第 3 章　一阶电路的暂态分析

电路的暂态，就是从一种稳定状态转换到另一种稳定状态的过渡过程。通常用开关的接通或断开来实现电路状态的转换。分析暂态的依据仍然是 KCL、KVL 和 VCR，采用支路电流法写出方程。最后，一阶电路的三要素公式可以求解直流激励下的任意响应，是整章学习的重点和核心。

3.1　知识梳理

3.1.1　换路及换路定则

1. 换路

利用理想开关接通或断开电路，从而引起电路状态的改变。0_- 表示换路前的最后一瞬间，0_+ 表示换路后的最初一瞬间。图 3.1 给出了两种理想开关的示意图。

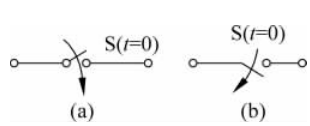

图 3.1　两种理想开关

2. 换路定则

$$\begin{cases} u_C(0_+) = u_C(0_-), & \text{电容电压在换路前后瞬间保持不变} \\ i_L(0_+) = i_L(0_-), & \text{电感电流在换路前后瞬间保持不变} \end{cases}$$

3. 初始电压、电流的确定

由于电路的微分方程是 $t \geqslant 0_+$，所以初始值是 0_+ 值，用于确定积分常数。通常，电路 0_- 的状态是已知的：

（1）换路前（开关动作前）电路已处于稳态。直流稳态时，电容开路，可以求出断开处的电压；电感短路，可以求出导线上的电流。

（2）储能元件未储能，$u_C(0_-)=0$ 或 $i_L(0_-)=0$。$u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 是独立初始值，其他电压、电流的初始值都与它们有关。

求初始值的步骤如下：

① 画出 0_- 时刻的电路，求 $u_C(0_-)$ 和 $i_L(0_-)$。

② 由换路定则得 $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$。

③ 画出 0_+ 时刻的等效电路，其中电容用一个大小为 $u_C(0_+)$ 的电压源替代，电感用一个大小为 $i_L(0_+)$ 的电流源替代。再求在 0_+ 时刻其他电压、电流的值。

3.1.2　一阶电路加直流激励下的三要素公式

一阶电路在直流激励下的三要素公式如下

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

其中，$f(0_+)$ 指的是响应的初始值，用 0_+ 时刻的等效电路求解；$f(\infty)$ 指的是响应的稳态值，用 $t \to \infty$ 的稳态电路求解；τ 指的是换路后电路的时间常数，在 RC 电路中，$\tau = R_0 C$，在

RL 电路中，$\tau=\dfrac{L}{R_0}$，R_0 为将电容或电感断开后，剩余二端网络除源后所得无源二端网络的等效电阻。

原则上，所有电压和电流都可以套用公式进行求解，但还是建议对 $u_C(t)$ 或 $i_L(t)$ 套用公式，求出它们之后，再根据 $t\geqslant 0_+$ 的电路，求其他电压和电流。

对于复杂电路，对 $t\geqslant 0_+$ 的电路，可求电容（电感）元件以外的有源二端的戴维宁等效电路，其 u_{oc} 和 R_0 有助于求解电容电压或电感电流的稳态值和时间常数。

3.2 典型例题和典型错误

【例 3.1】 换路前电路已处于稳态，求如图 3.2 所示电路中的 $i_C(0_+)$。

解：在 0_- 电路中，$u_C(0_-)=\dfrac{40}{40+10}\times 10=8\text{V}$

由换路定则得，$u_C(0_+)=u_C(0_-)=8\text{V}$

在 $t=0_+$ 时的电路中，$i_C(0_+)=\dfrac{10-u_C(0_+)}{10000}=0.2\text{mA}$

显然，$i_C(0_-)=0\neq i_C(0_+)$！

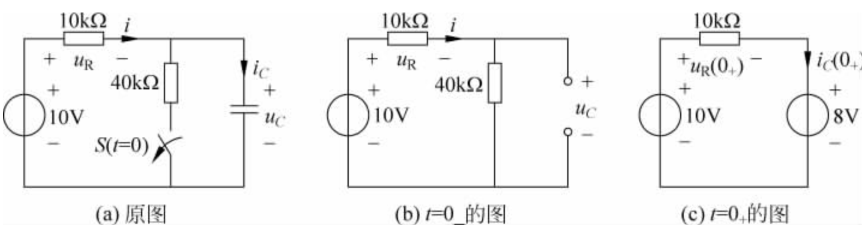

图 3.2　例 3.1 的图

【例 3.2】 如图 3.3 所示电路中，电路在换路前已处于稳态，当 $t=0$ 时，开关 S 闭合，求 $u_R(0_+)$、$u_L(0_+)$。

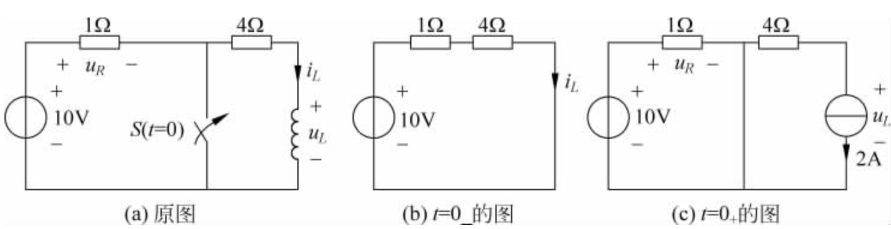

图 3.3　例 3.2 的图

解：由 $t=0_-$ 时刻的电路和换路定则有

$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\frac{10}{1+4}=2\text{A}$$

由 $t=0_+$ 时刻的电路有

$$u_R(0_+)=10\text{V};\ u_L(0_+)=-4\times 2=-8\text{V}$$

【例 3.3】 电路如图 3.4 所示，在换路前已处于稳态。当将开关从位置 1 合到位置 2 后，试求 i_L。

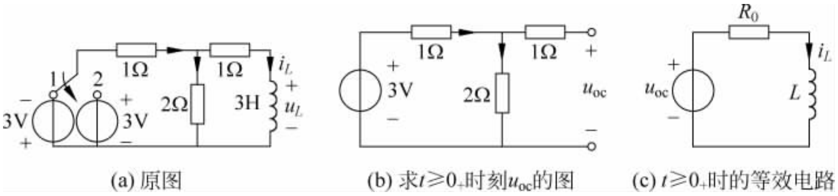

图 3.4　例 3.3 的图

解：

$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\frac{-3}{1+1//2}\times\frac{2}{1+2}=-1.2\mathrm{A}$$

$$u_{oc}=\frac{2}{1+2}\times 3=2\mathrm{V};\ R_O=1+\frac{1\times 2}{1+2}=\frac{5}{3}\Omega$$

$$i_L(\infty)=\frac{u_{oc}}{R_O}=1.2\mathrm{A};\ \tau=\frac{L}{R_0}=\frac{9}{5}\mathrm{s}$$

$$i_L(t)=i_L(\infty)+\{i_L(0_+)-i_L(\infty)\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}=(1.2-2.4\mathrm{e}^{-\frac{5t}{9}})\mathrm{A}$$

该电路换路前后的理想电压源的电压大小相同，但参考方向相反，由齐次定理，得 $i_L(0_-)=-i_L(\infty)$。

【例 3.4】 如图 3.5 所示电路在换路前已处于稳态。已知 $R_1=R_2=R_3=3\mathrm{k}\Omega$，$C=10^3\mathrm{pF}$，$U=12\mathrm{V}$，$t=0$ 时将开关 S 断开。试求：(1) u_C 及 u_0 的变化规律；(2) 如果在 $t_1=1\mathrm{ms}$ 时，再次将开关 S 合上，再求 u_C 及 u_0 的值。

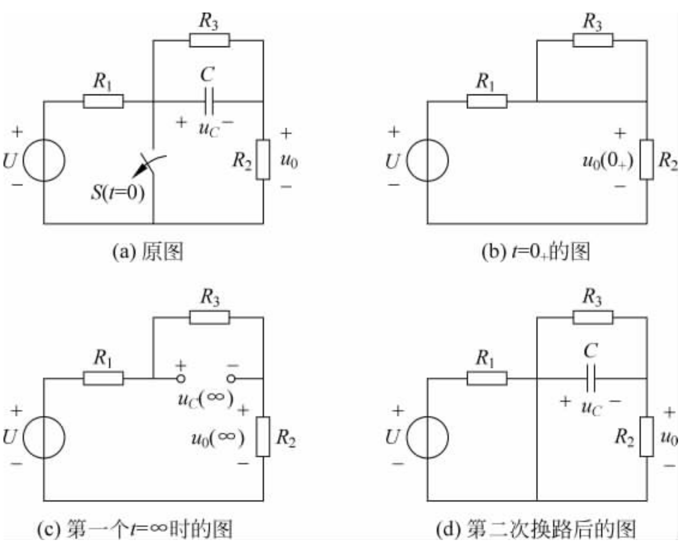

图 3.5　例 3.4 的图

解：(1) $0_+\leqslant t\leqslant 0.001_-\mathrm{s}$，$u_C(0_+)=u_C(0_-)=0\mathrm{V}$；$u_0(0_+)=\dfrac{R_2}{R_1+R_2}\times U=6\mathrm{V}$

$$u_C(\infty)=\frac{R_3}{R_1+R_2+R_3}U=4\text{V},\quad u_o(\infty)=\frac{R_2}{R_1+R_2+R_3}U=4\text{V}$$

$$R_{O1}=\frac{R_3(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_3}=2\text{k}\Omega,\quad \tau_1=R_{O1}C=2\times10^{-6}\text{s}$$

$$u_C(t)=(4-4\text{e}^{-5\times10^5 t})\text{V},\quad u_O(t)=(4+2\text{e}^{-5\times10^5 t})\text{V}$$

(2) 当 $t_1=1\text{ms}=500\tau_1$,第一次换路已结束,进入稳态。

$$u_C(0.001_+)=u_C(0.001_-)=4\text{V}$$

$$u_C(\infty)=0\text{V}\quad R_{O2}=\frac{R_3R_2}{R_2+R_3}=1.5\text{k}\Omega,\quad \tau_2=R_{O2}C=1.5\times10^{-6}\text{s}$$

$t\geqslant0.001_+$ 的电路响应,$u_C(t)=4\text{e}^{-6.67\times10^5(t-0.001)}\text{V}$

$$u_O(t)=-u_C(t)=-4\text{e}^{-6.67\times10^5(t-0.001)}\text{V}$$

讨论:电路有多次换路时,可以多次使用三要素法公式。在第二次换路的表达式中,要减去第一段的时间。

【例 3.5】 已知如图 3.6 所示电路中的开关 S 一开始合在 1 端,在 $t=0$ 时 S 合向 2 端,求 $i_C(t)$、$u_C(t)$,并绘出其曲线。

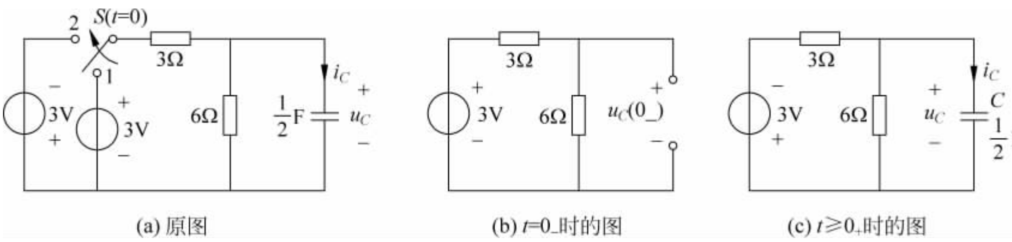

图 3.6 例 3.5 的图

解:本题求解一阶电路的全响应,用三要素法求解。

作 $t=0_-$ 时的电路如图 3.6(b)所示,由此求出 $u_C(0_-)$以及 $u_C(0_+)$。

$$u_C(0_+)=u_C(0_-)=\frac{6\times3}{6+3}=2\text{V}$$

作 $t\geqslant0_+$ 的电路如图 3.6(c)所示,电路的时间常数 τ 为

$$\tau=RC=\left(\frac{6\times3}{6+3}\right)\times\frac{1}{2}=1\text{s}$$

$t=\infty$时,电路为直流稳态,则可求出 $u_C(\infty)$。

$$u_C(\infty)=\frac{6\times(-3)}{6+3}=-2\text{V}$$

$$u_C(t)=u_C(\infty)+[u_C(0_+)-u_C(\infty)]\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}=(-2+4\text{e}^{-t})\text{V}$$

$$i_C(t)=C\frac{\text{d}u_C(t)}{\text{d}t}=\frac{1}{2}\frac{\text{d}}{\text{d}t}(-2+4\text{e}^{-t})=-2\text{e}^{-t}\text{A}$$

画出 $i_C(t)$、$u_C(t)$的波形分别如图 3.7(a)和图 3.7(b)所示。画波形时,应掌握三要素的 3 个要点,从 $f(0_+)$值开始,经过(3~5)τ 趋于 $f(\infty)$值,中间是按指数规律衰减的。

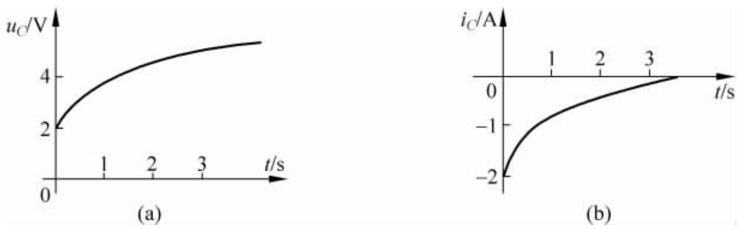

图 3.7　$u_C(t)$和$i_C(t)$的波形图

3.3　习题解答

3.1　电路如图 3.8(a)所示。求在开关 S 闭合瞬间($t=0_+$)各元件中的电流及其两端电压。当电路到达稳态时,它们又分别等于多少?假设在 $t=0_-$时,电路中的储能元件均未储能。

解:$t=0_+$时刻,电路如图 3.8(b)所示。有

$$i_{L1}(0_+)=i_{L1}(0_-)=0;\ u_{C1}(0_+)=u_{C1}(0_-)=0$$

$$i_{L2}(0_+)=i_{L2}(0_-)=0;\ u_{C2}(0_+)=u_{C2}(0_-)=0$$

$$i_{R1}(0_+)=i_{R2}(0_+)=\frac{U}{R_1+R_2}=1\text{A}$$

$$i_{C1}(0_+)=i_{C2}(0_-)=i_{R1}(0_+)=1\text{A}$$

$$u_{L2}(0_+)=u_{L2}(0_-)=u_{R2}(0_+)=R_2 i_{R2}(0_+)=8\text{V}$$

$$u_{R1}(0_+)=R_1 i_{R1}(0_+)=2\text{V}$$

$t=\infty$时刻如图 3.8(c)所示。

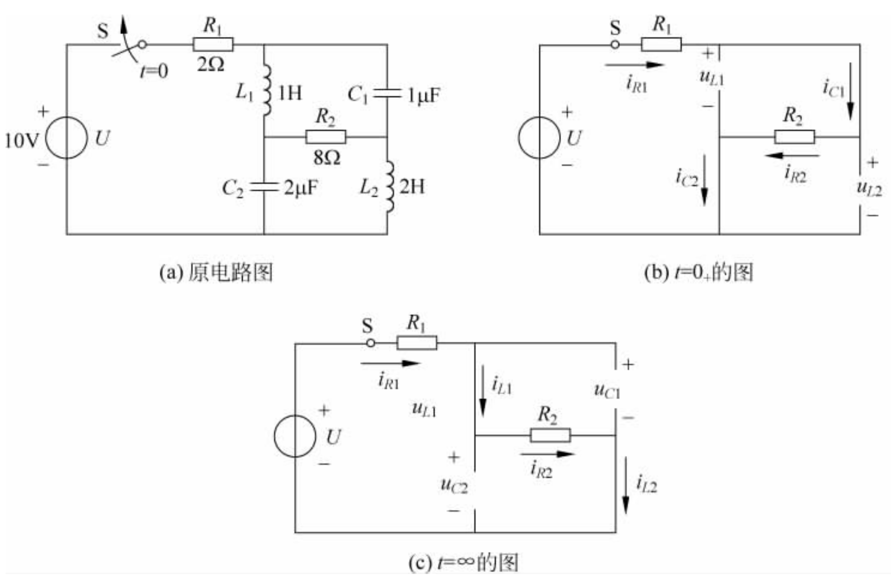

图 3.8　习题 3.1 的图

$$i_{C1}(\infty)=i_{C2}(\infty)=0,\quad u_{L1}(\infty)=u_{L2}(\infty)=0$$

$$i_{R1}(\infty)=i_{R2}(\infty)=i_{L1}(\infty)=i_{L2}(\infty)=\frac{U}{R_1+R_2}=1\text{A}$$

$$u_{C1}(\infty)=u_{R2}(\infty)=u_{C2}(\infty)=R_2 i_{R2}(\infty)=8\text{V},\quad u_{R1}(\infty)=R_1 i_{R1}(\infty)=2\text{V}$$

3.2　电路如图 3.9(a)所示，在换路前都处于稳态，$t=0$ 时开关 S 闭合。已知所有电阻值都是 10Ω，$E=10$V。求 $i_C(0_+)$、$i_L(0_+)$、$u_C(0_+)$、$u_L(0_+)$。

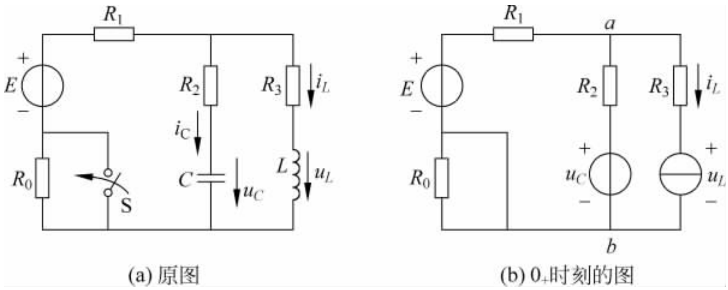

图 3.9　习题 3.2 的图

解：开关断开时，$u_C(0_-)=\dfrac{E}{R_1+R_3+R_0}R_3=\dfrac{10}{3}\text{V}$；$i_L(0_-)=\dfrac{E}{R_1+R_3+R_0}=\dfrac{1}{3}\text{A}$

根据换路定则，$u_C(0_+)=u_C(0_-)=\dfrac{10}{3}\text{V}$

$$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\frac{1}{3}\text{A}$$

$t=0_+$ 时刻，瞬间电容相当于理想电压源，电压大小为 $u_C(0_+)$，电感相当于理想电流源，电流大小为 $i_L(0_+)$。由结点电压法，有

$$u_{ab}=\frac{\dfrac{E}{R_1}+\dfrac{u_C(0_+)}{R_2}-i_L(0_+)}{\dfrac{1}{R_1}+\dfrac{1}{R_2}}=5\text{V}$$

则 $i_C(0_+)=\dfrac{u_{ab}-u_C(0_+)}{R_2}=\dfrac{1}{6}\text{A}$，$u_L(0_+)=u_{ab}-R_3 i_L(0_+)=\dfrac{5}{3}\text{V}$

3.3　如图 3.10 所示各电路在换路前都处于稳态，图 3.10(a)电路中的 $L=1$H，图 3.10(b)电路中的 $C=10^{-6}$F。试求换路后其中电流 i 的初始值 $i(0_+)$、稳态值 $i(\infty)$ 和 τ。

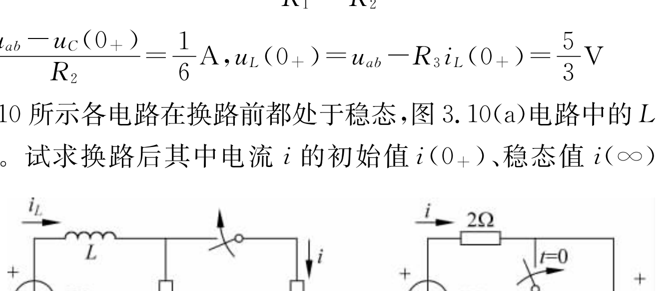

图 3.10　习题 3.3 的图

解：(1) 图 3.10(a)电路中，$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\dfrac{6}{2}=3\text{A}$，$i(0_+)=\dfrac{2}{2+2}i_L(0_+)=1.5\text{A}$。

在 $t=\infty$ 时刻，电路处于稳态，电感相当于导线，因此

$$i(\infty) = \frac{6}{2} = 3\text{A},\quad R_o = 2//2 = 1\Omega,\quad \tau = \frac{L}{R_o} = 1\text{s}$$

（2）图 3.10(b)电路中，$u_C(0_+)=u_C(0_-)=6\text{V}$，则 $i(0_+)=\dfrac{6-u_C(0_+)}{2}=0\text{A}$。无穷时刻电路处于稳态，电容相当于开路，因此

$$i(\infty) = \frac{6}{2+2} = 1.5\text{A},\quad R_o = 2//2 = 1\Omega,\quad \tau = R_oC = 10^{-6}\text{s}$$

3.4　在如图 3.11 所示电路中，开关 S 断开前，电路处于稳态，试判断 S 断开后，电路中哪些物理量跃变？哪些不跃变？

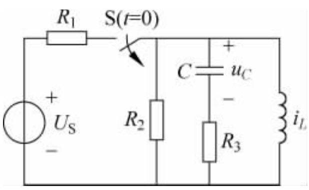

图 3.11　习题 3.4 的电路图

解：S 断开后，根据储能元件能量不能跃变原理，电容电压和电感电流不能跃变，其他均可能跃变。

3.5　在图 3.12(a)中，$I=10\text{mA}$，$R_1=3\text{k}\Omega$，$R_2=3\text{k}\Omega$，$R_3=6\text{k}\Omega$，$C=2\mu\text{F}$。在开关 S 闭合前，电路已处于稳态。求 $t\geqslant 0$ 时 u_C 和 i_1，并作出它们随时间的变化曲线。

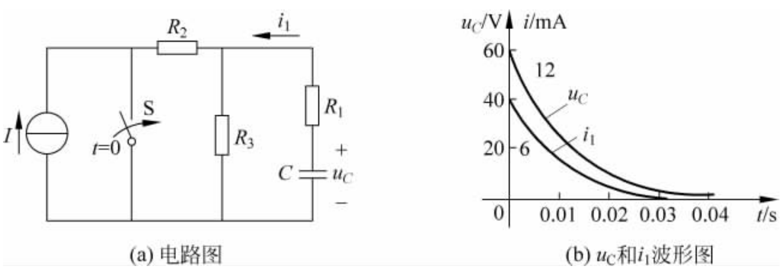

图 3.12　习题 3.5 的图

解：根据换路定则，$u_C(0_+)=u_C(0_-)=R_3I=60\text{V}$

$$R_o = R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2+R_3} = 5\text{k}\Omega,\quad \tau = R_oC = 4\times 10^{-3}\text{s}$$

$$u_C(t) = u_C(0_+)\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} = 60\mathrm{e}^{-100t}\text{V}$$

$$i_1(t) = -C\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 12\mathrm{e}^{-100t}\text{mA}$$

请思考以下两个问题：

（1）为什么 $i_1(t)$ 表达式要取负号？

（2）不用电容元件的电压电流关系，能用其他方式求出 $i_1(t)$ 吗？

3.6　电路如图 3.13 所示，在开关 S 闭合前电路已处于稳态，求开关闭合后的电压 u_C。

解：$u_C(0_+)=u_C(0_-)=9\text{mA}\times 6\text{k}\Omega=54\text{V}$

$R_o=6\text{k}\Omega//3\text{k}\Omega=2\text{k}\Omega$

$\tau=R_oC=4\times 10^{-3}\text{s}$

$u_C(\infty)=9\times\dfrac{6\times 3}{6+3}=18\text{V}$

$u_C(t)=u_C(\infty)+\{u_C(0_+)-u_C(\infty)\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}=(18+36\mathrm{e}^{-250t})\text{V}$

3.7　在图 3.14 中，$U_{S1}=4\text{V}$，$R_1=2\Omega$，$R_2=4\Omega$，$L=0.4\text{H}$，$i_{S3}=1\text{A}$，$R_3=4\Omega$。开关长时间闭合，在 $t=0$ 时将开关断开。求开关断开的 i_L 和 i_2。

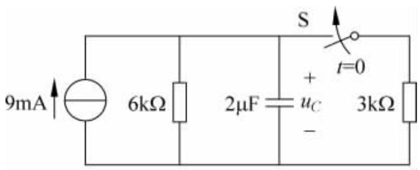

图 3.13　习题 3.6 的图

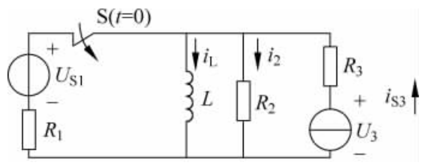

图 3.14　习题 3.7 的图

解：$i_L(0_+)=i_L(0_-)=i_{S3}+\dfrac{U_{S1}}{R_1}=3\text{A}$

$i_L(\infty)=i_{S3}=1\text{A}$，　$\tau=\dfrac{L}{R_2}=0.1\text{s}$

$i_L(t)=i_L(\infty)+\{i_L(0_+)-i_L(\infty)\}\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}=(1+2\text{e}^{-10t})\text{A}$

$i_2=i_{S3}-i_L=-2\text{e}^{-10t}\text{A}$

3.8　在如图 3.15 所示电路中，换路前，电路都处于稳态，$t=0$ 时开关打开，求电路响应 i。

解：$u_C(0_+)=u_C(0_-)=\dfrac{2}{2+2}\times 6=3\text{V}$

$u_C(\infty)=\dfrac{6}{2+2+2}\times 2=2\text{V}$

$\tau=RC=\dfrac{4\times 2}{4+2}\times 1=\dfrac{4}{3}\text{s}$

$u_C(t)=u_C(\infty)+[u_C(0_+)-u_C(\infty)]\text{e}^{-\frac{t}{\tau}}=(2+\text{e}^{-\frac{3}{4}t})\text{V}$

$i=\dfrac{6-u_C(t)}{2+2}=(1-0.25\text{e}^{-0.75t})\text{A}$

3.9　在图 3.16 中，开关 S 合在位置 1 时电路处于稳态，$t=0$ 时，将开关从位置 1 合到位置 2 上，当 $t=0.005\text{s}$ 时再合到位置 1，求 u_C 和 i_1。已知 $U_S=10\text{V}$，$i_{S3}=1\text{mA}$，$R_1=3\text{k}\Omega$，$R_2=2\text{k}\Omega$，$C=1\mu\text{F}$。

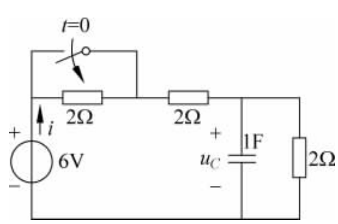

图 3.15　习题 3.8 的图

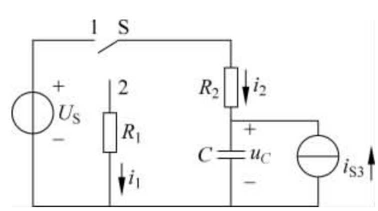

图 3.16　习题 3.9 的图

解：此题需要按时间进行分段计算，由结点电压法得

$$u_C(0_+)=u_C(0_-)=U_S+R_2 i_{S3}=12\text{V}$$

开关合在 2 上以后，$u_C(\infty)=(R_1+R_2)i_{S3}=5\text{V}$

$$\tau_1=(R_1+R_2)C=5\times 10^{-3}\text{s}$$

因此，在 $0 \leqslant t \leqslant 0.005\mathrm{s}$ 时，有

$$u_C(t) = u_C(\infty) + \{u_C(0_+) - u_C(\infty)\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau_1}} = (5 + 7\mathrm{e}^{-200t})\mathrm{V}$$

$$i_1 = i_{S3} - C\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = (1 + 1.4\mathrm{e}^{-200t})\mathrm{mA}$$

$t \geqslant 0.005\mathrm{s}$ 时，电路发生变化，$u_C(0.005_+) = u_C(0.005_-) = 7.58\mathrm{V}$

新的 $u_C(\infty) = U_S + R_2 i_{S3} = 12\mathrm{V}$

新的 $\tau_2 = R_2 C = 2 \times 10^{-3}\mathrm{s}$

$t \geqslant 0.005\mathrm{s}$ 时，有

$$u_C(t) = u_C(\infty) + \{u_C(0_+) - u_C(\infty)\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$= (12 - 4.42\mathrm{e}^{-500(t-0.005)})\mathrm{V}$$

$$i_1 = 0$$

3.10　见 3.2 节典型例题 3.3。

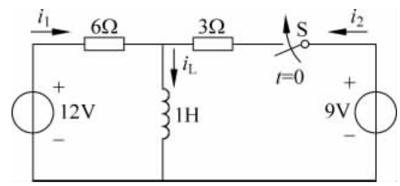

图 3.17　习题 3.11 的图

3.11　电路如图 3.17 所示，试用三要素法求 $t \geqslant 0$ 时的 i_1、i_2 及 i_L。换路前电路处于稳态。

解：$i_L(0_+) = i_L(0_-) = \frac{12}{6} = 2\mathrm{A}$，由结点电压法，知

$$u_L(0_+) = \frac{\frac{12}{6} + \frac{9}{3} - 2}{\frac{1}{6} + \frac{1}{3}} = 6\mathrm{V}$$

$$i_1(0_+) = \frac{12 - u_L(0_+)}{6} = 1\mathrm{A}, \quad i_2(0_+) = \frac{9 - u_L(0_+)}{3} = 1\mathrm{A}$$

$$i_1(\infty) = \frac{12}{6} = 2\mathrm{A}, \quad i_2(\infty) = \frac{9}{3} = 3\mathrm{A}$$

由换路以后稳态电路求 $i_L(\infty)$。$i_L(\infty) = i_1(\infty) + i_2(\infty) = 5\mathrm{A}$

时间常数 $\tau = \frac{L}{R} = \frac{1}{\frac{3 \times 6}{3 + 6}} = 0.5\mathrm{s}$

$$i_1(t) = i_1(\infty) + [i_1(0_+) - i_1(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} = (2 + \mathrm{e}^{-2t})\mathrm{A}$$

同理可得，$i_2(t) = (3 - 2\mathrm{e}^{-2t})\mathrm{A}$，$i_L(t) = (5 - 3\mathrm{e}^{-2t})\mathrm{A}$。

3.12　图 3.18 中，在换路前已处于稳态，$t = 0$ 时开关打开，求 $t \geqslant 0$ 时的 i 和 i_L。

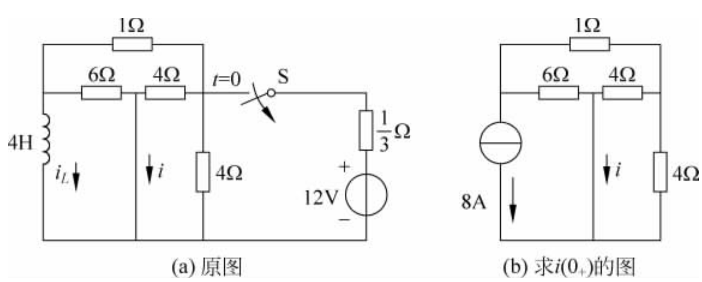

图 3.18　习题 3.12 的图

解：$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\dfrac{12}{\dfrac{1}{3}+\dfrac{4\times4\times1}{4\times4+4\times1+4\times1}}\times\dfrac{\dfrac{4\times4}{4+4}}{1+\dfrac{4\times4}{4+4}}=8\mathrm{A}$，　$i_L(\infty)=0$

在 $t=0_+$ 时刻，电感相当于理想电流源，由如图 3.18(b)所示电路得

$$i(0_+)=\frac{6}{6+1+\dfrac{4\times4}{4+4}}\times8\times\frac{4}{4+4}-8=-5.33\mathrm{A}$$

$$\tau=\frac{L}{R}=\frac{4}{6//(1+4//4)}\mathrm{s}=2\mathrm{s}$$

$$i_L(t)=8\mathrm{e}^{-0.5t}\mathrm{A},\quad i(t)=-5.33\mathrm{e}^{-0.5t}\mathrm{A}$$

该题目对电阻串并联理解的要求较高。

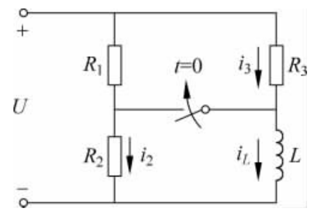

图 3.19　习题 3.13 的图

3.13　在图 3.19 中，$U=30\mathrm{V}$，$R_1=60\Omega$，$R_2=R_3=40\Omega$，$L=6\mathrm{H}$，换路前电路处于稳态。求 $t\geqslant0$ 时的电流 i_L、i_2 和 i_3。

解：$i_L(0_+)=i_L(0_-)=\dfrac{U}{R_3}=\dfrac{3}{4}\mathrm{A}$

$$i_L(\infty)=\frac{30}{40//60}\mathrm{A}=\frac{5}{4}\mathrm{A},\quad \tau=\frac{L}{R}=\frac{6}{60//40//40}\mathrm{s}=\frac{2}{5}\mathrm{s}$$

$$i_L(t)=i_L(\infty)+\{i_L(0_+)-i_L(\infty)\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}=\left(\frac{5}{4}-\frac{1}{2}\mathrm{e}^{-\frac{5}{2}t}\right)\mathrm{A}$$

$$u_L(t)=L\,\frac{\mathrm{d}i_L(t)}{\mathrm{d}t}=\frac{15}{2}\mathrm{e}^{-\frac{5}{2}t}\mathrm{V}$$

$$i_2(t)=\frac{u_L(t)}{R_2}=\frac{3}{16}\mathrm{e}^{-\frac{5}{2}t}\mathrm{A}$$

$$i_3(t)=\frac{U-u_L(t)}{R_3}=\left(\frac{3}{4}-\frac{3}{16}\mathrm{e}^{-\frac{5}{2}t}\right)\mathrm{A}$$

3.4　同 步 习 题

3.1　填空题。

(1) ________态是指从一种________态过渡到另一种________态所经历的过程。

(2) 换路定则指出：在电路发生换路后的一瞬间，________元件上通过的电流和________元件上的端电压，都应保持换路前一瞬间的原有值不变。

(3) 只含有一个________元件的电路可以用________方程进行描述，因而称作一阶电路。仅由外激励引起的电路响应称为一阶电路的________响应；只由元件本身的原始能量引起的响应称为一阶电路的________响应；既有外激励、又有元件原始能量的作用所引起的电路响应叫做一阶电路的________响应。

(4) 一阶 RC 电路的时间常数 $\tau=$________；一阶 RL 电路的时间常数 $\tau=$________。时间常数 τ 的取值决定于电路的________和________。

(5) 一阶电路全响应的三要素是指待求响应的________值、________值和________。

3.2　单项选择题。

(1) 动态元件的初始储能在电路中产生的零输入响应中(　　)。

A. 仅有稳态分量　　B. 仅有暂态分量　　C. 既有稳态分量，又有暂态分量

(2) 在换路瞬间，下列说法中正确的是(　　)。

A. 电感电流不能跃变　　B. 电感电压必然跃变

C. 电容电流必然跃变

(3) 工程上认为 $R=25\Omega$、$L=50\mathrm{mH}$ 的串联电路中发生暂态过程时将持续(　　)。

A. 30～50ms　　B. 37.5～62.5ms　　C. 6～10ms

(4) 如图 3.20 所示电路换路前已达稳态，在 $t=0$ 时断开开关 S，则该电路(　　)。

A. 电路有储能元件 L，要产生过渡过程

B. 电路有储能元件且发生换路，要产生过渡过程

C. 因为换路时元件 L 的电流储能不发生变化，所以该电路不产生过渡过程

(5) 如图 3.21 所示电路在开关 S 断开之前电路已达稳态，若在 $t=0$ 时将开关 S 断开，则电路中 L 上通过的电流 $i_L(0_+)$ 为(　　)。

A. 2A　　B. 0A　　C. −2A

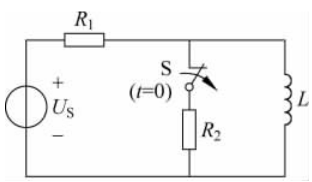

图 3.20　单选 4 的图

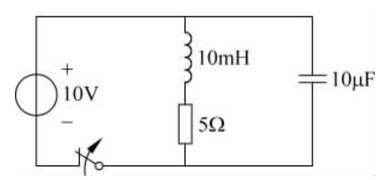

图 3.21　单选 5、6 的图

(6) 电路如图 3.21 所示，在开关 S 断开时，电容 C 两端的电压为(　　)。

A. 10V　　B. 0V　　C. 按指数规律增加

3.3　计算题。

(1) 如图 3.22 所示的电路在 $t=0$ 时开关 S 闭合，开关闭合前电路处于稳态，试求 u_C。

(2) 电路如图 3.23 所示，$t=0$ 时开关 S 由 1 合向 2，换路前电路处于稳态，试求换路后 u_L 和 i_L。

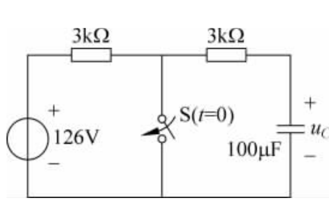

图 3.22　计算题(1)的图

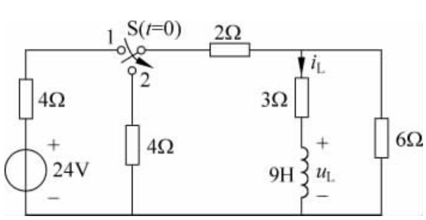

图 3.23　计算题(2)的图

(3) 如图 3.24 所示电路原先处于直流稳态，$t=0$ 时开关 S 打开。试求换路后电流 i 并作其波形。

(4) 电路如图 3.25(a)所示，u_C 的波形如图 3.25(b)所示。已知 $C=2\mu\mathrm{F}$，$R_2=2\mathrm{k}\Omega$，$R_3=6\mathrm{k}\Omega$。试求 R_1 及电容电压的初始值 U_0。

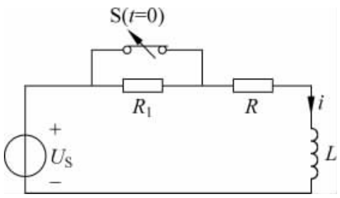

图 3.24　计算题 3 的图

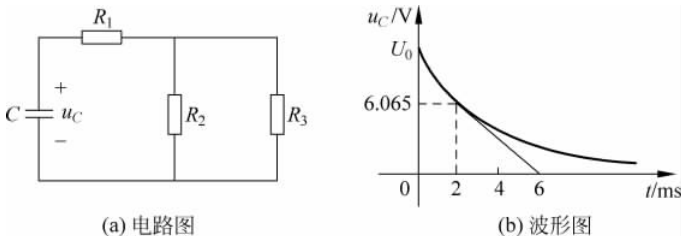

图 3.25　计算题 4 的图

（5）电路如图 3.26 所示，$t=0$ 时开关 S 闭合，$u_C(0_-)=0\text{V}$。求换路后的 u_C、i_C 和 i。

（6）电路如图 3.27 所示，$t=0$ 时刻开关 S 闭合，已知 $i_L(0_-)=0$，求 $t\geqslant 0$ 时 i_L、i 和 u_L，并画出它们的波形。

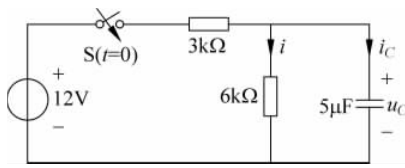

图 3.26　计算题 5 的图

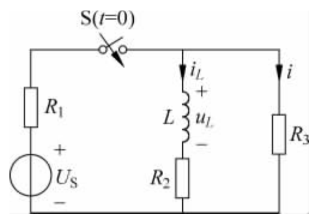

图 3.27　计算题 6 的图

（7）电路如图 3.28 所示，$t=0$ 时刻开关 S 打开。求零状态响应 u_C 和 u_0。

（8）电路如图 3.29 所示，$t=0$ 时刻开关 S 闭合，换路前电路已处于稳态。求换路后 u_C 和 i_C。

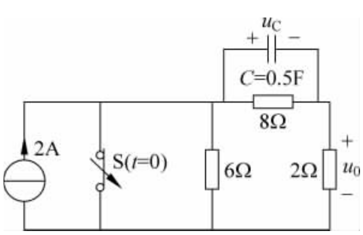

图 3.28　计算题 7 的图

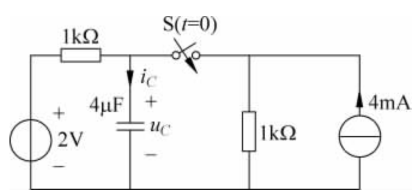

图 3.29　计算题 8 的图

（9）如图 3.30 所示电路换路前处于稳态，试用三要素法求换路后的全响应 u_C。图中 $C=0.01\text{F}$，$R_1=R_2=10\Omega$，$R_3=20\Omega$，$U_S=10\text{V}$，$I_S=1\text{A}$。

（10）如图 3.31 所示电路，在换路前已处于稳态，$t=0$ 时开关 S 闭合。求换路后电流 i_1、i_2 及流过开关的电流 i，并作出它们的波形图。

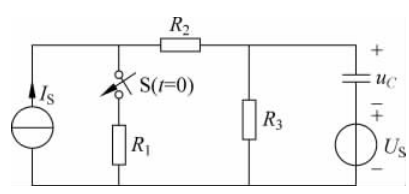

图 3.30　计算题 9 的图

（11）如图 3.32 所示电路原已处于稳态，$t=0$ 时开关 S 闭合。求 i_1、i_2 及流经开关的电流 i，并作出它们的波形图。

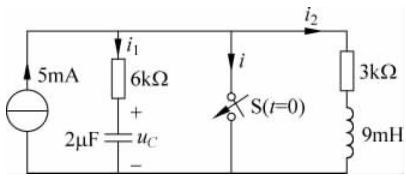

图 3.31　计算题 10 的图

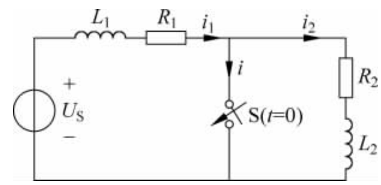

图 3.32　计算题 11 的图

3.5　同步习题答案

3.1　填空题。

(1) 暂　稳　稳

(2) 电感　电容

(3) 动态　一阶微分　零状态　零输入　全

(4) RC　L/R　结构　电路参数

(5) 初始　稳态　时间常数

3.2　单项选择题。

(1) B；(2) A；(3) C；(4) C；(5) A；(6) A

3.3　计算题。

(1) $u_C(t)=u_C(0_+)\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}=126\mathrm{e}^{-3.33t}\mathrm{V}$

(2) $i_L(t)=2\mathrm{e}^{-0.67t}\mathrm{A}$　$u_L(t)=-12\mathrm{e}^{-0.67t}\mathrm{V}$

(3) $i=\dfrac{U_S}{R+R_1}+\dfrac{U_SR_1}{(R+R_1)R}\mathrm{e}^{-\frac{R+R_1}{L}t}$

(4) $U_0=10\mathrm{V}$

(5) $u_C(t)=8(1-\mathrm{e}^{-100t})\mathrm{V}$；$i_C(t)=4\mathrm{e}^{-100t}\mathrm{mA}$　$i=\dfrac{4}{3}(1-\mathrm{e}^{-100t})\mathrm{mA}$

(6) $\tau=\dfrac{L(R_1+R_3)}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}$；$i_L(t)=\dfrac{R_3U_S}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}(1-\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}})$

$$i(t)=\frac{R_2U_S}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}+\left\{\frac{U_S}{R_1+R_3}-\frac{R_2U_S}{R_1R_2+R_1R_3+R_2R_3}\right\}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_L(t)=\frac{-R_3U_S}{R_1+R_3}\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}$$

(7) $u_C(t)=6(1-\mathrm{e}^{-0.5t})\mathrm{V}$；$u_o(t)=1.5(1+\mathrm{e}^{-0.5t})\mathrm{V}$

(8) $u_C(t)=(3-\mathrm{e}^{-500t})\mathrm{V}$；$i_C(t)=2\mathrm{e}^{-500t}\mathrm{mA}$

(9) $u_C(t)=(-5+15\mathrm{e}^{-10t})\mathrm{V}$

(10) $i_1(t)=-2.5\mathrm{e}^{-\frac{2500}{3}t}\mathrm{mA}$；$i_2(t)=5\mathrm{e}^{-\frac{10^6}{3}t}\mathrm{mA}$；$i=(5+2.5\mathrm{e}^{-\frac{2500}{3}t}-5\mathrm{e}^{-\frac{10^6}{3}t})\mathrm{mA}$

(11) $i_1(t)=\dfrac{U_S}{R_1}+\left[\dfrac{U_S}{R_1+R_2}-\dfrac{U_S}{R_1}\right]\mathrm{e}^{-\frac{R_1\tau}{L_1}}$；　$i_2(t)=\dfrac{U_S}{R_1+R_2}\mathrm{e}^{-\frac{R_2t}{L_2}}$

$$i(t)=\frac{U_S}{R_1}+\left[\frac{U_S}{R_1+R_2}-\frac{U_S}{R_1}\right]\mathrm{e}^{-\frac{R_1\tau}{L_1}}-\frac{U_S}{R_1+R_2}\mathrm{e}^{-\frac{R_2t}{L_2}}$$