

# 电子技术基础重点

---

## 电子技术基础重点

*VCR*

*KCL*

节点分析注意事项:

*KVL*

网孔分析注意事项:

受控源的功率

叠加原理

置换定理

戴维南定理 (电压源串联电阻)

诺顿定理 (电流源并联电阻)

$T - \pi$ 转换

电容元件和电感元件

参考方向:和电阻相同

电容和电感的*VCR*

电容电感的连续性

储能  $w = \frac{1}{2} Li^2 + \frac{1}{2} Cu^2$

零状态响应

零输入响应: 电容或电感的放电过程

全响应=稳态响应+暂态响应

三要素法

相量表示法

模拟部分

正弦激励的标准形式

放大电路的输入和输出电阻

差模共模

运算放大器

好用结论

半导体

*PN*结

正向电压与反向电压

*PN*结的电容效应

二极管

稳压管 (并联稳压电路)

*BJT*

放大电路的分析

频率响应

组合放大

*FET*

*BJT*电流源电路

*BJT*差分放大电路

反馈

反馈判断方法

串联反馈与并联反馈

串并联判断方法

电压反馈与电流反馈

电压电流判断方法

负反馈放大电路四种组态

负反馈增益的一般表达式

负反馈对输入输出电阻的影响

增益-带宽积

注意

# VCR

---

*what's important* :关联参考方向

# KCL

---

对任一节点

## 节点分析注意事项:

- 1.注意给了电阻转换为电导
- 2.遇到电压源时设流过电压源的电流*i*
- 3.注意电流参考方向是从电压高的地方流向参考点的方向

# KVL

---

## 网孔分析注意事项:

- 1.电压升取正
- 2.遇到电流源时设经过电流源的电压降为*u*(或者使用超网孔)
- 3.将受控源看成独立电源

## 受控源的功率

受控支路的电压与电流相乘

# 叠加原理

---

电路的响应 $y(t)$ 与电路各个激励 $x_m(t)$ 的关系可表示为

$$y(t) = \sum_M H_m x_m(t)$$

$H_m$ 为相应的网络函数,  $x_m$ 表示电压源电压或电流源电流

- 受控源像电阻一样保留在电路中
- 几个独立源就拆成几张图

## 置换定理

将某一已知VCR的网络等效为电流源或电压源

## 戴维南定理 (电压源串联电阻)

$$u = u_{oc} + R_o i$$

其中 $u_{oc}$ 为开路电压 (负载电阻先置为开路) ,  $R_o$ 为所有独立源为零值时的等效电阻

## 诺顿定理 (电流源并联电阻)

$$i = i_{SC} + G_0 u$$

其中 $i_{SC}$ 为短路电流 (负载电阻先置为短路) ,  $G_0$ 为等效电导

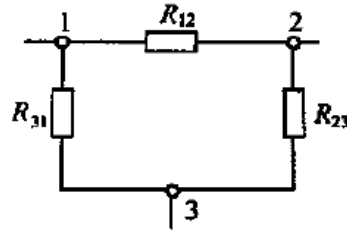
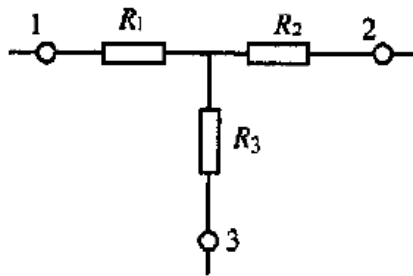
注意:

- 计算开路电压和短路电流时电压源短路, 电流源断路
- 所有的受控源仍需保留
- 单口网络N中不能含有控制量在外电路部分的受控源, 但控制量可以是N的端口电压或电流, 当控制量在端口上时, 它要随端口开路或短路的变化而变化

## $T - \pi$ 转换

$$\pi \text{转} T: R_i = \frac{R_{i+1,i} R_{i-1,i}}{\text{三电阻之和}}$$

$$T \text{转} \pi: R_{mn} = \frac{\text{电阻两两乘积之和}}{\text{下标不含} m, n \text{的电阻}}$$



## 电容元件和电感元件

参考方向:和电阻相同

电容和电感的VCR

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

5-12题

电容电感的连续性

- 电容电压不能跃变, 初始电压必须提供
- 电感电流不能跃变, 初始电流必须提供

$$\text{储能 } w = \frac{1}{2} L i^2 + \frac{1}{2} C u^2$$

零状态响应

$$u_C(0) = 0, u_C(t) = R_O i_{sc} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) (\tau = RC)$$

$$i_L(0) = 0, i_L(t) = \frac{u_{oc}}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) (\tau = \frac{R}{L})$$

零输入响应: 电容或电感的放电过程

$$u_C(0) = U, u_C(t) = U e^{-\frac{t}{\tau}} (\tau = RC)$$

$$i_L(0) = I, i_L(t) = I e^{-\frac{t}{\tau}} (\tau = \frac{R}{L})$$

全响应=稳态响应+暂态响应

三要素法

1. 用电压为  $u_c(0)$  的直流电压源置换电容或用电流为  $i_L(0)$  的直流电流源置换电感, 求  $y(0_+)$

2. 用开路置换电容或用短路置换电感, 求  $y(\infty)$

3. 求除了电容\电感外的等效电阻, 求  $\tau$

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

$$\text{结合叠加原理: } y(t) = \sum_M H_m x_m(t) + H_0 y_{C/L}$$









$$\text{得 } y(\infty) = \sum_M H_m x_m(t) + H_0 y_{C/L}(\infty)$$

$$y(0) = \sum_M H_m x_m(t) + H_0 y_{C/L}(0)$$

$$y_C(0) = y_L(\infty)$$

零状态响应满足叠加原理，全响应不能叠加，应用零状态响应叠加后再叠加零输入响应

表 6-2 C 和 L 在  $t=0_+$ 、 $t=\infty$  的置换电路

条件 元件	零初始状态, $t=0_+$	非零初始状态 $t=0_+$	直流稳态, $t=0_-$ 或 $t=\infty$
	 短路	 $u_C(0_+) = u_C(0_-)$	 开路
	 开路	 $i_L(0_+) = i_L(0_-)$	 短路

☐ 冲激函数是阶跃函数的导数

## 相量表示法

相量=有效值相量，区分最大值相量

相量只能表征正弦波，隐藏了频率

利用三角函数性质转换成  $A\cos(\omega t + \theta)$ ,  $A > 0$ , 记作  $\frac{A}{\sqrt{2}} \angle \theta$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}, Z_L = j\omega L$$

## 模拟部分

### 正弦激励的标准形式

$$u(t) = \dot{U}_m \cos(\omega t + \phi)$$

$$i(t) = \dot{I}_m \cos(\omega t + \phi)$$

其中  $\dot{U}_m, \dot{I}_m$  是振幅相量

### 放大电路的输入和输出电阻

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}, R_o = \frac{v_o}{i_o} \big|_{v_s=0, R_L=\infty}$$

$$\text{增益 } A_v = \frac{v_o}{v_i}, A_i = \frac{i_o}{i_i}, A_r = \frac{v_o}{i_i}, A_g = \frac{i_o}{v_i}$$

均来自动态

## 差模共模

- 差模信号  $v_{id} = v_{i1} - v_{i2}$

- 共模信号  $v_{ic} = \frac{v_{i1} + v_{i2}}{2}$

- 输出电压

$$v_o = A_{vd}v_{id} + A_{vc}v_{ic}$$

- 共模抑制比

$$K_{CMR} = \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right|$$

## 运算放大器

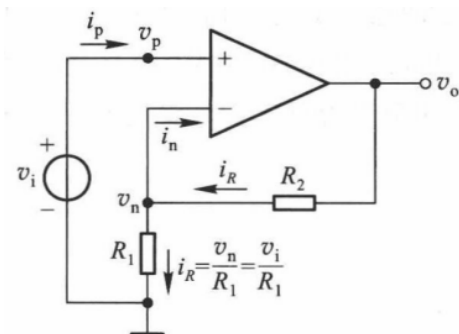
两大一小，线性区很窄，虚短 $v_P = v_N$ （线性区很窄），虚断 $i_P = i_N \approx 0$ （输入电阻很大）

注意：虚断恒成立，虚短不一定恒成立（强行拉高电势的情况）

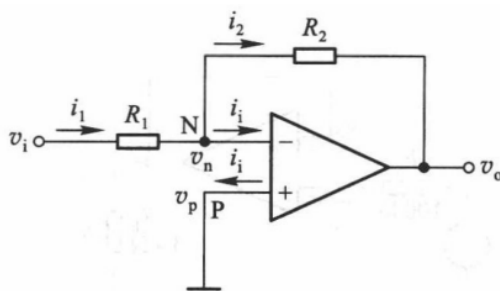
输出端电流有限，若负载阻值过小会导致输出电压变小，不再像正常工作时那样接近电源电压

### 好用结论

- 同相放大器电压增益 $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$



- 反相放大器电压增益 $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$



## 半导体

本征半导体通过本征激发后才会出现自由电子，空穴可看成载流子，为半导体特有

- N型半导体：自由电子为多子，空穴为少子，杂质为施主杂质
- P型半导体：空穴为多子，自由电子为少子，杂质为受主杂质
- 漂移：载流子在电场作用下运动（少子漂移）
- 扩散：载流子因浓度差运动（多子扩散）

### PN结

由于扩散作用，界面P区存在负的束缚电荷，界面N区存在正的束缚电荷，形成

- 内电场：N区指向P区，漂移阻碍扩散
- 空间电荷区
- 耗尽区
- 势垒区：N极电位升高，电位差为 $V_0$

#### 正向电压与反向电压

$P(+)$  $N(-)$ 内电场降低，多子扩散增强，少子漂移减弱

$P(-)$  $N(+)$ 内电场升高，多子扩散减弱，少子漂移增强，但少子量很小，因此反向电流很小，但反向电压过大会导致PN结被击穿（可逆，热击穿不可逆）

## PN结的电容效应

正向电压产生扩散电容，反向电压产生势垒电容

## 二极管

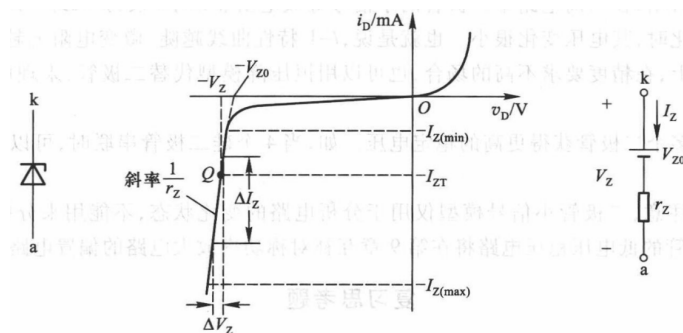
概念：门槛电压 $V_{th}$ （硅 $0.5V$ ，锗 $0.1V$ ），导通电压 $V_D$ （硅 $0.7V$ ，锗 $0.2V$ ），最大整流电流，反向恢复时间

模型：理想模型，恒压降模型（导通电压），折线模型（门槛电压电源+电阻）

应用：二极管钳位电路、开关电路

## 稳压管（并联稳压电路）

正常工作时处于反向击穿状态



## BJT

双极型三极管分为：NPN, PNP

三极管工作的前提条件  $\begin{cases} \text{外部条件：发射结正偏, 集电结反偏, 饱和对应都正偏, 截止对应都反偏} \\ \text{内部条件：三个结构条件(发射区掺杂浓度高, P型基区非常薄, 发射区浓度比基区高很多)} \end{cases}$

几个关系： $I_C = \beta I_B$   $I_C = \alpha I_E$   $\alpha \sim < 1$   $\beta \gg 1$

$I_{CBO}$ : 少子形成，集电结反向饱和电流

$I_{CEO}$ : 基极开路，穿透电流

共射极输入特性曲线： $i_B = f(v_{BE})|_{v_{CE}=\text{const.}}$

共射极输出特性曲线： $i_C = f(v_{CE})|_{i_B=\text{const.}}$

## 放大电路的分析

### • 图解法

1. 画直流通路图（电容为断路）
2. 列输入回路KVL（→与输入特性曲线求交点，在图上画出交流信号）
3. 列输出回路KVL（→与输出特性曲线求交点，在图上画出交流信号）

### • 小信号模型分析法

1. 判断管子类型：PNP/NPN
2. 画直流通路图（电容为断路）分析静态工作点Q，证明工作在放大区

$$\begin{cases} I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BEQ}}{R_b} \\ I_{CQ} = \beta I_{BQ} \\ V_{CEQ} = V_{CC} - I_{BQ} R_C \end{cases}$$

3. 画交流通路（电容为通路，如遇NPN把箭头换一下即可）并判断组态（共基级、共集电极、共射极）。在b与e间画 $r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{V_T}{I_{EQ}}$ ，( $r_{bb'}$ 一般为200， $V_T$ 一般为26mv)，c与e间画放大倍数为 $\beta$ 的受控电流源， $r_{ce}$ 并联在受控电流源之间

4. 求  $A_v = \frac{v_o}{v_i}$ ,  $R_i$  加测试电源, 电流源断路, 电压源短路,  $R_o$  把负载电阻换为测试电源, 电流源断路, 电压源短路

路  $\begin{cases} \text{共射极和共基极的 } R_o = R_c // R'_o (R'_o = r_{ce}(1 + \frac{\beta R_e}{r_{be} + R'_{si} + R_e}) \text{ 由输入回路和输出回路的 KVL 得到}) \\ \text{共集电极 } R_o = R_e // \frac{r_{be} + R'_{si}}{1 + \beta} \end{cases}$

	共射极电路	共集电极电路	共基极电路
电路图			
电压增益 $A_v$	$A_v = -\frac{\beta R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R_e}$ ( $R'_L = R_c // R_L$ )	$A_v = \frac{(1 + \beta) R'_L}{r_{be} + (1 + \beta) R'_L}$ ( $R'_L = R_e // R_L$ )	$A_v = \frac{\beta R'_L}{r_{be}}$ ( $R'_L = R_c // R_L$ )
$v_o$ 与 $v_i$ 的相位关系	反相	同相	同相
最大电流增益 $A_i$	$A_i \approx \beta$	$A_i \approx 1 + \beta$	$A_i \approx \alpha$
输入电阻	$R_i = R_{b1} // R_{b2} // [r_{be} + (1 + \beta) R_e]$	$R_i = R_b // [r_{be} + (1 + \beta) R'_L]$	$R_i = R_e // \frac{r_{be}}{1 + \beta}$
输出电阻	$R_o \approx R_c$	$R_o = \frac{r_{be} + R'_{si}}{1 + \beta} // R_e$ ( $R'_{si} = R_{si} // R_b$ )	$R_o \approx R_e$

## 频率响应

高通电路  $L$  表示中频与低频交界,  $f_L = \frac{1}{2\pi RC}$ ; 低通电路  $H$  表示中频与高频交界,  $f_H = \frac{1}{2\pi RC}$  ( $R$  均为总电阻), 则电压增益随频率变化有如下关系:

$$\dot{A}_{vL} = \frac{1}{1 - j(f_L/f)} \quad \varphi_L = \arctan(f_L/f)$$

$$\dot{A}_{vH} = \frac{1}{1 + j(f/f_H)} \quad \varphi_H = -\arctan(f/f_H)$$

电压增益 (用分贝表示) 为  $20 \lg |\dot{A}_v|$

## 组合放大

$BJT$  管子串联, 前一级的输出为下一级的输入, 后一级的输入电阻为前一级的负载, 增益相乘, 输入电阻为第一级输入电阻, 输出电阻为最后一级输出电阻

画出小信号模型是重点, 考题会出

同类型管子串联:  $r_{be} = r_{be1} + (1 + \beta_1)r_{be2}$ ; 不同类型管子:  $r_{be} = r$

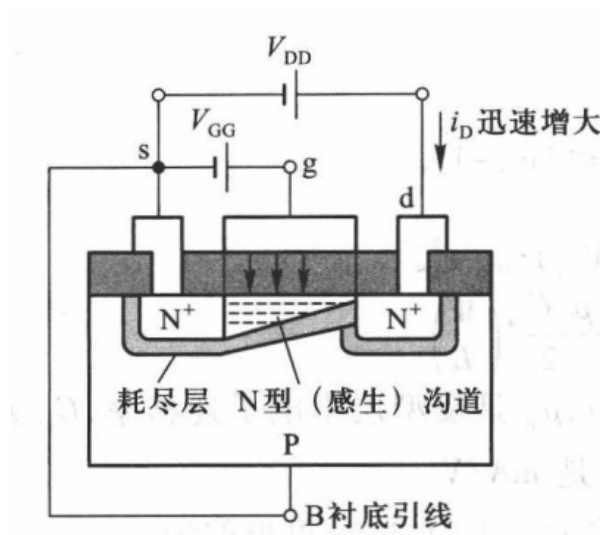
多级放大电路的频带比它任何一级都窄

## FET

又称场效应管, 特点: 利用电场控制电流, 且只有一种载流子

$P97$  输出特性曲线:  $i_D = f(v_{DS}) \Big|_{v_{GS}=\text{const.}}$  转移特性曲线:  $i_D = f(v_{GS}) \Big|_{v_{DS}=\text{const.}}$

- $MOSFET$



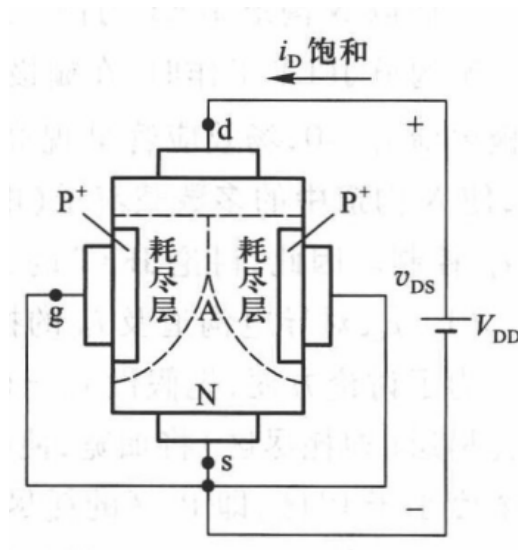
增强型

{	N沟道	当 $v_{GS} \geq V_{TN}$ 时形成反型层(N型感生沟道)
		当 $V_{TN} < v_{GS} < V_{TN} + v_{DS}$ 时为可变电阻区
		当 $v_{GS} - v_{DS} = V_{TN}$ 时出现夹断点
		当 $v_{GS} - v_{DS} = V_{TN}$ 时为饱和区(放大区或恒流区)
		沟道呈楔形(电位高的更厚)且长度远大于夹断区
		P沟道: 当 $v_{GS} \geq V_{TP}$ 时形成反型层(P型感生沟道).....

耗尽型(既工作在  $v_{GS} > 0$ , 也工作在  $v_{GS} < 0$ )

{	N沟道: 二氧化硅内掺杂正离子, $v_{GS} = 0$ 也存在导电沟道, $V_{TN} < 0$
	P沟道: $V_{TP} > 0$ , 特性曲线即将N沟道特性曲线倒着看

## • JFET



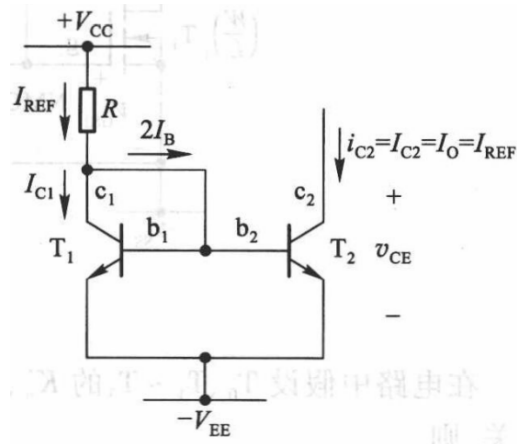
1. N沟道: 预夹断临界点  $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = V_P, V_P < 0$
2. P沟道: 预夹断临界点  $v_{GD} = v_{GS} - v_{DS} = V_P, V_P > 0$

## BJT电流源电路

背靠背, 直流电阻小, 交流电阻很大

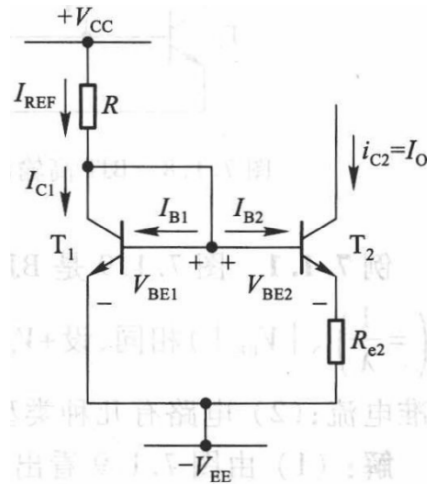
1. 镜像电流源





$$I_0 = \frac{V_{cc} - V_{BE} - (-V_{EE})}{R}, I_B \text{ 很小, } \beta \text{ 很大, 动态电阻很大}$$

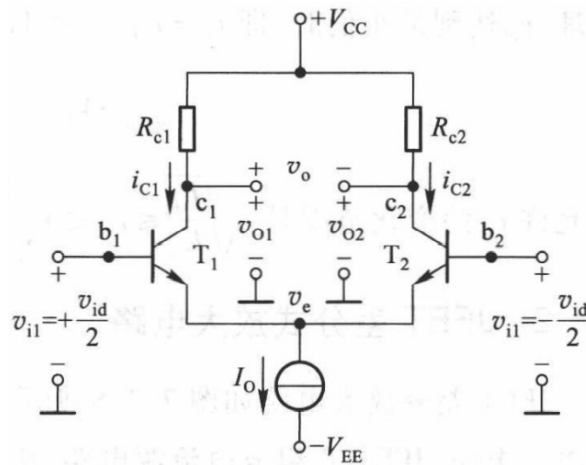
2. 微电流源



当基准电流  $I_{REF}$  确定时,  $I_{C2}$  可由  $R_{e2} I_O = V_T \ln(\frac{I_{REF}}{I_O})$  确定

## BJT 差分放大电路

脚碰脚



静态分析

$$v_{i1} = v_{i2} = 0, I_{C1Q} = I_{C2Q} = I_{CQ} = I_O/2, V_{C1Q} = V_{C2Q} = V_{CQ} = V_{CC} - I_{CQ}R_c, V_{EQ} = 0 - V_{BEQ} = -V_{BEQ}$$

$$\text{差模电压增益 } A_{vd} = \begin{cases} \text{单/双入单出 } A_{vd1} = -\frac{\beta R'_L}{2r_{be}} \\ \text{单/双入双出 } -\frac{2\beta R'_L}{2r_{be}} \end{cases}$$

$$\text{共模电压增益 } A_{vc} = \begin{cases} \text{单/双入单出 } A_{vc1} = \frac{-\beta R'_L}{r_{be} + (1+\beta)(2r_o)} \\ \text{单/双入双出 } 0 \end{cases}$$

$$\text{共模抑制比 } K_{CMR} = \begin{cases} \text{单出} \left| \frac{A_{vd}}{A_{vc}} \right| \\ \text{双出} \infty \end{cases}$$

$$\text{输入电阻 } R_i = \begin{cases} \text{差模 } R_{id} = 2r_{be} \\ \text{共模 } R_{ic} = \frac{1}{2}[r_{be} + (1 + \beta)(2r_o)] \end{cases}$$

$$\text{输出电阻 } R_o = \begin{cases} \text{单出 } R_c \\ \text{双出 } 2R_c \end{cases}$$

## 反馈

是指将电路输出电量的一部分或全部通过反馈网络，用一定的方式送回到输入回路，以影响输入、输出电量的过程。

- 正反馈：净输入量减小
- 负反馈：净输入量增大

## 反馈判断方法

瞬时极性法：设初始极性为正，输入为小量，输出为大量

绝大多数路径保持极性不变，极性反向的两种情况：运放反向输入端→输出端；BJT的基极→集电极

## 串联反馈与并联反馈

- 串联反馈：基本放大电路和反馈网络串联（信号实现电压比较，要求信号源内阻越小越好）
- 并联反馈：基本放大电路和反馈网络并联（信号实现电流比较，要求信号源内阻越大越好），注意 $i_f$ 的方向

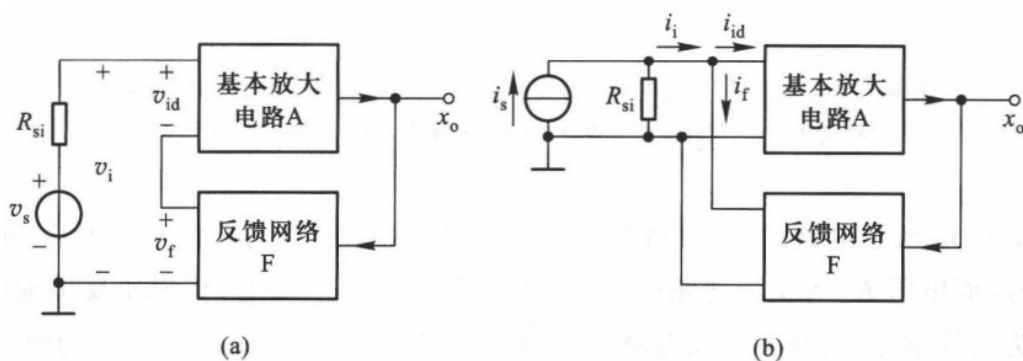


图 8.1.6 串联反馈与并联反馈

(a) 串联反馈 (b) 并联反馈

## 串并联判断方法

观察输入端，运放的输入和反馈网络的输出在不同端→串联；运放的输入和反馈网络的输出接在同一端→并联

## 电压反馈与电流反馈

- 电压反馈：反馈网络的输入端口并联于放大电路的输出端口  $x_f = Fv_o$
- 电流反馈：反馈网络的输入端口串联于放大电路的输出端口  $x_f = Fi_o$

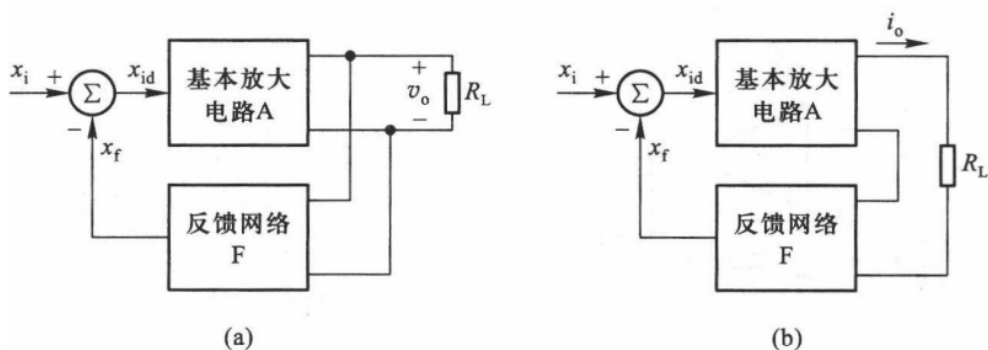


图 8.1.7 电压反馈与电流反馈

(a) 电压反馈 (b) 电流反馈

## 电压电流判断方法

先看串并联，判断反馈信号是什么，再将负载短接（或令  $v_o = 0$ ），若反馈信号消失→电压反馈，若反馈信号仍然存在→电流反馈

## 负反馈放大电路四种组态

$\left\{ \begin{array}{l} \text{电压串联} \\ \text{电压并联} \\ \text{电流串联} \\ \text{电流并联} \end{array} \right.$

## 负反馈增益的一般表达式

$$A_f = \frac{A}{1+AF} \text{ 定义 } 1+AF \text{ 为反馈深度}$$

当反馈深度远大于1时为深度负反馈：闭环增益只与反馈网络有关  $A_f = \frac{1}{F}$ ，虚短虚断成立

## 负反馈对输入输出电阻的影响

- 闭环输入电阻  $R_{if}$ （考虑串并联，设开环输入电阻为  $R_i$ ）
  - 串联电路：  $R_{if} = (1 + AF)R_i$
  - 并联电路：  $R_{if} = \frac{R_i}{(1+AF)}$
- 闭环输出电阻  $R_{of}$ （考虑电流电压，设开环输出电阻为  $R_o$ ）
  - 电压负反馈（共用稳定电压）：  $R_{of} = \frac{R_o}{(1+AF)}$
  - 电流负反馈（共用稳定电流）：  $R_{of} = (1 + AF)R_o$

注意：反馈对输出、输出电阻的影响仅限于环内，对环外不产生影响（环外有电阻时就要与之串/并联）

## 增益-带宽积

深度负反馈下放大电路的增益与带宽的乘积的绝对值称为增益-带宽积

$$\overbrace{A_f f_{Hf}}^{\text{闭环增益-带宽积}} = \frac{A}{1+AF} (1 + AF) f_H = \overbrace{A f_H}^{\text{开环增益-带宽积}}$$

要想提高带宽就要减小增益

## 注意

- $i, u$  说明大小及方向（与参考方向相同或相反）
- $P$  说明是提供功率还是吸收功率
- 电压源的电流由与其串联的电阻确定，电流源的电压由与其并联的电阻确定
- 可能考题：网孔分析和节点分析，运放+二极管，BJT，集成运放，反馈计算