

高级电工实用技术

潘雪峰 张燕 杨国治 编著



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高级电工实用技术

潘雪峰 张 燕 杨国治 编著

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高级电工实用技术/潘雪峰, 张燕, 杨国治编著. —北京: 人民邮电出版社, 2006. 1
ISBN 7-115-13540-1

I. 高... II. ①潘... ②张... ③杨... III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 066280 号

内 容 提 要

本书根据高级电工的职业技能要求结合实际工作需要, 为读者介绍高级电工应掌握的实用技术。书中内容包括电工电子基础知识、电工技能和维修电工技术, 知识讲解到位, 实用性强。

本书适合具备中级电工水平的读者阅读, 也可供参加相关职业培训的人员参考使用。

高级电工实用技术

- ◆ 编 著 潘雪峰 张 燕 杨国治
责任编辑 张 鹏
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
河北人民邮电出版社印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 21
字数: 522 千字 2006 年 1 月第 1 版
印数: 1-5 000 册 2006 年 1 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-13540-1/TN · 2525

定价: 32.00 元

读者服务热线: (010) 67129264 印装质量热线: (010) 67129223

前 言

优秀的技术电工是企业各类人才中的重要组成部分。在科技高速发展的今天，电气电子技术始终在发展，这样，便要求从事电气电子技术工作的技术工人，在原有基础上学习、掌握的实用技术更多、更新，以适应发展的需要。为此，我们根据国家相关部门颁发的职业技能鉴定规范的要求，参考相关培训教材和资料，编写了本书。

书中包括电子技术基础、电力系统与继电保护、变配电所的二次系统及操作电源、高压电器的正常运行与异常处理、电力变压器、电缆终端头及中接头、低压电器、电机、中频高频电炉及炼钢电弧炉、自动控制及可编程控制器等内容，将电子技术基础、电工技术与维修电工技术的主要内容综合于一书，供欲晋升高级电工者自学、参加鉴定考核以及职业培训者使用和参考。

本书编写中参考了有关教材中的图例，在此对这些书的作者深致谢意。

由于编写时间仓促，加之我们水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 电子技术	1
第一节 电子技术基础	1
一、晶体管放大电路	1
二、晶体管偏置电路	3
三、整流电路	4
四、滤波电路	5
五、稳压电路	5
六、可控硅	6
第二节 集成运算放大器	6
一、差动放大电路	7
二、集成运算放大器的组成与特点	9
三、放大电路的负反馈	13
四、线性集成运算放大电路	17
五、集成运算放大器的选择及使用	24
六、应用电路分析方法	26
第三节 数字电路	28
一、数字电路的特点及分类	28
二、数字集成电路性能指标及应用	31
三、触发器	38
四、555 定时器	42
第四节 数字器件	49
一、数的表示方法	49
二、计数器	54
三、寄存器	62
四、译码器及显示电路	64
第二章 电力系统与继电保护	74
第一节 电力系统与电力网	74
第二节 继电保护	80
一、变、配电所的过压保护	80
二、变、配电所的过流保护	85
三、互感器在三相电路中的接线方式	104
四、继电保护的检查与安装调试	108
五、短路电流	117

第三章 变、配电所的二次系统及操作电源	127
第一节 断路器的控制及信号监察	127
第二节 操作电源及二次回路安装调试	131
第四章 高压电器的正常运行与异常处理	145
第一节 高压隔离开关及母线	145
第二节 断路器	146
第三节 熔断器及负荷开关	153
第四节 绝缘子及互感器	155
第五节 其他变、配电设备	156
第五章 电力变压器	159
第一节 变压器的结构、制造及装配	159
一、变压器的铁心结构	159
二、绕组的结构和制造	160
三、变压器的装配	161
第二节 变压器的主要技术知识	162
第三节 变压器重绕的计算	172
第四节 变压器的检修、调试及试验	174
一、变压器的检修及测试	174
二、变压器检修后的装配与试验	176
第六章 电缆终端头及中间接头	181
一、电缆附件的性能	181
二、电缆附件的结构特点	182
三、电缆附件的安装	187
第七章 低压电器	202
一、低压电器的定义及分类	202
二、低压电器的作用、结构和选择	203
第八章 电机	211
第一节 高压电动机	211
一、高压电动机的保护	211
二、高压同步电动机的安装与调试	214
三、同步电动机的励磁及调试	219
四、同步电动机的试车	228
五、同步发电机的并联运行	230
第二节 三相异步电动机	232

第三节 直流电机	244
一、直流电机的特性及参数	244
二、直流电动机换向器	249
三、直流电动机绕组的重绕和改接	251
第四节 电机转子平衡试验和校平衡	258
一、电机转子校平衡	258
二、转子校平衡的方法	259
第五节 电机的安装、调整及维修	261
一、电机的安装及调整	261
二、电机维护、拆装及维修	264
第六节 特种电机	265
第九章 中频、高频电炉及炼钢电弧炉	275
第一节 中频电炉	275
第二节 中频电源、高频电源及炼钢电弧炉的原理	276
一、中频电源的工作原理	276
二、高频电源的工作原理	283
三、炼钢电弧炉的构成及要求	285
第三节 中频电源、高频电源和炼钢电弧炉的安装调试	290
一、中频电源的安装调试	290
二、高频电源的安装调试	291
三、炼钢电弧炉的安装调试	292
第十章 自动控制	295
第一节 自动控制概念及类型	295
第二节 数显装置	298
一、光栅	298
二、磁尺	300
三、感应同步器	303
第十一章 可编程序控制器	308
第一节 可编程序控制器定义及特点	308
第二节 可编程序控制器的基本原理	308
第三节 F 系列 PC 简介	310
第四节 PC 的逻辑指令和编程器应用	313
一、PC 的逻辑指令简介	313
二、PC 的编程方式及规则	316
三、编程器与应用	316
第五节 PC 的应用及维护检修	322
一、PC 的应用	322
二、PC 的维护与检修	323

第一章 电子技术

第一节 电子技术基础

一、晶体管放大电路

1. 基本放大电路

图 1-1 为共射极基本放大电路。

电路中各元器件作用：

三极管 VT——放大电流。

电源 U_{CC} ——为三极管提供直流偏置电压，并输出信号所需的能量。

偏置电阻 R_B ——提供适宜的基极偏流。

集电极电阻 R_C ——将直流电流放大转为电压放大。

耦合电容 C_1 、 C_2 ——起隔断直流和传递交流信号的作用。

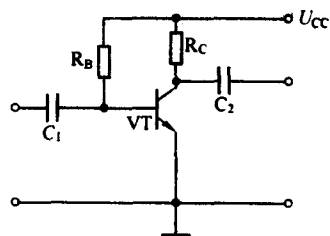


图 1-1

2. 静态工作情况

即在没有交流信号输入时，放大电路中各处的电压及电流均为不变的直流量，则放大器所处的工作状态称作静态。

静态时的有关电流、电压数值按下式计算：

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

当 $U_{CC} \gg U_{BE}$ 时，则

$$I_B \approx \frac{U_{CC}}{R_B}$$

若忽略穿透电流 I_{CEO} 时，则

$$I_C = \beta I_B$$

集电极电压

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

3. 动态工作情况

放大器有信号输入时的工作状态, 称作动态。如图 1-2 所示。

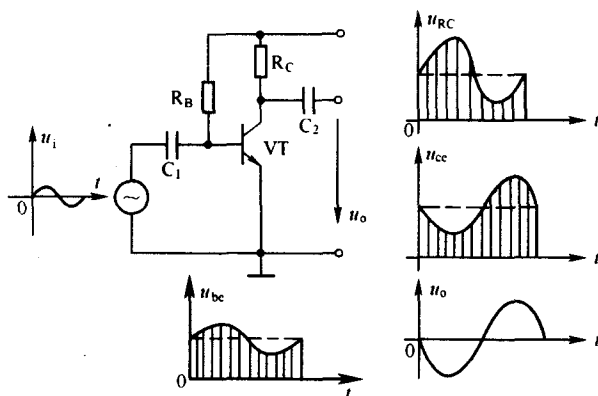


图 1-2

此时, 输入一个正弦信号 u_{be} , 电容 C_1 、 C_2 对交流信号相当于短路, 则加至发射结的电压为静态与动态情况的叠加值, 成为脉动电压, 产生相应地脉动基极电流 i_b 。由于晶体管 VT 的放大作用, 经 C_2 隔直后, 输出电压波形 u_{ce} 的变化规律与 u_{be} 的变化规律相似, 但相位相反(即输出电压相位与输入信号的相位相差 180°), 称作反相作用。

4. 图解分析法的步骤

① 根据直流通路作输出回路的直流负载线, 其方程为

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

斜率为 $1/R_C$, 连接 $M(U_{CC}, 0)$ 、 $N(0, \frac{U_{CC}}{R_C})$ 两点, 即为直流负载线。

② 由 $I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$ 计算静态时基极电流 I_B 的值, 在直流负载线上找出对应的静态工作点 Q 。

③ 根据交流通路计算等效的交流负载电阻 R'_L , 在输出特性曲线上, 过静态工作点 Q 作斜率为 $1/R'_L$ 的交流负载线。

④ 根据交流负载线, 确定信号的最大不失真幅度。

从图解分析法可知:

① 基本放大电路中输出电压与输入电压反相。

② 在相同输入电压的情况下, 负载电阻 R_L 接入时, 交流负载线的斜率增加, 输出电压的幅度减小。

③ 静态工作点过高时, 引起饱和失真; 静态工作点过低时, 引起截止失真。

5. 电压放大倍数及输入、输出电阻

(1) 放大器的电压放大倍数

$$A_r = \frac{U_{ce}}{U_{be}}$$

空载时的电压放大倍数

$$A_r = -\beta \frac{R_c}{r_{BE}}$$

带负载后的电压放大倍数

$$A_r = -\beta \frac{R'_L}{r_{BE}}$$

式中 $R'_L = R_c // R_L$

(2) 输入、输出电阻

放大器的输入电阻愈高，则从信号源索取的电流愈小。

放大器的输出电阻愈小，带负载后输出电压相差愈小，即放大器的带负载能力愈强。

输入电阻

$$r_{BE} = 300 + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_c(\text{mA})} \quad (\Omega)$$

二、晶体管偏置电路

晶体管常用的偏置电路及其工作原理、特点和参数选择见表 1-1。

表 1-1

晶体管基极偏置电路

名称	固定偏流式	电压负反馈式	电流负反馈式	混合负反馈式
电路				
原理	温度上升， I_c 增加，工作点产生漂移，电路不稳定	温度上升， I_c 增加， R_c 上压降增大，使 I_b 减小，形成电压负反馈，以减小温度对工作点的影响	温度上升， I_c 、 I_e 随之增加， R_e 电压下降增大， $U_{be} = U_{Rb} - U_{Re}$ ，而 U_{Rb} 变化不大，则 U_{be} 减小，使 I_b 减小，形成电流负反馈，以减小温度对工作点的影响	同时存在电压负反馈及电流负反馈，以便更好地减小温度对工作点的影响，使稳定性提高
特点	1. 电路简单 2. 偏置电路损耗小 3. 稳定性差	1. 电路简单 2. 比较稳定， R_c 越大、 R_b 越小越稳定 3. 负反馈失真可减小，而放大倍数减低 4. 级间采用变压器耦合或 R_c 很小，则稳定性较差	1. 电路较复杂 2. R_c 越大， R_b 、 R_e 越小越稳定，稳定性好 3. R_c 越大， R_b 、 R_e 越小，损耗越大 4. 电容 C_e 能旁路交流分量，可防止交流信号因负反馈而减小放大倍数	同时具有电压负反馈及电流负反馈的特点

续表

名称	固定偏流式	电压负反馈式	电流负反馈式	混合负反馈式
参数选择	$R_b \approx \frac{U_{CC}}{I_b}$ $\approx \beta \frac{U_{CC}}{I_c}$	$R_b \approx \frac{U_{CC} - I_c R_c}{I_b}$ $\approx \beta \frac{U_{CC} - I_c R_c}{I_c}$	$R_e \begin{cases} \text{低放取几百欧} \sim \text{几千欧} \\ \text{功放取十几欧} \sim 0 \text{ 欧} \end{cases}$ $C_e \text{ 低放取几十 } \mu\text{F}$ $R_e, R_b \text{ 取值后应满足:}$ $I_1 = \begin{cases} (5 \sim 10) I_b (\text{硅管}) \\ (10 \sim 20) I_b (\text{锗管}) \end{cases}$ $U_b = \begin{cases} (3 \sim 5) \text{V} (\text{硅管}) \\ (1 \sim 3) \text{V} (\text{锗管}) \end{cases}$	依据电压负反馈和电流负反馈电路的原则选取

三、整流电路

整流电路的作用是利用二极管的单向导电性，将交流电转换成脉动的直流电。

几种常用整流电路的参数及优缺点见表 1-2。

表 1-2

常用整流电路比较

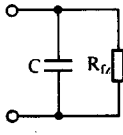
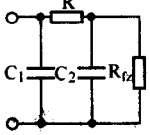
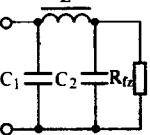
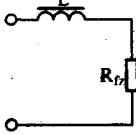
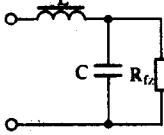
电路名称	单相半波	单相全波	单相桥式	三相半波	三相桥式
电路图					
输出波形					
输出直流电压 U_{fa}	$0.45 U_2$	$0.9 U_2$	$0.9 U_2$	$1.17 U_2$	$2.34 U_2$
输出直流电流 I_{fa}	$0.45 \frac{U_2}{R_{fa}}$	$0.9 \frac{U_2}{R_{fa}}$	$0.9 \frac{U_2}{R_{fa}}$	$1.17 \frac{U_2}{R_{fa}}$	$2.34 \frac{U_2}{R_{fa}}$
二极管承受的最大反向电压	$1.41 U_2$	$2.83 U_2$	$1.41 U_2$	$2.45 U_2$	$2.45 U_2$
流过每个二极管的平均电流	I_{fa}	$\frac{1}{2} I_{fa}$	$\frac{1}{2} I_{fa}$	$\frac{1}{3} I_{fa}$	$\frac{1}{3} I_{fa}$
优缺点	1. 电路简单, 元件最少 2. 输出直流电压低, 电流小 3. 输出波形脉动大 4. 整流效率低	1. 电路较简单, 元件较少 2. 输出直流电压高, 电流大 3. 输出波形脉动较小 4. 变压器次级中心需抽头, 利用率不高 5. 二极管反向电压高	1. 电路较简单, 元件较多 2. 输出直流电压高, 电流大 3. 输出波形脉动较小 4. 变压器利用率不高, 次级不需中心抽头 5. 二极管反向电压低	1. 电路较复杂, 元件较多 2. 直流输出功率大, 适于大功率场合 3. 输出波形脉动小	1. 电路复杂, 元件最多 2. 直流输出功率大, 适于大功率场合 3. 输出波形脉动最小 4. 变压器利用率高

四、滤波电路

滤波电路的作用，是尽量降低输出直流电压中的脉动成分，保留直流成分，使输出电压的波形更加平滑且幅度有所提高。

各种滤波电路的比较见表 1-3。

表 1-3 各种滤波电路的比较

类 型	电容滤波	RC- π 型滤波	LC- π 型滤波	电感滤波	LC 滤波
电 路					
适用场合	负载较小	小负载及负载稳定	对电源波形要求高	大功率及负载变化较大	大功率及负载变化较大
输出电压	高	较高	高	低	低
输出电流	较小	小	较小	大	大
电压随负载变化情况	大	大	大	小	较小
滤波效果	较差	较好	好	较差	较好

五、稳压电路

经滤波后的直流电压因仍受电网电压波动或负载变化的影响，尚需将电压予以稳定，故设置稳压电路。

稳压电路，主要是利用硅稳压管器件工作在反向击穿时的特点，即当电流在较大范围内变化时，管子两端的电压变化很小，从而达到稳定输出电压的目的。

常用的串联型稳压电路，是由取样电路、基准电源、比较放大电路及调整电路所组成。

取样电路：其作用是对输出电压的变化进行取样，并将输出电压变化量的一部分传送给放大电路。

基准电源：其作用是提供一个基准电压，通常由稳压管产生。

比较放大电路：其作用是将采样得到的信号与基准电压进行比较，并把比较得到的偏差信号进行放大，之后送给调整电路。

调整电路：其作用是根据比较、放大所得到的结果对输出电压进行调整，保持输出电压的基本稳定。

串联型稳压电路的实质，就是利用电压串联负反馈的作用，来维持输出电压基本稳定的。

目前在许多电子电路中，采用三端稳压集成电路进行稳压，使稳压电路结构大为简化，更有利于应用。

六、可控硅

可控硅又称晶体闸流管，是一种大功率硅半导体器件，主要用于可控整流、逆变、变频及调压等设备中。

(1) 可控硅工作特点

① 可控硅具有反向阻断能力，即加上反向电压时，可控硅关断。

② 可控硅导通需具备以下三个条件：

- 阳极加正向电压；
- 门极(又称控制极)加适当大小的正向触发电压；
- 阳极电流要大于维持导通的电流。

③ 可控硅一旦导通，门极便失去了控制作用，正向压降在 1V 左右。欲使导通的可控硅关断，必须将阳极电压切断或反向，使阳极电流降至维持导通电流以下。

(2) 可控硅整流电路

将晶体二极管整流电路中的二极管换成可控硅，即成为可控硅整流电路。

可控硅分单向可控硅和双向可控硅，双向可控硅多用于交流电路，控制负载电源的通、断和调整其电压高低。

常用可控硅整流电路性能比较见表 1-4。

表 1-4

常用可控硅整流电路性能比较

名 称	单 相 半 波	单 相 桥 式	单相桥式(一只可控硅)	三相桥式半控
输出电压平均值	$0 \sim 0.45 U_2$	$0 \sim 0.9 U_2$	$0 \sim 0.9 U_2$	$0 \sim 2.34 U_2$
最大移相范围	180°	180°	180°	180°
最大导通角 θ	180°	180°	360°	120°
最大正向电压	$1.41 U_2$	$1.41 U_2$	$1.41 U_2$	$2.45 U_2$
最大反向电压	$1.41 U_2$	$1.41 U_2$	0	$2.45 U_2$
平均电流	I_{A}	$\frac{1}{2} I_{\text{A}}$	I_{A}	$\frac{1}{3} I_{\text{A}}$
优点	只用一个可控硅，简单、经济，调整方便	两个可控硅共用一套触发电路	用一只可控硅，且不承担反向电压	输出脉动小，变压器利用率高
缺点	输出脉动大，变压器利用率低	电感性负载需加续流管	电感性负载需加续流管	电路复杂，元件多
适用场合	波形要求不高的低电压小电流负载	小功率负载	小功率负载	大功率高电压负载

第二节 集成运算放大器

作为高级电工，在掌握上述的中级电工电子基础知识上，应熟悉集成运放的参数，能分析负反馈电路、线性及非线性运放电路，并掌握运放电路的特点。

集成电路,是将晶体管、二极管、电阻等元器件以及连接导线,应用半导体制造工艺将其集中制造在一块半导体基片上。

集成电路按功能分模拟集成电路及数字集成电路两大类。集成运算放大器简称集成运放或运放,是模拟集成电路的一种,其特点是通用性强,有“万用半导体器件”之美称,被广泛用于控制、检测、通信及仪表等多种技术领域中。

一、差动放大电路

1. 零点漂移及其危害

零点漂移是指将输入端短路,即输入信号为零时,其输出端将输出缓慢变化的电压,使正常值偏离。零点漂移简称为零漂。

导致零点漂移的原因很多,如电源电压波动、元器件参数变化及环境温度变化等。其中环境温度变化,是产生零点漂移(又称温漂)的主要原因。

零点漂移在直接耦合放大电路中最为明显,因前级的零点漂移电压与有用信号混合在一起后,经逐级传输放大,在输出端的零点漂移电压及有用信号便难以区分,使放大电路不能正常工作。可见,第一级的零点漂移对输出端影响最大。欲减小整个放大电路的零点漂移,应首先减小第一级零点漂移。抑制零点漂移的方法较多,而最常用的方法是采用差动放大电路。

2. 差动放大电路

差动放大电路,主要由两个完全对称的共射极电路组成,如图 1-3 所示。

图中,三极管 VT_1 、 VT_2 的型号及特性应相同, $+U_{CC}$ 、 $-U_{EE}$ 及射极电阻 R_E 为两只三极管共用,信号从 VT_1 、 VT_2 的基极输入,经放大后从 VT_1 、 VT_2 的集电极输出。

(1) 静态零输入——零输出特性

静态时, $u_{i1} = u_{i2} = 0$, 相当于两个输入端短路, $-U_{EE}$ 经 R_E 、 R_B 向 VT_1 、 VT_2 提供相同的基极电流。鉴于差动放大电路对称,则 VT_1 、 VT_2 的集电极电流相等,集电极电位亦相同,即 $V_{C1} = V_{C2}$, 故输出电压等于零,即

$$U_o = V_{C1} - V_{C2} = 0$$

此即为差动放大电路的零输入——零输出特性。RP 为调零电位器,用来调整放大电路使其在静态时,输出电压 U_o 为零。

(2) 零点漂移抑制原理

由于差动放大电路是对称的,当环境温度变化时, VT_1 、 VT_2 的集电极电流 I_{C1} 、 I_{C2} 等值增大或等值减小,集电极电位 V_{C1} 、 V_{C2} 等值减小或等值增大,这样输出电压 $U_o = V_{C1} - V_{C2} = 0$ 。

即温度变化时, VT_1 、 VT_2 虽出现了零点漂移,但由于电路对称,其输出端零点漂移相互抵消,从而抑制了零点漂移。

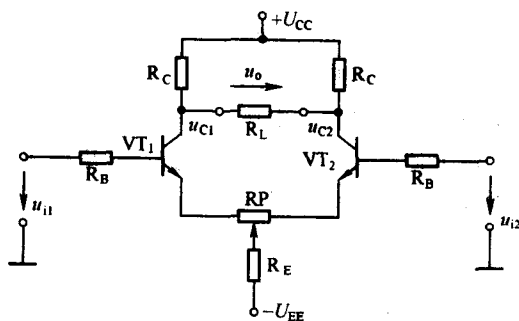


图 1-3

除此，发射极电阻 R_E 尚能减小 VT_1 、 VT_2 的零点漂移，即 R_E 值越大，静态工作点越稳定，抑制零点漂移作用越强，使电路总的零点漂移进一步得到抑制。

(3) 差模输入

差模输入是指两个输入信号的电压相等、极性相反，即

$$u_{i1} = -u_{i2}$$

两个输入端的电压之差，称作差模输入电压；用 u_{id} 表示，则

$$u_{id} = u_{i1} - u_{i2} = u_{i1} - (-u_{i2}) = 2u_{i1}$$

或

$$u_{i1} = -u_{i2} = \frac{1}{2}u_{id}$$

在差模输入电压的作用下， VT_1 、 VT_2 中的电流或电压之变化，必然一增一减，因此差模输出电压 u_{od} 是单管集电极电位或单边输出电压的两倍，即

$$u_{od} = U_{C1} - U_{C2} = 2U_{C1}$$

由此可见，差动放大电路对差模输入电压具有放大作用，其差模电压放大倍数 A_{ud} 为

$$A_{ud} = \frac{u_{od}}{u_{id}} = \frac{2U_{C1}}{2u_{i1}} = A_1$$

式中 A_1 ——单边电路的电压放大倍数。

上式表明，双端输出的差动放大电路的差模电压放大倍数与单管共射极电路的电压放大倍数相同。

射极电阻 R_E 对差模信号相当于短路，对差模电压放大毫无影响。因差模输入信号使 VT_1 、 VT_2 的电流一增一减， R_E 上的电压不变。

(4) 共模输入

共模输入是指两个输入信号的电压大小相等，极性相同，即

$$u_{i1} = u_{i2}$$

在共模输入电压作用下， VT_1 、 VT_2 中的电流或电压之变化，必然均增或均减。鉴于差动放大电路是对称的，则 VT_1 、 VT_2 的集电极电位(单边输出电压)相等，即 $U_{C1} = U_{C2}$ ，故两管集电极的共模输出电压 $u_{oc} = U_{C1} - U_{C2} = 0$ 。

由上述可见，差动放大电路在共模输入电压作用下，共模输出电压 u_{oc} 为零，则共模电压放大倍数 A_{uc} 亦为零，即

$$A_{uc} = \frac{u_{oc}}{u_{ic}} = 0$$

差动放大电路两个输出端的零点漂移电压是相同的，将其折合到两个输入端后，则输入等效零点漂移电压即相当于共模输入电压，故共模电压放大倍数为零，说明差动放大电路的零点漂移为零。

差动放大电路的特点，是放大差模电压(即有用信号)，抑制共模电压(即无用信号)。

衡量差动放大电路放大差模信号及抑制共模信号的能力，是用共模抑制比 K_{CMR} 来表示的，即

$$K_{CMR} = \frac{A_{ud}}{A_{uc}}$$

当用分贝(dB)表示时，则

$$K_{CMR}(\text{dB}) = 20 \lg K_{CMR}$$

理想的差动放大电路 $A_{uc} = 0$, $K_{CMR} = \infty$ 。通常差动放大电路的 K_{CMR} 为 $10^3 \sim 10^6$ 。

为了提高共模抑制比 K_{CMR} , 除要求电路对称外, 主要是增大射极电阻 R_E 。在集成电路中, 多用晶体管组成的恒流源来代替电阻 R_E 。

(5) 任意输入

任意输入是指两个输入的信号电压大小不相等, 即

$$|u_{i1}| \neq |u_{i2}|$$

任意输入的电压可看成由差模输入电压及共模输入电压叠加而成。其中:

输出的共模电压为

$$u_{oc} = A_{uc} u_{ic} = 0$$

输出的差模电压为

$$u_{od} = A_{ud} u_{id} = A_{ud} (u_{i1} - u_{i2})$$

利用叠加原理, 则求出总的输出电压为

$$u_o = u_{od} + u_{oc} = u_{od} = A_{ud} (u_{i1} - u_{i2})$$

上式表明, 差动放大电路的信号任意输入时, 其输出电压只与 u_{i1} 、 u_{i2} 有关。任意输入的差动放大电路, 常用在检测及自动控制系统中。

(6) 输入—输出方式

差动放大电路有两个输入、两个输出端, 应依其工作需要构成不同的输入—输出方式。如双端输入—双端输出方式, 电路中不用公共接地端, 如图 1-3 所示; 单端输入—单端输出方式, 即一端接地的信号源, 另一端为接地的负载, 以及输入和输出均有公共接地端的电子设备, 如图 1-4 所示。

除此, 尚有双端输入—单端输出方式及单端输入—双端输出方式。

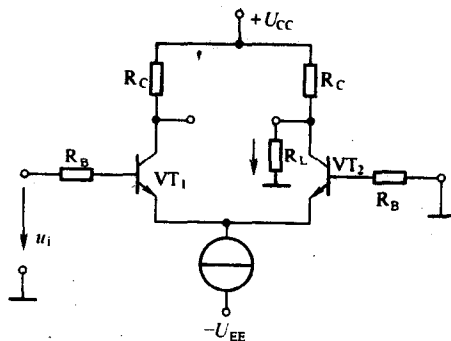


图 1-4

二、集成运算放大器的组成与特点

1. 集成运放的组成

集成运放的品种繁多, 内部电路亦有差异, 但基本结构均是由输入级、中间级、输出级及偏置电路四个部分组成, 其结构框图如图 1-5(a) 所示, 集成运放的图形符号如图 1-5(b) 所示。

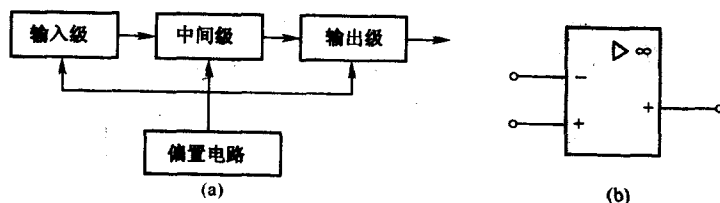


图 1-5

(1) 输入级

输入级具有两个输入端，一个输出端，为减小零点漂移，抑制干扰信号，多采用差动放大电路。集成运放的性能指标取决于输入级方式，一般是工作在低电流状态，以获取高输入电阻。

(2) 中间级

中间级又称电压放大级，其作用是提供很高的电压放大倍数，多由一级或多级共射极电路组成。

(3) 输出级

输出级用来提供较大的输出功率，具有较强的带负载能力。输出级是与负载相连，多采用射极输出器或互补对称功放电路。

(4) 偏置电路

偏置电路用来为各级电路提供偏置电流(或偏置电压)，一般采用晶体三极管恒流源等组成。

集成运放的图形符号含义如下：

- “ $\triangleright \infty$ ”——理想运放；
- “-”——反相输入端，表示信号从该端输入时，则输出信号与输入信号相位相反；
- “+”——同相输入端，表示信号从该端输入时，输出信号与输入信号相位相同；
- 输出端“+”——表示与输入端的极性关系。

2. 集成运放的特点

由于集成运算放大器是采用集成技术制造的，在其制造工艺上受到一定限制，故具有以下特点。

- ① 由于集成电路中不适于集成电感及大电容，故集成运放采用直接耦合方式。
- ② 集成电路中的二极管，是用晶体三极管的集电极与基极连接代替，而几十千欧以上的大电阻，则用晶体三极管恒流源替代或者采用外接电阻，以缩小集成电路体积，更有利于集成化。
- ③ 在硅片上制作的晶体三极管等器件，其参数对称性好，更有利于对称性要求较高的差动放大电路。
- ④ 安装使用方便，工作稳定可靠。

3. 集成运放的外形与引脚

集成运算放大器常见的外形封装有圆筒式金属壳封装，有扁平式、双列直插式塑料封装或陶瓷封装，如图 1-6 所示。

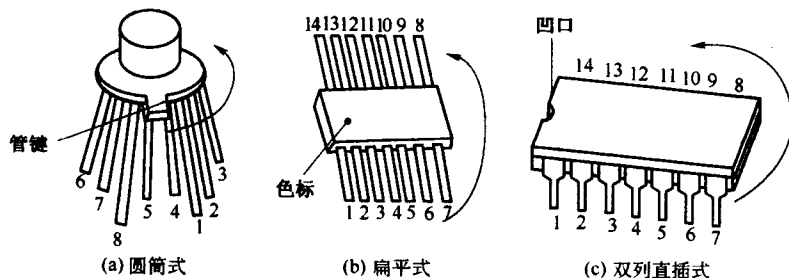


图 1-6