

电路原理期中复习

江伟陶 无36

jiangwt23@mails.tsinghua.edu.cn

线性电阻电路分析

单端口网络，戴维南-诺顿等效，完备方程，二端口网络，网络参量

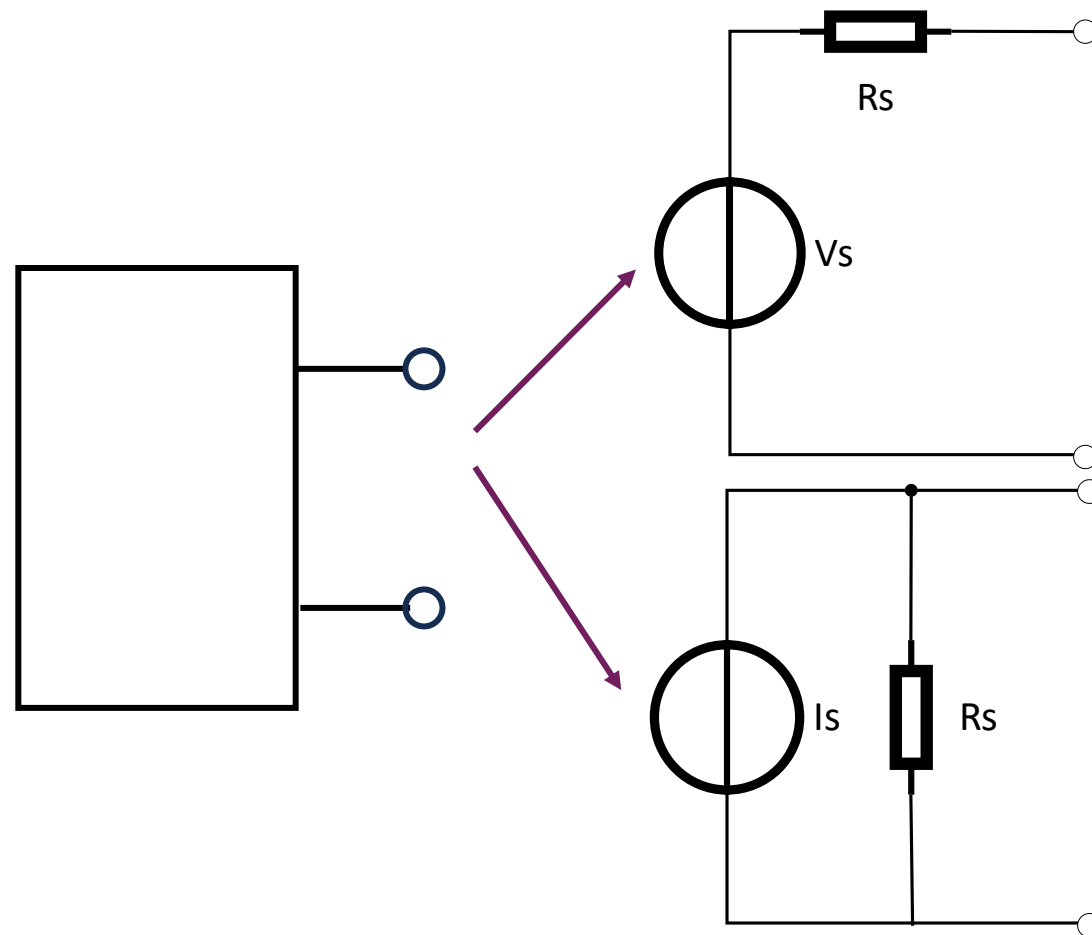
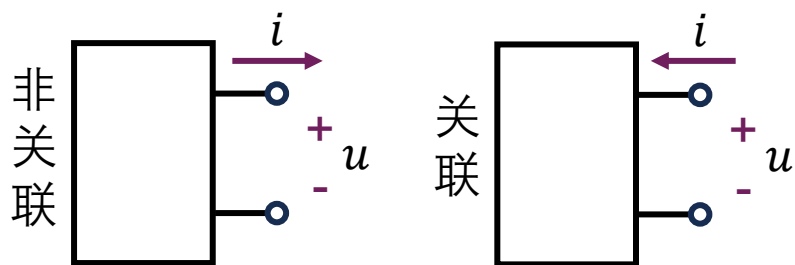
单端口网络

- 端口：满足端口约束

$$i_1 = i_2$$

- 戴维南-诺顿等效

$$I_S R_S = V_S$$



完备方程

节点电压法：KCL方程

$$Gu = i$$

- 常规方法：以每个节点的电压为自变量，对每个节点列电流定律方程：

$$\sum_k I_{in,k} = 0$$

- 快捷方法：直接给出矩阵

$$G_{ij} = \begin{cases} \sum G_i, i = j \\ -\sum G_{ij}, i \neq j \end{cases}$$

- 适用场景：没有电压源（如何实现？）

回路电流法：KVL方程

$$Ri = u$$

- 常规方法：以每个回路的电流为自变量，对每个回路列电压定律方程：

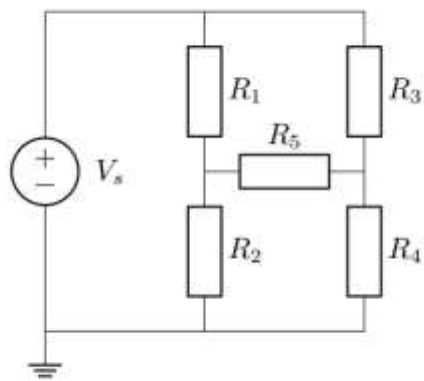
$$\sum_k U_{rise,k} = 0$$

- 快捷方法：直接给出矩阵

$$R_{ij} = \begin{cases} \sum R_i, i = j \\ \pm \sum R_{ij}, i \neq j \end{cases}$$

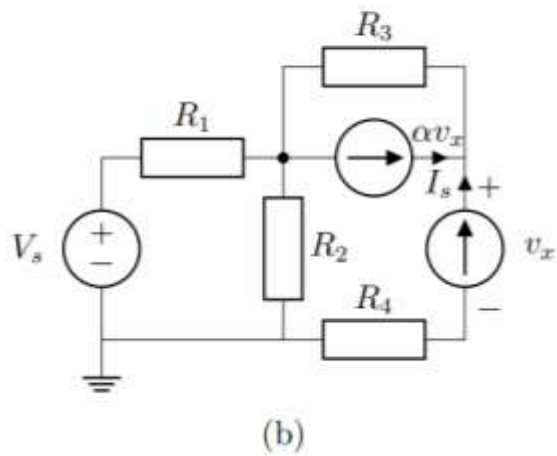
- 适用场景：没有电压源（如何实现？）

完备方程——节点电压法

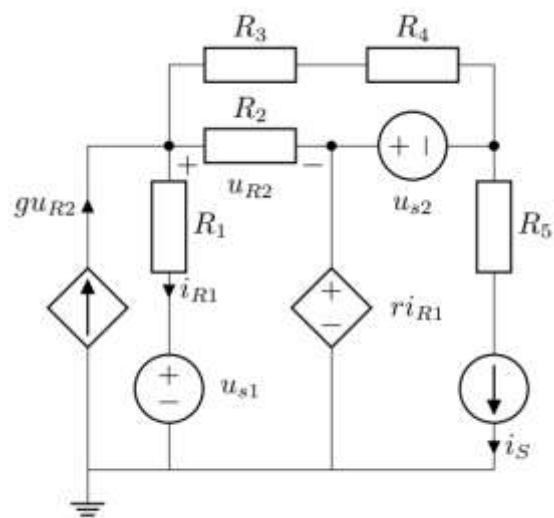


(a)

完备方程——节点电压法

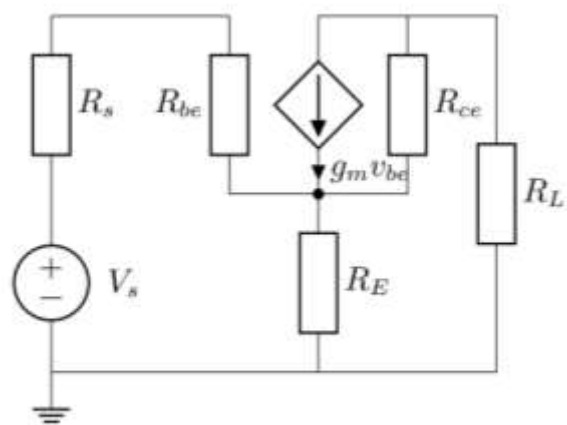


完备方程——回路电流法



(a)

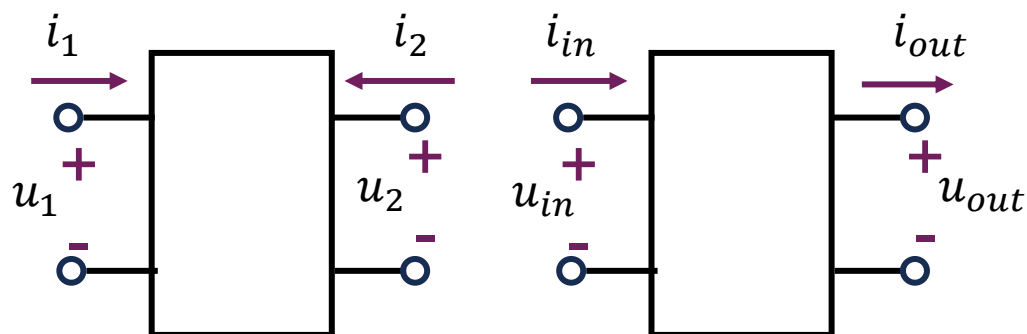
完备方程——回路电流法



(b)

二端口网络

- 关联：重点掌握R和G
- 非关联：传输参数T



R-parameter: $V_1 = R_{11}I_1 + R_{12}I_2$

$$V_2 = R_{21}I_1 + R_{22}I_2$$

G-parameter: $I_1 = G_{11}V_1 + G_{12}V_2$

$$I_2 = G_{21}V_1 + G_{22}V_2$$

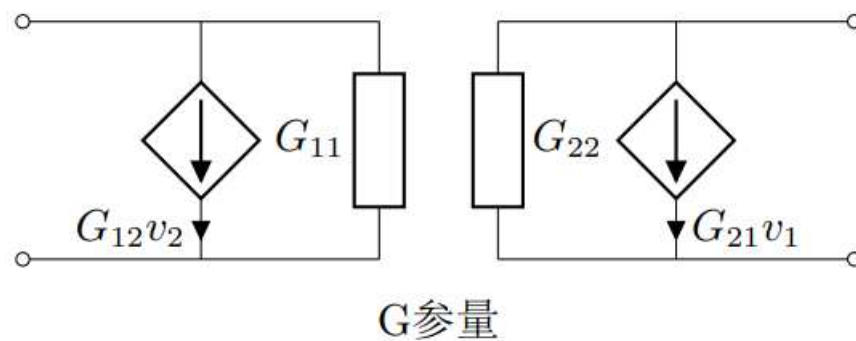
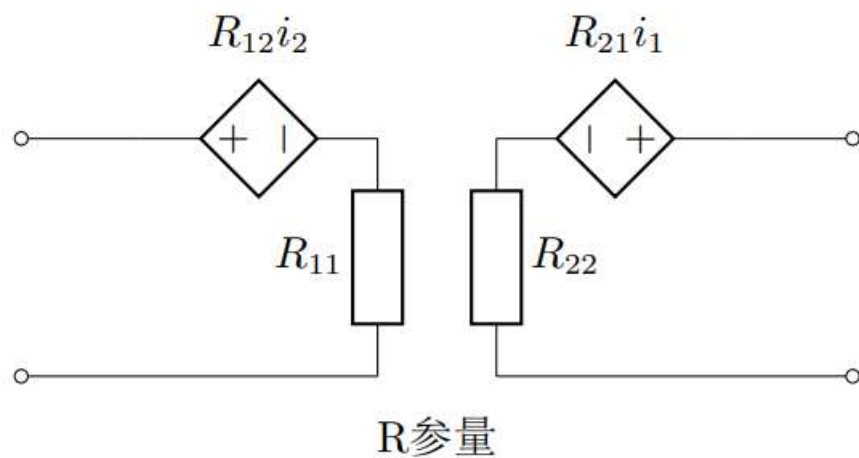
H-parameter: $V_1 = H_{11}I_1 + H_{12}V_2$

$$I_2 = H_{21}I_1 + H_{22}V_2$$

T-parameter: $V_1 = T_{11}V_2 - T_{12}I_2$

$$I_1 = T_{21}V_2 - T_{22}I_2$$

参量的等效电路

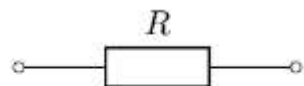


常见二端口网络

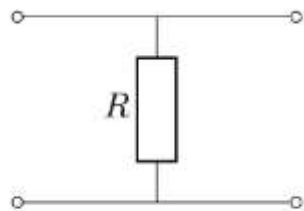
R

G

T



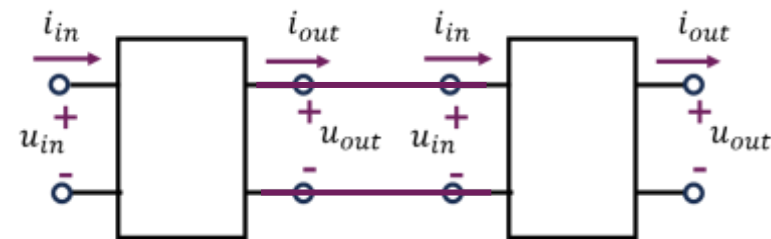
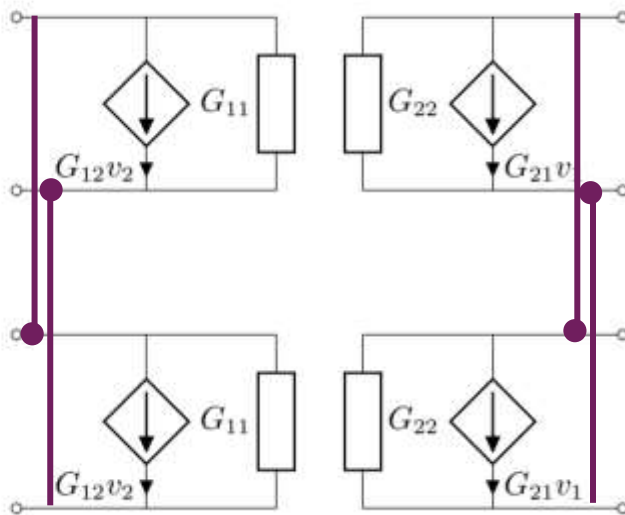
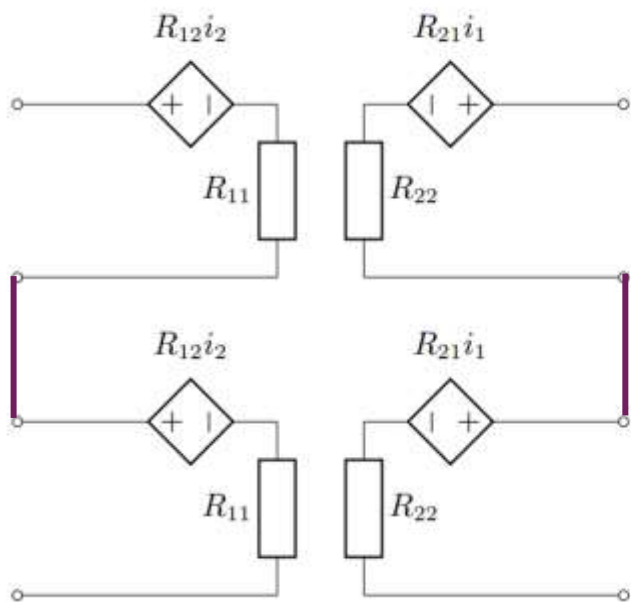
串臂电阻



并臂电阻

网络的组合

- 串串相连R相加， 并并相连G相加， 级联T相乘



二端口网络求解

例题 求图4所示网络的 G 参量矩阵。

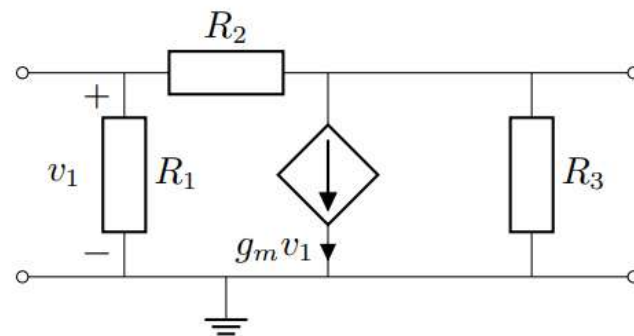
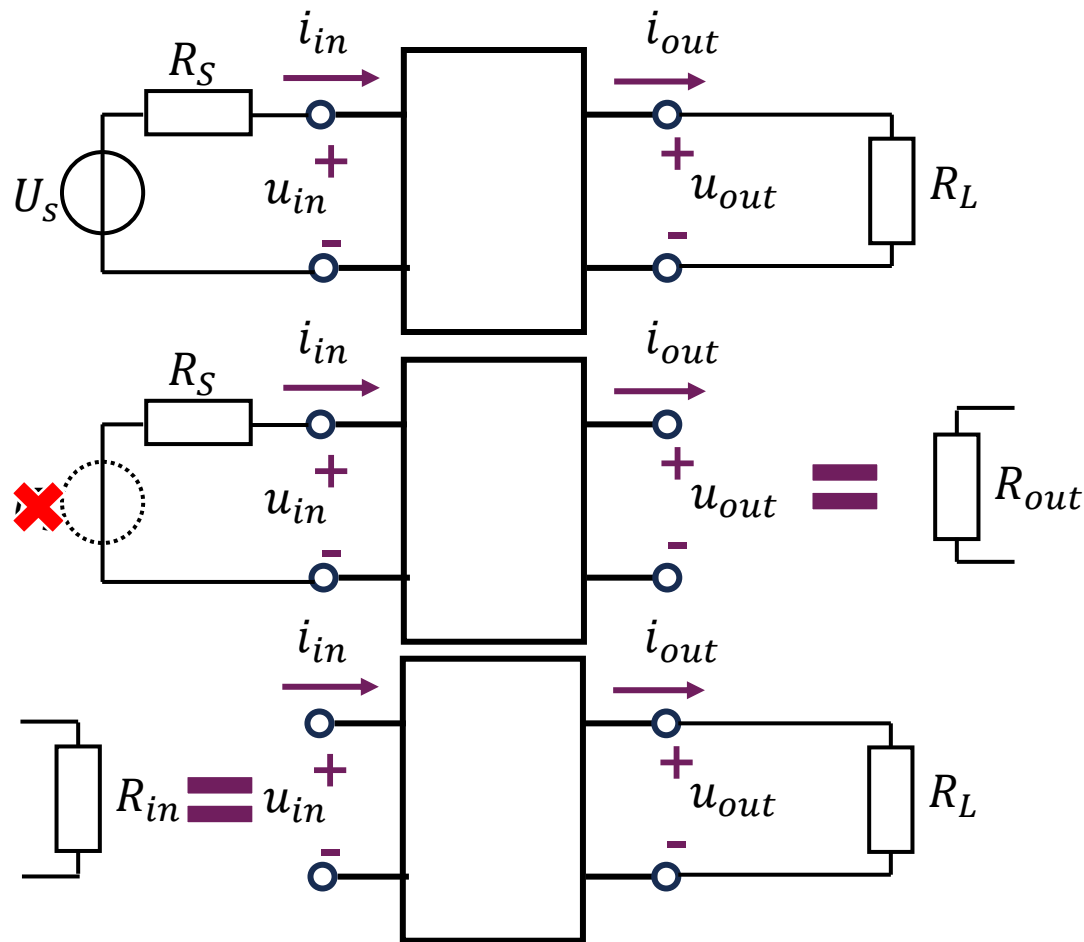


图 4: 某个二端口网络

困扰许久的 R_{in} , R_{out}

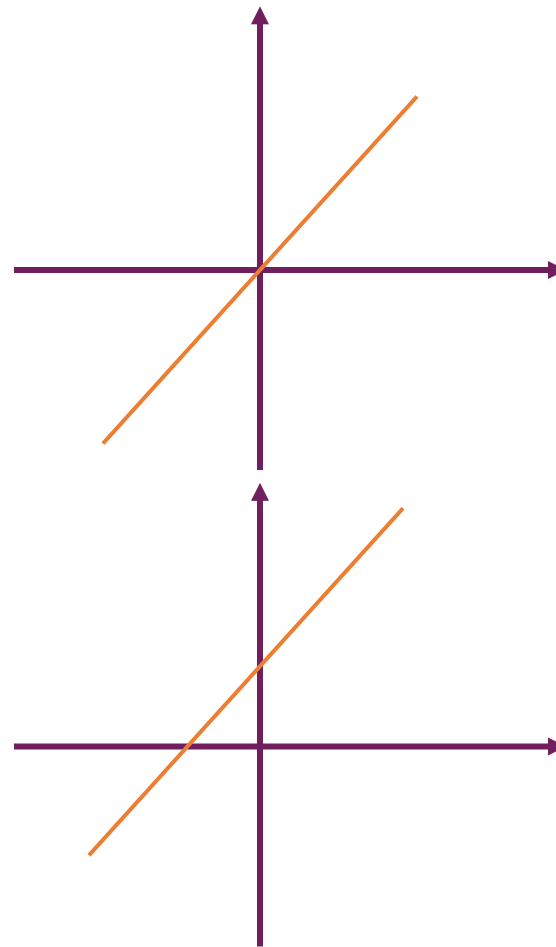
- 理解右侧的三张图
- 如果已知R或G，我们可以快速得到：

$$X_{in} = x_{11} - \frac{x_{12}x_{21}}{x_{22} + L}$$
$$X_{out} = x_{22} - \frac{x_{12}x_{21}}{x_{11} + S}$$



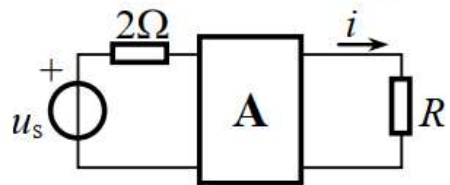
叠加原理

- 理解“线性”和“增量线性”的差别
- 不要慌，列出已知条件，用待定系数or瞪眼法求解
- 必要时对单端口做戴维南-诺顿等效简化分析



叠加原理

6. (10 分) 题图所示电路中网络 A 由直流电源和线性电阻构成。当 $u_S = 2\sin t \text{ V}$, $R = 2\Omega$ 时, $i = 2\sin t + 1 \text{ A}$; 当 $u_S = 4 \text{ V}$, $R = 4\Omega$ 时, $i = 4 \text{ A}$ 。求当 $u_S = 5 \text{ V}$, $R = 10\Omega$ 时 R 吸收的功率。



题 6 图

非线性电阻电路分析

元件：运放，二极管（非线性电阻），MOSFET

方法：分段折线线性化，线性分离法，小信号切线线性化

问题转化

非线性电路

?

线性电路

完备方程

节点电压法: NCV方程

$$Gu = i$$

• 常规方法: 以每个节点的电压为变量, 对每个节点列电流定律方程

$$\sum_k i_{ink} = 0$$

• 快捷方法: 直接给出矩阵

$$G_{ij} = \begin{cases} \sum_k G_{ik}, & i=j \\ -\sum_k G_{ik}, & i \neq j \end{cases}$$

• 选择树集: 没有电压源 (如有电压源)

回路电流法: MVL方程

$$Ri = u$$

• 常规方法: 以每个回路的电流为变量, 对每个回路列电压定律方程

$$\sum_k u_{ink} = 0$$

• 快捷方法: 直接给出矩阵

$$R_{ij} = \begin{cases} \sum_k R_{ik}, & i=j \\ \sum_k R_{ik}, & i \neq j \end{cases}$$

• 选择树集: 没有电压源 (如有电压源)

二端口网络

• 关联: 重点掌握R和G

• 非关联: 传输参数T

$$\begin{matrix} i_1 & i_2 & i_3 & i_4 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \text{---} & \text{---} & \text{---} & \text{---} \\ \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ i_5 & i_6 & i_7 & i_8 \end{matrix}$$

$$R\text{-parameter: } V_2 = R_{12}I_1 + R_{22}I_2$$

$$V_1 = R_{11}I_1 + R_{21}I_2$$

$$G\text{-parameter: } I_1 = G_{11}V_1 + G_{12}V_2$$

$$I_2 = G_{21}V_1 + G_{22}V_2$$

$$B\text{-parameter: } V_1 = B_{11}I_1 + B_{12}I_2$$

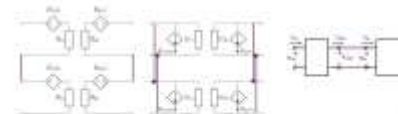
$$V_2 = B_{21}I_1 + B_{22}I_2$$

$$T\text{-parameter: } V_1 = T_{11}I_2 - T_{12}I_1$$

$$I_1 = T_{21}I_2 - T_{22}I_1$$

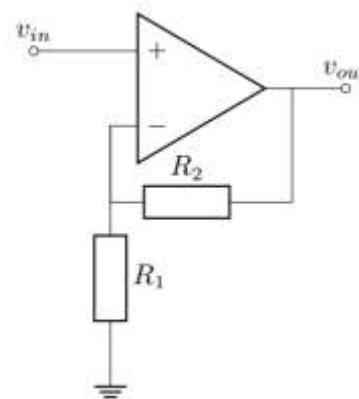
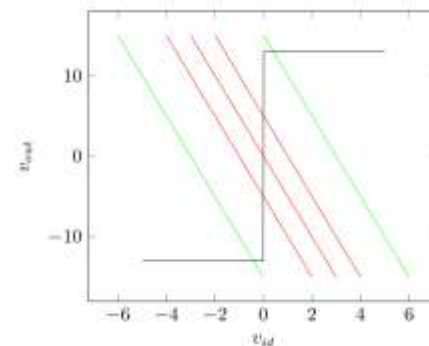
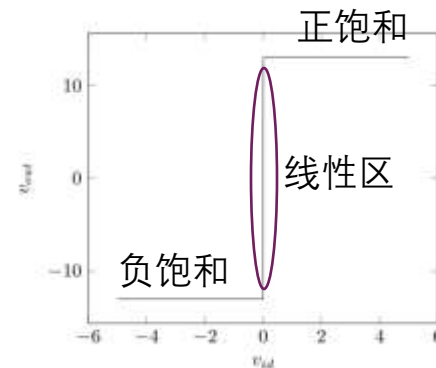
网络的组合

• 串联相乘R矩阵, 并联相加G相加, 级联T相乘



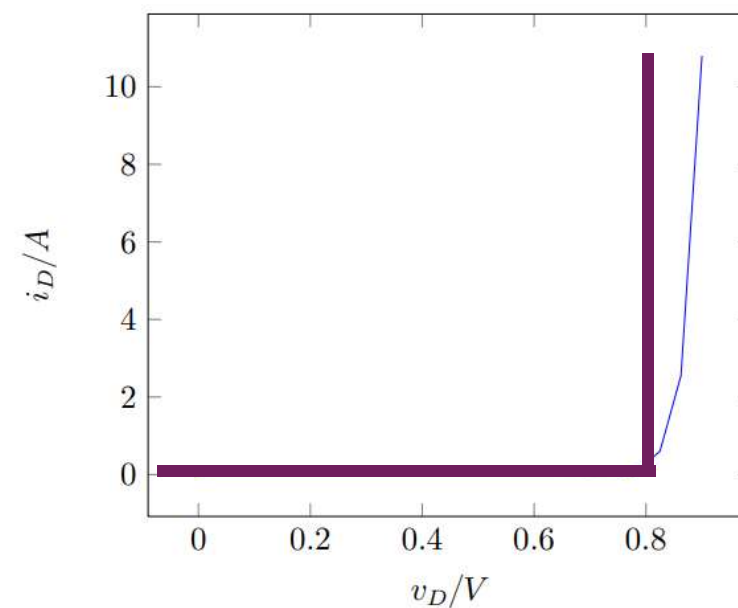
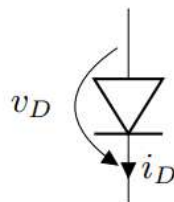
元件：运算放大器

- 电压传递特性：分段折线
- 有负反馈，则线性区：虚短虚断分析
- 注意：是否达到正负饱和！
- 饱和区：虚断不虚短



元件：二极管

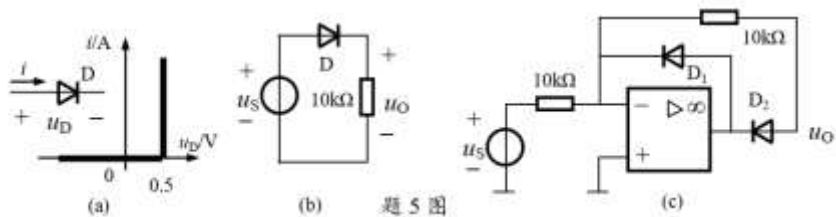
- 伏安特性：分段折线



方法：“扣掉”法

首先假设二极管都是反偏不导通，将其扣掉，若假设不满足，则改变假设

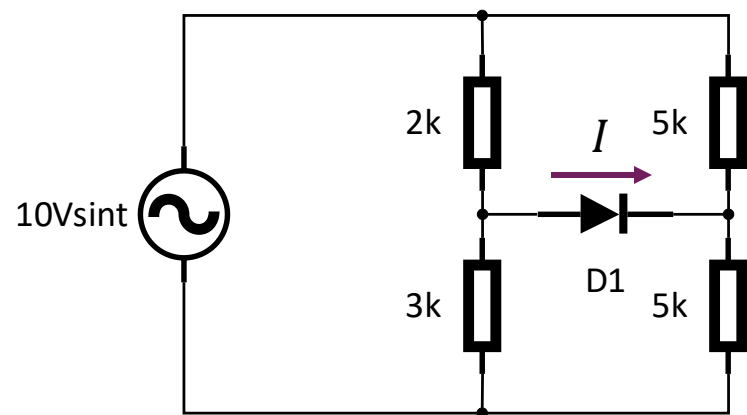
5. (15分) 本题中所有二极管D的模型均如题图(a)所示。在题图(b)和(c)中，电压 $u_S = 2\sin(t)$ V。题图(c)中的理想运放满足“虚短”和“虚断”。(1) 求题图(b)中的电压 u_O ，在同一张示意图中画出 u_O 和 u_S 波形，该电路实现了怎样的功能？(2) 求题图(c)中的电压 u_O ，在同一张示意图中画出 u_O 和 u_S 波形，该电路实现了怎样的功能？(3) 题图(b)和(c)电路的功能有何区别？



题 5 图

方法：线性分离法

把电路中的线性成分当成一个整体，先对这个整体进行分析，然后加上非线性元件

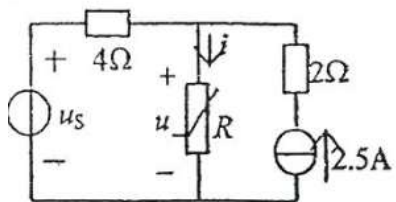


例：计算电流 $I(t)$

方法：局部线性化

考虑一个小信号的作用时候，利用泰勒展开的原理舍弃高阶项，只考虑常数项（直流偏置/直流工作点）和线性项的影响

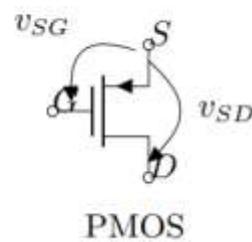
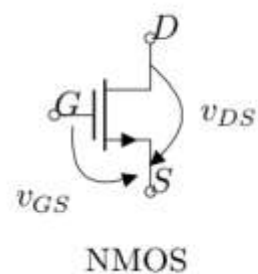
$$f(x_0 + \delta) = \color{red}{f(x_0)} + \delta \frac{d}{dx} \color{green}{f(x_0)} + o(\delta)$$



电路如图所示， $u_s = (10 + \Delta u_s)$ V， $|\Delta u_s| \ll 10$ 。非线性电阻 R ： $u \leq 0$ 时， $i = 0$ ； $u > 0$ 时， $i = 0.25u^2$ 。
画出电路在工作点处的小信号等效电路。

元件：MOSFET

- 重要的器件，但讲的很浅，后续课程（如模电）将更详细介绍
- 模电用法：注意工作区划分即可



$$V_{od} = V_{GS} - V_{TH}$$

$$V_{DS,sat} = V_{GS} - V_{TH}$$

晶体管分析， 首先分析在 哪个区工作 熟记 工作区 条件	截止区	导通区	
	$V_{od} < 0$ $V_{GS} < V_{TH}$	$V_{od} > 0$ $V_{GS} > V_{TH}$	
		欧姆导通	恒流导通
		$V_{GD} > V_{TH}$ $V_{DS} < V_{DS,sat}$	$V_{GD} < V_{TH}$ $V_{DS} > V_{DS,sat}$

恒流区： $I_D = \frac{K}{2} (U_{gs} - U_T)^2$
——压控流源！

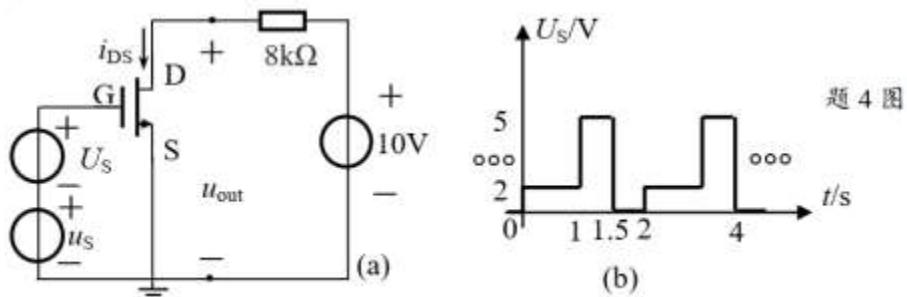
电阻区： $I_D = \frac{U_{ds}}{R_{on}}$
——电阻！

元件： MOSFET

4. (15 分) 题图(a)所示电路中的 n 沟道增强型 MOSFET 如果工作在电阻区,

$R_{ON}=2k\Omega$; 如果工作在压控电流源区, $i_{DS}=\frac{K(u_{GS}-U_T)^2}{2}$, 其中 $U_T=1V$,

$K=0.5mA/V^2$; $u_S=10\sin(\pi t)$ mV; U_S 如题图(b)所示。求题图(a)中的电压 u_{out} , 定性画其波形 (0~2s) 并标出关键点坐标。



元件：MOSFET

- 数电用法：开关

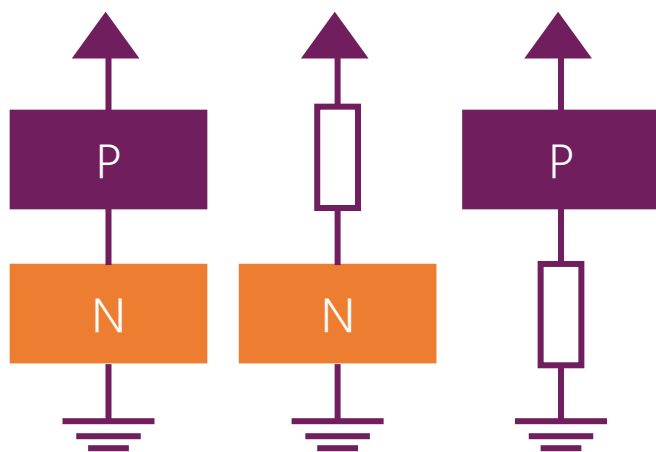
口诀：

高边P网络，低边N网络；

N并则P串，P并则N串；

N管输出取反，P管输入取反；

开关并联为或，开关串联为与。



CMOS:
不消耗
静态功
率!

