创造大学生的未来

清华大学

827 电路原理

真题答案解析

2013 年

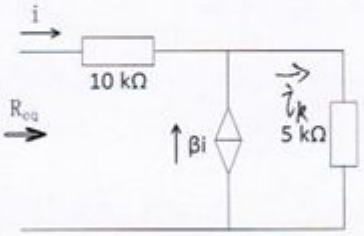
万学教育·海文考研
考研教学与研究中心

一、计算题

2012 年清华大学 827 电路原理

2012 年清华大学 827 电路原理真题

1.（1）如图所示二端网络，求图示电路的入端电阻，并分析该二端网络是无源网络吗？为什么？



解：5KΩ电阻中电流 $i_R = i + \beta i = (1+\beta)i$

受控电流源相当于一个 $\frac{-5\times(1+\beta)i}{\beta i} = -\frac{5(1+\beta)}{\beta}\ \Omega$ 电阻

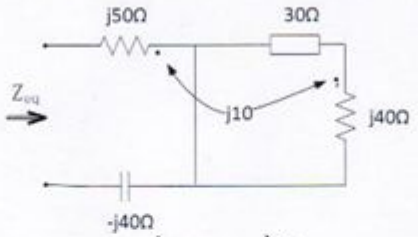
$$R_{eq} = 10 + 5 // \left(-\frac{5(1+\beta)}{\beta}\right)$$

$$= 10 + 5(1+\beta)$$

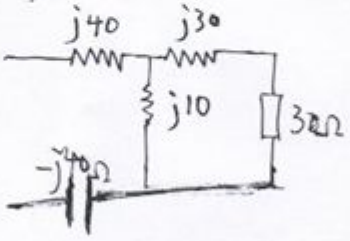
$$= 15 + 5\beta\ \Omega$$

该二端网络为无源网络，受控源非有源元件。

（2）求图 b 所示电路的入端阻抗。



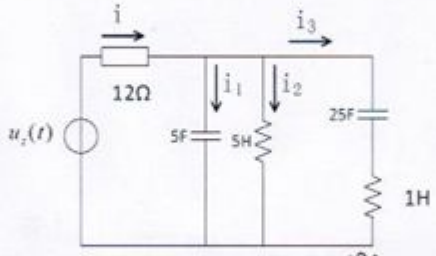
等效电路



$$Z_{eq} = j10 // (30 + j30) = 6\sqrt{2}\angle 45°\ (\Omega)$$

2012 年清华大学 827 电路原理

2.图示稳态电路$u_s(t)=24+24\sin 0.2t\,V$ 试求：i、i_1、i_2、i_3 的表达式及有效值并求该电路消耗的有功功率。



解：U_S中直流单独作用时，

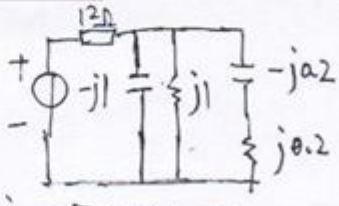
$U_0=24V$.

$\dot{i}_0=\frac{24}{12}=2A$，$\dot{i}_{20}=2A$，$P_0=24\times 2=48(W)$

U_S中交流单独作用时，$w=0.2\ rad/s$

$\dot{U}_S=12\sqrt{2}\angle 0°(V)$

串联谐振，并联谐振，$\dot{I}=\frac{\dot{U}_S}{12}=\sqrt{2}\angle 0°(A)$



$P=P_0+P_1$

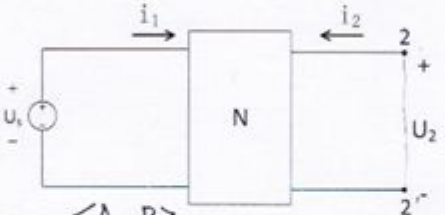
$=72(W)$

$\dot{I}_3=\sqrt{2}\angle 0°(A)$. $P_1=12\sqrt{2}\times\sqrt{2}=24(W)$

$\dot{i}=2+2\sin 0.2t(A)$

$\dot{i}_1=0$，$\dot{i}_2=2$，$\dot{i}_3=2\sin 0.2t(A)$

3、N 是一个电阻构成的对称二端口，当U_S=50V 端口 22'接 R=5Ω电阻获得最大功率P_{max}=20W，若$U_S=20\sin 100t\,V$ 端口 22'接 L=0.05H 的电感，求稳态时U_S发出的复功率。



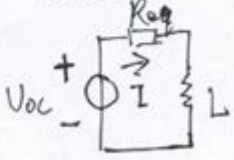
解：设N的T参数阵 $T=\begin{bmatrix}A & B\\ C & D\end{bmatrix}$，$A=D$，$AD-BC=1$

$\begin{cases}U_S=AU_2-B\dot{i}_2\\ \dot{i}_1=CU_2-D\dot{i}_2\end{cases}$

当22'开路时，$\dot{i}_2=0$，$U_{oc}=\frac{1}{A}U_S$

22'短路时，$U_2=0$，$\dot{i}_{sc}=\dot{i}_1/D$

现22'接电感L，戴维南等效电路如图.



有$R_{eq}=\frac{U_{oc}}{\dot{i}_{sc}}=5\Omega$

$P_{max}=\frac{U_{oc}^2}{4R_{eq}}=20$

$A=2.5=D$，

$R=\pm 12.5\ \Gamma=\pm 0.4$

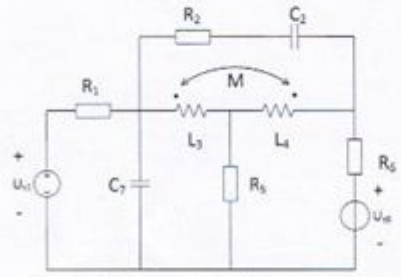
2012 年清华大学 827 电路原理

$U_{oc}=\frac{1}{A}U_S=8\sin 10t\,(V)$

$\dot{I}=\frac{\dot{U}_{oc}}{R_{eq}+j\omega L}=\frac{2\sqrt{2}\angle 0^\circ}{5+j5}=0.4\angle -45^\circ\,(A)$

$\bar{S}=\dot{U}_{oc}\dot{I}^*=2\sqrt{2}\angle 0^\circ\times 0.4\angle 45^\circ=\frac{4}{5}+j\frac{4}{5}\,(V\cdot A)$

4.电源角频率均为 W，试以 5、6、7 为树支写出正弦稳态下相量形式的基本回路电流方程 $B_f Z B_f^T I_l = B_f \dot{U}_S - B_f Z \dot{I}_S$ 中基本回路矩阵 B_f、Z、I_l、U_S、I_S。



解：

$$B_f=\begin{array}{c} \\ 2\\3\\4\end{array}\begin{bmatrix} 5 & 6 & 7 & 1 & 2 & 3 & 4\\ & & 1 & 1 & & & \\ & 1 & & -1 & 1 & & \\ 1 & & & -1 & & 1 & \\ 1 & -1 & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$\dot{U}_S=[\dot{U}_{S1}\ 0\ 0\ 0\ 0\ -\dot{U}_{S6}\ 0]^T$$

$$\dot{I}_S=[0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0]^T$$

$$Z=\begin{bmatrix} R_1 & & & & & & \\ & R_2-j\frac{1}{\omega C_2} & & & & & \\ & & & & jwL_3 & jwM & \\ & & & & jwM & jwL_4 & \\ & & & & & & R_5 \\ & & & & & & & R_6-j\frac{1}{\omega C_7} \end{bmatrix}$$

由于 3,4 支路含有互感，

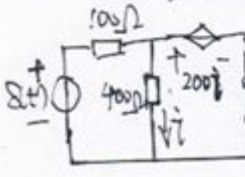
$$\begin{cases}\dot{U}_3=jwL_3\dot{I}_3+jwM\dot{I}_4\\ \dot{U}_4=jwL_4\dot{I}_4+jwM\dot{I}_3\end{cases}$$

$$\dot{I}_l=[\dot{I}_1\ \dot{I}_2\ \dot{I}_3\ \dot{I}_4]^T$$

5.已知 $U_S=\delta(t)+5[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)]$V 求（1）电感电流 $i_L(0^+)$（2）电感电流 $i_L(t)$ 波形标出关键点坐标（限定用时域解法）。

解：Us中含有冲激量，故电路会发生跃变

此时电感可看作开路，等效电路图：



$u_L=-200i_1+400i_2$

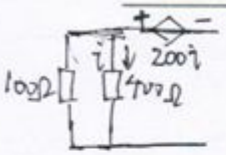
$i=\frac{\delta(t)}{100+400}$

$\therefore i_1=\frac{2}{5}\delta(t)$

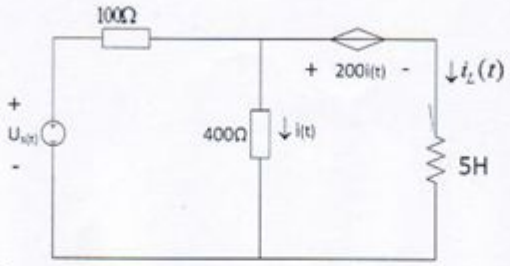
$i_L(0^+)=i_L(0^-)+\frac{1}{L}\int_{0^-}^{0^+}u_L\,dt$

$=0+\frac{1}{5}\cdot\frac{2}{5}=\frac{2}{25}\,(A)$

2012 年清华大学 827 电路原理



$R_{eq}=40\Omega$



(2) $t>0$ 时, $U_S=5(\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1))$ V.

$0<t\le 1$ 时, $U_S=5$ V.

$i_L(\infty)=\frac{5}{100}$ (A)

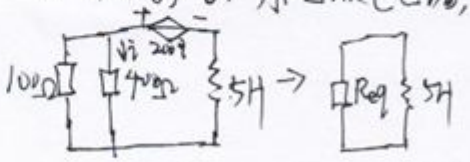
$\tau=\frac{L}{R_{eq}}=\frac{5}{40}=\frac{1}{8}$ (s)

$i_L(t)=i_L(\infty)+(i_L(0^+)-i_L(\infty))e^{-\frac{t}{\tau}}$

$=0.05+(5.08-0.05)e^{-8t}$ (A) $0<t\le 1$

$t=1$ 时, $i_L=0.05+0.03e^{-8}=0.05$ (A)

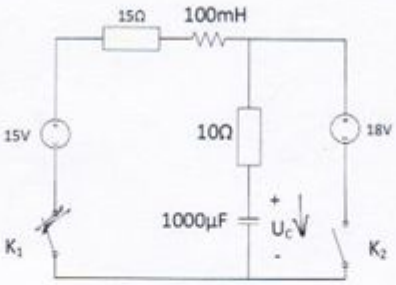
$t>1$ 后, $U_S=0$. 为RL放电电路, $i_L(\infty)=0$,



$i_L(t)=i_L|_{t=1}e^{-8(t-1)}$ A

$=0.05e^{-8(t-1)}$ (A), $t>1$

6、换路前已达稳态：t=0 时闭合 K_1、打开 K_2，t=10ms 时 K_2 再闭合，求 $u_c(t)$ 画出 $u_c(t)$ 波形标出关键点坐标。



解：$t<0$ 时, K_2 闭合, K_1 打开,

$i_L(0^-)=0$, $u_c(0^-)=18$V

$0<t<10$ms 时, 为RLC串联电路.

$\frac{d^2u_c}{dt^2}+\frac{R}{L}\frac{du_c}{dt}+\frac{1}{LC}u_c=\frac{1}{LC}U_S$

特征方程 $p^2+250p+10^4=0$

$p=-50,-200$,

$u_c=A_1e^{-50t}+A_2e^{-200t}+15$

$u_c(0^+)=u_c(0^-)=18$V

$\frac{du_c}{dt}|_{0^+}=\frac{1}{C}i_L(0^+)=\frac{1}{C}i_L(0^-)=0$

即 $\begin{cases}A_1+A_2=3\\-50A_1-200A_2=0\end{cases}$

$A_1=4$, $A_2=-1$

$u_c=4e^{-50t}-e^{-200t}+15$

$0<t\le 10$ms

$t=10$ms 时

$u_c=17.29$ V.

K_2 闭合后, 电路分为两个一阶电路.

$18=u_c+10^{-2}\frac{du_c}{dt}$

特征方程

$10^{-2}p+1=0$

2012 年清华大学 827 电路原理

$p=-100$

$u_c=A_3e^{-100(t-0.01)}+18$

$u_c|_{t=10ms}=A_3+18=17.29$

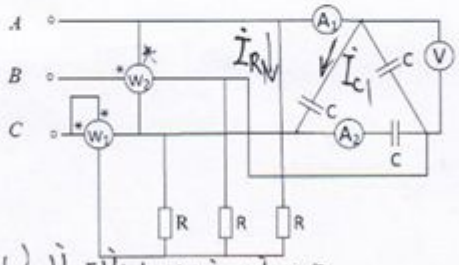
$A_3=-0.71$

$u_c=-0.71e^{-100(t-0.01)}+18 \quad t>10ms$

法二：$u_c=\int 4e^{-50t}-e^{-200t}+15 \quad 0<t\le 10ms$

$=-0.71e^{-100(t-0.01)}+18 \quad t>10ms$

7、对称三相电路：$\frac{1}{\omega C}=90\Omega$、$R=40\Omega$ 设 $U_A=120\sqrt{2}\sin 628t V$（1）求 $i(t)$（2）各电压表、电流表、功率表的示数均为有效值。



解：$\dot{U}_A=120\angle 0°(V)$，$\dot{U}_B=\dot{U}_A\angle -120°$，$\dot{U}_C=\dot{U}_A\angle 120°$

$\dot{I}_{R1}=\frac{\dot{U}_A}{R}=3\angle 0°(A)$

$\dot{I}_{C1}=\frac{\dot{U}_{AC}}{Z_C}=\frac{120\sqrt{3}\angle -30°}{-j90}=\frac{4\sqrt{3}}{3}\angle 60°(A)$

$\dot{I}_A=\dot{I}_{R1}+\sqrt{3}\dot{I}_{C1}\angle 30°=5\angle -53.1°(A)$

(2) $P_1=U_C I_C\cos\varphi_1=120\times 5\times\cos(-53.1°)=360.2(W)$

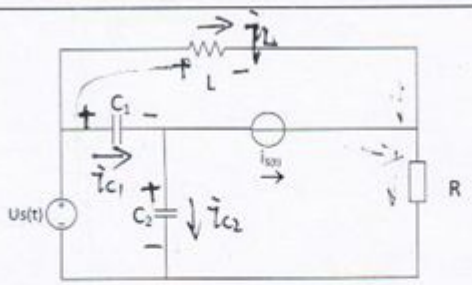
$P_2=U_{AC}I_B\cos\varphi_2=120\sqrt{3}\times 5\times\cos(-30°-(-66.9°))$

$=831.1(W)$

电压表读数 $U=120\sqrt{3}(V)$，电流表 A_1 读数 $I_1=4A$，A_2 读数 $I_2=\frac{4}{3}\sqrt{3}A$

8、电路中试选择合适变量列写状态方程并整成如下形式：$\dot{x}=Ax+BU+CU$。

2012 年清华大学 827 电路原理



选择 i_L, u_{c1} 为状态变量. (由于 C_1 和 C_2 没有并联)

$$L\frac{di_L}{dt}=u_S+R(i_L+i_S) \quad ①$$

$$C_1\frac{du_{c1}}{dt}=C_2\frac{du_{c2}}{dt}+i_S \quad ②$$

$$u_{c1}+u_{c2}=u_S \quad ③$$

将③代入②有 $C_1\frac{du_{c1}}{dt}=-C_2\frac{du_{c1}}{dt}+i_S$

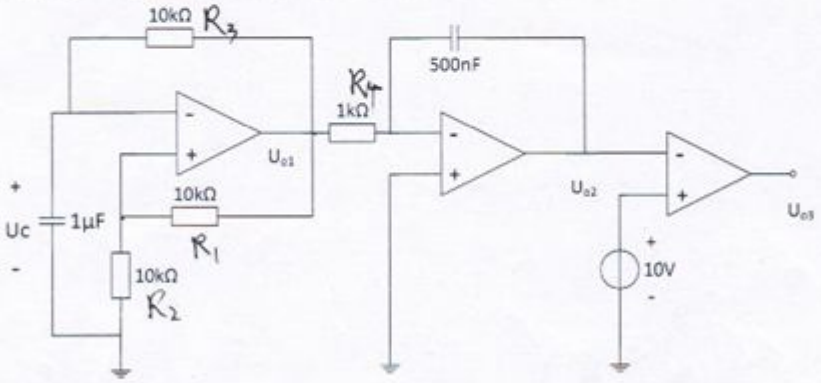
$$\frac{du_{c1}}{dt}=\frac{1}{C_1+C_2}i_S$$

综上:

$$\begin{bmatrix}\frac{di_L}{dt}\\ \frac{du_{c1}}{dt}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-\frac{R}{L} & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}i_L\\ u_{c1}\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}\frac{1}{L} & -\frac{R}{L}\\ 0 & \frac{1}{C_1+C_2}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u_S\\ i_S\end{bmatrix}$$

2012 年清华大学 827 电路原理

9. 3 个理想运放饱和输出电压均为 ±15V，(1)运放 1、2 是那种反馈形式为什么？(2)求稳态时 U_{O1}、U_{O2}、U_{O3} 表达式（注：U_{O2} 可用 U_{O1} 作为输入来表示。U_{O3} 可用 U_{O2} 作为输入表示）在同一幅图中画出稳态时 U_C、U_{O1}、U_{O2}、U_{O3} 的波形标出关键点坐标并注明各时段运放的工作的区域（线性、正向饱和、反向饱和）



解：(1) 运放1是正反馈，运放2是负反馈。

(2) 运放1的 $U_+ = \frac{1}{2}U_{O1}$，而 $U_- = U_C$，

电容C通过电阻与 U_{O1} 相连不断充放电

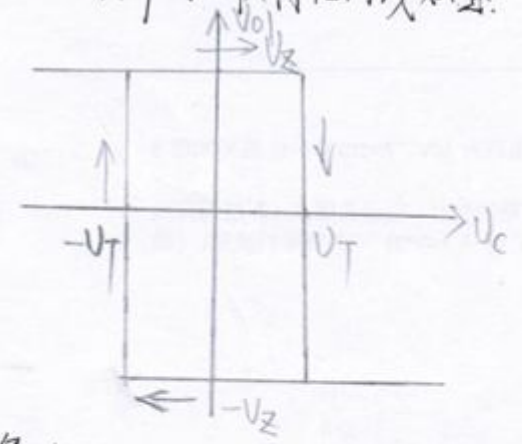
而输出 U_{O1} 由 $(U_+ - U_-)$ 决定。

设某一时刻输出电压 $U_{O1} = 15V$，则 $U_+ = 7.5V$，U_{O1} 通过R对C充电，U_C↑，趋于 U_{O1}，当 $U_C = U_+$ 时，再稍增大，U_{O1} 由15V跃变为-15V，U_+ 由7.5V跃变为-7.5V，电容C向 U_{O1} 放电，U_C↓，趋于 U_{O1}，当 $U_C = -7.5V$，再稍减小，U_{O1} 变-15V跃变为15V，电容又开始充电。$T = 2RC\ln(1+2\frac{R_1}{R_2})$

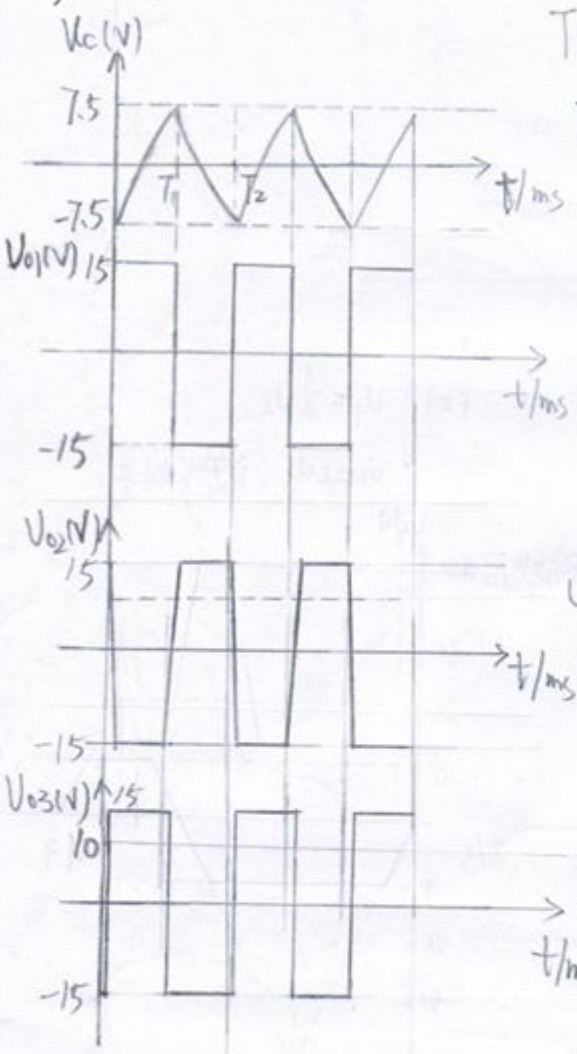
运放2为积分运算电路，$U_{O2} = -\frac{1}{RC}\int U_{O1}dt = -\frac{1}{R_4C}\int_{t_1}^{t_2} U_{O1}dt$

运放3为电压比较电路，当 $U_{O2} < 10V$ 时，$U_{O3} = 15V$，$U_{O2} > 10V$ 时，$U_{O3} = -15V$。

运放1的滞回比较特性曲线如图：



各波形如图：



$T = 22ms$

$T_1 = T_2 = \frac{1}{2}T$

U_{O1}为方波，幅值±15V

$U_{O2} = -2000\int_{t_1}^{t} U_{O1}(t)dt + U_{O2}(t_1)$

为一锯齿波，U_{O2}从-15V→15V（或相反）

所需时间 $15 = -2000 \times (-15t) - 15$

$t = 1ms$

U_{O3}为一方波，当$U_{O2} < 10V$时，$U_{O3} = 15V$

$U_{O2} > 10V$时，$U_{O3} = -15V$.

2012 年清华大学 827 电路原理

10、所示某三端元件电气特性如下：

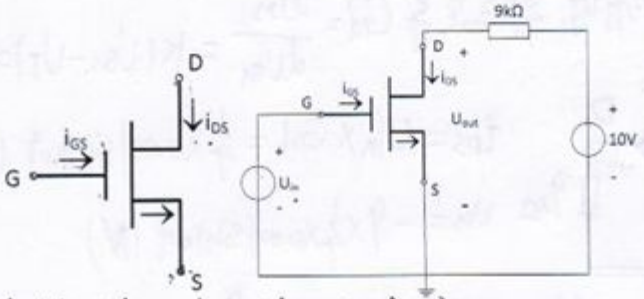
$i_G=0$

$$i_{DS}=\begin{cases} k[(U_{GS}-U_T)U_{DS}-\frac{U_{DS}^2}{2}] & U_{GS}-U_T\geq 0, U_{DS}<U_{GS}-U_T \\ \frac{k(U_{GS}-U_T)^2}{2} & U_{DS}\geq U_{GS}-U_T\geq 0 \\ 0 & U_{GS}-U_T<0 \end{cases}$$

其中 $U_T=1V$，$k=0.5mA/V^2$。

(1) 若图示电路 V_{in} 为 0~5V 占空比 50%，f=1kHz 方波求 V_{out} 并定性画出 V_{in} 和 V_{out} 的波形标出关键点坐标。

(2) 若图示电路 $V_{in}=1.5+0.001\sin 100t$，求 V_{out} 并定性画出 V_{out} 和 V_{in}。



解：(1) $V_{in}=V_{GS}$，$V_{out}=V_{DS}=10-9\times i_{DS}$

当 $V_{in}=0V$ 时，$U_{GS}-U_T=-1<0$，故 $i_{DS}=0$，$V_{out}=10V$

当 $V_{in}=5V$ 时，$U_{GS}-U_T=4V>0$，若 $U_{DS}>4V$，则 $i_{DS}=\frac{K}{2}\times 4^2=4mA$，$U_{DS}=10-9\times 4=-26V<4V$ 不合假设，故应有 $U_{DS}<4V$，$i_{DS}=K(4U_{DS}-\frac{1}{2}U_{DS}^2)$，

$U_{DS}=10-9\times 0.5\times(4U_{DS}-\frac{1}{2}U_{DS}^2)$，$U_{DS}=7.88$（或）$0.564$，取 $U_{DS}=0.564(V)$

$2.25U_{DS}^2-19U_{DS}+10=0$

即 $U_{out}=0.564(V)$

综上：$U_{out}=\begin{cases} 10V & V_{in}=0V \\ 0.564V & V_{in}=5V \end{cases}$

(2) 先确定静态工作点，然后再小信号分析法.

$U_{in}=1.5V$ 偏置时，$U_{GS}-U_T=1.5-1=0.5V>0$，

为确定 U_{DS}，可以先假设再验证.

若 $U_{DS}>U_{GS}-U_T=0.5$，则 $i_{DS}=\frac{1}{2}K(U_{GS}-U_T)^2=\frac{1}{2}\times\frac{1}{2}\times0.5^2=0.0625mA$

$U_{DS}=10-9\times0.0625=9.4375(V)>0.5V$，符合假设

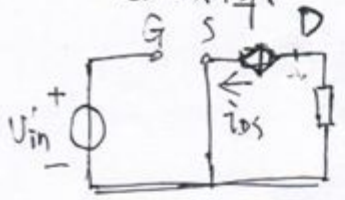
若 $U_{DS}<0.5V$，$i_{DS}=K(0.5U_{DS}-\frac{1}{2}U_{DS}^2)$

$U_{DS}=10-9\times0.5(0.5U_{DS}-\frac{1}{2}U_{DS}^2)$，无实根

故静态工作点为 $i_{DS}=0.0625mA$，$U_{DS}=9.4375V$

当 $u_{in}'=0.001\sin\omega t$ 作用时，动态电导 $G_d=\frac{di_{DS}}{dU_{GS}}=K(U_{GS}-U_T)=\frac{1}{4}mS$

小信号电路如图：



$i_{DS}=u_{in}'\times G_d=\frac{1}{4}\times0.001\sin\omega t\ (mA)$

$u_{DS}=-9\times\frac{1}{4}\times0.001\sin\omega t\ (V)$

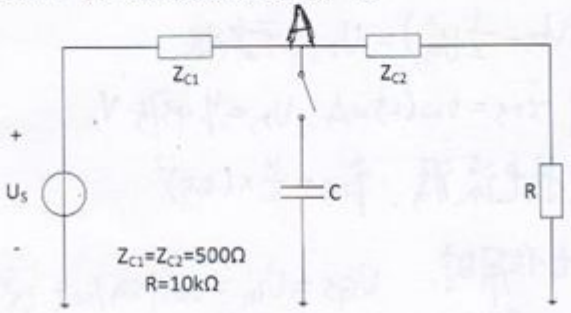
综上：$U_{out}=9.4375-\frac{9}{4}\times0.001\sin\omega t\ (V)$

2012 年清华大学 827 电路原理

11、两段无损架空线 $l_1=l_2=l$，特性阻抗 $Z_{C2}=2Z_{C1}=500\ \Omega$,始端直流电压源电压 $V_S=10kv$，$R=10k\Omega$,C=300uF，t=0 时闭合 s 电容无初始储能。S 闭合前传输线为稳态。

（1）试求开关闭合后 0<t<L/V(V 为波速)期间传输线电压 u_1、u_2 和电流 i_1、i_2。

（2）画 0<t<L/V 期间传输线的电压分布。



解：S闭合前，传输线稳态，两线上各处电压均为 U_S，电流均为 $I_0=\frac{U_S}{R}$，此即初始条件。

S闭合后，将在无损线 l_1 产生 u_1^- 和 i_1^- 并向电源端行进，同时 l_2 线上产生 u_2^+ 和 i_2^+ 向负载端行进。

总边界条件为：$u_1^- + U_S = U_C = u_2^+ + U_S$，$(I_0 - i_1^-) - (I_0 + i_2^+) = i_C$

同时 $u_1^- = Z_{C1} i_1^-$，$u_2^+ = Z_{C2} i_2^+$，$i_C = C\frac{du_C}{dt}$

代换有 $u_1^- = u_2^+$，$i_1^- + i_2^+ = -i_C$，即 $\frac{u_1^-}{Z_{C1}} + \frac{u_1^-}{Z_{C2}} = -C\frac{du_C}{dt} = -C\frac{du_1^-}{dt}$

即 $C\frac{du_1^-}{dt} + \frac{3}{2Z_{C1}}u_1^- = 0$　$u_1^- = Ke^{-2t}$，$u_C = Ke^{-2t} + U_S$

由 $u_C(0) = K + U_S = 0$，$K = -U_S$，$U_C = U_S(1-e^{-2t}) = 10(1-e^{-2t})\ KV$

综上：$\begin{cases} u_1^- = -10e^{-2t}\ (kV) \\ i_1^- = -\frac{1}{25}e^{-2t}\ (kA) \end{cases}$　$\begin{cases} u_1^+ = -10e^{-2t}\ (kV) \\ i_1^+ = -\frac{1}{50}e^{-2t}\ (kA) \end{cases}$

$u_1 = u_1^- + U_0$，$i_1 = I_0 - i_1^-$，$u_2 = u_2^+ + U_0$，$i_2 = I_0 - i_2^-$

2012 年真题分析：

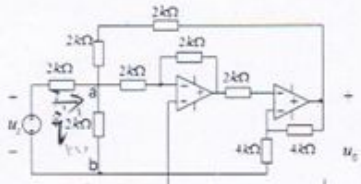
总体而言，2012 年真题难度较大，第 9、10、11 题较新颖，难度大，题量保持了 11 道的传统，是近几年来较难的一年。下面对每道题目进行分析，以为大家复习提供帮助。

1. 本题分为两个小问，均是考察等效电阻的计算，难度不大。
2. 本题是非正弦周期激励的稳态分析，每年必考。本题电路较为简单，但需要注意会存在串联谐振和并联谐振的现象。
3. 本题是二端口网络的综合计算。结合戴维南等效电路计算二端口的 T 参数，然后进行求解，难度不大。
4. 本题为网络图论的计算，每年必考。应熟练列写 A、B、Q 矩阵，节点电压方程和回路电流方程。
5. 本题是一阶电路的计算，考察了冲激激励时的电路初始量的计算，绘图部分较新，往年很少考察，需要注意。
6. 本题是一二阶电路的综合体。涉及到多次换路，求解时需要注意分段，绘图部分较新。
7. 本题考察的是三相电路的计算，是每年必考的题型。本题的两问计算电流和功率，较为传统。
8. 本题为状态变量方程的列写，每年必考。难度适中，注意方程消去过程中计算不要出现错误。
9. 本题为理想运放的综合体，难度较大。理想运放的非线性特性问题是近几年来的考察热点，有关运放的电路需要了解，复习时希望能够结合模电知识。
10. 本题是非线性电路的计算，难度较大。以三端元件为载体，较为新颖，综合度较高。本题主要采用假设检验法来确定静态工作点，然后利用小信号分析法求解小信号，是近几年来非线性电路中的难题。
11. 本题为均匀传输线的波过程，难度适中，需要根据相关条件列出方程，电容的存在使波形更加复杂。波过程历来是传输线的难点，复习时需要加大投入。

1.2.3 2011 年真题（回忆版）

2011 年清华大学 827 电路原理真题

1、求图 1 所示电路的电压比 U_0/U_S 以及 ab 端的等效输入电阻。



解：由节点电压法和虚短，对第一个运放，$U_- = U_+ = 0$

对第二个运放，$U_-' = U_+' = \frac{1}{2}U_0$，

$U_a(\frac{1}{2}+\frac{1}{2}+\frac{1}{4}+\frac{1}{2}) - \frac{1}{4}U_0 = \frac{U_s}{2}$ ①

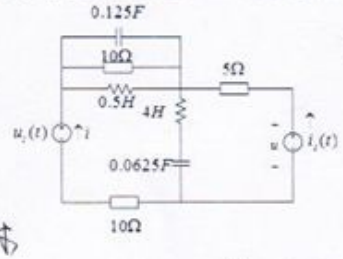
$\frac{U_a}{2} = \frac{-U_+'}{2}$ ②

由以上有 $U_0/U_s = -\frac{4}{9}$，$U_a = \frac{2}{9}U_s$

求ab端的等效输入电阻，$i = \frac{U_s - U_a}{2} = \frac{7}{18}U_s$ $R_{eq} = \frac{U_a}{i} = \frac{4}{7}k\Omega$

2、电路如图，$u_s(t) = 10\sqrt{2}\sin(2t+30^\circ) + 20\sqrt{2}\sin 4t(V)$，$i_s(t) = 2 + 5\sqrt{2}\sin 2t(A)$，

求（1）电压 u 和电流 i 以及他们的有效值，（2）两个电源各自发出的有功功率。

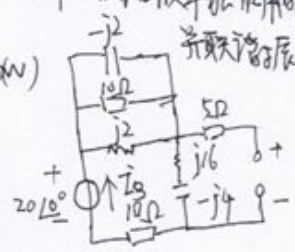


(2) $P_{I_s} = 60 + 125 = 185$ W

$P_{U_s} = 9.67 + 14.7 = 24.37$ W

U_s中二次谐波单独作用时，$\omega = 4$

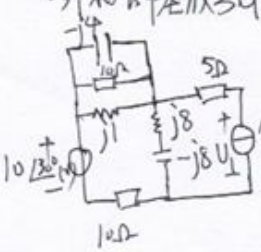
并联谐振，开路



解：i_s中直流单独作用时

$i_{s0} = 2A$，$I_0 = -i_{s0} = -2A$，$U_0 = (5+10)\times 2 = 30(V)$，$P_{I_{s0}} = 30\times 2 = 60(W)$

U_s中和i_s中基波共同作用时，有串联谐振，



$\dot{U}_1 = \dot{I}_{s1}\times 5 = 25\angle 0^\circ(V)$

$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}_{s1}}{10+10\|j1\|-j4} = 0.97\angle 22.7^\circ(A)$

$\dot{I}_2 = \dot{U}_{s2}/(10+10+j12) = 0.86\angle 31.0^\circ$

$P_{\dot{U}_{s1}} = U_{s1}I_1\cos\varphi_1 = 9.67(W)$

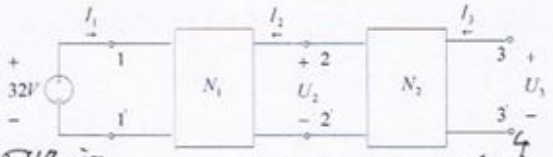
$P_{\dot{U}_{s2}} = 14.7(W)$

$P_{\dot{I}_s} = U_{s1}I_1\cos\varphi_1 = 25\times 5 = 125(W)$

2011 年清华大学 827 电路原理

3、 电路如图，二端口 N_1 和 N_2 是不含独立源的电阻网路，已知 N_1 的传输参数 $T_1=\begin{bmatrix}\frac{4}{3} & 2\Omega\\ \frac{1}{6}S & 1\end{bmatrix}$，

N_2 是对称二端口。当端口 $3-3'$ 短路时，测得 $U_2=15V, I_3=-3A$，求（1）N_2 的传输参数 T_2（2）端口 $3-3'$ 接电阻 $R=6\Omega$ 时电源发出的功率。



解：N_2 为对称网络，设 $T_2=\begin{bmatrix}A & B\\ C & A\end{bmatrix}$，$A^2-BC=1$

有 $\begin{cases}U_1=\frac{4}{3}U_2-2I_2\\ I_1=\frac{1}{6}U_2-I_2\end{cases}$ $\begin{cases}U_2=AU_3-BI_3\\ -I_2=CU_3-AI_3\end{cases}$

3-3'短路时，$U_3=0$，$U_2=15V$，$I_3=-3A$.

即 $32=\frac{4}{3}\times15-2I_2$，$I_2=-6A$

$6=CU_3-AI_3$，$A=2$

$15=AU_2-BI_3$，$15=3B$，$B=5$. $T_2=\begin{bmatrix}2 & 5\Omega\\ \frac{3}{5}S & 2\end{bmatrix}$

(2) $T=T_1\cdot T_2=\begin{bmatrix}\frac{4}{3} & 2\\ \frac{1}{6} & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}2 & 5\\ \frac{3}{5} & 2\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{58}{15} & \frac{32}{3}\\ \frac{14}{15} & \frac{17}{6}\end{bmatrix}$

3-3'接 $R=6\Omega$ 时，$U_3=-6I_3$.

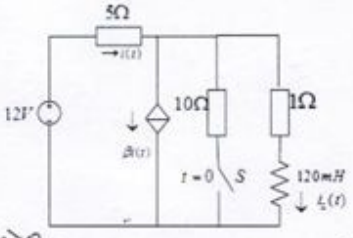
$U_1=\frac{58}{15}U_3-\frac{32}{3}I_3$，$I_3=\frac{U_1}{\frac{58}{15}\times(-6)-\frac{32}{3}}=-\frac{120}{127}$

$I_1=\frac{14}{15}\times(-6)I_3-\frac{17}{6}I_3$

$=\frac{1612}{127}(A)$

$P=U_1I_1=25\frac{\text{等}}{}(W)$

4、电路如图，t=0 时将开关 s 闭合。（1）为使环路后电路的响应是稳定的，对受控源参数 β 有何限制（2）求等效时间常数 $\tau=20ms$ 时所对应的 β 值和此时的电感电流 $i_L(t)$。



解：要使电路稳定，$\tau>0$，

求 R_{eq}，受控电流源相当于一个 $-\frac{5}{\beta}\Omega$ 的电阻.

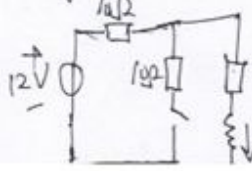
S 闭合前，$R_{eq}=1+5//1-\frac{5}{\beta}=1-\frac{5}{\beta-1}>0$，

S 闭合后，$R_{eq}=1+10//5//1-\frac{5}{\beta}=1-\frac{10}{2\beta-3}>0$

有 $\beta<1$ 或 $\beta>\frac{13}{5}$

(2) $\tau=\frac{L}{R_{eq}}=20ms$，$R_{eq}=\frac{120}{20}=6\Omega$

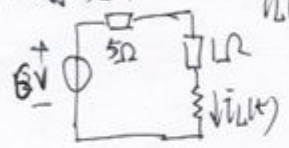
$\beta=\frac{1}{2}$，



2011 年清华大学 827 电路原理

$i_L(0^-)=\frac{12}{10+1}=\frac{12}{11}(A)$

S闭合后，

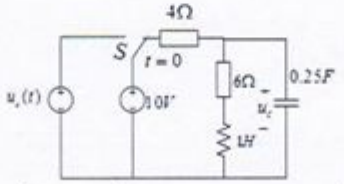


$i_L(\infty)=\frac{6}{5+1}=1(A)$

$i_L(t)=1+(\frac{12}{11}-1)e^{-\frac{t}{\tau}}=1+\frac{1}{11}e^{-5t}(A)$

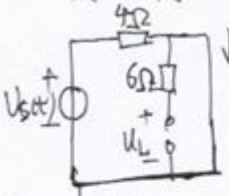
5、 电路如图，t=0 时将开关 s 切换到$U_S(t)$，已知$U_S(t)=\delta(t)(V)$，（1）求$u_c(0^+)$和$\frac{du_c}{dt}|_{0^+}$。

（2）电容电压$u_c(t)$的全响应。



解：$i_L(0^-)=\frac{10}{4+6}=1A$，$u_C(0^-)=6\times1=6V$

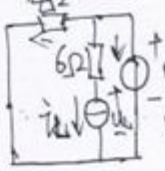
开关S切换后，由于U_S为冲激电源，故电容会发生跃变，此时电容可看作短路，电感看作开路



$i_C=\frac{1}{4}\delta(t)$

$u_C(0^+)=u_C(0^-)+\frac{1}{C}\int_{0^-}^{0^+}i_C dt=6+4\times\frac{1}{4}=7(V)$

0_+时刻等效图：$i_C=C\frac{du_C}{dt}|_{0^+}$

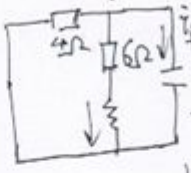


$=-(1+\frac{7}{4})A$

$u_L|_{0^+}=-6i_L|_{0^+}+u_C$

$=-6\times1+7=1V$

$t>0$时，



$\begin{cases}C\frac{du_C}{dt}+\frac{1}{4}u_C+i_L=0\\6i_L+L\frac{di_L}{dt}=u_C\end{cases}$

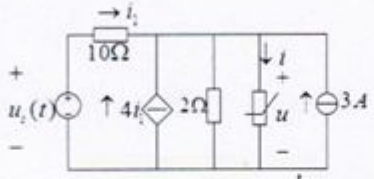
$LC\frac{d^2i_L}{dt^2}+(6C+\frac{L}{4})\frac{di_L}{dt}+\frac{5}{2}i_L=0$

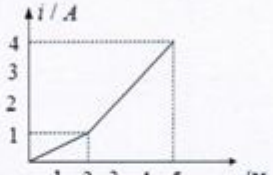
$u_C=8e^{-2t}-e^{-5t}(V)$ $i_L=2e^{-2t}-e^{-5t}(A)$

6、 电路如图 6（a）所示，非线性电阻的伏安关系如图 6（b）所示，电源$u_s(t)=3+0.06\sin5t(V)$，用小信号分析法求图 6（a）电路中非线性地电阻的电流 i。

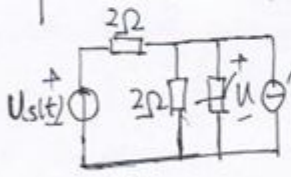
要求画出图 6（a）电路的小信号等效电路。

2011 年清华大学 827 电路原理





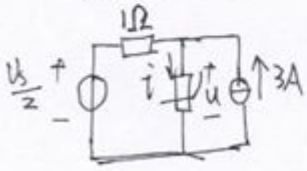
解：先化简电路，受控电流源相当于一个 $\frac{10}{7}\Omega$ 电阻



即 $u+i=4.5$

假设 $i=\frac{1}{2}u$，$u=3V>2V$ 符合，

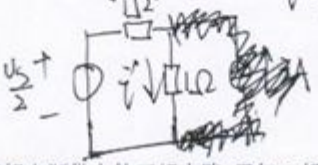
故 $i=u-1$，此时 $u=2.75V$，$i=1.75A$



动态电导 $G_d=\frac{di}{du}=1S$

小信号等效电路：$i'=\frac{\frac{1}{2}U_S}{1+1}=0.015\sin 5t\ (V)$

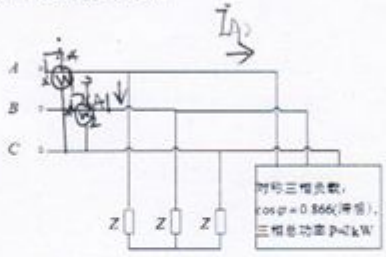
当 U_S 中直流信用时，$i=3+\frac{\frac{U_S}{2}-u}{1}$



$\therefore i=1.75+0.015\sin 5t\ (V)$

7、图 7 所示电路为一对称三相电源供电的三相电路，已知 A 相电源的相电压为 $220\angle 0^\circ V$。

（1）求线电流 $\dot{I}_A,\dot{I}_B,\dot{I}_C$。（2）画出用两表法测量三相电路总有功功率的接线图（要求功 C 接法），并求出两块功率表各自读数（3）当 A 相负载 Z 开路或对中性点 N 短路时，分别求线电流 $\dot{I}_A,\dot{I}_B,\dot{I}_C$ 的表达式（不必计算结果）。



$Z=20+j10\ \Omega$

解：(1) $\dot{I}_{A1}=\frac{\dot{U}_A}{Z}=\frac{220\angle 0^\circ}{20+j10}=9.84\angle -26.5^\circ (A)$

对称三相负载，$I_{A2}=\frac{P}{3U_A\cos\varphi}=\frac{2000}{3\times 220\times 0.866}=3.50(A)$

$\varphi=30.0^\circ$ $\dot{I}_{A2}=3.50\angle -30^\circ A$

$\dot{I}_A=\dot{I}_{A1}+\dot{I}_{A2}=13.34\angle -27.5^\circ (A)$

$\dot{I}_B=\dot{I}_A\angle -120^\circ=13.34\angle -147.5^\circ (A)$ $\dot{I}_C=\dot{I}_A\angle 120^\circ=13.34\angle 92.5^\circ (A)$

(2) $P_1=U_{AC}I_A\cos\varphi_1$

$=380\times 13.34\cos(-30-(-7.5))$

$=5064.4(W)$

$P_2=U_{BC}I_B\cos\varphi_2$

$=380\times 13.34\cos(-90-(-147.5))$

$=2723.7(W)$

2011 年清华大学 827 电路原理

(3) 当 Z 开路时，

$\dot{I}_A = \dot{I}_{A2}$

$\dot{I}_{B1} = \frac{\dot{U}_{BC}}{2Z}$，$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2}$

$\dot{I}_C = \dot{I}_{C2} - \dot{I}_{B1}$

Z 短路时，

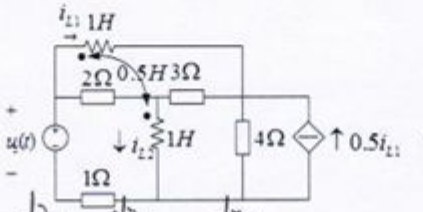
$\dot{I}_{B1} = \frac{\dot{U}_{BA}}{Z}$，$\dot{I}_{C1} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z}$

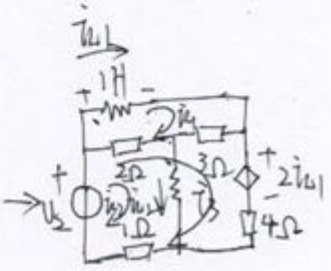
$\dot{I}_A = \dot{I}_{A2} - (\dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1})$

$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2}$

$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2}$

8、电路如图，试以 $\vec{x} = [i_{L1} \quad i_{L2}]^T$ 为状态变量，列写电路的状态方程，并整理成矩阵形式 $A\dot{X} = BX + CV$。其中 V 为电路的激励列向量。





解：$u_{L1} = L_1\frac{di_{L1}}{dt} + M\frac{di_{L2}}{dt} = \frac{di_{L1}}{dt} + 0.5\frac{di_{L2}}{dt}$

$u_{L2} = L_2\frac{di_{L2}}{dt} + M\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{di_{L2}}{dt} + 0.5\frac{di_{L1}}{dt}$

由于网孔电流法，

$u_{L1} + 2\dot{I}_{L1} + 4\dot{I}_3 + (\dot{I}_{L2} + \dot{I}_3) = U_S$ ①

$2(\dot{I}_{L2} + \dot{I}_3 - \dot{I}_{L1}) + u_{L2} + (\dot{I}_{L2} + \dot{I}_3) = U_S$ ②

$2\dot{I}_{L1} + (2+3+4+1)\dot{I}_3 + (2+1)\dot{I}_{L2} - (2+3)\dot{I}_{L1} = U_S$ ③

消去 $\dot{I}_3$，由③式，$10\dot{I}_3 = U_S + 3\dot{I}_{L1} - 3\dot{I}_{L2}$

代入①，②，有 $u_{L1} + 3.5\dot{I}_{L1} - 0.5\dot{I}_{L2} = 0.5U_S$

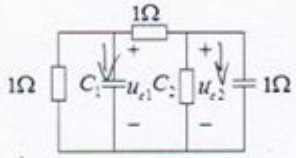
$u_{L2} - 1.1\dot{I}_{L1} + 2.1\dot{I}_{L2} = 0.7U_S$

化简得，

$$\begin{Bmatrix} \dot{I}_{L1} \\ \dot{I}_{L2} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{27}{5} & \frac{31}{15} \\ \frac{19}{5} & -\frac{37}{15} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{L1} \\ \dot{I}_{L2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{5} \\ \frac{3}{5} \end{bmatrix} U_S$$

9、电路如图 9 所示，已知电容 $C_1 = C_2 = 1F$，且两个电容总的初始储能为 1 焦耳。选择一组初始电压值 $u_{c1}(0^-), u_{c2}(0^-)$，使得电容电压的零输入响应中仅出现一个固有频率。

2011 年清华大学 827 电路原理



解：$W=\frac{1}{2}C_1U_{C1}^2+\frac{1}{2}C_2U_{C2}^2$ 联立①、②有

即 $\frac{1}{2}U_{C1}^2+\frac{1}{2}U_{C2}^2=1$

由KCL，$\frac{U_{C1}-U_{C2}}{1}=C_2\frac{dU_{C2}}{dt}+U_{C2}/1$

即 $U_{C1}=2U_{C2}+\frac{dU_{C2}}{dt}$ ①

$\frac{U_{C2}-U_{C1}}{1}=C_1\frac{dU_{C1}}{dt}+U_{C1}/1$，即 $U_{C2}=2U_{C1}+\frac{dU_{C1}}{dt}$ ②

$U_{C1}=2U_{C2}+\frac{dU_{C2}}{dt}$

$U_{C1}=2(2U_{C1}+\frac{dU_{C1}}{dt})+2\frac{dU_{C1}}{dt}+\frac{d^2U_{C1}}{dt^2}$

即 $\frac{d^2U_{C1}}{dt^2}+4\frac{dU_{C1}}{dt}+3U_{C1}=0$

特征方程 $p^2+4p+3=0$，$p=-1,-3$

$U_{C1}=A_1e^{-t}+A_2e^{-3t}$，

$U_{C1}(0^+)=A_1+A_2=U_{C1}(0^-)$

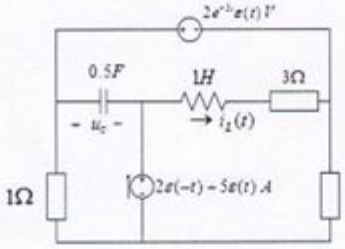
$\frac{dU_{C1}}{dt}|_{0^+}=U_{C2}(0^+)-2U_{C1}(0^+)$

$=-A_1-3A_2$

若响应含有一个固有频率，即 A_1、A_2 中有一个为0，

则 $U_{C1}(0^-)$、$U_{C2}(0^-)$ 可取 $(1,1)$、$(-1,-1)$、$(1,-1)$、$(-1,1)$

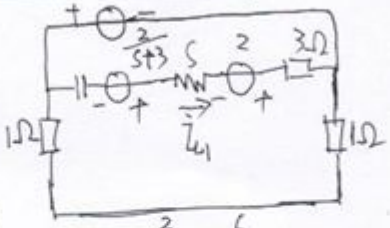
10、电路如图 10 所示，试用运算法求电流 $i_L(t)$。



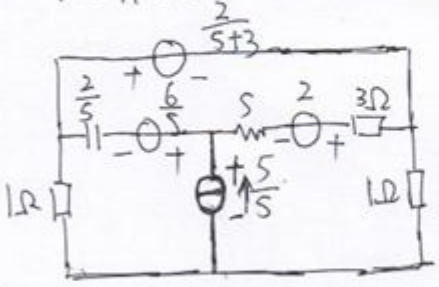
解：

$i_L(0^-)=2A$，$U_C(0^-)=-6V$.

$t>0$ 时运算电路

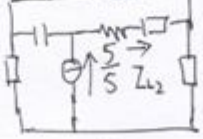


$I_{L1}=\frac{\frac{2}{s+3}+\frac{6}{s}+2}{\frac{2}{s}+s+3}=\frac{2(s+3)^2+2s}{(s+3)(s^2+3s+2)}$



采用叠加法：电压源单独作用时

电流源单独作用时，



$I_{L2}=\frac{2}{s}\cdot\frac{5}{s}=\frac{10}{s(s^2+3s+2)}$

$\therefore I_L=I_{L1}+I_{L2}$

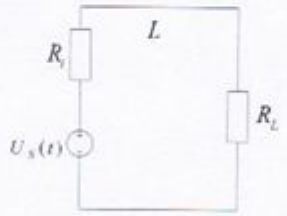
$=(\frac{1}{s+1}-\frac{1}{s+2})(2s+\frac{10}{s}-\frac{6}{s+3}+8)$

$i_L=5+(-7e^{-t})+7e^{-2t}$

$-3e^{-3t}$ (A)

2011 年清华大学 827 电路原理

11、一无损均匀传输线如图 11 所示，线路长 $l=25m$，在正弦稳态下，其始端至终端的传输参数矩阵为 $T=\begin{bmatrix}-0.867 & j251\Omega \\ j9.89\times10^{-4}S & -0.867\end{bmatrix}$，频率 $f=5MHz$，求（1）相位系数 β 和特性阻抗 Z_c（2）当始端阶电压源 $u_s(t)=100\varepsilon(t)(V)$，内阻 $R_i=100\Omega$，终端负载 $R_L=200\Omega$ 时，试分析 $0<t<\frac{2l}{v}$（v 为波速）期间的波过程，并画出 $t=\frac{1.5l}{v}$ 时线上的电压，电流分布。



解：(1) $\gamma=j\beta$，$\gamma l=j\beta l$ 线路上 $u=u^+ + u^-$，$i=i^+ - i^-$

$A=\cosh\gamma l=D=-0.867$

$B=Z_c\sinh\gamma l$

$C=\frac{1}{Z_c}\sinh\gamma l$

$B/C=Z_c^2$；$Z_c=503.8\Omega$

$\cosh\gamma l=\frac{1}{2}(e^0\cdot e^{j\beta l}+e^0\cdot e^{-j\beta l})$

$\therefore \beta=0.104$

(2) 电源发出的正向电压波

$u_+^{(1)}=\frac{Z_c}{R_i+Z_c}\cdot U_s=83.44(V)$

$0<t<\frac{l}{v}$ 时，线路上只有正向行波

$i_+^{(1)}=\frac{u_+^{(1)}}{Z_c}=0.17(A)$

终端反射系数 $n=\frac{R_L-Z_c}{R_L+Z_c}=-0.43$

正向波到达终端，反射行波

$u_-^{(1)}=nu_+^{(1)}=-36.01(V)$

$i_-^{(1)}=ni_+^{(1)}=-0.072(A)$

2011 年真题分析：

总体而言，2011 年真题难度适中，第 9、10 题较新颖，题量保持了 11 道的传统。下面对每道题目进行分析，以为大家复习提供帮助。

1. 本题考察了理想运算放大器电路的计算，主要运用节点电压法进行分析，本题难度不大，但是关于理想运放的考察是热点，复习时要多加注意。
2. 本题是非正弦周期激励的稳态分析，每年必考。本题较为简单，但需要注意会存在串联谐振和并联谐振的现象。
3. 本题是二端口网络的综合计算。利用二端口的传输方程和端口元件特性即可求解，难度不大。
4. 本题是一阶电路的计算，形式较新，考察解的稳定性问题，但难度不大。这也代表近年来一二阶电路考察的逐渐转变，不再单纯计算，而是巧妙考察基本概念。
5. 本题是二阶电路的计算。考察冲激电源作用下电路的跃变问题，这也是该处的一个重点知识。
6. 本题是非线性电路的计算，并结合戴维南等效电路，综合度较高。本题主要采用假设检验法来确定静态工作点，然后利用小信号分析法求解小信号。
7. 本题考察的是三相电路的计算，是每年必考的题型。本题的两问计算电流和功率，较为传统，第三问考察非对称电路的计算，也是常考内容。
8. 本题为状态变量方程的列写，每年必考。难度适中，注意方程消去过程中计算不要出现错误。
9. 本题为二阶电路的综合应用，较新颖。首先需要列出二阶电路的方程，搞清固有频率的概念，然后根据要求确定初始值即可。
10. 本题是运算法求解电路，每年必考。主要难点在初始值的确定，同时电路计算较为复杂，极易出错。
11. 本题为均匀传输线的波过程，难度适中，需要根据相关条件列出方程，电容的存在使波形更加复杂。波过程历来是传输线的难点，复习时需要加大投入。

版权属于北京万学教育科技有限公司所有，违者必究

集团总部地址：北京市海淀区北四环西路 66 号中国技术交易所大厦 A 座 17 层
万学主网：http://www.wanxue.cn 考研频道
百度教育 万学教育 智能矩阵超级学习系统：http://s.wanxue.cn