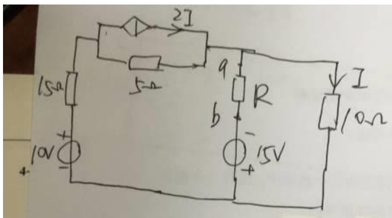
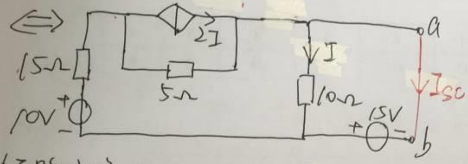
1.



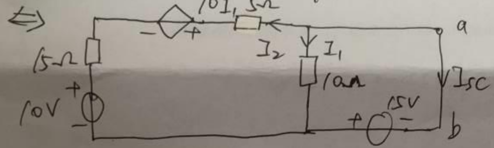
求电阻R可获得的最大功率

⟺



① 短路电流法 $I_1 = \frac{-15}{10} = -1.5A$

⟺



$10I_1 + (15+5)I_2 + 10 = -15$

$20I_2 = -25 - 10\times(-1.5) = -10$

$I_2 = -0.5A$

$I_{sc} = -I_1 - I_2 = 1.5 + 0.5 = 2A$

断开 ab: $(15+5)I - 10I - 10 + 10I = 0$

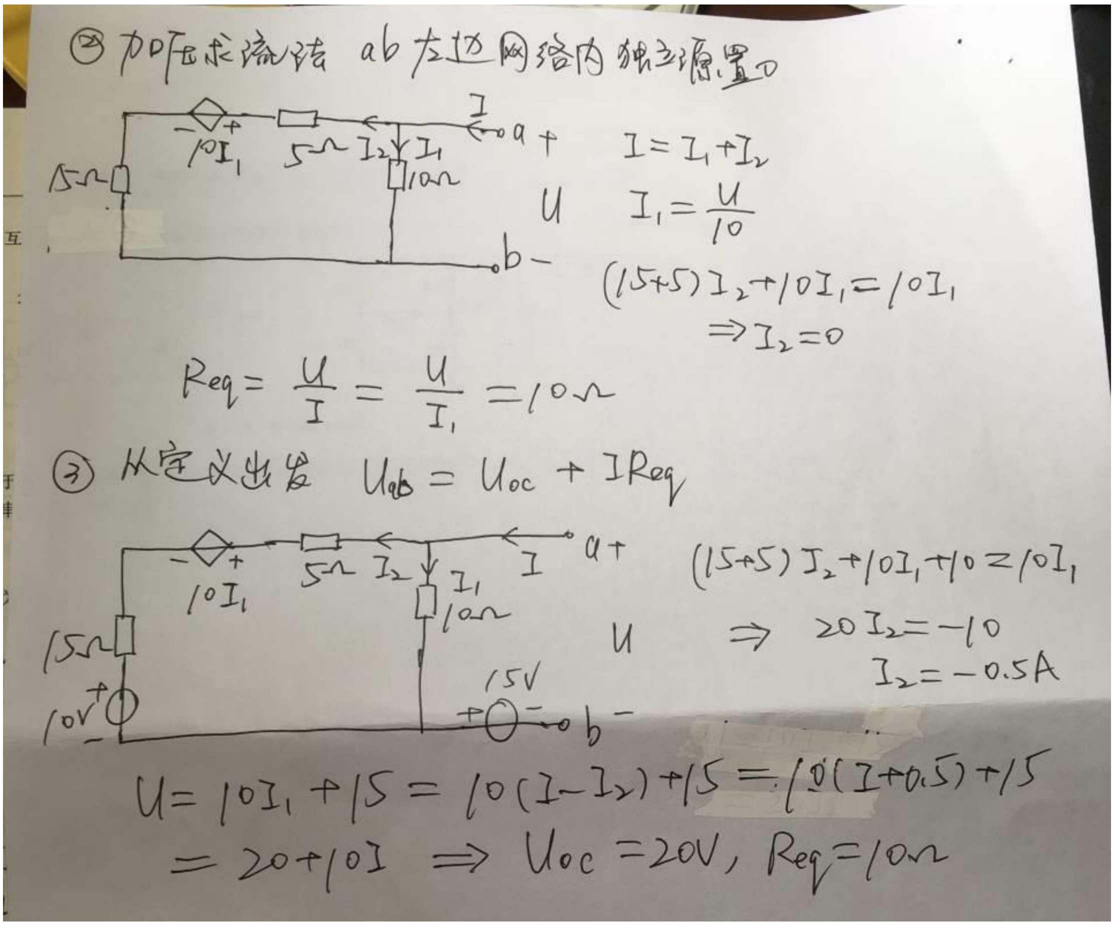
$I_2 = -I_1 = I$

$20I = 10, \ I = 0.5A$

$U_{oc} = 10I + 15 = 5 + 15 = 20V$

$R_{eq} = \frac{U_{oc}}{I_{sc}} = \frac{20}{2} = 10\Omega$

$R = R_{eq}$ 时, $P = \frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}} = \frac{20^2}{4\times10} = 10W$



显然加压求流法比较简便、方便记忆，如果用叠加定理算开路电压：

$U_{oc1} + U_{oc2} = U_{oc}$后再算功率$\dfrac{U_{oc}^2}{4R_{eq}}$

2. 除戴维南定理外，线性、叠加定理要求掌握（特勒根、互易定理考研要求），如第四章16页例题如下：

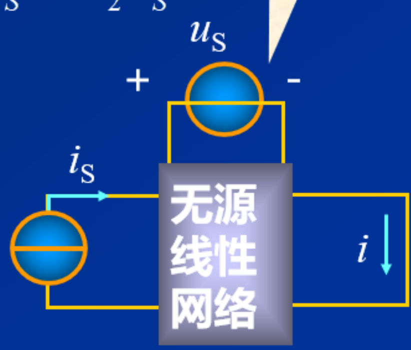
例　封装好的电路如图，已知下列实验数据：

当 $u_S = 1\text{V}$，$i_S = 1\text{A}$ 时，响应 $i = 2\text{A}$

当 $u_S = -1\text{V}$，$i_S = 2\text{A}$ 时，响应 $i = 1\text{A}$

求 $u_S = -3\text{V}$，$i_S = 5\text{A}$ 时，响应 $i = ?$

研究激励和响应关系的实验方法



解　法1：根据叠加定理 $i = k_1 i_S + k_2 u_S$

代入实验数据：

$$\begin{cases} k_1 + k_2 = 2 \\ 2k_1 - k_2 = 1 \end{cases} \qquad \begin{cases} k_1 = 1 \\ k_2 = 1 \end{cases}$$

$$i = u_S + i_S = -3 + 5 = 2\text{A}$$

法2：各激励变化倍数

当 $u_S = 1\text{V}$，$i_S = 1\text{A}$ 时，响应 $i = 2\text{A}$

$$k_1 i_S + k_2 u_S = 2$$

当 $u_S' = -1V$，$i_S' = 2A$ 时，响应 $i' = 1A$

$$2k_1 i_S - k_2 u_S = 1$$

$$\Rightarrow k_1 i_S = 1, k_2 u_S = 1 \qquad \Rightarrow 5k_1 i_S = 5, -3k_2 u_S = -3$$

$$5k_1 i_S - 3k_2 u_S = 5 - 3 = 2A$$

注：如果中间不是无源线性网络则有对应响应值 U，且由于中间网络不变，在外面的源因为倍数变化响应也变化时，中间网络的作用一直不变，另外响应所在端接电阻时——则对应开路电压的线性叠加原理（考研要求）

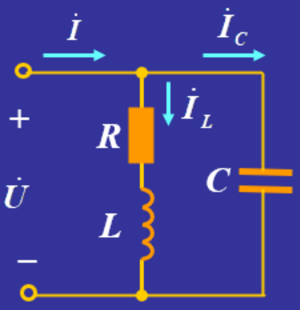
3. 交流电路阻抗、电压、功率三角形，提高功率因素

例 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，及并联前后I

解

$$\cos\varphi_1 = 0.6 \quad \Rightarrow \varphi_1 = 53.13^\circ$$

$$\cos\varphi_2 = 0.9 \quad \Rightarrow \varphi_2 = 25.84^\circ$$



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

$$= \frac{10\times10^3}{314\times220^2}(\mathrm{tg}53.13^\circ - \mathrm{tg}25.84^\circ) = 557\,\mu\mathrm{F}$$

未并电容时： $I = I_L = \dfrac{P}{U\cos\varphi_1} = \dfrac{10\times10^3}{220\times0.6} = 75.8A$

并联电容后： $I = \dfrac{P}{U\cos\varphi_2} = \dfrac{10\times10^3}{220\times0.9} = 50.5A$

问 2

若端口外部端线上接电阻R_l，则在不改变负载工作状态（有功功率 P 不变）的情况下，并联电容前后端线消耗功率差值$\Delta P = P_1 - P_2 = R_l(I_1^2 - I_2^2) > 0$——节电，其中$I_1$为并联电容前端线电流。

并联电容也可以用导纳三角形确定：导纳角与阻抗角相反

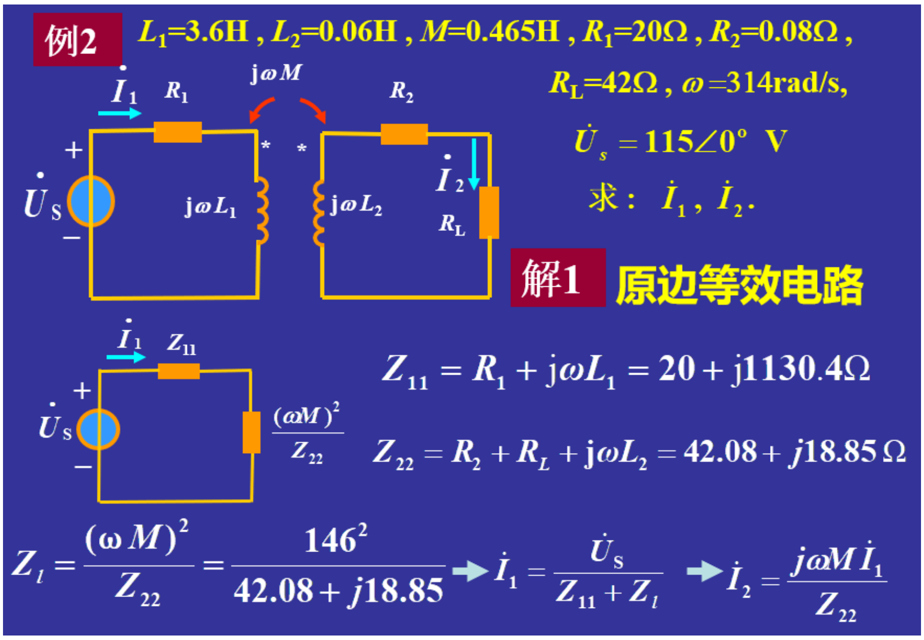
$$Z // \frac{1}{j\omega C},\ Z = R + jX \leftrightarrow Y = \frac{1}{Z}$$

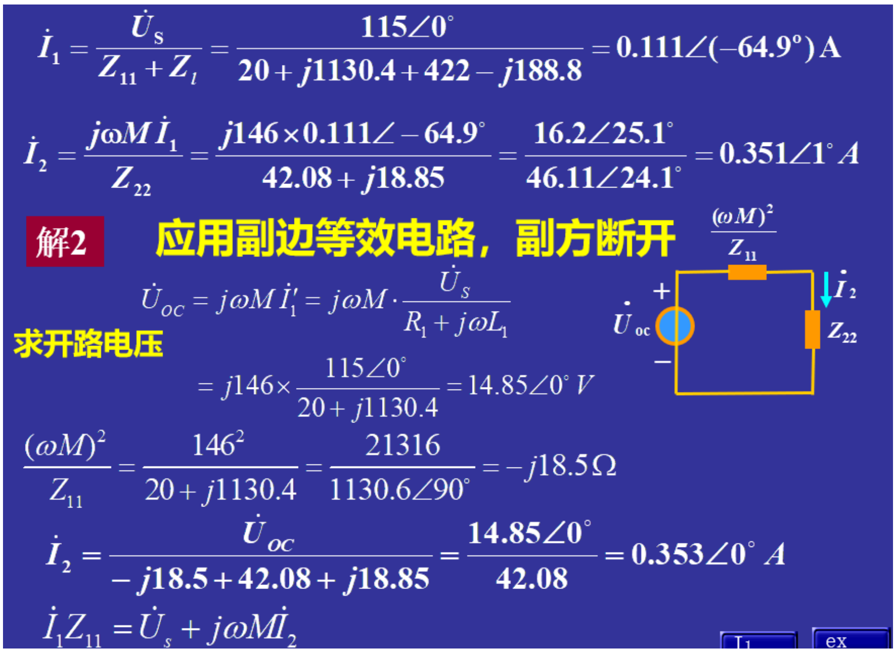
$$Y' = Y + j\omega C = \frac{1}{R + jX} + j\omega C = \frac{R - jX}{R^2 + X^2} + j\omega C = R' + jX'$$

$$\cos\varphi' \to \varphi' \to -tg\varphi' = \frac{X'}{R'}$$

R' 可由原电路计算，即可算得 $X' \to C$

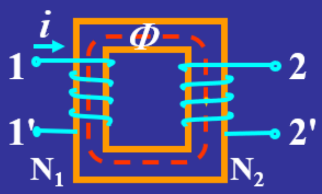
4. 去耦等效，空芯、理想变压器原副方等效与最大功率





2.理想变压器的主要性能

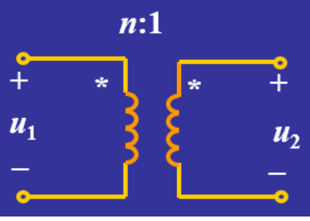
（1）变压关系



$$k=1 \longrightarrow \phi_1=\phi_2=\phi_{11}+\phi_{22}=\phi$$

$$u_1=\frac{d\psi_1}{dt}=N_1\frac{d\phi}{dt} \longrightarrow \boxed{\frac{u_1}{u_2}=\frac{N_1}{N_2}=n}$$

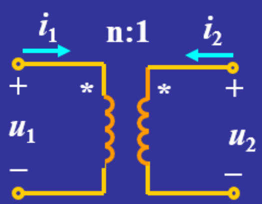
$$u_2=\frac{d\psi_2}{dt}=N_2\frac{d\phi}{dt}$$



模型

*异名 I关系

（2）电流关系



理想变压器模型

$$u_1=L_1\frac{di_1}{dt}+M\frac{di_2}{dt}$$

$$\rightarrow i_1(t)=\frac{1}{L_1}\int_0^t u_1(\xi)d\xi-\frac{M}{L_1}i_2(t)$$

0

理想变压器条件

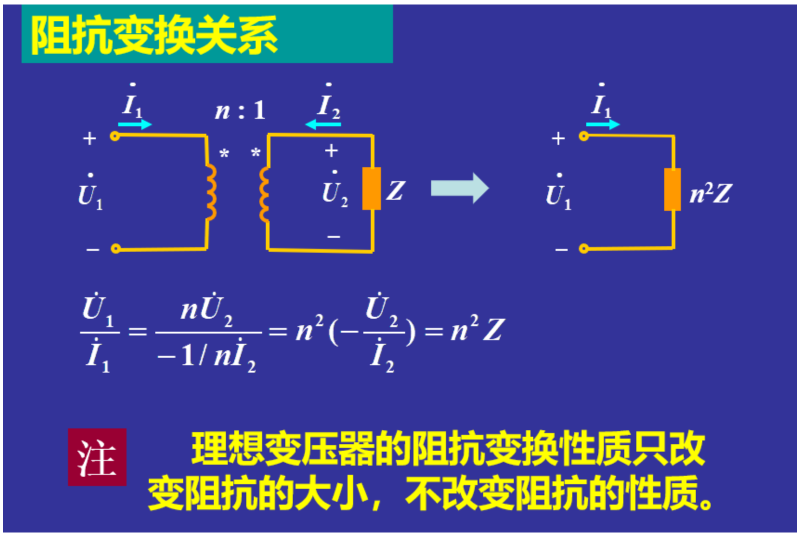
$$L_1,L_2,M\Rightarrow\infty,\quad \text{但}\quad \sqrt{L_1/L_2}=n$$

$$\frac{M}{L_1}=\frac{1}{n} \longrightarrow \boxed{i_1(t)=-\frac{1}{n}i_2(t)}$$

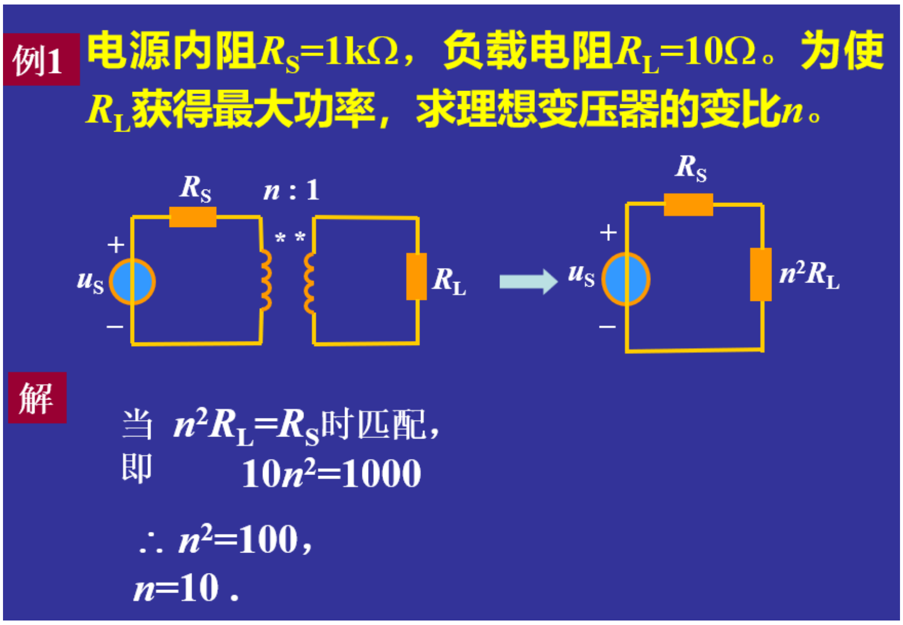
若i_1、i_2一个从同名端流入，一个从同名端流出，则有:

$$\boxed{i_1(t)=\frac{1}{n}i_2(t)}$$

模型 异名 阻抗



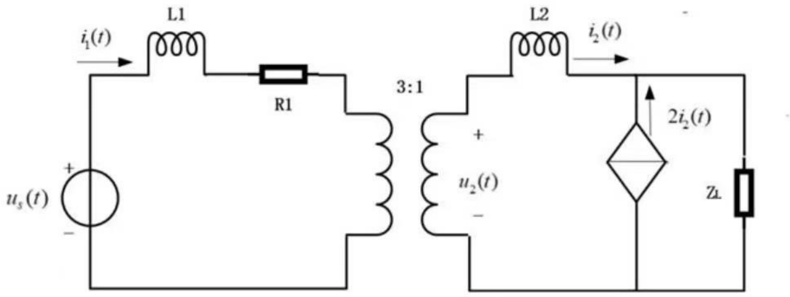
等效阻抗不受副方电流 $\dot{I}_2$ 的影响



若原方阻抗为 $Z_1=R_1+jX_1$，副方等效后的阻抗为 $n^2Z_2=n^2(R_L+jX_L)$，为使负载阻抗（副方阻抗）Z_2 获得最大功率，即为 n^2Z_2 获得最大功率，即 $n^2Z_2=Z_1^*$，

$$P_L=I_2^2R_L=(nI_1)^2R_L=n^2\frac{U_s^2}{4R_1}R_L$$

l 图所示理想放大电路，其中 $R_1 = 30\Omega$，$\omega L_1 = 40\Omega$，$\omega L_2 = 10\Omega$，$u_s(t) = 60\sqrt{2}\cos(\omega t)\,V$，若使副方电路获得最大功率，求此时 Z_L 的值以及其获得的最大功率。（12 分）



$$\dot{U}_2 = j10\dot{I}_2 + 3\dot{I}_2 Z_L = \dot{I}_2(j10 + Z_L) = \dot{I}_2 Z_{22}$$

副方获得最大功率，$Z_{11}^* = n^2 Z_{22}$

$$30 - j40 = 9(j10 + 3Z_L)$$

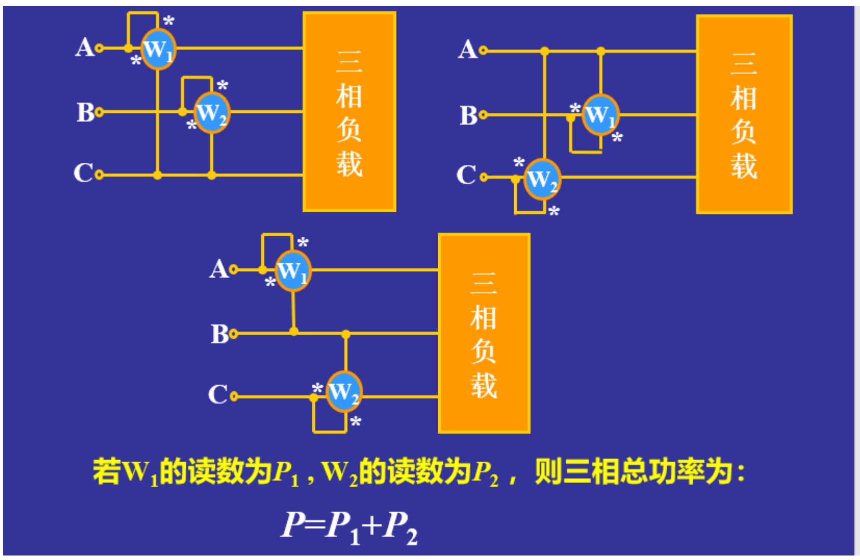
$$Z_L = \frac{10}{3} - \frac{j40}{9} - j10 = \frac{10}{3} - j\frac{130}{9}\ \Omega$$

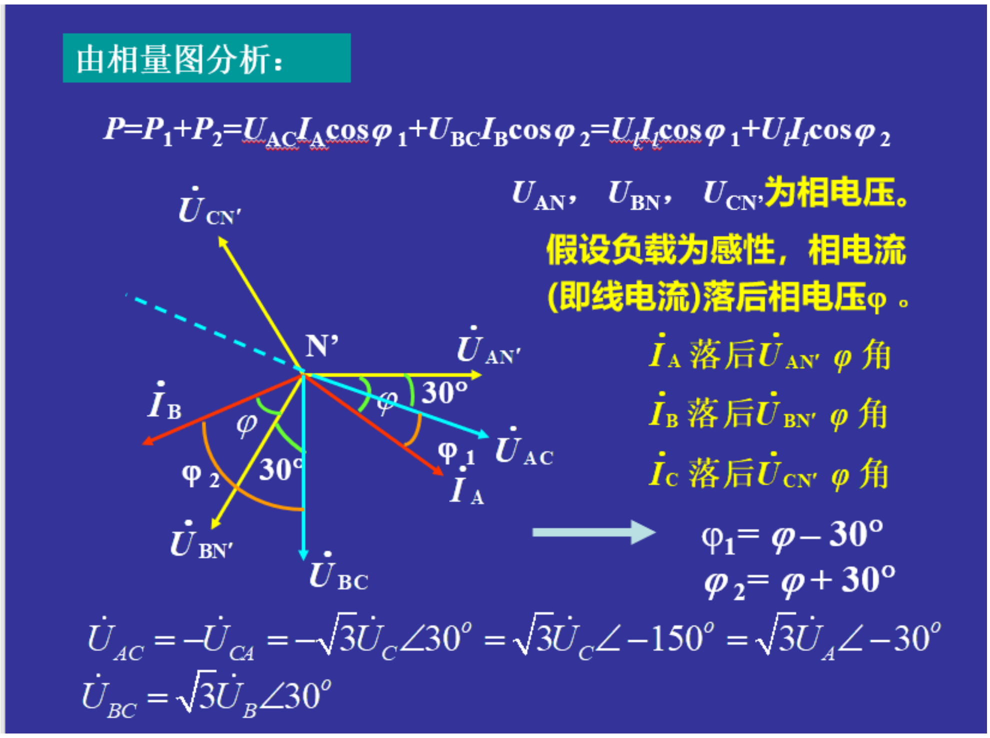
$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \times 2 \times 30，\ \dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_1}{60} = \frac{60\angle 0^0}{60} = 1\angle 0^0\,A$$

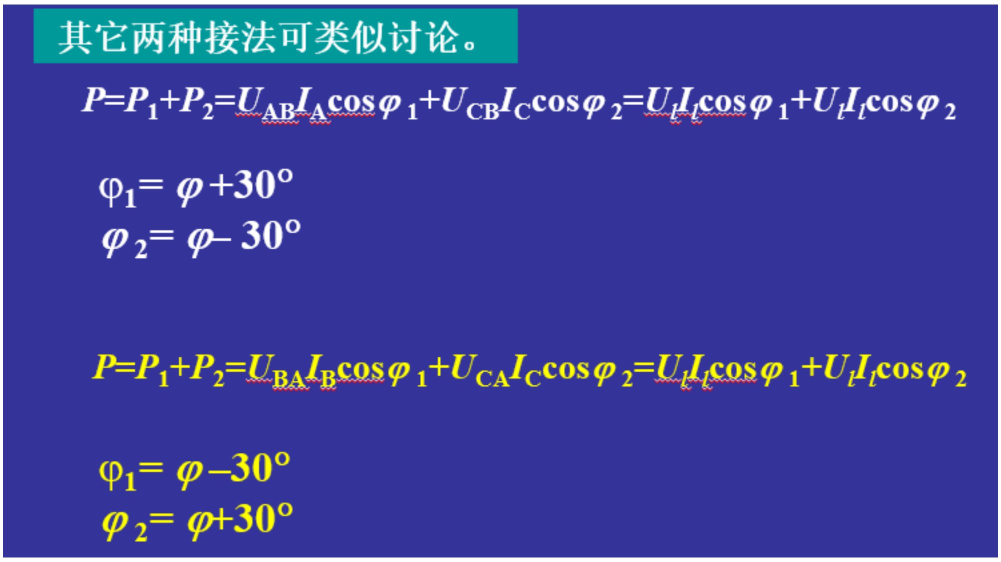
$$\dot{I}_2 = n\dot{I}_1 = 3\angle 0^0\,A$$

$$P_L = (3I_2)^2 R_L = 9I_2^2 R_L = 9 \times 9 \times \frac{10}{3} = 270\,W$$

5. 对称三相电路抽单相分析、功率计算、功率表



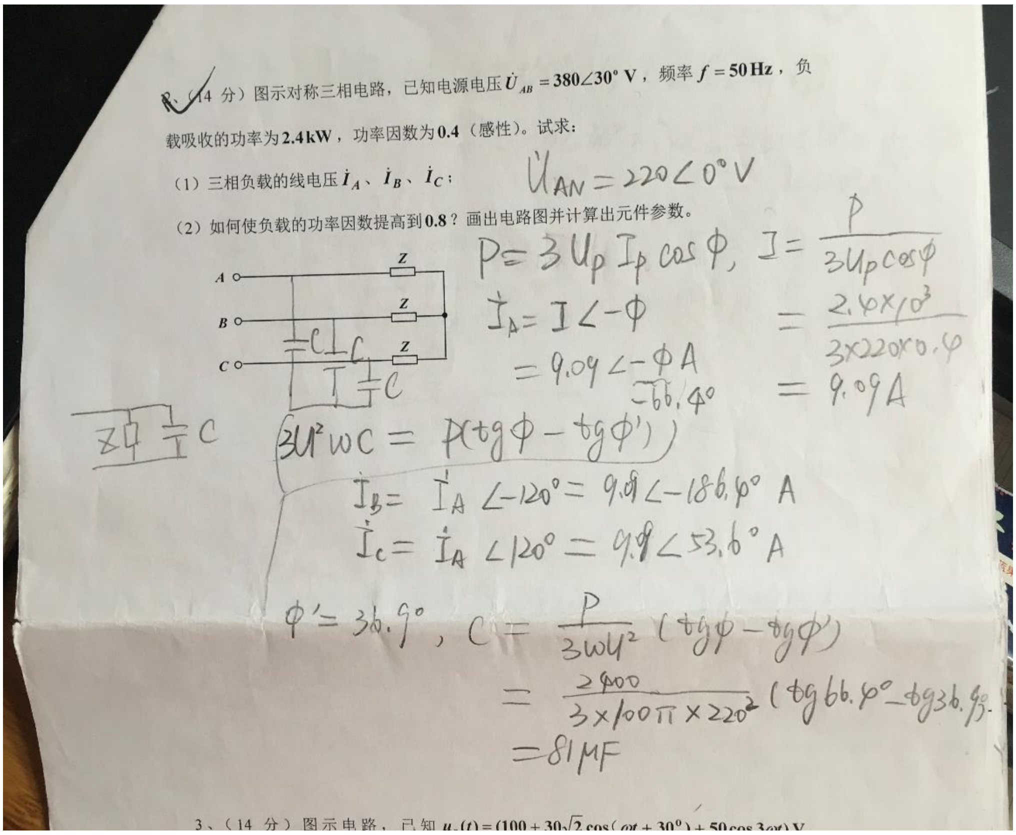




其中U_l为负载端线电压有效值，I_l为线电流有效值，φ为对称负载的阻抗角。

如按照第一种接法：

$P_1=U_lI_l\cos(\varphi-30^o)$，$P_2=U_lI_l\cos(\varphi+30^o)$已知，且$U_l$或者$I_l$已知，则可求得$\varphi$



(14 分）图示对称三相电路，已知电源电压 $\dot{U}_{AB}=380\angle30^\circ$ V，频率 $f=50$ Hz，负载吸收的功率为2.4kW，功率因数为0.4（感性）。试求：

（1）三相负载的线电压 $\dot{I}_A$、$\dot{I}_B$、$\dot{I}_C$；

（2）如何使负载的功率因数提高到0.8？画出电路图并计算出元件参数。

$\dot{U}_{AN}=220\angle0^\circ V$

$P=3U_pI_p\cos\phi,\quad I=\dfrac{P}{3U_p\cos\phi}=\dfrac{2.4\times10^3}{3\times220\times0.4}=9.09A$

$\dot{I}_A=I\angle-\phi=9.09\angle-\phi A=9.09\angle-66.4^\circ$

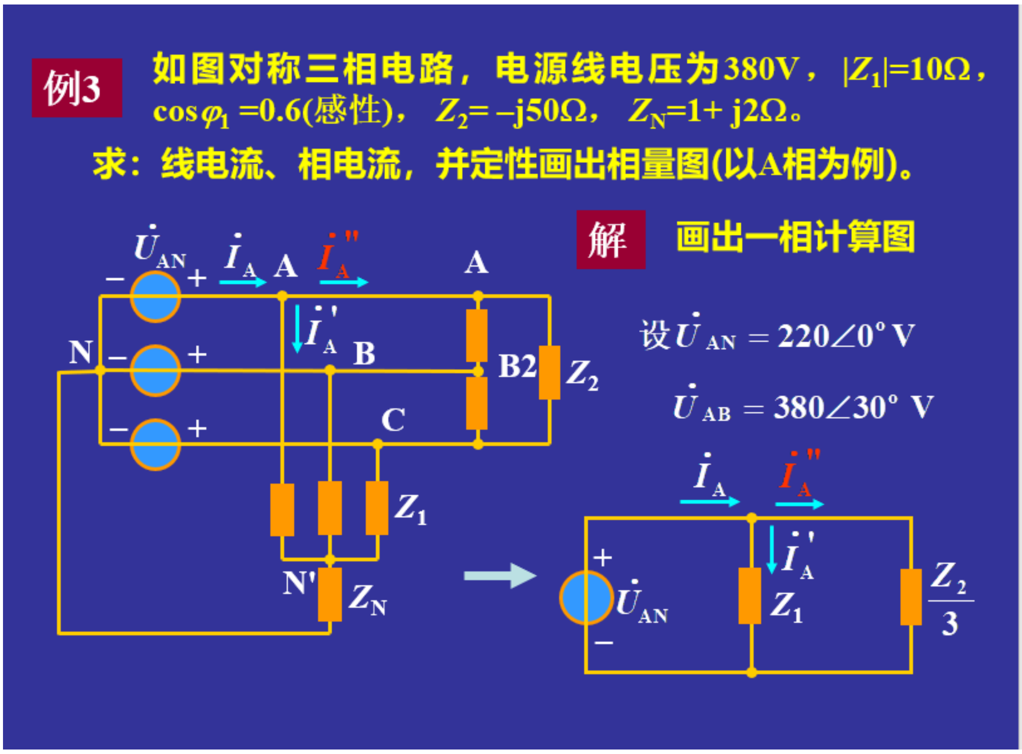
$3U^2\omega C=P(tg\phi-tg\phi')$

$\dot{I}_B=\dot{I}_A\angle-120^\circ=9.9\angle-186.6^\circ A$

$\dot{I}_C=\dot{I}_A\angle120^\circ=9.9\angle53.6^\circ A$

$\phi'=36.9^\circ,\quad C=\dfrac{P}{3\omega U^2}(tg\phi-tg\phi')=\dfrac{2400}{3\times100\pi\times220^2}(tg66.6^\circ-tg36.9^\circ)=81\mu F$

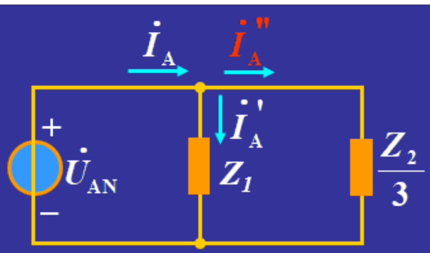
3、（14 分）图示电路，已知 $u_s(t)=(100+30\sqrt{2}\cos(\omega t+30^\circ)+50\cos3\omega t)$ V



$\cos\phi_1 = 0.6\,,\ \phi_1 = 53.1^\circ$

$Z_1 = 10\angle 53.1^\circ = 6 + \mathrm{j}8\Omega$

$Z_2' = \dfrac{1}{3} Z_2 = -\mathrm{j}\dfrac{50}{3}\Omega$



$$\dot{I}_A' = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_1} = \frac{220\angle 0^\circ}{10\angle 53.13^\circ} = 22\angle -53.13^\circ\,\mathrm{A} = 13.2 - \mathrm{j}17.6\mathrm{A}$$

$$\dot{I}_A'' = \frac{\dot{U}_{AN}}{Z_2'} = \frac{220\angle 0^\circ}{-\mathrm{j}50/3} = \mathrm{j}13.2\mathrm{A} \qquad \dot{I}_B = 13.9\angle -138.4^\circ\,\mathrm{A}$$

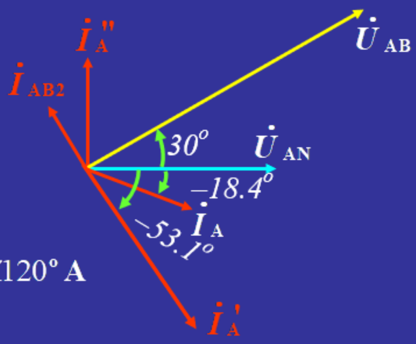
$$\dot{I}_A = \dot{I}_A' + \dot{I}_A'' = 13.9\angle -18.4^\circ\,\mathrm{A} \qquad \dot{I}_C = 13.9\angle 101.6^\circ\,\mathrm{A}$$

根据对称性，得B、C相的线电流、相电流：

第一组负载的三相电流

$$\begin{cases} \dot{I}_A' = 22\angle -53.1^\circ\,\mathrm{A} \\ \dot{I}_B' = 22\angle -173.1^\circ\,\mathrm{A} \\ \dot{I}_C' = 22\angle 66.9^\circ\,\mathrm{A} \end{cases}$$

由此可以画出相量图：

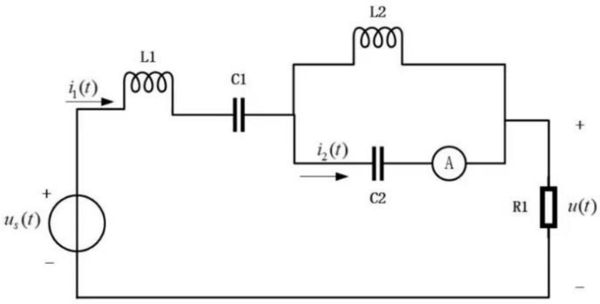


第二组负载的相电流：

$$\begin{cases} \dot{I}_{AB2} = \dfrac{1}{\sqrt{3}}\dot{I}_A''\ \angle 30^\circ = 7.6\angle 120^\circ\,\mathrm{A} \\ \dot{I}_{BC2} = 7.6\angle 0^\circ\,\mathrm{A} \\ \dot{I}_{CA2} = 7.6\angle -120^\circ\,\mathrm{A} \end{cases}$$

6. 非正弦周期交流电路分析，各频率产生谐振不同

图所示电路中，电阻 $R_1=10\Omega$，$L_1=0.01H$，$C_2=0.01F$，$\omega=314 rad/s$，电压源 $u_s(t)=100+100\sqrt{2}\cos(\omega t+30^o)+200\sqrt{2}\cos(2\omega t+45^o)\ V$，若希望输入电压中基波分量完全传送至负载 R₁，且负载不含有 2 次谐波分量，试确定 L_2、C_1 的值，以及安培表读数。（15 分）



解：由于负载不含有 2 次谐波分量，因此频率为 2ω 时电路发生并联谐振

$$2\omega L_2=\frac{1}{2\omega C_2}，\ \omega^2 L_2 C_2=\frac{1}{4}=0.25，\ L_2=\frac{1}{4\omega^2 C_2}=\frac{1}{4\times 314^2\times 0.01}=2.43\times 10^{-4} H$$

基波分量完全传送至 R₁，因此频率为 ω 时电路发生串联谐振

$$j\omega L_1-j\frac{1}{\omega C_1}+\frac{j\omega L_2\dfrac{1}{j\omega C_2}}{j\omega L_2+\dfrac{1}{j\omega C_2}}=0$$

$$\frac{j\omega L_2\dfrac{1}{j\omega C_2}}{j\omega L_2+\dfrac{1}{j\omega C_2}}=j\frac{1}{\omega C_1}-j\omega L_1$$

$$\frac{\omega L_2}{1-\omega^2 L_2 C_2}=\frac{1}{\omega C_1}-\omega L_1$$

$$\frac{1}{\omega C_1}=\frac{\omega L_2}{1-\omega^2 L_2 C_2}+\omega L_1=\frac{\dfrac{1}{4\omega C_2}}{1-0.25}+\omega L_1=\frac{1}{4\times 314\times 0.01}\frac{4}{3}+314\times 0.01=3.246$$

$$C_1=\frac{1}{314*3.246}=981\mu F$$

直流分量作用时：$i_{1(0)}=0=i_{2(0)}$

频率为 ω 作用时发生串联谐振，$\dot{I}_{1(0)}=\dfrac{\dot{U}_{(1)}}{R_1}=\dfrac{100\angle 30^o}{10}=10\angle 30^o\ A$

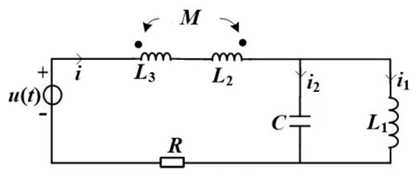
$$\dot{I}_{2(1)}=j\omega C_2\dot{U}_{c_2(1)}=j\omega C_2[-\dot{I}_{1(1)}(j\omega L_1-j\frac{1}{\omega C_1})]$$
$$=j314\times 0.01[-10\angle 30^o(j314\times 0.01-j3.246)]=3.328\angle -150^o\ A$$

频率为 2ω 作用时发生并联谐振，

$$\dot{I}_{2(2)}=j2\omega C_2\dot{U}_{c_2(2)}=j2\omega C_2\dot{U}_{s(2)}=j628\times 0.01\times 200\angle 45^o=1256\angle 135^o\ A$$

$$I_2=\sqrt{I_{2(0)}^2+I_{2(1)}^2+I_{2(2)}^2}=\sqrt{0+3.328^2+1256^2}\approx 1256A$$

如 图 ， $u(t)$=180cos(1250t+45°)+33cos(250t+145°)V, $i(t)$=2cos(1250t+45°)A, C=(2/3)mF, L_2=L_3=10mH, 求：M 和 R 的值。



答：由 L1 和 C 在 33cos(250t+145°)下谐振，得 L_1 C=(1/250)^2 得 L_1=24m H.

由 电路在 190cos(1250t+45°)下串联谐振，得 此时总阻抗为 jω(L_2+L_3-2M)+(jωL_1//(1/jωC))=0 ，其中 ω= 1250

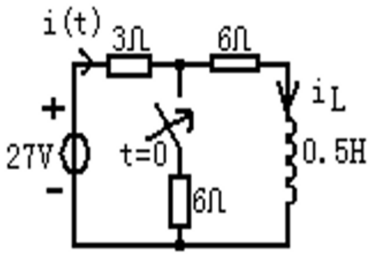
ωL_1=30, 1 /jωC=1.2 代入，得

jω(L_2+L_3-2M) – j (30*1.2/ (30-1.2)) ,得 jω(L_2+L_3-2M)=1.25, ,得(L_2+L_3-2M)=1mH,得 M=9.5mH.

R=190/2=90Ω。

7. 一阶动态电路，三要素法

- 例：电路原已稳态，t=0，k闭合，
- 求: $i_L(t)$,$i(t)$



$$3i+(i-3)6=27$$
$$9i=45$$

$$i_L(0_-)=i(0_-)=\frac{27}{3+6}=3A$$
$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=3A \qquad i(0_+)=5A$$
$$\tau=\frac{L}{R_{eq}}=\frac{0.5}{3/\,/6+6}=\frac{1}{16}=0.0625s$$

$$i_L(\infty)=\frac{1}{2}\frac{27}{3+6||6}=2.25A \qquad i(\infty)=\frac{27}{3+6||6}=4.5A$$
$$i_L(t)=3e^{-16t}+2.25(1-e^{-16t})=(2.25+0.75e^{-16t})A \quad t\geq 0$$
$$i_L(t)=5e^{-16t}+4.5(1-e^{-16t})=(4.5+0.5e^{-16t})A \quad t\geq 0$$

8. 二阶动态电路，尽量用拉氏变换法分析

11-11 图 11-4(a)所示电路已处于稳态，开关在 $t=0$ 时断开，试用运算法求响应 $u_C(t)$。

解 做出原电路的运算电路，如图(b)所示。

$$U_C(s)=\frac{\frac{1}{s}\left(\frac{10}{3}+\frac{10}{s}\right)}{0.5s+1.5+\frac{1}{s}}=\frac{\frac{20}{2}+\frac{20}{s}}{s^2+3s+2}=\frac{10}{s}-\frac{40}{3}\frac{1}{s+1}+\frac{10}{3}\frac{1}{s+2}$$

$$u_C(t)=\mathscr{L}^{-1}[U_C(s)]=\left(10-\frac{40}{3}e^{-t}+\frac{10}{3}e^{-2t}\right)\varepsilon(t)$$

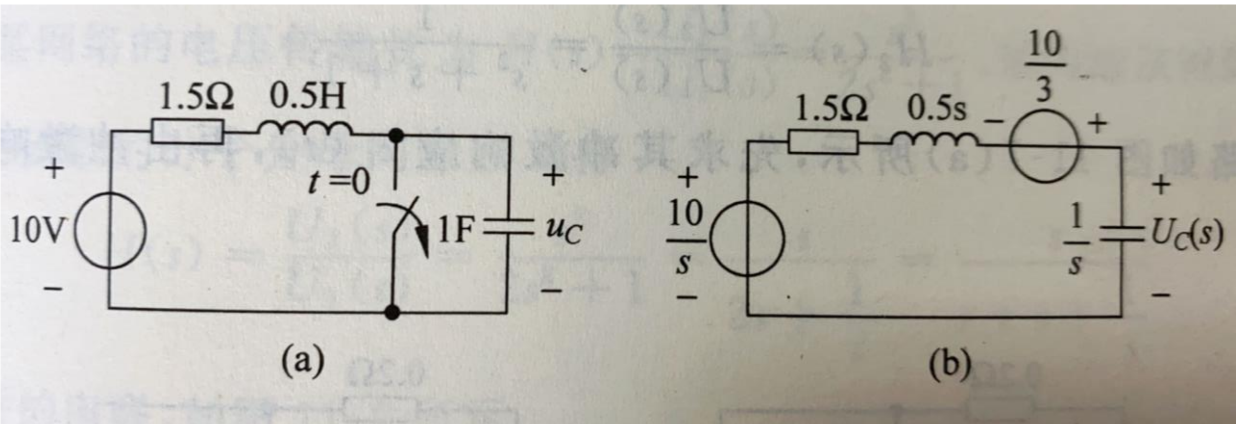


图 11-4 练习题 11-11 图

用拉氏变换解决动态电路非常方便，将各元件初始状态、参数画在拉氏电路图中，用 KVL、KCL 计算出拉氏变换下的变量，再进行反变换即可算出瞬时值，无需进行零状态响应、零输入响应、全响应。