兴趣 认真 执著 创新

《电子线路分析与设计》

第三讲：线性电路时域分析

胡薇薇

2023.9.18

北京大学

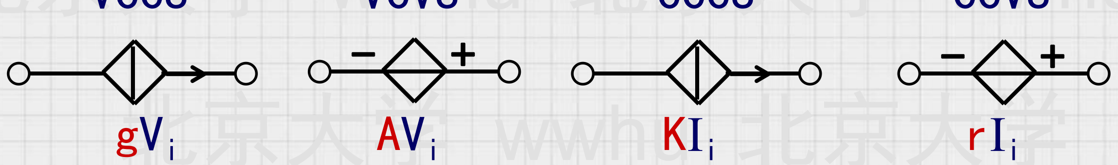
第二节：常见电路元件及其约束方程

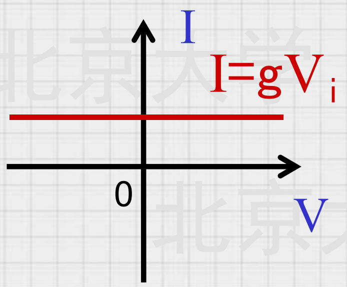
复习

受控源

符号：

特征：源电压或电流受控于外支路的电压或电流





1。用菱形符号区别于独立源

2。一个貌似二端实为四端的元件

3。用来描述体现电压or电流“转移or放大”物理现象的一类电子器件

源和非源特征。。。

第二节：常见电路元件及其约束方程

复习

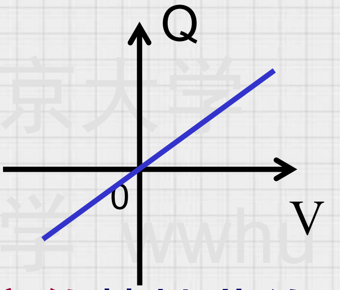
a. 线性定常电容： C

约束方程： Q(t)=Cv(t)

符号：i(t)

+ v(t) −

$$i(t)=\frac{dQ(t)}{dt}=C\frac{dv(t)}{dt}$$



库伏特性曲线

记忆元件

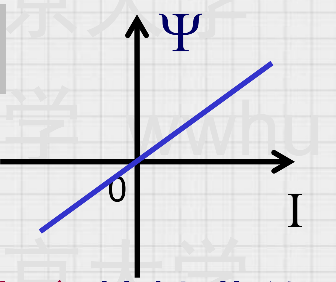
b. 线性定常电感： L

约束方程： Ψ(t)=Li(t)

符号：i(t)

+ v(t) −

$$v(t)=\frac{d\psi(t)}{dt}=L\frac{di(t)}{dt}$$



韦安特性曲线

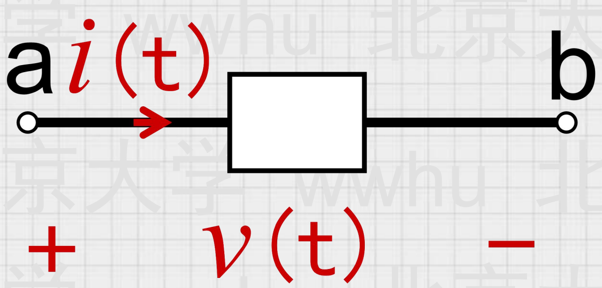
线性常系数微分方程。。。

主要内容

复习

第二节：常见电路元件及其约束方程

- 元件分类、电阻元件、独立源、受控源、动态元件



元件特性vs约束方程：一一对应

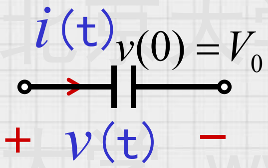
学会了根据约束方程画电路的本领。。。

第三节：线性二端（单口）网络的等效

复习

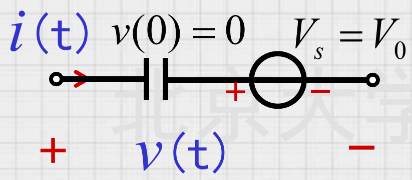
2. 动态元件的等效：

电容：



$$i(t)=C\frac{dv(t)}{dt}$$

如果$i(t)$为有限量≠∞
则$v(t)$为连续函数。



$$v(t)=v(0)+\frac{1}{C}\int_0^t i(t)d(t)$$

t≥0

电容上的电压不会跃变

$v_c(t_{0-})=v_c(t_{0+})$

等效对外不对内

补充：
等效适用于t≥0的电路分析

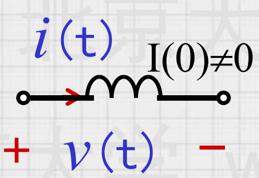
画一图（数学、充放电路）解释一下

第三节：线性二端（单口）网络的等效

复习

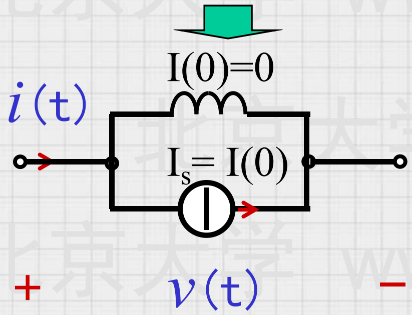
2. 动态元件的等效：

电感：



$$v(t)=L\frac{di(t)}{dt}$$

如果$v(t)$为有限量≠∞
则$i(t)$为连续函数。



$$i(t)=I(0)+\frac{1}{L}\int_0^t v(t)d(t)$$

t≥0

电感上的电流不会跃变

$i_L(t_{0-})=i_L(t_{0+})$

等效对外不对内

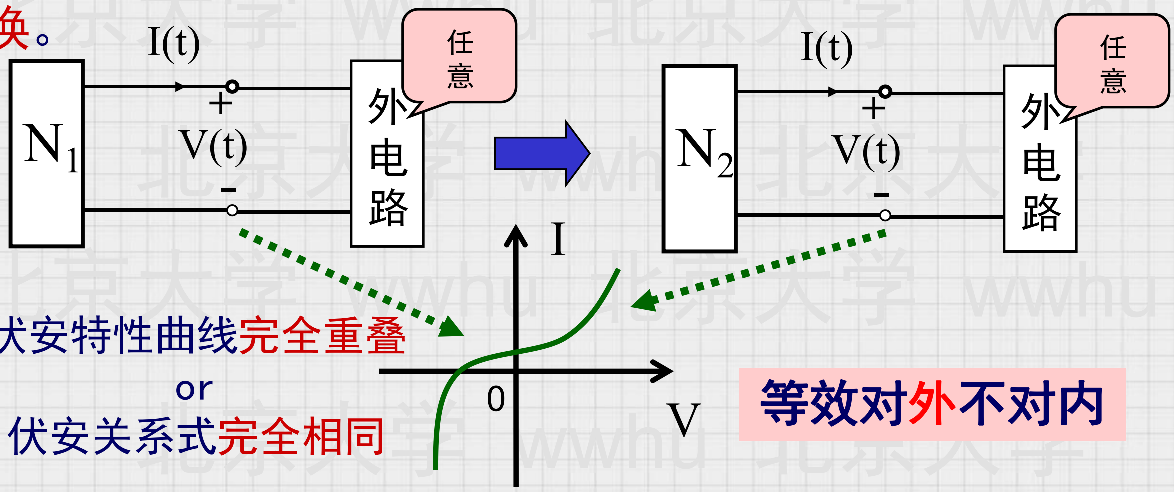
补充：
等效适用于t≥0的电路分析

第三节：线性二端（单口）网络的等效

复习

等效定义：

如果一个单口网络N_1的口特性(伏安特性曲线)和另一个单口网络N_2的口特性完全相同，则这两个单口网络互为等效，网络N_1和N_2对任意外电路可以等效互换。



伏安特性曲线完全重叠

or

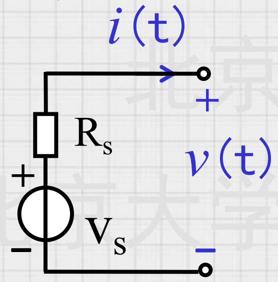
伏安关系式完全相同

等效对外不对内

第三节：线性二端（单口）网络的等效

复习

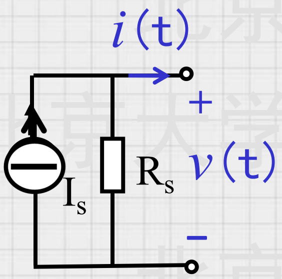
3. 源电路的等效：(实际源电路的等效)



$v(t)=\mathbf{V_s}-\mathbf{R_s}i(t)$

实际电压源 ⇨ 戴维南源电路

等效条件： $\mathbf{V_s}=\mathbf{R_s}\mathbf{I_s}$



$v(t)=\mathbf{R_s}\mathbf{I_s}-\mathbf{R_s}i(t)$

实际电流源 ⇨ 诺顿源电路

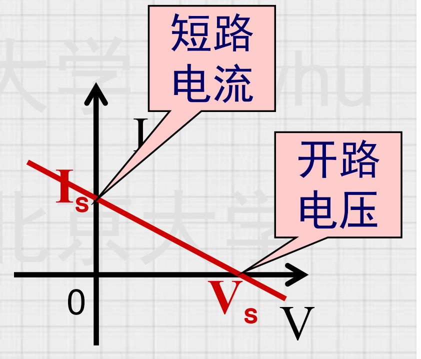
第三节：线性二端（单口）网络的等效

复习

戴维南定理和诺顿定理

描述：任何一个线性含源二端网络，如果已知其端口上的开路电压 V_{OC} 短路电流 I_{SC} 和等效电阻 R_{eq}，则：

- ▲ **该网络可以用一个电压源为 V_{OC} 和电阻为 R_{eq} 的串联来等效替换（戴文宁定理）；**
- ▲ **也可以用一个电流源为 I_{SC} 和电阻为 R_{eq} 的并联来等效替换（诺顿定理）；**
- ▲ **并且有：$V_{OC}=I_{SC}R_{eq}$**



补充分析：

如果 $R_{eq}=0$，则仅可等效为戴维南源电路；

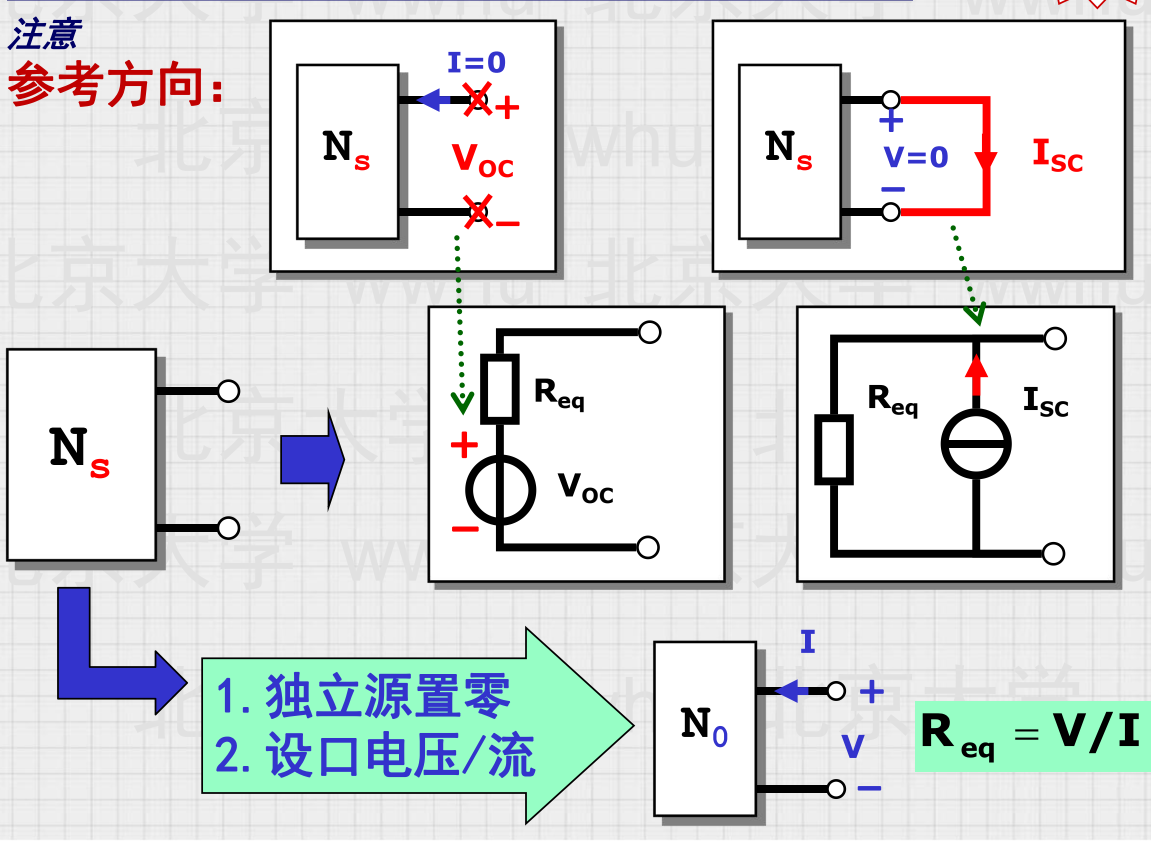
如果 $R_{eq}=\infty$，则仅可等效为诺顿源电路。

戴维南和诺顿定理

复习

注意

参考方向：

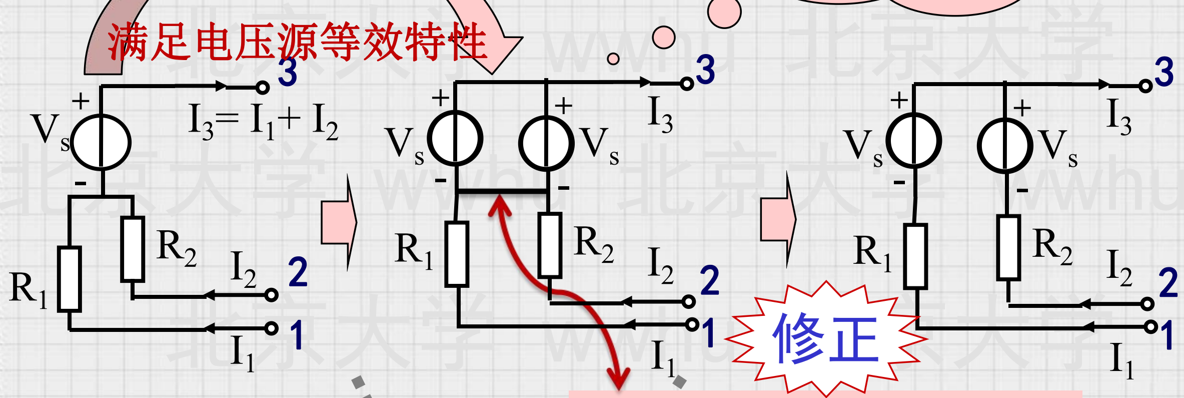


第三节：线性二端（单口）网络的等效

Learning from students...
09G孙宇翔

用电路的语言证明源的转移：

满足电压源等效特性



电位相同且可以没有电流
故连线可以断开

$$V_{32} = V_s - I_2 R_2$$
$$V_{31} = V_s - I_1 R_1$$
$$V_{12} = I_1 R_1 - I_2 R_2$$

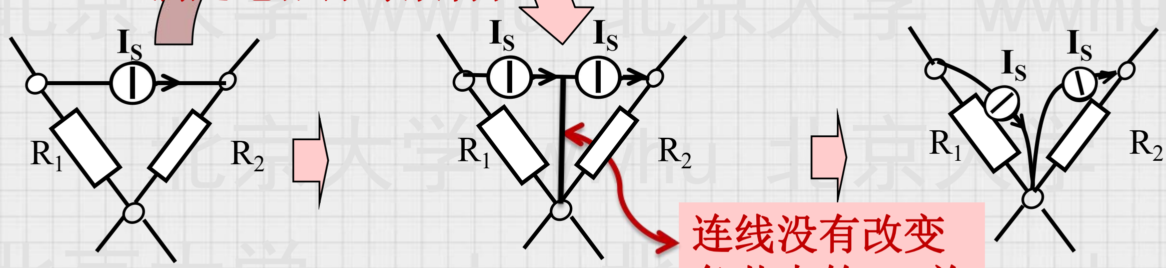
满足口特性完全相同
（伏安关系式相等）

第三节：线性二端（单口）网络的等效

用电路的语言证明源的转移：

电流源的转移：

满足电流源等效特性



连线没有改变各节点的KCL关系，并且串接的电流源的电压是可以被定义的，故可连.

修正

本讲要点

更多地强调物理概念而不是数学

线性定常电路的时域分析

（以一阶动态电路为例）

1）典型源信号(激励信号)

2）动态电路的时域分析

动态与稳态

初始状态（初值/初始条件）的确定

二阶、高阶电路分析

任意信号激励的电路分析

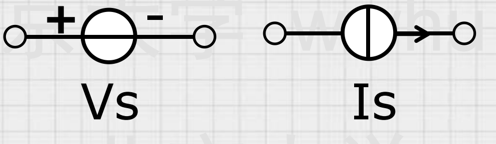
为什么要分析动态电路：利弊---利用与避免

本讲要点

线性定常电路的时域分析

（以一阶动态电路为例）

1）典型源信号(激励信号)



2）动态电路的时域分析

动态与稳态

初始状态（初值/初始条件）的确定

二阶、高阶电路分析

激励来源有两类。。。

***

动态电路的时域分析

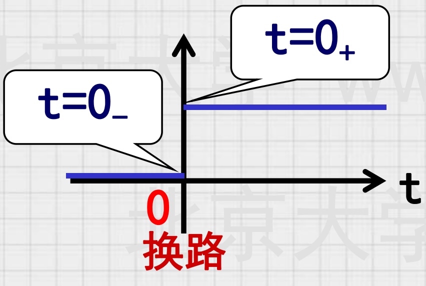
1 **直流信号（略）** $f(t) = A$

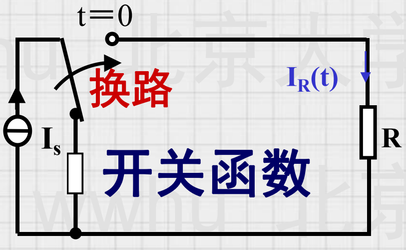
2 **正弦波信号（略）** $f(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$

3 **单位阶跃信号** u(t) or U(t) or 1(t)

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t \le 0- \\ 1 & t \ge 0+ \end{cases}$$

u(0)=? (奇异信号1)

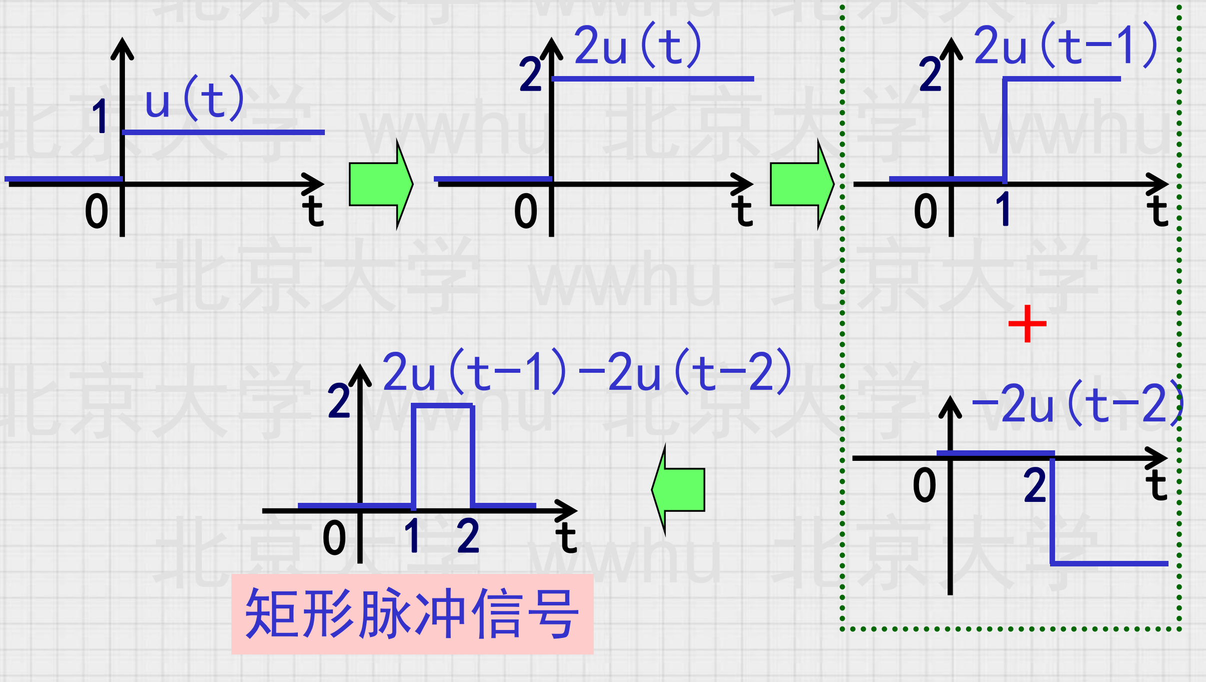




***

动态电路的时域分析

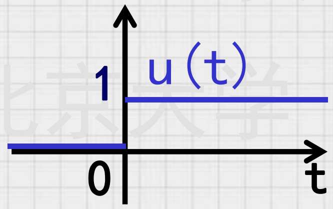
用单位阶跃信号表示…

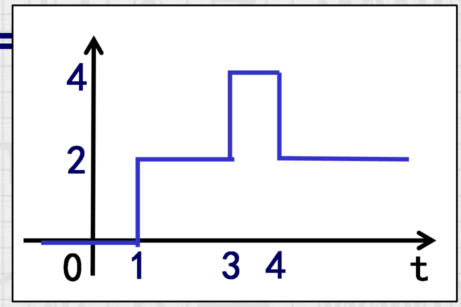


***

动态电路的时域分析

用单位阶跃信号表示…

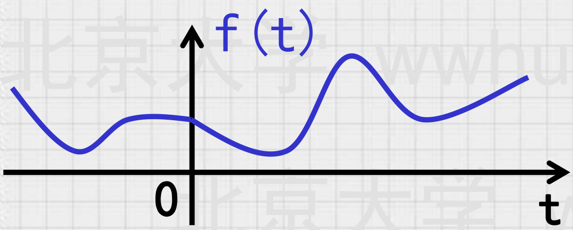


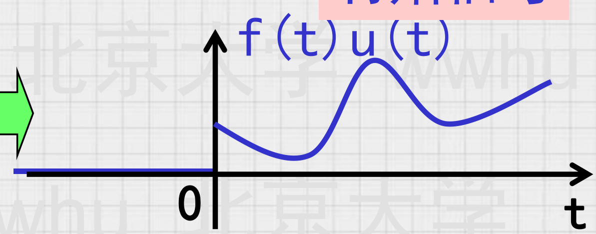


阶梯信号/分段线性信号

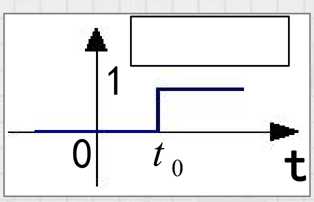
相乘

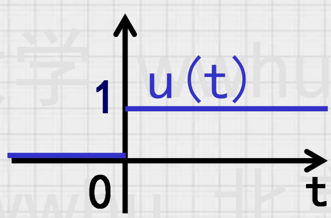
有始信号

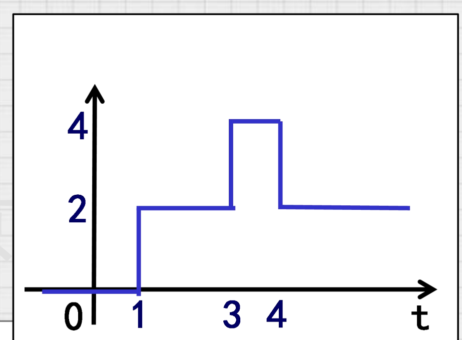


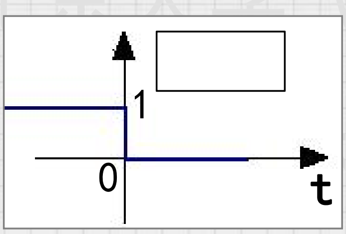


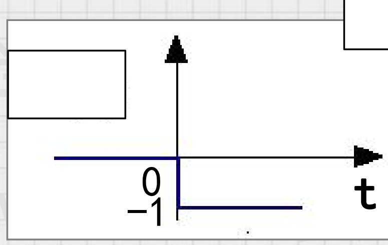
用单位阶跃信号表示…

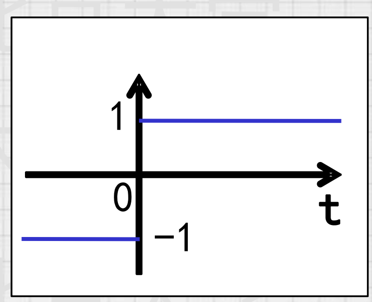




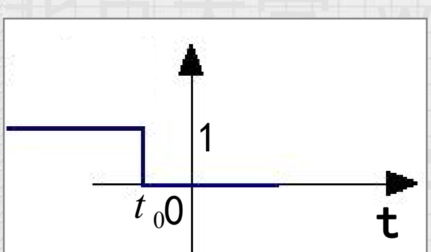




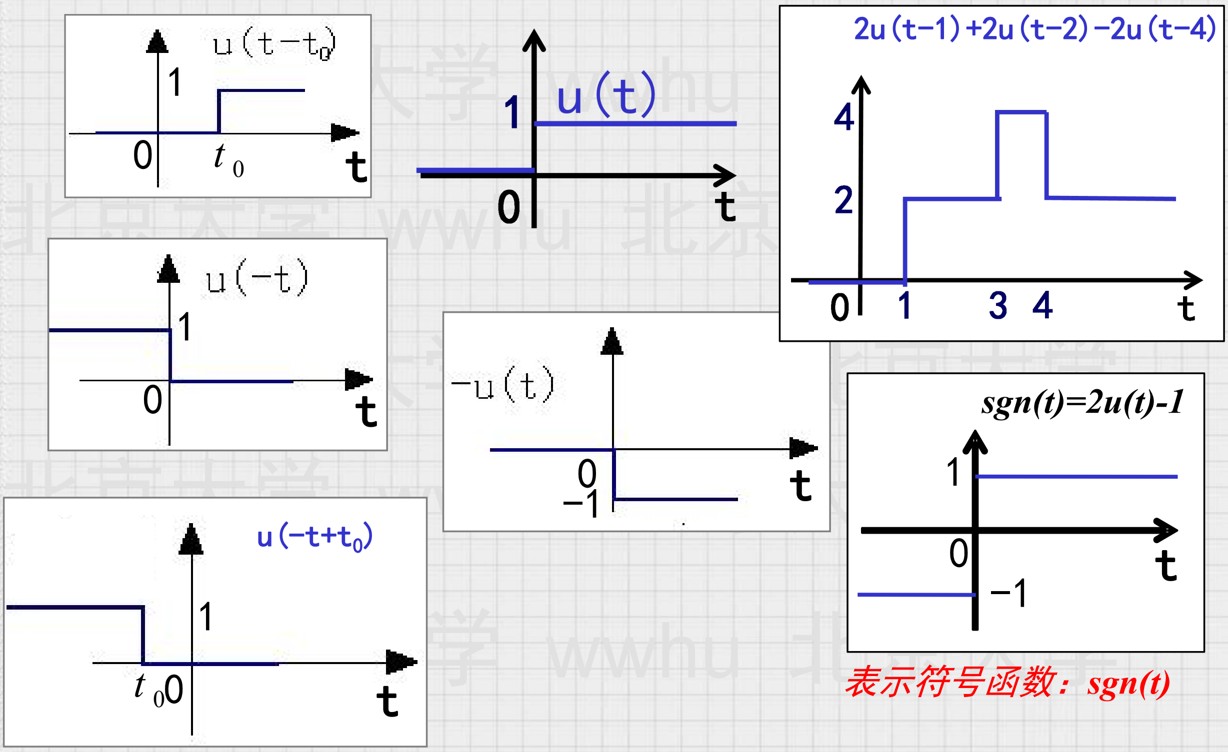




表示符号函数：*sgn(t)*



用单位阶跃信号表示… *可以课后练习。。。*

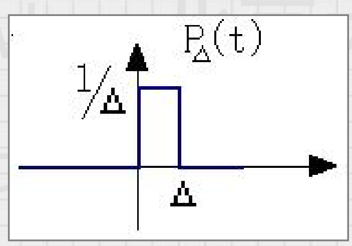


表示符号函数：sgn(t)

动态电路的时域分析

4 单位脉冲信号

$$P_\Delta(t)=\begin{cases}0 & t<0\\ 1/\Delta & 0<t<\Delta\\ 0 & t>\Delta\end{cases}$$



显然： $\int_{-\infty}^{\infty}P_\Delta(t)dt=1$

用u(t)表示： $P_\Delta(t)=\dfrac{1}{\Delta}[u(t)-u(t-\Delta)]$

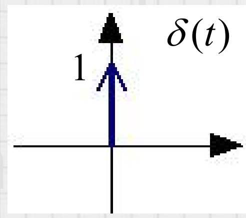
$$\lim_{\Delta\to 0}P_\Delta(t)=\lim_{\Delta\to 0}\frac{u(t)-u(t-\Delta)}{\Delta}=u'(t)=\delta(t)$$

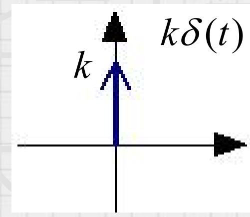
***

动态电路的时域分析

5 单位冲激信号

$$\delta(t)=\begin{cases}0 & t\neq 0\\ \infty & t=0\end{cases}$$





性质1：$\delta(t)=\lim\limits_{\Delta\to 0}P_{\Delta}(t)=\lim\limits_{\Delta\to 0}\dfrac{u(t)-u(t-\Delta)}{\Delta}=u'(t)$

积分定义

性质2：$\int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)dt=\int_{-t_0}^{t_0}\delta(t)dt=\int_{0-}^{0+}\delta(t)dt=1$

***

动态电路的时域分析

5 单位冲激信号严格定义

$$\delta(t)=\begin{cases}0 & t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)dt=\int_{0-}^{0+}\delta(t)dt=1\end{cases}$$

(奇异信号2)

性质3：筛分性（提取性，抽样性） $t\delta(t)=?$

$$f(t)\delta(t)=\begin{cases}0 & t\neq 0\\ f(0)\delta(t) & t=0\end{cases}$$

$$f(t)\delta(t-t_0)=\begin{cases}0 & t\neq t_0\\ f(t_0)\delta(t-t_0) & t=t_0\end{cases}$$

$$\int_{-\varsigma}^{\varsigma}f(t)\delta(t)dt=f(0)$$

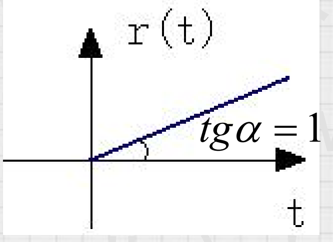
$$\int_{t_0-\varsigma}^{t_0+\varsigma}f(t)\delta(t-t_0)dt=f(t_0)$$

—位法国数学家引入广义函数。。。

动态电路的时域分析

6 单位斜坡信号

$$r(t) = tu(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$$

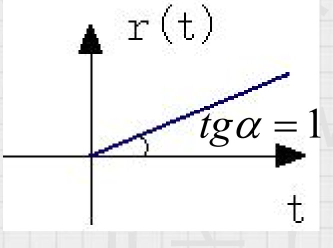


$$r'(t) = \boxed{} = u(t)$$

动态电路的时域分析

6 单位斜坡信号

$$r(t) = tu(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$$

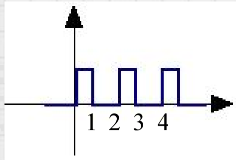


$$r'(t) = u(t) + t\delta(t) = u(t)$$

$$= 0$$

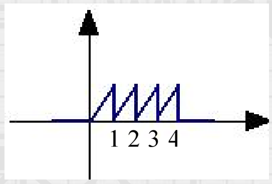
动态电路的时域分析

方波



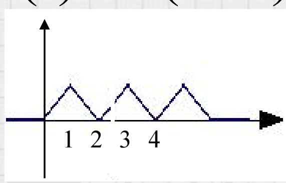
$$f(t)=u(t)-u(t-1)+u(t-2)-u(t-3)+.....$$

锯齿波



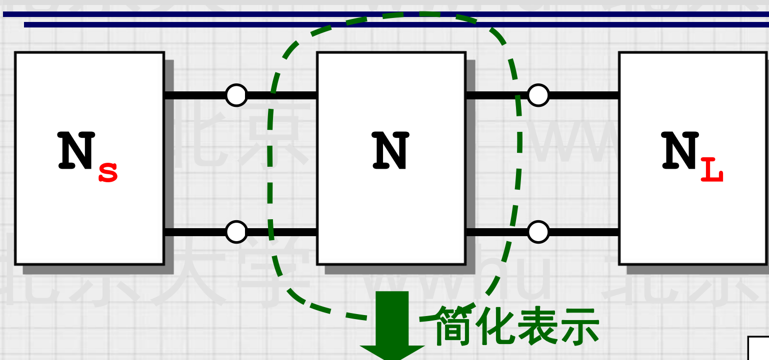
$$f(t)=r(t)-u(t-1)-u(t-2)-u(t-3)-....$$

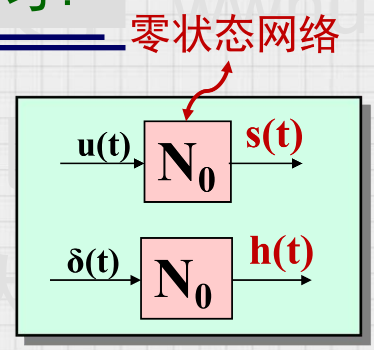
三角波

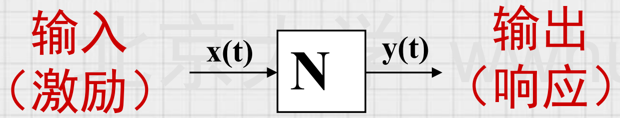


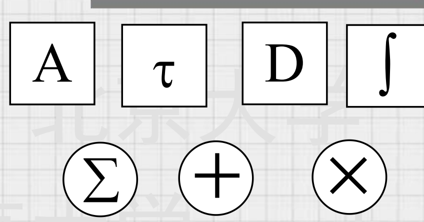
$$f(t)=r(t)-2r(t-1)+2r(t-2)-2r(t-3)+...$$

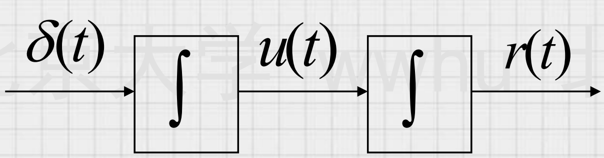
线性系统常用术语和框图描述复习：

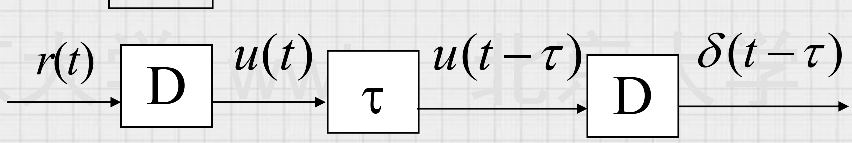










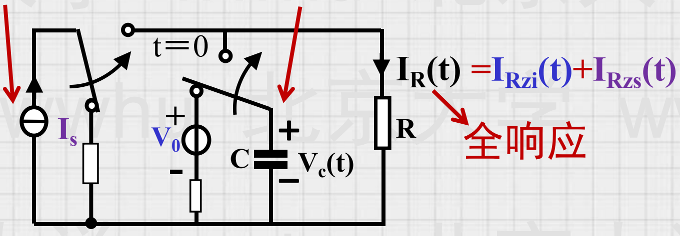


***

动态电路的时域分析-激励

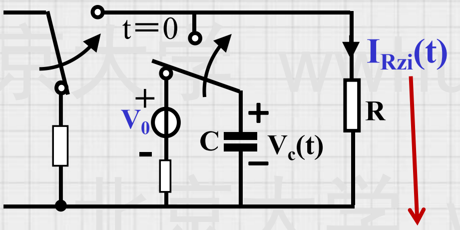
❑ 输入（激励）有两类来源：

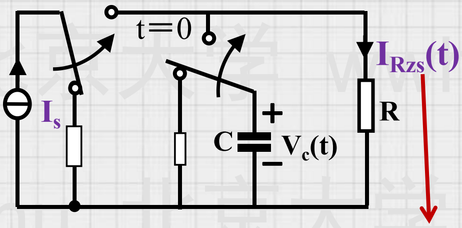
1) 独立源，2) 初值不为零的动态元件



定义：

零输入(zi)网络：独立源=0，　　零状态(zs)网络：初值=0





零输入响应　　零状态响应

两个网络黑板上画出简化版。。。

***

动态电路的时域分析-响应

❑ 输出（响应）负载电路的响应

零输入响应(Yzi)

->零输入网络产生的响应（由初值激励）

零状态响应(Yzs)

->零状态网络产生的响应（由独立源激励）

显然，对于线性网络，有：

全响应Y(t)=Yzi(t)+Yzs(t)

***

动态电路的时域分析

$x(t) \rightarrow \boxed{\mathbf{N}} \rightarrow y(t)$　　$u(t) \rightarrow \boxed{\mathbf{N}} \rightarrow s(t)$　　$\delta(t) \rightarrow \boxed{\mathbf{N}} \rightarrow h(t)$

❑ 单位阶跃响应$s(t)$和单位冲激响应$h(t)$

定义：

仅由单位阶跃信号在电路中产生的响应称为单位阶跃响应，记为$s(t)$。仅由单位冲击信号在电路中产生的响应称为单位冲激响应，记为$h(t)$。

并且有：$h(t) = \dfrac{ds(t)}{dt} = s'(t)$

单位阶跃响应和单位冲激响应都是零状态响应。

曲线救国：求冲击响应

用一般的激励与响应的N阶微分方程式证明

本讲要点

线性定常电路的时域分析

（以一阶动态电路为例）

1）典型源信号(激励信号)

2）动态电路的时域分析

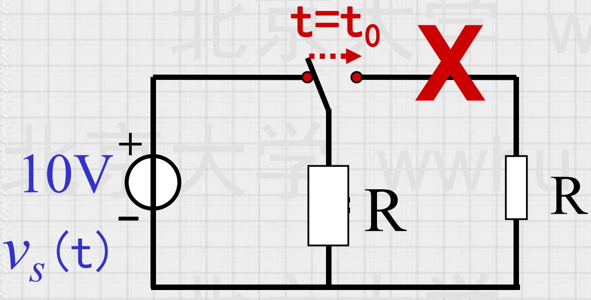
动态与稳态

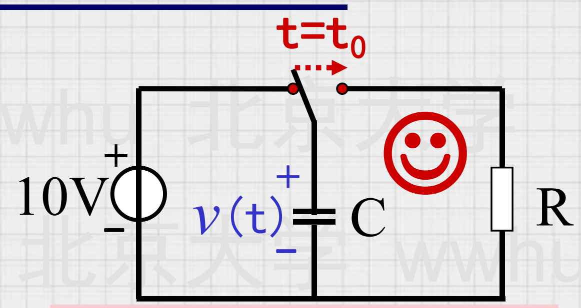
初始状态（初值/初始条件）的确定

二阶、高阶电路分析

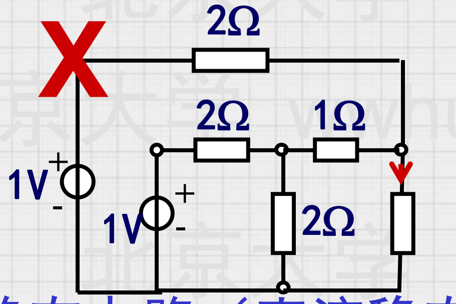
动态电路的时域分析

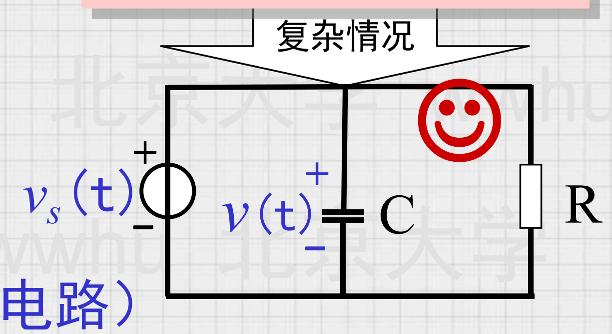
动态电路 ？





1. 有动态元件
2. 有换路动作



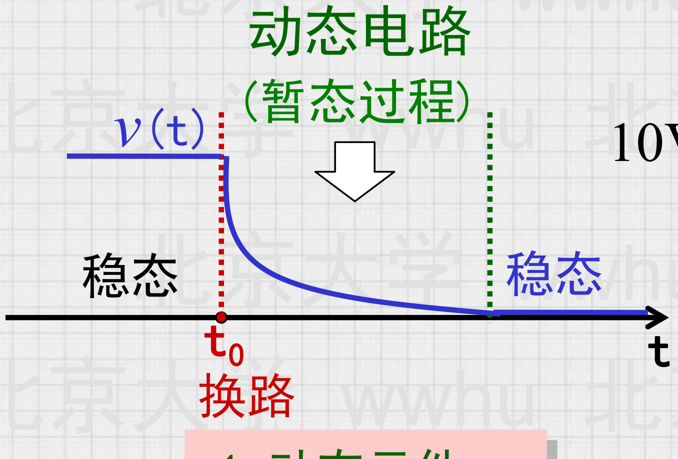


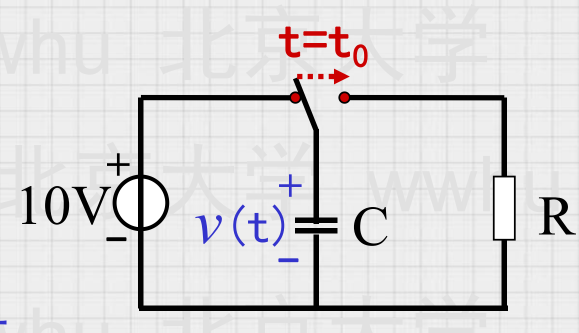
静态电路（直流稳态电路）

没有换路动作？有激励跃变。。。比如分段信号，画图解释

***

动态电路的时域分析

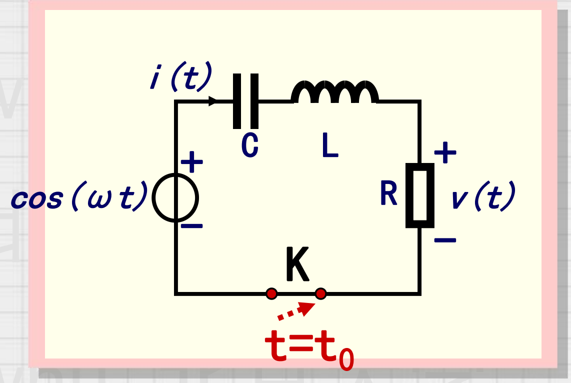


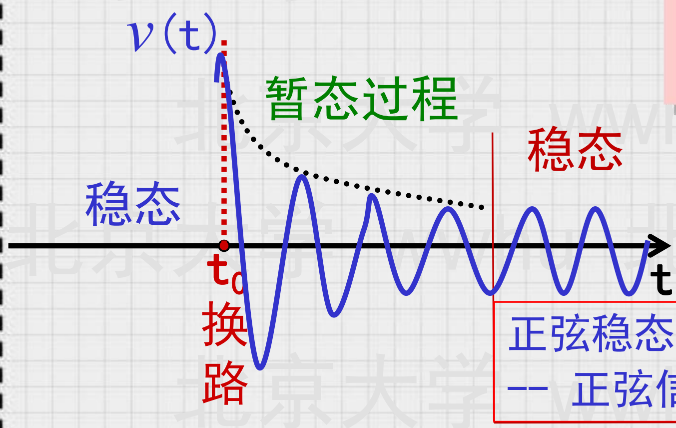


1. 动态元件
2. 换路

动态电路的时域分析

***





分析方法 → 相量法(复数法)

正弦稳态电路（下次课）

-- 正弦信号激励的稳态响应

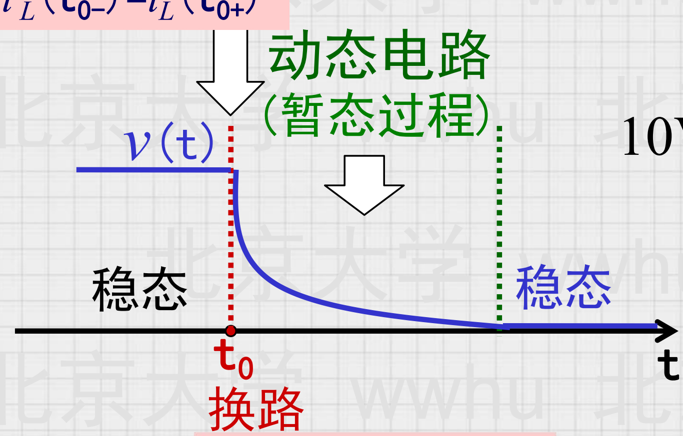
本讲会引出方法产生的源头。。。

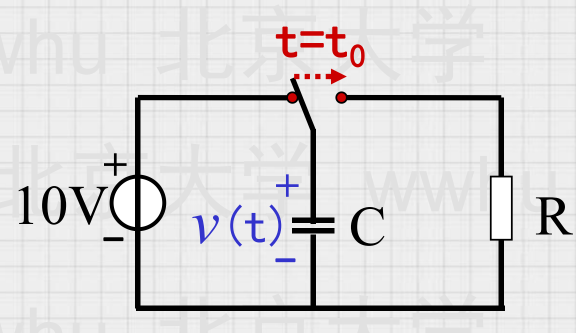
动态电路的时域分析

***

$v_c(t_{0-}) = v_c(t_{0+})$

$i_L(t_{0-}) = i_L(t_{0+})$





1. 动态元件
2. 换路

本讲要点

线性定常电路的时域分析

（以一阶动态电路为例）

1）典型源信号(激励信号)

2）动态电路的时域分析

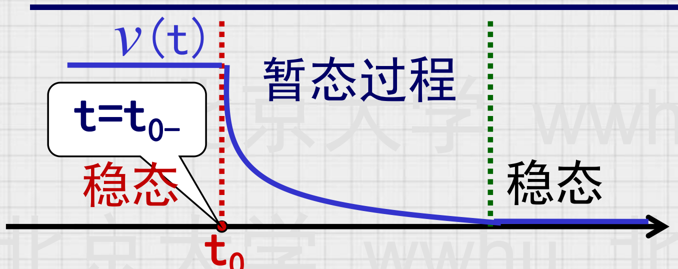
动态与稳态

初始状态（初值/初始条件）的确定

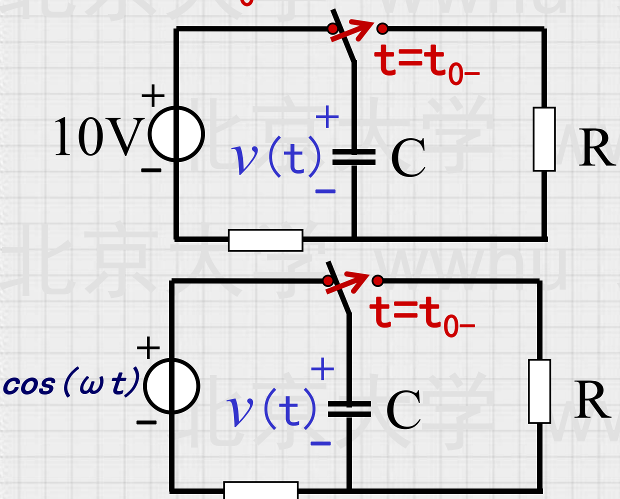
二阶、高阶电路分析

动态电路的时域分析-初始状态的确定

***



网络在$t=t_{0-}$时的状态。



电路达到直流稳态时，无电磁能量交换。此时，相当于电容开路、电感短路，即：

$v_L(t_{0-}) = i_c(t_{0-}) = 0$

电路达到交流稳态时，电磁能量稳定交换。此时，没有开路短路的简化，只有：

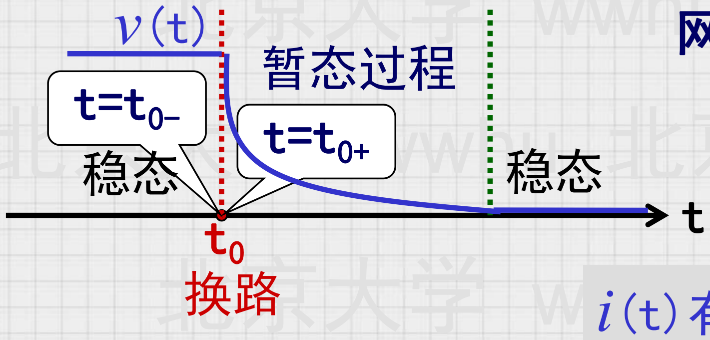
$v_C(t_{0-}) = v_C(t_{0+})$

感谢三位女同学的提醒！

动态电路的时域分析-初始状态的确定

***

初始状态（初值、初始条件）：



网络在$t=t_{0+}$时的状态。

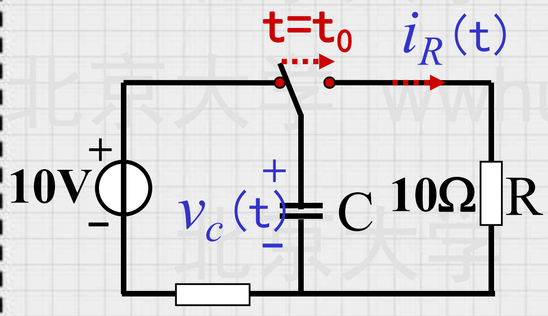
$$i(t)=C\frac{dv(t)}{dt}$$

$i(t)$有限量($\neq\infty$) → $v(t)$连续

$v_c(t_{0+})=v_c(t_{0-})$

$v_c(t_{0+})=10V$，$i_R(t_{0+})=-1A$

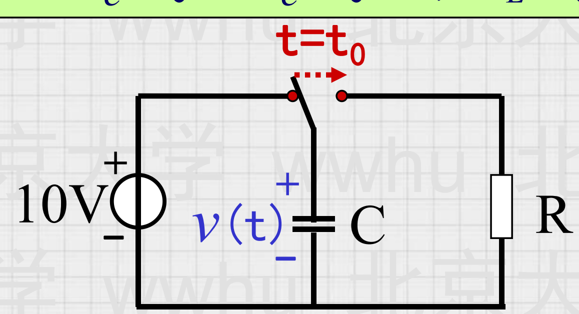
换路定则



动态电路的时域分析-初始状态的确定

***

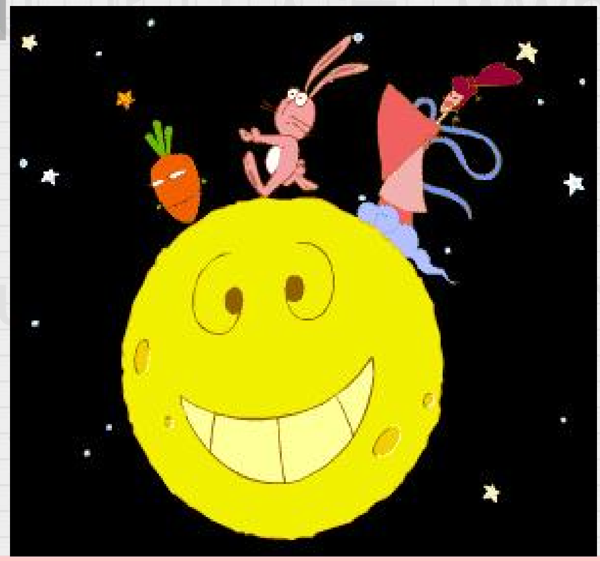
换路定则：电路在$t=t_0$时刻换路，只要电容上的电流/电感上的电压为有限量，则：换路前后$v_C(t)$和$i_L(t)$连续。记为： $v_c(t_{0-})=v_c(t_{0+})$ ，$i_L(t_{0-})=i_L(t_{0+})$



初始状态的确定：1。依据“换路定则”，

2。依据 KCL、KVL定律

Tea break!



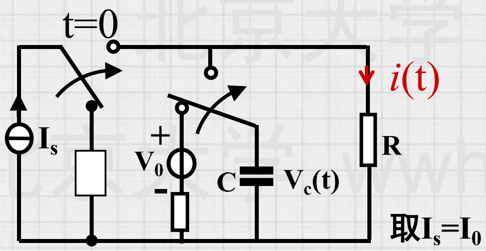
作业： 搞明白课上例题+

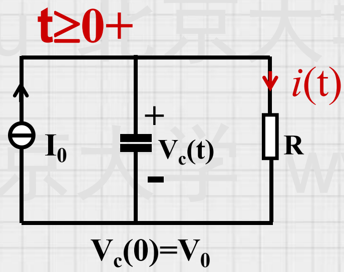
7-12, 2 —7, 13, 16

***

动态电路的时域分析

一阶电路的时域分析:





1. 确定初始状态:

在$t=t_{0-}$时(稳态)

→电容相当于开路，电感相当于短路$v_c(0-)=V_0$，$i(0-)=0$

在$t=t_{0+}$时刻

→换路定则$v_c(t_{0+})=v_c(t_{0-})$，$i_L(t_{0+})=i_L(t_{0-})$

→KCL, KVL, VCR定律

$V_c(0+)=V_0$　　$i(0+)=V_0/R$

***

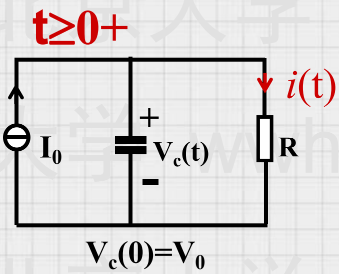
动态电路的时域分析

一阶电路的时域分析:

2. 建立方程:

$$V_c(t)=Ri(t)$$

$$I_0=i(t)+C\frac{dV_c(t)}{dt}$$



$$RC\frac{di(t)}{dt}+i(t)=I_0$$

$$i(0+)=V_0/R$$

"n"阶线性常系数微分方程

对应"n"个独立的动态元件数?

3. 求解:

数学基础:

n阶线性常系数微分方程的求解

(通解 + 特解)

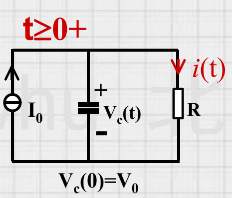
猜一猜方程对应的电路。。。

***

动态电路的时域分析

一阶电路的时域分析:

3. 求解:



$$RC\frac{di(t)}{dt}+i(t)=I_0$$

$$i(0+)=V_0/R$$

齐次方程求通解

特征方程:RCs+1=0

特征值: s=-1/RC=-1/τ

定义:时间常数 τ=RC

$$i(t)=Ke^{st}$$

特解 $i(t)=I_0$

一般解 $i(t)=Ke^{st}+I_0$

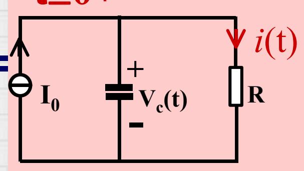
$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

(t≥0+)

***

动态电路的时域分析

t≥0+



$V_c(0)=V_0$

一阶电路的时域分析:

3. 求解:

$$RC\frac{di(t)}{dt}+i(t)=I_0$$

$$i(0+)=V_0/R$$

齐次方程的通解

特征方程：RCs+1=0

特征值：　s=-1/RC=-1/τ

定义：时间常数τ=RC

$$i(t)=Ke^{st}$$

特解 $i(t)=I_0$

特解：**和激励源有关，**
由外加电源强制产生

通解：**和网络结构和元件参数有关，**
由网络自身固有的内在因素所决定.

一般解 $i(t)=Ke^{st}+I_0$

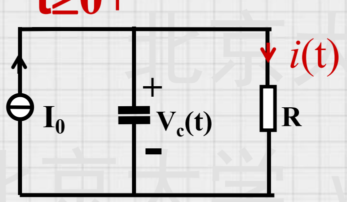
$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

(t≥0+)

***

动态电路的时域分析

t≥0+



$V_c(0)=V_0$

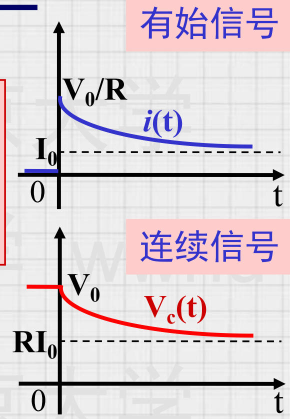
$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$

t>0 等同于 t≥0+

有始信号

连续信号



分析1：如何表达t=0点的响应信息

t≥0-
解的数学表达式→

$$i(t)=[\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})]u(t)$$

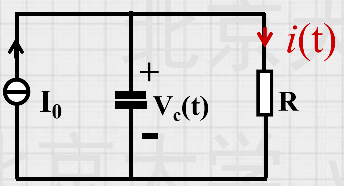
$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$

（t≥0）

***

动态电路的时域分析

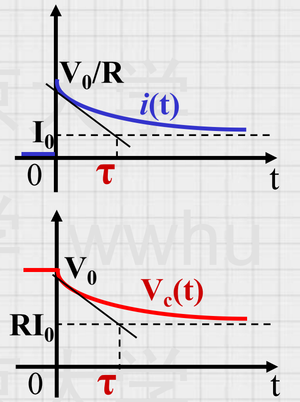
t≥0+



$V_c(0)=V_0$

$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$



分析2：关于时间常数 τ

τ的量纲：秒

决定电路充放电过程（过渡过程）的快慢（长短）

当t=τ时， $V_0e^{-t/\tau}$ **=V_0/e=36.8% V_0**

t=4τ， $V_0e^{-t/\tau}$ **=V_0 /e^4=1.84% V_0**

t=5τ， $V_0e^{-t/\tau}$ **=V_0 /e^5=0.68% V_0**

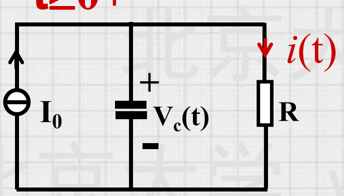
工程上，认为t=4τ～5τ时，过渡过程结束。

感谢吴宇轩同学的提醒！

***

动态电路的时域分析

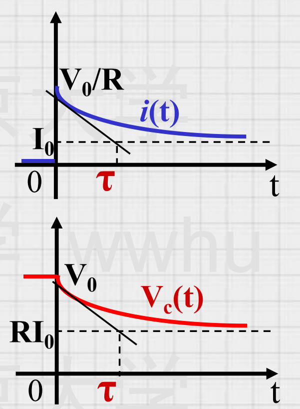
t≥0+



$V_c(0)=V_0$

$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

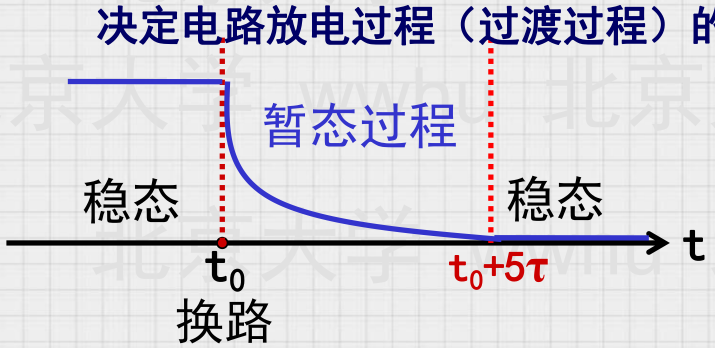
$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$



分析2：关于时间常数 τ

τ的量纲：秒

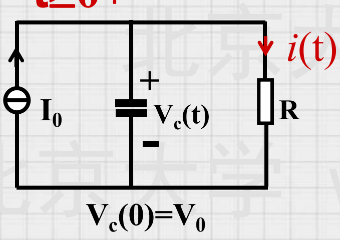
决定电路放电过程（过渡过程）的快慢（长短）



***

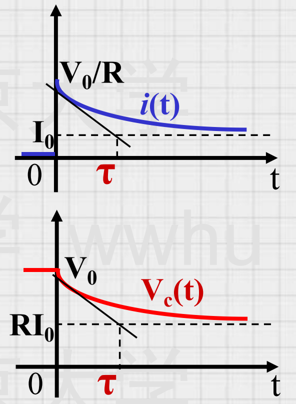
动态电路的时域分析

t≥0+



$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$



分析3：定义s为网络的固有频率

s=-1/τ具有频率的量纲

由网络固有的结构和参数决定，故称之为网络的固有频率

网络的固有频率决定了网络的稳定性

$$RC\frac{di(t)}{dt}+i(t)=0$$

求通解

特征方程：RCs+1=0

特征值：　s=-1/RC=-1/ τ

定义：时间常数 τ =RC

通解

$$i(t)=Ke^{st}$$

***

网络的固有频率决定了网络的稳定性

含N个独立的动态元件的电路建立的微分方程：

$$(a_n\frac{d^{(n)}}{dt^n}+a_{n-1}\frac{d^{(n-1)}}{dt^{n-1}}+\ldots+a_1\frac{d}{dt}+a_0)y(t)=x(t)$$

求通解的特征方程：

$$a_ns^n+a_{n-1}s^{n-1}+\ldots+a_1s^1+a_0=0$$

$$K_ie^{s_it}$$

$e^{-t/\tau}$

$$K_1\cos(\omega t)+K_2\sin(\omega t)$$

$$K_1e^{at}\cos(\omega t)+K_2e^{at}\sin(\omega t)$$

$$K_1e^{s_1t}+K_2te^{s_1t}$$

通解：**和网络结构和元件参数有关,** 由网络自身固有的内在因素所决定.

网络的固有频率决定了网络的稳定性

又长本事啦。。。!

***

动态电路的时域分析–网络的稳定性判断

时域分析

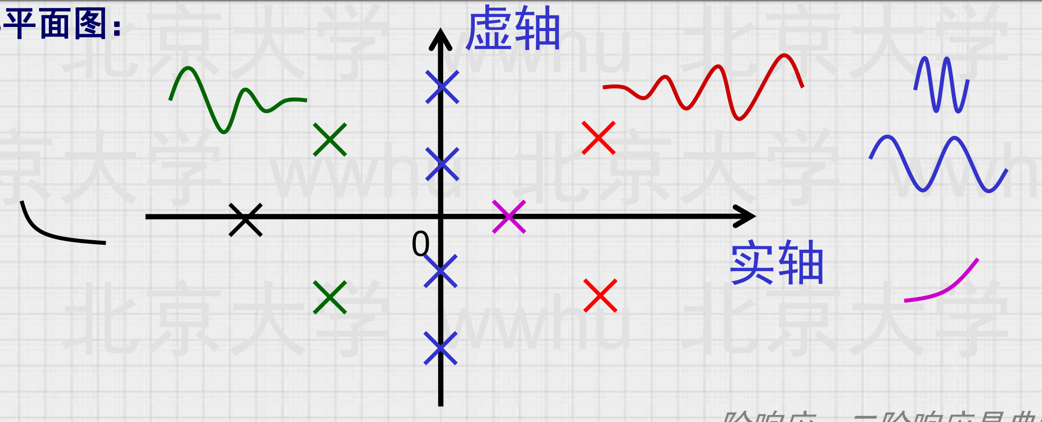
微分方程：$\left(a_n\frac{d^n}{dt^n}+a_{n-1}\frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}}+\cdots+a_0\right)y(t)=x(t)$

特征方程：$a_n s^n+a_{n-1}s^{n-1}+\cdots+a_0=0$

特征根：$s=s_1,s_2,\ldots s_n$ 网络的固有频率

稳定条件：$\mathrm{Re}\{s_1,\ldots s_n\}<0$ 落在s平面的左半侧

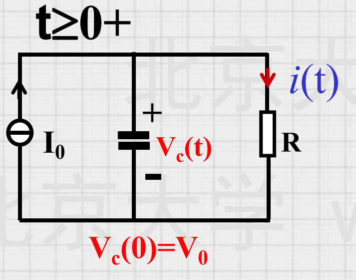
S平面图：



一阶响应、二阶响应是典型…

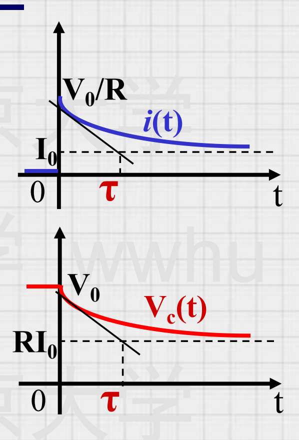
***

动态电路的时域分析



$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$



分析4：稳态和暂态响应

$$i(t)=(\frac{V_0}{R}-I_0)e^{-t/\tau}+I_0$$

$$v_c(t)=(V_0-RI_0)e^{-t/\tau}+RI_0$$

暂态响应 稳态响应

暂态过程的长短
和固有频率有关

由通解决定

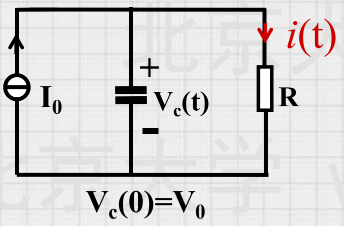
特解：**和激励源有关，**
由外加电路源强制产生

如何不求解微分方程就能获得一个稳定网络的稳态响应

***

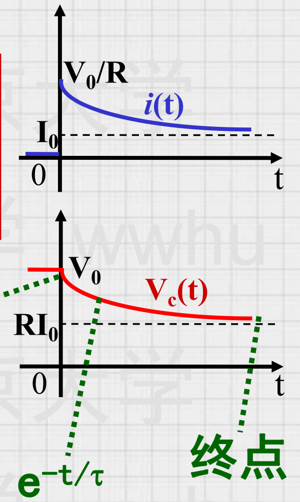
动态电路的时域分析

t≥0+



$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$



分析5：一阶电路的三要素法

$$i(0+)=\frac{V_0}{R},\qquad i(\infty)=I_0,\qquad e^{-t/\tau}$$

$$V_c(0+)=V_0,\qquad V_c(\infty)=RI_0,\qquad e^{-t/\tau}$$

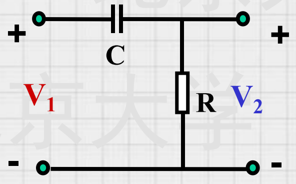
起点　　终值点　　时间常数τ

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

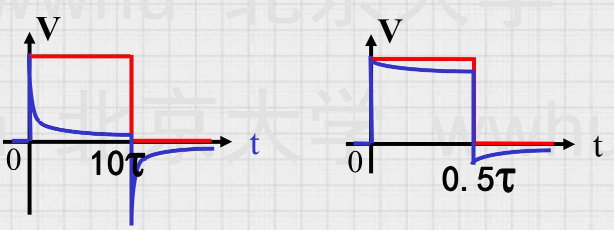
***

动态电路的时域分析

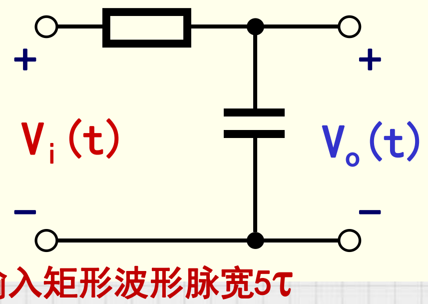
三要素法—定性快速地画出响应



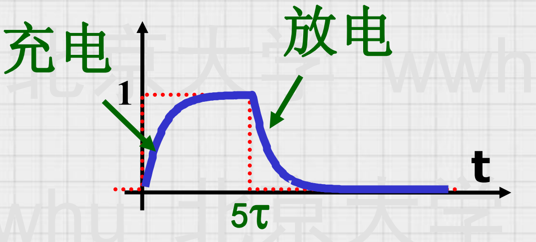
输入矩形波形脉宽10τ、0.5τ



“微分电路”



输入矩形波形脉宽5τ

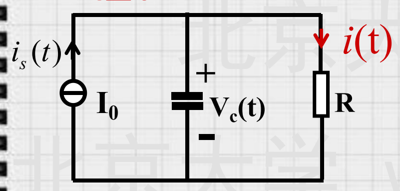


又长本事啦。。。！

***

动态电路的时域分析

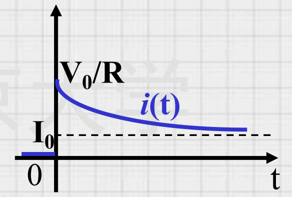
t≥0+

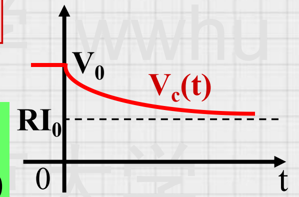


$V_c(0)=V_0$

$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$





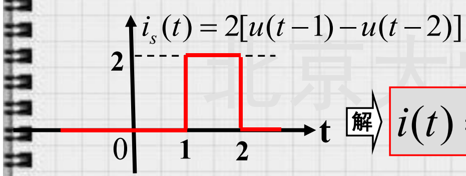
分析6：单位阶跃响应

根据定义，上图中取：

$i_s(t)=u(t)$,即：$I_0=1, V_0=0$

$$s(t)=i(t)=(1-e^{-t/\tau})u(t)$$

利用单位阶跃响应求解脉冲信号的响应：



$$2[s(t-1)-s(t-2)]$$

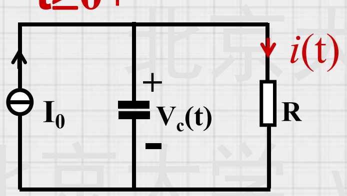
解 $\Rightarrow$ $$i(t)=2[(1-e^{-(t-1)/\tau})u(t-1)-(1-e^{-(t-2)/\tau})u(t-2)]$$

先错求I,问大家错在哪里…还有，求冲击响应

***

动态电路的时域分析

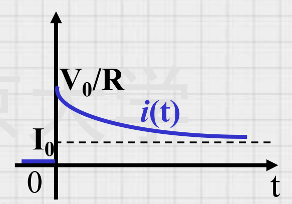
t≥0+

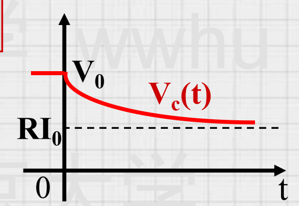


$V_c(0)=V_0$

$$i(t)=\frac{V_0}{R}e^{-t/\tau}+I_0(1-e^{-t/\tau})$$

$$v_c(t)=V_0e^{-t/\tau}+RI_0(1-e^{-t/\tau})$$





分析7：

零输入响应$Y_{zi}(t)$

零状态响应$Y_{zs}(t)$

全响应Y(t)=Yzi(t)+Yzs(t)

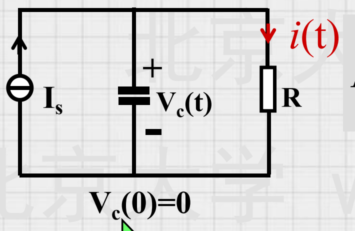
$t>>\tau$

稳态响应

求特解很简单

动态电路的时域分析

t≥0+



$$RC\frac{di(t)}{dt}+i(t)=i_s(t)$$

微分

分析8： 求 $i_s(t)=I_0e^{j\omega t}$ 激励的稳态响应

$v(t)=L\frac{di(t)}{dt}\ \to j\omega L\bullet i(t)$

$i(t)=C\frac{dv(t)}{dt}\ \to j\omega C\bullet v(t)$

稳态特解 $i(t)=Ae^{j\omega t}$

$$RC\bullet j\omega\bullet Ae^{j\omega t}+Ae^{j\omega t}=I_0e^{j\omega t}\ \Rightarrow\ A=\frac{I_0}{1+R\bullet j\omega C}$$

代数

利用复指数信号的稳态响应求解正弦信号的稳态响应：

求 $i_s(t)=I_0\cos(\omega t)=\mathrm{Re}(I_0e^{j\omega t})$ 激励的稳态响应

$i(t)=Ae^{j\omega t}=\ldots$

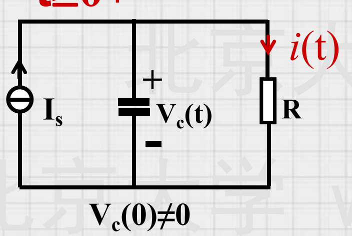
$\Rightarrow i(t)=\mathrm{Re}(Ae^{j\omega t})$

☺又又发现一个偷懒的办法☺

欧拉公式：$e^{j\theta}=\cos\theta+j\sin\theta$

动态电路的时域分析

t≥0+

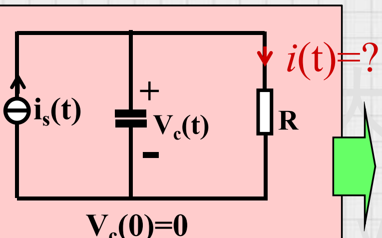


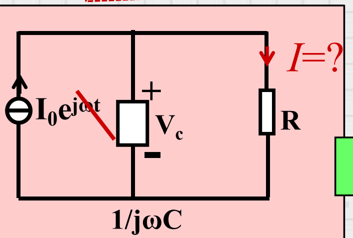
$I(j\omega)$

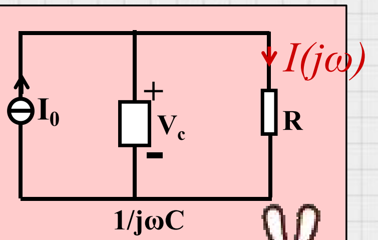
$$I=\frac{I_0\cancel{e^{j\omega t}}}{1+j\omega CR}$$

$i(t)=\mathrm{Re}[I(j\omega)e^{j\omega t}]=\ldots$

$$I(j\omega)=\frac{I_0}{1+j\omega CR}$$







求 $i_s(t)=I_0\cos(\omega t)=\mathrm{Re}(I_0e^{j\omega t})$ 的稳态响应

正弦稳态电路分析方法

（相量法or复数法）的数学依据