兴趣 认真 执著 创新

《电子线路分析与设计》

第五讲:正弦稳态电路分析
& 网络定理

胡薇薇

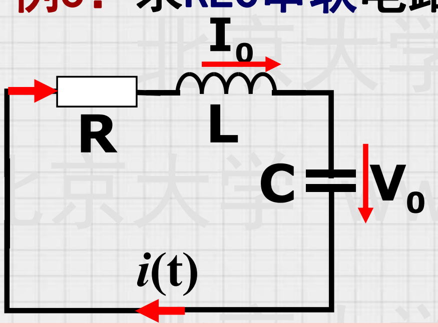
2023. 9. 25

北京大学

二阶动态电路的时域分析

复习

例3：求RLC串联电路的零输入响应：



$$\begin{cases} Ri(t) + L\dfrac{di(t)}{dt} + \dfrac{1}{C}\int_0^t i(t)dt + V_0 = 0 \\ i(t_{0+}) = I_0 \\ RI_0 + L\dfrac{di(t_{0+})}{dt} + V_0 = 0 \end{cases}$$

整理得：

$$\begin{cases} \dfrac{d^2 i(t)}{dt^2} + \dfrac{R}{L}\dfrac{di(t)}{dt} + \dfrac{1}{LC}i(t) = 0 \\ i(t_{0+}) = I_0 \\ \dfrac{di(t_{0+})}{dt} = -\dfrac{1}{L}(RI_0 + V_0) \end{cases}$$

$$s^2 + \frac{R}{L}s + \frac{1}{LC} = 0$$

解本征方程

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} \qquad \alpha = \frac{R}{2L} \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$i(t) = \begin{cases} A_1e^{-\alpha_1 t} + A_2e^{-\alpha_2 t} & \text{过阻尼} \\ (K_1 + K_2t)e^{-\alpha t} & \text{临界阻尼} \\ ke^{-\alpha t}\cos(\omega_d t + \phi) & \text{欠阻尼} \\ k\cos(\omega_0 t + \phi) & \text{无阻尼} \end{cases}$$

通过固有频率判断网络时域响应特征

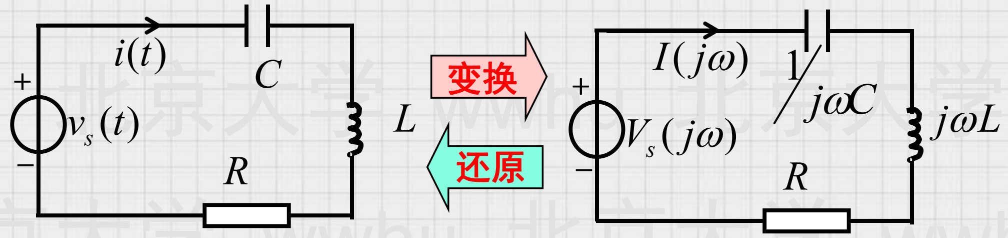
掌握：分析思路和响应特性...

正弦稳态电路分析(电路的复数解法)

复习

网络的复数解法---符号电路（相量模型电路）

实际电路



符号电路

$v_s(t)$ & 实际电路 —— 时域分析方法求解微分方程 → $i(t)$

变换 ↓   ↑ 还原

$V_s(j\omega)$ & 符号电路 —— 复数法/相量法 求解代数方程 → $I(j\omega)$

用复数解法（相量法）来分析网络的响应的步骤可以为：

1). 实际电路→符号电路(用复数表示)
2). 求解代数方程，获得解的复数形式
3). 复数解还原为时域解

随手举例Vs（t）...

正弦稳态电路分析(电路的复数解法)

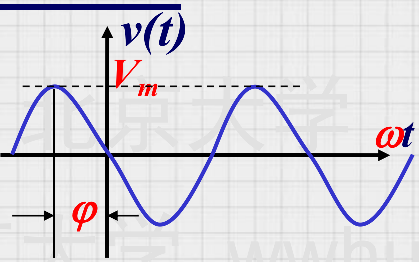
复习

正弦信号的复数表示

正弦量：$v(t) = V_m\cos(\omega t+\varphi)$

还原 ↑ ↓ 变换

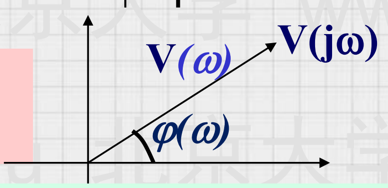
$= Re\{ V_m(j\omega)e^{j\omega t} \}$



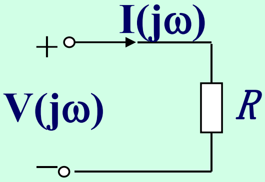
相量与相量图：

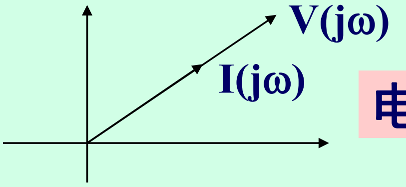
$V_m(j\omega)= V_m(\omega)e^{j\varphi(\omega)} =V_m(\omega)\angle\varphi(\omega)$

$V(j\omega)= V(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = V(\omega)\angle\varphi(\omega)$



1. 电阻：$\because v(t) = Ri(t)$ ⇨ $V(j\omega)=RI(j\omega)$





电流和电压同相

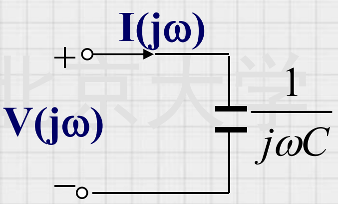
复习

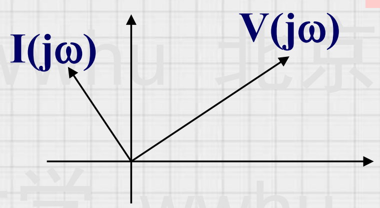
正弦稳态电路分析--相量法(复数法)

2. 电容:

$$i(t)=C\frac{dv(t)}{dt}\qquad I(j\omega)=j\omega C\bullet V(j\omega)$$

电流超前电压90°

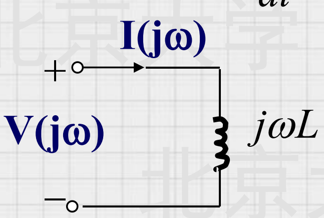


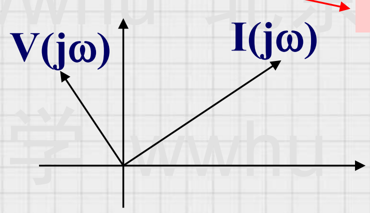


3. 电感:

$$v(t)=L\frac{di(t)}{dt}\qquad V(j\omega)=j\omega L\bullet I(j\omega)$$

电压超前电流90°





复习

正弦稳态功率

2. 平均功率　单位：W（瓦）有功功率

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt=IV\cos\varphi$$

$\cos\varphi$ 功率因素， φ 功率因素角；

3.无功功率　单位：VAR or var（乏）

$$Q=IV\sin\varphi$$

4.视在功率　单位：VA（伏安）额定功率

$$S=IV=\sqrt{P^2+Q^2}$$

5.复功率　单位：无　$P_c = P + jQ = S\angle\varphi$

3.传递函数的幅频特性与相频特性

复习

可以简写为：$\angle\Phi(\omega)$

以jω为自变量

$$H(j\omega)=\frac{\text{响应的复数形式}}{\text{激励的复数形式}}=\frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}=|H(j\omega)|\cdot e^{j\Phi(\omega)}$$

以ω为自变量

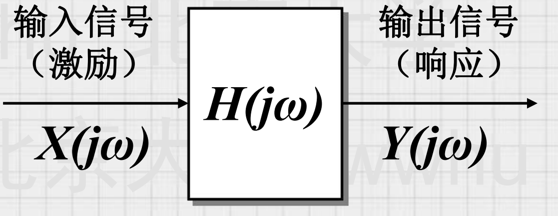
$|H(j\omega)|$：网络的**幅频**特性

+

$\Phi(\omega)$：网络的**相频**特性

||

频率响应特性



传递函数可以描述网络的频率响应特性

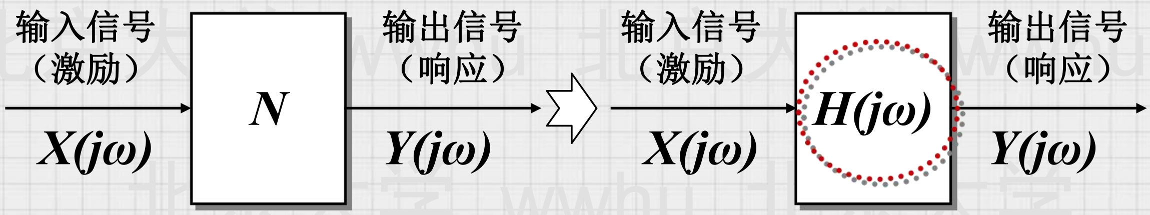
本讲要点：

- 正弦稳态电路分析--相量法(复数法)
  - 复数法与相量法、阻抗与导纳、
  - 元件、定律、定理的复数形式
  - 正弦稳态功率(可以自学)
  - 网络的稳定性、
  - 传递函数、传递函数与网络的关系
- **滤波器**
  - 滤波器的**定义**和分类
  - **一阶滤波器**
  - **二阶滤波器**

二阶滤波器只讲定义和典型特征，有后面课程继续…

1. 滤波器的定义 ***

❑滤波器是一个对输入信号进行处理的双口网络，它以一种规定的方式按要求对输入信号进行频率选择，从而将输入信号变换成要求的输出信号。



$$Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot X(j\omega)$$

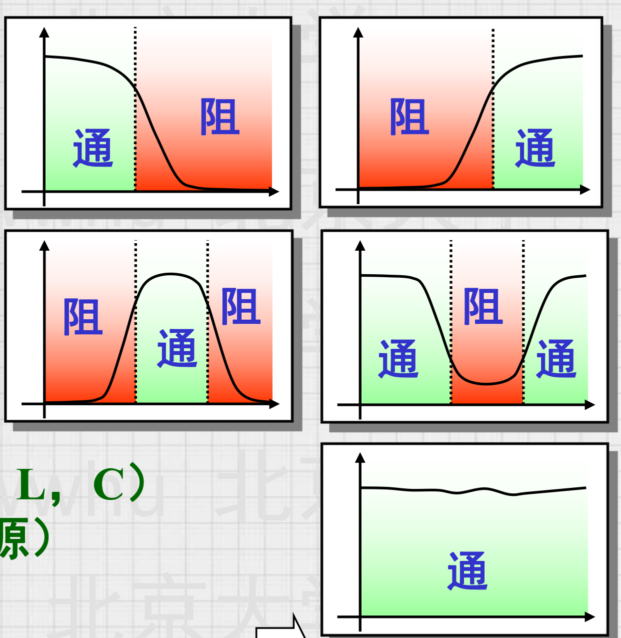
网络的传递函数可以表示滤波器的频率选择特性

2. 滤波器的种类

❑根据频率选择特性
- 低通
- 高通 → 一阶
- 带通
- 带阻 → 二阶
- 全通 → 零阶

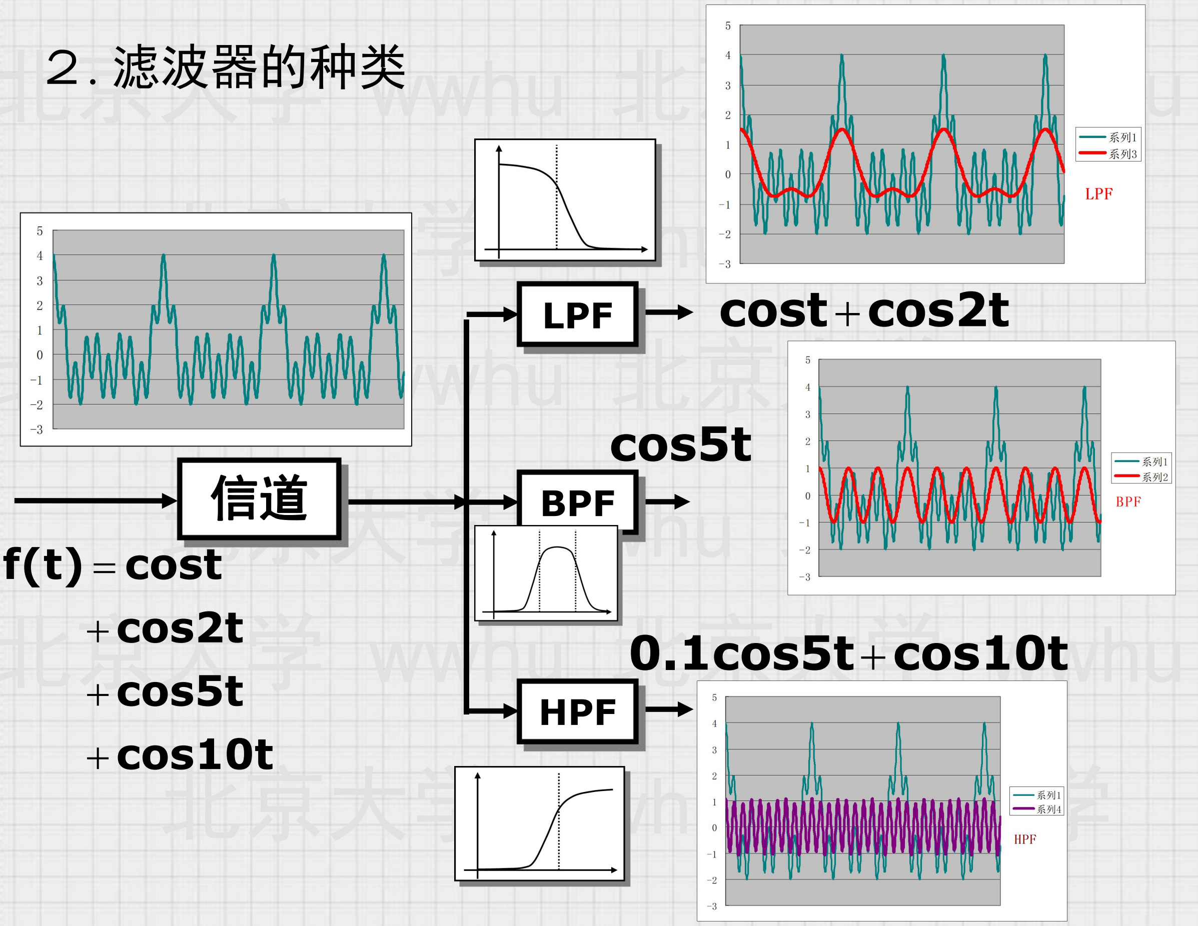
❑根据是否有源
- 无源滤波器（仅含R，L，C）
- 有源滤波器（含受控源）

❑根据实现手段
- 模拟滤波器
- 数字滤波器



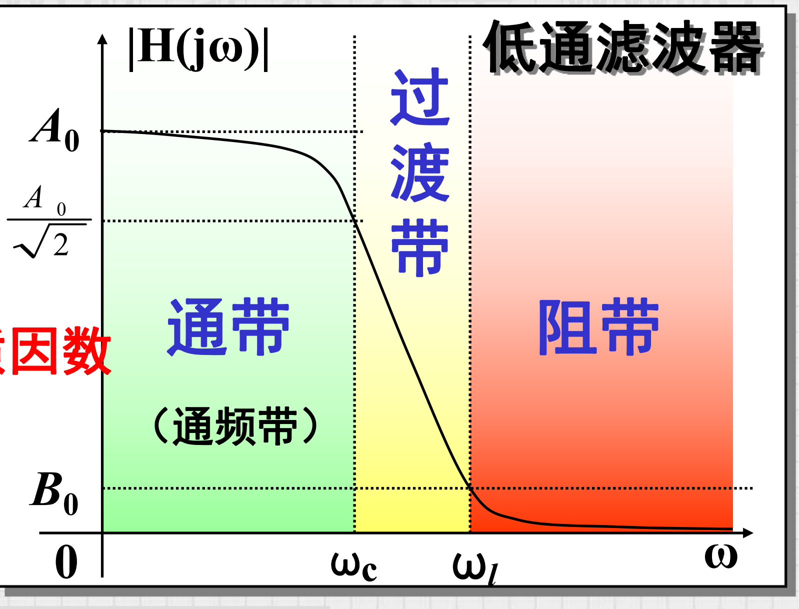
找寻教室里的滤波器、约束范围…

2. 滤波器的种类



3. 滤波器的参数: ***

- 截止频率 ω_c
- 带宽 (3dB, 20dB)
- 过渡带
- 谐振频率、品质因数
- 半功率点 (3dB点)



$$10\lg\left|\frac{H(j\omega)}{A_0}\right|^2\Bigg|_{\omega=\omega_c} = 10\lg\frac{1}{2} \approx -3\ [\mathrm{dB}]$$

定性画图...

4. 一阶滤波器（一个动态元件）

***

❑电容的阻抗及其频响（高通器件）

$$Z=\frac{1}{j\omega C}$$

$\omega\to0$	$\lvert Z\rvert\to\infty$	$\omega\to\infty$	$\lvert Z\rvert\to0$
低频	开路	高频	短路
	$I\to0$		$V\to0$

❑电感的阻抗及其频响（低通器件）

$$Z=j\omega L$$

$\omega\to0$	$\lvert Z\rvert\to0$	$\omega\to\infty$	$\lvert Z\rvert\to\infty$
低频	短路	高频	开路
	$V\to0$		$I\to0$

4. 一阶滤波器（一个动态元件）

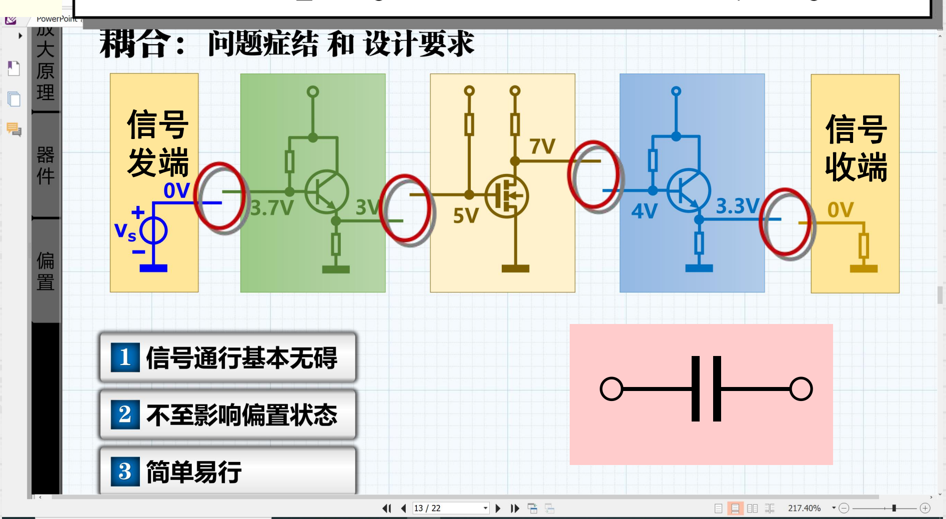
***

❑电容的阻抗及其频响（高通器件）

$$Z=\frac{1}{j\omega C}$$

$\omega\to0$	$\lvert Z\rvert\to\infty$	$\omega\to\infty$	$\lvert Z\rvert\to0$
低频	开路	高频	短路
	$I\to0$		$V\to0$

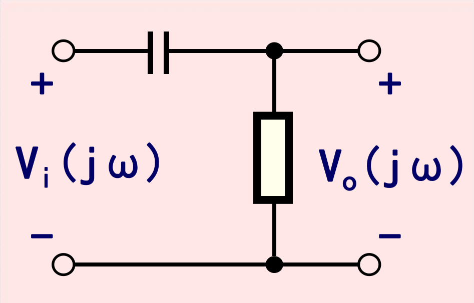
隔直举例：



***

4. 一阶滤波器（一个动态元件）

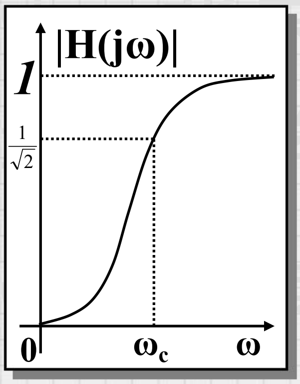
❑例(一阶高通RC滤波器)：

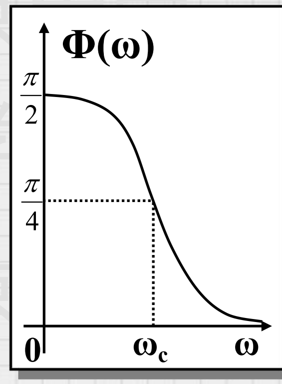


$$H(j\omega)=\frac{R}{R+1/j\omega C}=\frac{j\omega}{1/RC+j\omega}$$

$$\begin{cases}|H(j\omega)|=\dfrac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^{-2}}}\\ |\Phi(\omega)|=\dfrac{\pi}{2}-\arctan(\omega RC)\end{cases}$$

$\omega\to\infty$	$\lvert H(j\omega)\rvert\to 1$	$\Phi(\omega)\to 0$
$\omega=1/RC$	$\lvert H(j\omega)\rvert=\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\Phi(\omega)=\frac{\pi}{4}$
$\omega=0$	$\lvert H(j\omega)\rvert=0$	$\Phi(\omega)=\frac{\pi}{2}$

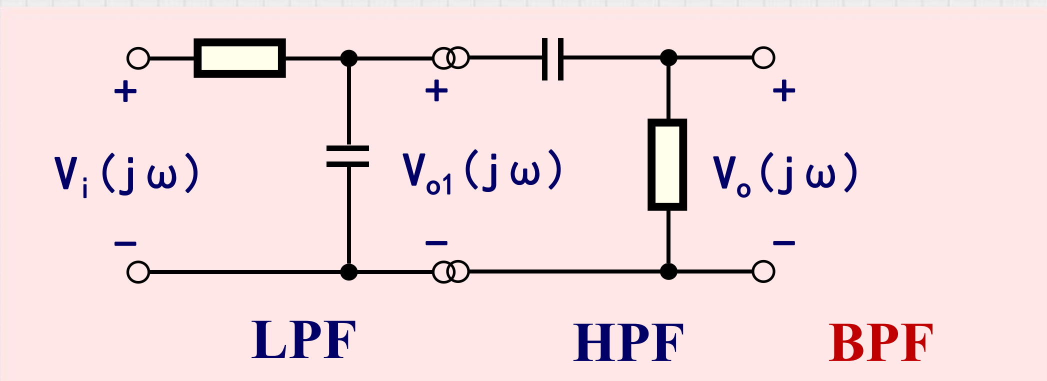


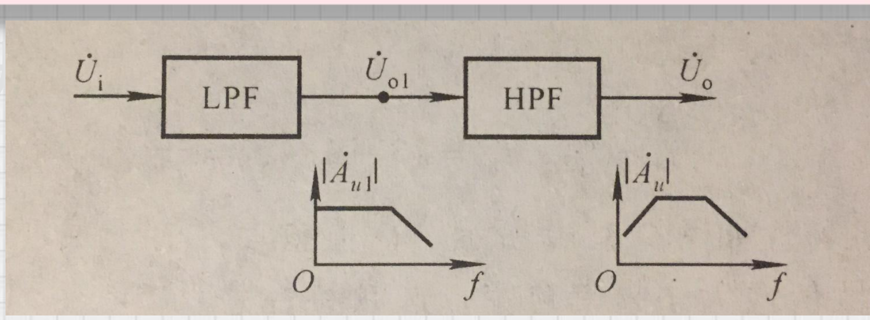


定性画图...

4. 一阶滤波器（一个动态元件）

❑例：两个一阶电路组成一个带通滤波器

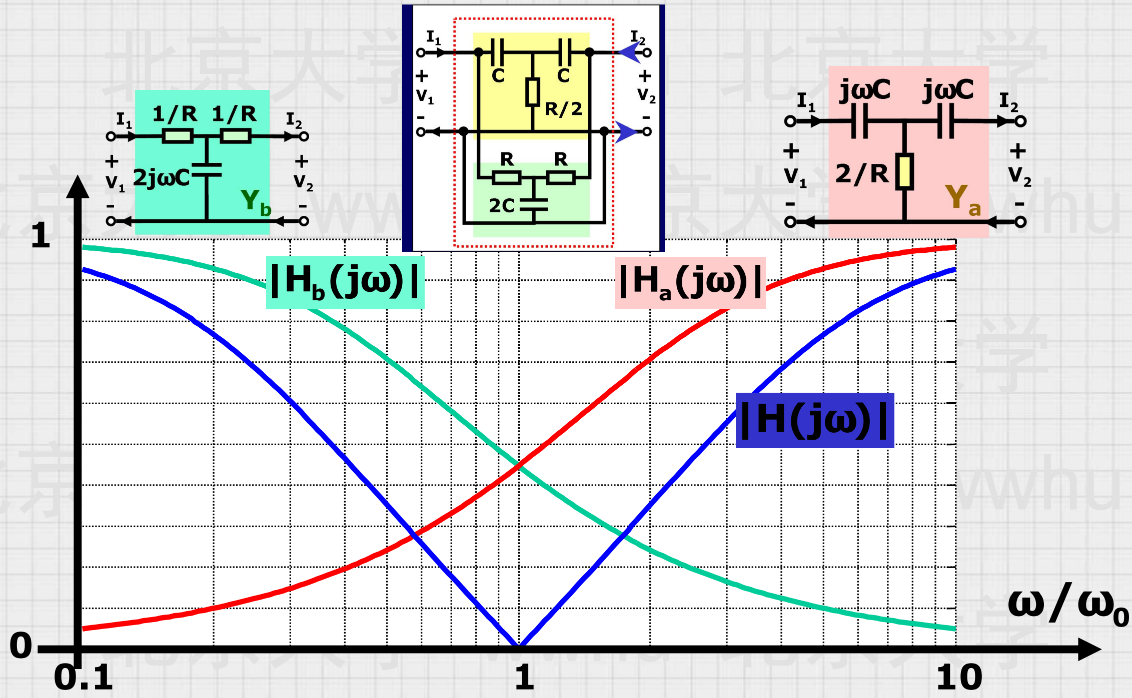




画一个切比雪夫滤波器...连接方式。。。

4. 一阶滤波器（一个动态元件）

❑例：几个一阶电路组成一个带阻滤波器

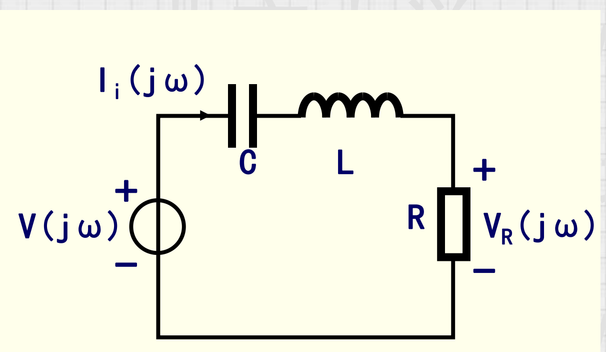


连接方式。。。

5. 二阶滤波器（两个动态元件）

***

❑例：串联谐振电路



$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$$

➧ 传递函数

$$H(j\omega) = \frac{V_R(j\omega)}{V(j\omega)} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

➧ 模和幅角（频响）

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

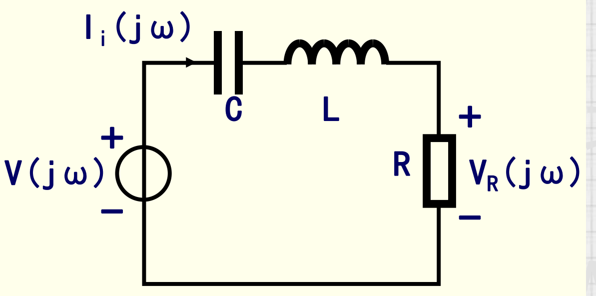
$$\varphi(\omega) = -\arctan Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$$

找寻VCR矢量关系...

5. 二阶滤波器（两个动态元件）

***

❑例：串联谐振电路



谐振频率： $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$

品质因数： $Q = \dfrac{\omega_0 L}{R} = \dfrac{1}{\omega_0 RC}$

➠ 传递函数

$$H(j\omega) = \frac{V_R(j\omega)}{V(j\omega)} = \frac{R}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

➠ 模和幅角（频响）

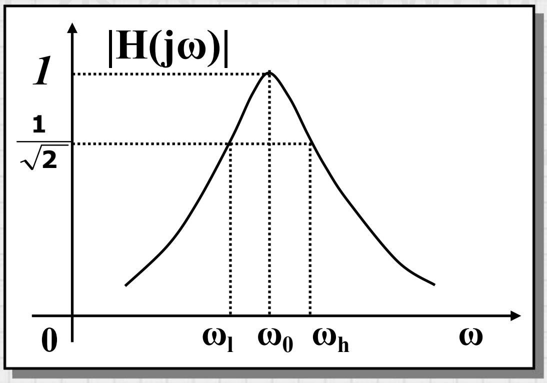
$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}}$$

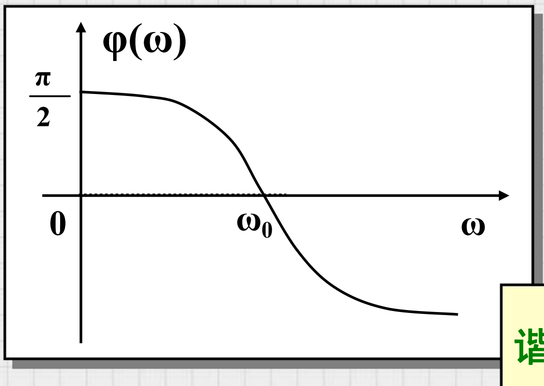
$$\varphi(\omega) = -\arctan Q\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)$$

表达式和定性图的关系...

5. 二阶滤波器（两个动态元件）

***





➠ 由半功率点可求得

$$\omega_l = \frac{\omega_0}{2Q}\left(\sqrt{1+4Q^2} - 1\right)$$

$$\omega_h = \frac{\omega_0}{2Q}\left(\sqrt{1+4Q^2} + 1\right)$$

➠ 带通滤波器3dB带宽

$$\Delta\omega = \omega_h - \omega_l = \frac{\omega_0}{Q}$$

➠ 相对带宽 $\dfrac{\Delta\omega}{\omega_0} = \dfrac{1}{Q}$

谐振频率 & 品质因数

5. 二阶滤波器（两个动态元件）

关于品质因数：

品质因数的物理定义：

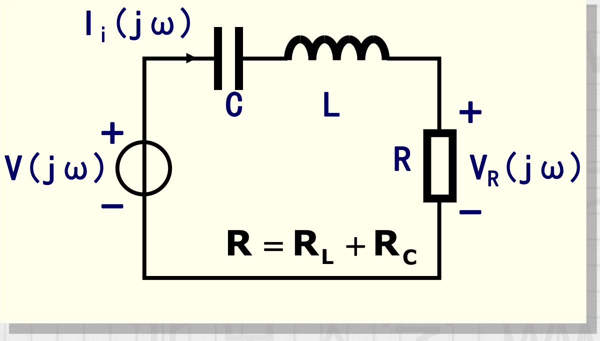
$$Q = 2\pi \frac{\text{谐振时系统储能}}{\text{谐振时系统每周期耗能}}$$

品质因数的工程定义：

$$Q = \frac{\omega_0}{\Delta\omega} = \frac{\omega_0}{\omega_h - \omega_l}$$

5. 二阶滤波器（两个动态元件）

关于品质因数（串联谐振电路）：



定义：R_L： $Q_L = \frac{\omega_0 L}{R_L}$

R_C： $Q_C = \frac{1}{\omega_0 R_C C}$

谐振频率：$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

品质因数：$Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$

则有：

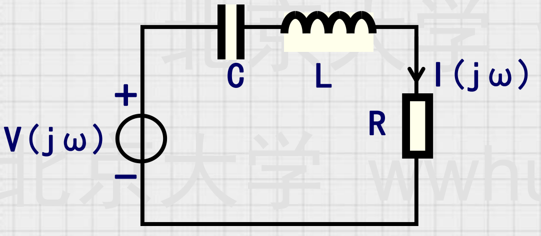
在谐振电路的损耗仅由电容和电感的内阻造成的条件下，电路有:

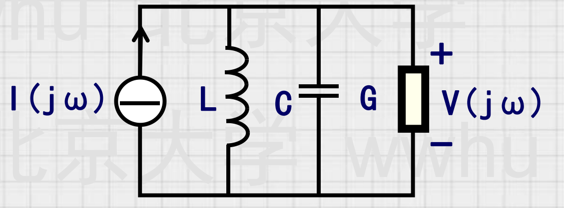
$$R = R_L + R_C \rightarrow \frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_C} + \frac{1}{Q_L}$$

结论：在谐振电路结构不变的条件下，负载或有内耗的信号源接入谐振回路后会使谐振回路的Q值下降。

5. 二阶滤波器（两个动态元件） ***

串联谐振电路←对偶关系→并联谐振电路





$$H(j\omega)=\frac{I(j\omega)}{V(j\omega)}=\frac{1}{Z(j\omega)}$$

$$Z(j\omega)=R+j\omega L+\frac{1}{j\omega C}$$

$V(j\omega) \leftrightarrow I(j\omega)$

$Z(j\omega) \leftrightarrow Y(j\omega)$

$L \leftrightarrow C$

$R \leftrightarrow G$

$$H(j\omega)=\frac{V(j\omega)}{I(j\omega)}=\frac{1}{Y(j\omega)}$$

$$Y(j\omega)=G+j\omega C+\frac{1}{j\omega L}$$

$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q=\frac{\omega_0 L}{R}=\frac{1}{\omega_0 RC}$$

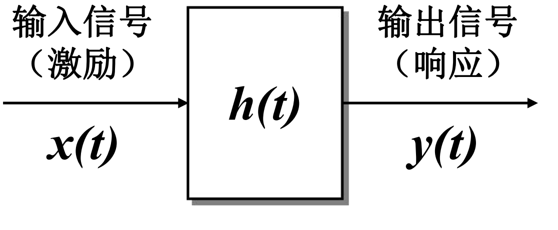
$$\omega_0=\frac{1}{\sqrt{LC}} \quad Q=\frac{\omega_0 C}{G}=\frac{1}{\omega_0 GL}$$

正弦稳态电路分析--H(jω)与网络的关系

复习

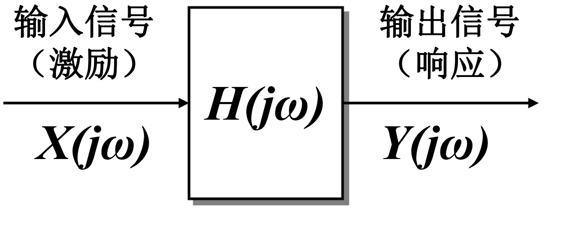
传递函数 H(jω) = $\dfrac{\text{正弦稳态响应的复数形式}}{\text{激励的复数形式}}$

时域描述



y(t) = x(t)*h(t)

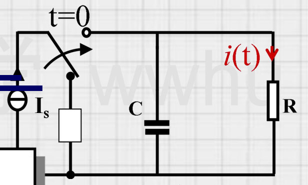
频域描述



Y(jω) = H(jω) · X(jω)

框图暗示了零状态...

线性电路任意输入信号的响应问题



已具备的分析武器：

- 单位阶跃响应
- 单位脉冲响应
- 单位冲激响应
- 正弦稳态响应
- 任意信号响应

$u(t) \rightarrow \boxed{N_0} \rightarrow s(t)$

$P_\Delta(t) \rightarrow \boxed{N_0} \rightarrow h_\Delta(t)$

$= \frac{1}{\Delta}[u(t) - u(t-\Delta)]$ $= \frac{1}{\Delta}[s(t) - s(t-\Delta)]$

$\delta(t) \rightarrow \boxed{N_0} \rightarrow h(t) = s'(t)$

正弦信号

$\cos(\omega_0 t)$, $X(j\omega_0) \rightarrow \boxed{H(j\omega)} \rightarrow Y(j\omega_0)$

周期信号

$\sum \cos(\omega_i t)$, $X(j\omega_i) \rightarrow \boxed{H(j\omega)} \rightarrow Y(j\omega_i)$

$f(t) \rightarrow \boxed{h(t)} \rightarrow y(t) = f(t) * h(t)$

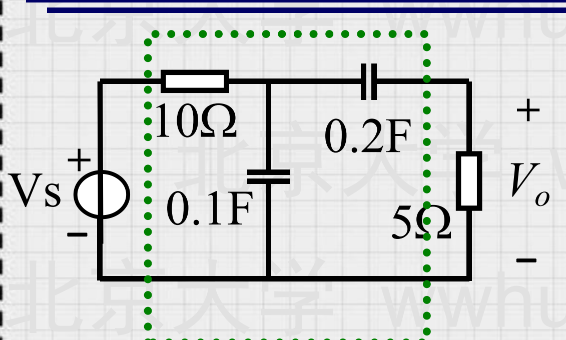
时域描述

输入信号（激励） $x(t) \rightarrow \boxed{h(t)} \rightarrow y(t)$ 输出信号（响应）

$y(t) = x(t)*h(t)$

非零状态网络的响应？

线性电路分析基础—举例复习 ***



稳 求1：$H(j\omega)=Vo/Vs=?$

稳 求2：Vs=cos(t)，Vo=?

稳 求3：Vs=1，Vo=?

暂 求4：Vs=u(t)，Vo=?

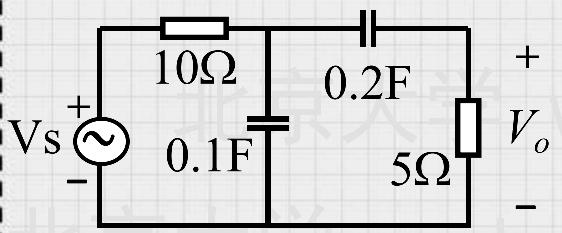
暂 求5：Vs=δ(t)，Vo=?

暂 求6：Vs=*f*(t)，Vo=?

一阶？二阶？ 稳？暂？ 时域方法？频域方法？

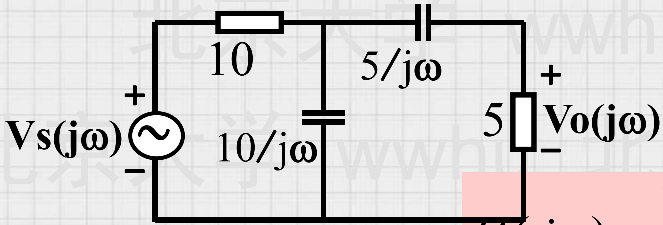
线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?
求2：Vs=cos(t)，Vo=?
求3：Vs=1，Vo=?
求4：Vs=u(t)，Vo=?
求5：Vs=δ(t)，Vo=?
求6：Vs=*f*(t)，Vo=?

符号电路(相量模型) 1/jωC

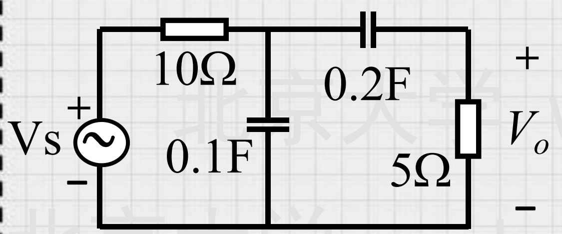


$$H(j\omega)=\frac{Vo(j\omega)}{Vs(j\omega)}=\frac{1}{4+j(\omega-1/\omega)}$$

表达式和定性图的关系...

线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?
求2：Vs=cos(t), Vo=?
求3：Vs=1，Vo=?
求4：Vs=u(t)，Vo=?
求5：Vs=δ(t)，Vo=?
求6：Vs=*f*(t)，Vo=?

ω=1

Vs(t)=cos(ωt) ⇨ Vs(jω)=1

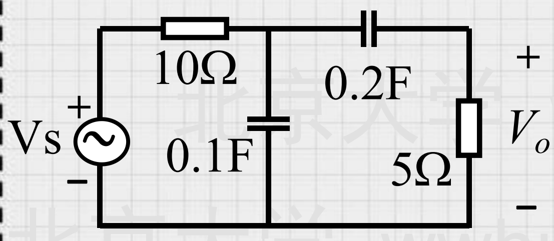
$$H(j\omega)=\frac{Vo(j\omega)}{Vs(j\omega)}=\frac{1}{4+j(\omega-1/\omega)}$$ ⇨ Vo(jω)=1/4

还原

$$v_o(t)=\frac{1}{4}\cos(t)$$

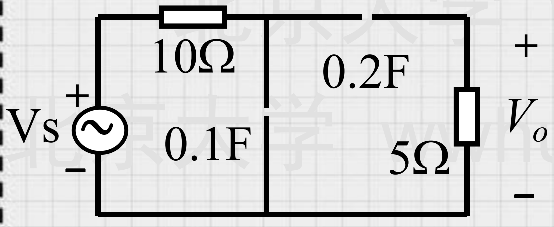
线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?
求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?
求3：Vs=1，Vo=?
ω=0
求4：Vs=u(t)，Vo=?
求5：Vs=δ(t)，Vo=?
求6：Vs=*f*(t)，Vo=?

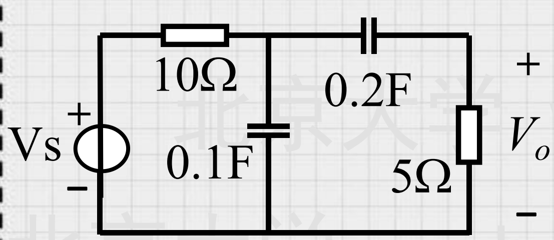
直流：ω=0



解:Vo=0

线性电路分析基础—举例

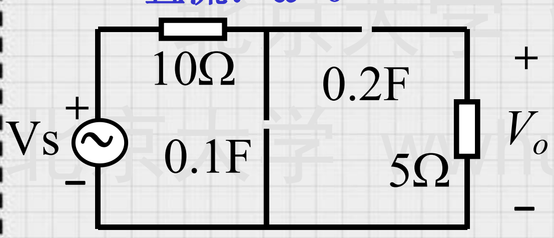
***



$$H(j\omega)=\frac{Vo(j\omega)}{Vs(j\omega)}=\frac{1}{4+j(\omega-1/\omega)}$$

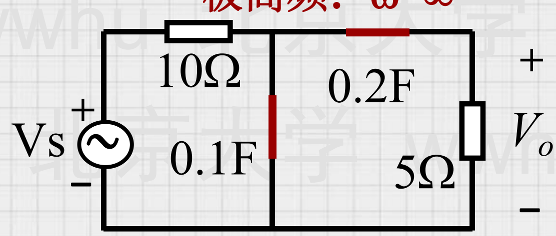
带通滤波器: ωo=1

直流：ω=0



解:Vo=0

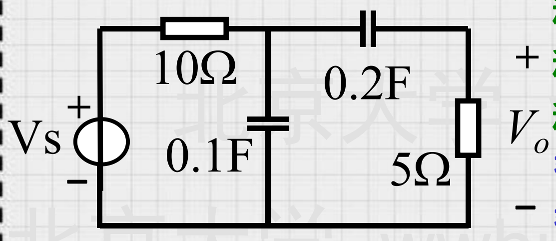
极高频：ω=∞



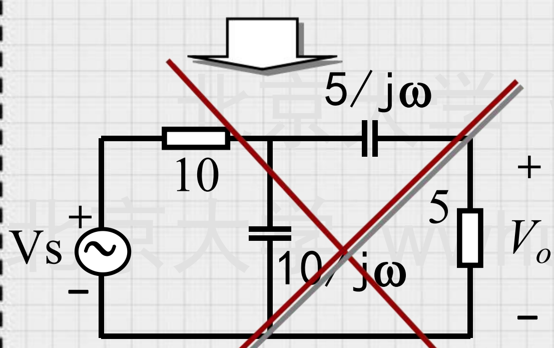
解:Vo=0

线性电路分析基础—举例

***



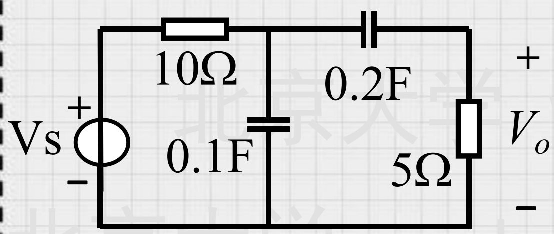
- 稳 求1：H(jω)=Vo/Vs=?
- 稳 求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?
- 稳 求3：Vs=1，Vo=?
- 暂 求4：Vs=u(t)，Vo=? t≥0
- 暂 求5：Vs=δ(t)，Vo=?
- 暂 求6：Vs=*f*(t)，Vo=?



$$\cancel{V(j\omega)=Z(j\omega)I(j\omega)}$$

线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?
求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?
求3：Vs=1，Vo=?
求4：Vs=u(t)，Vo=? t≥0
求5：Vs=δ(t)，Vo=?
求6：Vs=*f*(t)，Vo=?

$$a_2 v_o''(t) + a_1 v_o'(t) + a_0 v_o(t) = A_0$$

$$v_o'(0+) = K_1$$

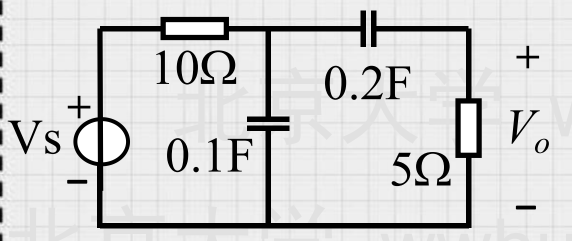
$$v_o(0+) = K_2$$

$$\Rightarrow \boxed{v_0(t) = \ldots}$$

待定系数 特解 通解 初始状态 换路 初始值

线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?

求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?

求3：Vs=1，Vo=?

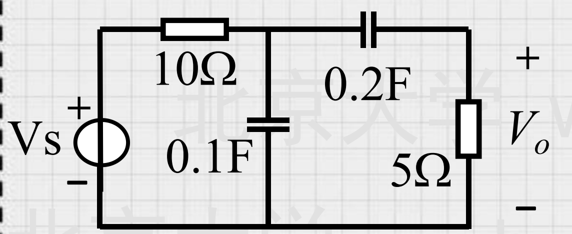
求4：Vs=u(t)，Vo=? t≥0

求5：Vs=δ(t)，Vo=?

求6：Vs=f(t)，Vo=?

利用：$h(t)=\dfrac{ds(t)}{dt}=s'(t)$

线性电路分析基础—举例



求1：H(jω)=Vo/Vs=?

求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?

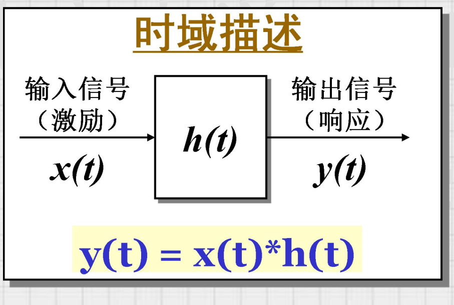
求3：Vs=1，Vo=?

求4：Vs=u(t)，Vo=? t≥0

求5：Vs=δ(t)，Vo=?

求6：Vs=f(t)，Vo=?

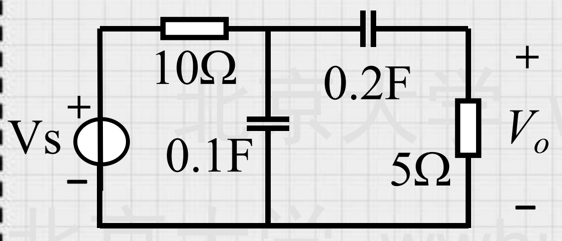
$$V_O(t) = f(t) * h(t)$$



依然不爽

线性电路分析基础—举例

***



求1：H(jω)=Vo/Vs=?

求2：Vs=cos(ωt)，Vo=?

求3：Vs=1，Vo=?

求4：Vs=u(t)，Vo=? t≥0

求5：Vs=δ(t)，Vo=?

求6：Vs=f(t)，Vo=?

$$a_2 v_o''(t) + a_1 v_o'(t) + a_0 v_o(t) = A_0$$

$$v_o'(0+) = K_1$$

$$v_o(0+) = K_2$$

待定系数 特解 通解 /始状态 换路 初始值

求4: $v_0(t) = \ldots$

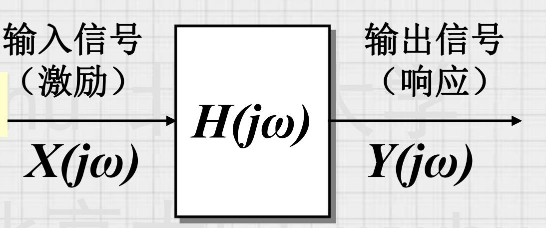
求5: $h(t) = \dfrac{ds(t)}{dt} = s'(t)$

求6: $V_o(t) = f(t) * h(t)$

非常不爽

引言--变换域分析和拉氏变换的引入

$$Y(j\omega) = H(j\omega) \cdot X(j\omega)$$

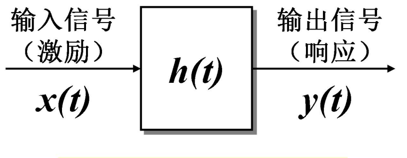


找一种变换方法

使得→ $Y(?) = F(?) \cdot H(?)$

拉氏变换

时域描述



$$y(t) = x(t) * h(t)$$

$$y(t) = \int_0^t f(\tau) \cdot h(t - \tau) \cdot d\tau$$

看不懂、听不懂没关系，以后有一点点想起：就是极好的。。。

拉普拉斯变换--定义

有始信号

$$f(t) = f(t)\cdot u(t)$$

拉氏变换

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-st}dt$$

$$= \int_{0-}^{\infty} f(t)e^{-st}dt$$

像函数

$$F(s) \doteq f(t)$$

拉氏反变换

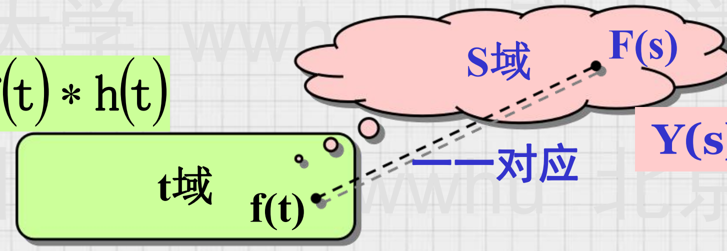
$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(s)e^{st}ds$$

原函数

$$f(t) \doteq F(s)$$

f(t

$$y(t) = f(t) * h(t)$$



$$Y(s) = H(s)\cdot F(s)$$

看不懂、听不懂没关系，以后有一点点想起：就是极好的。。。

拉普拉斯变换—元件

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(s)e^{st}ds$$

2. 电容：

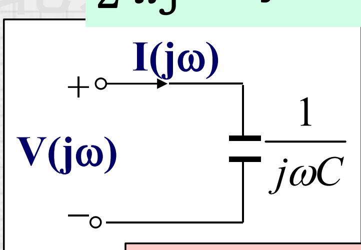
$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$$

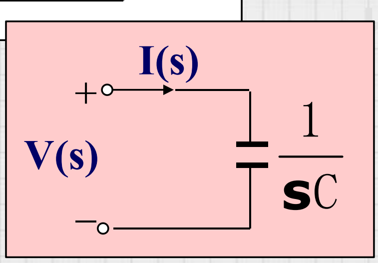
$$I(s) = CsV(s)$$

$$\frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} I(s)e^{st}ds = C\frac{d}{dt}\left[\frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} V(s)e^{st}ds\right]$$

$$= \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} CV(s)\frac{d}{dt}e^{st}ds$$

$$= \frac{1}{2\pi j}\int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} CsV(s)e^{st}ds$$

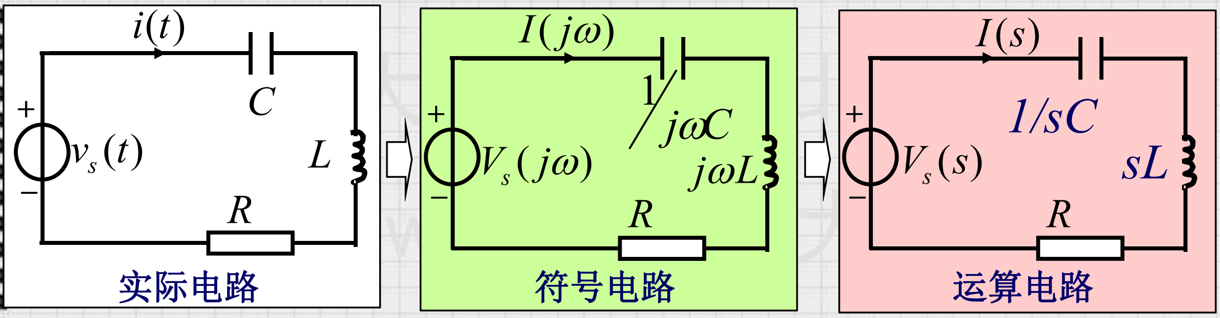




看不懂、听不懂没关系，以后有一点点想起：就是极好的。。。

电路理论的变换域分析方法

小结



$v_s(t)$ & 实际电路 $\xrightarrow{\text{时域分析方法求解微分方程}}$ $i(t)$

变换 ↓ ↑ 还原

$V_s(j\omega)$ & 符号电路 $\xrightarrow{\text{复数法/相量法 求解代数方程}}$ $I(j\omega)$

变换 ↓ ↑ 反变换

$V_s(s)$ & 运算电路 $\xrightarrow{\text{拉普拉斯变换法 求解代数方程}}$ $I(s)$

看不懂、听不懂没关系，以后有一点点想起：就是极好的。。。

电路理论的变换域分析方法

小结

	时域	频域	复频域
自变量	t	引入 $e^{j\omega t}$ → $j\omega$	推广 → $s=\sigma+j\omega$
分析范围	稳态＋暂态	正弦稳态	稳态＋暂态
信号	真实信号	复数表示	s 域表示
关系	$y(t)=f(t)*h(t)$	$Y(j\omega)=F(j\omega)\cdot H(j\omega)$	$Y(s)=F(s)\cdot H(s)$

$f(t)=F(s)$

$j\omega \leftrightarrow s$

时域描述：输入信号（激励） $x(t)$ → $h(t)$ → 输出信号（响应） $y(t)$

频域描述：输入信号（激励） $X(j\omega)$ → $H(j\omega)$ → 输出信号（响应） $Y(j\omega)$

复频域描述：输入信号（激励） $X(s)$ → $H(s)$ → 输出信号（响应） $Y(s)$

看不懂、听不懂没关系，以后想起一点点，就是极好的。。。

Tea break!

作业：搞明白课上例题+

3--8, 1—18, 7—3, 14, 19

线性网络定理

戴维南&诺顿定理

置换定理、

叠加定理、

互易定理

-本质及应用

-约束条件

***

网络定理：1. 置换定理

语言描述：

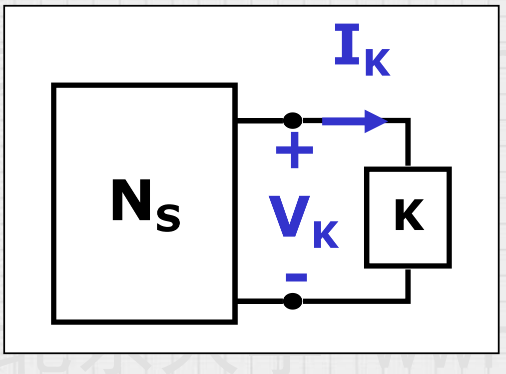
任何一个有唯一解的网络中，若某一支路的电压和电流为V_k和I_k，则不论该支路是由什么元件组成的，都可以用一个电压为V_k的电压源(或者电流为I_k的电流源)来置换。置换后，网络的其他支路(V或I)不受影响。

电路描述→

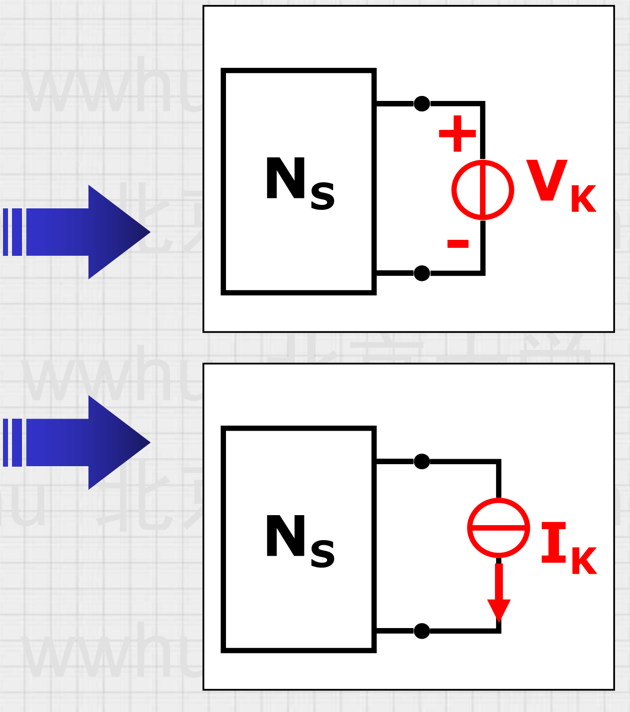
***

网络定理：1. 置换定理

电路描述：



有唯一解的网络

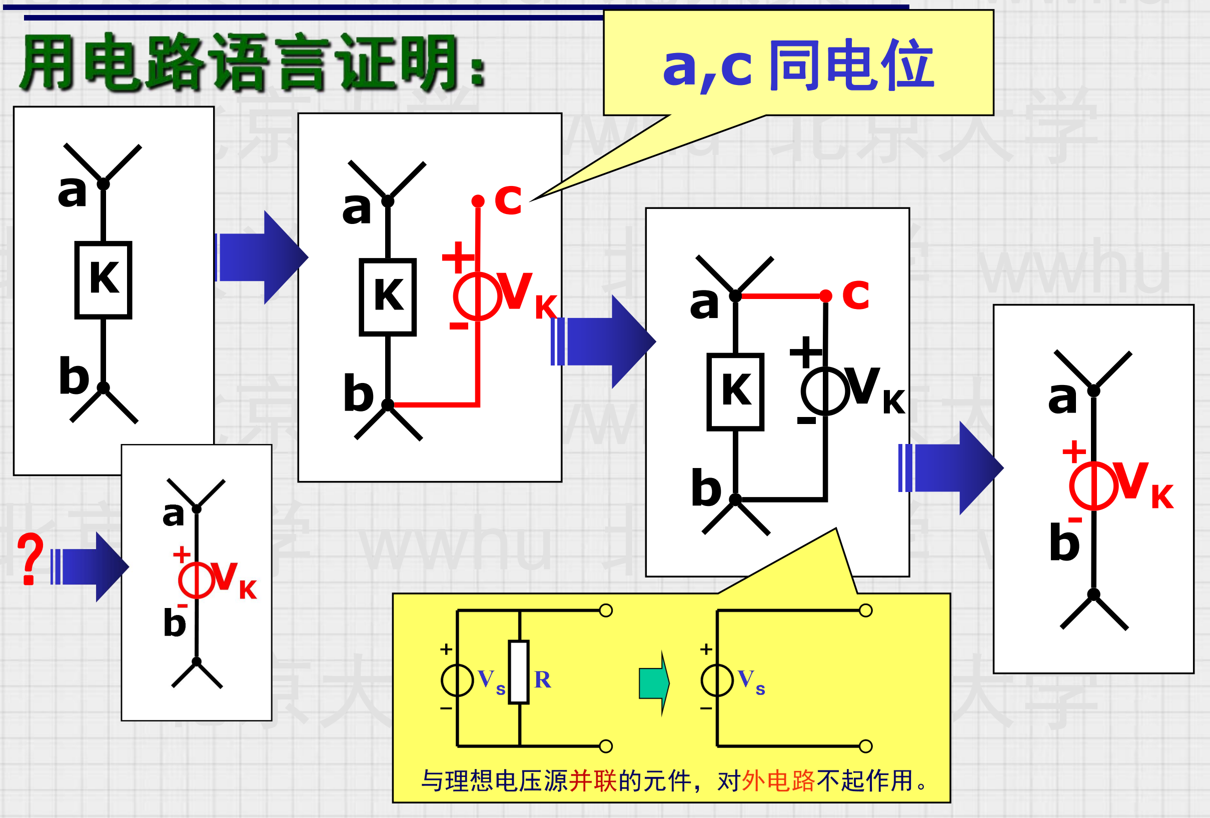


1.举一个简单电路的例子(R->V,V->R)：
 1)说明KCLKVL不变VCR变但交点同
2.从端口向两边看伏安关系曲线来解释物理本质

电路语言证明→

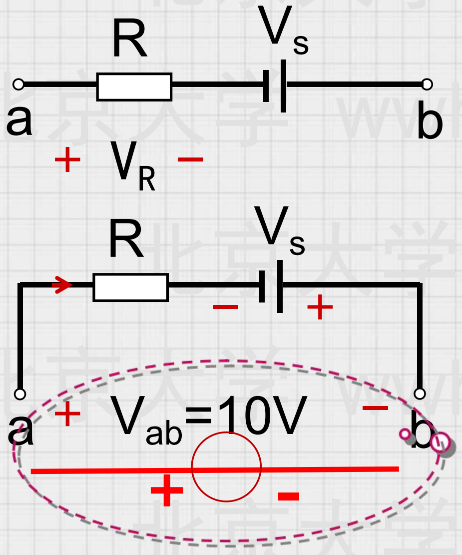
网络定理：1. 置换定理

用电路语言证明：



第一节：线性电路分析导论

课堂练习（小测验）：



已知： $V_{ab} = V_a - V_b = 10V$,
$R = 2\Omega$, $V_s = -4V$

求： 1. 流过 R 的电流 I=?

2. R 两端的电压 V=?

$V_R = V_{ab} + V_s$

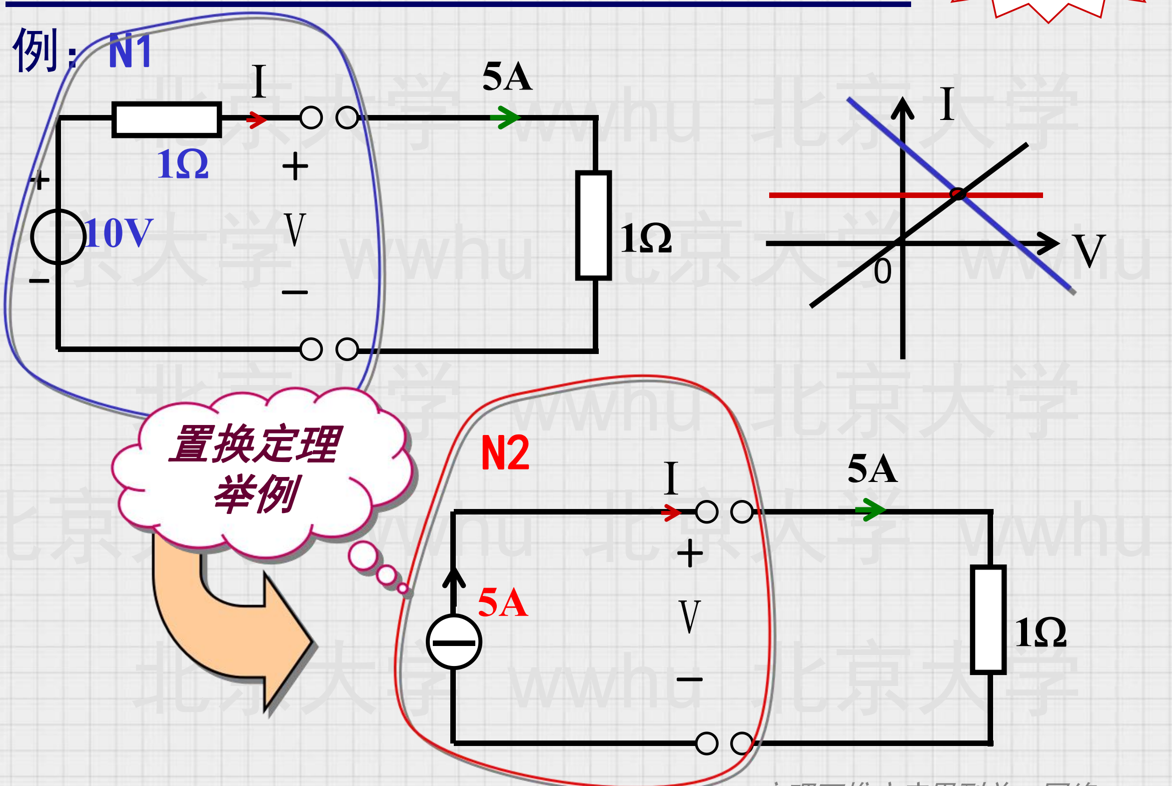
$= 10 + (-4) = 6V$

置换定理举例

第三节：线性二端网络的等效

回忆

例：

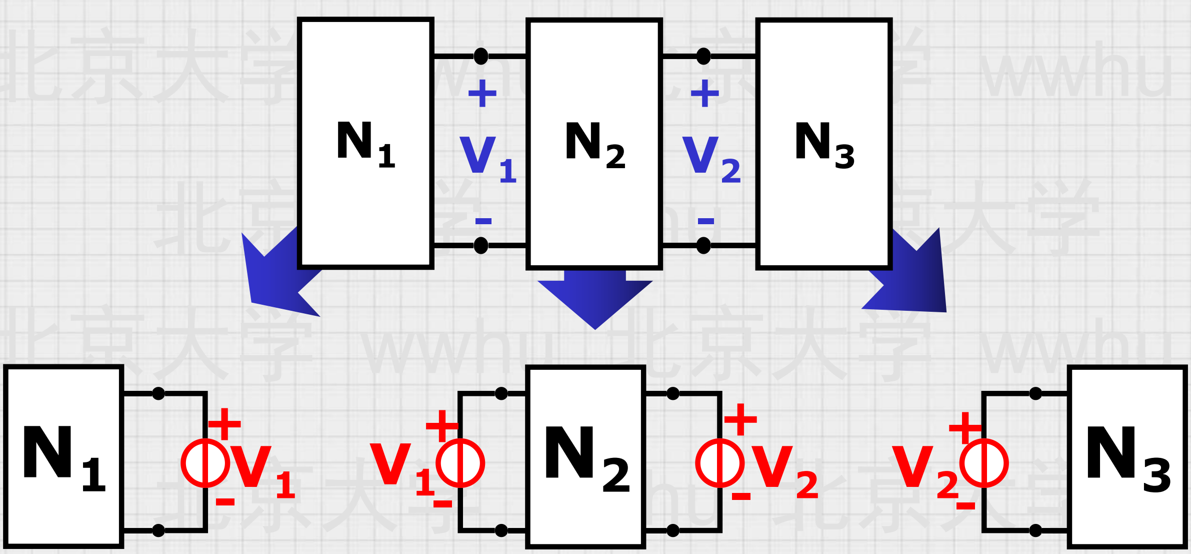


定理可推广应用到单口网络。。。

网络定理：1. 置换定理

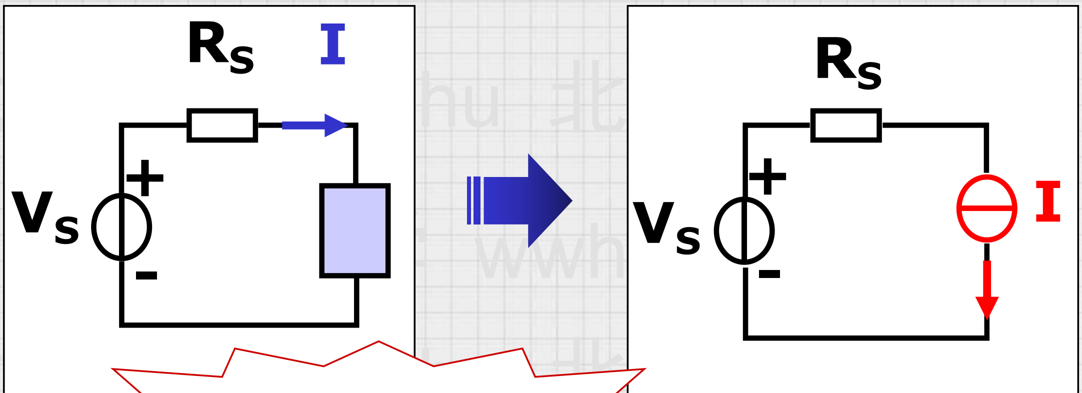
优1：复杂问题简单化

例：已知V_1，V_2 求解网络N_1,N_2,N_3



网络定理：1. 置换定理

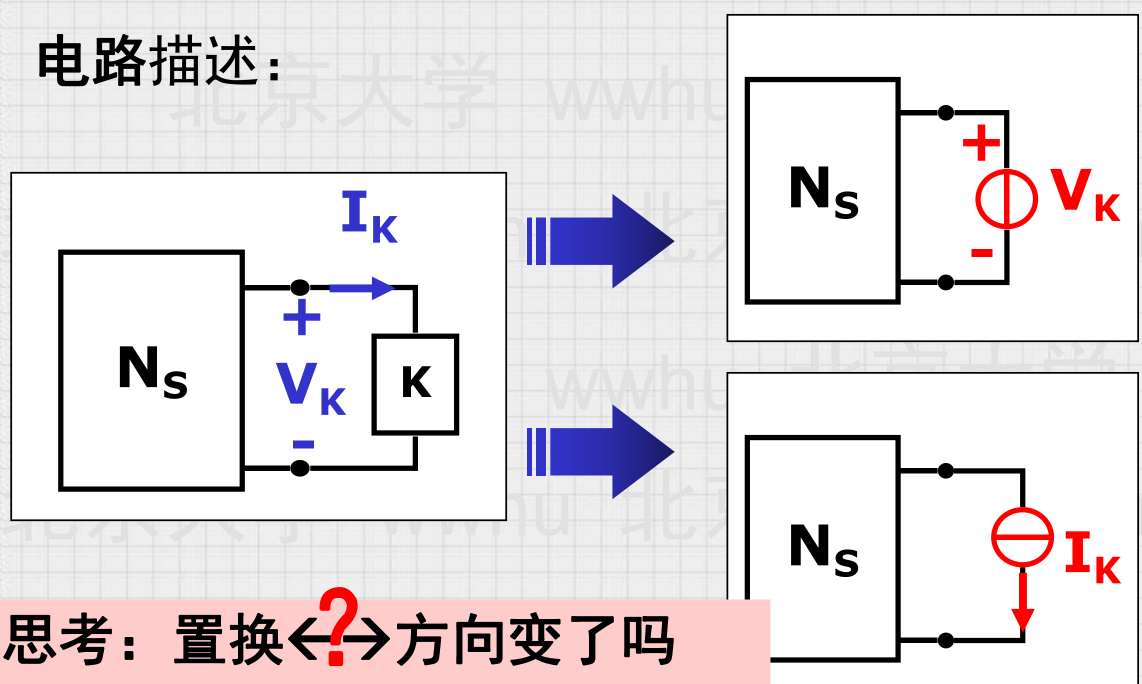
优2:对于非线性元件的替换



是一个有唯一解的网络or电路

网络定理：1. 置换定理

电路描述：



思考：置换<?>方向变了吗

举一个10V电压的例子。。。

网络定理：1. 置换定理

语言描述：

任何一个有唯一解的网络中，若某一支路的电压和电流为V_k和I_k，则不论该支路是由什么元件组成的，都可以用一个电压为V_k的电压源(或者电流为I_k的电流源)来置换。置换后，网络的其他支路(V或I)不受影响。

思考：?可以用电阻置换吗

***

网络定理：2. 叠加定理

语言描述：

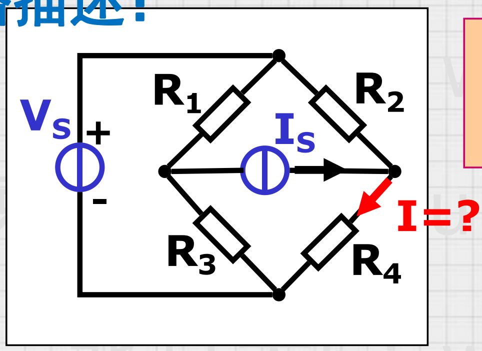
任何线性含源网络中的某个响应（电压或电流），等同于网络中各独立源单独作用时，产生的响应的代数和。如果用X_i表示各激励源，用Y表示响应，则：

$$y(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \sum_{i=1}^{n} y_i(x_i)$$

***

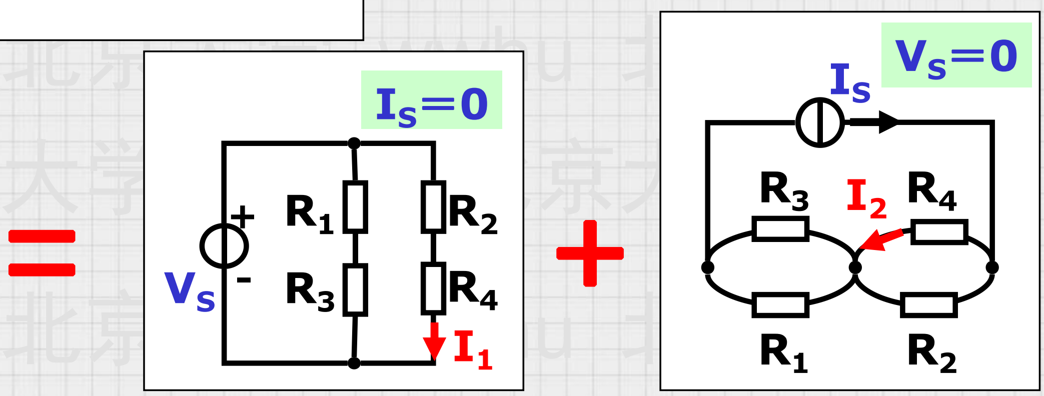
网络定理：2. 叠加定理:(举例)

电路描述：



理想电压源置零：短路
理想电流源置零：开路

$$\mathbf{I}=\mathbf{I}_1+\mathbf{I}_2$$



注意参考方向和电路结构。。。

叠加性举例：

零输入响应Yzi(t) $\quad x(t)=v_C(0\_),\quad i_L(0\_)$

=输入(独立源)为零由初值作用产生的响应

零状态响应Yzs(t) $\quad x(t)=v_s(t),\quad i_s(t)$

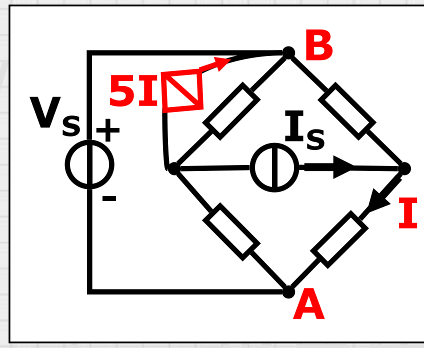
=状态(初值)为零由独立源作用产生的响应

网络的全响应Y(t)=Yzi(t)+Yzs(t) 。。。 *叠加性*

***

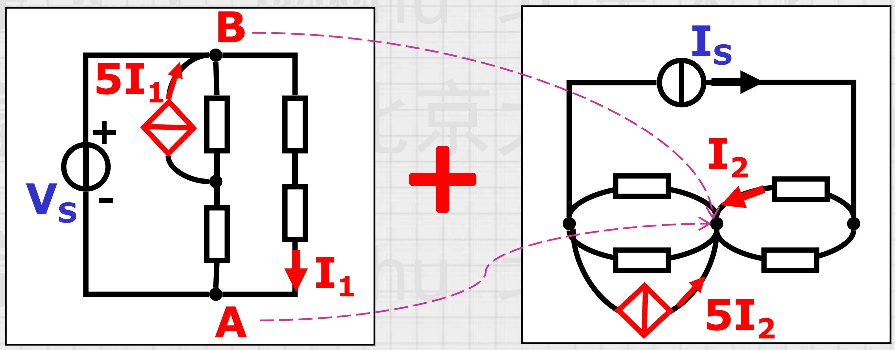
网络定理：2. 叠加定理:举例2

含受控源的处理：



$$I = I_1 + I_2$$

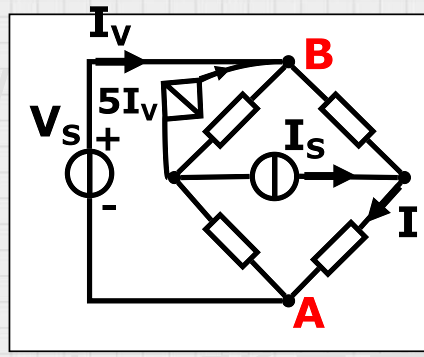
=



***

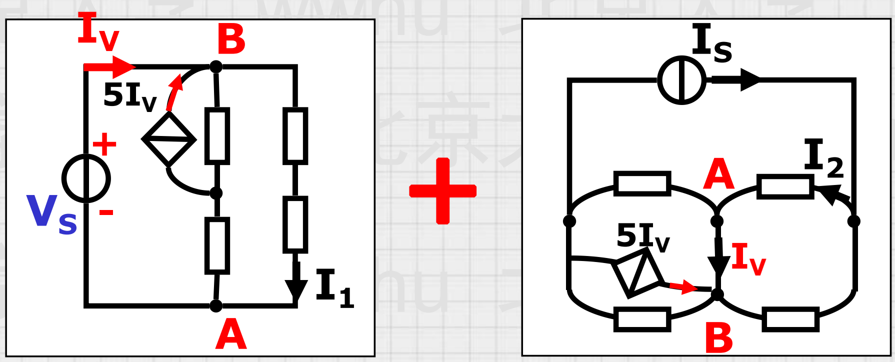
网络定理：2. 叠加定理:举例3

含受控源的处理：



$$I = I_1 + I_2$$

=



修改书上图7-3-3（c)。。。

***

网络定理：3. 互易定理

语言描述：线性无源（*也无受控源*）的双口网络，无论哪口作为激励，哪口作为响应，其响应和激励的比值相同。

通俗的说:

互易网络/器件，对信号在网络的两个方向传输产生相同的传递特性。

性质：互易网络的传递满足双向对称性

——双向的H(jω)相同

网络定理：3. 互易定理-*器件举例*

放大器

INPUT OUTPUT

是非互易器件

光隔离器是一种只允许单向光通过的无源光器件

隔离器是非互易器件

衰减器是互易器件

移相器

一个理想的互易移相器,对信号在器件的两个方向传播产生相同的插入相位和差相移

看2个互易器件实物加负阻解释

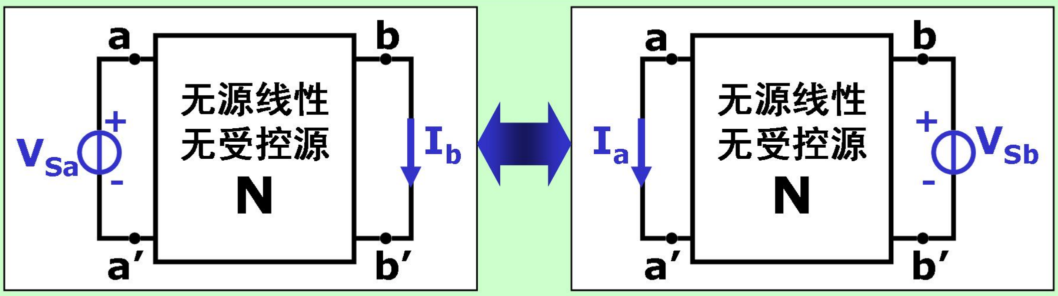
互易定理--电路描述形式

***

定义：线性无源（也无受控源）的双口网络，无论哪口作为激励，哪口作为响应，其响应和激励的比值相同。

电路描述形式1：

形式一

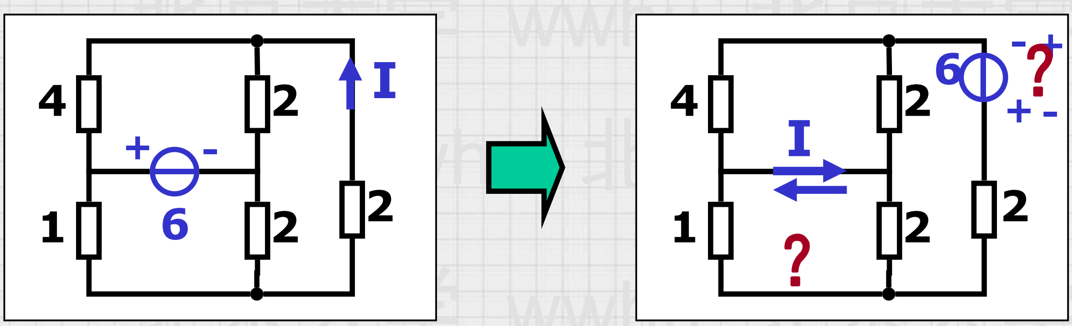


$I_b/V_{Sa}=I_a/V_{Sb}$　或者：若 $V_{sa}=V_{sb}$ 则 $I_a=I_b$

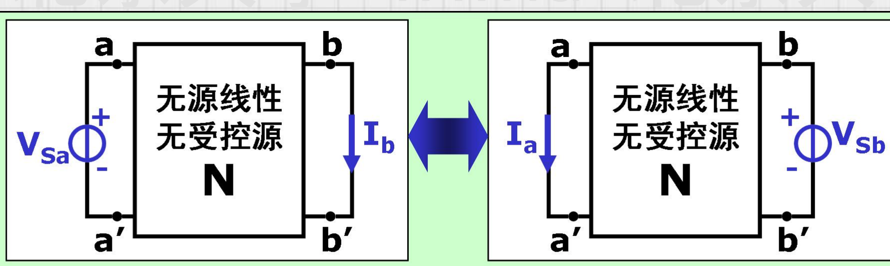
看看把源置零是什么网络？

网络定理：3. 互易定理：举例

例：用互易定理求I=？



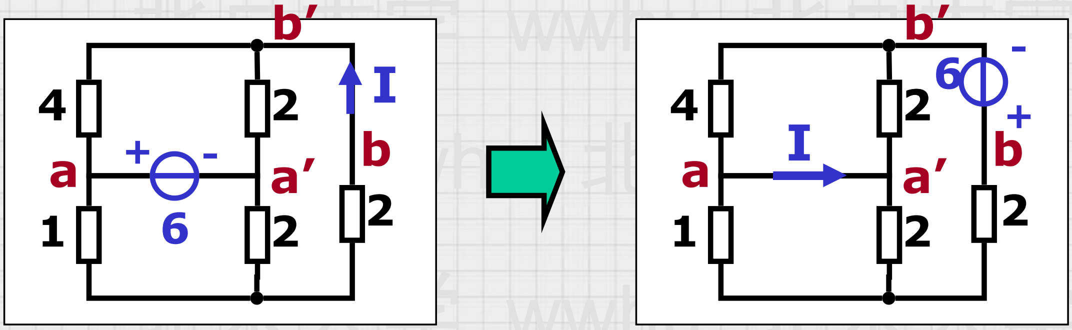
形式一



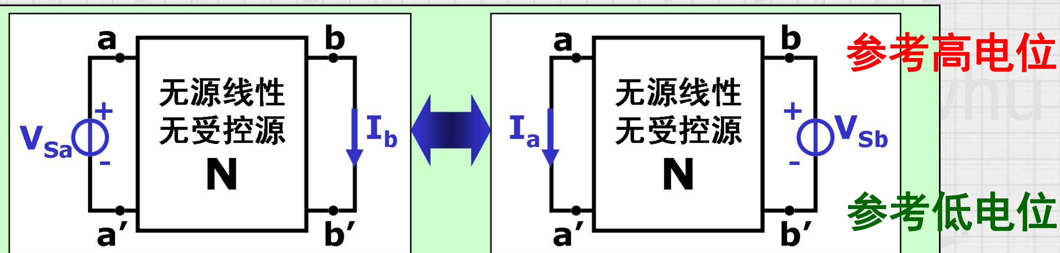
$I_b/V_{Sa}=I_a/V_{Sb}$　或者：若 $V_{sa}=V_{sb}$ 则 $I_a=I_b$

网络定理：3. 互易定理：举例

例：用互易定理求I＝？



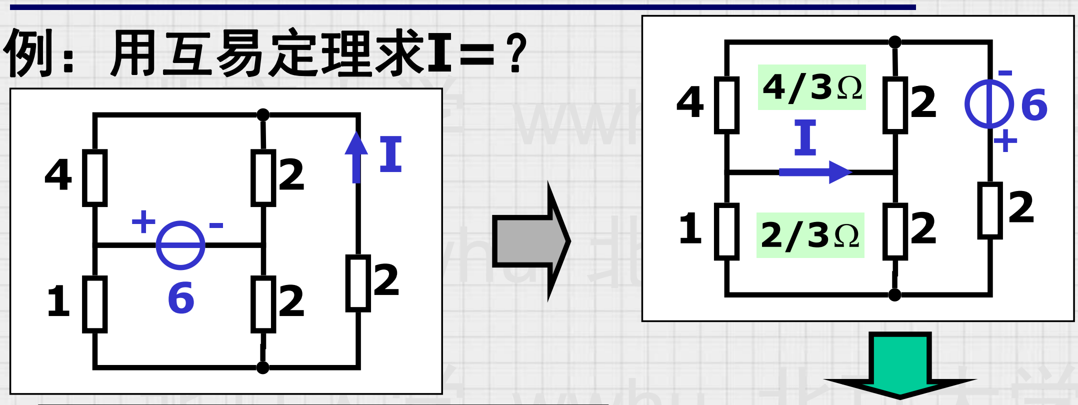
形式一

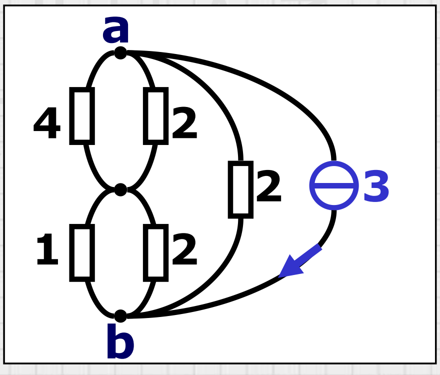


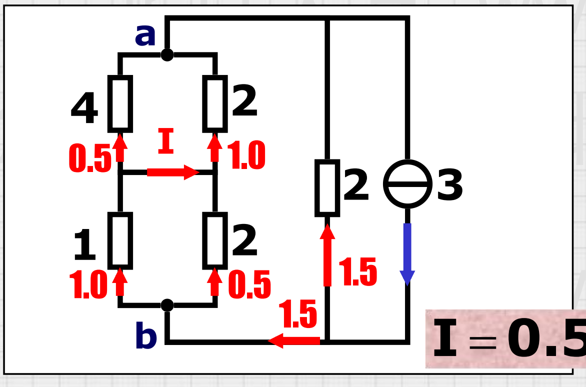
$I_b/V_{Sa}=I_a/V_{Sb}$ 或者：若 $V_{sa}=V_{sb}$ 则 $I_a=I_b$

网络定理：3. 互易定理：举例

例：用互易定理求I＝？



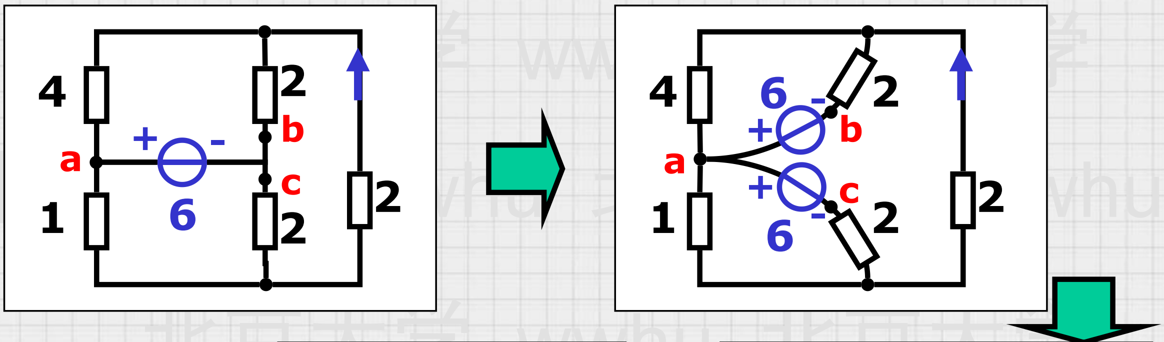


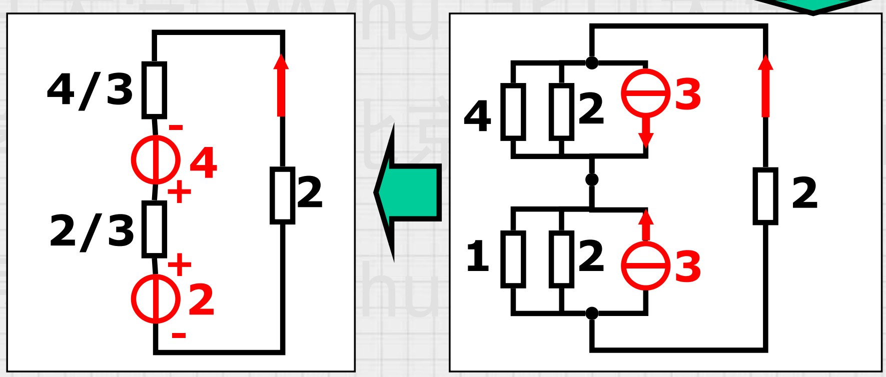


$I=0.5A$

网络定理：3. 互易定理：举例

本题也可以用等效方法来求解：



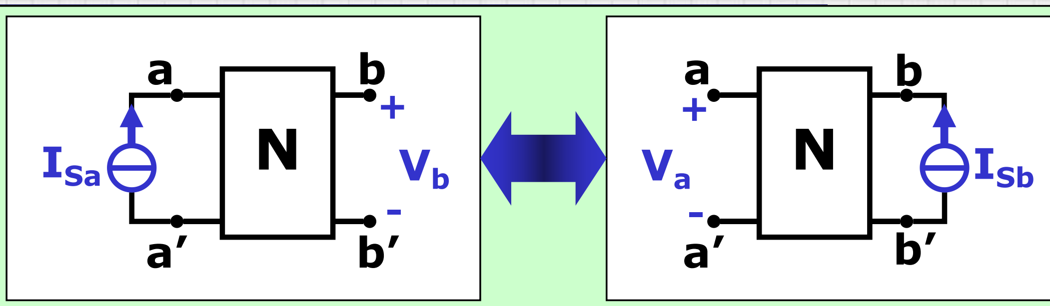


$$I = \frac{4-2}{4} = 0.5$$

互易定理--电路描述形式

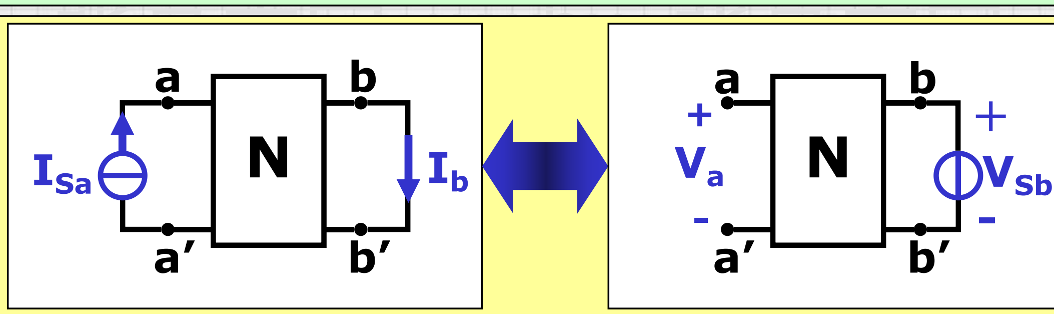
***

形式二



$V_a/I_{Sb} = V_b/I_{Sa}$ 或者：若 $I_{Sa} = I_{Sb}$ 则 $V_a = V_b$

形式三

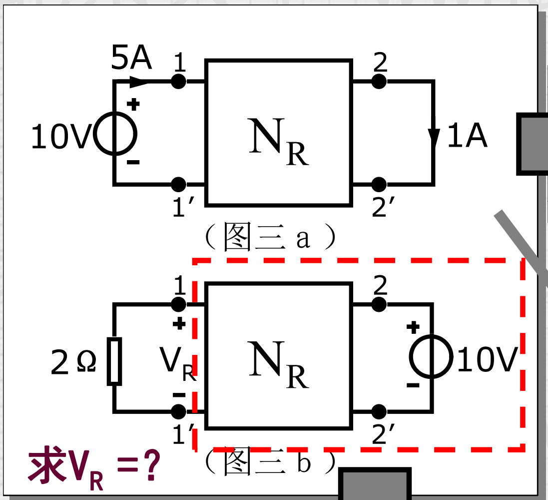


$V_a/V_{Sb} = I_b/I_{Sa}$ 或者：若数值上 $I_{Sa} = V_{Sb}$ 则 $V_a = I_b$

看看把源置零是什么网络？

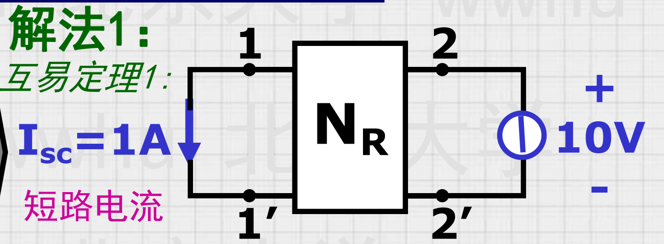
互易定理—举例

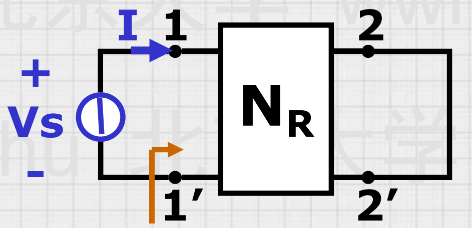
思路:找出虚线单口网络的等效电路



解法1：

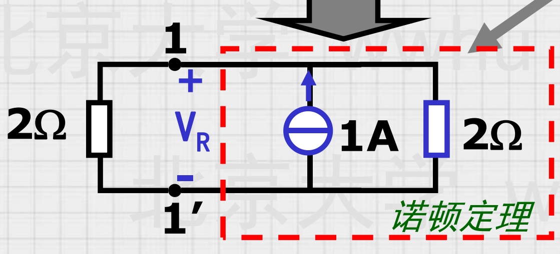
互易定理1：





Zin=Zeq=Vs/I=10/5=2Ω

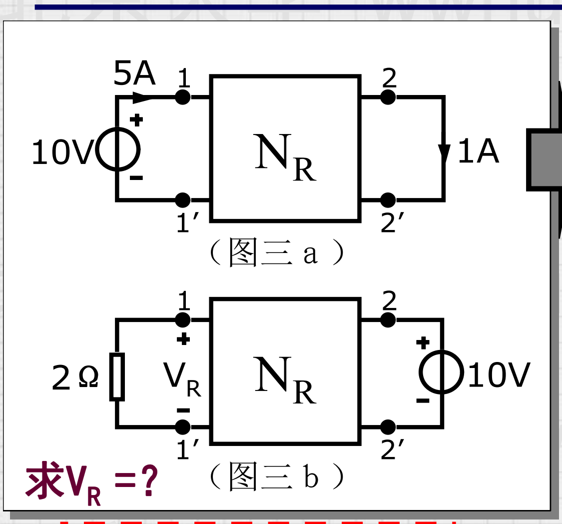
等效电阻



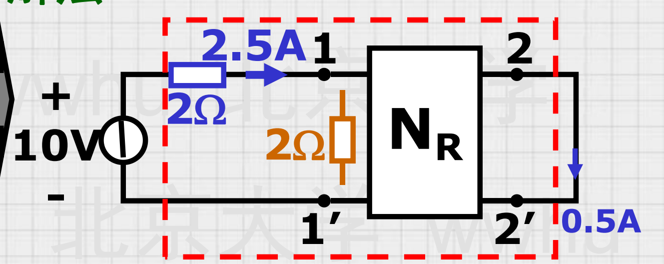
$V_R=2\times0.5=1V$

互易定理—举例

思路:找出两图可以使用互易定理1的相同电路，求“1”端口电流



解法2：



利用互易定理1

$V_R=2\times0.5=1V$