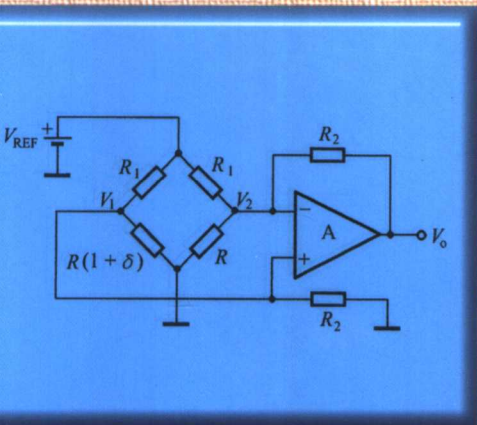
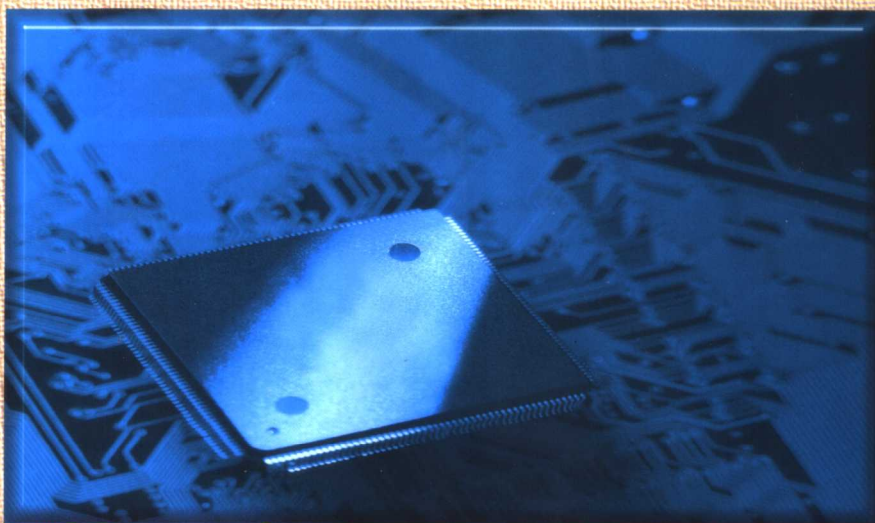


ELECTRONIC MEASUREMENT CIRCUIT

吴丽华 童子权 张剑 主编
张毅刚 主审



电子测量电路

哈尔滨工业大学出版社

电子测量电路

吴丽华 童子权 张 剑 主编
张毅刚 主审

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

内 容 简 介

全书共分七章,分别介绍了集成运算放大器的基础知识、信号波形发生器、有源滤波器、多路模拟开关、集成电压基准源、数模转换器和模数转换器,每章均由基本原理、最新典型芯片和应用电路组成。

本书是高等院校电类各专业本科生教材,也可作为研究生的教学参考书及相关专业工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量电路/吴丽华等主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004.6

ISBN 7-5603-2043-0

I. 电… II. 吴… III. 电子测量-电路

IV. TM930.111

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 058919 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 12.625 字数 288 千字

版 次 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2043-0/TM·42

印 数 1~3 000

定 价 17.00 元

前 言

随着电子技术的迅速发展,用于测量的新器件及相应的测量应用电路不断出现,本书是为了适应科学技术的高速发展和 21 世纪人才培养的需要,根据教育部电子测量教学指导委员会对测控技术与仪器及相关专业教学的要求,结合编者多年教学和科研实践而编写的。

为了加强模拟电子技术和数字电子技术的理论知识和应用技能,本书注重优化课程体系,兼顾教学能够紧跟时代步伐,突出反映电子测量电路中的新概念、新知识、新技术、新工艺,并适当引用一些新器件、新原理,使读者既能掌握基础知识,又能熟悉和了解电子测量技术发展的新动态,以利于实用型人才的培养。

本书共由 7 章组成,分别介绍了集成运算放大器的基础知识、信号波形发生器、有源滤波器、多路模拟开关、集成电压基准源、数模转换器、模数转换器。

每章均由三部分组成:

(1)基本原理:从基本概念入手,详细讲述基本原理,使学生打下扎实的基础。

(2)典型芯片:力求反映近年来最新的典型芯片。

(3)应用电路:介绍典型芯片的常用应用电路。

本书是高等院校电类各专业本科生教材,也可作为研究生的教学参考书及相关专业工程技术人员的参考书。

本书第 1、2、3 章由哈尔滨师范大学张剑编写;第 4、5 章由哈尔滨理工大学吴丽华编写;第 6、7 章由哈尔滨理工大学童子权编写。全书由吴丽华负责组织和统稿;哈尔滨工业大学张毅刚教授担任主审,对全书进行仔细的审阅,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2004 年 5 月

目 录

第1章 集成运算放大器的基础知识	1
1.1 概 述	1
1.2 集成运算放大器的基本构成和表示符号	1
1.2.1 集成运放的基本构成	1
1.2.2 集成运放的引出端及表示符号	2
1.3 集成运放的主要参数与种类	3
1.3.1 集成运放的主要参数	3
1.3.2 集成运放的种类	4
1.3.3 集成运算放大器的使用	6
1.4 理想运算放大器及其分析依据	7
1.5 典型芯片原理及实例	9
1.5.1 直流测量低漂移运放 AD706	9
1.5.2 动态校零型斩波放大器	11
1.5.3 中频运算放大器 LF353	18
1.5.4 电流反馈型放大器(CFA)	20
1.5.5 高速电压反馈(VFA)放大器	23
1.6 集成运算放大器的运算电路	24
1.6.1 反向比例运算电路	24
1.6.2 同相比比例运算电路	24
1.6.3 加法运算电路	25
1.6.4 减法运算电路	26
1.6.5 微分运算电路	27
1.6.6 积分运算电路	27
1.6.7 模拟对数/指数运算器	27
1.6.8 模拟乘法器	30
1.6.9 真有效值转换器	32
1.7 运算放大器典型应用电路	35
1.7.1 电流/电压转换器	35
1.7.2 高灵敏度电流/电压转换器	36
1.7.3 光检测器放大器	36
1.7.4 电压/电流转换器	37
1.7.5 仪器放大器	37
1.7.6 传感器桥放大器	42

习 题	46
第 2 章 信号波形发生器	48
2.1 正弦波发生器	48
2.2 方波和三角波发生器	50
2.2.1 方波发生器	50
2.2.2 三角波发生器	51
2.2.3 压控振荡器	53
2.3 脉冲波和锯齿波发生器	55
2.4 函数发生器	56
2.4.1 电路结构	56
2.4.2 工作原理	57
2.4.3 性能特点	58
2.4.4 常用接法	58
习 题	60
第 3 章 有源滤波器(Active Filter)	61
3.1 概 述	61
3.2 低通滤波器(Low Pass Filter)	62
3.2.1 基本特性	62
3.2.2 一阶低通滤波器	62
3.2.3 二阶低通滤波器	63
3.3 高通滤波器(High Pass Filter)	69
3.3.1 基本特性	69
3.3.2 一阶高通滤波器	69
3.3.3 二阶高通滤波器	70
3.4 带通滤波器(Band Pass Filter)	74
3.4.1 基本特性和原理	74
3.4.2 简单的二阶带通滤波器	74
3.4.3 高 Q 值二阶带通滤波器	76
3.5 带阻滤波器(Band Elimination Eilter)	78
3.5.1 基本特性	78
3.5.2 二阶带阻滤波器	78
3.6 移相滤波器(All - Pass Filter)	80
3.6.1 基本特性	80
3.6.2 一阶移相滤波器	81
3.6.3 二阶移相滤波器	82
3.7 开关电容滤波器(Switched - Capacitor Filter)	83
3.7.1 基本开关电容单元	84
3.7.2 开关电容滤波电路	84

3.8 状态变量型有源滤波器(State - Variable Active Filter)	85
3.8.1 状态变量型有源滤波电路的传递函数	85
3.8.2 状态变量型有源滤波电路的组成	86
3.8.3 集成状态变量型有源滤波电路	86
习 题	89
第4章 多路模拟开关	92
4.1 概 述	92
4.2 半导体模拟开关	93
4.2.1 结型场效应管模拟开关	93
4.2.2 MOS 场效应管模拟开关	94
4.3 集成多路模拟开关	94
4.3.1 满电源摆幅输出的多路模拟开关 ADG408/ADG409	95
4.3.2 带过压保护的多路模拟开关 ADG508/ADG509/ ADG528	96
4.3.3 高速多路模拟开关 74HC/HCT4051、4052、4053	99
4.4 多路模拟开关的应用	102
习 题	104
第5章 集成电压基准源	105
5.1 概 述	105
5.1.1 齐纳二极管电压基准源	105
5.1.2 带隙基准源	106
5.2 集成基准源	107
5.2.1 带隙基准电压源 AD580	107
5.2.2 输出可选的带隙基准源 AD780	108
5.2.3 隐埋齐纳二极管基准源 LM199	109
5.3 集成电压基准源的应用	111
习 题	112
第6章 数模转换器	113
6.1 概 述	113
6.1.1 理想 D/A 转换器	114
6.1.2 D/A 转换器技术特性	114
6.1.3 D/A 转换器的分类	116
6.2 D/A 转换器的工作原理	117
6.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	118
6.2.2 T型电阻网络 D/A 转换器	119
6.2.3 反 T型电阻网络 D/A 转换器	121
6.2.4 $2^n R$ 电阻网络 D/A 转换器	122
6.3 D/A 转换器的双极性工作	124
6.3.1 双极性二进制码	124

6.3.2 D/A 转换器的双极性工作方式	125
6.4 16 位串行 D/A 转换器 DAC714	127
6.4.1 功能简介	127
6.4.2 主要特性及参数	128
6.4.3 应用特性	129
6.5 乘法型 D/A 转换器 TLC7628 简介	132
6.5.1 功能简介	132
6.5.2 主要特性及参数	133
6.5.3 TLC7628 与单片机的接口及时序	133
6.5.4 TLC7628 的外围电路	135
6.5.5 TLC7628 的电压工作模式	135
6.6 数字电位器	136
6.6.1 数字电位器工作原理	136
6.6.2 双数字电位器 DS1267	137
习 题	141
第 7 章 模数转换器	142
7.1 概 述	142
7.1.1 理想 A/D 转换器	142
7.1.2 A/D 转换器技术特性	142
7.2 逐次逼近型 A/D 转换器	144
7.2.1 转换原理	144
7.2.2 电容型 D/A 转换器在逐次逼近型 A/D 转换器中的应用	146
7.2.3 逐次逼近型 A/D 转换器芯片 MAX195 简介	147
7.3 双积分型 A/D 转换器	151
7.3.1 转换原理	152
7.3.2 积分型 A/D 转换器的特点	154
7.4 V/F 转换器	154
7.4.1 电荷平衡型 V/F 转换器工作原理	155
7.4.2 V/F 转换器的 F/V 工作方式	157
7.4.3 V/F 转换芯片 AD650	159
7.5 FLASH 型 A/D 转换器	163
7.5.1 转换原理	163
7.5.2 8 位 FLASH 型 A/D 转换器 AD9012	165
7.5.3 8 位高速 FLASH 型 A/D 转换器 MAX1151	167
7.6 流水线型 A/D 转换器	170
7.6.1 转换原理	170
7.6.2 流水线型 A/D 转换器 MAX1201	173
7.7 $\Sigma-\Delta$ 型 A/D 转换器	177

7.7.1 Σ - Δ 型 A/D 转换器转换原理	177
7.7.2 速度/分辨率可选的 24 位高速差动 Σ - Δ 型 A/D 转换器 LTC2440	179
7.8 A/D 转换器的选用及性能比较	185
7.8.1 A/D 转换器的选用	185
7.8.2 A/D 转换器性能比较	188
习 题	189
参考文献	191

第 1 章 集成运算放大器的基础知识

1.1 概 述

在各类电子仪器和设备所采用的电子线路中,集成运算放大器(以下简称集成运放)是应用最普遍的模拟电子器件。集成运放配上不同的反馈网络和采用不同的反馈方式,就可以构成功能和特性完全不同的各种集成运放电子电路,简称运放电路,如放大器、积分器、滤波器、振荡器等。这些运放电路是各种电子电路中最基本的组成环节。为了更好地熟悉和掌握各类运放电路的设计和计算方法,首先必须对集成运放有一个比较全面和深入的了解。只有在充分熟悉集成运放器件性能和特点的基础上,才能很好地学习和掌握各种运放电路的构成和分析方法,才能根据任务要求,灵活地掌握电路设计和元件参数的计算,合理地选择元器件,并在理论指导下进行电路调试。

全面了解集成运放需要涉及半导体材料、微电子电路设计和集成电路制造工艺等许多方面的知识。集成运放的电路设计和制造是一个专业性很强的技术领域,作为从事集成运放应用的工作者来讲,更多的不是关心它们的内部电路是如何设计、采用什么材料和哪种工艺制造的,而是将它们作为电路的一个基本器件,从它的外部特性去了解、掌握和应用它。学习集成运放的基础知识,是进一步熟悉和掌握运放电路分析、设计和计算的基础,这是十分必要的。

1.2 集成运算放大器的基本构成和表示符号

1.2.1 集成运放的基本构成

集成运放是以双端为输入,单端对地为输出的直接耦合型高增益放大器。它是将相当数目的晶体管、电阻以及连接线,采用半导体集成工艺制作在一块面积很小(约 0.5 mm^2)的硅片上。

集成运放内部电路包括四个基本组成环节:输入级、中间放大(兼电平移动)级、输出级和各级的偏置电路,如图 1.2.1 所示。由于晶体管容易制造,且它在硅片上占的面积小,集成运放内部电路大量采用晶体管来代替其他元器件,如采用三极管构成二极管、用有源负载代替电阻负载等。由于晶体管是在相同的工艺条件下同时制造的,同一硅片上的对管特性比较接近,易获得良好的对称特性,且在同一温度场,易获得良好的温度补偿,因此具有很好的温度稳定性。内部电路中的部分电阻采用半导体工艺制造,如扩散电阻、夹层电阻、体电阻、离子注入电阻、薄膜电阻等。内部电容采用 PN 结电容、薄膜电容等,

电容量较小,在几十 pF 之内。一般大电阻、大电容在硅片上占用面积大,集成电路内部很少采用,需要时采用外接方式,特别是大的相位校正电容,多采用外接方式。为了提高集成运放输入电阻、减小失调电压和偏置电流、提高差模和共模输入电压范围等性能,集成运放的输入差分放大级可采用超 β 管、达林顿复合管、串联互补复合管、场效应管等。从集成运放差动输入级经中间放大级转为单端输出,差模输入电压为零时,其输出对地电压不为零,因此在输入与输出级之间需采用电平移动电路。将其电平移动到地电平。电平移动电路多采用恒流源、横向 PNP 管、稳压管、正向二极管链和电阻降压电路等。从双端输出到单端输出的变换,常采用并联电压负反馈、有源负载、电流负反馈、PNP 管等方法。为了提高共模抑制能力,提高差模增益和提供稳定的内部电路工作电流,实际电路中广泛采用各种恒流源电路,如稳压管恒流源、镜电流恒流源、比例恒流源、多集电极恒流源、场效应管恒流源等。为了获得比较大的输出电压动态范围、大的输出电流和低的输出电阻,集成运放输出级多采用互补推挽输出级、跟随器推挽输出级、多级互补推挽输出级等。

为提高集成运放的稳定性和耐受过载能力,某些集成运放又在内部电路中采用一些辅助电路,如内电源稳压电路、控温电路、温度补偿电路、输入电压保护、输出过流、过热保护电路等。

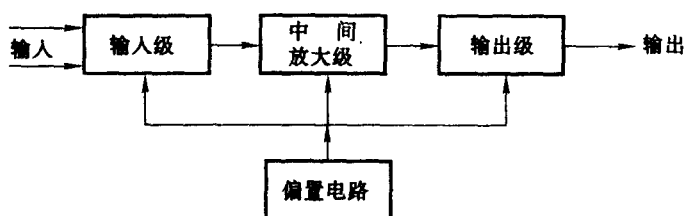


图 1.2.1 集成运放内部电路构成方框图

1.2.2 集成运放的引出端及表示符号

集成运放器件的封装形式较多,有金属圆帽封装、双列直插封装、贴片封装等,如图 1.2.2(a)所示。按封装材料分,双列直插封装有塑封装、陶瓷封装、金属-陶瓷封装,它们适用于不同的环境条件。集成运放引脚排列方法如图 1.2.2(b)所示。圆帽封装多数为 8 脚,也有 10 脚、12 脚的。双列直插单运放多数为 8 脚,双运放和四运放多数为 14 脚。圆帽封装的引脚号排列顺序是以圆帽边沿上的凸出部分作为定位标志,一般以对定位标志的引脚定为最大的引脚号。在早期产品中有的对准引脚 1 或引脚 1 与最大引脚间的空位。引脚排列以仰视图顺时针方向顺序编号。双列直插器件的定位标志一般是在器件正表面上的一端设凹坑或标志点,引脚排列顺序是以俯视图并按逆时针方向,从定位标志开始的第 1 引脚顺序排列。引脚编号排列顺序应注意定位标志、视图方法和时针方向。

集成运放通常采用图 1.2.2(c)所示的三角形符号和相应的引出端来表示。

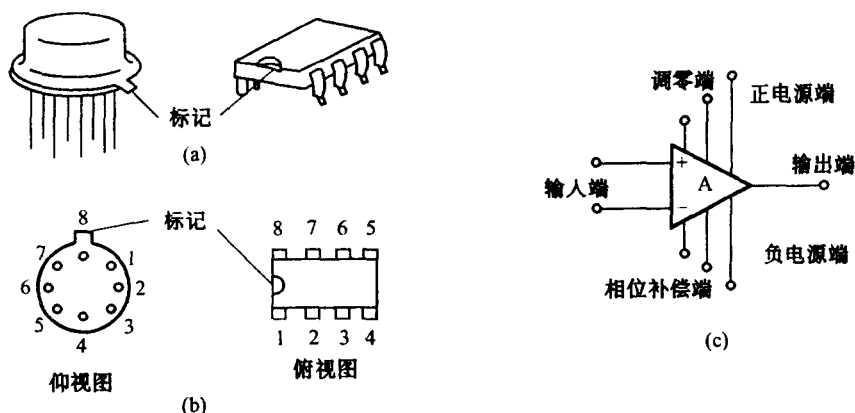


图 1.2.2 集成运放外形、引脚排列标记和表示符号

1.3 集成运放的主要参数与种类

运算放大器的性能可用一些参数来表示,为合理地选用和正确地使用运算放大器,必须了解各主要参数的意义。

1.3.1 集成运放的主要参数

1. 最大输出电压 U_{OPP}

最大输出电压是指输出对输入保持不失真时的最大输出电压值。

2. 开环差模电压放大倍数 A_{od}

在运放无反馈电路时所测出的差模电压放大倍数,称为开环电压放大倍数。 A_{od} 越高,所构成的运放电路越稳定,运算准确度也越高。 A_{od} 一般为 $10^4 \sim 10^7$ 或 $80 \sim 140$ dB。

3. 输入失调电压 U_{OS}

理想的运算放大器,当输入电压为零时(指同相和反相输入端同时接地,即 $U_+ = U_- = 0$),输出电压应该为零。由于工艺等原因造成元件参数的不对称,因此在实际电路中,当运放输入为零时,则必须在输入端加入补偿电压,使输出为零,这个补偿电压就是失调电压,一般为几 mV。显然,它的值越小越好。低噪声、零漂移运放 LTC1052 可达 $\pm 0.5 \mu V$ 。

4. 输入失调电流 I_{OS}

输出电压为零时,流入放大器两个输入端的静态基极电流之差,即输入失调电流 $I_{OS} = I_{B+} - I_{B-}$ 。由于信号源有内阻, I_{OS} 会使输出电压不等于零而破坏放大器的平衡。因此,希望输入失调电流越小越好。一般是几十 nA,有的可达 pA 级。

5. 输入偏置电流 I_B

输出电压为零时,两个输入端静态电流的平均值称为输入偏置电流,即 $I_B = (I_{B+} + I_{B-})/2$ 。 I_B 越小,由信号源内阻变化而引起的输出电压的变化也越小。所以它也是一个

重要指标,一般在几百 nA 级。

6. 最大共模输入电压 U_{ICM}

一般情况下,差动式运放允许加入共模输入电压。由于差动输入级对共模信号有抑制作用,因此,共模输入使运放的输出基本上不受影响。但是抑制共模信号的作用是在一定的共模电压范围内才有,若超出此范围,将使运放内部的管子工作在不正常状态(处于饱和或截止),抑制能力显著下降,甚至造成器件损坏。

7. 共模抑制比 K_{CMR}

集成运放开环差模电压放大倍数与开环共模电压放大倍数之比就是集成运放的共模抑制比 K_{CMR} ,常用分贝表示。LT1363 的共模抑制比约为 66dB。

以上介绍了集成运放的几个主要参数的意义,其他如差模输入电阻、输出电阻,温度漂移、静态功耗等的意义不难理解,就不一一说明了。表 1.3.1 列出了四种集成运放的主要技术指标。

表 1.3.1 四种集成运放的主要技术指标

项 目 名 称	符 号	型 号			
		通用型 AD8515 ($V_S = 1.8\text{ V}$)	高速运放 LT1363 ($V_S = \pm 2.5\text{ V}$)	高准确度低 漂移 AD8510 ($V_S = \pm 5\text{ V}$)	低功耗运放 AD548J ($V_S = \pm 15\text{ V}$)
输入失调电压	U_{OS}	1 mV	0.7 mV	0.1 mV	0.75 mV
输入失调电流	I_{OS}	1 pA	120 nA	5 pA	10 pA
输入偏置电流	I_B	2 pA	0.6 μA	21 pA	5 pA
开环电压放大倍数	A_{od}	400 V/mV	5.2 V/mV	107 V/mV	300 V/mV
最大输出电压幅度	U_{OFF}	1.8 V	$\pm 1.3\text{ V}$	$-4.9 \sim 4.3\text{ V}$	$\pm 12\text{ V}$
共模抑制比	K_{CMR}	50 dB	66 dB	100 dB	76 dB
输入电压范围		0~1.8 V	$-0.9 \sim 1.1\text{ V}$	$-2 \sim 2.5\text{ V}$	$\pm 20\text{ V}$ (差模)
差模输入电阻			5 M Ω		$10^{12}\text{ }\Omega$
开环输入电阻			50 M Ω		$3 \times 10^{12}\text{ }\Omega$
电源电压范围	V_S	1.8~5 V	$\pm 2.5 \sim \pm 15\text{ V}$	$\pm 5 \sim \pm 15\text{ V}$	$\pm 4.5 \sim \pm 18\text{ V}$
压 摆 率	SR	2.7 V/ μs	450 V/ μs ($V_S = \pm 5\text{ V}$)	20 V/ μs	20 V/ μs

1.3.2 集成运放的种类

1. 通用型集成运放

这类运放具有一般的性能指标、主要参数,通用性比较强,应用灵活,价格便宜,基本上能兼顾到各方面的要求,如 AD8515、AD8531、AD8532、AD8534、AD8541 等。

2. 低功耗运放

低功耗集成运放是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放。这类运放的特点是:一般采用外接大阻值电阻作偏置电阻和用有源阻抗代替高阻值电阻,以保证有小的静态偏置电流和小的功耗。主要产品有 AD548、AD648、AD706、AD8029、LMC7101、LM358、LM124、LM126、LM128、LF442、LF444 等。

3. 低漂移高准确度运放

低漂移高准确度运放是指失调电压温漂低、噪声小、增益和共模抑制比高的运放。这类运放一般用在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,主要产品有 LF411、LF412、LM108、LM208、LM308、AD711、AD795、AD802、AD8510 等。

4. 高输入阻抗运放

高输入阻抗运放是指输入阻抗不低于 $10\text{M}\Omega$ 的器件。对于国外高输入阻抗运放,其输入阻抗均在 $1\ 000\ \text{G}\Omega$ 以上,如 FA740、 μPC152 等。

5. 低噪声运放

这类运放用于放大微弱信号,用作前置放大器。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,输入噪声电压的峰-峰值小于 $2\ \mu\text{V}$ 的运放称为低噪声运放,如 AD8671/AD8672/AD8674 的噪声电平小于 $0.04\ \mu\text{V}$ (峰-峰值),其他电气性能指标与高准确度运放相似。

6. 高速运放

高速运放具有高单位增益带宽(一般要求带宽大于 $10\ \text{MHz}$)和高压摆率(一般要求大于 $30\ \text{V}/\mu\text{s}$)。高速运放主要用于快速 A/D 和 D/A 转换器、高速采样保持电路、精密比较器、锁相环路系统和视频放大电路。如 μA207 运放,它的压摆率达到 $500\ \text{V}/\mu\text{s}$, LT1363 可达到 $1\ 000\ \text{V}/\mu\text{s}$ ($V_S = \pm 15\ \text{V}$)。

7. 高压运放

高压运放的工作电压要高于 $\pm 30\ \text{V}$ 。如 PA08 可在 $\pm 150\ \text{V}$ 的电源电压下工作,最大输出电压达 $\pm 145\ \text{V}$; PA08V 可在 $\pm 175\ \text{V}$ 电源下工作,输出电压可达到 $\pm 170\ \text{V}$ 。

8. 多元运放

多元运放也叫复合运放,它是在一个芯片上同时集成两个或两个以上独立的运放。主要产品有 F747、F1437、F1537、F1458、F1558、F347、F4558、XFC80、BG320、5G353 等。

9. 单电源运放

一般集成运放都是采用双电源工作的,若用单电源,则需在电路上采取分压的办法。双电源运放有正负供电系统,必然增加设备的体积和质量,因此在某些场合需要单电源工作的运放,例如航空、航天及野外就是使用电源的体积、质量小的电子设备。主要产品有 AD820、AD822、AD8542、F124、F158、F358、7XC348、SF324 等。

10. 跨导型运放

这是利用输入电压来控制输出电流的运放,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。主要产品有 F3080、F3094 等。

11. 组件式运放

组件式运放是利用单片式集成电路、分立元器件组合成的一种具有独特性能的电

路。比较常见的品种有:低漂移运放组件 ZF03、OP3 等,比普通低漂移运放的失调电压的温漂低一个数量级,广泛用于直流微弱信号的放大,如各种低漂移传感器的前置放大。静电型放大器 E310J、AD310J 等,其输入偏流极小,比 MOS 型场效应晶体管做差分输入放大器的输入偏流还低 1~2 个数量级。这样微小的输入电流可与静电放大用的电子管相比拟,广泛用于离子流检测、微电流放大器、电流/电压变换器、长周期保持电路、输入阻抗缓冲放大器等。数据放大器是采用两个低漂移运放作为差分输入级,然后将输出信号加到差分放大器的第三只运放上进行放大后输出信号,其闭环增益固定为 10 倍、100 倍、1 000 倍等,也可用外接的电位器进行调整,它的失调电压温漂小,共模抑制比高,广泛用于仪器仪表表中做前置放大器,主要产品有 AD605 等。

12. 程控型运放

程控型运放能用外部电路控制其工作状态,这种运放当偏置电流改变时,它的参数也将跟着变化,使用灵活,特别适用于测量电路。

13. 宽带运放

宽带运放具有较宽的频带,一般增益带宽为几十 MHz。这类运放既能做直流放大器、低中频放大器,又能做高频放大器。例如, F507 的单位增益带宽为 35 MHz,宽带运放的低频性能与通用型集成运放相当,而高频特性比高速运放还要好。

1.3.3 集成运算放大器的使用

如上所述,运放的种类较多,因此,通常多是根据实际用途来选择运放,如测量放大器的输入信号微弱,它的第一级就应选用高输入阻抗、高共模抑制比、高开环电压增益、低失调电压和低温漂的运放。选好后,根据引脚图和符号图连接外部电路,包括电源、外部偏置电阻、消振电容及调零电路等。

由于运放内部晶体管的极间电容和其他寄生参数的影响,很容易产生自激振荡使电路不能正常工作,为此在使用时要注意消振。通常的方法是外接 RC 消振电路,但由此破坏了振荡条件,在能消振的前提下兼顾带宽。已有内部消振元件的运放,不用外接消振元件。

由于运放内部的参数不可能完全对称,当输入信号为零时,输出信号不为零。为此,在使用时要外接调零电路,如图 1.3.1 所示。调零电路是由负电源(-15 V)、电阻 R 和调零电位器 R_p 组成。先消振后调零,调零时应将电路接成闭环。一种是在无输入时调零,即将两个输入端接地,调节调零电位器,使输出电压为零。另一种是在有输入时调零,即按已知输入信号电压计算出输出电压,而后将实际值调到计算值。

当输入端所加的差模或共模电压过高时运放会损坏,为此,在输入端接入反向并联的二极管,如图 1.3.2(a)所示,将输入电压限制在二极管正向压降以下。在输出端为了防止输出电压过大,可利用稳压管来保护,如图 1.3.2(b)所示,限流电阻 R_3 与稳压管 D_z 构成限幅电路,它一方面将负载与输出端隔离

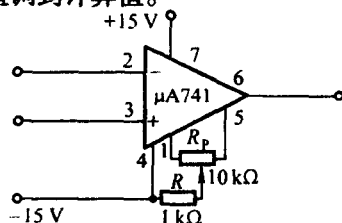


图 1.3.1 运放调零电路

开来,限制了运放的输出电流,另一方面也限制了输出电压的幅值。为了防止正、负电源电压接反,可用二极管来保护,如图 1.3.2(c)所示。

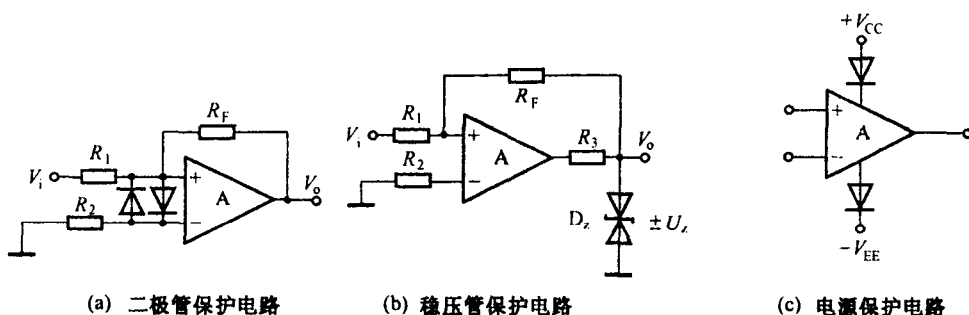


图 1.3.2 运放的保护电路

由于运放输出电流一般不大,而当负载需要提供较大电流时,可在输出端增接一级互补对称电路,如图 1.3.3 所示。

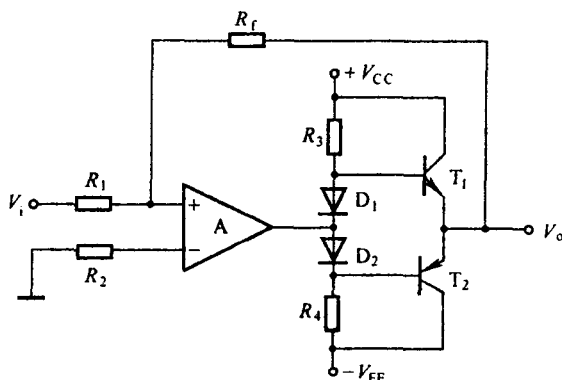


图 1.3.3 扩大输出电流的电路

1.4 理想运算放大器及其分析依据

所谓理想集成运放是把实际运放理想化,这是由于实际运放的一些主要技术参数接近理想化条件的缘故。用理想运放代替实际运放进行分析,使分析过程大大简化,而这种近似分析所引起的误差并不严重,在工程上是允许的。因此,后面对运放都是根据它的理想化条件来分析的。

1. 集成运放理想化的条件

- (1) 开环差模电压放大倍数 $A_{od} \rightarrow \infty$;
- (2) 差模输入电阻 $r_{id} \rightarrow \infty$;
- (3) 开环输出电阻 $r_o \rightarrow 0$;
- (4) 共模抑制比 $K_{CMR} \rightarrow \infty$ 。

图 1.4.1 是理想运算放大器的图形符号。它有两个输入端,分别用“+”和“-”表示同相和反相输入端,相应的输入用 u_+ 和 u_- 表示(即对地电位)。输出用 u_o 表示。

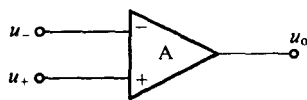


图 1.4.1 理想运放符号

由图 1.4.1 可见,理想集成运放作为电路中的元件而言,它是一个两输入端的电压控制电压源,输出电压 u_o 受控于两个输入端的电位差,即

$$u_o = A_{od}(u_+ - u_-) \quad (1.4.1)$$

2. 集成运放的传输特性

表示输出电压与输入电压之间关系的特性曲线称为传输特性,如图 1.4.2 所示。运放的传输特性可分为线性区和饱和区。运放可以工作在线性区,也可工作在饱和区,但分析方法不一样。

工作在线性区的运放,输出与输入的关系应满足式(1.4.1)的线性关系,运算放大器是一个线性元件。但是在开环状态下工作的运放,由于开环电压放大倍数 A_{od} 很高,即使输入毫伏级以下的信号,也足以使输出电压 u_o 超出式(1.4.1)所示的线性关系,即 u_o 不可能无限地随着输入的增长而增长, u_o 会达到饱和输出电压值。此时,运放已进入非线性工作区。用 $+U_{o(sat)}$ 和 $-U_{o(sat)}$ 分别表示正向饱和输出电压和负向饱和输出电压。 $+U_{o(sat)}$ 和 $-U_{o(sat)}$ 接近运放的正向和负向电源电压值。另外,由于干扰的存在,使工作无法稳定。为此要使运放工作在线性区,必须引入深度负反馈。

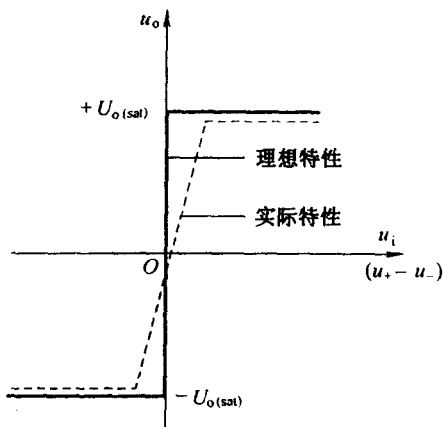


图 1.4.2 运放的传输特性

3. 运放工作在线性区的特点

运算放大器工作在线性区时,根据理想参数可以得到两个重要的概念:

(1) 由于理想运算放大器的差模输入电阻 $r_{id} \rightarrow \infty$,所以两个输入端的输入电流为零,两个输入端的输入电流分别用 i_+ 和 i_- 表示,即

$$i_+ = i_- = 0 \text{ (虚断)}$$

(2) 由于理想运算放大器的开环电压放大倍数 $A_{od} \rightarrow \infty$,而输出电压 u_o 是一个有限的数值,故可知

$$u_+ - u_- = \frac{u_o}{A_{od}} \approx 0$$

即

$$u_+ \approx u_- \text{ (虚短)} \quad (1.4.2)$$

“虚短”和“虚断”是非常重要的概念。对于运放工作在线性区的应用电路,它们是分析其输入、输出信号关系的两个基本出发点。

若理想运放仅在反相端加入输入信号,同相端接“地”, $u_+ = 0$ 时,根据式(1.4.2)得