电路理论

——正弦稳态电路的功率

主讲人：刘旭

电气与电子工程学院

本章学习内容

11.2 瞬时功率

11.3 有功功率与无功功率

11.4 视在功率及功率因数

11.5 复功率及功率守恒

11.6 功率因数校正

11.7 最大有功功率传输

11.8 有功功率测量

讲授学时：4

本章学习目标与难点

目标

1.掌握<u>有功功率</u>、<u>无功功率</u>、<u>视在功率</u>、<u>复功率</u>和功率因素的含义及其计算

2.掌握功率因素校正方法、意义及其计算

3. 掌握最大有功功率传输条件及其应用

4. 掌握有功功率的测量方法

难点

无功功率的含义、功率因素校正计算

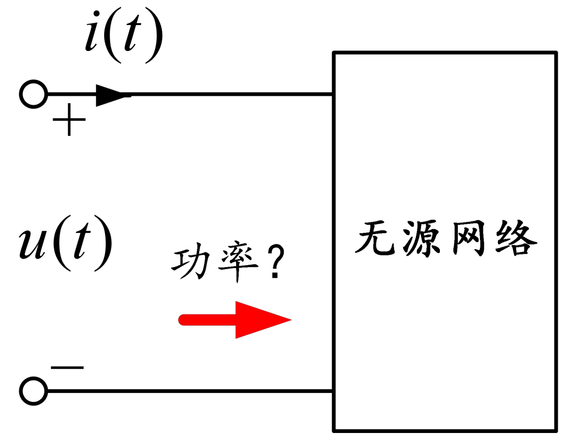
11.2 瞬时功率

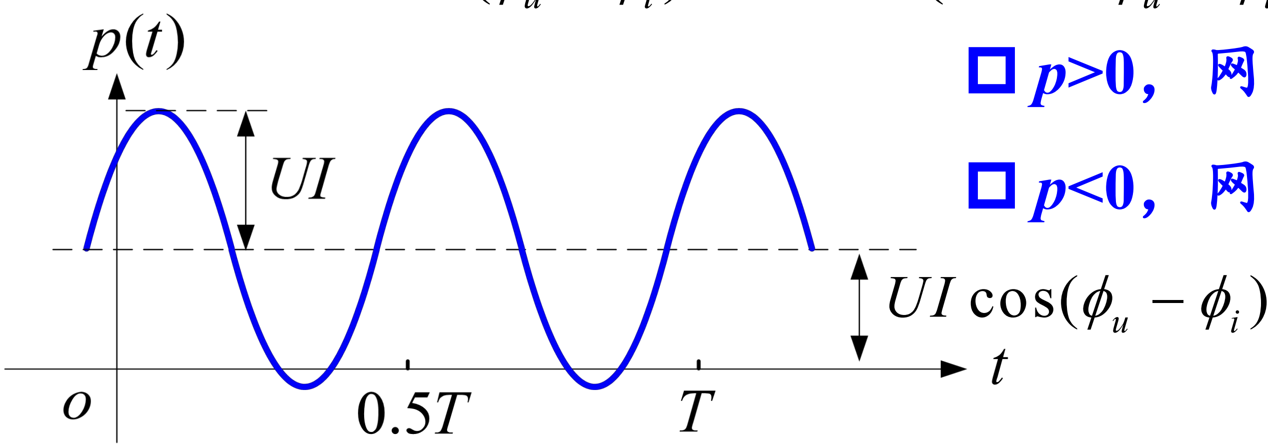
瞬时功率：元件或一端口网络在某时刻的功率

$$u(t)=\sqrt{2}U\cos(\omega t+\phi_u)$$

$$i(t)=\sqrt{2}I\cos(\omega t+\phi_i)$$

$$\begin{aligned}p(t)&=u(t)i(t)\\&=2UI\cos(\omega t+\phi_u)\cos(\omega t+\phi_i)\\&=UI\cos(\phi_u-\phi_i)+UI\cos(2\omega t+\phi_u+\phi_i)\ \ \mathrm{W}\end{aligned}$$





- $p>0$，网络吸收功率
- $p<0$，网络发出功率

无源网络从哪里提供功率?

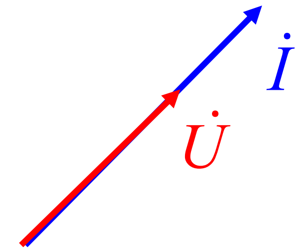
11.2 瞬时功率

元件的瞬时功率

$$p(t) = UI\cos(\phi_u - \phi_i) + UI\cos(2\omega t + \phi_u + \phi_i) \quad \text{W}$$

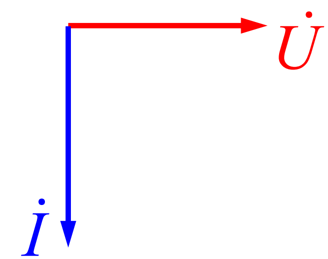
- 电阻 $\phi_u - \phi_i = 0°$

$$p(t) = UI[1 + \cos(2\omega t + 2\phi_i)]$$



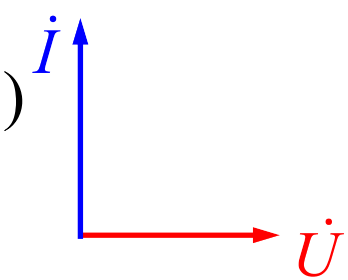
- 电感 $\phi_u - \phi_i = 90°$

$$p(t) = UI\cos(90°) + UI\cos(2\omega t + 2\phi_i + 90°)$$
$$= -UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$$



- 电容 $\phi_u - \phi_i = -90°$

$$p(t) = UI\cos(-90°) + UI\cos(2\omega t + 2\phi_i - 90°)$$
$$= UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$$



11.2 瞬时功率

元件的瞬时功率

$R \quad p_R(t) = UI[1+\cos(2\omega t+2\phi_i)] \geq 0$　　消耗功率

$L \quad p_L(t) = -UI\sin 2(\omega t+\phi_i)$　可正可负　　交换功率

$C \quad p_C(t) = UI\sin 2(\omega t+\phi_i)$　可正可负　　交换功率

- 电阻总是吸收功率，电感、电容吸收功率与发出功率交替进行，且一个周期内平均功率为零
- 电阻、电感、电容的瞬时功率以2ω频率变化
- 电感、电容吸收的瞬时功率存在互补作用

11.2 瞬时功率

元件的瞬时功率

R $p_R(t) = UI[1+\cos(2\omega t + 2\phi_i)] \geq 0$ 消耗功率

L $p_L(t) = -UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$ 可正可负 交换功率

C $p_C(t) = UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$ 可正可负 交换功率

$$p(t) = UI\cos(\phi_u - \phi_i) + UI\cos(2\omega t + \phi_u + \phi_i)$$

$$= UI\cos(\phi_u - \phi_i) + UI\cos(2\omega t + 2\phi_i + \phi_u - \phi_i)$$

$$= \underline{UI\cos(\phi_u - \phi_i)[1+\cos 2(\omega t + \phi_i)]} - \underline{UI\sin(\phi_u - \phi_i)\sin 2(\omega t + \phi_i)}$$

吸收功率 交换功率

$$= \underbrace{UI\cos\varphi[1+\cos 2(\omega t + \phi_i)]}_{p_R(t)} - \underbrace{UI \quad \varphi \quad n\,2(\omega t + \phi_i)}_{p_X(t)}$$

11.2 瞬时功率

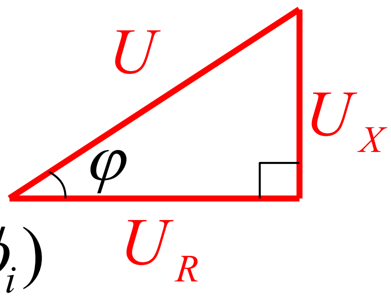
$$p(t) = UI\cos(\phi_u - \phi_i) + UI\cos(2\omega t + \phi_u + \phi_i)$$

$$= UI\cos(\phi_u - \phi_i) + UI\cos(2\omega t + 2\phi_i + \phi_u - \phi_i)$$

$$= UI\cos(\phi_u - \phi_i)[1 + \cos 2(\omega t + \phi_i)] - UI\sin(\phi_u - \phi_i)\sin 2(\omega t + \phi_i)$$

$$= p_R(t) + p_X(t)$$

$$\varphi = \phi_u - \phi_i$$



$$p_R(t) = u_R(t)i(t) \qquad \dot{U}_R = U\cos\varphi\angle\phi_i$$

$$= \sqrt{2}U\cos(\phi_u - \phi_i)\cos(\omega t + \phi_i)\cdot\sqrt{2}I\cos(\omega t + \phi_i)$$

$$= UI\cos(\phi_u - \phi_i)[1 + \cos 2(\omega t + \phi_i)]$$

$$p_X(t) = u_X(t)i(t) \qquad \dot{U}_X = U\left|\sin\varphi\right|\angle\phi_i \pm 90^\circ$$

$$= \sqrt{2}U\left|\sin(\phi_u - \phi_i)\right|\cos(\omega t + \phi_i \pm 90^\circ)\cdot\sqrt{}\,I\,\mathrm{c}\qquad \omega t + \phi_i$$

$$= -UI\sin(\phi_u - \phi_i)\sin 2(\omega t + \phi_i)$$

11.3 有功功率和无功功率

$$p(t)=\underbrace{UI\cos(\phi_u-\phi_i)[1+\cos 2(\omega t+\phi_i)]}_{\text{吸收功率}}-\underbrace{UI\sin(\phi_u-\phi_i)\sin 2(\omega t+\phi_i)}_{\text{交换功率}}$$

有功功率(*real power*)：瞬时功率的平均值，也称平均功率

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)\mathrm{d}t=UI\cos(\phi_u-\phi_i)=UI\cos\varphi$$ 单位：W（瓦）

$\cos\varphi$：功率因数　　φ：功率因数角，无源网络中等于阻抗角

无功功率(*reactive power*)：交换功率的幅值　非无用的功！

$$Q=UI\sin(\phi_u-\phi_i)$$
$$=UI\sin\varphi$$

单位：var（乏）

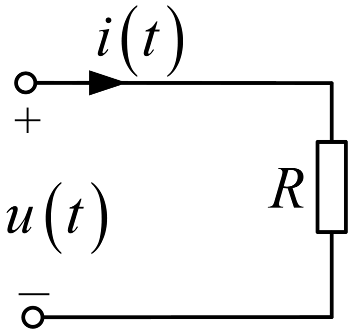
- $Q>0$，表示网络吸收无功功率；
- $Q<0$，表示网络发出无功功率。

11.3 有功功率和无功功率

R、*L*、*C*元件的有功功率和无功功率

$$P = UI\cos\varphi$$

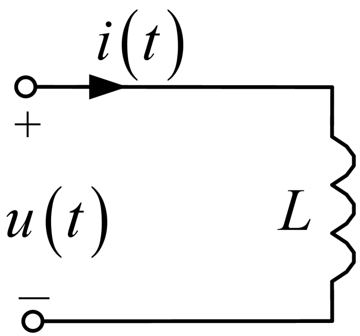
$$Q = UI\sin\varphi$$



$$\phi_u - \phi_i = 0°$$

$$P_R = UI\cos\varphi = UI\cos 0° = UI = I^2 R$$

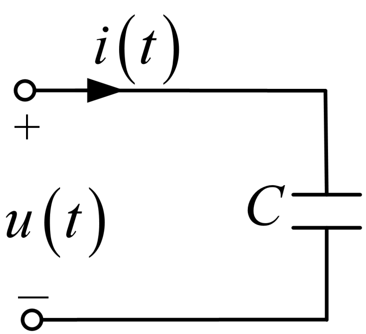
$$Q_R = UI\sin\varphi = UI\sin 0° = 0$$



$$\phi_u - \phi_i = 90°$$

$$P_L = UI\cos\varphi = UI\cos 90° = 0$$

$$Q_L = UI\sin\varphi = UI\sin 90° = UI = I^2 X_L$$

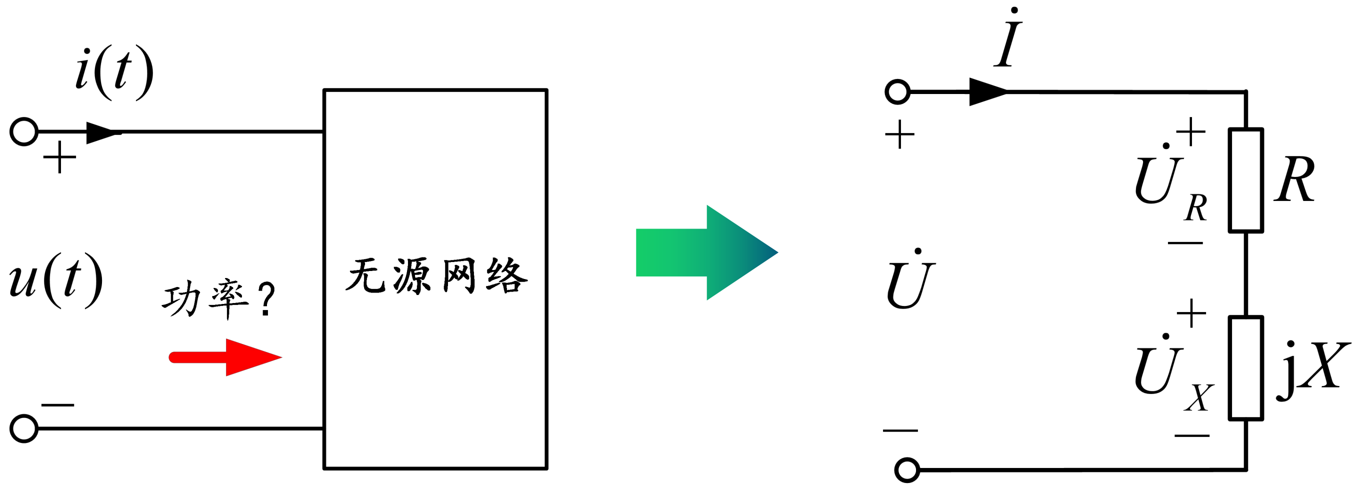


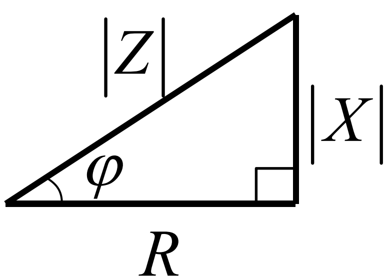
$$\phi_u - \phi_i = -90°$$

$$P_C = UI\cos\varphi = UI\cos(-90°) = 0$$

$$Q_C = UI\sin\varphi = UI\sin(-90°) = -UI = -I^2 X_C$$

11.3 有功功率和无功功率

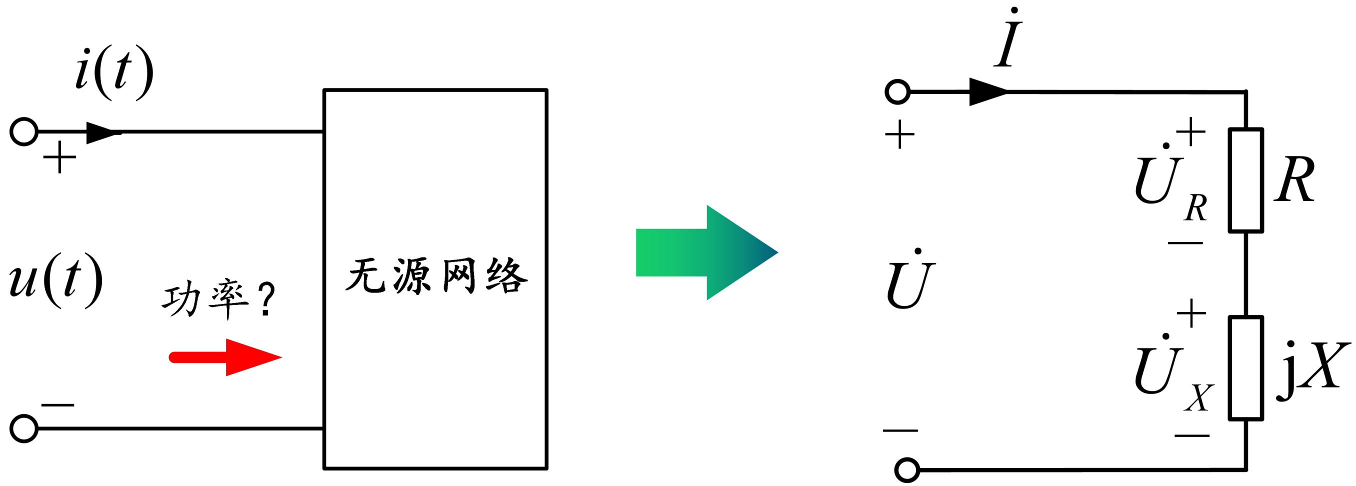


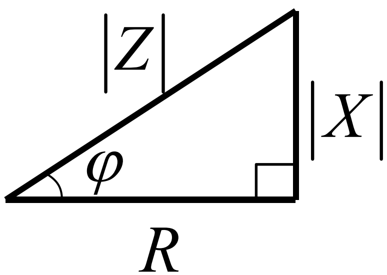


$$
\begin{aligned}
P &= UI\cos\varphi \\
&= |Z|I \cdot I\cos\varphi \\
&= I^2|Z|\cos\varphi \\
&= I^2 R
\end{aligned}
$$

- 有功功率实际上是消耗在电阻上的功率
- 有功功率守恒：电路中所有元件吸收的有功功率代数和为零。

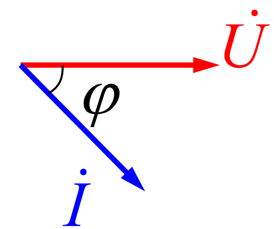
11.3 有功功率和无功功率





$$Q = UI\sin\varphi$$
$$= |Z| I \cdot I \sin\varphi$$
$$= I^2 |Z| \sin\varphi$$
$$= I^2 X$$
$$= I^2 (X_L - X_C)$$

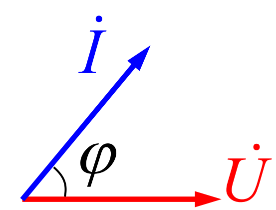
$X > 0 \Rightarrow \varphi > 0$



呈感性

$\varphi_i < \varphi_u$ **滞后功率因素**

$X < 0 \Rightarrow \varphi < 0$



呈容性

$\varphi_i > \varphi_u$ **超前功率因素**

11.3 有功功率和无功功率

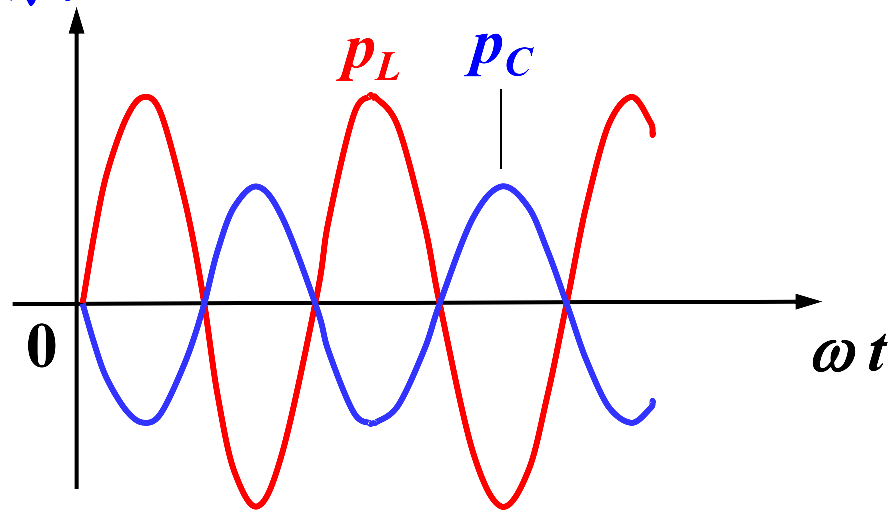
电感、电容的无功补偿作用：

$$p_L(t) = -UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$$

$$p_C(t) = UI\sin 2(\omega t + \phi_i)$$

C发出功率 → L吸收功率

L发出功率 → C吸收功率



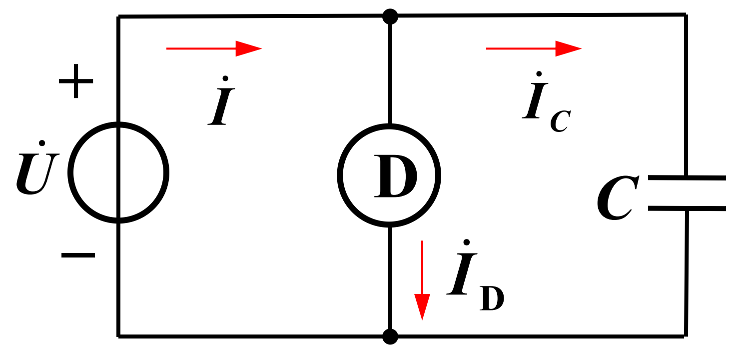
无功的物理意义：反映电源与负载之间交换能量的速率

$$Q_L = I^2 X_L = I^2 \omega L = \omega \cdot \frac{1}{2} L\left(\sqrt{2}I\right)^2 = \omega \cdot \frac{1}{2} L I_{\mathrm{m}}^2 = \frac{2\pi}{T} W_{\max}$$

$$Q_C = I^2 X_C = U^2 / X_C = \left(\sqrt{2}U\right)^2 \cdot \frac{1}{2}\omega C = \omega \cdot \frac{1}{2} C U_{\mathrm{m}}^2 = \frac{2\pi}{T} W_{\max}$$

11.6 功率因数校正

例11-1 已知：电动机 P_D=1000W，U=220V，f=50Hz，C=30μF，$\cos\varphi_D$=0.8(滞后）。求负载电路的功率因数。



解 设 $\dot{U} = 220\angle 0^\circ\ \text{V}$

$$I_D = \frac{P}{U\cos\varphi_D} = \frac{1000}{220\times 0.8} = 5.68\text{A}$$

$$\cos\varphi_D = 0.8(\text{滞后}) \Rightarrow \varphi_D = 36.9^\circ = \varphi_u - \varphi_i$$

$$\dot{I}_D = 5.68\angle -36.9^\circ\ \text{A} \qquad \dot{I}_C = \text{j}\omega C 220\angle 0^\circ = \text{j}2.08\ \text{A}$$

$$\dot{I} = \dot{I}_D + \dot{I}_C = 4.54 - \text{j}1.33 = 4.73\angle -16.3^\circ\ \text{A}$$

$$\therefore\quad \cos\varphi = \cos[0^\circ - (-16.3^\circ)] = 0.96\quad (\text{滞后})$$

11.4 视在功率

视在功率：有功功率的上限值　　**电气设备的容量**

$$S \overset{\text{def}}{=} UI$$ 单位：V·A（伏安）

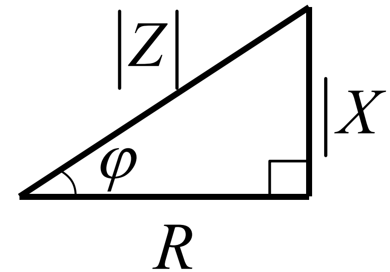
有功，无功，视在功率的关系：

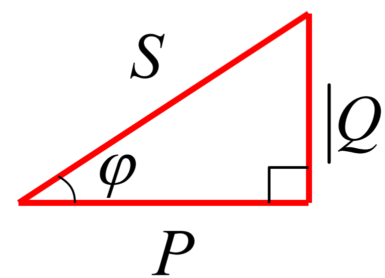
有功功率：$P = UI\cos\varphi$　单位：W

无功功率：$Q = UI\sin\varphi$　单位：var

视在功率：$S = UI$　　单位：V·A

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

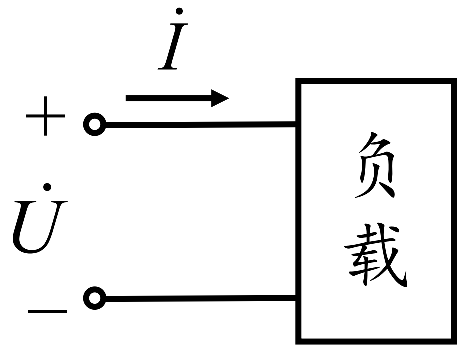




功率三角形

11.5 复功率

复功率：将有功功率、无功功率和视在功率综合成一个物理量



定义：$\overline{S} = \dot U \dot I^*$

单位：V·A（伏安）

$$\dot I = I\angle\phi$$
$$\dot I^* = I\angle-\phi$$
$$\dot I\cdot\dot I^* = I^2$$

$$\overline{S} = UI\angle(\phi_u-\phi_i) = UI\angle\varphi = S\angle\varphi$$

$$= UI\cos\varphi + \mathrm{j}UI\sin\varphi \quad = P + \mathrm{j}Q$$

$$\overline{S} = \dot U\dot I^* = Z\dot I\cdot\dot I^* = ZI^2 = (R+\mathrm{j}X)I^2 = I^2R + \mathrm{j}I^2X$$

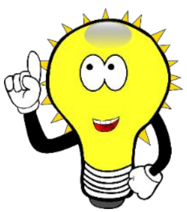
$$\overline{S} = \dot U\dot I^* = \dot U(\dot U Y)^* = \dot U\cdot\dot U^* Y^* = U^2 Y^*$$

注意 $\overline{S}$ 是复数，而不是相量，不对应任何正弦量

11.5 复功率

复功率守恒：在正弦稳态下，任一电路所有支路吸收的复功率之和为零。

$$\sum_{k=1}^{b} \bar{S}_k = \sum_{k=1}^{b} (P_k + \mathrm{j}Q_k) = 0 \rightarrow \begin{cases} \sum_{k=1}^{b} P_k = 0 & \text{有功功率守恒} \\ \sum_{k=1}^{b} Q_k = 0 & \text{无功功率守恒} \end{cases}$$

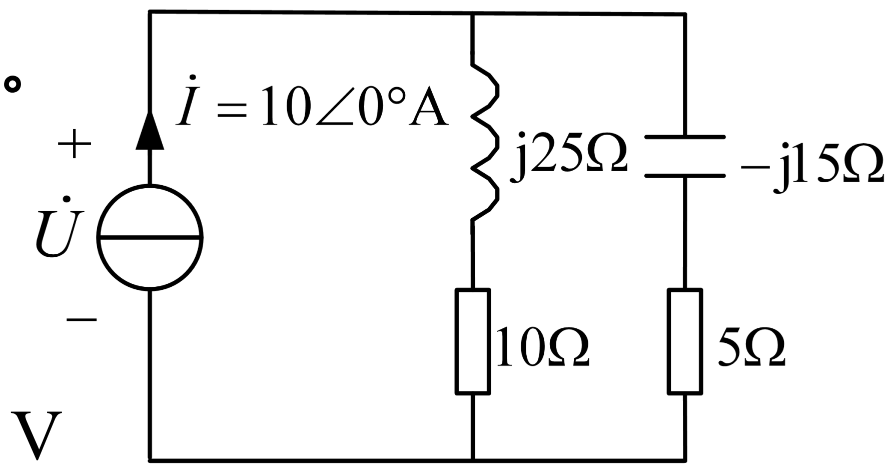


视在功率守恒？ 视在功率不守恒！！！

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

11.5 复功率

例11-2 求电路各支路的复功率。



解 $Z=(10+\text{j}25)\,||\,(5-\text{j}15)$

$$\dot{U}=10\angle 0^{\circ}\times Z \;=236\angle(-37.1^{\circ})\ \text{V}$$

$$\overline{S}_{发}=236\angle(-37.1^{\circ})\times 10\angle 0^{\circ}=1884-\text{j}1423\ \text{V}\cdot\text{A}$$

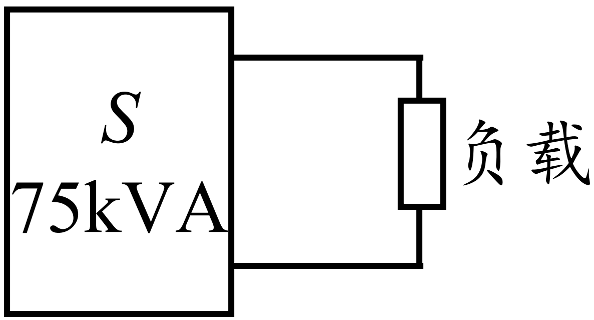
$$\overline{S}_{1吸}=U^2Y_1^*=236^2\left(\frac{1}{10+\text{j}25}\right)^*=768+\text{j}1923\ \text{V}\cdot\text{A}$$

$$\overline{S}_{2吸}=U^2Y_2^*=1116-\text{j}3346\ \text{V}\cdot\text{A}$$

$$\overline{S}_{1吸}+\overline{S}_{2吸}=\overline{S}_{发}$$

11.6 功率因数校正

功率因数：$0 \le \cos\varphi \le 1 \begin{cases} 1, & 纯电阻 \\ 0, & 纯电抗 \end{cases}$



$$P = UI\cos\varphi = S\cos\varphi$$

$$\cos\varphi = 1 \Rightarrow P = S = 75\text{kW}$$

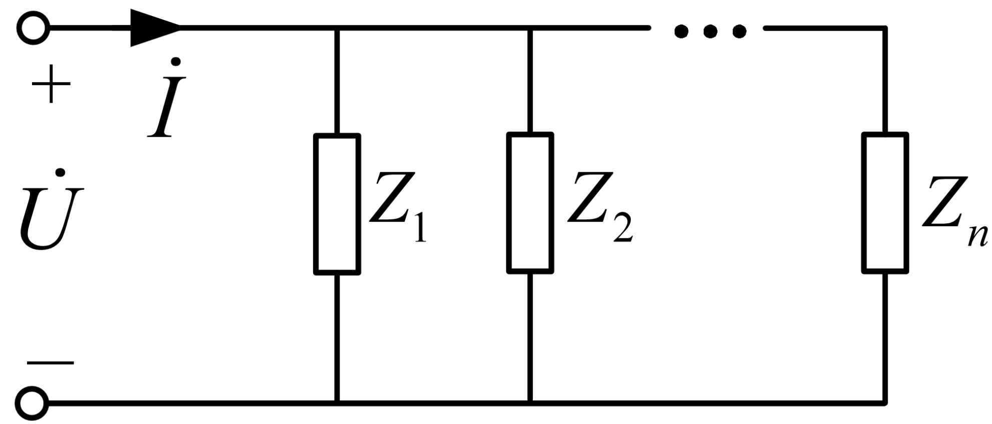
$$\cos\varphi = 0.7 \Rightarrow P = 0.75S = 52.5\text{kW}$$

- 设备容量 S (额定)向负载送多少有功功率由负载的阻抗角决定。
- 若负载的阻抗角较大或功率因素较小，则发电设备的利用率较低

e.g. 冰箱、空调、洗衣机、抽油烟机、风扇等的功率因数大致在0.83～0.87之间，日光灯功率因素 0.45~0.6

11.6 功率因数校正

从发电角度，当输出相同的有功功率时，线路上电流大，线路压降损耗大。



$$I = \frac{P}{U\cos\varphi}$$

→ 提高功率因素，减少电源与负载之间的功率交换

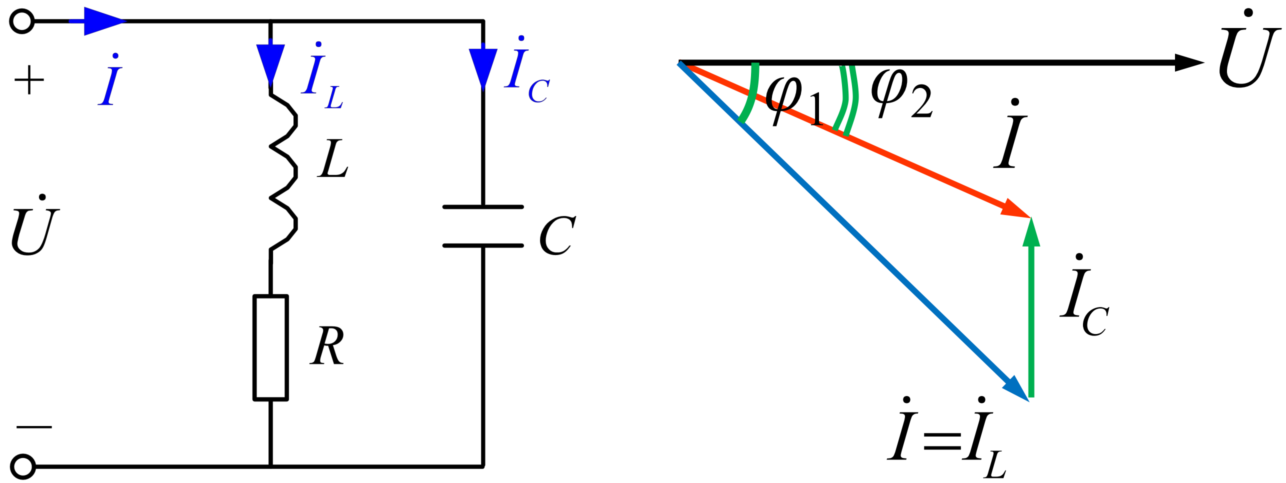
解决办法：（1）高压传输 $U\uparrow$

（2）改进自身设备 $\cos\varphi\uparrow$

（3）并联电容，提高功率因数

$$Q = UI\sin\varphi = I^2X = I^2(X_L - X_C)$$

11.6 功率因数校正



并联电容后，原负载的电压和电流不变，吸收的有功功率和无功功率不变，即：负载的工作状态不变，但电路的功率因数提高了。

11.6 功率因数校正

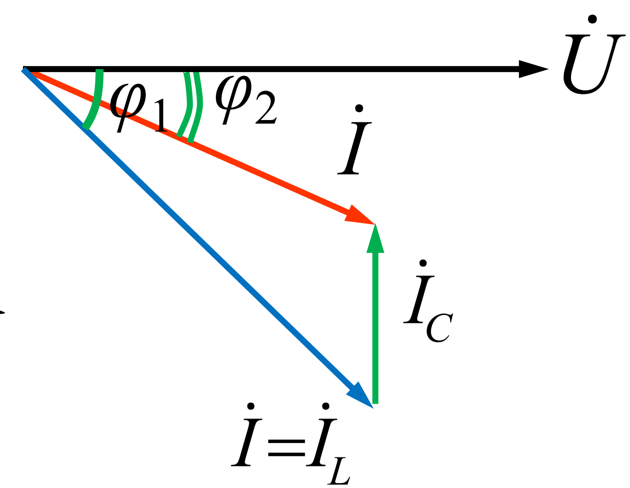
并联电容的确定：

$$I_C = I_L \sin\varphi_1 - I\sin\varphi_2$$

将$I_L = \dfrac{P}{U\cos\varphi_1}$，$I = \dfrac{P}{U\cos\varphi_2}$代入

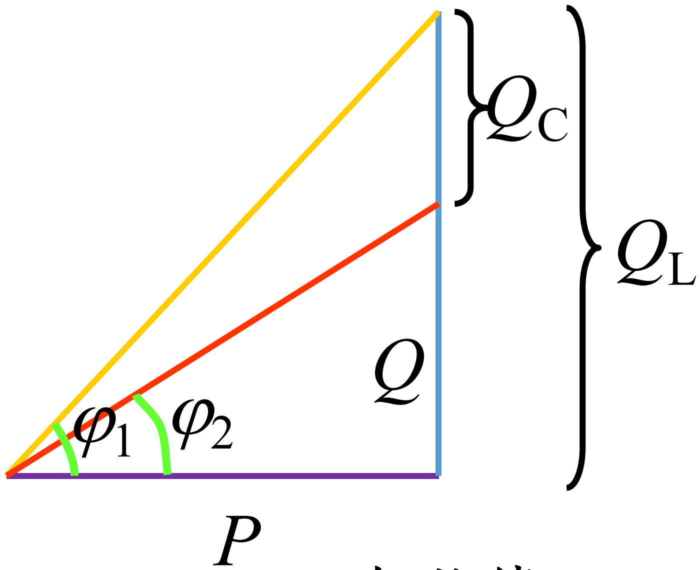
$$I_C = \frac{P}{U}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = \omega C U$$

$$\boxed{C = \frac{P}{\omega U^2}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)}$$



11.6 功率因数校正

并联电容也可以用功率三角形确定：



$$|Q_C| = |Q_L - Q| = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

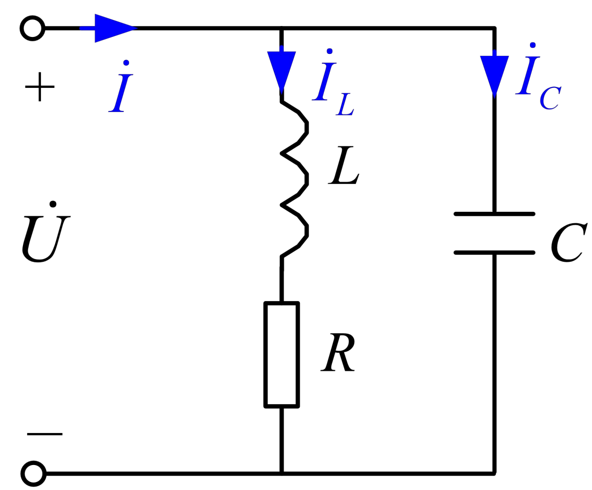
$$|Q_C| = U^2 Y = \omega C U^2$$

$$\Rightarrow C = \frac{P}{\omega U^2}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$$

补偿容量不同：
- 欠补偿
- 全补偿——不要求
  (电容设备投资增加，经济效果不明显)
- ~~过补偿——功率因数又由高变低(性质不同)~~

11.6 功率因数校正

例11-3 已知：f=50Hz, U=220V, P=10kW, $\cos\varphi_1$=0.6，要使功率因数提高到0.9，求并联电容C，并联前后电路的总电流各为多大？



解

$$\cos\varphi_1 = 0.6 \quad \Rightarrow \quad \varphi_1 = 53.13°$$

$$\cos\varphi_2 = 0.9 \quad \Rightarrow \quad \varphi_2 = 25.84°$$

$$C = \frac{P}{\omega U^2}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) = 557\ \mu\text{F}$$

未并电容时： $I = I_L = \dfrac{P}{U\cos\phi_1} = \dfrac{10\times10^3}{220\times0.6} = 75.8\text{A}$

并联电容后： $I = \dfrac{P}{U\cos\phi_2} = \dfrac{10\times10^3}{220\times0.9} = 50.5\text{A}$

11.6 功率因数校正

若要使功率因数从0.9再提高到0.95，试问还应增加多少并联电容，此时电路的总电流是多大？

$$\cos\varphi_1 = 0.9 \quad \Rightarrow \quad \varphi_1 = 25.84°$$

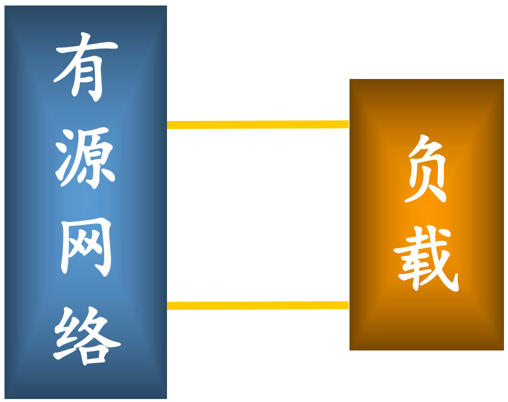
$$\cos\varphi_2 = 0.95 \quad \Rightarrow \quad \varphi_2 = 18.19°$$

$$C = \frac{P}{\omega U^2}(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \qquad\qquad I = \frac{10\times10^3}{220\times0.95} = 47.8\text{A}$$

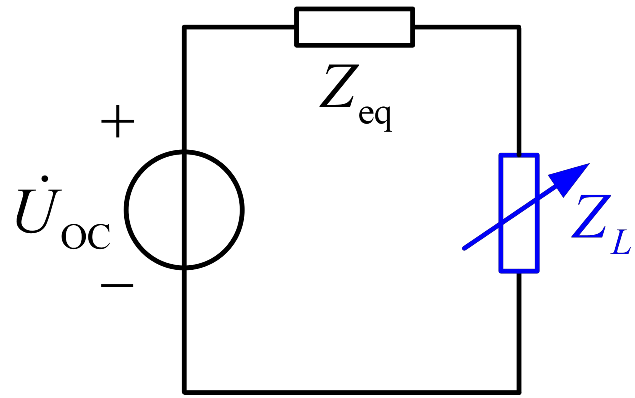
$$= \frac{10\times10^3}{314\times220^2}(\tan25.84° - \tan18.19°) = 103\ \mu\text{F}$$

$\cos\varphi$提高后，线路上总电流减少，但继续提高$\cos\varphi$所需电容很大，增加成本，总电流减小却不明显。因此，一般将$\cos\varphi$提高到0.9即可。

11.7 最大有功功率传输



等效电路



$$Z_{\text{eq}} = R_{\text{eq}} + \text{j}X_{\text{eq}} \qquad Z_L = R_L + \text{j}X_L$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{\text{OC}}}{Z_{\text{eq}} + Z_L} \Rightarrow I = \frac{U_{\text{OC}}}{\sqrt{(R_{\text{eq}} + R_L)^2 + (X_{\text{eq}} + X_L)^2}}$$

有功功率 $P = I^2 R_L = \dfrac{R_L U_{\text{OC}}^2}{(R_{\text{eq}} + R_L)^2 + (X_{\text{eq}} + X_L)^2}$

11.7 最大有功功率传输

负载获得最大有功功率$P_{\max}$的条件：

$$P=\frac{R_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(R_{\mathrm{eq}}+R_L)^2+(X_{\mathrm{eq}}+X_L)^2}$$

$$P_{\max}=\frac{U_{\mathrm{OC}}^2}{4R_{\mathrm{eq}}}$$

- 负载阻抗的实部、虚部分别任意可调

需记忆!

$$X_{\mathrm{eq}}+X_L=0 \quad \Rightarrow X_L=-X_{\mathrm{eq}}$$

$$P=\frac{R_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(R_{\mathrm{eq}}+R_L)^2}$$

回到电阻电路中求最大功率问题

$$\frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}R_L}=0 \quad \Rightarrow R_L=R_{\mathrm{eq}}$$

$$Z_L=R_L+\mathrm{j}X_L$$
$$=R_{\mathrm{eq}}-\mathrm{j}X_{\mathrm{eq}}=Z_{\mathrm{eq}}^*$$

共轭匹配

11.7 最大有功功率传输

➢ 负载阻抗角恒定、阻抗模任意可调

$$Z_L = R_L + \mathrm{j}X_L = |Z_L|\cos\varphi_L + \mathrm{j}|Z_L|\sin\varphi_L$$

$$P = \frac{R_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(R_{\mathrm{eq}} + R_L)^2 + (X_{\mathrm{eq}} + X_L)^2}$$

$$= \frac{|Z_L|\cos\varphi_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(R_{\mathrm{eq}} + |Z_L|\cos\varphi_L)^2 + (X_{\mathrm{eq}} + |Z_L|\sin\varphi_L)^2}$$

$$\frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}|Z_L|} = 0 \quad \Rightarrow |Z_L| = |Z_{\mathrm{eq}}|$$

该情况对应的最大功率可根据实际问题进行计算，无需记忆公式

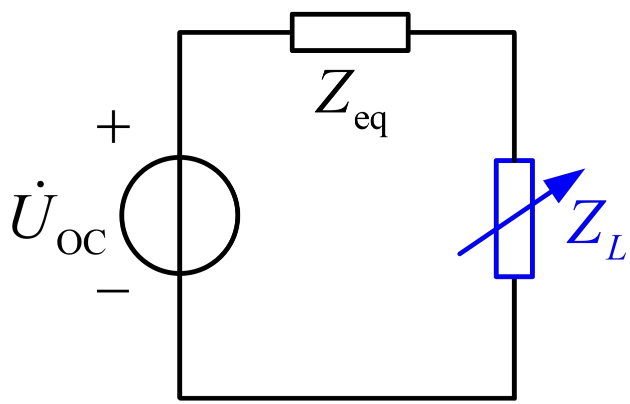
模相等匹配

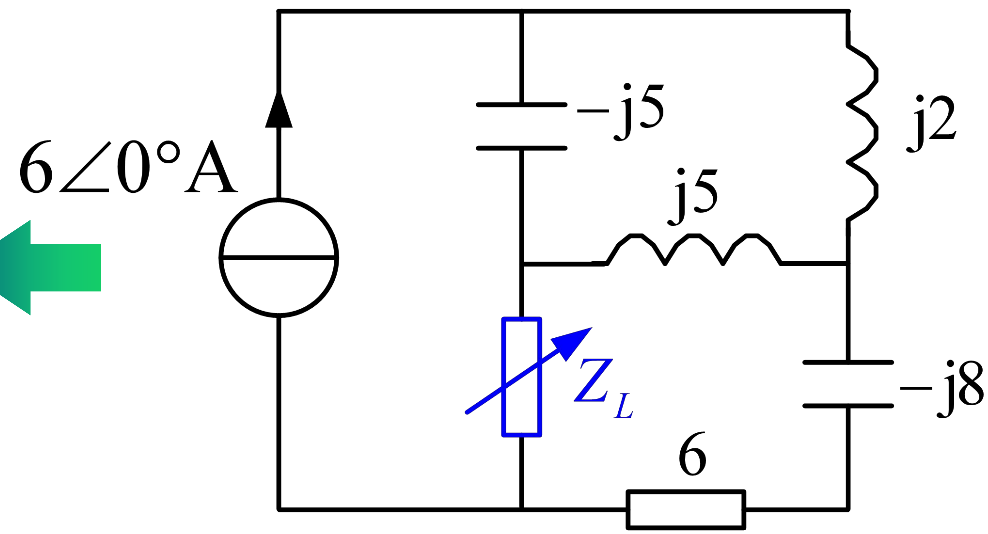
特例：$\varphi_L = 0$ 负载为纯电阻 $\Rightarrow R_L = |Z_{\mathrm{eq}}|$

11.7 最大有功功率传输

例11-4 图示正弦稳态电路，确定以下3种情况下最大有功功率传输条件和Z_L获得的最大有功功率：(1)Z_L任意可调；(2)Z_L为模值任意可调阻抗；阻抗角为60度(感性)；(3)Z_L调节范围为[(3+j5)Ω, (6+j10)Ω]，如何调节Z_L使其获得最大功率？

解 戴维南等效





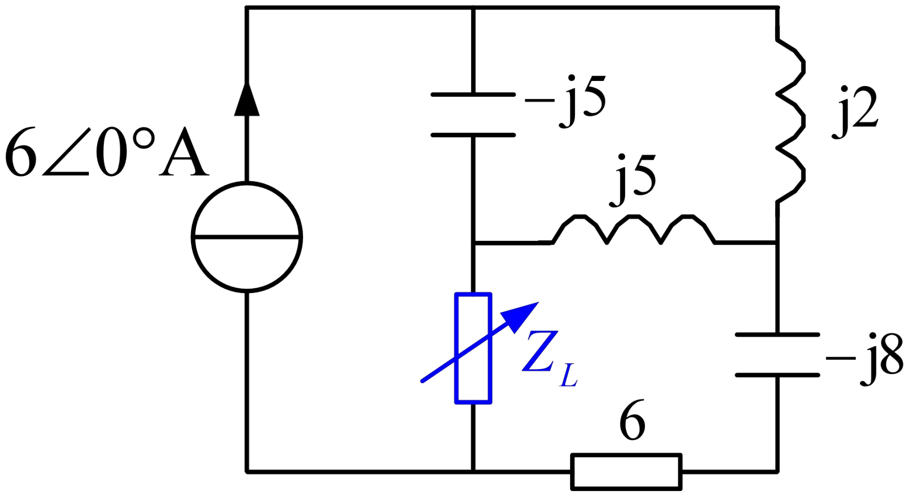
11.7 最大有功功率传输

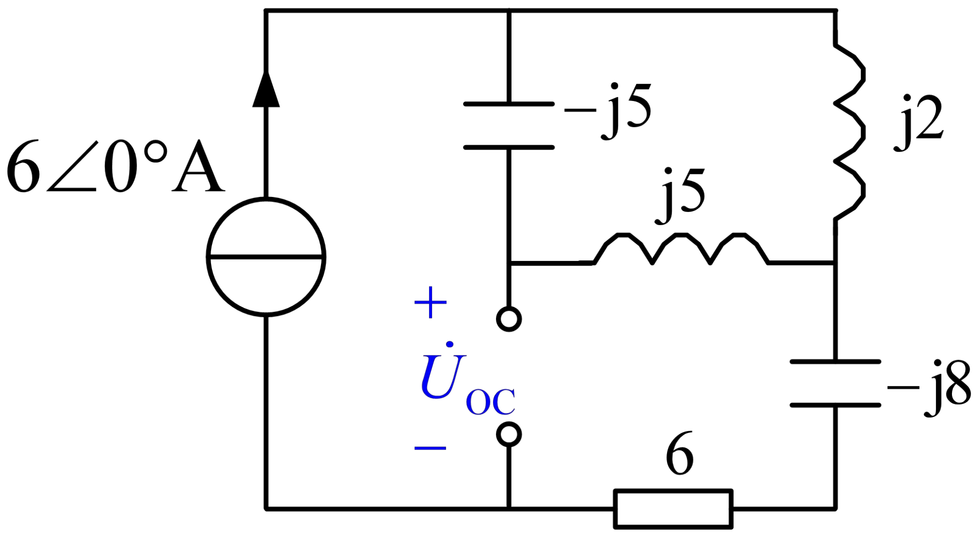
解 $\dot{U}_{OC} = (j5 - j8 + 6) \times 6\angle 0°$

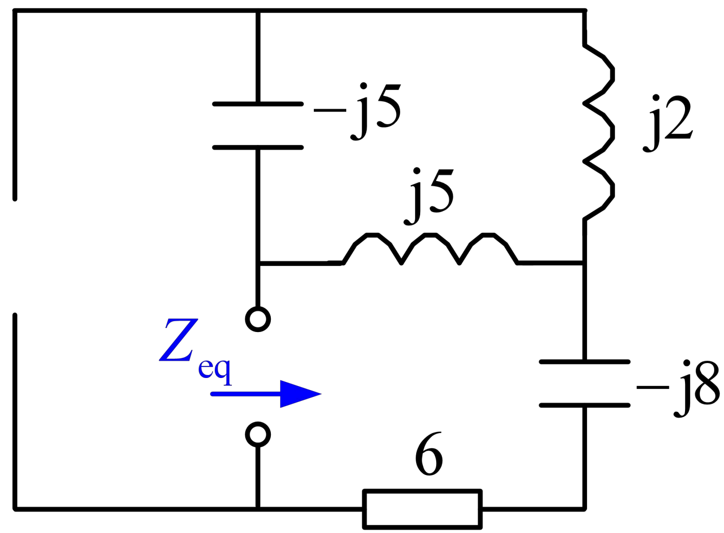
$= 40.25\angle -26.57°\text{V}$

$Z_{eq} = (-j5 + j2) \parallel j5 - j8 + 6$

$= 16.62\angle -68.84°\Omega$







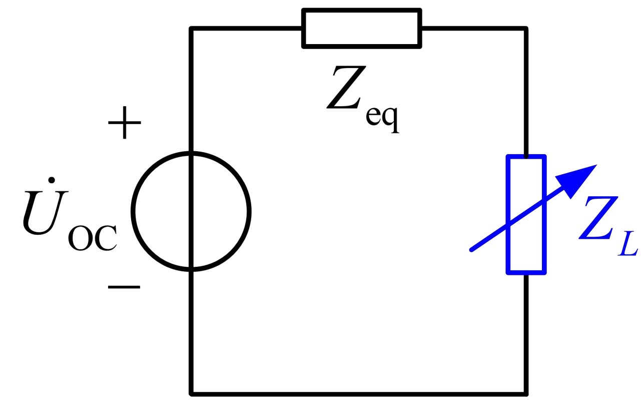
11.7 最大有功功率传输

(1) Z_L任意可调

解 共轭匹配时有功功率最大

$$Z_L = Z_{\text{eq}}^* = 16.62\angle 68.84^\circ = (6 + \text{j}15.5)\Omega$$

$$P_{\max} = \frac{U_{\text{OC}}^2}{4R_{\text{eq}}} = \frac{40.25^2}{4\times 6} = 67.5\text{W}$$



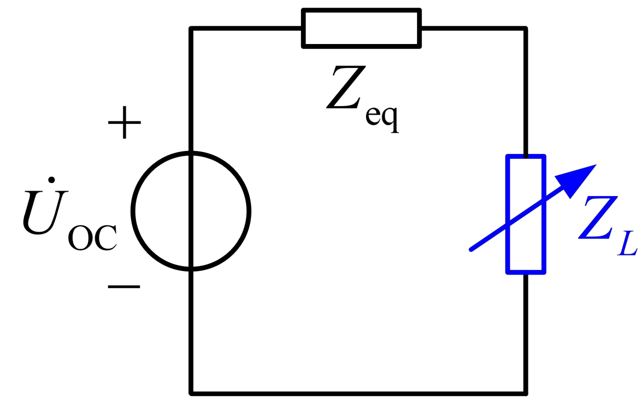
$$\dot{U}_{\text{OC}} = 40.25\angle -26.57^\circ\text{V}$$

$$Z_{\text{eq}} = 16.62\angle -68.84^\circ\Omega = (6 - \text{j}15.5)\Omega$$

11.7 最大有功功率传输

(2) Z_L为模值任意可调阻抗，阻抗角为60度(感性)

解 模相等时有功功率最大



$$|Z_L| = |Z_{eq}| = 16.62\Omega$$

$$Z_L = 16.62\angle 60° = (8.3 + \mathrm{j}14.39)\Omega$$

$$\dot{U}_{OC} = 40.25\angle -26.57°\mathrm{V}$$

$$Z_{eq} = 16.62\angle -68.84°\Omega = (6 - \mathrm{j}15.5)\Omega$$

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_{OC}}{Z_{eq} + Z_L} = \frac{40.25\angle -26.57°}{6 - \mathrm{j}15.5 + 8.3 + \mathrm{j}14.39} = 2.81\angle 59.43°\mathrm{A}$$

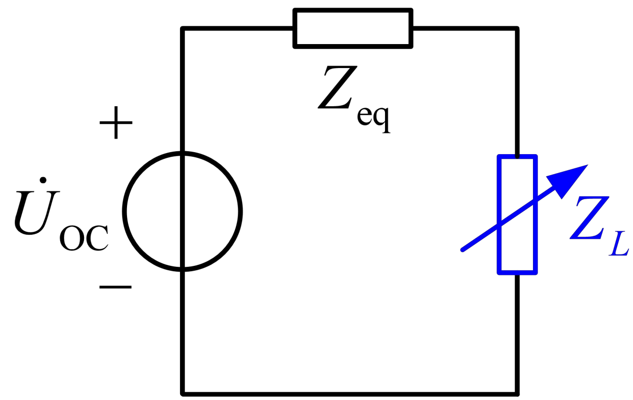
$$P_{max} = I^2 Z_L = 2.81^2 \times 8.3 = 65.53\mathrm{W}$$

11.7 最大有功功率传输

(3) Z_L调节范围为[(3+j5)Ω, (6+j10)Ω]

解

$$P=\frac{R_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(R_{\mathrm{eq}}+R_L)^2+(X_{\mathrm{eq}}+X_L)^2}$$



$X_{\mathrm{eq}}+X_L$ 尽量接近0 $\Rightarrow X_L=10\Omega$

$$P=\frac{R_L U_{\mathrm{OC}}^2}{(6+R_L)^2+(-5.5)^2}$$

$$\dot{U}_{\mathrm{OC}}=40.25\angle-26.57°\mathrm{V}$$

$$Z_{\mathrm{eq}}=16.62\angle-68.84°\Omega$$

$$=(6-\mathrm{j}15.5)\Omega$$

$$=\frac{U_{\mathrm{OC}}^2}{R_L+\dfrac{66.25}{R_L}+12}$$

[3, 6]内单调递减

$\Rightarrow R_L=6\Omega$

$Z_L=(6+\mathrm{j}10)\Omega$

$$P_{\max}=\frac{40.25^2}{6+\dfrac{66.25}{6}+12}=55.78\mathrm{W}$$

11.8 有功功率测量

☞ 瓦特表

*

电压接线端
与
量限调节旋钮

*

电流接线端
与
量限调节旋钮

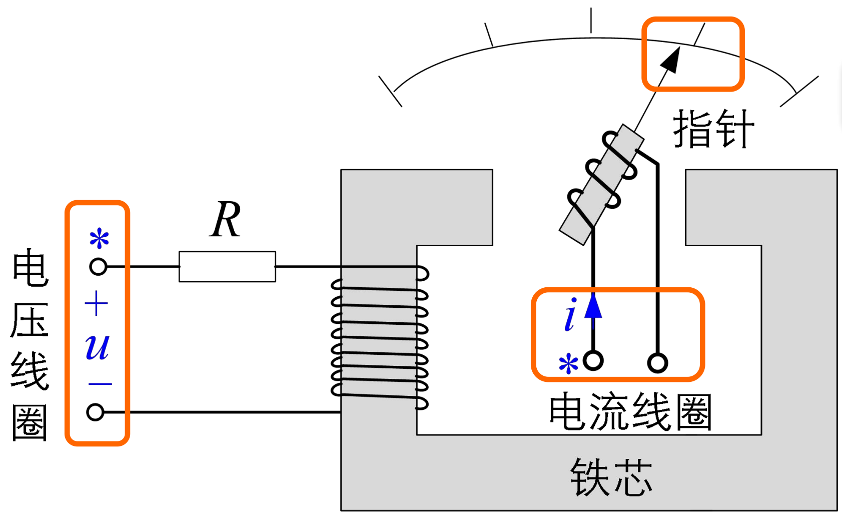
瓦特表读数是有功功率！

$$\boxed{P =}\frac{1}{T}\int_0^T ui\mathrm{d}t$$

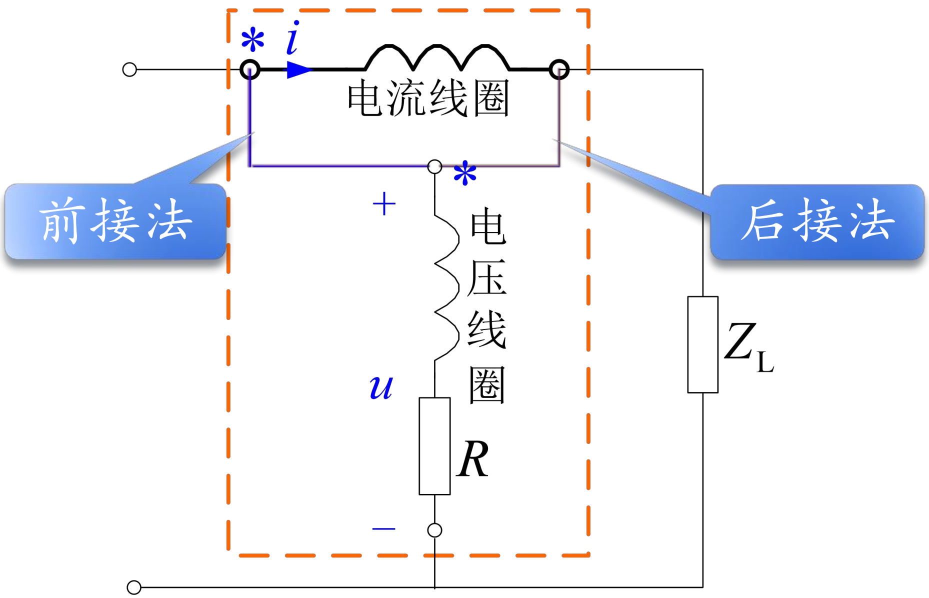
$$= \boxed{\mathrm{Re}[\dot{U} \times \dot{I}^*]}$$

11.8 有功功率测量

☞电动式瓦特表原理



☞瓦特表的接线方式



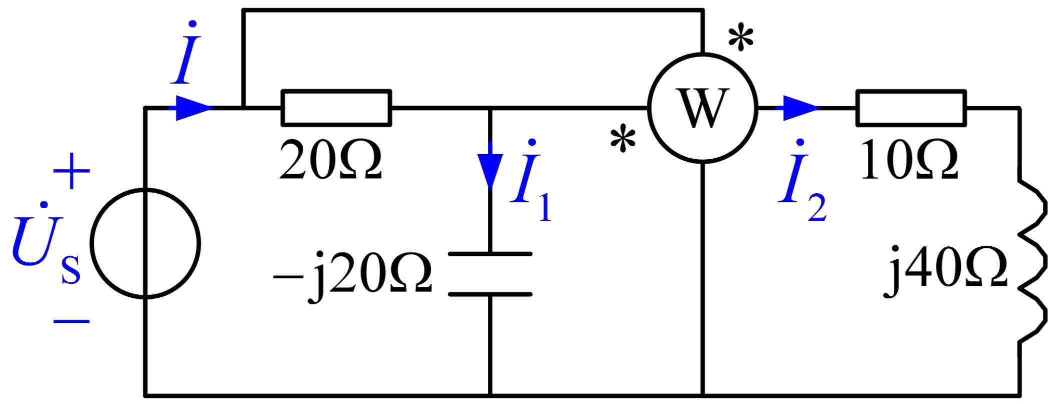
电流线圈与负载**串联**

电压线圈与负载**并联**

11.8 有功功率测量

例11-5 U_S=120V，求电压源提供的功率及瓦特表的读数。

解 设 $\dot{U}=120\angle 0^\circ\ \text{V}$



$$Z_{eq}=20+(-\text{j}20)\,||\,(10+\text{j}40)$$
$$=28-\text{j}36$$
$$=45.61\angle -52.13^\circ\Omega$$

$$\dot{I}=\frac{\dot{U}_S}{Z_{eq}}=2.63\angle 52.16^\circ\ \text{A}$$

$$\dot{I}_2=\frac{-\text{j}20}{-\text{j}20+10+\text{j}40}\dot{I}$$
$$=2.35\angle -101.31^\circ\ \text{A}$$

电压源提供的功率：

$$P=U_S I\cos(0^\circ-52.13^\circ)=193.73\text{W}$$

瓦特表读数： $\text{Re}[\dot{U}_S\times\dot{I}_2^*]$

$$P=U_S I_2\cos(0^\circ-101.13^\circ)=-55.31\text{W}$$

本章小结

- 几个功率：瞬时功率、有功功率、无功功率、视在功率、复功率
- 几个守恒：瞬时、有功、无功、复功率守恒

  视在功率不守恒
- 功率因素校正/提高：

  Q1：为什么要提高功率因素？

  ✓ 提高电源容量利用率

  ✓ 降低线路电流及损耗

  Q2：如何提高功率因素？ 并联电容
- 最大有功功率传输： $Z_L = Z_i^*$ 共轭匹配

课后作业

- 11.3节： 11-2
- 11.5节： 11-7
- 11.6节： 11-9
- 11.7节： 11-13

谢谢聆听！！

刘旭 2023-5-6