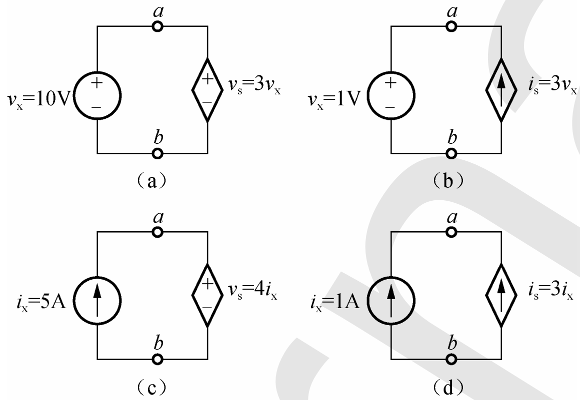
第 1 章 习题答案

1.8 根据理想电压源、理想电流源和受控电压源、受控电流源的定义，说明题图 1.8 中哪些互连是正确的，哪些互连由于违反了理想电源与受控电源的约束条件是不正确的？



题图 1.8

解：

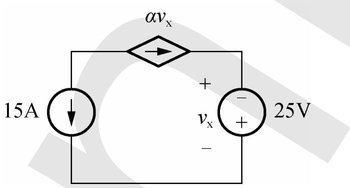
(a) 不正确；(b) 正确；(c) 正确；(d) 不正确

1.9 电路如题图 1.9 所示，求α为什么值时，电路的互连是正确的？根据计算的α值，求 25V 电源的功率。

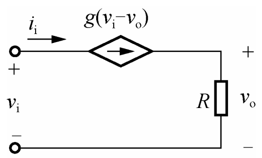
解：

$\alpha = 0.6$ 时，电路的互连正确。25V 电源吸收的功率 $P = 375\text{W}$。

1.10 如题图 1.10 所示含受控源的电路，求 v_o/v_i、v_i/i_i 的表达式。



题图 1.9



题图 1.10

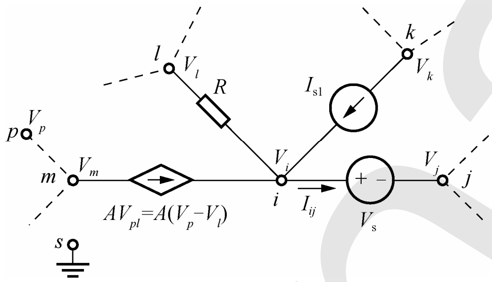
解：

$$i_i = g(v_i - v_o)$$

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{i_i R}{v_i} = \frac{g(v_i - v_o)R}{v_i} = gR - gR\frac{v_o}{v_i} \rightarrow \frac{v_o}{v_i} = \frac{gR}{1+gR}$$

$$\frac{v_\mathrm{i}}{i_\mathrm{i}}=\frac{v_\mathrm{i}}{g(v_\mathrm{i}-v_\mathrm{o})}=\frac{1}{g(1-v_\mathrm{o}/v_\mathrm{i})}=\frac{1}{g(1-\dfrac{gR}{1+gR})}=\frac{1+gR}{g}$$

1.12　如题图 1.12 所示，围绕节点 i 列写 KCL 方程。



题图 1.12

解：

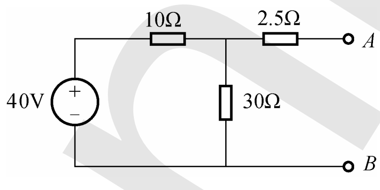
$$I_{ij}-A(V_p-V_l)+\frac{V_i-V_l}{R}=I_{s1}\text{，约束方程}(V_i-V_j)=V_\mathrm{s}$$

1.15　求题图 1.15 所示电路 A、B 端的戴维宁等效电路参数 V_{Th} 和 R_{Th}。

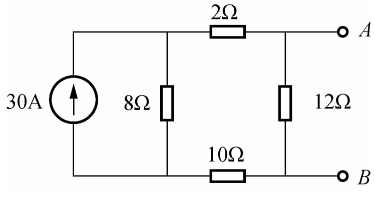
解：

40V 电压源短路，从 A、B 看入电阻为$2.5+\dfrac{10\times30}{10+30}=10\,\Omega$，所以 R_{Th}=10Ω。在 40V 电压源作用下，A、B 端开路电压为$40\times\dfrac{30}{10+30}=30\mathrm{V}$，所以 V_{Th}=30V。

1.16　求题图 1.16 所示电路 A、B 端的戴维宁等效电路参数 V_{Th} 和 R_{Th}。



题图 1.15



题图 1.16

解：

电流源不起作用，即电流源支路断开，从 A、B 端看入电阻即戴维宁等效电阻 R_{Th}=7.5Ω。

8Ω 支路与(2Ω-12Ω-10Ω)支路并联电阻为 6Ω，电流源两端电压为 30×6=180V。所以 12Ω 电阻上电压降为 90V，此即戴维宁电源电压，故 V_{Th}=90V。

1.17　题图 1.17 所示二阶电路处于零状态。如设 $v_i(t)=u(t)$，求：

（1）复频域中的运算电路；

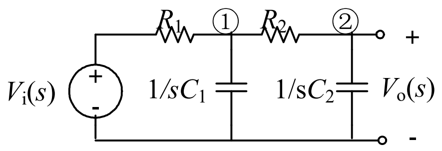
（2）按节点分析法列出复频域电路方程；

（3）求解电路方程，得出系统函数 $H(s)=V_o(s)/V_i(s)$；

（4）求时域输出响应 $v_o(t)$。

解：

（1）复频域中的运算电路



（2）按节点分析法列出复频域电路方程

$$\frac{V_1(s)-V_i(s)}{R_1}+sC_1V_1(s)+\frac{V_1(s)-V_o(s)}{R_2}=0 \qquad (1.17.1)$$

$$\frac{V_o(s)-V_1(s)}{R_2}+sC_2V_o(s)=0 \qquad (1.17.1)$$

式中 $V_1(s)$为复频域中节点①的电压，$V_o(s)$为复频域中节点②的电压，也就是复频域中输出电压。解以上两式，消去 $V_1(s)$可得输出响应 $V_o(s)$与输入激励 $V_i(s)$的关系。

$$V_o(s)=\frac{1}{1+as+bs^2}V_i(s) \qquad (1.17.3)$$

式中

$$a=R_1C_1+R_2C_2+R_1C_2$$

$$b=R_1R_2C_1C_2$$

（3）求解电路方程，得出系统函数 $H(s)=V_o(s)/V_i(s)$

$$H(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}=\frac{1}{1+as+bs^2} \qquad (1.17.4a)$$

上式也可改写为另一熟知的形式

$$H(s)=\frac{1}{1+as+bs^2}=\frac{1/b}{s^2+(a/b)s+1/b}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\varsigma\omega_n s+\omega_n^2} \qquad (1.17.4b)$$

式中 $\omega_n^2=1/b$，$\varsigma=a/(2\sqrt{b})$。可以证明，对于本例，$a^2>4b$，故 $\varsigma>1$。

式（1.17.4b）的分母

$$p(s)=s^2+2\varsigma\omega_n s+\omega_n^2=0$$

的根 p_1 与 p_2 为

$$p_{1,2} = -\varsigma\omega_{\mathrm{n}} \pm \omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\varsigma^2 - 1}$$

则式（1.17.4*b*）可改写为

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{\omega_{\mathrm{n}}^2}{s^2 + 2\varsigma\omega_{\mathrm{n}}s + \omega_{\mathrm{n}}^2} \\ &= \frac{\omega_{\mathrm{n}}^2}{(s + \varsigma\omega_{\mathrm{n}} - \omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\varsigma^2 - 1})(s + \varsigma\omega_{\mathrm{n}} + \omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\varsigma^2 - 1})} \end{aligned} \tag{1.17.5}$$

如令

$$\omega_1 = -p_1 = \varsigma\omega_{\mathrm{n}} - \omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\varsigma^2 - 1} \tag{1.17.6a}$$

$$\omega_2 = -p_2 = \varsigma\omega_{\mathrm{n}} + \omega_{\mathrm{n}}\sqrt{\varsigma^2 - 1} \tag{1.17.6b}$$

则可得 $\omega_1\omega_1 = \omega_{\mathrm{n}}^2$，式（1.17.5）可改写为

$$H(s) = \frac{V_{\mathrm{o}}(s)}{V_{\mathrm{i}}(s)} = \frac{\omega_1\omega_2}{(s + \omega_1)(s + \omega_2)} \tag{1.17.7}$$

已如前述，$\varsigma > 1$，故 ω_1、ω_2 为实数，且 $\omega_1 < \omega_2$。

设电路为阶跃函数激励，即 $v_{\mathrm{i}}(t) = u(t)$，其拉氏变换 $V_{\mathrm{i}}(s) = \dfrac{1}{s}$，将此 $V_{\mathrm{i}}(s)$ 代入式(1.17.7)，得到

$$V_{\mathrm{o}}(s) = \frac{\omega_1\omega_2}{s(s + \omega_1)(s + \omega_2)} \tag{1.17.8}$$

（4）求时域输出响应 $v_{\mathrm{o}}(t)$

下面用查表方法，求上式的拉氏反变换。拉普拉斯变换简表中列有变换对

$$\frac{1}{ab} + \frac{1}{b-a}\left(\frac{e^{-bt}}{b} - \frac{e^{-at}}{a}\right) \leftrightarrow \frac{1}{s(s+a)(s+b)}$$

利用上式所表示的变换对，可得由式（1.17.8）表示复频域输出响应 $V_{\mathrm{o}}(s)$ 的时域响应 $v_{\mathrm{o}}(t)$

$$v_{\mathrm{o}}(t) = \omega_1\omega_2\left\{\frac{1}{\omega_1\omega_2} + \frac{1}{\omega_2 - \omega_1}\left(\frac{e^{-\omega_2 t}}{\omega_2} - \frac{e^{-\omega_1 t}}{\omega_1}\right)\right\} \tag{1.17.9}$$

如果利用 matlab 提供的函数 ilaplace，也可用如下 3 行代码得出式（1.7.8）表示的 $V_{\mathrm{o}}(s)$ 的拉普拉斯反变换 $v_{\mathrm{o}}(t)$。其中 w1、w2 分别表示 ω_1、ω_2，VO 表示 $V_{\mathrm{o}}(s)$，vo 表示 $v_{\mathrm{o}}(t)$。如果 $V_{\mathrm{o}}(s)$表达式不符合 Matlab 要求的表达形式，可先用 simplify 函数将其转换为 Matlab 可处理的形式。

Matlab 程序

```
syms s; syms w1 w2;
VO = simplify((w1*w2)/(s*(s+w1)*(s+w2)))
vo = ilaplace(VO)
```

运行程序得到

```
VO = (w1*w2)/(s*(s + w1)*(s + w2))
vo = (w2*exp(-t*w1))/(w1 - w2) - (w1*exp(-t*w2))/(w1 - w2) + 1
```

vo 输出结果即

$$\frac{\omega_2 e^{-\omega_1 t}}{\omega_1-\omega_2}-\frac{\omega_1 e^{-\omega_2 t}}{\omega_1-\omega_2}+1$$

正是式（1.7.9）表示的 $v_o(t)$。

1.18　题图 1.18 所示二阶电路，如设 $v_i(t)=u(t)$，求：

（1）复频域中的运算电路；

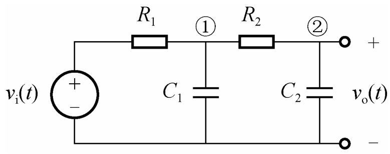
（2）按节点分析法列出复频域电路方程；

（3）求解电路方程，得出系统函数 $H(s)=V_o(s)/V_i(s)$；

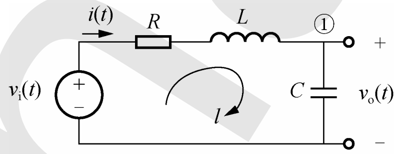
~~（4）求时域输出响应~~ ~~$v_o(t)$。~~

（4）已知 R=2Ω，L=10mH，C=7uF，请利用 matlab 得到系统函数 $H(s)$的波特图和时域输出响应 $v_o(t)$；

（5）已知 R=2Ω，L=10mH，C=7uF，请利用 multisim 得到系统函数 $H(s)$的波特图和时域输出响应 $v_o(t)$。



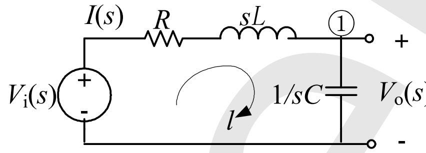
题图 1.17



题图 1.18

解：

（1）复频域中的运算电路



（2）按节点分析法列出复频域电路方程

$$V_i(s)-V_o(s)=RI(s)+sLI(s) \qquad (1.18.1a)$$

$$I(s)=sCV_o(s) \qquad (1.18.1b)$$

（3）求解电路方程，得出系统函数 $H(s)=V_o(s)/V_i(s)$

解以上两式，消去 $I(s)$可得电路系统函数 $H(s)$

$$H(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}=\frac{1}{1+RCs+LCs^2}=\frac{\frac{1}{LC}}{\frac{1}{LC}+\frac{R}{L}s+s^2} \qquad (1.18.2)$$

定义特征角频率

$$\omega_n=1/\sqrt{LC} \qquad (1.18.3)$$

式（1.18.2）可表示为

$$H(s)=\frac{V_o(s)}{V_i(s)}=\frac{\omega_n^2}{s^2+2\varsigma\omega_n s+\omega_n^2} \qquad (1.18.4)$$

式中$\varsigma=\dfrac{R\sqrt{C/L}}{2}$，是一个无量纲的量，称为阻尼因子。式（1.18.4）通常还写成如下形式

$$H(s)=\frac{V_{\mathrm{o}}(s)}{V_{\mathrm{i}}(s)}=\frac{\omega_{\mathrm{n}}^{2}}{s^{2}+\dfrac{\omega_{\mathrm{n}}}{Q}s+\omega_{\mathrm{n}}^{2}} \tag{1.18.5}$$

$Q=1/2\varsigma$，称为品质因数。注意，本例中阻尼因子ς可小于 1，也可大于 1。

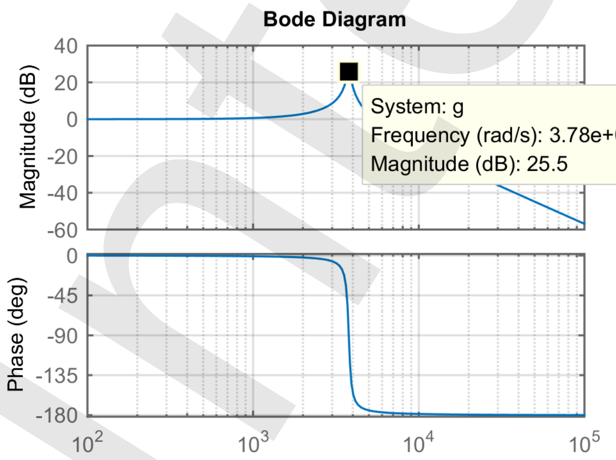
（4）已知 R=2Ω，L=10mH，C=7uF，请利用 matlab 得到系统函数 $H(s)$的波特图和时域输出响应 $v_{\mathrm{o}}(t)$

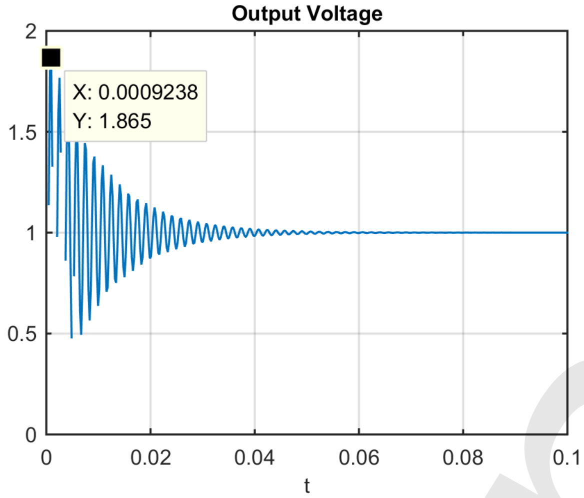
Matlab 程序

```
clear all;
% bode plot
R=2; L=10e-3; C=7e-6;
g=tf([1/L/C],[1 R/L 1/L/C]);
figure;bode(g);grid on;

% vo(t)
syms s;
Vo=(1/L/C)/s/(1/L/C+R/L*s+s*s);
v=ilaplace(simplify(Vo));
figure;ezplot(v,[0 0.1]);grid on;ylim([0 2]);title('Output Voltage');
```

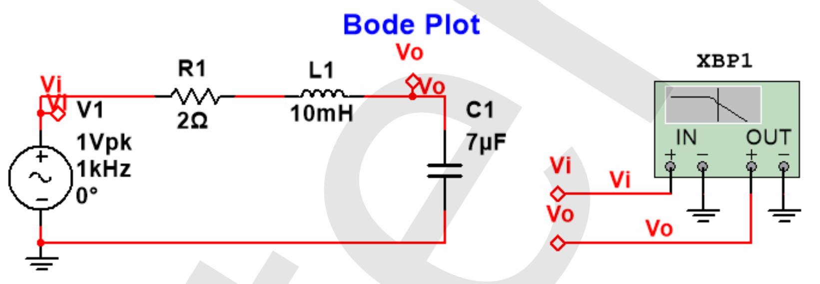
输出结果：



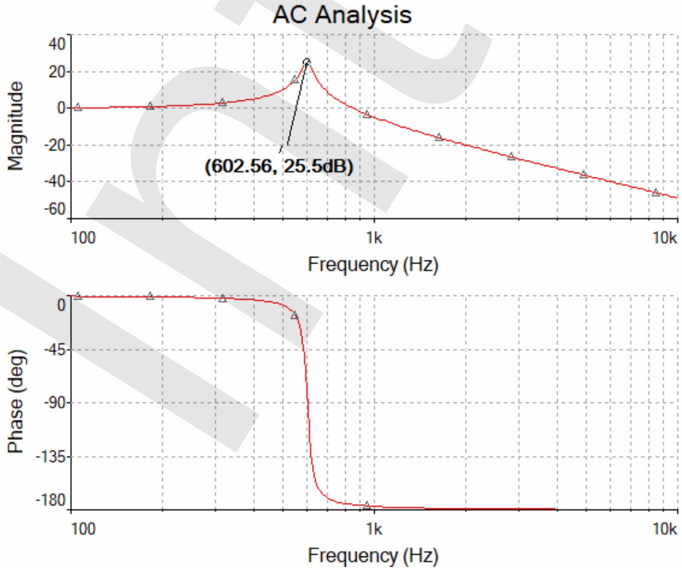


（5）已知 R=2Ω，L=10mH，C=7uF，请利用 multisim 得到系统函数 $H(s)$的波特图和时域输出响应 $v_o(t)$

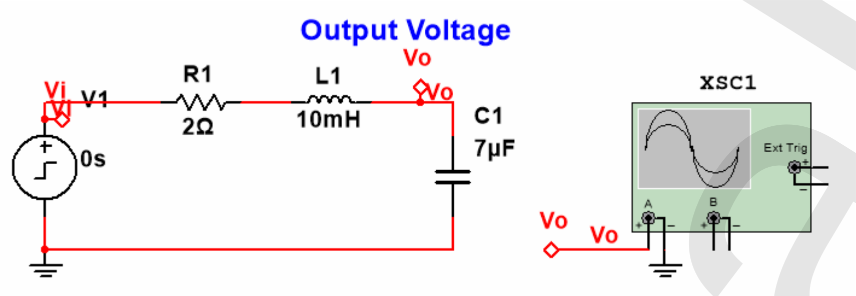
Multisim 电路图（AC 仿真或波特图仪，得到系统函数）



输出结果



Multisim 电路图（瞬态仿真或示波器，得到输出电压）



输出结果