

电路分析与电子技术基础

电路基础

(2.1~2.3, 2.5, 3.1~3.4)

n 电路基础

ü 由电气设备以各种方式连接而成的整体称为电路。

ü 简单电路：手电筒，包括电池、灯泡、开关及连线。



ü 复杂电路：超大规模集成电路、通信网络、自动控制系统、高压电网...

✓ 基本物理量 (2.1)

✓ 电路信号 (2.2)

✓ 电路元件 (2.3.1 ~ 2.3.5、2.5、3.1 ~ 3.4)

✓ 基本物理量

Ø 电荷

ü 带电的基本粒子。

ü 描述电现象的基础：电荷的分离引起电势，电荷的运动产生电流。

ü 符号： q ；单位：C（库）。

电荷是电现象的基础，电压/电流是便于测量的基本物理量。

Ø 电位（电势）、电压、电动势

Ü 电位（电势）：将单位正电荷从某点移动至参考点时电场力的做功。

Ü 电位以参考点为基准；

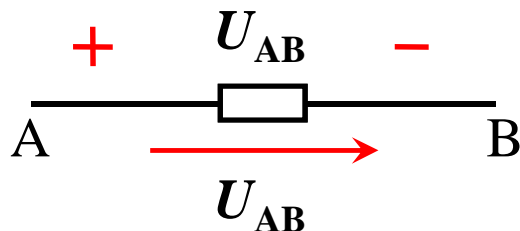
电压的方向定义为电位降落的方向，一般从高电位指向低电位；
电动势的方向从电源负极指向正极，电源的电动势形成电压。

Ü 电压符号： v （或 u ）；电压单位： V （伏、焦 \times 库）。

Ø 电位（电势）、电压、电动势

ü **参考方向**：电路分析或计算时事先任意假设的电参数正方向；
（一旦设定后，在后续分析或计算中将不能再改变）
电参数的正或负，反映其实际方向与参考方向一致或相反。

ü 电压参考方向的表示法：箭头法、高低电位法。



参考方向是本课程的重要概念，电路中电参量的描述（表达式）、计算（数值）等，都是基于参考方向的。

解题时，必须画出电路图，并标注参考方向！

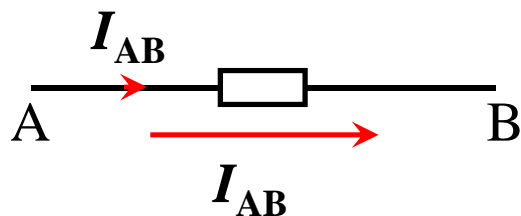
Ø 电流

ü 由电荷在电场作用下的定向运动形成。

ü 大小由单位时间内通过导线某一截面的电荷量决定。

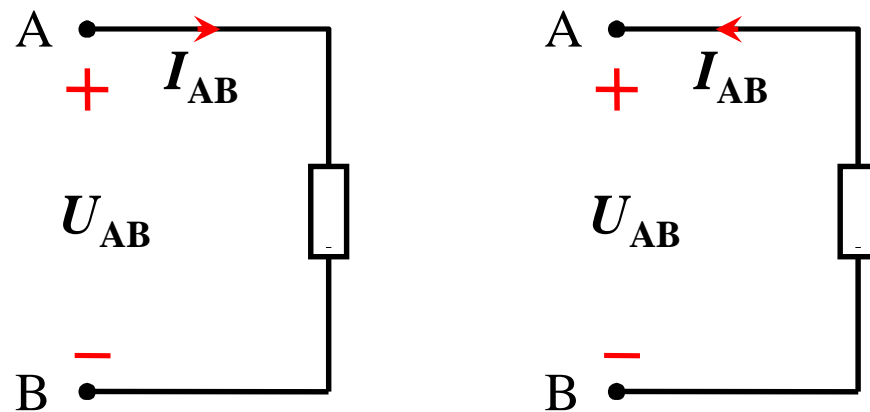
ü 符号： i ；单位：A（安，库/秒）。

ü 电流参考方向的表示法：箭头法。



Ø 电流

ü 关联参考方向：元件（电路）的电压电流参考方向一致；



ü 非关联参考方向：... 不一致。

【例1.1】

电路及参考方向如图。

已知： $R_1 = R_2 = R_3 = 10\ \Omega$,

$U_{S1} = U_{S2} = U_{S3} = 12\ \text{V}$,

$I_{S1} = 1\ \text{A}$, $I_{S2} = 2\ \text{A}$, $I_{S3} = 3\ \text{A}$ 。

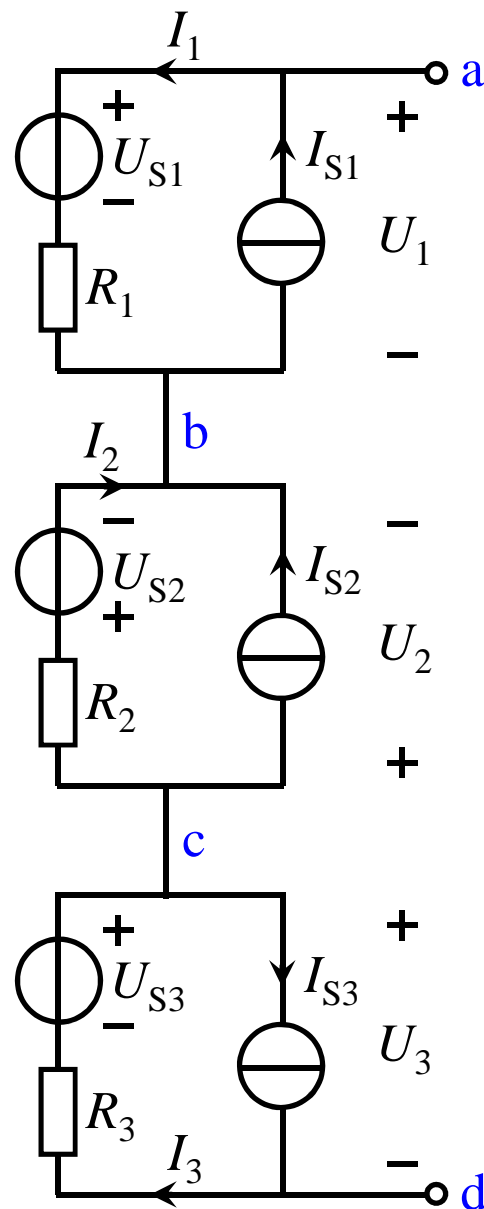
求： U_{ad} 。

解： $U_1 = U_{S1} + I_1 \times R_1 = U_{S1} + I_{S1} \times R_1 = 22\ \text{V}$

$U_2 = U_{S2} + I_2 \times R_2 = U_{S2} - I_{S2} \times R_2 = -8\ \text{V}$

$U_3 = U_{S3} - I_3 \times R_3 = U_{S3} - I_{S3} \times R_3 = -18\ \text{V}$

$U_{ad} = U_1 - U_2 + U_3 = 12\ \text{V}$



Ø 功率、能量

ü 功率：元件（或电路）吸收（或提供）能量的速率。

ü 功率符号： p ；功率单位：W（瓦，安 \times 伏）。

能量符号： w ；能量单位：J（焦，瓦 \times 秒）。

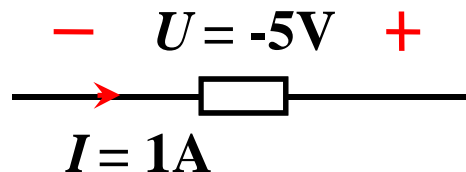
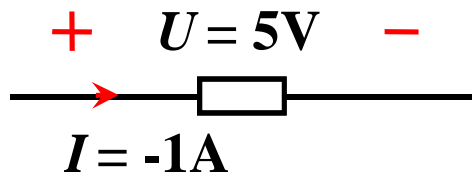
ü 在关联参考方向时，若功率计算结果为正值，说明该元件（电路）吸收功率（相当于负载）；若结果为负值，说明该元件（电路）发出功率（相当于电源）。

在非关联参考方向时？

ü 能量守恒。

【例1.2】

分析下图电路的功率。

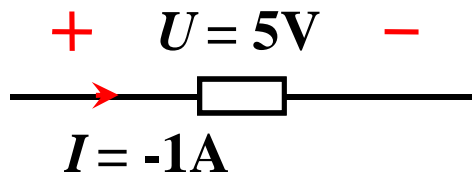


(1) $P = U \cdot I = 5 \times (-1) = -5W$, 该电路发出 5W 的功率
(关联参考方向)

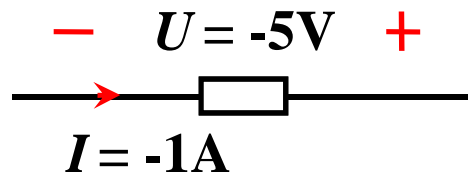
(2) $P = U \cdot I = (-5) \times 1 = -5W$, 该电路吸收 5W 的功率。
(非关联参考方向)

【例1.3】

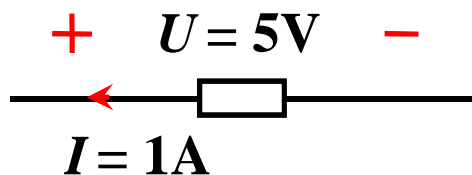
分析下图电路的功率。



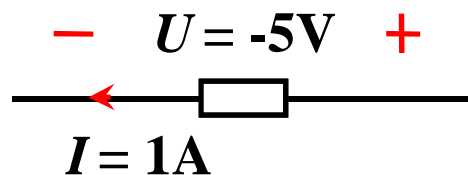
$$P = U \cdot I = 5 \times (-1) = -5\text{W}$$



$$P = U \cdot I = (-5) \times (-1) = 5\text{W}$$



$$P = U \cdot I = 5 \times 1 = 5\text{W}$$



$$P = U \cdot I = (-5) \times 1 = -5\text{W}$$

结论：所有电路均发出 5W 的功率。

功率的真实属性与参考方向的选择无关。

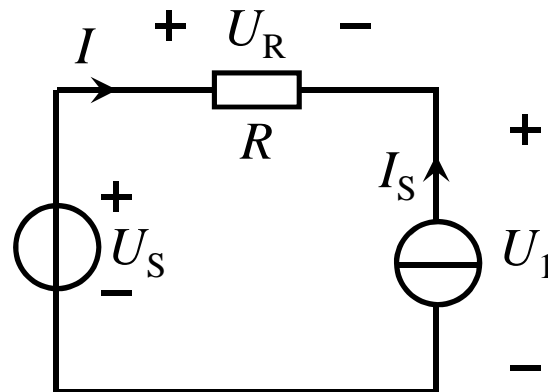
（为简化分析，应尽量按电参数的实际方向来设定其参考方向）

【例1.4】

右图所示电路。

已知： $U_S = 10\text{V}$ ， $I_S = 2\text{A}$ ， $R = 10\ \Omega$ 。

求：电阻、电压源和电流源的功率。



解：根据 $I = -I_S = -2\text{A}$ ， $U_R = I \times R = -20\text{V}$

所以，电阻功率为： $P_R = U_R \times I = 40\text{W}$ （吸收功率）

电压源功率为： $P_U = U_S \times I = -20\text{W}$ （吸收功率）

根据 $U_1 = -U_R + U_S = 30\text{V}$

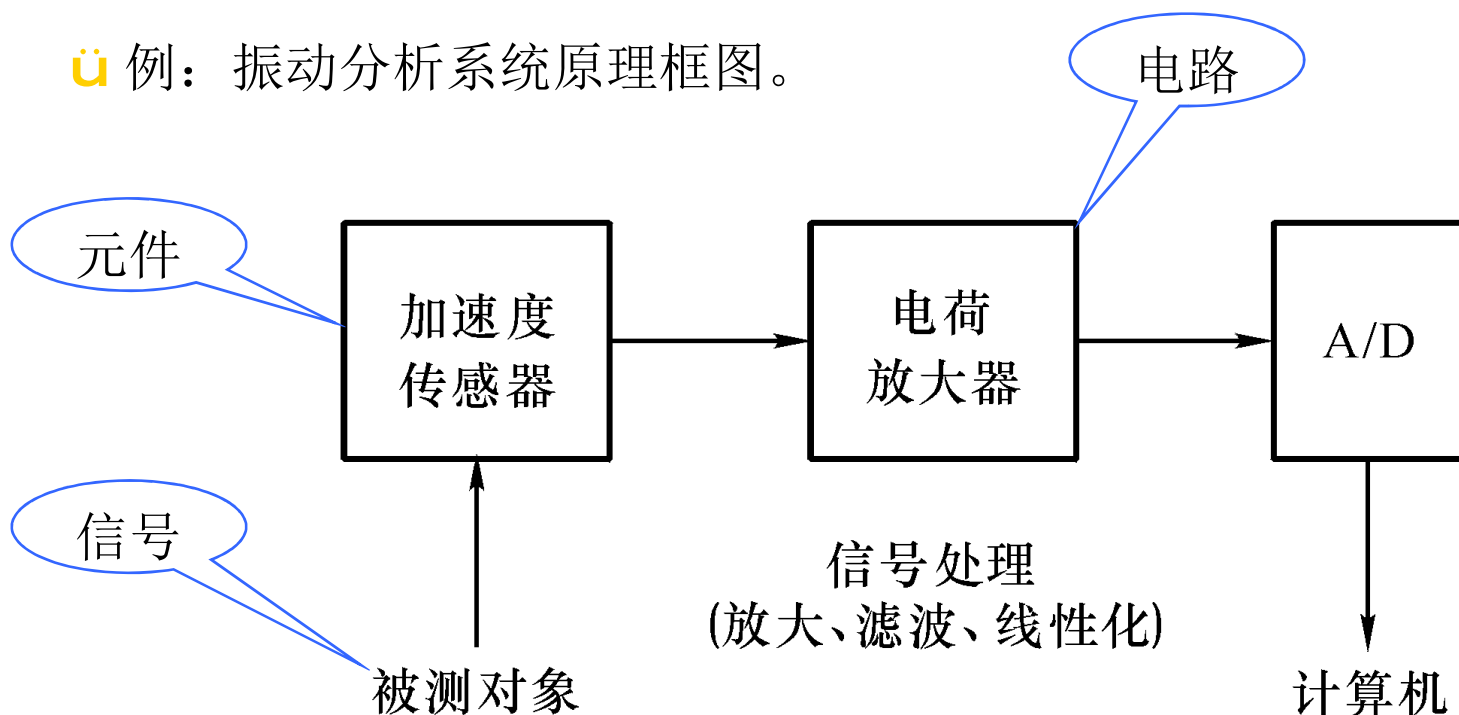
所以，电流源功率为： $P_1 = U_1 \times I_S = 60\text{W}$ （发出功率）

✓ 电路信号

ü 电信号：易产生和控制，能传递各类信息，速度快，距离远，准确性和可靠性高。

ü 非电（量）信号。

ü 例：振动分析系统原理框图。



Ø 电信号基础

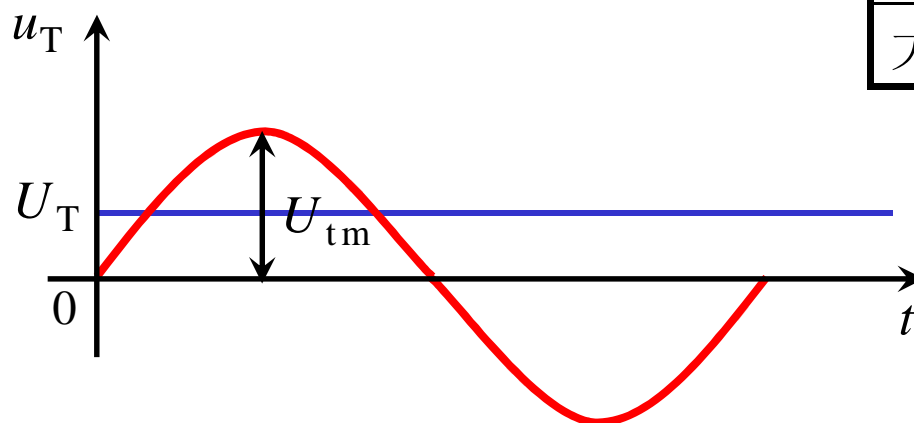
ü 电信号：随时间变化的电压、电流。

ü 描述方式：时间函数表达式、时间函数图形（信号波形）。

ü 直流信号： U_T

ü 正弦交流信号： $U_{tm} \sin(\omega t + j)$

符号	下标	定义
大写	大写	直流量
小写	小写	交流瞬时量
小写	大写	瞬时总量
大写	小写	交流有效值



$$u_T = U_T + u_t = U_T + U_{tm} \sin(\omega t + j) = U_T + \sqrt{2}U_t \sin(\omega t + j)$$

Ø 电信号分类

ü 最基本的分类：直流、交流。

ü 用途：... ..

ü 时间变化规律：确知（规则）信号、随机（不规则）信号。

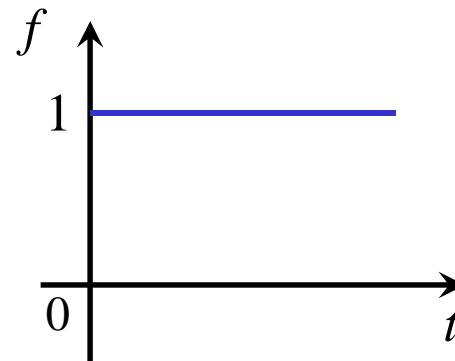
ü 时间重复性：周期信号、非周期信号。

ü 时间取值性：连续信号、离散信号。

ü

Ø 阶跃信号

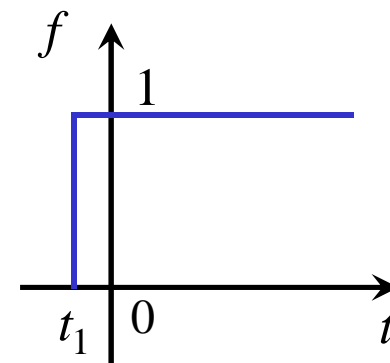
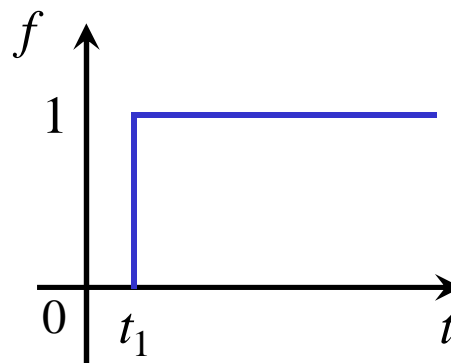
ü 单位阶跃信号: $f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}$



ü A 个单位阶跃信号。

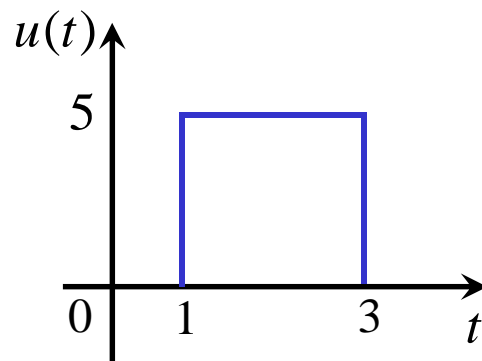
ü 迟延（位移）单位阶跃信号:

$$f(t-t_1) = \begin{cases} 0 & t < t_1 \\ 1 & t > t_1 \end{cases}$$



Ø 阶跃信号的用途（表达）

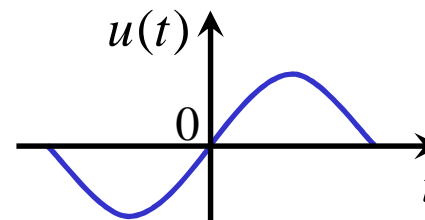
ü 脉冲（门）信号：



$$u(t) = 5f(t-1) - 5f(t-3)$$

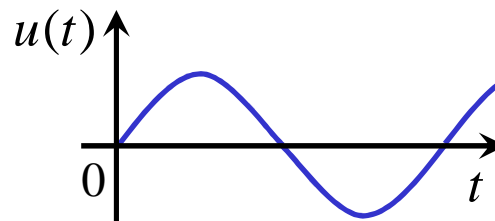
ü 信号的存在时间范围：

$$u(t) = U_m \sin \omega t \cdot \left[f\left(t + \frac{p}{\omega}\right) - f\left(t - \frac{p}{\omega}\right) \right]$$



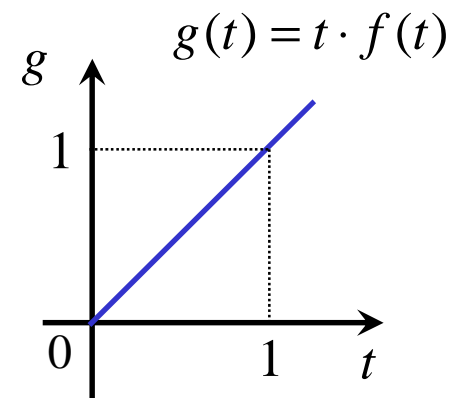
ü 信号的起始时刻：

$$u(t) = U_m \sin \omega t \cdot f(t)$$



Ø 斜变信号

ü 信号幅值随时间正比例增长：
$$g(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t > 0 \end{cases}$$

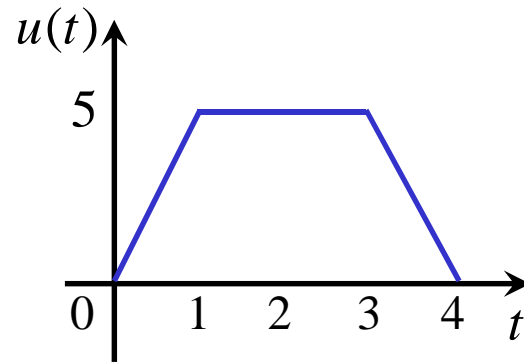


ü 单位斜变信号。

ü 迟延（位移）单位斜变信号：
$$g(t - t_1) = \begin{cases} 0 & t < t_1 \\ t & t > t_1 \end{cases}$$

Ø 斜变信号的用途（表达）

ü 梯形信号：



$$u(t) = 5t \cdot f(t) - 5(t-1) \cdot f(t-1) - 5(t-3) \cdot f(t-3) + 5(t-4) \cdot f(t-4)$$

ü 与阶跃信号的关系： $g(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$

Ø 单位冲激信号

ü 作用时间极短，幅值极大。

ü 以一矩形脉冲信号（宽度为 τ ，高度为 $1/\tau$ ）为基础；
当 $\tau \rightarrow 0$ 时，即可获得一仅存于 $0^+ \sim 0^-$ 时间内，幅值无穷大的单位冲激信号：

$$d(t) = \lim_{t \rightarrow 0} \left[\frac{1}{t} f\left(t + \frac{t}{2}\right) - \frac{1}{t} f\left(t - \frac{t}{2}\right) \right]$$

ü 模拟（连续）信号的数字（离散）化：信号与单位冲激信号相乘。

✓ 电路元件

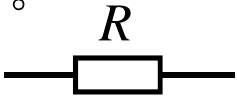
ü 为了对实际电路进行分析研究，把各种各样的实际电路元件根据其主要物理性质，抽象成理想化的电路模型元件。

ü 包括：电阻、电容、电感、电源、 n 端元件 ...

ü 元件：模型；
器件：实物。

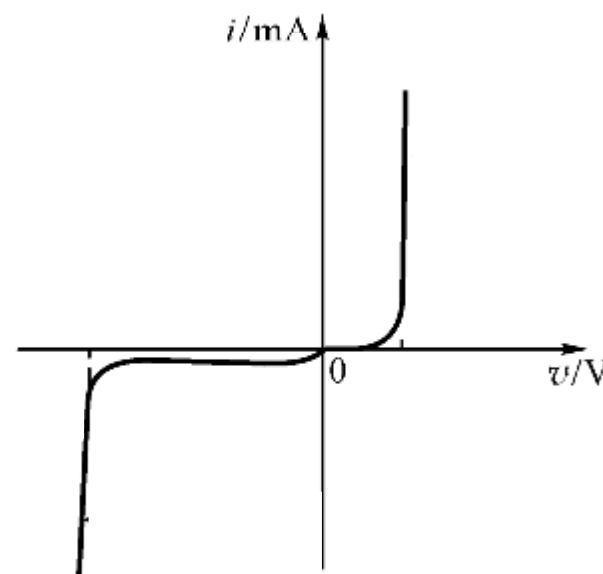
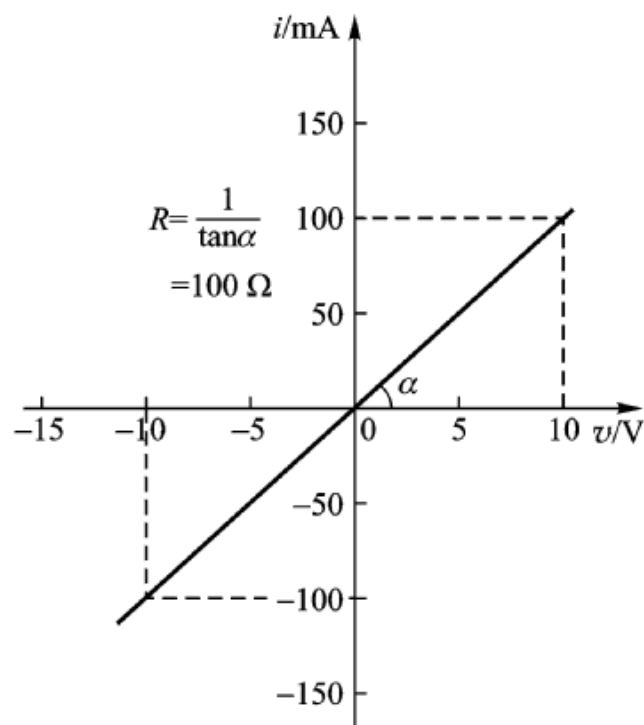
电阻

体现电能转化为其它形式能量的二端器件。

符号 R （符号图），单位 Ω （欧姆）。 

伏安特性：反映器件端口电压电流之间的关系，一般用图形表示。

当端口电压电流成比例时（特性为直线）称为线性电阻，否则称为非线性电阻。



Ø 电阻

ü 线性电阻: $u = i \cdot R$, $P = u \cdot i = \frac{u^2}{R} = i^2 \cdot R$, $W = P \cdot t$

ü 实际器件, 如灯泡、电热丝、电阻器、二极管等均可表示为电阻。

ü 非时变电阻: 伏安特性与时间无关。

ü 电导、时变电阻 ...



碳膜电阻



金属膜电阻



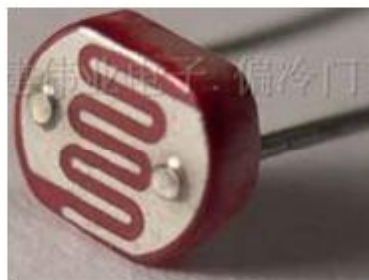
贴片电阻



压敏电阻



湿敏电阻



光敏电阻



力敏电阻



各类电位器

Ø 电容

ü 体现电场能量的二端器件。

ü 符号 C （符号图），单位 F（法拉）。

ü 线性电容：电容储存电荷 q 与端电压满足比例关系， $q = C \cdot u_C$

ü 线性非时变（库伏特性与时间无关）电容： $i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$
隔直作用（断路）。

ü 记忆元件： $u_C(t) = u_C(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^t i_C(t) \cdot dt$

ü 储能元件： $W_C = \frac{1}{2} C \cdot u_c^2 = \frac{1}{2} q \cdot u_C = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C}$



CBB电容 无感CBB电容 瓷片电容



云母电容



独石电容



钽电容

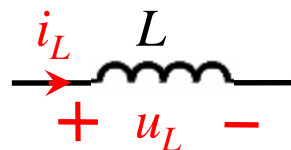


电解电容

Ø 电感

ü 体现磁场能量的二端器件。

ü 符号 L （符号图），单位 H（亨利）。



ü 线性电感：电感交链磁（通）链 Ψ 与端电流满足比例关系， $y = L \cdot i_L$

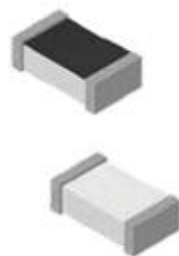
ü 线性非时变（韦安特性与时间无关）电感： $u_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt}$
通直作用（短路）。

ü 记忆元件： $i_L(t) = i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^t u_L(t) \cdot dt$

ü 储能元件： $W_L = \frac{1}{2} L \cdot i_L^2 = \frac{1}{2} y \cdot i_L = \frac{1}{2} \cdot \frac{y^2}{L}$



环形电感



贴片电感



插件电感



互感器



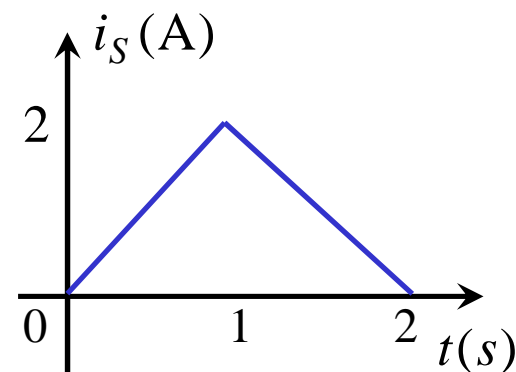
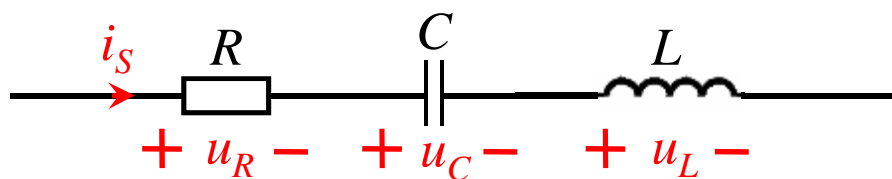
色码电感

【例1.5】

下图所示电路（电流波形）。

已知： $R = 10\Omega$ ， $L = 10\text{mH}$ ， $C = 0.1\text{F}$ （电容初始电压为0）。

求： $t > 0$ 后的电阻、电容、电感电压。



解： 当 $0 \leq t < 1$ 时： $i_S(t) = 2t$

$$u_R(t) = i \cdot R = 20t$$

$$u_C(t) = u_C(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt = 10t^2$$

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} = 0.02$$

$$u_R(t) = i \cdot R = -20(t - 2)$$

$$u_C(t) = u_C(1) + \frac{1}{C} \int_1^t i(t) dt = -10t^2 + 40t - 20$$

$$u_L(t) = L \frac{di(t)}{dt} = -0.02$$

当 $1 \leq t < 2$ 时：

$$i_S(t) = -2(t - 2)$$

$t \geq 2$ 时? ...

Ø 电感（器件）

ü 直流：一个电阻。

ü 交流低频：一个电阻与一个电感串联。

ü 交流高频：一个电阻与一个电感串联，再与一个电容并联。

ü 超高频：分布参数电路模型、集中参数电路模型。

ü **模型**：由抽象化的电路元件组成的电路称为实际电路的电路模型，它能在一定的精度范围内，近似地描述实际电路。

Ø 独立电源

ü 实际电路中，向电路提供电能的装置；
包括电池、发电机、稳压源、稳流源等。

ü 电压源：输出电压近似恒定或随时间按一定规律变化（波动小），
且与流过电压源的电流无关；
例：蓄电池、稳压电源、发电机等。

ü 电流源：输出电流近似恒定或随时间按一定规律变化（波动小），
且与电流源的端口电压无关；
例：太阳能电池、光电池、稳流电源等。



干电池



太阳能电池



发电机组



直流稳压电源

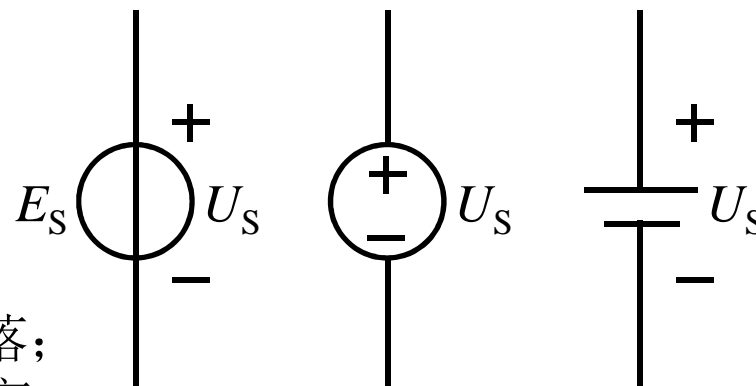


信号源

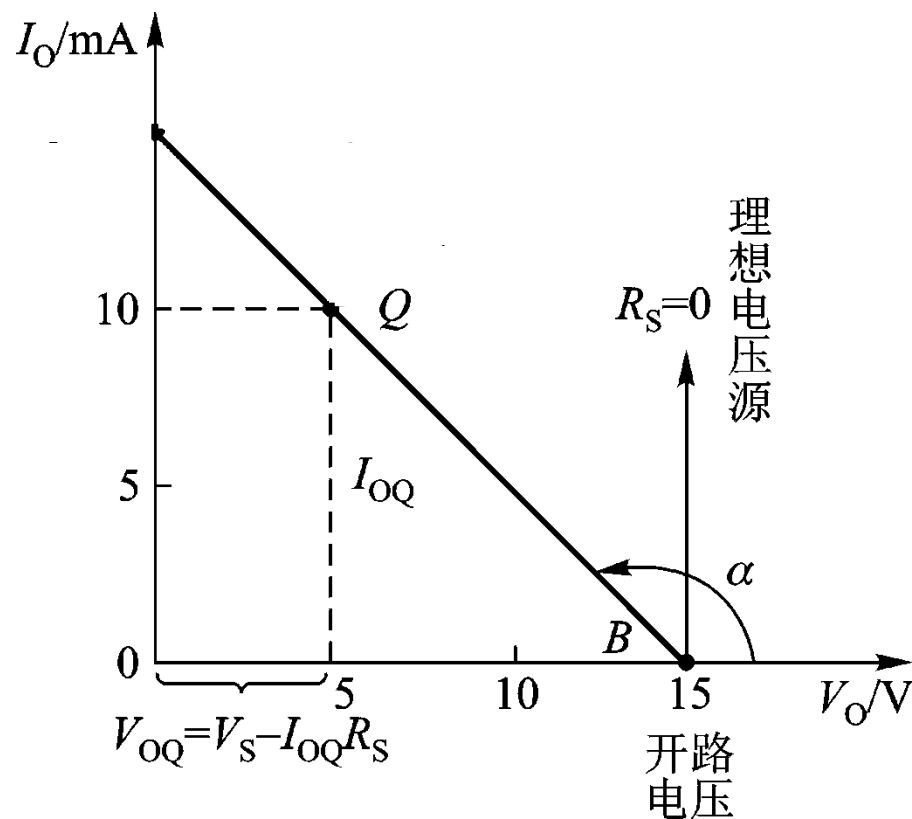
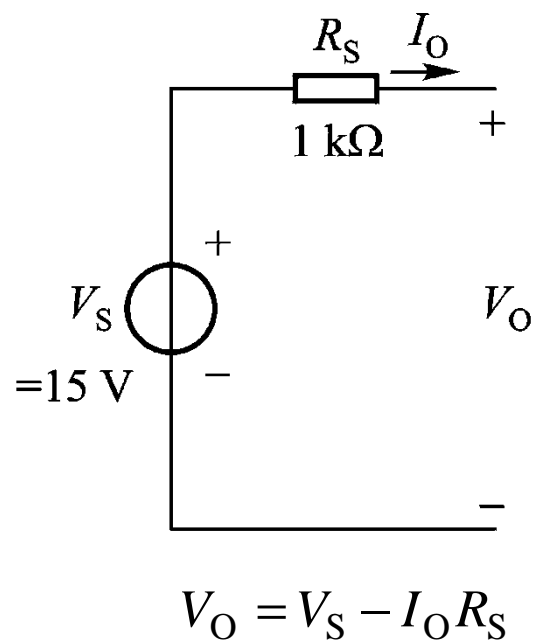
独立电源（电压源）

符号图：

U_S ：电压源从正极到负极的电位降落；
 E_S ：电压源从负极到正极的电位升高。



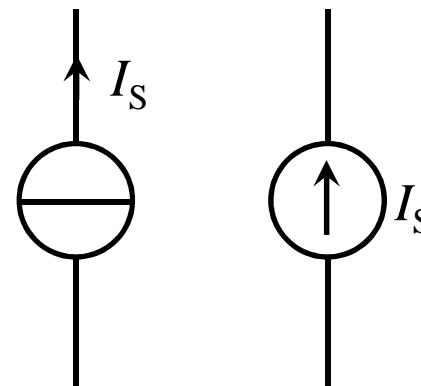
伏安特性：



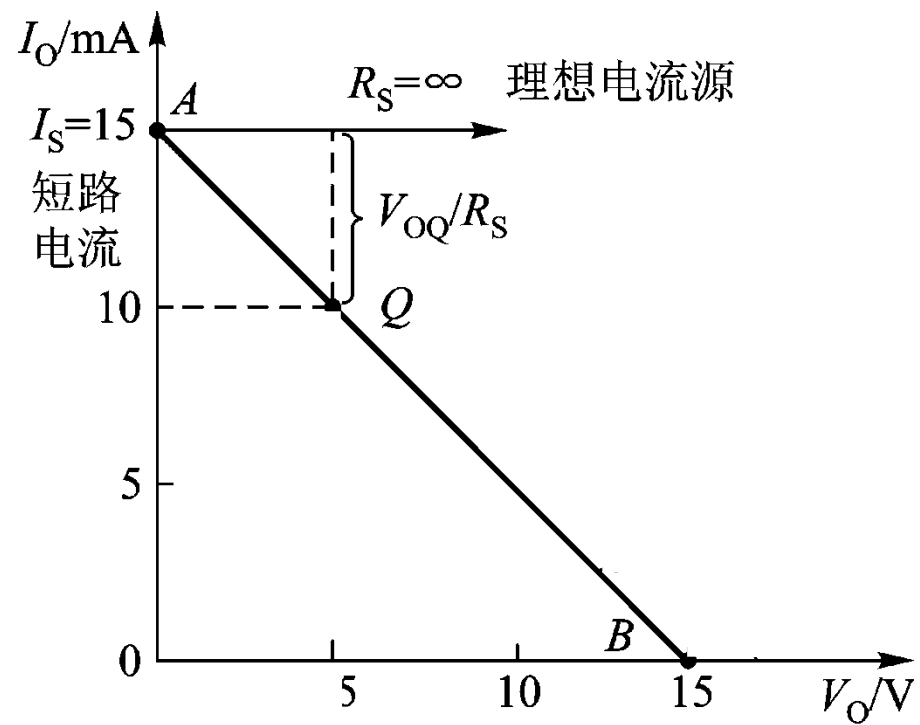
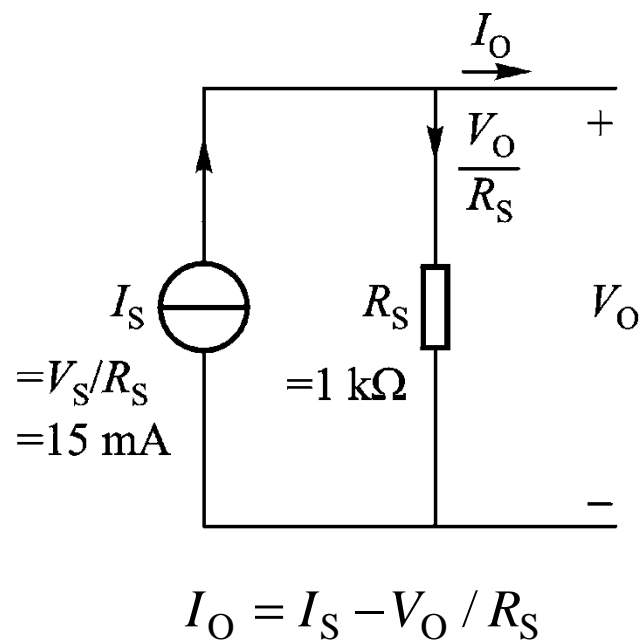
独立电源（电流源）

符号图：

I_S ：电流源端部流出的电流。



伏安特性：



Ø 独立电源（特性）

ü 当电压源数值 $U_S = 0$ 时，相当于电路短路（短路线）；
非零电压源不能短路，两个不等值的电压源不能并联。

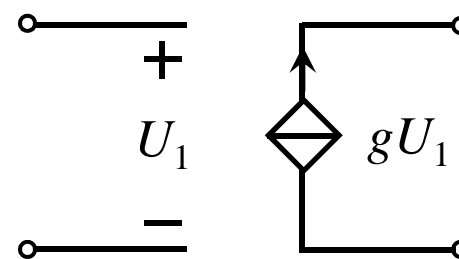
ü 当电流源数值 $I_S = 0$ 时，相当于电路开路（开路线）；
非零电流源不能开路，两个不等值的电流源不能串联。

ü 所有源都有一定的内阻（能量有限）。

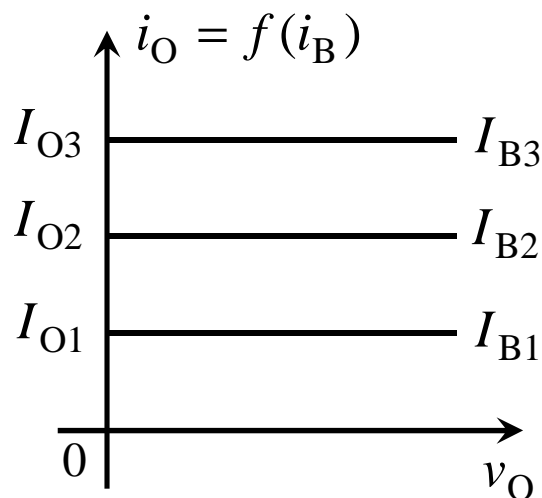
Ø 受控（非独立）电源

ü 输出电压或输出电流受电路中其它部分电压或电流控制的电源。

ü 电压控制电压源（VCVS）；
电压控制电流源（VCCS）；
电流控制电压源（CCVS）；
电流控制电流源（CCCS）。
（四端元件）



ü 线性受控源。
（非线性受控源）

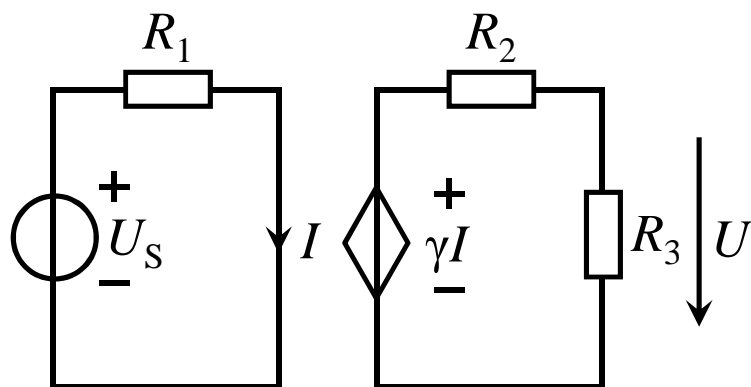


【例1.6】

下图所示电路。

已知： $U_S = 10\text{V}$ ， $R_1 = R_2 = R_3 = 10\Omega$ ， $\gamma = 10$ 。

求： R_3 上电压。



解：控制源： $I = \frac{U_S}{R_1} = 1\text{A}$

受控源： $\gamma I = 10\text{V}$

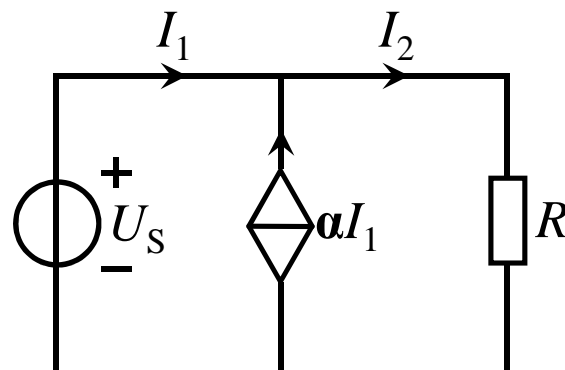
R_3 上电压： $U = \gamma I \times \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 5\text{V}$

【例1.7】

右图所示电路。

已知： $U_S = 10\text{V}$ ， $R = 10\Omega$ 。

求： 当 α 分别等于 2， 0， -2 的 I_1 。



解： 由图可得：

$$\begin{cases} I_2 = \frac{U_S}{R} = 1\text{A} \\ I_1 = \frac{I_2}{1 + \alpha} \end{cases}$$

当 $\alpha = 2$ 时： $I_1 = \frac{1}{3}\text{A}$

当 $\alpha = 0$ 时： $I_1 = 1\text{A}$

当 $\alpha = -2$ 时： $I_1 = -1\text{A}$

当 $\alpha = -1$ 时， I_1 为无穷大， 电路无解。

✓ 电路元件（半导体器件）

ü 以下内容针对半导体器件，涉及教材 3.1 ~ 3.4。

ü 介绍常用半导体器件、电子电路；

了解半导体器件的基本特性（区分前述的电阻、电容、电感等）；
理解电子电路的分析方法（模型 + 电路分析）

ü 暂时不要求对本章节内容有详细、清晰的掌握。

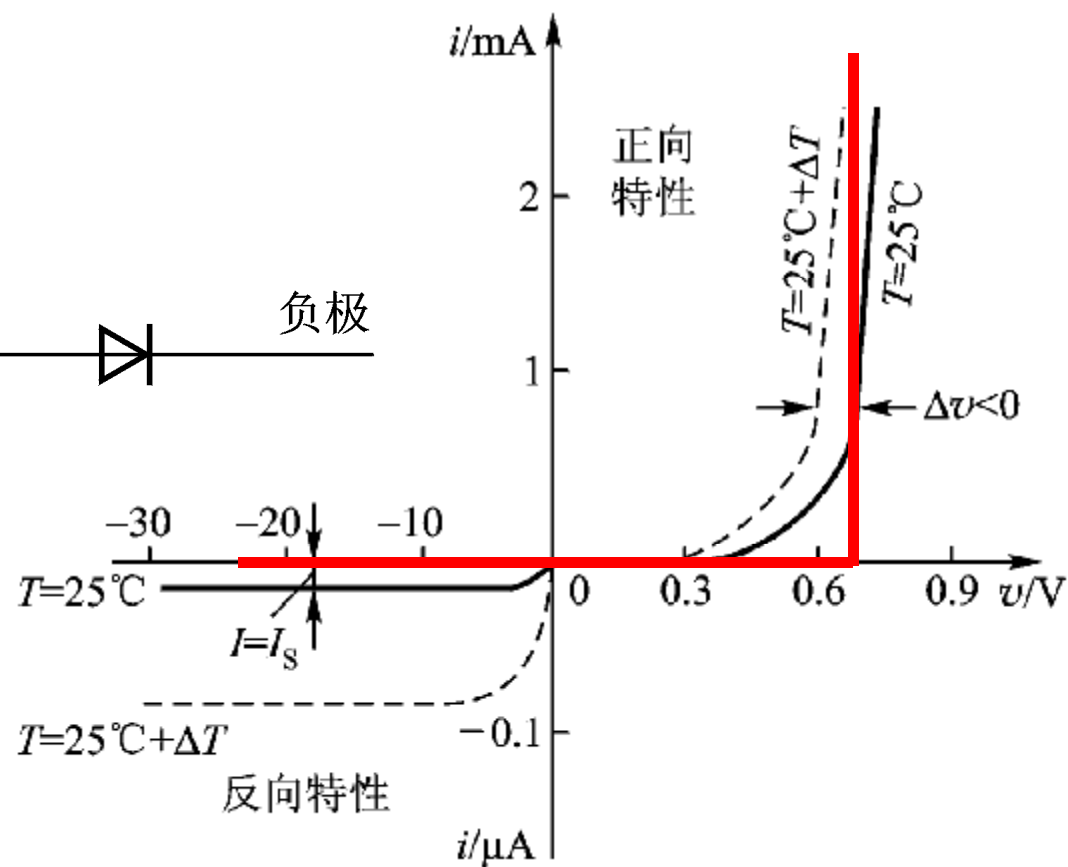
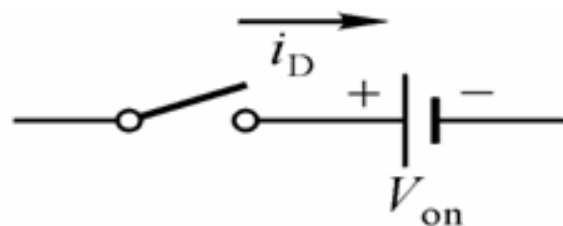
Ø 半导体二极管

ü 简称二极管。

ü 符号 D (符号图) : 正极 ———— ▷ ———— 负极

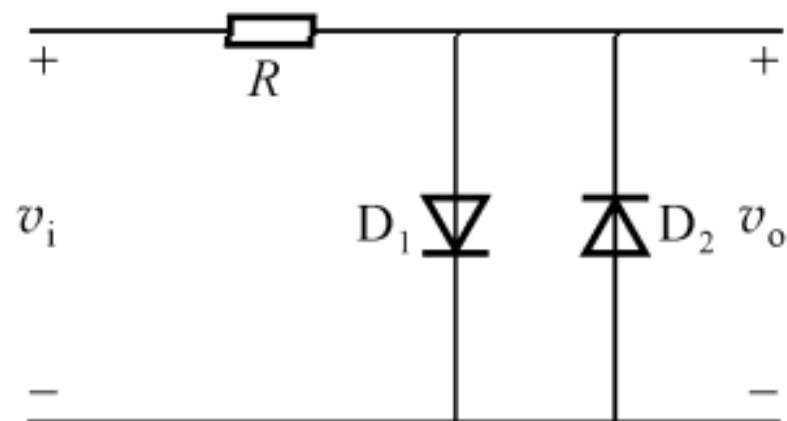
ü 伏安特性:

ü 模型:

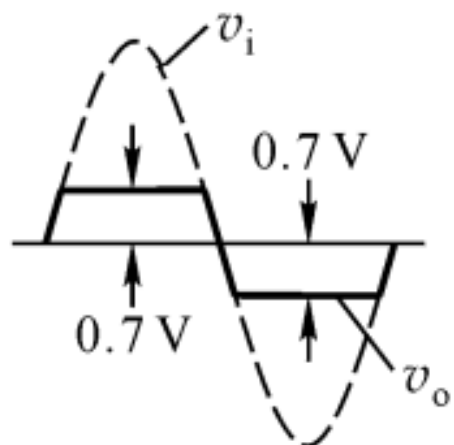


【例1.8】

分析右图所示电路的输出波形。

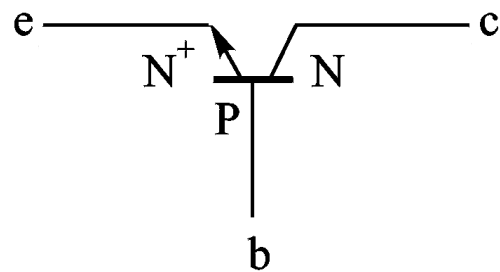


解：应用二极管模型分析。



Ø 半导体三极管

ü 又称晶体三极管，简称晶体管、三极管。

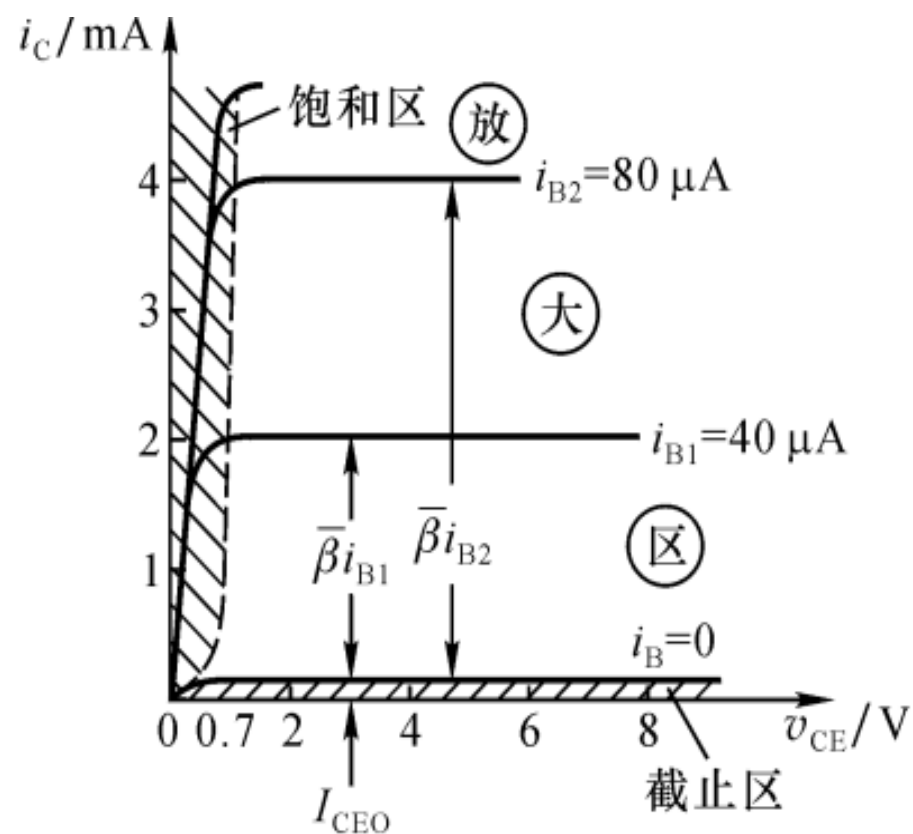
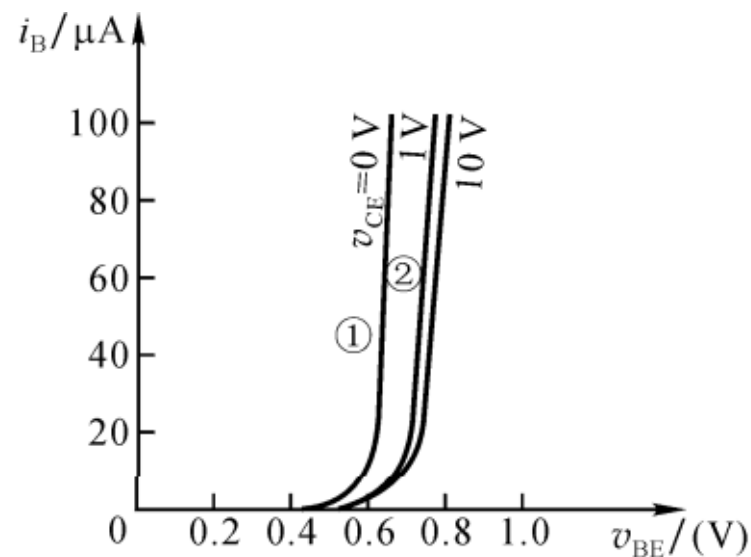
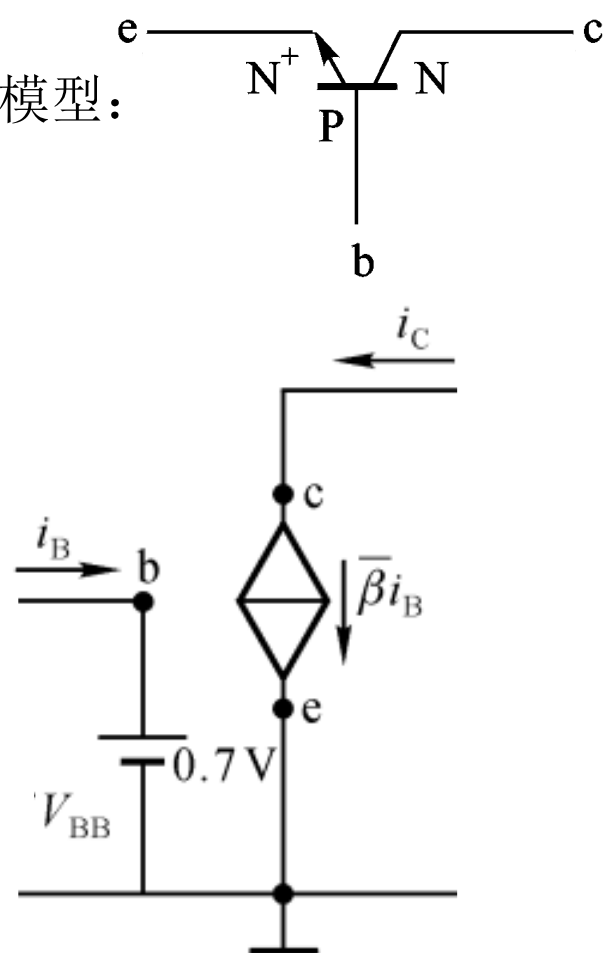


ü 符号 T（符号图）：

半导体三极管

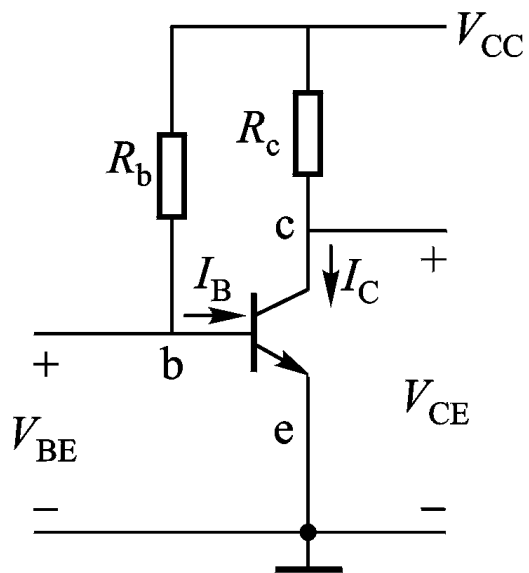
伏安特性:

模型:



【例1.9】

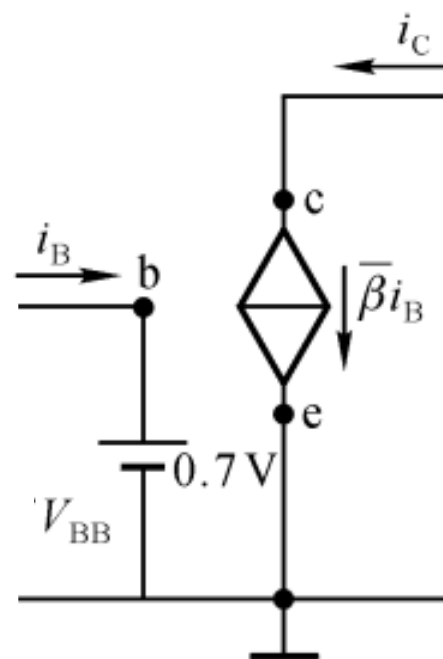
分析下图所示电路的参数。



$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b}$$

$$I_C = \beta I_B = \beta \times \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b}$$

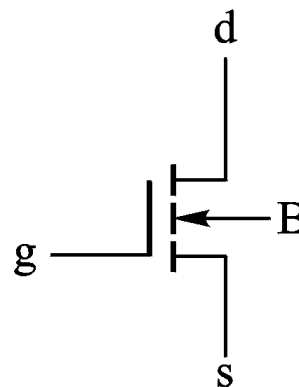
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_c$$



Ø 场效应晶体管

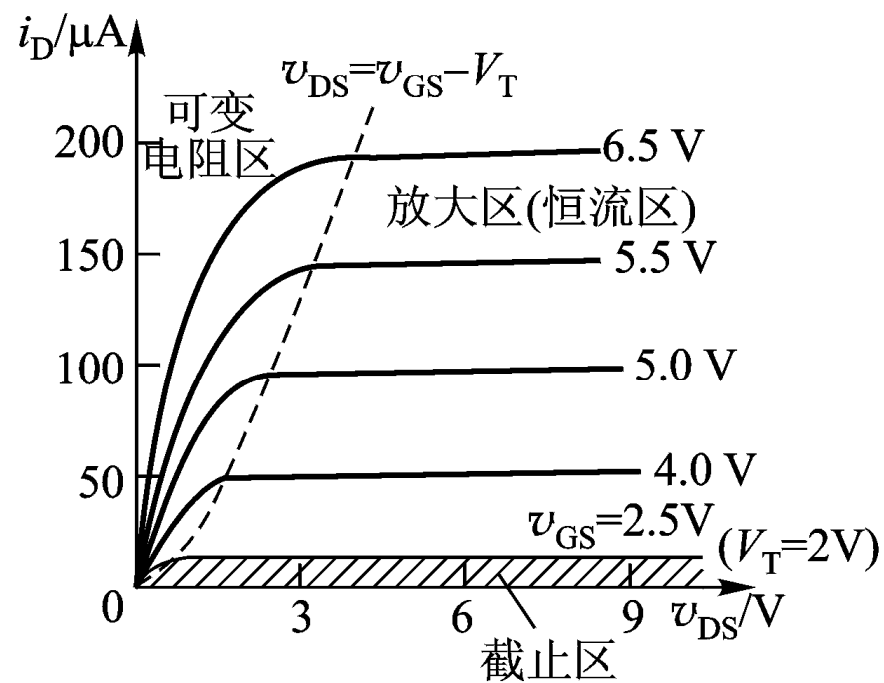
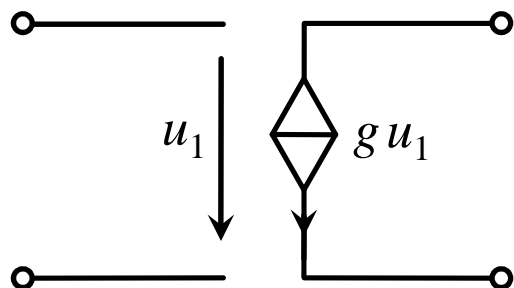
ü 简称场效应管。

ü 符号 T（符号图）：



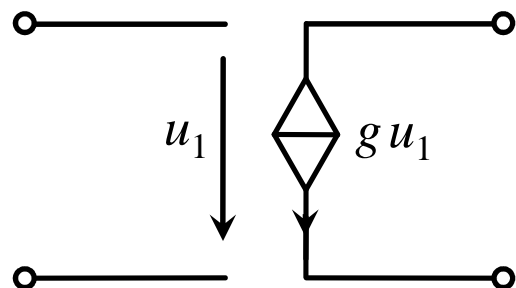
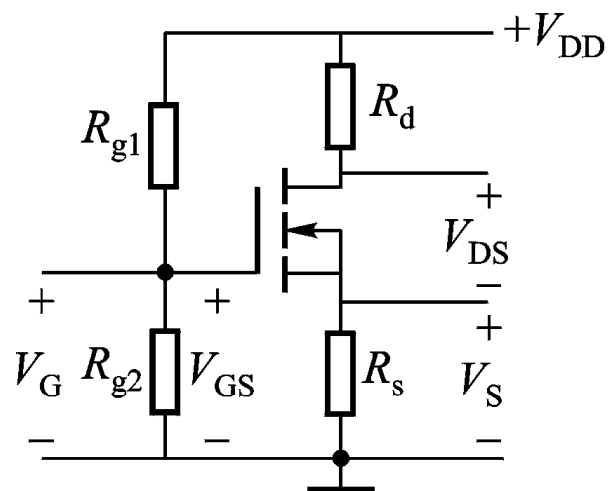
ü 伏安特性：

ü 模型：



【例1.10】

分析下图所示电路的参数。



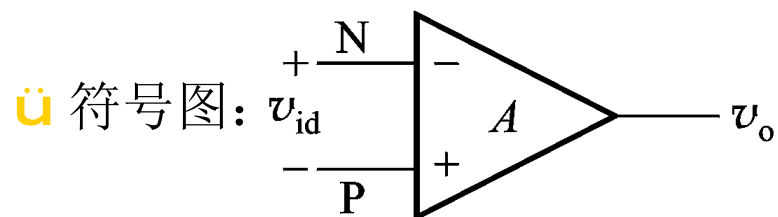
Ø 集成运算放大器

ü 集成电路：同一块硅片上制作出的特殊功能电路；包括电阻、电容、二极管、三极管、场效应管和各种连线。

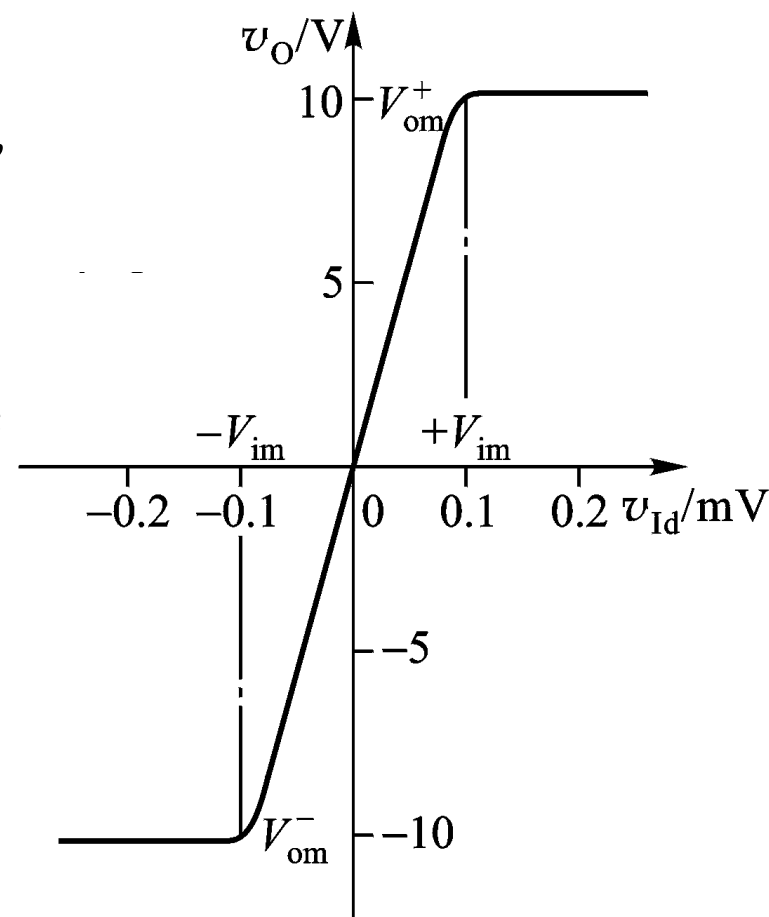
ü 集成运算放大器：通过半导体集成工艺，在很小的硅片上制成的一种高增益、直接耦合式、多级放大器；

最早应用于模拟信号的运算，
目前是现代电子电路中最基本的组成单元；

在理想条件下，集成运算放大器可以等效成一个电压控制电压源。



ü 电压传输特性曲线：



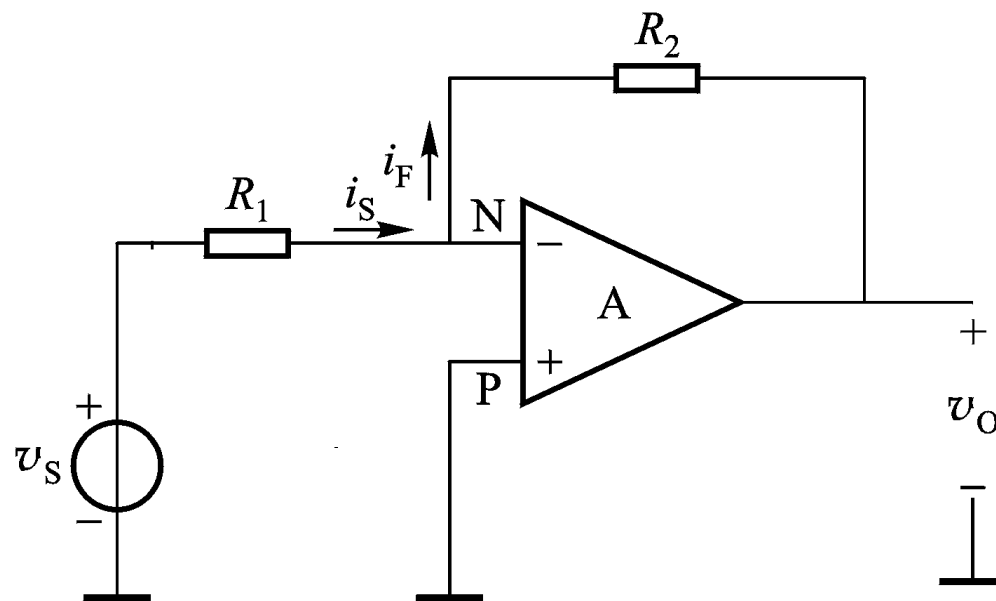
【例1.11】

分析右下图所示电路的参数。

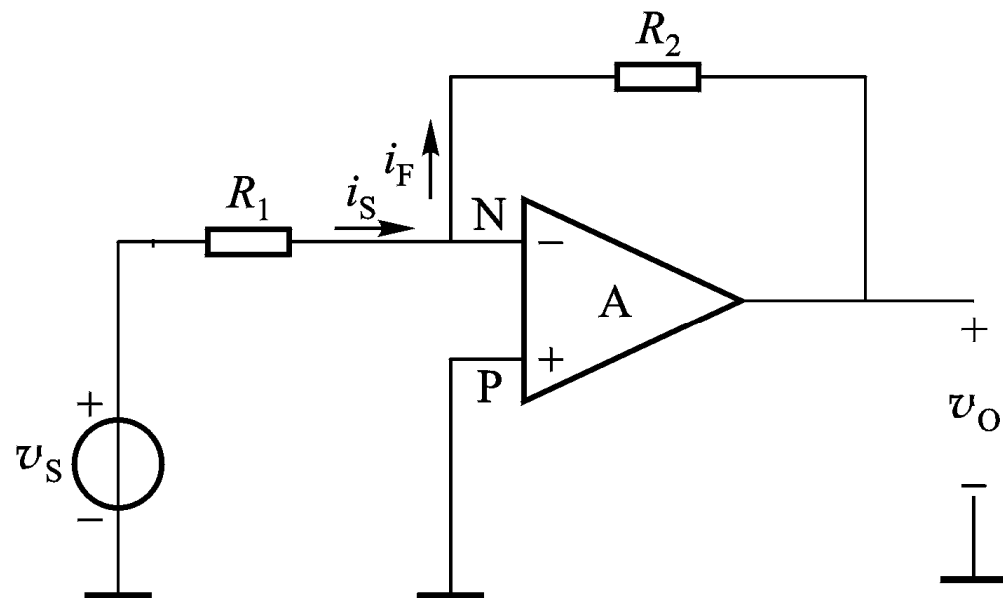
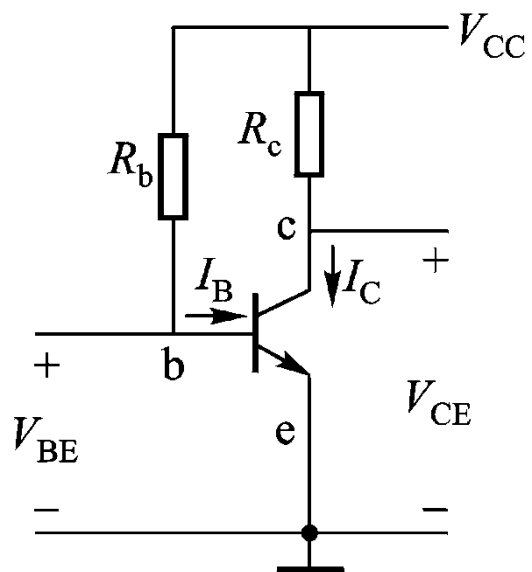
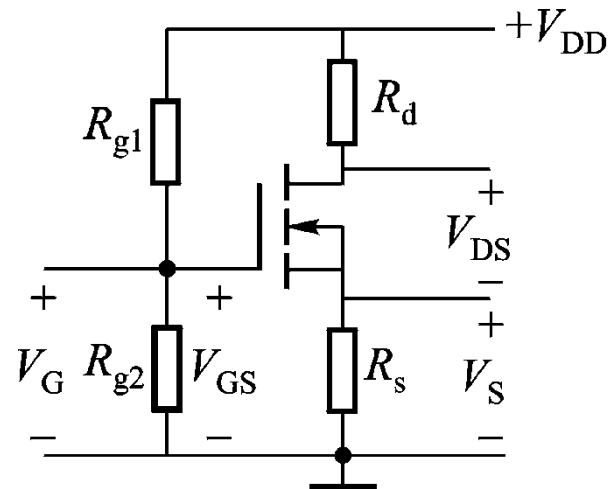
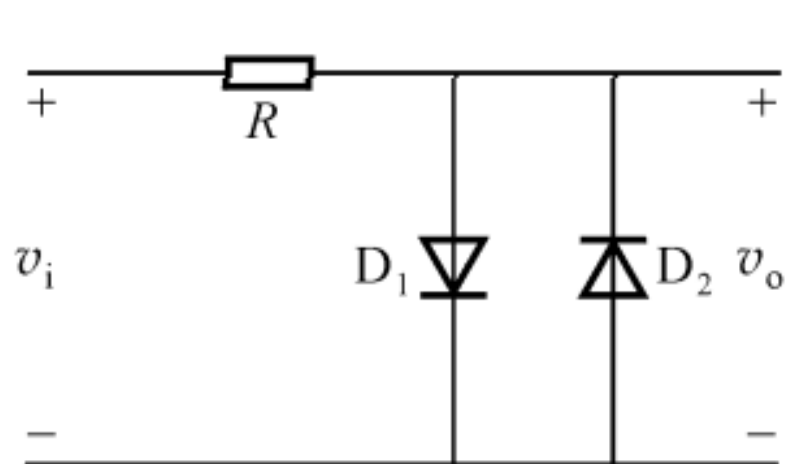
$$i_F = -\frac{v_O}{R_2}$$

$$i_S = \frac{v_S}{R_1}$$

$$A_{vf} = \frac{v_O}{v_S} = -\frac{R_2}{R_1}$$







✓ 本节作业

ü 习题 2 (P64)

1、2。

所有的题目，需要有解题过程（不是给一个答案即可）。

Ø 本节作业

Ü 习题 2 (P66)

15、17、21

(半导体器件、受控源)

所有的题目，需要有解题过程（不是给一个答案即可）。