第8章

一阶电路的暂态分析

8.2 零输入响应　Zero-input response

8.3 直流电源激励下的响应

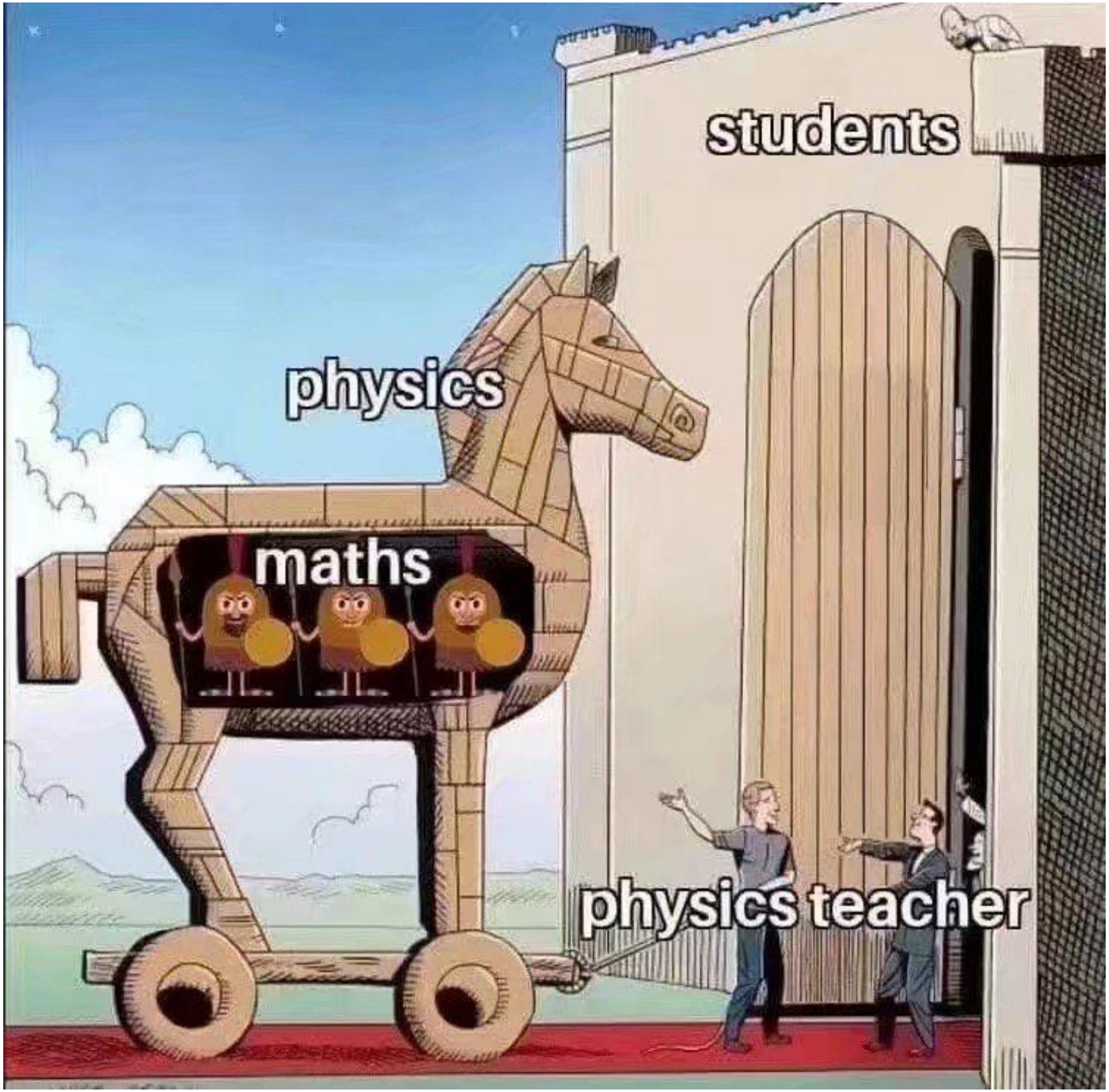
8.3.1 直流电源激励的RC电路

8.3.2 直流电源激励的RL电路

8.3.3 RC电路的方波响应

8.4 正弦电源激励下的RC电路

8.6 线性非时变特性


students
physics
maths
physics teacher

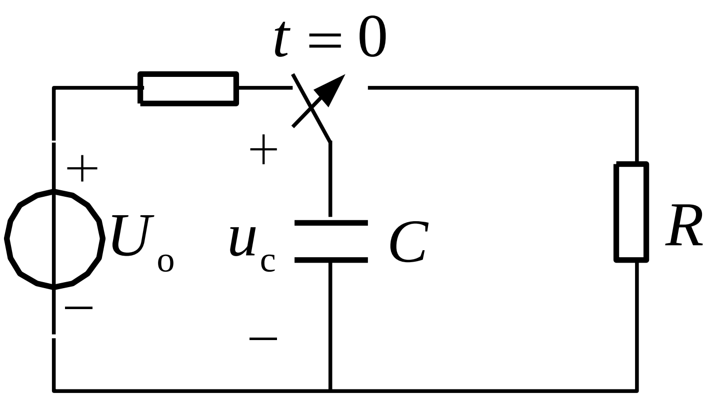
零输入响应 → 换路后外加激励为零，仅由动态元件初始储能产生的电压和电流。

零状态响应 → 动态元件初始能量为零，由$t>0$电路中外加激励作用所产生的响应。

全响应 → 电路的初始状态不为零，同时又有外加激励源作用时电路中产生的响应。

8.2 零输入响应　Zero-input response

1. RC 电路



$$\begin{cases} RC\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}+u_C=0 \qquad t>0 \\ u_C(0_+)=u_C(0_-)=U_0 \end{cases}$$

通解： $u_C=k\mathrm{e}^{st}$

特征方程： $RCs+1=0$

特征根： $s=-\dfrac{1}{RC}$

则 $u_C=k\mathrm{e}^{-\frac{1}{RC}t}$

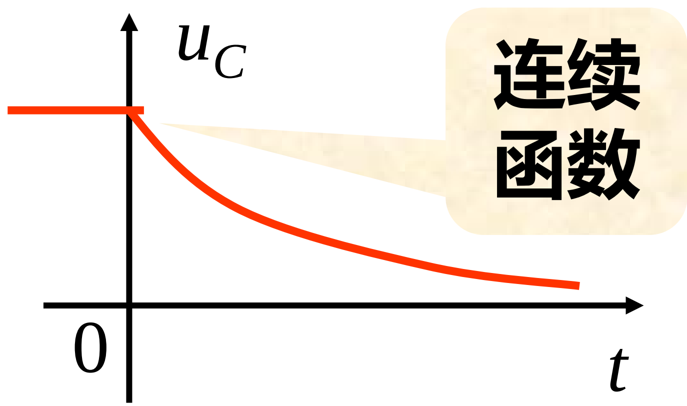
代入初始值： $u_C(0_+)=u_C(0_-)=U_0$　　可得： $k=U_0$

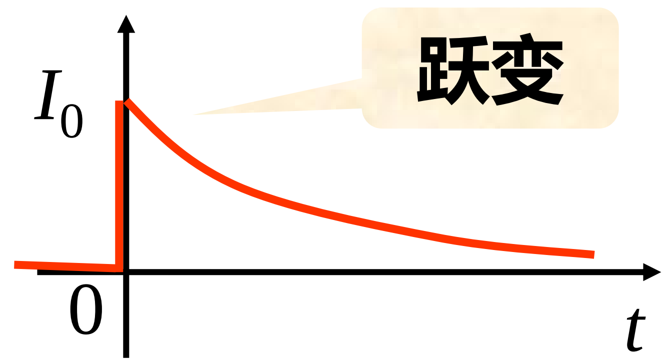
最终可得： $\boxed{u_c=U_o\mathrm{e}^{-\frac{1}{RC}t}}$　　$t>0$

$$\boxed{i=\frac{u_C}{R}=\frac{U_0}{R}e^{-\frac{t}{RC}}=I_0e^{-\frac{t}{RC}}}$$

几点规律：

①电压、电流是随时间按同一指数规律衰减的函数；





②响应的衰减快慢与RC有关;

令 $\tau = RC$, 称τ为一阶电路的时间常数

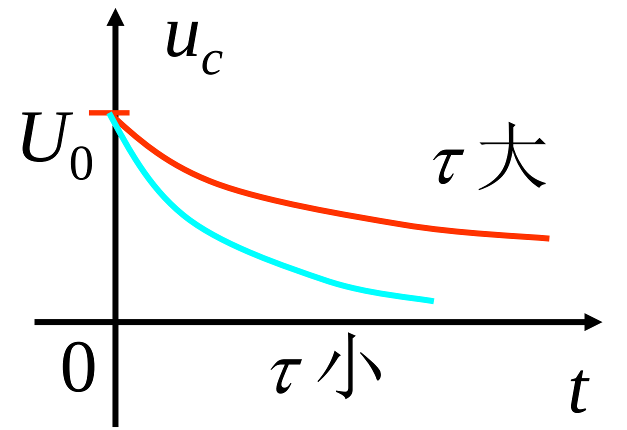
$$[\tau]=[RC]=[\text{欧}]\,[\text{法}]=[\text{欧}]\left[\frac{\text{库}}{\text{伏}}\right]=[\text{欧}]\left[\frac{\text{安秒}}{\text{伏}}\right]=[\text{秒}]$$

$$\tau = RC$$

时间常数τ的大小反映了电路过渡过程时间的长短

τ大→过渡过程时间长

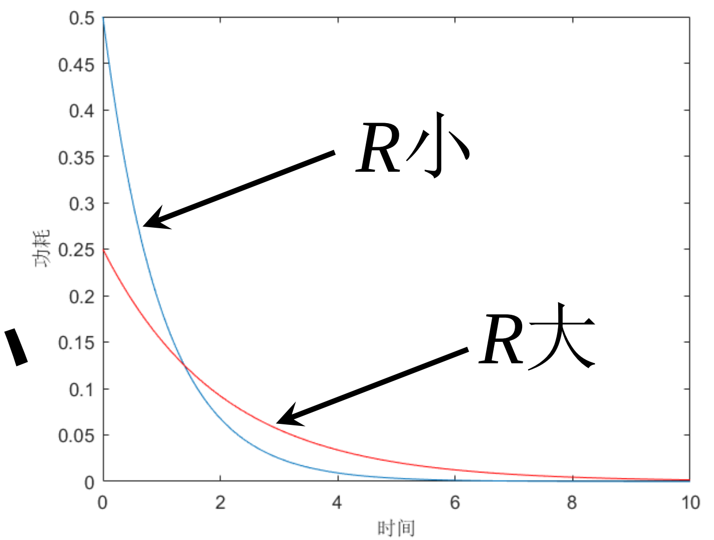
τ小→过渡过程时间短



电压初值一定：

C **大（R一定）** $W=Cu^2/2$ **储能大**

R **大（C一定）** $i=u/R$ **放电电流小**



t	0	τ	2τ	3τ	5τ
$u_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$	U_0	$U_0 e^{-1}$	$U_0 e^{-2}$	$U_0 e^{-3}$	$U_0 e^{-5}$
	U_0	$0.368U_0$	$0.135U_0$	$0.05U_0$	$0.007U_0$

a. τ :电容电压衰减到原来电压36.8%所需的时间。

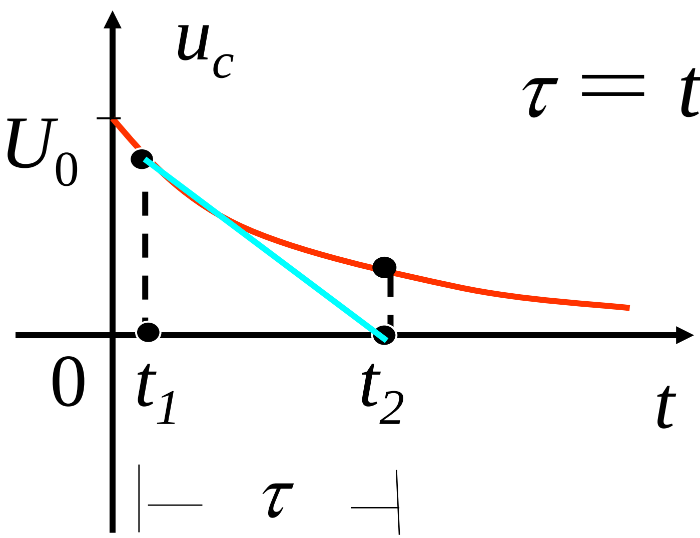
工程上认为, 经过 3τ - 5τ, 过渡过程结束。

b. 时间常数τ的几何意义：

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

t_1时刻曲线的斜率等于

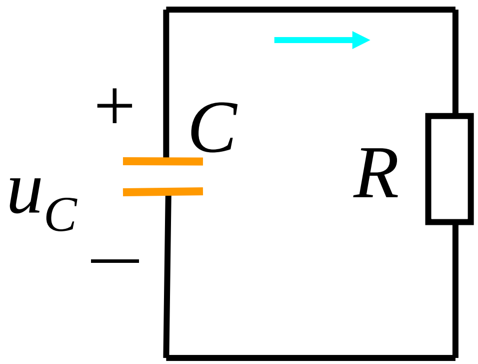
$$\left.\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}\right|_{t_1} = -\frac{U_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}\Big|_{t_1} = -\frac{1}{\tau} u_C(t_1) = \frac{u_C(t_1) - 0}{t_1 - t_2}$$



$$\tau = t_2 - t_1$$

工程上寻找时间常数的方法！

③能量关系



电容不断释放能量，直到全部被电阻吸收消耗完毕.

设 $u_C(0_+)=U_0$

电容放出能量：$\frac{1}{2}CU_0^2$

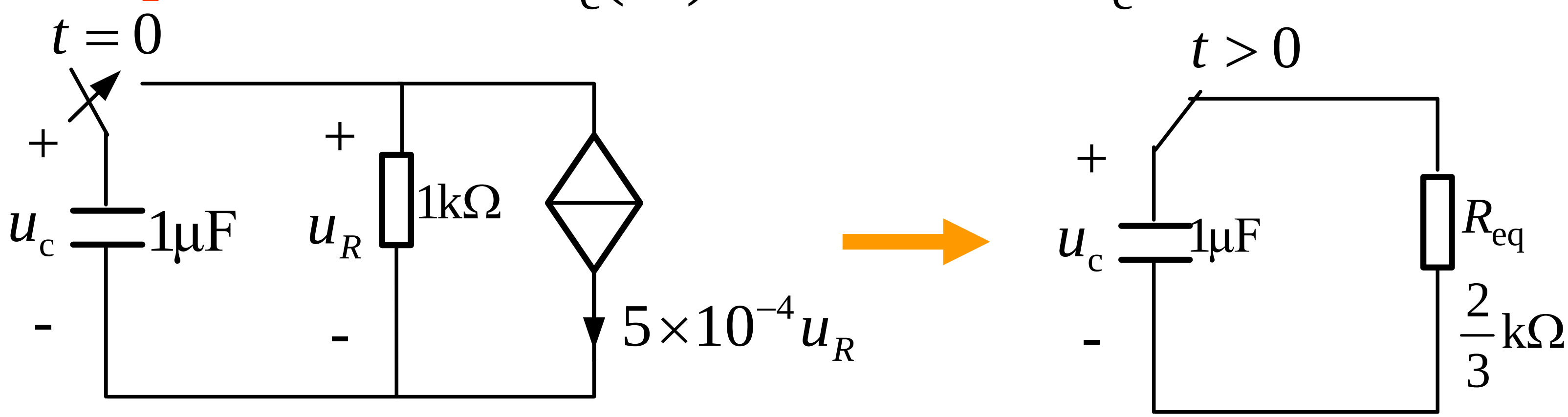
电阻吸收（消耗）能量：

$$W_R=\int_0^\infty i^2R\mathrm{d}t \quad =\int_0^\infty\left(\frac{U_0}{R}e^{-\frac{t}{RC}}\right)^2R\mathrm{d}t$$

$$=\frac{U_0^2}{R}\int_0^\infty e^{-\frac{2t}{RC}}\mathrm{d}t \quad =\frac{U_0^2}{R}\left(-\frac{RC}{2}e^{-\frac{2t}{RC}}\right)\Big|_0^\infty \quad =\frac{1}{2}CU_0^2$$

8.2 零输入响应　Zero-input response

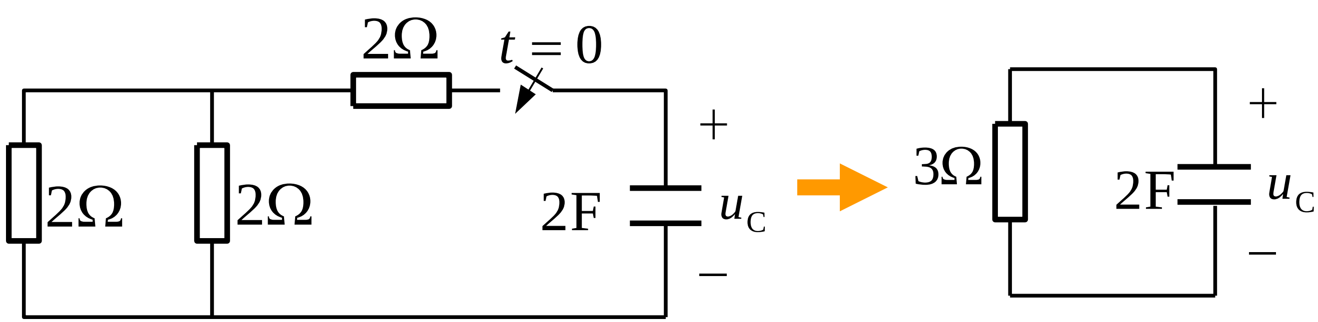
Example: Assume $u_c(0\text{-})=10\text{V}$. Find u_c for $t>0$.



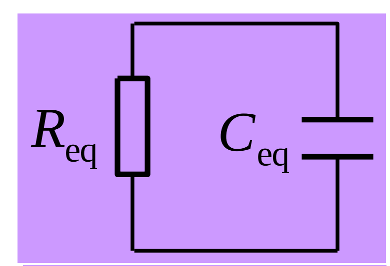
$$u_C(0_+)=u_C(0_-)=10\text{V}$$

$$\tau=1\times\frac{2}{3}\times10^{-3}\text{s}$$

$$u_C(t)=u_C(0_+)\mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}}=10\mathrm{e}^{-1500t}\text{V}$$



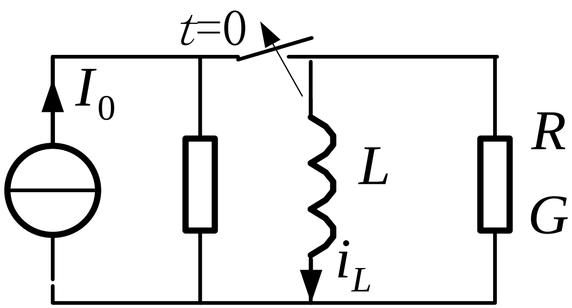
$$\tau=3\times2=6\text{s}$$



$$\tau=R_{eq}C_{eq}$$

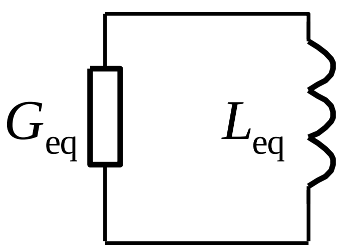
8.2 零输入响应　Zero-input response

2. RL 电路



$$\begin{cases} L\dfrac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t} + Ri_L = 0 \qquad (t>0) \\ i_L(0_+) = i_L(0_-) = I_0 \end{cases}$$

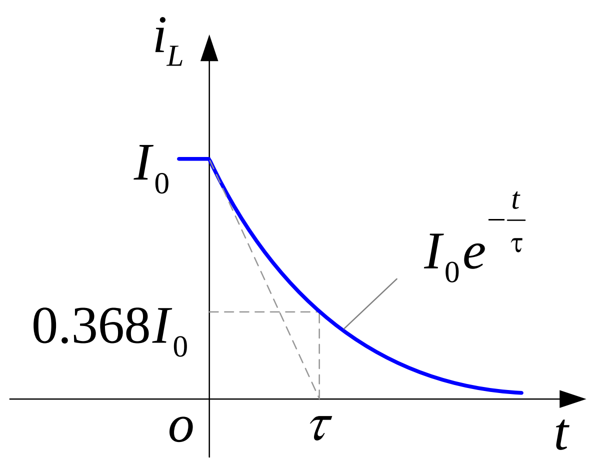
$$s = -\frac{R}{L} = -\frac{1}{GL} \quad \rightarrow \quad \tau = GL$$

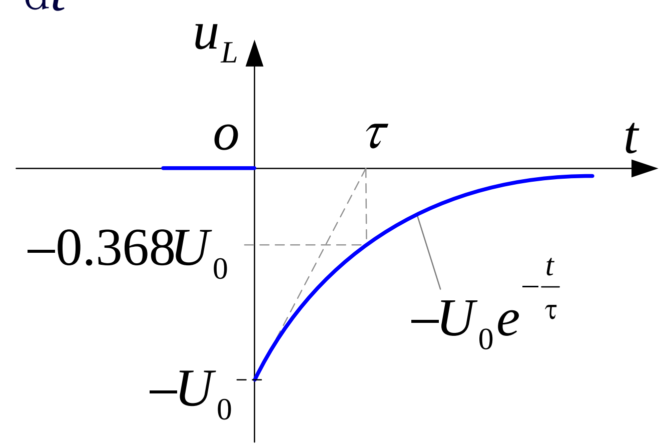


$$\tau = G_{\mathrm{eq}} L_{\mathrm{eq}}$$

$$i_L = I_0 \mathrm{e}^{-\frac{t}{GL}} \qquad (\mathrm{t}>0)$$

$$u_L(t) = L\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t} = -RI_0 e^{-\frac{t}{L/R}}$$





②响应与初始状态成线性关系，其衰减快慢与L/R有关;

$$\tau = L/R$$ 称为一阶RL电路时间常数

$$[\tau] = [\frac{L}{R}] = [\frac{亨}{欧}] = [\frac{韦}{安\cdot欧}] = [\frac{伏\cdot秒}{安\cdot欧}] = [秒]$$

时间常数τ的大小反映了电路过渡过程时间的长短

τ大→过渡过程时间长　　τ小→过渡过程时间短

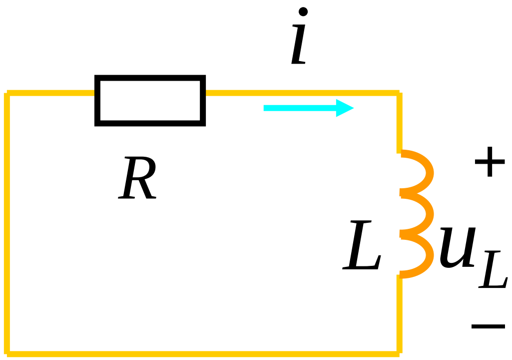
物理含义 → 电流初值$i_L(0)$一定:

L大　$W=Li_L^2/2$　起始能量大

R小　$P=Ri^2$　放电过程消耗能量小

} 放电慢，τ大

③能量关系 → 电感不断释放能量被电阻吸收，直到全部消耗完毕。



设 $i_L(0_+)=I_0$

电感放出能量： → $\frac{1}{2}LI_0^2$

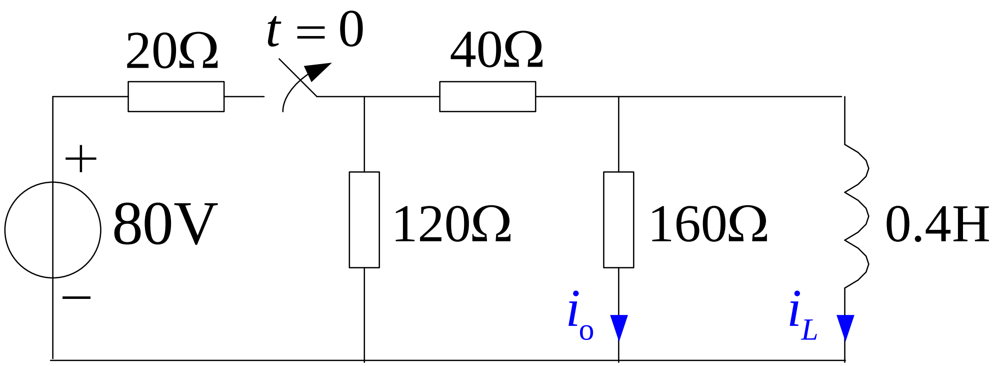
电阻吸收（消耗）能量：→

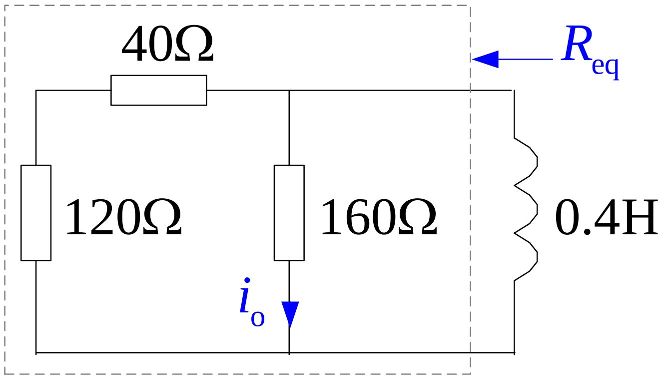
$$W_R=\int_0^{\infty} i^2 R\mathrm{d}t \quad =\int_0^{\infty}(I_0 e^{-\frac{t}{L/R}})^2 R\mathrm{d}t$$

$$=I_0^2 R\int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{L/R}}\mathrm{d}t \quad =I_0^2 R(-\frac{L/R}{2}e^{-\frac{2t}{RC}})\Big|_0^{\infty} \quad =\frac{1}{2}LI_0{}^2$$

8.2 零输入响应　Zero-input response

2. RL 电路





$$R_{eq} = 80\Omega$$

$$\tau = \frac{L}{R_{eq}} = \frac{0.4}{80} = 5\times10^{-3}\text{s}$$

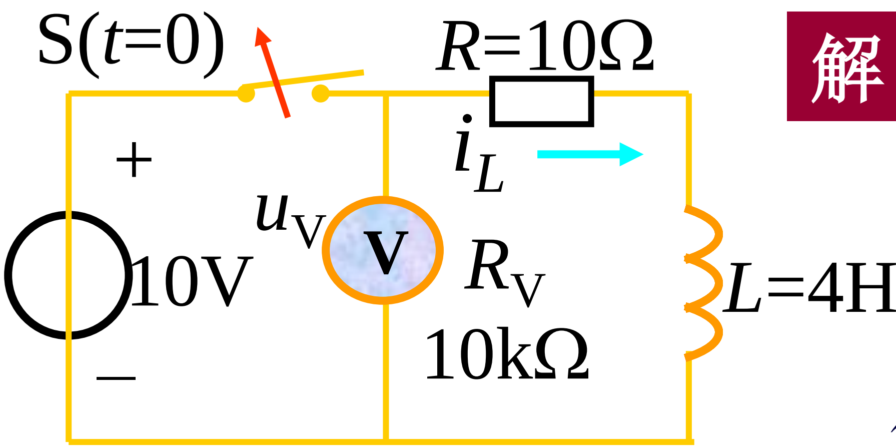
$$i_L(0_-) = 1.2\text{A}$$

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = 1.2\text{A}$$

$$i_o(0_+) = -\frac{(120+40)}{(120+40)+160}\times i_L(0_+) = -0.6\text{A}$$

$$i_o = i_o(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}} = -0.6e^{-200t}\ \text{A}\quad(t>0)$$

例1 t=0时,打开开关S，求u_V 。电压表量程：50V



解

$$i_L(0_+) = i_L(0_-) = 1\ \mathrm{A}$$

$$i_L = e^{-t/\tau} \qquad t \geq 0$$

$$\tau = \frac{L}{R+R_V} = \frac{4}{10000} = 4\times10^{-4}s$$

$$u_V = -R_V i_L = -10000e^{-2500t} \qquad t \geq 0$$

$$u_V(0_+) = -\ 10000\mathrm{V}$$

造成 V 损坏。

小结

①一阶电路的零输入响应是由储能元件的初值引起的响应, 都是由初始值衰减为零的指数衰减函数;

$$y(t) = y(0_+)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

RC**电路** $u_C(0_+) = u_C(0_-)$

RL**电路** $i_L(0_+) = i_L(0_-)$

②衰减快慢取决于时间常数τ;

RC电路

$$\tau = RC$$

$$\tau = L/R$$

RL电路

R为与动态元件相连的一端口电路的等效电阻

③同一电路中所有响应具有相同的时间常数;

④一阶电路的零输入响应和初始值成正比，称为零输入线性。

8.3直流电源激励下的响应

8.3.1直流电源激励下的RC电路

First - order circuits : $\begin{cases} \dfrac{dy(t)}{dt} + \dfrac{1}{\tau} y(t) = f(t) & t > 0 \\ y(0_+) \end{cases}$

其解的一般形式为： $y(t) = k\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t} + y_p(t)$

令 $t = 0_+$ $\quad y(0_+) = k + y_p(0_+) \longrightarrow k = y(0_+) - y_p(0_+) \longrightarrow$

$$y(t) = [y(0_+) - y_p(0_+)]\mathrm{e}^{-t/\tau} + y_p(t)$$

$\Big\downarrow$ DC input circuits : $y_p(t) = \text{constant} = y_p(0_+) = y(\infty)$

$$y(t) = [y(0_+) - y(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t} + y(\infty)$$

8.3直流电源激励下的响应

直流电源激励下的一阶电路通解：

$$y(t)=[y(0_+)-y(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t}+y(\infty)$$

分析一阶电路问题转为求解电路的三个要素的问题。

$$\text{三要素}\begin{cases} y(\infty) & \text{稳态解} \\ y(0_+) & \text{初始值} \\ \tau & \text{时间常数} \end{cases}$$

$y(\infty)$ 稳态解 → **用$t\to\infty$的稳态电路求解**

$y(0_+)$ 初始值 → **用0_+等效电路求解**

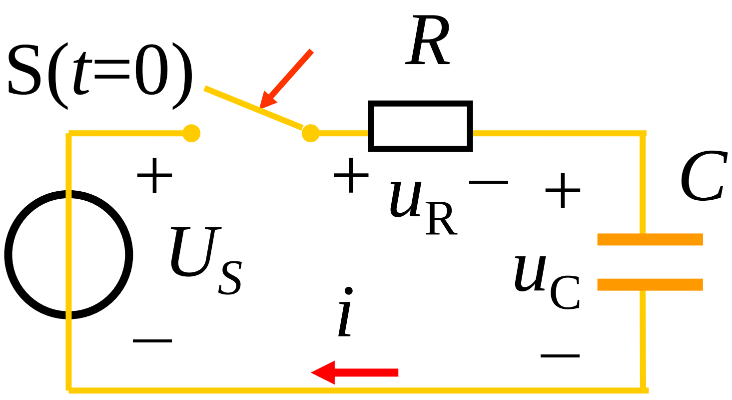
8.3.1 一阶电路的零状态响应

零状态响应

- 动态元件（电容或电感）初始能量为零，由$t > 0$电路中外加激励作用所产生的响应；
- 对应的微分方程为**非齐次方程**；
- 方程的**初始条件为0**（零状态）。

数学问题：求解初始条件为0的非齐次微分方程！

1.RC电路的零状态响应



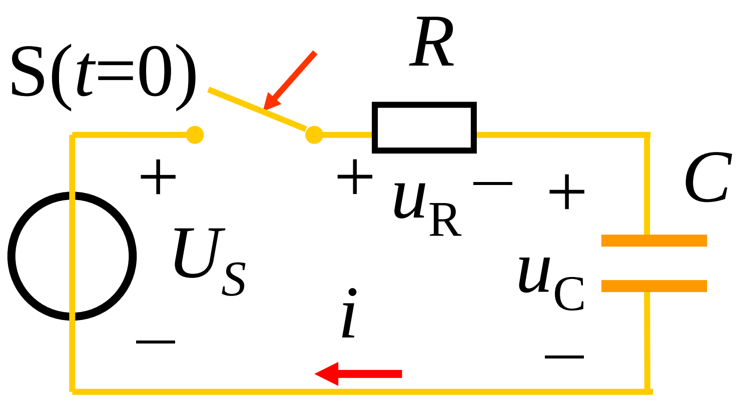
$u_C(0_-)=0$

方程：

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

解的形式为：

$$u_c(t)=[u_c(0_+)-u_c(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t}+u_c(\infty)$$



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

$$u_c(t)=[u_c(0_+)-u_c(\infty)]\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t}+u_c(\infty)$$

三要素:

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

$$u_c(\infty)=U_s$$

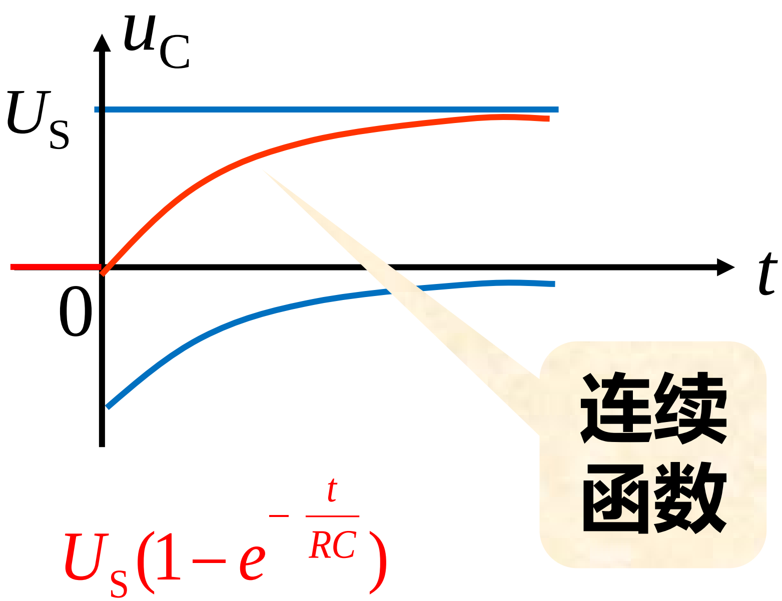
$$\tau=RC$$

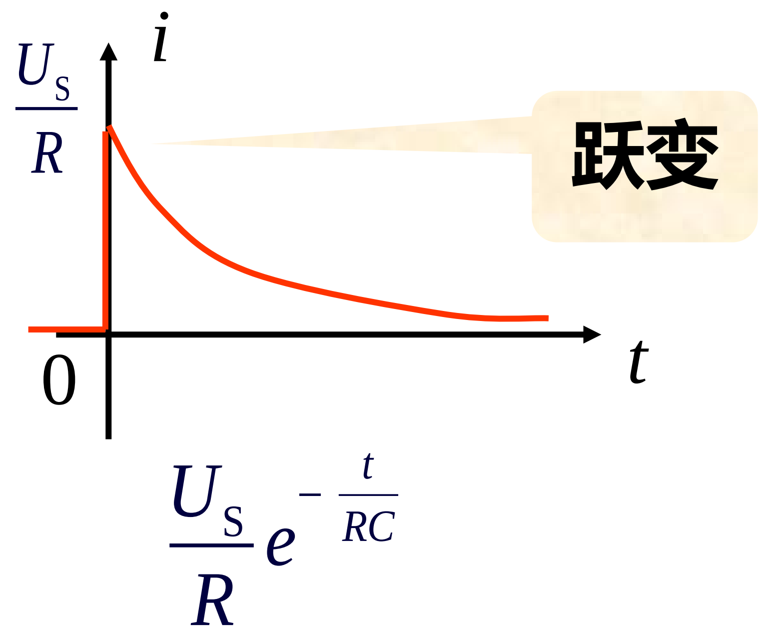
$$u_C=U_S-U_Se^{-\frac{t}{RC}}=U_S(1-e^{-\frac{t}{RC}})\quad (t\geq 0)$$

从以上式子可以得出: $i=C\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}=\frac{U_S}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$

表明

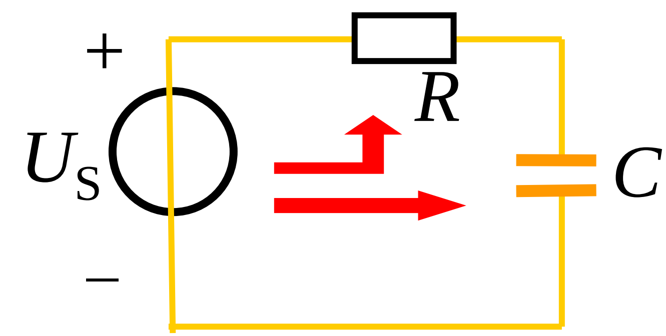
①电压、电流是随时间按同一指数规律变化的函数：





②响应变化的快慢，由时间常数$\tau = RC$决定；τ大，充电慢，τ小充电就快；

③响应与外加激励成线性关系；



④能量关系

电源提供能量：$\int_0^{\infty} U_S i \mathrm{d}t = U_S q = CU_S^2$

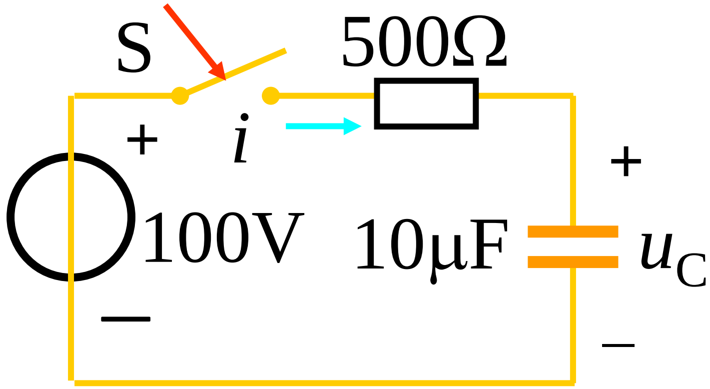
电阻消耗能量：$\int_0^{\infty} i^2 R \mathrm{d}t = \int_0^{\infty} (\frac{U_S}{R} e^{-\frac{t}{RC}})^2 R \mathrm{d}t$

电容储存能量：$\frac{1}{2} CU_S^2$ $= \frac{1}{2} CU_S^2$

电源提供的能量一半消耗在电阻上，一半转换成电场能量储存在电容中。

例　t=0**时,开关S闭合，已知** $u_C(0_-)=0$，**求(1)电容电压和电流,(2)** u_C＝80V**时的充电时间**t 。

解　**(1)这是一个**RC**电路零状态响应问题，有：**



$$\tau = RC = 500\times10^{-5} = 5\times10^{-3}\text{s}$$

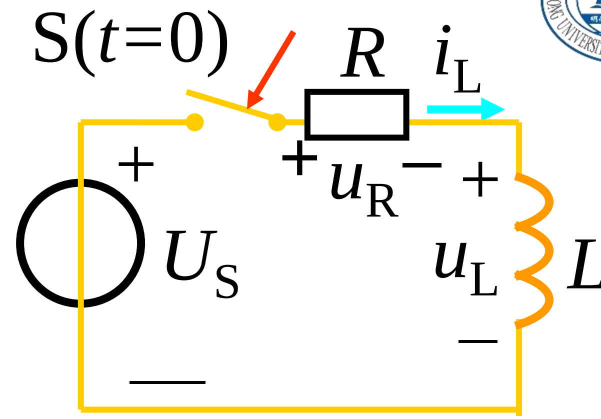
$$u_C = U_S(1-e^{-\frac{t}{RC}}) = 100(1-e^{-200t})\text{V} \quad (t\geq 0)$$

$$i = C\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = \frac{U_S}{R}e^{-\frac{t}{RC}} = 0.2e^{-200t}\text{A}$$

(2)设经过t_1**秒，** u_C＝80V

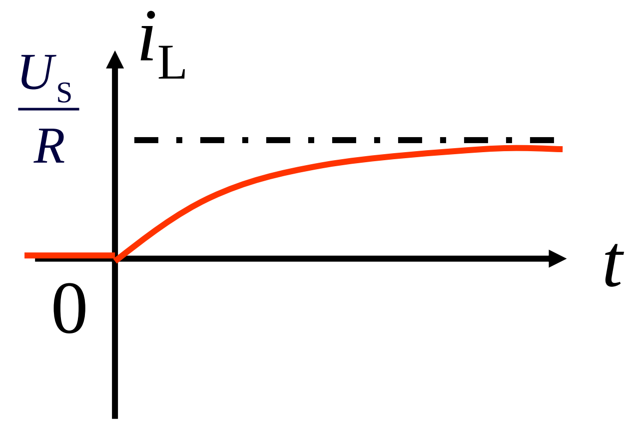
$$80 = 100(1-e^{-200t_1}) \rightarrow t_1 = 8.045\text{ms}$$

2. *RL*电路的零状态响应

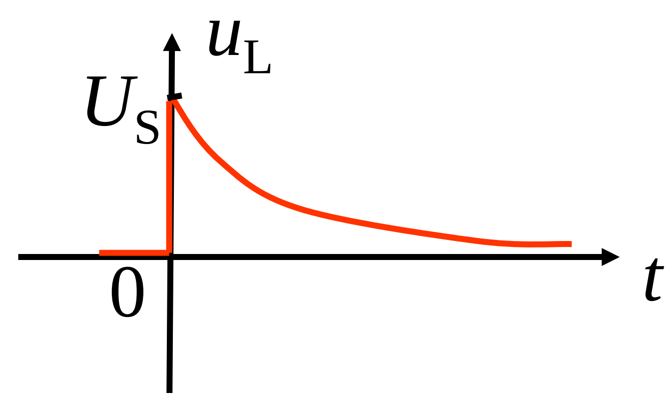


已知$i_L(0_-)=0$，**电路方程为：**

$$L\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}+Ri_L=U_S$$



$$i_L=\frac{U_S}{R}(1-e^{-\frac{R}{L}t})$$



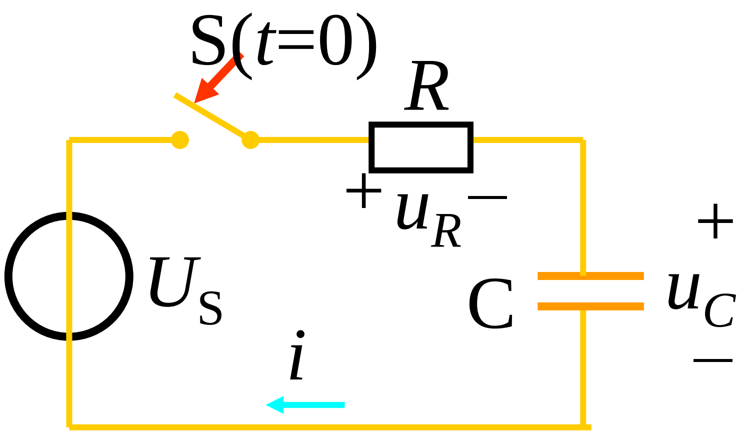
$$u_L=L\frac{\mathrm{d}i_L}{\mathrm{d}t}=U_S e^{-\frac{R}{L}t}$$

8.3.2 一阶电路的全响应

全响应 →
- 初值非零
- 外部有独立激励

1. 全响应

以 RC 电路为例，电路微分方程：



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

$$u_c(0_+)=u_c(0_-)=U_0$$

$$u_c(\infty)=U_s$$

$$\tau=RC$$

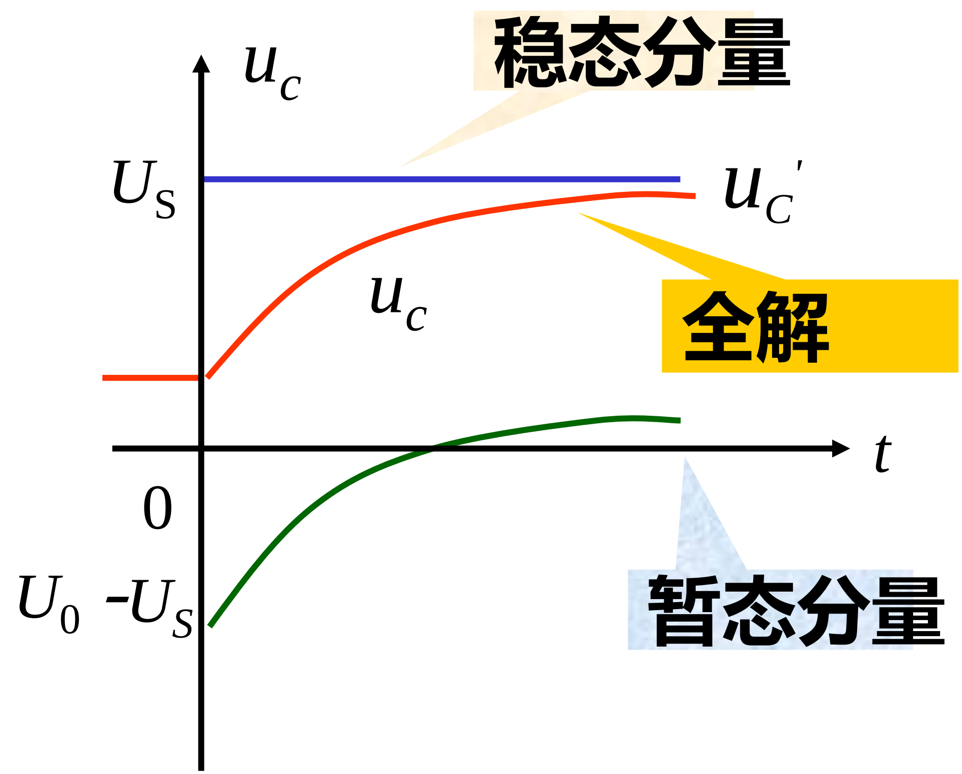
$$u_C=U_s+Ae^{\frac{-t}{\tau}}=U_s+(U_0-U_s)e^{-\frac{t}{\tau}}\qquad t\geq 0$$

强制分量(稳态分量)　　自由分量(暂态分量)

2. 全响应的两种分解方式

①着眼于电路的两种工作状态 → 物理概念清晰

全响应 = 强制分量(稳态分量)+自由分量(暂态分量)



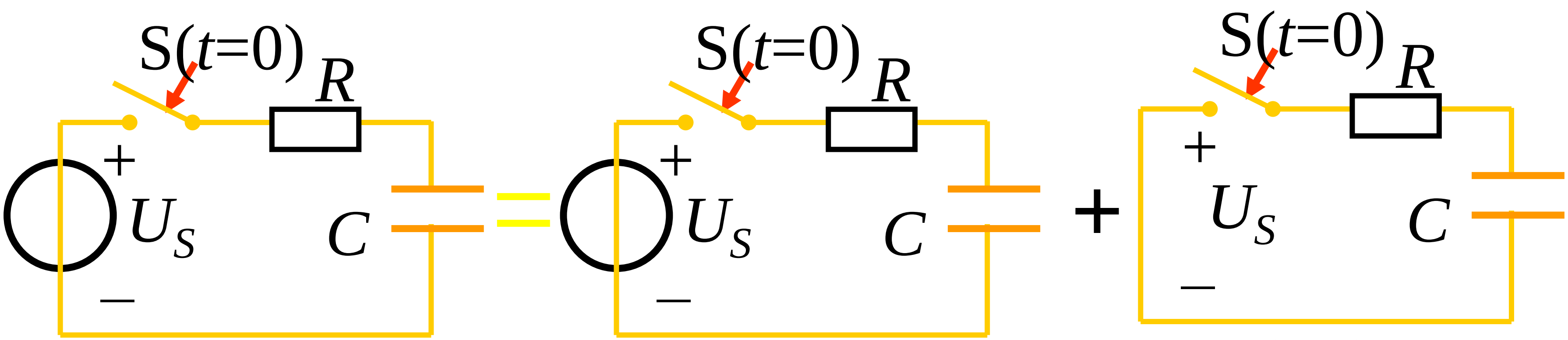
②着眼于因果关系 → 便于叠加计算

$$u_C = U_S(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) + U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (t \ge 0)$$

零状态响应

零输入响应

全响应 = 零状态响应 + 零输入响应

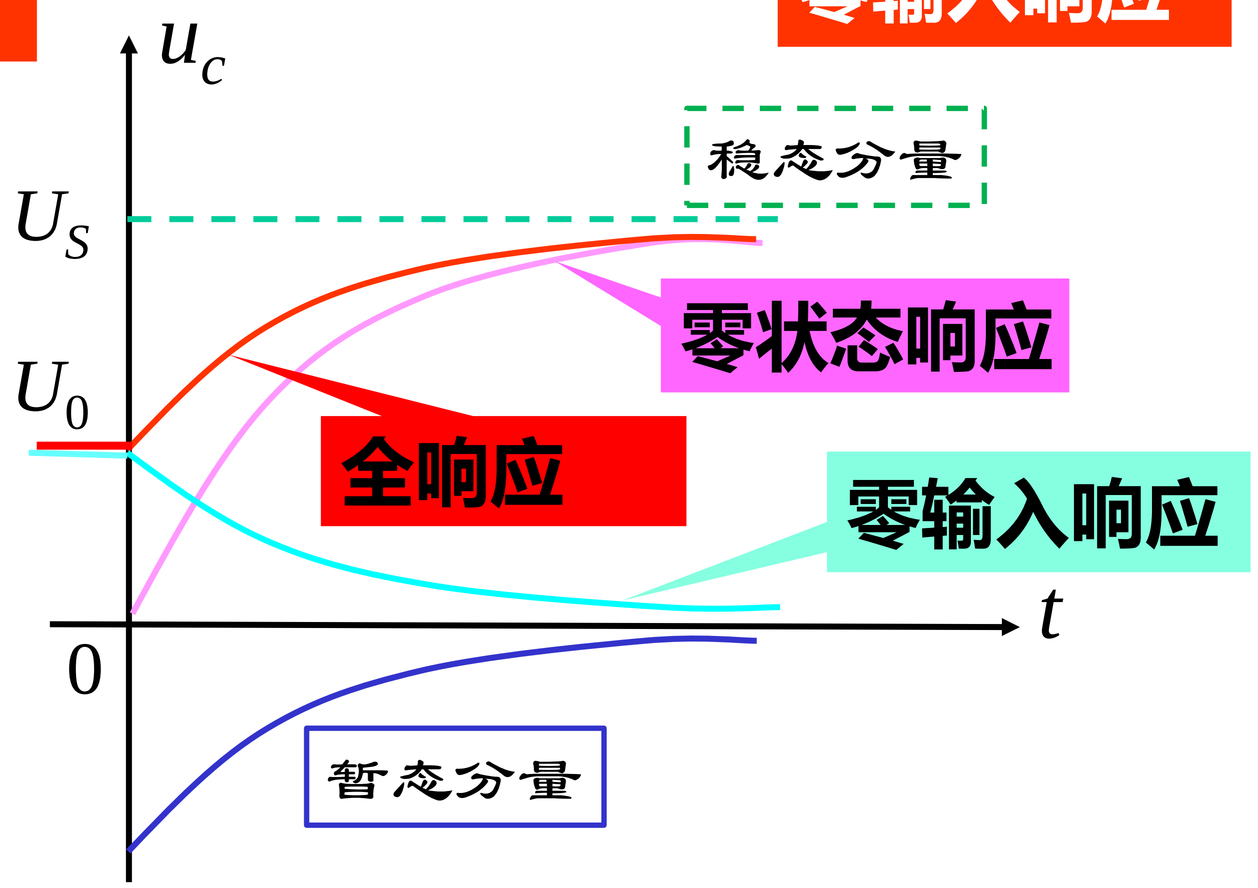


$u_C(0_-)=U_0$ $u_C(0_-)= 0$ $u_C(0_-)=U_0$

$$u_C = U_S(1-e^{-\frac{t}{\tau}}) + U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad (t \geq 0)$$

零状态响应

零输入响应



Practice

Find u_c for $t>0$.

1. 微分方程+初始条件

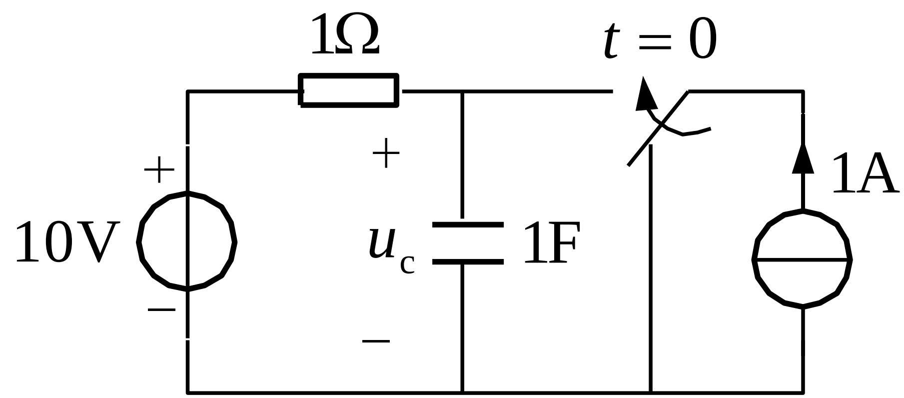
2. 三要素法：

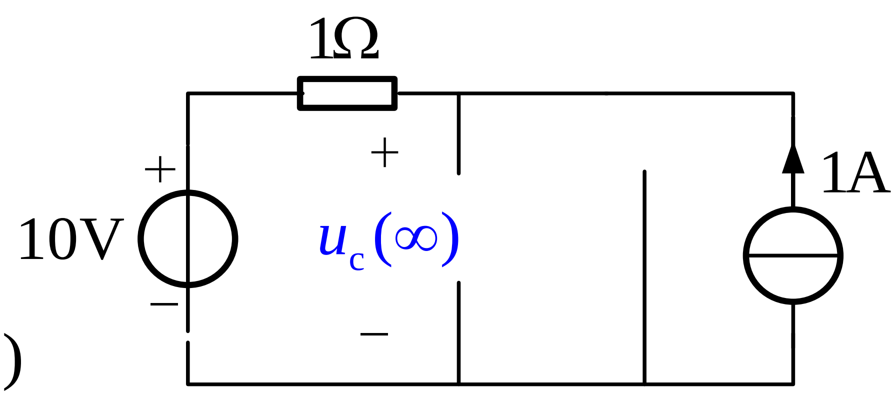
$$u_C(0_+)=10\text{V}$$

$$u_C(\infty)=11\text{V}$$

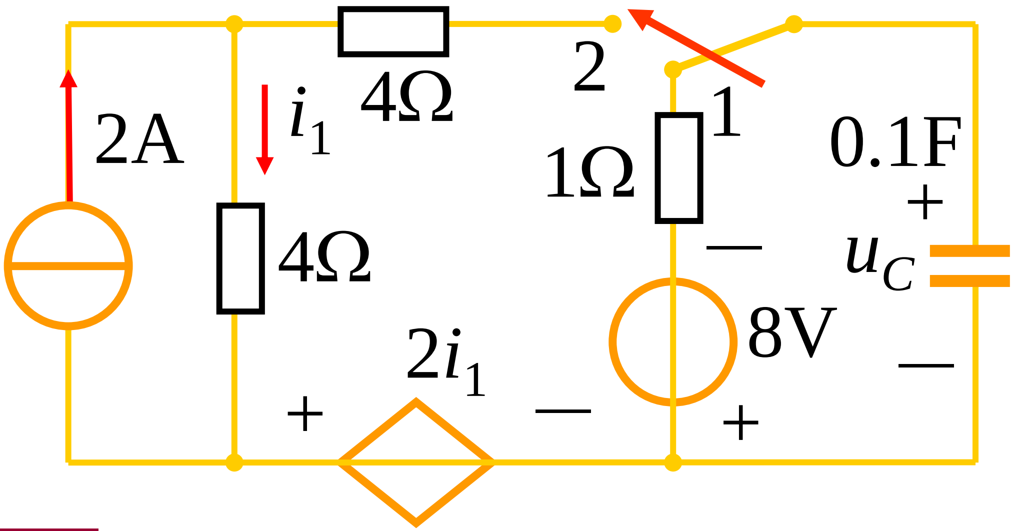
$$\tau = 1\times 1 = 1\text{s}$$

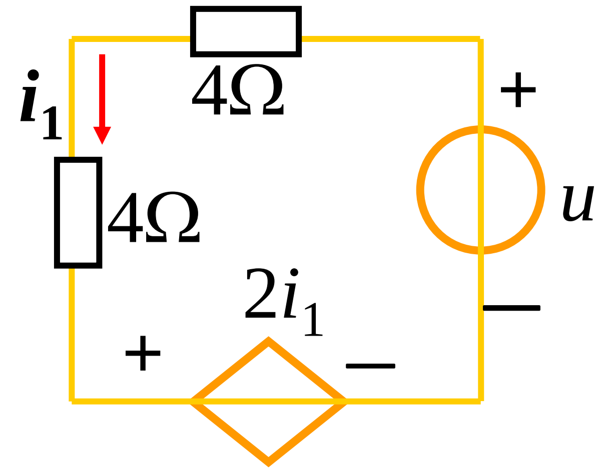
$$u_c(t)=[u_c(0_+)-u_c(\infty)]e^{-\frac{1}{\tau}t}+u_c(\infty)$$





例　**已知：$t=0$时开关由$1\to2$，求换路后的$u_C(t)$**





解　**三要素为：**

$$u_C(0_+)=u_C(0_-)=-8\text{V}$$

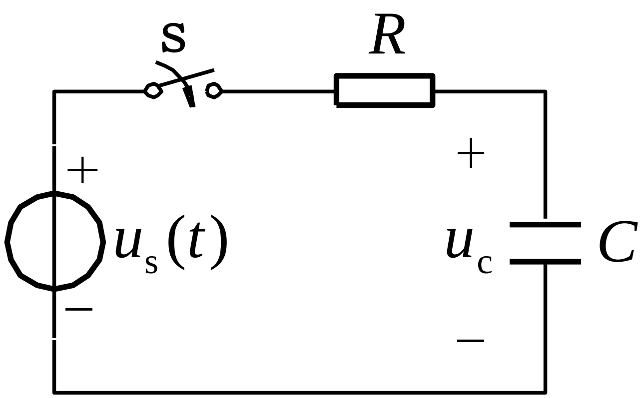
$$u_C(\infty)=4i_1+2i_1=6i_1=12\text{V}$$

$$u=10i_1\to R_{eq}=u/i_1=10\Omega \longrightarrow \tau=R_{\text{eq}}C=10\times0.1=1\text{s}$$

$$u_{\text{C}}(t)=u_{\text{C}}(\infty)+[u_{\text{C}}(0^+)-u_{\text{C}}(\infty)]e^{-t/\tau}$$

$$u_{\text{C}}(t)=12+[-8-12]e^{-t}=12-20e^{-t}\text{V}$$

8.4正弦电源激励下的RC电路



$$u_s(t) = U_m \sin(\omega t + \phi)$$

$$u_C(0_-) = U_0$$

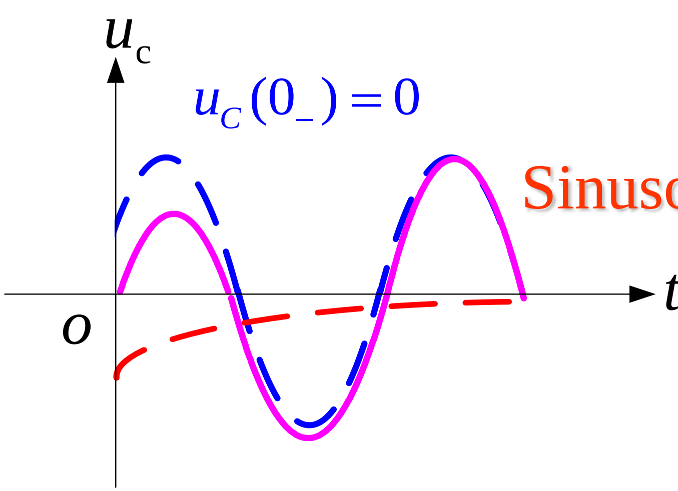
$$RC\frac{du_C}{dt} + u_C = u_s \qquad t > 0$$

$$u_C(0_+) = u_C(0_-) = U_0$$

$$u_C = ke^{-\frac{1}{RC}t} + u_{CP}$$

$$u_{CP} = A_m \sin(\omega t + \theta)$$

$$\begin{cases} A_m = \dfrac{U_m}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} \\ \theta = \phi - \mathrm{arctg}\,\omega RC \end{cases}$$



Sinusoidal steady-state

$$u_C = \underbrace{(U_0 - A_m \sin\theta)e^{-\frac{1}{RC}t}}_{\text{Transient component}} + \underbrace{A_m \sin(\omega t + \theta)}_{\text{Steady-state component}}$$

8.4正弦电源激励下的RC电路

$$u_C = (U_0 - A_\text{m}\sin\theta)\mathrm{e}^{-\frac{1}{RC}t} + A_\text{m}\sin(\omega t + \theta)$$

Transient component

Steady-state component

在零状态下，$U_0=0$

$$u_C = -A_\text{m}\sin\theta\,\mathrm{e}^{-\frac{1}{RC}t} + A_\text{m}\sin(\omega t + \theta)$$

当$\theta = \phi - \text{arctg}\,\omega RC = 0$时

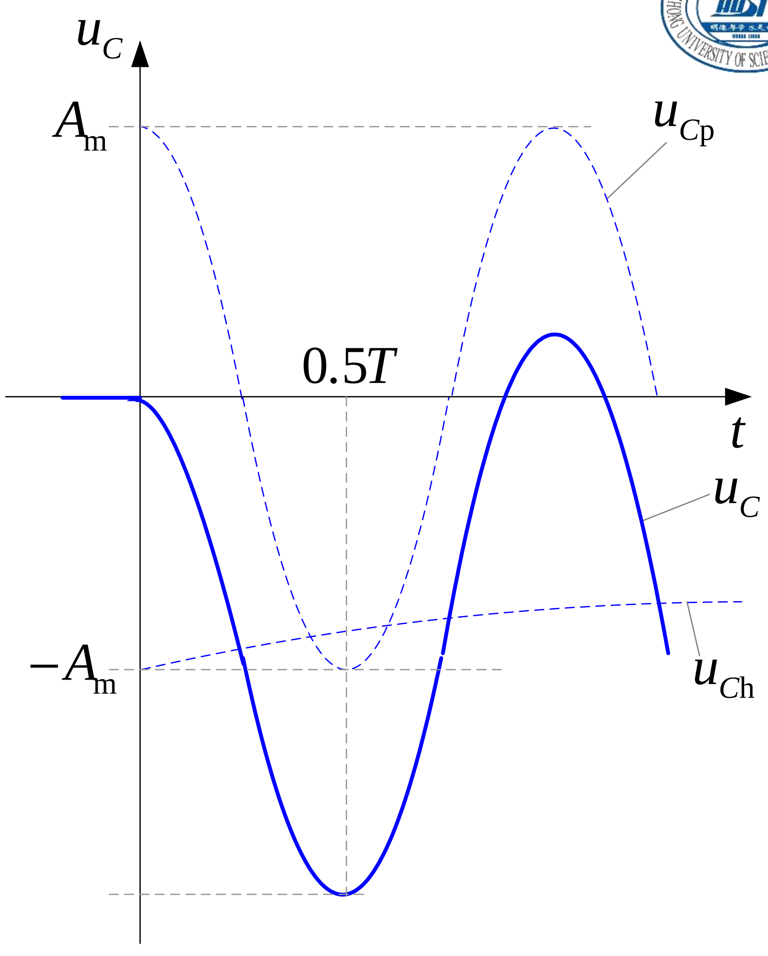
暂态分量的值为零，说明电压响应中没有暂态分量，也就没有过渡过程，电路从换路一开始，就直接进入稳态。这是一种特殊情况。

8.4正弦电源激励下的RC电路

在零状态下，$U_0=0$

$$u_C = -A_m \sin\theta e^{-\frac{1}{RC}t} + A_m \sin(\omega t+\theta)$$

当$\theta = \phi - \mathrm{arctg}\,\omega RC = \pi/2$



且当电路的时间常数 RC 远大于输入电源的周期时，则从换路起，经过半个周期左右的时间，电压的暂态分量衰减极为有限，暂态分量与稳态分量的叠加结果为

$$u_c \approx -A_m + A_m \sin 3\pi/2 = -2A_m$$

这说明如果当电压的稳态分量经过极大值时换路，而电路的时间常数又大，则换路后电压的最大瞬时绝对值接近于稳态电压振幅的2倍。在工程中要注意电容器的耐压。

8.6线性非时变特性

线性非时变电路：

- 除独立电源外，元件是线性、非时变元件。
- 线性非时变动态电路的微分方程是常系数线性微分方程。

线性特性：

1. 齐次性

若激励变为原来的k倍，则响应也相应的变为原来的k倍

如：

- 零输入响应，激励初始电压U_0与响应分量$U_0e^{-t/RC}$成正比
- 零状态响应，激励U_s与响应分量$U_s(1-e^{-t/RC})$成正比

8.6线性非时变特性

线性特性：　2. 可加性

若激励$x_1(t)$的响应为$y_1(t)$，激励$x_2(t)$的响应为$y_2(t)$，则激励$x_1(t)+x_2(t)$的响应为$y_1(t)+y_2(t)$，如：

- 全响应中电容初始电压U_0和直流电压源U_s共同激励的响应，等于各自单独激励的响应之叠加

综合上述两点，**线性非时变电路的线性特性**体现为：

若激励$x_1(t)$的响应为$y_1(t)$，激励$x_2(t)$的响应为$y_2(t)$，则激励$k_1x_1(t)+k_2x_2(t)$的响应为$k_1y_1(t)+k_2y_2(t)$

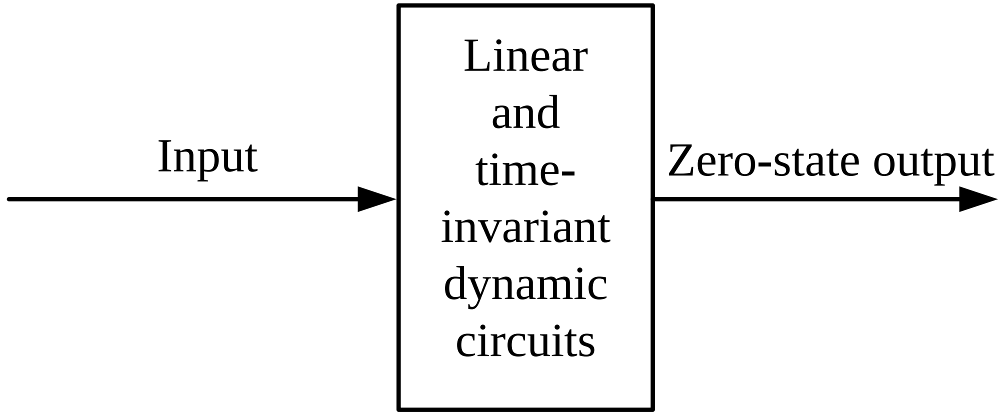
非时变特性：

线性非时变电路零状态响应的非时变特性体现为：

若激励$x_1(t)$的响应为$y_1(t)$，则激励$x_1(t-t_0)$的响应为$y_1(t-t_0)$

8.6线性非时变特性

零状态响应与激励间的关系



$$x_1(t) \longrightarrow y_1(t)$$

$$x_2(t) \longrightarrow y_2(t)$$

$$k_1 x_1(t) + k_2 x_2(t) \longrightarrow k_1 y_1(t) + k_2 y_2(t)$$

$$\frac{\mathrm{d}\, x_1(t)}{\mathrm{d}\, t} \longrightarrow \frac{\mathrm{d}\, y_1(t)}{\mathrm{d}\, t}$$

$$\int_{-\infty}^{t} x_1(t)\mathrm{d}\, t \longrightarrow \int_{-\infty}^{t} y_1(t)\mathrm{d}\, t$$

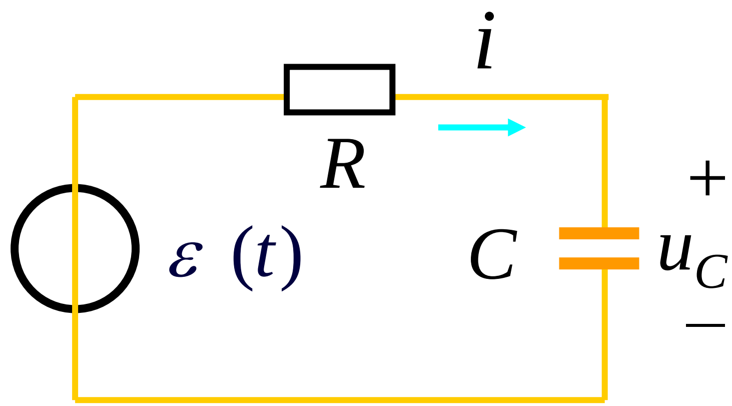
$$x_1(t - t_0) \longrightarrow y_1(t - t_0)$$

零状态响应的阶跃函数表示

阶跃响应 → **激励为单位阶跃函数时，电路中产生的零状态响应。**

$$u_C(t) = (1 - e^{-\frac{t}{RC}})\varepsilon(t)$$

$$i(t) = \frac{1}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \varepsilon(t)$$



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

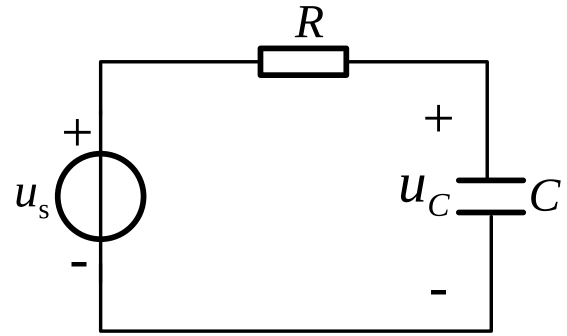
注意

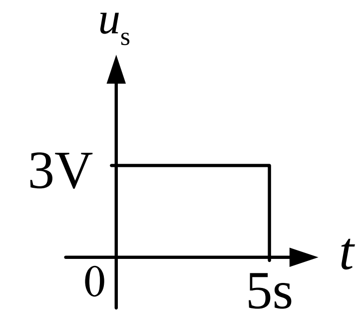
$i = e^{-\frac{t}{RC}} \underline{\varepsilon(t)}$ **和** $i = \underline{e^{-\frac{t}{RC}} \quad t > 0}$ **的区别**

8.6线性非时变特性

Practice : Find the zero-state response u_c .

$$u_s = [3\varepsilon(t) - 3\varepsilon(t-5)]\text{V}$$





$$u_C = 3s(t) - 3s(t-5)$$

$$s(t) = [(1\text{-e}^{-\frac{t}{RC}})\varepsilon(t)]\text{V}$$

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

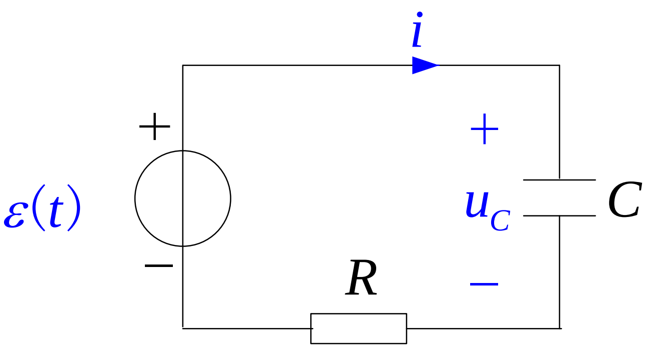
0<t<5: Zero-state response $\quad u_C = 3(1\text{-e}^{-\frac{t}{RC}})\text{V}$

t>5: Zero-input response $\quad u_C(5-) = 3(1\text{-e}^{-\frac{5}{RC}}) = u_C(5+)$

$$u_C(t) = 3(1\text{-e}^{-\frac{5}{RC}})\text{e}^{-\frac{t-5}{RC}}\text{V}$$

8.7冲激响应计算

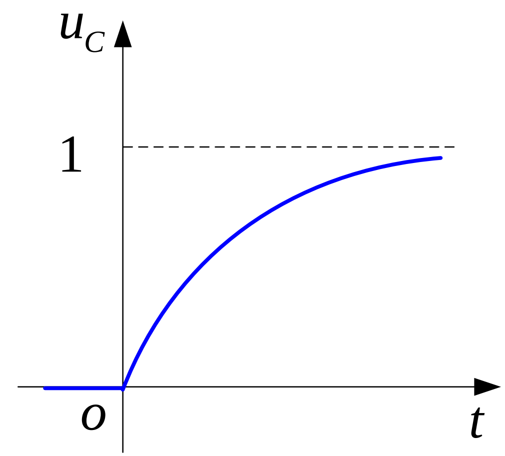
单位阶跃响应与单位冲激响应



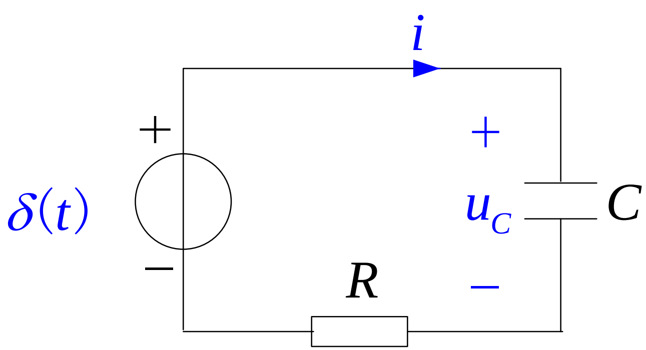
s(t):

$$u_C = (1 - e^{-\frac{t}{RC}})\varepsilon(t)$$

$$i(t) = \frac{1}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \varepsilon(t)$$



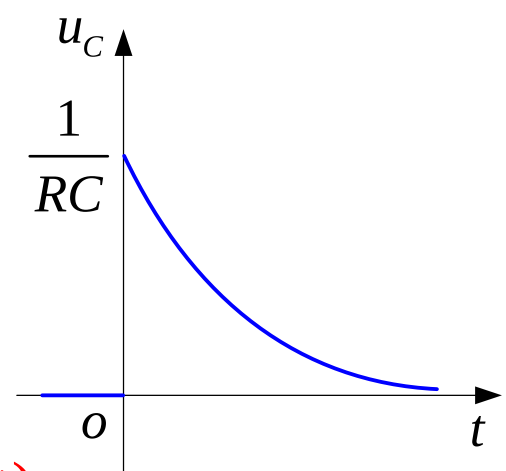
$$\delta(t) = \frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}$$



h(t):

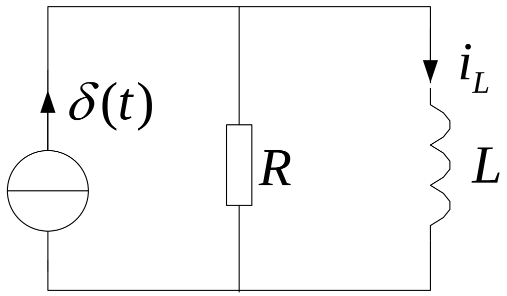
$$u_C(t) = \frac{1}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} \varepsilon(t)$$

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



Practice : Find the impulse response i_L .

由阶跃响应获得冲激响应



$$s(t) = i_L(t) = i_L(\infty)(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$$

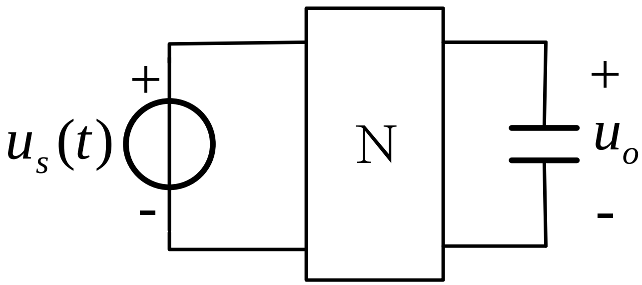
$$= (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})\varepsilon(t)$$

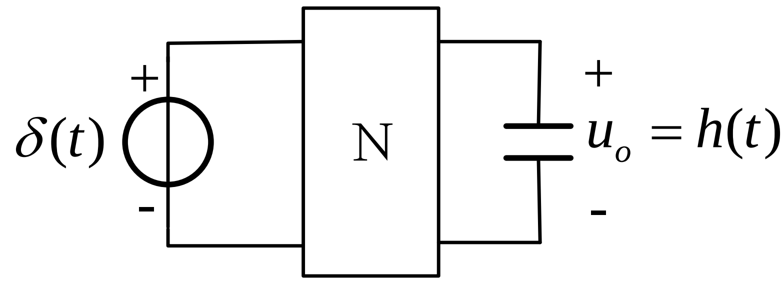
$$\tau = \frac{L}{R}$$

$$h(t) = \frac{ds(t)}{dt} = (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})\delta(t) + \frac{1}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}}\varepsilon(t)$$

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

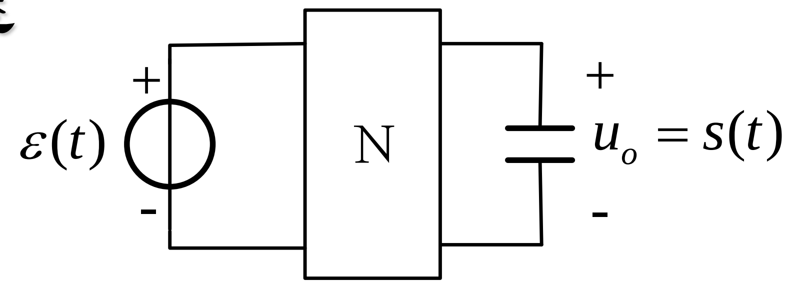
Practice：不含独立源的线性时不变网络N的零输入响应为 $e^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$；原始储能不变，电压源 $u_s(t)=\delta(t)\mathrm{V}$ 激励下的全响应为 $3\,e^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{V}$。试确定 $u_s(t)=\varepsilon(t)-\varepsilon(t-1)\mathrm{V}$ 下的零状态响应。





电压源 $u_s(t)=\delta(t)\mathrm{V}$ 激励下的零状态响应为：

$$h(t)=(3e^{-t}-e^{-t})\varepsilon(t)=2e^{-t}\varepsilon(t)$$



$$s(t)=\int_{-\infty}^{t}h(t)\mathrm{d}t=\int_{-\infty}^{t}2e^{-t}\varepsilon(t)\mathrm{d}t=\left(\int_{0}^{t}2e^{-t}\mathrm{d}t\right)\varepsilon(t)=(2-2e^{-t})\varepsilon(t)$$

$$u_o(t)=(2-2e^{-t})\varepsilon(t)-[2-2e^{-(t-1)}]\varepsilon(t-1)$$

作 业

- 8.2节：8-2
- 8.3节：8-13
- 8.5节：8-37
- 8.6节：8-41
- 8.7节：8-48