

# 任务三 小型家用空调温度 控制器的制作与调试





集成运算放大器（integrated operational amplifier）简称集成运放，实际上它是一个具有高增益、低漂移，带有深度负反馈并直接耦合的多级放大电路。

其性能优良，广泛地应用于运算、测量、控制以及信号的产生、处理和变换等领域。本项目通过认识与检测运算放大器，要求学生学会识别集成运算放大器的型号，学会测试集成运算放大器的性能；通过装配与调试小型家用空调温度控制器，要求学生掌握装配与调试电子电路的一般步骤及方法。





## 知识目标

了解集成运算放大器的组成及特点；

理解零点漂移的产生原因及解决方法；

理解虚短、虚短和虚地的概念；

熟悉集成运算放大器的线性应用与非线性应用；

掌握小型家用空调温度控制器的原理、制作及调试。



## 技能目标

能查阅相关资料识  
读集成运放的型号  
和引脚功能；

能够组装与调试常  
用电子电路。

# 任务一 认识与检测运算放大器



## 任务目标

熟悉集成运放的组成及各部分的作用

；

认识运放的符号，并理解理想运放的特点；

通过认识与检测运算放大器，加深对集成运放的认识，并掌握检测集成运算放大器性能好坏的方法。

# 任务一 认识与检测运算放大器



## 一 集成运算放大器

### 1. 集成运放的特点

点

级间采用直接耦合方式。

电路结构和参数具有对称性。

用有源器件代替无源器件。

# 任务一 认识与检测运算放大器



## 2. 集成运放的组成与各部分的作用

作用

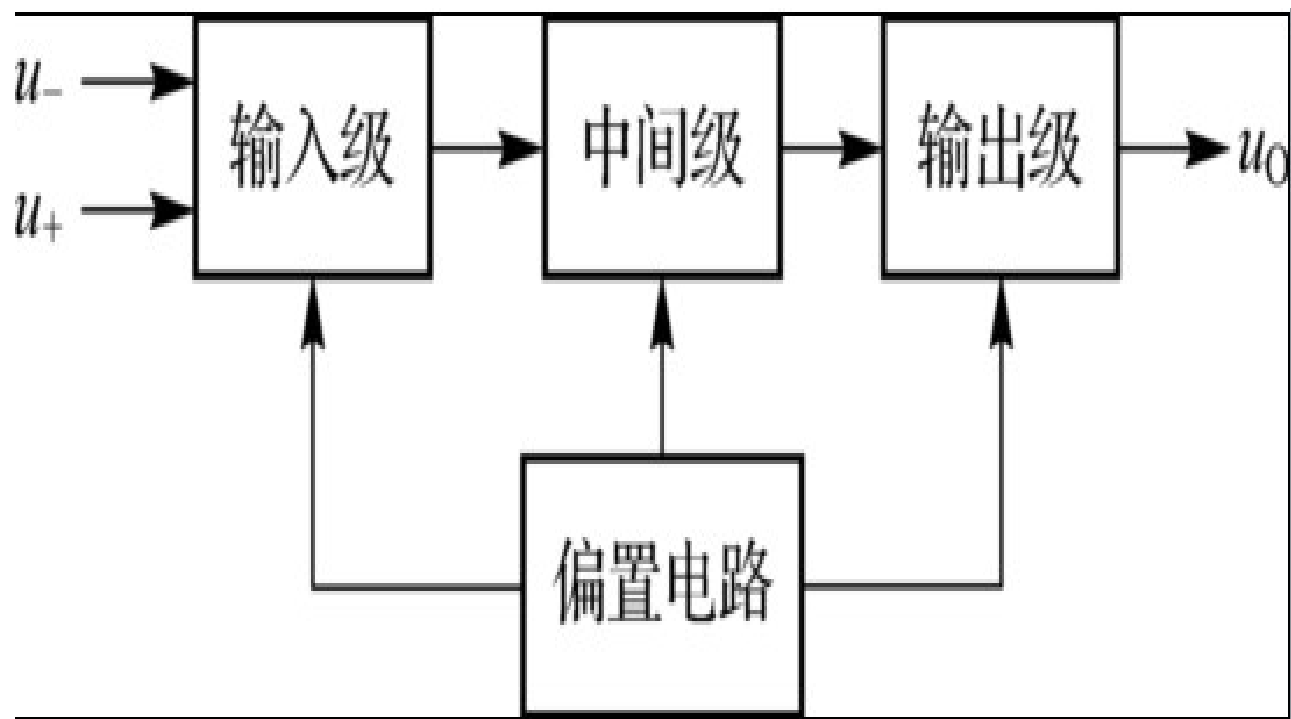
**输入级。**要求输入电阻大、差模放大倍数高、抑制零点漂移和共模干扰信号的能力强，大多采用两个端子的差分放大电路。

**中间级。**提供足够的电压放大倍数，一般采用有源负载的共射放大电路，本身还应有高的输入电阻，以减小对前级的影响。

**输出级。**与负载相接，为了提高电路驱动负载的能力，要求输出电阻小、带负载能力强，一般采用互补对称电路或射极输出器构成。

**偏置电路：**为各级放大电路提供稳定和合适的偏置电流，决定各级的静态工作点，大多数由恒流源电路组成，有的级（如输出级）也采用恒压源偏置。

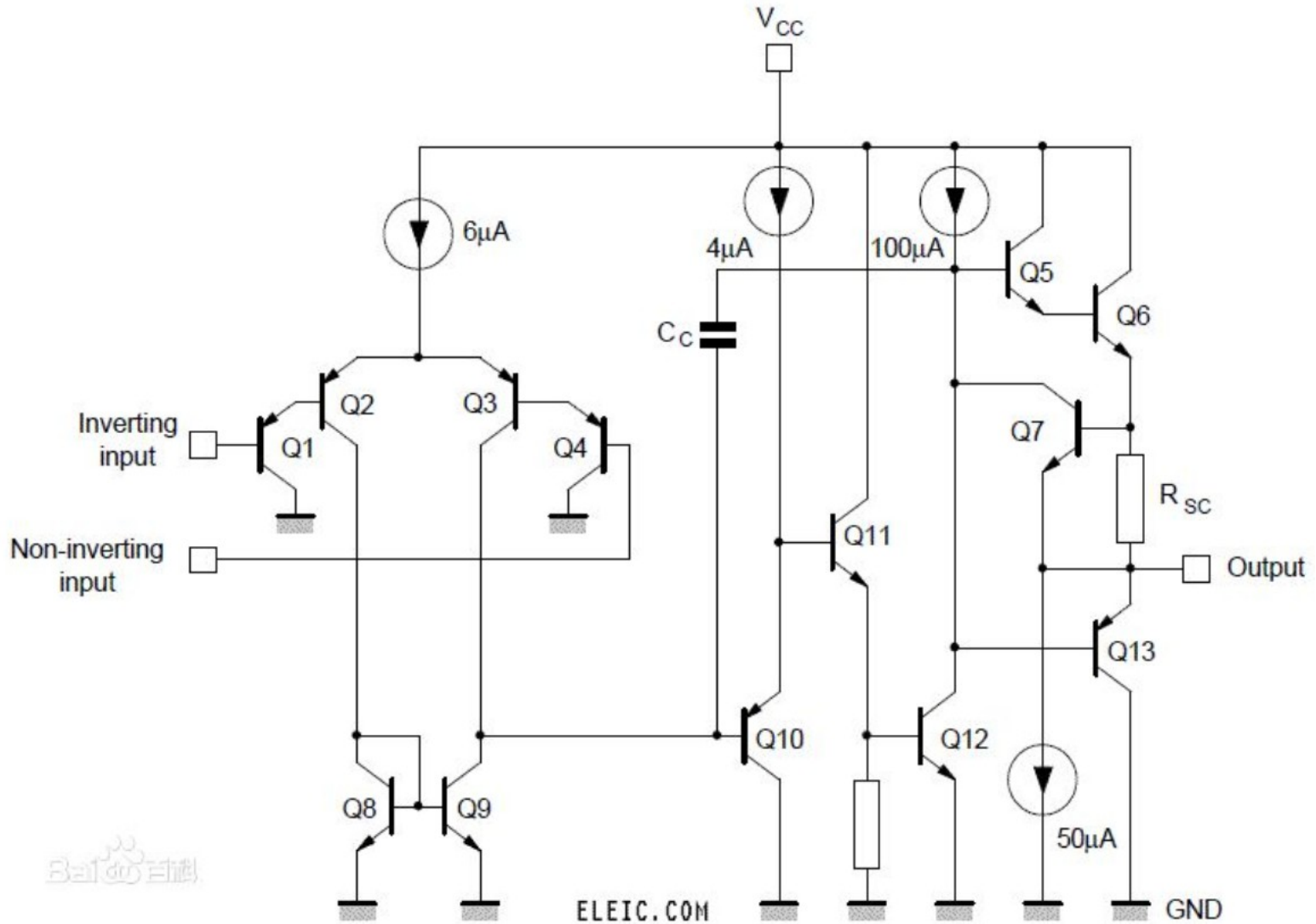
# 任务一 认识与检测运算放大器



集成运放的组成框图

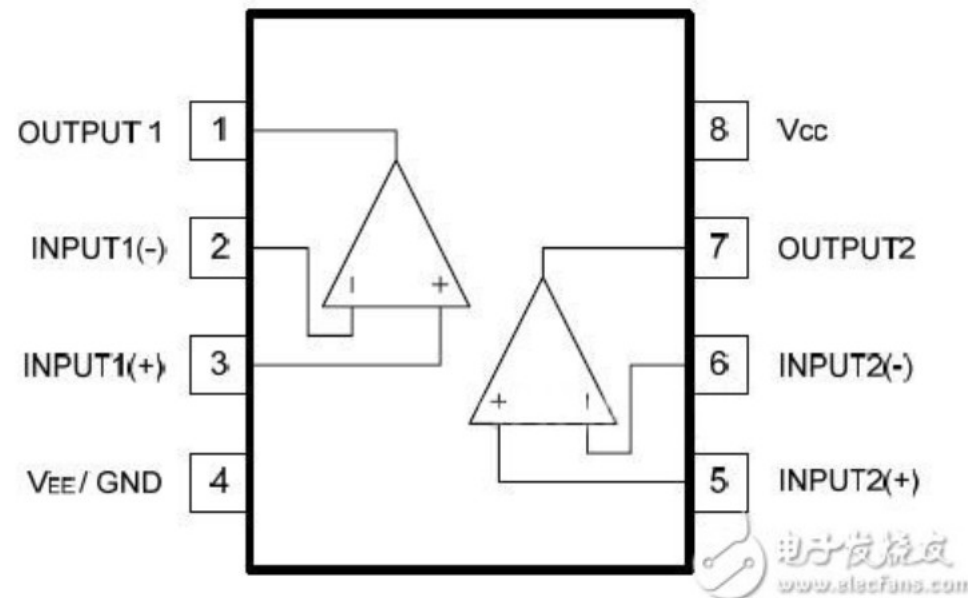








SOP-8/DIP-8/MSOP-8/TSSOP-8

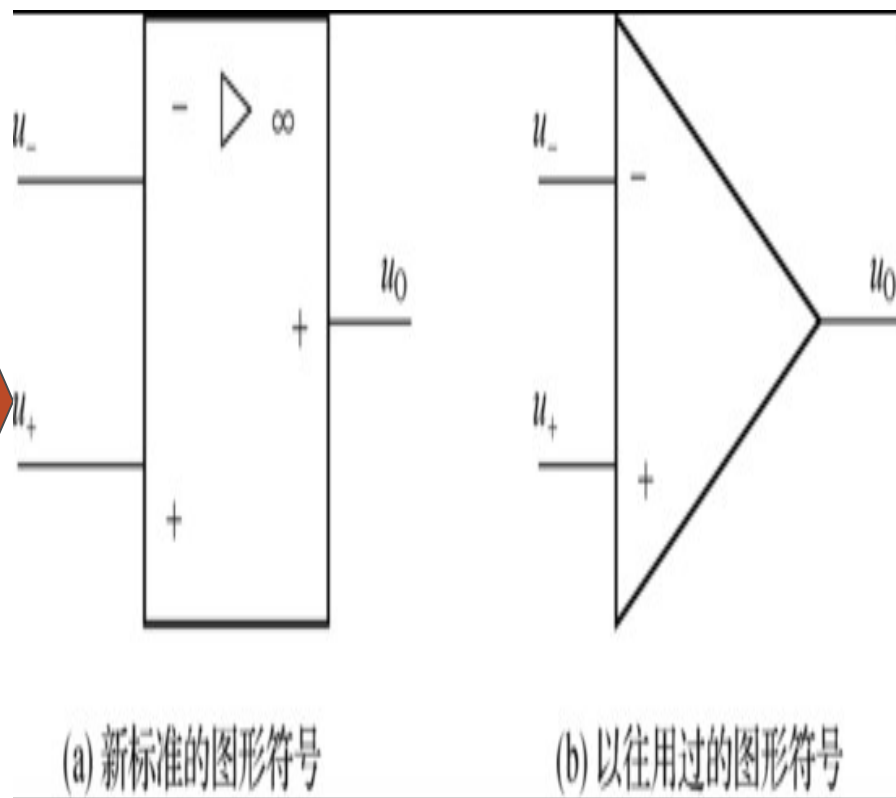


# 任务一 认识与检测运算放大器



## 3. 集成运放的符号

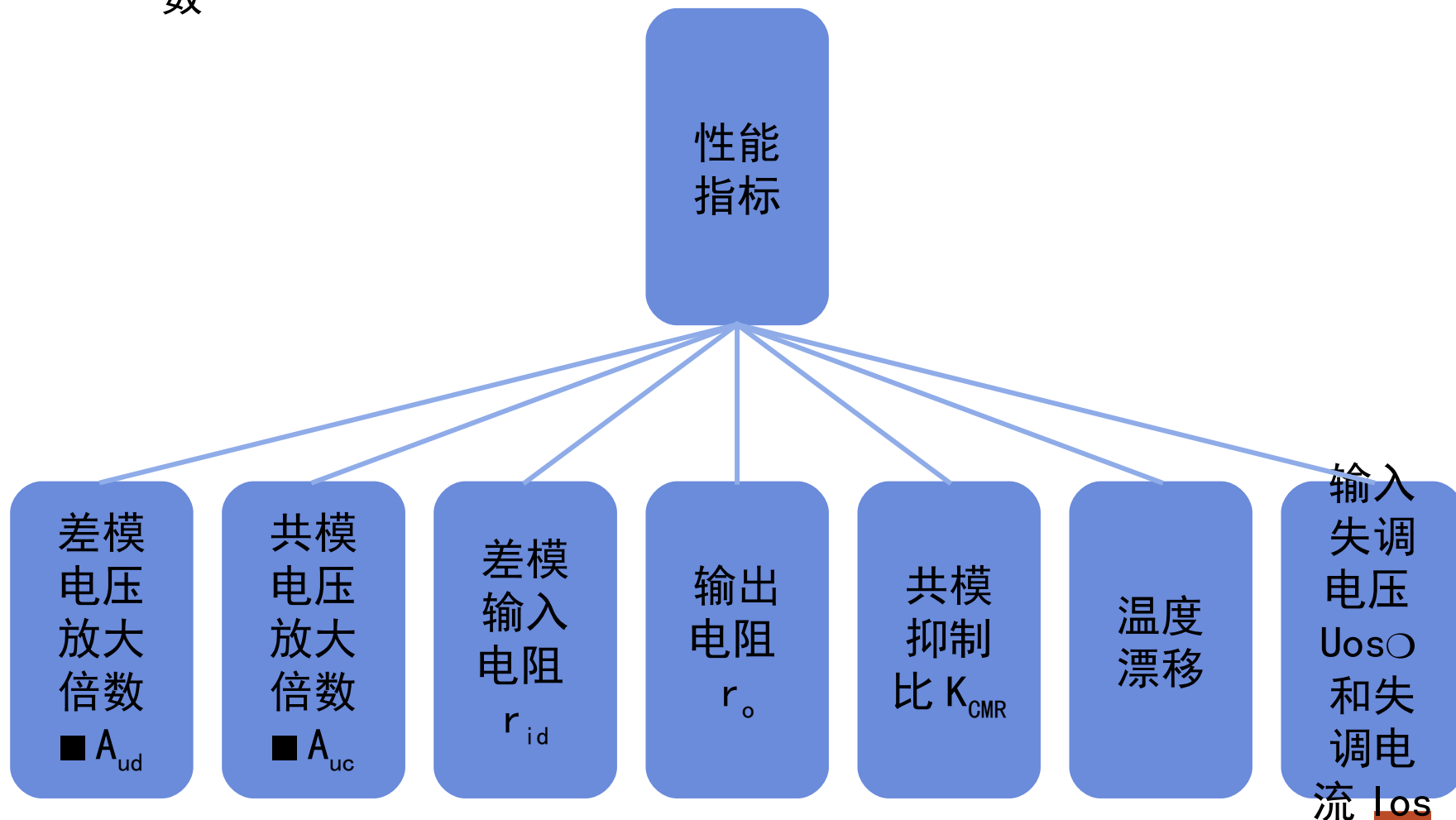
集成运放通常有几个甚至十几个引脚，其中有的接输入、输出信号，有的接直流电源，还有的集成运放有调零端以及外接正电容的端子等。但是，为了简化，在电路中通常不画出所有的引脚，而常常用运算放大器的简化符号，只画出两个输入端和一个输出端，如图 3-2 所示。



# 任务一 认识与检测运算放大器



## 4. 集成运放的主要参数



# 任务一 认识与检测运算放大器



## 二 理想集成运算放大器

### 1. 运放的理想化参数

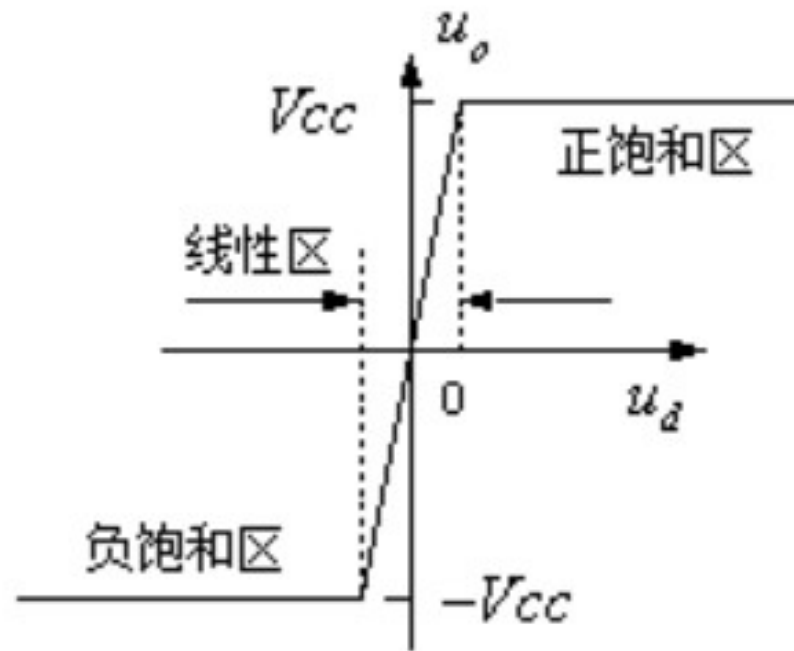
理想化参数

开环电压放大倍数  $A_{ud} = \infty$

差模输入电阻  $r_{id} = \infty$

输出电阻  $r_o = 0$

共模抑制比  $K_{CMR} = \infty$



# 任务一 认识与检测运算放大器



## 2. 运放工作的两个区域及特点

### 线性区

① 虚短。线性工作区是指输出电压  $u_0$  与输入电压  $u_i$  成正比时的输入电压范围。在线性工作区，集成运放  $u_0$  与  $u_i$  之间的关系可表示为

$$u_0 = A_{ud} u_i = A_{ud} (u^+ - u^-)$$

对于理想运放， $A_{ud} = \infty$ ，而  $u_0$  为有限值，工作在线性区时，有  $u^+ - u^- \approx 0$ ，即  $u^+ \approx u^-$ 。这一特性称为理想运放输入端的虚短。

② 虚断。由于理想运放的输入电阻  $r_{id} = r_{ic} = \infty$ ，而加到运放输入端的电压  $u^+ - u^-$  有限，所以运放两个输入端的电流  $i^+ = i^- \approx 0$ 。这一特性称为理想运放输入端的虚断。为使运放工作在线性区，一般在电路中引入负反馈。



# 任务一 认识与检测运算放大器



## 非线性区

① 虚短不成立。在非线性工作区，集成运放的输入信号超出了线性放大的范围，输出电压不再随输入电压线性变化，而是达到饱和，输出电压为正向饱和压降  $+U_{OPP}$ （正向最大输出电压）或负向饱和压降  $-U_{OPP}$ （负向最大输出电压），如图 3-3 所示。

由图可知，在理想状态下， $\blacksquare$   $u_+ > u_-$  时， $u_0 = +U_{PP}$ ； $u_+ < u_-$  时，

$\blacksquare$   $u_0 = -U_{PP}$ 。

② 虚断。理想运放工作在线性区时，由于  $\blacksquare r_{id} = r_{ic} = \infty$ ，而加到运放输入端的电压总是有限值，所以不论输入电压是差模信号还是共模信号，两个输入端的电流均为无穷小，即仍满足虚断的条件，即  $\blacksquare i_+ = i_- \approx 0$ 。

# 任务一 认识与检测运算放大器



## 线性状态特征

引入负反馈是集成运放工作于线性状态的基本电路特征。

## 非线性状态特征

开环状态或者引入正反馈，是集成运放工作于非线性区的基本电路特点。

# 任务一 认识与检测运算放大器



## 3. 集成运放的检测

### 电阻检测

用电阻挡红表笔接地，黑表笔测量各脚对地的电阻值，与一个正常状态的集成运放进行对比来判断好坏。此方法不具有通用性。

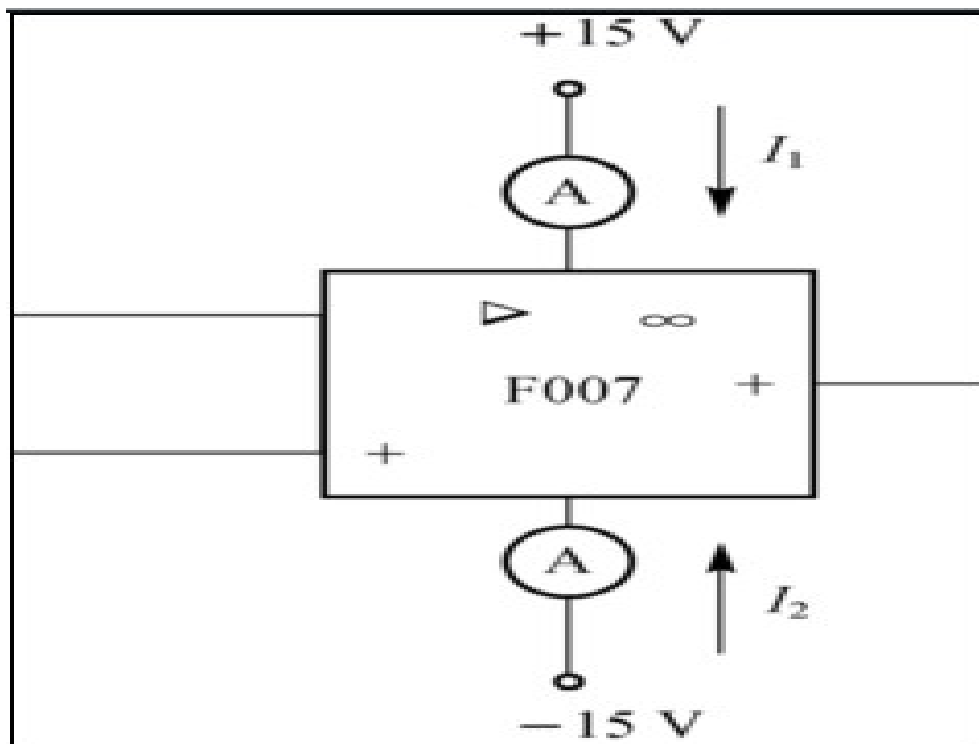
### 电流检测

以 F007 为例，将输入端开路，如图 3-4 所示。分别测量  $I_1$ 、 $I_2$ ，有以下几种结果。

- ①  $I_1 = I_2 = 8 \text{ mA}$ 。
- ②  $I_1 = I_2$  且电流很小。
- ③  $I_1 \neq I_2$  且差距很大。

由此可知，只有结果①是正常的，②和③的情况说明集成块已经损坏。

# 任务一 认识与检测运算放大器



直流电流挡检测集成运放方法



## 目标

- (1) 能查阅相关资料识读集成运放的型号和引脚功能。
- (2) 会用电阻测试法检测集成运放。



## 设备

(1) 万用表一只。

(2) 集成运放芯片： $\mu$ A741（国产型号 CF741）、F007、CF747AMJ、CF224AL 各 1 个。

# 实践操作 认识与检测运算放大器



## 三 内容与步骤

(1) 查阅相关资料，识读集成运放的型号及引脚，填写表 3-1。

型号	引脚号与引脚功能符号
$\mu$ A741	
F007	
CF747AMJ	
CF224AL	





# 实践操作 认识与检测运算放大器



(1) 注意集成运放的型号和引脚，  
避免接反接错。

(2) 注意正确选择万用表的电阻挡位  
(不要过低，也不能选择  $R \times 10 \text{ k}\Omega$ )。

(3) 测量时，手不要碰触引脚，以免  
人体电阻的介入影响测量结果的准确。



# 思考与练习



1. 画出集成运算放大器的组成框图，并简单说明各部分的作用。
2. 集成运放的理想化参数为有哪些？分别起什么作用？
3. 集成运放工作在线性区时，如何理解其两个重要的特点？



## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 任务目标

熟悉集成运放的线性应用与非线性应用；

了解小型家用空调温度控制器的原理；

掌握小型家用空调温度控制器的制作方法，并能检测并解决电路中的故障。◆

# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## 一 集成运放的线性应用

当集成运放工作在线性区时，可以组成各类信号运算电路，主要有比例运算电路、加减法运算电路、微积分运算电路，其中比例运算电路是其他各种运算电路的基础。



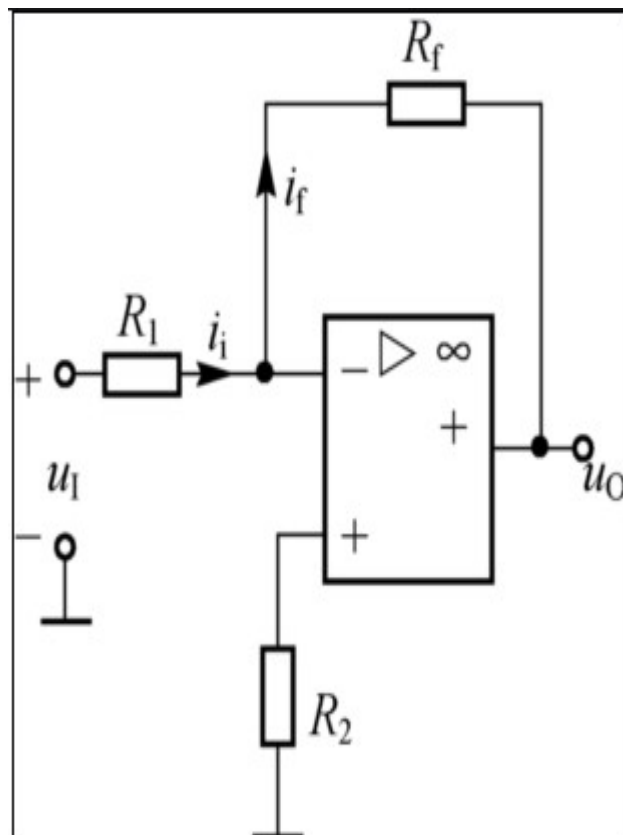
# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## (一) 反相比例运算放大电路

### 1. 电路组成

由于集成运放工作在线性区， $u^+ = u^-$ 、 $i^+ = i^-$ ，即流过  $R_2$  的电流为零，则  $u^+ = 0$ ， $u^- = u^+ = 0$ ，说明反相端虽然没有直接接地，但其电位为地电位，相当于接地，是虚假接地，简称虚地。虚地是反相输入式放大电路的重要特点。



## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 2. $U_o$ 与 $U_i$ 关系及电压放大倍数

$A_{uf}$

$$i_f = \frac{u_o - u_i}{R_f} = -\frac{u_o}{R_f}$$

$$i_i = \frac{u_i - u_o}{R_1} = \frac{u_i}{R_1}$$

由虚断  $i_i = i_f$ ，即  $u_i R_1 = -u_o R_f$  得

$$u_o = -\frac{R_f}{R_1} * u_i$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_f}{R_1}$$

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



式中， $A_{uf}$  是反相比例运算电路的电压放大倍数，它是一个定值，只与电路外接电阻有关，而与集成运放本身的参数无关；而且输出电压与输入电压大小成一定比例，极性相反，上述电路完成了对信号的反相比例运算，故称为反相比例运算放大电路。当■ $R_f=R_1$  时， $A_{uf}=-1$ ，即输出电压和输入电压的大小相等，相位相反，此电路称为反相器。静态时，为了使输入级的偏置电流平衡并在集成运放两个输入端的外接电阻上产生相等的电压降，以消除零漂，平衡电阻  $R_2$  须满足

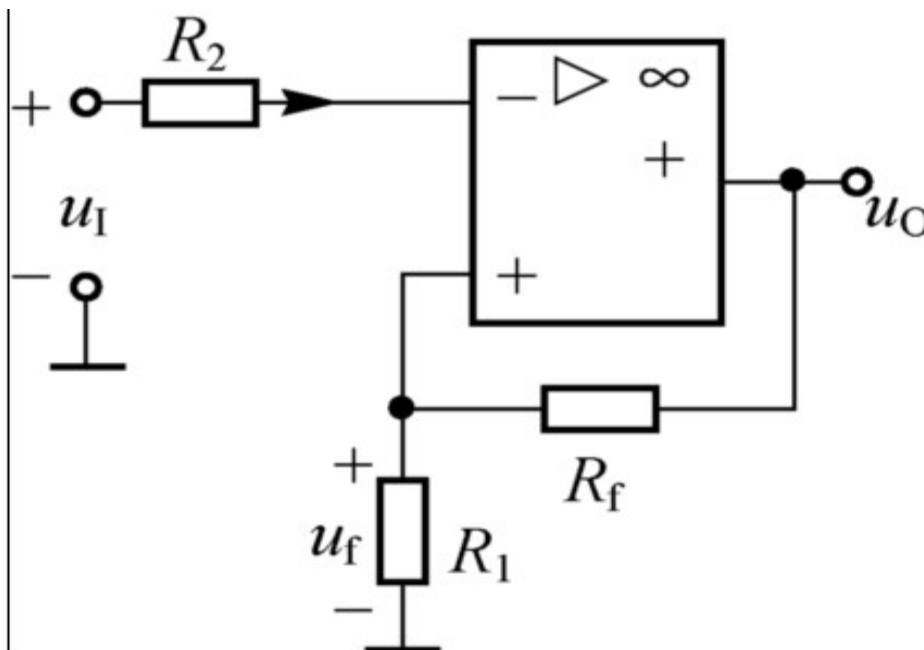
$$R_2=R_1//R_f。$$

# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## (二) 同相比例运算放大电路

### 1. 电路组成



同相比例运算放大电路



## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 2. $U_o$ 与 $U_i$ 关系及电压放大倍数

由虚短和虚断得  $u_+ = u_- = u_i$ ，说明在运放的两端引入了共模电压，因■

$i_i = i_f$ ，即  $0 - u_- / R_f = u_- - u_o / R_f$  整理得

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) u_i$$

$$A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

通过上述公式可以看出，输出电压  $u_o$  与输入电压  $u_i$  同相且成一定比例变化，故称这种电路为同相比例运算放大电路。同相比例运算放大电路的闭环放大倍数  $A_{uf}$  也仅取决于外围电路的电阻值，且大于 1。

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



在图 3-7 中，如果把  $R_f$  短路 ( $R_f=0$ )，把  $R_1$  断开 ( $R_1 \rightarrow \infty$ )，则  $A_{uf}=1$ ，即  $u_0=u_1$ 。此时电路构成电压跟随器，如图 3-8 所示。

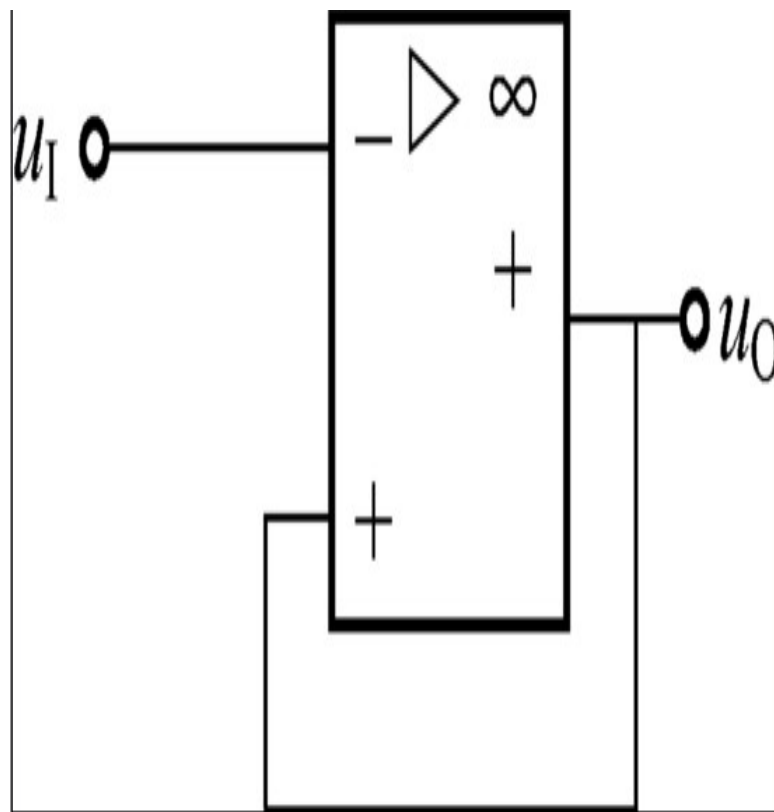


图 3-8

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### (三) 加法运算电路

#### 1. 反相加法运算电路

反相加法运算电路如图 3-9 所示。两个输入信号均作用于集成运放的反相输入端。根据分析电路的两条重要结论，并利于虚短和虚断的概念，有

$$\frac{u_{I1}}{R_1} + \frac{u_{I2}}{R_2} = -\frac{u_o}{R_f}$$

$$u_o = -R_f \left( \frac{u_{I1}}{R_1} + \frac{u_{I2}}{R_2} \right)$$

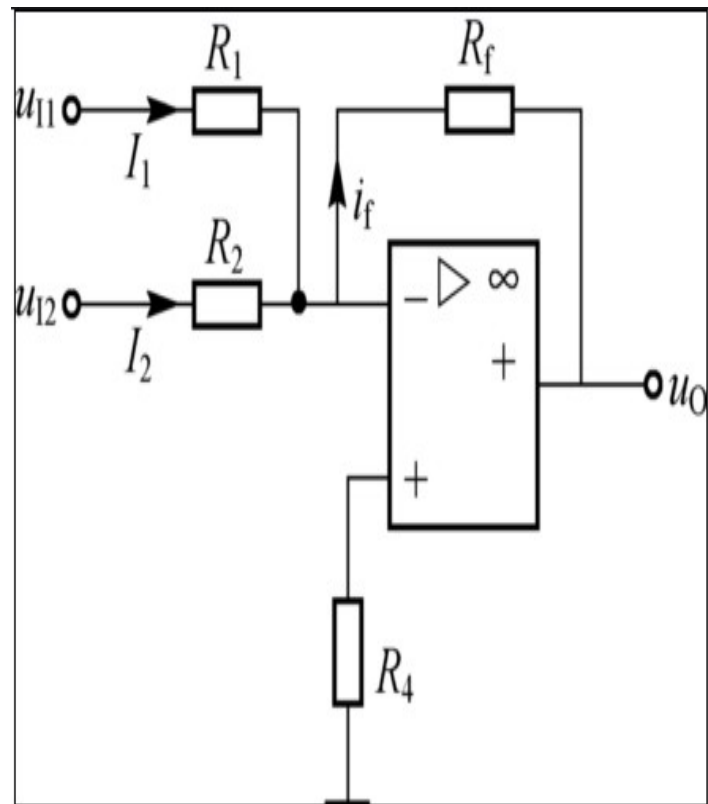


图 3-9

# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## 2. 同相加法运算电路

同相加法运算电路如图 3-10 所示。  
运用叠加原理，根据两条重要结论，可求得

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) u_+ = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \left( \frac{R_2 // R_3}{R_1 + R_2 + R_3} u_1 + \frac{R_1 // R_3}{R_2 + R_1 // R_3} u_2 \right)$$

$$u_o = \left(1 + \frac{R_f}{R}\right) \frac{1}{3} (u_{I1} + u_{I2})$$

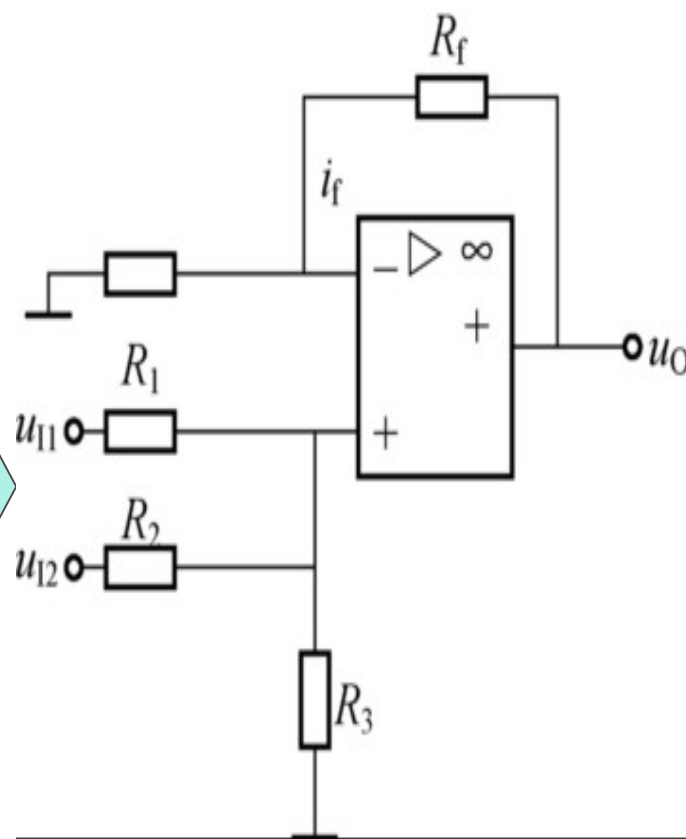


图 3-10

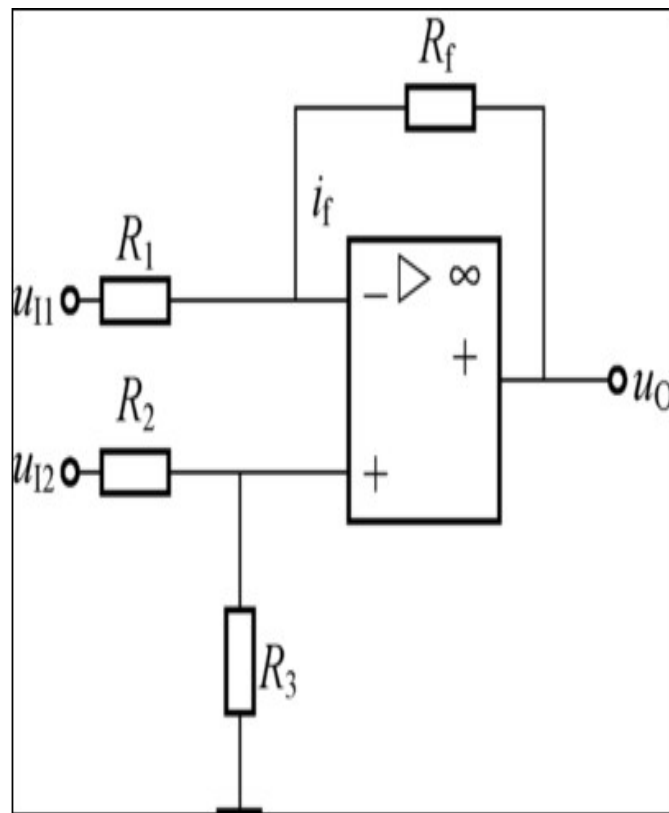
## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### (四) 减法运算电路

图 3-11 所示为减法运算电路。

$$u_o = \left(\frac{R_1 + R_f}{R_1}\right)\left(\frac{R_3}{R_2 + R_3}\right)u_{I2} - \frac{R_f}{R_1}u_{I1}$$



减法运算电路

# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



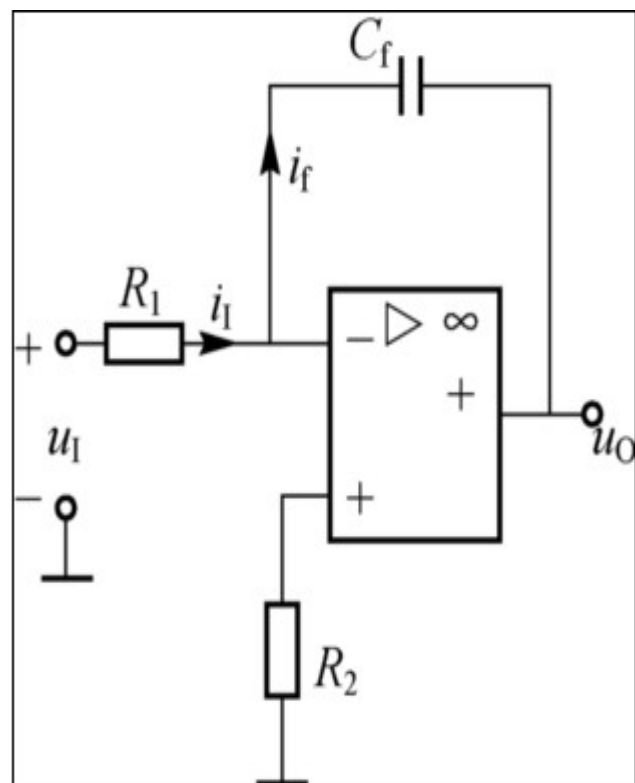
## (五) 积分运算电路与微分运算电路

### 1. 积分运算电

积分运算电路可实现积分运算及产生三角波等，输出电压与输入电压呈积分关系。它是利用电容的充放电来实现积分运算的。

由虚地和虚断可得，输出电压为

$$u_o = -u_c = -\frac{1}{C_f} \int i_f dt = -\frac{1}{R_1 C_f} \int u_i dt$$



积分运算电路

# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## 2. 微分运算电路

由虚地和虚断得  $i_i = i_f$ ,

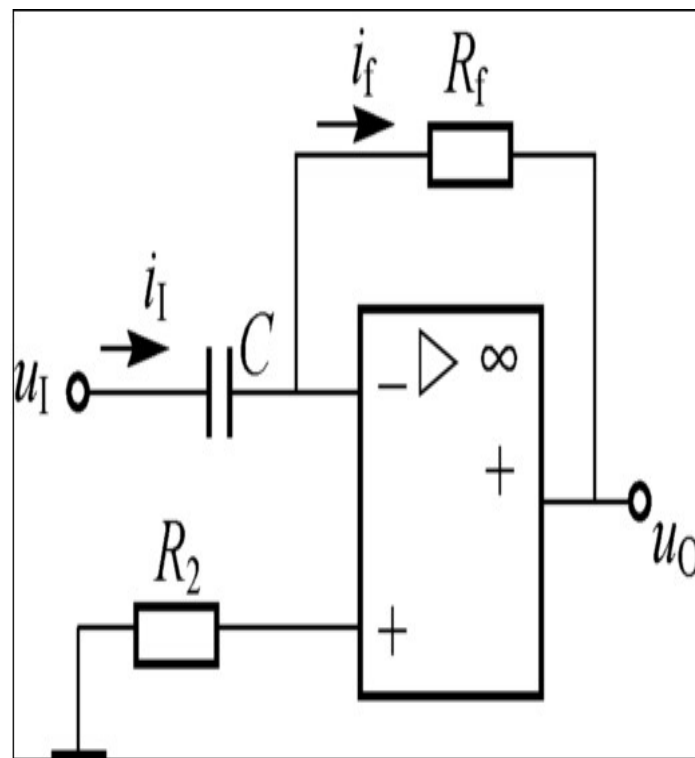
$$i_i = C \frac{du_i}{dt}$$

$$i_f = -\frac{u_o}{R_f}$$

则

$$C \frac{du_i}{dt} = -\frac{u_o}{R_f}$$

$$u_o = -R_f C \frac{du_i}{dt}$$



# 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



## 二 集成运放的非线性应用

### （一）集成运放工作在非线性状态的基本分析方法

- （1）集成运放工作在非线性状态的判定：电路开环或引入正反馈。
- （2）集成运放工作在非线性状态的分析方法如下。
- ①  $u^+ > u^-$  时， $u_0 = +U_{om}$ （高电平输出）。
  - ②  $u^+ < u^-$  时， $u_0 = -U_{om}$ （低电平输出）。
- （3）集成运放的非线性应用。集成运放的非线性应用，如构成电压比较器。电压比较器功能是将一个模拟输入信号与一个参考电压相比较，根据比较结果输出一定的高、低电平，将模拟信号转化为数字信号。电压比较器常用于超限报警、模拟电路和数字电路的接口，以及用作波形产生和变换电路等。

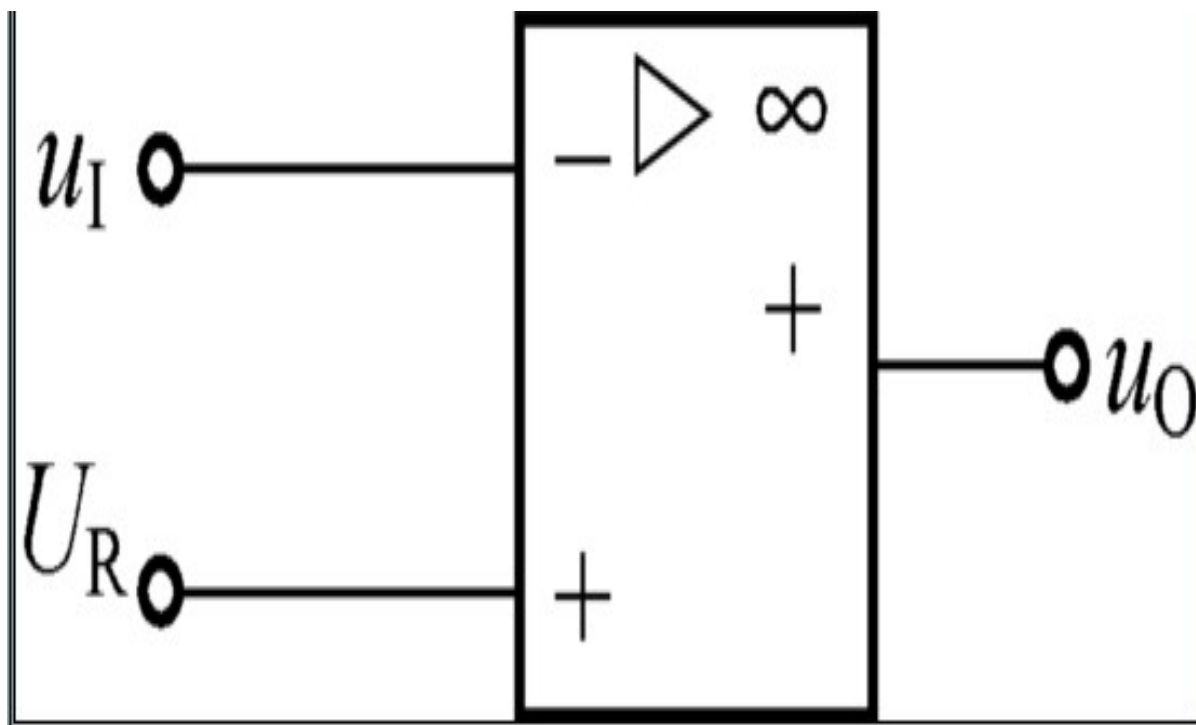
造成电路输出状态发生转变所需加的输入电压称为电路的门限电平（也称阈值电压，常记为  $U_T$ ）。根据电路门限电平的个数，可以把比较器分为单门限比较器和迟滞比较器（也称滞回比较器）两类。



## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### (二) 单门限比较器



反相输入的单门限比较器

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



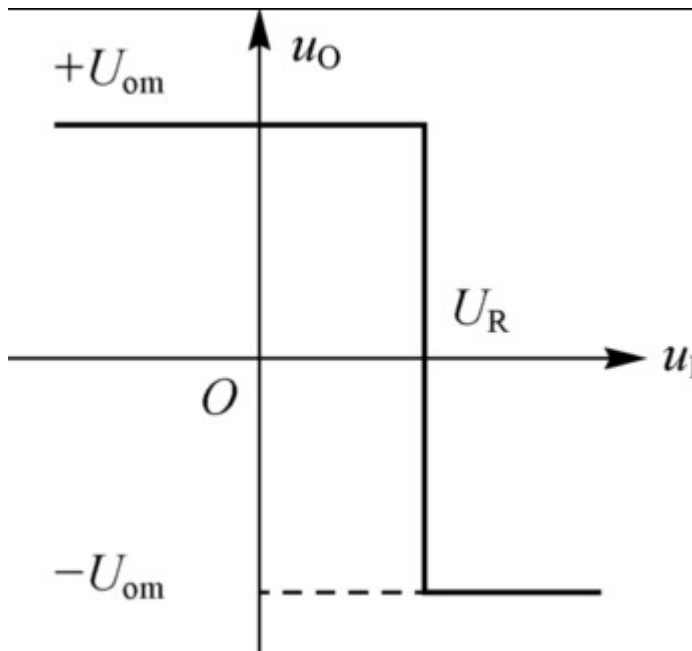
### 工作原理

当  $u_i < U_R$ ，即  $u^+ > u^-$  时， $u_o = +U_o$ （高电平输出）；当  $u_i > U_R$ ，即  $u^+ < u^-$  时， $u_o = -U_{om}$ （低电平输出）。这样得到该电路的电压传输特性如图 3-15 所示。

若图 3-14 中  $U_R = 0$ ，则变为过零比较器，如图 3-16 所示。

过零比较器的阈值电压  $U_T = 0$ ，集成运放工作在开环状态，当输入电压小于 0 时，输出达到正最大；当输入电压大于 0 时，输出电压达到负最大。若要想获得输出电压跃变方向相反的电压传输特性，则应在电路中将反相输入端接地，而在同相输入端接输入电压，其电压传输特性如图 3-17 所示。

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



电压传输特性

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 三

### 集成运放应用中要注意的问题

#### 偏差调整

失调电压和失调电流尽可能小。

两个输入端的直流电阻一定要相等。

输入端总串联电阻（ $R_{S1}$ 、 $R_{S2}$ ）不能过大。

偏流应尽可能地减小。

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 2. 保护措施

#### 保护措施

输入保护。如图 3-19 所示，为了防止差模或共模输入电压过高而产生自锁故障，可在输入端加一限幅保护电路，使过大的信号或干扰不能进入电路。

电源极性错接保护。如图 3-20 所示，为了防止电源反接造成故障，可在电源引线上串入保护二极管，使得当电源极性接反时，二极管处于截止状态。

输出保护。如图 3-21 所示，为了防止输出端碰到高压而击穿或输出端短路造成电流过大，可在输出端增加过压保护电路和限流保护电路。

## 任务二 制作与测试小型家用空调温度控制器



### 3. 性能扩展

实际运放的某些参数有时不能满足实际电路中的要求，如有时需要较高的输入电阻，有时需要较大的输出功率，有时需要高速低漂移等，这时就需要在现有集成运放的基础上增加适当的外围电路进行功能改善。针对有关运放实际应用中的一具体方法和措施，可参阅有关详细资料。



## 目标

- (1) 掌握小型家用空调温度控制器的原理。
- (2) 会查阅元器件资料，识读电路图辨别元器件，检查并测试元器件。
- (3) 掌握小型家用空调温度控制器的制作及调试方法。
- (4) 了解双门限比较器的特点及应用。
- (5) 能对制作过程中遇到的问题进行分析、判断并解决。



## 设备

- (1) 万用表 1 个。
- (2) 示波器 1 台。
- (3) 直流稳压电源 1 台。
- (4) 电路板 1 个。
- (5) 温度计 1 个。
- (6) 电烙铁。
- (7) 相关元器件如表 3-3 所示。



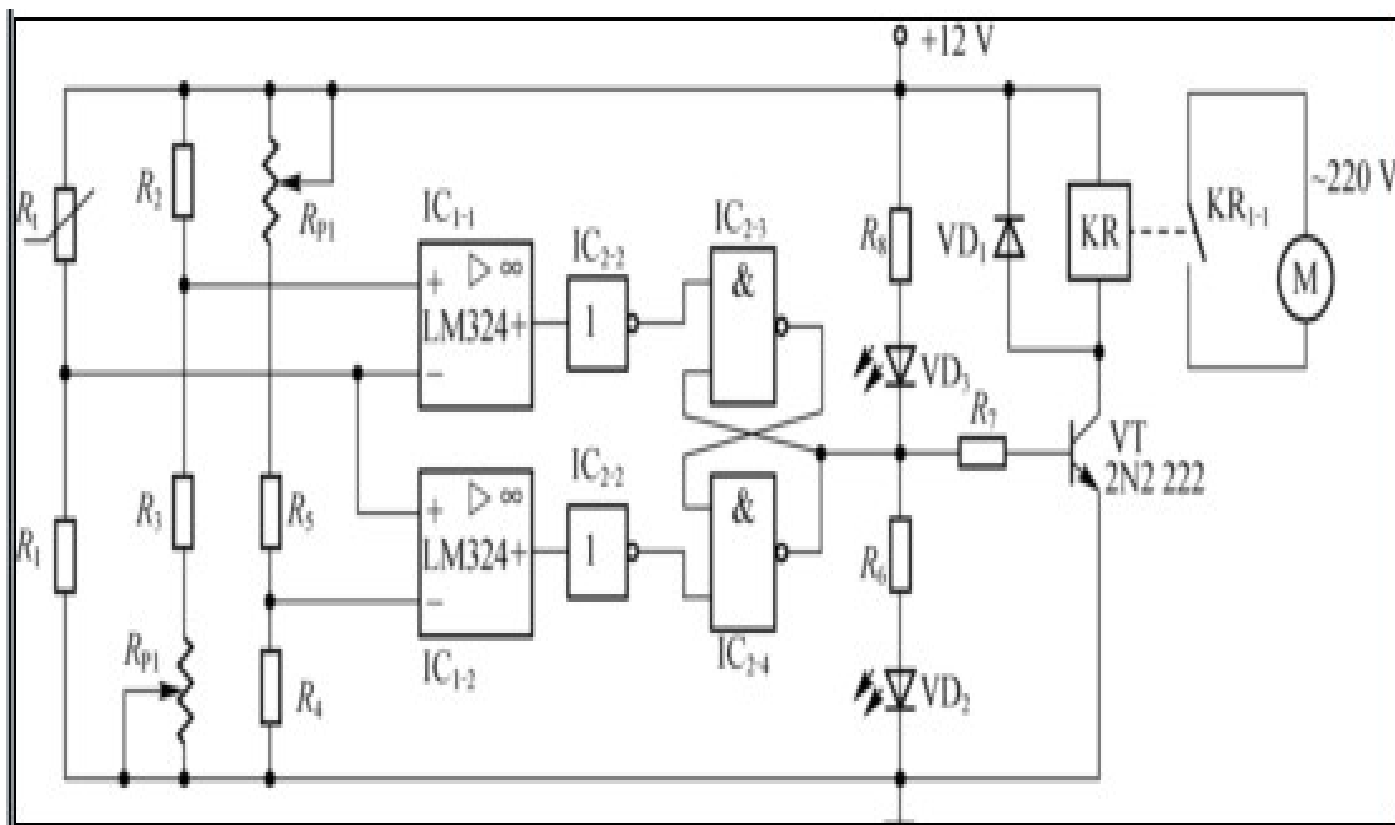


## 三 内容与步骤

### 1. 识

空调温度控制器电路如图 3-22 所示，该电路由集成运算放大器构成双门限比较器，以控制室内的最高温度及空调的开启温度。当空调接通电源时，由  $R_2$ 、 $R_3$ 、及  $R_{p1}$  微调电位器对直流电源分压后给  $IC_{1-1}$  的同相输入端一固定基准电压，由温度调节电路  $R_{p2}$ 、 $R_5$  和  $R_4$  对电源电压分压的微调电位器  $R_{p2}$  调整后输出一个设定温度电压给  $IC_{1-2}$  的反相输入端，这样就由  $IC_{1-1}$  组成开机检测电路，由  $IC_{1-2}$  组成关机检测电路。当室内的温度高于设定温度时，由于负温度系数热敏电阻  $R_t$  和  $R_3$  的分压大于  $IC_{1-1}$  的同相输入端电压和  $IC_{1-2}$  的反相输入端电压， $IC_{1-1}$  输出低电平， $IC_{1-2}$  输出高电平，由  $IC_2$  组成的 RS 触发器的输出端输出高电平，使三极管导通， $VD_2$  发光，继电器吸合，其常开触点闭合，接通压缩机电动机电路，压缩机开始制冷。

# 实践操作 装配与测试小型家用空调温度控制器



空调温度控制器电路

## 实践操作 装配与测试小型家用空调温度控制器



当压缩机工作一段时间后，室内温度下降，达到设定温度时，温度传感器的阻值增大，使  $IC_{1-1}\ominus$  的反相输入端和  $IC_{1-2}\ominus$  的同相输入端电位下降， $IC_{1-1}$  的输出端为高电平，而  $IC_{1-2}\ominus$  的输出端为低电平，RS 触发器的工作状态翻转，其输出低电平，从而使三极管截止， $VD_3$  发光，继电器停止工作，常开触点被释放，压缩机停止运转。

若空调停止制冷一段时间后，室内温度缓慢升高，此时开机检测电路  $IC_{1-1}\ominus$ 、关机检测电路  $IC_{1-2}$ 、RS■ 触发器又翻转一次，使压缩机重新开始工作。这样周而复始地达到控制室内温度的目的。

# 实践操作 装配与测试小型家用空调温度控制器



标号	元件名称	规格型号	数量
$R_1$	电阻	RTX-0.125-3 k $\Omega$ - II	1
$R_2 R_4$	电阻	RTX-0.125-15 k $\Omega$ - II	2
$R_3 R_5$	电阻	RTX-0.125-10 k $\Omega$ - II	2
$R_6$ 、 $R_8$	电阻	RTX-0.125-1 k $\Omega$ - II	2
$R_7$	电阻	RTX-0.125-4.7 k $\Omega$ - II	1
$R_{P1}$ 、 $R_{P2}$	微调电位器	4.7 k $\Omega$	2
$R_t$	负温度系数热敏电阻	1 k $\Omega$	1
$IC_1$	集成电路	LM324	1
$IC_2$	集成电路	CD4011	1

小型家用空调温度控制器电路的元器件清单

# 实践操作 装配与测试小型家用空调温度控制器



标号	元件名称	规格型号	数量
VD <sub>1</sub>	二极管	1N4148	1
VD <sub>2</sub> 、VD <sub>3</sub>	发光二极管	2EF441(R、G)	2
VT	三极管	2N222	1
KP	电磁继电器	JZC-12F/012-12	1
元件数量合计			18

小型家用空调温度控制器电路的元器件清单



## 2. 安装与调

试

- (1) 检测元器件。
- (2) 装配电路。电路板的装配应遵循“点低后高、先内后外”的原则，将电路所用元器件正确装入电路板的相应位置上，采用单面焊接方法，元件面相应元器件高度应平整、一致。
- (3) 检测调试。
  - ① 根据所选热敏电阻的温度特性计算开机、关机温度对应的电压值。
  - ② 根据室内设定的最高温度，选用温水槽设定上限开机温度（用温度计标定），将传感器进入水中，设定开机时  $IC_{1-1}$  感的同相输入端电压。
  - ③ 根据空调关机设定的最低温度，选用冷温水槽设定下限开机温度（用温度计标定），将传感器进入水中，设定关机时  $IC_{1-2}$  的反相输入端电压。
  - ④ 调整微调电位器  $R_{p1}$ 、 $R_{p2}$ ，按以上步骤②、步骤③仔细调好开机、关机基准电压。
  - ⑤ 调整结束后，用指甲漆封牢微调电位器的螺丝。



## 3. 故障分析与排

除

(1) 当接通电源时, 压缩机不工作, 首先检查元器件的焊接情况, 有没有元器件虚焊、漏焊情况; 如果有, 重新焊接, 使接触良好。

(2) 根据室内设定的最高温度, 检测开机时  $IC_{1-1}$  的同相输入端电压; 再根据空调关机设定的最低温度, 检测  $IC_{1-2}$  的反相输入端电压, 如果都是高电平或都是低电平, 调整微调电位器  $R_{p1}$ 、 $R_{p2}$ , 调好开关机基准电压。

(3) 如果以上都没有问题, 压缩机还不能起动, 则检查继电器。看温度降低或升高时能否听到继电器吸合声, 如果没有, 再进行以下测量。



① 测量触点电阻：用万用表的电阻挡测量常闭触点与动点电阻，其阻值应为零，而常开触点与动点的电阻值为无穷大，否则更换继电器。

② 测量线圈电阻：用万用表  $R \times 10 \Omega$  挡测量继电器线圈的阻值，判断该线圈是否存在开路现象。

（4）如果上述三项都没有问题，检查压缩机，如果损坏，则更换压缩机。



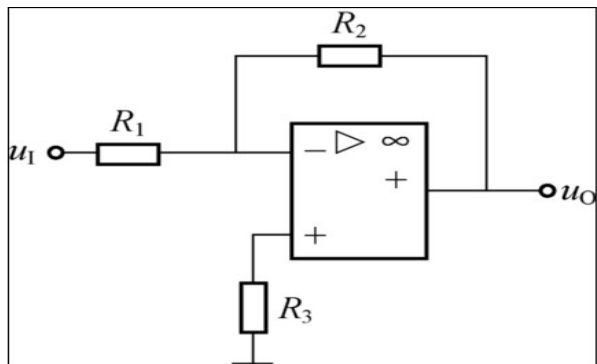
# 思考与练习



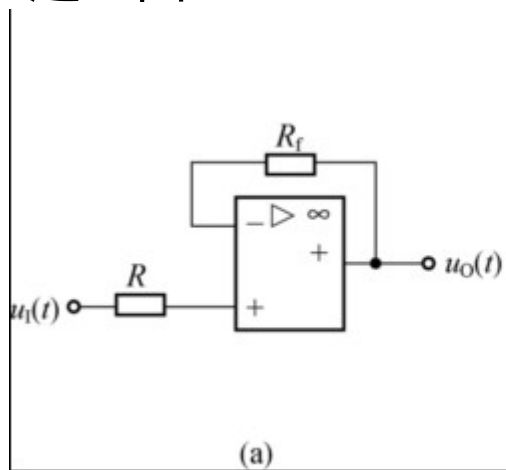
1. 如图 3-23 所示，已知  $R_1=10\text{ k}\Omega$ ， $R_2=100\text{ k}\Omega$ ，求电压放大倍数  $A_{uf}$  和平衡电阻  $R_3$ 。
2. 电路如图 3-24 所示，设各运算放大器均为理想运算放大器，试写出  $u_{o1}$ 、 $u_o$  的表达式。
3. 图 3-25 (a) 所示是由运放组成的跟随器电路。
  - (1) 已知输入电压波形如图 3-25 (b) 所示，画出输出电压波形；
  - (2) 取电阻  $R_F=20\text{ k}\Omega$ ， $R$  应取什么阻值？为什么？
4. 设计一个加减法运算电路，使其实现数学运算： $Y=X_1+2X_2-5X_3-X_4$ 。



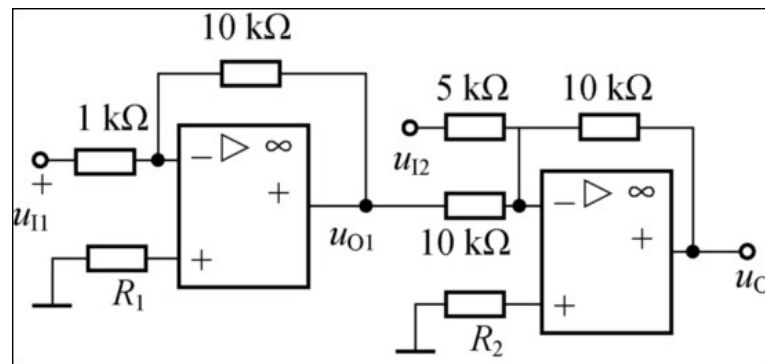
# 思考与练习



题 1 图



题 3 图



题 2 图

