

电路识图
系列丛书

集成运算放大器 实用电路识图

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

集成运放电路识图基础

由集成运放构成的自动控制电路识图

由集成运放构成的音频/视频处理电路识图

由集成运放构成的测量、检测电路识图

由集成运放构成的探测、报警电路识图

由集成运放构成的电源、充电电路识图

由集成运放构成的保护类电路识图



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TN 722.7
217
1

电路识图系列丛书

集成运算放大器 实用电路识图

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以介绍集成运算放大器电路的基础知识为切入点,以讲解识图为基点,详细介绍了集成运算放大器的特性与参数检测、工作原理;重点讲解运算放大器不同工作方式时的电路及识图方法,并以实际应用电路(自动控制,音、视频信号处理,测量、检测、探测与报警,电源、充电与保护类控制电路及其他应用电路)为例,介绍复杂的运算放大器的识图方法与应用。

本书可作为职业院校电子技术学科的基础教材,也可供电子产品开发和生产技术人员及广大电子爱好者学习参考。

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

集成运算放大器实用电路识图 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2008.9
(电路识图系列丛书)

ISBN 978-7-121-07186-7

I. 集… II. 孙… III. 集成运算放大器—电路图—识图法 IV. TN722.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115458 号

责任编辑: 谭佩香

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

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: 19 字数: 462 千字

印 次: 2008 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 29.90 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

集成运算放大器是电子电路设计人员首选的 IC，由于其体积小，可靠性高，成本低，调试方便，故在各个领域的电子电路中应用相当广泛，电路应用形式也越来越多。从它们的应用方式来看，许多都是以最基本的典型应用方式为基础，根据实际需要经过参数重新配置、电路重新组合（指不同应用方式典型应用电路之间、典型应用电路与其他类型单元电路之间等）并进行电路扩展后得到的。因此，集成运算放大器电路的基本典型应用方式是各种专用集成运算放大器电路的基础，无论是产品设计、产品开发，还是产品维修，都离不开集成运算放大器最基本的典型应用电路。

本书正是从这些最基本的集成运算放大器的典型应用方式入手，重点讲解了集成运算放大器电路识图的基础知识，并采用图配文的解说方式，详细讲解了音频/视频处理电路，测量、检测电路，探测、报警电路，电源、充电电路及保护类电路的特点、功能工作原理、读图的切入点和识图方法以及应用中注意事项，使读者一看就懂，一学就会，为读者应用这些电路提供了方便。

本书在编排上，从基础知识入手，以讲解识图为基点，然后逐步深入介绍典型应用，最后介绍实用电路的识图，其目的是由浅入深，使读者能尽快掌握集成运算放大器的识图技巧与应用技术，进而可以很熟练地读懂各种更加复杂的集成运算放大器构成的电子产品的电路图。

本书的另一特点是浅显通俗，图文并茂，取材新颖，资料丰富，实用性强。

本书主要由孙余凯、吴鸣山、项绮明统稿，参加本书编写的人员还有：沈济坤、孙有勋、薛广英、周志平、徐绍贤、孙余明、陈芳、孙莹、孙庆华、谭长义、刘英、项天任、金宜全、孙余贵、吴永平、刘忠德、王五春、吕颖生、吕晨、项宏宇、孙余正、陈帆等。

本书在编写过程中，除参考了大量的国外、境外的现行期刊外，还参考过国内有关集成运算放大器电路方面的期刊、书籍及资料，参考过张晓东、许永才、谢春林、吴宗勤、刘喜甫、谭绍均、杨邦文、彭希南、沈桂明、苑晓泉、卿太全、喇明云、王刚勤、王毅等同志的文章，在此谨向有关单位和作者一并致谢。同时对给予我们支持和帮助的有关专家和部门深表谢意。

由于集成运算放大器应用方式极其广泛，应用技术发展极为迅速，限于作者水平有限，书中存在的不足之处，诚请专家和读者批评指正。

编著者

2008年7月

目 录

第 1 章 集成运算放大器电路基本知识	1
1.1 集成运算放大器的类型和特点	1
1.1.1 集成运算放大器的类型	1
1.1.2 集成运算放大器的特点	1
1.2 集成运算放大器的基本结构和符号	3
1.2.1 集成运算放大器的基本结构	3
1.2.2 集成运算放大器的符号	5
1.3 集成运算放大器基本特性和适用场合	5
1.3.1 集成运算放大器的基本特性	5
1.3.2 集成运算放大器的适用场合	5
1.4 集成运算放大器的封装与引脚功能	6
1.4.1 金属圆壳封装	6
1.4.2 双列式封装	9
1.5 集成运算放大器的主要参数及测试方法	12
1.5.1 集成运算放大器的主要参数	12
1.5.2 集成运算放大器主要参数的测试方法	17
1.5.3 集成运算放大器好坏的判断	25
1.6 集成运算放大器在实际使用中应注意的问题	29
1.6.1 参数应符合要求	29
1.6.2 应设置保护电路	29
1.6.3 运算放大器要调零	29
1.6.4 消除自激	31
1.6.5 对参数不符的 IC 的处理	33
1.6.6 要消除噪声干扰	33
1.6.7 要正确使用 CMOS 运算放大器	34

1.6.8	运算放大器应用中遇到的问题及处理方法	35
1.6.9	运算放大器性能扩展的方法	39
第 2 章	运算放大器的工作方式与识图	41
2.1	运算放大器反相输入组态的典型应用电路与识图	41
2.1.1	反相放大器电路	41
2.1.2	反相加法器电路	42
2.1.3	反比例放大器电路	42
2.1.4	反相交流放大器电路识图	43
2.1.5	多路音频信号混合电路识图	44
2.1.6	程控增益电路识图	45
2.1.7	压控增益电路识图	45
2.2	运算放大器同相输入组态的典型应用电路与识图	45
2.2.1	同相放大器电路	45
2.2.2	同比例放大器电路	46
2.2.3	电压跟随器电路	47
2.2.4	同相加法器电路	49
2.2.5	同相交流放大器识图	49
2.2.6	由 LF353N 型运算放大器构成的音频静噪电路的识图	50
2.2.7	交流信号三路放大分配电路识图	51
2.3	运算放大器差分输入组态的典型应用电路与识图	52
2.3.1	差分比例放大器电路	52
2.3.2	减法运算电路	53
2.3.3	电桥放大器	54
2.3.4	电压比较器	54
2.3.5	平衡式话筒放大电路识图	55
2.3.6	仪器仪表使用的放大电路识图	56
2.3.7	桥式放大电路识图	56
2.3.8	电压比较器电路识图	57
2.4	运算放大器振荡工作方式与识图	59
2.4.1	文氏桥式振荡器电路	59
2.4.2	RC 相移式正弦波振荡器电路	60

2.4.3	土壤湿度报警和指示电路识图	61
2.5	运算放大器对数工作方式与识图	62
2.5.1	对数放大器电路	62
2.5.2	反对数放大器(指数放大器)电路	63
2.6	运算放大器滤波工作方式与识图	64
2.6.1	低通滤波器电路	64
2.6.2	高通滤波器电路	65
2.6.3	带通滤波器电路	65
2.6.4	由 TL082 型构成的次声滤波器电路识图	66
2.6.5	多功能状态可变滤波电路识图	67
2.6.6	噪声滤除电路识图	68
2.7	运算放大器积分、微分工作方式与识图	69
2.7.1	同相积分器电路	69
2.7.2	差值积分器电路	69
2.7.3	微分器电路	70
2.7.4	由运算放大器 TL064P 构成的电压控制函数发生器电路识图	70
2.7.5	方波与三角波发生器电路识图	72
2.8	运算放大器电流-电压变换工作方式与电路识图	73
2.8.1	电流-电压变换电路	73
2.8.2	电压-电流变换电路	73
2.8.3	双极性电流源电路识图	74
2.8.4	线性刻度宽量程欧姆表电路识图	75
第 3 章	由运算放大器构成的自动控制电路与识图	77
3.1	温度自动控制类电路与识图	77
3.1.1	由 LM339 型比较器构成的多功能温控电路	77
3.1.2	由 LM339 型专用运算放大器构成的温度控制电路	79
3.1.3	由 LM2902P 型运算放大器构成的温度自动控制电路	81
3.1.4	由 LM393 型专用运算放大器构成的汽车空调电子温控电路	83
3.1.5	由 μ A741 型运算放大器构成的高精度宽范围的电子温控电路	84
3.1.6	由 TL091P 型运算放大器构成的调温恒温自动控制电路	86
3.1.7	由专用 LM393 型运算放大器构成的冷热水温自动控制电路	87

3.1.8	由 LM358N 型运算放大器构成的电热水瓶电路.....	89
3.1.9	由 LM324 型运算放大器构成的家禽孵化器电路	91
3.2	开关自动控制类电路与识图	94
3.2.1	由 LM741CN 型运算放大器构成的循环定时开关电路	94
3.2.2	由 μ PC741CP 型运算放大器构成的声控开关电路	96
3.2.3	由 μ A741 型运算放大器构成的有线电视自动开/关机电路	97
3.2.4	由 LM324 型运算放大器构成的自动延时断电控制电路.....	99
3.2.5	由 LM324 型运算放大器构成的人体接近开关电路.....	101
3.2.6	由 TL062 型运算放大器构成的自动关机电路.....	102
3.2.7	由 LM358N 型运算放大器构成的红外探测开关电路.....	103
3.2.8	由 LM2904N 型运算放大器构成的照明灯自动开关电路.....	104
3.2.9	由 LM324 型运算放大器构成的汽车前照灯自动开关电路.....	106
3.3	声音类自动控制电路与识图	107
3.3.1	由 LM324 型运算放大器构成的 10 路自动混音电路.....	107
3.3.2	由 LF347N 型运算放大器构成的自动迎客语音放送电路	109
3.3.3	由 LM324 型运算放大器构成的电子语音自动循环电路.....	111
3.4	电风扇、冲水及其他类自动控制电路与识图	113
3.4.1	由 TL082 型运算放大器构成的人体感应自动电风扇控制电路.....	113
3.4.2	由 LM324 型运算放大器构成的室温自动控制电风扇电路.....	115
3.4.3	由 μ A741 型运算放大器构成的自动冲厕节水电路	117
3.4.4	由 TL084 型运算放大器构成的卫生间全自动冲水控制电路.....	118
3.4.5	由 NE5532N 型运算放大器构成的自动降噪电路	123

第 4 章 由运算放大器构成的音频及视频信号处理电路与识图..... 125

4.1	功率放大类电路与识图	125
4.1.1	由 NE5534 型运算放大器构成的双声道功率放大电路	125
4.1.2	由 TL4558P 型运算放大器构成的准 DC 功率放大电路	126
4.1.3	由 LM833N 型运算放大器构成的 OCL 功率放大电路.....	128
4.1.4	由 LF412CN 型运算放大器构成的 S 类功率放大器	130
4.1.5	由 NE5532 型运算放大器构成的三分频高保真有源音响功率放大电路 ...	131
4.1.6	由 NE5532 型运算放大器构成的 50 W 功率放大电路	133
4.1.7	由 TL084 型运算放大器构成的有源电子分频功率放大电路.....	134

4.1.8	由 NE5534 型运算放大器构成的 40 W 高保真功率放大电路	135
4.1.9	由 AD712 型运算放大器构成的合并式 100 W+100 W 功率放大电路	137
4.1.10	由 NE5532 型运算放大器构成的高保真功率放大电路	138
4.1.11	由 TL082 型运算放大器构成的超低音功率放大电路	140
4.1.12	由 NE5535 型运算放大器构成的 Hi-Fi 功率放大电路	141
4.1.13	由 NE5532 型运算放大器构成的 OCL 高保真功率放大电路	142
4.2	信号放大类电路与识图	144
4.2.1	由 NE5534 型运算放大器构成的多用途音频均衡放大电路	144
4.2.2	由 NE5535 型运算放大器构成的具有电子音量控制的 Hi-Fi 信号放大电路	145
4.2.3	由 TL084 型运算放大器构成的增益可编程放大电路	146
4.2.4	由 LM741 型运算放大器构成的增益可正负调节的放大电路	148
4.2.5	由 AD797 型运算放大器构成的缓冲模拟放大电路	149
4.2.6	由 NE5532 型运算放大器构成的噪声极低的放大电路	150
4.2.7	由 NE5532 型运算放大器构成的 AA 类音调前置放大电路	152
4.2.8	由 OP—295 型运算放大器构成的低噪声、单电源前置放大电路	153
4.2.9	由 TL074P 型运算放大器构成的电子均衡放大电路	154
4.3	音效改善电路与识图	155
4.3.1	由 LM833N 型运算放大器构成的三阶有源滤波电路	155
4.3.2	由 TL084P 型运算放大器构成的动态静噪电路	156
4.3.3	由 NE5532 型运算放大器构成的免调试动态扩展电路	158
4.3.4	由 NE5532 型运算放大器构成的矩阵式环绕声电路	159
4.3.5	由 TL084 型运算放大器构成的十段音调控制电路	160
4.3.6	由 NE5534 型运算放大器构成的超动态低噪声跨导式音量控制电路	161
4.3.7	由 HA17084P 型运算放大器构成的有源超重低音电路	162
4.3.8	由 NE5532 型运算放大器构成的超低音扩展电路	163
4.3.9	由 TL084 型运算放大器构成的动态低音电路	164
4.4	信号混合转换分配电路与识图	165
4.4.1	由 LF353 型运算放大器构成的四通道音频混合器电路	165
4.4.2	由 NE5532 型运算放大器构成的具有动态降噪功能的混合放大电路	167
4.4.3	由 HA17902P 型运算放大器构成的多通道混合电路	168
4.4.4	由 TL084P 型运算放大器构成的三分频电路	169
4.4.5	由 5G6324 型运算放大器构成的多路音频分配电路	170

4.5 话筒、对讲机与音视频电路与识图	171
4.5.1 由 LM358P 型运算放大器构成的 FM 立体声无线话筒电路.....	171
4.5.2 由 μ PC741C 型运算放大器构成的无线话筒电路.....	174
4.5.3 由 TL084 型运算放大器构成的多路话筒有源扩展电路.....	175
4.5.4 由 LM324 型运算放大器构成的话筒低通滤波电路.....	176
4.5.5 由 LM741 型运算放大器构成的多路有线对讲电路.....	177
4.5.6 由 LM324 型运算放大器构成的固态录放音电路	179
4.5.7 由 LT1190 型运算放大器构成的长距离双向传输彩色视频信号电路.....	181

第 5 章 由运算放大器构成的测量、检测、探测和报警电路与识图..... 183

5.1 测量(试)类电路与识图	183
5.1.1 由 TL071P 型运算放大器构成的可测 10~100 000 μ F 电容的电路.....	183
5.1.2 由 LM358 型运算放大器构成的电容测量电路	184
5.1.3 由 μ PC151C 型运算放大器构成的电平测量电路.....	185
5.1.4 由 TL072 型运算放大器构成的信号频率测量电路.....	188
5.1.5 由 LF347N 型运算放大器构成的场强测量电路	189
5.1.6 由 TL062P 型运算放大器构成的低频磁场测量电路	190
5.1.7 由 TL074P 型运算放大器构成的 pH 值测量电路.....	191
5.1.8 由 μ A741TC 型运算放大器构成的电容器等效串联电阻测量电路	192
5.1.9 由 TL072 型运算放大器构成的相位差测量电路.....	193
5.1.10 由 TLC271 型运算放大器构成的电导测量电路.....	194
5.1.11 由 OP07P 型运算放大器构成的温度测量电路	196
5.1.12 由 LM324 型运算放大器构成的 0~150℃温差测量电路.....	198
5.1.13 由 LM324 型运算放大器构成的温度测量电路	199
5.1.14 由 AN6552 型运算放大器构成的电池能量测试电路.....	200
5.1.15 由 μ PC358 型运算放大器构成的电子式高度测量电路	202
5.2 测量仪表类电路与识图	204
5.2.1 由 μ PC151C 型运算放大器构成的保持读数式交流电流表电路.....	204
5.2.2 由 CA3140 型运算放大器构成的三位半发光数字万用表电路	206
5.2.3 由 LTC1047 型运算放大器构成的测量 pA 级电流电路	208
5.2.4 由 TLC274 型运算放大器构成的交流毫伏适配器电路.....	209
5.2.5 由 TLC272 型运算放大器构成的微欧表适配器电路	211

5.2.6	由 CA3140 型运算放大器构成的频率计电路	212
5.2.7	由 μ A741TC 型运算放大器构成的立体声平衡仪电路	213
5.2.8	由 LM324 型运算放大器构成的用光学检测的电子脉搏计电路	214
5.2.9	由 CA3140T 型运算放大器构成的 AC 毫伏表电路	218
5.3	检测类电路与识图	219
5.3.1	由 TL084 型运算放大器构成的真空度检测电路	219
5.3.2	由 LM741 型运算放大器构成的电话振铃侦测电路	222
5.3.3	由 TA7504P 型运算放大器构成的静电检测电路	223
5.3.4	由 LM358 型运算放大器构成的土壤湿度检测电路	224
5.3.5	由 μ A741TC 型运算放大器构成的大气压力传感器检测电路	225
5.3.6	由 TL074P 型运算放大器构成的电子电路故障在路检测仪电路	226
5.3.7	由 LM324 型运算放大器构成的水位检测显示电路	229
5.3.8	由 LM324 型运算放大器构成的光电指套式传感器电路	231
5.3.9	由 LM339 型专用运算放大器构成的采用声音辨别逻辑电平电路	232
5.3.10	由 μ PC451C 型运算放大器构成的液体存量检测显示电路	233
5.4	测试、探测、寻迹类电路与识图	235
5.4.1	由 TLC274 型运算放大器构成的逻辑电平测试电路	235
5.4.2	由 LM339 型专用运算放大器构成的多状态逻辑状态测试显示电路	236
5.4.3	由 LTC1152 型运算放大器构成的印制电路板短路探测电路	237
5.4.4	由 LM741 型运算放大器构成的音频信号寻迹电路	238
5.4.5	由 LM324 型运算放大器构成的微波探头电路	239
5.5	报警类电路与识图	241
5.5.1	由 TA7504P 型运算放大器构成的靠近高压电报警电路	241
5.5.2	由 μ PC151A 型运算放大器构成的汽车刹车灯监视报警电路	243
5.5.3	由 μ PC151C 型运算放大器构成的车后防撞提醒报警电路	244
5.5.4	由 μ A741 型运算放大器构成的微波探测报警电路	246
5.5.5	由 LM358 型运算放大器构成的磁控式防盗报警电路	248
5.5.6	由 LM324N 型运算放大器构成的汽车防盗电路	250
5.5.7	由 LM324 型运算放大器构成的可燃气体泄漏报警电路	252
5.5.8	由 TL062 型运算放大器构成的感应防盗电路	254
5.5.9	由 LM339 型专用运算放大器构成的遥控红外线防盗报警电路	256
5.5.10	由 LA6324 型运算放大器构成的甲烷检测报警电路	259

5.5.11 由 μ A741 型运算放大器构成的微波探测报警电路	262
第 6 章 由运算放大器构成的电源、充电及保护类电路与识图	265
6.1 线性稳压电源类电路与识图	265
6.1.1 由 LF353 型双高速运算放大器构成的 $\pm 15\text{ V}$ 电源电路	265
6.1.2 由 LM358 型运算放大器构成的可消除热量的并联稳压电路	266
6.1.3 由 CA081CS 型运算放大器构成的温漂极小的 DC 稳压电路	267
6.1.4 由 LM324 型运算放大器构成的交流电源自动调压电路	268
6.2 开关电源类电路与识图	269
6.2.1 由 AN6561 型运算放大器构成的 $5\sim 40\text{ V}$ 可调开关电源电路	269
6.2.2 由 μ PC151C 型运算放大器构成的智能功率开关电源电路	270
6.2.3 由 TL064P 型运算放大器构成的大功率开关电源电路	272
6.3 电流源类电路与识图	273
6.3.1 由 LM324 型运算放大器构成的可输出 85 mA 电流的电路	273
6.3.2 由 TL084 型运算放大器构成的输出电流可变的电流源电路	275
6.4 电源变换类电路与识图	276
6.4.1 由 μ PC358 型运算放大器构成的多路电源变换电路	276
6.4.2 由 μ PC151C 型运算放大器构成的单电源变双电源电路	277
6.5 充电类电路与识图	278
6.5.1 由 LM393 型运算放大器构成的自动充电电路	278
6.5.2 由专用 LM393 型运算放大器构成的三轮车电瓶充电电路	280
6.5.3 由专用 LM339 型运算放大器构成的可消除电池“双峰”效应的充电电路	281
6.6 保护类电路与识图	282
6.6.1 由 LM10 型运算放大器构成的可自动复位的固态保险电路	282
6.6.2 由 LM324 型运算放大器构成的过压与欠压保护电路	284
6.6.3 由专用 LM339 型运算放大器构成的过压、欠压保护电路	285
6.7 电源类其他电路与识图	287
6.7.1 由专用 LM311 型运算放大器构成的视听设备电源自动断电电路	287
6.7.2 由 LM358N 型运算放大器构成的智能电源插座电路	288
6.7.3 由 MAX495 型运算放大器构成的电源滤波电路	290
6.7.4 由 TL072 型运算放大器构成的可控制定量放电的电路	291

第 1 章 集成运算放大器电路基本知识

集成运算放大器是电子技术领域中的一种最基本的放大元件，在自动控制、测量技术、日用电器等多种领域中应用相当广泛。

集成运算放大器简称集成运放。其最初是由晶体管分立元件构成的，主要用于模拟电子计算机中，实现加法、乘法、微分、积分等数学运算。数字集成电路出现以后，集成技术就应用于数字电路，从而产生了数字集成运算放大器（简称集成运放，下同）电路。使原来十分复杂的分立元器件组成的电路集成在一块很小的芯片上，其性能优异、稳定可靠、通用性强。

1.1 集成运算放大器的类型和特点

集成电路是在半导体制造工艺的基础上将许多元器件与连接导线所组成的完整电路，用统一工艺程序制作在一小块硅单晶片上，成为不可分的固体组件。集成电路可分为数字集成电路和模拟集成电路两大类。

1.1.1 集成运算放大器的类型

集成运算放大器是集成电路中的一个重要部分，它实际上是一种双端输入、单端输出、高增益、高输入电阻、低输出电阻的多级直接耦合放大器。当给其外加不同性质的反馈网络时，能实现一系列各种各样的电路功能。

国产集成运算放大器有通用型和特殊型两大类。

1. 通用型

通用型有通用 1 型（低增益）、通用 2 型（中增益）及通用 3 型（高增益）三类。通用型的指标比较均衡全面，适用于一般电路。

2. 特殊型

特殊型有高精度型、高阻抗型、高速型、高压型、低功耗型及大功率型等。

特殊型的指标大多数有一项指标非常突出，它是为满足某些专用的电路需要而设计的。

1.1.2 集成运算放大器的特点

集成运算放大器，一般是用厚约 $0.2\sim 0.5\text{ mm}$ ，面积约为 5 mm^2 的 P 型硅作基片（或称为衬底），采用与硅平面晶体管相似的生产工艺程序，制作成含有数十个晶体管、二极管、电阻器、电容器以及它们之间的连接导线的完整电路，从而形成了固体组件。外面通常用金属圆壳或塑料结构封装，大小与一般小功率半导体管及双列式 8 脚封装，双列 14 脚、双列 16 脚集成块类似。与分立元件电路比较，用集成工艺生产的集成运算放大器主要有以下特点。

1. 有利于减小温度漂移

在集成运算放大器中，所有的元器件处在同一硅片上，距离非常近，又是通过相同的工艺过程制造出来的，这使同一芯片内的元件参数绝对值有相同的偏差，即元器件不仅具有较好的对称性和一致性，而且元器件之间温度差异很小，温度一致性较好，容易制成两个特性相同的管子和两个阻值相同的电阻器，故尤其适用于作差分式放大器。因此，集成工艺给集成运算放大器带来的第一个特点就是：其输入级都无例外地采用集成差分放大器。由此可以减小温度漂移和提高共模抑制比。

2. 采用半导体体电阻作电阻

集成运算放大器中的电阻大多数是由硅半导体体电阻构成的，电阻值范围一般为几十欧至 $20\text{ k}\Omega$ ；制造阻值较高和较低的电阻有一定的困难。如要求阻值较大，则占用的硅片面积也大，不宜采用。此外，电阻值的精度也不容易控制，阻值误差可达 $10\%\sim 20\%$ 。所以，在集成运算放大器的电路中，尽量不采用高阻值的电阻，必要时，也可用半导体三极管等有源元器件来代替，或采用外接电阻器的方法来解决。

3. 用 PN 结电容取代电容器

在集成运算放大器电路中，只制作小于 200 pF 的电容器，或尽量不用电容器。由于集成运算放大器中的电容器都是由 PN 结反向偏置下的结电容构成的，误差较大，而且制造一个电容器所占用硅片的面积，相当于 10 个左右的晶体三极管和 $100\text{ k}\Omega$ 电阻器所占用的集成芯片的面积。

4. 芯片内没有电感器

在集成运算放大器中，制造电感较难实现，所以集成电路都采用直接耦合方式。这样就可使电路获得较好的低频响应，并可节省硅片面积。

5. PNP 管做成横向的

集成运算放大器中的 PNP 管大多数是做成横向的，即从发射极流向集电极的电流是沿硅片横向的方向。其结构如图 1-1 (a) 所示。

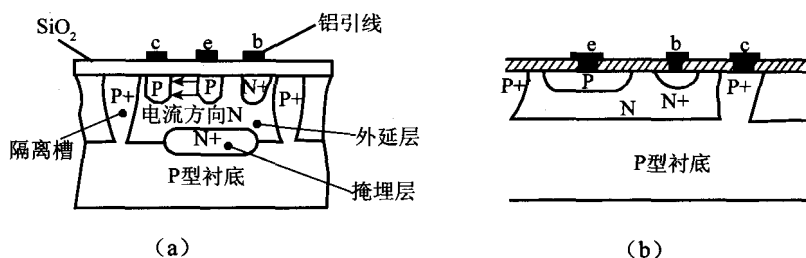


图 1-1 PNP 型晶体三极管

由于集成电路中所有的元器件都制作在同一硅片上，为了避免它们之间的互相影响，必须将硅片划分成许多彼此隔离的区域，各元器件就制造在各自的区域内。通常将每一隔离区域称隔离岛。

在目前的集成工艺中,大多数采用反向偏置的PN结隔离方式。一般集成电路是以P型半导体为衬底的,通过氧化,光刻和扩散形成 N^+ 掩埋层,而后进行外延生长,在衬底和掩埋层上形成高电阻率的N型外延层。横向PNP管可以和NPN管同时制成,工艺简单方便。它是在外延层上制作出两个靠得很近的P区和 P^+ 隔离槽,这两个P区分别作为横向PNP管的发射区和集电区,外延层是它的基区。隔离槽穿透处延层与衬底相连通。

为了使N型隔离岛与周围P区之间的PN结处于反向偏置, P^+ 隔离槽和衬底接在电路中最负的电位上,否则就不能起隔离作用。因此,一般情况下,不能将衬底作为集电极,不能做成如图1-1(b)所示的纵向PNP管。

由于工艺水平的限制,横向PNP管的基区不能做得很薄,同时发射区又不是高掺杂的,所以它的 β 值很小,一般小于10。

6. 温度补偿元器件多为半导体三极管结构

集成运算放大器中的二极管是将三极管的集电极与基极短接后代替的,如图1-2所示的b-e结二极管,它是将b、e作为一个二极管,称为发射结二极管,这种连接方法的二极管,其正向压降的温度系数接近于同类型三极管的b-e结温度系数,从而能较好地补偿半导体三极管发射结的温度特性。

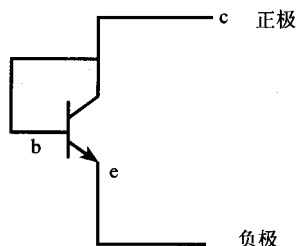


图 1-2 b-e 结二极管

7. 经常采用复合管和复合电路

在集成运算放大器中,经常采用复合管和复合电路,如共射-共基或共集-共基电路结构。例如:差分输入级,通常要求其具有电流增益大,反向击穿电压高等性能,利用复合结构可以同时满足这两方面的要求。将击穿电压低的超 β (2 000~10 000)晶体管和低 β 而击穿电压较高($BV_{ceo}=80\sim 90\text{ V}$)的横向PNP管,接成共射-共基电路,就是最好的例子。

8. 设计思路与分立元件电路不同

由于结构上的特点,集成运算放大器在电路设计思路与分立元件电路有较大的差别,主要是集成晶体管比集成电阻器、电容器容易得多,因此主要是用有源器件——晶体三极管代替无源元件(电阻器,电容器等),将无源元件的数量减到最少。此外,集成运算放大器还有电源电压低($E_c<\pm 20\text{ V}$)和功耗低($P<100\text{ mW}$)的特点。

1.2 集成运算放大器的基本结构和符号

1.2.1 集成运算放大器的基本结构

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三个基本部分构成。其典型电路如图1-3所示。

1. 输入级

集成运算放大器的输入级,一般采用恒流源的差分放大器,有两个输入端。

(1) 同相输入端。信号若从这一端输入，在输出端可得到与输入端极性相同的同相信号。

(2) 反相输入端。信号若从这一端输入，在输出端可得到与输入端极性相反的反相信号。

信号可根据需要从某一端输入，也可同时从两个端子作差分输入。

输入级是集成运算放大器组成的关键部分，对它的要求是高增益，大的共模抑制比，高输入阻抗和允许较大范围的信号输入。

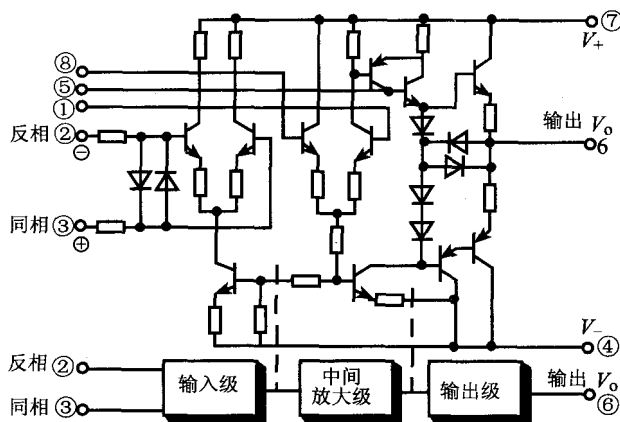


图 1-3 集成运算放大器的典型电路

2. 中间级

中间级除了起放大作用外，还必须完成直流电平位移，使运算放大器输入为零时，输出电平亦为零。因为在集成运算放大器中，放大级之间都采用直接耦合方式，而直接耦合放大器中，后级的基极输入直流电平就是前级集电极输出直流电平。因 NPN 管的集电极电位总比基极电位高，经过逐级递增的结果，输出直流电平不断升高，就不能满足在零输入时对应的输出电平为零的要求。为解决这一问题，通常采用在级间插入 PNP 管来实现直流电平位移。

中间级也称为中间增益级，对该级的一般要求，除了要有足够高的增益以外，还常需要有电平（电平是表示电学量电压、电流、电功率等相对大小的参数）位移和双端变单端的电路。

3. 输出级

对输出级的一般要求是：要有较大的额定输出电压或电流，要有较低的输出电阻，以适应不同负载的要求。

由于射极输出器具有输入电阻高、输出电阻低、电流增益大和电压跟踪性好的特点，所以它最适合做集成运算放大器的输出级，有的为了进一步减小输入电阻，提高带负载的能力，射极输出器还常用复合管。

另外，为了使射极输出器的电压放大倍数尽量接近于 1，同时利用集成电路工艺上的特点，射极输出器发射极电阻常用恒流源电路来代替。