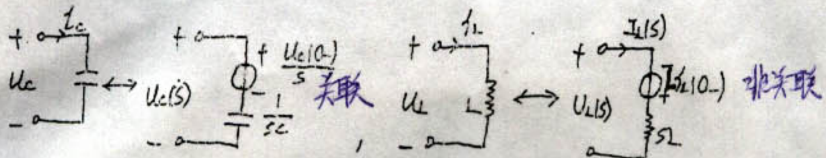
4. 运算电路：



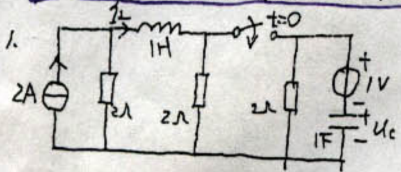
5. 网络函数（只针对零状态的网络）单输入与单输出的关系.

$$H(s)=\frac{Y(s)}{F(s)}=\frac{\mathcal{L}[y_f(t)]}{\mathcal{L}[f(t)]}=\mathcal{L}[h(t)]$$ 指反.

通过网络函数可知系统稳定不稳定：

稳定：$H(s)$的所有极点位于s平面的左半平面.

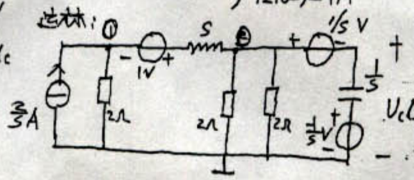
1.



求 $t<0$稳态，$t\geq0$ 的 $u_C(t)$

解. $u_C(0_-)=-1V$，$i_L(0_-)=1A$

运算：



$$\left(\frac12+\frac1s\right)U_1-\frac1s U_2=\frac2s-\frac1s$$
$$\left(\frac1s+\frac12+\frac12+s\right)U_2-\frac1s U_1=\frac1s$$

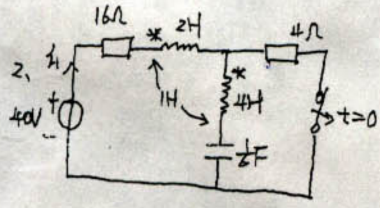
$$U_2=\frac{s+4}{s(s^2+3s+3)}$$

$$U_C(s)=U_2-\frac1s=\frac{1/3}{s}+\frac{-\frac43 s-3}{s^2+3s+3}$$

$$=\frac{1/3}{s}+\frac{-\frac43\left(s+\frac32\right)-\frac{2}{\sqrt3}\cdot\frac{\sqrt3}{2}}{\left(s+\frac32\right)^2+\left(\frac{\sqrt3}{2}\right)^2}$$

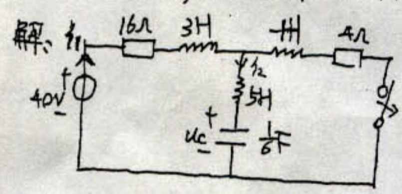
$$\therefore\ u_C(t)=\frac13-\frac43e^{-\frac32t}\cos\frac{\sqrt3}{2}t-\frac{2}{\sqrt3}e^{-\frac32t}\sin\frac{\sqrt3}{2}t\quad(t\geq0)$$

2、



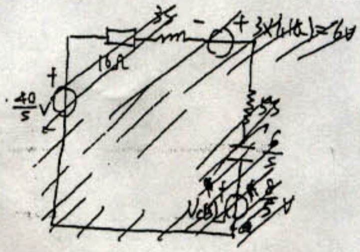
$t<0$稳态，求$t\geq0$的$u_C(t)$，$i_1(t)$

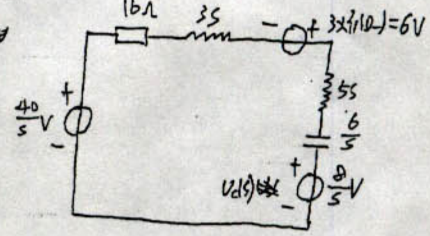
解.



$i_1(0_-)=\frac{40}{20}=2A$，$i_2(0_-)=0$

$u_C(0_-)=4\times2=8V$





九、状态方程及输出方程.

1. 选 u_C，i_L 为状态变量 （独立!）

回路：电容、电压源，少选一个电容电压

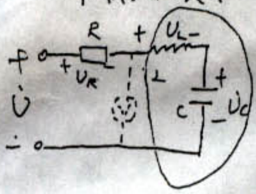
结点(or高斯面)由电感、电流构成，少选一个电感电流

2、一阶微分方程组

① C → 电压源，L → 电流源 } 求 $i_C = \frac{du_C}{dt}$，$u_L=L\cdot\frac{di_L}{dt}$

② 依特有树：写C的基本割集的KCL方程
写L的基本回路的KVL方程

5、串联谐振：



相当于短路。

当 $\omega_0 L=\frac{1}{\omega_0 C}$ 时，电路谐振

$\omega_0=\sqrt{\frac{1}{LC}}$ （谐振角频率）

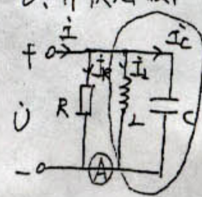
特点：1.输入阻抗 $Z_i=R$

2、在端口处 $\dot{U}$ 与 $\dot{I}$ 同相位　$\dot{U}$ 一定，$\dot{I}$ 为最大．（相当于开路）

3、Ⓥ 读数为 0

4、$Q=\frac{\omega_0 L}{R}=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}$

6、并联谐振：



条件：$\omega_0 L=\frac{1}{\omega_0 C}$

$Z_i=R$

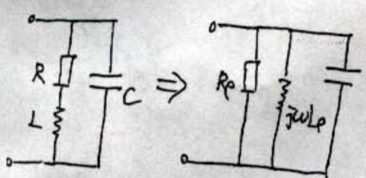
在端口处，$\dot{U}$、$\dot{I}$ 同相位．

$\dot{I}$ 一定，$\dot{U}$ 最大．

Ⓐ 读数为 0

$Q=R\sqrt{\frac{C}{L}}$

工程上的并联谐振：



$L_e\approx L$

$R_e=\left(\frac{\omega_0 L}{R}\right)^2$

如：$\frac{\omega_0 L}{R}=Q>>1$

7、互感：

1）同名端：知绕向

不知绕向：K（开关）、U_s、Ⓥ（直流）

：顺串，反串，等效电感不等的特征判断．

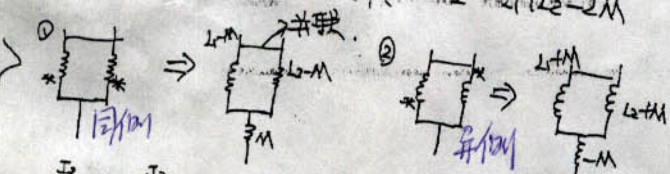
2）分析计算

a. 有连接，去耦 {串 / 并 / 其他

串联：顺串　$L=L_1+L_2+2M$

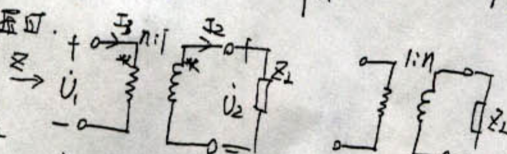
反串：　$L=L_1+L_2-2M$

并联 有一端相联 ＞ ①



b、无连接．受控源表示互感电压．

3）理想变压器．



$Z_i=n^2 Z_L$

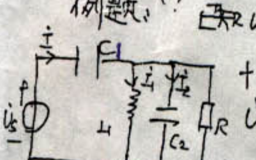
$\dot{U}_1=n\dot{U}_2$

$\dot{I}_1=\frac{1}{n}\dot{I}_2$

$Z_i=\frac{1}{n^2}Z_L$

$\dot{U}_1=\frac{1}{n}\dot{U}_2$

例题：（一）已知 $\omega=10^3 rad/s$，$C_1=10\mu F$，$C_2=40\mu F$，$R=50\Omega$，且知 $I_1=I_2$，求（1）L_1 的值 2）若 $\dot{U}_R=100\angle 0°V$，$\dot{U}_S=?$



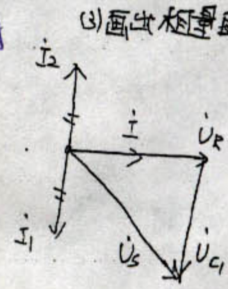
解：(1) $\omega=\frac{1}{\sqrt{L_1C_2}}\Rightarrow L_1=\cancel{0.25H}$ 0.025H

(2) $\dot{I}_3=\dot{I}=\frac{\dot{U}_R}{50}=2\angle 0°$ A.

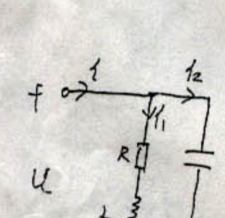
$\dot{U}_{C1}=\frac{1}{j\omega C_1}\dot{I}=-j200V$

$\dot{U}_S=\dot{U}_{C1}+\dot{U}_R=223.6\angle -63.43° V$

(3) 画出相量图．



*（二）．

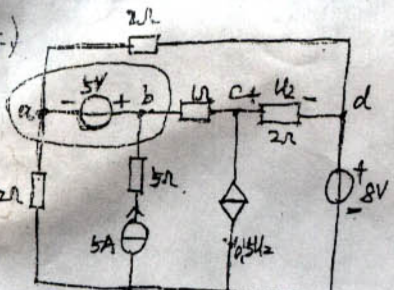


已知：$u=200\sin 100t$ V，$i=5\sin 100t$ A，$R=20\Omega$

求 (1) 画出相量图 (2) 求 L、C 的值

工程上并联谐振：解．$Y=j\omega C+\frac{1}{R+j\omega L}=\frac{R}{R^2+(\omega L)^2}+j\underbrace{\left[\omega C-\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}\right]}_{与谐振}$

(二)



结点法求受控源吸收的功率

解，结点电压如图：

广义结点：$\frac{U_a}{2}-5+\frac{U_b-U_c}{1}+\frac{U_a-U_d}{2}=0$

c：$\frac{U_c-U_b}{1}+0.5U_2+\frac{U_c-U_d}{2}=0$

$U_d=8V$

辅助：$U_2=U_c-U_d$

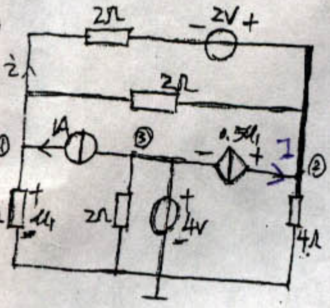
$U_b-U_a=5$

$U_a=7V$，$U_b=12V$，$U_c=10V$，$U_d=8V$，$U_2=2V$

注意电流在每个结点的“+”“-”号.

$P=0.5U_2\times U_c=0.5\times2\times10=10W$

(三)



结点法求 i

①：$\frac{U_1}{2}-1+\frac{U_1-U_2}{2}+\frac{U_1-U_2+2}{2}=0$

③，$U_3=4V$

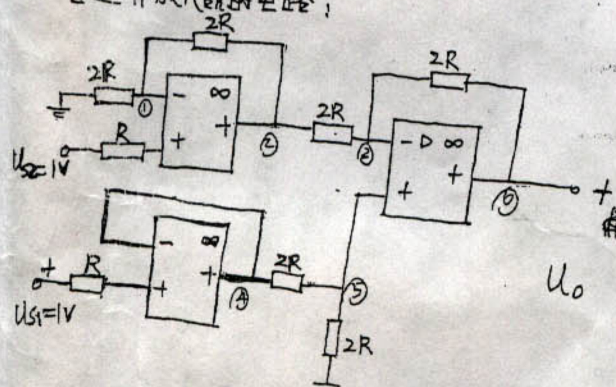
②：$U_2=0.5U_1+4V$

得：$U_1=4V$，$U_2=6V$，$U_3=4V$

$i=\frac{U_1-U_2+2}{2}=0A$

(四)

● 含运算放大器的电路：



求 U_o

∞理想运放：虚短，虚断.

结点电压法（复杂时）

运放输出端结点不列方程.

解，虚断：① $\frac{U_1}{2R}+\frac{U_1-U_2}{2R}=0$ --①

② $\frac{U_3-U_2}{2R}+\frac{U_3-U_0}{2R}=0$ --②

⑤ $\frac{U_5}{2R}+\frac{U_5-U_4}{2R}=0$ --③

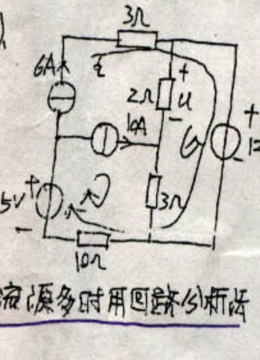
虚短：$U_1=U_{S2}=1V$ --④

$U_4=1V$ --⑤

$U_3=U_5$ --⑥

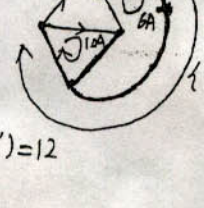
得，$U_0=0-1V$

(五)



回路法求 u.

解：

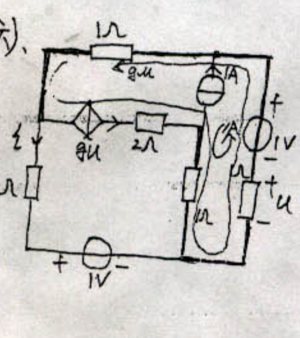


电流源多时用回路分析法

$2i+3(10+i)=12$

$\begin{cases} i=-3.6A \\ u=2i=-7.2V \end{cases}$

(六)



若 $i=0$，$g=?$

$\begin{cases} 2i-1(1+gu)+1(1+gu+1)=0 \\ u=-1\times(1+gu+1) \end{cases}$

$i=\frac{g-1}{g+3}$

∴ $g=1.5$ 时满足条件

三、基本定理

1. 叠加定理（与激励源线性叠加）

$i=K_1U_{S1}+K_2U_{S2}+\dots+K_3I_{S1}+K_4I_{S2}$

电压源置0 → 短路

电流源置0 → 开路

电路笔记

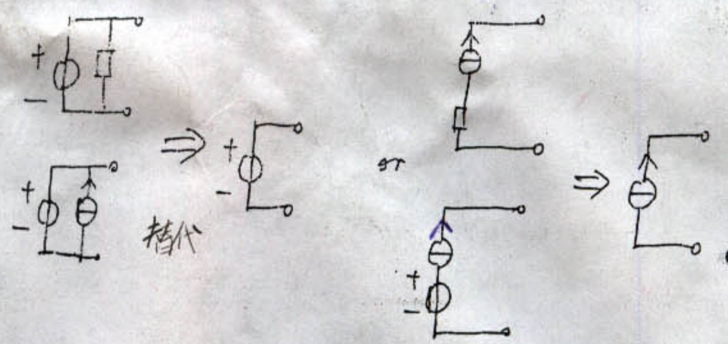
一、KCL、KVL

KCL：结点，高斯面

KVL：回路

电阻的串、并、混联，$\Delta \longleftrightarrow Y$

电源的串并.



功率：吸收，发出.　　$P=Ui$（关）　　$P=-ui$（非）

$P=ui>0$ 吸　$ui<0$ 发　　$ui>0$ 发　$ui<0$ 吸

二、基本分析法

1、网孔电流法：首先求解网孔电流
变量

方法：沿网孔列KVL方程（与变量数相等的方程数）

网孔间电流源的处理：①设电流源两端电压
②列超网孔的KVL方程.

2、结点电压法
变量.

方法：列结点KCL方程.　（参考点除外）

结点之间电压源的处理：①设电压源支路的电流
②列超结点对应的KCL方程.
③选电压源的一端为参考点

3、回路电流法：

变量：基本回路电流

方法：沿基本回路列KVL方程
↓
只有一条连支

树的选取：

1、尽可能把电压源和电压控制量选做树支.

2、尽可能把电流源和电流控制量选做连支.

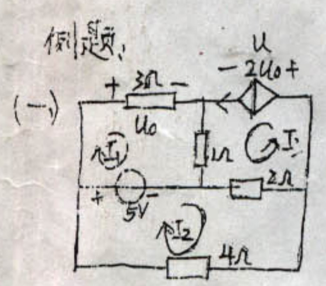
4、割集分析

变量：树支电压

方法：对基本割集列KCL
↓
画一个高斯面，此高斯面只切割一条树支.

例题：

（一）



用网孔电流法求u_0及5V电源发出的功率

解. 方法一：

$$\left.\begin{aligned} &3i_1+1\times(i_1+i_3)-5=0\\ &5+2(i_2+i_3)+4i_2=0\\ &i_3=2u_0\\ &\text{辅助：}\ u_0=3i_1 \end{aligned}\right\}\quad \begin{aligned} &i_1=0.5A\\ &i_2=-1.83A\\ &i_3=3A\\ &u_0=3\times0.5=1.5V \end{aligned}$$

$P=5(i_1-i_2)=11.65\ W$　（发出取非关联）

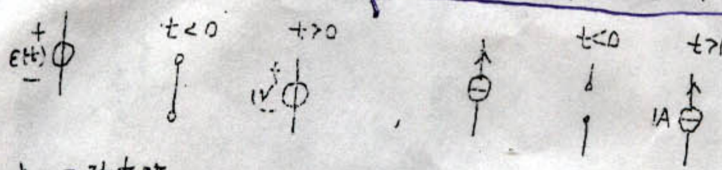
方法二：设电流源两端的电压u.

$$\left.\begin{aligned} &u+1\times(i_1+i_3)+2(i_2+i_3)=0\\ &i_3=2u_0\\ &u_0=3i_1 \end{aligned}\right\}$$

$\delta(t)$ 作用时

$\varepsilon(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ 1 & t>0\end{cases}$　　$h(t)$：① $\frac{ds(t)}{dt}=h(t)$

② 零输入响应法：列方程两边同时 0- 到 0+ 积分，确定 $U_C(0+)$，$i_L(0+)$



4. 二阶电路

①列方程

②确定 $U_C(0_+)$，$\frac{dU_C}{dt}\Big|_{0+}$

③ $y(t)=y_p(t)+y_h(t)$

特解　通解

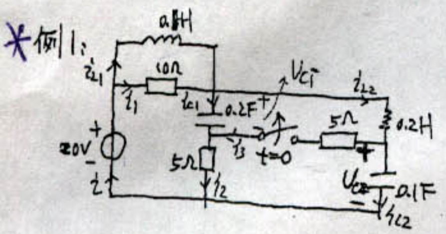
① 当 $P_1\neq P_2$ 时：$y_h(t)=k_1e^{P_1t}+k_2e^{P_2t}$

② P_1 与 P_2 共轭：$y_h(t)=ke^{-\alpha t}\sin(\omega t+\varphi)$

$P_1=-\alpha+j\omega$　　$=e^{-\alpha t}(k_1\cos\omega t+k_2\sin\omega t)$

③ $P_1=P_2$ 时：$y_h(t)=(k_1+k_2t)e^{Pt}$　（重根）

*例1：



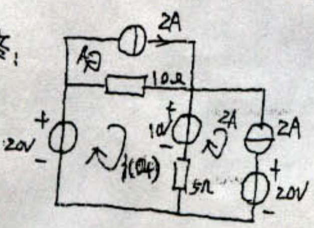
电流源为稳态，t=0，K打开，求 0+ 各支路电流及 $\frac{di_{L1}}{dt}\Big|_{0+}$

~~$i_{L1}(0_-)=i_{L2}(0_-)$~~　$i_{L1}(0_-)=i_{L2}(0_-)=\frac{20}{10}=2A$

$U_{C1}(0_-)=10V$，　$U_{C2}(0_-)=20V$

$i_{L1}(0_+)=2A$，　$i_{L2}(0_+)=2A$；$U_{C1}(0_+)=10V$，$U_{C2}(0_+)=20V$

0+ 时刻等效电路：



$(10+5)i(0_+)-10[2+i(0_+)]-5[2+i(0_+)]$

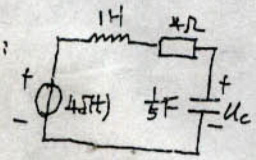
$\Rightarrow 15i(0_+)=20+2\times10-10+2\times5$

$i(0_+)=\frac{8}{3}A$，$i_{C2}(0_+)=2A$，$i_1(0_+)=\frac{8}{3}-2=\frac{2}{3}A$，$i_{C1}(0_+)=\frac{2}{3}A$

$i_3=0$，$i_2(0_+)=\frac{2}{3}A$

又 ∵ $L\cdot\frac{di_{L1}}{dt}=U_{L1}=10\times\frac{2}{3}$ V　　$\frac{di_{L1}}{dt}=\frac{1}{L}U_{L1}=10\times10\times\frac{2}{3}=\frac{200}{3}A$

△例2：



零状态电路，求 $U_C(0_+)$，$\frac{dU_C}{dt}\Big|_{0+}$

解：$U_C+4C\frac{dU_C}{dt}+CL\frac{d^2U_C}{dt^2}=4\delta(t)$

$U_C+\frac{4}{5}\frac{dU_C}{dt}+\frac{1}{5}\frac{d^2U_C}{dt^2}=4\delta(t)$

0- ~ 0+ 积分：$\frac{1}{5}\left[\frac{dU_C}{dt}\right]_{0+}-\frac{1}{5}\left[\frac{dU_C}{dt}\right]_{0-}+\frac{4}{5}[U_C(0+)-U_C(0-)]=4$

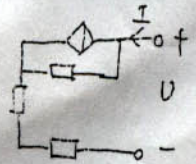
∵ U_C 不可能是 $\delta(t)$　　$\left[\frac{dU_C}{dt}\right]_{0-}=0$，$U_C(0-)=0$

$\frac{1}{5}\left[\frac{dU_C}{dt}\right]_{0+}+\frac{4}{5}U_C(0+)=4$

又 ∵ U_C 不可能是 $\varepsilon(t)$，电容电压不可能跃变 → $U_C(0+)=U_C(0-)=0$

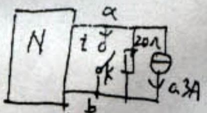
∴ $\frac{dU_C}{dt}\Big|_{0+}=20$

能量储存在电感上．

方法二：

$U=5I+1\times(I+4U)$

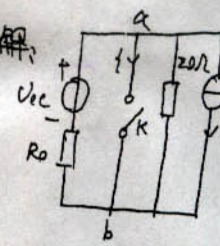
$R_0=\frac{U}{I}=-2\Omega$

(三)、

K打开时：$U_{ab}=4V$

K闭合时：$i=1.2A$

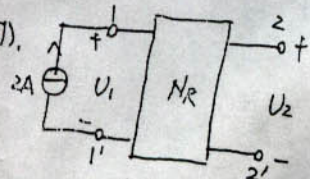
求网络N的戴–维

解：

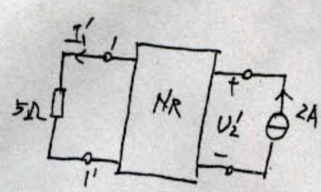
打开：$(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{20})U_{ab}=\frac{U_{oc}}{R_0}-0.3$

闭合：$i=\frac{U_{oc}}{R_0}-0.3$

$\therefore U_{oc}=6V \quad R_0=4\Omega$

*(四)、

(a)



(b)

N_R为线性电阻网络，图中例得 $U_1=10V, U_2=5V$

求图b的电流 I_1'。

解：方法1：应用特勒根定理：

$10I_1'-U_2I_2'+\sum U_k\hat{I}_k=0$

$5I_1'(-2)+U_2'\cdot 0+\sum\hat{U}_kI_k=0$

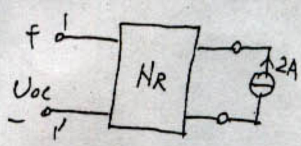
$\because U_k=I_kR_k$

$U_kI_k'=I_kR_kI_k'=I_kU_k'$

$10I_1'+5\times(-2)=5I_1'(-2)$

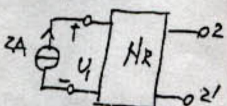
$\therefore I_1'=0.5A$

方法2．求图b中1-1'左侧的戴…

开路电压：

由互易定理：

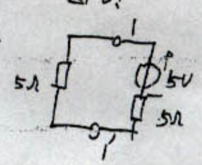
$\frac{U_2}{2}=\frac{U_{oc}}{2}$ ； $U_{oc}=U_2=5V$



$R_0=\frac{U_1}{2}=5\Omega$

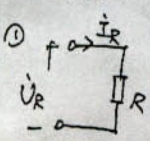
~~端口~~ 端口加电流源

内部独立电源置0

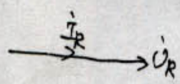
图b：

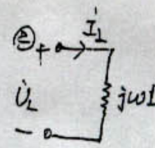
$I_1'=\frac{5}{10}=0.5A$.

四、正弦电流稳态电路

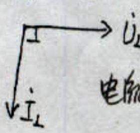
1、R、L、C．① 

$\dot{U}_R=\dot{I}_RR$

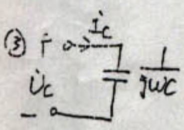


② 

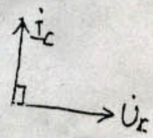
$\dot{U}_L=j\omega L\dot{I}_L$，



电流滞后电压90°

③ 

$U_C=\frac{1}{j\omega C}\dot{I}_C$



$Q_L=\frac{U^2}{(\omega L)}$ $\quad Q_C=-\omega CU^2$

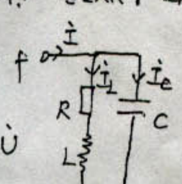
2、功率，有功 $P=UI\cos\varphi$ (W) 无功：$Q=UI\sin\varphi$ (var)，复功：$\bar{S}=\dot{U}\dot{I}^*=S\angle\varphi=P+jQ$

视在：$S=UI$ (VA)

功率因素：$\cos\varphi$ $\qquad\varphi$：端口电压电流相位差 or 阻抗角.

$\bar{S}=\dot{U}\dot{I}^*=S\angle\varphi$ 8.6

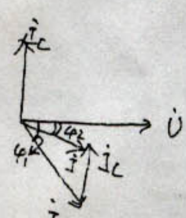
3、正弦…方法，结点，回路法，及定理，相量图．

4、功率因素提高：

已知：U、ω．

$\cos\varphi_1\to\cos\varphi_2$，求C

$\frac{1}{\omega C}=\frac{U}{I_C}$

画图．

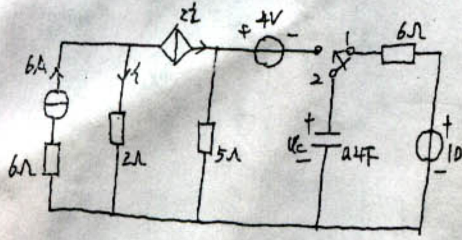
$P=UI_L\cos\varphi_1$

$I_L=$

$I=\frac{P}{U\cos\varphi_2}$

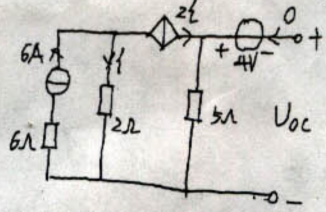
相当于投影 $I_C=I_L\sin\varphi_1-I\sin\varphi_2$

录音007：



$t<0$ 为稳态，求 $t\ge0$ 的 $u_c(t)$

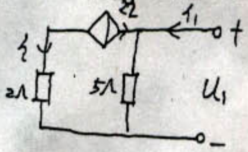
解：$U_c(0_-)=10=U_c(0_+)$



$i=\frac{6}{3}=2A$

$U_{oc}=-4+5\times2i=16V$

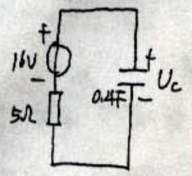
外加电源法，内部电源置0



$2i=-i\Rightarrow i=0$

$U_1=5i_1\Rightarrow R_0=\frac{U_1}{i_1}=5\Omega$

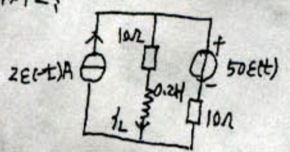
$\tau=RC=5\times0.4=2s$



$U_c(\infty)=16V$

$\therefore U_c(t)=16+[10-16]e^{-\frac{t}{2}}=16-6e^{-0.5t}$ V $(t\ge0)$

例2：



求 $i_L(t)$

$t>0$ 时，$\varepsilon(-t)=0$

$t<0$ 时，$\varepsilon(-t)=1$

$t<0$ 时，$\varepsilon(t)$ 作用

时间分段法，解：方法1：$t<0$，$i_L(t)=1A$

$i_L(0_-)=1A$

$t\ge0$ 时：$i_L(0_+)=i_L(0_-)=1A$

$i_L(\infty)=\frac{50}{20}=2.5A$

$\tau=\frac{L}{R}=\frac{0.2}{20}=0.01s$

$i(t)=2.5+(1-2.5)e^{-100t}$

$i_L(t)=\varepsilon(-t)+[2.5-1.5e^{-100t}]\varepsilon(t)$ A

$\varepsilon(-t)+[2.5-1.5e^{-100t}]\varepsilon(t)$

方法2：叠加法：

$2\varepsilon(-t)$：$i_L'=1$，$t<0$

$i_L'=e^{-100t}$ $t\ge0$

$i_L'=\varepsilon(-t)+e^{-100t}\varepsilon(t)$ A

$50\varepsilon(t)$ 作用时：$i_L''=(2.5-2.5e^{-100t})\varepsilon(t)$

$i_L=i_L'+i_L''$

八、复频域分析：

1、拉普拉斯……运算

典型信号：$\varepsilon(t)\leftrightarrow\frac{1}{s}$，$\delta(t)\leftrightarrow1$；$e^{-\alpha t}\leftrightarrow\frac{1}{s+\alpha}$，$\sin\omega t\leftrightarrow\frac{\omega}{s^2+\omega^2}$，$\cos\omega t\leftrightarrow\frac{s}{s^2+\omega^2}$

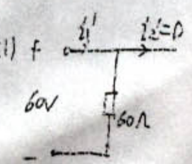
$t\leftrightarrow\frac{1}{s^2}$ $\delta(t)\to1$

2、叠加，复频域位移：$f(t)e^{-\alpha t}\to F(s+\alpha)$；画电路图时：$\frac{df}{dt}\leftrightarrow sF(s)-f(0_-)$

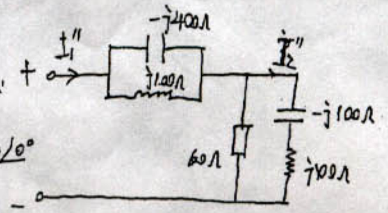
3、反变换：部分分式的展开

$f(t)e^{-\alpha t}\to F(s+\alpha)$

$\frac{df}{dt}\to sF(s)-f(0_-)$

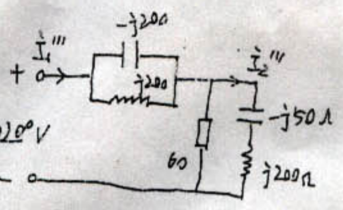
解：(1) 

$\dot I_1'=1A$
$\dot I_2'=0A$

(2) 基波作用：

C_2、L_2谐振，60Ω被短路，则：

$\dot I_1''=\dot I_2''=\dfrac{60}{\frac{j100(-j400)}{j100-j400}}=-j0.4$

(3) 二次谐波作用：

并联谐振

$\dot I_1'''=0$，则 $\dot I_2'''=0$

(4) 瞬时值叠加：$i_1=1+0.45\sqrt2\cos(\omega t-90^\circ)A$，$i_2=0.45\sqrt2\cos(\omega t-90^\circ)A$

$I_1=\sqrt{1^2+0.45^2}=1.097A$　　$I_2=0.45A$，$P_{有功}=60\times1+60\times0.45\cos(0^\circ+90^\circ)=60W$

直流电压　基波　电压初相　电流初相

六、双口网络（须熟练写出四种参数方程）

1、参数：$\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Z_{11}&Z_{12}\\ Z_{21}&Z_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{bmatrix}$　　$\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot I_1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}A&B\\ C&D\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot U_2\\ -\dot I_2\end{bmatrix}$　T参数比较重要。

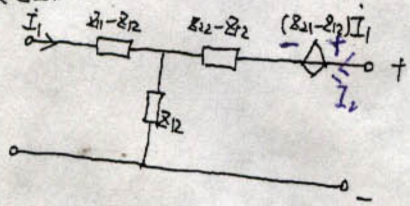
$\begin{bmatrix}\dot I_1\\ \dot I_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}Y_{11}&Y_{12}\\ Y_{21}&Y_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot U_2\end{bmatrix}$　　$\begin{bmatrix}\dot U_1\\ \dot I_2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}H_{11}&H_{12}\\ H_{21}&H_{22}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\dot I_1\\ \dot U_2\end{bmatrix}$

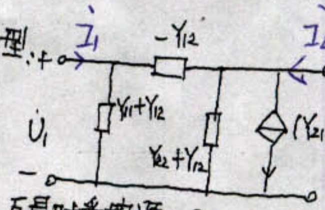
$\dot U_1=A\dot U_2-B\dot I_2$　令 $\dot I_2=0$，$A=\dfrac{\dot U_1}{\dot U_2}\Big|_{\dot I_2=0}$　令 $\dot U_2=0$（端口2短路）　$B=\dfrac{\dot U_1}{-\dot I_2}\Big|_{\dot U_2=0}$

互易（网络中无受控源）

$\begin{cases}Z_{12}=Z_{21}\\ Y_{12}=Y_{21}\\ AD-BC=1\end{cases}$ ⟺ 互易　　~~$H_{12}=H_{21}$~~ ⟺ 互易　$H_{12}=-H_{21}$

2、等效电路

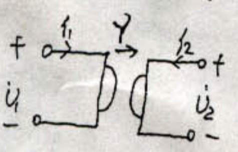
T型：

四个参数非互易　π型：

互易时受控源=0

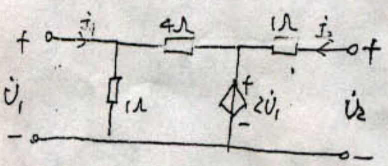
3、联接：

级联：$T=T_1T_2$；串联：$Z=Z_1+Z_2$；并联：$Y=Y_1+Y_2$

4、回转器 

$\begin{cases}u_1=-ri_2\\ u_2=ri_1\end{cases}$　　$\begin{cases}i_1=gu_1\\ i_2=-gu_1\end{cases}$

例1：求T参数：

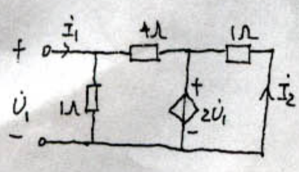


解：$\begin{cases}\dot U_1=A\dot U_2-B\dot I_2\\ \dot I_1=C\dot U_2-D\dot I_2\end{cases}$

令 $\dot I_2=0$，$\dot U_2=2\dot U_1$，$A=\frac12=\dfrac{\dot U_1}{\dot U_2}\Big|_{\dot I_2=0}$

$\therefore\begin{cases}\dot I_1=\dfrac{\dot U_1}{1}+\dfrac{\dot U_1-2\dot U_1}{4}=\dfrac38\dot U_2\\ \dot U_1=\frac12\dot U_2\end{cases}$ ⇒ $C=\frac38S$

令 $\dot{U}_2=0$

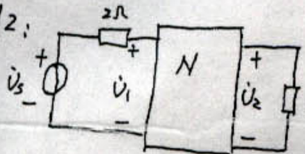


$\dot{I}_2=-\frac{2\dot{U}_1}{1}$ $\quad B=0.5\Omega$

$\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_1}{1}+\frac{\dot{U}_1-2\dot{U}_1}{4}=-\frac{3}{8}\dot{I}_2$ $\quad D=\frac{3}{8}$

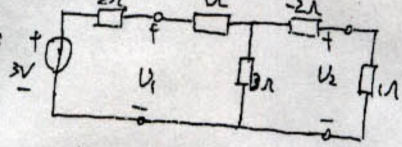
$\therefore\ T=\begin{bmatrix}0.5 & 0.5\\ \frac{3}{8} & \frac{3}{8}\end{bmatrix}$

例2：



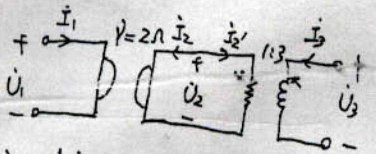
已知：$U_s=3V$，网络N中，$Z=\begin{bmatrix}4 & 3\\ 3 & 1\end{bmatrix}\Omega$，求 $\dot{U}_1,\dot{U}_2$ 的值

解：



$U_1=-1V$，$U_2=3V$

例3：求T参数



解：① 回转器：$\begin{cases}\dot{U}_1=-2\dot{I}_2\\ \dot{I}_1=0.5\dot{U}_2\end{cases}\Rightarrow T_1=\begin{bmatrix}0 & 2\\ 0.5 & 0\end{bmatrix}$

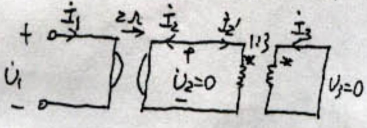
② 变压器：$\begin{cases}\dot{U}_2=\frac{1}{3}\dot{U}_3\\ \dot{I}_2'=-3\dot{I}_3\end{cases}\Rightarrow T_2=\begin{bmatrix}\frac{1}{3} & 0\\ 0 & 3\end{bmatrix}$

③ 级联 $T=T_1T_2=\begin{bmatrix}0 & 2\\ 0.5 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\frac{1}{3} & 0\\ 0 & 3\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 6\\ \frac{1}{6} & 0\end{bmatrix}$

方法2：令 $\dot{I}_3=0$

$\dot{U}_1=0$，$\rightarrow A=0$ ；$\dot{U}_2=\frac{1}{3}\dot{U}_3$．$\dot{I}_1=0.5\dot{U}_2\Rightarrow\dot{I}_1=\frac{1}{6}\dot{U}_3$ $\Rightarrow C=\frac{1}{6}S$

令 $\dot{U}_3=0$



$\dot{U}_1=-2\dot{I}_2=-2(3\dot{I}_3)=-6\dot{I}_3$ $\Rightarrow B=6\Omega$

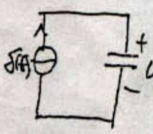
$\begin{cases}\dot{U}_1=A\dot{U}_3-B\dot{I}_3\\ \dot{I}_1=C\dot{U}_3-D\dot{I}_3\end{cases}$ $\Rightarrow \dot{I}_1=0.5\dot{U}_2\Rightarrow\dot{I}_1=0$ $\quad D=0$

(录音006)

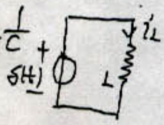
七、线性电路的时域求解

1、换路定则 ① 一般：$i_L(0+)=i_L(0-)$，$U_C(0+)=U_C(0-)$ ② 多个电容的结点：$\sum CU_C(0+)=\sum CU_C(0-)$ [电荷守恒]

③ 多个电感的回路：$\sum Li_L(0+)=\sum Li_L(0-)$ [磁链守恒]



$U_C(0+)=U_C(0-)+\frac{1}{C}\int_{0-}^{0+}\delta(t)dt=U_C(0-)+\frac{1}{C}$



$i_L(0+)=i_L(0-)+\frac{1}{L}\int_{0-}^{0+}\delta(t)dt$

$=i_L(0-)+\frac{1}{L}$

2、初值的确定：先求 $U_C(0-)$，$i_L(0-)$ $\xrightarrow{\text{换路定则}}$ $U_C(0+)$，$i_L(0+)$ 不足突变

0_+ 等效电路，$C\rightarrow$ 电压源 $[U_C(0+)]$ 即电阻电路，确定其它的 0_+ 值.

$L\rightarrow$ 电流源

3、一阶电路：$y(t)=\underbrace{y_p(t)}_{\text{特解}}+[y(0+)-y_p(0+)]e^{-\frac{t}{\tau}}$ 当激励源为直流和正弦交流时，特解即稳态解．

直流：$C\rightarrow$开，$L\rightarrow$短；正弦交流：相量法，再换成 $y_p(t)$

τ：RC、$\frac{L}{R}$ R：从动态元件看进去的等效电阻．

$\varepsilon(t)\rightarrow s(t)$

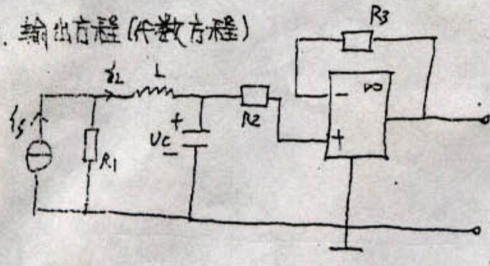
$\delta(t)\rightarrow h(t)$ } 单独由它们引起的响应是零状态响应

零输入 $U_C(0+)e^{-\frac{t}{\tau}}$

零状态 $U_C(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})$

录音 008：

*3. 输出方程（代数方程）



列出状态方程

解：选 u_C, i_L 为状态变量

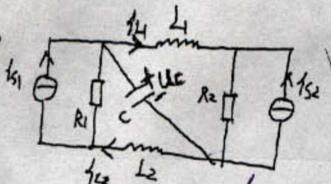
$$C\frac{du_C}{dt}=i_L$$

$$\frac{L\frac{di_L}{dt}+u_C}{R_1}+i_L=i_s$$

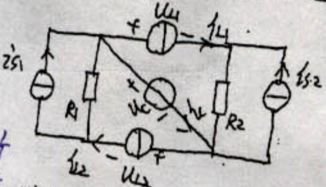
状态方程要求写矩阵形式：

$$\begin{bmatrix}\frac{du_C}{dt}\\ \frac{di_L}{dt}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & \frac{1}{C}\\ -\frac{1}{L} & -\frac{R_1}{L}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_C\\ i_L\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\ \frac{R_1}{L}\end{bmatrix}i_s$$

*例：

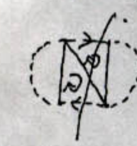


解：u_C, i_{L_1}, i_{L_2} 为状态变量



方法2：电压源、电容选做树支

电流源、电感选做连支



电流源与电阻最好不要等效为电压源与电阻串联形式

求解：u_{L_1}, u_{L_2}, i_C

$$\begin{bmatrix}\frac{du_C}{dt}\\ \frac{di_{L_1}}{dt}\\ \frac{di_{L_2}}{dt}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & -\frac{1}{C} & \frac{1}{C}\\ \frac{1}{L_1} & -\frac{R_2}{L_1} & 0\\ -\frac{1}{L_2} & 0 & \frac{R}{L_2}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_C\\ i_{L_1}\\ i_{L_2}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & -\frac{R_2}{L_1}\\ \frac{R_1}{L_2} & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i_{S_1}\\ i_{S_2}\end{bmatrix}$$

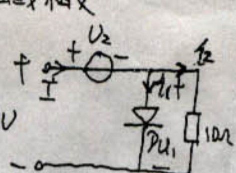
十、非线性电阻电路

(1) 图解法 $\begin{cases}\text{曲线相加} \rightarrow \text{端口的伏安特性.}\\ \text{曲线相交}\end{cases}$

(2) 分段线性法.

(3) 小信号分析

7V

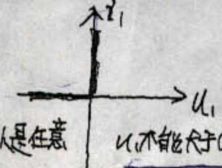


D 为理想二极管，画出 $u-i$ 的曲线

理想二极管作用？

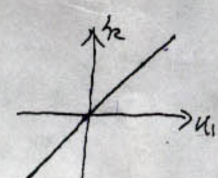
并联：电压相同，电流相加

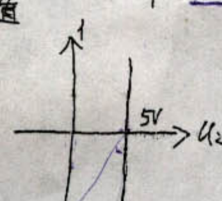
D_1：

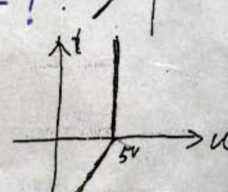


代表 i_1 可以是任意值

u_1 不能大于0 ?

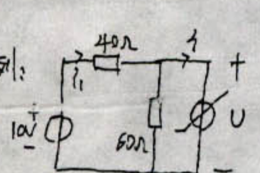






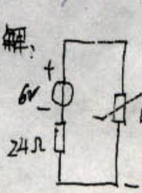
串联：电流相同，电压叠加

例：



$i=0.5u^2$ 求 i 和 i_1

解：



$$u+24i=6$$

$$u+24\times0.5u^2=6$$

$$u+12u^2-6=0$$

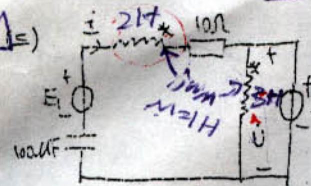
$$u=\begin{cases}\frac{2}{3}V\\ -\frac{3}{4}V\end{cases}\Rightarrow i=\begin{cases}0.222A\\ 0.2813A\end{cases}$$

$$\therefore\begin{cases}i=0.222A\\ i_1=0.233A\end{cases}\qquad\begin{cases}i=0.2813A\\ i_1=0.269A\end{cases}$$

$$\Rightarrow i_1=i+\frac{u}{60}=\begin{cases}0.2338A\\ 0.269A\end{cases}$$

∵谐振 等效阻抗 $\frac{R^2+(\omega L)^2}{R}=\frac{\dot I}{\dot U}=\frac{5}{200}\cdots$ ① $\omega C=\frac{\omega L}{R^2+(\omega L)^2}$ -- ② $\Rightarrow \omega L=20\Omega,\ L=0.2H,\ C=250\mu F$

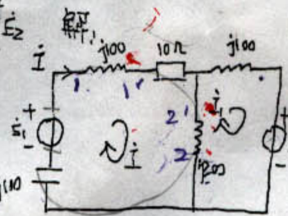
△(三)



同名端相联.

已知：$\omega=100rad/s$，$\dot E_1=10\angle 30^\circ V$，$\dot E_2=5\angle 60^\circ V$. 求 $\dot U$ 和 $\dot I$ 及 $\dot E_1$ 发出的有功无功.

解：



$\dot U=\dot E_2=5\angle 60^\circ\ V$

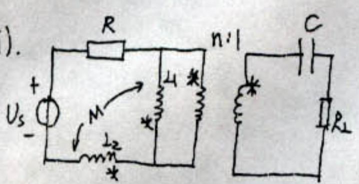
$(j100+10+200j-100j)\dot I+200j\dot I_1=\dot E_1$

$(200j+100j)\dot I_1+200j\dot I=\dot E_2$

$\therefore \dot I=0.11\angle -64.67^\circ A$，$\dot U=\dot E_2$，$\bar S=\dot E_1\dot I^*=-0.09+j1.096\ VA$

$\therefore P=-0.09W$，$Q=1.096\ var$

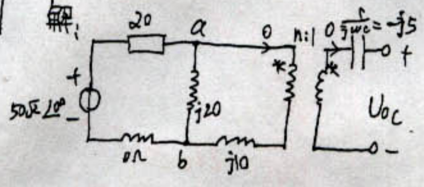
△(四).



已知：$U_S=100\cos 10t\ (V)$，$R=20\Omega$，$L_1=3H$，$L_2=1H$，$M=1H$，$C=0.02F$

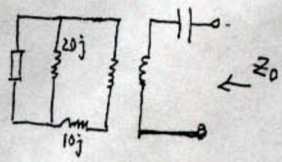
问：R_L 和 n 取多少 R_L 可获得最大功率？$P_{max}=?$

解：



$\dot I=\frac{50\sqrt2}{20+20j}$，$\dot U_{oc}=\frac{1}{n}U_{ab}$

$\dot U_{ab}=j20\dot I$，$\dot U_{oc}=\frac{50}{n}\angle 45^\circ\ V$



$Z_0=-5j+\frac{1}{n^2}(j10+\frac{400j}{20+j20})$，负载为 R_L，则虚部为0；$\frac{20}{n^2}-5=0\Rightarrow n=2$

$R_L=R_0$，$(\frac{U_{oc}}{2R_0})^2R_0=P_{max}$，$Z_0=\frac{10}{4}=2.5\Omega$ ∴ $R_L=\cancel{25}\Omega$ 时 $R_L=2.5\Omega$

$P_{max}=\left(\frac{\frac{50}{n}}{2.5+2.5}\right)^2\cdot 2.5=62.5W$

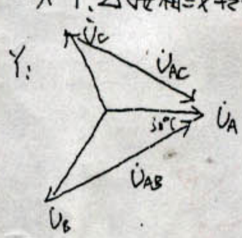
四、三相电路：

一）对称：有效值、f相等，初相位依次相差120°. $\alpha=1\angle 120^\circ$ $\alpha^2=1\angle 240^\circ$

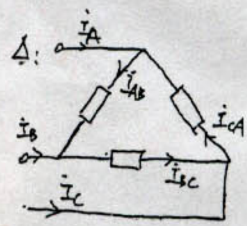
针对正序的对称.

二）Y、△接相线转换. Y：$\dot U_{AB}=\dot U_A-\dot U_B=\sqrt3\dot U_A\angle 30^\circ$

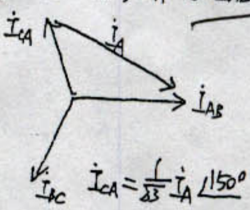
$\dot U_{AC}=\dot U_A-\dot U_C=\sqrt3\dot U_A\angle -30^\circ$



△：



$\dot I_A=\dot I_{AB}-\dot I_{CA}$；$\dot I_A=\sqrt3\dot I_{AB}\angle -30^\circ$



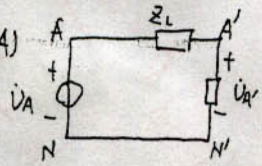
$\dot I_{CA}=\frac{1}{\sqrt3}\dot I_A\angle 150^\circ$

$\dot I_{BC}=\frac{1}{\sqrt3}\dot I_A\angle -90^\circ$

一般将△换成Y再进行求解

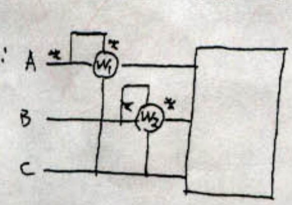
一般△换成Y，求 $\dot I_A$ 再求 $\dot I_{AB}$

三）. 对称三相电路的计算. 单相(A)



四）. 功率及测量 φ：相电压和相电流之间的电位差 $P=3U_pI_p\cos\varphi=\sqrt3U_LI_L\cos\varphi$

测量：

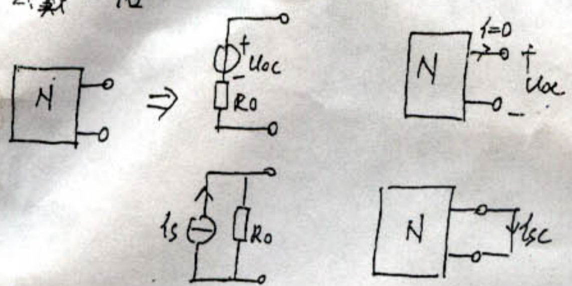


三线制：P=W1+W2 $W_1=Re[\dot U_{AC}\dot I_A^*]$

W1 = $U_{AC}I_A\cos\varphi_1$

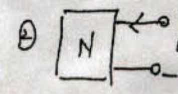
φ_1：$\dot U_{AC}$ 与 $\dot I_A$ 的相位差

2、戴一倍



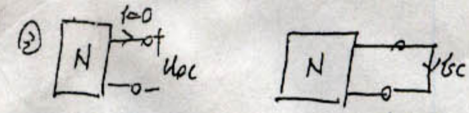
R_0：① R的串、并，$\Delta \longleftrightarrow Y$（$N_0$网络）

②



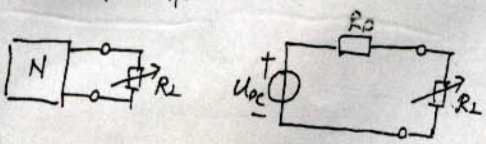
$R_0=\frac{U}{I}$ 加压求流

③



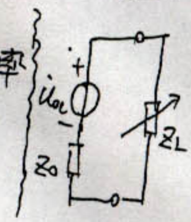
$R_0=\frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 开路电压，短路电流

3、最大功率传输：



当 $R_L=R_0$ 时，获得最大功率

$$P_{max}=\left(\frac{U_{oc}}{R_0+R_0}\right)^2 R_0$$



$Z_L=Z_0^{*}=R_0-jX$

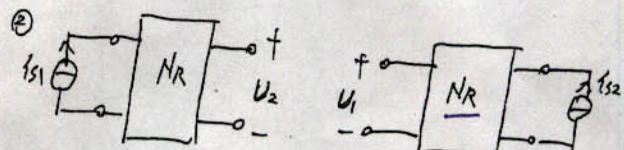
$$P_{max}=\left(\frac{U_{oc}}{2R_0}\right)^2 R_0$$

4、互易定理：

①

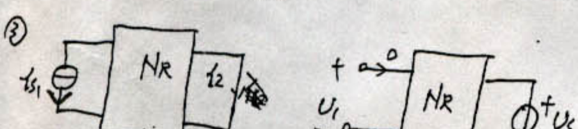
$$\frac{I_2}{U_{S1}}=\frac{I_1}{U_{S2}}$$

②



$$\frac{U_2}{I_{S1}}=\frac{U_1}{I_{S2}}$$

③



$$\frac{I_2}{I_{S1}}=\frac{U_1}{U_S}$$

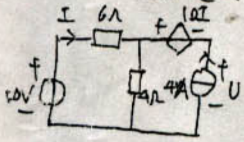
5、特勒根定理：

两个同拓扑图的网络：$\sum U_k \hat{I}_k=0$；$\sum \hat{U}_k I_k=0$　（U、I 关联参考方向）

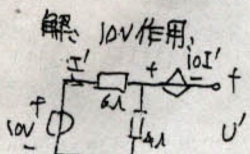
6、替代定理：支路的电压、电流已知

↘电压源　↘电流源

例题(一)：用叠加定理求U和10V电源发出的功率



解：10V作用，

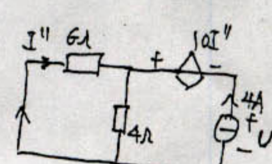


$I'=1A$

$U'=-10I'-6I'+10$

$=-10I'+4I'=-6V$

4A作用：



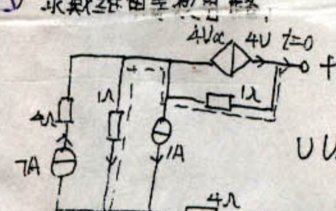
$I''=-\frac{4}{4+6}\times 4=-1.6A$

$U''=-10I''-6I''=25.6V$

$U=U'+U''=-6+25.6$

$P_{10V}=10I=10\times(1-1.6)=-6W$

A) 求戴维南等效电路

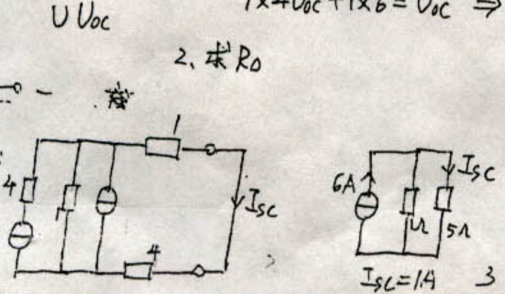


解：1、求 U_{oc}（走电压源和电阻，断电流源）

$1\times 4U_{oc}+1\times 6=U_{oc} \Rightarrow U_{oc}=-2V$

2、求 R_0

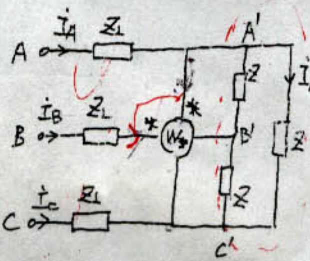
方法一：开短路法：



$R_0=\frac{U_{oc}}{I_{sc}}=-2\Omega$

五) 不对称：　普通正弦交流

功率表的接法?

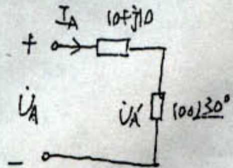


三相对称：$Z_L=10+j10\ \Omega$

负载：$Z=300\angle 30^\circ\ \Omega$

电源线电压：$U_L=380V$，求 $\dot{I}_{AC}$，$\dot{U}_{A'B'}$ 和 Ⓦ表的读数。

解：



设 $\dot{U}_A=220\angle 0^\circ V$，

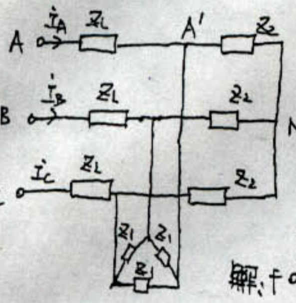
$$W=Re[\dot{U}_{A'B'}\dot{I}_B^*]+Re[\dot{U}_{B'C'}\dot{I}_B^*]$$

$\dot{I}_A=1.93\angle -31.84^\circ A$　　$\dot{U}_{A'}=193\angle -1.84^\circ V$

$\dot{U}_{AB}=\sqrt{3}\dot{U}_{A'}\angle 30^\circ=334.28\angle 28.16^\circ V$，$\dot{I}_{AC}=-\dot{I}_{CA}=-\frac{\dot{I}_A}{\sqrt{3}}\angle 150^\circ=1.14\angle -61.84^\circ A$

Ⓦ $=U_{A'C'}I_{AB}\cos\varphi=\sqrt{3}\times 193\times 1.93\cos 120^\circ=-322.58\quad W$

*(二)



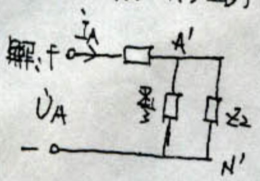
电源对称，已知 $\dot{U}_{A'B'}=380\angle 30^\circ V$，$Z_L=0.2+j0.3\Omega$，$Z_1$，$Z_2$ 为电感负载

△接的总功率为 10KW，$\cos\varphi_1=0.8$

Y接的总功率为 7.5KW，$\cos\varphi_2=0.88$

求 $\dot{I}_A$，$\dot{I}_B$，$\dot{I}_C$ 及 $\dot{U}_{AB}$

解：



Z_1：$I_{P1}=\frac{P_1}{3U_{P1}\cos\varphi_1}=\frac{10^4}{3\times 380\times 0.8}=10.96A$

I_{P1}：相电流，U_{P1}：相电压

$Z_1=\frac{U_{P1}}{I_{P1}}\angle\varphi_1=\frac{380}{10.96}\angle\varphi_1=34.67\angle 36.87^\circ\Omega$

Z_2：$I_{P2}=\frac{P_2}{3\times 220\times 0.88}=12.95A$

$\therefore Z_2=\frac{U_{P2}}{I_{P2}}\angle\varphi_2=16.94\angle 28.36^\circ\Omega$

$\dot{U}_{A'}=220\angle 0^\circ V$

$\dot{U}_A=Z_L\left(\frac{\dot{U}_{A'}}{\frac{Z_1}{3}}+\frac{\dot{U}_{A'}}{Z_2}\right)+\dot{U}_{A'}=230.63\angle 1.11^\circ V$

$\dot{U}_{AB}=\sqrt{3}\dot{U}_A\angle 30^\circ=399.46\angle 31.11^\circ V$，$\dot{I}_A=\frac{\dot{U}_{A'}}{\frac{Z_1}{3}}+\frac{\dot{U}_{A'}}{Z_2}=31.92\angle -33.42^\circ A$

$\therefore \dot{I}_B=31.92\angle -153.42^\circ A$　　$\dot{I}_C=31.92\angle 86.6^\circ A$

五、周期性非正弦电流电路.

1、傅付利叶级数展开：$f(t)=C_0+\sum_{k=1}^{\infty}C_k\cos(k\omega t+\varphi_k)$

2、求解，叠加定理　(1) 直流作用：　C→开，L→短.

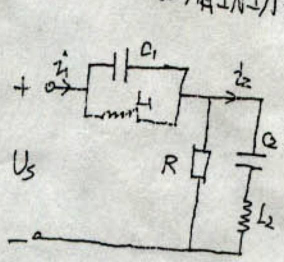
(2) 各频次作用：相量法.

(3) 瞬时值叠加.

(4) 有效值：$I=\sqrt{I_0^2+I_1^2+I_2^2+\cdots}$

(5) 有功功率　$P=U_0I_0+U_1I_1\cos\varphi_1+U_2I_2\cos\varphi_2+\cdots$　[同频次间产生有功] 电阻上消耗有功

例(1)：



求 i_1，i_2 及其有效值，电路吸收的有功

已知：$U_S=60+60\sqrt{2}\cos\omega t+20\sqrt{2}\cos 2\omega t\quad V$，$\omega L_1=\omega L_2=\frac{1}{\omega C_2}=100\Omega$

$\frac{1}{\omega C_1}=400\Omega$　　$R=60\Omega$