

3 简单电网潮流计算和分析

2012/4/13

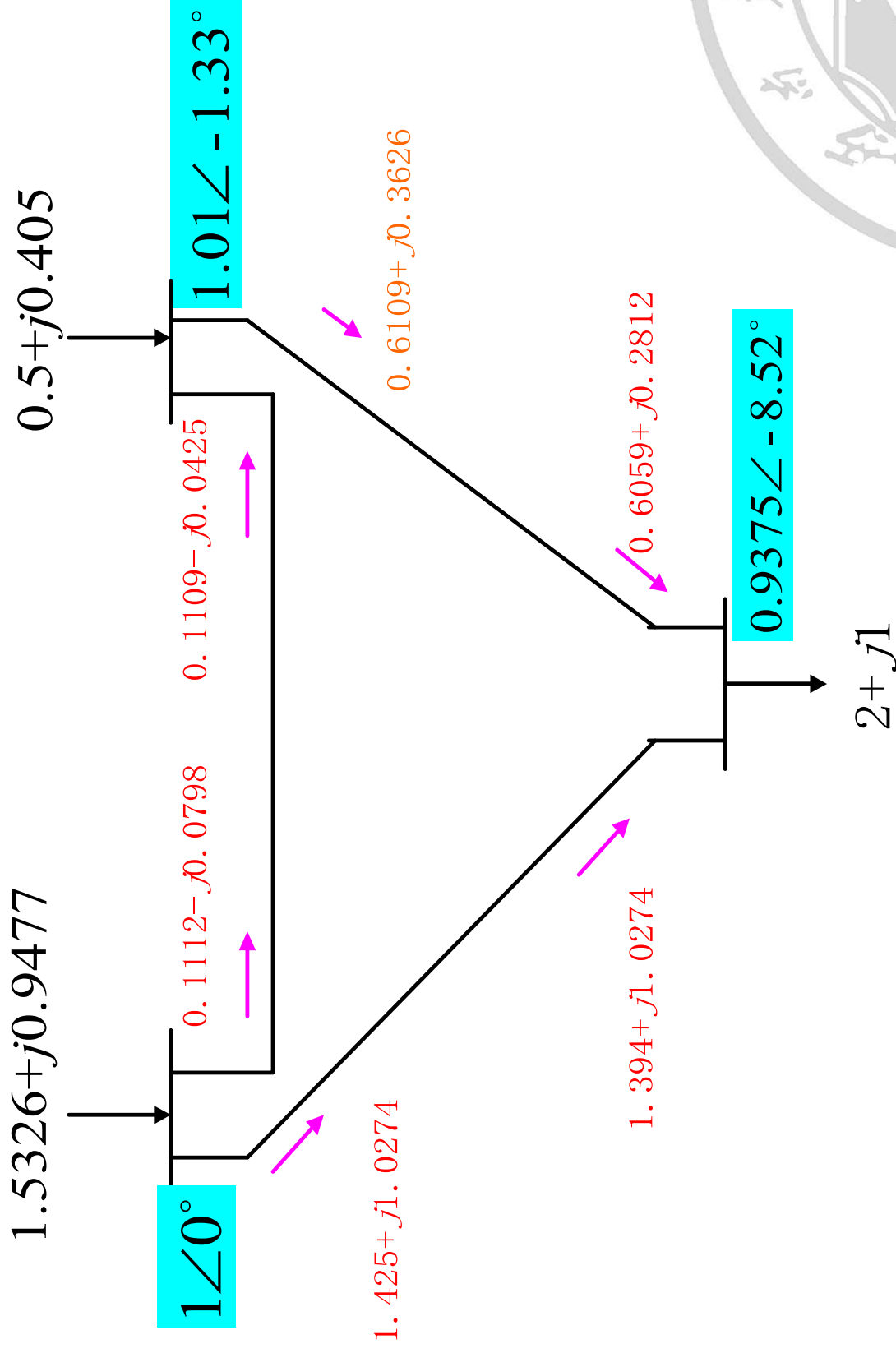
简单电网潮流计算和分析



§ 3-1 概述

- **潮流 (Power Flow)**
电力系统中**电压 (各节点)**、**功率 (各支路的有功、无功功率)**的**稳态分布**。
- **潮流计算**
电力系统稳态运行或正常运行分析
- **计算目的**
服务于电力系统的运行与规划设计、电网运行的安全经济和优质分析与评价。



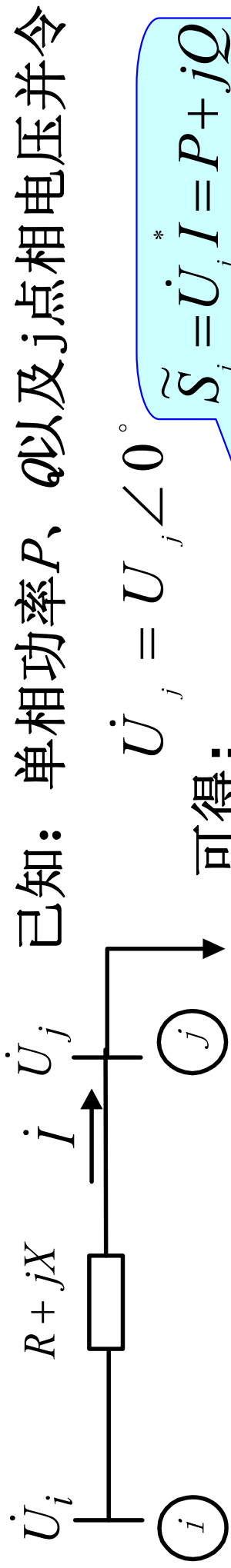


注：图中各值均为标么值。



§ 3-1 简单电力系统稳态运行分析

一、三相电力线路的电压损耗（电力线路采用阻抗模型）



$$\dot{U}_j = U_j \angle 0^\circ$$

可得：

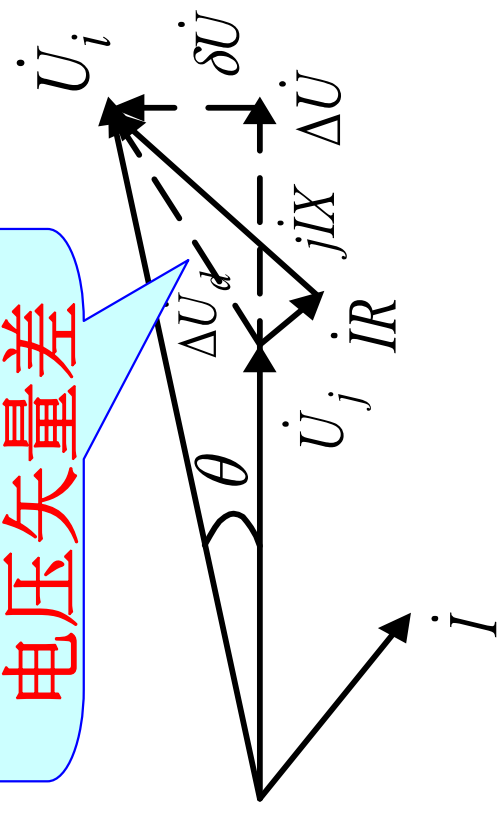
$$\tilde{S}_j = \dot{U}_j^* I = P + jQ$$

**电压降落：
电压矢量差**

$$\dot{U}_i = \dot{U}_j + \dot{I}(R + jX)$$

$$= U_j + \frac{P - jQ}{U_j} (R + jX)$$

$$= U_j + \frac{PR + QX}{U_j} + j \frac{PX - QR}{U_j}$$



阻抗两端电压降落及其纵分量和横分量分别为

$$\dot{U}_i - U_j = \Delta U + j\delta U \quad \Delta U = \frac{PR + QX}{U_j} \quad \delta U = \frac{PX - QR}{U_j}$$

因此：

$$U_i = \sqrt{(U_j + \Delta U)^2 + \delta U^2} = \sqrt{\left(U_j + \frac{PR + QX}{U_j}\right)^2 + \left(\frac{PX - QR}{U_j}\right)^2}$$

$$\theta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\delta U}{U_j + \Delta U}$$

- 以上为用末端功率、末端电压计算阻抗两端电压降落和首端电压计算式中。当已知首端量计算末端量时分析相同。
- 以上计算式由单相功率和相电压推导而得。可证明其对三相复功率和线电压，或标么功率和电压，结果成立。
- 阻抗两端的电压幅值差主要由纵分量决定，而电压相角差主要由横分量决定

- 电压降落分析与讨论

- 线路两端电压相角差一般不大，可近似认为：

$$U_i \approx U_j + \frac{PR + QX}{U_j} \xrightarrow{\text{orange arrow}} U_i - U_j \approx \frac{PR + QX}{U_j} = \Delta U$$

- 对于高压输电电网，

$$X \gg R$$

电压损耗

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U_j} \approx \frac{QX}{U_j}$$

$$\delta U = \frac{PX - QR}{U_j} \approx \frac{PX}{U_j}$$



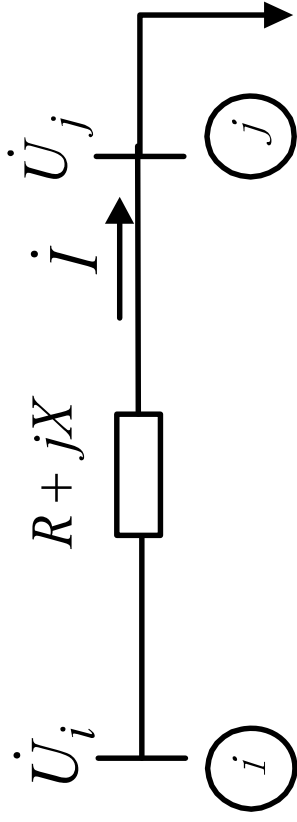
• 交流电力线路功率传输与线路两端电压

- 在纯电感等值电路中，电压幅值差是由传输无功功率产生；电压相角差是由传输有功功率产生。
- 一般情况下，线路无功功率传输主要影响电压幅值，有功功率传输主要影响了电压相角
- 有功功率从电压相位超前端流向电压相位滞后端；感性无功功率（感性）从电压幅值较高端流向电压幅值较低端



二、电力线路的功率损耗

- 电力线路采用阻抗模型



$$S = \sqrt{3} U_j I$$

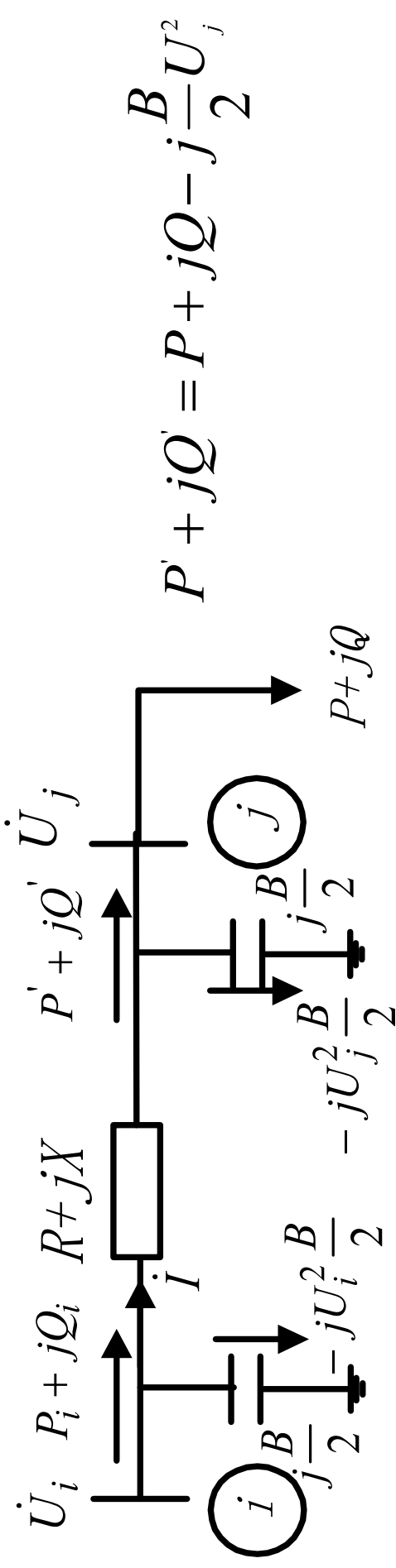
$$\Delta \tilde{S} = \Delta P + j \Delta Q$$

$$= 3I^2(R + jX)$$

$$= \frac{P^2 + Q^2}{U_j^2} (R + jX)$$



• 电力线路 π 型等值电路



线路电压损失 $\approx \frac{P'R + Q'X}{U_j}$

线路功率损失: $\Delta\tilde{S} = \Delta P + j\Delta Q$

$$= \frac{P'^2 + Q'^2}{U_j^2} R + j \frac{P'^2 + Q'^2}{U_j^2} X - jU_i^2 \frac{B}{2} - jU_j^2 \frac{B}{2}$$

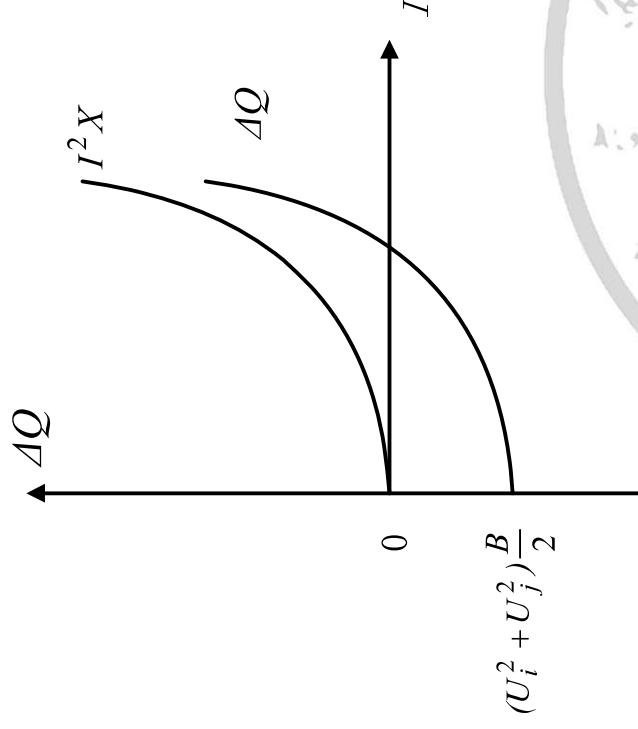
无功损耗

❖ 交流电力线路功率传输与功率损耗

- ▶ 无功功率在电力线路中传输也产生有功功率损耗，同等大小的无功功率和有功功率在电力线路中传输产生的有功功率损耗相同

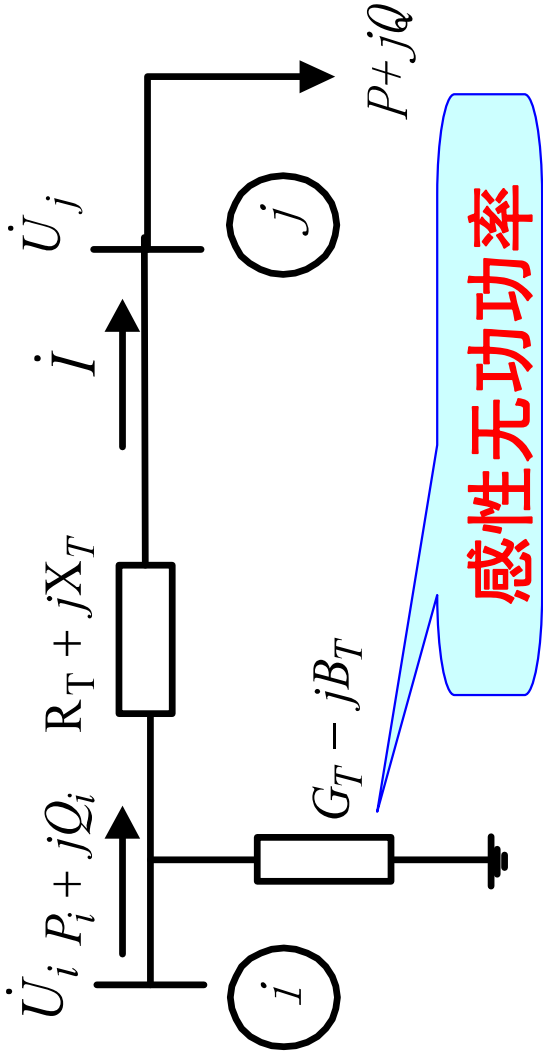
— 电网无功功率损耗由等值电抗中消耗的无功功率和对地等值电纳消耗的无功功率（充电功率）两部分构成

— 超高压线路在轻载时导致充电功率大于线路的输送无功功率，此时若始端电压保持正常水平，末端电压则高于正常电压水平，可能会引起末端连接的设备绝缘的损坏



$$U_i - U_j \approx \frac{P'R + Q'X}{U_j}$$

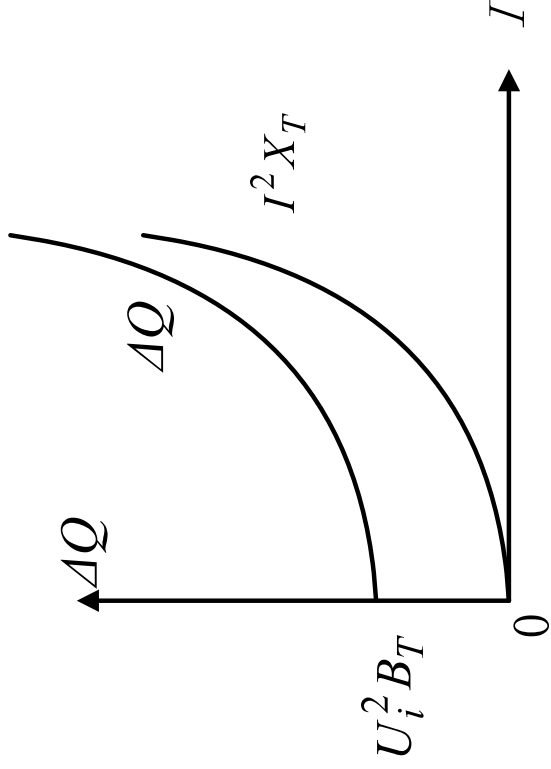
三、变压器中功率损耗与电压损耗



变压器电压损耗

$$\Delta U_T \approx \frac{PR_T + QX_T}{U_j}$$

变压器功率损耗



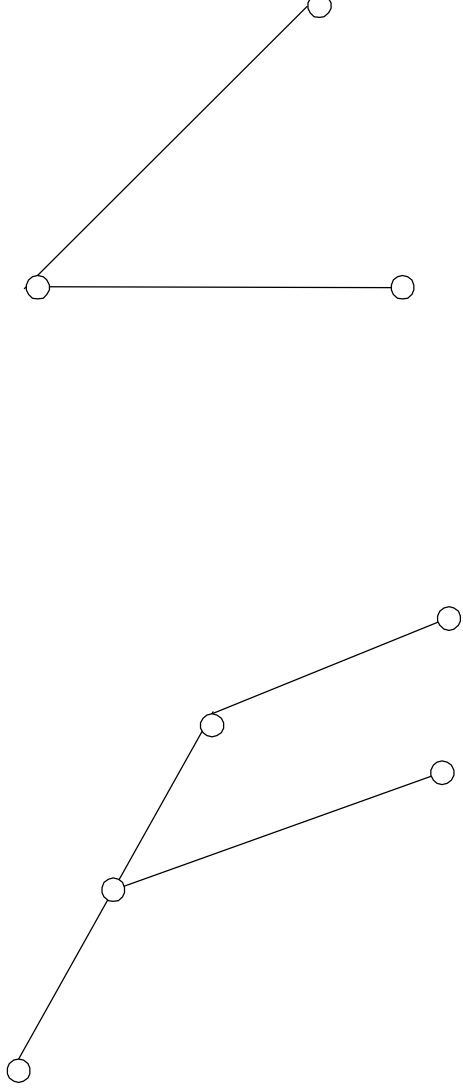
$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U_j^2} R_T + U_i^2 G_T$$

$$\Delta Q = \frac{P^2 + Q^2}{U_j^2} X_T + U_i^2 B_T$$



辐射形网络的潮流分析计算

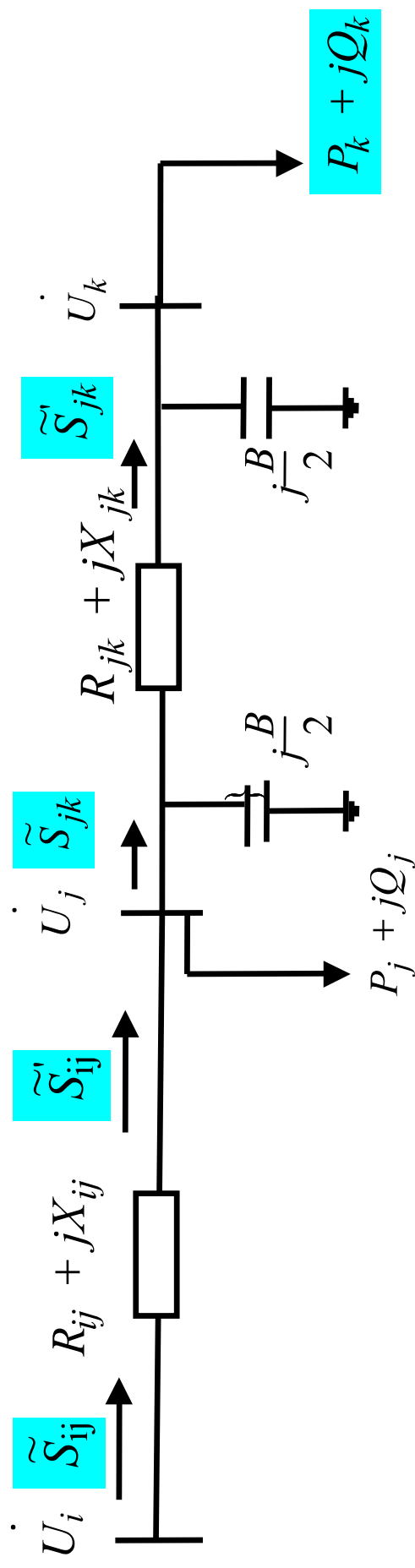
各条线路有明确的始端和末端



- 潮流分析计算是利用已知的负荷（功率）、节点电压求取未知的节点电压、线路功率分布和功率损耗

- 根据计算条件的不同，一般可分为如下两种情况：

一、已知末端功率与电压（同点电压、功率）
——递推计算求得始端电压和功率



$$P_k + jQ_k$$

$$\dot{U}_k$$

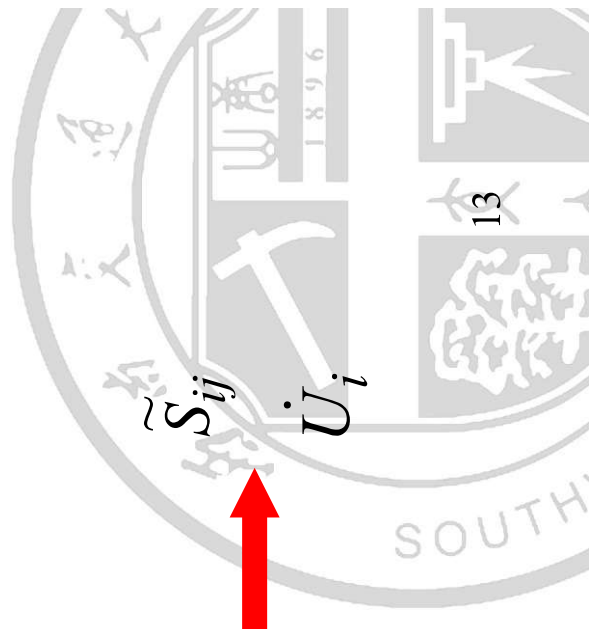
$$\tilde{S}_{jk}$$

$$\dot{U}_j$$

$$\tilde{S}_{ij}$$

$$\tilde{S}_{ij}$$

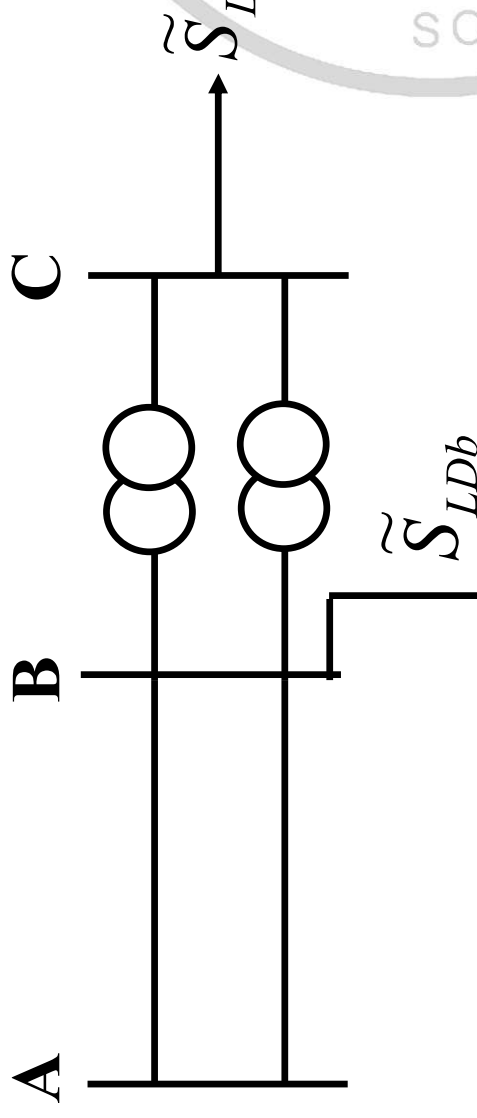
$$\dot{U}_i$$



二、已知末端功率、始端电压（不同点电压、功率）——迭代法计算求得末端电压、始端功率

- 假设末端电压为线路额定电压；
- (1) 用假设的末端电压和已知的末端功率，计算功率损耗（不计电压损耗），利用递推计算得到始端的功率及全网功率分布；
- (2) 用第一步求得的线路始端功率和已知的线路始端电压，计算电压损耗（不计功率损耗），利用递推方法得到线路末端电压；
- 用(2)求得的线路末端电压转(1)迭代至收敛（各线路功率两次计算结果差小于允许值、各节点电压两次计算结果差小于允许值）

例： 见下图，额定电压为110kV的双回输电线路，长度为80 km，采用 LGJ-150 导线，其参数为： $r_l=0.21\Omega/\text{km}$ ， $x_l=0.416\ \Omega/\text{km}$ ， $b_l=2.74\times 10^{-6}\text{s}/\text{km}$ 。变电所中装有两台三相110/11kV的变压器，每台容量为15MVA，其参数为 $P_o=40.5\text{kW}$ ， $P_k=128\text{kW}$ ， $U_k\%=10.5$ ， $I_o\%=3.5$ 。母线A的实际运行电压为117kV，负荷功率为： $\tilde{S}_{LDb}=30+j12\text{MVA}$ ， $\tilde{S}_{LDc}=20+j15\text{MVA}$ ，当变压器取主抽头时，求母线C的电压（只迭代一次即可）。



解： (1) 计算参数并作出等值电路

$$R_L = \frac{1}{2} \times 80 \times 0.21 = 8.4 \Omega$$

$$X_L = \frac{1}{2} \times 80 \times 0.416 = 16.6 \Omega$$

$$B_c = 2 \times 80 \times 2.74 \times 10^{-6} = 4.38 \times 10^{-4} \text{ S}$$

由于线路电压未知，可用线路额定电压计算线路产生的充电功率，并将其分为两部分得：

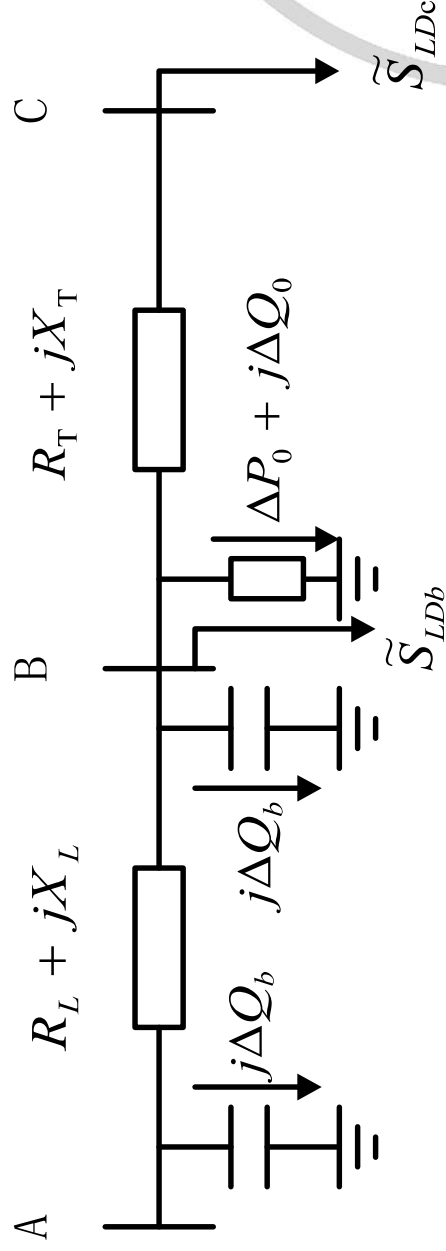
$$\Delta Q_b = -\frac{1}{2} B_c U_N^2 = \left(-\frac{1}{2}\right) \times 4.38 \times 10^{-4} \times 110^2 = -2.56 \text{ M var}$$

两台变压器并联:

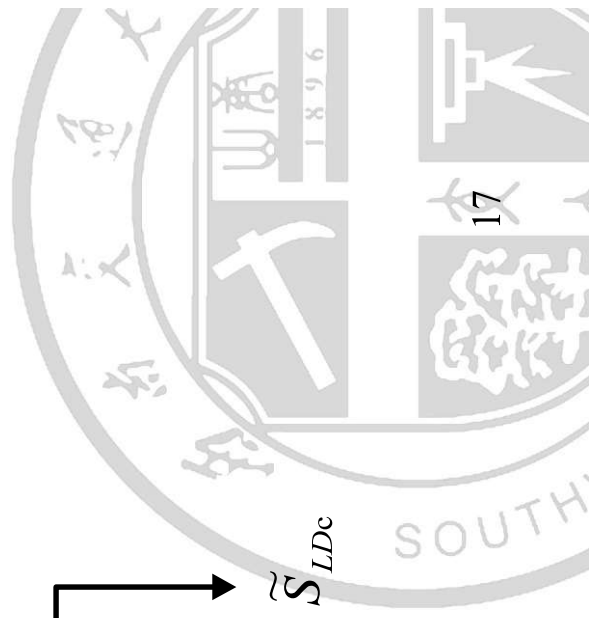
$$R_T = \frac{1}{2} \frac{\Delta P_K U_N^2}{S_N^2} \times 10^3 = \frac{1}{2} \times \frac{128 \times 110^2}{15000^2} \times 10^3 = 3.4 \Omega$$

$$X_T = \frac{1}{2} \frac{U_K \% U_N^2}{100 \times S_N} \times 10^3 = \frac{1}{2} \times \frac{128 \times 110^2}{15000^2} \times 10 = 42.4 \Omega$$

$$\Delta P_0 + j\Delta Q_0 = 2 \left(0.0405 + j \frac{3.5 \times 15}{100} \right) = (0.08 + j1.05) \text{ MV.A}$$



(a)

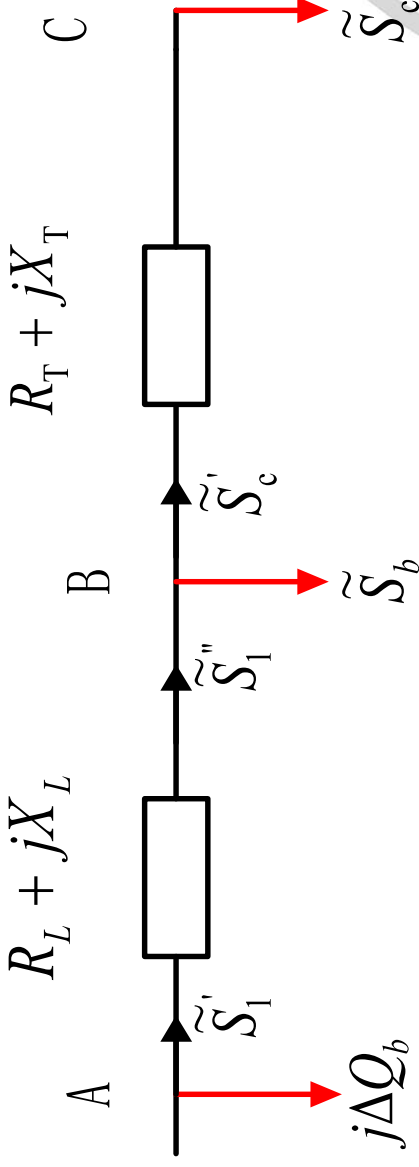


节点B的总负荷功率:

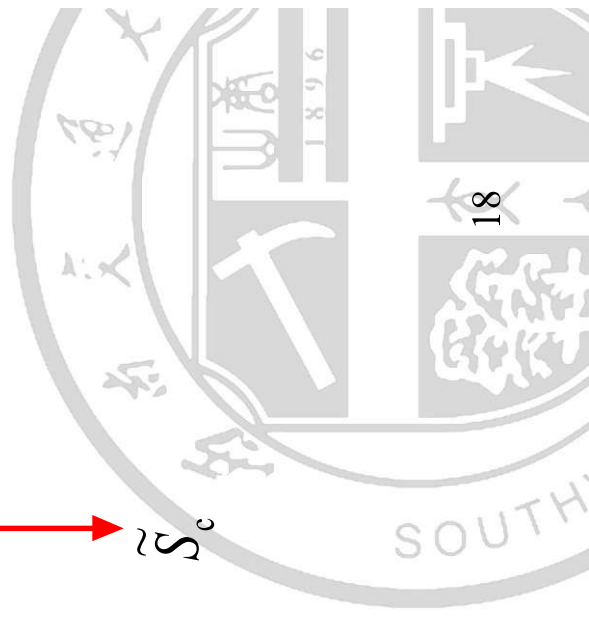
$$\tilde{S}_b = 30 + j12 + 0.08 + j1.05 - j2.65 = (30.08 + j10.4) \text{MV}\cdot\text{A}$$

节点C的负荷功率:

$$\tilde{S}_c = (20 + j15) \text{MV}\cdot\text{A}$$



(b)



(2) 计算始端功率 变压器绕组功率损耗:

$$\Delta \tilde{S}_T = \left(\frac{S_c}{U_N}\right)^2 (R_T + jX_T) = \frac{20^2 + 15^2}{110^2} (3.4 + j2.4) = (0.18 + j2.19) \text{ MV}\cdot\text{A}$$

由图 (b) 可得:

$$\tilde{S}'_c = \tilde{S}_c + \Delta P_T + j\Delta Q_T = 20 + j15 + 0.18 + j2.19 = (20.18 + j17.19) \text{ MV}\cdot\text{A}$$

$$\tilde{S}''_1 = \tilde{S}'_c + \tilde{S}_b = 20.18 + j17.19 + 30.08 + j10.4 = (50.26 + j27.59) \text{ MV}\cdot\text{A}$$

线路中功率损耗:

$$\Delta \tilde{S}_L = \left(\frac{S''_1}{U_N}\right)^2 (R_L + jX_L) = \frac{50.26^2 + 27.59^2}{110^2} (8.4 + j16.6) = (2.28 + j4.51) \text{ MV}\cdot\text{A}$$

由图 (b) 可得:

$$\tilde{S}_1' = \tilde{S}_1'' + \Delta\tilde{S}_L = 50.26 + j27.59 + 2.28 + j4.51 = (52.54 + j32.1)\text{MV}\cdot\text{A}$$

$$\tilde{S}_A = \tilde{S}_1' + j\Delta Q_b = 52.54 + j32.1 - j2.65 = (52.54 + j29.45)\text{MV}\cdot\text{A}$$

(3) 根据始端电压和计算各节点电压

线路中电压降落的纵分量为:

$$\Delta U_L = \frac{P_1' R_L + Q_1' X_L}{U_A} = \frac{52.54 \times 8.4 + 32.1 \times 16.6}{117} = 8.3\text{kV}$$

母线B 电压为:

$$U_b \approx U_A - \Delta U_L = 117 - 8.3 = 108.7\text{kV}$$



变压器中电压降落的纵分量为:

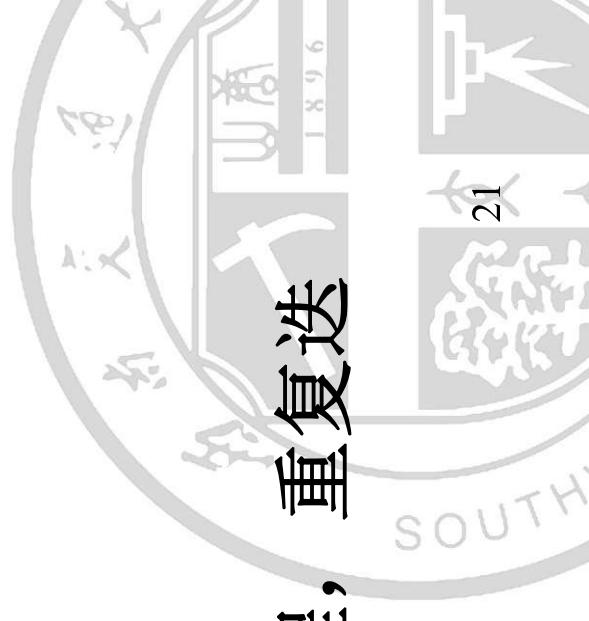
$$\Delta U_T = \frac{P'_c R_T + Q'_c X_T}{U_b} = \frac{20.18 \times 3.4 + 17.19 \times 42.4}{108.7} = 7.3 \text{ kV}$$

$$U'_c \approx U_b - \Delta U_T = 108.7 - 7.3 = 101.4 \text{ kV}$$

母线C点实际电压为:

$$U_c = U'_c \times \frac{11}{110} = 101.4 \times \frac{11}{110} = 10.14 \text{ kV}$$

上述为迭代一次求得末端电压的过程，**重复迭代直至收敛，即求得末端电压。**



Thanks

