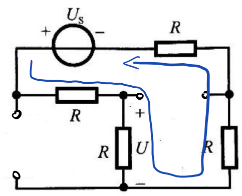
2021/2022 学年春季学期
电路期末复习试题参考答案

Ver 1.0　　2022.6

一、填空题

1、A、-64　[解析] 利用叠加定理和齐性定理求解. 一般利用齐性定理和叠加定理时，都是通过两组激励、响应关系，求出各激励对响应贡献的系数，现在只有一组数据，所以要先单独求出一种激励对于响应的贡献的系数. U_S 已知，所以先求 U_S 对于响应的贡献的系数. 使电流源不作用，如右图、可知 $U' = \frac{U_S}{4} = 4V$，(系数为 $\frac{1}{4}$) 则若只有电流源作激励，引起的响应为 $U'' = 20V - 4V = 16V$. 则在电流源作用不变时，若使 $U=0$，则有



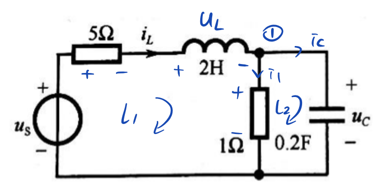
$U' + U'' = 0$，即 $\frac{U_S}{4} + 16 = 0 \Rightarrow U_S = -64V$.

B、4　[解析] 利用特勒根定理求解. 设两电路中共有 n 条支路，由特勒根定理

$\tilde{U}_1 I_1 + \tilde{U}_2 I_2 + \tilde{U}_3 I_3 + \sum_{k=4}^{n} \tilde{U}_k I_k = U_1\tilde{I}_1 + U_2\tilde{I}_2 + U_3\tilde{I}_3 + \sum_{k=4}^{n} U_k\tilde{I}_k$　由于对二端电阻而言（N_R 中的所有元件），$\tilde{U}_k I_k = U_k \tilde{I}_k$，

故 $\tilde{U}_1 I_1 + \tilde{U}_2 I_2 + \tilde{U}_3 I_3 = U_1\tilde{I}_1 + U_2\tilde{I}_2 + U_3\tilde{I}_3$. 据此求解即可.

2、$\begin{bmatrix} \dot{u}_C \\ \dot{i}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5 & 5 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{5}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{2} \end{bmatrix} [u_S]$



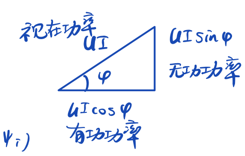
[解析] 对回路 l_1 列写 KVL 方程：　$u_S = 5i_L + u_L + i_1$　其中 $u_L = 2\frac{di_L}{dt}$

（步骤①：对含一个电感的回路列 KVL 方程）

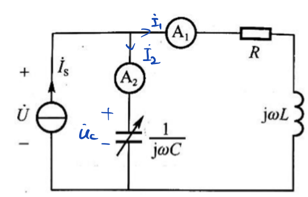
对节点① 列写 KCL 方程：　$i_L = i_1 + i_C$　其中 $i_C = \frac{1}{5}\frac{du_C}{dt}$（步骤②：对含一个电容的节点列 KCL 方程）

为消去 i_1，列补充方程：（回路 l_2 的 KVL 方程）　$i_1 = u_C$　$\Rightarrow$ $\begin{cases} \frac{1}{2}u_S - \frac{5}{2}i_L - \frac{1}{2}u_C = \frac{di_L}{dt} \\ 5i_L - 5u_C = \frac{du_C}{dt} \end{cases}$ 即可写出状态方程.

3、A、　$UI\sin(\psi_1 - \psi_2)$　　UI　　[提示]



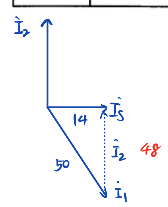
φ：功率因数角（$\psi_u - \psi_i$）



B、48　[解析] 如右图，标定参考方向. 则 $\dot{I}_S = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$（KCL 的相量形式）

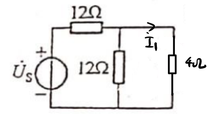
$\dot{I}_2 = j\omega C\dot{U}_C = j\omega C\dot{U}$　$\Rightarrow$ $\dot{I}_2$ 超前 $\dot{U}$ $90°$，则 $\dot{I}_2$ 超前 $\dot{U}$ $90°$，而 $\dot{U}$ 与 $\dot{I}_S$ 同相，($\dot{I}_S$)

$\dot{U}$ 超前于 $\dot{I}_1$（R 与 $j\omega L$ 串联电路呈感性），所以，画出相量图如右所示（以 $\dot{I}_S$ 为参考相量）($\dot{I}_S$)



$I_2 = \sqrt{50^2 - 14^2} = 48mA$.

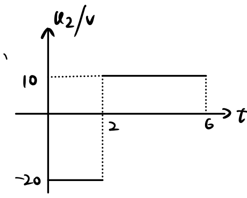
4、 A、 $2\angle 0^\circ$ A　　[解析] 将阻抗变换到一次侧，有 $Z_{eq}=n^2\times 1\Omega=4\Omega$，画出等效电路图，



$R_{总}=12\Omega+\frac{12\times 4}{12+4}\Omega=15\Omega$， $\dot{I}_1=\frac{\dot{U}_S}{15}\times\frac{12}{16}=1\angle 0^\circ$ A.

由理想变压器特性方程， $\dot{I}=n\dot{I}_1=2\angle 0^\circ$ A
(二次侧电流与一次侧电流相对同名端反向)

B、



[解析] $u_2=-M\frac{di_1}{dt}$ (负号是由于流入一次侧线圈的电流参考方向与同名端的关系，和二次侧线圈输出电压参考方向与同名端的关系，是相反的)， $t=0s\sim t=2s$ 时， $\frac{di_1}{dt}=1$， $t=2s\sim t=6s$ 时， $\frac{di_1}{dt}=-0.5$.

据此即可解题。

5、 5.30　71.41　562.5　[解析] 处理非正弦周期电流电路问题，用叠加定理，分别求出各次谐波的响应。

① 直流分量单独作用时， $i_{(0)}=\frac{100}{20}=5A$， $u_{(0)}=0$

② $u_1=100\cos(3\omega t+40^\circ)$ 单独作用时， $3\omega L_2=15\Omega$， $\frac{1}{3\omega C}=15\Omega$， 可知此时 L_2 和 C 发生并联谐振，

$i_{(1)}=0$， $u_{(1)}=u_S=100\cos(3\omega t+40^\circ)$ V

③ $u_2=50\cos(9\omega t-30^\circ)$ V 单独作用时， $9\omega L_1=\frac{45}{8}\Omega$， $\frac{1}{9\omega C}=5\Omega$， $9\omega L_2=45\Omega$

C与L_2并联等效阻抗为 $Z_{eq}=\frac{j45\times(-j5)}{j45-j5}=\frac{225}{j40}=-\frac{45}{8}j\ \Omega$　则发生串联谐振， $i_{(2)}=2.5\cos(9\omega t-30^\circ)$ A，

$\dot{U}_{(2)m}=2.5\angle -30^\circ\times(-j\frac{45}{8})=\frac{225}{16}\angle -120^\circ$ V. ∴ $u_2=\frac{225}{16}\cos(9\omega t-120^\circ)$ V.

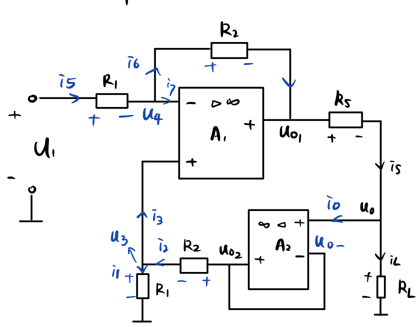
所以， $i(t)=5+2.5(9\omega t-30^\circ)$， $u(t)=100\cos(3\omega t+40^\circ)+\frac{225}{16}\cos(9\omega t-120^\circ)$ V.

电流表示数 $I=\sqrt{5^2+(\frac{2.5}{\sqrt{2}})^2}=\frac{15\sqrt{2}}{4}A\approx 5.30A$　　$P=I^2R=562.5W$.

电压表示数 $U=\sqrt{(\frac{100}{\sqrt{2}})^2+(\frac{225}{16\sqrt{2}})^2}\approx 71.41V$

二、分析与计算

(一)



$u_{o2}=u_{o-}=u_o=i_LR_L$
且由 $i_3=0$，得 $i_2=i_1$
因此， $u_{o2}=i_1(R_1+R_2)$
$u_3=i_1R_1$
得 $u_3=\frac{R_1}{R_1+R_2}u_{o2}$
则 $u_4=\frac{R_1}{R_1+R_2}u_{o2}$
由 $i_0=0$ 得 $i_s=i_L$，故
$u_{o1}=i_sR_s+i_LR_L=i_L(R_2+R_s)$

由 $i_7=0$，有 $i_5=i_6$，
又 $i_5=\frac{u_1-u_4}{R_1}$
$i_6=\frac{u_4-u_{o1}}{R_2}$　→ 此处亦可对虚拟回路列KVL
代入解得、 $i_L=-\frac{R_2}{R_sR_1}u_1$

(综合运用虚短虚断特性，结合KVL解题)

(二) $L_{eq}=L_1+L_2-2M=4mH$　因此谐振角频率 $\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{10^{-3}\times 4\times 10^{-3}}}$ rad/s $=500$ rad/s

品质因数 $Q=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}=0.4$， ∴ $\Delta\omega=\frac{\omega_0}{Q}=1250$ rad/s (思考：为什么取电流i为响应时带宽可用 $\frac{\omega_0}{Q}$ 来计算？)

$\dot{U}=j\omega L_2\dot{I}_2-j\omega M\dot{I}_1$， $\dot{I}_1=\dot{I}_2=\dot{I}_S=2\sqrt{2}\angle 0^\circ$ A

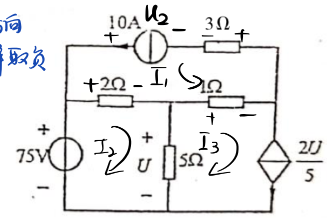
得 $\dot{U}=2\sqrt{2}\angle 0^\circ\times j\times(4\times 10^{-3}-1\times 10^{-3})\times 500=3\sqrt{2}\angle 90^\circ$ V　∴ $u=6\cos(500t+90^\circ)$ V.

(三) 选网孔列回路电流方程，有：

$$\begin{cases} I_1 = 10A; \\ \underset{\to\text{自阻}}{(2+5)} I_2 + \underset{\text{互阻}}{2 I_1 - 5 I_3} = 75 \\ \cancel{(5+1) I_3 - 5 I_2 + I_1 = U_1} \end{cases}$$

(由绕行方向决定) 方程右侧，沿电流方向电压升取正，电压降取负

(可不必列写，因为无须知道受控源两端电压)



补充方程 $(I_2 - I_3)\times 5 = U$ （5Ω电阻的电压电流关系）

$I_3 = \frac{2U}{5}$ （受控源控制量与被控量关系）

解得 $\begin{cases} I_2 = 15\ A \\ I_3 = 10\ A \\ U = 25\ V \end{cases}$

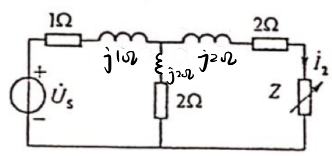
1Ω电阻上的电流：$I_4 = I_1 + I_3 = 20A \Rightarrow$ 吸收功率 $P = I_4^2 R = 400W$

75V电源上流过的电流（取非关联参考方向）即为I_2，$\Rightarrow P_{发1} = 75V\times 15A = 1125W$

10A电流源两端电压：（由KVL）（电流源上电压、电流取非关联参考方向）

$U_2 = (I_1 + I_2)\times 2 + I_4 \times 1 + 3\times I_1 = 30+20+50 = 100V \Rightarrow P_{发2} = 1000W$.

(四) 先去耦合，如右图所示。

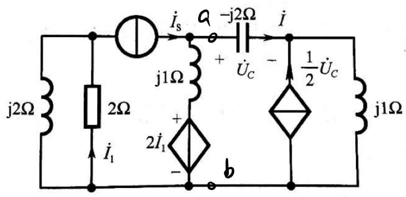


将从Z看进去的电路作一戴维南等效，可得 $Z_{eq} = (1+j)/\!/(2+j2) + 2+j2 = \frac{4}{3}(2+j2)$

$\dot{U}_{oc} = \frac{2\dot{U}_s}{3} = \frac{20}{3}\angle 0°\ V$

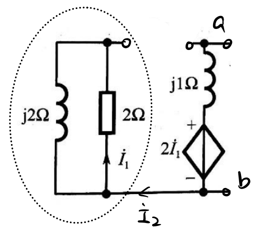
则 $Z = \frac{8}{3} - \frac{8}{3}j\ \Omega$ 时，可获得最大功率，最大功率为 $P = \frac{(\frac{20}{3})^2}{4\times\frac{8}{3}} = \frac{25}{6}W$ $\quad I_2 = \frac{\frac{20}{3}}{\frac{16}{3}} A = \frac{5}{4}A$.

(五) 将图中ab左侧电路作一戴维南等效。



① 等效阻抗：将电流源置零，则 $\dot{I}_1 = 0$ （如右下，知 $\dot{I}_2 = 0$）

$\Rightarrow Z_{eq} = j1\ \Omega$



② 开路电压：$\dot{I}_1 = \frac{j2}{2+2j}\times 4\angle 0°\ A = 2+j2\ A$

$\dot{U}_{oc} = (2+j2)\times 2 + 4\times j1 = 4+j8\ V = 4\sqrt{5}\angle 63.43°\ V$

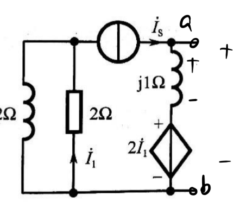
ab右侧电路可等效为一阻抗，在端口外施一电压激励 $\dot{U}$，则

$\dot{U} = \dot{U}_C + j1(\dot{I} + \frac{1}{2}\dot{U}_C) = \dot{I}(-j2) + j1\dot{I} + \frac{1}{2}\dot{I}(-j2)(j1) = (1-j)\dot{I}$

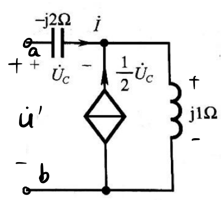
$\Rightarrow Z_{eq}' = 1-j \quad \Rightarrow \quad \dot{I} = \frac{4+j8}{(1-j)+j} = (4+j8)\ A$

$= 4\sqrt{5}\angle 63.43°\ A$

$(8.94\angle 63.43°\ A)$



$\dot{U}_{oc}$



(六) 解：设 $\dot{U}_A = 100\sqrt{3}\angle 0^\circ$ V，$\dot{U}_B = 100\sqrt{3}\angle -120^\circ$ V，$\dot{U}_C = 100\sqrt{3}\angle 120^\circ$ V、设 $Z = |Z|\angle\varphi$ ($\varphi<0^\circ$)

针对功率表 W_1 分析：$\dot{U}_{AC} = 300\angle -30^\circ$ V $\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z} = \frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\angle -\varphi$ 因此 $W_1 = 300\times\frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\cos(-30^\circ+\varphi)$

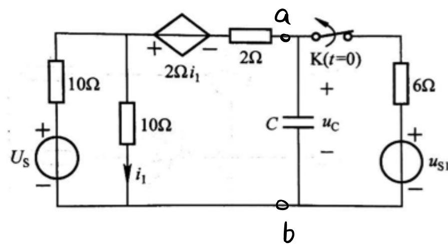
由 $W_1=0$ 则 $-30^\circ+\varphi = 90^\circ + k\times180^\circ$ ($k\in Z$)，解得 $\varphi=-60^\circ$.

针对功率表 W_2 分析：$\dot{U}_{BC} = 300\angle -90^\circ$ V $\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z} = \frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\angle -120^\circ-\varphi = \frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\angle -60^\circ$

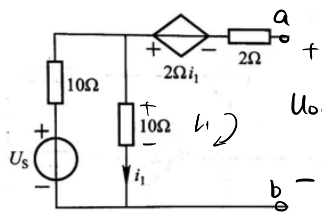
因此 $W_2 = 300\times\frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\times\cos[-90^\circ-(-60^\circ)] = 300\times\frac{100\sqrt{3}}{|Z|}\times\cos(-30^\circ) = \frac{4.5\times10^4}{|Z|} = 1500$ 得 $|Z|=30$

$\therefore Z = 30\angle -60^\circ\,\Omega = (15-j\,15\sqrt{3})\Omega$、

(七) 解：为方便分析，先将右图中 ab 端口左侧电路作一戴维南等效、



① 求开路电压：



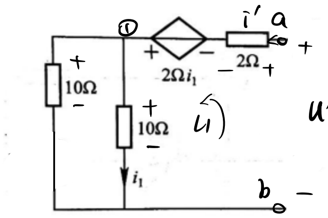
由 KVL：$i_1 = \frac{20}{10+10}A = 1A$

作虚拟回路如左图所示

则 $U_{oc} = 10\times1-2\times1$
$= 8V$

(注意参考方向)

② 求等效电阻：

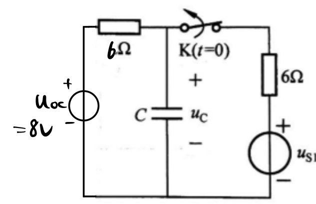


在外界加一激励 U'，由回路 l_1 KVL 得 $U'+2i_1 = 10i_1+2i'$

由节点① KCL 结合并联分流规律得 $i'=2i_1$

代入上式，有 $U'=12i_1=6i'$ → $R_{eq} = \frac{U'}{i'} = 6\Omega$

等效后电路如右所示， 稳态时 $U_C(\infty) = U_{oc} = 8V$



换路前后，由换路定律知电容电压不突变，则利用叠加定理求换路前电容电压、

① 仅有直流电源作用时，$U_{C(0)} = 4V$、

② 仅有交流电源作用，用相量法：$Z_{eq} = 6+\frac{-24j}{6-4j} = 6-\frac{6}{13}j(6+4j) = \frac{102}{13}-\frac{36}{13}j$

$$\dot{U}_C = \frac{\dot{U}_{S1}}{Z_{eq}}\times\frac{6}{6-4j}\times(-4j) = \frac{5\angle0^\circ}{36-48j}\times(-24j) = \frac{8}{5}-\frac{6}{5}j、$$

$\therefore$ 仅有交流电源作用时的 $u_C = 2\cos(10t-36.9^\circ)$

$\therefore$ $u_C = [4+2\cos(10t-36.9^\circ)]$ V

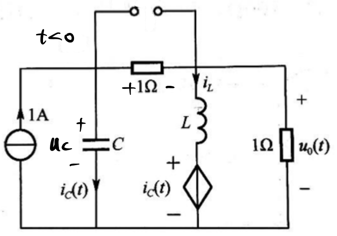
$t=0$ 时，$u_C(0-) = 4+1.6 = 5.6$ V

时间常数 $\tau = RC = 6\Omega\times0.025F = \frac{3}{20}s$ (针对换路后)

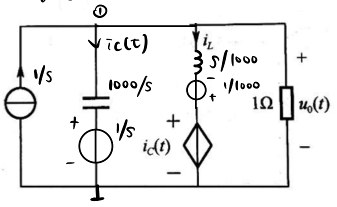
$\therefore$ 由三要素公式有 $u_C(t) = [8-2.4e^{-(20/3)t}]$V.

(八) 解：开关闭合前电路处于稳态、电容在直流稳态下相当于开路，$i_C(t)=0$，故受控电压源上也无电压升降、电感相当于短路、则电路相当于1A电流源与1Ω电阻串联、 $i_L(0_-)=1A$， $u_C(0_-)=1V$、

t<0



t>0



开关闭合后，画出运算电路如右下所示、利用节点电压法：

对节点①： $\frac{1}{s}+\frac{1}{1000}+\frac{i_C-\frac{1}{1000}}{s/1000}=\left(1+\frac{1000}{s}+\frac{s}{1000}\right)U_{n1}(s)$

补充方程 $\frac{1}{s}+\frac{1000}{s}\times i_C=U_{n1}$ $\Rightarrow$ $i_C=-\frac{1}{1000}+\frac{s}{1000}U_{n1}(s)$

代入上式，有 $\frac{1}{s}+\frac{1}{1000}-\frac{2}{s}=\frac{10^6+s^2}{1000s}U_{n1}(s)$

$\therefore u_0(s)=u_{n1}(s)=\frac{-1000+s}{s^2+10^6}=\frac{\frac{1}{2}-\frac{1}{2}j}{s+1000j}+\frac{\frac{1}{2}+\frac{1}{2}j}{s-1000j}$

$A=\frac{1}{2}+\frac{1}{2}j=\frac{\sqrt{2}}{2}\angle 45^\circ$

$\therefore u_0(t)=\mathcal{L}^{-1}\{u_0(s)\}=2|A|e^{at}\cos(\omega t+\theta)=\sqrt{2}\cos(1000t+45^\circ)$

$=[\cos(1000t)-\sin(1000t)]V$