



## 第三章

# 简单电力网络的计算和分析

# 主要内容

---

- 本章主要内容：潮流计算的手算方法
- 潮流计算的内容：
  - 各节点电压
  - 各支路功率
  - 电压损耗、功率损耗、电能损耗
- 重点：辐射形网络的潮流计算
- 难点：环形网络的潮流计算

# 目 录

---

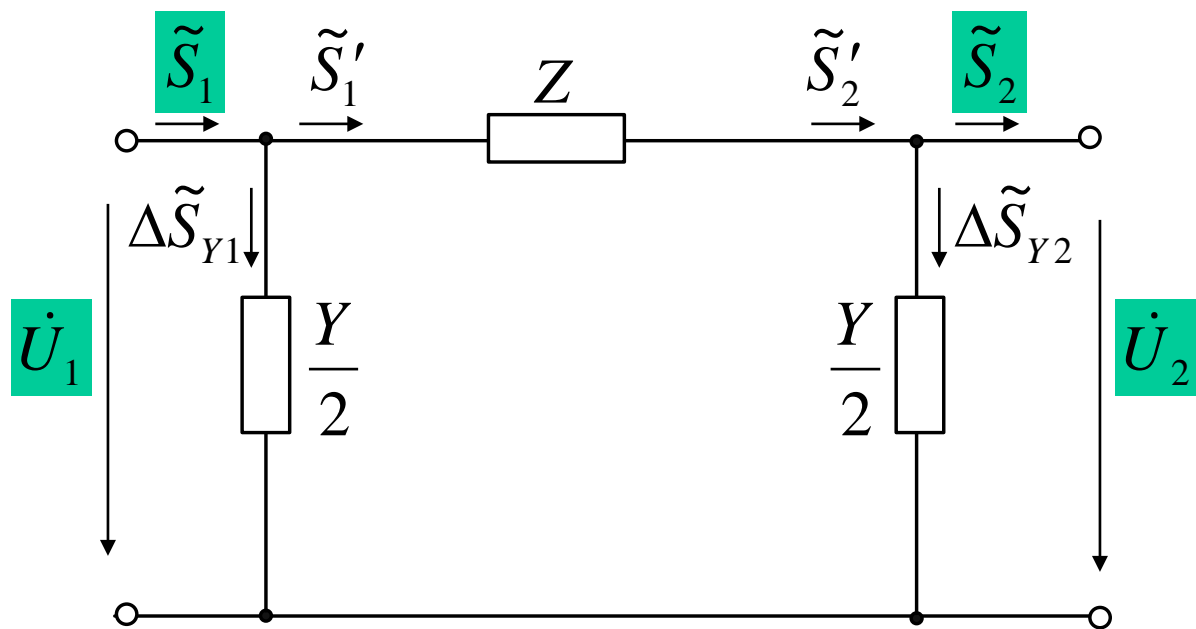
- 3.1 电力线路和变压器运行状况的计算
  - 电力线路运行状况的计算
  - 变压器运行状况的计算
  - 节点注入功率、运算负荷和运算功率
- 3.2 辐射形和环形网络中的潮流分布
  - 辐射形网络的潮流分布
  - 环形网络的潮流分布

# 3.1 电力线路和变压器运行状况的计算

- 电力线路运行状况的计算
  - 功率计算
  - 电压计算
  - 电能损耗计算
- 变压器运行状况的计算
  - 电压计算、功率损耗和电能损耗
- 节点注入功率、运算负荷和运算功率

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## 电力线路的 $\Pi$ 型等值电路



已知:

- 线路的结构参数
- 部分运行参数 ( $\tilde{S}$ ,  $U$ )

待求:

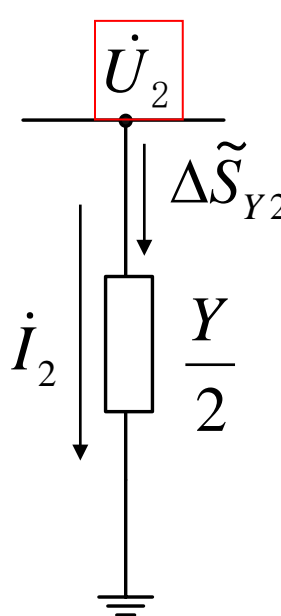
另一部分运行参数

单相等值电路上的三相计算!

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## ■ 1. 功率计算

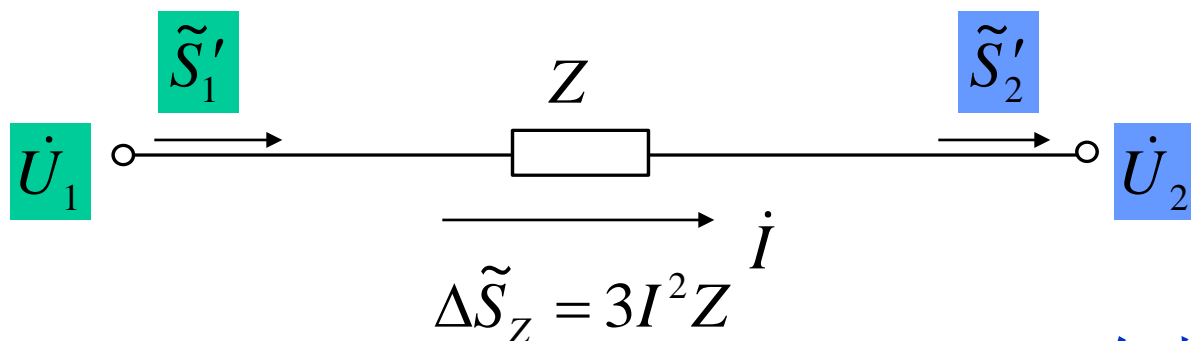
线路导纳支路的功率损耗


$$\begin{aligned}\Delta \tilde{S}_{Y2} &= 3\dot{U}_{2\phi}^* I_2 = 3\dot{U}_{2\phi} \left( \dot{U}_{2\phi} \frac{Y}{2} \right)^* = 3U_{2\phi}^2 \frac{Y}{2} = 3 \left( \frac{U_2}{\sqrt{3}} \right)^2 \frac{Y}{2} \\ &= U_2^2 \frac{Y}{2} = \frac{1}{2} (G - jB) U_2^2 = \Delta P_{Y2} - j\Delta Q_{Y2} \\ &= \boxed{\Delta P_{Y2}} + j \boxed{-\Delta Q_{Y2}}\end{aligned}$$

有功损耗      无功损耗

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## 线路阻抗支路的功率损耗



- 已知末端参数:

$$\Delta \tilde{S}_Z = 3I^2 Z = 3 \left( \frac{S'_2}{\sqrt{3}U_2} \right)^2 Z = \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} (R + jX) = \boxed{\Delta P_Z} + j \boxed{\Delta Q_Z}$$

有功损耗    无功损耗

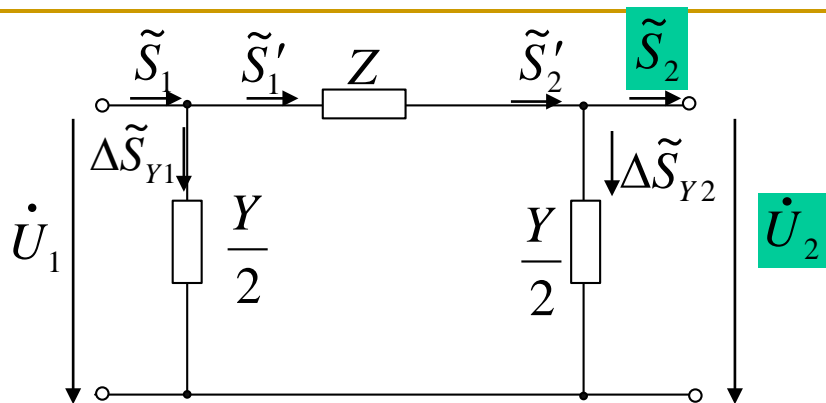
- 已知首端参数:

$$\Delta \tilde{S}_Z = 3I^2 Z = 3 \left( \frac{S'_1}{\sqrt{3}U_1} \right)^2 Z = \frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} (R + jX) = \boxed{\Delta P_Z} + j \boxed{\Delta Q_Z}$$

有功损耗    无功损耗

(3-2)

## 3.1.1 电力线路运行状况的计算



设已知末端功率  $\tilde{S}_2 = P_2 + jQ_2$  和电压  $\dot{U}_2$

线路末端导纳支路功率损耗： $\Delta \tilde{S}_{Y2} = U_2^2 \frac{Y}{2}$

阻抗支路末端功率： $\tilde{S}'_2 = \tilde{S}_2 + \Delta \tilde{S}_{Y2}$

阻抗支路中功率损耗： $\Delta \tilde{S}_Z = \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} (R + jX)$

阻抗支路首端功率： $\tilde{S}'_1 = \tilde{S}'_2 + \Delta \tilde{S}_Z$

线路首端导纳支路的功率损耗： $\Delta \tilde{S}_{Y1} = U_1^2 \frac{Y}{2}$

线路首端功率： $\tilde{S}_1 = \tilde{S}'_1 + \Delta \tilde{S}_{Y1}$



# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## ■ 2. 电压计算 $\dot{U}_1$ $\dot{U}_2$

- **电压降落**：任意两点之间电压的**相量差**， $d\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$
- **电压损耗**：任意两点之间电压的**数值差**( $U_1 - U_2$ )。常用电网额定电压的百分数表示。

$$\text{电压损耗}\% = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100\%$$

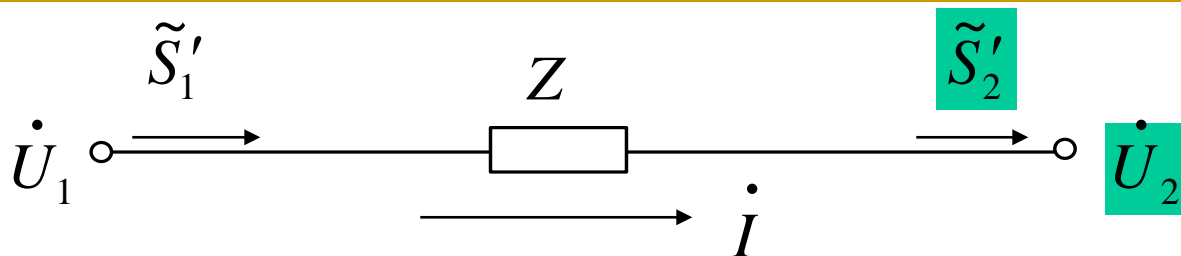
- **电压偏移**：任意一点实际电压**与额定电压的数值差**( $U - U_N$ )。常用额定电压的百分数表示。

$$\text{电压偏移}\% = \frac{U - U_N}{U_N} \times 100\%$$

- **电压调整**：线路末端空载与负载时电压的数值差( $U_{20} - U_2$ )。常用空载电压的百分数表示。

$$\text{电压调整}\% = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}} \times 100\%$$

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算



## ■ (1) 若已知末端电压和功率

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \sqrt{3}\dot{I}Z = \dot{U}_2 + \sqrt{3}\left(\frac{\tilde{S}'_2}{\sqrt{3}\dot{U}_2}\right)^* (R + jX) = \dot{U}_2 + \frac{P'_2 - jQ'_2}{U_2} (R + jX)$$

取 $\dot{U}_2$ 为参考相量，即 $\dot{U}_2 = U_2 \angle 0$

$$\dot{U}_1 = U_2 + \frac{P'_2 - jQ'_2}{U_2} (R + jX) = U_2 + \frac{P'_2 R + Q'_2 X}{U_2} + j \frac{P'_2 X - Q'_2 R}{U_2} \quad (3-4)$$

纵分量 $\Delta U = \frac{P'_2 R + Q'_2 X}{U_2}$

横分量 $\delta U = \frac{P'_2 X - Q'_2 R}{U_2}$

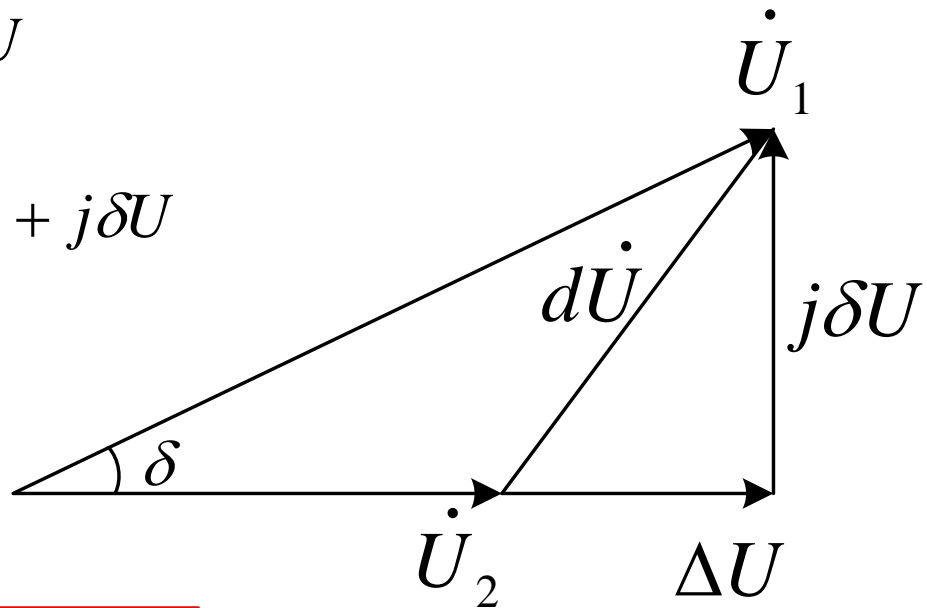
## 3.1.1 电力线路运行状况的计算

$$\dot{U}_1 = U_2 + \Delta U + j\delta U$$



$$d\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \Delta U + j\delta U$$

■ 相量图

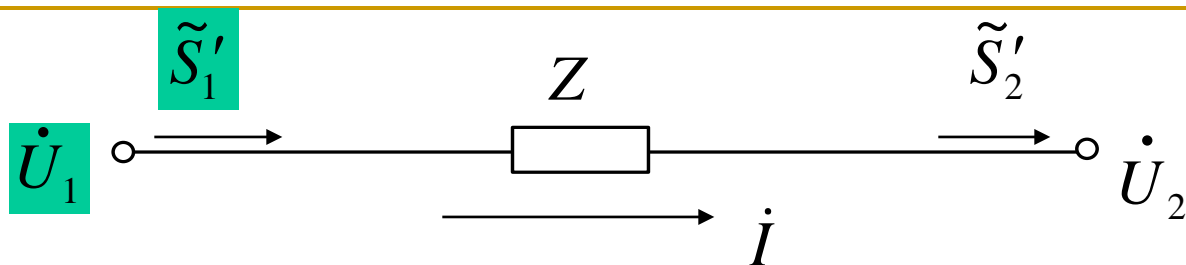


$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}$$

$$\delta = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

相量图2

## 3.1.1 电力线路运行状况的计算



### ■ (2) 若已知首端电压和功率

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \dot{I} Z = \dot{U}_1 - \sqrt{3} \left( \frac{\tilde{S}_1'}{\sqrt{3} \dot{U}_1} \right)^* (R + jX) = \dot{U}_1 - \frac{P_1' - jQ_1'}{U_1^*} (R + jX)$$

取  $\dot{U}_1$  为参考相量，即  $\dot{U}_1 = U_1 \angle 0$

$$\dot{U}_2 = U_1 - \frac{P_1' - jQ_1'}{U_1} (R + jX) = U_1 - \frac{P_1'R + Q_1'X}{U_1} - j \frac{P_1'X - Q_1'R}{U_1}$$

纵分量  $\Delta U' = \frac{P_1'R + Q_1'X}{U_1}$

横分量  $\delta U' = \frac{P_1'X - Q_1'R}{U_1}$

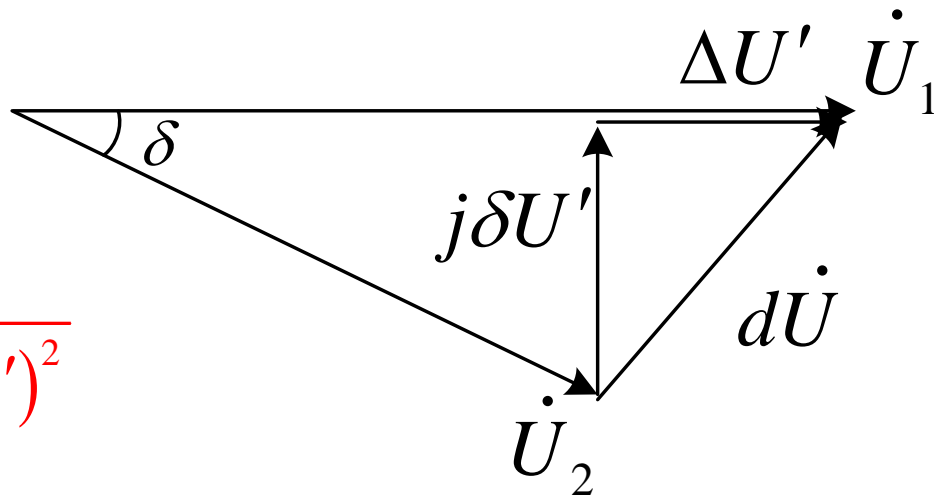
## 3.1.1 电力线路运行状况的计算

$$\dot{U}_2 = U_1 - \Delta U' - j\delta U'$$



$$d\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \Delta U' + j\delta U'$$

■ 相量图



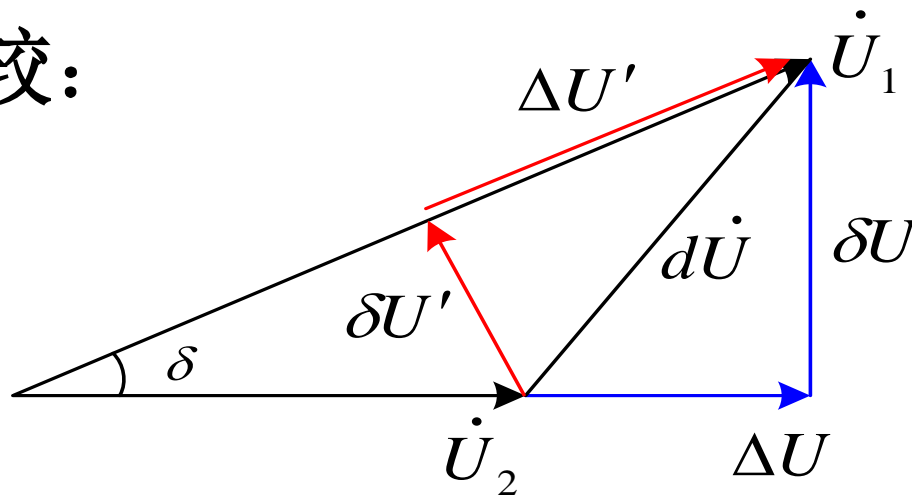
$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U')^2 + (\delta U')^2}$$

$$\delta = \tan^{-1} \frac{-\delta U'}{U_1 - \Delta U'}$$

相量图1

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

相量图比较:



- 纵、横分量表达式中的电压和功率是同一点的参数。
- 纵、横分量表达式中的功率为带符号数，实际传输方向与参考方向相反时，功率为负。
- 电压相角差 $\delta$ 不大时， $U_2 + \Delta U \gg \delta U$ ，电压损耗主要取决于纵分量（110kV及以下电网一般可不计横分量）；相角差主要取决于横分量
- 超高压输电线路 $R \ll X$ ，当不计电阻时， $\Delta U = QX/U$ ， $\delta U = PX/U$ ，反映了输电网功率传输的基本规律。

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## ■ 超高压线路空载:

$$\tilde{S}'_2 = \Delta \tilde{S}_{Y2} = U_2^2 \left( \frac{Y}{2} \right)^* = -j \frac{B}{2} U_2^2$$



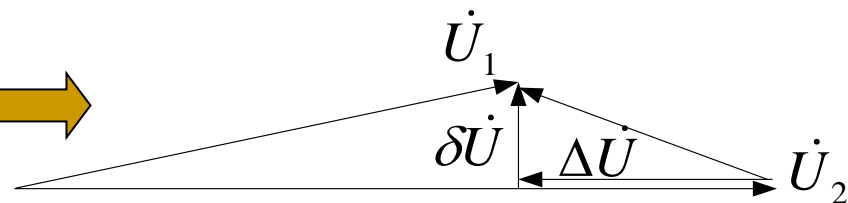
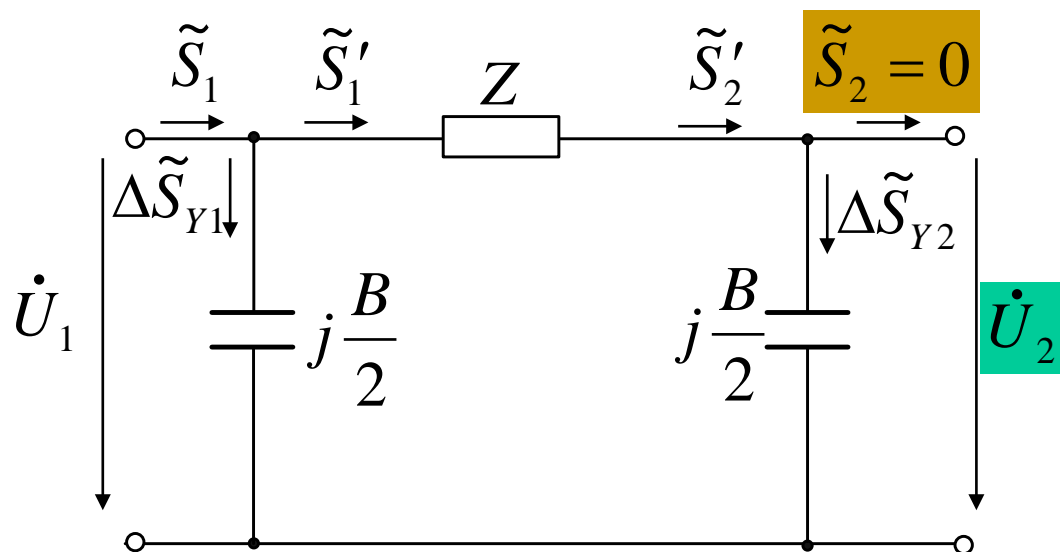
$$P'_2 = 0$$

$$Q'_2 = -\frac{B}{2} U_2^2$$



$$\Delta U = \frac{P'_2 R + Q'_2 X}{U_2} = \frac{Q'_2 X}{U_2} = -\frac{BX}{2} U_2 < 0$$

$$\delta U = \frac{P'_2 X - Q'_2 R}{U_2} = -\frac{Q'_2 R}{U_2} = \frac{BR}{2} U_2 > 0$$

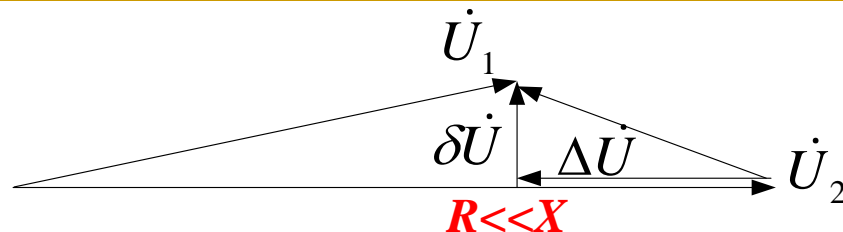


## 3.1.1 电力线路运行状况的计算

### ■ 超高压线路满足 $R \ll X$

$$\Delta U = -\frac{BX}{2} U_2 < 0$$

$$\delta U = \frac{BR}{2} U_2 > 0$$



$$U_1 - U_2 \approx \Delta U = -\frac{BX}{2} U_2 \approx -\frac{x_1 b_1 l^2}{2} U_N$$



$$\text{电压损耗}\% = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100\% \approx -\frac{x_1 b_1 l^2}{2}$$

- 超高压线路空载（轻载）运行时，末端电压高于首端电压。
- 超高压线路的电压损耗正比于线路长度的平方。当线路较长时，末端电压可高达首端电压的1.1-1.5倍。



# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## ■ 3. 电力线路电能损耗计算

### 理论计算

- 功率损耗：  $\Delta P(t)$ —瞬时值
- 电能损耗：描述的是某一时间段内有功功率损耗的情况。例如全年的电能损耗。

$$\Delta W_z = \int_0^{8760} \Delta P(t) dt = \int_0^{8760} \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R dt$$

已知全年的有功、无功负荷曲线和电压曲线，可进行电能损耗的理论计算—复杂

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## 实用工程算法

### □ 几个相关定义

- **最大负荷利用小时数  $T_{max}$** ：一年中负荷消耗的电能除以一年中的最大负荷。

$$T_{max} = \frac{W}{P_{max}}$$

- **年负荷率**：一年中负荷消耗的电能除以最大负荷与8760的乘积。

$$\text{年负荷率} = \frac{W}{8760P_{max}} = \frac{T_{max}}{8760}$$

- **最大负荷损耗时间**：一年中的电能损耗除以最大负荷时的功率损耗。

$$\tau_{max} = \frac{\Delta W_z}{\Delta P_{max}}$$

- **年负荷损耗率**：一年中的电能损耗除以最大负荷时的功率损耗与8760的乘积。

$$\text{年负荷损耗率} = \frac{\Delta W_z}{8760\Delta P_{max}} = \frac{\tau_{max}}{8760}$$

# 3.1.1 电力线路运行状况的计算

## ■ 工程计算方法1(年负荷损耗率法,已知 $\Delta P_{\max}$ )

□ 第一步：由行业手册，查最大负荷利用小时数 $T_{\max}$

□ 第二步：由 $T_{\max}$ 计算年负荷率：
$$\text{年负荷率} = \frac{T_{\max}}{8760}$$

□ 第三步：根据**经验公式**计算年负荷损耗率：

$$\text{年负荷损耗率} = K \times \text{年负荷率} + (1 - K) \times \text{年负荷率}^2$$

□ 第四步：计算最大负荷损耗时间：

$$\tau_{\max} = 8760 \times \text{年负荷损耗率}$$

□ 第五步：计算全年电能损耗

$$\Delta W_z = \Delta P_{\max} \tau_{\max}$$

## 3.1.1 电力线路运行状况的计算

- 工程计算方法2（最大负荷损耗时间法）
  - 第一步：由行业手册，查最大负荷利用小时数 $T_{max}$
  - 第二步：由 $T_{max}$ 查表求最大负荷损耗时间 $\tau_{max}$
  - 第三步：计算全年电能损耗

$$\Delta W_z = \Delta P_{max} \tau_{max}$$

## 3.1.1 电力线路运行状况的计算

### ■ 两个经济性能的指标

- **输电效率**：线路末端输出有功功率与始端输入有功功率的比值。

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

- **线损率**：线路上损耗的电能与线路始端输入电能的比值。

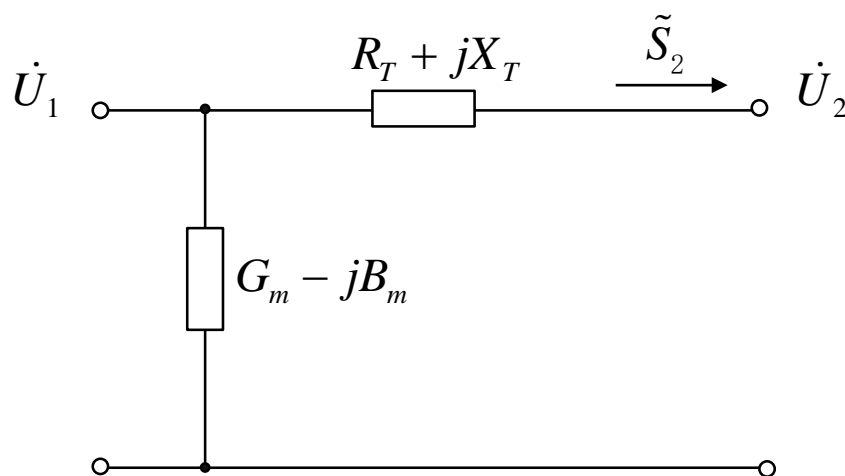
$$\text{线损率}\% = \frac{\Delta W_z}{W_1} \times 100\%$$

# 3.1 电力线路和变压器运行状况的计算

- 电力线路运行状况的计算
  - 功率计算
  - 电压计算
  - 电能损耗计算
- 变压器运行状况的计算
  - 电压计算、功率损耗和电能损耗
- 节点注入功率、运算负荷和运算功率

## 3.1.2 变压器运行状况的计算

### ■ 功率损耗计算（以 $\Gamma$ 型等值电路为例）



可变损耗

阻抗支路中功率损耗  $\Delta \tilde{S}_{ZT} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} (R_T + jX_T)$   
(假设已知末端功率和电压)

(3-17)

导纳支路中功率损耗  $\Delta \tilde{S}_{YT} = Y_m^* U_1^2 = (G_m + jB_m) U_1^2$   
(假设已知首端电压)

(3-18)

固定损耗

## 3.1.2 变压器运行状况的计算

由试验数据近似计算功率损耗

$$\Delta \tilde{S}_T = \Delta P_{ZT} + \Delta P_{YT} + j(\Delta Q_{ZT} + \Delta Q_{YT})$$

$$\Delta P_{ZT} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} R_T = \frac{S_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{P_k}{1000 S_N} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}, \text{ 取 } U_2 \approx U_N, \Delta P_{ZT} = \frac{P_k S_2^2}{1000 S_N^2}$$

$$\Delta Q_{ZT} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_2^2} X_T = \frac{S_2^2}{U_2^2} \cdot \frac{U_k \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_N}, \text{ 取 } U_2 \approx U_N, \Delta Q_{ZT} = \frac{U_k \% S_N}{100} \cdot \frac{S_2^2}{S_N^2}$$

$$\Delta P_{YT} = G_m U_1^2 = \frac{P_0}{1000} \cdot \frac{1}{U_N^2} \cdot U_1^2, \text{ 取 } U_1 \approx U_N, \Delta P_{YT} = \frac{P_0}{1000}$$

$$\Delta Q_{YT} = B_m U_1^2 = \frac{I_0 \%}{100} \cdot \frac{S_N}{U_N^2} \cdot U_1^2, \text{ 取 } U_1 \approx U_N, \Delta Q_{YT} = \frac{I_0 \%}{100} S_N$$

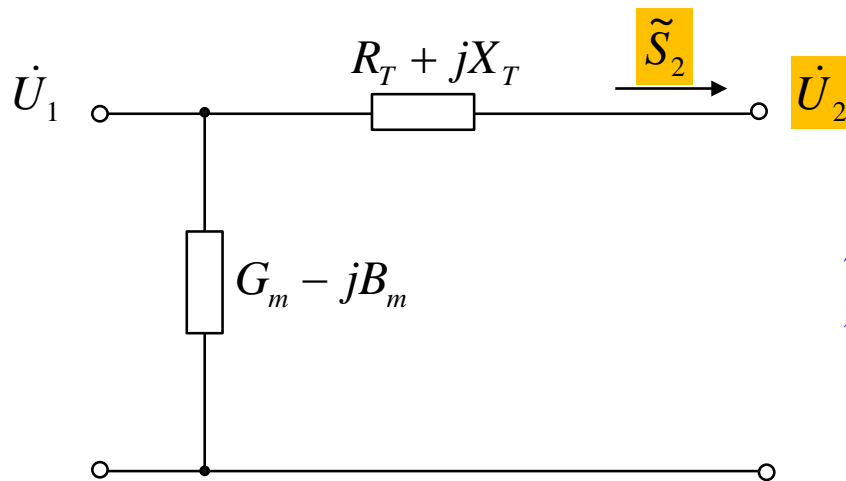
(3-27,28)

空载损耗



## 3.1.2 变压器运行状况的计算

### ■ 电压计算



假设已知末端功率和电压

$$\Delta U_T = \frac{P_2 R_T + Q_2 X_T}{U_2}, \quad \delta U_T = \frac{P_2 X_T - Q_2 R_T}{U_2}$$

(3-19)

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U_T)^2 + (\delta U_T)^2}, \quad \delta_T = \text{tg}^{-1} \frac{\delta U_T}{U_2 + \Delta U_T}$$

(3-20,21)

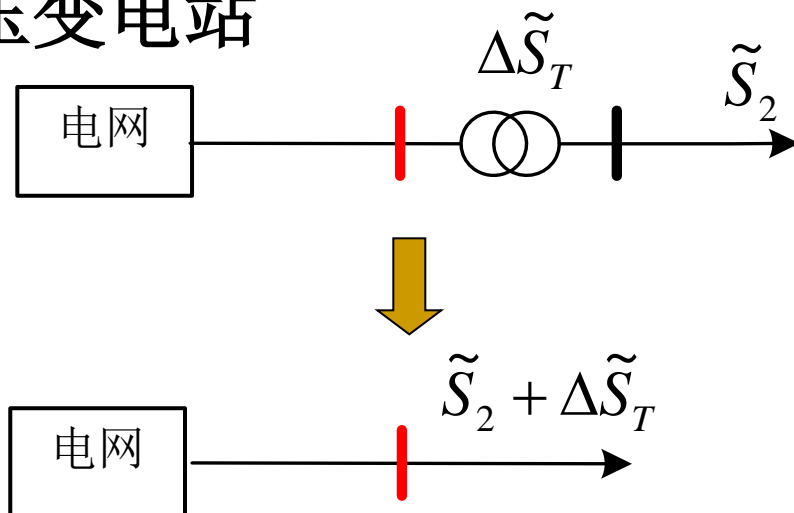
# 3.1 电力线路和变压器运行状况的计算

- 电力线路运行状况的计算
  - 功率计算
  - 电压计算
  - 电能损耗计算
- 变压器运行状况的计算
  - 电压计算、功率损耗和电能损耗
- 节点注入功率、运算负荷和运算功率

### 3.1.3 节点注入功率、运算负荷和运算功率

■ 节点注入功率：从节点流入网络的功率(入为正)

□ 降压变电站



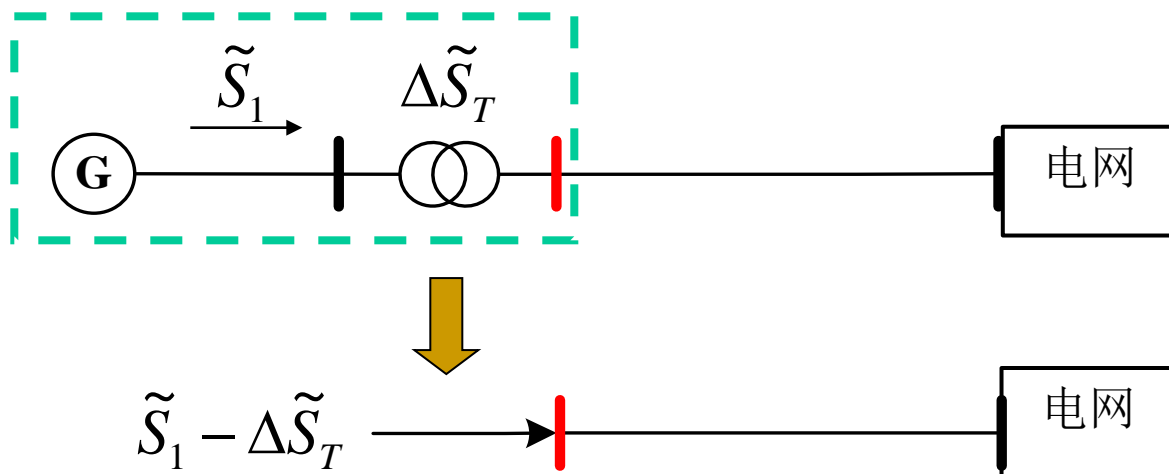
变压器电源侧母线的等值负荷功率： $\tilde{S}_2 + \Delta \tilde{S}_T$

变压器电源侧母线的节点注入功率： $-(\tilde{S}_2 + \Delta \tilde{S}_T)$

### 3.1.3 几个等值功率及负荷

■ 节点注入功率：从节点流入网络的功率(入为正)

□ 升压变电站

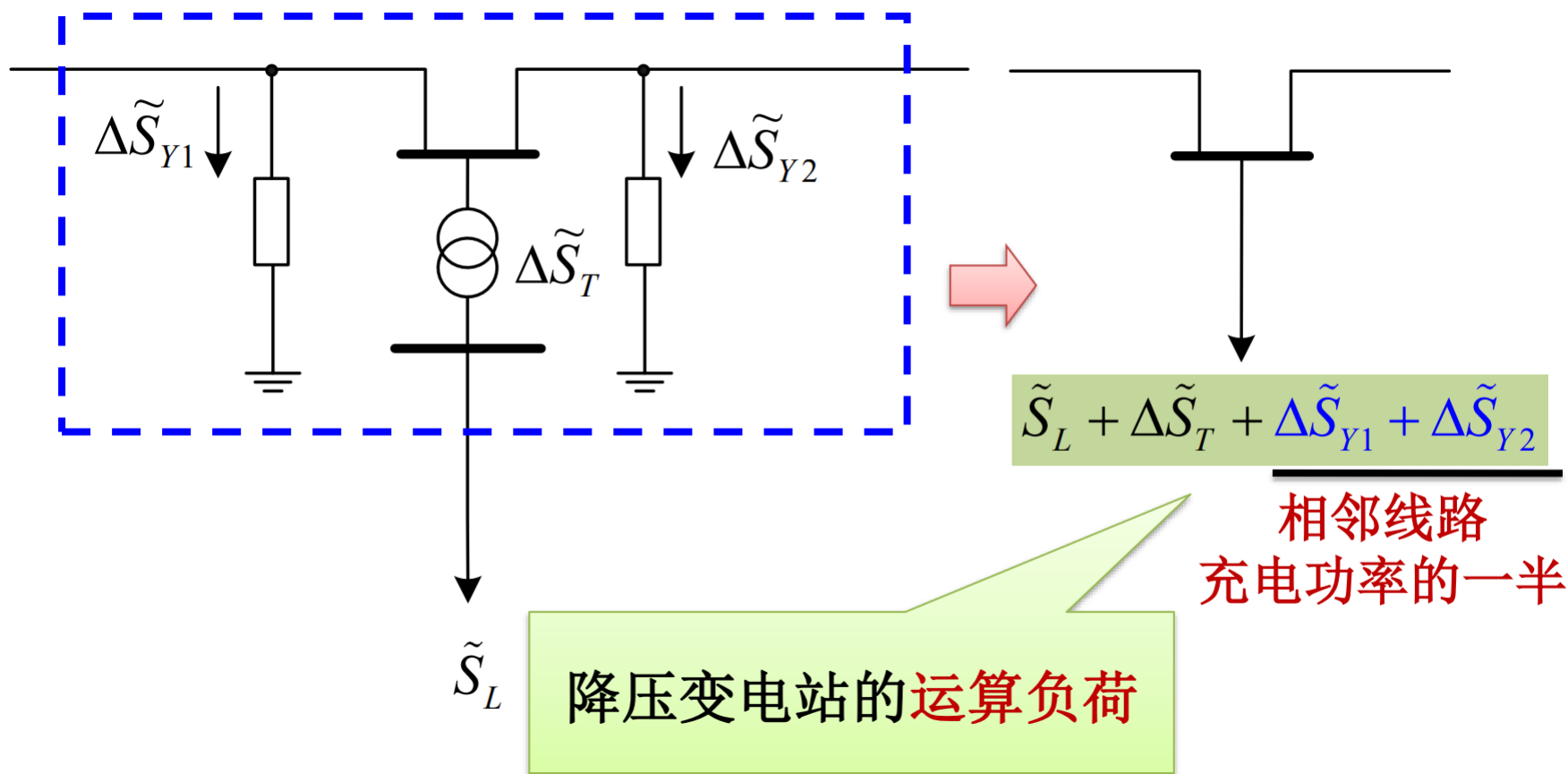


变压器负荷侧母线的等值电源功率： $\tilde{S}_1 - \Delta\tilde{S}_T$

变压器负荷侧母线的节点注入功率： $\tilde{S}_1 - \Delta\tilde{S}_T$

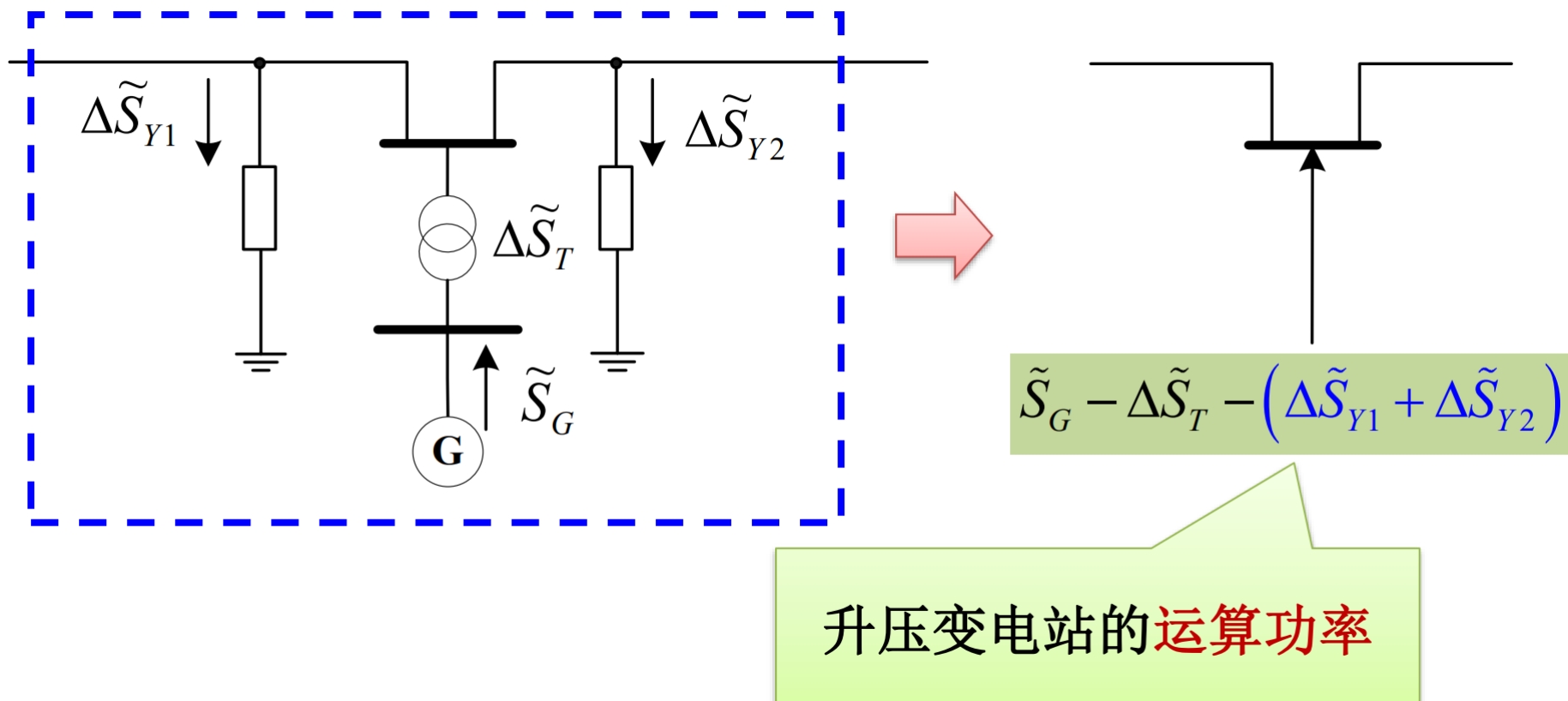
### 3.1.3 几个等值功率及负荷

- 运算负荷（计算负荷）——针对降压变电站



### 3.1.3 几个等值功率及负荷

- 运算(电源)功率（计算功率）——针对升压变电站



## 3.2 辐射形和环形网络的潮流分布

- 辐射形网络的潮流计算
- 环形网络的潮流计算
  - 双端供电网络
  - 环网

## 3.2 辐射形和环形网络的潮流分布



什么是潮流分布？

电压和功率的分布称为潮流（Power Flow）分布。

潮流分布的计算称为潮流计算。



## 3.2 辐射形和环形网络的潮流分布

为什么要进行潮流计算？

电力系统三大计算 { 潮流计算  
短路计算  
稳定计算

潮流计算的主要目的：

- ✓ 电力系统规划
- ✓ 电力系统运行

.....

## 3.2 辐射形和环形网络的潮流分布

如何进行潮流计算？

解析法（手算） → 只能计算简单网络

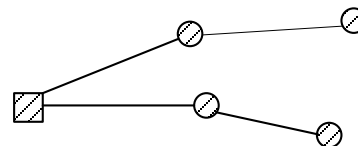
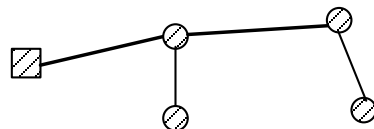
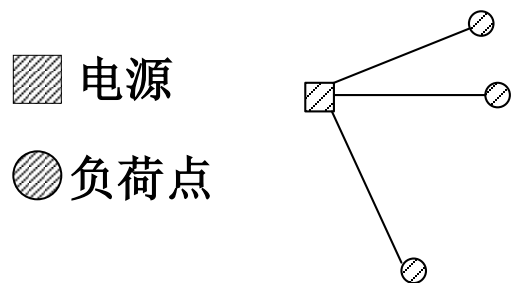
计算机算法（机算）

↓  
速度快、精度高、可计算大规模复杂电网

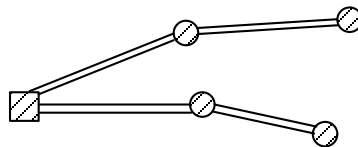
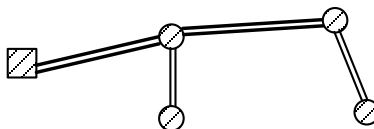
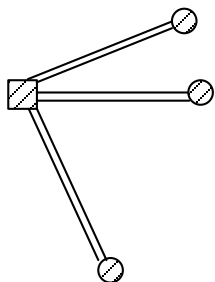
## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### ■ 辐射形网络（又称开式网络、树状网络）

任何负荷只能从一个**方向**得到功率（支路的功率传输方向一定，有明确的首末端）。



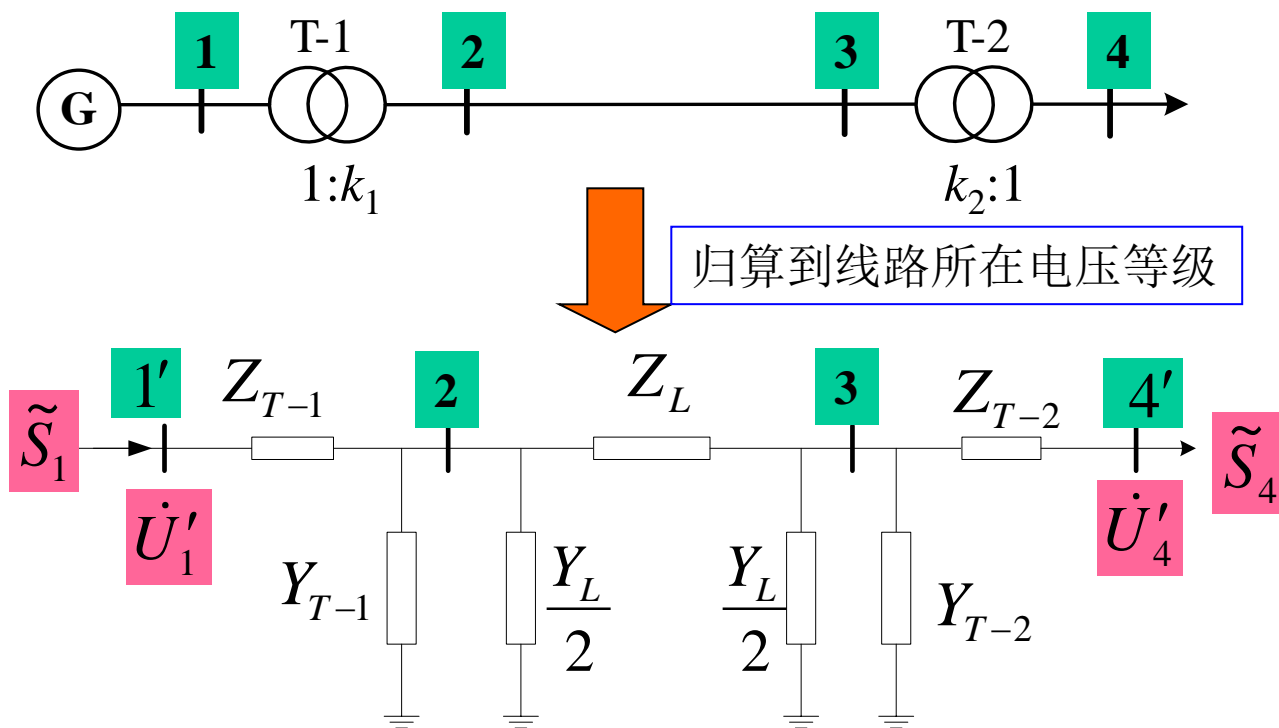
单回线：放射式、干线式、链式



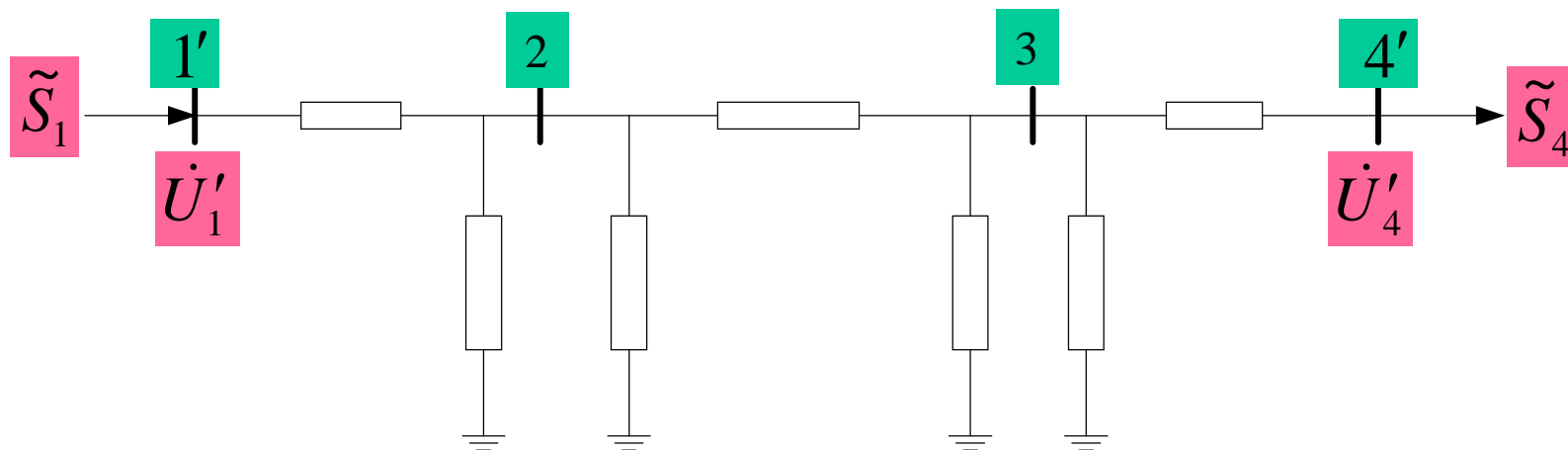
双回线：放射式、干线式、链式

## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### 4节点辐射形网络



## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算



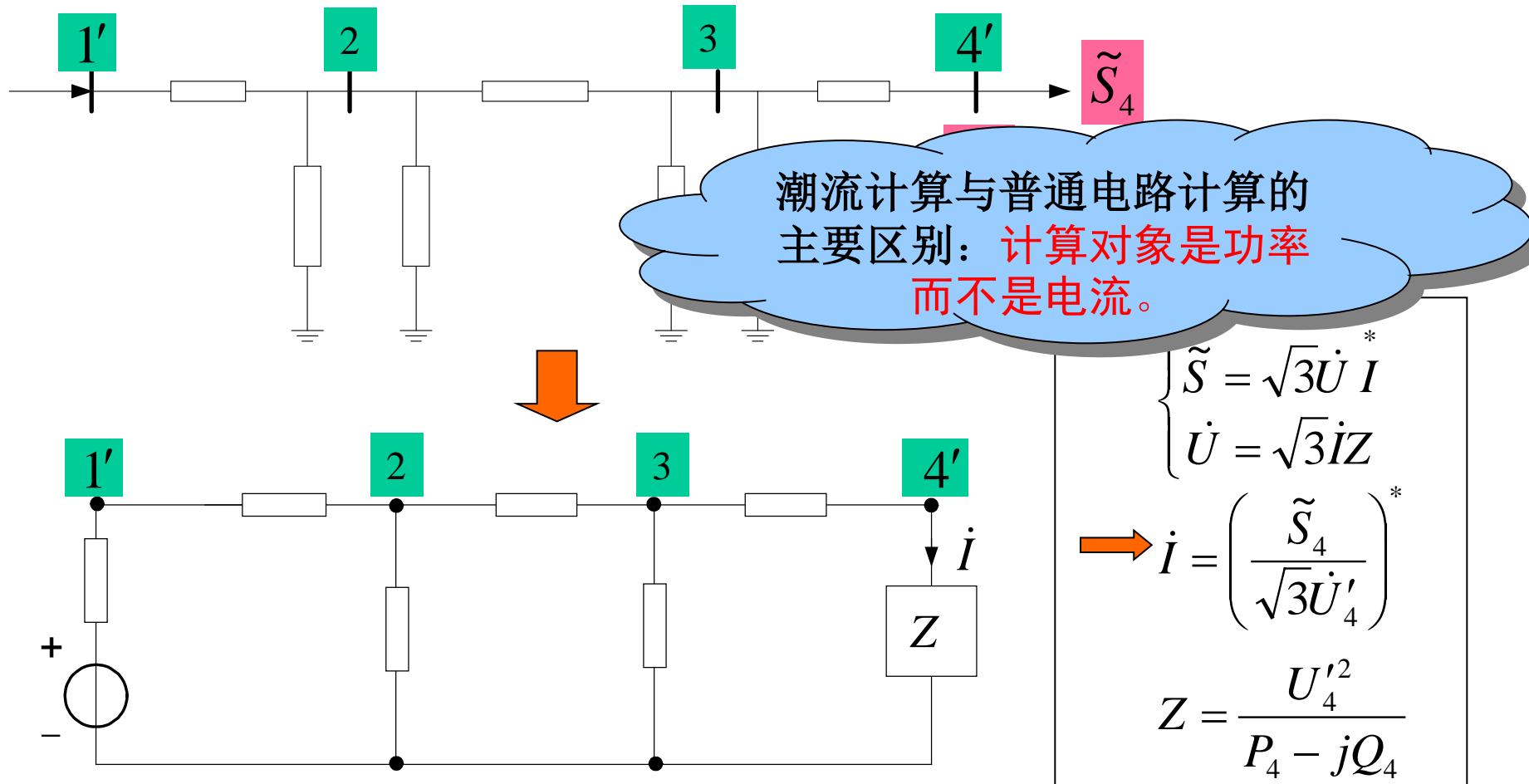
根据**已知条件**的不同，将计算分为三种：

- (1) 已知末端电压  $U'_4 \angle \delta_4$  和末端功率  $\tilde{S}_4 = P_4 + jQ_4$
- (2) 已知首端电压  $U'_1 \angle \delta_1$  和首端功率  $\tilde{S}_1 = P_1 + jQ_1$
- (3) **已知首端电压**  $U'_1 \angle \delta_1$  **和末端功率**  $\tilde{S}_4 = P_4 + jQ_4$  —— 已知**不同点**的值

↓  
实用已知条件

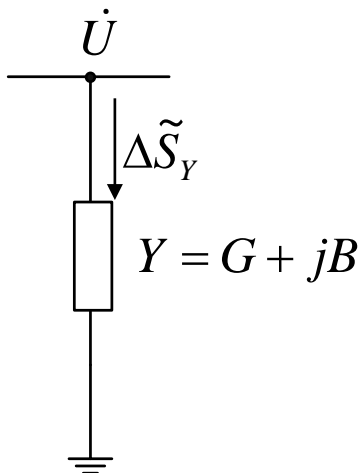
## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### ■ 第一种情况：已知末端电压和末端功率



## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

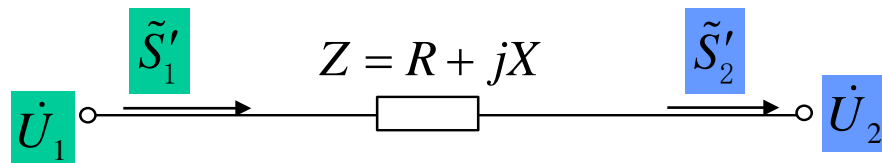
复习



$$\Delta \tilde{S}_Y = U^2 \tilde{Y}^* = (G - jB) U^2$$

末端→首端

首端→末端



$$\Delta \tilde{S}_Z = \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} (R + jX)$$

$$\Delta U = \frac{P_2'R + Q_2'X}{U_2}, \delta U = \frac{P_2'X - Q_2'R}{U_2}$$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}, \delta_1 = \text{tg}^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

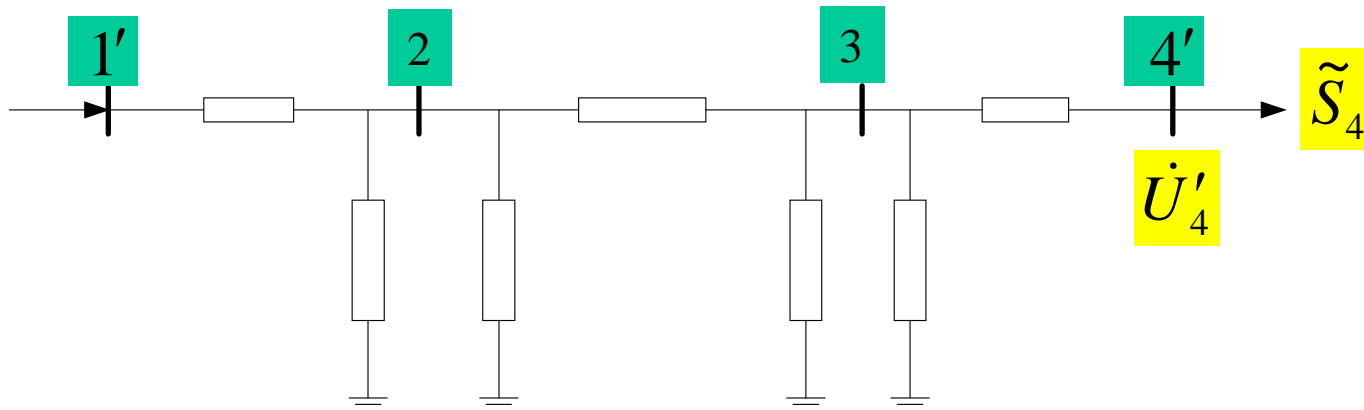
$$\Delta \tilde{S}_Z = \frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} (R + jX)$$

$$\Delta U = \frac{P_1'R + Q_1'X}{U_1}, \delta U = \frac{P_1'X - Q_1'R}{U_1}$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + (\delta U)^2}, \delta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{-\delta U}{U_1 - \Delta U}$$

## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### ■ 第一种情况：已知末端电压和末端功率

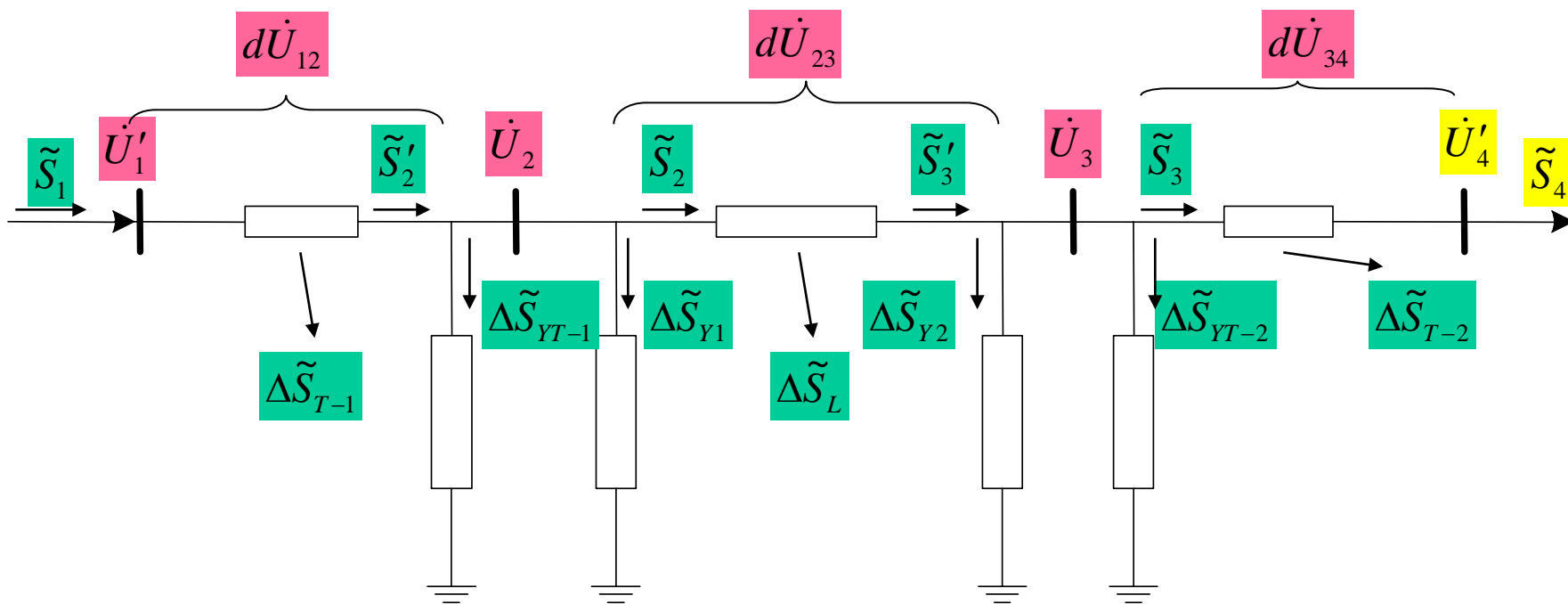


- 1 变压器T-2阻抗中功率损耗：  $\Delta \tilde{S}_{ZT-2} = \frac{P_4^2 + Q_4^2}{U_4'^2} (R_{T-2} + jX_{T-2})$
- 2 变压器T-2阻抗首端功率：  $\tilde{S}_3 = \tilde{S}_4 + \Delta \tilde{S}_{ZT-2}$
- 3 变压器T-2电压降落：  $\Delta U_{34} = \frac{P_4 R_{T-2} + Q_4 X_{T-2}}{U_4'}$  ,  $\delta U_{34} = \frac{P_4 X_{T-2} - Q_4 R_{T-2}}{U_4'}$
- 4 母线3电压：  $U_3 = \sqrt{(U_4' + \Delta U_{34})^2 + (\delta U_{34})^2}$  ,  $\delta_3 = \text{tg}^{-1} \frac{\delta U_{34}}{U_4' + \Delta U_{34}}$
- 5 变压器T-2导纳支路功率损耗：  $\Delta \tilde{S}_{YT-2} = (G_{YT-2} + jB_{YT-2}) U_3^2$  ...



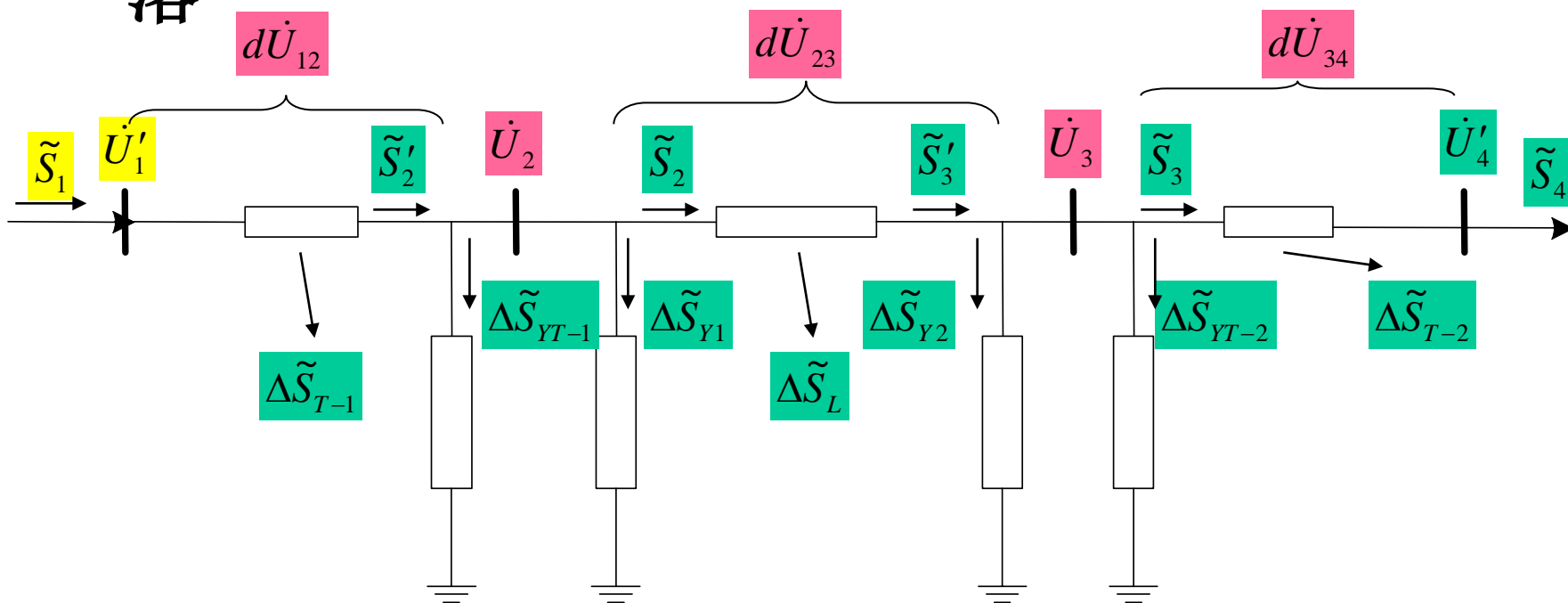
## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

计算过程：由末端→首端逐级计算功率损耗和电压降落



## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

- 第二种情况：已知首端电压和首端功率  
由首端→末端逐级计算功率损耗和电压降落

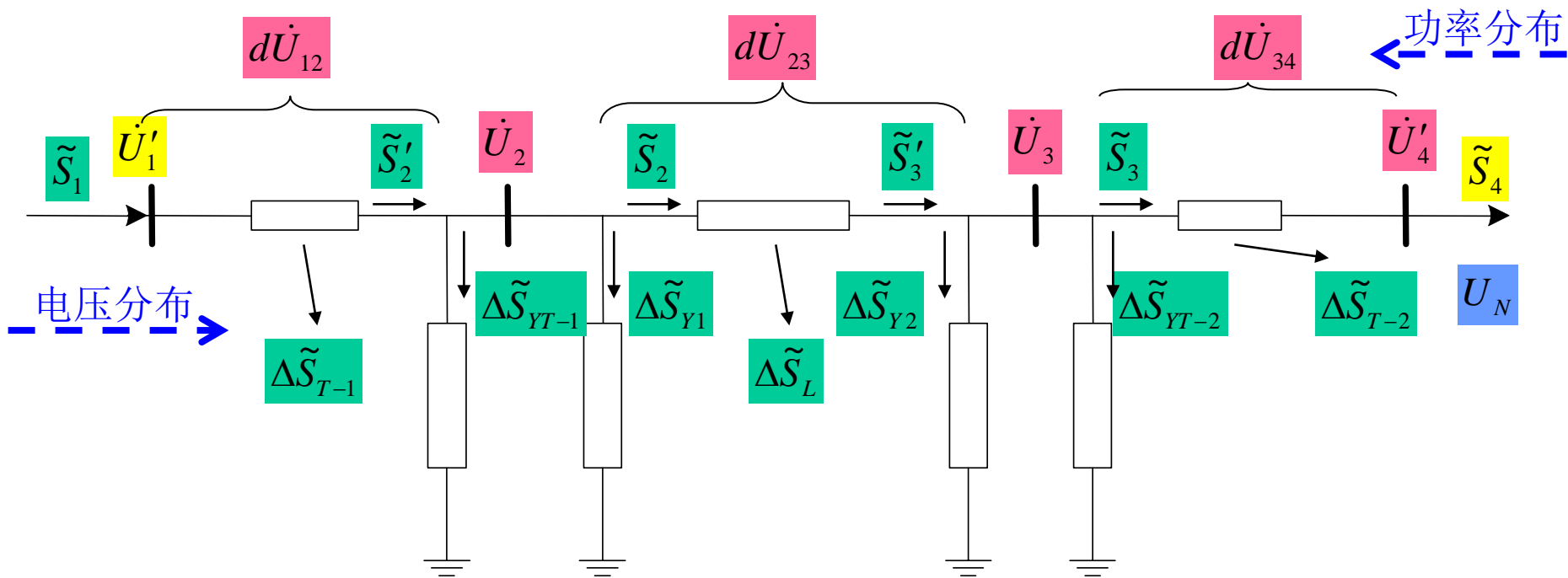


## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

- 第三种情况：已知**末端功率**和**首端电压**
  - 前推回代的思想
  - 简化解法
    - 第一步：假设全网为**额定电压**，从**末端**→**首端**计算**功率分布**——**前推（计算功率）**
    - 第二步：由已知的首端电压和第一步中求得的首端功率，从**首端**→**末端**计算**电压分布**，此时不再重新计算功率分布——**回代（计算电压）**
  - 迭代解法

## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### 第三种情况的简化计算方法的过程:



例如:

变压器T-2阻抗中功率损耗: 
$$\Delta\tilde{S}_{T-2} = \frac{P_4^2 + Q_4^2}{U_N^2} (R_{T-2} + jX_{T-2})$$

## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### ■ 迭代解法:

- 1 假设末端电压(通常取为额定电压):  $\dot{U}'_4 = U'_4 \angle 0$
- 2 用假设的末端电压和已知的末端功率, 从末端→首端计算功率分布和电压分布, 求出始端的电压和功率(第一情况)
- 3 用已知的首端电压和②中求得的首端功率, 从首端→末端计算功率分布和电压分布, 求出末端的电压和功率(第二情况)
- 4 用③中求得的末端电压和已知的末端功率, 从末端→首端进行功率分布和电压分布, 求出始端的电压和功率
- 5 依此类推, 反复计算, 直到满足精度要求

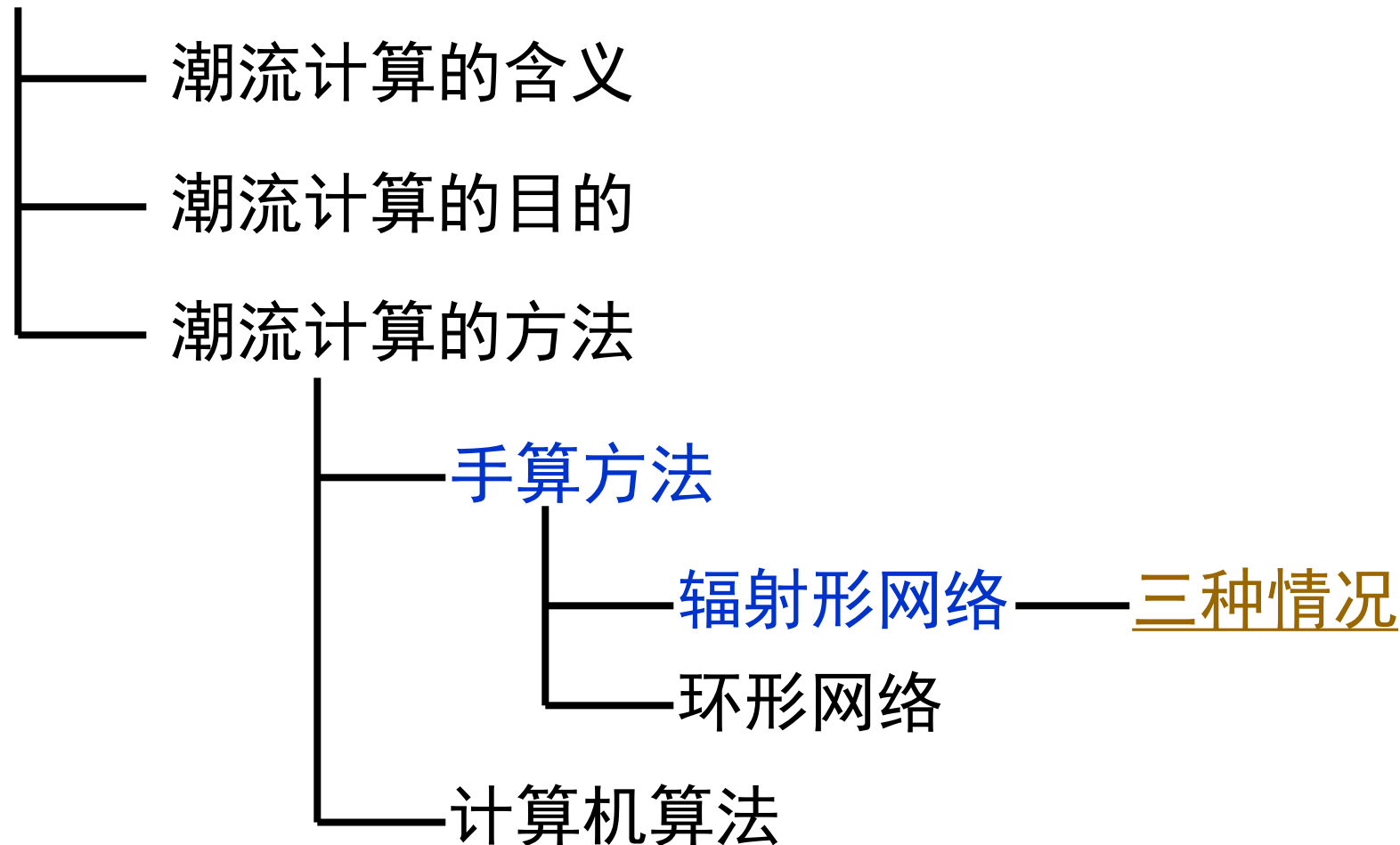
## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### 简化法和迭代法的区别

- 都应用了前推回代的思想
- 简化法
  - 只前推回代一次
    - 前推：功率分布
    - 回代：电压分布
- 迭代法
  - 根据精度要求前推回代若干次
  - 前推、回代：功率计算和电压计算交替进行

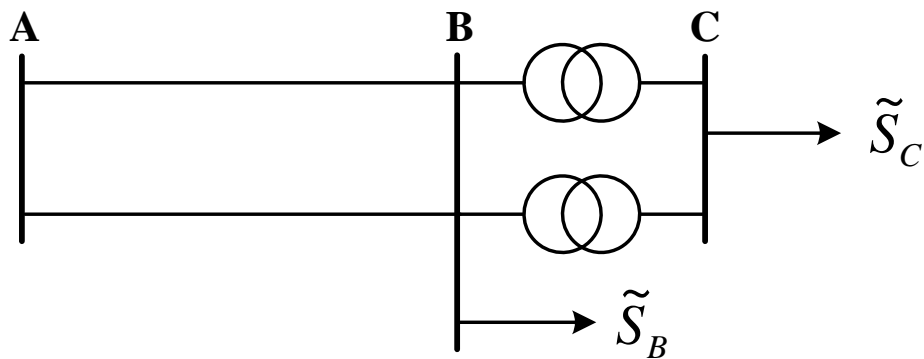
## 3.2.1 辐射形网络的潮流计算

### 潮流计算



# 辐射形网络潮流计算算例

- **例：** 额定电压110kV的双回输电线路，长80km。变电站中装设两台110/11kV的变压器。母线A的实际运行电压为117kV，母线C上的有功负荷 $P_{LC}=20\text{MW}$ ，功率因数0.8滞后，母线B上的负荷为 $30+j12\text{MVA}$ ，当变压器运行在主抽头时，求母线C的电压。



**线路：**  $r_1=0.21\text{欧/km}$ 、 $x_1=0.416\text{欧/km}$ 、 $b_1=2.74 \times 10^{-6} \text{ S /km}$

**变压器：**  $P_0=40.5\text{kW}$ 、 $P_k=128\text{kW}$ 、 $U_k\%=10.5$ 、 $I_0\%=3.5$ 、 $S_N=15\text{MVA}$



# 辐射形网络潮流计算算例

- **分析：**本题属于**已知末端功率和首端电压**的类型。
- **解：****首先计算参数并建立等值电路**

线路实际参数：  $R_L = \frac{1}{2} \times 0.21 \times 80 = 8.4\Omega$

$$X_L = \frac{1}{2} \times 0.416 \times 80 = 16.64\Omega$$

$$\frac{1}{2}B_L = \frac{1}{2} \times 2 \times 2.74 \times 10^{-6} \times 80 = 2.192 \times 10^{-4} S$$

变压器**归算到110kV侧**的参数：

$$R_T = \frac{1}{2} \times \frac{P_k U_N^2}{1000 S_N^2} = \frac{1}{2} \times \frac{128 \times 110^2}{1000 \times 15^2} = 3.44\Omega$$

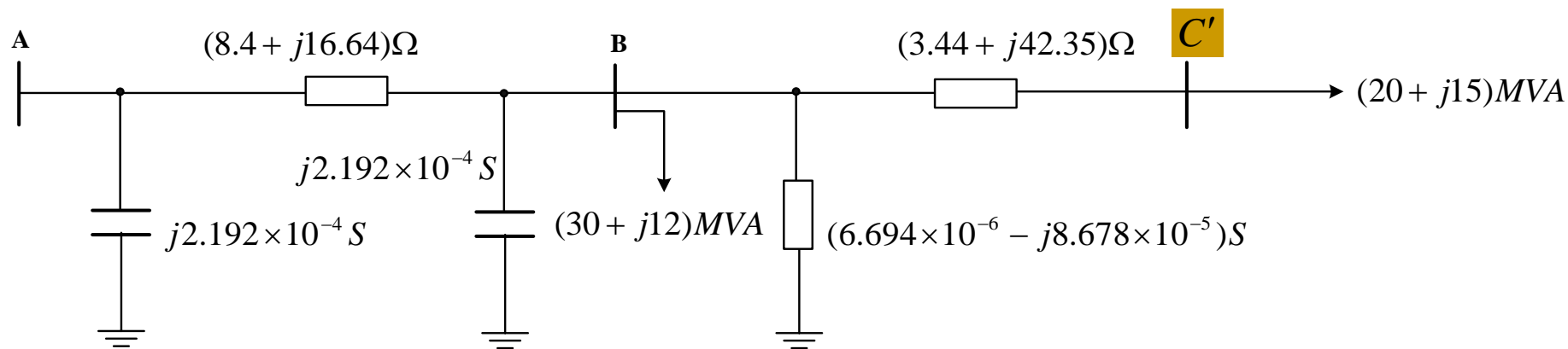
$$X_T = \frac{1}{2} \times \frac{U_k \% U_N^2}{100 S_N} = \frac{1}{2} \times \frac{10.5 \times 110^2}{1000 \times 15} = 42.35\Omega$$

$$G_T = 2 \times \frac{P_0}{1000 U_N^2} = 2 \times \frac{40.5}{1000 \times 110^2} = 6.694 \times 10^{-6} S$$

$$B_T = 2 \times \frac{I_0 \% S_N}{100 U_N^2} = 2 \times \frac{3.5 \times 15}{100 \times 110^2} = 8.678 \times 10^{-5} S$$

# 辐射形网络潮流计算算例

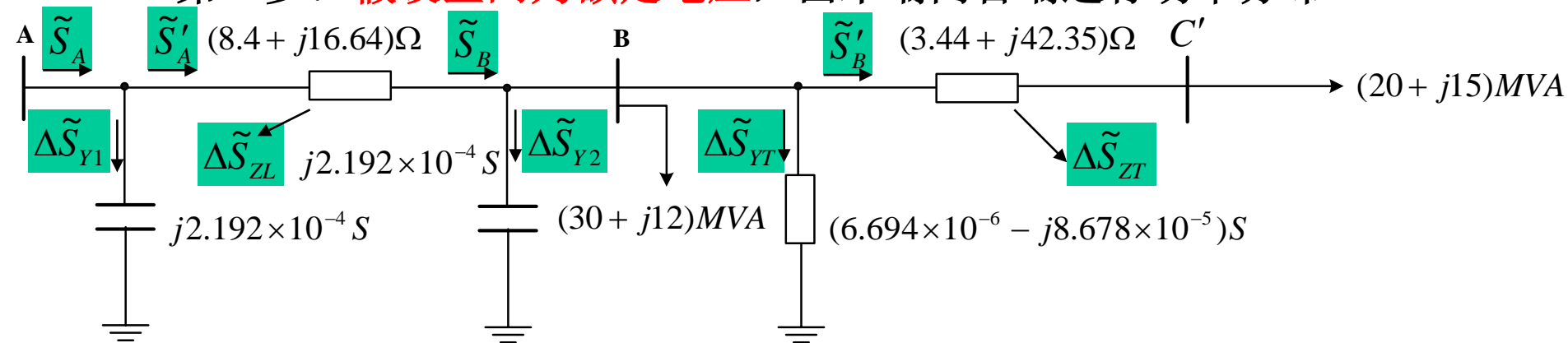
- C母线负荷：由 $\cos \varphi = 0.8$ 可得 $Q_C = P \tan \varphi = 20 \times 0.75 = 15 \text{ M var}$
- 归算到110kV的等值电路：



# 辐射形网络潮流计算算例（简化算法）

## ■ 解一：简化算法

第一步：假设全网为额定电压，由末端向首端进行功率分布



### 1 变压器阻抗中功率损耗:

$$\Delta \tilde{S}_{ZT} = \frac{20^2 + 15^2}{110^2} (3.44 + j42.35) = 0.178 + j2.188 \text{ (MVA)}$$

### 2 变压器阻抗支路首端功率:

$$\tilde{S}'_B = \tilde{S}_{LC} + \Delta \tilde{S}_{ZT} = 20.178 + j17.188 \text{ (MVA)}$$

### 3 变压器导纳支路功率损耗:

$$\Delta \tilde{S}_{YT} = 110^2 (6.694 \times 10^{-6} + j8.678 \times 10^{-5}) = 0.081 + j1.05 \text{ (MVA)}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（简化算法）

- 4 线路末端导纳支路功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{Y2} = 110^2 (-j2.192 \times 10^{-4}) = -j2.65 \text{ (MVA)}$$

- 5 线路阻抗末端功率：

$$\tilde{S}_B = \tilde{S}'_B + \Delta \tilde{S}_{YT} + \tilde{S}_{LB} + \Delta \tilde{S}_{Y2} = 50.259 + j27.588 \text{ (MVA)}$$

- 6 线路阻抗中的功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{ZL} = \frac{50.259^2 + 27.588^2}{110^2} (8.4 + j16.64) = 2.282 + j4.52 \text{ (MVA)}$$

- 7 线路阻抗首端的功率：  $\tilde{S}'_A = \tilde{S}_B + \Delta \tilde{S}_{ZL} = 52.541 + j32.11 \text{ (MVA)}$

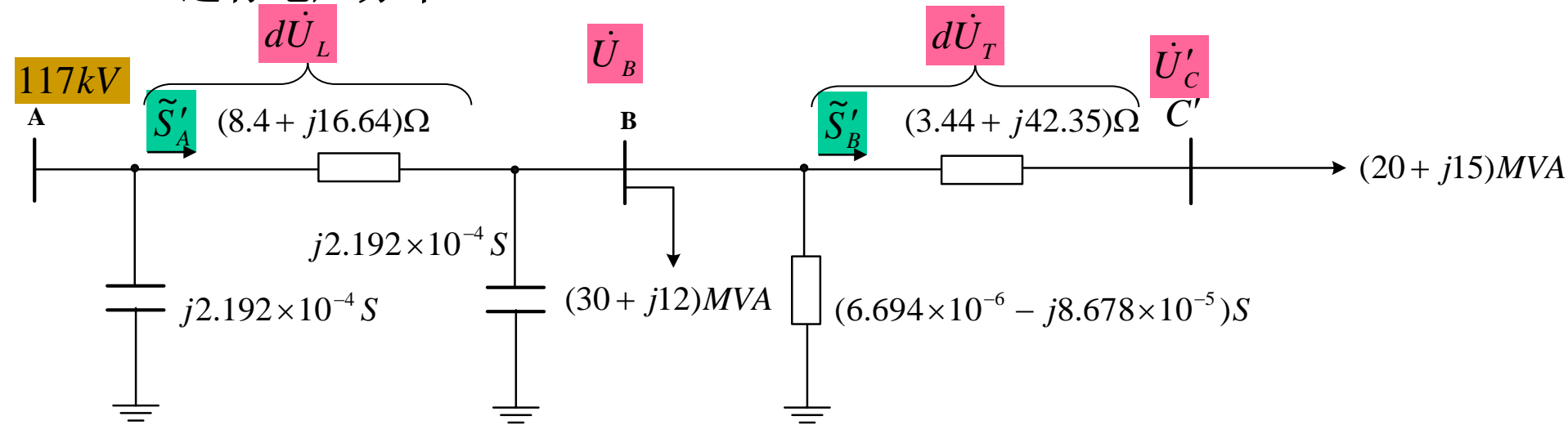
- 8 线路首端导纳支路功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{Y1} = 110^2 (-j2.192 \times 10^{-4}) = -j2.65 \text{ (MVA)}$$

- 9 首端功率：  $\tilde{S}_A = \tilde{S}'_A + \Delta \tilde{S}_{Y1} = 52.541 + j29.458 \text{ (MVA)}$

# 辐射形网络潮流计算算例（简化算法）

- 第二步：由已知的首端电压和第一步中求得的功率从首端向末端进行电压分布。



1 线路中的电压降落：

$$\Delta U_L = \frac{52.541 \times 8.4 + 32.11 \times 16.64}{117} = 8.34 \text{ kV}$$

$$\delta U_L = \frac{52.541 \times 16.64 - 32.11 \times 8.4}{117} = 5.18 \text{ kV}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（简化算法）

2 母线B的电压：

$$U_B = \sqrt{(117 - 8.34)^2 + 5.18^2} = 108.78 \text{ kV} \quad \delta_B = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-5.18}{117 - 8.34} = -2.73^\circ$$

3 变压器中的电压降落：

$$\Delta U_T = \frac{20.178 \times 3.44 + 17.188 \times 42.35}{108.78} = 7.33 \text{ kV}$$

$$\delta U_T = \frac{20.178 \times 42.35 - 17.188 \times 3.44}{108.78} = 7.31 \text{ kV}$$

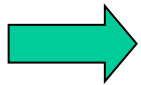
4 母线C'的电压（母线C归算到110kV电压）：

$$U'_C = \sqrt{(108.78 - 7.33)^2 + 7.31^2} = 101.71 \text{ kV}$$

$$\delta'_C = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-7.31}{108.78 - 7.33} = -4.12^\circ$$

5 母线C的电压：

$$U_C = U'_C \times \frac{11}{110} = 101.71 \times \frac{11}{110} = 10.171 \text{ kV} \quad \delta_C = -4.12^\circ - 2.73^\circ = -6.85^\circ$$



$$\dot{U}_C = 10.171 \angle -6.85^\circ \text{ kV}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

- **解二：迭代算法**（电压误差小于0.1kV时结束迭代）
- **第一步：**假设母线C归算到110kV的电压为110kV，由末端向首端进行潮流分布

1 变压器阻抗中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{ZT} = \frac{20^2 + 15^2}{110^2} (3.44 + j42.35) = 0.178 + j2.188 \text{ (MVA)}$$

2 变压器阻抗支路首端功率：

$$\tilde{S}'_B = \tilde{S}_{LC} + \Delta \tilde{S}_{ZT} = 20.178 + j17.188 \text{ (MVA)}$$

3 变压器中的电压降落：

$$\Delta U_T = \frac{20 \times 3.44 + 15 \times 42.35}{110} = 6.40 \text{ kV} \quad \delta U_T = \frac{20 \times 42.35 - 15 \times 3.44}{110} = 7.23 \text{ kV}$$

4 母线B的电压：

$$U_B = \sqrt{(110 + 6.40)^2 + 7.23^2} = 116.62 \text{ kV} \quad \delta_B = \tan^{-1} \frac{7.23}{110 + 6.40} = 3.55^\circ$$

$$\dot{U}_B = 116.62 \angle 3.55^\circ \text{ kV}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

- 5 变压器导纳支路中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{YT} = 116.62^2 (6.694 \times 10^{-6} + j8.678 \times 10^{-5}) = 0.09 + j1.18 \text{ MVA}$$

- 6 线路末端导纳支路中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{Y2} = 116.62^2 (-j2.192 \times 10^{-4}) = -j2.98 \text{ Mvar}$$

- 7 线路阻抗末端的功率：

$$\tilde{S}_B = \tilde{S}'_B + \Delta \tilde{S}_{YT} + \tilde{S}_{LB} + \Delta \tilde{S}_{Y2} = 50.27 + j27.39 \text{ MVA}$$

- 8 线路阻抗中功率损耗

$$\Delta \tilde{S}_{ZL} = \frac{50.27^2 + 27.39^2}{116.62^2} (8.4 + j16.64) = 2.02 + j4.01 \text{ MVA}$$

- 9 线路阻抗首端功率：

$$\tilde{S}'_A = \tilde{S}_B + \Delta \tilde{S}_{ZL} = 52.29 + j31.40 \text{ MVA}$$



# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

10 线路中电压降落：

$$\Delta U_L = \frac{50.27 \times 8.4 + 27.39 \times 16.64}{116.62} = 7.53 \text{ kV} \quad \delta U_L = \frac{50.27 \times 16.64 - 27.39 \times 8.4}{116.62} = 5.20 \text{ kV}$$

11 母线A电压：

$$U_A = \sqrt{(116.62 + 7.53)^2 + 5.20^2} = 124.26 \text{ kV} \quad \delta_A = \tan^{-1} \frac{5.20}{116.62 + 7.53} = 2.40^\circ$$
$$\dot{U}_A = 124.26 \angle (3.55 + 2.40)^\circ = 124.26 \angle 5.95^\circ \text{ kV}$$

12 电压误差：

$$|U_A - 117| = |124.26 - 117| = 7.26 > 10^{-1} \text{ kV}$$

**第二步：**由已知首端电压117kV和第一步中求得的功率从首端向末端进行潮流分布。

1 线路中电压降落：

$$\Delta U_L = \frac{52.29 \times 8.4 + 31.40 \times 16.64}{117} = 8.22 \text{ kV}$$
$$\delta U_L = \frac{52.29 \times 16.64 - 31.40 \times 8.4}{117} = 5.18 \text{ kV}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

2 母线B电压：

$$U_B = \sqrt{(117 - 8.22)^2 + 5.18^2} = 108.90 \text{ kV} \quad \delta_B = \operatorname{tg}^{-1} \frac{-5.18}{117 - 8.22} = -2.73^\circ$$
$$\dot{U}_B = 108.90 \angle -2.73^\circ \text{ kV}$$

3 线路阻抗中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{ZL} = \frac{52.29^2 + 31.40^2}{117^2} (8.4 + j16.64) = 2.28 + j4.52 \text{ MVA}$$

4 线路末端导纳支路中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{Y2} = 108.90^2 (-j2.192 \times 10^{-4}) = -j2.60 \text{ MVA}$$

5 变压器导纳支路中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{YT} = 108.90^2 (6.694 \times 10^{-6} + j8.678 \times 10^{-5}) = 0.08 + j1.03 \text{ MVA}$$

6 变压器阻抗支路首端功率：

$$\tilde{S}'_B = \tilde{S}'_A - \Delta \tilde{S}_{ZL} - \Delta \tilde{S}_{Y2} - \tilde{S}_{LB} - \Delta \tilde{S}_{YT} = 19.93 + j16.45 \text{ MVA}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

6 变压器阻抗中功率损耗：

$$\Delta \tilde{S}_{ZT} = \frac{19.93^2 + 16.45^2}{108.90^2} (3.44 + j42.35) = 0.19 + j2.38 \text{ MVA}$$

7 变压器中电压降落：

$$\Delta U_T = \frac{19.93 \times 3.44 + 16.45 \times 42.35}{108.90} = 7.03 \text{ kV}$$

$$\delta U_T = \frac{19.93 \times 42.35 - 16.45 \times 3.44}{108.90} = 7.23 \text{ kV}$$

8 母线C'电压：

$$U'_C = \sqrt{(108.90 - 7.03)^2 + 7.23^2} = 102.13 \text{ kV}$$

$$\delta'_C = \text{tg}^{-1} \frac{-7.23}{108.90 - 7.03} = -4.06^\circ$$

$$\dot{U}'_C = 102.13 \angle (-2.73^\circ - 4.06^\circ) = 102.13 \angle -6.79^\circ$$

# 辐射形网络潮流计算算例（迭代算法）

**第三步：**由已知末端功率和第二步中求得的末端电压从末端向首端进行潮流分布。

**第四步：**由已知首端电压和第三步中求得的首端功率从首端向末端进行潮流分布。 .....

迭代过程中各母线电压

单位：kV

迭代次数	母线A	母线B	母线C
0（初始）	117		110
1（前推）	124.26	116.62	110
2（回代）	117	108.90	102.13
3（前推）	117.55	109.30	102.13
4（回代）	117	108.71	101.53
5（前推）	117.04	108.74	101.53

# 辐射形网络潮流计算算例（算例讲评）

## ■ 算例讲评：

- 对于110kV及其以下电网，通常可不计电压降落的横分量。本例中，若不计电压降落横分量，C母线电压为10.132kV，误差仅10.171-10.132=0.039kV（0.4%）。

- 变压器中电压降落的纵分量主要取决于电抗。本例中

$$\frac{Q'_B X_T}{U_B} = \frac{17.188 \times 42.35}{108.78} = 6.692 \text{ kV}, \frac{P'_B R_T}{U_B} = \frac{20.178 \times 3.44}{108.78} = 0.638 \text{ kV}$$

- 变压器中的无功功率损耗远大于有功功率损耗。本例中，变压器无功损耗 = 2.188+1.05 = 3.238（MVar），有功损耗 = 0.178+0.081 = 0.259（MW）。
- 线路轻载时，线路电纳中发出的容性无功（负值）可能大于电抗中消耗的感性无功，此时，线路为感性无功电源。本例中，线路电纳发出的容性无功 = 2×2.65 = 5.3MVar，电抗中消耗的感性无功为4.52MVar。

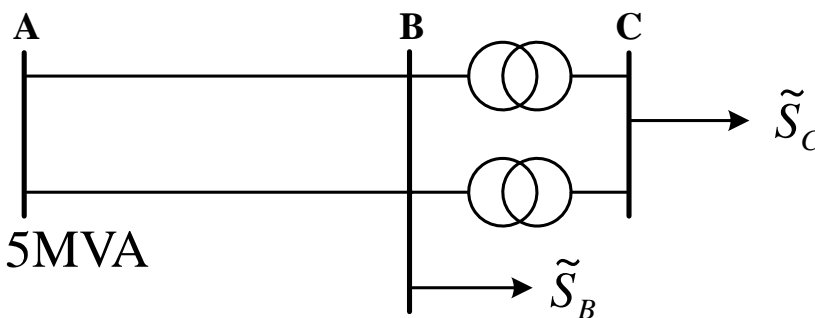
# 辐射形网络潮流计算算例（算例讲评）

## ■ 算例讲评（续1）：

- 对于第三种潮流计算，若采用简化算法，用充电功率和空载损耗来建立线路和变压器的等值电路，将在一定程度上简化计算。

线路：  $b_1 = 2.74 \times 10^{-6} \text{ S/km}$

变压器：  $P_0 = 40.5 \text{ kW}$ 、 $I_0\% = 3.5$ 、 $S_N = 15 \text{ MVA}$



线路充电功率

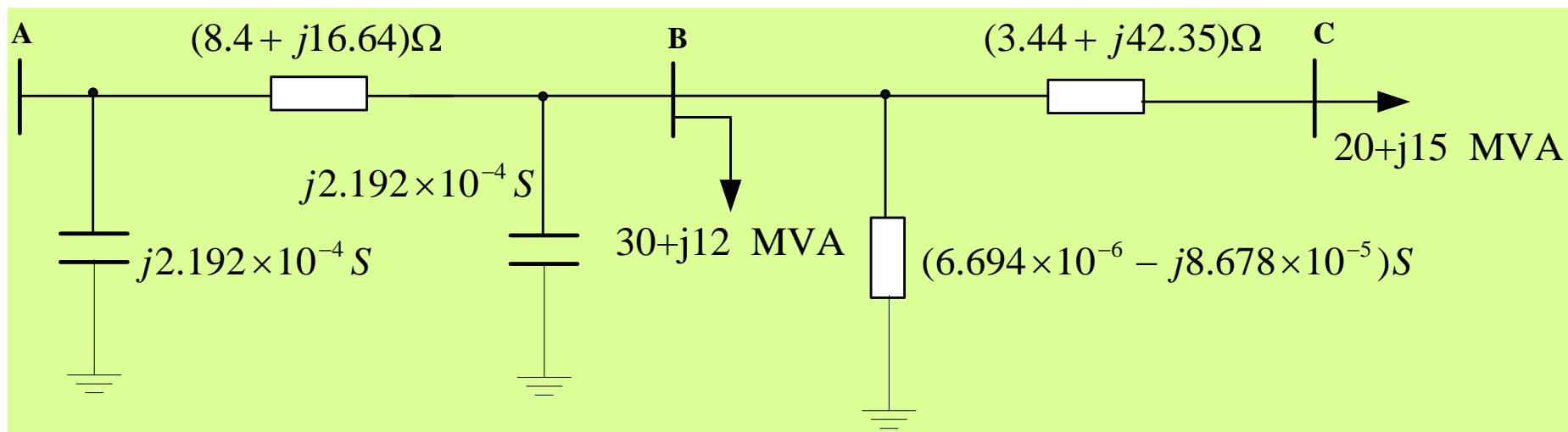
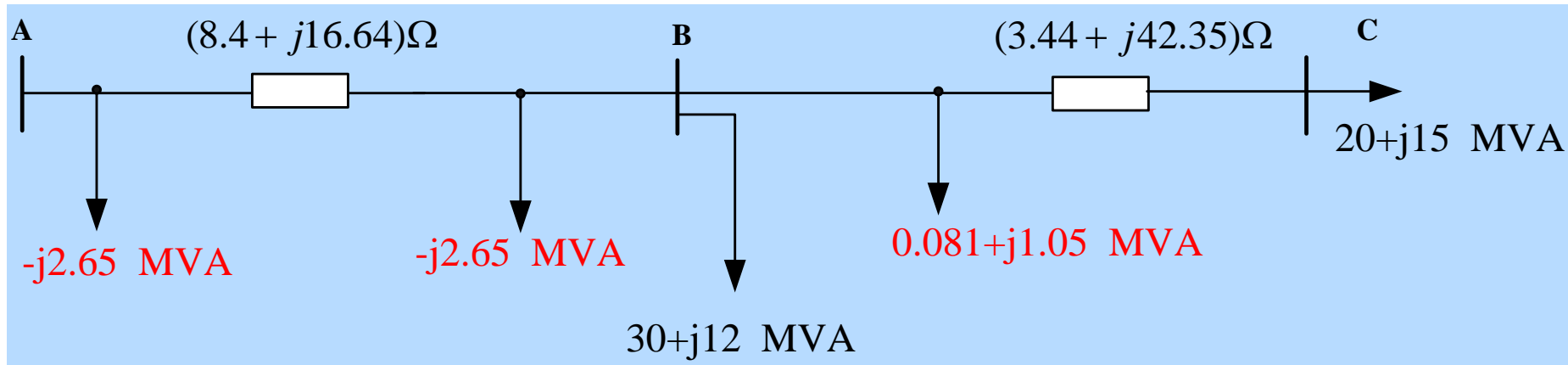
$$= -j \frac{B}{2} U_N^2 = -j \frac{1}{2} 2b_1 l U_N^2 = -j 2.74 \times 10^{-6} \times 80 \times 110^2 = -j 2.65 \text{ MVar}$$

变压器空载损耗

$$= 2 \times \left( \frac{P_0}{1000} + j \frac{I_0\%}{100} S_N \right) = 2 \times \left( \frac{40.5}{1000} + j \frac{3.5}{100} \times 15 \right) = 0.081 + j 1.05 \text{ MVA}$$

# 辐射形网络潮流计算算例（算例讲评）

## ■ 算例讲评（续2）：



## 3.2 辐射形和环形网络的潮流分布

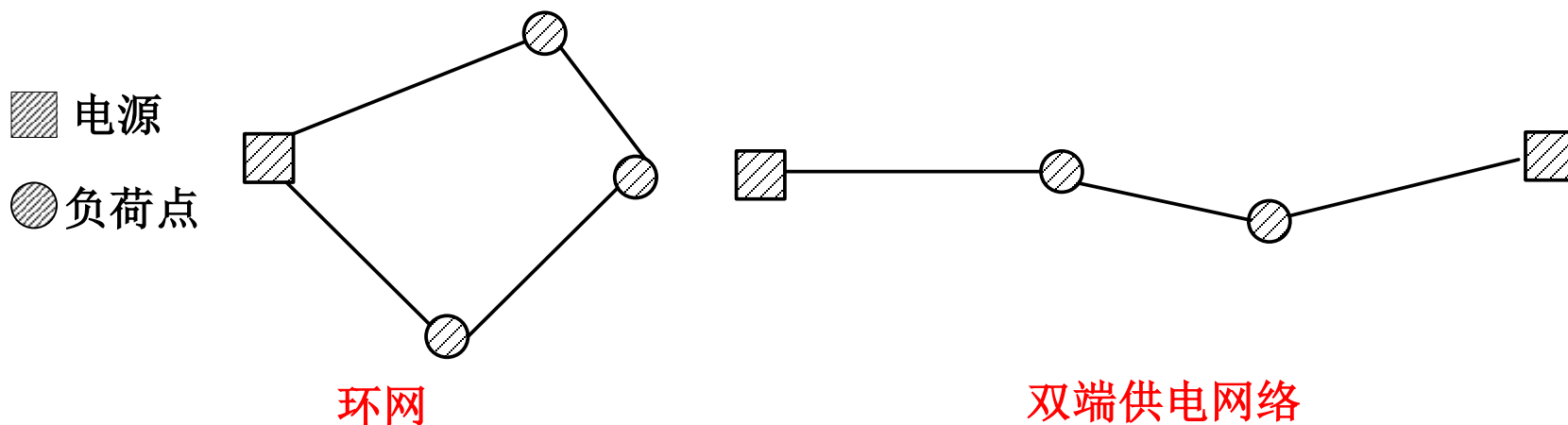
---

- 辐射形网络的潮流计算
- 环形网络的潮流计算



# 环形网络的潮流计算

- 环形网络（闭式网络）：任何负荷都能从两个或两个以上的方向获取功率



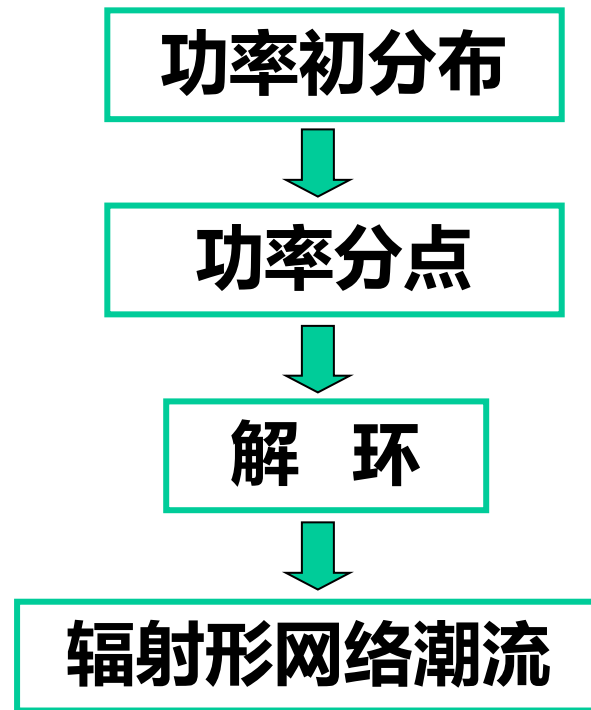
# 环形网络的潮流计算

---

- ❑ 手算方法的基本思想
- ❑ 两端供电网络功率的初步分布
- ❑ 环网功率的初步分布
- ❑ 环形网络潮流的计算步骤

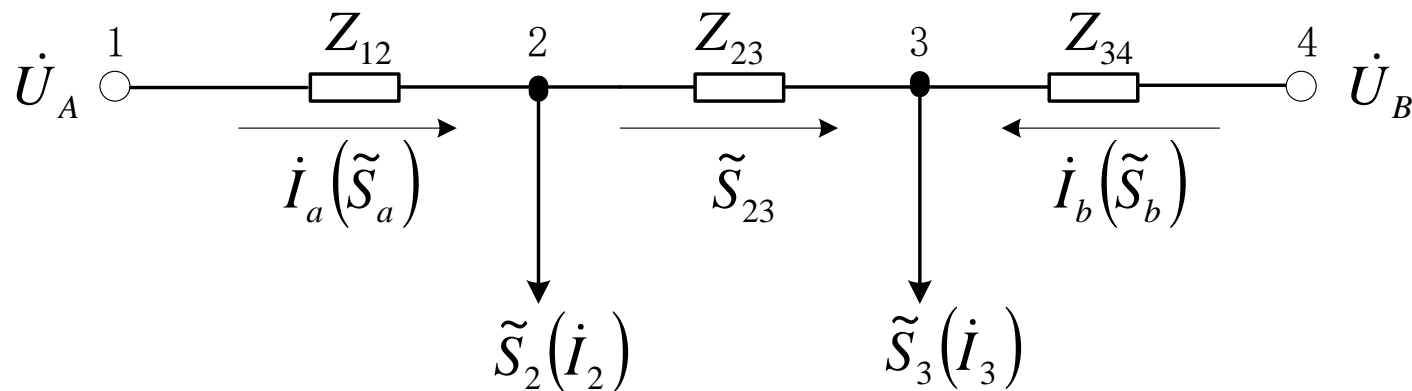
# 手算方法的基本思想

- **基本思想**：寻找**功率分点**，将环形网络转化（**解环**）为辐射形网络进行计算



# 两端供电网络功率的初步分布

## 1 电源点发出的功率



回路方程：


$$d\dot{U} = \dot{U}_a - \dot{U}_b = \sqrt{3}Z_{12}\dot{I}_a + \sqrt{3}Z_{23}(\dot{I}_a - \dot{I}_2) - \sqrt{3}Z_{34}(\dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_a)$$

近似处理：

- 不计网络中的功率损耗，即认为支路中流过同一功率；
- 假设全网均为额定电压，即有： $\dot{I} = S^* / \sqrt{3}U_N$

# 两端供电网络功率的初步分布

$$d\dot{U} = \dot{U}_a - \dot{U}_b = \sqrt{3}Z_{12}\dot{I}_a + \sqrt{3}Z_{23}(\dot{I}_a - \dot{I}_2) - \sqrt{3}Z_{34}(\dot{I}_2 + \dot{I}_3 - \dot{I}_a)$$

$$\dot{I} = \dot{S}^* / \sqrt{3}U_N$$


$$U_N d\dot{U} = Z_{12} \dot{S}_a^* + Z_{23} \left( \dot{S}_a^* - \dot{S}_2^* \right) + Z_{34} \left( \dot{S}_a^* - \dot{S}_2^* - \dot{S}_3^* \right)$$



$$\tilde{S}_a = \frac{\tilde{S}_2^* (Z_{23}^* + Z_{34}^*) + \tilde{S}_3^* Z_{34}^*}{(Z_{12}^* + Z_{23}^* + Z_{34}^*)} + \frac{U_N d\dot{U}}{(Z_{12}^* + Z_{23}^* + Z_{34}^*)}$$

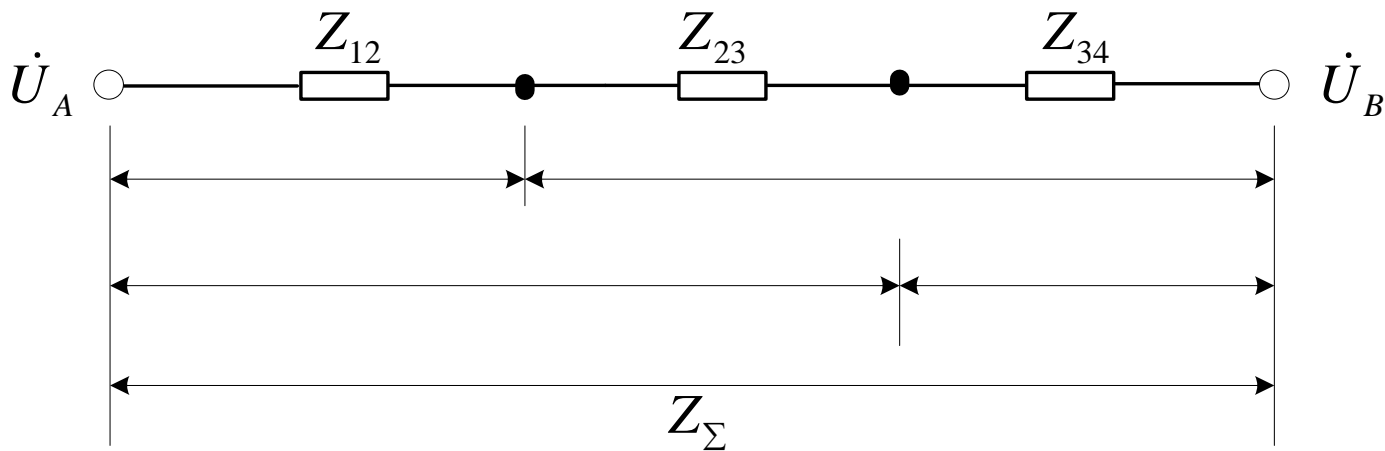
(3-36a)

$$\text{同理, } \tilde{S}_b = \frac{\tilde{S}_3^* (Z_{12}^* + Z_{23}^*) + \tilde{S}_2^* Z_{12}^*}{(Z_{12}^* + Z_{23}^* + Z_{34}^*)} - \frac{U_N d\dot{U}}{(Z_{12}^* + Z_{23}^* + Z_{34}^*)}$$

(3-36b)

# 两端供电网络功率的初步分布

如图定义阻抗



$$\tilde{S}_a = \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2B}^* + \tilde{S}_3^* Z_{3B}^*}{Z_\Sigma^*} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma^*}$$

$$\tilde{S}_b = \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2A}^* + \tilde{S}_3^* Z_{3A}^*}{Z_\Sigma^*} - \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma^*}$$

# 两端供电网络功率的初步分布

## ■ 电源点发出功率的分析：

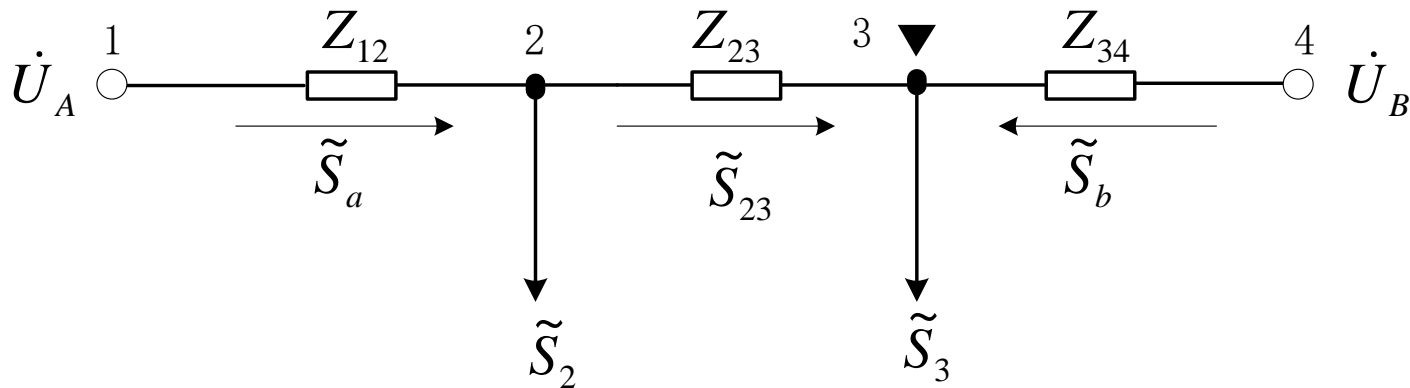
$$\begin{aligned}\tilde{S}_a &= \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2B}^* + \tilde{S}_3^* Z_{3B}^*}{Z_\Sigma^*} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma^*} \\ \tilde{S}_b &= \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2A}^* + \tilde{S}_3^* Z_{3A}^*}{Z_\Sigma^*} - \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma^*}\end{aligned}$$

取决于负荷点的  
位置和功率

循环功率  $\tilde{S}_c$ ：与负荷  
大小和位置无关

# 两端供电网络功率的初步分布

## 2 由功率平衡求其他支路的功率



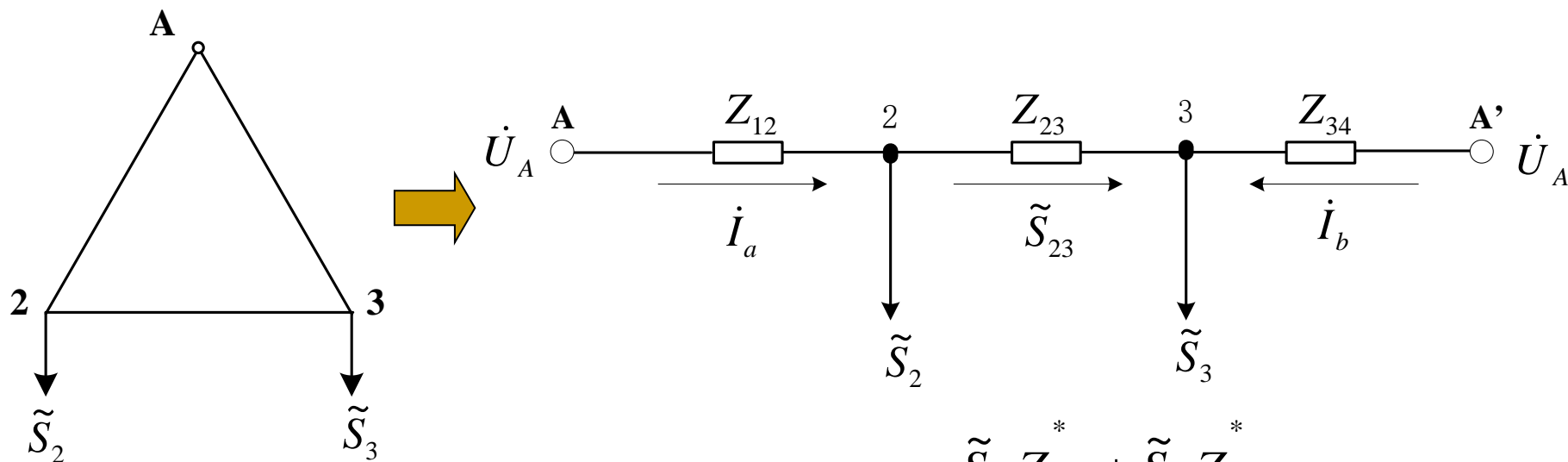
其他支路功率： $\tilde{S}_{23} = \tilde{S}_a - \tilde{S}_2$  或  $\tilde{S}_{23} = \tilde{S}_3 - \tilde{S}_b$

**功率分点：**电力网中功率由两个方向流入的节点。用符号▼标出。当有功分点和无功分点不重合时，用▼表示有功分点，▽表示无功分点。当有功分点和无功分点不一致时，在**无功分点处解列**。



# 环网中的功率初分布

- 从电源点将环网打开，可等值为双端供电网络。



$d\dot{U} = 0 \Rightarrow$  循环功率  $\tilde{S}_c = 0$

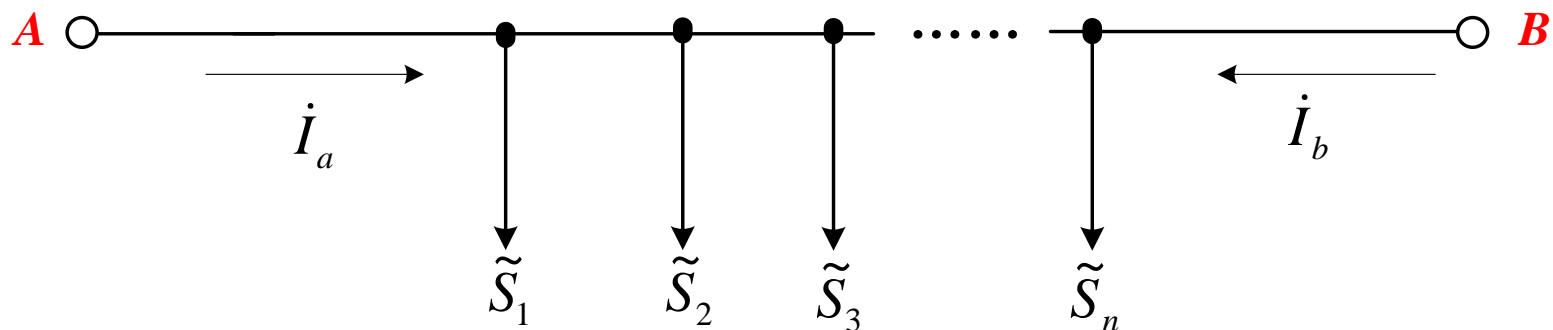
$$\begin{cases} \tilde{S}_a = \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2A'} + \tilde{S}_3^* Z_{3A'}}{Z_\Sigma^*} \\ \tilde{S}_b = \frac{\tilde{S}_2^* Z_{2A} + \tilde{S}_3^* Z_{3A}}{Z_\Sigma^*} \end{cases}$$

(3-30a)

(3-30b)

# 环形网络功率初分布公式的推广

## □ 一般网络：按阻抗（共轭）分布



$$\tilde{S}_a = \frac{\sum_{m=1}^n \tilde{S}_m Z_{mB}^*}{Z_\Sigma^*} + \frac{U_N dU^*}{Z_\Sigma^*}$$

$$\tilde{S}_b = \frac{\sum_{m=1}^n \tilde{S}_m Z_{mA}^*}{Z_\Sigma^*} - \frac{U_N dU^*}{Z_\Sigma^*}$$

# 环形网络功率初分布公式的推广

## □ 均一网络：按电阻分布

各线路  $\frac{x_1}{r_1} = \text{const}$

$$\begin{aligned}\tilde{S}_a &= \frac{\sum \tilde{S}_m (R_{mB} - jX_{mB})}{\sum (R_m - jX_m)} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma} = \frac{\sum \tilde{S}_m R_{mB} (1 - jX_{mB} / R_{mB})}{\sum R_m (1 - jX_m / R_m)} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma} \\ &= \frac{\sum \tilde{S}_m R_{mB}}{\sum R_m} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma} = \frac{\sum \tilde{S}_m R_{mB}}{R_\Sigma} + \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma}\end{aligned}$$

$$\text{同理, } \tilde{S}_b = \frac{\sum \tilde{S}_m R_{mA}}{R_\Sigma} - \frac{U_N d U^*}{Z_\Sigma}$$

# 环形网络功率初分布公式的推广

## □ 同截面网络：按长度分布

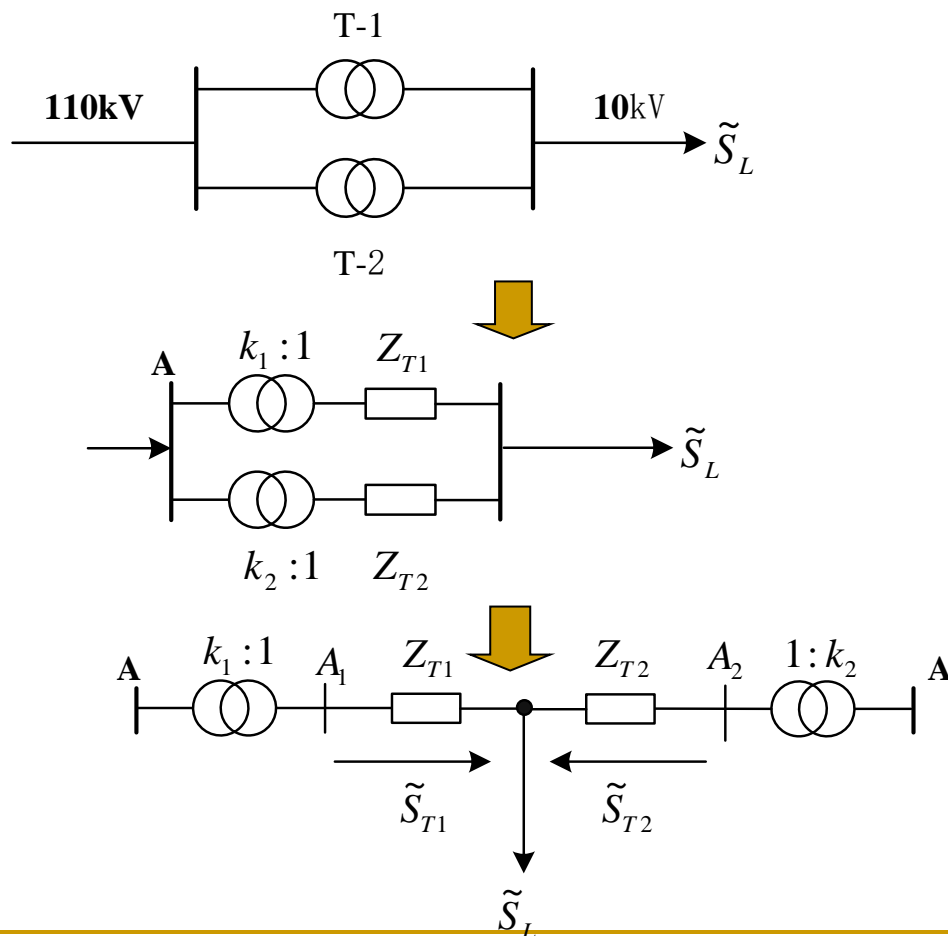
各线路  $r_1 + jx_1 = \text{const}$

$$\tilde{S}_a = \frac{\sum \tilde{S}_m (r_1 - jx_1) l_{mB}}{\sum (r_1 - jx_1) l_m} + \frac{U_N d \dot{U}^*}{Z_\Sigma^*} = \frac{\sum \tilde{S}_m l_{mB}}{l_\Sigma} + \frac{U_N d \dot{U}^*}{Z_\Sigma^*}$$

$$\text{同理, } \tilde{S}_b = \frac{\sum \tilde{S}_m l_{mA}}{l_\Sigma} - \frac{U_N d \dot{U}^*}{Z_\Sigma^*}$$

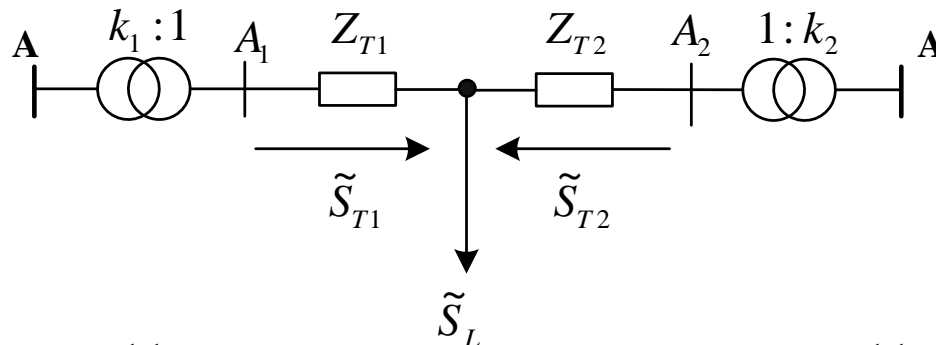
# 环网中变压器变比不匹配时的循环功率（自学）

例如：两台并列运行变压器， $k_1=110/11$ ， $k_2=115.5/11$



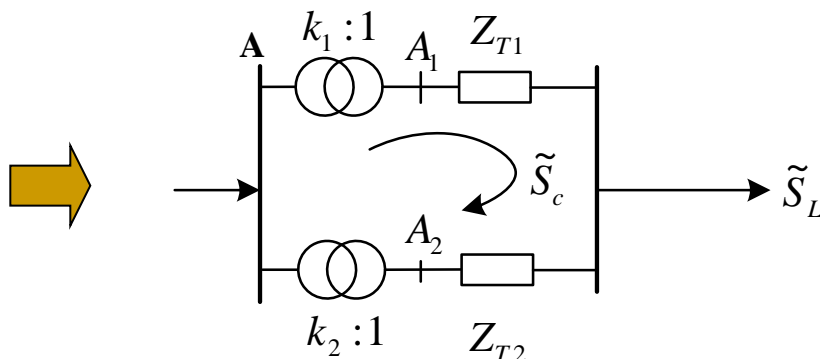
# 环网中变压器变比不匹配时的循环功率

- 设母线A的实际运行电压为110kV



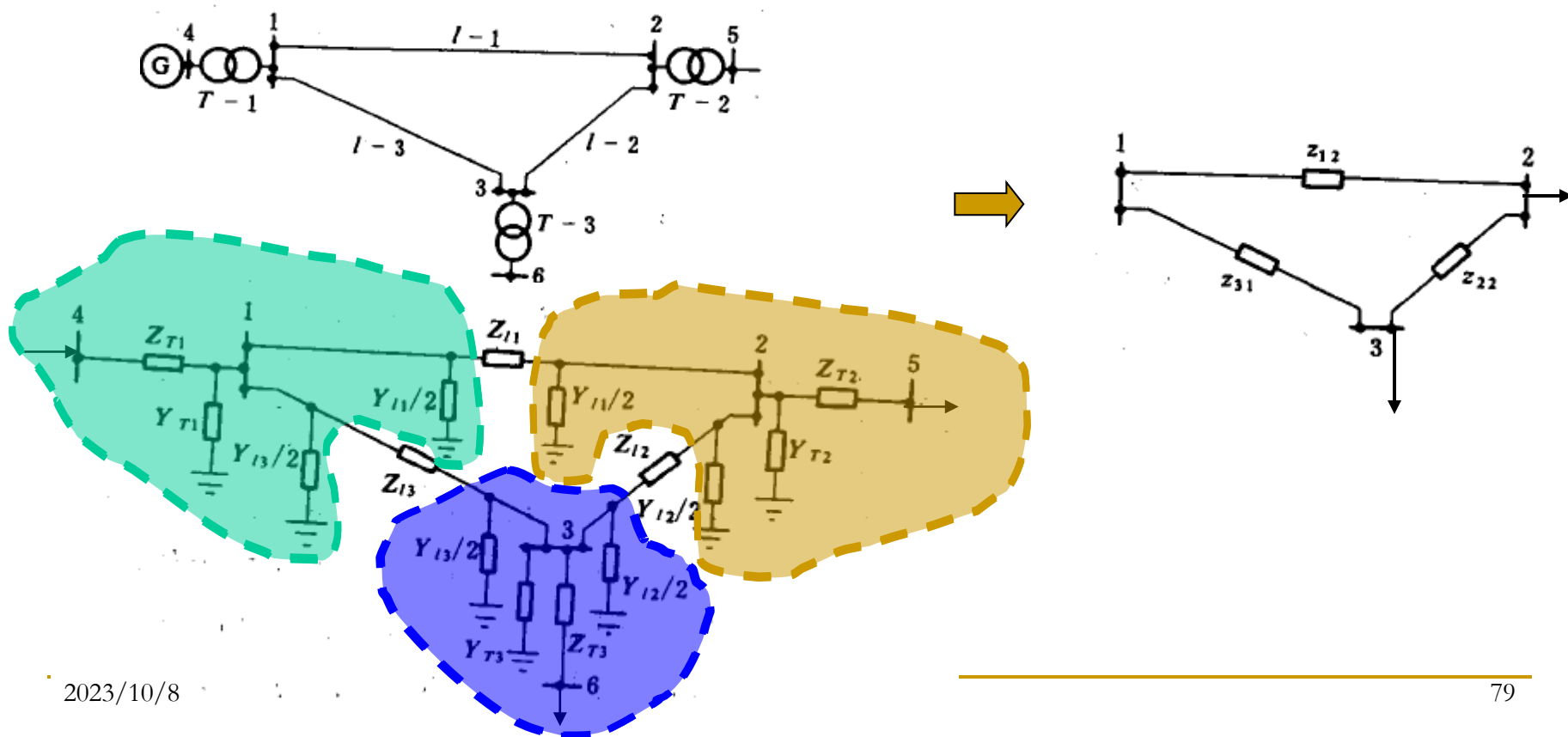
$$\dot{U}_{A1} = \dot{U}_A / k_1 = 110 \times \frac{11}{110} = 11 \text{ kV} \quad \dot{U}_{A2} = \dot{U}_A / k_2 = 110 \times \frac{11}{115.5} = 10.48 \text{ kV}$$

$$\tilde{S}_c = \frac{U_{NL} \left( \overset{*}{U}_{A1} - \overset{*}{U}_{A2} \right)}{\overset{*}{Z}_{T1} + \overset{*}{Z}_{T2}} = \frac{10 \times (11 - 10.48)}{\overset{*}{Z}_{T1} + \overset{*}{Z}_{T2}} = \frac{5.2}{\overset{*}{Z}_{T1} + \overset{*}{Z}_{T2}} \text{ MVA}$$



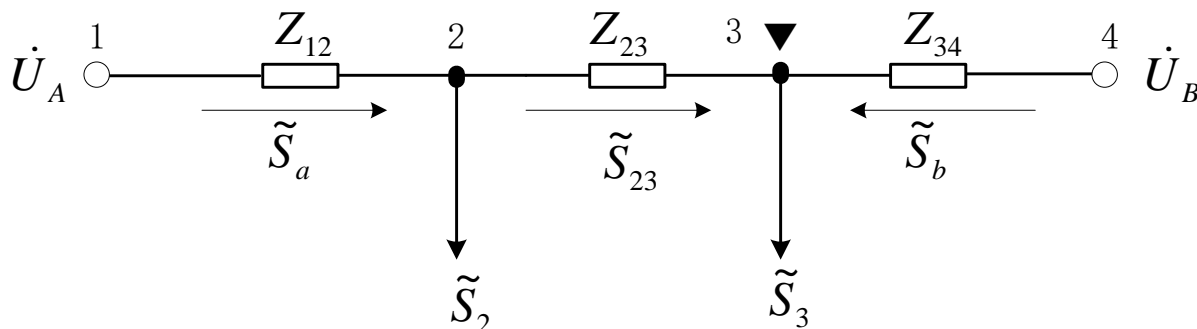
# 环形网络的潮流计算步骤

- **第一步：网络化简。** 应用运算负荷和运算功率的概念和额定电压的假设将网络简化为只含线路阻抗和等值负荷节点的网络。

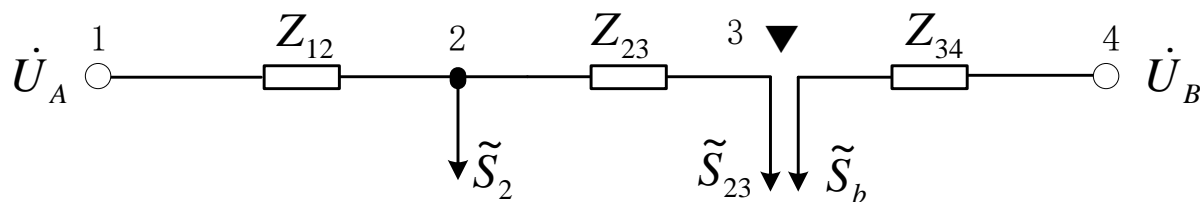


# 环形网络的潮流计算步骤

- 第二步：功率的初分布（不计算阻抗功率损耗），确定功率分点



- 第三步：从功率分点解环，转化为两个辐射形网络



- 第四步：按照辐射形网络潮流计算方法（第3种情况），计算网络的功率分布和电压分布。



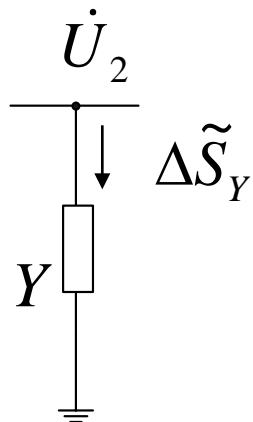
# 本章小结

---

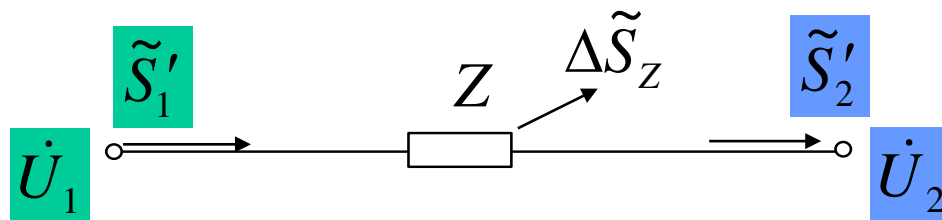
- 本章解决两个问题：
  - 线路和变压器运行状况的计算
  - 简单电力网络的潮流计算
- 线路、变压器运行状况的计算：
  - 功率分布
  - 电压分布
  - 电能损耗
- 简单电力网络的潮流计算
  - 辐射形网络
  - 环形网络

# 本章小结

## ■ 功率计算



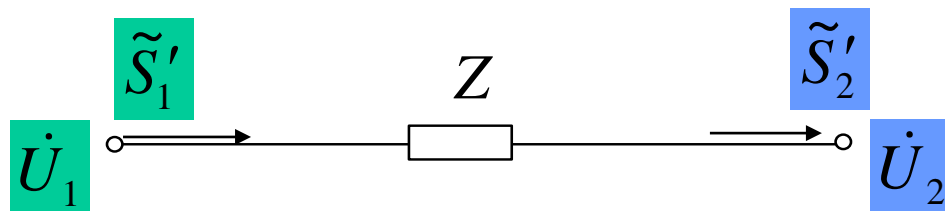
$$\Delta\tilde{S}_Y = U_2^2 Y^*$$



- 已知末端参数:  $\Delta\tilde{S}_Z = \frac{P_2'^2 + Q_2'^2}{U_2^2} (R + jX)$
- 已知首端参数:  $\Delta\tilde{S}_Z = \frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} (R + jX)$

# 本章小结

## ■ 电压计算



$$d\dot{U} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2$$

已知末端参数:  $\Delta U = \frac{P'_2 R + Q'_2 X}{U_2}$ ,  $\delta U = \frac{P'_2 X - Q'_2 R}{U_2}$

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}, \quad \delta_1 = \text{tg}^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

已知首端参数:  $\Delta U = \frac{P'_1 R + Q'_1 X}{U_1}$ ,  $\delta U = \frac{P'_1 X - Q'_1 R}{U_1}$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + (\delta U)^2}, \quad \delta_2 = \text{tg}^{-1} \frac{-\delta U}{U_1 - \Delta U}$$

## ■ 电压指标: 电压降落、电压损耗、电压偏移

# 本章小结

---

## ■ 电能损耗:

$$\Delta W = \Delta P_{\max} \tau_{\max}$$

## □ 工程算法

# 本章小结

---

- 简单电网潮流计算：
  - 辐射型网络：三种情况
  - 环形网络：
    - 第一步：网络化简
    - 第二步：功率初分布
    - 第三步：从功率分点解环
    - 第四步：求解辐射形网络潮流