



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

简单电力网络的计算与分析

开式网和环网的潮流计算

主讲：田行军

# CH3. 简单电力网络的计算与分析



在线开放课程

- 1、电力线路运行状况的计算
- 2、变压器的运行状况的计算
- 3、开式网和环网的潮流计算
- 4、电力网络潮流的调整控制

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 一、辐射形网络中的潮流分布

#### 1、功率的计算

电力网络的功率损耗由各元件等值电路中不接地支路阻抗损耗和接地支路导纳损耗构成。

##### ① 阻抗损耗

$$\Delta \tilde{S}_Z = \Delta P_Z + j\Delta Q_Z = \frac{S^2}{U^2} (R + jX) = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} (R + jX)$$

##### ② 导纳损耗

输电线  $\Delta \tilde{S}_y = \Delta P_y + j\Delta Q_y = U^2 (G - jB)$

变压器  $\Delta \tilde{S}_y = \Delta P_y + j\Delta Q_y = U^2 (G_T + jB_T)$

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 2、电压的计算

当功率通过元件阻抗 ( $Z=R+jX$ ) 时, 产生电压降落

$$dU = \Delta U + j\delta U = \frac{PR + QX}{U} + j\frac{PX - QR}{U}$$

注意: 要分清楚从受电端计算还是从送电端计算

### 3、潮流的计算

已知条件往往是送电端电压  $U_1$  和受电端负荷功率  $S_2$  以及元件参数。求解各节点电压、各元件流过的电流或功率。

下面是计算步骤。



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

计算步骤:

①根据网络接线图以及各元件参数计算等值电路，并将等值电路简化。

②根据已知的**负荷功率**和**网络额定电压**，从受电端推算到送电端，逐一近似计算各元件的功率损耗，求出各节点的注入和流出的功率，从而得到电力网络的**功率分布**。

③求得始端功率后，再运用**给定的始端电压**和**求得的始端功率**由始端向末端逐段推算**电压降落**。（这里不再重新计算功率损耗）。

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 注意：

第二步只计算功率分布，第三步只计算电压分布，因此这是一种近似计算方法。若要计算结果达到精度要求，可反复上列步骤，形成一种迭代算法，直到精度满足要求为止，只是在迭代计算中，第二步不再用额定电压，而用在上次计算中得到的各点电压近似值进行计算。

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

例1: 同一电压的辐射式网(已知 $U_A$ 和负荷)

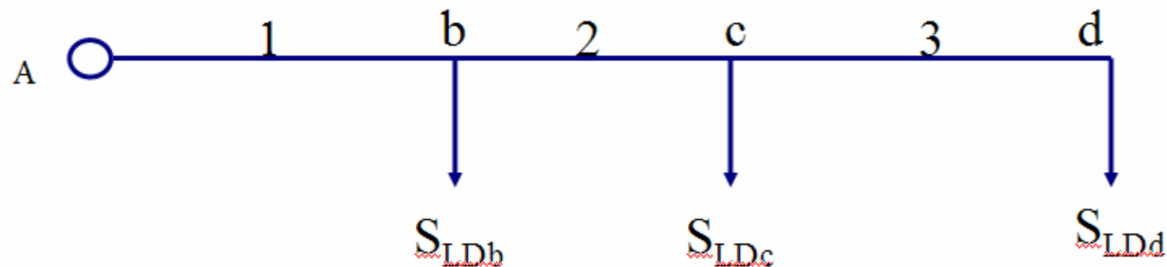
解: 算法如下:

Step1. 用 $U_N$ 求得各点的运算负荷;

Step2. 从末段线路开始, 用 $U_N$ 依次计算各段线路的功率损耗;

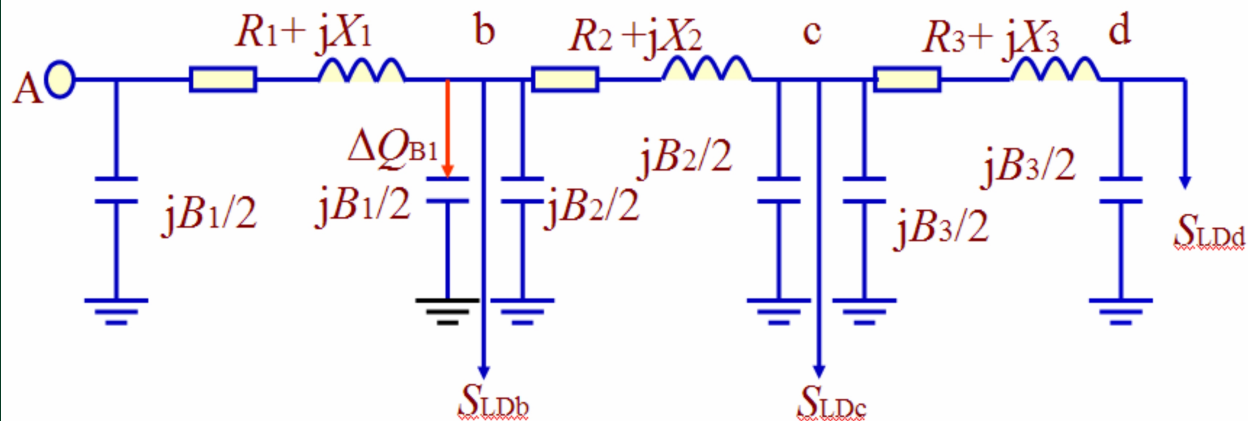
Step3. 用 $U_A$ 和已求得的功率分布, 从A点开始逐段计算电压降落, 求得 $U_b$ 、 $U_c$ 和 $U_d$ 。

Step4. 求得 $U_b$ 和 $U_c$ ,  $U_d$ 重复步骤1~3。



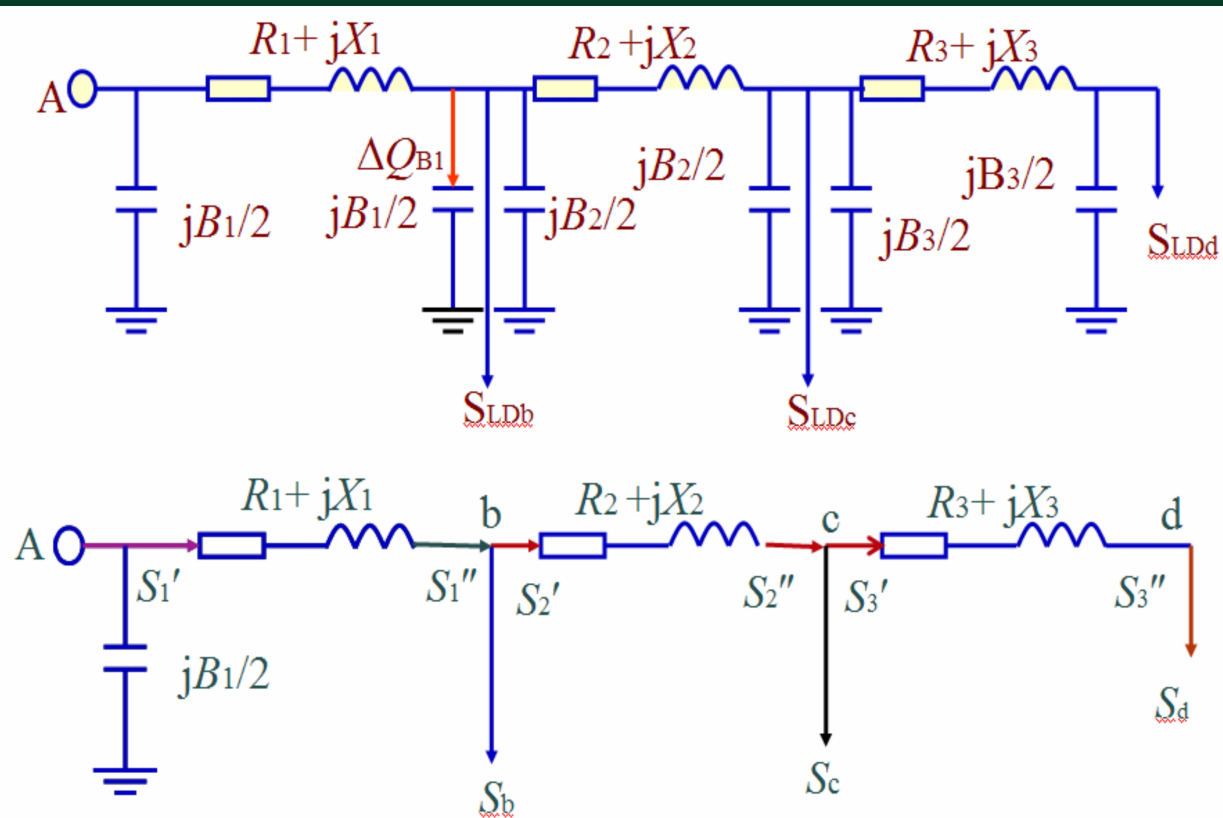
## 3.3 开式网和环网的潮流计算

Step1. 用 $U_N$ 求得各点的运算负荷



$$\Delta Q_{Bi} = -\frac{1}{2} B_i U_N^2 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} S_b = S_{LDb} + j\Delta Q_{B1} + j\Delta Q_{B2} \\ S_c = S_{LDc} + j\Delta Q_{B2} + j\Delta Q_{B3} \\ S_d = S_{LDd} + j\Delta Q_{B3} \end{cases}$$

# 3.3 开式网和环网的潮流计算



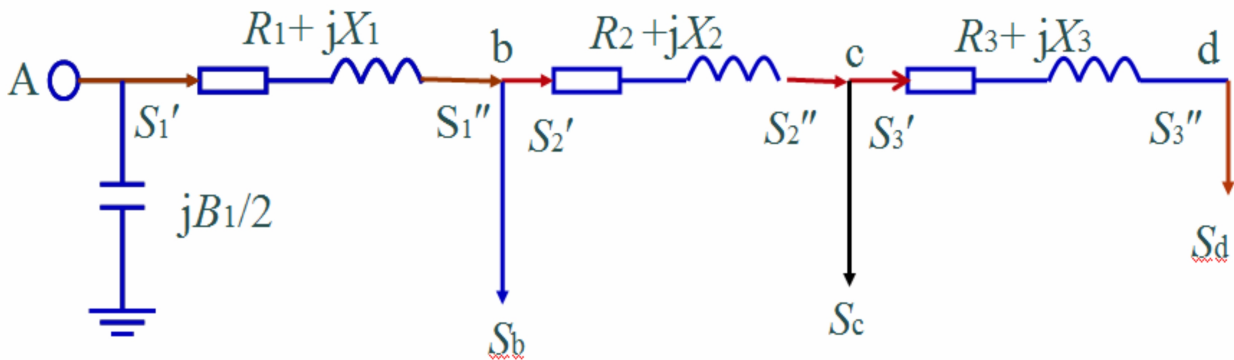
## 3.3 开式网和环网的潮流计算

Step2 从末段线路开始，用 $U_N$ 依次计算各段线路的功率损耗

$$S_3'' = S_d, \quad \Delta S_{L3} = \left(\frac{S_3''}{U_N}\right)^2 (R_3 + jX_3), \quad S_3' = S_3'' + \Delta S_{L3}$$

$$S_2'' = S_c + S_3', \quad \Delta S_{L2} = \left(\frac{S_2''}{U_N}\right)^2 (R_2 + jX_2), \quad S_2' = S_2'' + \Delta S_{L2}$$

$$S_1'' = S_b + S_2', \quad \Delta S_{L1} = \left(\frac{S_1''}{U_N}\right)^2 (R_1 + jX_1), \quad S_1' = S_1'' + \Delta S_{L1}$$

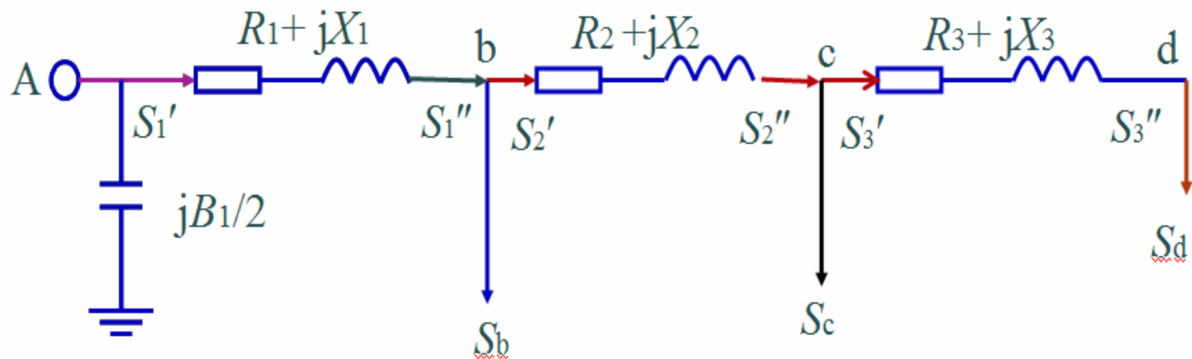


## 3.3 开式网和环网的潮流计算

Step3. 用  $U_A$  和已求得的功率分布, 从A点开始逐段计算电压降落, 求得  $U_b$ 、 $U_c$  和  $U_d$

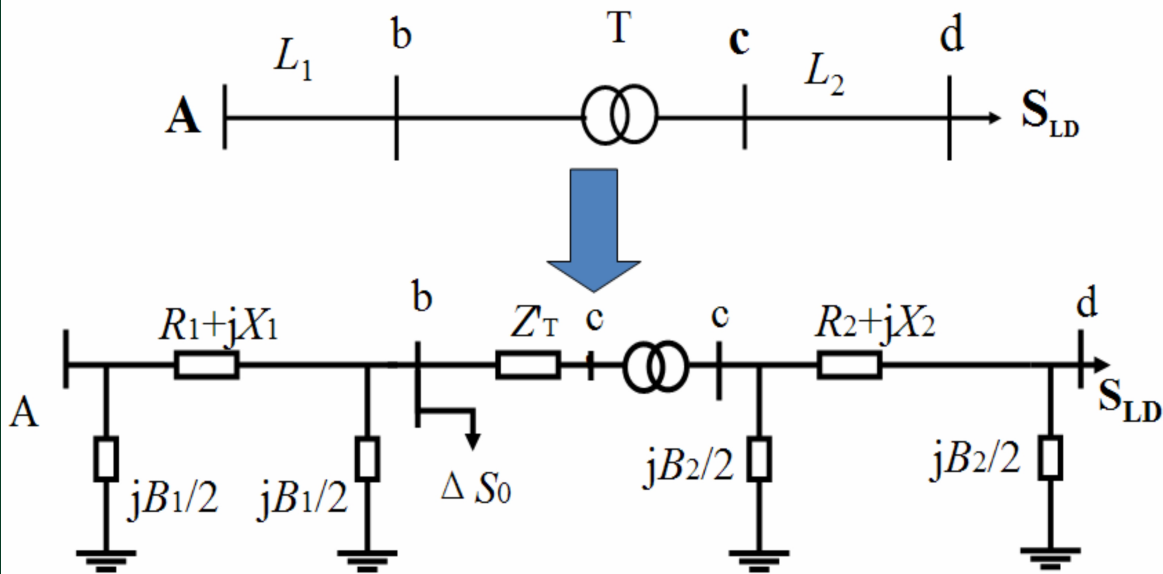
$$\Delta U_{Ab} = \frac{P_1' R_1 + Q_1' X_1}{U_A}, \quad \delta U_{Ab} = \frac{P_1' X_1 - Q_1' R_1}{U_A}, \quad U_b = \sqrt{(U_A - \Delta U_{Ab})^2 + (\delta U_{Ab})^2}$$

$$\Delta U_{bc} = \frac{P_2' R_2 + Q_2' X_2}{U_b}, \quad \delta U_{bc} = \frac{P_2' X_2 - Q_2' R_2}{U_b}, \quad U_c = \sqrt{(U_b - \Delta U_{bc})^2 + (\delta U_{bc})^2}$$



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 例2: 两级电压的开式电力网



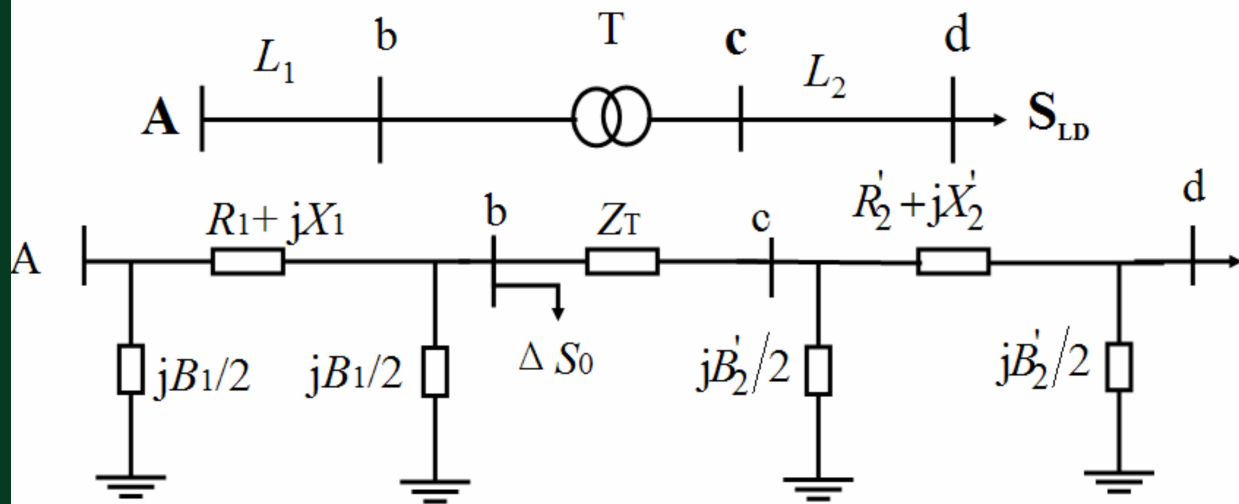
**方法一:** 包含理想变压器, 计算时, 经过理想变压器功率保持不变, 两侧电压之比等于实际变比 $k$ 。



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

方法二：将线路 $L_2$ 的参数归算到 $L_1$ 电压级

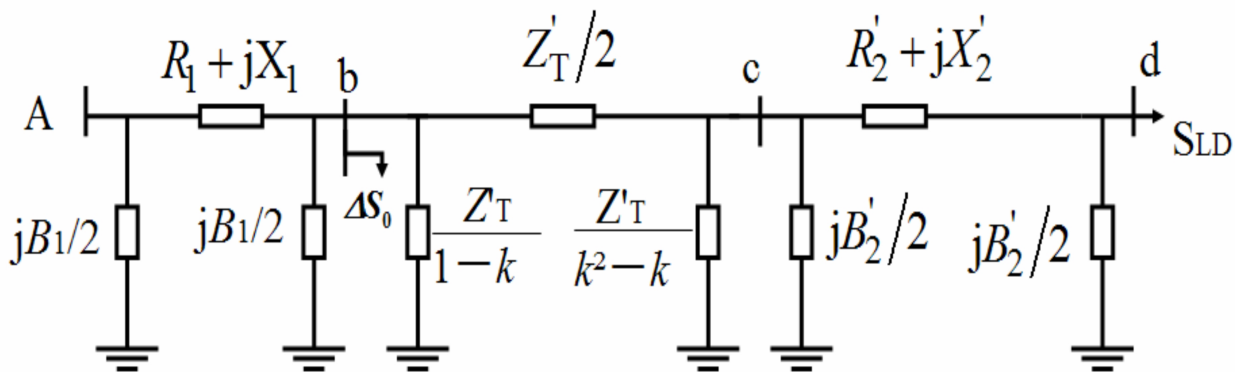
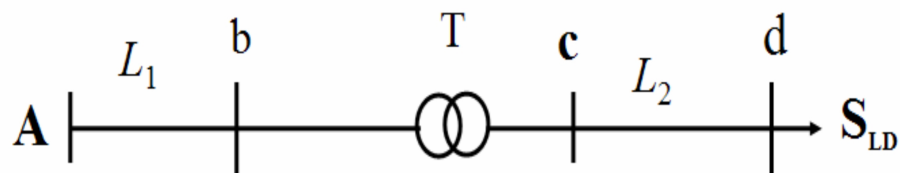
$$R_2 = k^2 R_2' \quad X_2 = k^2 X_2' \quad B_2 = B_2' / k^2$$



开始时按 $L_1$ 侧额定电压计算，计算结果反归算

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

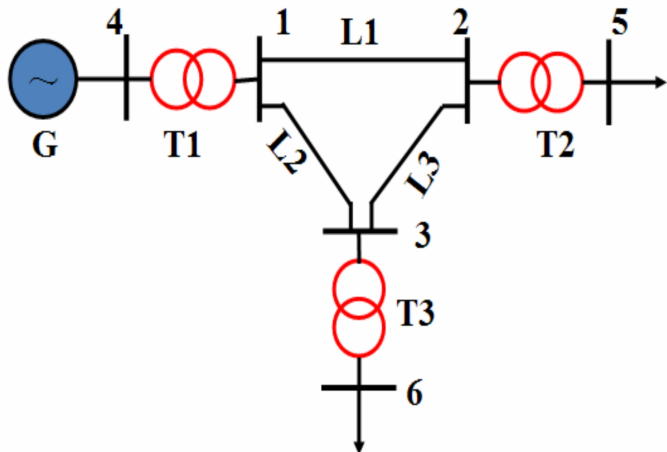
方法三：用 $\pi$ 型等值电路处理



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 二、环形网络中的潮流计算

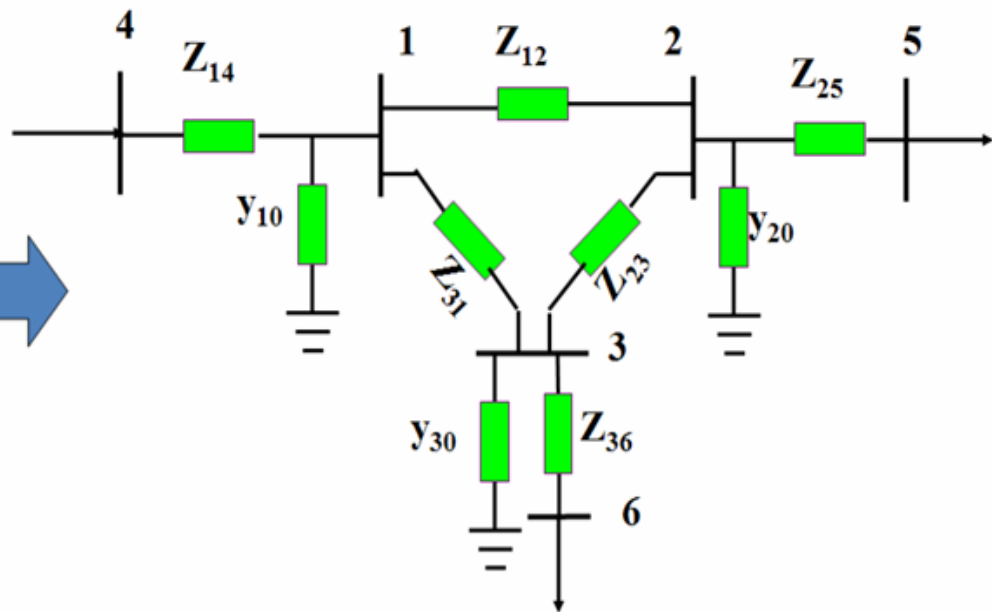
- 1、环形网络中的功率分布。介绍的是最简单的单一环网，主要由一个电源供电。



**第一步：**将单一环网等值电路简化为只有线路阻抗的简化等值电路。

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

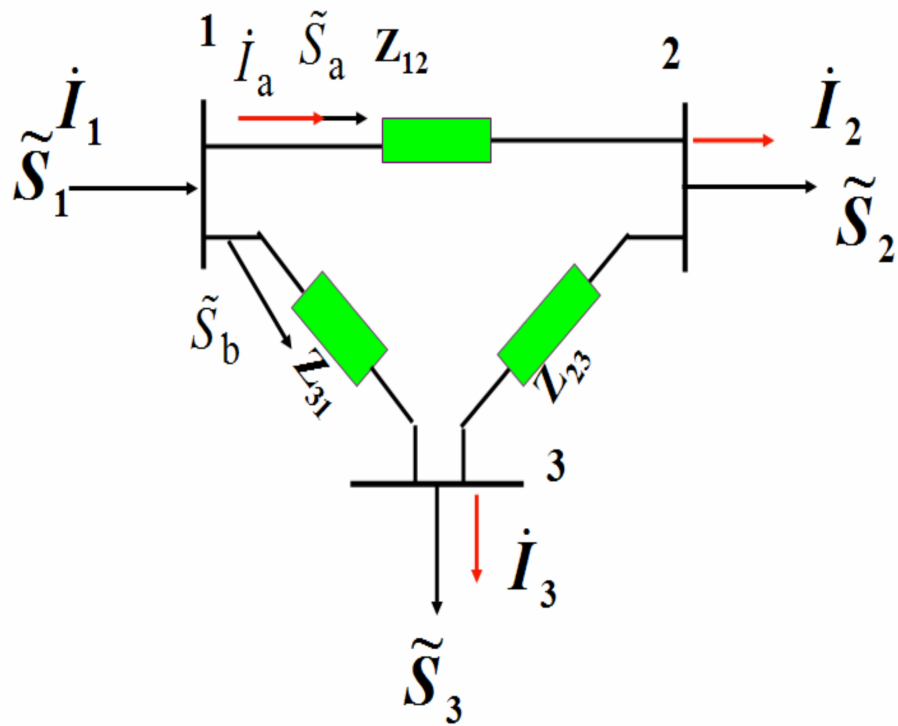
①根据网络接线图以及各元件参数计算等值电路；



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

- ② 以发电机端点为始端，并将发电厂变压器的励磁支路移至负荷侧；
- ③ 将同一节点下的对地支路合并，并将等值电路图重新编号；
- ④ 在全网电压为额定电压的假设下，计算各变电所的运算负荷和发电厂的运算功率，并将它们接在相应节点。

### 3.3 开式网和环网的潮流计算



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

**第二步：**用简化的回路电流法解该简化等值电路

$$\tilde{Z}_{12}\dot{I}_a + \tilde{Z}_{23}(\dot{I}_a - \dot{I}_2) + \tilde{Z}_{31}(\dot{I}_a - \dot{I}_2 - \dot{I}_3) = 0$$

通过近似方法，从功率中求取相应的电流，电压近似认为是额定电压：

$$\dot{I} = \tilde{S} / \dot{U}_N$$

$$\bar{Z}_{12} \frac{\bar{S}_a}{\dot{U}_N} + \bar{Z}_{23} \left( \frac{\bar{S}_a}{\dot{U}_N} - \frac{\bar{S}_2}{\dot{U}_N} \right) + \bar{Z}_{31} \left( \frac{\bar{S}_a}{\dot{U}_N} - \frac{\bar{S}_2}{\dot{U}_N} - \frac{\bar{S}_3}{\dot{U}_N} \right) = 0$$

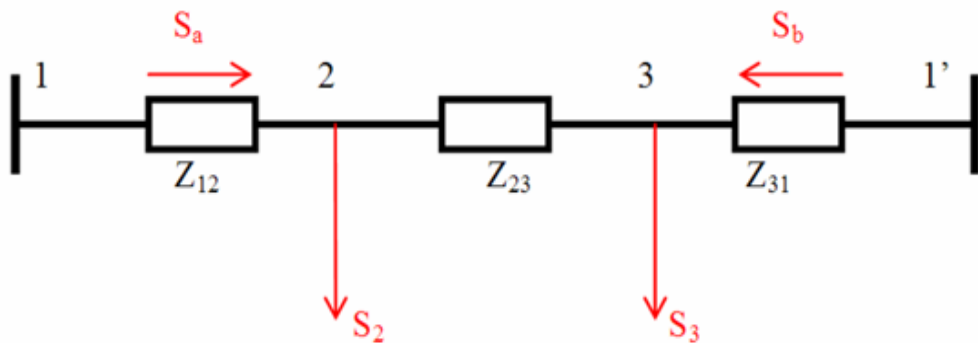
$$\bar{Z}_{12} \bar{S}_a + \bar{Z}_{23} (\bar{S}_a - \bar{S}_2) + \bar{Z}_{31} (\bar{S}_a - \bar{S}_2 - \bar{S}_3) = 0$$

$$\bar{S}_a = \frac{(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31})\bar{S}_2 + \bar{Z}_{31}\bar{S}_3}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}} \text{ 为流经阻抗 } Z_{12} \text{ 的功率}$$

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

第三步：用相同的方法求解

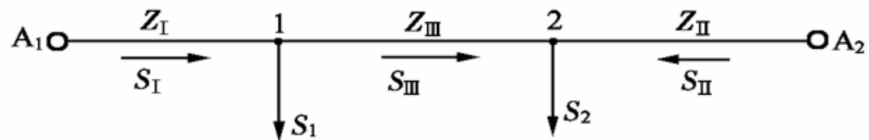
$$\bar{S}_b = \frac{(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{21})\bar{S}_3 + \bar{Z}_{21}\bar{S}_2}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{31}}, \text{ 流经阻抗 } Z_{31} \text{ 的功率}$$



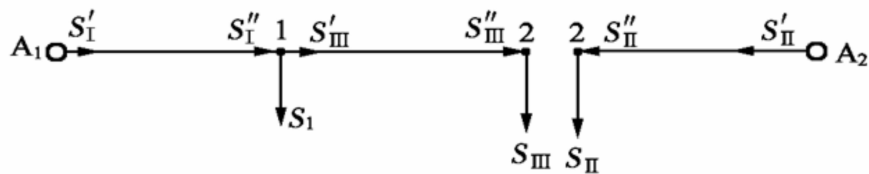
第四步：计算整个网络的功率分布(初步功率分布)



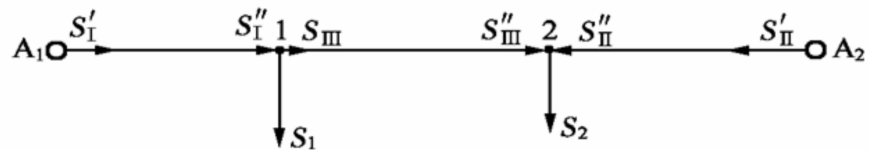
# 3.3 开式网和环网的潮流计算



(a)



(b)



(c)

闭式网络的计算过程

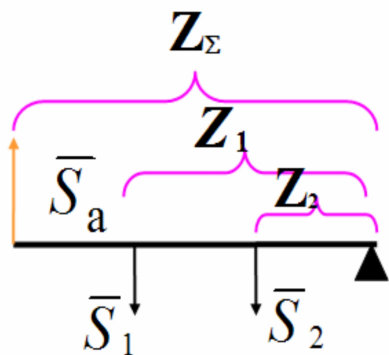
## 3.3 开式网和环网的潮流计算

由此，扩展到相应的多节点网络的计算当中：

$$\tilde{S}_a = \frac{\sum \bar{S}_m \bar{Z}_m}{\bar{Z}_\Sigma}$$

$$\tilde{S}_b = \frac{\sum \bar{S}_m \bar{Z}'_m}{\bar{Z}_\Sigma}$$

$$\bar{S}_a + \bar{S}_b = \sum \bar{S}_m$$



校验：

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

注意：均一网

$$\bar{S}_a = \frac{\sum_{m=1}^n \bar{S}_m (R_m - jX_m)}{(R_\Sigma - jX_\Sigma)} = \frac{\sum_{m=1}^n \bar{S}_m R_m}{R_\Sigma} = \frac{\sum_{m=1}^n \bar{S}_m X_m}{X_\Sigma} X_\Sigma$$

若网络中所有线段单位长度的参数完全相等，且  $z_1 = r_1 + jx_1$

$$\bar{S}_a = \frac{\sum \bar{S}_m \bar{z}_1 l_m}{\bar{z}_1 l_\Sigma} = \frac{\sum \bar{S}_m l_m}{l_\Sigma}$$
$$\bar{S}_b = \frac{\sum \bar{S}_m \bar{z}_1 l'_m}{\bar{z}_1 l_\Sigma} = \frac{\sum \bar{S}_m l'_m}{l_\Sigma} l'_m \bar{z}_1 l_m$$

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 重要概念

- **功率分点**：网络中某些节点的功率是由两侧向其流动的，标记▼。分为有功分点和无功分点。
- 在环网潮流求解过程中，在功率分点处将环网解列。

在无功分点处解列，因为电网应在电压最低处解列，而电压的损耗主要由无功功率流动引起的，无功分点的电压往往低于有功分点的电压。

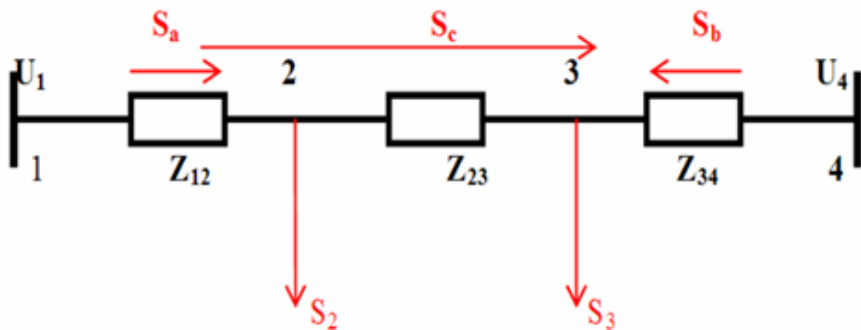
当有功分点和无功分点不一致时，将在哪一个分点解列？



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 2. 两端供电网络中的功率分布

回路电压为0的单一环网等值于两端电压大小相等、相位相同的两端供电网络。同时，两端电压大小不相等、相位不相同的两端供电网络，也可等值于回路电压不为0的单一环网。



## 3.3 开式网和环网的潮流计算

以回路电压不为0的单一环网为例，其求解过程为：

Step1. 设节点1、4的电压差为：

$$\dot{U}_1 - \dot{U}_4 = d\dot{U}$$

Step2. 用简化的回路电流法解简化等值电路

$$Z_{12}\dot{I}_a + Z_{23}(\dot{I}_a - \dot{I}_2) + Z_{34}(\dot{I}_a - \dot{I}_2 - \dot{I}_3) = d\dot{U}$$

Step3. 通过近似方法，从功率中求取相应的电流，电压近似认为是额定电压，且不计损耗：

$$\bar{Z}_{12}\bar{S}_a + \bar{Z}_{23}(\bar{S}_a - \bar{S}_2) + \bar{Z}_{31}(\bar{S}_a - \bar{S}_2 - \bar{S}_3) = U_N d\dot{U}$$

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

- 流经阻抗 $Z_{12}$ 功率为:

$$\bar{S}_a = \frac{(\bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34})\tilde{S}_2 + \bar{Z}_{34}\tilde{S}_3}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34}} + \frac{U_N d\bar{U}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34}}$$

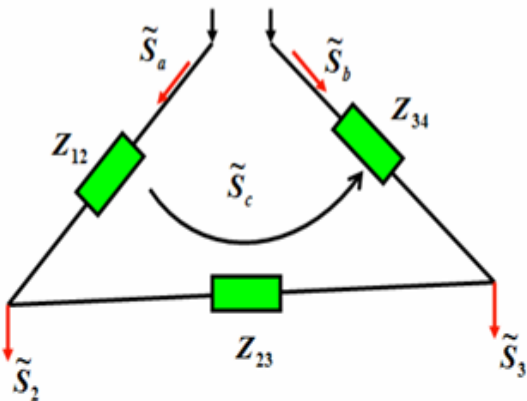
- 流经阻抗 $Z_{43}$ 功率为:

$$\bar{S}_b = \frac{(\bar{Z}_{32} + \bar{Z}_{21})\bar{S}_3 + \bar{Z}_{21}\bar{S}_2}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34}} - \frac{U_N d\bar{U}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34}}$$

$$\bar{S}_c = \frac{U_N d\bar{U}}{\bar{Z}_{12} + \bar{Z}_{23} + \bar{Z}_{34}}, \text{ 称为循环功率 (注意方向)}$$

## 3.3 开式网和环网的潮流计算

**Step4.** 计算各线段的电压降落和功率损耗，过程为：求得网络功率分布后，确定其功率分点以及流向功率分点的功率，在功率分点即网络最低电压点将环网解开，将环形网络看成两个辐射形网络，由功率分点开始，分别从其两侧逐段向电源端推算电压降落和功率损耗。





## 3.3 开式网和环网的潮流计算

### 注意:

- 求功耗时，功率分点电压未知，近似以 $U_N$ 代
- 计算循环功率时，两端电压及额定电压已有效值带入计算（各点电压的相位差角不大）

# 小结

---



在线开放课程

- 👉 介绍了开式网络的潮流计算方法；
- 👉 介绍了环网的潮流计算方法。

