.2 \times 10^{-4} < \varepsilon$$

$$\Delta P_3^{(2)} = 3.4 \times 10^{-4} < \varepsilon$$

$$\Delta U_2^{(2)^2} = 4.5 \times 10^{-6} < \varepsilon$$

$$\Delta U_3^{(2)^2} = 4 \times 10^{-7} < \varepsilon$$

已满足收敛要求。

第七步 电压解：

$$\dot{U}_2 = 0.997776 + j0.0666934$$

$$\dot{U}_3 = 0.999861 - j0.0166934$$

平衡节点功率：

$$P_1 = e_1\sum_{j=1}^{3}\left(G_{1j}e_j - B_{1j}f_j\right) + f_1\sum_{j=1}^{3}\left(G_{1j}f_j + B_{1j}e_j\right)$$

$$=1\times(-10\times0.666934+10\times0.0166934)=-0.5$$

$$Q_1 = f_1\sum_{j=1}^{3}\left(G_{1j}e_j - B_{1j}f_j\right) - e_1\sum_{j=1}^{3}\left(G_{1j}f_j + B_{1j}e_j\right)$$

$$=1\times(20-10\times0.997776-10\times0.999861)=0.02363$$

$$P_{G_1} = P_1 + P_{L1} = -0.5 + 1 = 0.5$$

$$Q_{G1} = Q_1 + Q_{L1} = 0.02363 + 0.5 = 0.52363$$

$$Q_{G2} = Q_2 = f_2\sum_{j=1}^{3}\left(G_{2j}e_j - B_{2j}f_j\right) - e_2\sum_{j=1}^{3}\left(G_{2j}f_j + B_{2j}e_j\right) = 0.05708$$

$$Q_3 = f_3\sum_{j=1}^{3}\left(G_{3j}e_j - B_{3j}f_j\right) - e_3\sum_{j=1}^{3}\left(G_{3j}f_j + B_{3j}e_j\right) = 0.03613$$

$$Q_{C3} = Q_3 + Q_{L3} = 0.03613 + 1 = 1.03613$$

$$\dot{S}_{12} = P_{12} + jQ_{12} = -0.666934 + j0.02224$$

（2）也可采用极坐标式解，结果相同，计算过程从略。