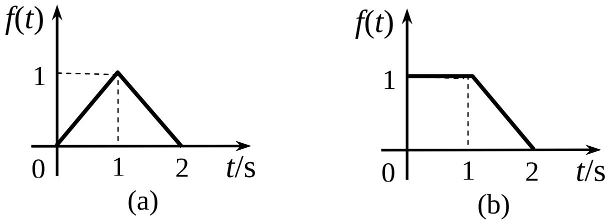
第 7 章　一阶电路

7-1　试用阶跃函数和延迟阶跃函数表示题图 7-1 所示各波形。



题图 7-1

解　（a）$f(t)=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)]-(t-2)[\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)]$

（b）$f(t)=\varepsilon(t)-(t-2)[\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)]$

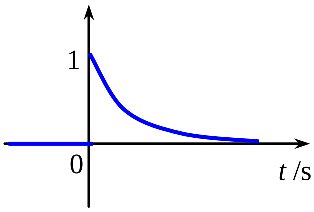
7-2　绘出下列各函数的波形。

（a）$\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)$

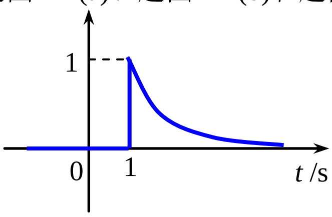
（b）$\mathrm{e}^{-(t-1)}\varepsilon(t-1)$

（c）$(t-1)[\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)]$

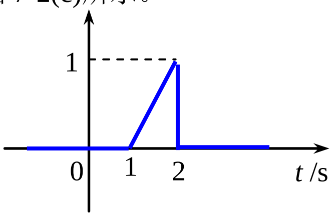
解　各函数的波形分别如题图 7-2(a)、题图 7-2(b)和题图 7-2(c)所示。



题图 7-2(a)



题图 7-2(b)



题图 7-2(c)

7-3　求下列各函数表示的值。

（a）$\int_{-\infty}^{\infty}\mathrm{e}^{t}\delta(t-2)\mathrm{d}t$

（b）$\int_{-\infty}^{\infty}(t+\sin t)\delta(t+\dfrac{\pi}{3})\mathrm{d}t$

（c）$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t-t_0)\varepsilon(t-2t_0)\mathrm{d}t$

解

（a）

$$\int_{-\infty}^{\infty} \mathrm{e}^t \delta(t-2)\mathrm{d}t = \mathrm{e}^2 \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-2)\mathrm{d}t = \mathrm{e}^2$$

（b）

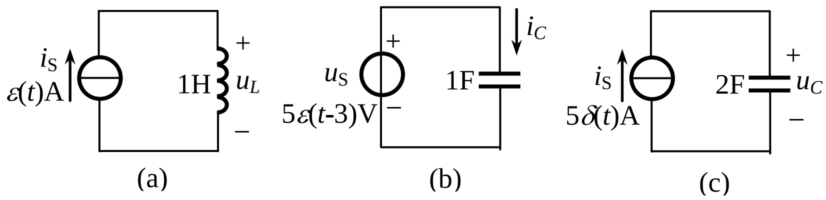
$$\int_{-\infty}^{\infty} (t+\sin t)\delta(t+\frac{\pi}{3})\mathrm{d}t = \left(-\frac{\pi}{3}+\sin(-\frac{\pi}{3})\right)\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t+\frac{\pi}{3})\mathrm{d}t$$

$$= -\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{2} = -1.91$$

（c）若 $t_0 > 0$，则被积函数为零，所以

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t-t_0)\varepsilon(t-2t_0)\mathrm{d}t = 0$$

7-4　题图 7-4 所示电路中储能元件均无初始储能。分别求出图(a)中 u_L，图(b)中 i_C 和图(c)中 u_C 。



题图 7-4

解　（a）

$$u_L(t) = L\frac{\mathrm{d}i_S}{\mathrm{d}t} = 1\times\frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t} = \delta(t)\mathrm{V}$$

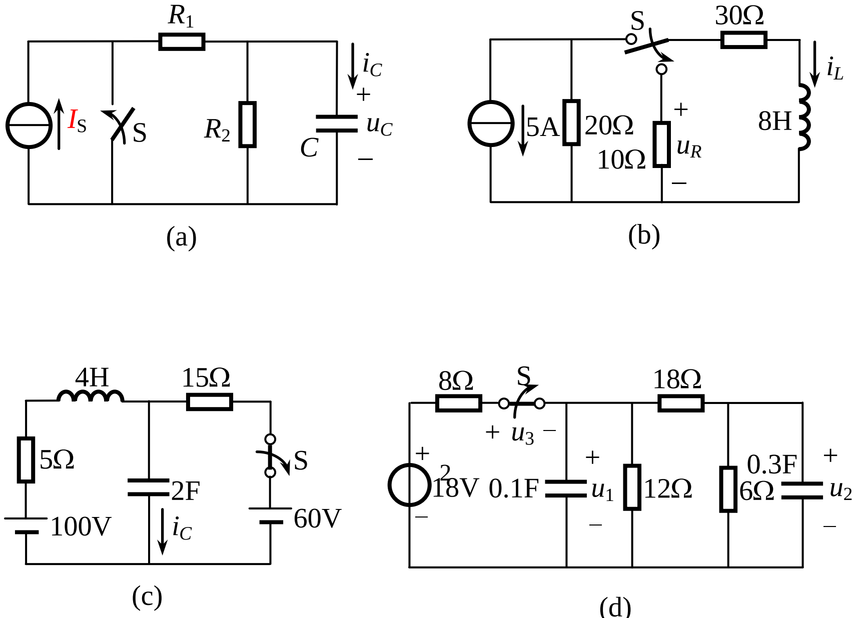
（b）

$$i_C(t) = C\frac{\mathrm{d}u_S}{\mathrm{d}t} = 1\times\frac{\mathrm{d}[5\varepsilon(t-3)]}{\mathrm{d}t} = 5\delta(t-3)\ \mathrm{A}$$

（c）

$$u_C(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} i_S(\tau)\mathrm{d}\tau = \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{t} 5\delta(\tau)\mathrm{d}\tau = 2.5\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

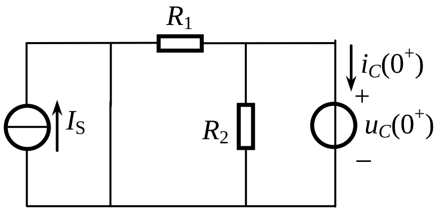
7-5　题图 7-5 所示各电路在 t=0 时开关动作。分别画出各电路 0^+时刻的等效电路图，并求出图中所标电压、电流在 0^+时的值。



解　本题各电路换路前均认为已达稳态。

（a）换路前，$u_C(0^-)=R_2I_S$。

由换路定则，有$u_C(0^+)=u_C(0^-)=R_2I_S$。0^+等效电路如题图 7-5(e)所示。



题图 7-5(e)

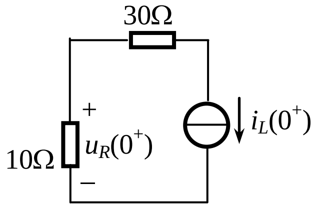
由 0^+等效电路得

$$i_C(0^+)=-\frac{u_C(0^+)}{R_1//R_2}=-\frac{R_1+R_2}{R_1}I_S$$

（b）由换路前的稳态电路可得

$$i_L(0^-)=-\frac{20}{20+30}\times5=-2\text{A}$$

由换路定则，有$i_L(0^+)=i_L(0^-)=-2\text{A}$。$0^+$等效电路如题图 7-5(f)所示。



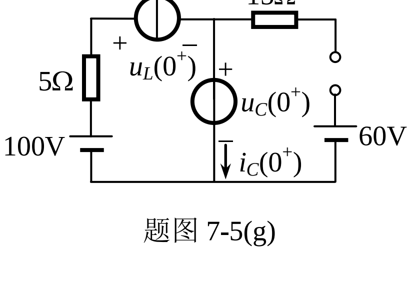
题图 7-5(f)

由 0^+等效电路得

$$u_R(0^+)=-10i_L(0^+)=20\text{V}$$

（c）换路前，$i_L(0^-)=\dfrac{100-60}{5+15}=2\text{A}$，$u_C(0^-)=15i_L(0^-)+60=90\text{V}$。

由换路定则，有$i_L(0^+)=i_L(0^-)=2\text{A}$，$u_C(0^+)=u_C(0^-)=90\text{V}$。$0^+$等效电路如题图 7-5(g)所示。



题图 7-5(g)

由 0^+等效电路得

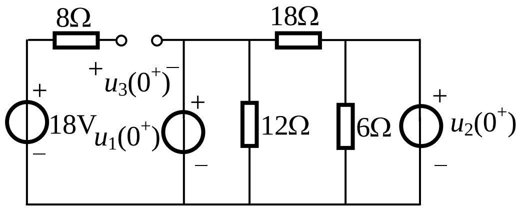
$$u_L(0^+) = -5i_L(0^+) + 100 - u_C(0^+) = 0$$
$$i_C(0^+) = i_L(0^+) = 2\text{A}$$

（d）

$$u_1(0^-) = \frac{(18+6)//12}{8+(18+6)//12} \times 18 = 9\text{V}$$

$$u_2(0^-) = \frac{6}{6+18} \times u_1(0^-) = 2.25\text{V}$$

由换路定则，有$u_1(0^+) = u_1(0^-) = 9\text{V}$，$u_2(0^+) = u_2(0^-) = 2.25\text{V}$。$0^+$等效电路如题图7-5(h)所示。

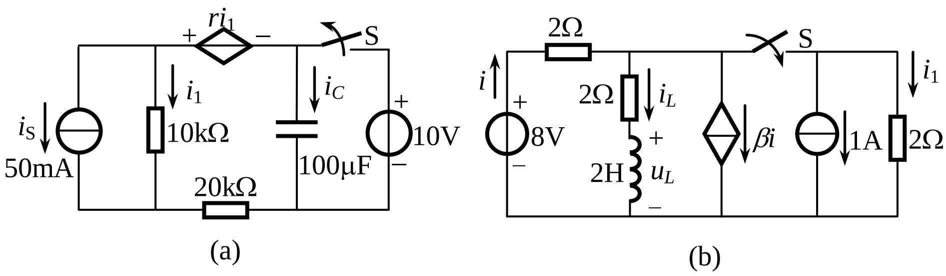


题图 7-5(h)

由 0^+等效电路得

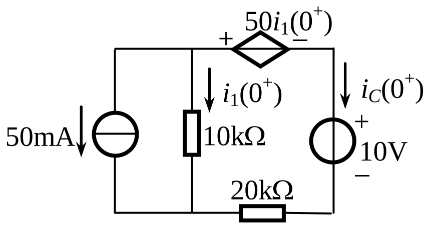
$$u_3(0^+) = 18 - u_1(0^+) = 9\text{V}$$

7-6　题图 7-6(a)所示电路中受控源为流控电压源，控制系数 r 为 50Ω；题图 7-6 (b)中受控源为流控电流源，控制系数β为 4。两电路都在 t=0 时换路。求换路后瞬间图中所标电流和电压的初始值。



题图 7-6

解　（a）$u_C(0^+) = u_C(0^-) = 10\text{V}$。$0^+$ 等效电路如题图 7-6(c)所示。



题图 7-6(c)

由 0^+等效电路列方程：

$$\begin{cases}50\times10^{-3}+i_1(0^+)+i_C(0^+)=0\\ i_1(0^+)\times10^4=50i_1(0^+)+10+20\times10^3 i_C(0^+)\end{cases}$$

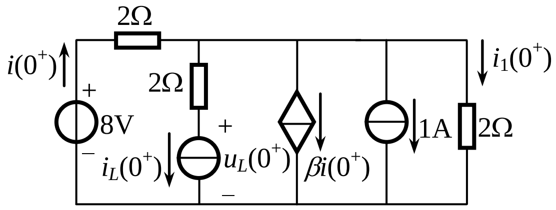
解得 $i_1(0^+)=-33.1\text{mA}$， $i_C(0^+)=-16.9\text{mA}$。

（b）由 0^- 电路，可列方程：

$$\begin{cases}i(0^-)=i_L(0^-)+4i(0^-)\\ 8=2i(0^-)+2i_L(0^-)\end{cases}$$

解得 $i_L(0^-)=6\text{A}$。

由换路定则有 $i_L(0^+)=i_L(0^-)=6\text{A}$。$0^+$等效电路如题图 7-6(d)所示。



题图 7-6(d)

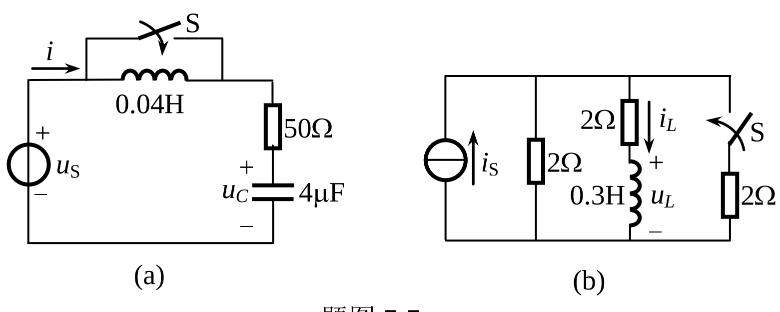
由 0^+ 电路，可列方程：

$$\begin{cases}8=2i(0^+)+2i_1(0^+)\\ -i(0^+)+i_L(0^+)+4i(0^+)+1+i_1(0^+)=0\end{cases}$$

解得 $i(0^+)=-5.5\text{A}$， $i_L(0^+)=9.5\text{A}$。再由由 0^+ 电路可得

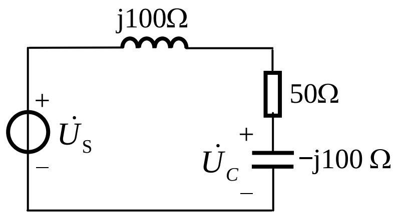
$$u_L(0^+)=-2i_L(0^+)-2i(0^+)+8=7\text{V}$$

7-7 题图 7-7 所示电路中，u_S=100sin(2500t+60°)V，i_S=5sin10t A，t=0 时换路，换路前电路已达稳态。求换路后瞬间图中所标电压和电流的初始值。



题图 7-7

解 （a）对换路前的正弦稳态电路应用相量法。此时的相量模型如题图 7-7(c)所示。



题图7-7(c)

由相量模型可得

$$\dot{U}_C=\frac{100\angle 60^\circ}{50+\mathrm{j}100-\mathrm{j}100}\times(-\mathrm{j}100)=200\angle -30^\circ \mathrm{V}$$

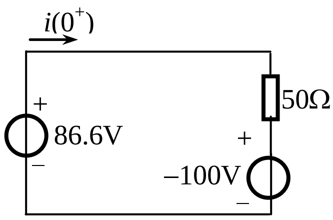
时域表达式为

$$u_C(t)=200\sin(2500t-30^\circ)\ \mathrm{V}$$

所以有

$$u_C(0^-)=200\sin(2500t-30^\circ)\big|_{t=0^-}=-100\mathrm{V}$$

由换路定则 $u_C(0^+)=u_C(0^-)=-100\mathrm{V}$。换路瞬间 0^+时刻的等效电路如题图 7-7(d)所示。



题图 7-7(d)

由 0^+等效电路可求得

$$i(0^+)=\frac{u_S(0^+)-(-100)}{50}=\frac{100\sin 60^\circ-(-100)}{50}=3.73\mathrm{A}$$

（b）由换路前的稳态电路的相量模型（题图 7-7(e)）可得

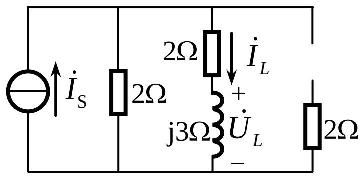
$$\dot{I}_{L\mathrm{m}}=\frac{2}{4+\mathrm{j}3}5\angle 0^\circ=2\angle -36.9^\circ \mathrm{A}$$

瞬时值表达式为

$$i_L(t)=2\sin(10t-36.9^\circ)\mathrm{A}$$

所以

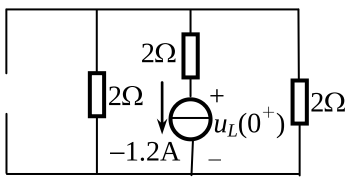
$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=2\sin(-36.9^\circ)=-1.2\mathrm{A}$$



题图 7-7(e)

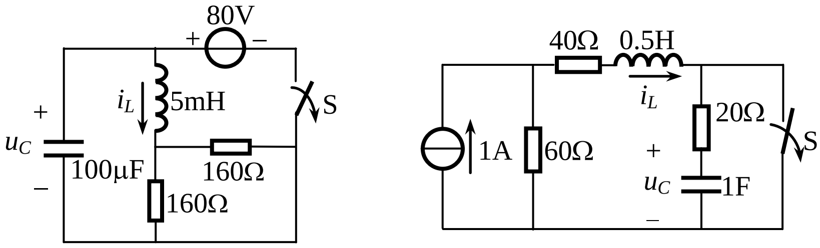
由此得 0^+等效电路如题图 7-7(f)所示。解 0^+电路得

$$u_L(0^+)=-(-1.2\times 3)=3.6\mathrm{V}$$



题图 7-7(f)

7-8 题图 7-8 所示电路中，t=0 时发生换路。求换路后瞬间电感电流和电容电压的初始值及其一阶导数的初始值。



(a) (b)

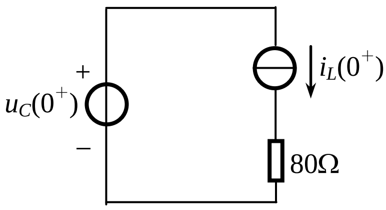
题图 7-8

解 （a）由换路前的稳态电路及换路定则得

$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=\frac{80}{160/\!/160}=1\text{A}$$

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=80\text{V}$$

0^+ 电路如题图 7-8(c)所示。



题图 7-8(c)

$$\left.\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=\frac{u_L(0^+)}{L}=0$$

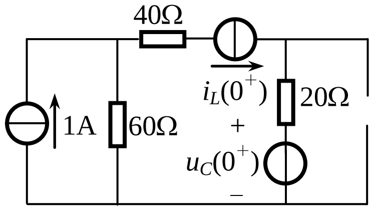
$$\left.\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=\frac{i_C(0^+)}{C}=\frac{-i_L(0^+)}{C}=-10^4\,\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$$

（b）由换路前的稳态电路及换路定则得

$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=\frac{60}{60+40}\times1=0.6\text{A}$$

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=0$$

0^+ 电路如题图 7-8(d)所示。



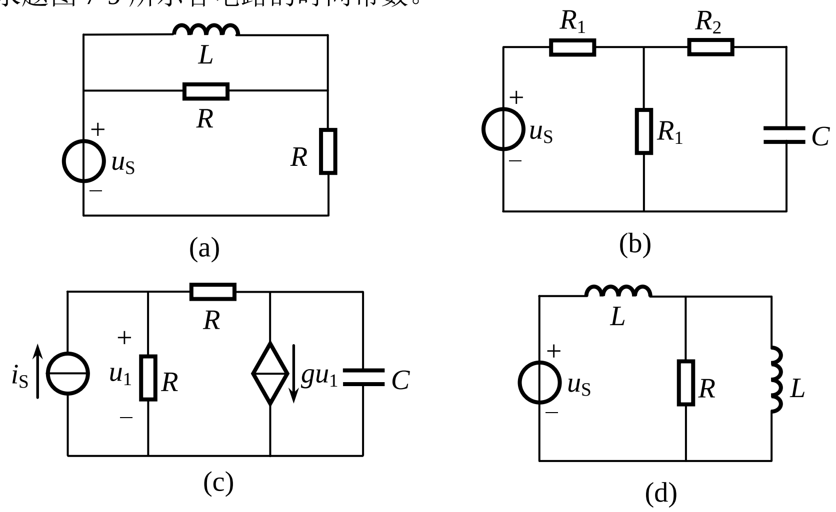
题图 7-8(d)

0^+ 电路可得

$$\left.\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=\frac{u_L(0^+)}{L}=\frac{-40\times0.6+0.4\times60-20\times0.6}{0.5}=-24\ \text{A}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$\left.\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=\frac{i_C(0^+)}{C}=\frac{0.6}{1}=0.6\ \mathrm{V}\cdot\mathrm{s}^{-1}$$

7-9　求题图 7-9 所示各电路的时间常数。



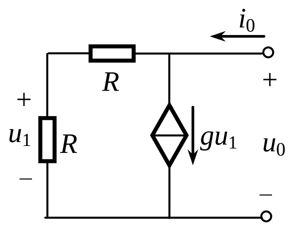
题图 7-9

解　时间常数与独立电源无关。

（a）$\tau=\dfrac{L}{R/\!/R}=\dfrac{2L}{R}$

（b）$\tau=\left(R_1/\!/R_1+R_2\right)C=\left(\dfrac{R_1}{2}+R_2\right)C$

（c）原电路去掉电源后，从电容 C 两端看入的等效电阻可题图 7-9(e)所示，用加压求流法得到。



题图 7-9(e)

方程如下

$$\begin{cases} i_0=\dfrac{u_0}{2R}+gu_1 \\ u_1=0.5u_0 \end{cases}$$

整理得

$$i_0=\frac{u_0}{2R}+\frac{gu_0}{2}=\frac{1+gR}{2R}u_0$$

等效电阻为

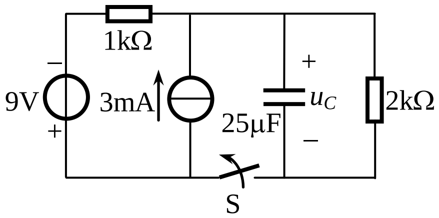
$$R_{\mathrm{eq}}=\frac{u_0}{i_0}=\frac{2R}{1+gR}$$

时间常数为

$$\tau = R_{\mathrm{eq}}C = \frac{2RC}{1+gR}$$

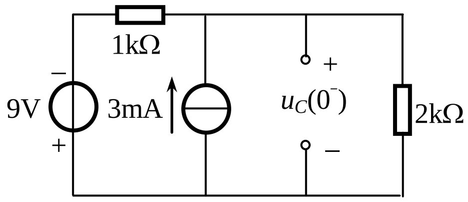
（d）$\tau = \frac{L//L}{R} = \frac{L}{2R}$

7-10 题图 7-10 所示电路换路前已达稳态，t=0 时开关 S 打开。求电容电压 $u_C(t)$，并定性画出其变化曲线。

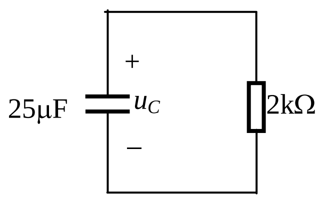


题图 7-10

解 0^-等效电路及换路后电路分别如题图7-10(a)和题图7-10(b)所示。



题图 7-10(a)



题图7-10(b)

由 0^-等效电路及换路定则可得

$$u_C(0^+) = u_C(0^-) = -\frac{2}{3}\times 9 + 3\times\frac{2}{3} = -4\mathrm{V}$$

由题图 7-10(b)可得微分方程为

$$RC\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + u_C = 0$$

整理得

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + 50u_C = 0$$

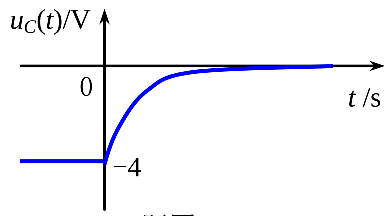
特征方程为 $p+50=0$，解得特征根为 $p=-20$。解得形式为

$$u_C(t) = A\mathrm{e}^{-20t}$$

由初始值定常数得 $A = u_C(0^+) = -4\mathrm{V}$。所以

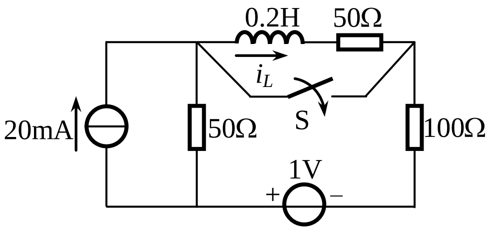
$$u_C(t) = -4\mathrm{e}^{-20t}\mathrm{V} \quad (t\ge 0)$$

$u_C(t)$的定性变化曲线如题图 7-10(c)所示。



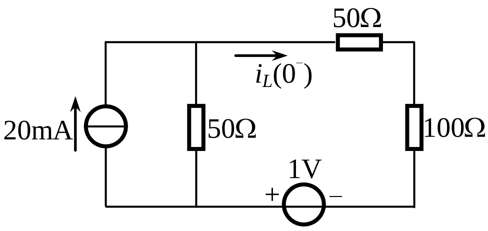
题图 7-10(c)

7-11 题图7-11所示电路换路前已处于稳态，t=0时开关S闭合。求流过电感的电流 $i_L(t)$，并定性画出其变化曲线。



题图 7-11

解 0^-电路如题图 7-11(a)所示。



题图 7-11(a)

由叠加定理可得

$$i_L(0^-)=\frac{1}{50+50+100}+\frac{50}{50+50+100}\times20\times10^{-3}=10\text{mA}$$

由换路定则，有

$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=10\text{mA}$$

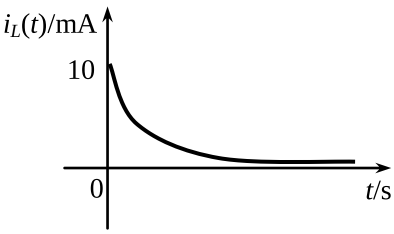
对换路后的 RL 电路，有

$$i(\infty)=0\,,\quad \tau=\frac{0.2}{50}=0.004\text{s}$$

由三要素法得

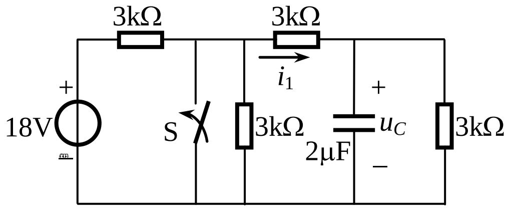
$$i_L(t)=10\text{e}^{-250t}\ \text{mA}\quad(t\geq0)$$

$i_L(t)$的定性波形如题图 7-11(b)所示。



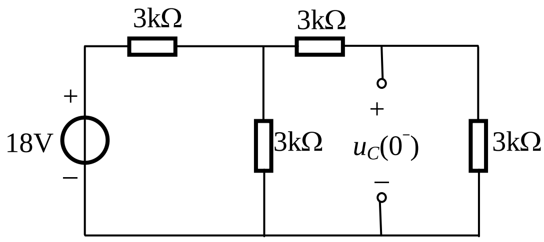
题图 7-11(b)

7-12 电路如题图 7-12 所示。t=0 时开关 S 闭合，换路前电路已达稳态。求 u_C 和 i_1 的零输入响应。



题图 7-12

解 0^-等效电路如题图 7-12(a)所示。

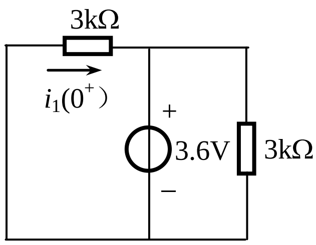


题图 7-12(a)

由 0^- 电路可求得 $u_C(0^-)=3.6\text{V}$。由换路定则有

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=3.6\text{V}$$

由此可作出 0^+ 等效电路如题图 7-12(b)所示。



题图 7-12(b)

由 0^+ 电路可得

$$i_1(0^+)=-\frac{3.6}{3\times10^3}=-1.2\text{mA}$$

由换路后电路可得

$$u_C(\infty)=0\text{，}\quad \tau=2\times10^{-6}\times1.5\times10^3=3\times10^{-3}\text{s}$$

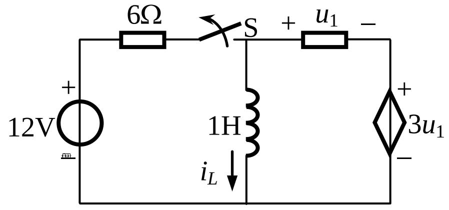
由三要素法可得

$$u_C(t)=3.6\text{e}^{-\frac{1000}{3}t}\text{V}\quad(t\geq0)$$

进而可得

$$i_1(t)=-\frac{u_C(t)}{3\times10^3}=-1.2\text{e}^{-\frac{1000}{3}t}\text{mA}\quad(t>0)$$

7-13 题图 7-13 所示电路中，t=0 时打开开关 S。求 $u_1(t)$和 $i_L(t)$，并定性画出其变化曲线。



题图 7-13

解 由 0^- 时刻电感短路，由 0^- 电路及换路定则，有

$$i_L(0^+) = i_L(0^-) = \frac{12}{6} = 2\text{A}$$

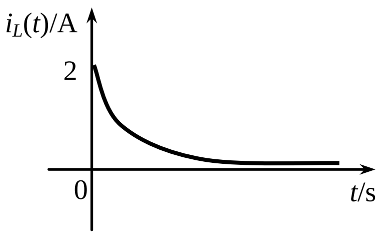
开关 S 打开后，从电感看入的等效电阻为 $R_{\text{eq}} = 4\Omega$，所以时间常数为

$$\tau = \frac{L}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{4}\text{s}$$

换路后的稳态时，$i_L(\infty) = 0$。由三要素法得

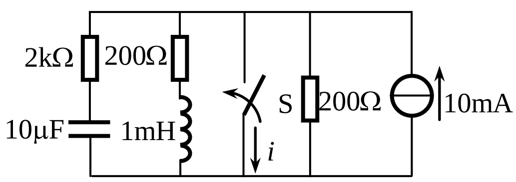
$$i_L(t) = 2\text{e}^{-4t}\ \text{A} \quad (t \geq 0)$$

$i_L(t)$的定性波形如题图 7-13(b)所示。



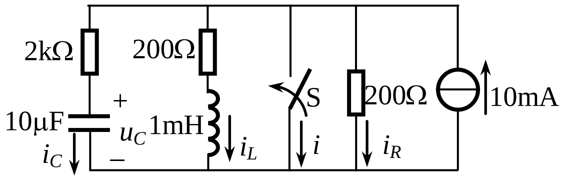
题图 7-13(a)

7-14 电路如题图 7-14 所示。t=0 时闭合开关 S，换路前电路已达稳态。求 $i(t)$。



题图 7-14

解 电压、电流参考方向如题图 7-14(a)所示。



题图 7-14(a)

由 0^- 电路及换路定则可得

$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=\frac{200}{200+200}\times10\times10^{-3}=5\text{mA}$$
$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=\frac{200\times200}{200+200}\times10\times10^{-3}=1\text{V}$$

开关 S 闭合后，开关所在支路为短路，因此，*RC* 电路和 *RL* 电路被短路，相互独立变化，可分别按一阶电路计算。

由题图 7-14(a)可得

$$u_C(\infty)=0\text{，}\quad \tau_1=2\times10^3\times10\times10^{-6}=20\text{ms}$$

$$i_L(\infty)=0\text{，}\quad \tau_2=\frac{10^{-3}}{200}=5\mu\text{s}$$

由三要素法得

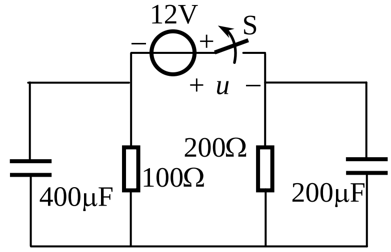
$$u_C(t)=\mathrm{e}^{-50t}\ \text{V}\quad(t\ge0)$$

$$i_L(t)=5\mathrm{e}^{-2\times10^5 t}\ \text{mA}\quad(t\ge0)$$

由题图 7-14(a)可求得

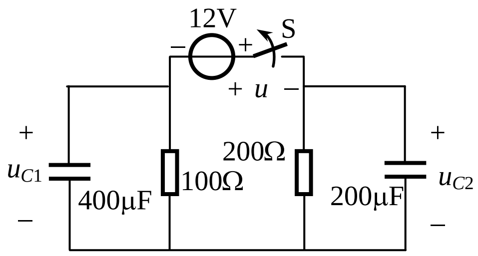
$$i_C(t)=-\frac{u_C(t)}{2\times10^3}=0.5\mathrm{e}^{-50t}\ \text{mA}\quad(t>0)$$
$$i(t)=i_C(t)-i_L(t)+i_R(t)+10\times10^{-3}$$
$$=10-0.5\mathrm{e}^{-50t}-5\mathrm{e}^{-2\times10^5 t}\ \text{mA}\quad(t>0)$$

7-15 题图 7-15 所示电路换路前已达稳态，*t*=0 时打开开关 S。问经过多长时间开关两端电压 *u* 大于 1V？



题图 7-15

解 电容电压参考方向如题图 7-15(a)所示。



题图 7-15(a)

由 0^- 电路及换路定则可得

$$u_{C1}(0^+)=u_{C1}(0^-)=-\frac{100}{100+200}\times 12=-4\text{V}$$

$$u_{C2}(0^+)=u_{C2}(0^-)=\frac{200}{100+200}\times 12=8\text{V}$$

开关 S 打开后，电路被分为左、右两个零输入一阶 RC 电路，可分别用三要素法求解。

$$u_{C1}(\infty)=0\text{，}\quad \tau_1=100\times 400\times 10^{-6}=40\text{ms}$$

$$u_{C2}(\infty)=0\text{，}\quad \tau_2=200\times 200\times 10^{-6}=40\text{ms}$$

所以

$$u_{C1}(t)=-4\text{e}^{-25t}\ \text{V}\quad (\,t\geq 0)$$

$$u_{C2}(t)=8\text{e}^{-25t}\ \text{V}\quad (\,t\geq 0)$$

开关两端电压为

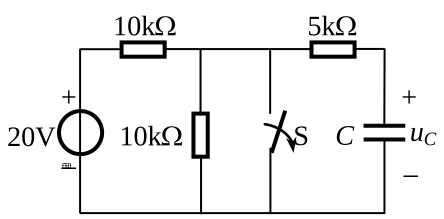
$$u(t)=12+u_{C1}(t)-u_{C2}(t)=12-12\text{e}^{-25t}\ \text{V}\qquad (t\geq\ 0$$

可见开关两端电压 u 单调增加，令

$$u(t_0)=1\text{V}=12-12\text{e}^{-25t_0}\text{V}$$

求得 $t_0=3.48\text{ms}$，即 $t>t_0=3.48\text{ms}$ 时，$u(t)>1\text{V}$。

7-16 题图 7-16 所示电路中，开关断开 0.2s 时电容电压 u_C 为 8V，试问电容 C 应是多少?



题图 7-16

解 用三要素法先求电容电压 $u_C(t)$。

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=0\text{，}\quad u_C(\infty)=10\text{V}$$

换路后，从电容两端看入的等效电阻为

$$R_{\mathrm{eq}}=5\times10^{3}+\frac{5\times10^{3}\times5\times10^{3}}{5\times10^{3}+5\times10^{3}}=10\ \mathrm{k\Omega}$$

时间常数为$\tau=R_{\mathrm{eq}}C$。则电容电压的表达式为

$$u_C(t)=10(1-\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}})\ \mathrm{V}\quad (t\geq\ 0$$

由已知条件得

$$u_C(0.2)=8\mathrm{V}=10(1-\mathrm{e}^{-\frac{0.2}{\tau}})\ \mathrm{V}$$

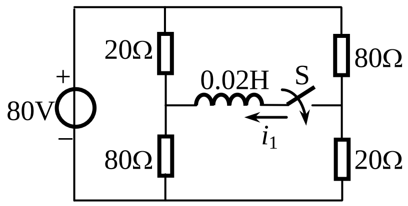
由上式得

$$\tau=-\frac{0.2}{\ln 0.2}=0.1243$$

所以

$$C=\frac{\tau}{R_{\mathrm{eq}}}=\frac{0.1243}{10^{4}}=12.43\,\mu\mathrm{F}$$

7-17 题图 7-17 所示电路换路前已达稳态。t=0 时闭合开关 S。求 $i_1(t)$的零状态响应，并定性画出其变化曲线。



题图 7-17

解 由 0⁻电路及换路定则可得

$$i_1(0^{+})=i_1(0^{-})=0$$

由换路后电路可得

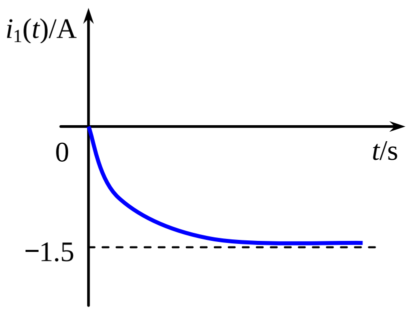
$$i_1(\infty)=\frac{40}{80}-\frac{40}{20}=-1.5\mathrm{A}$$

$$\tau=\frac{0.02}{2(20/\!/80)}=\frac{0.01}{16}\mathrm{s}$$

用三要素法可得

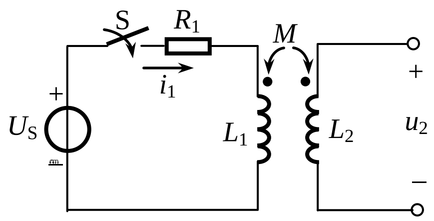
$$i_1(t)=-1.5+1.5\mathrm{e}^{-1600t}\mathrm{A}\quad (t\geq 0)$$

$i_1(t)$的定性其变化曲线如题图 7-17(a)所示。



题图7-17(a)

7-18 题图 7-18 所示电路中，已知 U_S=30V，R_1=150Ω，L_1=0.2H，M=0.4H。t=0 时闭合开关 S。求 i_1 及 u_2 的零状态响应。



题图 7-18

解 开关 S 闭合后，因 L_2 两端开路，所以从电源端看，该电路为一阶 RL 电路。可用三要素法求解。

$$i_1(0^+)=i_1(0^-)=0\text{，}\quad i_1(\infty)=\frac{U_S}{R_1}=\frac{30}{150}=0.2\text{A}\text{，}\quad \tau=\frac{L_1}{R_1}=\frac{0.2}{150}=\frac{1}{600}\text{s}$$

所以

$$i_1(t)=0.2(1-\mathrm{e}^{-600t})\text{A}\quad(t\geq 0)$$

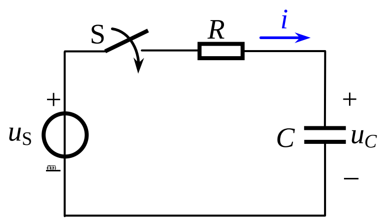
根据互感元件的特性可得

$$u_2(t)=M\frac{\mathrm{d}i_1(t)}{\mathrm{d}t}=0.4\times0.2\times600\mathrm{e}^{-600t}=48\mathrm{e}^{-600t}\ \text{V}\quad(t>0)$$

7-19 题图 7-19 所示电路中，已知 R=250Ω，C=100μF，$u_C(0^-)$=0，t=0 时闭合开关 S。

（1）当 u_S=312sin(314t+30°)V 时的 u_C 和 i；

（2）当 u_S=312sin(314t+α)V 时，问初相位α等于多少时电路中无过渡过程？并求此时的 u_C。



题图 7-19

解 （1）用三要素法求解。

由换路定则有 $u_C(0^+)=u_C(0^-)=0$。由 0^+ 电路可得

$$i(0^+)=\frac{u_S(0^+)-u_C(0^+)}{R}=\frac{312\sin30°-0}{250}=0.624\text{A}$$

换路后稳态分量用相量法求。由相量模型可得

$$\dot{U}_{C,\mathrm{st}}=\frac{\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}}{R+\dfrac{1}{\mathrm{j}\omega C}}\dot{U}_S=\frac{\dfrac{312}{\sqrt{2}}\angle30°}{1+\mathrm{j}7.85}=27.88\angle-52.74°\text{V}$$

$$\dot{I}_{\mathrm{st}} = \mathrm{j}\omega C\dot{U}_{C,\mathrm{st}} = \mathrm{j}0.0314\times 27.88\angle -52.74° = 0.8754\angle 37.26° \mathrm{A}$$

其瞬时值表达式为

$$u_{C,\mathrm{st}}(t) = 27.88\sqrt{2}\sin(314t - 52.74°)\mathrm{V}$$

$$i_{\mathrm{st}}(t) = 0.8754\sqrt{2}\sin(314t + 37.26°)\mathrm{A}$$

时间常数为

$$\tau = RC = 250\times 100\times 10^{-6} = 0.025\mathrm{s}$$

所以

$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_{C,\mathrm{st}}(t) + [u_C(0^+) - u_{C,\mathrm{st}}(0^+)]\mathrm{e}^{-40t} \\ &= 27.9\sqrt{2}\sin(314t - 52.7°) + 31.4\mathrm{e}^{-40t}\mathrm{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i(t) &= i_{\mathrm{st}}(t) + [i(0^+) - i_{\mathrm{st}}(0^+)]\mathrm{e}^{-40t} \\ &= 0.875\sqrt{2}\sin(314t + 37.2°) - 0.126\mathrm{e}^{-40t}\mathrm{A} \end{aligned}$$

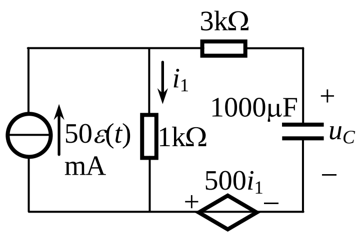
（2）由（1）中结果可知，若要使电路中无过渡过程，应有 $u_C(0^+) - u_{C,\mathrm{st}}(0^+) = 0$，因本题中 $u_C(0^+) = 0$，所以应有 $u_{C,\mathrm{st}}(0^+) = 0$。由相量法有

$$\dot{U}_{C,\mathrm{st}} = \frac{\dfrac{312}{\sqrt{2}}\angle\alpha}{1+\mathrm{j}7.85} = 27.88\angle\alpha - 82.74°\mathrm{V}$$

可见，应有 $\alpha = 82.7°$。此时有

$$u_C(t) = u_{C,\mathrm{st}}(t) = 27.9\sqrt{2}\sin(314t + 82.7°)\mathrm{V}$$

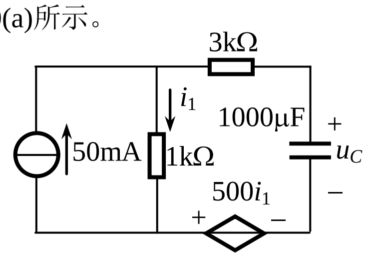
7-20 题图 7-20 所示电路中的电容无初始储能。求 $u_C(t)$和 $i_1(t)$。



题图 7-20

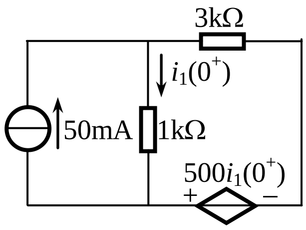
解 $u_C(0^-) =$ 。

$t > 0$ 时电路如题图 7-20(a)所示。



题图 7-20(a)

由换路定则有 $u_C(0^+)=u_C(0^-)=0$。可得 0^+等效电路如题图 7-20(b)所示。



题图7-20(b)

由0^+等效电路可得

$$i_1(0^+)=\frac{1}{30}\text{A=33.3mA}$$

由 $t>0$ 时的电路可求得

$$R_{\text{eq}}=4.5\text{k}\Omega,\quad \tau=R_{\text{eq}}C=4.5\text{s},$$

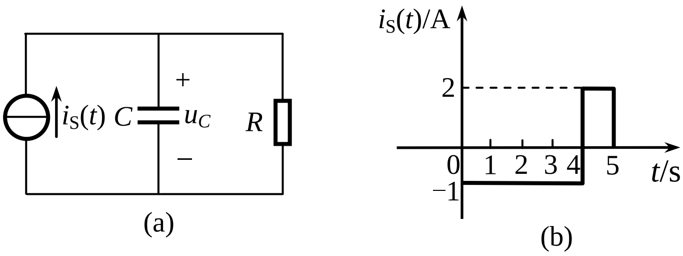
$$i_1(\infty)=0.05\text{A=50mA},\quad u_C(\infty)=1000i_1(\infty)+500i_1(\infty)=75\text{V}$$

由三要素法，可得

$$u_C(t)=75(1-\text{e}^{-\frac{t}{4.5}})\text{V}\quad (t\geq 0)$$

$$i_1(t)=50-16.7\text{e}^{-\frac{t}{4.5}}\text{mA}\quad (t>0)$$

7-21 已知题图 7-21 所示电路中电容电压对单位阶跃电流源的零状态响应为 $u_C(t)=(1-\text{e}^{-t})\varepsilon(t)$ V。若电流源 $i_S(t)$的波形如图(b)所示，求电路的零状态响应 $u_C(t)$，并定性画出其波形图。



题图 7-21

解 题图 7-21(b)所示的电流源电流的表达式为

$$i_S(t)=-\varepsilon(t)+3\varepsilon(t-4)-2\varepsilon(t-5)\ \text{A}$$

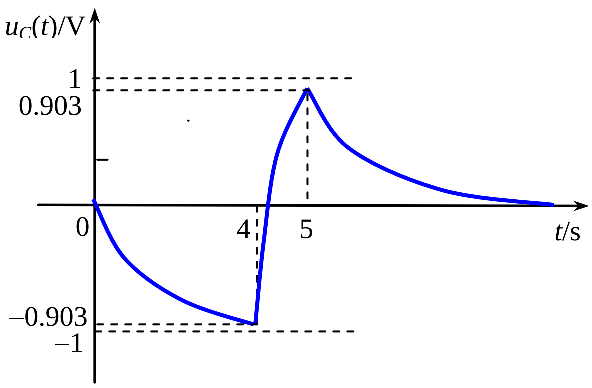
由已知阶跃响应及线性非时变电路的叠加性质、齐次性质和延时性质可得零状态响应 $u_C(t)$为

$$u_C(t)=-(1-\text{e}^{-t})\varepsilon(t)+3[1-\text{e}^{-(t-4)}]\varepsilon(t-4)-2[1-\text{e}^{-(t-5)}]\ \varepsilon(t-5)\text{V}$$

用分段函数表示为

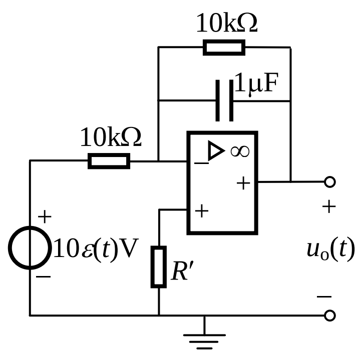
$$u_C(t)=\begin{cases}-(1-\mathrm{e}^{-t})\mathrm{V}, \quad 0\le t\le 4\mathrm{s} \\ -(1-\mathrm{e}^{-t})+3[1-\mathrm{e}^{-(t-4)}]\ \mathrm{V}=2+(\mathrm{e}^{-4}-3)\mathrm{e}^{-(t-4)}\ \mathrm{V}=2-2.98\mathrm{e}^{-(t-4)}\ \mathrm{V}, \quad 4\mathrm{s}\le t\le 5\mathrm{s} \\ -(1-\mathrm{e}^{-t})+3[1-\mathrm{e}^{-(t-4)}]-2[1-\mathrm{e}^{-(t-5)}]\ \mathrm{V}=0.903\mathrm{e}^{-(t-5)}\ \mathrm{V}, \quad t\ge 5\mathrm{s}\end{cases}$$

$u_C(t)$的定性波形如题图 7-21(c)所示。



题图7-21(c)

7-22 求题图 7-22 所示电路中的输出电压 $u_o(t)$。



题图 7-22

解 利用理想运算放大器的虚短和虚断结果，$u_o(t)$ 为变量列写反相输入端的节点 KCL 方程为

$$\frac{10\varepsilon(t)}{10\times10^3}+\frac{u_o}{10\times10^3}+10^{-6}\frac{\mathrm{d}u_o}{\mathrm{d}t}=0$$

整理得

$$\frac{\mathrm{d}u_o}{\mathrm{d}t}+100u_o=-1000 \quad (t>0)$$

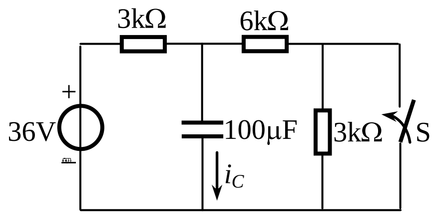
初始值为$u_C(0^+)=u_C(0^-)=0$。

方程特征根为 $p=-100$。方程的特解为$u_{of}(t)=-10\mathrm{V}$。

所以输出电压为

$$u_C(t)=-10(1-\mathrm{e}^{-100t})\ \mathrm{V} \quad (t>0)$$

7-23 题图 7-23 所示电路 t=0 时闭合开关 S。求 i_C 的零状态响应、零输入响应和全响应。



题图 7-23

解 由 0^-电路及换路定则可得

$$u_C(0^+) = u_C(0^-) = 27\text{V}$$

由 0^+ 电路求得

$$i_C(0^+) = \frac{36-27}{3000} - \frac{27}{6000} = -1.5\,\text{mA}$$

由换路后电路得

$$i_C(\infty) = 0\,,\quad \tau = 100\times10^{-6}\times2000 = 0.2\text{s}$$

所以，全响应为

$$i_C(t) = -1.5\text{e}^{-5t}\text{mA}\quad (t>0)$$

零状态响应：

$$i_{Czs}(0^+) = \frac{36}{3000} = 12\text{mA}$$

$$i_{Czs}(\infty) = 0$$

$$i_{Czs}(t) = 12\text{e}^{-5t}\text{mA}\quad (t>0)$$

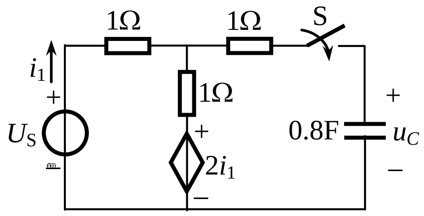
零输入响应：

$$i_{Czi}(0^+) = -\frac{27}{3000} - \frac{27}{6000} = -13.5\,\text{mA}$$

$$i_{Czi}(\infty) = 0$$

$$i_{Czi}(t) = -13.5\text{e}^{-5t}\text{mA}\quad (t>0)$$

7-24　题图 7-24 所示电路中，已知受控源为流控电压源，$u_C(0^-)$=1V，t=0 时闭合开关 S。求 U_S 分别为 2V 和 10V 时 u_C 的零状态响应、零输入响应和全响应。



题图 7-24

解　$u_C(0^+) = u_C(0^-) = 1\text{V}$，$\tau = R_{等}C = \dfrac{5}{4} \times \dfrac{4}{5} = 1\text{s}$

零输入响应：

$$u_{Czi}(0^+) = 1\text{V}，\ u_{Czi}(\infty) = 0，\ \tau = 1\text{s}$$

$$u_{Czi}(t) = \mathrm{e}^{-t}\text{V} \quad (t \ge 0)$$

零状态响应：（1）$u_S = 2\text{V}$

$$u_{Czs}(0^+) = 1\text{V}，\ u_C(\infty) = 1.5\text{V}，\ \tau = 1\text{s}$$

$$u_{Czs}(t) = 1.5(1 - \mathrm{e}^{-t})\text{V} \quad (t \ge 0)$$

（2）$u_S = 10\text{V}$

$$u_{Czs}(t) = 7.5(1 - \mathrm{e}^{-t})\text{V} \quad (t \ge 0)$$

(零状态响应与激励成正比)

全响应：（1）$u_S = 2\text{V}$

零输入响应：$\mathrm{e}^{-t}\text{V} \quad (t \ge 0)$

零状态响应：$1.5(1 - \mathrm{e}^{-t})\text{V} \quad (t \ge 0)$

全响应：$1.5 - 0.5\mathrm{e}^{-t}\text{V} \quad (t \ge 0)$

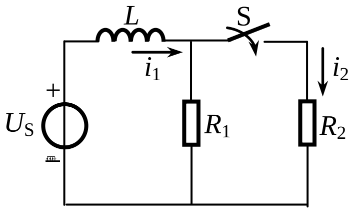
（2）$u_S = 10\text{V}$

零输入响应：$\mathrm{e}^{-t}\text{V} \quad (t \ge 0)$

零状态响应：$7.5(1 - \mathrm{e}^{-t})\text{V} \quad (t \ge 0)$

全响应：$7.5 - 6.5\mathrm{e}^{-t}\text{V} \quad (t \ge 0)$

7-25 题图 7-25 所示电路换路前已达稳态，t=0 时闭合开关 S。求 $i_1(t)$和 $i_2(t)$。



题图 7-25

解 由 0^- 电路及换路定则，有

$$i_1(0^+) = i_1(0^-) = \frac{U_S}{R_1}$$

由 0^+ 电路可得

$$i_2(0^+) = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times i_1(0^+) = \frac{U_S}{R_1 + R_2}$$

换路后达稳态时，有

$$i_1(\infty) = \frac{U_S}{R_1} + \frac{U_S}{R_2}\text{，}\quad i_2(\infty) = \frac{U_S}{R_2}$$

时间常数为

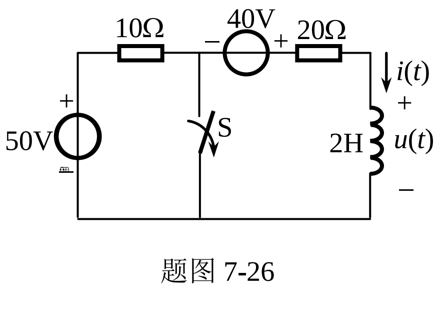
$$\tau = \frac{L}{\dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{(R_1 + R_2)L}{R_1 R_2}$$

所以

$$i_1(t) = \left(\frac{U_S}{R_1} + \frac{U_S}{R_2}\right) - \frac{U_S}{R_2} e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (t \geq 0)$$

$$i_2(t) = \frac{U_S}{R_2} + \left(\frac{U_S}{R_1 + R_2} - \frac{U_S}{R_2}\right) e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (t > 0)$$

7-26 题图 7-26 所示电路换路前已处于稳态，t=0 时打开开关 S。求 $u(t)$和 $i(t)$，并定性画出其波形。



题图 7-26

解　由0^-电路及换路定则，有

$$i(0^+)=i(0^-)=\frac{40}{20}=2\text{A}$$

由0^+电路可得

$$u(0^+)=-20i(0^+)+40-10i(0^+)+50=30\text{V}$$

换路后稳态时，有

$$i(\infty)=\frac{90}{30}=3\text{A}，\quad u(\infty)=0$$

时间常数为

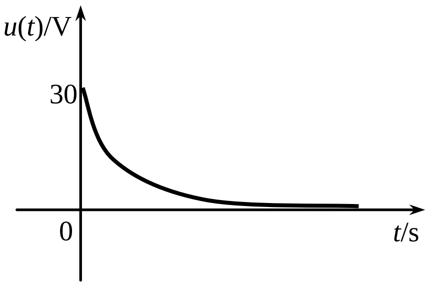
$$\tau=\frac{2}{20+30}=0.04\text{s}$$

用三要素法，可得

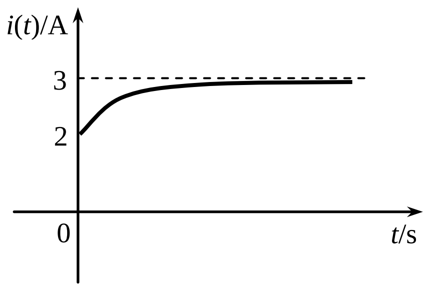
$$i(t)=3-\mathrm{e}^{-25t}\text{A}\qquad(t\geq 0)$$

$$u(t)=30\mathrm{e}^{-25t}\text{V}\qquad(t>0)$$

$u(t)$和$i(t)$的定性波形分别如题图7-26(a)和题图7-26(b)所示。

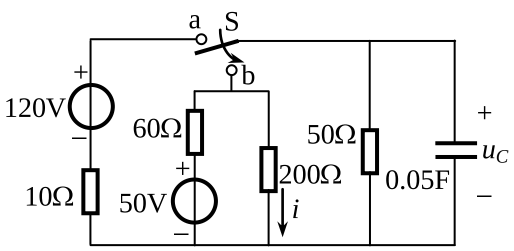


题图7-26(a)



题图7-26(b)

7-27　题图7-27所示电路换路前已处于稳态。t=0时开关S由a合向b。求u_C和i，并画出其波形图。



题图 7-27

解　由0^-电路及换路定则，有

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=\frac{50}{50+10}\times 120=100\text{V}。$$

由 0＋等效电路得

$$i(0^+)=\frac{u_C(0^+)}{200}=0.5\text{A}\ 。$$

换路后达稳态时

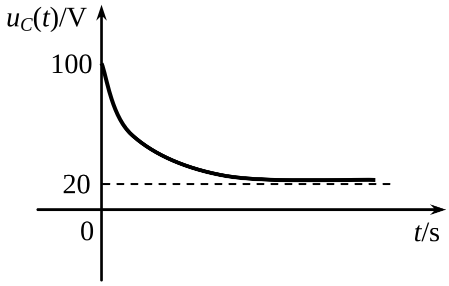
$$u_C(\infty)=\frac{200//50}{200//50+60}\times 50=20\text{V}\ ,\quad i(\infty)=\frac{u_C(\infty)}{200}=0.1\text{A}$$

时间常数为 $\tau=(60//200//50)\times 0.05=1.2\text{s}$ 。

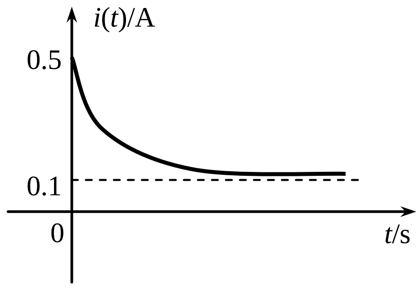
由三要素法得

$$u_C(t)=20+80\text{e}^{-\frac{t}{1.2}}\text{V}\quad (t\ge 0)\ ,\quad i(t)=0.1+0.4\text{e}^{-\frac{t}{1.2}}\text{A}\quad (t>0)$$

u_C 和 i 定性波形分别如题图 7-27(a)和题图 7-27(b)所示。

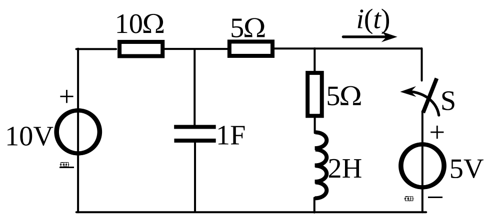


题图7-27(a)



题图7-27(b)

7-28 题图 7-28 所示电路换路前已处于稳态，t=0 时闭合开关 S。求 $i(t)$。



题图 7-28

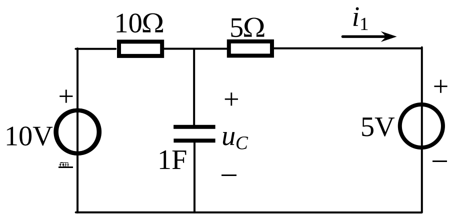
解 开关 S 闭合前电路处于稳态，由 0^- 电路计算得

$$i_L(0^-)=\frac{10}{10+5+5}=0.5\text{A}\ ,\qquad u_C(0^-)=i_L(0^-)\times(5+5)=5\text{V}$$

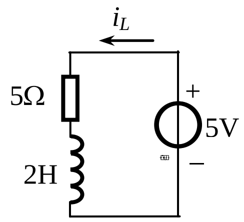
根据换路定则有

$$i_L(0^+)=i_L(0^-)=0.5\text{A}\quad u_C(0^+)=u_C(0^-)=5\text{V}$$

S 闭合后，原电路可分解为两个一阶电路，分别如题图 7-28(a)和题图 7-28(b)所示。（注意：并非叠加定理）



题图 7-28(a)



题图 7-28(b)

由题图 7-28(a)计算 i_1，由题图 7-28(b)计算 i_L，则 $i = i_1 - i_L$ 。

由题图 7-28(a)所示电路：

$$i_1(0^+) = \frac{u_C(0^+) - 5}{5} = 0\text{A}\,,\quad i_1(\infty) = \frac{10-5}{10+5} = 0.333\text{A}\,,\quad \tau_1 = (10//5)\times 1 = \frac{10}{3}\text{s}$$

所以

$$i_1(t) = 0.333 - 0.333\text{e}^{-0.3t}\text{A} \quad (t > 0)$$

由题图 7-28(b)所示电路：

$$i_L(0^+) = i_L(0^-) = 0.5\text{A}\,,\quad i_L(\infty) = \frac{5}{5} = 1\text{A}\,,\quad \tau_2 = \frac{2}{5} = 0.4\text{s}$$

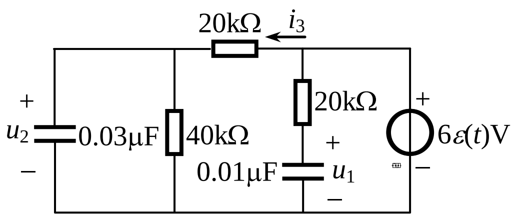
所以

$$i_L(t) = 1 + (0.5-1)\text{e}^{-2.5t} = 1 - 0.5\text{e}^{-2.5t}\text{A} \quad (t \geq 0)$$

由原电路可得

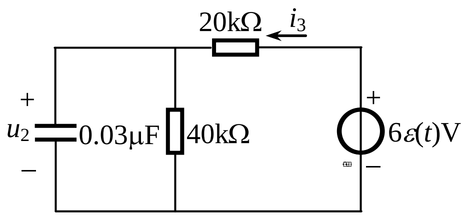
$$i(t) = i_1(t) - i_L(t) = -0.667 - 0.333\text{e}^{-0.3t} + 0.5\text{e}^{-2.5t}\text{A} \quad (t > 0)$$

7-29 题图 7-29 所示电路中电容无初始储能。求 $u_1(t)$，$u_2(t)$和 $i_3(t)$，并定性画出 $i_3(t)$的波形。

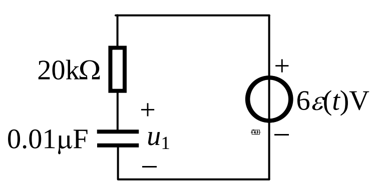


题 7-29

解 原电路可分为两个一阶电路求解，分别如题图 7-29(a)和题图 7-29(b)所示。



题图 7-29(a)



题图 7-29(b)

由题图 7-29(a)所示电路可得

$$u_2(0^+)=u_2(0^-)=0\text{，}\ i_3(0^+)=\frac{6}{20\times10^3}=0.3\text{mA}$$

$$u_2(\infty)=\frac{40\times10^3}{40\times10^3+20\times10^3}\times6=4\text{V}\text{，}\ i_3(\infty)=\frac{6}{40\times10^3+20\times10^3}=0.1\text{mA}$$

$$\tau=\frac{40\times10^3\times20\times10^3}{40\times10^3+20\times10^3}\times0.03\times10^{-6}=0.4\text{ms}$$

所以

$$u_2(t)=4(1-\mathrm{e}^{-2.5\times10^3 t})\text{V}\qquad (t\geq\ 0$$

$$i_3(t)=0.1+0.2\mathrm{e}^{-2.5\times10^3 t}\text{mA}\qquad (t>\ 0$$

由题图 7-29(b)所示电路可得

$$u_1(0^+)=u_1(0^-)=0\text{，}\ u_1(\infty)=6\text{V}\text{，}\ \tau=20\times10^3\times0.01\times10^{-6}=0.2\text{ms}$$

所以

$$u_1(t)=6(1-\mathrm{e}^{-5\times10^3 t})\text{V}\qquad (t\geq\ 0$$

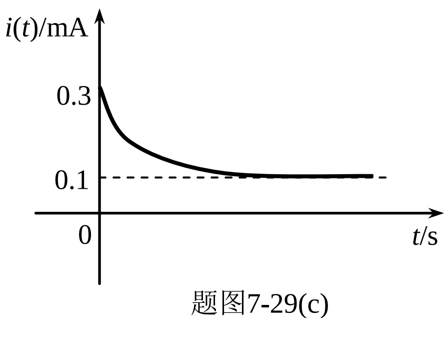
写成全时间域表达式为

$$u_1(t)=6(1-\mathrm{e}^{-5\times10^3 t})\varepsilon(t)\text{V}$$

$$u_2(t)=4(1-\mathrm{e}^{-2.5\times10^3 t})\varepsilon(t)\text{V}$$

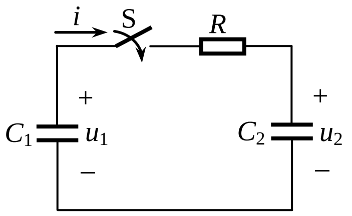
$$i_3(t)=\left(0.1+0.2\mathrm{e}^{-2.5\times10^3 t}\right)\varepsilon(t)\text{mA}$$

$i_3(t)$的定性波形如题图 7-29(c)所示。



题图7-29(c)

7-30 题图 7-30 所示电路中，电容 C_1=4μF，已充电至 u_1=120V。电容 C_2 未充电，R=1kΩ，C_2=2μF。t = 0 时开关 S 闭合。求 $u_1(t)$，$u_2(t)$和 $i(t)$。



题图 7-30

解法 1 由换路定则有

$$u_1(0^+)=u_1(0^-)=120\text{V}，\quad u_2(0^+)=u_2(0^-)=0$$

由 0^+ 电路可得

$$i(0^+)=\frac{u_1(0^+)-u_2(0^+)}{R}=\frac{120}{1000}=0.12\text{A}$$

由开关闭合后电路可得

$$i(\infty)=0，\quad \tau=R\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=\frac{4}{3}\times10^{-3}\text{s}$$

由三要素法可得

$$i(t)=0.12\text{e}^{-750t}\text{A}\quad(t>0)$$

在稳定状态下，$u_1(\infty)=u_2(\infty)$。由电荷守恒，有

$$-C_1u_1(\infty)-C_2u_2(\infty)=-C_1u_1(0^+)-C_2u_2(0^+)$$

联立求解，即求解下列方程组：

$$\begin{cases}u_1(\infty)=u_2(\infty)\\-C_1u_1(\infty)-C_2u_2(\infty)=-C_1u_1(0^+)-C_2u_2(0^+)\end{cases}$$

解得

$$u_1(\infty)=u_2(\infty)=\frac{-C_1u_1(0^+)-C_2u_2(0^+)}{-(C_1+C_2)}=\frac{-4\times120-0}{-6}=80\text{V}$$

由三要素法有

$$u_1(t)=80+40\text{e}^{-750t}\text{V}\quad(t\geq0)$$
$$u_2(t)=80-80\text{e}^{-750t}\text{V}\quad(t\geq0)$$

解法 2

$$u_1(0^+)=u_1(0^-)=120\text{V}，\quad u_2(0^+)=u_2(0^-)=0$$

$$i(0^+)=0.12\text{A}，\quad \tau=R\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}=\frac{4}{3}\times10^{-3}\text{s}$$

所以

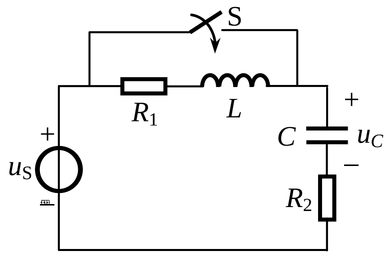
$$i(t)=0.12\text{e}^{-750t}\text{A}\quad(t>0)$$

由元件特性可得

$$u_1(t)=u_1(0^+)-\frac{1}{C_1}\int_0^t i\text{d}t=120-\frac{10^6}{4}\int_0^t 0.12\text{e}^{-750t}\text{d}t=80+40\text{e}^{-750t}\text{V}\quad(t\ge0)$$

$$u_2(t)=u_2(0^+)+\frac{1}{C_2}\int_0^t i\text{d}t=0+\frac{10^6}{2}\int_0^t 0.12\text{e}^{-750t}\text{d}t=80-80\text{e}^{-750t}\text{V}\quad(t\ge0)$$

7-31 题图 7-31 所示电路中，已知 u_S=100sin(2500t+60°)V，R_1=30Ω，R_2=20Ω，L=0.04H，C=4μF，t = 0 时开关 S 闭合。求开关闭合后电容 C 上的电压 $u_C(t)$。



题图 7-31

解　对换路前稳态电路应用相量法，可得

$$\dot{U}_C=\frac{\frac{1}{\text{j}\omega C}}{R_1+R_2+\text{j}\omega L+\frac{1}{\text{j}\omega C}}\times\dot{U}_S=\frac{-\text{j}100}{50+\text{j}100-\text{j}100}\times\frac{100\angle60°}{\sqrt{2}}=\frac{200}{\sqrt{2}}\angle-30°\text{V}$$

瞬时值表达式为

$$u_C(t)=200\sin(2500t-30°)\text{V}$$

由此可得 $u_C(0^-)=-100\text{V}$。由换路定则有 $u_C(0^+)=u_C(0^-)=-100\text{V}$。

对换路后电路的稳态，同样用相量法可得

$$\dot{U}_{C,\text{st}}=\frac{\frac{1}{\text{j}\omega C}}{R_2+\frac{1}{\text{j}\omega C}}\times\dot{U}_S=\frac{-\text{j}100}{20-\text{j}100}\times\frac{100\angle60°}{\sqrt{2}}=\frac{98.06}{\sqrt{2}}\angle48.69°\text{V}$$

瞬时值表达式为

$$u_{C,\text{st}}(t)=98.06\sin(2500t48.69°)\text{V}$$

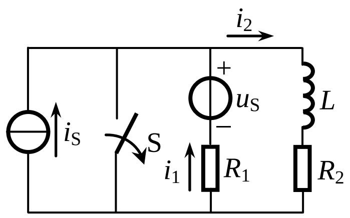
时间常数为

$$\tau = R_2 C = 20 \times 4 \times 10^{-6} = 8 \times 10^{-5}\text{s}$$

用三要素法可得

$$\begin{aligned} u_C(t) &= 98.06\sin(2500t + 48.69°) + (-100 - 73.66)\mathrm{e}^{-12500t}\text{V} \\ &= 98.1\sin(2500t + 48.7°) - 174\mathrm{e}^{-12500t}\text{V} \end{aligned} \qquad (t \geq 0$$

7-32 题图 7-32 所示电路中，已知 i_S=2A，u_S=100sin(1000t+90°)V，R_1= R_2=50Ω, t=0 时打开开关 S。求 $i_1(t)$和 $i_2(t)$。



题图 7-32

解 由换路前得稳态电路可得 $i_2(0^-) = 0$。由换路定则有

$$i_2(0^+) = i_2(0^-) = 0$$

由 0^+等效电路得

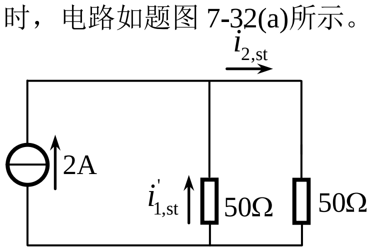
$$i_1(0^+) = i_1(0^+) - i_S(0^+) = -2\text{A}$$

由换路后的电路可得

$$\tau = \frac{L}{R_1 + R_2} = 0.001\text{s}$$

根据叠加定理求换路后的稳态解。

当 i_S=2A 电流源单独作用时，电路如题图 7-32(a)所示。

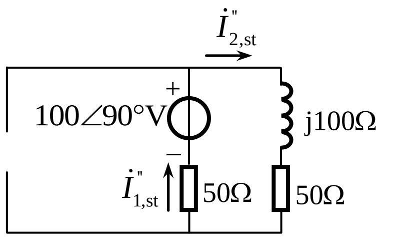


题图 7-32(a)

可求得

$$i_{1,\text{st}}(t) = -1\text{A}，\ i_{2,\text{st}}(t) = 1\text{A}$$

当 u_S 单独作用时，其相量模型如题图 7-32(b)所示。



题图7-32(b)

可求得

$$\dot{I}''_{1,\mathrm{st}}=\dot{I}''_{2,\mathrm{st}}=\frac{100\angle 90^\circ}{100+\mathrm{j}100}=0.707\angle 45^\circ\mathrm{A}\ \text{（最大值相量）}$$

瞬时值为

$$i''_{1,\mathrm{st}}(t)=i''_{2,\mathrm{st}}(t)=0.707\sin(1000t+45^\circ)\mathrm{A}$$

稳态解为

$$i_{1,\mathrm{st}}(t)=i'_{1,\mathrm{st}}(t)+i''_{1,\mathrm{st}}(t)=-1+0.707\sin(1000t+45^\circ)\mathrm{A}$$

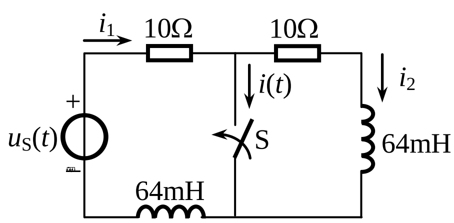
$$i_{2,\mathrm{st}}(t)=i'_{2,\mathrm{st}}(t)+i''_{2,\mathrm{st}}(t)=1+0.707\sin(1000t+45^\circ)\mathrm{A}$$

由三要素法有

$$\begin{aligned}i_1(t)&=i_{1,\mathrm{st}}(t)+A_1\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\\&=-1+0.707\sin(1000t+45^\circ)+[i_1(0^+)-i_{1,\mathrm{st}}(0^+)]\mathrm{e}^{-1000t}\qquad(t>0)\\&=-1+0.707\sin(1000t+45^\circ)-1.5\mathrm{e}^{-1000t}\mathrm{A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}i_2(t)&=i_{2,\mathrm{st}}(t)+A_2\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}\\&=1+0.707\sin(1000t+45^\circ)+[i_2(0^+)-i_{2,\mathrm{st}}(0^+)]\mathrm{e}^{-1000t}\qquad(t\geqslant 0)\\&=1+0.707\sin(1000t+45^\circ)-1.5\mathrm{e}^{-1000t}\mathrm{A}\end{aligned}$$

7-33 电路如题图 7-33 所示。已知正弦交流电源 $u_S(t)=220\sqrt{2}\sin(314t+\Psi)\mathrm{V}$，当 i_1 为正最大值时合上开关 S。求 $i(t)$。



题图 7-33

解 开关 S 闭合前处于稳态，用相量法可得

$$\dot{I}_1=\frac{220\angle\Psi}{20+\mathrm{j}314\times128\times10^{-3}}=4.90\angle\Psi-63.54^\circ\mathrm{A}$$

瞬时值为

$$i_1(t)=4.90\sqrt{2}\sin(314t+\varPsi-63.54°)\ \text{A}$$

当 i_1 为正最大值时合上开关 S，应有 $\varPsi-63.54°=90°$，即 $\varPsi=153.5°$。此时应有

$$i_1(0^-)=4.90\sqrt{2}\ \text{A}=6.93\text{A}$$

由换路定则，有 $i_1(0^+)=i_1(0^-)=6.93\text{A}$，且 $i_2(0^+)=i_1(0^+)=6.93\text{A}$

换路后，电路分为两个一阶电路，且具有相同的时间常数，其值为

$$\tau=\frac{64\times10^{-3}}{10}=6.4\text{ms}$$

换路后，左侧一阶电路的稳态响应相量为

$$\dot{I}_{1,\text{st}}=\frac{220\angle153.5°}{10+\text{j}314\times64\times10^{-3}}=9.80\angle90.0°\text{A}$$

瞬时值为

$$i_{1,\text{st}}(t)=9.80\sqrt{2}\sin(314t+90.0°)\ \text{A}$$

右侧为零输入，$i_2(\infty)=0$。

由三要素法，可得

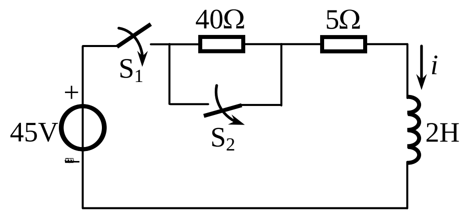
$$i_1(t)=9.80\sqrt{2}\sin(314t+90.0°)+(6.93-9.8\sqrt{2})\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}\ \text{A}$$

$$i_2(t)=6.93\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}\ \text{A}$$

所以

$$i(t)=i_1(t)-i_2(t)=9.80\sqrt{2}\sin(314t+90.0°)-13.9\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}\ \text{A}$$

7-34 电路如题图 7-34 所示，电感无初始储能，换路前开关 S_1 打开，S_2 闭合。（1）$t=0$ 时开关 S_1 闭合，0.4s 后再打开开关 S_2。求 t=1.4s 时电流 i 的值是多少？（2）若 S_1 闭合后，当电流 i 上升到 1A 时再打开 S_2，问电路中是否有过渡过程？



题图 7-34

解 （1）当开关 S_1 闭合，开关 S_2 还未打开时：

$$i(0^+)=i(0^-)=0\text{，}\ i(\infty)=\frac{45}{5}=9\text{A}\text{，}\ \tau=\frac{2}{5}=0.4\text{s}$$

由三要素法得

$$i(t)=9(1-\mathrm{e}^{-2.5t})\ \text{A}\quad (0\le t\le 0.4$$

当$t=0.4\text{s}$时，$i(0.4)=5.69\text{A}$。

当开关 S_2 闭合后，有

$$i(0.4)=5.69\text{A}\text{，}\ i(\infty)=\frac{45}{45}=1\text{A}\text{，}\ \tau=\frac{2}{45}\text{s}$$

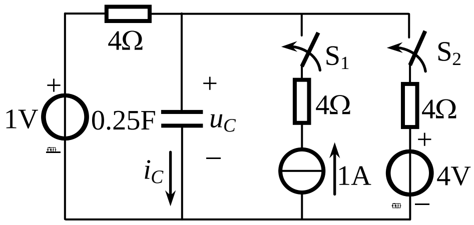
所以

$$i(t)=1+4.69\mathrm{e}^{-22.5t}\text{A}\quad (t\ge 0.4$$

可得$i(1.4)=1+4.69\mathrm{e}^{-22.5t}=1.00\text{A}$。

（2）由（1）中结果可见，若 S_1 闭合后，当电流 i 上升到 1A 时再打开 S_2，因此时电流与稳态时相同，所以没有过渡过程，直接进入稳态。

7-35 电路如题图 7-35 所示。换路前电路已达稳态，开关 S_1 和 S_2 打开。t=0 时闭合开关 S_1，t=1s 时闭合开关 S_2。求 u_C 和 i_C ，并定性画出其变化曲线。



题图 7-35

解　用三要素法求解。

（1）$0\le t\le 1\text{s}$

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)=1\text{V}\text{，}\ u_C(\infty)=5\text{V}\text{，}\ \tau_1=1\text{s}$$

$$i_C(0^+)=1\text{A}\text{，}\ i_C(\infty)=0\text{，}\ \tau_1=1\text{s}$$

$$u_C(t)=5-4\mathrm{e}^{-t}\text{V}\quad (0\le t\le 1\text{s})$$

$$i_C(t)=\mathrm{e}^{-t}\text{A}\quad (0<t<1\text{s})$$

（2）$t\ge 1\text{s}$

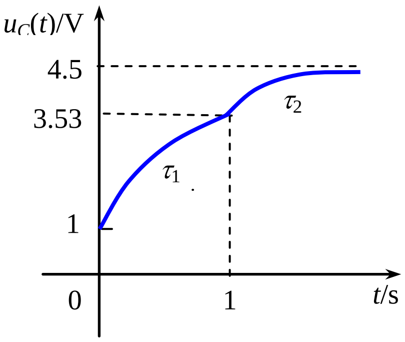
$$u_C(1^+)=u_C(1^-)=5-4\mathrm{e}^{-1}=3.53\text{V}\text{，}\ u_C(\infty)=4.5\text{V}\text{，}\ \tau_2=0.5\text{s}$$

$$i_C(1^+)=1-\frac{3.53-1}{4}+\frac{4-3.53}{4}=0.485\text{A}\text{，}\ i_C(\infty)=0\text{，}\ \tau_2=0.5\text{s}$$

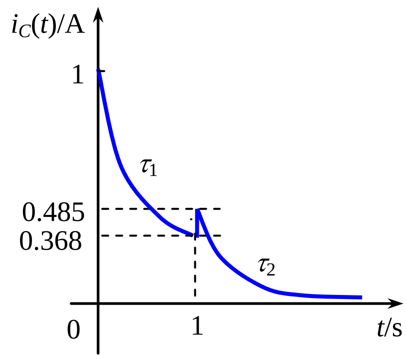
$$u_C(t)=4.5-0.97\mathrm{e}^{-2(t-1)}\text{V}\quad (t\ge 1\text{s})$$

$$i_C(t) = 0.485e^{-2(t-1)}\text{A} \quad (t > 1\text{s})$$

定性变化曲线如分别如题图 7-35(a)和题图 7-35(b)所示。

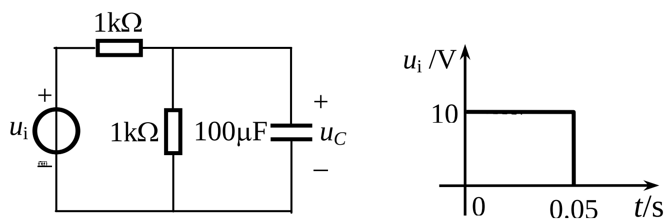


题图 7-35(a)



题图 7-35(b)

7-36　一矩形脉冲电压如图 7-36(b)所示，作用于图 7-36(a)所示电路。已知 $u_C(0)=0$，求 $u_C(t)$，并定性画出其波形。



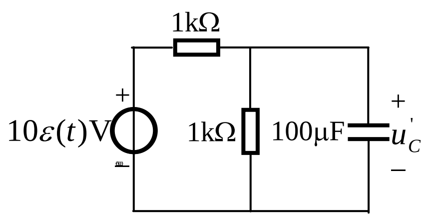
(a)　(b)

题图 7-36

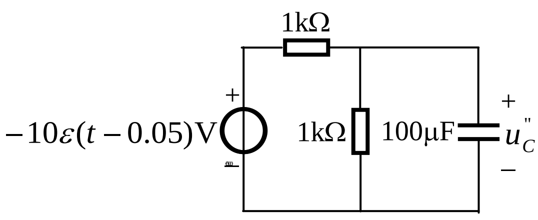
解法 1　将脉冲激励 u_i 分解为两个阶跃激励，即

$$u_i(t) = 10\varepsilon(t) - 10\varepsilon(t-0.05)\text{ V}$$

利用叠加定理，有



题图 7-36(c)



题图 7-36(d)

因原电路为零状态，所以题图 7-36(c)、题图 7-36(d)均为零状态。

对题图 7-36 (c)，由三要素法，得

$$u_C'(t) = 5(1-e^{-20t})\varepsilon(t)\text{V}$$

根据线性非时变电路的延迟性质及题图 7-36(c)的结果，则题图 7-36(d)的响应为

$$u_C''(t) = -5[1-e^{-20(t-0.05)}]\varepsilon(t-0.05)\text{V}$$

所以

$$u_C(t)=u_C^{'}(t)+u_C^{''}(t)=5(1-\mathrm{e}^{-20t})\varepsilon(t)-5[1-\mathrm{e}^{-20(t-0.05)}]\varepsilon(t-0.05)\mathrm{V}$$

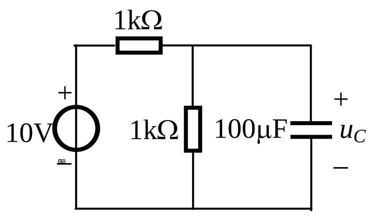
上式是全时间域的表达式。可将其用分段函数表示：

$$u_C(t)=\begin{cases}5(1-\mathrm{e}^{-20t})\mathrm{V}, \quad 0<t\le 0.05\mathrm{s}\\ 5(1-\mathrm{e}^{-20t})-5[1-\mathrm{e}^{-20(t-0.05)}]\mathrm{V}=5(1-\mathrm{e}^{-20\times 0.05})\mathrm{e}^{-20(t-0.05)}\mathrm{V}\\ \qquad\qquad\qquad\qquad =3.16\mathrm{e}^{-20(t-0.05)}\mathrm{V},\ t>0.05\mathrm{s}\end{cases}$$

解法 2 分段求解。

（1） $0<t\le 0.05\mathrm{s}$

等效电路如题图 7-36(e)所示。



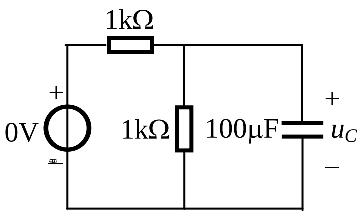
题图 7-36(e)

由三要素法得

$$u_C(t)=5(1-\mathrm{e}^{-20t})\mathrm{V}$$

（2） $t>0.05\mathrm{s}$

等效电路如题图 7-36(f)所示。



题图 7-36(f)

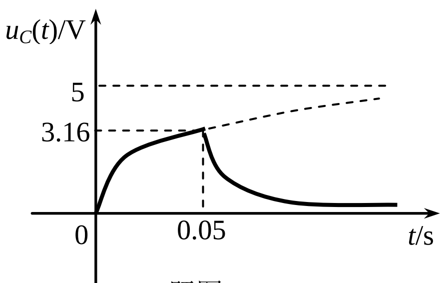
此时电路为零输入。由上一时间段的结果及换路定则，有

$$u_C(0.05^+)=u_C(0.05^-)=5(1-\mathrm{e}^{-20\times 0.05})=3.16\mathrm{V}$$

所以

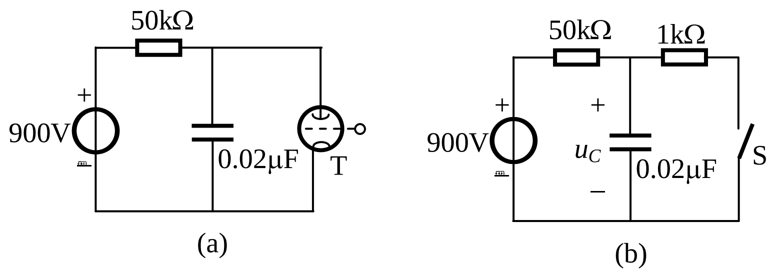
$$u_C(t)=3.16\mathrm{e}^{-20(t-0.05)}\mathrm{V}$$

定性波形如题图 7-36(g)所示。



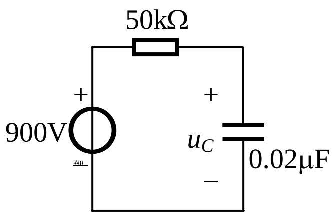
题图 7-36(g)

7-37　题图 7-37(a)所示电路是一个产生锯齿波电压的电路，图(b)是其简化图。T 为一闸流管，它相当于一个开关 S，当 T 两端电压上升到 300V 时，闸流管导通；当 T 两端电压降到 30V 时，它便断开，不导电。求电容电压 u_C，并定性画出其波形，求出它的变化周期。

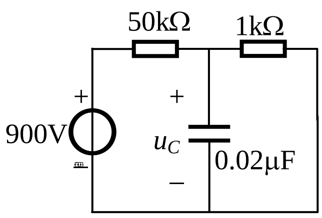


题图 7-37

解　此题计算的为进入周期变化后的稳态。电容充电时的电路如题图 7-37(c)所示；电容放电时的电路如题图 7-37(d)所示。



题图 7-37(c)



题图 7-37(d)

（1）设 $t>0$ 时开始充电，即电路如题图 7-37(c)所示。此时有

$$u_C(0)=30\text{V}，\ u_C(\infty)=900\text{V}，\ \tau_1=50\times10^3\times0.02\times10^{-6}=1\text{ms}$$

$$u_C(t)=900-870\text{e}^{-1000t}\text{V}$$

令

$$u_C(t_1)=300\text{V}=900-870\text{e}^{-1000t_1}\text{V}$$

解得 $t_1=0.371\text{ms}$。

（2）当 $t>t_1$ 时，电路工作在题图 7-37(d)状态下，电容放电。

$$u_C(t_1)=300\text{V}，\ u_C(\infty)=\frac{1}{50+1}\times900=17.65\text{V}$$

$$\tau_2=\frac{50\times10^6}{51\times10^3}\times0.02\times10^{-6}=0.0196\text{ms}$$

$$u_C(t)=17.65+282.4\text{e}^{-51.0\times10^3(t-t_1)}\text{V}$$

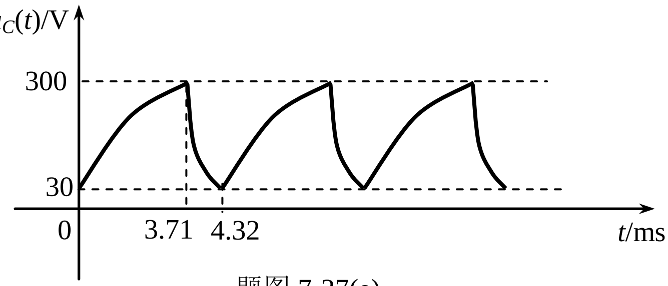
令

$$u_C(t_2)=30\text{V}=17.65+282.4\text{e}^{-51.0\times10^3(t_2-t_1)}\text{V}$$

解得$t_2 - t_1 = 0.0614\text{ms}$，$t_2 = 0.432\text{ms}$。

此后充放电过程重复，周期即为$T = 0.432\text{ms}$。

u_C的定性波形如题图 7-37(e)所示。

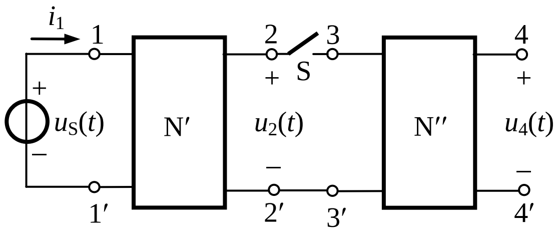


题图 7-37(e)

7-38 有两个线性无独立源无受控源的二端口网络级联，如题图 7-38 所示。已知N'为一对称二端口网络，N''的$\boldsymbol{T}$参数为$[\boldsymbol{T}''(s)] = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$。$\text{N}'$、$\text{N}''$中各储能元件均无初始储能。

（a）在开关 S 闭合时，始端 1-1′端口上的电压激励$u_\text{S}(t) = \varepsilon(t)\text{V}$在终端 4-4′端口上产生的电压响应为$u_4(t) = \dfrac{1}{3}(1 - \text{e}^{-1.5t})\text{V}$，在始端产生的电流响应为$i_1(t) = \dfrac{1}{3} + \dfrac{2}{3}\text{e}^{-1.5t}\text{A}$。

（b）在开关 S 断开时，若要在 2-2′端口上获得开路电压响应为$u_2(t) = h_2(1 - \text{e}^{-\beta t})\text{V}$，其中$h_2, \beta$为已知常数，求这时的始端激励 $u_\text{S}(t)$。



题图 7-38

解 用运算形式（因为用到传递函数）。设N'的T参数为

$$T'(s) = \begin{bmatrix} T_{11}(s) & T_{12}(s) \\ T_{21}(s) & T_{22}(s) \end{bmatrix}$$

因互易、对称，有

$$T_{11}(s) = T_{22}(s)\text{，}\ T_{11}(s)T_{22}(s) - T_{12}(s)T_{21}(s) = 1$$

由条件（a）得

$$\begin{bmatrix} U_\text{S}(s) \\ I_{1\text{a}}(s) \end{bmatrix} = T'(s)T''(s) = \begin{bmatrix} U_{4a}(s) \\ -I_{4a}(s) \end{bmatrix}\text{，}\ I_{4a}(s) = 0$$

令

$$\boldsymbol{T}(s)=\boldsymbol{T}'(s)\boldsymbol{T}''(s)=\begin{bmatrix}T_{11}(s) & T_{12}(s)\\ T_{21}(s) & T_{22}(s)\end{bmatrix}\begin{bmatrix}1 & 0\\ 1 & 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}T_{11}(s)+T_{12}(s) & T_{12}(s)\\ T_{21}(s)+T_{22}(s) & T_{22}(s)\end{bmatrix}$$

$$U_S(s)=\frac{1}{s}，\ I_{1a}(s)=\frac{1}{3s}+\frac{2}{3(s+1.5)}，\ U_{4a}(s)=\frac{1}{3}(\frac{1}{s}-\frac{1}{s+1.5})$$

可解得 $T_{11}(s)=s+1$，$T_{12}(s)=s+2$，$T_{21}(s)=s$ 。

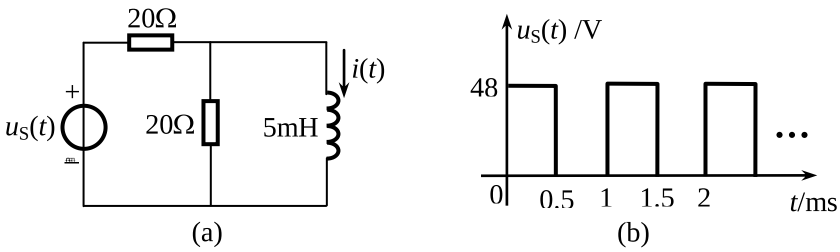
所以 N' 的 T 参数为 $\boldsymbol{T}'(s)=\begin{bmatrix}s+1 & s+2\\ s & s+1\end{bmatrix}$。

当 S 打开时

$$U_S(s)=T_{11}(s)U_2(s)=(s+1)h_2(\frac{1}{s}-\frac{1}{s+\beta})=h_2(\frac{1}{s}+\frac{\beta-1}{s+\beta})$$

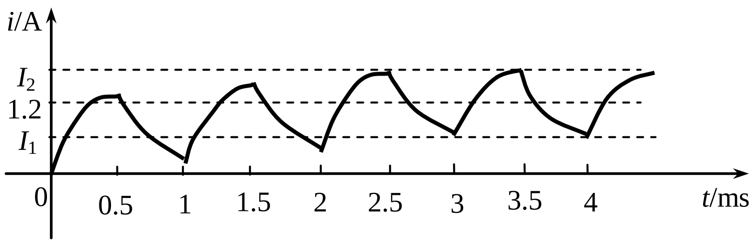
$$u_S(t)=h_2[1+(\beta-1)\mathrm{e}^{-\beta t}]\qquad（t>0）$$

7-39 电路如题图 7-39(a)所示。激励 $u_S(t)$波形为题图 7-39 (b)所示的脉冲序列。
（1）定性画出 $i(t)$的变化曲线;
（2）当电流 $i(t)$达稳态后，求出其表达式。



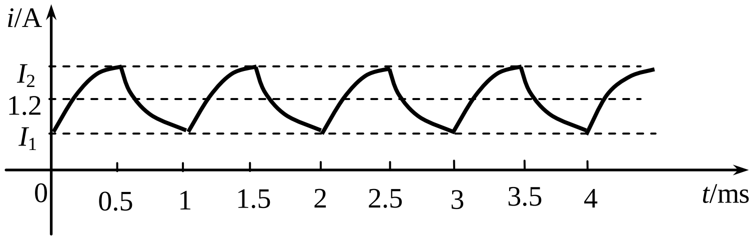
题图 7-39

解 （1）时间常数为 $\tau=0.5\text{ms}$，与脉宽相同，定性画波形时应以此为参考，经过 5τ 接近周期变化；稳态时的直流分量为 1.2A。定性波形如题图 7-39(a)所示。



题图7-39(a)

（2）$i(t)$的稳态波形如题图 7-39(b)所示。



题图7-39(b)

以第一个周期的解定图中电流值 I_1 和 I_2。

$0 \le t \le 0.5\text{ms}$：

$$i(0)=I_1\text{，}\ i(\infty)=2.4\text{A}\text{，}\ \tau=\frac{5\times10^{-3}}{10}=0.5\text{ms}$$

$$i(t)=2.4+(I_1-2.4)\mathrm{e}^{-2t}\text{A} \qquad \text{（}t\text{ 的单位为 ms，以下同）}$$

$$i(0.5)=I_2=2.4+(I_1-2.4)\mathrm{e}^{-1}\text{A}$$

$0.5\text{ms} \le t \le 1\text{ms}$：

$$i(0.5)=I_2\text{，}\ i(\infty)=0\text{，}\ \tau=0.5\text{ms}$$

$$i(t)=I_2\mathrm{e}^{-2(t-0.5)}\text{A}$$

$$i(1)=I_1=I_2\mathrm{e}^{-1}\text{A}$$

联立求解方程组：

$$\begin{cases} I_2=2.4+(I_1-2.4)\mathrm{e}^{-1} \\ I_1=I_2\mathrm{e}^{-1} \end{cases}$$

解得

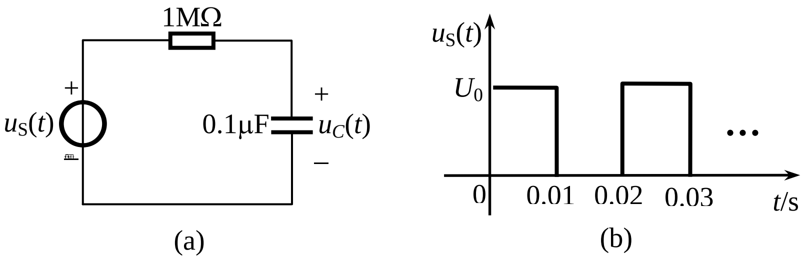
$$I_1=\frac{2.4(1-\mathrm{e}^{-1})\mathrm{e}^{-1}}{1-\mathrm{e}^{-2}}=0.6455\text{，}\ I_2=\frac{2.4(1-\mathrm{e}^{-1})}{1-\mathrm{e}^{-2}}=1.754$$

所以，稳态解为

$$i(t)=\begin{cases} 2.4-1.754\mathrm{e}^{-2(t-kT)}, & kT\le t\le kT+\dfrac{T}{2} \\ 1.754\mathrm{e}^{-2(t-kT-T/2)}, & kT+\dfrac{T}{2}\le t\le (k+1)T \end{cases}$$

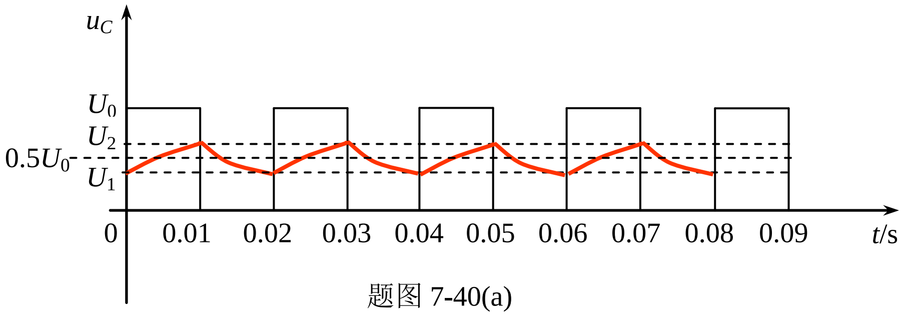
式中，$T=1\text{ms}$ 为周期，k =0, 1, 2, 3, ⋯⋯。

7-40 电路如题图 7-40(a)所示，激励 $u_S(t)$波形为图(b)所示的脉冲序列。求电路达稳态后的电容电压 $u_C(t)$ ，并定性画出 $u_C(t)$的波形。



题图 7-40

解 该电路的时间常数为$\tau = 0.1\text{s}$，是脉冲序列的周期 5 倍，充放电相对较慢；稳态时 $u_C(t)$的直流分量为$\dfrac{U_0}{2}$。由此可定性画出稳态时 $u_C(t)$的波形如题图 7-40(a)所示。



题图 7-40(a)

第一个周求解：

当$0 \le t \le 0.01\text{s}$，有

$$u_C(0) = U_1,\quad u_C(\infty) = U_0,\quad \tau = 0.1\text{s}$$

$$u_C(t) = U_0 + (U_1 - U_0)\text{e}^{-10t}$$

$$u_C(0.01) = U_2 = U_0 + (U_1 - U_0)\text{e}^{-0.1}$$

当$0.01\text{s} \le t \le 0.02\text{s}$，有

$$u_C(0.01) = U_2,\quad u_C(\infty) = 0,\quad \tau = 0.1\text{s}$$

$$u_C(t) = U_2\text{e}^{-10(t-0.01)}$$

$$u_C(0.02) = U_1\text{e}^{-0.1}$$

联立求解方程组：

$$\begin{cases} U_2 = U_0 + (U_1 - U_0)\text{e}^{-0.1} \\ U_1 = U_2\text{e}^{-0.1} \end{cases}$$

解得

$$U_1=\frac{U_0(1-e^{-0.1})e^{-0.1}}{1-e^{-0.2}}=0.580U_0,\quad U_2=\frac{U_0(1-e^{-0.1})}{1-e^{-0.2}}=0.525U_0$$

所以，第一个周期的稳态解为

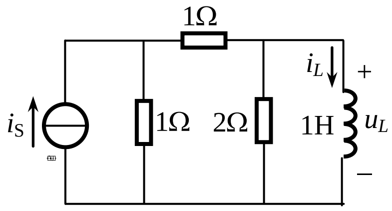
$$\begin{cases}u_C(t)=U_0(1-0.525e^{-10t}), & 0\le t\le 0.5T\\ 0.525U_0e^{-(t-nT-T)/\tau}, & 0.5T\le t\le T\end{cases}$$

稳态解的完整表达式为

$$u_C(t)=\begin{cases}U_0(1-0.525e^{-10(t-kT)}), & kT\le t\le (k+0.5)T\\ 0.525U_0e^{-10(t-kT-0.5T)}, & (k+0.5)T\le t\le (k+1)T\end{cases}$$

式中，$T=0.02\text{s}$ 为脉冲序列的周期，$k=0,\ 1, 2, 3,\ \cdots\cdots$。

7-41 电路如题图 7-41 所示，电感无初始储能，$i_S=2\delta(t)$ A。求 $i_L(t)$ 和 $u_L(t)$。



题图 7-41

解法 1 直接按时间分段求解。

（1）$t=0^-\sim 0^+$

$$u_L(t)=\frac{1}{1+3}\times 2i_S=\delta(t)\text{V}$$

$$i_L(0^+)=i(0^-)+\frac{1}{L}\int_{0^-}^{0^+}u_L(t)\mathrm{d}t=\frac{1}{L}+i(0^-)=1\text{A}$$

（2）$t>0$，求零输入响应。

$$i_L(0^+)=1\text{A},\quad i_L(\infty)=1\text{A},\quad \tau=[2//(1+1)]\times 1=1\text{s}$$

$$u_L(0^+)=-[2//(1+1)]i_L(0^+)=-1\text{V},\quad u_L(\infty)=0$$

$$i_L(t)=e^{-t}\text{A}\quad (t>0)$$

$$u_L(t)=-e^{-t}\text{V}\quad (t>0)$$

（3）全时间域表达式

$$i_L(t)=e^{-t}\varepsilon(t)\text{A}$$

$$u_L(t)=\delta(t)-e^{-t}\varepsilon(t)\ \text{V}$$

解法 2 先求在阶跃激励 $2\varepsilon(t)$A 作用下产生的零状态响应：

$$i_L(t)=(1-e^{-t})\varepsilon(t)\text{A}$$

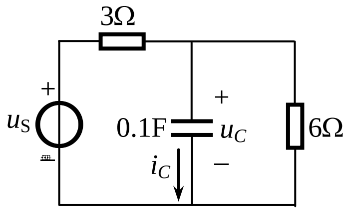
$$u_L(t)=e^{-t}\varepsilon(t)\text{V}$$

再根据阶跃激励 $2\varepsilon(t)$A 作用下产生的零状态响应求冲激激励 $2\delta(t)$A 作用产生的零状态响应：

$$i_L(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[(1-\mathrm{e}^{-t})\varepsilon(t)]=(1-\mathrm{e}^{-t})\delta(t)+\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)=\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

$$u_L(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)]=\mathrm{e}^{-t}\delta(t)-\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)=\delta(t)-\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

7-42　题图 7-42 所示电路中，电容已充电至 $u_C=2\mathrm{V}$，$u_S=3\delta(t)$ V。求 $u_C(t)$和 $i_C(t)$。



题图 7-42

解法 1　直接按时间分段求解。

（1）$t=0^-\sim0^+$

$$i_C(t)=\frac{u_S}{3}=\delta(t)\mathrm{A}$$

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)+\frac{1}{C}\int_{0^-}^{0^+}i_C(t)\mathrm{d}t+=u_C(0^-)+\frac{1}{C}=12\mathrm{V}$$

（2）$t>0$，求零输入响应。

$$u_C(0^+)=12\mathrm{V}，\ u_C(\infty)=0，\ \tau=(3//6)\times0.1=0.2\mathrm{s}$$

$$i_C(0^+)=-\frac{u_C(0^+)}{3}-\frac{u_C(0^+)}{6}=-6\mathrm{A}，\ i_C(\infty)=0$$

$$u_C(t)=12\mathrm{e}^{-5t}\mathrm{V}\quad(t>0)$$

$$i_C(t)=-6\mathrm{e}^{-5t}\mathrm{A}\quad(t>0)$$

（3）全时间域表达式

$$u_C(t)=12\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)+2\varepsilon(-t)\mathrm{V}$$

$$i_C(t)=\delta(t)-6\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

解法 2　先求在阶跃激励 $3\varepsilon(t)$V 作用下产生的零状态响应：

$$u_C(t)=2(1-\mathrm{e}^{-5t})\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

$$i_C(t)=\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

再根据阶跃激励 $2\varepsilon(t)$A 作用下产生的零状态响应求冲激激励 $2\delta(t)$A 作用产生的零状态响应：

$$u_C(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[(2-2\mathrm{e}^{-5t})\varepsilon(t)]=(2-2\mathrm{e}^{-5t})\delta(t)+10\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)=10\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

$$i_C(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)]=\mathrm{e}^{-5t}\delta(t)-5\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)=\delta(t)-5\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

零输入响应为

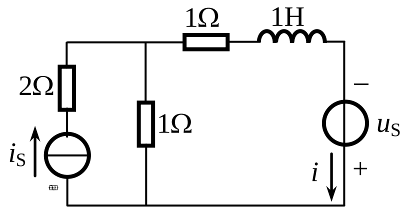
$$u_C(t)=2\mathrm{e}^{-5t}\mathrm{V}\quad(t>0)，\qquad i_C(t)=-\mathrm{e}^{-5t}\mathrm{A}\quad(t>0)$$

全响应（全时间域）的表达式为

$$u_C(t)=12\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)+2\varepsilon(-t)\mathrm{V}$$

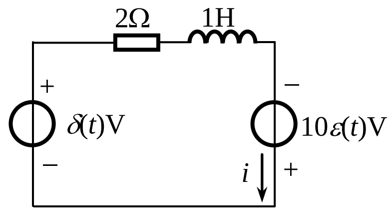
$$i_C(t)=\delta(t)-6\mathrm{e}^{-5t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

7-43 电路如题图 7-43 所示，电感无初始储能，$i_S=2\delta(t)$A，$u_S=10\varepsilon(t)$ V。求 $i(t)$。



题图 7-43

解 可先对原电路作局部等效，如题图 7-43(a)所示。



题图 7-43(a)

用叠加定理求。当 $\delta(t)$V 单独作用时：

$$i^{'}(0^{+})=0.5\mathrm{A}，\ i^{'}(\infty)=0，\ \tau=\frac{1}{2}=0.5\mathrm{s}$$

$$i^{'}(t)=0.5\mathrm{e}^{-2t}\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

当 $10\varepsilon(t)$V 单独作用时：

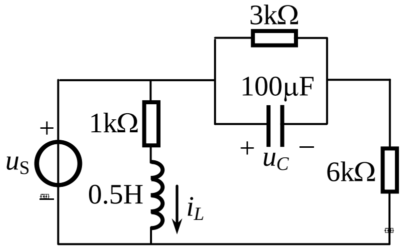
$$i^{''}(0^{+})=0，\ i^{''}(\infty)=\frac{10}{2}=5\mathrm{A}，\ \tau=0.5\mathrm{s}$$

$$i^{''}(t)=5(1-\mathrm{e}^{-2t})\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

所以

$$i(t)=i^{'}(t)+i^{''}(t)=(5-4.5\mathrm{e}^{-2t})\varepsilon(t)\mathrm{A}$$

7-44 题图 7-44 所示电路中，储能元件无初始储能，$u_S=6\delta(t)$ V。求 $i_L(t)$和 $u_C(t)$。



题图 7-44

解　该电路可分为两个一阶电路。

$t=0^- \sim 0^+$，将电感视为开路，电容视为短路，有

$$u_L = 6\delta(t)\text{V}，\ i_C=\delta(t)\text{mA}$$

冲激电压和电流使电感电流初值和电容电压初值发生跳变：

$$i_L(0^+)=\frac{1}{L}\int_{0^-}^{0^+} u_L(t)\text{d}t + i_L(0^-) = 12\text{A}$$
$$u_C(0^+)=\frac{1}{C}\int_{0^-}^{0^+} i_C(t)\text{d}t + u_C(0^-) = 10\text{V}$$

$t\geq 0^+$，用三要素法，有

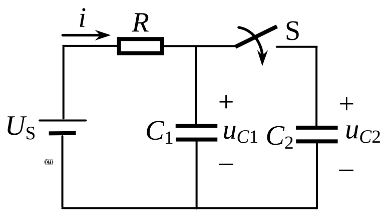
$$i_L(\infty)=0，\ \tau_L=\frac{0.5}{10^3}=0.5\text{ms}$$
$$u_C(\infty)=0，\ \tau_C=2\times10^3\times100\times10^{-6}=0.2\text{s}$$

$$u_C(t)=10\text{e}^{-5t}\ \text{V}$$
$$i_L(t)=12\text{e}^{-2000t}\ \text{A}$$

写成全时间域表达式为

$$u_C(t)=10\text{e}^{-5t}\varepsilon(t)\,\text{V}$$
$$i_L(t)=12\text{e}^{-2000t}\varepsilon(t)\,\text{A}$$

7-45　题图 7-45 所示电路中，电容 C_2 原未充电，电路已处于稳态，t=0 时合上开关 S。求电容电压 $u_{C1}(t)$，$u_{C2}(t)$和电流 $i(t)$。



题图 7-45

解　由 0^- 电路及已知有

$$u_{C1}(0^-)=U_\text{S}，\ u_{C2}(0^-)=0$$

开关 S 闭合后，根据 KVL 及节点电荷守恒，可得

$$\begin{cases} u_{C1}(0^+)=u_{C2}(0^+) & \text{（KVL）} \\ C_1u_{C1}(0^+)+C_2u_{C2}(0^+)=C_1u_{C1}(0^-)+C_2u_{C2}(0^-) & \text{(节点电荷守恒）} \end{cases}$$

解得

$$u_{C1}(0^+) = u_{C2}(0^+) = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_S$$

换路后，为一阶电路，时间常数为$\tau = R(C_1 + C_2)$；稳态时，$u_{C1}(\infty) = u_{C2}(\infty) = U_S$。用三要素法可得

$$u_{C1}(t) = u_{C2}(t) = U_S + \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} U_S - U_S\right) e^{-\frac{t}{\tau}}, \qquad (t > 0)$$

写成全时间域表达式为

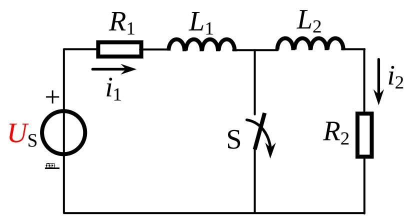
$$u_{C1}(t) = U_S \varepsilon(-t) + \left(U_S - \frac{C_2}{C_1 + C_2} U_S e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \varepsilon(t)$$

$$u_{C2}(t) = \left(U_S - \frac{C_2}{C_1 + C_2} U_S e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \varepsilon(t)$$

电流$i(t)$可由原电路求得：

$$i(t) = \frac{U_S - u_{C2}(t)}{R} = \frac{C_2 U_S}{R(C_1 + C_2)} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t > 0)$$

7-46 电路如题图 7-46 所示，换路前开关 S 闭合，电路已达稳态，t=0 时打开开关 S。求 $i_1(t)$和 $i_2(t)$ 。



题图 7-46

解 由0^-电路及已知有

$$i_1(0^-) = \frac{U_S}{R_1}, \quad i_2(0^-) = 0$$

开关 S 打开后，根据 KCL 及回路磁链守恒，可得

$$\begin{cases} i_1(0^+) = i_2(0^+) & \text{（KCL）} \\ L_1 i_1(0^+) + L_2 i_2(0^+) = L_1 i_1(0^-) + L_2 i_2(0^-) & \text{(回路磁链守恒）} \end{cases}$$

解得

$$i_1(0^+) = i_2(0^+) = \frac{L_1}{L_1 + L_2} i_1(0^-) = \frac{L_1}{L_1 + L_2} \cdot \frac{U_S}{R_1}$$

换路后，为一阶电路，时间常数为

$$\tau = \frac{L_1 + L_2}{R_1 + R_2}$$

稳态时

$$i_1(\infty) = i_2(\infty) = \frac{U_S}{R_1 + R_2}$$

用三要素法可得

$$i_1(t) = i_2(t) = \frac{U_S}{R_1 + R_2} + \left(\frac{L_1 U_S}{R_1(L_1 + L_2)} - \frac{U_S}{R_1 + R_2} \right) e^{-\frac{t}{\tau}}, \qquad (t > 0)$$

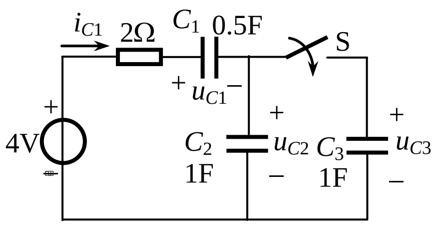
写成全时间域表达式为

$$i_1(t) = \frac{U_S}{R_1}\varepsilon(-t) + \frac{L_1 U_S}{R_1(L_1 + L_2)} e^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t) + \frac{U_S}{R_1 + R_2}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$$

$$i_2(t) = \frac{L_1 U_S}{R_1(L_1 + L_2)} e^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t) + \frac{U_S}{R_1 + R_2}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$$

电源电压 u_S 改大写！

7-47 题图 7-47 所示电路换路前开关 S 打开，电路已达稳态。设 $u_{C3}(0^-)=0$，t=0 时闭合开关 S。求 $u_{C3}(t)$和 $i_{C1}(t)$ 。



题图 7-47

解 设换路前电容 C_1 和 C_2 的电压按电容分压：

$$u_{C1}(0^-) = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times 4 = \frac{1}{0.5 + 1} \times 4 = 2.667\ \text{V}，\quad u_{C2}(0^-) = 4 - u_{C1}(0^-) = 1.333\ \text{V}$$

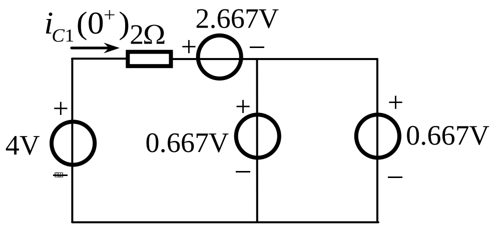
换路后，有

$$\begin{cases} -C_1 u_{C1}(0^+) + C_2 u_{C2}(0^+) + C_3 u_{C3}(0^+) = -C_1 u_{C1}(0^-) + C_2 u_{C2}(0^-) + C_3 u_{C3}(0^-) = 0 & \text{（节点电荷守恒）} \\ u_{C1}(0^+) = u_{C1}(0^-) = 2.667\ \text{V} & \text{（换路定则）} \\ u_{C2}(0^+) = u_{C3}(0^+) & \text{（KVL）} \end{cases}$$

解上述方程组得

$$u_{C2}(0^+) = u_{C3}(0^+) = 0.667\ \text{V}$$

由 0+等效电路如题图 7-47(a)所示。



题图 7-47(a)

可得

$$i_{C1}(0^+)=\frac{4-u_{C1}(0^+)-u_{C3}(0^+)}{2}=0.333\text{ A}$$

稳态时，有

$$\begin{cases}-C_1u_{C1}(\infty)+C_2u_{C2}(\infty)+C_3u_{C3}(\infty)=0 & \text{(节点电荷守恒）}\\ u_{C1}(\infty)+u_{C3}(\infty)=4\text{ V} & \text{(KVL）}\\ u_{C2}(\infty)=u_{C3}(\infty) & \text{（KVL）}\end{cases}$$

解上述方程组得

$$u_{C1}(\infty)=3.2\text{ V}，\ u_{C2}(\infty)=u_{C3}(\infty)=0.8\text{ V}$$

时间常数为

$$\tau=2C_{\rm eq}=2\times0.4=0.8\text{ s}$$

由三要素法可得

$$u_{C3}(t)=0.8-0.133\mathrm{e}^{-1.25t}\text{ V，（}t>0\text{）}$$
$$i_{C1}(t)=0.333\mathrm{e}^{-1.25t}\text{ A}\qquad\text{（}t>0\text{）}$$

讨论：

（1）上述结果写成全时间域表达式应为

$$u_{C3}(t)=(0.8-0.133\mathrm{e}^{-1.25t})\varepsilon(t)\text{ V}$$
$$i_{C1}(t)=0.333\mathrm{e}^{-1.25t}\varepsilon(t)\text{ A}$$

（2）电流 $i_{C1}(t)$ 可在求出电压 $u_{C1}(t)$ 后，用求导的方法得到。但涉及导数运算时，一般应先将要求导的变量写成全时间域表达式，再求导。例本题，有

$$\begin{aligned}u_{C1}(t)&=2.667\varepsilon(-t)+[3.2+(2.667-3.2)\mathrm{e}^{-1.25t}]\varepsilon(t)\text{ V}\\&=2.667\varepsilon(-t)+(3.2-0.533\mathrm{e}^{-1.25t})\varepsilon(t)\text{ V}\end{aligned}$$

所以

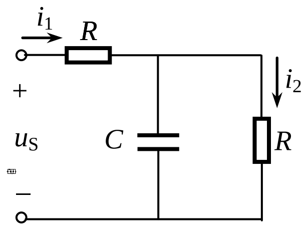
$$\begin{aligned}i_{C1}(t)&=C_1\frac{\mathrm{d}u_{C1}(t)}{\mathrm{d}t}=-1.333\delta(-t)+0.5\times(3.2-0.533\mathrm{e}^{-1.25t})\delta(t)+0.333\mathrm{e}^{-1.25t}\varepsilon(t)\text{ A}\\&=0.333\mathrm{e}^{-1.25t}\varepsilon(t)\text{ A}\end{aligned}$$

注意：$\delta(-t)=\delta(t)$。

7-48 电路如题图 7-48 所示。

（1）求 $u_S=\delta(t)\mathrm{V}$ 时的 $i_1(t)$和 $i_2(t)$ ；

（2）若 $u_S=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-2)]\mathrm{V}$，用卷积积分求 $i_2(t)$。



题图 7-48

解 （1）$t=0^-\sim0^+$，$i_1(t)=i_C(t)=\dfrac{\delta(t)}{R}$

$$u_C(0^+)=u_C(0^-)+\frac{1}{C}\int_{0^-}^{0^+}\frac{\delta(\tau)}{R}\mathrm{d}\tau=\frac{1}{RC}$$

$t\geq0^+$：

$$i_1(0^+)=-\frac{u_C(0^+)}{R}=-\frac{1}{R^2C}，\quad i_2(0^+)=\frac{u_C(0^+)}{R}=\frac{1}{R^2C}$$

$$i_1(\infty)=0，\quad i_2(\infty)=0，\quad \tau=\frac{R}{2}C$$

综上，可得电流 $i_1(t)$ 和 $i_2(t)$ 的全时间域表达式分别为

$$i_1(t)=\frac{1}{R}\delta(t)-\frac{1}{R^2C}\mathrm{e}^{-\frac{2t}{RC}}\varepsilon(t)$$

$$i_2(t)=\frac{1}{R^2C}\mathrm{e}^{-\frac{2t}{RC}}\varepsilon(t)$$

（2）当 $u_S=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-2)]\mathrm{V}$ 时，用分段积分。

当 $0<t<2\mathrm{s}$ 时， $i_2(t)=\displaystyle\int_0^t\tau\cdot\frac{1}{R^2C}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-\tau)}{RC}}\mathrm{d}\tau=\frac{t}{2R}+\frac{C}{4}\mathrm{e}^{-\frac{2t}{RC}}-\frac{C}{4}$；

当 $t>2\mathrm{s}$ 时， $i_2(t)=\displaystyle\int_0^2\tau\cdot\frac{1}{R^2C}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-\tau)}{RC}}\mathrm{d}\tau=\frac{1}{R}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-2)}{RC}}-\frac{C}{4}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-2)}{RC}}$；

7-49 如果一线性电路的冲激响应是

$$h(t)=\begin{cases}2\mathrm{e}^{-t} & 0<t\le 3\\ 0 & t>3\end{cases}$$

试求此电路由激励 $e(t)=4[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-2)]$ 引起的零状态响应。

解法 1

$0<t\le 2\mathrm{s}$	$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau=8(1-\mathrm{e}^{-t})$		$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$2\mathrm{s}<t\le 3\mathrm{s}$	$\int_0^2 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau=8\mathrm{e}^{-t}(\mathrm{e}^2-1)=51.1\mathrm{e}^{-t}$	或	$\int_{t-2}^t 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$3\mathrm{s}<t\le 5\mathrm{s}$	$\int_{t-3}^2 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau=8(\mathrm{e}^{-(t-2)}-\mathrm{e}^{-3})=8\mathrm{e}^{-(t-2)}-0.398$		$\int_{t-2}^3 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$t\ge 5\mathrm{s}$	0		0

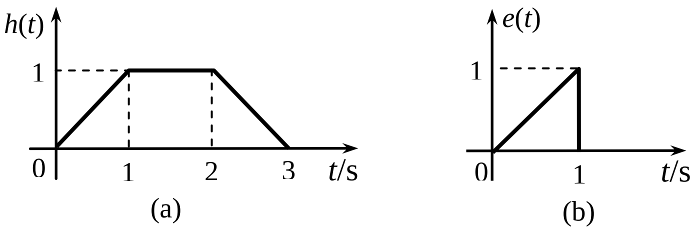
解法 2 将激励 $f(t)*h(t)\to 4\varepsilon(t)*h(t)-4\varepsilon(t-2)*h(t)$

$0<t\le 2\mathrm{s}$	$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau$		$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$2\mathrm{s}<t\le 3\mathrm{s}$	$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau-\int_2^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau$	或	$\int_0^t 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau-\int_0^{t-2} 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$3\mathrm{s}<t\le 5\mathrm{s}$	$\int_{t-3}^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau-\int_2^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau$		$\int_0^3 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau-\int_0^{t-2} 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$
$t\ge 5\mathrm{s}$	$\int_{t-3}^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau-\int_{t-3}^t 8\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau$		$\int_0^3 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau-\int_0^3 8\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau$

积分结果与解法 1 相同。

说明：可借助图解法确定时间分段、被积函数和积分限。

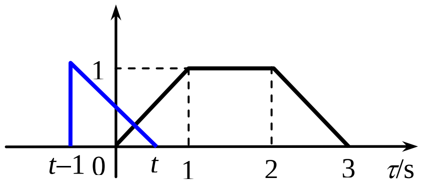
7-50 根据题图 7-50(a)，(b)所示线性非时变电路的冲激响应 $h(t)$和激励 $e(t)$，试确定该电路的零状态响应。



题图 7-50

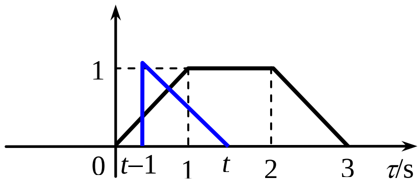
解 用卷积积分求，图解过程及积分过程如下。

$0 < t \le 1\text{s}$



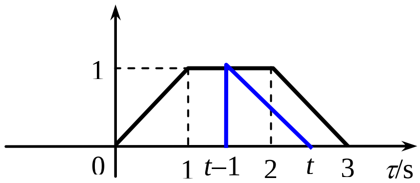
$$r(t) = \int_0^t \tau(t-\tau)\mathrm{d}\tau = \frac{t^3}{6}$$

$1\text{s} < t \le 2\text{s}$



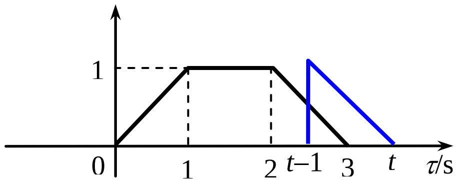
$$r(t) = \int_{t-1}^1 \tau(t-\tau)\mathrm{d}\tau + \int_1^t (t-\tau)\mathrm{d}\tau$$
$$= -\frac{t^3}{6} + \frac{1}{2}t^2 - \frac{1}{6}$$

$2\text{s} < t \le 3\text{s}$



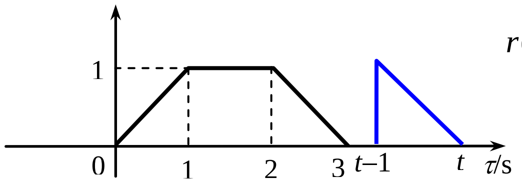
$$r(t) = \int_{t-1}^2 (t-\tau)\mathrm{d}\tau + \int_2^t (t-\tau)[-(\tau-3)]\mathrm{d}\tau$$
$$= -\frac{t^3}{6} + t^2 - 2t + \frac{11}{6}$$

$3\text{s} < t \le 4\text{s}$



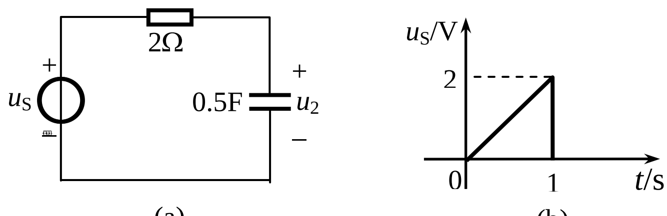
$$r(t) = \int_{t-1}^3 (t-\tau)[-(\tau-3)]\mathrm{d}\tau$$
$$= \frac{t^3}{6} - \frac{3}{2}t^2 + 4t - \frac{8}{3}$$

$t > 4\text{s}$



$$r(t) = 0$$

7-51 题图 7-51(a)所示电路中，电压源波形如题图 7-51 (b)所示，$u_2(0^-)=0$。试用卷积积分求 $u_2(t)$。



(a) (b)

题图 7-51

解　先求 u_2 的冲激响应 $h(t)$：

$t=0^- \sim 0^+$：$i_C=\dfrac{\delta(t)}{2}$，$u_2(0^+)=\dfrac{1}{C}\displaystyle\int_{0^-}^{0^+} i_C \mathrm{d}t=\dfrac{1}{2C}=1\mathrm{V}$

则冲激响应

$$h(t)=u_2(t)=\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

再用卷积求 u_S 作用下的 u_2：

$$u_2=u_S(t)*h(t)=\int_{-\infty}^{+\infty}u_S(\tau)h(t-\tau)\mathrm{d}\tau$$

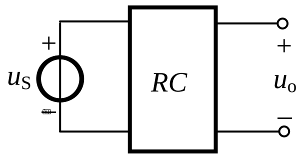
用分段函数表示：

$t\le 0$，　　$u_2(t)=0$

$0<t\le 1\mathrm{s}$，　　$u_2(t)=\displaystyle\int_0^t 2\tau\times\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau=-2+2t+2\mathrm{e}^{-t}\mathrm{V}$

$t\ge 1\mathrm{s}$，　　$u_2(t)=\displaystyle\int_0^1 2\tau\times\mathrm{e}^{-(t-\tau)}\mathrm{d}\tau=2\mathrm{e}^{-t}\mathrm{V}$

7-52　题图 7-52 所示 *RC* 网络中储能元件无初始储能，$u_S(t)$ = $10\varepsilon(t)$V 的响应为 $u_o(t)$ = $6(1-\mathrm{e}^{-10t})\varepsilon(t)$V。求 $u_S(t)=5\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)$V 时的响应 $u_o(t)$。



题图 7-52

解　由已知及齐性定理可知，当激励为单位阶跃函数，即 $u_S(t)=\varepsilon(t)$ V时，有

$$u_{O\varepsilon}(t)=0.6(1-\mathrm{e}^{-10t})\varepsilon(t)\ \mathrm{V}$$

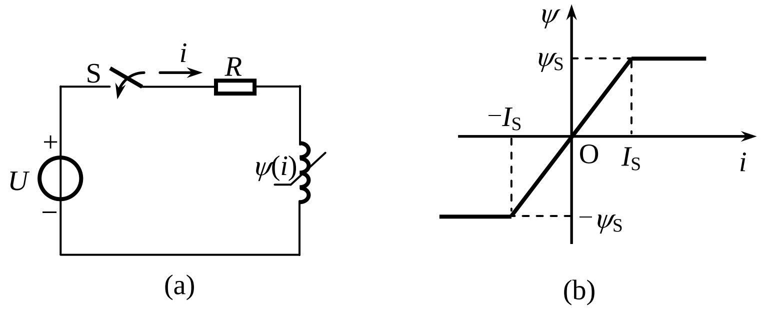
当激励为单位冲激函数，即 $u_S(t)=\delta(t)$ V时，对应的响应为

$$u_{O\delta}(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[0.6(1-\mathrm{e}^{-10t})\varepsilon(t)]=6\mathrm{e}^{-10t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

当激励为 $u_S(t)=5\mathrm{e}^{-t}\varepsilon(t)$V 时，由卷积积分可得

$$u_O(t)=\int_0^t u_{O\delta}(t-\tau)u_S(\tau)\mathrm{d}\tau=\int_0^t 6\mathrm{e}^{-10(t-\tau)}\cdot 5\mathrm{e}^{-\tau}\mathrm{d}\tau=3.33(\mathrm{e}^{-t}-\mathrm{e}^{-10t})\varepsilon(t)\mathrm{V}$$

7-53 题图 7-53(a)示一线性电阻与非线性电感串联的电路。其中的电源电压为一定值 U，非线性电感的特性 $\psi(i)$ 可近似如题图 7-53(b)中的曲线所示。求开关 S 闭合后电路中的电流 $i(t)$。设 $U/R>I_S$，$i(0)=0$。



题图 7-53

解　当 $|i|<I_S$ 时，电感处在线性区，令 $L=\dfrac{\Psi_S}{I_S}$。电路为线性电路，其微分方程为

$$\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}t}+u_R=\frac{\mathrm{d}\psi}{\mathrm{d}i}\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}+Ri=L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}+Ri=U$$

$$i(0)=0$$

由上述方程可得

$$i(t)=\frac{U}{R}(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t})$$

令 $i(t_0)=\dfrac{U}{R}(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t_0})=I_S$，解得 $t_0=-\dfrac{L}{R}\ln\dfrac{U-RI_S}{U}=-\dfrac{\Psi_S}{RI_S}\ln\dfrac{U-RI_S}{U}$。

当 $t>t_0$，电感进入饱和区，$\psi=\Psi_S$ 不再变化，所以此区间电感相当于短路。所以有

$$i(t)=\frac{U}{R}$$

因 $\dfrac{U}{R}>I_S$，$t=t_0$ 时电流跃变。电流 $i(t)$ 的定性波形如题图 7-53(a)所示。

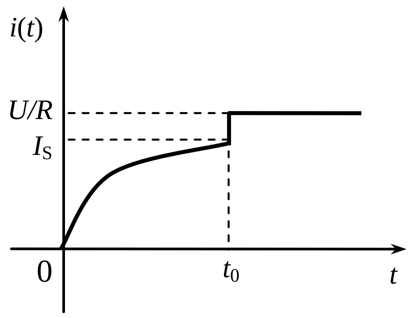


图 7–53(a)

第 7 章　一阶电路

7-1　（a）$f(t)=t[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)]+(2-t)[\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)]$；

（b）$f(t)=\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)+(2-t)[\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)]$

7-3　（a）e^2；（b）−1.91；（c）0，$t_0>0$

7-4　（a）$u_L=\delta(t)$；（b）$i_C=5\delta(t-3)$；（c）$u_C=2.5\varepsilon(t)$

7-5　（a）$i_C(0^+)=-\dfrac{R_1+R_2}{R_1}I_S$；（b）$i_L(0^+)=-2$A，$u_R(0^+)=20$V，$u_L(0^+)=80$V；（c）$i_L(0^+)=-2$A，$u_C(0^+)=90$V，$i_C(0^+)=2$A，$u_L(0^+)=0$；(d) $u_C(0^+)=9$V，$u_2(0^+)=2.25$V，$u_3(0^+)=9$V

7-6　（a）$i_1(0^+)=-33.1$mA，$i_C(0^+)=-16.9$mA；（b）$i(0^+)=-5.5$A，$i_1(0^+)=9.5$A，$u_L(0^+)=7$V

7-7　（a）　$u_C(0^+)=-100$V，$i(0^+)=3.73$A，（b）$i_L(0^+)=-1.2$A，$u_L(0^+)=3.6$V

7-8　（a）$u_C(0^+)=80$V，$i_L(0^+)=1$A，$\left.\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=-10000$V/s，$\left.\dfrac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=0$；（b）$i_L(0^+)=0.6$A，

$u_C(0^+)=0$，$\left.\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=0.6$V/s，$\left.\dfrac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}\right|_{0^+}=-24$A/s

7-9　（a）$\tau=2L/R$；（b）$\tau=0.5C(R_1+2R_2)$；（c）$\tau=2RC/(1+\mu R)$；（d）$\tau=L/(2R)$

7-10　$u_C=-4e^{-20t}$V，$t\geqslant0$

7-11　$i_L=10\,e^{-250\,t}$mA，$t\geqslant0$

7-12　$u_C=3.6e^{-333.3\,t}$V，$t\geqslant0$；$i_1=\ -1.2\,e^{-333.3\,t}$ mA，$t>0$

7-13　$u_1=-16\,e^{-32\,t}$V，$t>0$；$i_L=2\,e^{-32\,t}$A，$t\geqslant0$

7-14　$i(t)=10+0.5\,e^{-50\,t}-5\,e^{-200000\,t}$mA，$t>0$

7-15　$t>3.48$ms

7-16　$C=12.43\mu$F

7-17　$i_1=-1.5+1.5\,e^{-1600\,t}$A，$t\geqslant0$

7-18　$i_1=0.2\,(1-e^{-750\,t})$A，$t\geqslant0$；$u_2=60e^{-750\,t}$V，$t>0$

7-19　(1) $u_C=39.4\sin(314t-52.75^\circ)+31.3\,e^{-40\,t}$ V，$t\geq0$；$i=1.24\sin(314t+37.2^\circ)-0.125\,e^{-40t}$ A，$t>0$；（2）$\alpha=82.75^\circ$，$u_C=39.4\sin314t$ V

7-20　$u_C=75(1-e^{-t/4.5})\varepsilon(t)$ V，$i_1=50-16.7\,e^{-t/4.5}\varepsilon(t)$ mA

7-21　$u_C=-(1-e^{-t})\varepsilon(t)+3(1-e^{-(t-4)})\varepsilon(t-4)-2(1-e^{-(t-5)})\varepsilon(t-5)$V

7-22　$u_0=10(e^{-100\,t}-1)\,\varepsilon(t)$ V

7-23　$i_{C\,零状态}=-13.5\,e^{-5t}$ mA，$i_{C\,零输入}=12e^{-5t}$ mA，$i_{C\,全响应}=-1.5\,e^{-5t}$ mA，$t>0$

7-24　2V 时: $u_{C\,零状态}=1.5(1-e^{-t})$ V，$u_{C\,零输入}=e^{-t}$V，$u_{C\,全响应}=1.5-0.5e^{-t}$ V；

10V 时: $u_{C\,零状态}=7.5(1-e^{-t})$ V，$u_{C\,零输入}=e^{-t}$V，$u_{C\,全响应}=7.5-6.5e^{-t}$ V，$t\geqslant0$

7-25　$i_1=\dfrac{R_1+R_2}{R_1R_2}E+(\dfrac{U_S}{R_1}-\dfrac{R_1+R_2}{R_1R_2}U_S)e^{-\frac{R_1R_2}{L(R_1+R_2)}t}$A，　$i_2=\dfrac{U_S}{R_2}-\dfrac{R_1U_S}{R_2(R_1+R_2)}e^{-\frac{R_1R_2}{L(R_1+R_2)}t}$A

7-26　$u_C=30\,e^{-15t}$V，$t>0$；$i=3-e^{-15t}$A，$t\geqslant0$

7-27　$i=0.1+0.4e^{-t/1.2}$A，$t>0$；$u_C=20+80e^{-t/1.2}$V，$t\geqslant0$

7-28　$i(t)=-0.667-0.333e^{-0.3t}+0.5e^{-2.5t}$A，$t>0$

7-29　$u_1=6(1-e^{-5000\,t})$V，$u_2=4(1-e^{-2500\,t})$V，$t\geqslant0$；$i_3=0.1+0.2e^{-2500\,t}$mA，$t>0$

7-30　$u_1=80+40e^{-750t}$V，$u_2=80-80e^{-750t}$V，$t\geqslant0$；$i=0.12e^{-750t}$A，$t>0$

7-31 u_C=98sin(2500t+48.7°)−173.6 $e^{-12500t}$ V，$t\geqslant 0$

7-32 i_1=0.707sin(1000t+45°)−1−1.5e^{-1000t} A，t>0；i_2=0.707sin(1000t+45°)+1−1.5e^{-1000t} A，$t\geqslant 0$

7-33 $i(t)$=13.86sin(314t+90°)−13.86$e^{-t/0.0064}$ A，$t\geqslant 0$

7-34 （1）i=1A；（2）无

7-35 $u_C=\begin{cases}5-4e^{-t}\text{V}, & 0\le t\le 1\text{s}\\ 4.5-0.972e^{-2(t-1)}\text{V}, & t\ge 1\text{s}\end{cases}$，$i_C=\begin{cases}e^{-t}\text{A}, & 0<t<1\text{s}\\ 0.486e^{-2(t-1)}\text{A}, & t>1\text{s}\end{cases}$

7-36 $u_C=\begin{cases}5(1-e^{-20t})\text{V}, & 0\le t\le 0.05\text{s}\\ 3.16e^{-20(t-5)}\text{V}, & t\ge 0.05\text{s}\end{cases}$

7-37 T=0.433ms

7-38 u_S= $h_2(1+(\beta-1)e^{-\beta t}$V

7-39 $i(t)=\begin{cases}2.4-1.754e^{-2000(t-kT)}, & kT\le t\le kT+\dfrac{T}{2}\\ 1.754e^{-2000(t-kT-T/2)}, & kT+\dfrac{T}{2}\le t\le (k+1)T\end{cases}$

7-40 $u_C(t)=\begin{cases}U_0(1-0.525e^{-(t-nT)/\tau})\text{V}, & nT\le t\le (n+1)T\\ 0.525U_0e^{-(t-nT-T)/\tau}\text{V}, & (n+1)T\le t\le (n+2)T\end{cases}$

7-41 $i_L=\delta(t)-e^{-t}\varepsilon(t)$V，$u_L=e^{-t}\varepsilon(t)$A

7-42 $i_C=\delta(t)-6e^{-5t}\varepsilon(t)$ A；$u_C=12e^{-5t}$ V，t>0

7-43 $i(t)=5-3e^{-2t}\varepsilon(t)$ A

7-44 $i_L=12e^{-2000t}\varepsilon(t)$ A，$u_C=10e^{-5t}\varepsilon(t)$V

7-45 $u_{C1}=U_S\varepsilon(-t)+\dfrac{C_1}{C_1+C_2}U_Se^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)+U_S(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$，

$u_{C2}=\dfrac{C_1}{C_1+C_2}U_Se^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)+U_S(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$，$i=\dfrac{C_2}{R(C_1+C_2)}U_Se^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)$，

$\tau=R(C_1+C_2)$

7-46 $i_1=\dfrac{U_S}{R_1}\varepsilon(-t)+\dfrac{L_1U_S}{R_1(L_1+L_2)}e^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)+\dfrac{U_S}{R_1+R_2}(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$，

$i_2=\dfrac{L_1U_S}{R_1(L_1+L_2)}e^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)+\dfrac{U_S}{R_1+R_2}(1-e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$，$\tau=\dfrac{L_1+L_2}{R_1+R_2}$

7-47 u_{C3}=0.8−0.133$e^{-1.25t}$ V，i_{C1}= 0.333 $e^{-1..25t}$ A，t>0

7-48 （1）$i_1=\dfrac{1}{R}\delta(t)-\dfrac{1}{R^2C}e^{-\frac{2t}{RC}}\varepsilon(t)$，$i_2=\dfrac{1}{R^2C}e^{-\frac{2t}{RC}}\varepsilon(t)$

（2）$i_2=\begin{cases}\dfrac{t}{2R}+\dfrac{C}{4}\mathrm{e}^{-\frac{2t}{RC}}-\dfrac{C}{4}, & 0<t<2\mathrm{s}\\ \dfrac{1}{R}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-2)}{RC}}-\dfrac{C}{4}\mathrm{e}^{-\frac{2(t-2)}{RC}}, & t>2\mathrm{s}\end{cases}$

7-49 $r(t)=\begin{cases}8(1-\mathrm{e}^{-t}) & (0\le t\le 2)\\ 8\mathrm{e}^{-t}(\mathrm{e}^{2}-1) & (2\le t\le 3)\\ 8\mathrm{e}^{-t}(\mathrm{e}^{-(t-2)}-\mathrm{e}^{-3}) & (3\le t\le 5)\\ 0 & (t>5)\end{cases}$

7-50 $r(t)=\begin{cases}0.167t^3, & 0\le t\le 1\\ -0.167t^3+0.5t^2-0.167, & 1\le t\le 2\\ -0.167t^3+t^2-2t+1.83, & 2\le t\le 3\\ 0.167t^3-1.5t^2+4t-2.67, & 3\le t\le 4\\ 0, & t>4\end{cases}$

7-51 $u_2(t)=\begin{cases}-2+2t+2\mathrm{e}^{-t}\mathrm{V}, & 0<t\le 1\mathrm{s}\\ u_2(t)=2\mathrm{e}^{-t}\mathrm{V}, & t\ge 1\mathrm{s}\end{cases}$

7-52 $u_{\mathrm{O}}(t)=3.33(\mathrm{e}^{-t}-\mathrm{e}^{-10t})\varepsilon(t)\mathrm{V}$

7-53 $i(t)=\begin{cases}\dfrac{U}{R}(1-\mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t}), & 0\le t<t_0\\ \dfrac{U}{R}, & t>t_0\end{cases}$，$t_0=-\dfrac{\Psi_{\mathrm{S}}}{RI_{\mathrm{S}}}\ln\dfrac{U-RI_{\mathrm{S}}}{U}$