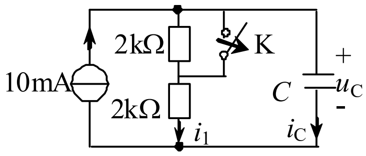
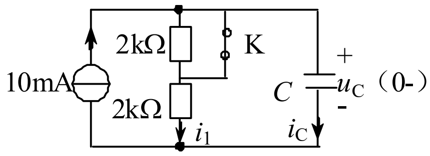
11-1 如题 11-1 图所示电路，t =0 时开关断开，换路前电路处于稳态，试初始值 $u_c(0_+)$、$i_c(0_+)$ 和 $i_1(0_+)$。



题 11-1 图



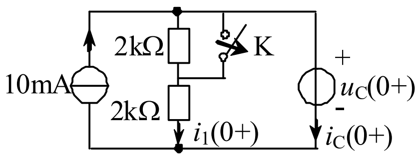
题 11-1 解(a)图

解 t =0- 时电路处于稳态，如题 11-1 解(a)图所示电路

$$u_C(0-) = 2\times 10 = 20\,\text{V}$$

由换路定则，知 $u_C(0+) = u_C(0-) = 20\,\text{V}$

$t = 0^+$时刻，电路如题 11-1 解(b)图所示。

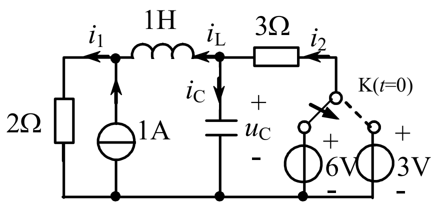


题 11-1 解(b)图

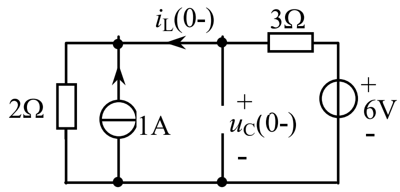
$$i_1(0+) = \frac{u_c(0+)}{2+2} = 5\,\text{mA}$$

由 KCL，得 $i_1(0+) = 10 - 5 = 5m\,\text{A}$

11-2 如题 11-2 图所示电路，t =0 时换路，换路前电路处于稳态，试求各元件电压、电流初始值。



题 11-2 图



题 11-2 解(a)图

解 t =0- 时电路处于稳态，如题 11-2 解(a)图所示电路。

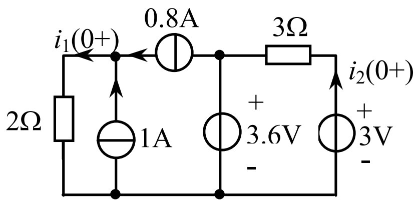
$$i_L(0-) = \frac{6-2\times 1}{2+3} = 0.8\,\text{A}$$

$$u_C(0-) = 2\times i_L(0-) + 2 = 3.6\,\text{V}$$

由换路定则，知

$i_L(0+) = i_L(0-) = 0.8\,\text{A}$，$u_C(0+) = u_C(0-) = 3.6\,\text{V}$

$t = 0^+$时刻，电路如题 11-2 解(b)图所示。

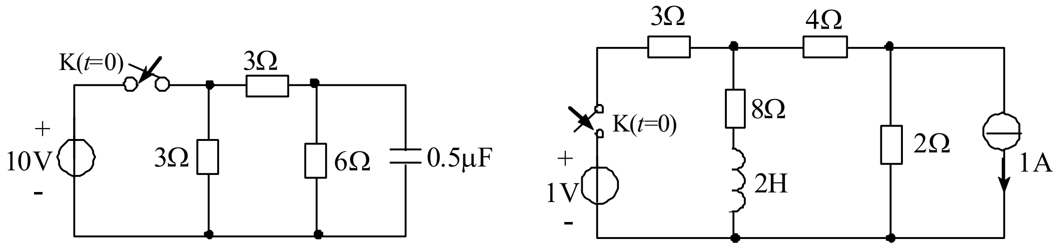


题 11-2 解(b)图

由 KCL，得　$i_1(0+) = 1 + 0.8 = 1.8\,\text{A}$

由 VCR，得　$i_2(0+) = \dfrac{3-3.6}{3} = -0.2\,\text{A}$

11-3 如题 11-3(a)和(b)图所示电路，t=0 时开关 K 闭合，求 t≥0 时电路的时间常数。



(a)　　(b)

题 11-3 图

解 如(a)图中，时间常数为

$$\tau = R_{eq}C = (3//6)\times 0.5\times 10^{-6} = 1\mu s$$

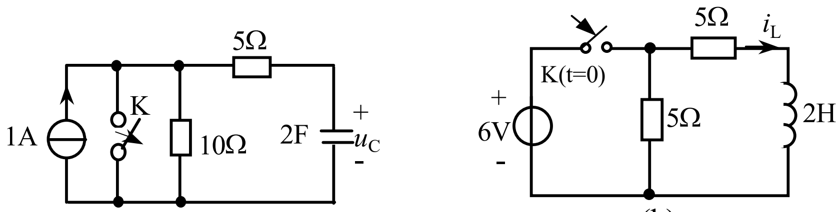
如(b)图中，时间常数为

$$\tau = \frac{L}{R_{eq}} = \frac{2}{3//6+8} = 0.2s$$

11-4 题 11-4 图所示电路开关 K 动作之前已处于稳态，开关 K 在 t=0 时换路。

(1) 求题 11-4(a) 图的零状态响应 $u_C(t)$；

(2) 求题 11-4(b) 图的零状态响应 $i_L(t)$。



(a)　　(b)

题 11-4 图

解 (a) 由已知条件零状态知，$u_C(0-) = 0\,\text{V}$

由换路定则，得 $u_C(0+) = u_C(0-) = 0\,\text{V}$

时间常数为　$\tau = R_{eq}C = (10+5)\times 2 = 30s$

稳态值为　　$u_C(\infty)=1\times10=10\,\text{V}$

由三要素表达式，得

$$u_C(t)=u_C(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})=10(1-e^{-\frac{t}{30}})\,\text{V}\ (t\geq0)$$

(b) 由已知条件零状态知，$i_L(0-)=0\,\text{A}$

由换路定则，得　$i_L(0+)=i_L(0-)=0\,\text{A}$

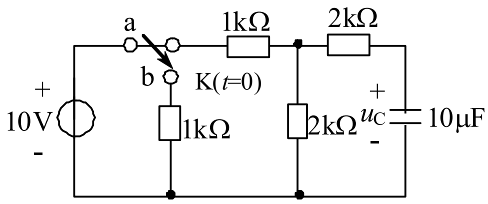
时间常数为　$\tau=\dfrac{L}{R}=\dfrac{2}{5}=0.4s$

稳态值为　　$i_L(\infty)=\dfrac{6}{5}=1.2\,\text{A}$

由三要素表达式，得

$$i_L(t)=i_L(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})=1.2(1-e^{-2.5t})\,\text{A}\ (t\geq0)$$

11-5 如题 11-5 图所示电路，$t=0$ 时开关由 a 投向 b，已知换路前电流处于稳态，求 $t\geq0$ 时 $u_C(t)$以及各支路电流。



题 11-5 图

解　开关在 a 位置时，求得$u_C(0-)=\dfrac{10}{1+2}\times2=\dfrac{20}{3}\text{V}$

由换路定则，得 $u_C(0+)=u_C(0-)=\dfrac{20}{3}\text{V}$

时间常数为　$\tau=R_{eq}C=[(1+1)//2+2]\times10^3\times10\times10^{-6}=3\times10^{-2}s$

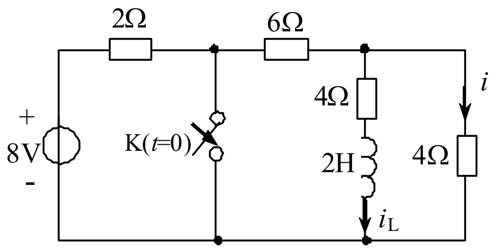
稳态值为　　$u_C(\infty)=0\,\text{V}$

由三要素表达式，得

$$u_C(t)=u_C(0+)e^{-\frac{t}{\tau}}=\frac{20}{3}e^{-\frac{100}{3}t}\text{V}\ (t\geq0)$$

其他略

11-6 如题 11-6 图所示电路，$t=0$ 时开关闭合，闭合前电流处于稳态，求 $t\geq0$ 时 $i_L(t)$以及电流 $i(t)$。



题 11-6 图

解　由已知条件零状态知，$i_L(0-)=\dfrac{8}{2+6+4//4}\times\dfrac{1}{2}$=0.4A

由换路定则，得　$i_L(0+)=i_L(0-)=0.4\,\text{A}$

时间常数为　$\tau=\dfrac{L}{R_{eq}}=\dfrac{2}{4+6//4}=\dfrac{1}{3.2}s$

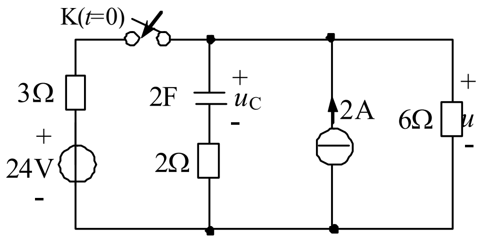
稳态值为　$i_L(\infty)=0\,\text{A}$

由三要素表达式，得

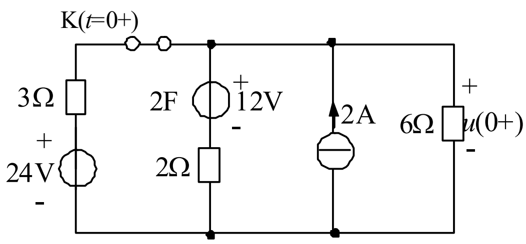
$i_L(t)=i_L(0+)e^{-\frac{t}{\tau}}=0.4e^{-3.2t}\ \text{A}\ (t\geq 0)$

其他略

11-7 如题 11-7 图所示电路，t=0 时开关闭合，闭合前电流处于稳态，求 t≥0 时 $u(t)$并绘出波形图。



题 11-7 图



t=0+电路

解　（1）求初始值

由已知条件知，开关闭合前

$u_C(0-)=6\times 2$=12V

由换路定则，得　$u_C(0+)=u_C(0-)=12\,\text{V}$

t=0+电路，如图所示。列节点电压方程

$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{2}+\frac{1}{6})u(0+)=\frac{24}{3}+\frac{12}{2}+2$$

求得　$u(0+)=16V$

（2）求稳态值

$$(\frac{1}{3}+\frac{1}{6})u(\infty)=\frac{24}{3}+2$$

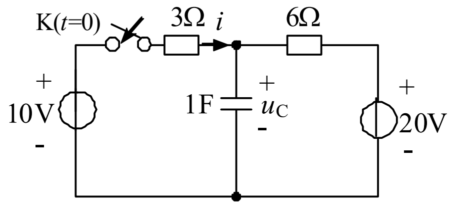
求得 $u(\infty)=20V$

（3）时间常数为 $\tau=R_{eq}C=(2+3//6)\times 2=8s$

由三要素表达式，得

$$u\ (t)=u(0+)e^{-\frac{t}{\tau}}+u(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})=20-4e^{-0.125t}\ \mathrm{V}\ (t\geq 0)$$

11-8 如题 11-8 图所示电路，$t=0$ 时开关闭合，闭合前电流处于稳态，求 $t\geq 0$ 时 $u_C(t)$ 和 $i(t)$。



题 11-8 图

解 （1）求初始值

由已知条件知，开关闭合前

$u_C(0-)=20\mathrm{V}$

由换路定则，得 $u_C(0+)=u_C(0-)=20\mathrm{V}$

（2）求稳态值

$$u_C(\infty)=10\text{-}3\times\frac{10\text{-}20}{3+6}=\frac{40}{3}\mathrm{V}$$

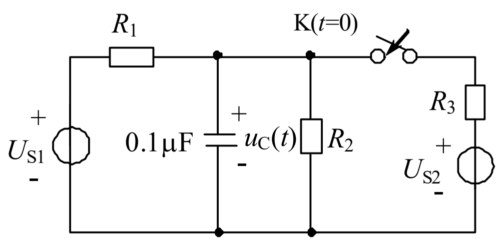
（3）时间常数为 $\tau=R_{eq}C=(3//6)\times 1=2s$

由三要素表达式，得

$$u_C(t)=u_C(0+)e^{-\frac{t}{\tau}}+u_C(\infty)(1-e^{-\frac{t}{\tau}})=\frac{40}{3}+\frac{20}{3}e^{-0.5t}\ \mathrm{V}\ (t\geq 0)$$

$$i(t)=\frac{10\text{-}u_C(\mathrm{t})}{3}=\text{-}\frac{10}{9}\text{-}\frac{20}{9}e^{-0.5\mathrm{t}}\mathrm{A}\ (t\geq 0)$$

11-9 题 11-9 所示电路开关 K 动作之前已处于稳态，已知 U_{S1}=10V，R_1=60k Ω，R_2= R_3=40kΩ，C=0.1μF。（1）当 U_{S2}=6V 时，求开关 K 闭合后电容电压 $u_C(t)$的变化规律？（2）U_{S2} 为多大时，开关 K 闭合后不出现动态过程？



题 11-9 图

解 （1）利用三要素法求解

初始值

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = \frac{U_{s1}}{R_1 + R_2} R_2 = 4\text{V}$$

稳态值

$$u_C(\infty) = \frac{\frac{U_{S1}}{R_1} + \frac{U_{S2}}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{19}{4}\text{V}$$

等效电阻

$$R_{eq} = R_1 // R_2 // R_3 = 15\text{k}\Omega$$

时间常数

$$\tau = R_{eq} C = 1.5 \times 10^{-3}\text{s}$$

由三要素公式得：

$$u_C(t) = \frac{19}{4} + (4 - \frac{19}{4}) e^{-\frac{t}{1.5\times10^{-3}}} = \frac{19}{4} - \frac{3}{4} e^{-\frac{t}{1.5\times10^{-3}}} V, t \ge 0 \quad (t \ge 0)$$

（2）当 $u_C(\infty) = u_C(0_+) = 4\text{V}$ 时，不出现过渡过程，即

$$u_C(\infty) = \frac{\frac{10}{60} + \frac{U_{S2}}{40}}{\frac{1}{60} + \frac{1}{40} + \frac{1}{40}} = 4\text{V}$$

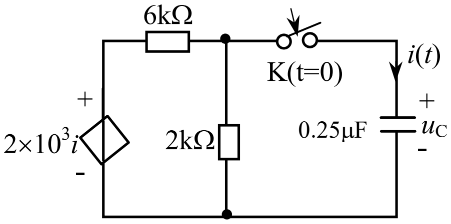
求得 $U_{s2} = 4\text{V}$

11-10 题 11-10 图所示电路，开关 K 动作之前已处于稳态，开关在 t =0 时将开关 K 闭合，已知 $u_C(0\text{-})$=6V，试问：

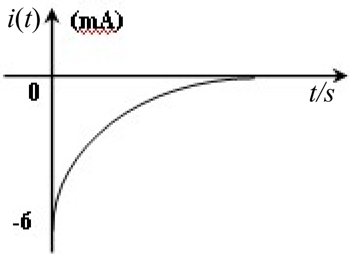
(1) 若以电容电流为响应，是什么性质的响应？

(2) $t \ge 0$ 时，$i(t)$=?

(3) 画出 $i(t)$变化曲线。



题 11-10 图



题 11-10 解图

解 (1) 电容电流为零输入响应。

(2)将电容以外电路作戴维南等效，求得 $R_{eq} = 1000\Omega$

时间常数为 $\tau = R_{eq} C = 0.25s$

由换路定则，知 $u_C(0+) = u_C(0-) = 6\,\text{V}$

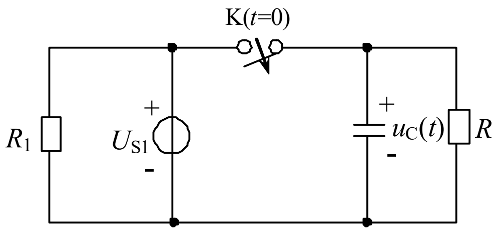
稳态值为 $u_C(\infty)=0$

由三要素表达式，得 $u_C(t)=6e^{-\frac{t}{\tau}}=6e^{-4000t}$ V $(t\geq 0)$

从而，有 $i(t)=i_C(t)=C\dfrac{du_C}{dt}=-6e^{-4000t}$ mA $(t\geq 0)$

(3) $i(t)$的变化曲线如题 11-10 解图所示。

11-11 含有较大电容的电气设备，在与电源断开后仍然会保持一段有电的时间。为了避免发生危险，采用电阻与电容并联，电阻起到吸收电场能量的作用，如图题 11-11 所示。设图中 C=2000μF，为了使开关 S 断开后，在 7s 时间内，电容电压 u_C 下降到最大值的 1/4，试计算放电电阻 R 的阻值。



题 11-11 图

解 设电容的初始电压为 U_0，则电容的放电电压为：

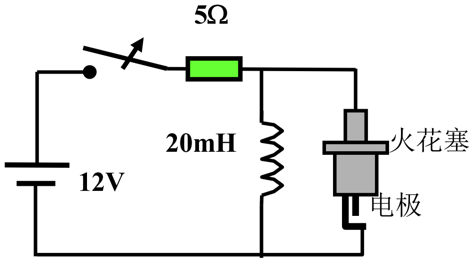
$$U_C(t)=U_0e^{-\frac{t}{\tau}}\ \text{V}$$

当 t =7s 时，$U_C(7)=U_0e^{-\frac{7}{\tau}}=\dfrac{U_0}{4}$

则 $\tau=-\dfrac{7}{\ln(0.25)}=5.0494\text{s}$

则 $R=\dfrac{\tau}{\text{C}}=\dfrac{5.0494}{2000*10^{-6}}=2524.7\Omega$

11-12 汽车发动机上都有一个火花塞，含有一对间隙很小的电极，点火线圈产生的几千伏脉冲高压在火花塞电极间产生火花，点燃燃烧室的混合气。汽车电瓶只能提供 12V 电压，这样的高压是怎样产生的呢？题 11-12 图示点火电路，开关打开后火花塞两电极间的瞬间高压多大？假设用 2μs 打开开关，电极间的平均电压为多大？

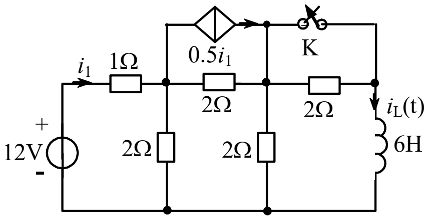


题 11-12 图

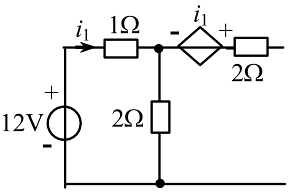
解　开关闭合电感充电已达稳态，则电感中的稳态电流为 12÷5=2.4A。如果此时开关打开，电感将进入放电过程。若电极间隙的电阻为 $10^9\Omega$，则开关打开瞬间电极间隙的电压为 2400MV。若电感电流变为 0 用了 2μs 时间，则电极间隙的平均电压为：

$$u_L = L\frac{\Delta I}{\Delta t} = 20\times10^{-3}\times\frac{2.4}{2\times10^{-6}} = 24\,\text{kV}$$

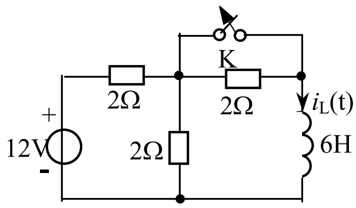
11-13 题 11-13 图所示电路开关 K 动作之前已处于稳态，开关 K 在 t =0 时打开，求 t≥0 时的电流 $i_L(t)$。



题 11-13 图



题 11-13 解(a)图



题 11-13 解(b)图

解 先对原电路作等效变化，即将题 11-13 图中的一部分(题 11-13 解(a)图)作戴维南等效。那么题 11-13 图所示电路等效为题 11-13 解(b)图，直接采用三要素法求解。

题 11-13 图所示电路中视电感为短路，求得　$i_L(0-) = 6\text{A}$

由换路定则，知　$i_L(0+) = i_L(0-) = 6\,\text{A}$

$t = \infty$ 时，题 11-13 解(b)图中电感视为短路，求得

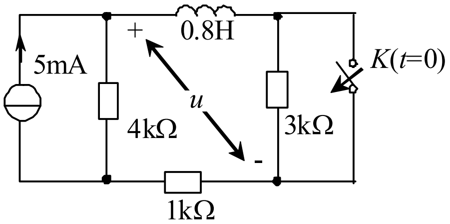
$$i_L(\infty) = \frac{12}{2//2+2}\times\frac{1}{2} = 2\,\text{A}$$

从电感 L 看进去的等效电阻为　$R_{eq} = 2+\frac{2\times2}{2+2} = 3\Omega$

所以，时间常数为 $\tau_L = \frac{L}{R_{eq}} = \frac{6}{3} = 2s$

由三要素表达式，得　$i_L(t) = 2+4e^{-0.5t}\,\text{A}\ (t\ge0)$

11-14 如题 11-14 图所示电路，原处于稳态，在 t =0 时开关断开。求 t≥0 时电压 $u(t)$。



解　初始值

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = \frac{4}{4+1}\times5\text{mA} = 4\text{mA}$$

稳态值

$$i_L(\infty)=\frac{4}{4+4}\times 5=2.5\text{mA}$$

等效电阻

$$R_{\rm i}=4+1+3=8\text{k}\Omega$$

时间常数

$$\tau=\frac{L}{R_{\rm i}}=\frac{0.8}{8\times 10^3}=10^{-4}\text{s}$$

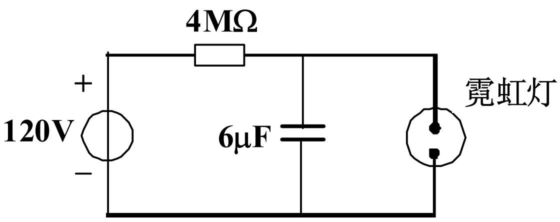
由三要素公式得：

$$i_L(t)=[2.5+1.5e^{-10^4 t}]\text{mA}\quad (t\ge 0)$$

由 KVL 得：

$$u(t)=u_L+u_3=L\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}+3\text{k}\Omega\times i_L(t)=7.5(1-\mathrm{e}^{-10^4 t})\text{V}\ (t>0)$$

11-15 如题 11-15 图所示电路为一个简易张弛振荡电路，霓虹灯两端的电压达到 75V 时点亮、降低到 30V 时熄灭；霓虹灯点亮时的电阻为 120Ω、熄灭时电阻为∞。求霓红灯在一个振荡周期内多长时间是点亮的？多长时间是熄灭的？



题 11-15 图

解　分析：霓虹灯的工作原理就是两端电压高于 75V 时点亮，工作电阻为 120Ω；电压低于 30V 时熄灭，工作电阻为∞。

工作过程：霓虹灯上电，电容开始充电，电压由 0V 逐步升高，当达到 75V 时灯点亮；这时，由于灯的电阻由∞变为 120Ω，电容开始放电【目标为分压电压 3.6V，计算见下面】，当电压到达 30V 时灯熄灭；这时，由于灯的电阻由 120Ω 变为∞，电容又开始充电；周而复始就变为霓虹灯的工作结果。

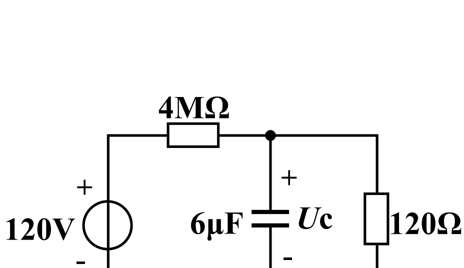
注：必须理解霓虹灯的电阻是在电压升高高于 75V 时，变为 120Ω；电压降低低于 30V 时，变为∞。

(1) 霓虹灯点亮时，等效电路如图(a)所示。

Uc(0+) = Uc(0-) = 75V

$$U_{\rm C}(\infty)=\frac{120}{120+4\times 10^6}120=3.6\ \text{V}$$

τ= RC = 120×6×10^{-6} = 0.72 ms



(a)

则：$u_{\rm c}(t)=3.6+(75-3.6)e^{-\frac{t}{\tau}}=3.6+71.4e^{-\frac{t}{0.72*10^{-3}}}$ V

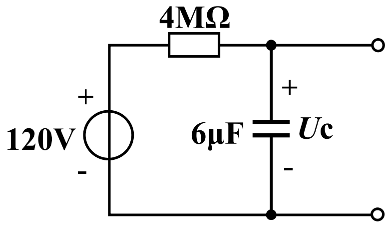
设 t_1 时刻，电压降到 30V

则：$\mathbf{30 = 3.6 + 71.4}e^{-\frac{t_1}{0.72*10^{-3}}}$

得：$t_1 = 0.716$ ms

则：灯点亮的时间为 0.716 ms。

(2) 霓虹灯熄灭时，等效电路如图(b)所示。



(b)

Uc(0+) = Uc(0-) = 30V

Uc(∞) = 120V

$\tau = RC = 4\times10^{6}\times6\times10^{-6} = 24$ s

则：$\boldsymbol{u_c(t) = 120 + (30 - 120)}e^{-\frac{t}{\tau}} \boldsymbol{=120 - 90}e^{-\frac{t}{24}}$ **V**

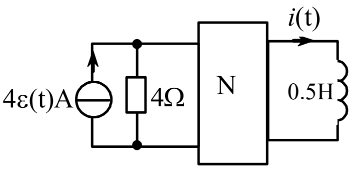
设 t_2 时刻，电压升到 75V

则：$\mathbf{75 = 120 - 90}e^{-\frac{t_2}{24}}$

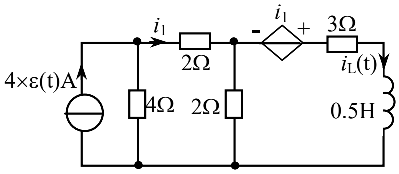
得：$t_2 = 16.636$ s

则：灯熄灭的时间为 16.636 s。

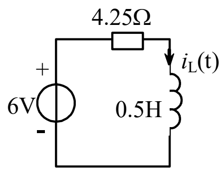
11-16 如题 11-16 图所示电路中，已知双口网络 N 的 Z 参数矩阵为 $Z_N = \begin{bmatrix} 4 & 2 \\ 3 & 5 \end{bmatrix}\Omega$，$i_L(0-)=0.41$A。求 $t\geq0$ 时电流 $i_L(t)$。



题 11-16 图



题 11-16 解(a)图



题 11-16 解(b)图

解 由已知双口网络 N 的 Z 参数矩阵求出其等效电路，得如题 11-16 解(a)图所示电路。求从电感看进去的戴维南等效电路，如题 11-16 解(b)图所示，直接采用三要素法求解。

初始值 $i_L(0+) = i_L(0-) = 0.41\,\text{A}$ (已知)

稳态值 $i_L(\infty) = \dfrac{6}{4.25} = 1.41\,\text{A}$

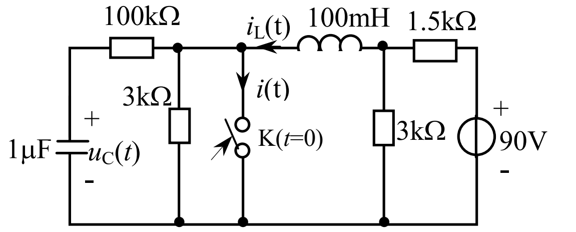
时间常数为 $\tau = \dfrac{L}{R} = \dfrac{4.25}{0.5} = \dfrac{1}{8.5}\,\text{s}$

由三要素表达式，得

$$i_L(t) = 1.41 + (0.41 - 1.41)e^{-8.5t} = 1.41 - e^{-8.5t}\,\text{A} \qquad t \geq 0$$

11-17 题 11-17 图所示电路开关 K 动作之前已处于稳态，开关 K 在 t =0 时闭合，求 $t\geq0$ 时的

电流 $i(t)$。



题 11-17 图

解 $t>0$，即开关 K 闭合，电路为两个相互独立的 RC 和 RL 电路。

所求电流 $i(t)$为 $i(t)=i_L(t)+i_C(t)$

(1)求初始值

由换路定则，知

$$u_C(0+)=u_C(0-)=\frac{3//3}{3//3+1.5}\times 90=45\,\text{V}$$

$$i_L(0+)=i_L(0-)=\frac{u_C(0-)}{3}=15\,\text{mA}$$

(2)求时间常数

$$\tau_C=R_{eq}C=100\times 10^3\times 1\times 10^{-6}=0.1s$$

$$\tau_L=\frac{L}{R'_{eq}}=\frac{100\times 10^{-3}}{(3//1.5)\times 10^3}=10^{-4}s$$

(3)求稳态值

$$u_C(\infty)=0\,\text{V}\text{，}\ i_L(\infty)=\frac{90}{1.5}=60\,\text{mA}$$

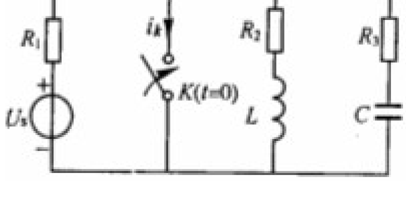
由三要素表达式，得

$$u_C(t)=45e^{-10t}\ \text{V}\ (t>0)\text{，}\ i_L(t)=60-45e^{-10^4t}\ \text{mA}\ (t\geq 0)$$

从而，有 $$i_C(t)=-C\frac{du_C(t)}{dt}=0.45e^{-10t}\ \text{mA}\ (t\geq 0)$$

由 KCL，得 $$i(t)=i_L(t)+i_C(t)=60-45e^{-10^4t}+0.45e^{-10t}\ m\text{A}\ (t\geq 0)$$

11-18 题 11-18 图所示电路开关 K 动作之前已处于稳态，已知 U_S=20V，R_1=R_2= R_3=10Ω，L=2H，C=0.1F，开关 K 在 t =0 时闭合，求 t≥0 时的电流 $i_k(t)$。



题 11-18 图

解　t>0，即开关 K 闭合，电路为两个相互独立的 RC 和 RL 电路，直接采用三要素法求解。

(1) 求初始值

$$i_L(0+)=i_L(0-)=\frac{U_S}{R_1+R_2}=1\,\text{A}$$

$$u_C(0+)=u_C(0-)=R_2 i_L(0-)=10\,\text{V}$$

(2) 求时间常数

$$\tau_C=R_3C=1s\,,\tau_L=\frac{L}{R_2}=0.2s$$

(3) 求稳态值

$$u_C(\infty)=0,\ i_L(\infty)=0$$

由三要素表达式，得

$$u_C(t)=10e^{-t}\text{V}\qquad t\ge 0$$

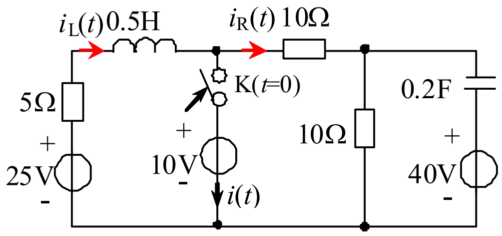
$$i_L(t)=e^{-5t}\text{A}\qquad t\ge 0$$

从而，有　$i_C(t)=C\dfrac{du_C}{dt}=-e^{-t}\text{A}\quad t\ge 0$

由 KCL，得

$$i_k(t)=\frac{U_S}{R}-i_C(t)-i_L(t)=2+e^{-t}-e^{-5t}\text{A}\qquad t\ge 0$$

11-19 题 11-19 图所示电路，开关 K 动作之前已处于稳态，开关 K 在 t =0 时闭合，求 t≥0 时的电流 $i(t)$。



题 11-19 图

解　t>0，即开关 K 闭合，电路为两个相互独立的 RC 和 RL 电路，直接采用三要素法求解。

(1) 求初始值

$$i_L(0+)=i_L(0-)=\frac{25}{5+10+10}=1\,\text{A}$$

$$u_C(0+)=u_C(0-)=10\times i_L(0-)-40=-30\,\text{V}$$

(2) 求时间常数

$\tau_C=(10//10)C=1s$，$\tau_L=\dfrac{L}{5}=0.1s$

(3) 求稳态值

$$u_C(\infty)=\frac{10}{10+10}\times 10-40=-35V$$

$$i_L(\infty)=\frac{25-10}{5}=3A$$

由三要素表达式，得

$u_C(t)=-35+[-30-(-35)]e^{-t}\text{V}=-35+5e^{-t}\text{V}\quad t\ge 0$

$i_L(t)=3+(1-3)e^{-10t}\text{A}=3-2e^{-10t}\quad t\ge 0$

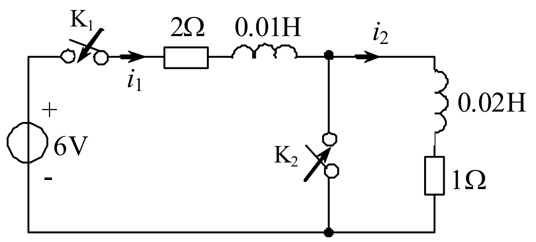
而， $i(t)=i_L(t)-i_R(t)$

$$i_R(t)=\frac{10-40-u_c(\text{t})}{10}=0.5-0.5e^{-t}\text{A}\quad t\ge 0$$

所以，有

$$i(t)=i_L(t)-i_R(t)=3-2e^{-10t}-0.5+0.5e^{-t}=2.5-2e^{-10t}+0.5e^{-t}A$$

11-20 如题 11-20 图所示动态电路中，在 t=0 时开关 K_1 闭合，经过 0.02s 后在闭合开关 K_2，求 t≥0 时电流 $i_1(t)$和 $i_2(t)$，并画出曲线图。



题 11-20 图

解 分时间段考虑，直接采用三要素分析法

$0\le t\le 0.02s$ 时

$i_1(0+)=i_2(0+)=i_1(0-)=0$

$$i_1(\infty)=i_2(\infty)=\frac{6}{2+1}=2\text{A}$$

时间常数为 $\tau=\dfrac{L}{R}=\dfrac{0.01+0.02}{2+1}=0.01s$

所以，有 $i_1(t)=i_2(t)=2(1-e^{-100t})\text{A}\quad t\ge 0$

$t\ge 0.02s$ 时

$i_1(0.02+)=i_2(0.02+)=i_1(0.02-)=2(1-e^{-100\times 0.02})=1.73\text{A}$

$i_1(\infty)=\dfrac{6}{2}=3\,\text{A}$，$i_2(\infty)=0\text{A}$

$\tau_1=\dfrac{0.01}{2}=0.005s$，$\tau_2=\dfrac{0.02}{1}=0.02s$

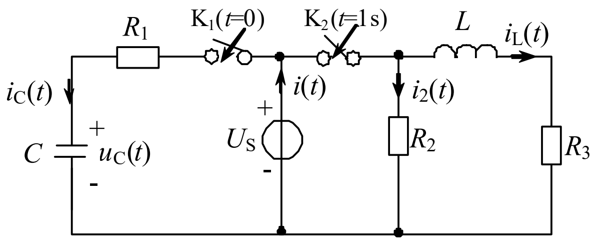
所以，有

$i_1(t)=3-1.27e^{-200(t-0.02)}\text{A}\quad t\ge 0.02s$

$i_2(t)=1.73e^{-50(t-0.02)}\text{A}\quad t\ge 0.02s$

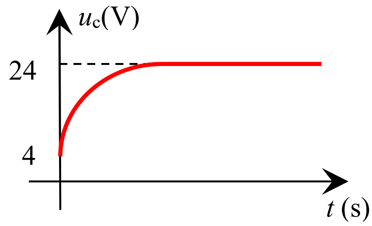
$i_1\,(t)$和 $i_2\,(t)$的曲线图如题 11-20 解(a)图和题 11-20 解(b)图所示。

11-21 如题 11-21 图所示电路，已知 R_1=100Ω、R_2=91Ω、R_3=8Ω、C=0.02F、L=0.6H、U_S=24V。电路原处于稳态，t=0 时，开关 K_1 突然接通，接通前电容上已储存 0.16J 的电场能，电压极性如 图中所示；t=1s 时，开关 K_2 又突然接通。（1）计算 t>0 以后，电容电压 $u_C(t)$的变化规律（2）按时间分段计算 t>0 以后，电压源的电流 $i(t)$；（3）求$t\to\infty$时，电感 L 储存的磁场能量。



题 11-21 图

解 (1) $0.5Cu_c(0-)^2=0.16\,\text{J}$，故 u_c (0-)=4 V。



t=0+时，$u_c(0+)=u_c(0-)=4$ V

t=∞时，$u_c(\infty)=U_S=24$ V

$\tau_c=R_1C=100\times 0.02=2\,\text{s}$

由三要素公式，$t>0$ 以后：$u_c(t)=24-20(1-e^{-\frac{t}{2}})\,\text{V}$

(2) 0<t<1 时：$i(t)=i_c+\dfrac{U_S-u_c}{R_1}=20e^{-\frac{t}{2}}\Big/100=0.2e^{-\frac{t}{2}}\,\text{A}$

t>1 时：RL 电路，$i_L(1+)=i_L(1-)=0\,\text{A}$，$i_L(\infty)=\dfrac{U_S}{R_3}=\dfrac{24}{10}=2.4\,\text{A}$

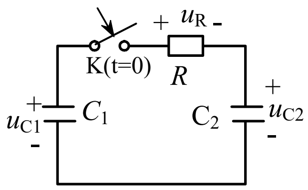
$\tau_L=\dfrac{L}{R_3}=0.06\,\text{s}$，$i_L(t)=2.4(1-e^{-\frac{t-1}{0.06}})\,\text{A}$

则 $$i(t)=i_{\mathrm{L}}(t)+\frac{U_{\mathrm{S}}}{R_2}+i_{\mathrm{c}}=[2.4(1-e^{-\frac{t-1}{0.06}})+\frac{24}{91}]\varepsilon(t-1)+0.2e^{-\frac{t}{2}}$$

$$=(2.664-2.4e^{-\frac{t-1}{0.06}})\varepsilon(t-1)+0.2e^{-\frac{t}{2}}\ \mathrm{A}$$

(3) t=∞时，电感存储的能量$W=\frac{1}{2}\mathrm{Li}(\infty)^2=\frac{1}{2}*0.6*2.4^2=1.728\ \mathrm{J}$

11-22 如题11-22图所示动态电路中，已知C_1=3μF，C_2=6μF，R=10kΩ。当t=0-时，$u_{C1}(0-)$=60V，$u_{C2}(0-)$=0V，开关K在t=0时闭合，求t≥0时的电压$u_R(t)$，$u_{C1}(t)$和$u_{C2}(t)$。



题11-22图

解 题11-22图所示动态电路中电容电压没有跃变，直接采用三要素分析法。

由换路定则，知

$u_{C1}(0+)=u_{C1}(0-)=60\,\mathrm{V}$，$u_{C2}(0+)=u_{C2}(0-)=0\,\mathrm{V}$

由t=0+时刻电路，求得 $u_R(0+)=60\,\mathrm{V}$

时间常数为 $\tau=RC_{eq}=10\times10^3\times\frac{3\times6}{3+6}\times10^{-6}=0.02s$

稳态值 $u_R(\infty)=0\,\mathrm{V}$

由换路前后电荷守恒，知

$C_1u_{C1}(\infty)+C_2u_{C2}(\infty)=C_1u_{C1}(0+)+C_2u_{C2}(0+)$， 又 $u_{C1}(\infty)=u_{C2}(\infty)$

从而，求得 $u_{C1}(\infty)=u_{C2}(\infty)=20\,\mathrm{V}$

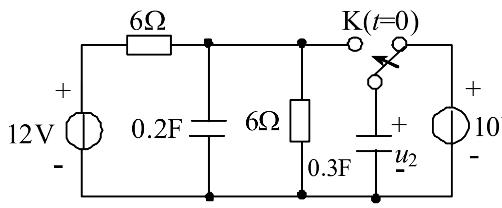
由三要素表达式，得

$u_R(t)=60e^{-50t}\,\mathrm{V}\quad t\ge0$

$u_{C1}(t)=20+40e^{-50t}\,\mathrm{V}\quad t\ge0$

$u_{C2}(t)=20-20e^{-50t}\,\mathrm{V}\quad t\ge0$

11-23 如题11-23图所示电路原处于稳态，t=0时换路，求t>0时的电压$u_2(t)$。



题 11-23 图

解 $u_1(0_-)=6\text{V}$，$u_2(0_-)=10\text{V}$

t=0 时开关接通，两电压原始值不等的电容相并联，电容电压将发生跃变。利用两正极板电荷之和在开关动作前后瞬间相等来计算 $u_2(0_+)$：

$$\begin{cases}0.2u_1(0_+)+0.3u_2(0_+)=0.2u_1(0_-)+0.3u_2(0_-)\\ u_1(0_+)=u_2(0_+)\end{cases}$$

解得

$$u_1(0_+)=u_2(0_+)=8.4\text{V}$$

稳态值

$$u_2(\infty)=\frac{6}{6+6}\times 12\text{V}=6\text{V}$$

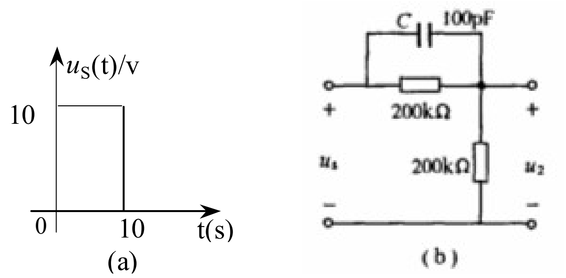
时间常数

$$\tau=RC=(6/2)\times(0.2+0.3)=1.5\text{s}$$

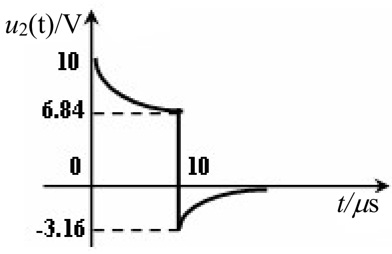
由三要素公式得：

$$u_2(t)=u_2(\infty)+[u_2(0_+)-u_2(\infty)]\text{e}^{-t/\tau}=(6+2.4\text{e}^{-t/1.5})\text{ V}\quad (t>0)$$

11-24 如题 11-24(b)图所示电路中，若激励为脉冲信号，如图题 11-24(a) 所示，试求电压 $u_2(t)$，并画出 $u_2(t)$的曲线图。



题 11-24 图



题 11-24 解图

解 由题 11-24(a)图知 $u_S(t)=10[\varepsilon(t)-\varepsilon(t-10)]\text{V}$。根据已知电源的特点，本题借助单位阶跃响应 s(t)，利用齐次定理和叠加定理求对应 u_s(t)的响应。

(1)求单位阶跃响应 s(t)。

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

由 0+电路图，求得 $u_2(0+)=1\text{V}$

由 t=∞电路图，求得 $u_2(\infty)=0.5\text{V}$

时间常数τ为

$$\tau=R_{eq}C=\frac{200\times 200}{200+200}\times 10^3\times 100\times 10^{-12}=10^{-5}s$$

由三要素表达式，得

单位阶跃响应为 $\quad s(t)=0.5+0.5e^{-10^5 t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$

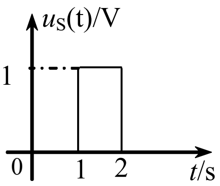
(2)由齐次定理和叠加定理求出对应 u_s(t)的响应为

$$u_2(t)=10\times(0.5+0.5e^{-10^5 t})\varepsilon(t)-10(0.5+0.5e^{-10^5(t-10^{-5})})\varepsilon(t-10)\mathrm{V}$$

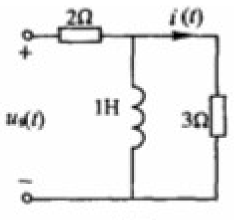
$$=\begin{cases}5+5e^{-10^5 t}\mathrm{V} & 0\le t\le 10^{-5}s\\ -3.16e^{-10^5(t-10^{-5})}\mathrm{V} & t\ge 10^{-5}s\end{cases}$$

$u_2\,(t)$的曲线图如题 11-24 解图所示。

11-25 如题 11-25(a)图所示延时脉冲信号作用于题 11-25(b)所示电路，已知 $i_L(0+)=0$，求电流 $i\,(t)$。



(a)



(b)

题 11-19 图

解 由题 11-25(a)图知 $u_S(t)=\varepsilon(t-1)-\varepsilon(t-2)\,\mathrm{V}$。根据已知电源的特点，本题借助单位阶跃响应 s(t)，利用齐次定理和叠加定理求对应 u_s(t)的响应。

(1)求单位阶跃响应 s(t)

$$i(0+)=\frac{1}{2+3}=0.2\,\mathrm{A}$$

时间常数τ为 $\quad \tau=\dfrac{L}{R}=\dfrac{1(2+3)}{2\times3}=\dfrac{5}{6}s$

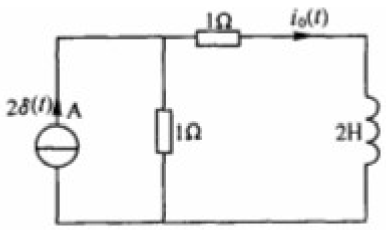
由三要素表达式，得

单位阶跃响应为 $\quad s(t)=0.2e^{-1.2t}\varepsilon(t)\,\mathrm{A}$

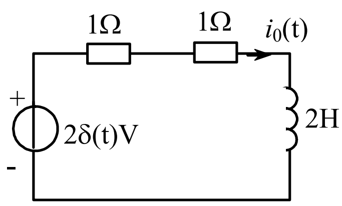
(2)由齐次定理和叠加定理求出对应 u_s(t)的响应为

$$i(t)=0.2e^{-1.2(t-1)}\varepsilon(t-1)-0.2e^{-1.2(t-2)}\varepsilon(t-2)\,\mathrm{A}$$

11-26 如题 11-26 图所示电路中，求欲使 $t>0$ 时 $i_0\,(t)=0$ 的 $i_0\,(0\text{-})$的值。在此 $i_0\,(0\text{-})$是冲激信号出现之前的电流。



题 11-26 图



题 11-26 解图

解 题 11-26 图所示电路等效为题 11-26 解图所示电路。

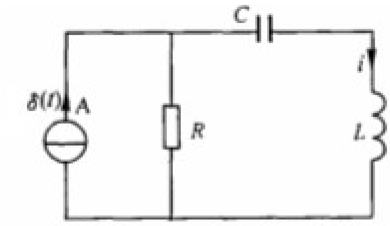
t=0 时，$u = 2\delta(t)\,\mathrm{V}$

所以，有 $i_0(0+) = i_0(0-) + \dfrac{1}{2}\int_{0-}^{0+} 2\delta(t)dt = i_0(0-) + 1$

若使 t>0 时 $i_0(t)$=0，必有 $i_0(0+)$=0

即 $i_0(0-) + 1 = 0$，得 $i_0(0-)$= -1 A

11-27 如题 11-27 图所示电路中，已知 C=0.125F，L=0.6H，R=5Ω。求冲激响应 $i(t)$。



题 11-27 图

解 先确定初始值，再利用动态电路的性质分析。

由换路定则，知 $u_C(0+) = u_C(0-) = 0\,\mathrm{V}$ (已知)

所以，有 $i(0+) = i(0-) + \dfrac{1}{L}\int_{0-}^{0+} R\delta(t)dt = 0 + \dfrac{R}{L} = 8.33\,\mathrm{A}$

又 $2\sqrt{\dfrac{L}{C}} = 4.38 < R$，所以，动态过程为过阻尼。

从而，有

$$P_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{(\frac{R}{2L})^2 - \frac{1}{LC}} = -4.17 \pm 2$$

即 $P_1 = -6.17, P_1 = -2.17$

设 $u_C(t) = \mathrm{A}_1 e^{-6.17t} + \mathrm{A}_2 e^{-2.17t}\mathrm{V} \quad t \geq 0$

则 $i(t) = C\dfrac{du_C(t)}{dt} = -0.77\mathrm{A}_1 e^{-6.17t} - 0.27\mathrm{A}_2 e^{-2.17t}\,\mathrm{A} \quad t \geq 0$

由初始条件，知 $\begin{cases} u_C(0+) = \mathrm{A}_1 + \mathrm{A}_2 \\ i(0+) = -0.77\mathrm{A}_1 - 0.27\mathrm{A}_2 \end{cases}$

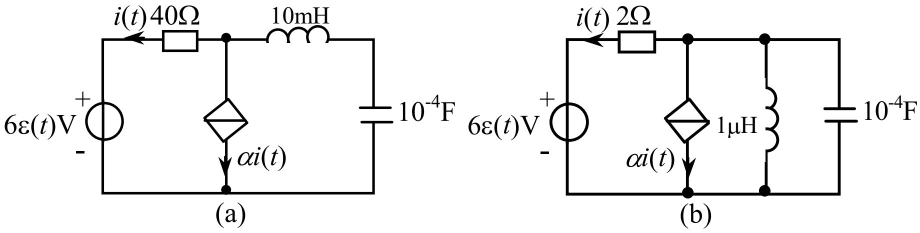
从而，得 $\mathrm{A}_1 = -16.66, \mathrm{A}_2 = 16.66$

所以，有 $i(t) = 12.83e^{-6.17t} - 4.5e^{-2.17t}\mathrm{A} \quad t \geq 0$

11-28 如题 11-28 图所示二阶动态电路，求

(1) 图 11-28 (a)中α为何值时电路处于过阻尼状态；

(2) 图 11-28 (b)中α为何值时电路处于临界阻尼状态。



题 11-28 图

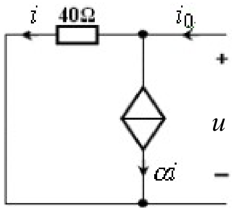
解 (1) 图 11-28 (a)中，有 $2\sqrt{\dfrac{L}{C}} = 20\Omega$

由图 11-28 解(a)图所示电路，求得

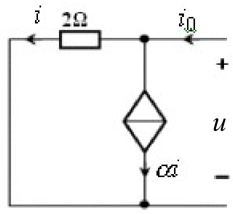
从储能元件 L、C 看进去的等效电阻为 $R = \dfrac{u}{i_0} = \dfrac{40}{1+\alpha}$

电路处于过阻尼状态时，必有 $R = \dfrac{40}{1+\alpha} > 20$

所以，有 $-1 < \alpha < 1$



题 11-28 解(a)图



题 11-28 解(b)图

(2) 图 11-28 (b)中，有 $2\sqrt{\dfrac{C}{L}} = 20s$

由图 11-28 解(b)图所示电路，求得

从储能元件 L、C 看进去的等效电阻为 $R = \dfrac{u}{i_0} = \dfrac{2}{1+\alpha}$

电路处于临界阻尼状态时，必有 $G = \dfrac{1}{R} = \dfrac{1+\alpha}{2} = 20$

所以，有 $\alpha = 39$