



电子技术基础教材

模拟集成电路

基础与应用

孙余凯 项绮明 等编著

- 模拟集成电路的检测与代换
- 集成运算放大器及实用电路
- 集成电压比较器及实用电路
- 集成功率放大器及实用电路
- 集成直流稳压器及实用电路



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

模拟集成电路基础与应用

孙余凯 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

本书以普及、应用模拟集成电路为主线，详细地介绍了多种模拟集成电路的结构、工作原理和分析方法，各种模拟集成电路附属元件的作用，以及组成各种电路的实例。主要内容包括：模拟集成电路的使用、检测、代换方面的基本知识，集成运算放大器、集成电压比较器、集成功率放大器、集成直流稳压器等各种模拟集成电路的组成及各种实用电路。这些实用电路均精选于生产实践，取材于先进电子产品及控制电路和技术改造的成果。

为了检验学习情况，每章均有习题，书后附有习题答案供参考。

本书可作为高、中等职业学校电子技术基础教材，也可供电子产品开发及生产的技术人员和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

模拟集成电路基础与应用 / 孙余凯等编著. —北京：电子工业出版社，2006.4
ISBN 7-121-02383-0

I. 模... II. 孙... III. 模拟集成电路 IV. TN431.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 020263 号

责任编辑：谭佩香

印 刷：河北省邮电印刷厂

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

经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：19.5 字数：435 千字

印 次：2006 年 4 月第 1 次印刷

印 数：6000 册 定价：28.00 元

凡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。
联系电话：(010)68279077。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。

前 言

目前,模拟集成电路的制造技术迅速发展,模拟集成电路已在我国众多技术领域中被广泛应用。为了适应新的工业革命的需要,根据少而精的原则,我们编写了这本《模拟集成电路基础与应用》一书,集中讨论模拟集成电路的原理和应用技术。

本书以集成运算放大器(简称运放)和比较器作为模拟电路的基础,并在此基础上介绍各种模拟 IC 实用电路,介绍这些集成电路的形式和工作原理均以应用为目的,使读者能熟练地掌握它们的功能、外部特性和参数以及典型的应用,为分析和设计模拟 IC 系统服务。对于模拟 IC 工艺设计制造的内容不作分析。

本书在编写时采用渗入对比的方法,将各种同功能的模拟 IC 同时介绍给读者,通过对比归纳,全面介绍各自的特点,以利于学习和应用。

本书在编排上,从基础知识入手,然后逐步深入介绍典型应用,最后介绍实用电路,其目的是由浅入深,使读者能尽快掌握模拟集成电路的应用技术,进而设计出更多、更先进的模拟 IC 电子产品。

模拟集成电路是实践性很强的技术基础课,为了使读者能真正掌握基础知识,本书在每章之后均增设了习题,供读者检查自己的学习情况,可起到总结提高的作用。

本书特别适合初学者,不仅可以使初学者提高阅读电路图的能力,还可以帮助读者快速、正确地处理实际工作中遇到的问题(如产品开发、产品维修等),并在技术革新和技术改造中获得有益的启迪。

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。

参与本书编写的人员还有:吴鸣山、吕晨、刘忠德、吕颖生、孙余正、陈玉兰、刘忠梅、孙余平、王五春、谭长义、孙余贵、项宏宇、刘忠新、孙余明、陈芳、陈帆、王华君、金宜全、吴永平、胡家珍、刘普玉、项天任、刘英、沈济坤、徐绍贤等。

在本书编写过程中,参考过国内外有关报刊,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同行专家及有关部门深表谢意。

由于模拟集成电路发展极为迅速,涉及面广,加上我们水平有限,书中难免有错误与不妥之处,真诚希望专家和读者批评指正。

联系方式: tan_peixiang@phei.com.cn

编著者

2006年1月5日

目 录

第 1 章 模拟集成电路的使用、检测、代换方法	1
1.1 什么是模拟电路	1
1.2 模拟集成电路实际使用中应注意的问题	1
1.2.1 参数应符合要求	1
1.2.2 应设置保护电路	2
1.2.3 要调零	2
1.2.4 消除自激	3
1.2.5 对参数不符的 IC 的处理	4
1.2.6 要消除噪声干扰	5
1.2.7 集成电路的使用	5
1.2.8 运算放大器性能扩展的方法	9
1.2.9 模拟集成电路的封装及管脚识别方法	11
1.3 集成运放的主要参数及测试方法	15
1.3.1 集成运放的主要参数	15
1.3.2 集成运放的测试方法	20
1.4 模拟集成电路好坏的判断方法	30
1.4.1 判断 IC 好坏的步骤	30
1.4.2 电压测量判断 IC 好坏	30
1.4.3 测电阻判断 IC 好坏	35
1.4.4 电流流向跟踪电压测量判断 IC 好坏	36
1.4.5 测电流判断 IC 好坏	36
1.4.6 集成运算放大器好坏的判断	37
1.4.7 模拟与数字混合电路 555 的好坏检测	40
1.4.8 三端稳压器好坏的判断	41
1.5 模拟集成电路代换方法	43
1.5.1 模拟集成电路的直接代换	43
1.5.2 模拟集成电路的间接代换	45
1.5.3 更换模拟集成电路应注意的问题	46
1.5.4 模拟 IC 代换对照表	47
1.6 模拟 IC 产品的检修方法	66
1.6.1 故障检修之前的处理方法	66

1.6.2 熟悉电路及原理.....	67
1.6.3 观察故障现象.....	67
1.6.4 故障的检测及大概部位的确定	67
1.6.5 故障修理.....	67
1.6.6 故障实例.....	68
习题 1	69
第 2 章 集成运算放大电路.....	71
2.1 集成运放的基本特性	71
2.1.1 集成运放的基本结构.....	71
2.1.2 集成运放的符号及引脚.....	72
2.1.3 集成运放的基本特性.....	72
2.2 理想运算放大器	73
2.2.1 理想运放的特点.....	73
2.2.2 实际运算放大器.....	73
2.3 集成运放的适用场合	73
2.4 运算放大器的典型应用电路.....	74
2.4.1 反相放大器.....	74
2.4.2 反相加法器.....	75
2.4.3 同相放大器.....	75
2.4.4 反相积分器电路.....	76
2.4.5 同相加法器.....	76
2.4.6 双端求和电路.....	77
2.4.7 差动比例放大器.....	78
2.4.8 减法运算电路.....	79
2.4.9 电桥放大器.....	81
2.4.10 比例器.....	82
2.4.11 同相积分器.....	83
2.4.12 差值积分器.....	84
2.4.13 微分器.....	84
2.4.14 文氏桥式振荡器.....	85
2.4.15 电压比较器.....	86
2.4.16 低通滤波器.....	86
2.4.17 RC 相移式正弦波振荡器.....	87
2.4.18 对数放大器.....	88
2.4.19 反对数放大器(指数放大器)	89
2.4.20 电流-电压变换电路.....	89

2.4.21	电压-电流变换电路.....	90
2.4.22	逻辑门电路.....	91
2.5	运放 IC 实用电路	92
2.5.1	由运放 CA082E 构成的线性刻度宽量程欧姆表电路.....	92
2.5.2	由运放 CA3078/A 构成的超低压比较电路.....	94
2.5.3	由运放 CA3140 构成的负载电流估测显示电路.....	94
2.5.4	由运放 CA3140 构成的防入侵电路.....	95
2.5.5	由运放 CA3420AS 构成的平衡式话筒放大电路.....	96
2.5.6	由运放 F007 构成的高稳定恒流电源电路.....	97
2.5.7	由运放 HA12017 构成的前级放大电路.....	98
2.5.8	由运放 HA17084P 构成的电平压缩电路	98
2.5.9	由运放 LF351H 构成的电机绕组磁极检测电路.....	99
2.5.10	由运放 LF353N 构成的音频静噪电路.....	100
2.5.11	由运放 LF356N 构成的高阻测量电路.....	101
2.5.12	由运放 LF357N 构成的 Hi-Fi 声频信号传输的光纤接收电路.....	102
2.5.13	由运放 μ PC357C 构成的 Hi-Fi 声频信号传输的光纤发射电路	103
2.5.14	由运放 LF358N 构成的表头保护电路.....	104
2.5.15	由运放 LF412CN 构成的电池高倍充电电路	105
2.5.16	由运放 LM741 构成的双电源稳压电路	106
2.5.17	由运放 LF741CH 构成的 0~10 V 输入变换为 0~20 mA 输出电路	106
2.5.18	由运放 LM12 构成的高功率 AF 放大电路	107
2.5.19	由运放 LM12 构成的音响功率放大电路	108
2.5.20	由运放 LM358 构成的磁场探测器电路	108
2.5.21	由运放 LM358N 构成的抽油烟机自动控制电路.....	110
2.5.22	由双运放 LM358 构成的低电压、大电流稳压电路.....	111
2.5.23	由双运放 LM358 构成的具有放电功能的自动充电电路.....	112
2.5.24	由运放 LM358 构成的电开水器控制电路	113
2.5.25	由运放 LM741 构成的汽车前照灯保护电路	115
2.5.26	由运放 LM833N 构成的高保真甲类放大电路.....	116
2.5.27	由运放 LM2904H 构成的汽车发电机电压调节电路.....	117
2.5.28	由运放 LM2904N 构成的 LED 立体声显示屏电路.....	118
2.5.29	由运放 LP292M 构成的红外自动开关电路	119
2.5.30	由运放 MC174 构成的高保真 BTL 功率放大电路.....	119
2.5.31	由运放 MC174CG 构成的土壤湿度检测显示电路.....	121
2.5.32	由运放 NE5532 构成的直通放大器电路	122
2.5.33	由运放 NE5532 构成的高保真音响电路.....	122
2.5.34	由运放 NE5532 构成的均衡放大电路	123
2.5.35	由运放 NE5532 构成的音调控制电路	124

2.5.36	由运放 NE5532 构成的功率放大电路	125
2.5.37	由运放 NE5532 构成的有源话筒电路	125
2.5.38	由运放 NE5532 构成的响度控制电路	126
2.5.39	由运放 NE5534 构成的功率放大电路	127
2.5.40	由运放 NE5534N 构成的胆机放大电路	127
2.5.41	由运放 TA7504P 构成的低频信号全波整流电路	129
2.5.42	由运放 TL0629 构成的 CD、VCD 噪音滤除电路	129
2.5.43	由运放 TL0629P 构成的高速小信号检波器电路	130
2.5.44	由运放 TL064P 构成的音调控制电路	131
2.5.45	由运放 TL064P 构成的电压控制函数发生电路	131
2.5.46	由运放 TL074P 构成的可燃气体定量显示报警电路	133
2.5.47	由运放 TL082P 构成的动态噪声限制电路	135
2.5.48	由高速运算放大器 TL084CN 构成的全集成 Hi-Fi 参量均衡扩音电路 ...	136
2.5.49	由运放 TL084P 构成的立体声相位校正电路	137
2.5.50	由运放 TLC271 构成的低成本的函数发生电路	138
2.5.51	由运放 μ PC151A 构成的 DC 电压欠压报警电路	140
2.5.52	由运放 μ PC151C 构成的电路电流限定电路	140
2.5.53	由单运放 μ PC151C 构成的电平表电路	142
2.5.54	由运放 μ PC451C 构成的值守式防盗电路	142
2.5.55	由运算放大器 μ A741 构成的自动冲厕节水电路	144
2.5.56	由运放 μ A741 构成的仪表刻度扩展电路	146
2.5.57	由运放 μ A741 构成的线性刻度的热敏电阻温度计电路	147
2.5.58	由运放 μ A741 构成的电子温度显示电路	147
2.5.59	由运放 μ A741 构成的多功能状态可变滤波电路	148
2.5.60	由运放 μ A741HC 构成的电子育雏电路	149
2.5.61	由运放 μ PC4558D 构成的随身听有源音响电路	150
2.5.62	由运放 5G14573 构成的方波与三角波发生电路	151
2.5.63	由运放 8FC7B 构成的雏鸡雌雄鉴别电路	152
习题 2		152

第 3 章 集成运放 LM324 电路 155

3.1	LM324 的封装方式及内部结构	155
3.1.1	LM324 封装方式	155
3.1.2	LM324 内部结构	155
3.1.3	LM324 引脚功能	156
3.2	LM324 的主要参数及同类产品	156
3.2.1	主要电参数	156

3.2.2	LM324 的同类产品	157
3.3	LM324 典型应用电路	157
3.3.1	同相交流放大电路	157
3.3.2	反相交流放大电路	158
3.3.3	比较电路	158
3.3.4	单稳态触发电路	160
3.3.5	电压保持电路	161
3.3.6	精密电压整流器	162
3.3.7	峰-峰值检测电路	162
3.3.8	有源带通滤波电路	162
3.3.9	多路音频信号混合电路	163
3.3.10	程控增益电路	164
3.3.11	压控增益电路	164
3.3.12	电流定标电路	164
3.3.13	测温电路	165
3.3.14	桥式放大电路	165
3.3.15	仪器仪表用放大电路	166
3.3.16	低通滤波电路	166
3.3.17	高通滤波电路	167
3.3.18	交流信号三路放大分配电路	167
3.3.19	音调控制电路	168
3.3.20	选频电路	168
3.3.21	绝对值放大电路	168
3.3.22	功率放大电路	169
3.3.23	小电流稳压电路	169
3.4	集成运放 LM324 实用电路	169
3.4.1	由运放 LM324 构成的密封铅酸蓄电池充电电路	169
3.4.2	由运放 LM324 构成的三角波发生电路	171
3.4.3	由四运放 LM324 构成的具有缺相保护功能的蓄水池自动供水电路	173
3.4.4	由运放 LM324 构成的电压比较式逻辑电平测试电路	174
3.4.5	由运放 LM324 构成的过零调功电路	175
3.4.6	由运放 LM324 构成的通用模拟信号工作范围显示电路	176
3.4.7	由运放 LM324 构成的电动三轮车控制电路	177
3.4.8	由运放 LM324 构成的具有优先级别的呼叫电路	178
3.4.9	由运放 LM324 构成的多功能稳压、快速充电电路	180
3.4.10	由运算 LM324 构成的可逆自动调整多挡稳压电源电路	181
3.4.11	由运放 LM324 构成的多功能彩灯控制电路	183

3.4.12	由运放 LM324 构成的自动换挡稳压电路	184
3.4.13	由运放 LM324 构成的三路彩灯控制电路	185
3.4.14	由运放 LM324 构成的温度上下限报警电路	186
3.4.15	由运放 LM324 构成的四状态逻辑笔电路	188
3.4.16	由运放 LM324 构成的汽车会车前照灯自动开关电路	188
3.4.17	由运放 LM324 构成的 3D 超低音分频电路	189
3.4.18	由运放 LM324 构成的电子式车用油量表电路	190
3.4.19	由运放 LM324N 构成的报警、门铃控制电路	191
3.4.20	由运放 LM324 构成的可设定输出脉冲个数的振荡电路	193
3.4.21	由运放 LM324 构成的农村有线广播信号处理电路	194
3.4.22	由运放 LM324 构成的光点式电平指示电路	195
习题 3		196

第 4 章 集成电压比较电路.....199

4.1	集成电压比较器与集成运放的差别	199
4.1.1	应用范围	199
4.1.2	特性参数	199
4.1.3	工作特性	199
4.2	集成电压比较器的供电方式	200
4.2.1	单电源供电方式	200
4.2.2	双电源供电方式	200
4.3	集成电压比较器输入与输出电压波形之间的关系	201
4.3.1	单电源供电集成电压比较电路	201
4.3.2	双电源供电集成电压比较电路	202
4.4	集成电压比较器的类型及封装	203
4.4.1	集成电压比较器的类型	203
4.4.2	集成电压比较器的封装	204
4.5	常用集成电压比较器简介	205
4.5.1	四电压比较器 LM339	205
4.5.2	双电压比较器 LM393	206
4.5.3	单电压比较器 LM311	207
4.6	集成电压比较器典型应用电路	207
4.6.1	零电平电压比较电路	207
4.6.2	单限比较电路	207
4.6.3	双限比较电路	208
4.6.4	LM311 比较器几种典型应用	209
4.6.5	振荡器电路	210

4.6.6	迟滞比较电路.....	210
4.6.7	低电压指示电路.....	211
4.7	集成电压比较器实用电路.....	212
4.7.1	由四电压比较器 LM339 构成的相位检测电路.....	212
4.7.2	由四电压比较器 LM339 构成的 CMOS/TTL 逻辑测试笔电路.....	213
4.7.3	由双电压比较器 LM393 构成的汽车空调电子温控电路.....	215
4.7.4	由比较器 LM339 构成的红外检测电路.....	216
4.7.5	由比较器 LM339 构成的电磁炉主脉宽调制和同步整形电路.....	217
4.7.6	由比较器 LM339 构成的电磁炉电网电压过压检测电路.....	219
4.7.7	由比较器 LM339 构成的电磁炉锅检脉冲发生电路.....	219
4.7.8	由电压比较器 LM339 构成的多功能光控开关电路.....	220
4.7.9	由比较器 LM339 构成的湿度自动控制电路.....	222
4.7.10	由比较器 LM339 构成的音调控制电路.....	223
4.7.11	由电压比较器 LM339 构成的市电欠压及过压报警电路.....	224
4.7.12	由比较器 LM339 构成的逻辑状态测试电路.....	225
4.7.13	由电压比较器 LM339 构成的卡拉 OK 变调电路.....	226
4.7.14	由比较器 LM339 构成的过热检测保护电路.....	228
4.7.15	由电压比较器 LM311 构成的红外线测试开关电路.....	228
4.7.16	由电压比较器 LM311 构成的电子相位测量电路.....	229
4.7.17	由比较器 LM111 构成的零交叉检测处理电路.....	231
4.7.18	由比较器 LM111 构成的低电平光敏二极管比较电路.....	232
习题 4		232

第 5 章 集成功率放大电路.....235

5.1	功率放大电路的类型和特点.....	235
5.1.1	甲类功率放大电路.....	235
5.1.2	乙类功率放大电路.....	235
5.1.3	甲乙类功率放大电路.....	236
5.1.4	丙类功率放大电路.....	236
5.2	集成功率放大电路原理.....	236
5.2.1	OTL 电路.....	236
5.2.2	OCL 电路.....	241
5.2.3	BTL 电路.....	243
5.3	集成功放 IC 实用电路.....	248
5.3.1	由功放电路 LM386 构成的金属探测电路.....	248
5.3.2	由功放电路 LM386 构成的无线发射电路.....	249
5.3.3	由功放电路 LM386 构成的不用调整的无线话筒电路.....	250

5.3.4	由功放电路 LM386 构成的汽车安全带语音提醒电路.....	250
5.3.5	由功放电路 LM386 构成的电话式双向对讲门铃电路.....	251
5.3.6	由功放电路 LM386 构成的电话选频扩音与发射电路.....	252
5.3.7	由功放电路 LM386 构成的变音电路	254
5.3.8	由功放电路 LM386 构成的汽车倒车报警电路.....	255
5.3.9	由功放电路 LM386 构成的有线半双工对讲机电路.....	255
5.3.10	由功放电路 LM386 构成的带静噪的功放电路.....	256
5.3.11	由功放电路 LM386 构成的收音机电路	257
5.3.12	由功放电路 LM386 构成的桥式推挽功率放大电路.....	257
5.3.13	由功放 LM386 构成的变声电路	258
5.3.14	由功放 LM386 构成的感应式狗叫防盗报警电路.....	259
5.3.15	由功放 LM386 构成的酒精气味检测报警电路.....	260
5.3.16	由功放 LM3886 构成的 OCL 放大电路	261
5.3.17	由功放 LM3886 构成的采用恒流驱动方式的功放电路.....	262
5.3.18	由功放块 LM3886 构成的功放电路	263
习题 5		264
第 6 章 集成直流稳压电源电路.....		265
6.1	集成直流稳压电源的类型及特点.....	265
6.1.1	线性稳压电源.....	265
6.1.2	开关稳压电源.....	271
6.2	直流稳压电源的组成	272
6.2.1	线性稳压电源.....	272
6.2.2	开关稳压电源.....	273
6.3	集成稳压电路的原理	274
6.3.1	线性稳压电源.....	274
6.3.2	开关稳压电源.....	274
6.4	集成直流稳压 IC 实用电路.....	275
6.4.1	由三端稳压块 W78 $\times$ $\times$ 构成的扩流电源电路.....	275
6.4.2	由三端稳压块 AN7815、AN7915 构成的有源伺服电源电路	276
6.4.3	由三端固定稳压块 AN7809 构成的汽车防盗无线发射电路	276
6.4.4	由 AN7805 三端稳压块构成的闪光彩灯电路.....	277
6.4.5	由稳压块 AN78L06 构成的晶体管 h_{FE} 测试电路.....	278
6.4.6	由三端固定稳压块 W7805 构成的胆机电源电路.....	278
6.4.7	由三端稳压块 W7812 构成的 13.4 V 电源电路.....	279
6.4.8	由三端固定稳压器 W7806 构成的多挡维修电源电路	280
6.4.9	由三端固定稳压块 AN7800 构成的上调式稳压电路	281

6.4.10	由三端固定稳压块 AN7800 构成的自零调压式稳压电路	281
6.4.11	由三端固定稳压块构成的 0~±18 V 连续可调电源电路	282
6.4.12	由三端固定稳压块 78×× 系列构成的稳压电路	282
6.4.13	可扩展 7800 系列三端稳压集成块输出电流的电路	283
6.4.14	可扩展 7900 系列三端稳压集成块输出电流的电路	284
6.4.15	由三端可调稳压器 LM317 构成的 1.5~12 V 电源变换电路	284
6.4.16	由三端可调式稳压器 LM317 构成的 1.25 V 稳压电路	285
6.4.17	由可调电源块 LM317 构成的电池自动充电电路	285
6.4.18	由三端可调稳压器 LM317K 构成的 1.25~30 V 稳压电路	286
6.4.19	由稳压电路 LM317T 构成的恒流、恒压充电电路	287
6.4.20	由三端可调稳压器 LM317K 构成的 0~30 V 连续可调电源电路	288
6.4.21	由稳压电路 LM317 构成的具有待机功能的多功能稳压电路	288
6.4.22	由三端可调稳压器 LM317K 构成的能自动切换交流电压的稳压电源电路 ..	290
6.4.23	由三端可调稳压块 LM317T 构成的稳压、交流电路	291
6.4.24	由三端可调稳压器 LM317 构成的恒流源电路	292
6.4.25	由三端稳压块 LM317T 构成的火灾自动报警电路	292
6.4.26	由稳压块 LM317T 构成的并联式稳压电路	293
习题 6		294

附录 习题答案297

习题 1 答案	297
习题 2 答案	297
习题 3 答案	297
习题 4 答案	297
习题 5 答案	298
习题 6 答案	298

第1章 模拟集成电路的使用、检测、代换方法

1.1 什么是模拟电路

电子电路按功能可分为模拟电路和数字电路两大类。数字电路是以“开”和“关”两种状态或者以高、低电平来对应“1”和“0”二进制数字量，并进行数字运算（又称逻辑运算）、存储、传输及转换的一种电子电路。数字信号是断续变化（离散）的。

除了数字信号以外的所有形式的信号，统称为模拟信号（或称模拟量）。例如：用一定的物理量（长度、转角、电压等）来表示的数量或变量，称为模拟量。模拟信号是连续变化的。模拟电路用来处理连续变化的信号。

1. 模拟电路的模拟量

模拟电路是以电压或电流为模拟量进行放大、转换、调制的一种电子电路。

2. 模拟电路研究的信号

在模拟电子电路中，主要研究的是微弱信号的放大以及各种类型信号的产生、变换和反馈等。

3. 模拟电路的类型

模拟电路可分为线性电路和非线性电路。

（1）线性电路。通常是将输出信号和输入信号的变化成线性关系的电路称为线性电路。例如：运算放大器，音频、中频及宽频带放大电路等。

（2）非线性电路。将输出信号和输入信号的变化不成线性关系的电路（但不是开关性质）称为非线性电路。例如：检波器、稳压器、调制器等。

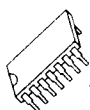
线性电路又有两种类型：一种是通用类，如运算放大器；另一种是专用类，如应用于电视机和显示器的扫描电路及应用于音响的功放电路等。

1.2 模拟集成电路实际使用中应注意的问题

模拟集成电路（尤其是运算放大器）在使用时，通常应注意以下问题。

1.2.1 参数应符合要求

模拟集成电路在使用时，应先确认其工作参数是否符合要求。可以采用简单测量方法或专用的参数测试仪器来测量。



1.2.2 应设置保护电路

根据实际工作的需要,对所使用的集成电路加装保护电路。例如:输入保护、输出保护、电源极性接错保护,以及电源启动瞬时过电压保护等。

1.2.3 要调零

1. 为什么要调零

对于运算放大器来说,由于失调电压和失调电流的存在,当输入信号为零时,输出一般不为零。为此,就需要有调零措施,以补偿因输入失调造成的影响,使放大器输入为零时,输出也为零。另外,通过调零也可检查集成运算放大器是否正常工作。

2. 常用的调零措施

常用调零方式示意图如图 1-1 所示。

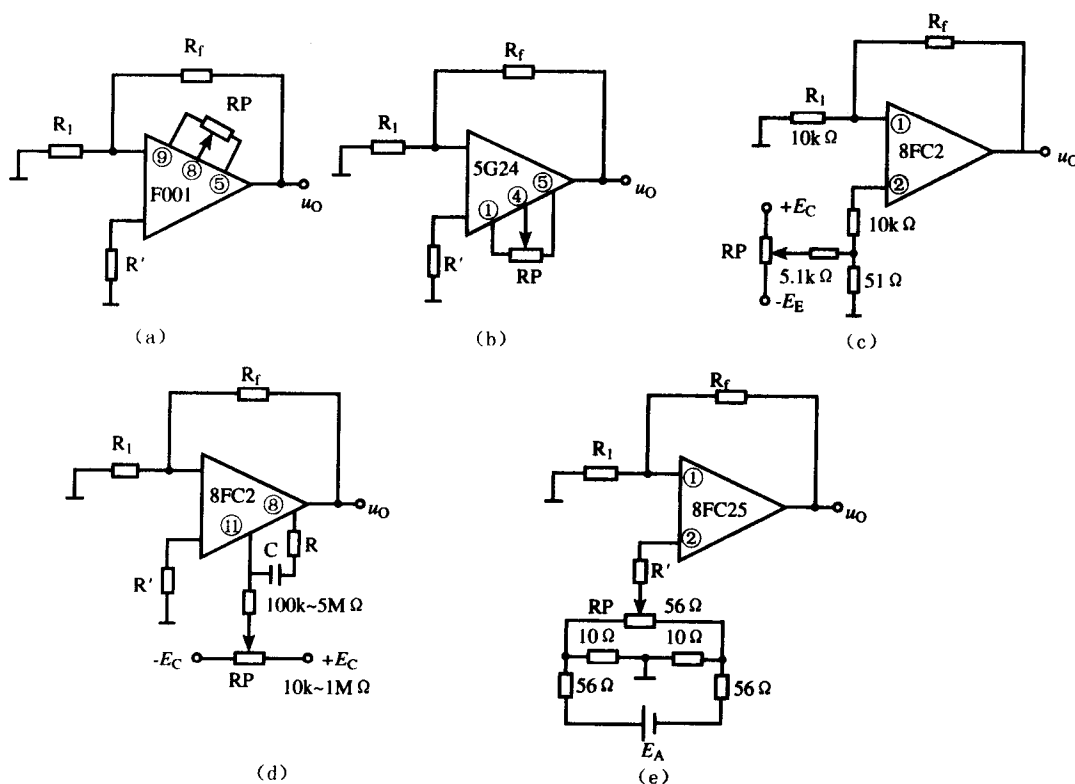


图 1-1 常用调零方式示意图

(1) 外接调零电位器。外接调零电位器的方法如图 1-1 (a)、(b) 所示。其中图 1-1 (a) 是采用调输入级内接 IC 内晶体管集电极电阻的方式。图 1-1 (b) 是采用改变 IC 内输入级有源负载的射极电阻,以达到输出为零的目的。

(2) 引入电压至输入级。图 1-1 (c) 是利用电源电压 $+E_C$ 和 $-E_C$ 通过电位器 RP 引入

一个电压到输入级，调节 R_P 的大小即可补偿输入失调对输出的影响。

这种调零方式的缺点是：如果电源电压稳定性不好时，将会在输出端引起附加的漂移电压。

(3) 外接闭环反馈电路。图 1-1 (d) 由于调零补偿端 (⑩脚内) 是在 IC 的放大电路内部。当在该 IC 外部外接闭环反馈电路以后，即包括在外部的闭环回路内，产生的漂移可受到负反馈的削弱。由此，也可对调零进行适当的补偿。

(4) 加接稳压电源。图 1-1 (e) 是采用一个质量较好的稳压电源 E_A ，通过 R_P 给同相信号输入端加入一个补偿电压，使输出为零。

采用加接稳压电源的方式进行调零的缺点是：需外接一只稳压电源。

1.2.4 消除自激

1. 为什么要消除自激

对于运算放大器来说，为了保证运算精度，多采用了引进深度负反馈，由于线性集成电路本身的增益又很高，这就使集成运算放大器很容易产生自激振荡，如果不消除自激振荡，集成运算放大器根本无法正常工作。

2. 自激的特征

在调试过程中，当输入为零时，输出总是处于饱和状态，或示波器的荧光屏上总是有一定幅值和频率的输出电压，这就是自激振荡现象。

3. 自激的鉴别

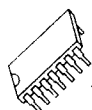
(1) 自激具有周期性。绝大多数自激振荡都是周期性的，故可以在示波器的荧光屏上调出稳定的信号。一些复杂的电路，可能同时产生频率不同的振荡。如果电路中含有变压器、扼流圈等磁性元件，有时强大的自激振荡将迫使线圈产生机械振动，一个以上频率的电路振荡和机械振动搅在一起，很难在荧光屏上观察到稳定的波形。在这种情况下，不要轻易将自激振荡判断为随机噪声。

(2) 寄生反馈会产生间歇自激。当电路中存在有很强的寄生反馈时，往往会产生间歇振荡。间歇振荡的包络频率通常较低，当包络内的高频振荡频率超出示波器的通频带时，在荧光屏上观察到的只是低频振荡。

鉴别其究竟是真正的低频寄生振荡，还是高频的间歇振荡，可以改变电路的接线或用手摸电路的某些部位。如果是低频自激振荡，不会受微小的寄生电容、电感的影响。受到影响而使振荡的幅度发生明显变化的，则必定是高频间歇振荡。

(3) 自激振荡回路 Q 值不高。在大多数情况下，产生自激振荡的振荡回路 Q 值不会很高。因此，低频寄生振荡的波形很少是纯度高的正弦波，幅度一般很大，几乎接近电源电压。而频率较高的自激振荡幅度往往较小，波形比较接近正弦波。例如，运算放大器中产生的高频振荡振幅会受到运放速率的限制，谐波分量在很大程度上受到寄生的分布电容，或示波器通频带的影响，在示波器荧光屏上显示出的幅度不太大，形状接近正弦波。

(4) 高频自激易受分布参数影响。较高频率的自激振荡容易受电路分布参数的影响，其振荡幅度、波形以及频率往往因测试仪器接入点不同，测试线的长短、人体的接近与触



摸而变化。

对于这类自激振荡,可在最敏感的部位对地接一个数十或几百皮法的电容器,一般可以消除这种自激振荡。

(5) 大信号自激有时会与有用信号叠加。工作于大信号情况下的模拟电路,有时寄生振荡会与有用信号的某一部分进行叠加,如图 1-2 (a) 所示。这是因为器件的工作状态随有用信号大幅度改变,寄生反馈的环路增益也随之改变,叠加有自激振荡的那一部分波形,相当于器件工作状态进入满足自激振荡起振条件的区域。当自激振荡的频率超出示波器的通频带而被滤波时,观察到的有用信号波形会出现失真,图 1-2 (b) 是一种典型情况,波形出现了一个缺口。



图 1-2 大信号自激的两种自激波形

4. 怎样用实验法确定消振电容

为了消除自激振荡,通常都采用加接消振电容器的方法。对于消振电容器的容量值,可以根据振荡频率 f_0 来选择消振元件 R 、 C 的数值。可先用示波器或频率计等仪器测出振荡频率 f_0 , 然后根据以下公式选取 R 与 C 的值。

$$1/RC \leq 2\pi f_0$$

这样做是为了在振荡频率附近降低放大器的开环增益,破坏自激振荡条件。

也可以先选定一个电容器 C , 再用一个电位器代替 R 。用实验法确定消振电容的电路如图 1-3 所示。然后调电位器使输出振荡消除为止。如果不起作用,可换一个大一些的电容器 C 再试,直到振荡消除为止。当然,也可以通过调整电容器 C 的容量值来消除自激振荡。

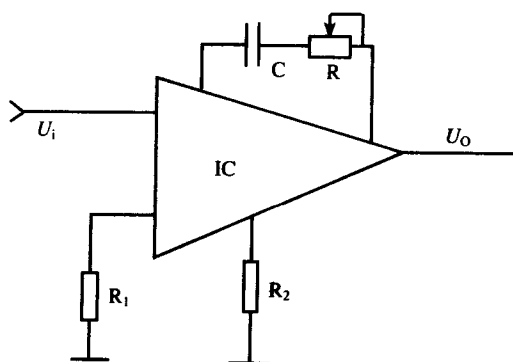


图 1-3 确定消振电容的实验电路

1.2.5 对参数不符的 IC 的处理

如果使用的模拟集成电路参数不符,可在一不定期限内采取改善性能的措施。例如:

