

第8章 线性电路中的过渡过程

8.1 换路定律与初始条件

8.2 一阶电路的零输入响应

8.3 一阶电路的零状态响应

8.4 一阶电路的全响应

8.5 一阶电路的三要素法

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应

8.1 换路定律与初始条件

目的与要求

理解换路定律会计算初始值

重点与难点

重点： 电感电路的换路定律 电容电路的换路定律

难点： 电感电路的换路定律 电容电路的换路定律

8.1.1 过渡过程的概念（一）

1、过渡过程：从一种稳定状态转变到另一种稳定状态的中间过程。

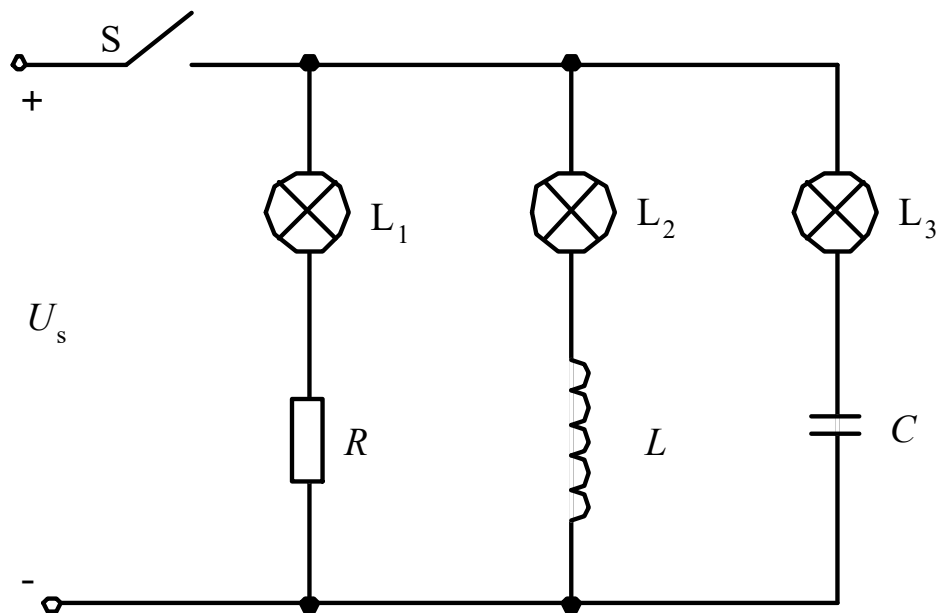


图 8.1 过渡过程演示电路图

8.1.1 过渡过程的概念（二）

2 现象：

L1立即发亮 亮度不变

L2由暗—亮 最后定

L3由亮—暗 直到熄灭

外因：电路状态的改变

内因：有储能元件

3 换路：电路状态的改变

[通电、断电、短路、电
信号突变、电路参数的变化]

8.1.2 换路定律（一）

$$i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

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

一、具有电感的电路

开关接通前 $i=0$ 闭合后， i 从零逐渐
增至 U_s/R

结论：RL串联电路接通电源瞬间，电流不能跃变。

8.1.2 换路定律（二）

2、约定换路时刻为计时起点，即 $t=0$

换路前最后时刻记为 $t=0_-$

换路前初始时刻记为 $t=0_+$

换路后的一瞬间，电感中的电流应保持换路前的原有值而不能跃变。

$$i_L(0_+) = i_L(0_-)$$

8.1.2 换路定律（三）

二、具有电容的电路

1 R、C 与电源 V_s 接通前、 $U_c=0$ 闭合后若电源电流为有限值，电源两端电压不能改变

换路瞬间

推理：对于一个原来未充电的电容，在换路的瞬间，

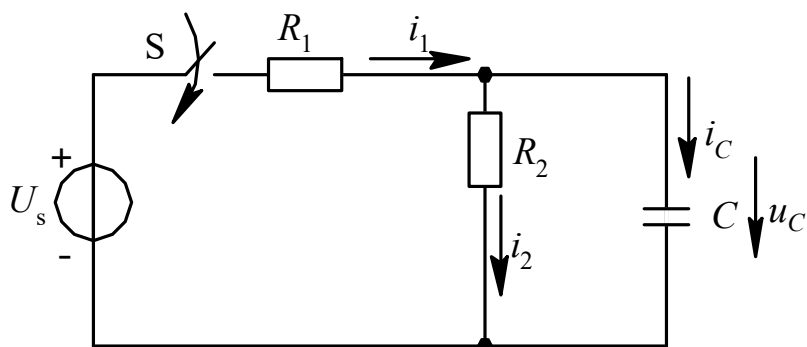
$$U_c(0+) = U_c(0-) \quad \text{电容相当于短路。}$$

8.1.3 初始值的计算

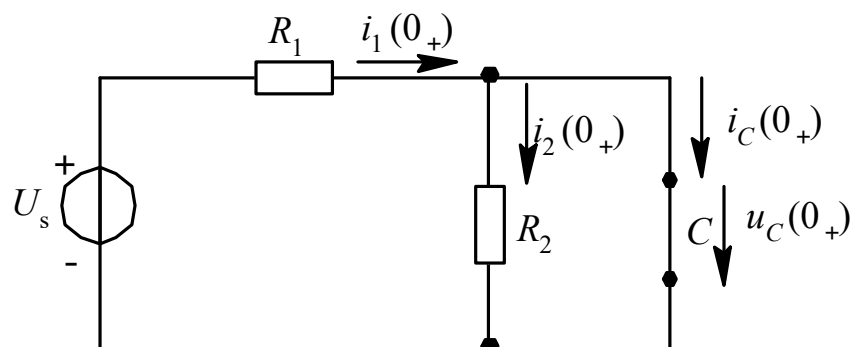
换路后的最初一瞬间（即 $t=0_+$ 时刻）的电流、电压值, 统称为初始值。 为了便于求得初始条件, 在求得 $U_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 后, 将电容元件代之以电压为 $U_C(0_+)$ 的电压源, 将电感元件代之以电流为 $i_L(0_+)$ 的电流源

例8.1 (一)

图8.2 (a) 所示电路中, 已知 $U_s=12\text{V}$, $R_1=4\text{k}\Omega$, $R_2=8\text{k}\Omega$, $C=1\mu\text{F}$, 开关S原来处于断开状态, 电容上电压 $u_C(0_-)=0$ 。求开关S闭合后, $t=0_+$ 时, 各电流及电容电压的数值。



(a)



(b)

图 8.2 例 8.1 电路图

(a) 电原理图; (b) $t=0_+$ 时的等效电路

例8.1（二）

解 选定有关参考方向如图所示。

(1) 由已知条件可知: $u_C(0_-)=0$ 。

(2) 由换路定律可知: $u_C(0_+)=u_C(0_-)=0$ 。

(3) 求其它各电流、电压的初始值。画出 $t=0_+$ 时刻的等效电路, 如图8.1 (b) 所示。由于 $u_C(0_+)=0$, 所以在等效电路中电容相当于短路。故有

$$i_2(0_+) = \frac{u_C(0_+)}{R_2} = \frac{0}{R_2} = 0,$$

$$i_1(0_+) = \frac{U_s}{R_1} = \frac{12}{4 \times 10^3} = 3mA$$

由KCL有 $i_C(0_+)=i_1(0_+) - i_2(0_+) = 3-0=3mA$ 。

例8.2 (一)

如图8.3 (a) 所示电路, 已知 $U_s=10\text{V}$, $R_1=6\Omega$, $R_2=4\Omega$, $L=2\text{mH}$, 开关S原处于断开状态。求开关S闭合后 $t=0+$ 时, 各电流及电感电压 u_L 的数值。

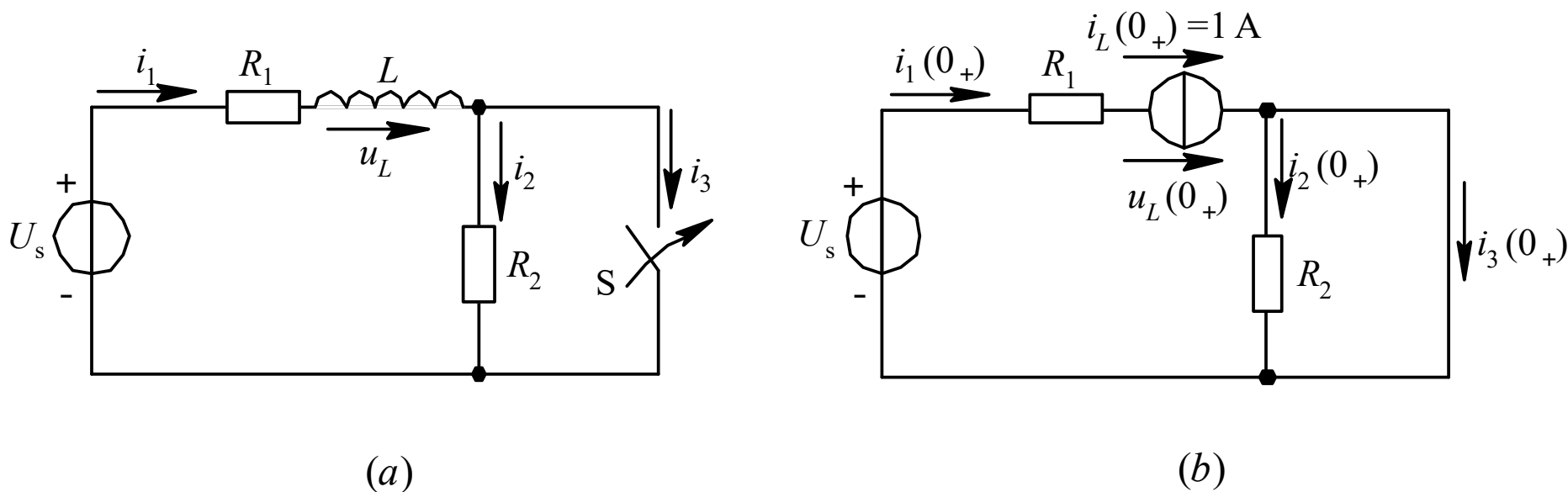


图8.3 例 8.2 电路图

(a) 电原理图; (b) $t=0_+$ 时的等效电路

例8.2 (二)

解 选定有关参考方向如图所示。

(1) 求 $t=0_-$ 时电感电流 $i_L(0_-)$ 。

由原电路已知条件得

$$i_L(0_-) = i_1(0_-) = i_2(0_-) = \frac{U_s}{R_1 + R_2} = \frac{10}{6 + 4} = 1A$$

$$i_3(0_-) = 0$$

(2) 求 $t=0_+$ 时 $i_L(0_+)$ 。

由换路定律知

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = 1A$$

例8.2 (三)

(3) 求其它各电压、电流的初始值。画出 $t=0_+$ 时的等效电路如图8.3 (b) 所示。由于 S 闭合, R_2 被短路, 则 R_2 两端电压为零, 故 $i_2(0_+)=0$ 。

由KCL有

$$i_3(0_+) = i_1(0_+) - i_2(0_+) = i_1(0_+) = 1A$$

由KVL有 $U_s = i_1(0_+)R_1 + u_L(0_+)$

$$U_L(0_+) = U_s - i_1(0_+)R_1 = 10 - 1 \times 6 = 4V$$

例8.3 (一)

如图8.4 (a) 所示电路, 已知 $U_s=12\text{V}$, $R_1=4\Omega$, $R_2=8\Omega$, $R_3=4\Omega$, $u_C(0_-)=0$, $i_L(0_-)=0$, 当 $t=0$ 时开关S闭合。求当开关S闭合后, 各支路电流的初始值和电感上电压的初始值。

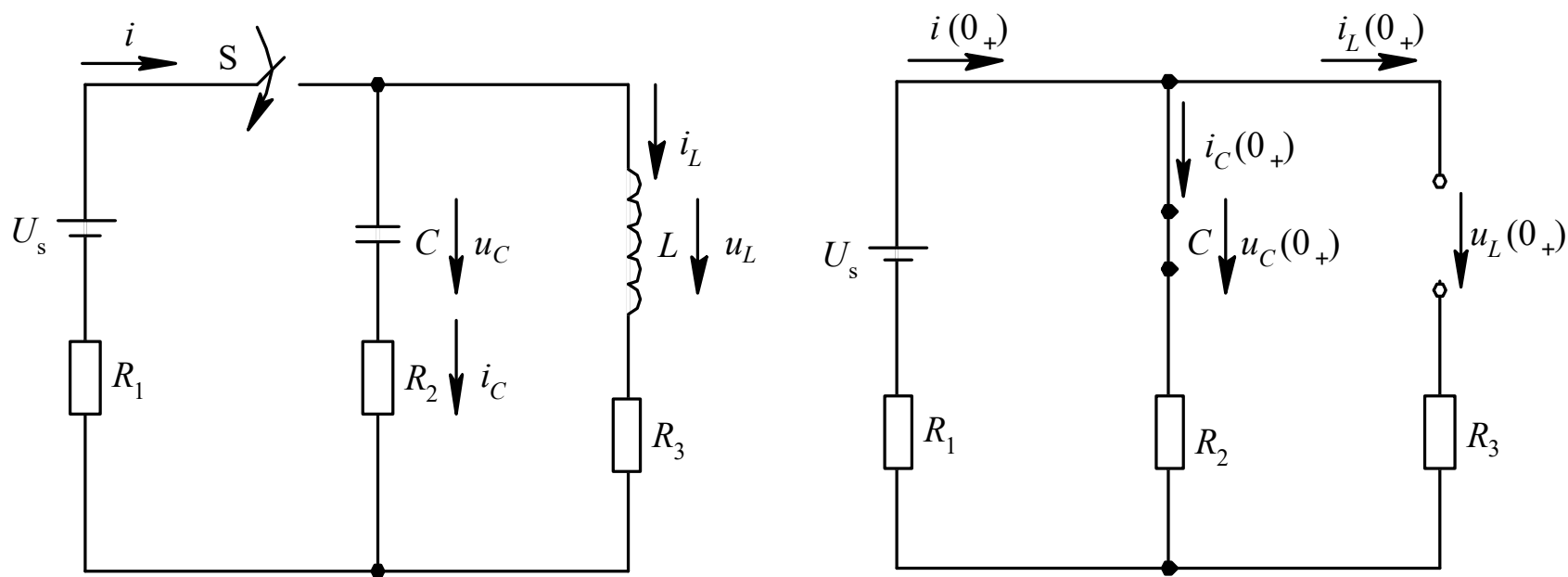


图8.4 例 8.3 电路图

(a) 电原理图; (b) $t=0_+$ 时的等效电路

例8.3 (二)

解 (1) 由已知条件可得

$$u_C(0_-) = 0, \quad i_L(0_-) = 0$$

(2) 求 $t=0_+$ 时, $u_C(0_+)$ 和 $i_L(0_+)$ 的值。

由换路定律知

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = 0, \quad i_L(0_+) = i_L(0_-) = 0$$

(3) 求其它各电压电流的初始值。

$$i(0_+) = i_C(0_+) = \frac{U_s}{R_1 + R_2} = \frac{12}{4 + 8} = 1A$$

$$u_L(0_+) = i_C(0_+)R_2 = 1 \times 8 = 8V$$

教学方法

通过演示实验让学生先对过渡过程有一个感性认识, 然后再进行理论分析

思考题（一）

1、由换路定律知，在换路瞬间电感上的电流、电容上的电压不能越变，那么对其余各物理量，如电容上的电流、电感上的电压及电子上的电压、电流是否也遵循换路定律？

思考题（二）

2、图8.5所示电路中，已知 $R_1=6\Omega$ ， $R_2=4\Omega$ 。开关闭合前电路已处于稳态，求换路后瞬间各支路电流。

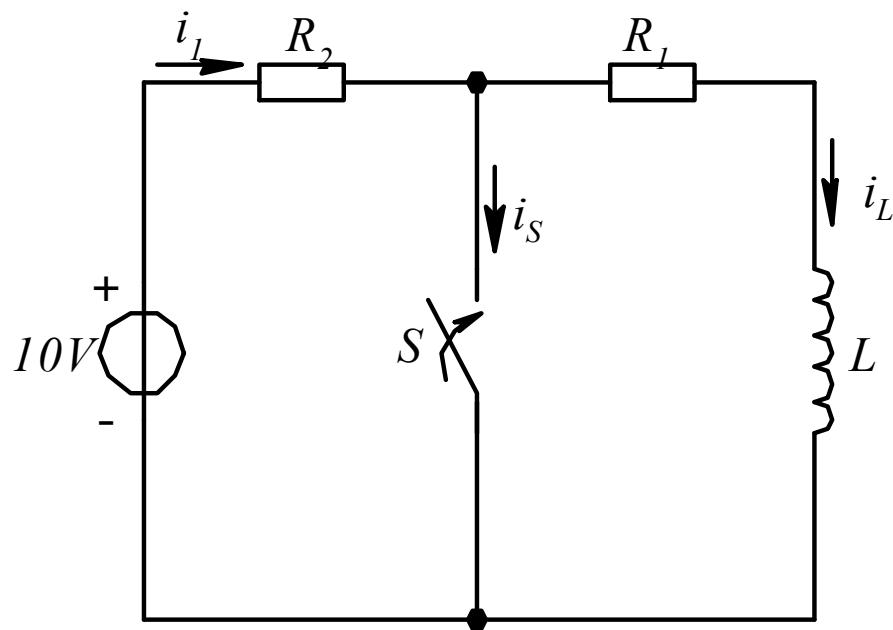


图8.5 思考题 2 图

思考题（三）

3、图8.6所示电路中，开关闭合前已达稳态，已知

$$R_1=4\Omega,$$

$R_2=6\Omega$ ，求换路后瞬间各元件上的电压和通过的电流。

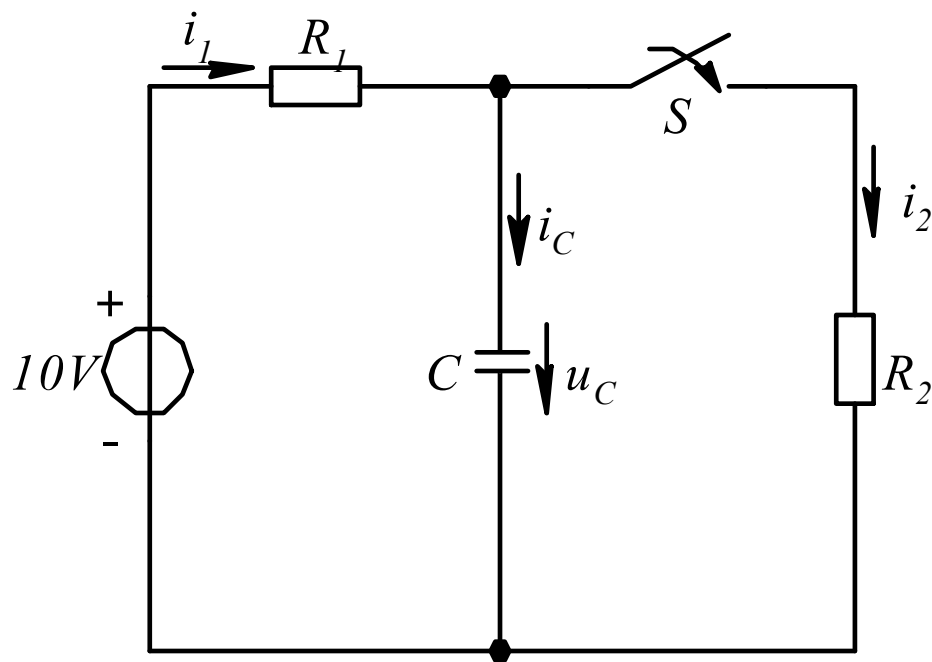


图8.6 思考题 3 图

8.2 一阶电路的零输入响应

目的与要求

会分析一阶电路的零输入响应。

重点与难点

重点：RC、RL串联电路的零输入响应。

难点：RC、RL串联电路的零输入响应。

8.2.1 RC串联电路的零输入响应（一）

只含有一个储能元件的电路称为一阶电路。

零输入响应：动态电路在设有独立源作用的情况下由初始储能激励而产生的响应。

$$t=0_+ \quad u_{C(0+)}=U_0$$

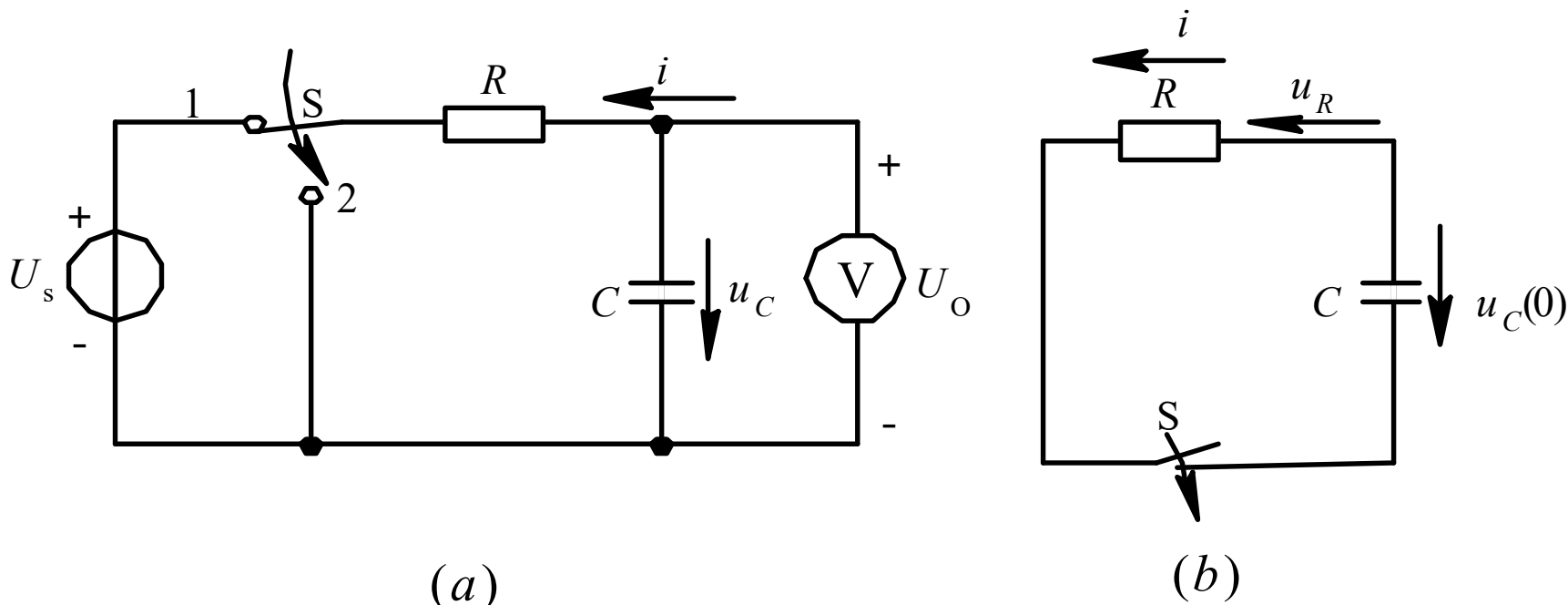


图8.7 一阶RC电路的零输入响应
(a) 电路图； (b) 换路瞬间等效电路

8.2.1 RC串联电路的零输入响应（二）

根据KVL, $u_R = u_C = Ri$, 而 $i = -C(du_C/dt)$ (式中负号表明 i_C 与 u_C 的参考方向相反)。将 $i = -C(du_C/dt)$ 代入 $u_C = Ri$ 得

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

$$u_C = Ae^{pt}$$

$$RCpAe^{pt} + Ae^{pt} = 0$$

$$(RCp + 1)Ae^{pt} = 0$$

$$RCp + 1 = 0$$

$$p = -\frac{1}{RC}$$

$$u_C = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

8.2.1 RC串联电路的零输入响应（三）

由换路定律知： $u_C(0_+)=u_C(0_-)=U_0$ ，即 $U_0 = Ae^{-\frac{0}{RC}} = Ae^0 = A$ 。

将 $A=U_0$ 代入式（8.6），得

$$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$i = \frac{u_C}{R} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{1}{RC}t}$$

τ 的数值大小反映了电路过渡过程的快慢，故把 τ 叫RC电路的时间常数。

理论上 $t=\infty$ 时过渡过程结束。

8.2.1 RC串联电路的零输入响应（四）

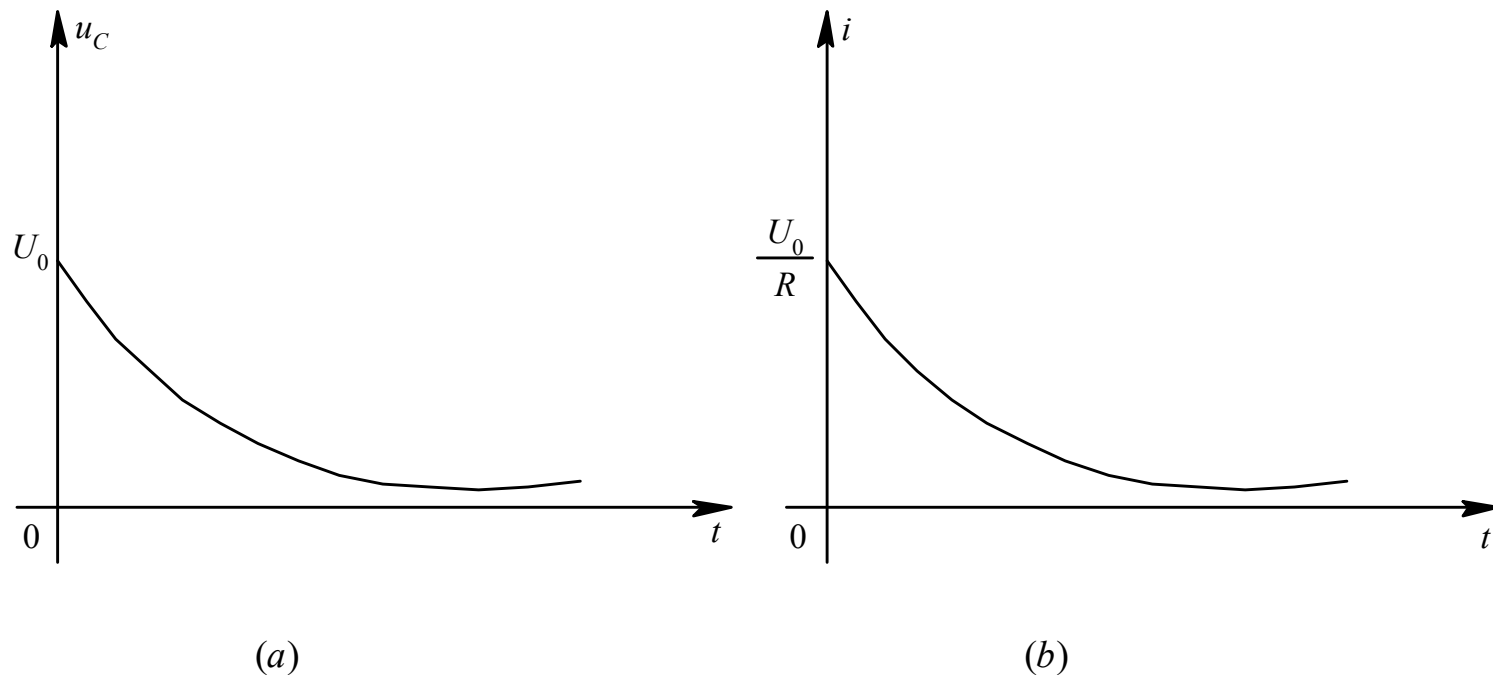


图 8.8 一阶 RC 电路的零输入响应波形 (a) u_C 波形; (b) i 波形

$\tau=RC$ [S] 时间常数

$t=(3\sim 5)\tau$ 时认为过渡过程基本结束。

表8.1 电容电压及电流随时间变化的规律

t	$e^{-\frac{t}{\tau}}$	u_C	i
0	$e^0=1$	U_0	$\frac{U_0}{R}$
τ	$e^{-1}=0.368$	$0.368U_0$	$0.368\frac{U_0}{R}$
2τ	$e^{-2}=0.135$	$0.135U_0$	$0.135\frac{U_0}{R}$
3τ	$e^{-3}=0.050$	$0.050U_0$	$0.050\frac{U_0}{R}$
4τ	$e^{-4}=0.018$	$0.018U_0$	$0.018\frac{U_0}{R}$
5τ	$e^{-5}=0.007$	$0.007U_0$	$0.007\frac{U_0}{R}$
...	...	...	...
∞	$e^{-\infty}$	0	0

例8.4 (一)

供电局向某一企业供电电压为 10 kV , 在切断电源瞬间, 电网上遗留有 $10\sqrt{2}\text{ kV}$ 的电压。已知送电线路长 $L=30\text{ km}$, 电网对地绝缘电阻为 $500\text{ M}\Omega$, 电网的分布每千米电容为 $C_0=0.008\text{ }\mu\text{F/km}$, 求

- (1) 拉闸后1分钟, 电网对地的残余电压为多少?
- (2) 拉闸后10分钟, 电网对地的残余电压为多少?

例8.4 (二)

解 电网拉闸后, 储存在电网电容上的电能逐渐通过对地绝缘电阻放电, 这是一个RC串联电路的零输入响应问题。

由题意知, 长30 km的电网总电容量为

$$C = C_0 \times L = 0.008 \times 30 = 0.24 \mu F = 2.4 \times 10^{-7} F$$

放电电阻为

$$R = 500 M\Omega = 5 \times 10^8 \Omega$$

例8.4 (三)

时间常数为

$$\tau = RC = 5 \times 10^8 \times 2.4 \times 10^{-7} = 120s$$

电容上初始电压为

$$U_0 = 10\sqrt{2}kV$$

在电容放电过程中, 电容电压(即电网电压)的变化规律为

$$u_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

故

$$u_C(60s) = 10\sqrt{2} \times 10^3 e^{-\frac{60}{120}} \approx 8576V \approx 8.6kV$$

$$u_C(600s) = 10\sqrt{2} \times 10^3 e^{-\frac{600}{120}} \approx 95.3V$$

8.2.2 RL 串联电路的零输入响应 (一)

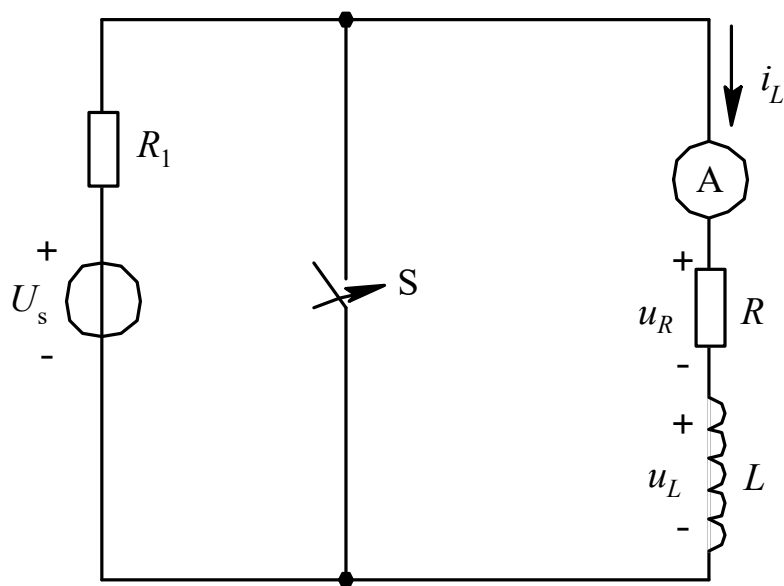


图 8.9 一阶RL电路的零输入响应

由KVL得

$$u_R + u_L = 0$$

8.2.2 RL 串联电路的零输入响应 (二)

而 $u_R = i_L R$, $u_L = L(di_L/dt)$ 。故
$$i_L R + L \frac{di}{dt} = 0$$

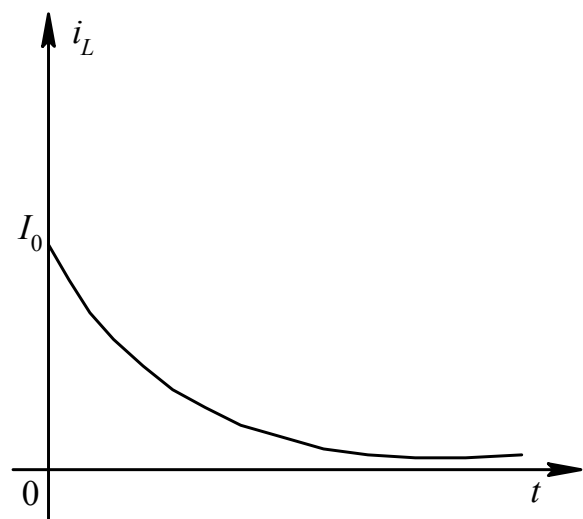
或
$$\frac{L}{R} \frac{di_L}{dt} + i_L = 0$$

$$i_L = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

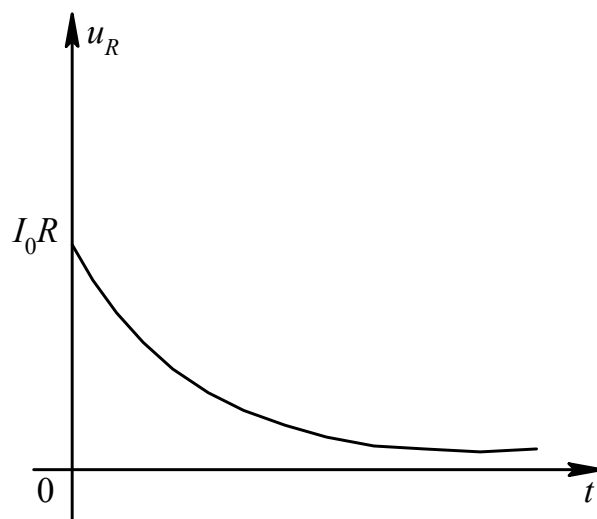
$$u_R = i_L R = I_0 R e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} = -I_0 R e^{-\frac{t}{\tau}}$$

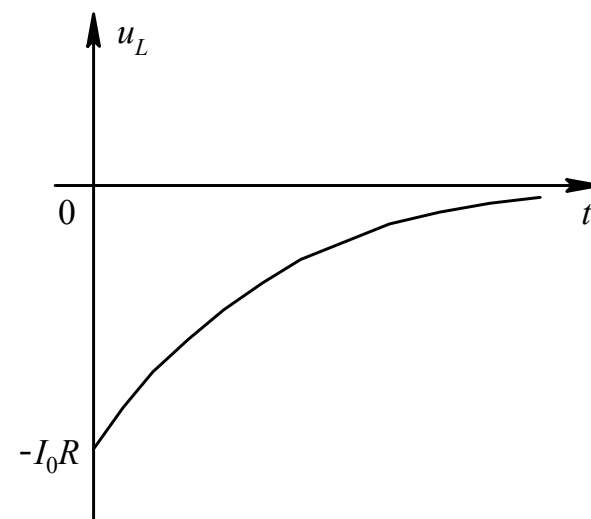
8.2.2 RL 串联电路的零输入响应 (三)



(a)



(b)



(c)

图 8.10 一阶RL电路的零输入响应波形



8.2.2 RL 串联电路的零输入响应（四）

τ 越大，电感电流变化越慢

$$t=0\text{-时} \quad i_L=I_0 \quad u_R=IR \quad u_L=0$$

$$t=0_+\text{时} \quad i_L=I_0 \quad u_R=I_0R \quad u_L=-I_0R$$

换路瞬间 i_L 不跃变, u_L 跃变

零输入响应电路特点：

(1) 一阶电路的零输入响应都是按指数规律随时间变化而衰减到零的。

(2) 零输入响应取决于电路的初始状态和电路的时间常数。

教学方法

结合实验讲解本节。

思考题（一）

1、有一 $40\mu\text{F}$ 的高压电容器从电路中断开，断开时电容器的电压为 3.5KV ，断开后电容器经本身的漏电阻放电，如漏电阻 $R=100\text{M}\Omega$ ，经过30分钟后，电容上的电压为多少？若从高压电路上断开后，马上要接触它，应如何处理？

2、图8.11所示电路中，已知 $R_1=10\Omega$ ，则电路中开关S打开瞬间电压表所承受的电压（设电压表内阻为 $1\text{M}\Omega$ ）为多少？断开开关时，若在电压表两端并联 1Ω 的电阻，此时电压表所承受的电压又是多少？

思考题（二）

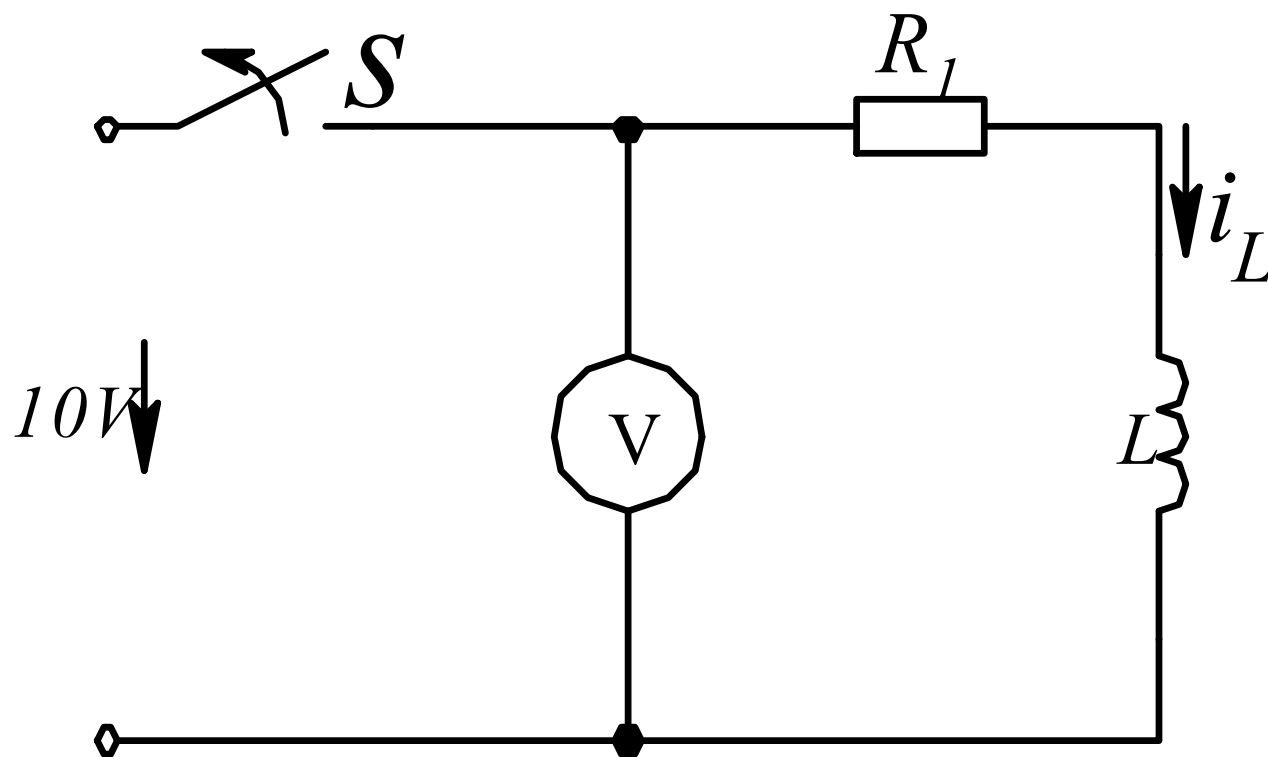


图8.11 思考题 2 图

8.3 一阶电路的零状态响应

目的与要求

会分析一阶电路的零状态响应。

重点与难点

重点：RC、RL串联电路的零状态响应。

难点：RC、RL串联电路的零状态响应。

若在一阶电路中, 换路前储能元件没有储能, 即 $u_C(0^-)$, $i_L(0^-)$ 都为零, 此情况下由外加激励而引起的响应叫做零状态响应。

8.3.1 RC 串联电路的零状态响应 (一)

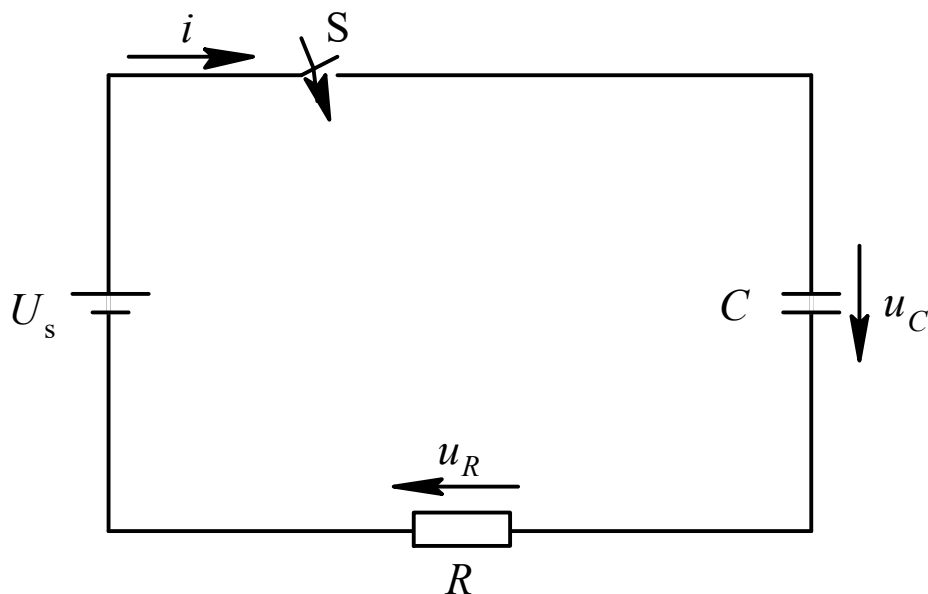


图 8.12 RC 电路的零状态响应

8.3.1 RC 串联电路的零状态响应（二）

由KVL有

$$u_R + u_C = U_s \quad (8.11)$$

将各元件的伏安关系 $u_R = iR$ 和 $i = C \frac{du_C}{dt}$ 代入式
(8.11) 得

8.3.1 RC 串联电路的零状态响应（三）

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s \quad (8.12)$$

$$u_C = u_C' + u_C'' \quad (8.13)$$

$$u_C' = U_s \quad (8.14)$$

$$u_C'' = A e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.15)$$

上式中 $\tau=RC$ 。

8.3.1 RC 串联电路的零状态响应（四）

将式（8.14）、（8.15）代入式（8.13），得

$$u_C = u_C' + u_C'' = U_s + Ae^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

$$0 = U_s + Ae^{-\frac{0}{\tau}} = U_s + Ae^0 = U_s + A$$

$$A = -U_s$$

于是

$$u_C = U_s - U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$$

式中， U_s 为电容充电电压的最大值，称为稳态分量或强迫分量。

8.3.1 RC串联电路的零状态响应（五）

$U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$ 是随时间按指数规律衰减的分量，称为暂态分量或自由分量。

$$u_C = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\begin{aligned} i &= C \frac{du_C}{dt} = C \frac{d}{dt} (U_s - U_s e^{-\frac{t}{RC}}) \\ &= C \left[-\frac{1}{RC} (-U_s e^{-\frac{t}{RC}}) \right] = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \end{aligned}$$

$$u_R = iR = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad R = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$$

8.3.1 RC 串联电路的零状态响应（六）

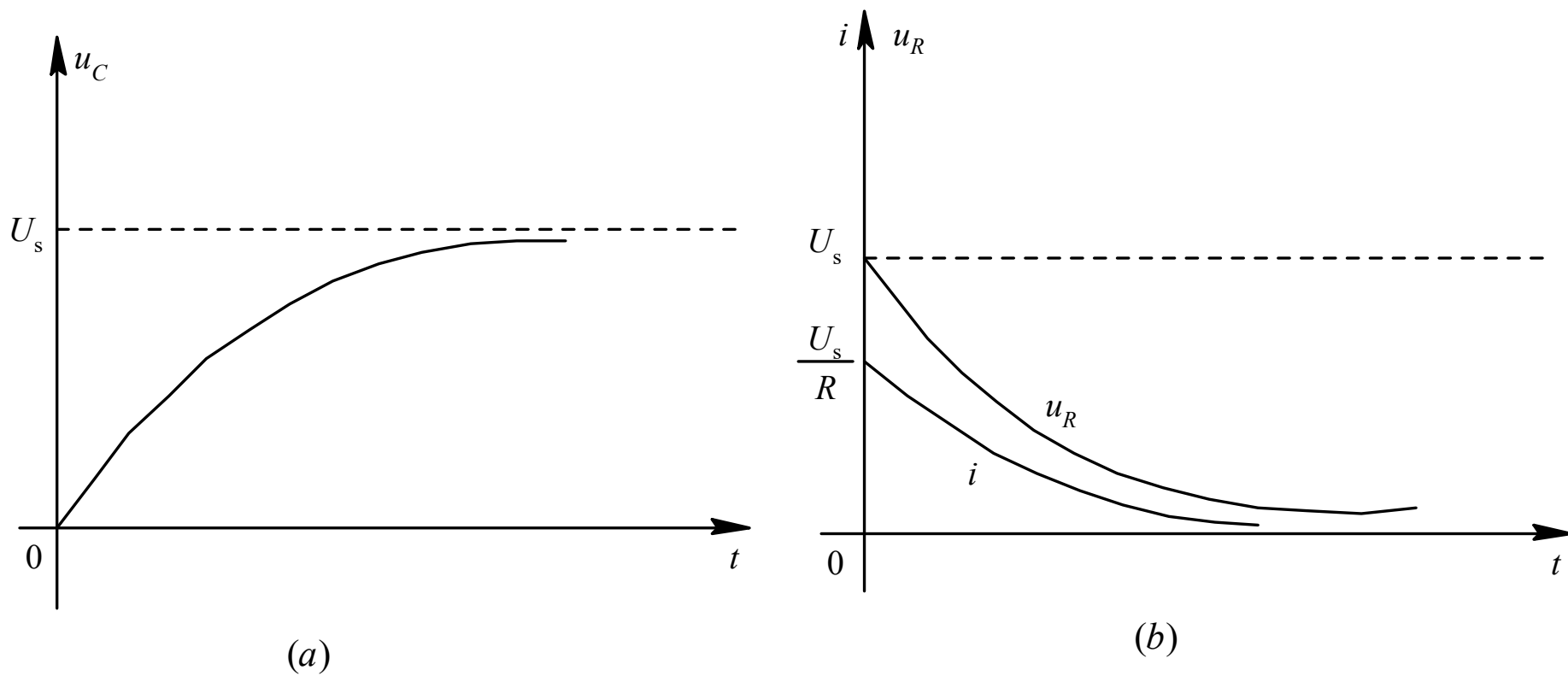


图 8.13 RC 电路的零状态响应曲线

例8.5 (一)

如图8.14(a)所示电路, 已知 $U_s=220\text{V}$, $R=200\Omega$, $C=1\mu\text{F}$, 电容事先未充电, 在 $t=0$ 时合上开关S。求

- (1) 时间常数;
- (2) 最大充电电流;
- (3) u_C , u_R 和 i 的表达式;
- (4) 作 u_C , u_R 和 i 随时间的变化曲线;
- (5) 开关合上后 1ms 时的 u_C , u_R 和 i 的值

例8.5（二）

解（1）时间常数

$$\tau = RC = 200 \times 1 \times 10^{-6} = 2 \times 10^{-4} s = 200 \mu s$$

（2）最大充电电流

$$i_{\max} = \frac{U_s}{R} = \frac{220}{200} = 1.1 A$$

例8.5 (三)

(3) u_C , u_R , i 的表达式为

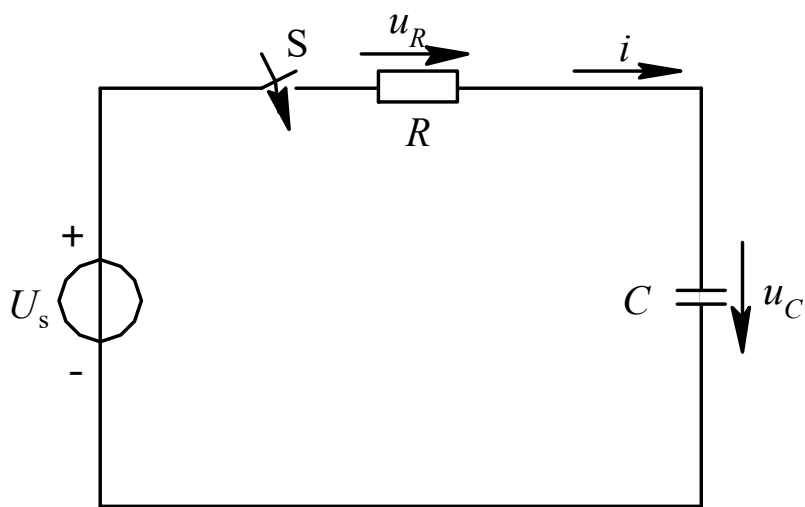
$$u_C = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 200(1 - e^{-\frac{t}{2 \times 10^{-4}}}) = 200(1 - e^{-5 \times 10^3 t})V$$

$$u_R = U_s e^{-\frac{t}{\tau}} = 220e^{-5 \times 10^3 t}V$$

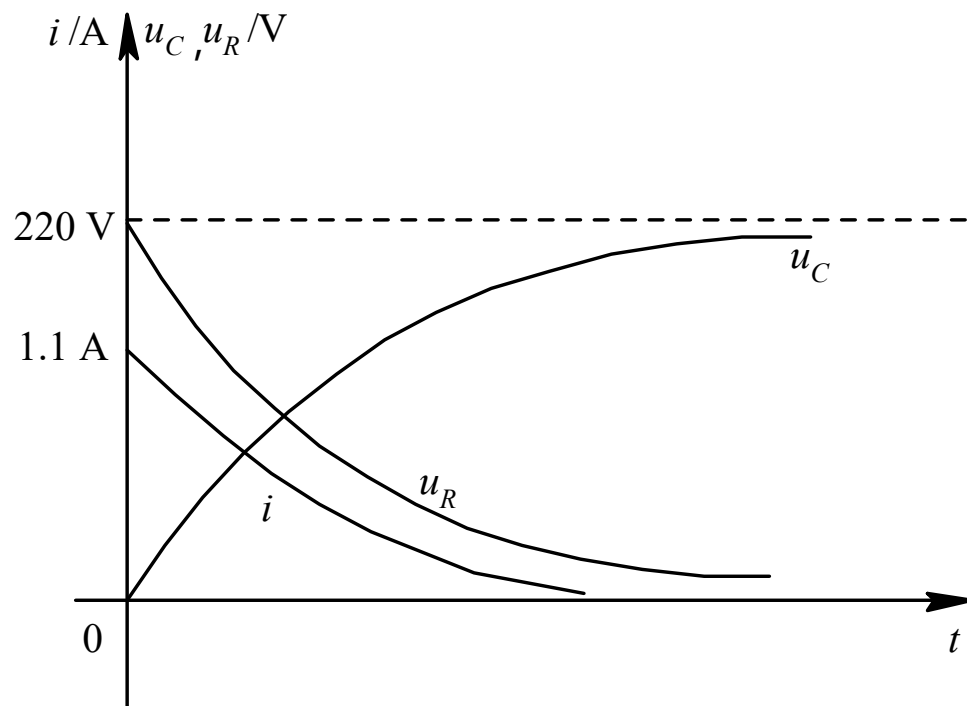
$$i = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{220}{200} e^{-\frac{t}{\tau}} = 1.1e^{-5 \times 10^3 t}A$$

例8.5 (四)

(4) 画出 u_C , u_R , i 的曲线如图8.14(b)所示。



(a)



(b)

图 8.14 例8.5 图

例8.5（五）

（5）当 $t = 1ms = 10^{-3}s$ 时

$$u_C = 220(1 - e^{-5 \times 10^3 \times 10^{-3}}) = 220(1 - e^{-5}) = 220(1 - 0.007) = 218.5V$$

$$u_R = 220e^{-5 \times 10^3 \times 10^{-3}} = 220 \times 0.007 \approx 1.5V$$

$$i = 1.1e^{-5 \times 10^3 \times 10^{-3}} = 1.1 \times 0.007 = 0.0077A$$

8.3.2 RL 串联电路的零状态响应（一）

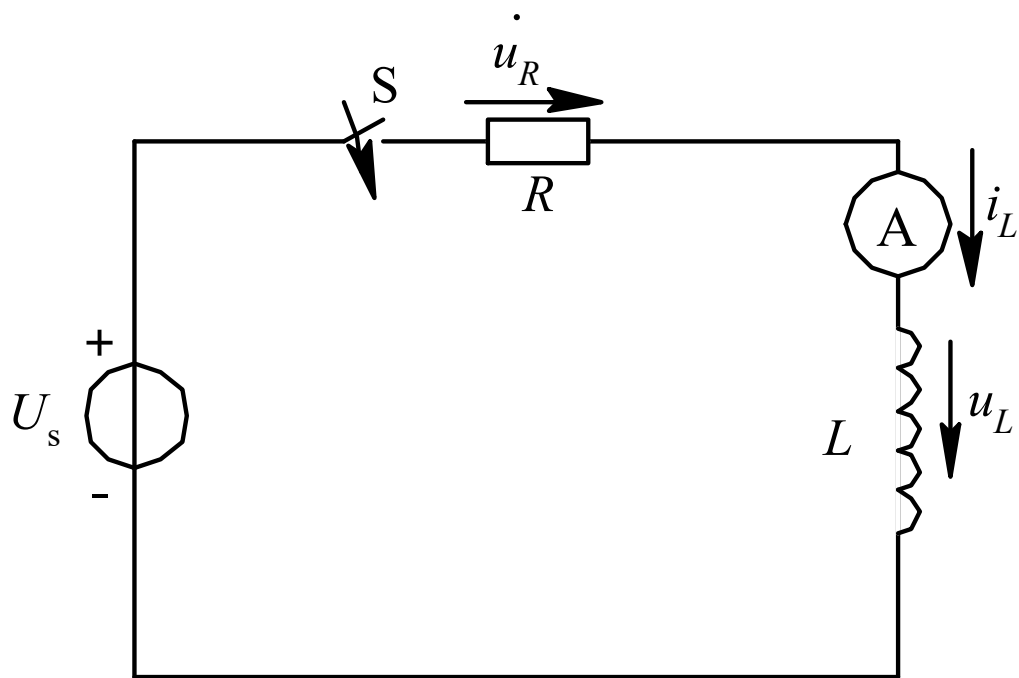


图8.15 一阶RL电路零状态响应电路

8.3.2 RL 串联电路的零状态响应（二）

由KVL有： $u_R + u_L = U_s$ 。

根据元件的伏安关系得

$$i_L R + L \frac{di}{dt} = U_s$$

即

$$\frac{L}{R} \frac{di_L}{dt} + i_L = \frac{U_s}{R}$$

8.3.2 RL 串联电路的零状态响应 (三)

$$i_L = \frac{U_s}{R} + Ae^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.22)$$

$$i_L(0_+) = \frac{U_s}{R} + Ae^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U_s}{R} + A = 0$$

即

$$A = -\frac{U_s}{R}$$

将 $A=-U_s/R$ 代入式(8.22), 得

$$i_L = \frac{U_s}{R} = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

8.3.2 RL 串联电路的零状态响应（四）

式中, $I=U_s/R$ 。

求得电感上电压为

$$\begin{aligned}u_L &= L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} [I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})] \\&= L \left(\frac{1}{\tau} I e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = L \left(\frac{R}{L} \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \right) = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}\end{aligned}$$

$$u_R = i_L R = RI(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = U_s (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

8.3.2 RL 串联电路的零状态响应（五）

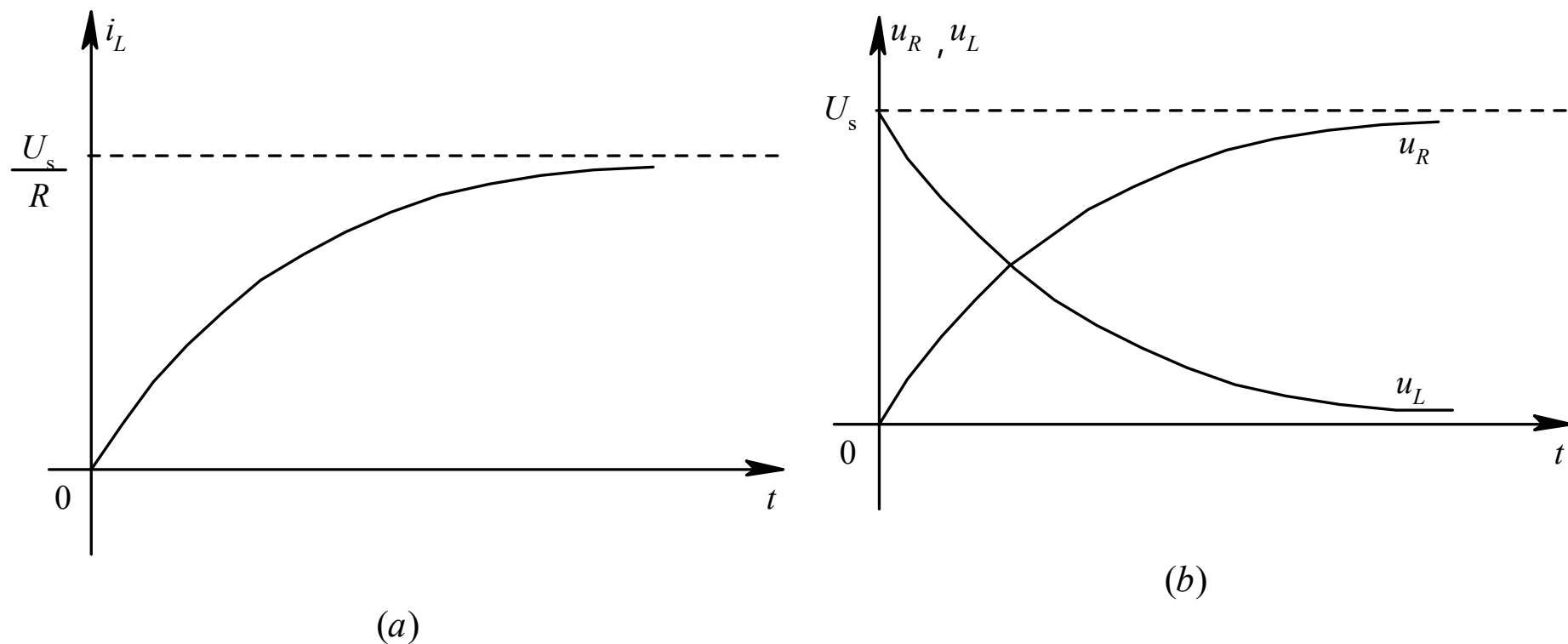


图8.16 一阶 RL 电路零状态响应波形

例8.6 (一)

图8.17所示电路为一直流发电机电路简图, 已知励磁电阻 $R=20\Omega$, 励磁电感 $L=20\text{H}$, 外加电压为 $U_s=200\text{V}$, 试求

(1) 当S闭合后, 励磁电流的变化规律和达到稳态值所需的时间;

(2) 如果将电源电压提高到250V, 求励磁电流达到额定值的时间。

例8.6 (二)

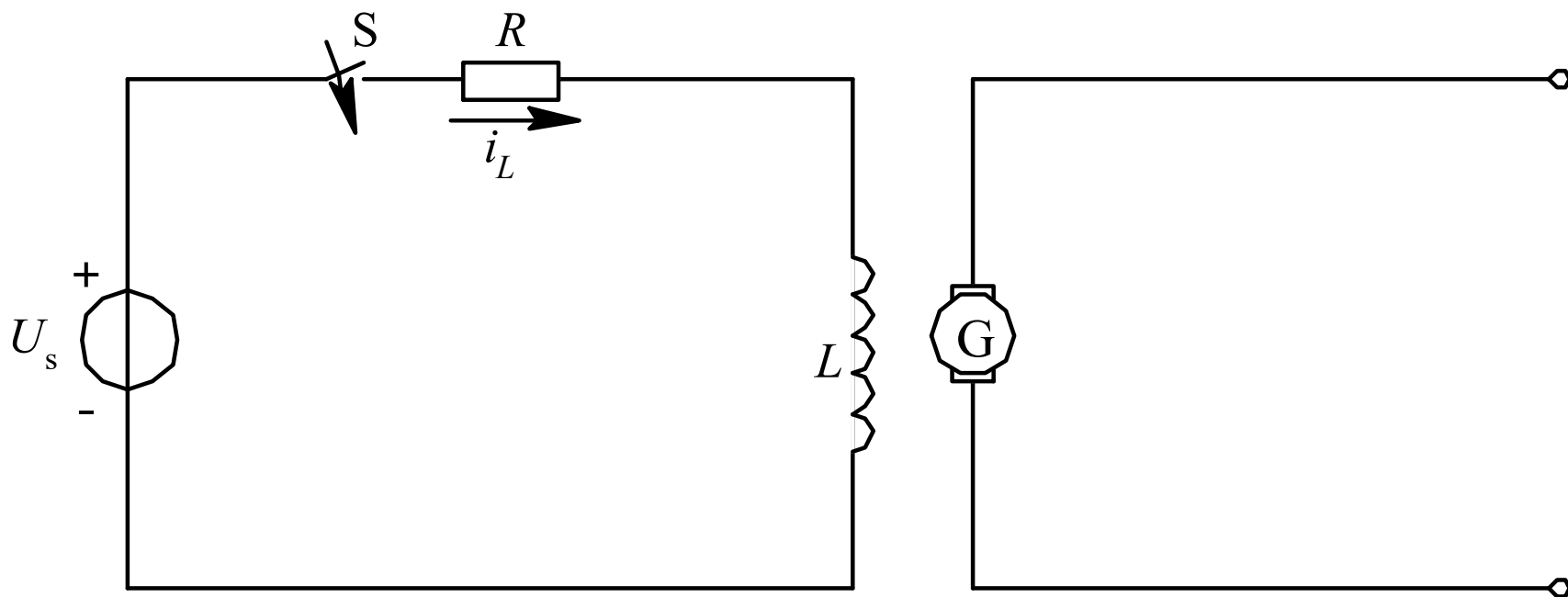


图8.17 例 8.6图

例8.6 (三)

解 (1) 这是一个RL零状态响应的问题, 由RL串联电路的分析知:

$$i_L = \frac{U_s}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

式中 $U_s=200\text{ V}$, $R=20\ \Omega$, $\tau=L/R=20/20=1\text{s}$, 所以

$$i_L = \frac{200}{20} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 10(1 - e^{-t})\text{A}$$

一般认为当 $t=(3\sim 5)\tau$ 时过渡过程基本结束, 取 $t=5\tau$, 则合上开关S后, 电流达到稳态所需的时间为5秒。

例8.6（四）

（2）由上述计算知使励磁电流达到稳态需要5秒钟时间。

$$i(t) = \frac{250}{20} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 12.5(1 - e^{-t})$$

$$10 = 12.5(1 - e^{-t})$$

$$t = 1.6s$$

例8.6（五）

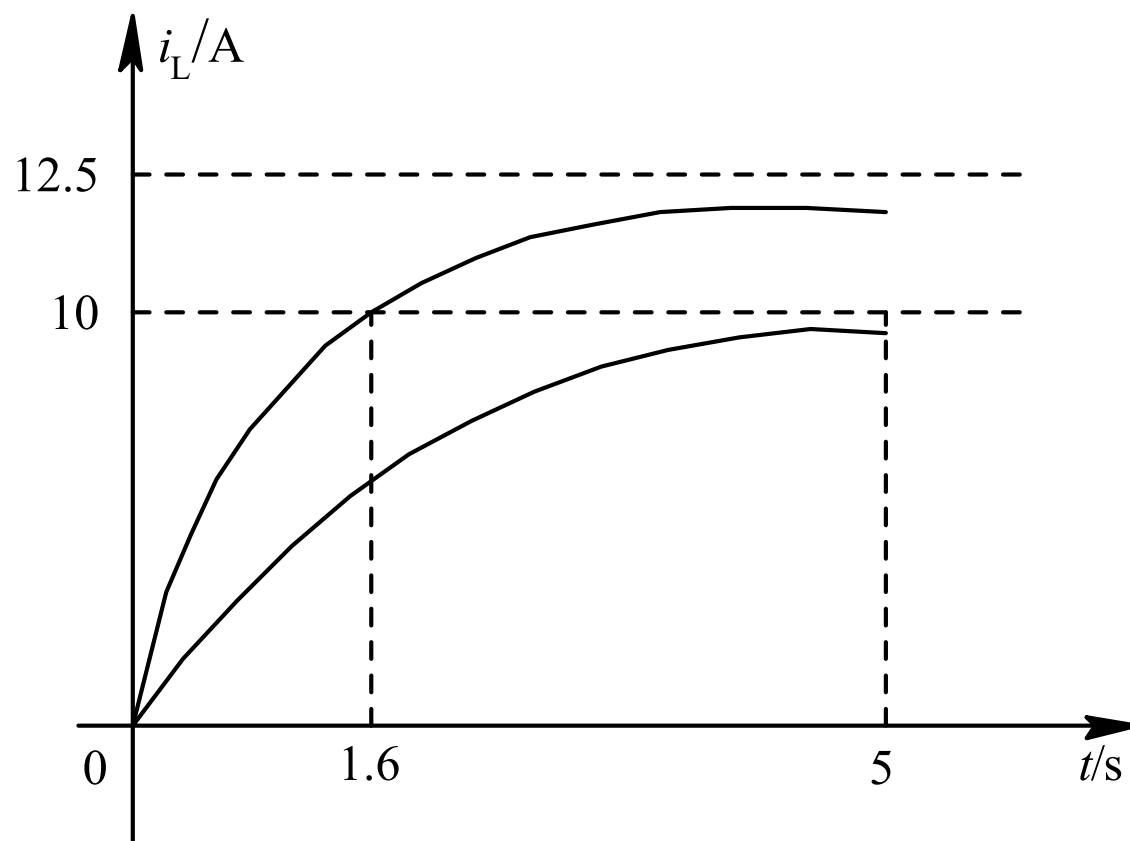


图8.18 强迫励磁法的励磁电流波形

教学方法

结合实验讲解本节。

思考题

1、在实验测试中，常用万用表的 $R \times 1K\Omega$ 挡来检查电容量较大的电容器。测量前，先将被测电容器知路放电。测量时，如果（1）指针摆动后，再返回到无穷大（ ∞ ）刻度处，说明电容器是好的；（2）指针摆动后，返回速度较慢，则说明被测电容器的是容量较大。试根据RC电路的充放电过程解释上述现象。

2、RC串联电路中，已 $R=100\Omega$ ， $C=10\mu F$ ，接到电压为100V的直流电源上，接通前电容上电压为零。求通电源后1.5ms时电容上的电压和电流。

3、RL串联电路中，已 $R=10\Omega$ ， $L=0.5mH$ ，接到电压为100V的直流电源上，接通前电容上电压为零。求通电源后电流D达到9A所经历的时间。

8.4 一阶电路的全响应

目的与要求

会分析一阶电路的全响应。

重点与难点

重点：RC、RL串联电路的全响应。

难点：RC、RL串联电路的全响应。

8.4 一阶电路的全响应（一）

一阶电路的全响应：当一个非零初始状态的一阶电路受到激励时，电路中所产生的响应叫做一阶电路的全响应。

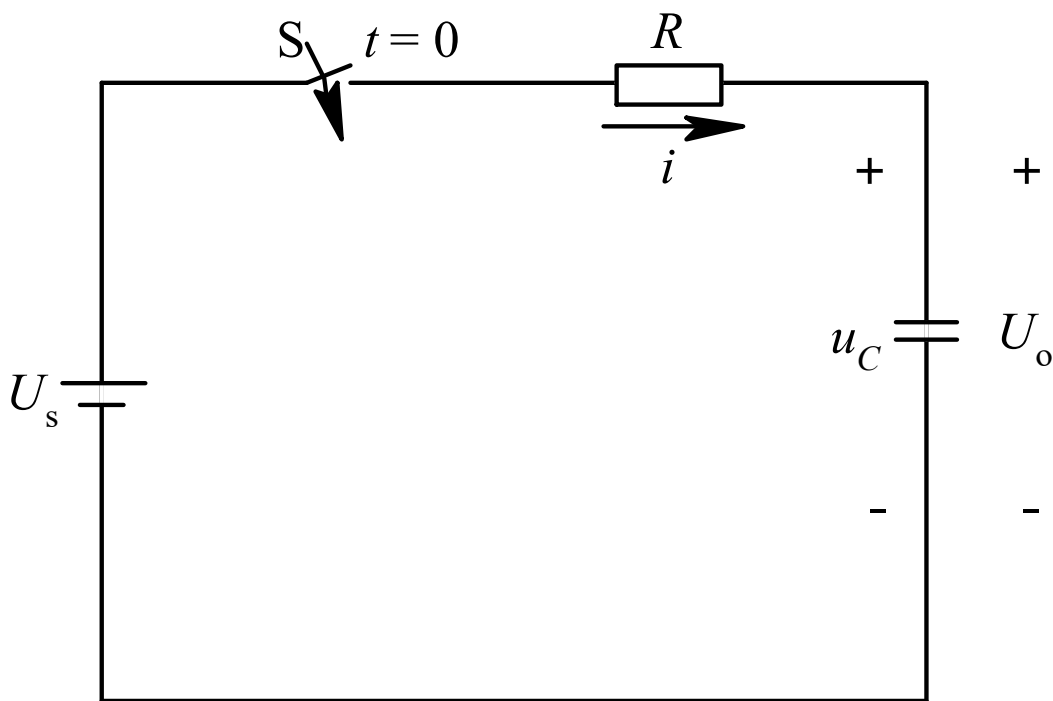


图 8.19 一阶RC电路的全响应

8.4 一阶电路的全响应（二）

由KVL有 $u_R + u_C = U_s$ 或 $RC \frac{du_C}{dt} + u_C = U_s$

$$u_C = u_C' + u_C'' = U_s + Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

由初始条件: $u_C(0_+) = u_C(0_-) = U_0$, 代入上式有 $U_0 = U_s + A$, 即 $A = U_0 - U_s$ 。所以, 电容上电压的表达式为

$$u_C = U_s + (U_0 - U_s)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.26)$$

由式 (8.26) 可见, U_s 为电路的稳态分量, $(U_0 - U_s)e^{-\frac{t}{\tau}}$ 为电路的暂态分量, 即

全响应=稳态分量+暂态分量

8.4 一阶电路的全响应（三）

有三种情况: (a) $U_0 < U_s$, (b) $U_0 = U_s$, (c) $U_0 > U_s$

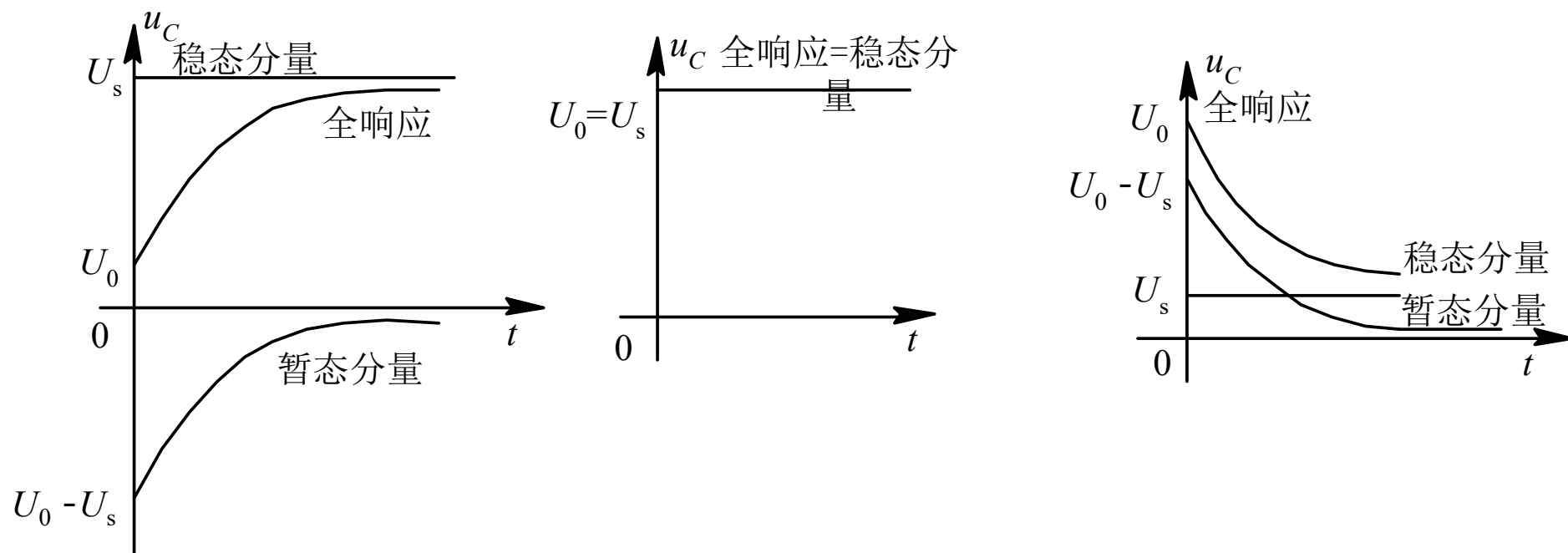


图 8.20 一阶RC电路全响应曲线

8.4 一阶电路的全响应（四）

电路中的电流为
$$i = C \frac{du_C}{dt} = \frac{U_s - U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.27)$$

$$u_C = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

上式中 $U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ 是电容初始值电压为零时的零状态响应, $U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ 是电容初始值电压为 U_0 时的零输入响应。故又有

全响应=零状态响应+零输入响应

$$i = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{-U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

例8.7 (一)

图8.21所示电路中, 开关 S 断开前电路处于稳态。设已知 $U_s = 20\text{ V}$, $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $C = 1\mu\text{F}$ 。求开关打开后, u_C 和 i_C 的解析式, 并画出其曲线。

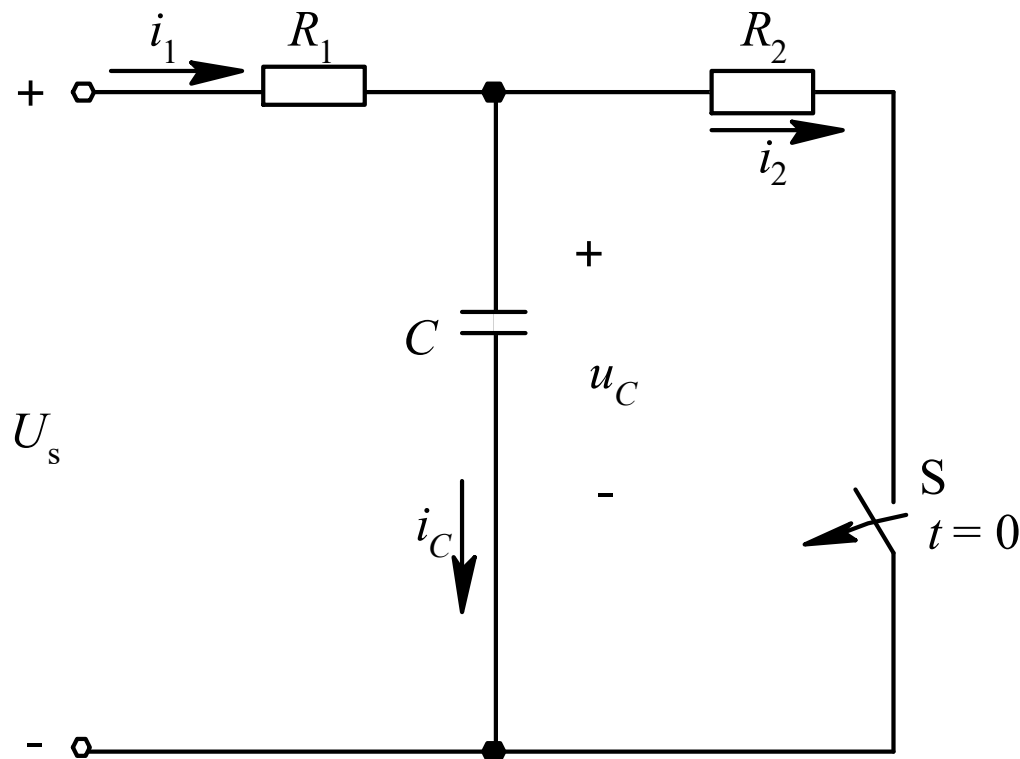


图8.21 例 8.7图

例8.7（二）

解 选定各电流电压的参考方向如图所示。
因为换路前电容上电流 $i_C(0_-)=0$, 故有

$$\begin{aligned} i_1(0_-) &= i_2(0_-) = \frac{U_s}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{20}{10^3 + 10^3} \\ &= 10 \times 10^{-3} A = 10mA \end{aligned}$$

换路前电容上电压为

$$u_C(0_-) = i_2(0_-)R_2 = 10 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^3 = 10V$$

即 $U_0=10V$ 。

例8.7 (三)

由于 $U_0 < U_s$, 所以换路后电容将继续充电, 其充电时间常数为

$$\tau = R_1 C = 1 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6} = 10^{-3} s = 1 ms$$

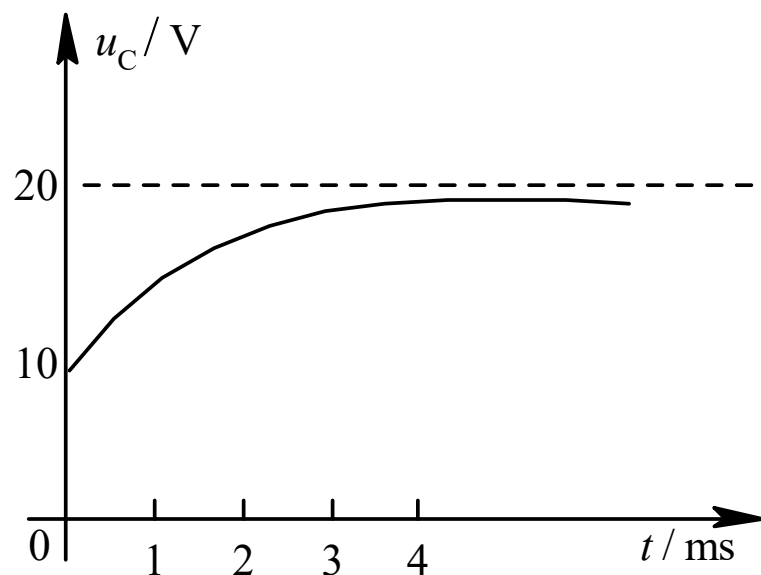
将上述数据代入式(8.26), (8.27), 得

$$u_C = U_s + (U_0 - U_s)e^{-\frac{t}{\tau}} = 20 + (10 - 20)e^{-\frac{t}{10^{-3}}} = 20 - 10e^{-1000t} V$$

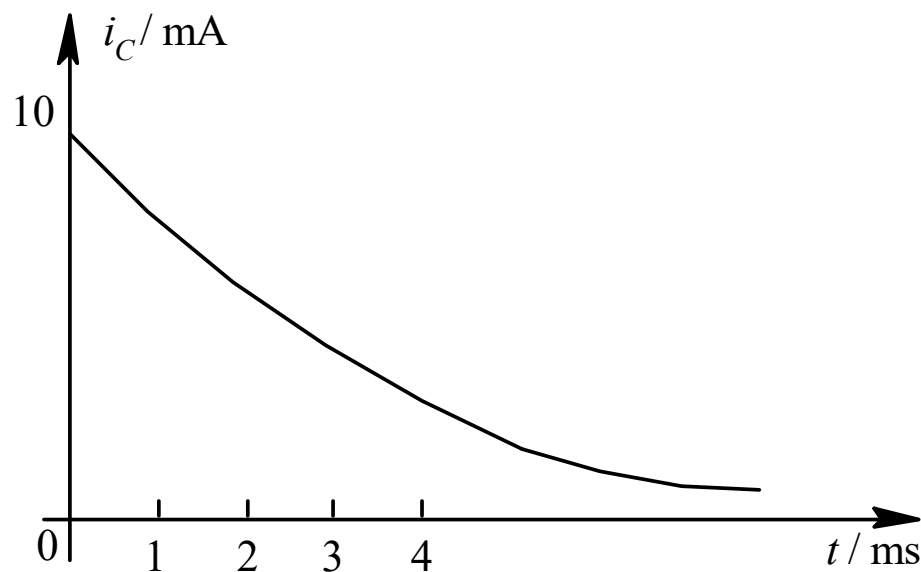
$$i_C = \frac{U_s - U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{20 - 10}{1000} e^{-\frac{t}{10^{-3}}} = 0.01e^{-1000t} A = 10e^{-1000t} mA$$

例8.7（四）

u_C, i_C 随时间的变化曲线如图8.22所示。



(a)

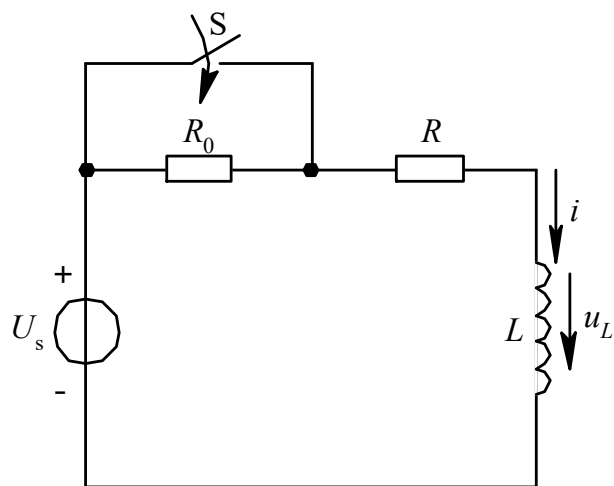


(b)

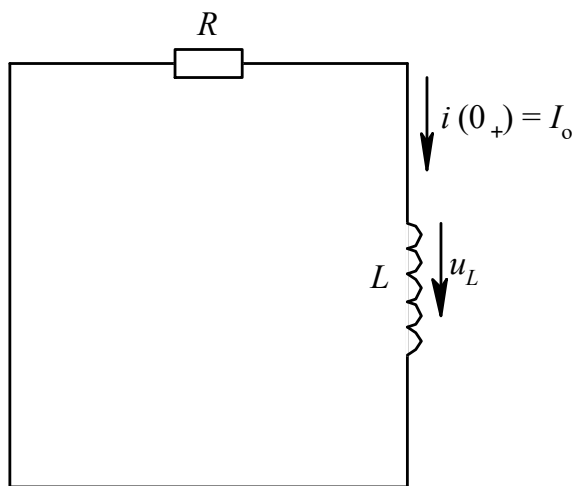
图8.22 例8.7 u_C 、 i_C 随时间变化曲线

例8.8 (一)

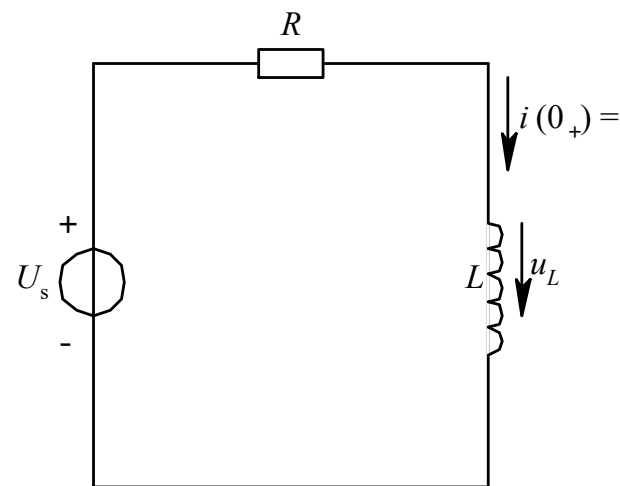
如图8.23(a)所示电路, 已知 $U_s=100\text{V}$, $R_0=150\Omega$, $R=50\Omega$, $L=2\text{H}$, 在开关S闭合前电路已处于稳态, $t=0$ 时将开关S闭合, 求开关闭合后电流 i 和电压 U_L 的变化规律。



(a)



(b)



(c)

图8.23 例8.8图

(a) 电路图; (b) 零输入; (c) 零状态

例8.8 (二)

解法1 全响应=稳态分量+暂态分量
开关S 闭合前电路已处于稳态, 故有

$$i(0_-) = I_0 = \frac{U_s}{R_0 + R} = \frac{100}{150 + 150} = 0.5A$$

$$u_L(0_-) = 0$$

当开关S 闭合后, R_0 被短路, 其时间常数为

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2}{50} = 0.04s$$

电流的稳态分量为

$$i' = \frac{U_s}{R} = \frac{100}{50} = 2A$$

例8.8 (三)

电流的暂态分量为 $i'' = Ae^{-\frac{t}{\tau}} = Ae^{-25t}$

全响应为 $i(t) = i' + i'' = 2 + Ae^{-25t}$

由初始条件和换路定律知 $i(0_+) = i(0_-) = 0.5A$

故 $0.5 = 2 + Ae^{-25t} \Big|_{t=0}$

即 $0.5 = 2 + A, A = -1.5$

所以 $i(t) = 2 - 1.5e^{-25t} A$

$$u_L = L \frac{di}{dt} = 2 \frac{d}{dt} (2 - 1.5e^{-25t}) = 75e^{-25t} V$$

例8.8 (四)

解法2 全响应=零输入响应+零状态响应

电流的零输入响应如图8.23 (b)所示, $i(0_+)=I_0=0.5\text{A}$ 。于是

$$i = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = 0.5e^{-25t} \text{ A}$$

电流的零状态响应如图8.23 (c)所示, $i(0_+)=0$ 。所以

$$i'' = \frac{U_s}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 2 - 2e^{-25t} \text{ A}$$

全响应 $i = i' + i'' = 0.5e^{-25t} + 2 - 2e^{-25t} = 2 - 1.5e^{-25t} \text{ A}$

$$u_L = L \frac{di}{dt} = 2 \frac{d}{dt} (2 - 1.5e^{-25t}) = 75e^{-25t} \text{ V}$$

教学方法

结合实际讲解本节

思考题

1、如图示8.24所示电路，已知 $R_1=10\Omega$ ， $R_2=20\Omega$ ， $R_3=10\Omega$ ， $L=0.5\text{H}$ ， $t=0$ 时开关S 闭合，开关闭合前电路处于稳态，试求电感上电流和电压的变化规律。

2、如图8.25所示电路，已知 $R_1=10\Omega$ ， $R_2=40\Omega$ ， $R_3=10\Omega$ ， $C=0.2\text{F}$ ，换路前电路处于稳态，求换路后 i_c 和 u_c 。

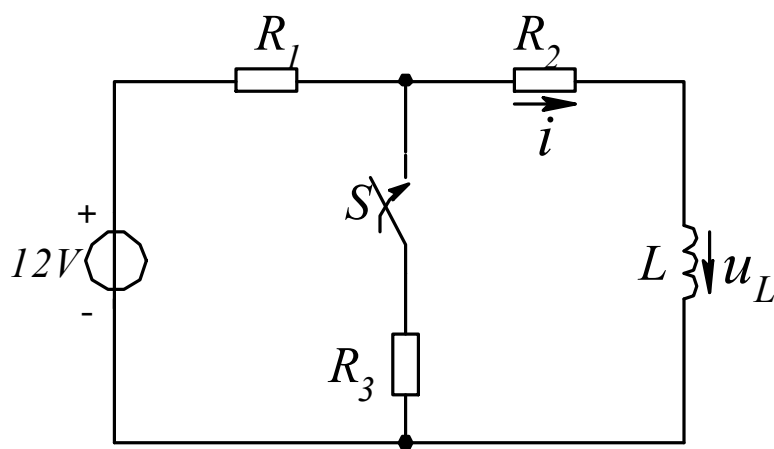


图8.24 思考题 1 图

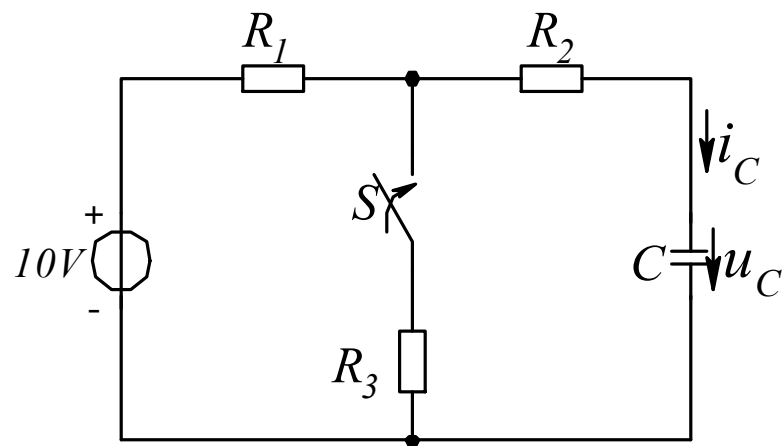


图8.25 思考题 2 图

8.5 一阶电路的三要素法

目的与要求

会用三要素法分析一阶电路。

重点与难点

重点：三要素法

难点：三要素法

概念

稳态值, 初始值和时间常数, 我们称这三个量为一阶电路的三要素, 由三要素可以直接写出一阶电路过渡过程的解。此方法叫三要素法。

设 $f(0_+)$ 表示电压或电流的初始值, $f(\infty)$ 表示电压或电流的新稳态值, τ 表示电路的时间常数, $f(t)$ 表示要求解的电压或电流。这样, 电路的全响应表达式为

$$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (8.30)$$

表 8.2 经典法与三要素法求解一阶电路比较表（一）

名 称	微分方程之解	三要素表示法
RC电路的零输入响应	$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} (\tau = RC)$ $i = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$	$f(t) = f(0_+) e^{-\frac{t}{\tau}}$
直流激励下RC电路的零状态响应	$u_C = U_s e(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ $i = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$	$f(t) = f(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ $f(t) = f(0_+) e^{-\frac{t}{\tau}}$

表 8.2 经典法与三要素法求解一阶电路比较表（二）

名 称	微分方程之解	三要素表示法
直流激励下RL电路的零状态响应	$i = I(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})(\tau = \frac{L}{R})$ $u_L = U_s e^{-\frac{t}{\tau}}$	$f(t) = f(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ $f(t) = f(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}}$
RL电路的零输入响应	$i = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ $u_L = -RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$	$f(t) = f(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}}$
一阶RC电路的全响应	$u_C = U_s + (U_0 - U_s)e^{-\frac{t}{\tau}}$ $i = \frac{U_s - U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$	$f(t) = f(\infty) + [f(0_+) - f(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}}$ $f(t) = f(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}}$

归纳出用三要素法解题的一般步骤

(1) 画出换路前 ($t=0_-$) 的等效电路。求出电容电压 $u_C(0_-)$ 或电感电流 $i_L(0_-)$ 。

(2) 根据换路定律 $u_C(0_+)=u_C(0_-)$, $i_L(0_+)=i_L(0_-)$, 画出换路瞬间 ($t=0_+$) 时的等效电路, 求出响应电流或电压的初始值 $i(0_+)$ 或 $u(0_+)$, 即 $f(0_+)$ 。

(3) 画出 $t=\infty$ 时的稳态等效电路 (稳态时电容相当于开路, 电感相当于短路), 求出稳态下响应电流或电压的稳态值 $i(\infty)$ 或 $u(\infty)$, 即 $f(\infty)$ 。

(4) 求出电路的时间常数 τ 。 $\tau=RC$ 或 L/R , 其中 R 值是换路后断开储能元件 C 或 L , 由储能元件两端看进去, 用戴维南或诺顿等效电路求得的等效内阻。

(5) 根据所求得的三要素, 代入式(8.30)即可得响应电流或电压的动态过程表达式。

例 8.9 (一)

如图8.26 (a) 所示电路, 已知 $R_1=100\Omega$, $R_2=400\Omega$, $C=125\mu\text{F}$, $U_s=200\text{V}$, 在换路前电容有电压 $u_C(0_-)=50\text{V}$ 。求S闭合后电容电压和电流的变化规律。

解 用三要素法求解:

(1) 画 $t=0_-$ 时的等效电路, 如图8.26(b)所示。由题意已知 $u_C(0_-)=50\text{V}$ 。

(2) 画 $t=0_+$ 时的等效电路, 如图8.26 (c)所示。由换路定律可得 $u_C(0_+)=u_C(0_-)=50\text{V}$ 。

(3) 画 $t=\infty$ 时的等效电路, 如图8.26(d)所示。

$$u_C(\infty) = \frac{U_s}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{200}{100 + 400} \times 400 = 160\text{V}$$

例 8.9 (二)

(4) 求电路时间常数 τ

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 400}{100 + 400} = 80 \Omega$$

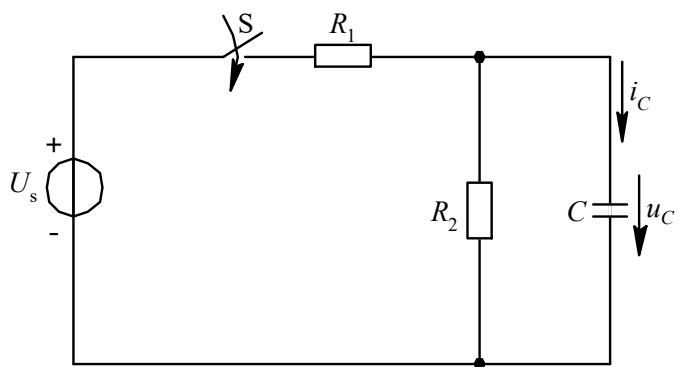
$$\tau = R_0 C = 80 \times 125 \times 10^{-6} = 0.01 s$$

(5) 由公式(8.30)得

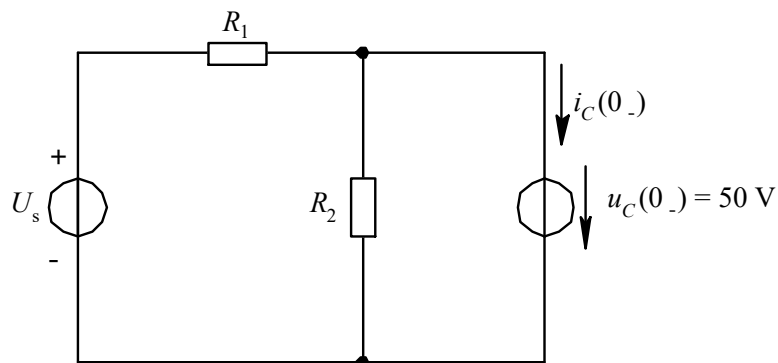
$$\begin{aligned} u_C(t) &= u_C(\infty) + [u_C(0_+) - u_C(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 160 + (50 - 160)e^{-\frac{t}{0.01}} = 160 - 110e^{-100t} V \end{aligned}$$

$$i_C(t) = C \frac{du_C(t)}{dt} = 1.375e^{-100t} A$$

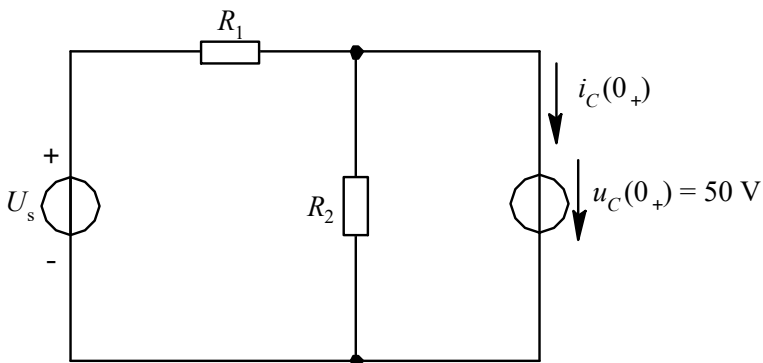
例 8.9 (三)



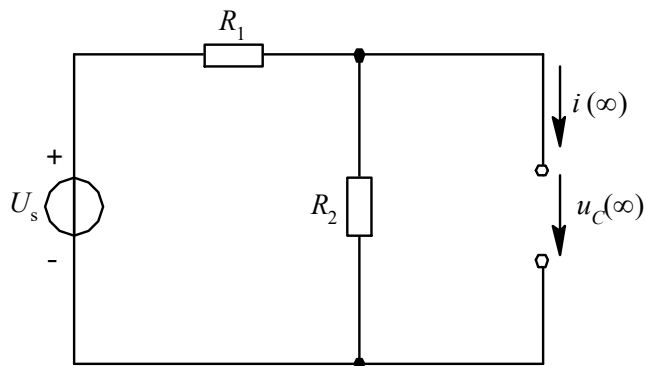
(a)



(b)



(c)



(d)

图 8.26 例 8.9图

例 8.9（四）

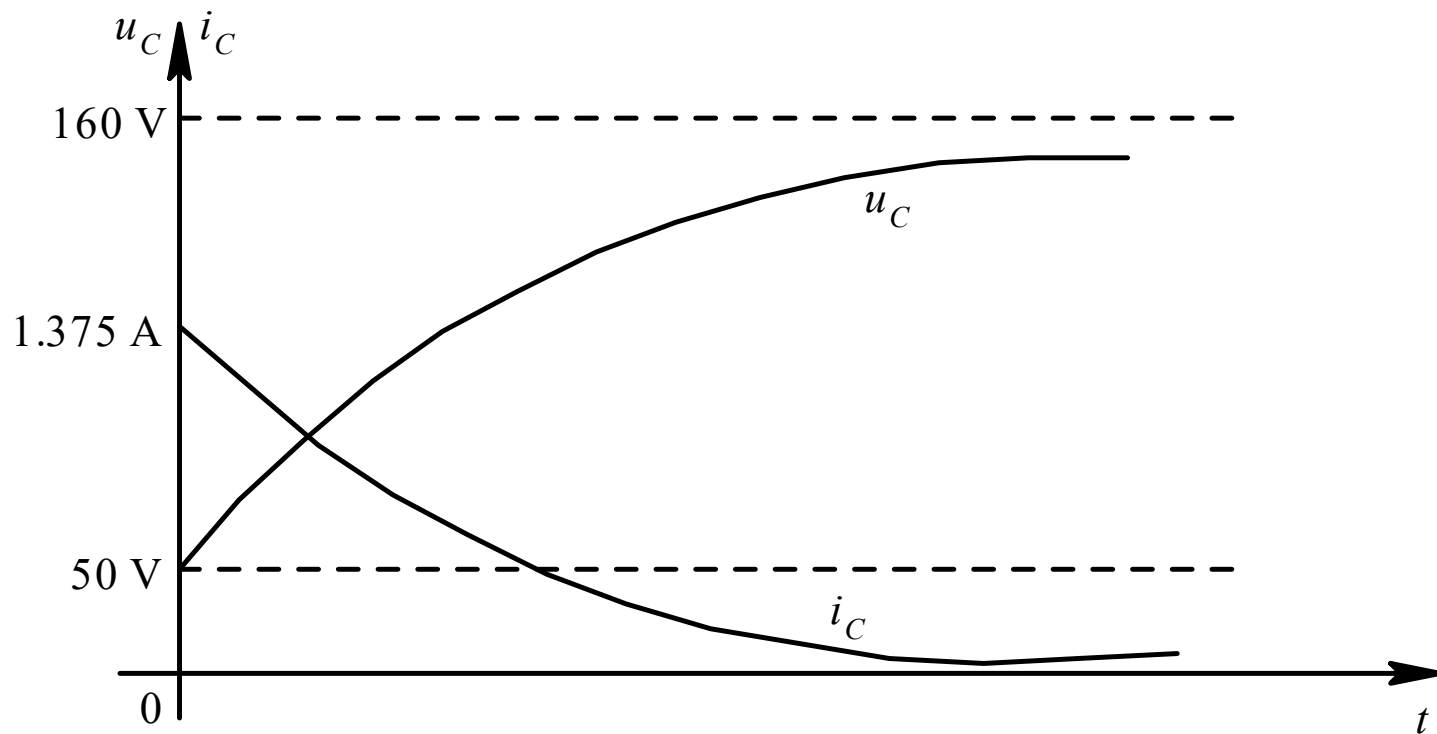


图8.27 例8.9波形图

例8.10 (一)

电路如图8.28所示, 已知 $R_1=1\Omega$, $R_2=1\Omega$, $R_3=2\Omega$, $L=3\text{H}$, $t=0$ 时开关由 a 拨向 b , 试求 i_L 和 i 的表达式, 并绘出波形图。(假定换路前电路已处于稳态。)

解 (1) 画出 $t=0_-$ 时的等效电路, 如图8.28(b)所示。因换路前电路已处于稳态, 故电感 L 相当于短路, 于是

例8.10 (二)

$$i_L(0_-) = \frac{U_{AB}}{R_2}$$

$$U_{AB} = (-3) \times \frac{\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = (-3) \times \frac{\frac{1 \times 2}{1+2}}{1 + \frac{1 \times 2}{1+2}} = -\frac{6}{5} V$$

$$i_L(0_-) = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{-\frac{6}{5}}{1} = -\frac{6}{5} A$$

例8.10 (三)

(2) 由换路定律 $i_L(0_+) = i(0_-)$ 得 $i_L(0_+) = -\frac{6}{5}A$

(3) 画出 $t=0_+$ 时的等效电路, 如图8.28(c)所示, 求 $i(0_+)$ 。对3V电源 R_1 、 R_3 回路有

$$3 = i(0_+)R_1 + i_2(0_+)R_3$$

对节点A有
$$i(0_+) = i_2(0_+) + i_L(0_+)$$

将上式代入回路方程, 得 $3 = i(0_+)R_1 + [i(0_+) - i_L(0_+)]R_3$

即
$$3 = i(0_+) \times 1 + [i(0_+) - (-\frac{6}{5})] \times 2$$

$$i(0_+) = 0.2A$$

例8.10（四）

(4) 画出 $t=\infty$ 时的等效电路，如图8.28(d)所示，求 $i_L(\infty)$, $i(\infty)$

。

$$i(\infty) = \frac{3}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{3}{1 + \frac{1 \times 2}{1 + 2}} = 1.8 A$$

$$i_L(\infty) = i(\infty) \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 1.8 \times \frac{2}{1 + 2} = 1.2 A$$

例8.10 (五)

(5) 画出电感开路时求等效内阻的电路，如图8.28(e)所示。

$$R_0 = R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_3} = 1 + \frac{1 \times 2}{1 + 2} = \frac{5}{3} \Omega$$

于是有

$$\tau = \frac{L}{R_0} = \frac{3}{\frac{5}{3}} = \frac{9}{5} = 1.8s$$

例8.10 (六)

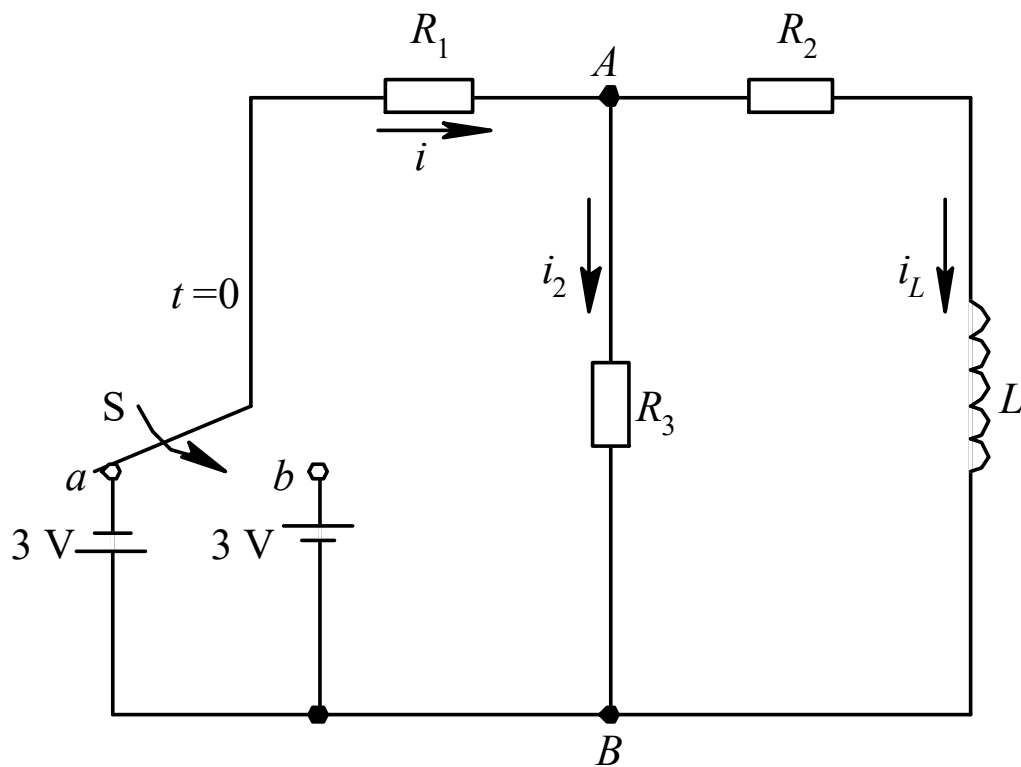
(6) 代入三要素法表达式, 得

$$\begin{aligned} i(t) &= i(\infty) + [i(0_+) - i(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} = 1.8 + (0.2 - 1.8)e^{-\frac{t}{1.8}} \\ &= 1.8 - 1.6e^{-\frac{t}{1.8}} A \end{aligned}$$

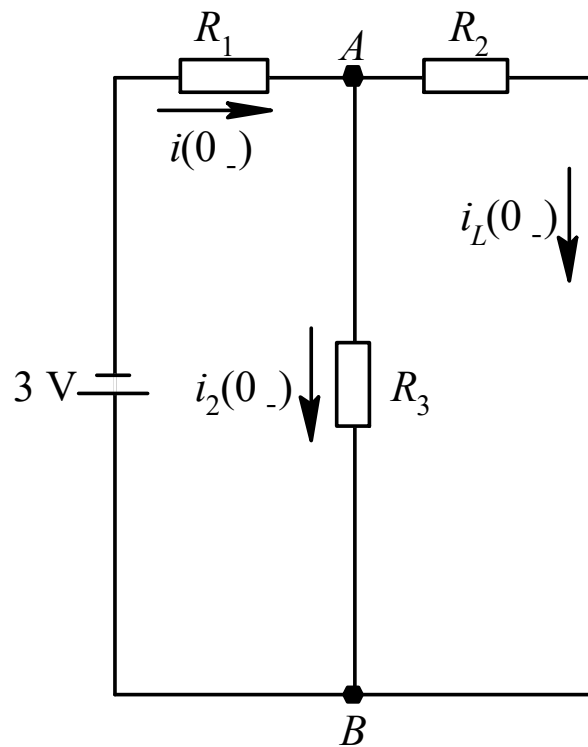
$$\begin{aligned} i_L(t) &= i_L(\infty) + [i_L(0_+) - i_L(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} \\ &= 1.2 + (-1.2 - 1.2)e^{-\frac{t}{1.8}} \\ &= 1.2 - 2.4e^{-\frac{t}{1.8}} A \end{aligned}$$

例8.10 (七)

画出 $i(t)$, $i_L(t)$ 的波形, 如图8.28(f)所示。

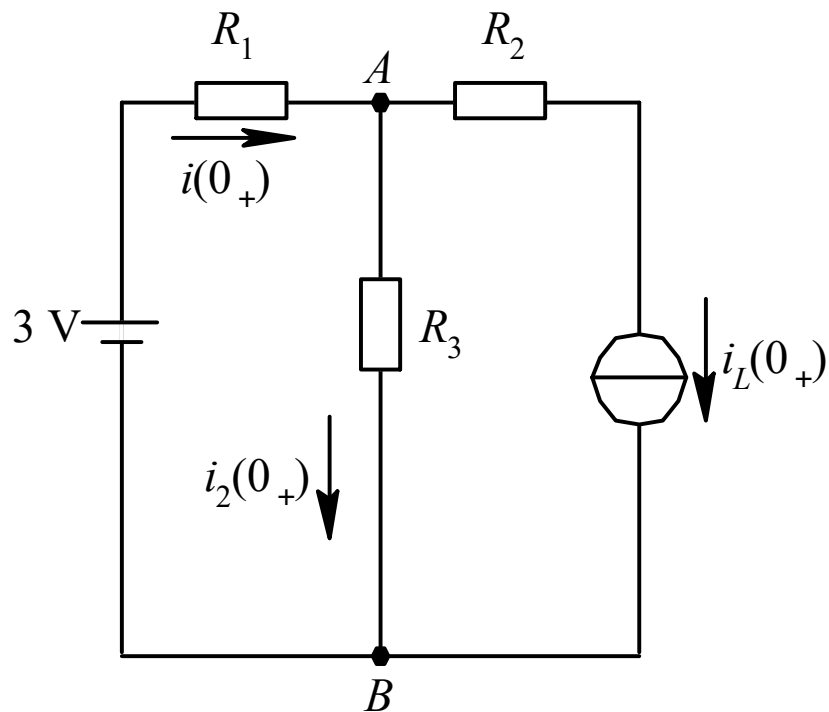


(a)

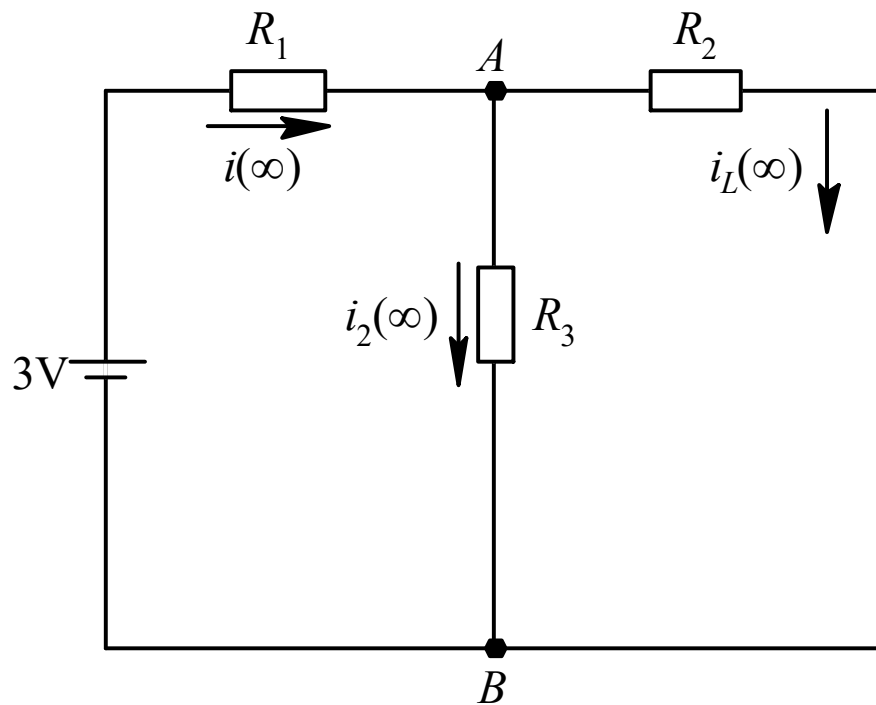


(b)

例8.10 (八)

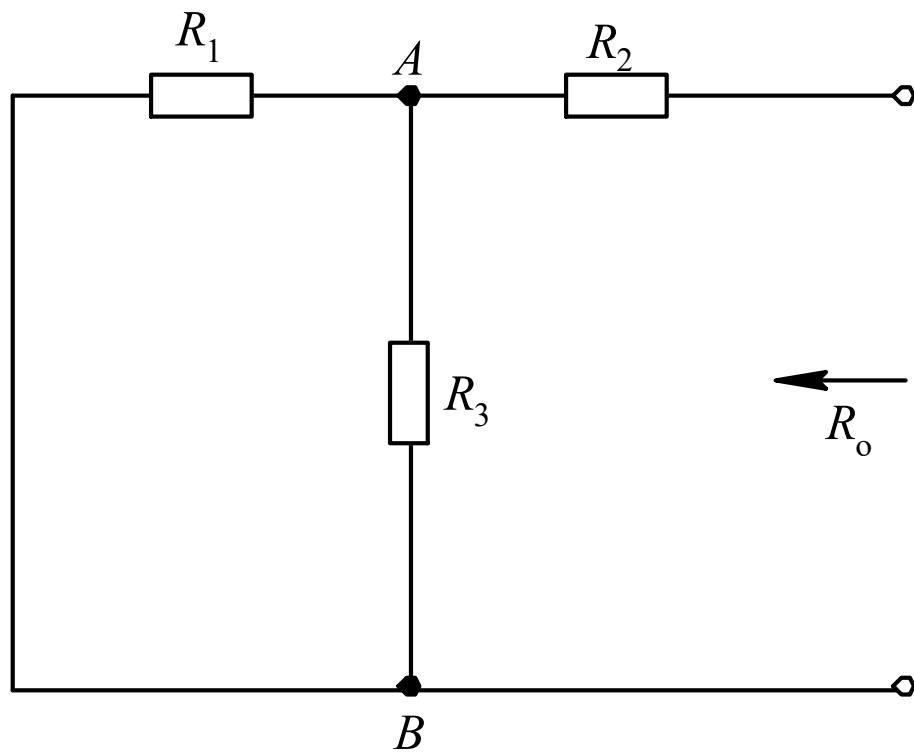


(c)

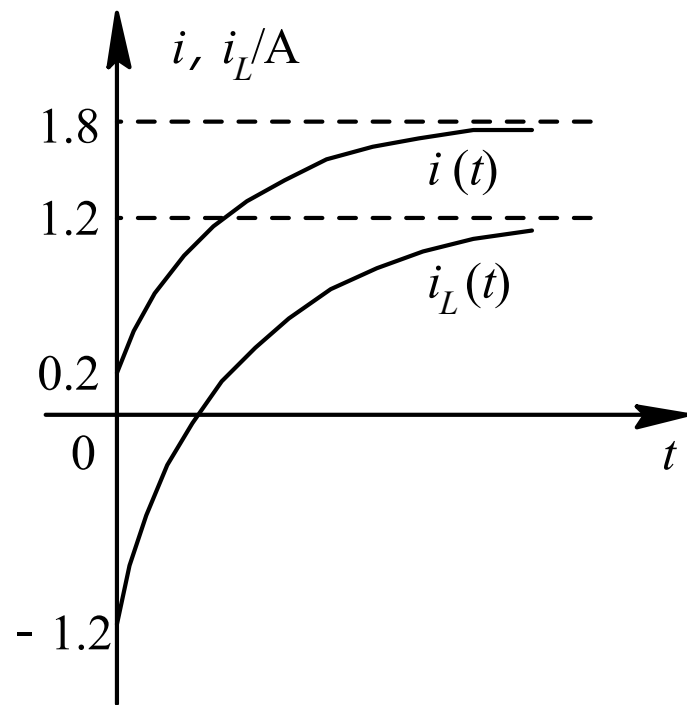


(d)

例8.10 (九)



(e)



(f)

图 8.28 例 8.10 图

教学方法

结合一节电路的零输入响应、零状态响应、和全响应来分析本节内容

思考题（一）

1、图8.29所示电路中，开关S闭合前电路达到稳态，已知 $U_S=36\text{V}$ ， $R_1=8\Omega$ ， $R_2=12\Omega$ ， $L=0.4\text{H}$ ，求开关闭合后电感电流 i_L 及电压 u_L 的解析式。

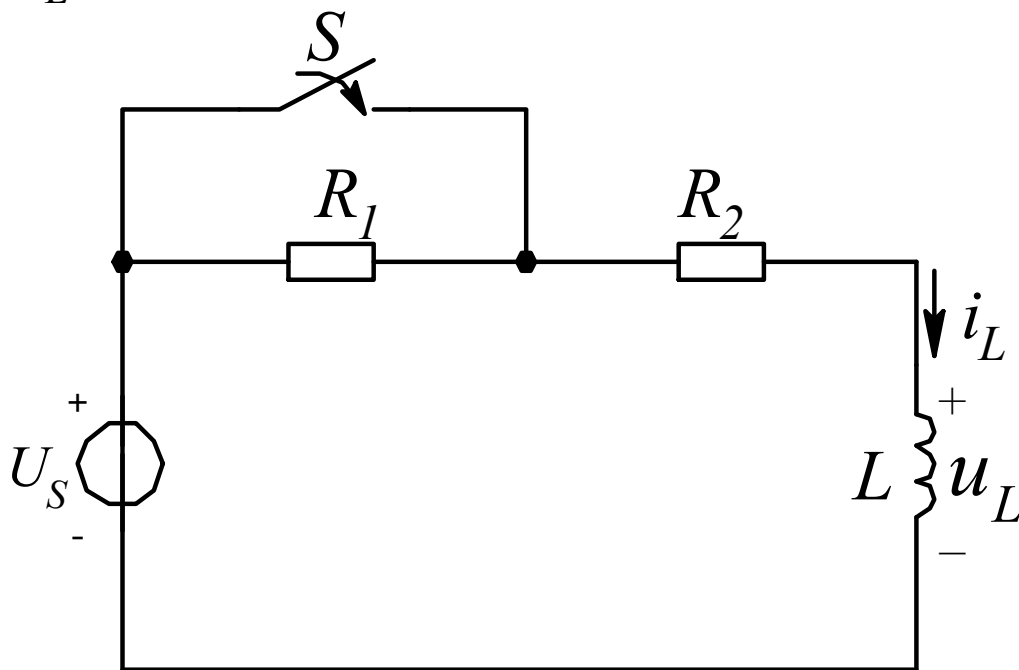


图8.29 思考题 1 图

思考题（二）

2、如图8.30所示电路,在开关S打开前电路处于稳态,已知 $R_1=10\Omega$, $R_2=10\Omega$, $C=2F$, 求开关打开后 i_1 、 i_2 和 i_3 的解析式。

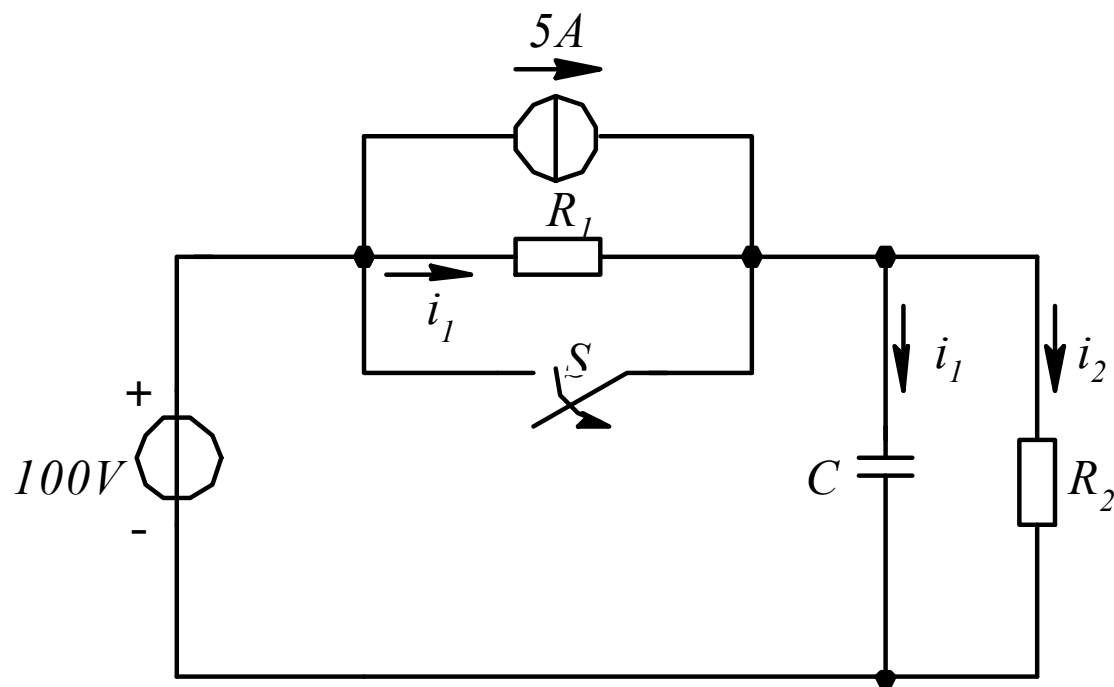
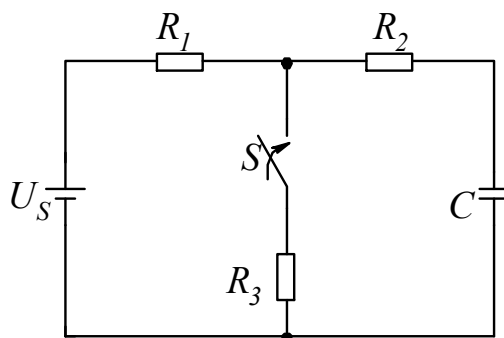


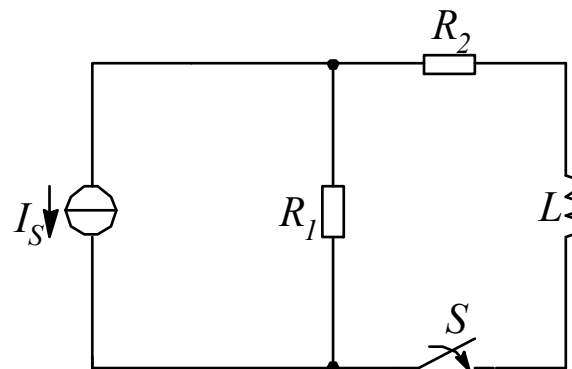
图8.30 思考题 2 图

思考题（三）

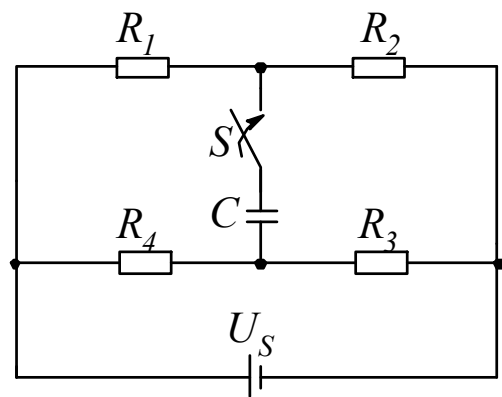
3、试求图8.31所示各电路的时间常数。



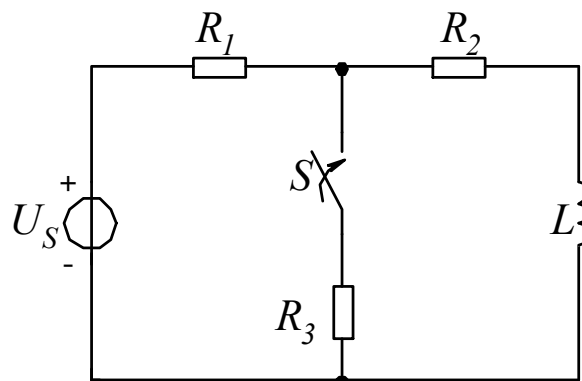
(a)



(b)



(c)



(d)

图 8.31 思考题 3 图

***8.6 RLC 串联电路 的零输入响应**

目的与要求

会分析二阶电路的零输入响应。

重点与难点

重点：二阶电路的零输入响应。

难点：二阶电路的零输入响应。

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应 (一)

二阶电路：对于含有两个独立储能元件的电路叫二阶 电路。

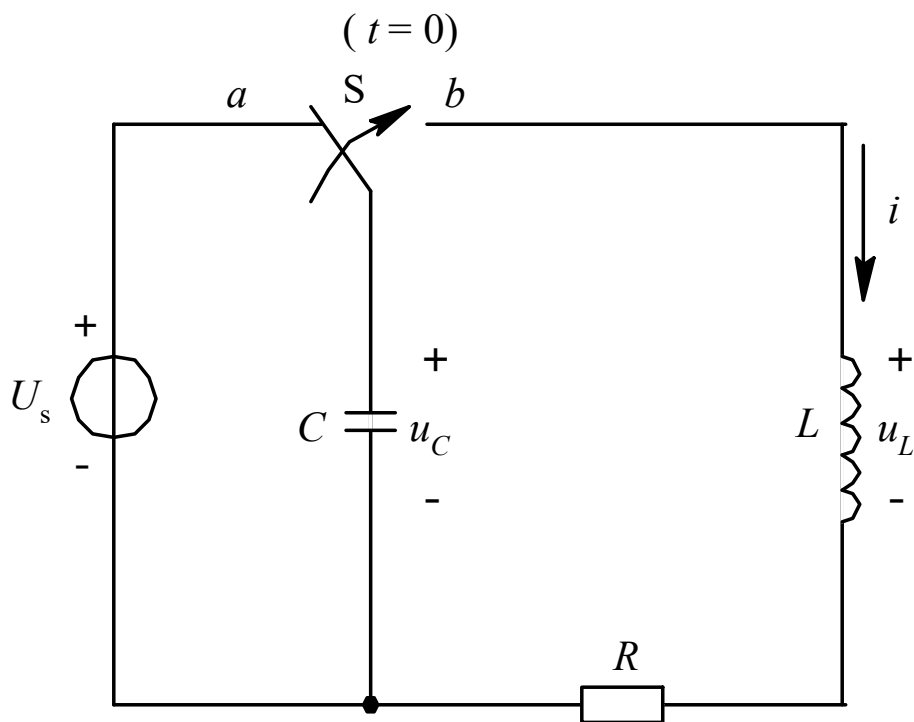


图8.32 RLC 串联电路的过渡过程

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应 (二)

$$u_C = Ri + L \frac{di}{dt}$$

$$\frac{du_C}{dt} = R \frac{di}{dt} + L \frac{d^2 i}{dt^2}$$

又由于 $i = -C(du_C/dt)$, 即 $\frac{du_C}{dt} = -\frac{i}{C}$

代入上式得 $\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（三）

为简化表达式, 令 $\frac{R}{2L} = \delta, \frac{1}{LC} = \omega_0^2$, 并且称 δ 为衰减系数,

ω_0 为回路谐振角频率, 于是有

$$\frac{d^2 i}{dt^2} = p \times Ae^{pt}, \frac{d^2 i}{dt^2} = p^2 \times Ae^{pt}$$

$$p^2 + 2\delta p + \omega_0^2 = 0$$

$$p_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（四）

又令 $a = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$, 则有

$$\alpha = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}, \quad p_{1,2} = -\delta \pm \alpha$$

$$i = Ae^{p_1 t} + e^{p_2 t} \quad (8.33)$$

$$U_s = L \frac{di}{dt} \Big|_{t=0} \quad \text{或} \quad \frac{di}{dt} \Big|_{t=0} = \frac{U_s}{L}$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（五）

$$\begin{cases} 0 = A + B \\ \frac{U_s}{L} = p_1 A + p_2 B \end{cases} \quad \begin{cases} A = \frac{U_s}{2\alpha L} \\ B = -\frac{U_s}{2\alpha L} \end{cases}$$

再将 A, B 代入式(8.33)得

$$i = \frac{U_s}{2\alpha L} e^{p_1 t} - \frac{U_s}{2\alpha L} e^{p_2 t}$$
$$i = \frac{U_s}{2\alpha L} e^{-\delta t} (e^{\alpha t} - e^{-\alpha t})$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（六）

$$\alpha = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

由于 α 的取值不同, 则会有三种情况:

$$\delta > \omega_0, \quad \delta = \omega_0, \quad \delta < \omega_0$$

或

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}, \quad R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（七）

下面分三种情况进行讨论

1) $R > 2\sqrt{L/C}$ (或 $\delta > \omega_0$) 非振荡放电过程

$$i = \frac{U_s}{\alpha L} e^{-\delta t} \left(\frac{e^{\alpha t} - e^{-\alpha t}}{2} \right)$$

$$\left(\frac{e^{\alpha t} - e^{-\alpha t}}{2} \right) = sh \alpha t$$

$$i = \frac{U_s}{\alpha L} e^{-\delta t} \cdot sh \alpha t$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应 (八)

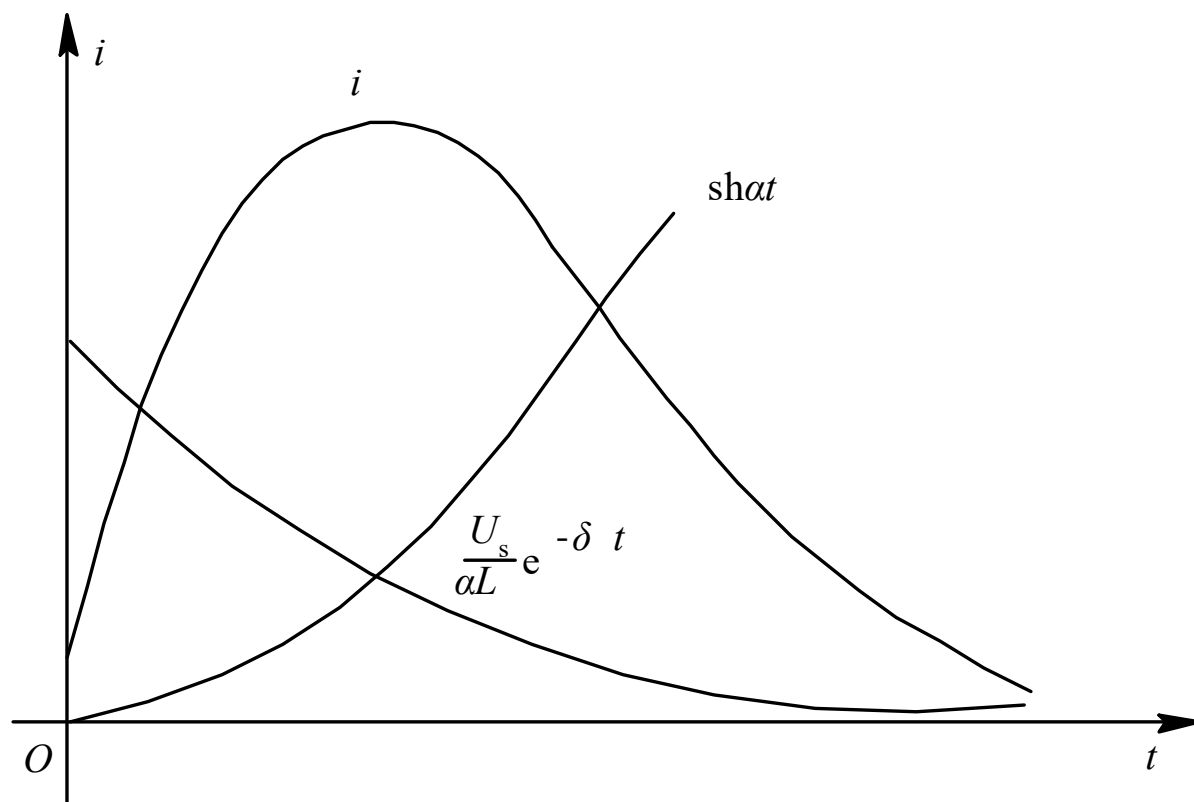


图 8.33 过阻尼放电情况曲线

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（九）

2) $R < 2\sqrt{L/C}$ (或 $\delta < \omega_0$) 振荡放电过程

$$p_{1,2} = -\delta \pm j\alpha$$

因为 $\alpha = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$, 若令 $\omega = \sqrt{\delta_0^2 - \delta^2}$, 则

$$\alpha = \sqrt{(-1) \cdot (\omega_0^2 - \delta^2)} = j\omega$$

$$i = \frac{U_s}{j\omega L} e^{-\delta t} \cdot \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2} = \frac{U_s}{\omega L} e^{-\delta t} \left(\frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} \right)$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（十）

由于
$$\frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} = \sin \omega t$$

所以
$$i = \frac{U_s}{\omega L} e^{-\delta t} \cdot \sin \omega t$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（十一）

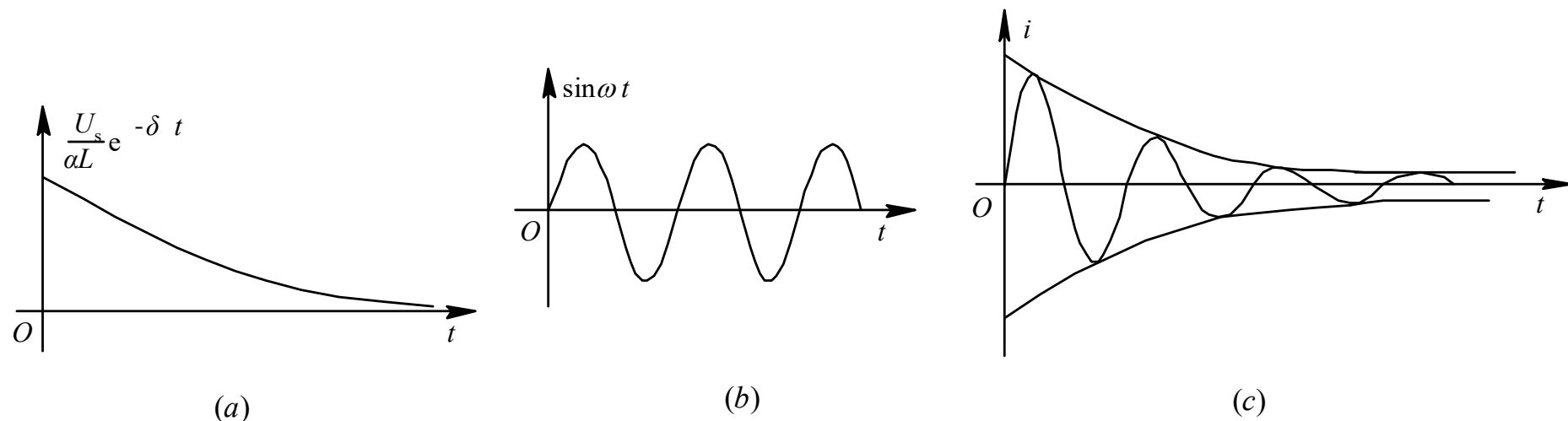


图8.34 欠阻尼振荡放电曲线

若 $\delta \leq \omega_0$, 即 $R \ll 2\sqrt{L/C}$ 时, $\delta^2 \ll \omega_0^2$

$$\omega \approx \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ 或 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应 (十二)

3) $R = 2\sqrt{L/C}$ (或 $\delta = \omega_0$) 临界情况
在这种情况下, $p_1=p_2=-\delta$, 得到重根, 有

$$i=e^{-\delta t}(C_1t+C_2)$$

由初始条件 $t=0$ 时 $i=0$, 得 $C_2=0$ 。

又由 $\frac{di}{dt}\bigg|_{t=0} = \frac{U_s}{L}$ 得

$$\frac{U_s}{L} = \left[-\delta e^{-\delta t} (C_1t + C_2) + C_1 e^{-\delta t} \right] \bigg|_{t=0}$$

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（十三）

即

$$\frac{U_s}{L} = C_1$$

所以回路方程为
$$i = \frac{U_s}{L} e^{-\delta t} \cdot t$$

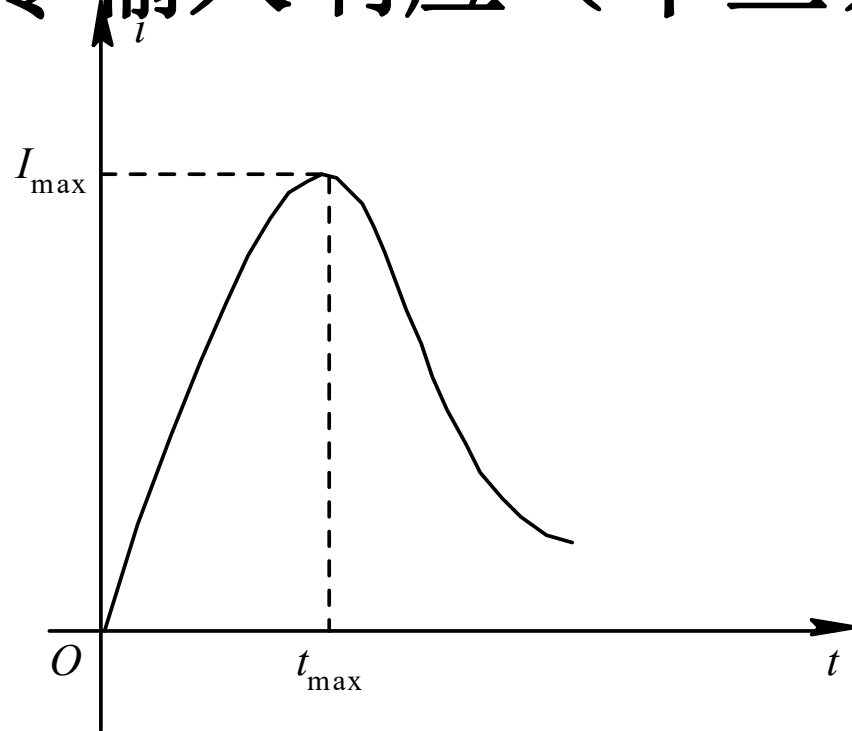


图8.35 临界阻尼情况电流波形

*8.6 RLC 串联电路的零输入响应（十四）

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{U_s}{L} t e^{-\delta t} \right) = \frac{U_s}{L} (e^{-\delta t} - \delta t e^{-\delta t}) = 0$$

解得 $t_{\max} = \frac{1}{\delta}$

$$I_{\max} = \frac{U_s}{L} \times e^{-1} \times \frac{1}{\delta}$$

由于 $\delta = \frac{R}{2L}$, $e^{-1} = 0.368$, 故

$$I_{\max} = 0.736 \frac{U_s}{R}$$

例8.11 (一)

如图8.32所示电路, 已知 $L=50\text{mH}$, $C=100\text{F}$, $U_s=1000\text{V}$, 求

- (1) 电容放电为非振荡放电时, R 应为多大?
- (2) $R=0.4\Omega$ 时, 电路的振荡频率和衰减系数 δ 。
- (3) 电路处于临界状态时的最大电流 $I_{\max}$ 。

解 (1) 非振荡放电状态, 就是过阻尼放电状态, 此时由已知条件得

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}} = 2\sqrt{\frac{50 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-6}}} = 44.7\Omega$$

可见, 要使电容处于过阻尼放电状态, R 必须大于 44.7Ω 。

例8.11 (二)

(2) 当 $R=0.4\Omega$ 时, $R < 2\sqrt{L/C} = 44.7\Omega$, 为振荡放电状态, 由于 $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}$, 其中

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{50 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-6}}} = 447.21 / s$$

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{0.4}{2 \times 50 \times 10^{-3}} = 41 / s$$

因 $\delta \ll \omega_0$, 所以 $\omega \approx \omega_0 = 447.2 \text{ 1/s}$

例8.11 (三)

(3) 电路处于临界放电状态, 即临界阻尼状态, $R=44.7\Omega$ 。

$$\text{由 } I_{\max} = 0.736 \frac{U_s}{R} \text{ 得 } I_{\max} = 0.736 \times \frac{1000}{44.7} = 16.5 A$$

教学方法

讲授法

思考题

下图所示电路中，当S接通时，图中所示各物理量 u_C 、 u_L 、 i_C 哪几个可以跃变？哪几个不可以跃变？为什么？

