

第三章 集成运算放大电路

第三章 集成运算放大电路

- 3.1 多级放大电路的一般问题
- 3.2 基础运算放大电路概述
- 3.3 集成运放中的单元电路
- 3.4 集成运放电路简介
- 3.5 集成运放的性能指标及
低频等效电路
- 3.6 集成运放种类及选择
- 3.7 集成运放的使用

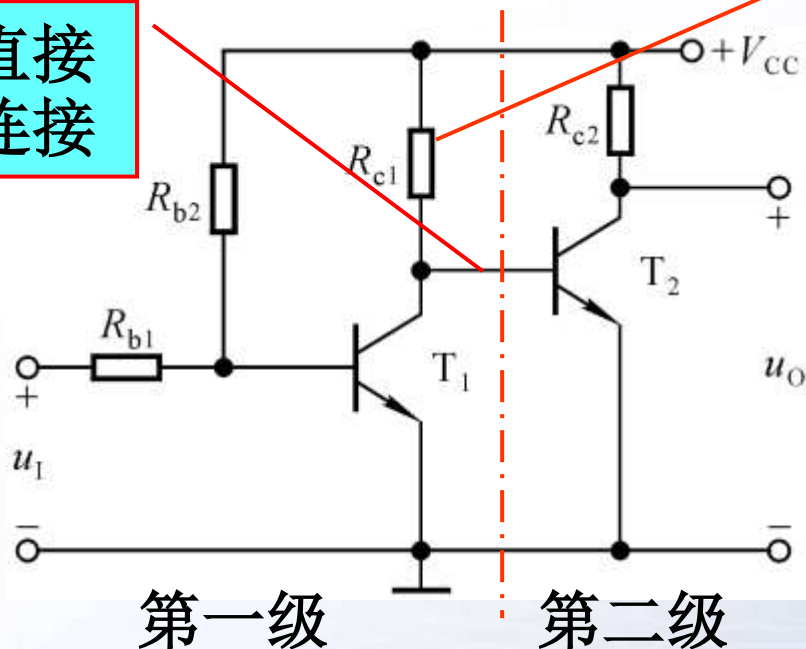
3.1 多级放大电路的一般问题

§ 3.1.1 多级放大电路的耦合方式

- 一、直接耦合
- 二、阻容耦合
- 三、变压器耦合

一、直接耦合

直接
连接



既是第一级的集电极电阻，
又是第二级的基极电阻

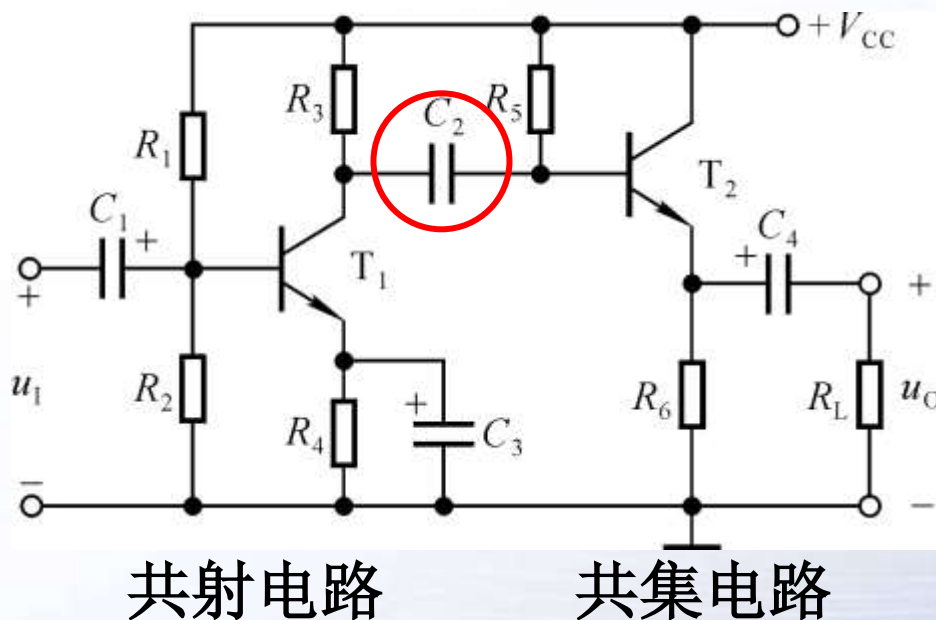
能够放大变化缓慢的信号，便于集成化， Q 点相互影响，存在零点漂移现象。

输入为零，输出产生变化的现象称为零点漂移

当输入信号为零时，前级由温度变化所引起的电流、电位的变化会逐级放大。

求解 Q 点时应按各回路列多元一次方程，然后解方程组。

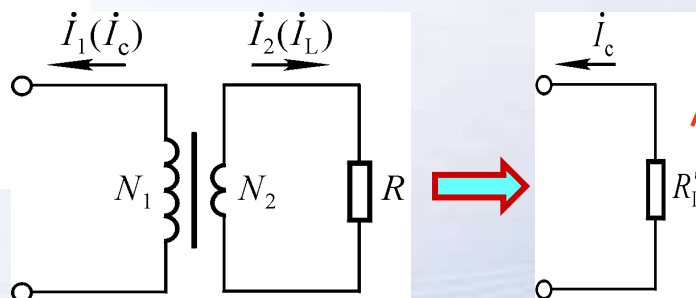
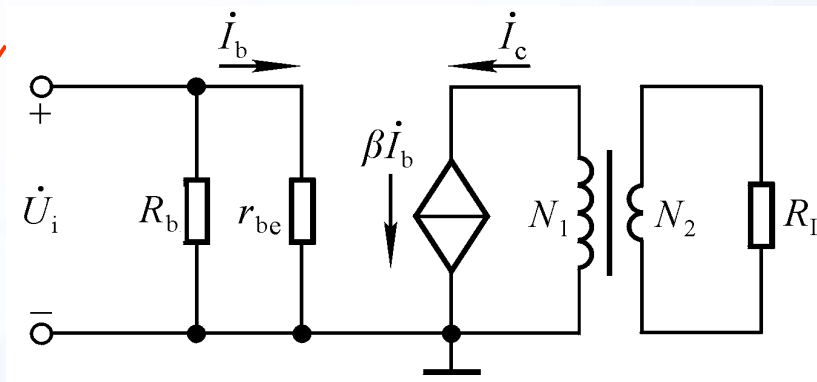
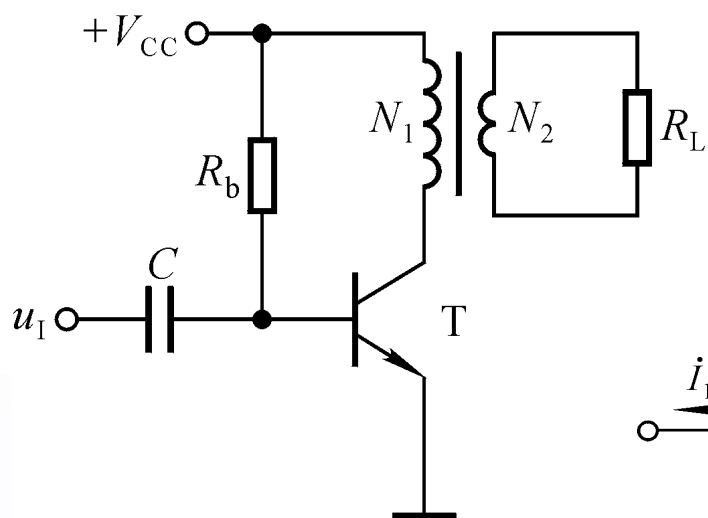
二、阻容耦合



利用电容连接信号源与放大电路、放大电路的前后级、放大电路与负载，为阻容耦合。

Q 点相互独立。不能放大变化缓慢的信号，低频特性差，不能集成化。

三、变压器耦合



从变压器原边看到的等效电阻

理想变压器情况下，负载上获得的功率等于原边消耗的功率。

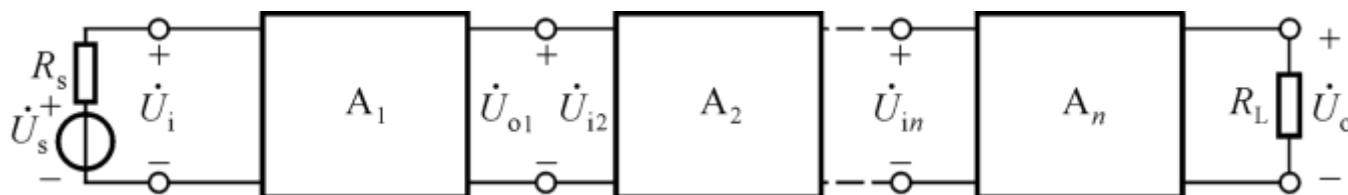
$$P_1 = P_2, \quad I_c^2 R'_L = I_l^2 R_L$$

$$R'_L = \frac{I_l^2}{I_c^2} \cdot R_L = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_L, \quad \text{实现了阻抗变换。}$$

§ 3.1.2 多级放大电路的动态分析

一、动态参数分析

1. 电压放大倍数



$$\dot{A}_u = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{U}_{o1}}{\dot{U}_i} \cdot \frac{\dot{U}_{o2}}{\dot{U}_{i2}} \cdots \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_{in}} = \prod_{j=1}^n \dot{A}_{uj}$$

2. 输入电阻

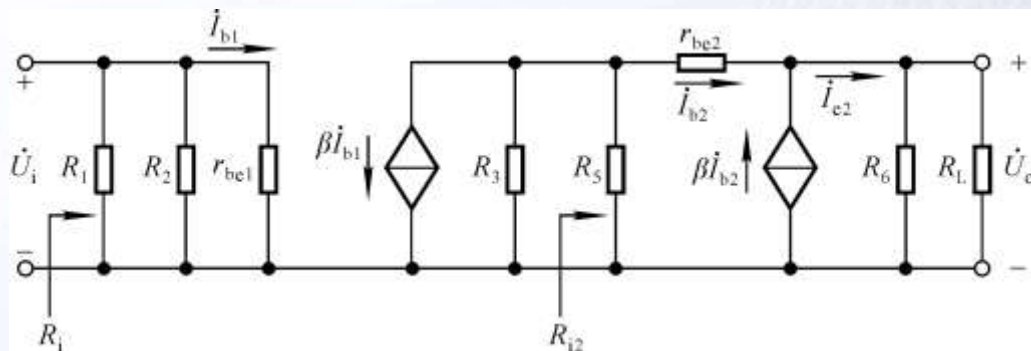
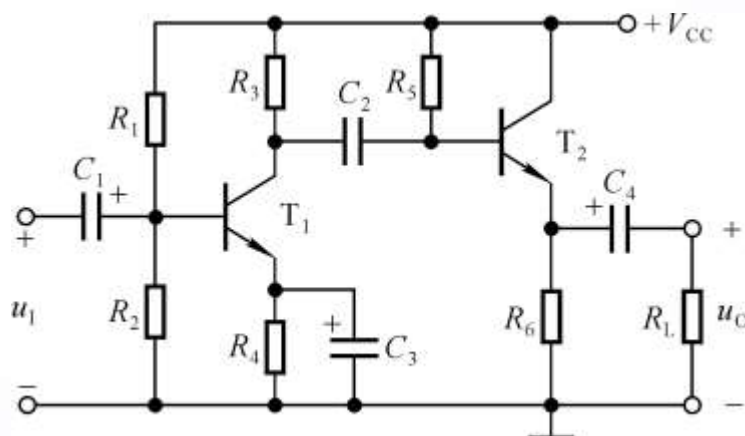
$$R_i = R_{i1}$$

3. 输出电阻

$$R_o = R_{on}$$

对电压放大电路的要求： R_i 大， R_o 小， A_u 的数值大，最大不失真输出电压大。

二、分析举例



$$\dot{A}_{u1} = -\frac{\beta (R_3 // R_{i2})}{r_{be1}}$$

$$\dot{A}_{u2} = \frac{(1 + \beta_2) (R_6 // R_L)}{r_{be2} + (1 + \beta_2) (R_6 // R_L)}$$

$$\dot{A}_u = \dot{A}_{u1} \cdot \dot{A}_{u2}$$

$$R_{i2} = R_5 // [r_{be2} + (1 + \beta_2) (R_6 // R_L)]$$

$$R_i = R_1 // R_2 // r_{be1}$$

$$R_o = R_6 // \frac{R_3 // R_5 + r_{be2}}{1 + \beta}$$

3.2 集成运算放大电路概述

集成电路简称 IC (Integrated Circuit)

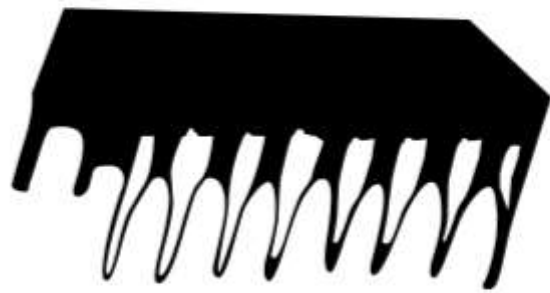
集成电路按其功能分

数字集成电路
模拟集成电路

模拟集成电路类型

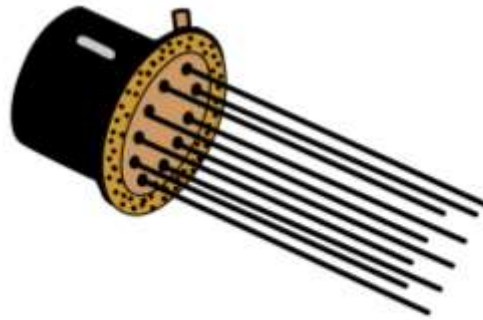
集成运算放大器；集成功率放大器；
集成高频放大器；集成中频放大器；
集成比较器；集成乘法器；集成稳压器；
集成数/模或模/数转换器等。

集成电路的外形



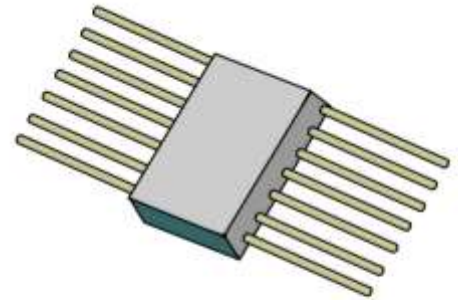
(a)

(a) 双列直插式



(b)

(b) 圆壳式



(c)

(c) 扁平式

集成电路的外形

3.2.1 集成运放的电路结构特点

一. 对称性好，适用于构成差分放大电路。

二. 集成电路中电阻，其阻值范围一般在几十欧到几十千欧之间，如需高阻值电阻时，要在电路上另想办法。

三. 在芯片上制作三极管比较方便，常常用三极管代替电阻(特别是大电阻)。

四. 在芯片上制作比较大的电容和电感非常困难，电路通常采用直接耦合电路方式。

五. 集成电路中的 NPN、PNP管的 β 值差别较大，通常 PNP 的 $\beta \leq 10$ 。常采用复合管的形式。

3.2.2 集成运放电路的组成及其各部分的作用

实质上是一个具有高放大倍数的多级直接耦合放大电路。

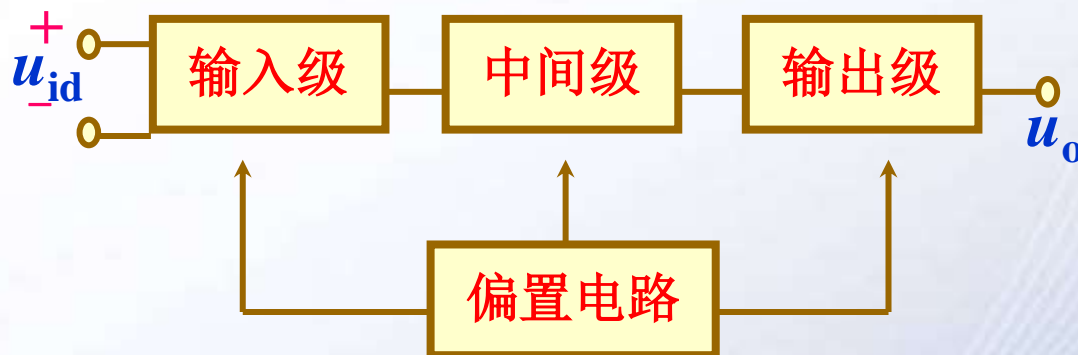


图 3.2.1 集成运算的基本组成

- 一、输入级 差分电路，大大减少温漂。
- 二、中间级 采用有源负载的共发射极电路，增益大。
- 三、输出级 互补对称 电路，带负载能力强
- 四、偏置电路 电流源电路，为各级提供合适的静态工作点。

3.2.3 集成运放的电压传输特性

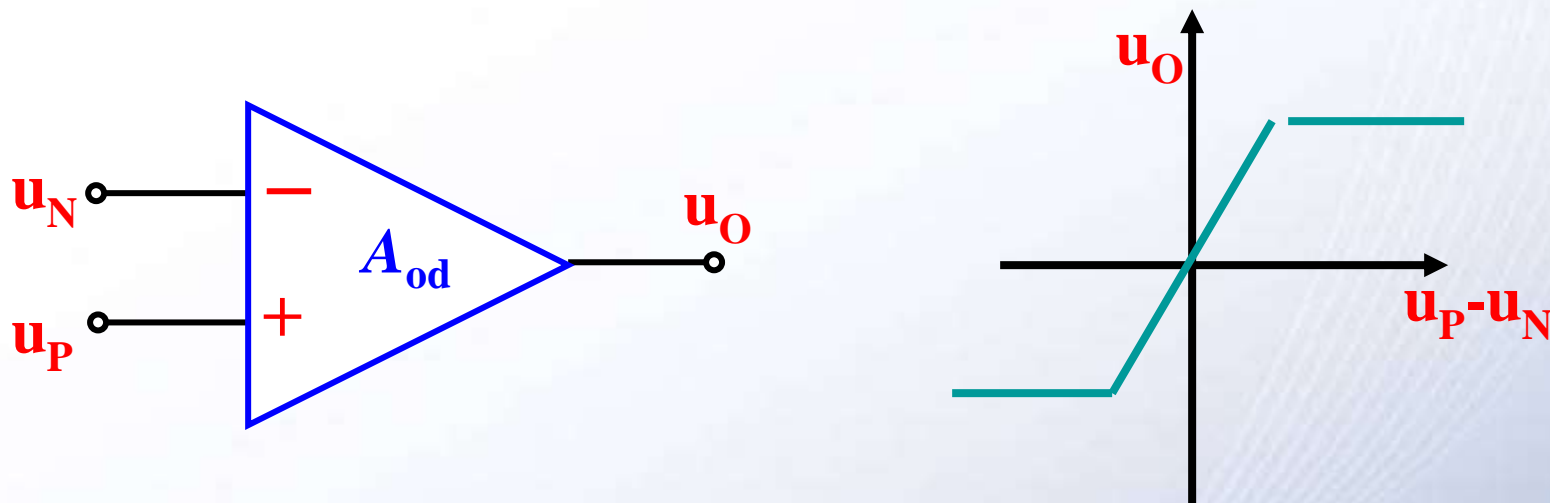


图 3.2.2 集成运放的符号和电压传输特性

集成运放的两个输入端分别为同相输入端 u_P 和反相输入端 u_N 。

电压传输特性

$$u_O = f(u_P - u_N)$$

集成运放的工作区域

线性区域:

输出电压与其两个输入端的电压之间存在线性放大关系，即

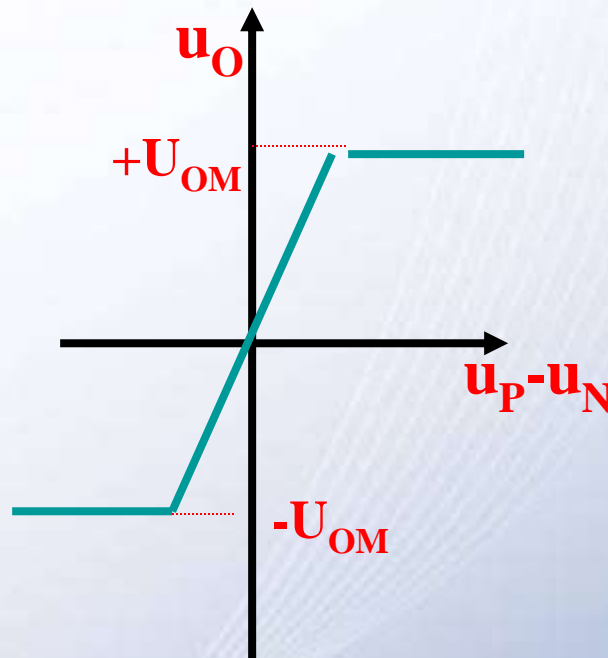
$$u_o = A_{od}(u_p - u_n)$$

A_{od} 为差模开环放大倍数

非线性区域:

输出电压只有两种可能的情况: $+U_{OM}$ 或 $-U_{OM}$

U_{OM} 为输出电压的饱和电压。



3.3 集成运放中的单元电路

3.3.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象

一、零点漂移现象及其产生的原因

直接耦合时，输入电压为零，但输出电压离开零点，并缓慢地发生不规则变化的现象。

原因：放大器件的参数受温度影响而使 Q 点不稳定。也称**温度漂移**。

放大电路级数愈多，放大倍数愈高，零点漂移问题愈严重。

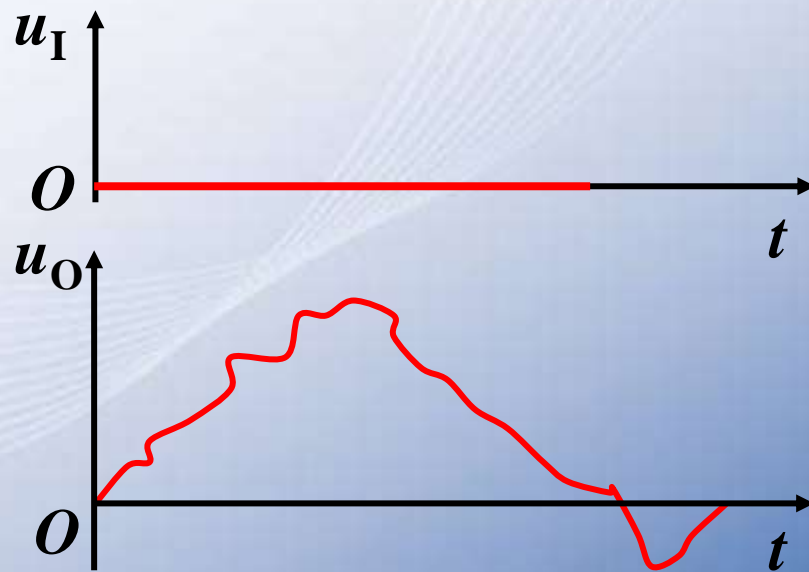
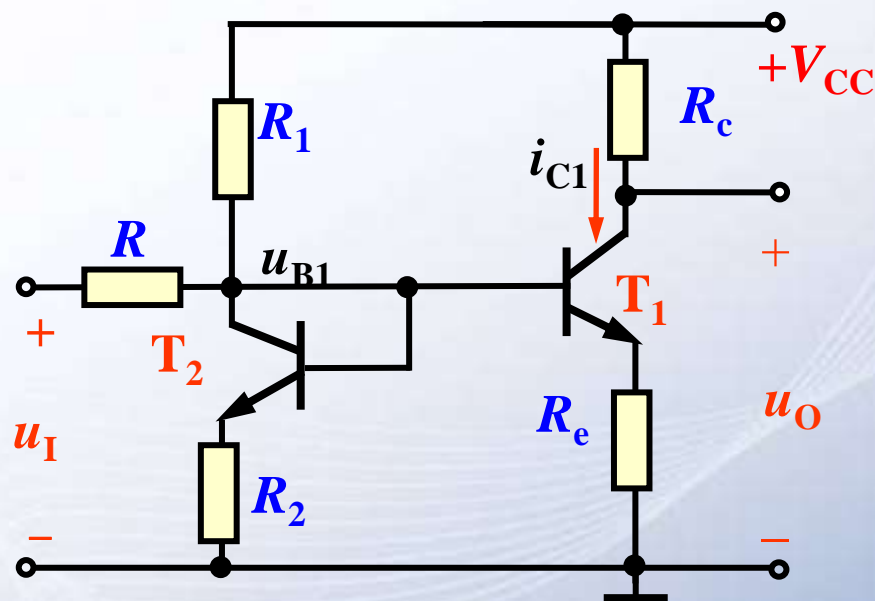


图 3.3.1 零点漂移现象

二、抑制温度漂移的方法：

- (1) 引入直流负反馈以稳定 Q 点；
- (2) 利用热敏元件补偿放大器的零漂；



- (3) 采用差分放大电路。

3.3.2 差分放大电路

差分放大电路是构成多级直接耦合放大电路的基本单元电路

一、电路的组成

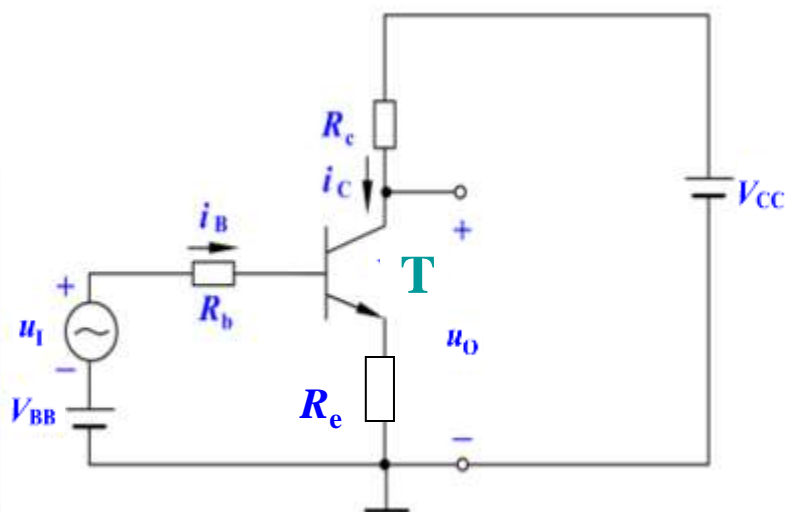


图 3.3.2 差分放大电路的组成(a)

利用射极电阻稳定Q点
但仍存在零点漂移问题

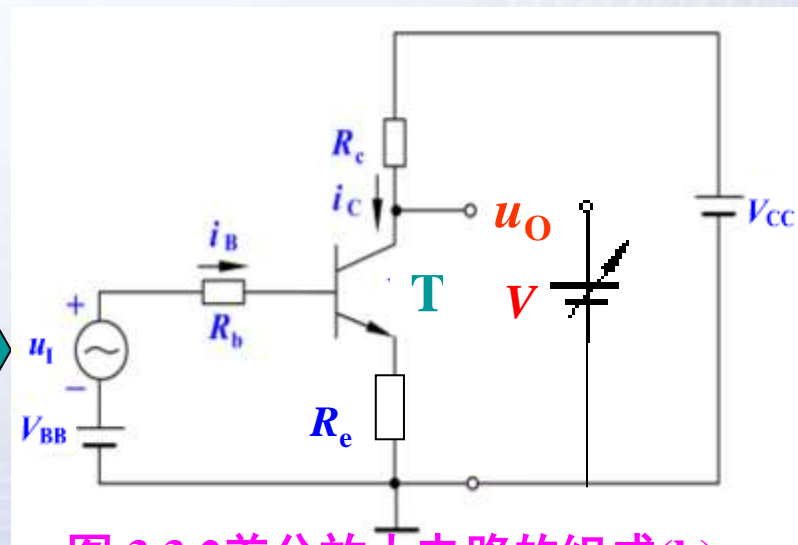
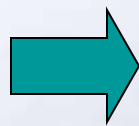


图 3.3.2 差分放大电路的组成(b)

T的 U_{CQ} 变化时，直流电源V始终与之保持一致。

采用与图（a）所示电路参数完全相同，管子特性也相同的电路

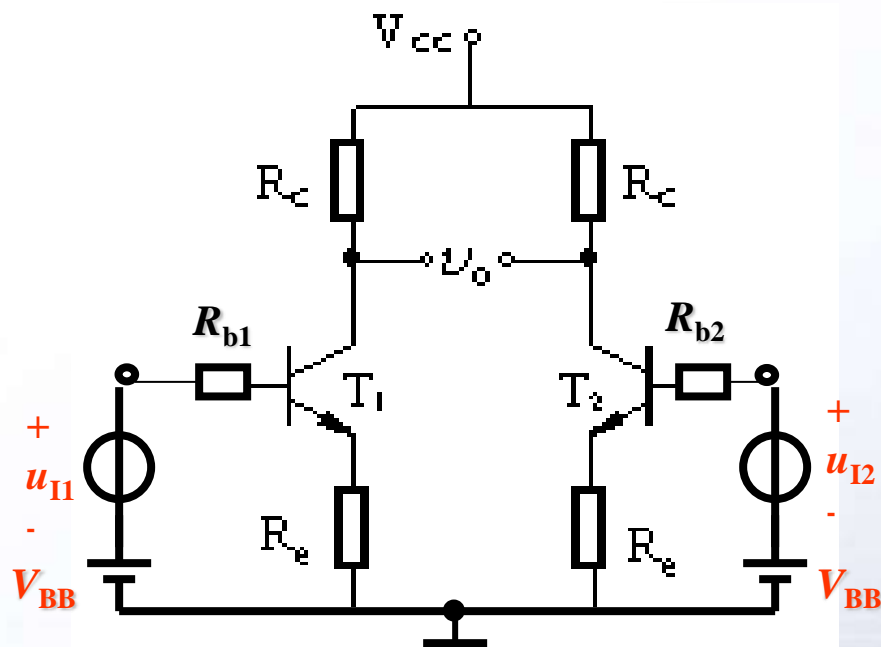


图 3.3.2 差分放大电路的组成(c)

电路以两只管子集电极电位差为输出，可克服温度漂移。

共模信号

输入信号 u_{I1} 和 u_{I2} 大小相等，极性相同。

差模信号

输入信号 u_{I1} 和 u_{I2} 大小相等，极性相反。

差分放大电路也称为
差动放大电路

差分放大电路的改进图

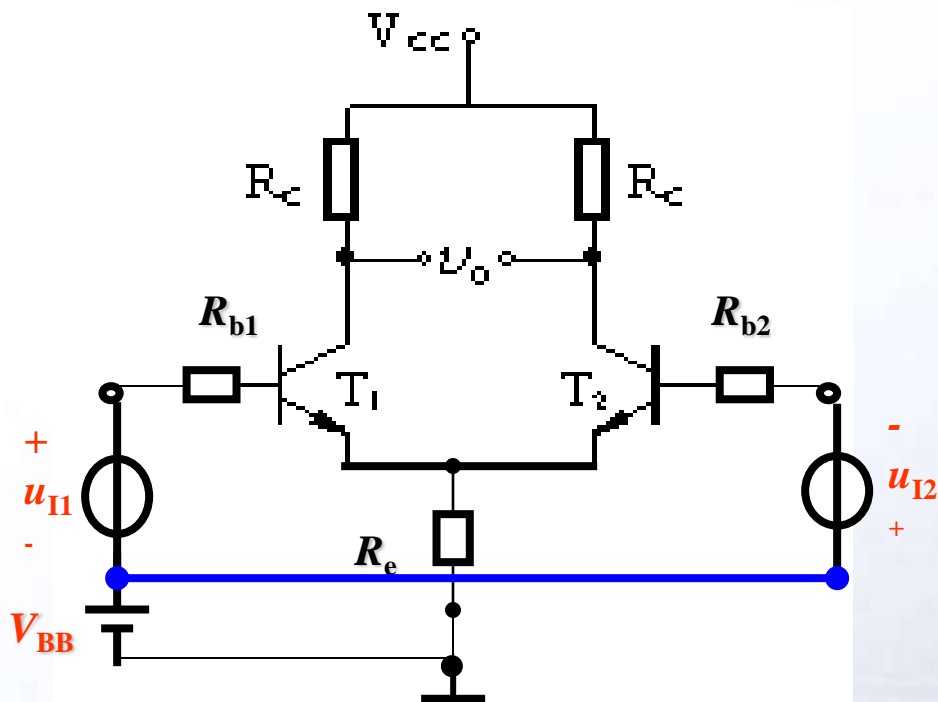


图 3.3.2 差分放大电路的组成(d)

将发射极电阻合二为一、
对差模信号 R_e 相当于短路。

典型差分放大电路

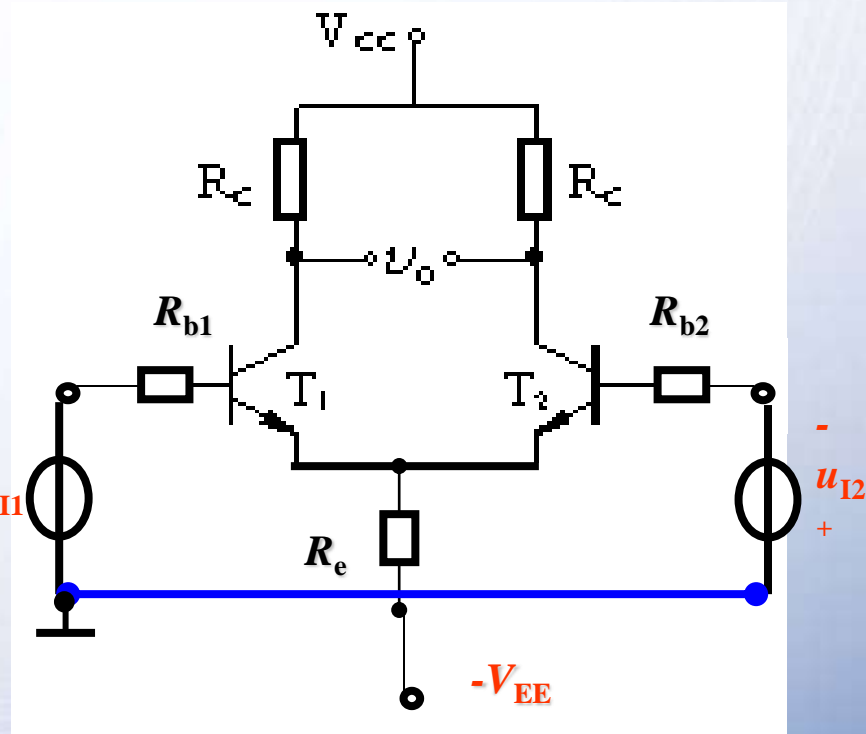
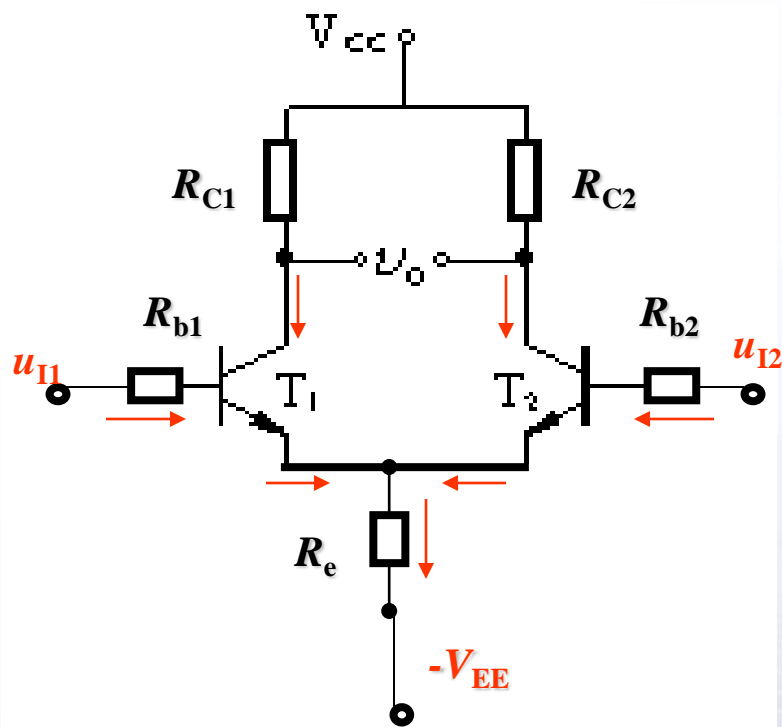


图 3.3.2 差分放大电路的组成(e)

长尾式差分放大电路

便于调节静态工作点，电
源和信号源能共地

二、长尾式差分放大电路



1. 静态分析

$$I_{E1} = I_{E2}$$

$$I_{B1} = I_{B2}$$

$$U_{CE1} = U_{CE2}$$

$$U_o = 0;$$

图 3.3.3 长尾式差分放大电路

2.对共模信号的抑制作用

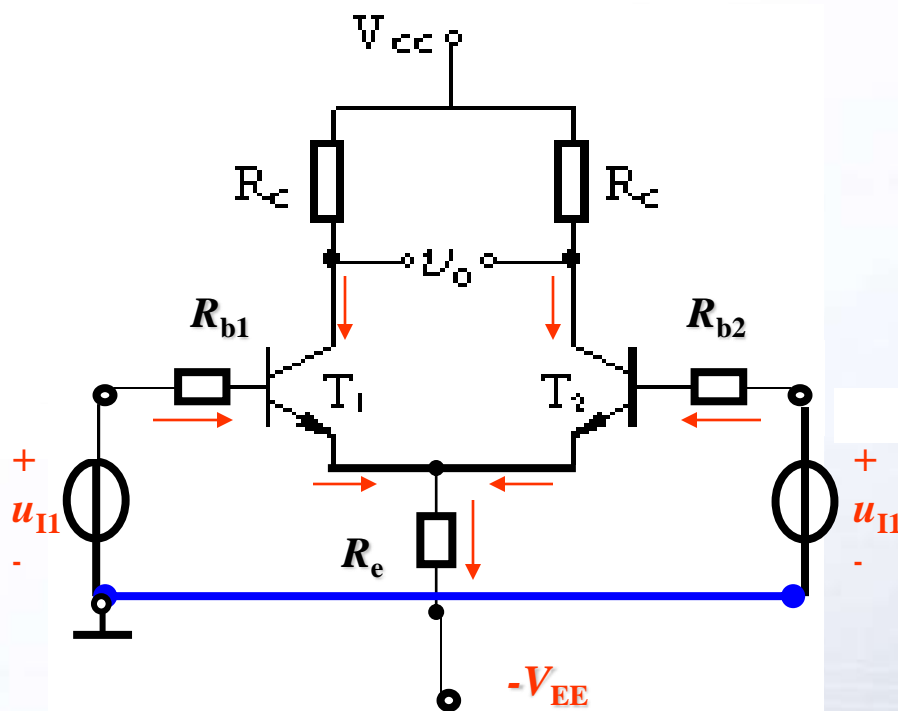


图 3.3.4 差分放大电路输入共模信号

共模信号的输入使两管集电极电压有相同的变化。

$$\text{所以 } u_{oc} = u_{oc1} - u_{oc2} \approx 0$$

$$\text{共模增益 } A_C = \frac{\Delta u_{oc}}{\Delta u_{ic}}$$

电路参数的理想对称性，温度变化时管子的电流变化完全相同，故可以将温度漂移等效成

共模信号，差分放大电路对共模信号有很强的抑制作用。

射极电阻 R_e 对共模信号的负反馈作用，抑制了每只晶体管集电极电流的变化，从而抑制集电极的电位的变化。

3.对差模信号的放大作用

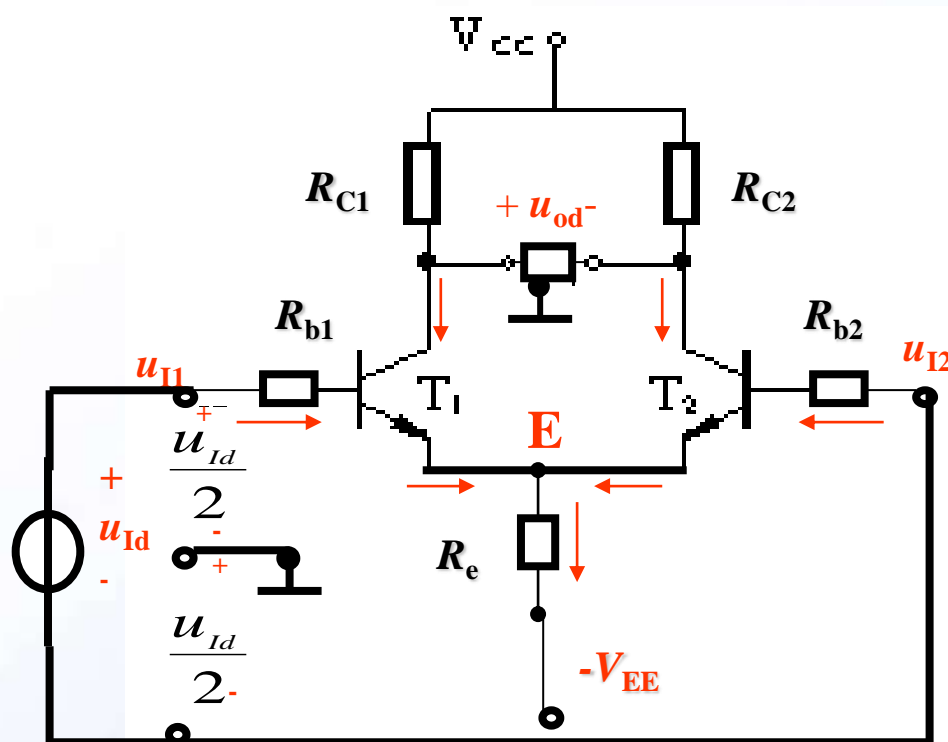


图3.3.5差分放大电路加差模信号 (a)

共模抑制比 $K_{CMR} = \left| \frac{A_D}{A_C} \right| \quad K_{CMR} = 20 \lg \left| \frac{A_D}{A_C} \right| \text{ dB}$

双端输出，理想情况

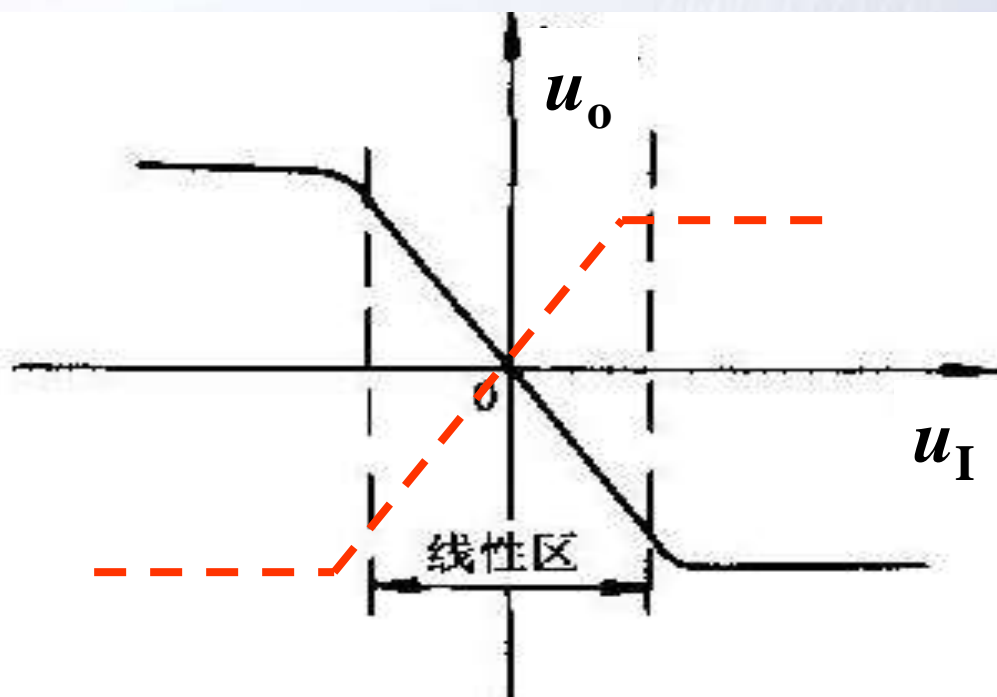
$$K_{CMR} = \infty$$

4. 电压传输特性

放大电路的输出电压和输入电压之间的关系曲线。

$$u_o = f(u_I)$$

如改变 u_I 的极性，可得另一条图中虚线所示的曲线，它与实线完全对称。



三、差分放大电路的四种接法

基于不同的应用场合，有双、单端输入和双、单端输出的情况。

所谓“单端”指一端接地。

〈A〉 双入、双出

〈B〉 双入、单出

〈C〉 单入、双出

〈D〉 单入、单出

1. 双端输入单端输出电路

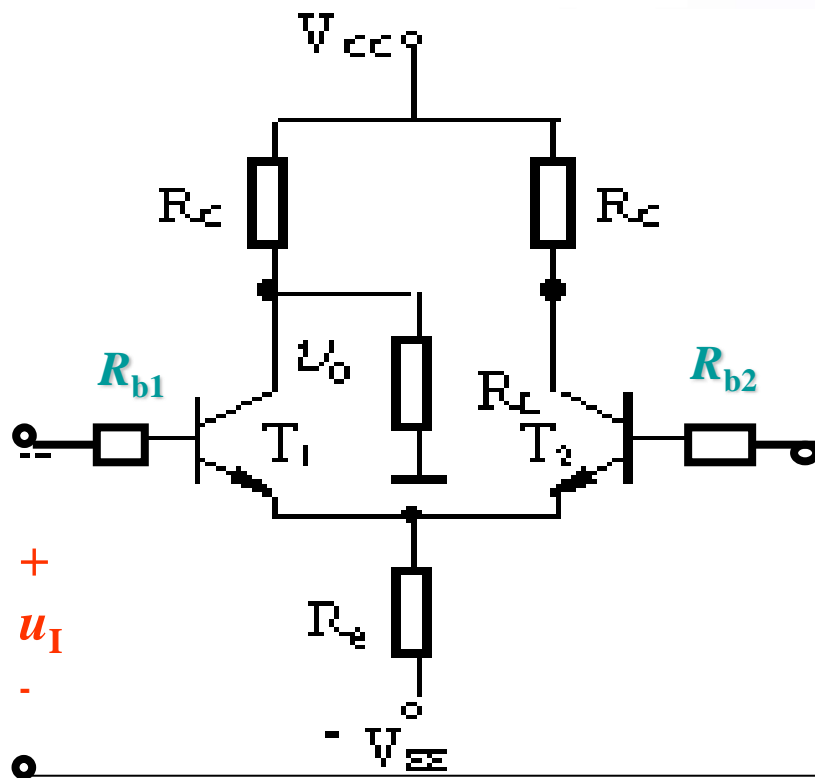


图3.3.7双端输入单端输出
差分放大电路

2. 单端输入、双端输出

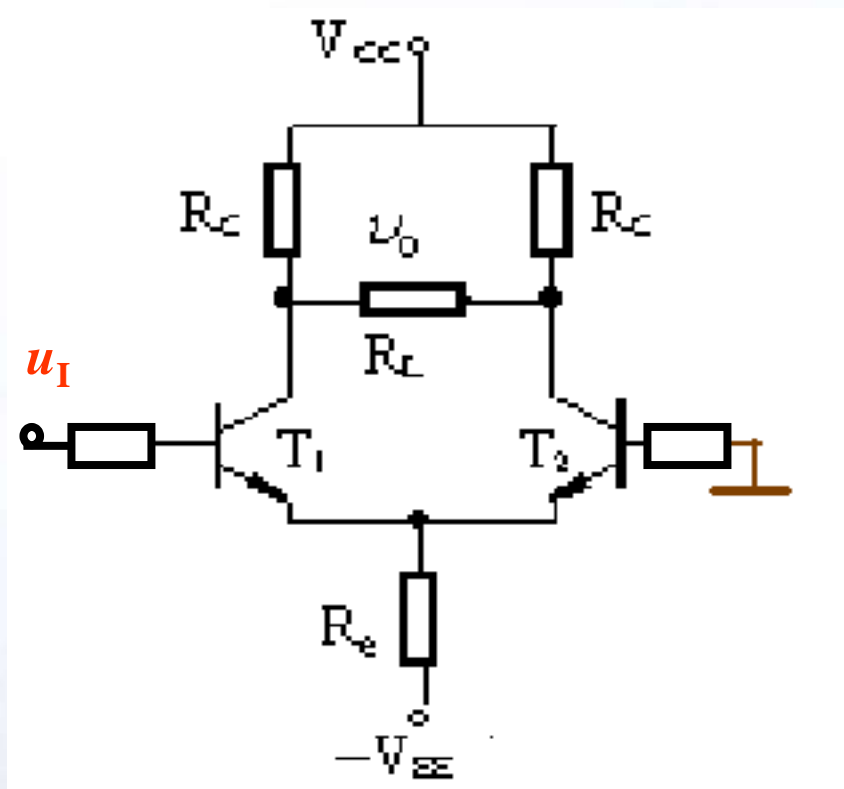


图3.3.11单端输入、双端输出电路a

3. 单端输入、单端输出

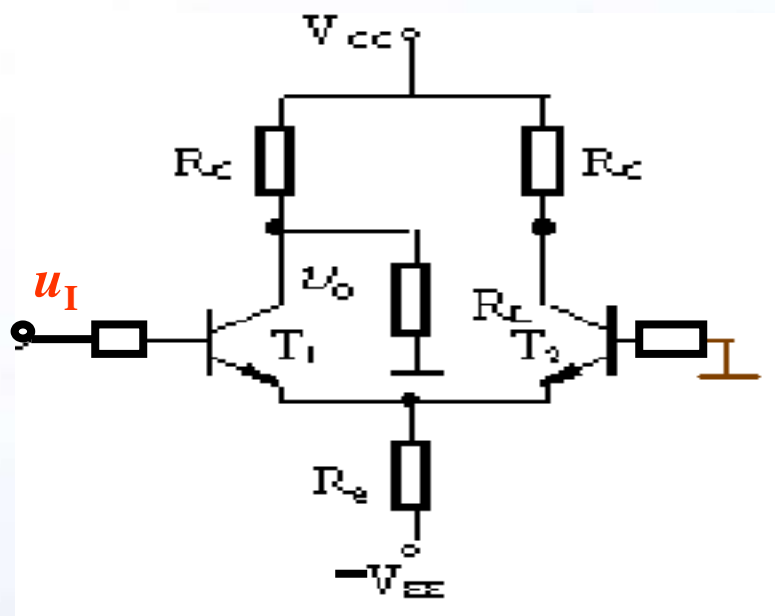


图3.3.12 单端输入单端输出电路

四、改进型差分放大电路

用三极管代替“长尾式”电路的长尾电阻，即构成
恒流源式差分放大电路

1. 电路组成

T_3 : 恒流管

作用:

能使 i_{C1} 、 i_{C2} 基本上不随温度的变化而变化，从而抑制共模信号的变化。

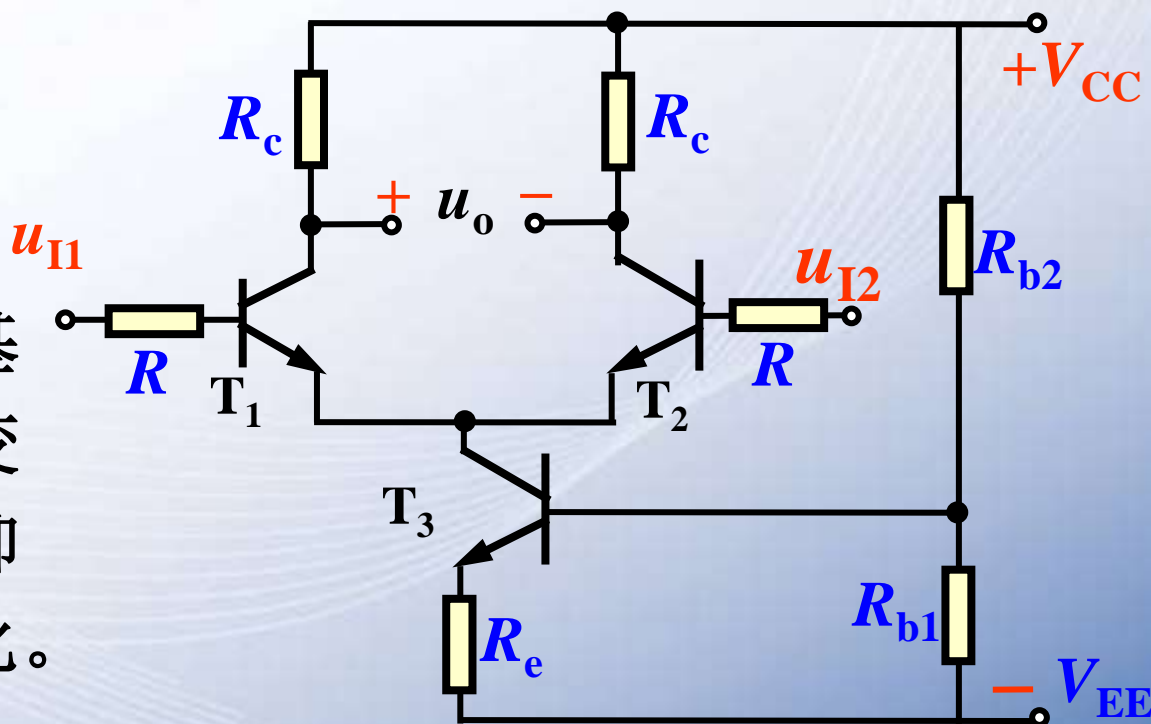


图 3.3.13 具有恒流源的差分放大电路

2. 静态分析

当忽略 T_3 的基极电流时, R_{b1} 上的电压为

$$U_{R_{b1}} = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} (V_{CC} + V_{EE})$$

$$I_{CQ3} \approx I_{EQ3} = \frac{U_{R_{b1}} - U_{BEQ3}}{R_e}$$

于是得到

$$I_{CQ1} = I_{CQ2} \approx \frac{1}{2} I_{CQ3}$$

$$U_{CQ1} = U_{CQ2} = V_{CC} - I_{CQ1} R_c$$

$$I_{BQ1} = I_{BQ2} \approx \frac{I_{CQ1}}{\beta_1}$$

$$U_{BQ1} = U_{BQ2} = -I_{BQ1} R$$

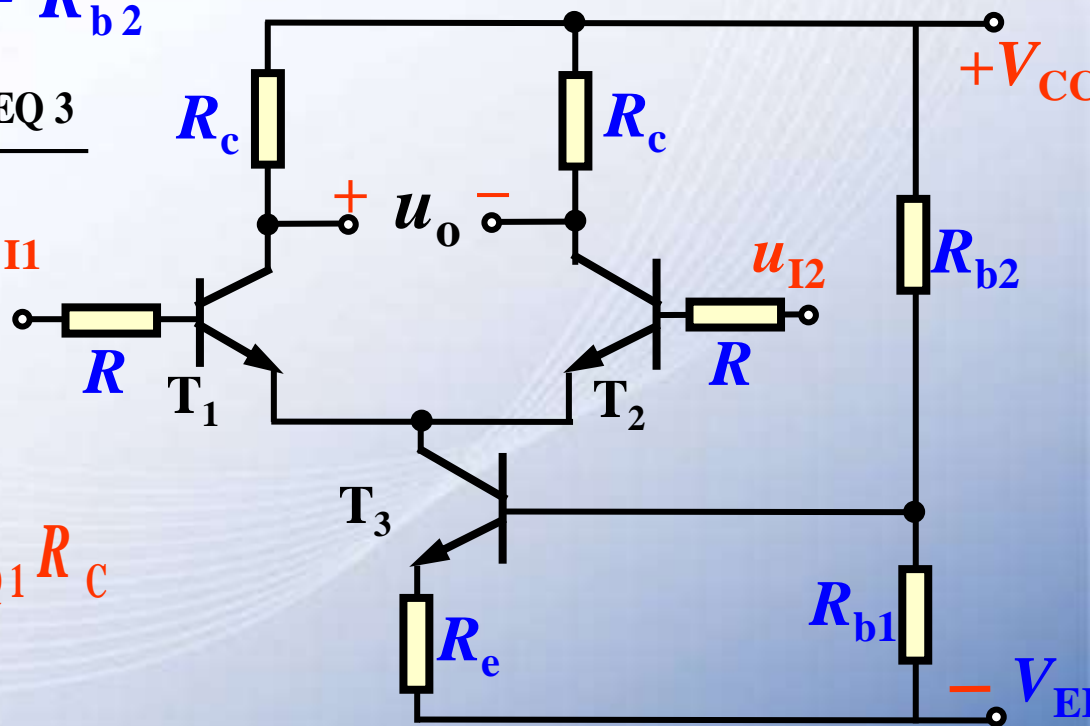
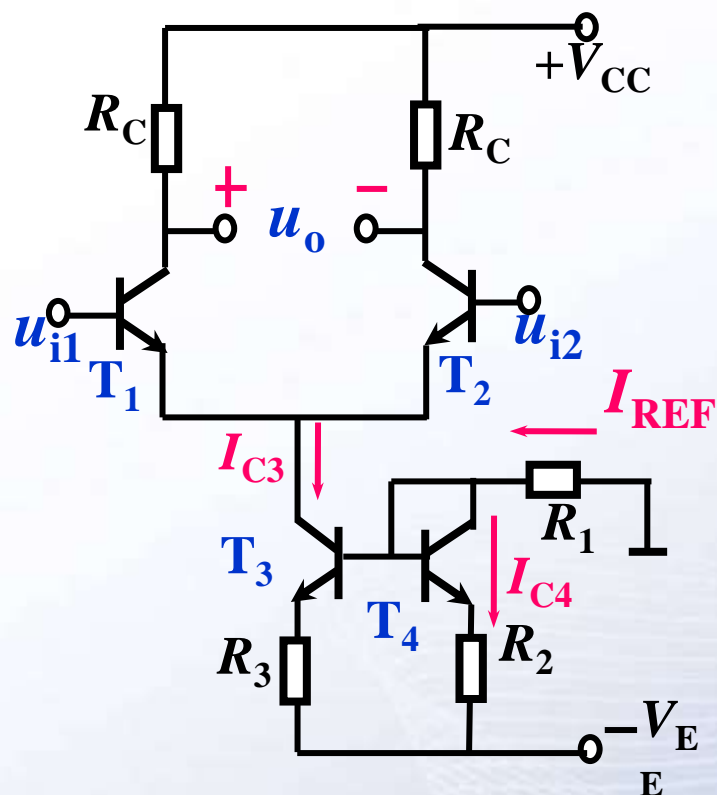
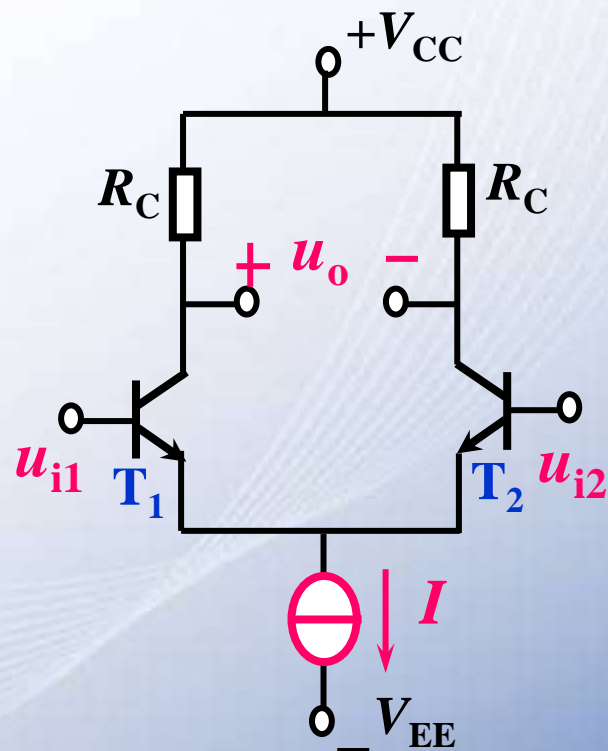


图 3.3.13 具有恒流源的差分放大电路

具有电流源的差分放大电路



简化
画法



带调节电位器 R_w 的恒流源电路的简化画法

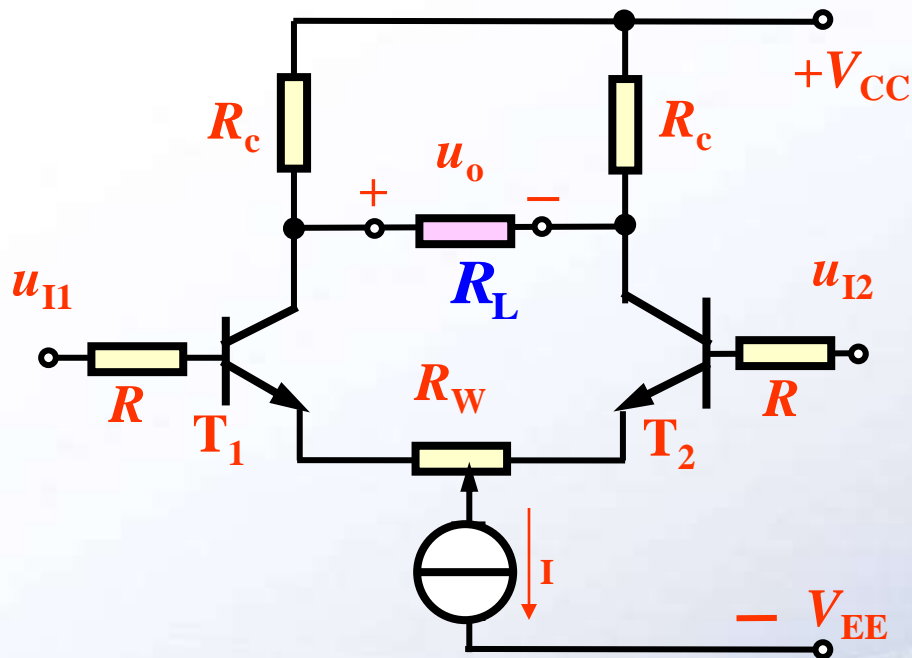


图3.3.14 恒流源电路的简化画法及电路调零措施

调节电位器 R_w 的滑动端位置可使电路在 $u_{I1}=u_{I2}=0$ 时， $u_o=0$ 。

3.3.3 集成运放中的电流源电路

集成运放电路中的晶体管和场效应管除了作为放大管外，还构成**电流源电路**，**为各级提供合适的静态电流**；

或作为**有源负载**取代高阻值电阻，从而增大放大电路的电压放大倍数。

一 基本电流源电路

1、镜像电流源 (电流镜 Current Mirror)

基准电流

$$I_{\text{REF}} = \frac{V_{\text{CC}} - U_{\text{BE1}}}{R}$$

由于 $U_{\text{BE1}} = U_{\text{BE2}}$, T_1 与 T_2 参数基本相同, 则

$$I_{\text{B1}} = I_{\text{B2}} = I_{\text{B}}; I_{\text{C1}} = I_{\text{C2}} = I_{\text{C}}$$

$$I_{\text{C2}} = I_{\text{C1}} = I_{\text{REF}} - 2I_{\text{B}} = I_{\text{REF}} - 2 \frac{I_{\text{C2}}}{\beta}$$

所以
$$I_{\text{C2}} = I_{\text{REF}} \frac{1}{1 + \frac{2}{\beta}}$$

当满足 $\beta \gg 2$ 时, 则

$$I_{\text{C2}} = I_{\text{REF}} = \frac{V_{\text{CC}} - U_{\text{BE1}}}{R}$$

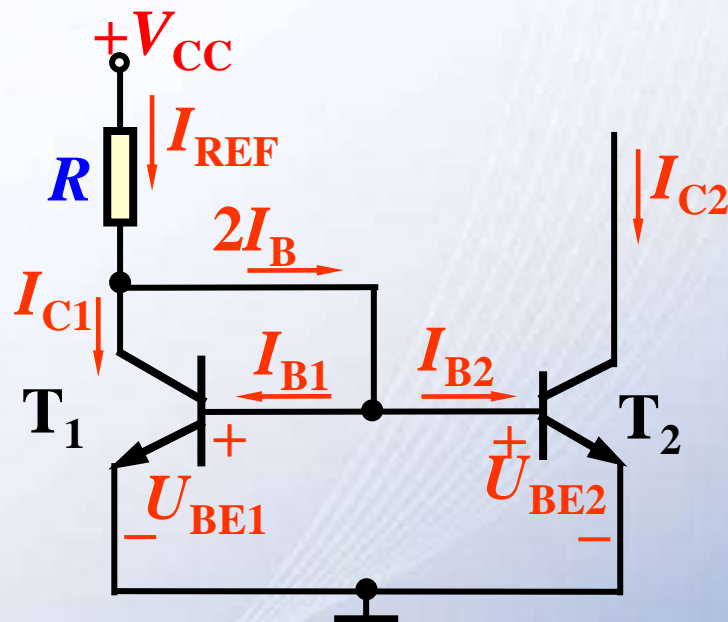


图 3.3.16

2、比例电流源

由图可得

$$U_{BE1} + I_{E1}R_1 = U_{BE2} + I_{E2}R_2$$

由于 $U_{BE1} \approx U_{BE2}$ ，则

$$I_{E1}R_1 \approx I_{E2}R_2$$

忽略基极电流，可得

$$I_{C2} \approx \frac{R_1}{R_2} I_{C1} \approx \frac{R_1}{R_2} I_{REF}$$

两个三极管的集电极电流之比近似与发射极电阻的阻值成反比，故称为比例电流源。

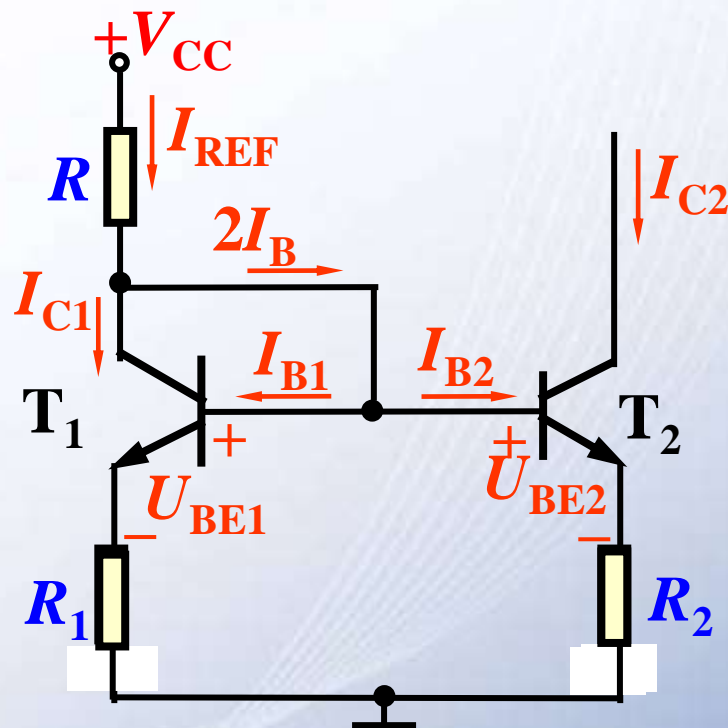


图 3.3.17 比例电流源

3、微电流源

在镜像电流源的基础上接入电阻 R_e 。

引入 R_e 使 $U_{BE2} < U_{BE1}$ ，且 $I_{C2} \ll I_{C1}$ ，即在 R_e 值不大的情况下，得到一个比较小的输出电流 I_{C2} 。

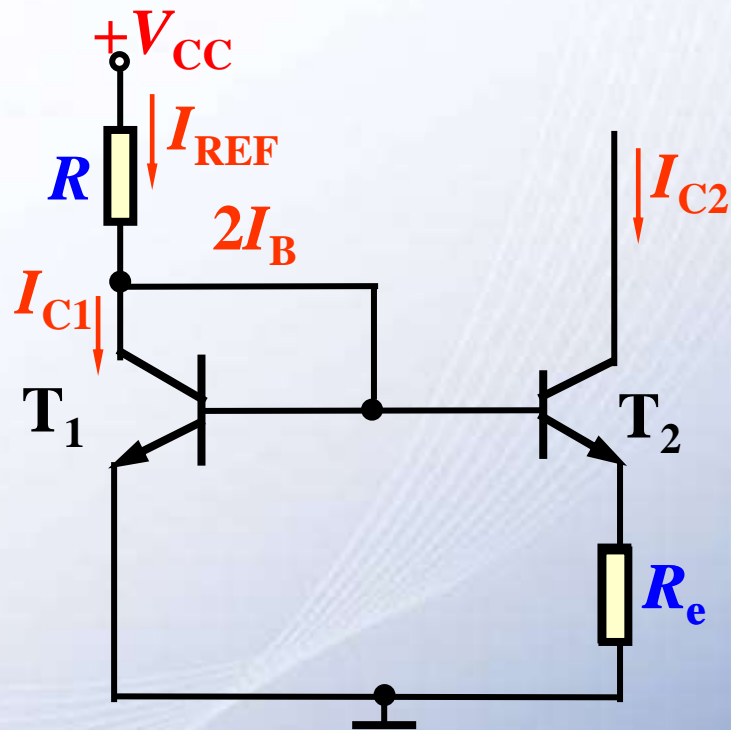


图 3.3.18 微电流源

基本关系

$$U_{BE1} - U_{BE2} = I_{E2} R_e \approx I_{C2} R_e$$

因二极管方程

$$I_C = I_S (e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1) \approx I_S e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

$$\begin{aligned} U_{BE1} - U_{BE2} &\approx U_T \left(\ln \frac{I_{C1}}{I_{S1}} - \ln \frac{I_{C2}}{I_{S2}} \right) \\ &\approx I_{C2} R_e \end{aligned}$$

$$I_{S1} \approx I_{S2}$$

$$U_T \ln \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \approx I_{C2} R_e$$

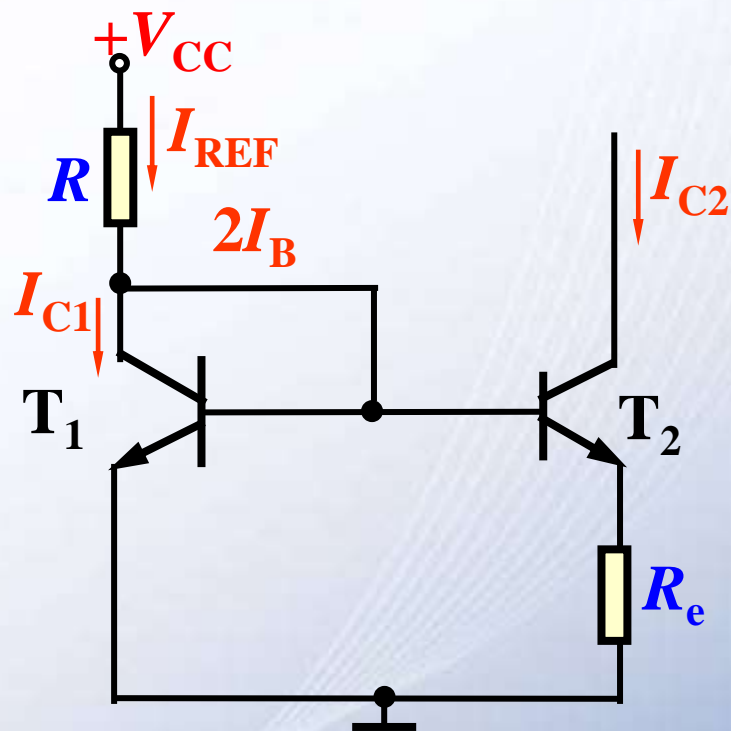


图 3.3.18 微电流源

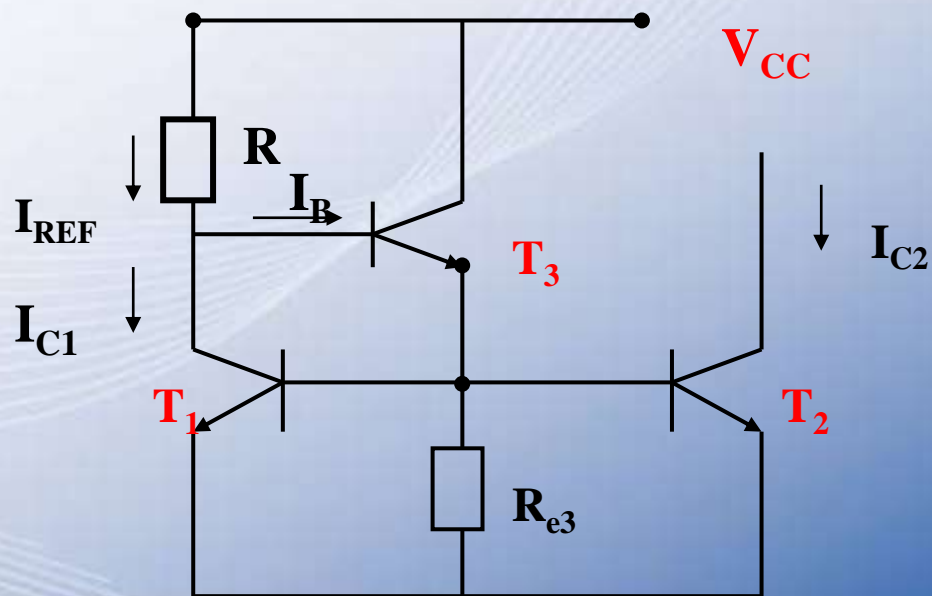
若 I_{C1} 和 I_{C2} 已知，可求出 R_e 。

二 改进型电流源电路

问题：基本电流源电路在 β 很小时， I_R 和 I_{C2} 相差很大。

为了减小基极电流的影响，提高输出电流与基准电流的传输精度，稳定输出电流，可对基本电流源电路进行改进。

1、加射极输出器的电流源



由于增加了 T_3 ，使 I_{C2} 更加接近 I_{REF} （如何证明）

$$\begin{aligned} I_{C2} &= I_{C1} = I_{REF} - I_{B3} \\ &= I_{REF} - I_{E3} / (\beta + 1) \\ &= I_{REF} - \frac{2I_{B2}}{\beta + 1} = I_{REF} - \frac{2I_{C2}}{\beta(\beta + 1)} \end{aligned}$$

$$\therefore I_{C2} = \frac{I_{REF}}{1 + \frac{1}{\beta(\beta + 1)}} \approx I_{REF}$$

如 $\beta = 10$ $I_{C2} = 0.982 I_{REF}$

增加电阻 R_{e2} 目的是使 I_{E3} 增大。

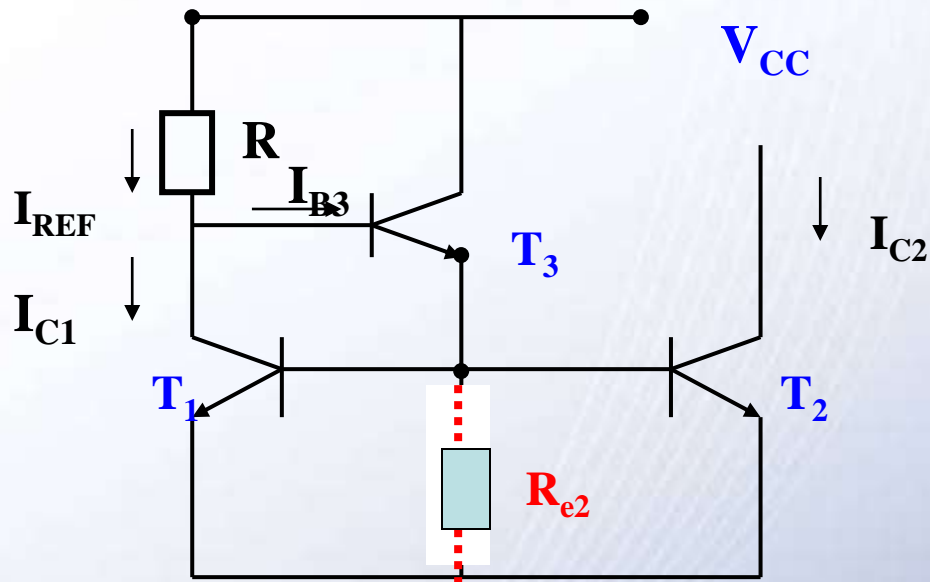


图3.3.19加射极输出器的电流源

2、威尔逊电流源

T_1 管的c--e串联在 T_2 管的发射极，其作用与典型的工作点稳定电路中的 R_e 相同。

公式推导（略）

$$I_{C2} = \left(1 - \frac{2}{\beta^2 + 2\beta + 2}\right) I_R \approx I_R$$

当 $\beta=10$ $I_{C2}=0.984 I_R$

可见，在 β 很小时，也可认为 $I_{C2}=I_R$ 。 I_{C2} 受基极电流影响很小。

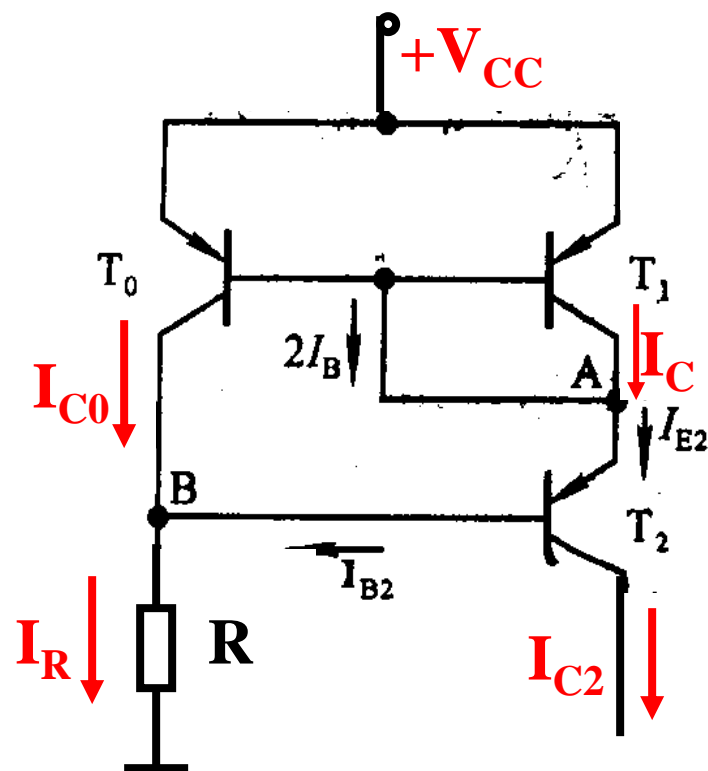


图3.3.20 威尔逊电流源

三 多路电流源

电路图

公式推导

$$I_C = I_E = I_{REF} - \sum I_B / (\beta + 1)$$

当 β 较大时 $I_C = I_{REF}$
由于各管的 β , U_{BE} 相同,

$$I_E R_E \approx I_{REF} R_E = I_{E1} R_{E1}$$

$$= I_{E2} R_{E2} = I_{E3} R_{E3}$$

所以

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{C1} \approx I_{E1} = I_{REF} R_E / R_{E1} \\ I_{C2} \approx I_{E2} = I_{REF} R_E / R_{E2} \\ I_{C3} \approx I_{E3} = I_{REF} R_E / R_{E3} \end{array} \right.$$

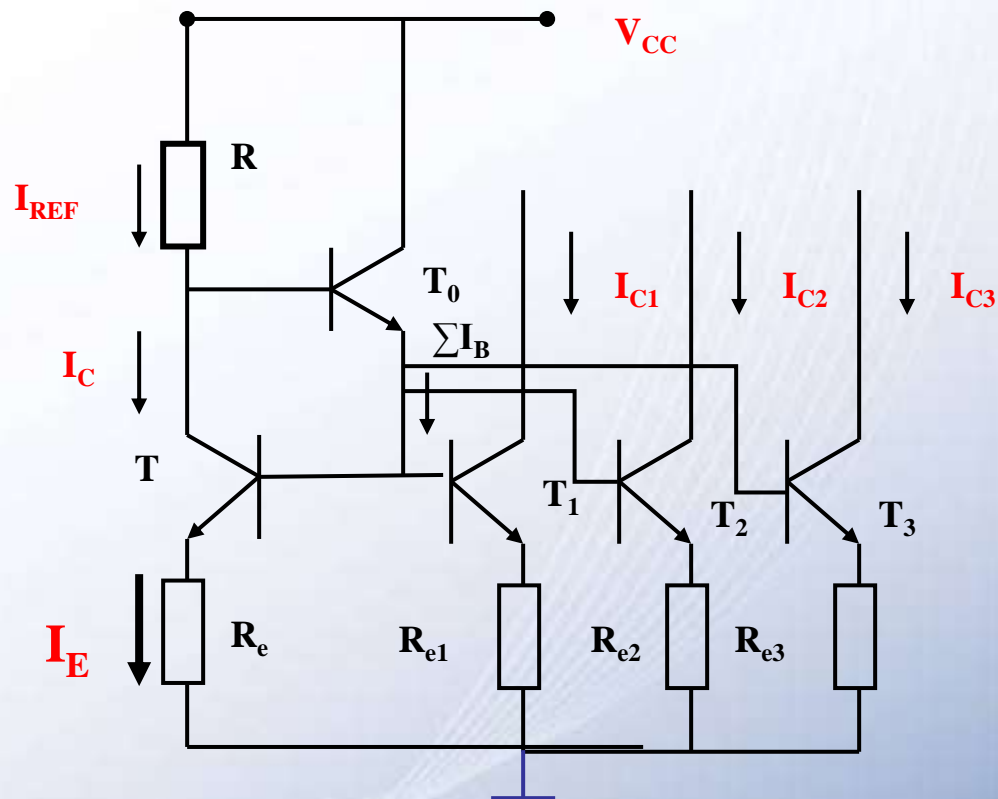


图3.3.21基于图3.3.17的多路电流源

多集电极管构成的多路电流源

当基极电流一定时，集电极电流之比等于它们的集电区面积之比。

MOS管多路电流源

设沟道宽长比 $W/L=S$

漏极电流之比正比于沟道的宽长比。

$$\frac{I_{D1}}{I_{D0}} = \frac{S_1}{S_0}, \frac{I_{D2}}{I_{D0}} = \frac{S_2}{S_0}, \frac{I_{D3}}{I_{D0}} = \frac{S_3}{S_0}$$

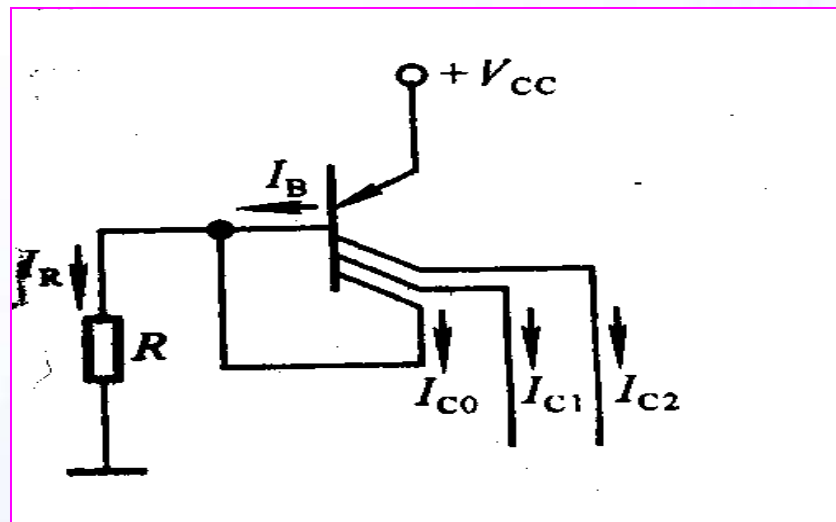


图3.3.22 多集电极管构成的多路电流源

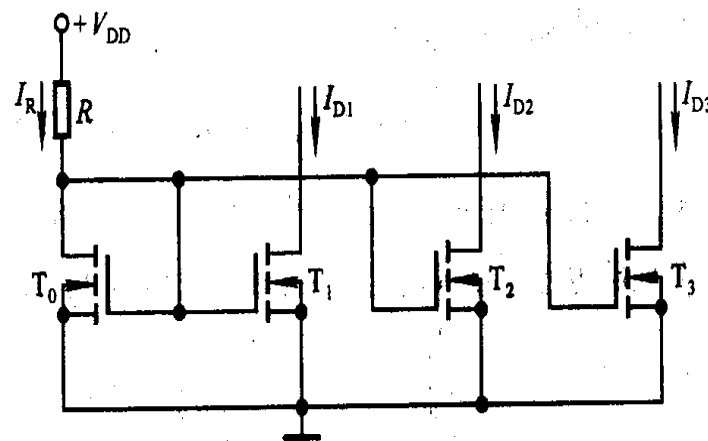


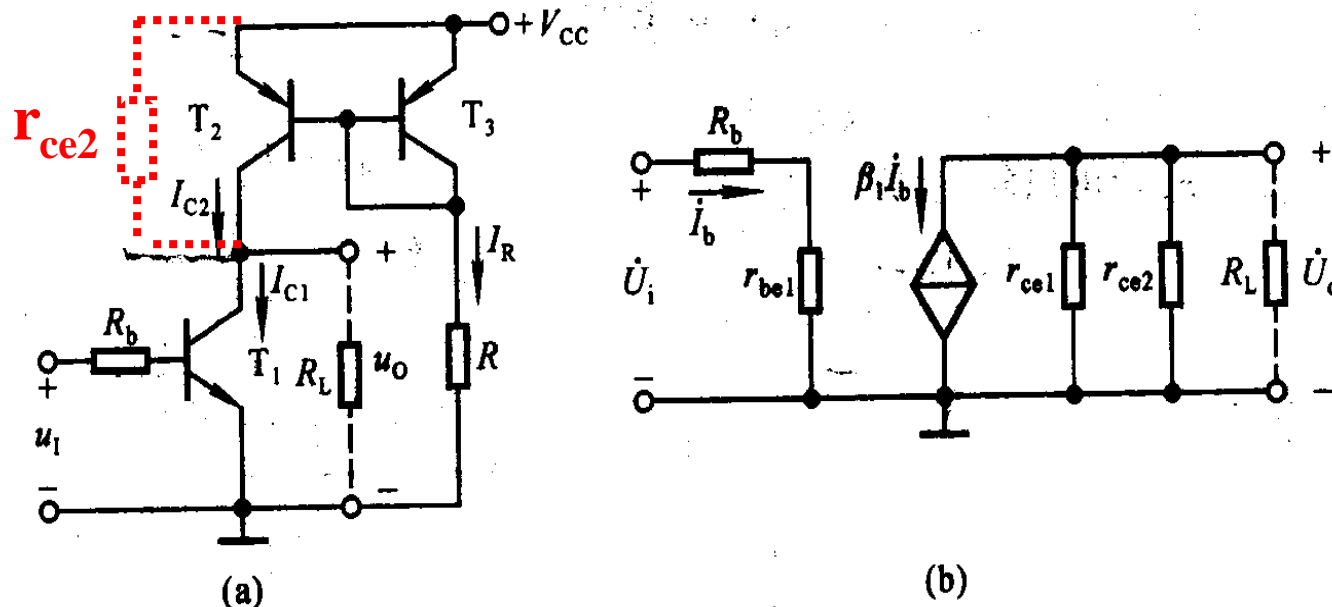
图3.3.23 MOS管多路电流源

四、以电流源为有源负载的放大电路

在集成运放中，常用电流源电路取代 R_C 或 R_d ，这样在电源电压不变的情况下，既可获得合适的静态电流，对于交流信号，又可获得很大的等效 R_C 或 R_d 的。

晶体管和场效应管是有源元件，又可作为负载，故称为有源负载。

1、有源负载共射放大电路



1.电路图

2.静态分析（求参考电流，略）

3.动态分析

$$\dot{A}_U = -\frac{\beta_1(r_{ce1} // r_{ce2} // R_L)}{R_b + r_{be1}}$$

$$\dot{A}_U = -\frac{\beta_1 R_L}{R_b + r_{be}}$$

2、有源负载差分放大电路

1.电路图

2.静态分析

3.动态分析

放大电路采用差分输入、单端输出；工作电流由恒流源 I 决定；输出电流 $\Delta i_o = \Delta i_{c4} - \Delta i_{c2} = 2\Delta i_{c4}$

利用镜像电流源可以使单端输出差分放大电路的差模放大倍数提高到接近双端输出的情况。

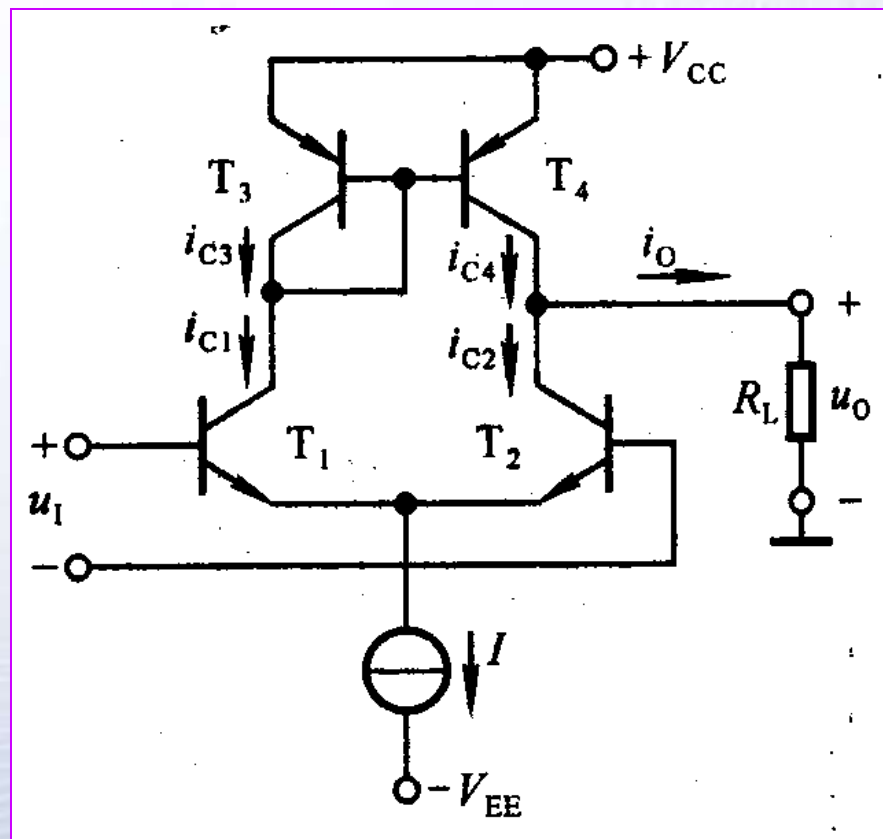


图3.3.25 有源负载差分放大电路

四、互补输出级

- 一、对输出级的要求
- 二、基本电路
- 三、消除交越失真的互补输出级
- 四、准互补输出级

一、对输出级的要求

互补输出级是直接耦合的功率放大电路。

对输出级的要求：带负载能力强；直流功耗小；负载电阻上无直流功耗；最大不失真输出电压最大。

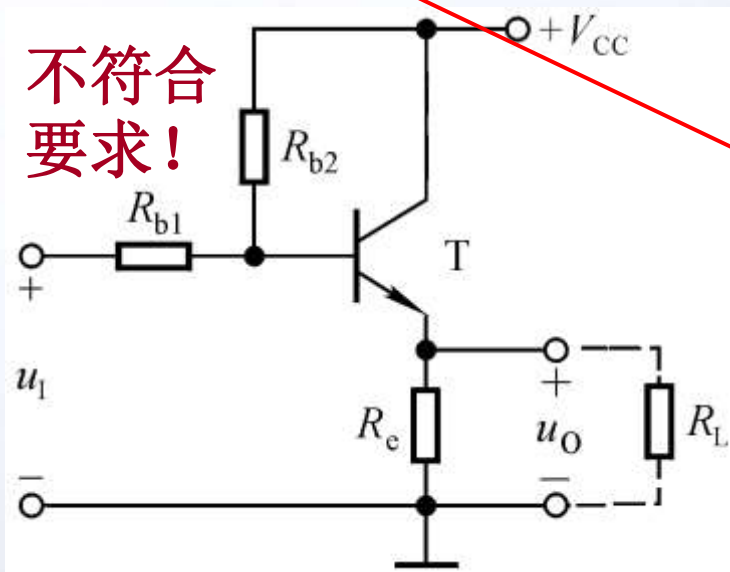
射极输出形式

静态工作电流小

输入为零时输出为零

双电源供电时 U_{om} 的峰值接近电源电压。

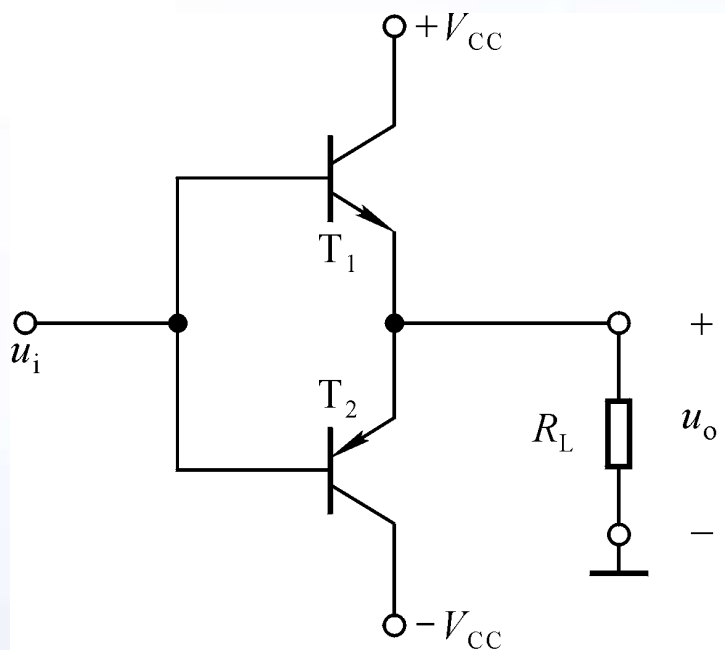
单电源供电 U_{om} 的峰值接近二分之一电源电压。



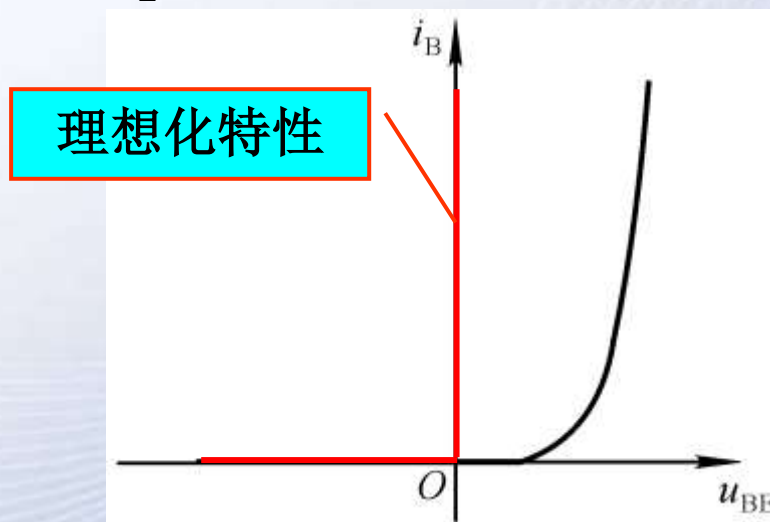
二、基本电路

1. 特征： T_1 、 T_2 特性理想对称。

2. 静态分析

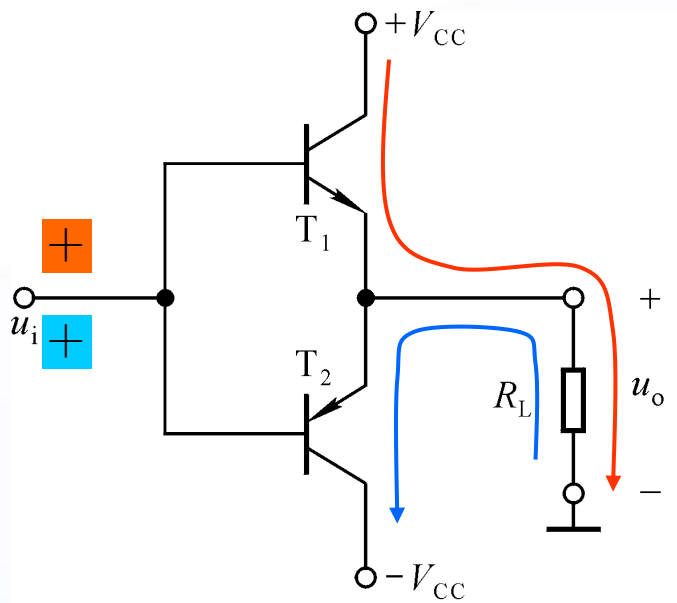


T_1 的输入特性



静态时 T_1 、 T_2 均截止， $U_B = U_E = 0$

3. 动态分析



u_i 正半周，电流通路为
 $+V_{CC} \rightarrow T_1 \rightarrow R_L \rightarrow \text{地}$ ，

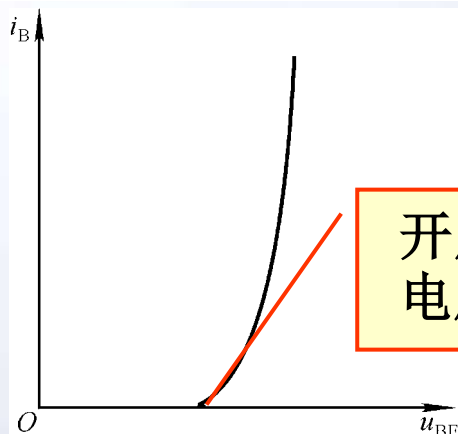
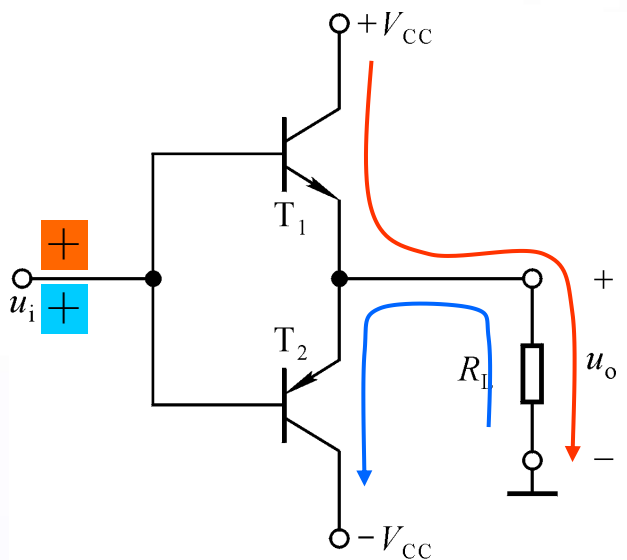
$$u_o = u_i$$

u_i 负半周，电流通路为
地 $\rightarrow R_L \rightarrow T_2 \rightarrow -V_{CC}$ ，

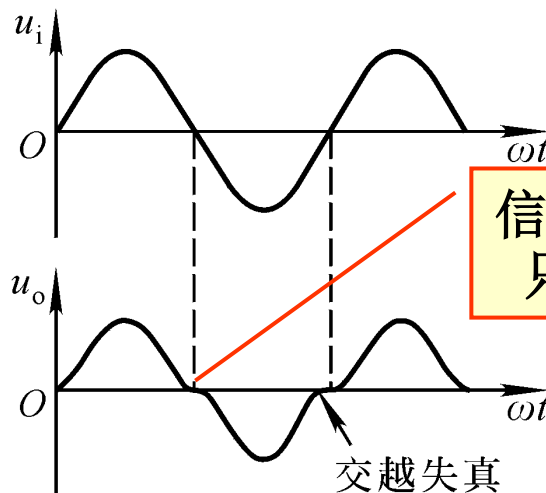
$$u_o = u_i$$

两只管子交替工作，两路电源交替供电，双向跟随。

4. 交越失真



开启
电压



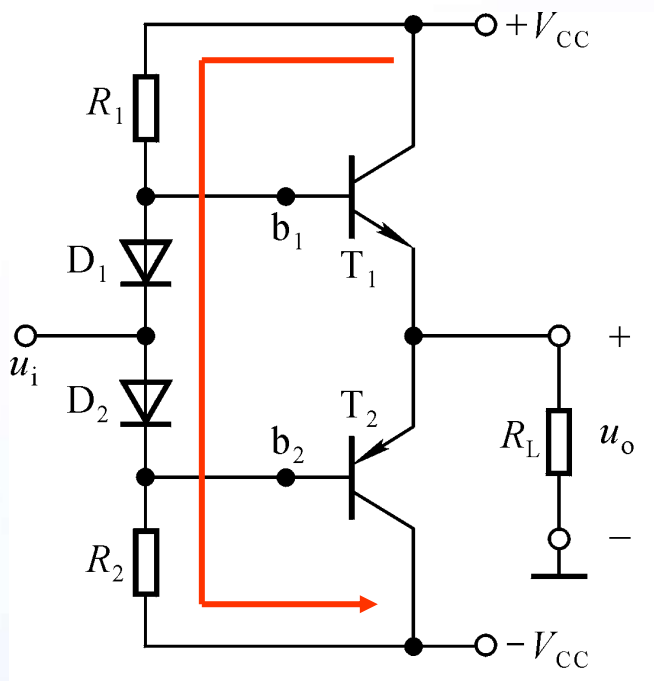
信号在零附近两
只管子均截止

交越失真

消除失真的方法：
设置合适的静态工作点。

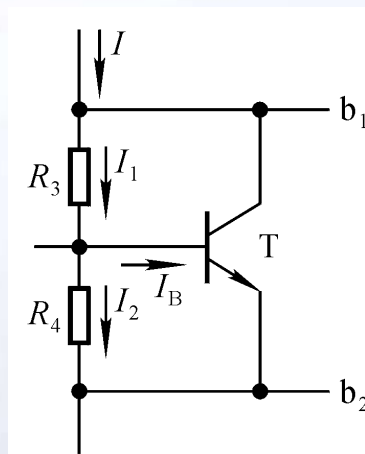
- ① 静态时 T_1 、 T_2 处于临界导通状态，有信号时至少有一只导通；
- ② 偏置电路对动态性能影响要小。

三、消除交越失真的互补输出级



静态: $U_{B1B2} = U_{D1} + U_{D2}$

动态: $u_{b1} \approx u_{b2} \approx u_i$



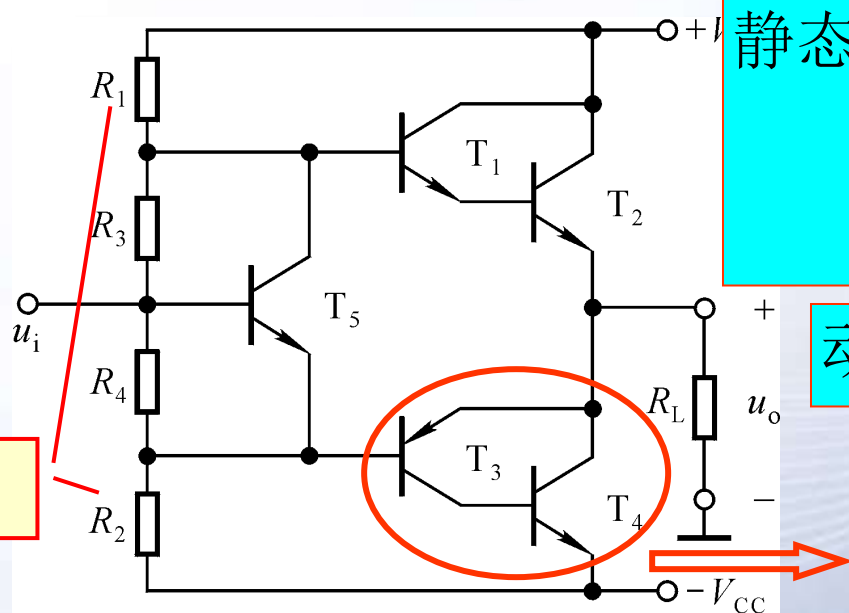
若 $I_2 \gg I_B$, 则

$$U_{B1B2} \approx \frac{R_3 + R_4}{R_4} \cdot U_{BE}$$

故称之为 U_{BE} 倍增电路

四、准互补输出级

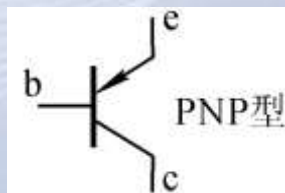
为保持输出管的良好对称性，输出管应为同类型晶体管。



静态时: $U_{BE1} + U_{BE2} + U_{EB3}$

$$\approx (1 + \frac{R_3}{R_4})U_{BE5}$$

动态时: $u_{b1} \approx u_{b3} \approx u_i$



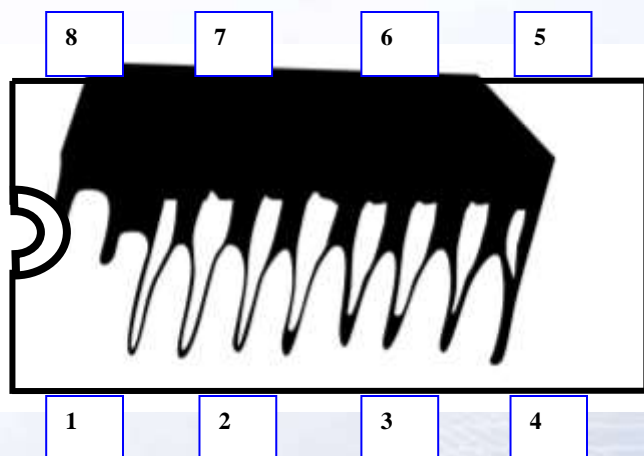
3.4 集成运放电路简介

典型的集成运放 { 双极型集成运放 F007
CMOS 集成运放 C14573

3.4.1 双极型集成运放 F007

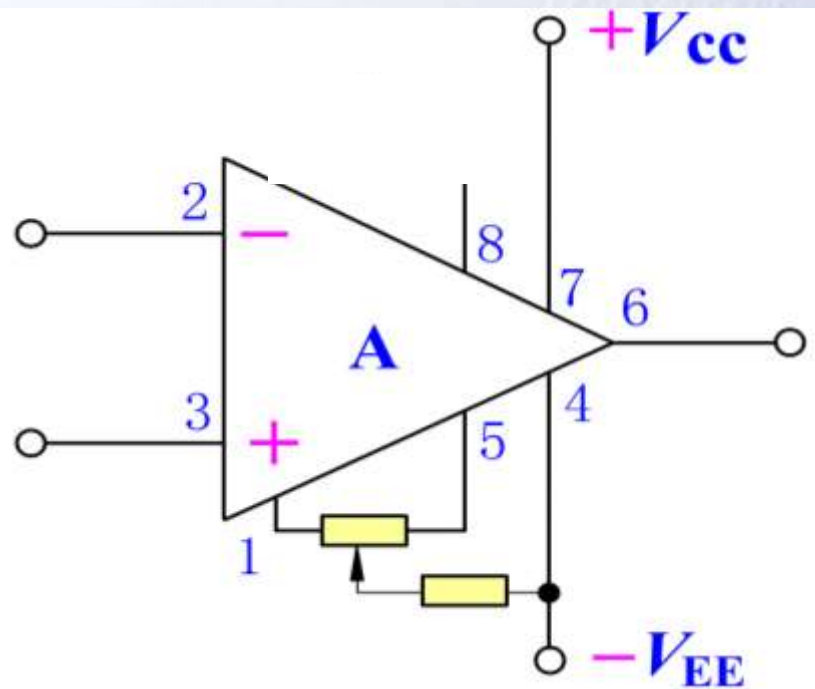
引脚

(a)



(b)

连接示意图



F007 的引脚及连接示意图

3.5 集成运放的性能指标及低频等效电路

3.5.1 集成运放的主要性能指标

一、开环差模电压增益 A_{od}

一般用对数表示，定义为

$$A_{od} = 20\lg \left| \frac{\Delta U_o}{\Delta U_- - \Delta U_+} \right| \quad \text{单位：分贝}$$

理想情况 A_{od} 为无穷大； 实际情况 A_{od} 为 100 ~ 140 dB。

二、输入失调电压 U_{IO}

定义： 为了使输出电压为零，在输入端所需要加的补偿电压。

一般运放： U_{IO} 为 $1 \sim 10 \text{ mV}$ ；

高质量运放： U_{IO} 为 1 mV 以下。

三、输入失调电压温漂 α_{UIO}

定义：
$$\alpha_{UIO} = \frac{dU_{IO}}{dT}$$

一般运放为 每度 $10 \sim 20 \mu\text{V}$ ；

高质量运放低于每度 $0.5 \mu\text{V}$ 以下；

四、输入失调电流 I_{IO}

定义：当输出电压等于零时，两个输入端偏置电流之差，即

$$I_{IO} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

一般运放为几十~一百纳安；高质量的低于 1 nA。

五、输入失调电流温漂 α_{IO}

定义：

$$\alpha_{IO} = \frac{dI_{IO}}{dT}$$

一般运放为每度几纳安；高质量的每度几十皮安。

六、输入偏置电流 I_{IB}

定义：输出电压等于零时，两个输入端偏置电流的平均值。

$$I_{IB} = \frac{1}{2}(I_{B1} + I_{B2})$$

七、差模输入电阻 r_{id}

定义： $r_{id} = \frac{\Delta U_{Id}}{\Delta I_{Id}}$ 一般集成运放为几兆欧。

八、共模抑制比 K_{CMR}

定义： $K_{CMR} = 20\lg \left| \frac{A_{od}}{A_{oc}} \right|$

多数集成运放在 80 dB 以上，高质量的可达 160 dB。

九、最大共模输入电压 U_{Icm}

输入端所能承受的最大共模电压。

十、最大差模输入电压 U_{Idm}

反相输入端与同相输入端之间能够承受的最大电压。

十一、-3 dB带宽 f_H

表示 A_{od} 下降 3 dB 时的频率。一般集成运放 f_H 只有几赫至几千赫。

十二、单位增益带宽 f_c

A_{od} 降至 0 dB 时的频率，此时开环差模电压放大倍数等于 1。

十三、转换速率 SR

额定负载条件下，输入一个大幅度的阶跃信号时，输出电压的最大变化率。单位为 $V / \mu s$ 。

在实际工作中，输入信号的变化率一般不要大于集成运放的 SR 值。

其他技术指标还有：最大输出电压、静态功耗及输出电阻等。

3.6 集成运放的种类及选择

3.6.1 集成运放的发展概况

3.6.2 集成运放的种类

一、按工作原理分类

- 1.电压放大型**F007、F324**
- 2.电流放大型**LM3900、F1900**
- 3.跨导型**LM3080、F3080**
- 4.互阻型**AD8009、AD8011**

二、按可控性分类

- 1.可变增益运放
- 2.选通运放

三、按性能指标分类

1.高精度型

性能特点： 漂移和噪声很低，开环增益和共模抑制比很高，误差小。 **(F5037)**

2.低功耗型

性能特点： 静态功耗一般比通用型低 1 ~ 2 个数量级(不超过毫瓦级)，要求电压很低，有较高的开环差模增益和共模抑制比。
(TLC2552)

3.高阻型

性能特点： 通常利用场效应管组成差分输入级，输入电阻高达 $10^{12} \Omega$ 。

高阻型运放可用在测量放大器、采样-保持电路、带通滤波器、模拟调节器以及某些信号源内阻很高的电路中。 **(F3130)**

4.高速型

性能特点： 大信号工作状态下具有优良的频率特性，转换速率可达每微秒几十至几百伏，甚至高达 $1\ 000\ \text{V}/\mu\text{s}$ ，单位增益带宽可达 $10\ \text{MHz}$ ，甚至几百兆欧。

常用在A / D 和 D / A 转换器、有源滤波器、高速采样-保持电路、模拟乘法器和精度比较器等电路中。 (F3554)

5.高压型

性能特点：输出电压动态范围大，电源电压高，功耗大。

6.大功率型

性能特点：可提供较高的输出电压较大的输出电流，负载上可得到较大的输出功率。

4.5.3 运放的选择（略）

3.7 集成运放的使用

3.7.1 使用时必做的工作

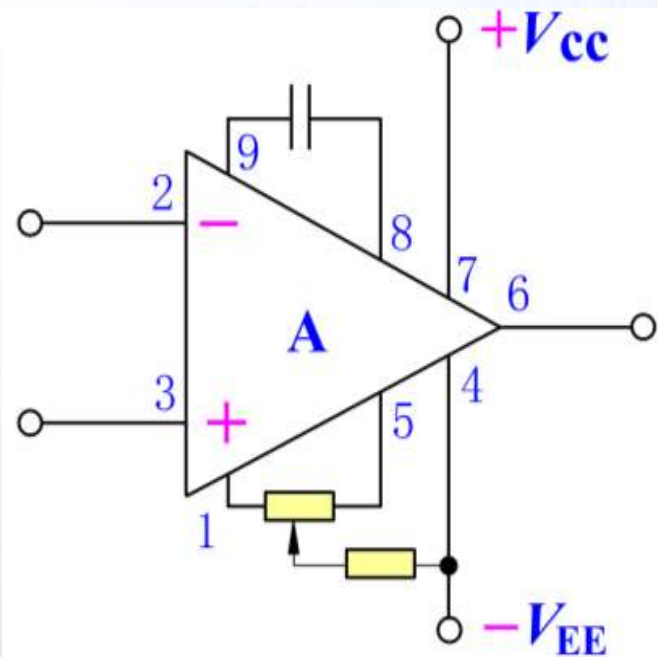
一、集成运放的外引线（管脚）

二、使用中可能出现的异常现象

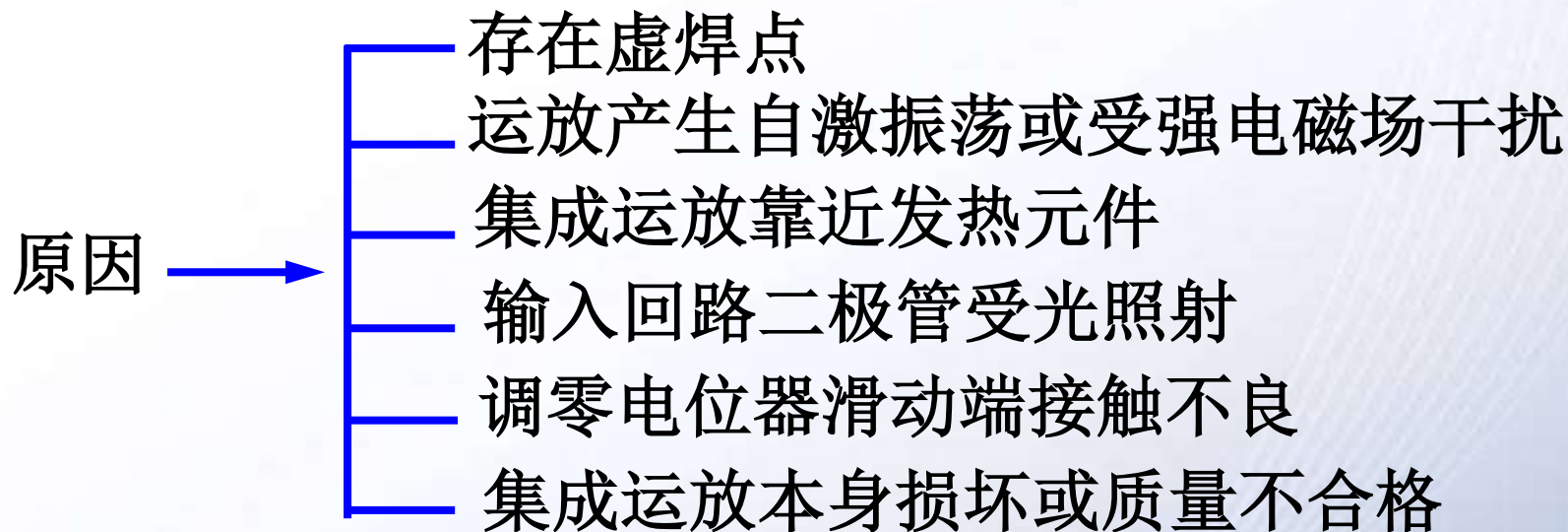
1. 不能调零

原因 →

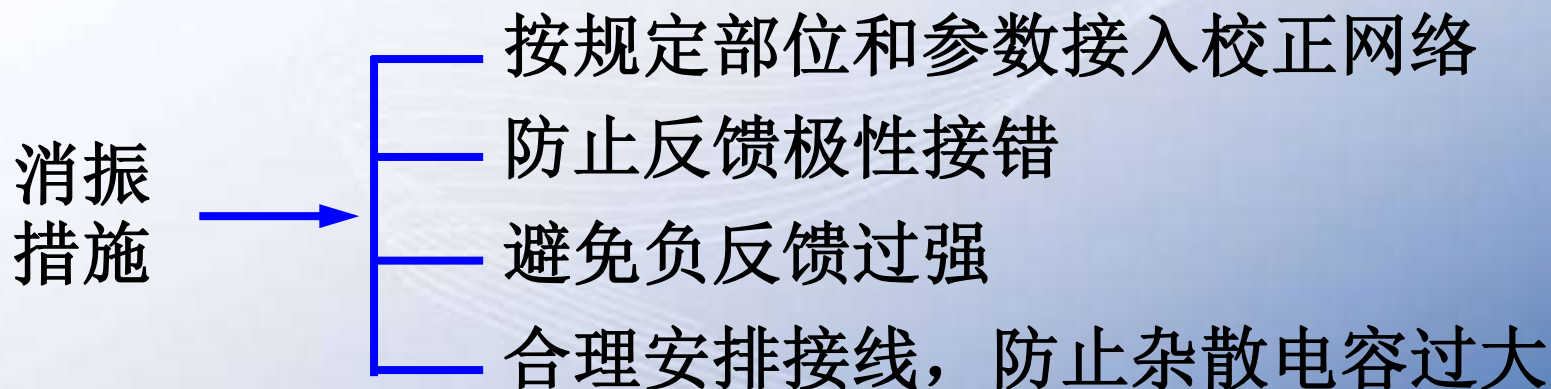
- 调零电位器故障；
- 电路接线有误或有虚焊；
- 反馈极性接错或负反馈开环；
- 集成运放内部损坏；
- 重新接通即可恢复为输入信号过大而造成“堵塞”现象



2. 漂移现象严重

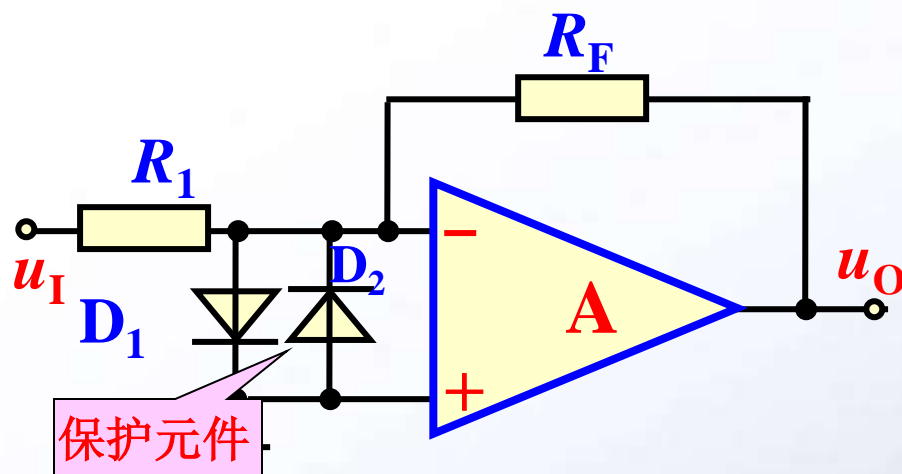


3. 产生自激振荡

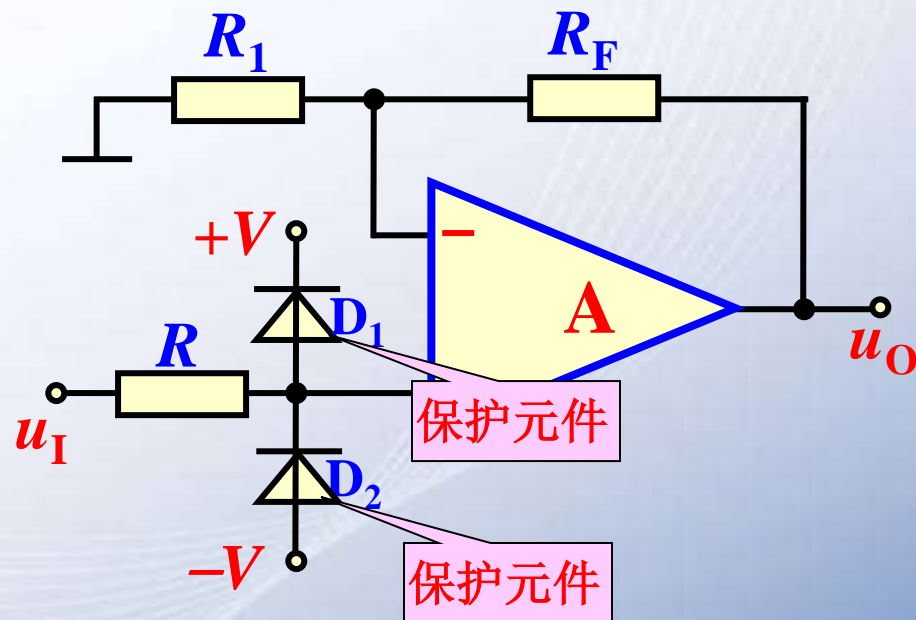


3.7.2 保护措施

一、输入保护



(a) 防止输入差模信号
幅值过大



(b) 防止输入共模信号
幅值过大

图 3.7.3 输入保护措施

二、电源极性错接保护

保护元件： D_1 、 D_2

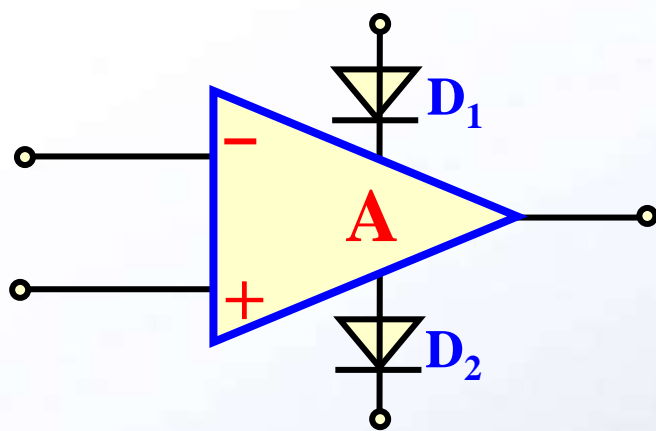


图 3.7.4 电源接错保护

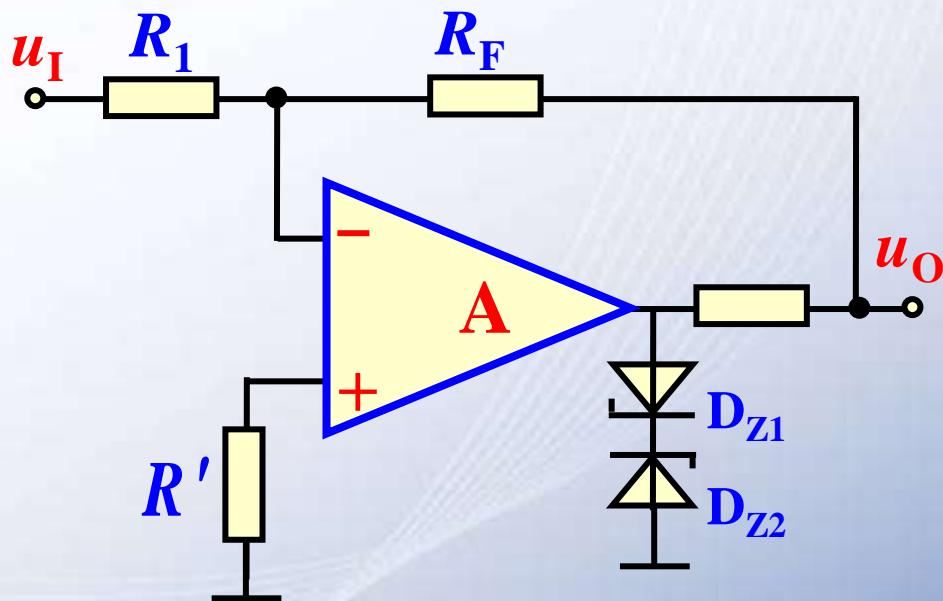


图 3.7.5 利用稳压管保护运放

三、输出端错接保护

保护元件：稳压管 D_{Z1} 、 D_{Z2}