



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

电力线路运行状况的计算

主讲：田行军

# CH3. 简单电力网络的计算与分析



在线开放课程

- 需掌握的问题
1. 什么是电力系统潮流?
  2. 如何计算电压降落和功率损耗?
  3. 如何手工计算潮流?

# CH3. 简单电力网络的计算与分析

## 潮流计算的目的及内容

稳态计算——不考虑发电机的参数——电力网计算（潮流计算）

潮流计算

给定	{	负荷 (P, Q)
		发电机 (P, V) 或 (P, Q)
求	{	各母线电压
		各条线路中的功率及损耗

计算目的

{	用于电网规划——选接线方式、电气设备、导线截面
	用于运行指导——确定运行方式、供电方案、调压措施
	用于继电保护——整定、设计

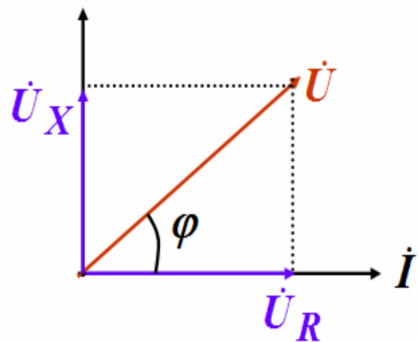
# CH3. 简单电力网络的计算与分析

## 预备知识

### 1. 有功功率 (active power)

$$P = UI \cos \varphi$$

有功功率是同相的 $UI$ 乘积，无功功率是相位差为 $90^\circ$ 的 $UI$ 乘积。



$\dot{U}_R$ 为 $\dot{U}$ 的有功分量

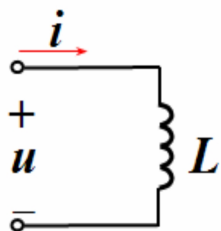
$\dot{U}_X$ 为 $\dot{U}$ 的无功分量

$$U_R I = P \rightarrow P = UI \cos \varphi$$

$$U_X I = Q \rightarrow Q = UI \sin \varphi$$

# CH3. 简单电力网络的计算与分析

## 2. 无功功率 (reactive power) $Q$

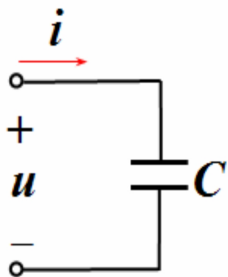


def

$$Q = UI \sin \varphi \quad \text{单位: var}$$

$$Q_L = UI \sin \varphi = UI \sin 90^\circ = UI > 0$$

表示网络吸收无功功率;



$$Q_C = UI \sin \varphi = UI \sin (-90^\circ) = -UI < 0$$

表示网络发出无功功率。

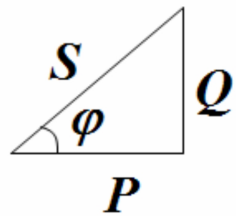
同一电路中, 电感、电容的无功可互相补偿

# CH3. 简单电力网络的计算与分析

## 3. 视在功率 (表观功率) **Apparent power**

**def**  
 $S = UI$       单位: VA (伏安)

有功, 无功, 视在功率的关系:



功率三角形

$$P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi$$

$$S = UI$$

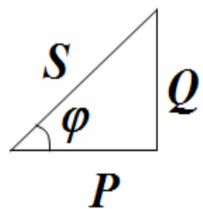
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

# CH3. 简单电力网络的计算与分析

## 4. 复功率 *complex power*

共轭复数

定义:  $\overline{S}_{\text{吸}} = UI^*$  单位 VA

功率三角

$$\tilde{S} = U \angle \psi_u \cdot I \angle -\psi_i = UI \angle \varphi$$

$$= UI \cos \varphi + j UI \sin \varphi$$

$$\varphi = \psi_u - \psi_i$$

$$= P + jQ = S \angle \varphi$$

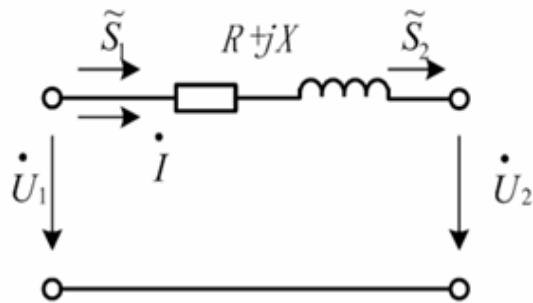
$$\Rightarrow \tilde{S} = 3\tilde{S}_\varphi = \sqrt{3}UI \cos \varphi + j\sqrt{3}UI \sin \varphi = P + jQ$$

# CH3. 简单电力网络的计算与分析

重要公式  $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$

$$\tilde{S} = P + jQ$$

$$I^2 = \left(\frac{S}{U}\right)^2$$



$$\begin{aligned}\Delta\tilde{S} &= \dot{U}\dot{I}^* = \dot{I}(R + jX)\dot{I}^* = I^2(R + jX) \\ &= \left(\frac{S}{U}\right)^2(R + jX) = \left(\frac{P^2 + Q^2}{U^2}\right)(R + jX)\end{aligned}$$

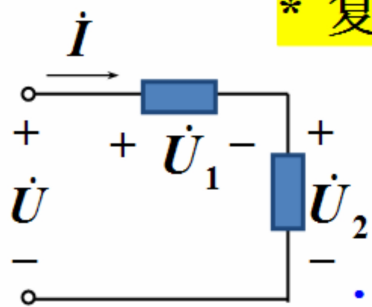


# CH3. 简单电力网络的计算与分析

**复功率守恒定理：**在正弦稳态下，任一电路的所有支路吸收的复功率之和为零。即

$$\sum_{k=1}^b (P_k + jQ_k) = 0 \quad \begin{cases} \sum_{k=1}^b P_k = 0 & \text{有功守恒} \\ \sum_{k=1}^b Q_k = 0 & \text{无功守恒} \end{cases}$$

\* 复功率守恒，视在功率不守恒。



$$\begin{aligned} \bar{S} &= \dot{U}\dot{I}^* = (\dot{U}_1 + \dot{U}_2)\dot{I}^* \\ &= \dot{U}_1\dot{I}^* + \dot{U}_2\dot{I}^* = \bar{S}_1 + \bar{S}_2 \end{aligned}$$

$$\because U \neq U_1 + U_2 \quad \therefore S \neq S_1 + S_2$$

# CH3. 简单电力网络的计算与分析



在线开放课程

引入复功率的好处:

1、物理意义明确: 功率三角形关系的复数形式

- ☞ 实部为有功功率
- ☞ 虚部为无功功率
- ☞ 幅角为功率因数角
- ☞ 模是视在功率

2、计算方便: 在电路计算中, 复功率可以相加, 而视在功率不能直接相加

# 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

# 3.1 电力线路运行状况的计算

## 1、电力线路功率的计算

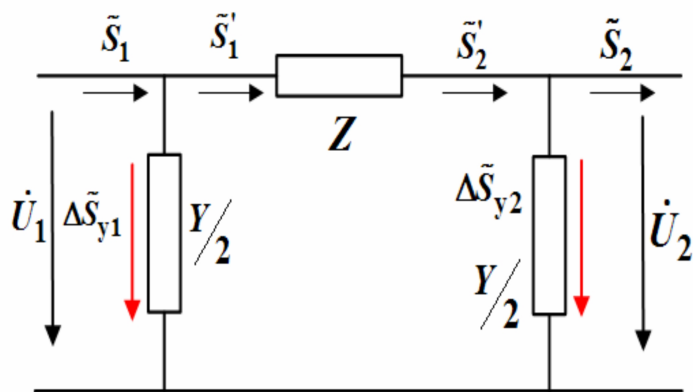
已知：首端电压  $\dot{U}_1$ ，首端功率  $S_1 = P_1 + jQ_1$ ，以及线路参数。

求：线路中的功率损耗、末端电压和功率。

解过程：从首端向末端推导。

①首端导纳支路的功率  $\Delta \bar{S}_{y1}$

$$\begin{aligned}\Delta \tilde{S}_{y1} &= \left(\frac{Y}{2} \dot{U}_1\right)^* \dot{U}_1 \\ &= \frac{1}{2} G \dot{U}_1^2 - \frac{1}{2} j B \dot{U}_1^2 \\ &= \Delta P_{y1} - j \Delta Q_{y1}\end{aligned}$$



## 3.1 电力线路运行状况的计算

### ② 阻抗支路首端功率

$$\tilde{S}'_1 = \tilde{S}_1 - \Delta\tilde{S}_{y1} = (P_1 + jQ_1) - (\Delta P_{y1} - j\Delta Q_{y1}) = P'_1 + jQ'_1$$

### ③ 阻抗支路中损耗的功率

$$\begin{aligned}\Delta\tilde{S}_z &= \left(\frac{S'_1}{U_1}\right)^2 Z = \frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} (R + jX) \\ &= \frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} R + j\frac{P_1'^2 + Q_1'^2}{U_1^2} X = \Delta P_Z + j\Delta Q_Z\end{aligned}$$

### ④ 阻抗支路末端功率

$$\tilde{S}'_2 = \tilde{S}'_1 - \Delta\tilde{S}_Z = (P'_1 + jQ'_1) - (\Delta P_Z + j\Delta Q_Z) = P'_2 + jQ'_2$$

## 3.1 电力线路运行状况的计算

⑤ 末端导纳支路的功率

$$\Delta \tilde{S}_{y2} = \left( \frac{Y}{2} \dot{U}_2 \right)^* \dot{U}_2 = \frac{1}{2} G U_2^2 - \frac{1}{2} j B U_2^2 = \Delta P_{y2} - j \Delta Q_{y2}$$

⑥ 末端功率

$$\tilde{S}_2 = \tilde{S}'_2 - \Delta \tilde{S}_{y2} = \left( P'_2 + j Q'_2 \right) - \left( \Delta P_{y2} - j \Delta Q_{y2} \right) = P_2 + j Q_2$$

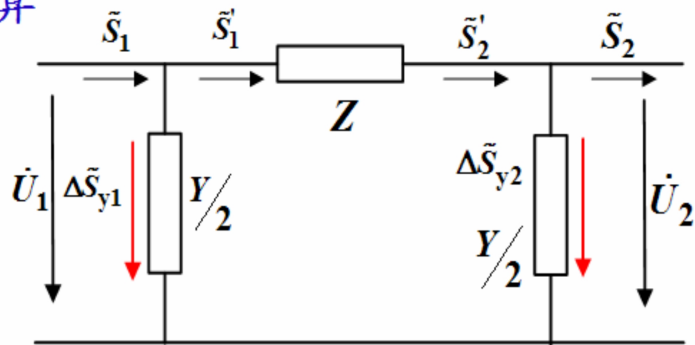
# 3.1 电力线路运行状况的计算

## 2、电力线路电压的计算

电压降落

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

$$\text{令: } \dot{U}_1 = U_1 \angle 0^\circ$$



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

$$= \left( U_1 - \frac{P'_1 R + Q'_1 X}{U_1} \right) - j \left( \frac{P'_1 X - Q'_1 R}{U_1} \right) = (U_1 - \Delta U) - j\delta U$$

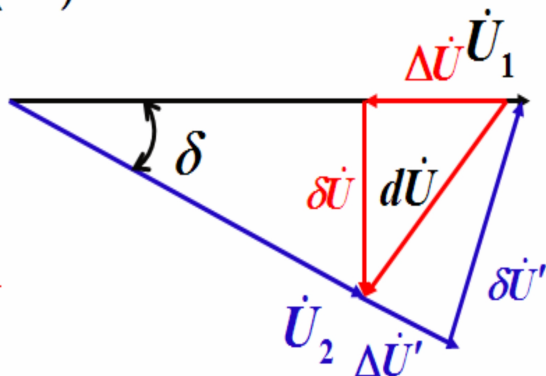
# 3.1 电力线路运行状况的计算

其幅值为:

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

相角为:  $\delta = \tan^{-1} \frac{-\delta U}{U_1 - \Delta U}$

简化为:  $U_2 \approx (U_1 - \Delta U) + \frac{(\delta U)^2}{2U_1}$



## 3、从末端向始端推导

已知: 末端电压  $U_2$ , 末端功率  $S_2 = P_2 + jQ_2$ , 以及线路参数。

求: 线路中的功率损耗、始端电压和功率。

功率的求取与上相同, 注意功率的流向。



## 3.1 电力线路运行状况的计算

电压的求取应注意符号，令： $\dot{U}_2 = U_2 \angle 0^\circ$

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

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

$$\dot{U}_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}, \quad \delta = \tan^{-1} \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U}$$

# 3.1 电力线路运行状况的计算

## 4、电压质量指标

①**电压降落**：指线路始末两端电压的**相量差**。为相量。

②**电压损耗**：指线路始末两端电压的**数值差**。为数值。

标量以百分值表示：

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

## 3.1 电力线路运行状况的计算

③ **电压偏移**: 指线路始端或末端电压与线路额定电压的数值差。为数值。标量以百分值表示:

$$\text{始端电压偏移 \%} = \frac{U_1 - U_N}{U_N} \times 100\%$$

$$\text{末端电压偏移 \%} = \frac{U_2 - U_N}{U_N} \times 100\%$$

④ **电压调整**: 指线路末端空载与负载时电压的数值差。为数值。标量以百分值表示:

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

# 3.1 电力线路运行状况的计算

## 5、电能经济指标

- ① **输电效率**：指线路末端输出有功功率与线路始端输入有功功率的比值，以百分数表示：

$$\text{输电效率 \%} = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

- ② **线损率或网损率**：线路上损耗的电能与线路始端输入的电能的比值

$$\text{线损率 \%} = \frac{\Delta W_z}{W_1} \times 100\% = \frac{\Delta W_z}{W_2 + \Delta W_z} \times 100\%$$

# 小结

- 介绍了电力线路的功率、电压计算；
- 介绍了电压和电能质量指标。

