

电路

应用系列

| 何希才 编著 |

常用集成电路 应用实例



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电路应用系列

常用集成电路应用实例

何希才 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要介绍集成电路应用实例的设计,内容包括集成运算放大器、集成功率放大器、555 定时器、A/D 和 D/A 转换器、常用传感器、数字集成电路、集成稳压器和其他集成电路应用实例,所选实例结构合理、设计新颖、性能优良、实用性强。书中还提供常用电子系统设计实例,可作为读者学习该书内容的自测题,也可作为大专院校相关课程设计的参考题。

本书可作为电子电路设计人员和大专院校师生的参考书,也可作为电子工程技术人员实用电路手册。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

常用集成电路应用实例/何希才编著. —北京:电子工业出版社,2007.6

(电路应用系列)

ISBN 978-7-121-04556-1

I. 常… II. 何… III. 集成电路 IV. TN4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 081306 号

责任编辑:刘海艳 文字编辑:宋兆武

印 刷:北京民族印刷厂

装 订:北京鼎盛东极装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:26 字数:666 千字

印 次:2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5000 册 定价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

版务热线:(010)88258888。

前 言

电子技术的应用范围非常广,已经渗透到人类生活的各个方面。对于现代人来说,无论从事什么工作都要与电子技术打交道。本书正是为普及电子技术而编写的。本书使读者能更好地掌握电子电路的设计与制作技术,能设计功能更佳的电路,还为电子设备维护人员提供各类参考电路。

本书将电子技术的有关理论与实践有机地结合在一起,介绍的电子电路应用实例设计新颖、结构合理、性能优良、实用性强,稍加修改就可用于读者的设计系统。在本书编写时精选了各类电路,力求使编入的电路体现最新技术和功能,器件参数准确,调试方法得当,对各种电路给出了原理图与参数,并对性能特点和应用范围都进行了说明,非常方便读者使用。

本书分为9章。第1章,集成运算放大器的应用,主要介绍集成运算放大器的类型与特性参数、实用技术和应用电路设计实例。第2章,集成功率放大器的应用,主要介绍功率放大器的特征与类型、线性功率放大器设计实例、D类功率放大器的设计和应用实例。第3章,555定时器的应用,主要内容有555定时器的工作原理与基本应用,以及其在控制、转换、定时、信号发生、电源与传感电路等方面的应用实例。第4章,A/D和D/A转换器的应用,内容包括A/D和D/A转换器的参数与选用、A/D与D/A转换器的应用实例。第5章,常用传感器的应用,主要介绍温度、湿度、压力、光敏、磁敏、气敏、超声波、热释电和电流传感器的应用电路。第6章,数字集成电路的应用,主要内容有数字集成电路的分类与特性、数字集成电路应用实例的设计。第7章,集成稳压器的应用,主要介绍三端线性集成稳压器和多端线性集成稳压器、开关电源集成控制器的应用。第8章,其他集成电路的应用,包括对数与乘除运算的集成电路、ICL8038的应用和模拟开关的应用。第9章,电子系统设计实例,主要是电源系统、控制系统、测量系统、放大系统、信号发生系统和接收/发射系统设计实例。

在本书编写过程中,参考了何川、王桂琴、徐茜、王慧艳、侯春明、何涛、徐天福、张明莉、薛永毅、尤克、侯莉、孙德文、苏文平、任力颖、邓善春等作者的资料,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 集成运算放大器的应用	1
1.1 集成运算放大器的特点、类型与特性参数	1
1.1.1 集成运算放大器的特点	1
1.1.2 集成运算放大器的类型	1
1.1.3 集成运算放大器的特性参数	3
1.2 集成运算放大器实用技术	5
1.2.1 集成运算放大器的理想特性	5
1.2.2 虚短路和虚断路原则	6
1.2.3 工作电源	6
1.2.4 相位补偿	7
1.2.5 零点调整	10
1.2.6 温度与时间对特性的影响	11
1.2.7 电阻 R_i 和 R_f 的选用	11
1.2.8 实装时相位滞后引起的自激振荡	12
1.2.9 信号源阻抗的影响	13
1.2.10 输入/输出端的保护	13
1.2.11 运算放大器实例	14
1.3 集成运算放大器应用电路的设计	15
1.3.1 集成运算放大器的线性应用	15
1.3.2 比较器电路、整流电路和限幅电路	25
1.3.3 振荡器电路	31
1.3.4 检测电路	38
1.3.5 电动机控制电路	53
1.3.6 转换电路	58
1.3.7 滤波器电路	63
1.4 集成运算放大器应用实例	69
1.4.1 运算放大器构成的振幅稳定的振荡电路	69
1.4.2 失真小而振幅稳定的振荡电路	70
1.4.3 精密的峰值保持电路	70
1.4.4 使用运算放大器增大输出电流的电路	70
1.4.5 使用运算放大器 $\mu A741$ 的升压电路	71
1.4.6 使用运算放大器构成的 $\pm 135V$ 升压电路	71
1.4.7 使用运算放大器构成的高压跟随器电路	73
1.4.8 共模抑制比较高的差分放大器	73
1.4.9 光电隔离放大器电路	73

第2章 集成功率放大器的应用	75
2.1 功率放大器的特征与类型	75
2.1.1 功率放大器的特征	75
2.1.2 功率放大器的类型	75
2.2 线性功率放大器设计实例	78
2.2.1 STK084G 构成的功率放大器电路	78
2.2.2 高电压功率放大电路	78
2.2.3 输出大电流功率放大电路	81
2.2.4 宽带功率放大电路	81
2.2.5 输出 7W 的低频功率放大电路	82
2.2.6 压控放大器电路	82
2.2.7 高电压放大器电路	83
2.3 D 类功率放大器的设计	84
2.3.1 D 类功率放大器的主要电路	84
2.3.2 通用逻辑门构成的 D 类功率放大器的设计	88
2.3.3 NJU8752 构成的 D 类功率放大器的设计	94
2.3.4 IR2011S 构成的 D 类功率放大器的设计	97
2.3.5 HIP4080A 构成的 D 类功率放大器的设计	100
2.3.6 压电晶体扬声器用 D 类功率放大器的设计	106
2.4 D 类功率放大器应用实例	112
2.4.1 输出 0.2 W 的典型 D 类放大器电路	112
2.4.2 运算放大器等构成的 D 类功率放大器	112
2.4.3 采用 TPA2000D2 构成的 D 类功率放大器	113
2.4.4 NJU8711 应用电路	113
2.4.5 XL1710/1711 应用电路	115
2.4.6 LM4651N 构成的 D 类功率放大器电路	117
2.4.7 TA1101B 构成的 D 类功率放大器电路	117
2.4.8 TDA8920J 构成的 D 类功率放大器电路	117
2.4.9 HIP2100B 构成的 D 类功率放大器电路	117
第3章 555 定时器的应用	122
3.1 555 定时器的工作原理与基本应用	122
3.1.1 555 定时器的工作原理	122
3.1.2 555 定时器的基本应用	124
3.2 555 定时器构成的控制电路和转换电路	126
3.2.1 NE555 构成的电动机控制电路	126
3.2.2 NE555 和晶体管构成的电动机控制电路	127
3.2.3 采用 NE555 的 PWM 控制电路	127
3.2.4 NE555 构成的电动机 PWM 控制电路	128
3.2.5 NE555 构成的电动机控制电路	128

3.2.6	NE555 构成的温度控制电路	129
3.2.7	洗衣机电子控制电路	130
3.2.8	NE555 和光敏元件构成的开关电路	131
3.2.9	NE555 构成的电子硬币正、反面判断电路	131
3.2.10	汽车前灯自动熄灭电路	131
3.2.11	NE555 构成的功率 MOSFET 驱动电路	132
3.2.12	NE555 构成的电压-频率转换电路	132
3.2.13	NE555 构成的频率-电压转换电路	133
3.2.14	采用运算放大器和 NE555 组合的光通量-脉冲转换电路	133
3.2.15	NE555 构成的电容测量电路	134
3.2.16	NE555 构成的频率计/转速表电路	136
3.3	555 定时器构成的定时和信号发生电路	138
3.3.1	NE555 构成的定时报警器电路	138
3.3.2	采用光敏电阻的定时控制电路	138
3.3.3	NE555 构成的有特殊要求的定时电路	139
3.3.4	基本多谐振荡器增设晶体管和二极管的电路	140
3.3.5	独立控制充、放电时间的电路	140
3.3.6	占空比可调而周期恒定的电路	140
3.3.7	晶振控制的振荡器电路	141
3.3.8	NE555 定时器的常规电路	141
3.3.9	NE555 构成的波形发生器电路	142
3.3.10	NE555 构成的锯齿波发生器电路	143
3.4	555 定时器构成的电源与传感电路	143
3.4.1	NE555 构成的直流-直流转换器电路	143
3.4.2	NE555 构成的脉宽调制式稳压电源电路	144
3.4.3	NE556 构成的脉宽调制稳压电路	145
3.4.4	NE555 构成的隔离型稳压电源	146
3.4.5	无变压器的直流-直流转换器电路	146
3.4.6	实用逆变器电路	147
3.4.7	CMOS 555 构成的充电电路	147
3.4.8	霍尔传感器构成的报警电路	147
3.4.9	NE555 构成的电子恒温槽电路	149
第 4 章	A/D 和 D/A 转换器的应用	151
4.1	A/D 和 D/A 转换器的参数与选用	151
4.1.1	A/D 和 D/A 转换器简述	151
4.1.2	A/D 和 D/A 转换器的参数	151
4.2	A/D 转换器的应用	153
4.2.1	A/D 转换器应用技术	153
4.2.2	A/D 转换器应用实例	155

4.3 D/A 转换器的应用	167
4.3.1 D/A 转换器应用技术	167
4.3.2 D/A 转换器应用实例	169
第 5 章 常用传感器的应用	176
5.1 温度、湿度和压力传感器的应用电路	176
5.1.1 传感器的定义及其选用	176
5.1.2 温度传感器及其应用	177
5.1.3 湿度传感器及其应用	187
5.1.4 压力传感器及其应用	192
5.2 光敏、磁敏和气敏传感器的应用电路	194
5.2.1 光敏传感器及其应用	194
5.2.2 磁敏传感器及其应用	199
5.2.3 气敏传感器及其应用	202
5.3 超声波、热释电和电流传感器的应用电路	206
5.3.1 超声波传感器及其应用	206
5.3.2 热释电传感器及其应用	211
5.3.3 电流传感器及其应用	212
第 6 章 数字集成电路的应用	220
6.1 数字集成电路的分类与特性	220
6.1.1 数字集成电路的分类	220
6.1.2 数字集成电路的特性	221
6.2 常用数字集成电路及其应用	222
6.2.1 数字集成门电路	222
6.2.2 施密特触发电路	234
6.2.3 多谐振荡器	238
6.2.4 触发器电路	245
6.2.5 寄存器和移位寄存器	251
6.2.6 编码器与译码器	255
6.2.7 计数器	259
6.2.8 数据选择器和数据分配器	270
6.3 数字集成电路应用实例的设计	272
6.3.1 电路应用举例	272
6.3.2 单稳态多谐振荡器构成的电子节拍器电路	276
6.3.3 D 触发器应用电路	278
6.3.4 计数器应用电路	280
6.3.5 4538B 的应用电路	299
6.3.6 JK 触发器构成的电子蜂鸣器电路	302
第 7 章 集成稳压器的应用	306
7.1 三端线性集成稳压器	306

7.1.1	集成稳压器的分类	306
7.1.2	三端固定输出集成稳压器	307
7.1.3	三端可调输出稳压器	316
7.2	多端线性集成稳压器	321
7.2.1	μ A723 的引脚功能	321
7.2.2	μ A723 的应用电路	322
7.3	开关电源集成控制器的应用	327
7.3.1	开关电源的基本组成	327
7.3.2	开关电源集成控制器	329
7.4	开关电源设计实例	341
7.4.1	D类功率放大器用开关电源的设计	341
7.4.2	荧光灯用逆变器的设计	341
第8章	其他集成电路的应用	346
8.1	对数与乘除运算的集成电路	346
8.1.1	ICL8048 应用实例	346
8.1.2	对数放大器 TL441 应用实例	346
8.1.3	反对数放大器 ICL8049 典型电路	346
8.1.4	乘法器 AD533 应用实例	349
8.1.5	乘法器 MPY634 应用电路	349
8.2	ICL8038 的应用	352
8.3	模拟开关的应用	358
8.3.1	模拟开关的类型	358
8.3.2	集成模拟开关应用实例	360
第9章	电子系统设计实例	367
9.1	电源系统设计实例	367
9.1.1	简易数控直流电源	367
9.1.2	直流稳定电源	367
9.1.3	数控直流电流源	368
9.1.4	三相正弦波变频电源	369
9.2	控制系统设计实例	370
9.2.1	水温控制系统	370
9.2.2	悬挂运动控制系统	371
9.2.3	液体点滴速度监测与控制装置	372
9.2.4	自动往返电动小汽车	373
9.2.5	简易智能电动车	374
9.2.6	多路数据采集系统	376
9.2.7	数据采集与传输系统	377
9.2.8	数字化语音存储与回放系统	378
9.3	测量系统设计实例	379

9.3.1	简易电阻、电容和电感测试仪	379
9.3.2	简易数字频率计	380
9.3.3	数字式工频有效值多用表	381
9.3.4	频率特性测试仪	382
9.3.5	简易数字存储示波器	383
9.3.6	低频相位测量系统	384
9.3.7	8路数字信号发生器与简易逻辑分析仪	385
9.3.8	集成运放参数测试仪	387
9.3.9	简易频谱分析仪	389
9.4	放大系统设计实例	390
9.4.1	测量放大器	390
9.4.2	实用低频功率放大器	391
9.4.3	高效率音频功率放大器	392
9.4.4	宽带放大器	394
9.5	信号发生系统设计实例	395
9.5.1	实用信号源的设计和制作	395
9.5.2	波形发生器	396
9.5.3	正弦信号发生器	396
9.5.4	电压控制 LC 振荡器	397
9.6	接收/发射系统设计实例	398
9.6.1	简易无线电遥控系统	398
9.6.2	调幅广播收音机	399
9.6.3	短波调频接收机	399
9.6.4	调频收音机	400
9.6.5	单工无线呼叫系统	401

第 1 章 集成运算放大器的应用

1.1 集成运算放大器的特点、类型与特性参数

1.1.1 集成运算放大器的特点

集成运算放大器是一种高增益、高输入阻抗的直接耦合放大器,通常由输入级、中间放大级和输出级等组成。输入级是采用恒流的差动放大器,它决定着整个运算放大器的输入阻抗、共模抑制比、零点漂移、信噪比及频率响应等特性。中间级除了起放大作用外,还必须完成直流电平移动,使运算放大器输入为零时,输出电平也为零。输出级一般是由 NPN 型管和 PNP 型管组成互补推挽电路,以减小输出信号失真并提高负载能力。

集成运算放大器的特点如下:

(1) 电容元件是由半导体 PN 结形成的,其大小受基片面积的限制,只有几十个微微法,若需要大电容时要外接,因而运算放大器内部只能采用直接耦合放大电路。

(2) 电阻元件是由半导体电阻形成的,由于基片面积的限制,不可能制成高阻值的电阻,一般在 $100\Omega \sim 30k\Omega$ 。需要大阻值电阻可外接,或采用半导体三极管组成有源负载代替。

(3) 利用集成制造工艺制作的元件,虽然精度不高,但一致性好,距离又近,温度特性容易保持一致,宜于制作差分放大器。

(4) 集成运算放大器工作电源电压比数字集成电路高,一般在 $10 \sim 30V$,双电源的集成运算放大器要求正、负对称电源。

集成运算放大器的电路符号如图 1-1(a)所示,基本上有两个输入端和一个输出端,标有“-”端称为反相输入端,标有“+”端称为同相输入端。此外,如图 1-1(b)所示,还有正、负电源供电端、外接补偿电路端、调零端、相位补偿端、公共接地端及其他一些附加端子。不同集成运算放大器的引出端编号也不同,使用时应查清楚。

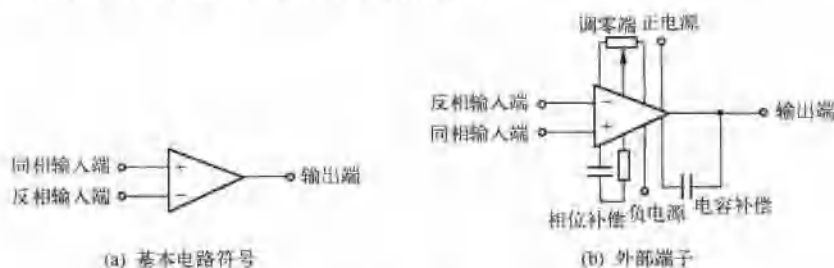


图 1-1 集成运算放大器的电路符号及外部端子

1.1.2 集成运算放大器的类型

(1) 通用型运算放大器

通用型运算放大器具有一般的性能指标和主要参数,通用性较强,应用灵活,价格便宜,基



本上能兼顾各方面的要求。

(2) 低功耗运算放大器

低功耗运算放大器在输出电平保持为零或某个规定的电平下功率损耗很小的集成运算放大器,其特点是:一般采用外接大偏置电阻或用有源电阻代替高阻值电阻,以确保有较小静态偏置电流和低功耗。

(3) 低漂移、高精度运算放大器

低漂移、高精度运算放大器是失调电压温漂低、噪声小、增益和共模抑制比高的一种运算放大器,主要用于毫伏级或更低量级的微弱信号检测、计算及自动控制仪表中。

(4) 高输入阻抗运算放大器

高输入阻抗运算放大器是输入阻抗不低于 $10\text{M}\Omega$ 的运算放大器。

(5) 低噪声运算放大器

低噪声运算放大器用于放大微弱信号,用做前置放大器。因此,噪声电平要求比最小信号低很多。一般来说,在 $0.1\sim 10\text{Hz}$ 的频带范围内,输入噪声电平的峰-峰值小于 $2\mu\text{A}$ 的运算放大器称为低噪声运算放大器。

(6) 高速运算放大器

高速运算放大器是具有高单位增益带宽(一般要求带宽大于 10MHz)和高转换速率(一般要求大于 $30\text{V}/\mu\text{s}$)的运算放大器。

(7) 高压运算放大器

高压运算放大器的工作电压要高于 $\pm 30\text{V}$ 。D41 运算放大器可在 $\pm 150\text{V}$ 的电源电压下工作,最大输出电压可达 $\pm 125\text{V}$ 。

(8) 多元运算放大器

多元运算放大器是在一个芯片上同时集成 2 个或 2 个以上独立的运算放大器。

(9) 单电源运算放大器

一般集成运算放大器都是采用双电源工作的,若用单电源,则需要在电路上采取分压方法。

(10) 电流型运算放大器

电流型运算放大器是用来比较两个输入端输入电流大小的运算放大器。

(11) 跨导运算放大器

跨导运算放大器是利用输入电压来控制输出电流的运算放大器,跨导可以通过外加偏置的方法来改变,输出电流能够在很宽范围内变化。

(12) 组件式运算放大器

组件式运算放大器是利用单片集成电路、分立元件组合而成的一种具有独特性能的电路,其电气性能可远远超过同类型产品。

(13) 程控型运算放大器

程控型运算放大器利用外部电路控制其工作状态,当偏置电流值改变时,其参数也随着变化,使用灵活,特别适用于测量电路。

(14) 宽带运算放大器

宽带运算放大器具有较宽的频带,一般增益带宽为几十兆赫兹。宽带运算放大器的低频性能与通用型集成运算放大器相当,而高频特性比高速运算放大器还要好。



1.1.3 集成运算放大器的特性参数

1. 最大额定参数

运算放大器使用或存放时,电压、电流或环境温度等物理量有一定限度,如果超过此限度,运算放大器就会损坏。该限度值称为最大额定值。运算放大器的最大额定值主要有以下几种。

(1) 最大电源电压(U_{CC+} , U_{CC-})

最大电源电压是指运算放大器的 V_+ 和 V_- 引脚与地之间可加多少伏电压。例如, TL080 系列运算放大器, V_+ 引脚接正电源 ($U_{CC+} = 18V$), V_- 引脚接负电源 ($U_{CC-} = -18V$)。而产品目录中表示为 $\pm 18V$, 或者 $V_+ \sim V_-$ 间最大电压为 $36V$ 。很多产品目录中也有把电源电压符号 V_{CC+} 写作 V_{CC} 、 V_+ , V_{CC-} 写作 V_{EE} 、 V_- 等。

(2) 最大差模输入电压

最大差模输入电压是指正、负两输入端之间可加的最大电压。TL080 系列的最大差模输入电压为 $\pm 30V$, 但一个输入端电压相对另一个输入端电压差可正可负, 只是绝对值最大到 $30V$, 并受到最大输入电压的限制。

最大输入电压是指正、负输入端各自所加的电压, 表示输入端与地之间能加的最大电压。这表明, 电源电压为 $\pm 15V$ 以下, 最大输入电压也限制在电源电压范围内。因此, 最大差模输入电压也受到同样限制。

(3) 输出短路时最长持续时间

输出端与地短路时, 负载电流很大, 运算放大器往往易受到损坏。若产品目录中无此限制, 则可在输出端加保护电路。

(4) 最大允许损耗

运算放大器工作时, 正负电源之间电压与电流乘积为总供应功率, 减去输出功率就是损耗, 在运算放大器内部以热的形式消耗掉。其热量在空气中散发掉, 而保持平衡状态。但内部消耗功率越大, 运算放大器与外面空气的温差也越大。由于运算放大器允许最大温度(相当于晶体管的最大 PN 结温度)与封装结构(热电阻)有关, 要保持平衡, 内部消耗功率有一定的限制。

运算放大器在常温工作时, 内部消耗热量的限度称做允许损耗。环境温度越高, 允许损耗越小。例如 JG 封装, 温度提高 $10^\circ C$, 允许损耗减少 $66mW$ 。

(5) 工作允许环境温度

运算放大器工作时, 环境温度有一个允许范围。例如 TL08—C, 允许温度范围为 $0 \sim 70^\circ C$, 在 $70^\circ C$ 附近必须降额使用。

(6) 存放允许温度

运算放大器存放时, 环境温度也有一个允许范围。

(7) 引线温度

引线温度是指焊接时, 引脚或引线暂时处于高温状态时, 允许的最高温度及其持续时间。例如 JG 封装, 离外壳 $1.6mm$ 处, 最高温度为 $300^\circ C$, 可持续 $60s$ 。

2. 直流特性

运算放大器处于直流状态的电气特性称为直流特性。主要特性如下。

(1) 输入失调电压(U_{IO} , U_{OS} 等)

输入失调电压是由于差动输入电路不平衡所产生的电压,即在反相与同相输入端之间无信号时的差模输出电压。其值为几毫伏以下,实际电路中不能忽略时,要进行调整。

(2) 输入失调电压温漂($\Delta U_{IO}/\Delta T$, $\Delta U_{OS}/\Delta T$, αU_{IO} 等)

输入失调电压温漂是指输入失调电压随温度而变化的程度。变化程度用每单位温度电压变化的平均值表示,即为输入失调电压/温度变化,单位为 $\mu V/^\circ C$ 。例如,LF355 系列,温度每变化 $1^\circ C$,电压变化典型值为 $5\mu V$ 。

(3) 温漂随漂移电压的调整而变化($\Delta T_C/\Delta U_{OS}$)

温漂随漂移电压的调整而变化是指有调零引脚的运算放大器,按规定方法调零与不调零时进行比较,漂移电压的温漂随漂移电压而产生的变化程度。其变化量与漂移电压调整量成比例,单位为 $(\mu V/^\circ C)/mV$,即表示零漂调整值 $1mV$,温漂有几 $\mu V/^\circ C$ 变化。

(4) 输入偏置电流(I_{IB} , I_B 等)

输入端的回馈线一定要接在 $V_+ \sim V_-$ 间某电位处,其结果类似晶体管的基极偏置电流,流经同相端与反相端的偏置电流相同并很小。偏置电流受温度影响极大,但运算放大器输入级是晶体管电路与 FET 电路时,变化趋势不同。晶体管输入级运算放大器的偏置电流随温度上升而减小。而 FET 输入级运放的偏置电流随温度上升而急剧增大。

(5) 输入失调电流(I_{IO} , I_{OS} 等)

运算放大器的同相输入端与反相输入端流经的偏置电流相等,但因内部电路不对称,多少有些差别。这种差值电流叫做输入失调电流,它受温度影响比较大。

(6) 输入电阻(R_i)

从信号源看运算放大器输入端内部电路的电阻称为输入电阻。严格地说,就是输入电压变化量相对于输入电流变化量的比值,单位为 Ω 。

(7) 大振幅电压增益(A_{VOL} , A_{VD} 等)

大振幅电压增益是指输出电压 U_o 。从零摆到产品目录上要求的电压与输入电压之比,就是运算放大器不加负反馈时的开环增益。

(8) 输出电压振幅(U_o , U_{opp} 等)

输出电压振幅是指输出端不加限幅电路时,从输出端能获取的最大电压振幅(峰-峰值),其值随负载加重而减小。

(9) 共模输入电压范围(U_{ICR} , U_{CM} 等)

共模输入电压范围是指同相端与反相端加相同电压(共模电压)时,保证运算放大器正常工作的输入电压范围。例如,电源电压加 $\pm 15V$ 时,同相输入端的共模输入电压为 $+15V$,即比电源电压稍高也能正常工作,但反相输入端最多加到 $-12V$ 。因此,输入端的偏置电压一定要在 U_{ICR} 范围内。

(10) 共模电压抑制比(CMRR)

运算放大器的共模输入电压在 U_{ICR} 范围内变化时, U_{ICR} 与输入失调电压 U_{IO} 产生的变化电压 ΔU_{IO} 之比,称为共模电压抑制比。

运算放大器是差动放大电路,当加共模输入电压时输出电压应为零,但实际上输出电压不为零。可把它看做是输入漂移电压引起的电压, U_{ICR} 变化量与 ΔU_{IO} 之比用分贝(dB)来表示。

(11) 电源电压抑制比(PSRR)





电源电压抑制比是衡量电源电压波动对输出有多大影响的标志,可换算到输入端作为失调电压。电源电压抑制比可以作为相对于电源电压波动时输出电压稳定度的指标。

(12) 电源供给(消耗)电流(I_D , I_{CC} 等)

空载时,电源要供给运算放大器直流电流。但随着电源电压的增高,直流电流也增大。这时运算放大器消耗的功率是 V_+ 端与 V_- 端之间电压与 I_D 的乘积,为热损耗。因此电路设计时,热损耗应小于最大额定的允许损耗。

3. 交流特性

运算放大器处于交流放大状态,其电气性能称为交流特性。

(1) 转换速率(SR)

运算放大器输入电压快速变化时,输出电压也应当与此成比例地快速变化。然而,实际上由于内部电路寄生电容的影响,输出电压将按照另一个规律变化。当输入信号为一个比较大的脉冲电压时,输出电压在 $1\mu\text{s}$ 期间变化几伏,该数值称做转换速率。SR 也受温度的影响。

(2) 增益带宽乘积(GBW)

运算放大器开环增益下降至 0dB 时的频率称为单位增益带宽(f_T)。低频时运算放大器开环增益下降至 3dB 时的频率与该时刻开环增益的乘积称为增益带宽乘积(GBW)。这两者本来性质不同,但因为有相位补偿的运算放大器开环增益频率特性按 -6dB/oct 的比例下降,因此可以认为 f_T 与 GBW 相等。

(3) 建立时间

当运算放大器闭环增益为 1 时,在额定负载条件下,输入阶跃大信号后,运算放大器输出电压达到规定精度的输出值时所需要的时间称为建立时间。规定精度的输出值与理想输出值有一定的误差。误差范围常用误差电压相对于理想输出电压的百分比来表示,一般高速运算放大器在 0.1% 的误差精度下,其建立时间约为几百毫秒。

1.2 集成运算放大器实用技术

1.2.1 集成运算放大器的理想特性

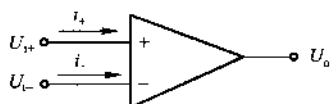
在分析集成运算放大器的应用电路时,通常将实际的集成运算放大器看成是理想元件,引起的误差不大,在工程上是允许的。因此,本书没有特别说明,都是按理想特性进行分析的。

所谓集成运算放大器的理想特性是指:

- (1) 开环电压增益为无限大;
- (2) 差模输入电阻为无限大;
- (3) 输出电阻为零;
- (4) 输入偏置电流为零;
- (5) 共模抑制比为无限大;
- (6) 上限频率为无限大。



1.2.2 虚短路和虚断路原则



在图 1-2 中,输入电压($U_{i+} - U_{i-}$)与输出电压 U_o 之间的关系为

$$A_v = \frac{U_o}{U_{i+} - U_{i-}}$$

图 1-2 虚短路和虚断路的说明 式中, A_v 为电压增益,考虑开环时其为无限大,而输出电压 U_o 为一个有限值,因此

$$U_{i+} - U_{i-} = \frac{U_o}{A_v} \approx 0, U_{i+} = U_{i-}$$

由此可见,反相输入端电位和同相输入端电位几乎相等,近似于短路但又不是真正的短路,称为虚短路。若同相输入端接地,即 $U_{i+} = 0$,由上式可知 $U_{i-} \approx 0$,说明反相输入端的电位也接近于地电位,是一个不接地的地电位,通常称为虚地。另外,由于集成运算放大器的差模输入电阻为无限大,输入偏置电流 $i_+ = i_- \approx 0$,好像断开一样,称为虚断路。虚短路和虚断路原则对分析集成运算放大器带来了极大方便。

1.2.3 工作电源

1. 对称双电源

集成运算放大器原则上有两个电源接线端子 V_+ 和 V_- ,但有不同的电源供给方式。虽电源供给方式不同,但原则上输入端反馈线务必固定于 $V_+ \sim V_-$ 之间某一点电位上。

运算放大器电源多采用对称双电源供电方式。相对于基准电位(地)的绝对值相等的正电源 $+U_{CC}$ 与负电源 $-U_{CC}$ 分别接于 V_+ 和 V_- 端子上。输入端的反馈线接基准电位,接法如图 1-3(a)所示。从运算放大器输出端与基准电位之间取出输出电压。

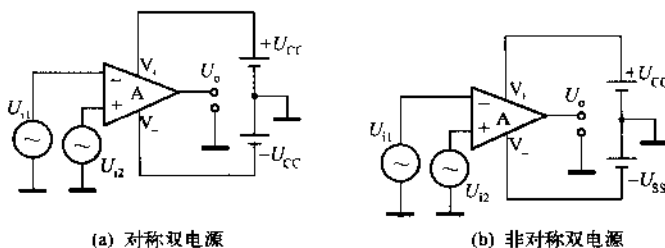


图 1-3 双电源供电方式

对称双电源可把信号源直接接到输入端子上,因此易于放大含有直流成分的信号,而输出电压振幅的有效范围可达到正、负对称的电源电压。

2. 非对称双电源

非对称双电源基本上与对称双电源供给方式相同。例如,运算放大器使用的最大电源电压($V_+ \sim V_-$ 端子之间电压)为 30V,输出信号电压需要的最大振幅为 +15V 和 -5V,这时采用 +20V, -10V 的非对称双电源供给方式比较合理(见图 1-3(b))。

3. 单电源

单电源供给方式如图 1-4(a) 所示。这时输入端的回馈线要固定于 $V_+ \sim V_-$ 之间某一电位上。例如, 在图中用电阻 R_1 和 R_2 把电源电压 $+U_{CC}$ 进行分压, 确定回馈线接点的电位。此时, 此接点与基准电位之间电压(图中 R_2 两端电压)叫做偏置电压。 C_1 和 C_2 是降低偏置电源交流的内阻抗, 需要隔掉输出中的直流成分时接入 C_3 。

这种供电方式对输出负载电流的低频成分, 其输出正负向振幅是不对称的, 它极大地影响流经 R_1 或 R_2 中的电流, 进而影响偏置电压。为此, 根据不对称的程度, 减小 R_1 和 R_2 的阻值, 或者使内阻抗足够低, 如图 1-4(b) 所示。这是电压跟随器与 R_1 、 R_2 的分压电路组合而成的电路, 实质上是把单电源变换为双电源。

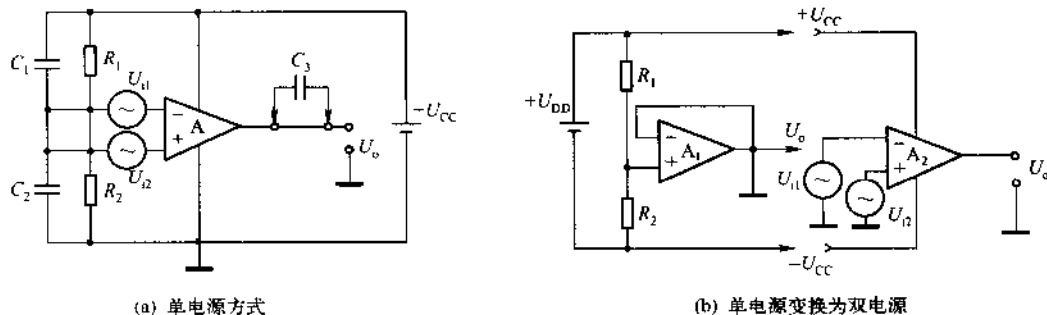


图 1-4 单电源供给方式

1.2.4 相位补偿

1. 相位补偿运算放大器类型

运算放大器应用于高频时, 由于输入与输出之间有相移, 容易产生自激振荡。一般采用相位补偿方法防止自激。目前, 市场销售的运算放大器按相位补偿程度大致分为三类, 即完全相位补偿的运算放大器, 如 $\mu A741$ 、LF356、TL081、CA3140 等; 一定程度上相位补偿的运算放大器, 如 LF357、HA5195 等; 无相位补偿的运算放大器, 如 $\mu A709$ 、LM301A、TL080、CA3130 等。

(1) 片内有完全相位补偿的运算放大器

深度负反馈电路就是电压跟随器。因此, 在这种状态下, 若片内有相位补偿措施, 在任何应用电路中采用这种运算放大器都不会自激。这称为内有补偿的运算放大器, 目前应用极其广泛。但用于高频时会有些问题, 因此一般不适合这种用途。

(2) 一定程度上相位补偿的运算放大器

一定程度上相位补偿的运算放大器不太多, 如 LF357, 使用前提是电压增益 $A_v > 5$, 这是一种片内相位补偿程度有限的运算放大器。在 $A_v < 5$ 的范围内这种运算放大器用做电压跟随器, 有可能自激。因此用途有限, 但高频特性可得到改善。

(3) 片内无相位补偿的运算放大器

片内无相位补偿的运算放大器片内没有加任何相位补偿措施, 但留有外接相位补偿电容端子, 外接小容量电容就可进行相位补偿。