

模拟电子电路系列
实用设计手册

段九州 主编

放大电路 实用设计手册

FANGDA DIANLU

722-62
7



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

模拟电子电路实用设计手册系列

放大电路实用设计手册

段九州 主编

辽宁科学技术出版社

· 沈阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

放大电路实用设计手册/段九州主编. - 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002. 5

ISBN 7-5381-3607-X

I. 放… II. 段… III. 放大器-电子电路-设计-手册 IV. TN722-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 004784 号

出 版 者: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路 25 号 邮编: 110003)

印 刷 者: 沈阳市北陵印刷厂

发 行 者: 各地新华书店

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 332 千字

印 张: 15.25

印 数: 1 ~ 4000

出版时间: 2002 年 5 月第 1 版

印刷时间: 2002 年 5 月第 1 次印刷

责任编辑: 韩延本

封面设计: 庄庆芳

版式设计: 于 浪

责任校对: 朱雨虹

定 价: 25.00 元

联系电话: 024-23284360

邮购咨询电话: 024-23284502

E-mail: lkzxb@mail.lnpgc.com.cn

Http://www.lnkj.com.cn

前 言

历史的发展常常出现反复和循环。现在,电子电路技术的发展也出现了这种情况,自20世纪80年代掀起的数字技术浪潮迅猛发展到今天的情况下,人们又重新开始了对模拟电路的重视。这是因为人们无法回避这样一个基本事实:自然界中的监测对象和控制对象,如声、光、温度等,全是连续变化的“模拟量”,数字技术不可能直接对其采集、监测和控制。实现这一接口功能的只能是模拟电路。

与20世纪80年代以前模拟电路占统治地位时不同的是,今天的许多模拟电路的功能可以用集成电路来实现。与数字集成电路相比,模拟电路可谓集成电路中的“软”电路,设计过程中可选用的软件工具和系统配套性能远远差于数字电路。成功的模拟电路设计更依赖于设计人员的电路实践经验。另外,至今仍有许多模拟电路不得不采用大量的分立元件,特别是在大功率、特高频、模—数和数—模转换接口电路的应用场合更是这样。据世界著名半导体公司——美国TI提供的预测资料,世界半导体工业发展到2009年,模拟电路在各类产品中将仅次于DSP(数字信号处理器)而居第二位,销售值近800亿美元,在半导体销售总额中依然保持其一贯的比重。TI公司认为,世界半导体工业已经历了DRAM、CPU两次浪潮,目前正掀起基于DSP和模拟电路的第三次浪潮。

模拟电子技术重新受到了人们的重视,这将代表着今后一段时间的技术趋势。本书就是在这样一个大背景下问世的。模拟电路以放大电路为基础,包括连续波信号发生器、电源稳压变换器等等。本书介绍的是其中的放大电路。

本书从放大电路的最基本原理入手,在介绍基本原理的基础上,收集近年来从国内外品种繁多的电子技术书刊杂志中精选出来的实用电路,每个电路配以简要的文字说明。所选电路注重典型性和实用性,以便电子工程技术人员和广大电子爱好者在研究、设计或制作电路时借鉴和参考。读者在设计这类模拟电路时,可以很方便地根据需要“对号”查找,拿来即用,提高科技开发工作的效率。

虽然集成电路的使用已经极为普遍,但是在介绍各类电路的基本原理时,本书仍以分立元件为主。用分立元件电路解释基础原理可以突出重点,易于达到事半功倍的效果,这已是从事电路教育工作者的共识。

全书的主体部分介绍了大量的实用电路,这些电路多以集成电路为主,但也有相当一部分是分立元件电路。这也是模拟电子技术的一个特点:一切从实用出发。

为提高本书质量,书中全部插图采用了计算机绘制。书末给出了编写本书所使用的主要参考资料,我们在此对这些资料的作者表示由衷的谢意。参与本书编写的还有张威、邓明春、宁静、张黎强等同志。参加计算机绘图的有张幽、宋艳丽、刘国旗、郝景超等同志。

作 者

目 录

第1章 放大电路基础知识	1
1.1 放大电路的技术指标	1
1.1.1 放大倍数	1
1.1.2 输入电阻	2
1.1.3 输出电阻	2
1.2 基本放大电路	2
1.2.1 恒基流放大电路	2
1.2.1.1 电路组成	3
1.2.1.2 静态工作点	3
1.2.1.3 放大电路的动态工作情况	5
1.2.1.4 电路增益与输入输出电阻	5
1.2.1.5 放大电路的图解分析方法	8
1.2.2 放大电路工作点的稳定	10
1.2.2.1 工作点稳定的重要性	10
1.2.2.2 电阻分压式稳定电路	10
1.2.2.3 其它接法的工作点稳定放大电路	12
1.2.3 多级放大电路	13
1.3 直接耦合放大电路	14
1.3.1 直接耦合放大电路的特殊要求	15
1.3.2 差动放大电路	16
1.4 功率放大电路	19
1.4.1 功率放大电路的特性	19
1.4.2 功率放大电路的分类	20
1.4.3 单管功率放大电路	21
1.4.3.1 基本单管功率放大电路	21
1.4.3.2 单管变压器耦合的甲类功率放大电路	22
1.4.3.3 互补推挽功率放大电路	23
1.4.4 变压器耦合的推挽功率放大电路	26
1.4.5 无输出变压器的功率放大电路	27
1.5 集成电路放大电路	28
1.5.1 集成运放的基本知识	29
1.5.2 集成运放内电路简介	29

1.5.2.1	F007(5G24)集成电路简介	29
1.5.2.2	5G28 型集成运放简介	33
1.5.2.3	线性集成电路的使用	34
1.5.2.4	理想集成运算放大电路	37
1.5.3	线性集成运放的实际应用	37
1.6	现代集成功率放大电路	43
1.6.1	立体声集成功放 TA7240AP	43
1.6.2	集成音频功率放大电路 LM380	44
1.6.3	通用功率放大电路 LM386 典型应用	47
1.7	其它类型放大电路	49
1.7.1	隔离放大电路	49
1.7.1.1	隔离放大电路的组成	50
1.7.1.2	隔离放大电路的常见形式	50
1.7.2	选频放大电路	54
1.7.2.1	L~C 并联回路的选频性能	54
1.7.2.2	典型电路形式	54
第2章	实用音频放大电路	56
2.1	低噪声音频前置放大电路	56
2.2	高保真前置放大电路	56
2.3	音频混频放大电路	57
2.4	具有高低音控制的音频功放	57
2.5	对称混音放大电路	58
2.6	低音调制放大电路	59
2.7	MC1358 电视伴音中频放大电路	59
2.8	MC1351 电视伴音中频放大电路	59
2.9	TDA1190 电视伴音中频放大电路	60
2.10	高增益运放加晶体管输出电路	61
2.11	用分立元件组成的通用放大电路	61
2.12	LM386 音频放大电路	62
2.13	利用 LM386 组成的音频放大电路	62
2.14	LM388 音频功率放大电路的典型电路	63
2.15	LM390 构成的 1W 音频功率放大电路	63
2.16	音频功率放大电路	65
2.17	对称功率放大电路	65
2.18	3.5W 桥式放大电路	66
2.19	LM2879 - 12W 桥式音频功率放大电路	67
2.20	直流电压控制音量的 4W 音频放大电路	67
2.21	1~4W 音频放大电路	67

2.22	22W 功率放大电路	67
2.23	50W 高保真高性能音频集成功放 TDA1514A	68
2.24	音频功率放大电路 TDA1512、TDA1512Q	71
2.25	集成电路功放 TDA1520A、TDA1520AQ	72
2.26	集成电路功放 TDA1520B、TDA1520BQ	73
2.27	音频功率放大电路 TDA2004 - 20W	74
2.28	音频功率放大电路 OPA541	75
2.29	输出电流达 10A 的功率放大电路	76
2.30	300W 高保真放大电路	76
2.31	从直流到 500kHz 的 100W 放大电路	77
2.32	新型电子分频功率放大电路	77
2.33	音频功率放大电路 LM3886	79
2.34	模拟卡拉 OK 伴唱放大电路	80
2.35	音频功放电路	81
2.36	MC1306P 音频功放电路	81
2.37	音频选频放大电路	82
第 3 章	高性能放大电路	83
3.1	微功耗运算放大电路	83
3.2	超低噪声精密运算放大电路 OPA37	83
3.3	低功耗仪器放大电路 INA102	84
3.4	增益可变仪表放大电路 INA111	85
3.5	静电计级运算放大电路 OPA128	86
3.6	大电流大功率运算放大电路 OPA502	86
3.7	功率运算放大电路 OPA541	87
3.8	高速电流反馈运算放大电路 OPA603	88
3.9	FET 输入高保真运算放大电路 OPA604	88
3.10	宽带 Difet 运算放大电路 OPA606	89
3.11	宽带运算跨导放大缓冲电路 OPA660	90
3.12	精密单位增益缓冲电路	90
3.13	精密单位增益反相放大电路	91
3.14	精密反相放大电路	91
3.15	高压内补偿运算放大电路 MC1536	91
3.16	宽带运算放大电路	92
3.17	CA3080 可变增益放大电路	92
3.18	LM13600 可变增益放大电路	93
3.19	低功耗单电源输入输出运算放大电路	93
3.20	电流比较型 NORTON 四运放 MC3301/MC3401	94
3.21	高压大电流运算放大电路 3583	94

3.22	运放精密调零电路	95
3.23	零漂移运算放大电路	95
3.24	零漂移反相放大电路	95
3.25	多个运放并联工作	97
3.26	植入放大电路	97
3.27	肌动电压放大电路	98
3.28	微弱(脉搏)信号放大电路	98
3.29	超低漂移(心电)信号放大电路	98
3.30	人体生物电信号前置放大电路	100
3.31	生物电放大电路	100
3.32	微弱电荷信号放大电路	101
3.33	超高阻抗放大电路	101
3.34	精密仪器放大电路	102
3.35	用于生物医学领域的仪器放大电路	102
3.36	用于压电传感器的高阻抗放大电路	103
3.37	自动校零放大电路	103
3.38	高阻抗仪器放大电路	104
3.39	高精度仪器放大电路	105
3.40	精密仪表放大电路	105
3.41	低噪声仪器放大电路	105
3.42	浮动源仪器放大电路	106
3.43	单电源低功耗仪器放大电路	106
3.44	精密仪器用放大电路	107
3.45	低噪声 100MHz 可变增益放大电路 AD603	107
3.46	带有 1Hz 低通滤波器的电桥放大电路	108
3.47	N 级并联输入低噪声放大电路	108
3.48	宽带跨导放大电路	110
3.49	抗干扰的测量放大电路	110
3.50	精密电桥传感放大电路	111
3.51	高共模范围的测量放大电路	111
3.52	采用程控集成运放的测量放大电路	112
3.53	中速反相组合放大电路	113
3.54	宽带低噪声放大电路	113
3.55	宽带高阻缓冲器	114
3.56	高精度线性放大电路	114
3.57	能抵消大直流偏移的交流放大电路	114
第 4 章	通用放大电路	116
4.1	高增益宽带组合放大电路	116

4.2	交流多用途放大电路	116
4.3	超低频交流放大电路	117
4.4	改进型高增益放大电路	117
4.5	输出高压放大电路	119
4.6	带低通滤波器的差动放大电路	119
4.7	用双运放组成的平衡输出电路	120
4.8	压电变换放大电路	120
4.9	交流 40dB 反相放大电路	120
4.10	50 Ω 线性放大电路	121
4.11	电缆放大电路	121
4.12	差动馈线驱动器电路	122
4.13	250mA 高速缓冲器 BUF634	122
4.14	隔离容性负载的缓冲器	123
4.15	高速电流驱动器	124
4.16	并联高速电流驱动器	124
4.17	运放输出电流扩展电路	125
4.18	自举复合放大电路	125
4.19	差动线路驱动器	126
4.20	具有限流特性的电压 - 电流变换放大电路	126
4.21	磁性传感前置放大电路	127
4.22	高精度光 - 电变换放大电路	127
4.23	光电耦合放大电路	128
4.24	光敏信号放大电路	128
4.25	50kHz 带宽的放大电路	129
4.26	宽带差动输入 - 差动输出放大电路	129
4.27	高输入阻抗高速倒相放大电路	130
4.28	同相复合直流放大电路	130
第 5 章	增益可调与可编程放大电路	132
5.1	可调增益放大电路	132
5.2	增益可变的差分放大电路	132
5.3	高阻可调增益直流放大电路	132
5.4	压控增益放大电路	133
5.5	大动态范围的压控增益放大电路	134
5.6	增益自动转换放大电路	134
5.7	可变增益放大电路	135
5.8	数控增益放大电路	135
5.9	自动增益控制放大电路	136
5.10	混合电路组成的增益可编程放大电路	137

5.11	使用 OPA676 的增益可编程放大电路	138
5.12	数字式可编程增益放大器 PGA204	139
5.13	串级增益可编程放大电路	140
5.14	增益可编程低噪声放大电路	141
5.15	增益可编程仪器放大电路	141
5.16	增益程控仪器放大电路	142
5.17	增益可编程隔离放大电路	143
5.18	高速增益可编程隔离放大电路	143
5.19	数控高速增益可编程放大电路	144
5.20	用于浮点变换的增益可编程缓冲放大电路	144
5.21	增益可编程交流耦合差动放大电路	145
5.22	增益可编程差动输入 - 差动输出放大电路	146
5.23	数控增益编程仪器放大器 PGA202/203	146
5.24	高速增益可编程放大电路	147
5.25	数字可编程放大电路	147
5.26	程控增益放大电路	147
5.27	逻辑指令控制增益的放大电路	149
第 6 章	射频及视频放大电路	151
6.1	短波信号放大电路	151
6.2	宽带短波放大电路	152
6.3	简单的短波信号放大电路	152
6.4	高速反相放大电路	153
6.5	视频增强电路	154
6.6	双路视频放大电路	154
6.7	VHF 天线放大电路	155
6.8	宽带 VHF 信号放大电路	155
6.9	UHF 放大电路	157
6.10	全频道电视天线放大电路	157
6.11	托勒斯全频道天线放大电路改进型	158
6.12	电视信号转换放大电路	159
6.13	400MHz 差动放大电路	160
6.14	800MHz、30W 放大电路	160
6.15	50 Ω 输入 - 输出阻抗 16dB 宽带视频放大电路	160
6.16	200MHz 共源 - 共栅放大电路	161
6.17	容性负载射极跟随器	162
6.18	基本反馈放大电路	162
6.19	噪声射频 - 中频放大电路	163
6.20	频宽为 20MHz 的差分放大电路	164

6. 21	600MHz 宽带放大电路	164
6. 22	500MHz 宽带放大电路	164
6. 23	低噪声 200MHz 宽带放大电路	165
6. 24	290MHz 测量放大电路	166
第 7 章	隔离放大电路	168
7. 1	光电隔离脉冲放大电路	168
7. 2	光隔离超稳定零点的放大电路	168
7. 3	光电耦合器组成的模拟信号隔离电路	169
7. 4	光电隔离反馈放大器 TPS5904	169
7. 5	光电隔离的电话自动录音接口电路	170
7. 6	光电耦合线性隔离放大器 ISO 100	172
7. 7	使用光电二极管和 ISO 100 的隔离放大电路	172
7. 8	使用光电二极管隔离的放大电路	173
7. 9	增益可调的测试设备隔离放大电路	174
7. 10	隔离放大器 Burr-Brown3652	175
7. 11	隔离放大器 Burr-Brown ISO122P	176
7. 12	精密低成本隔离放大器 ISO122	177
7. 13	心电图(ECG)放大电路	177
7. 14	隔离仪器放大电路	178
7. 15	小型化隔离放大器 ISO212P	178
7. 16	光耦线性隔离放大器 3650	179
7. 17	精密电桥隔离放大电路	179
7. 18	低电平信号隔离放大电路	179
7. 19	浮置信号源差动输入隔离放大电路	183
第 8 章	其它类型放大电路	184
8. 1	数字电路组成的放大电路	184
8. 2	可控硅高压线性放大电路	185
8. 3	可变增益放大电路	185
8. 4	增益及共模抑制比可调整的差动放大电路	186
8. 5	高共模电压差动放大电路	187
8. 6	可控硅驱动放大电路	187
8. 7	具有 1000V 输出的放大电路	188
8. 8	LED 信号放大电路	188
8. 9	具有 $\pm 120V$ 输出的放大电路	189
8. 10	放大电路输出电流和电压的提升	189
8. 11	桥式驱动电路	191
8. 12	桥式马达驱动电路	191
8. 13	直流电机调速用桥式功放电路	192

8.14	裂相放大电路	192
8.15	桥放大电路	193
8.16	交流电桥对称激励电路	193
8.17	高压跟随电路	194
8.18	实用对数放大电路	194
8.19	高速对数放大电路	194
8.20	具有温度补偿的对数放大电路	195
8.21	温度稳定的对数放大电路	196
8.22	变压器耦合仪器放大电路	197
8.23	电流反馈放大电路	197
8.24	多路缓冲放大电路	198
8.25	差动输入 - 差动输出电路	199
8.26	差动输入 - 差动输出放大电路	199
8.27	电阻电桥放大电路	199
8.28	输出 80V _{P-P} 悬浮负载放大电路	199
8.29	自动增益控制放大电路	201
8.30	PID 放大电路	201
8.31	标准电池缓冲放大电路	201
8.32	运算跨导放大电路	202
8.33	具有相等输入阻抗的差分放大电路	203
8.34	共模输入电压可达 100V 的差分放大电路	203
8.35	高性能复合放大电路	203
8.36	宽动态范围增益控制放大电路	204
8.37	数控跟随或反相电路	205
8.38	恒定输出阻抗电路	205
8.39	增益可正、负调节的放大电路	206
附录 集成电路型号命名方法与厂家识别		207
参考文献		230

第 1 章 放大电路基础知识

放大电路是模拟电子电路的基本单元。以放大电路为基础,可以构成振荡器、稳压器、恒流源、模拟运算器、限幅器、比较器、有源滤波器、模-数及数-模转换电路等等。放大电路的组成核心是具有“放大”能力的器件——三极管,辅之以电阻、电容、电感等元件来构成。现代放大电路基本上都有集成电路产品,但是要想掌握其工作原理,最简捷的办法就是了解分立元件构成的放大电路。工作在小信号条件下和在大信号条件下的放大电路,其分析方法大不相同,前者属于线性工作,后者常常要按非线性状态分析。本章介绍小信号工作时常见的几种晶体三极管放大电路基本结构,以及它们的工作原理、技术参数和应用特点。

1.1 放大电路的技术指标

1.1.1 放大倍数

放大倍数是用来衡量放大电路放大能力的参数,也是放大电路最重要的技术指标。放大电路的放大倍数也称为放大电路的增益(gain)。图 1-1 是测试放大电路主要指标的示意图。

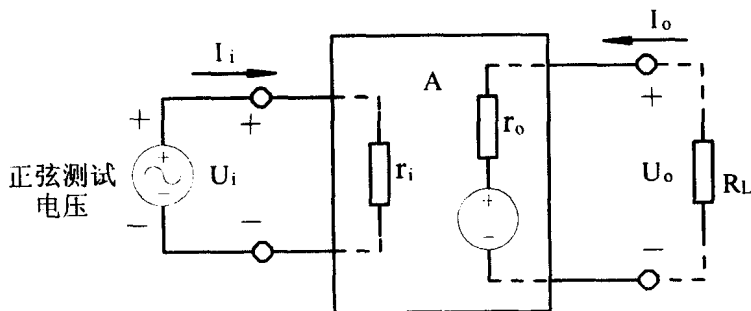


图 1-1 放大电路主要指标测试等效图

放大电路的放大倍数有电压放大倍数、电流放大倍数和功率放大倍数三种。最为常用的是电压放大倍数。电压放大倍数就是输出信号电压和输入信号电压之比,用 A_u 表示;电流放大倍数是输出电流与输入电流之比,用 A_i 表示;功率放大倍数是输出功率与输入功率之比,用 A_p 表示。在工程实践中,放大倍数还常常用分贝(dB)来表示。对于功率放大倍数 A_p 来说,如果用分贝表示功率增益 $A_{p\text{dB}}$,就把 A_p 取对数后乘以 10 即可:

$$A_{p\text{dB}} = 10 \lg A_p \quad (\text{dB})$$

电压放大倍数和电流放大倍数也可以用分贝来表示。但是考虑到相同电阻上的电压、电流与功率值之间具有平方的关系,因此电压放大倍数 A_u 用分贝数表示为 $A_{u\text{dB}}$, 或者电流放大倍数 A_i 表示为 $A_{i\text{dB}}$ 时,需要乘以 20,即

$$A_{u\text{dB}} = 20\lg A_u \quad (\text{dB})$$

和

$$A_{i\text{dB}} = 20\lg A_i \quad (\text{dB})$$

例如,若某放大电路的放大倍数 A_u 为 100,用分贝数表示,此增益则为 $A_{u\text{dB}} = 40\text{dB}$ 。

用分贝表示的最大好处是计算多级放大器的总增益时,把几个放大倍数相加即可。另外,自然界中许多事物的特性具有对数特性,例如声波随着距离远近的衰减规律,人耳对外界声音的压感等,这也是在工程应用中常常用分贝值表示的优越性之一。

1.1.2 输入电阻

当在放大电路的输入端加上一定的电压信号时,相应地就会产生信号电流。按照电路等效的观点,从放大电路输入端口往里看进去的电路,等效于一个电阻,这就是所谓的输入电阻,用 r_i 表示,如图 1-1 中所示。它实际上就是输入信号电压和所产生的电流之比。

1.1.3 输出电阻

当有输入信号时,放大电路的输出端就会产生信号电压输出。如果改变放大电路输出端的负载电阻 R_L ,输出信号电压也会相应改变。这样从放大电路输出端看进去,就相当于一个具有内阻 r_o 的电源,如图 1-1 中所示。这个内阻 r_o 也就是放大电路的输出电阻。

1.2 基本放大电路

使用晶体三极管可以组成最基本的放大电路,按照晶体管放大电路所放大的信号不同,可分为直流放大电路和交流放大电路两大类。其中交流放大电路按工作频率又可分为低频、中频和高频放大电路三类;另外按放大信号和输出信号的强弱还可分为电压放大、电流放大和功率放大等。我们以工作频率为 $200\text{Hz} \sim 200\text{kHz}$ 的小信号低频电压放大电路为例,说明放大电路的工作原理。

通常对电压放大电路的要求是:

- (1) 有一定的电压放大倍数;
- (2) 频率响应要好,即在一定的频率范围内,要有尽可能相同的放大倍数;
- (3) 被放大信号的失真要小;
- (4) 工作稳定可靠、噪声小。

1.2.1 恒基流放大电路

恒基流(constant base current)放大电路也叫固定偏置(constant biase)放大电路。所谓偏置是指为实现放大作用为晶体管设置的静态控制电流。根据三极管的控制理论,这个静态控制电流就是其基极静态电流。

1.2.1.1 电路组成

最基本的单管放大电路如图 1-2 所示。

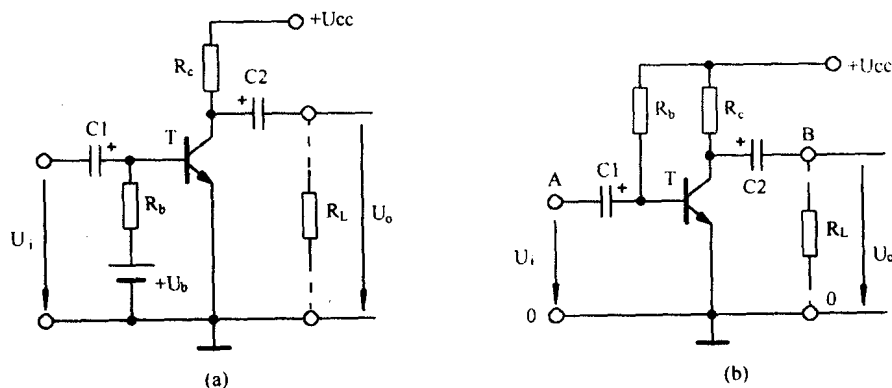


图 1-2 基本放大电路

如图 1-2 所示的基本放大电路为恒基流放大电路。(a)图采用两个电源供电;(b)图采用单电源供电。由于图(b)比图(a)少了一个电源 $+U_b$, 在实际应用中不但缩小了放大电路的体积, 而且降低了成本, 所以更加实用。以下只介绍图(b)的电路。

由图(b)可以看出, 这个电路有两条电流回路: 一条由电源 $+U_{cc}$ 通过 $R_b \rightarrow T$ 的基极 $\rightarrow T$ 的发射极 $\rightarrow$ 地, 为三极管提供基极偏流 I_B 和发射结正向偏压 U_{BE} , 这个通路称为输入回路; 另一条是由 $+U_{cc}$ 通过 $R_c \rightarrow T$ 的集电极 $\rightarrow T$ 的发射极 $\rightarrow$ 地, 为三极管提供集电极电流 I_C 和集电结反向偏压 U_{CE} , 称为输出回路。很明显, 对于三极管的三个电极来说, 发射极是输出和输入回路的公共端, 所以这种放大电路也叫做共发射极放大电路。图中各元件的作用如下:

电路中三极管 T 担任电流放大作用;

R_b 为晶体管的基极电阻, 又叫偏置电阻, 阻值一般为几十到几百千 Ω 。它的作用是使 $+U_{cc}$ 提供的基极电流为某一适当值, 以保证三极管有比较合适的工作状态, 从而使信号波形不失真;

$+U_{cc}$ 除了为放大电路提供合适的工作状态外, 还是放大电路的能源, 放大电路可将直流电能转变为交流电能输出。一般 $+U_{cc}$ 的数值为几伏到几十伏;

R_c 是集电极负载电阻, 简称集电极电阻, 其阻值一般为几千 Ω 到十几千 Ω 。它的主要作用是将三极管的电流放大作用转换为电压放大作用, 是放大电路的关键元件之一;

C_1 、 C_2 叫耦合电容, 又叫隔直电容。在音频放大电路中, 其数值一般为几微法到几十微法。他们起着传输信号、隔断直流电源与信号源之间以及隔断直流电源与负载之间的直流通路的作用。

1.2.1.2 静态工作点

放大电路在静态(即无交流信号输入)时各电极都有一定的直流电压和电流值, 通常就把这些数值称为静态工作点。通常的静态工作点是和三极管工作有关的四个量 U_{BE} 、 I_B 、 I_C 、 U_{CE} 的值。有时为了引起注意, 特加脚标 Q 来表示静态工作点。这样这四个量又可写为 U_{BEQ} 、 I_{BQ} 、 I_{CQ} 和 U_{CEQ} 。

因为放大电路的电流电压有直流分量、交流分量以及交、直流总值之分,其中交流分量又有瞬时值、有效值的区别,为了讨论方便,对这些量的代表字母作如表 1-1 所示的统一约定。

表 1-1 放大电路中电压和电流的符号表

名 称	静态值	交流分量		总电压或总电流	
		瞬时值	有效值	瞬时值	平均值
基极电流	I_B	i_b	I_b	i_B	I_B
集电极电流	I_C	i_c	I_c	i_C	I_C
发射极电流	I_E	i_e	I_e	i_E	I_E
集-射极电压	U_{CE}	u_{ce}	U_{ce}	u_{CE}	U_{CE}
基-射极电压	U_{BE}	u_{be}	U_{be}	u_{BE}	U_{BE}

由于静态只研究直流,而电容又具有隔直作用,所以图 1-2(b)的直流通路可简化为如图 1-3 所示的电路。

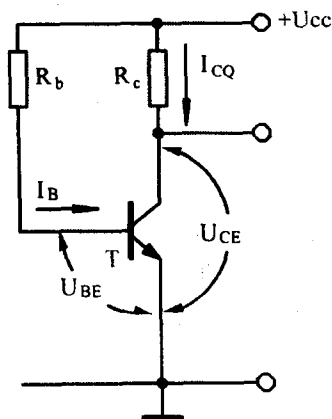


图 1-3 简化的直流通路

由图 1-3 可得:

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

由于三极管的 U_{BE} 是已知量(硅管约为 0.7V, 锗管为 0.2V), 与 U_{CC} 相比, 常常可以忽略不计, 这样上式可写为

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

通常把 I_B 叫偏流, 当 U_{CC} 和 R_C 一定时, 改变 R_B 的大小就可以方便地改变偏流的大小, 所以也把 R_B 叫做偏流电阻。

根据三极管的电流放大原理, 静态时的集电极电流为

$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} \approx \beta I_B$$

用基尔霍夫第二定律可求得静态时集电极和发射极之间的电压为

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

设置静态工作点的目的是在三极管的发射结上预先加上一个适当的正向电压, 即预

先给基极提供一定的偏流,以保证在输入信号的整个周期中,输入电流值随输入电压变化而不会产生波形失真。

1.2.1.3 放大电路的动态工作情况

当有一个微弱的交流正弦波信号电压从如图 1-4 所示的 A-O 两端输入到放大电路后,放大电路的输出电压 u_o 就会从 B-O 两端输出。由于输入信号的变化会引起放大电路静态电流、电压的变动,所以,我们把此时放大电路的工作状态称为动态情况。

当输入信号 u_i 为正弦波电压的正半周时,在图 1-4 的 (1) 中,我们用记号“ $\oplus$ ”表示;而不带圈的“+”、“-”记号仍表示假定的电压方向。由于电容 C1 两端在静态时已被充电,电压值为 U_{BEQ} ,因此发射结电压在输入信号后将发生变化。

“基-射”极间总的瞬态电压 u_{BE} 变为信号电压 u_i (交流分量) 与静态偏压 U_{BEQ} (直流分量) 的叠加,即 $u_{BE} = u_i + U_{BEQ}$ (如图中的波形 a)。发射结正向电压的增加,将引起基极电流 i_B 的上升 (如图中的波形 b),在输入特性的线性段的基极电流的变化规律与基极电压相同,故有 $i_B = i_b + I_{BQ}$,其中 i_b 为信号电压引起的基极电流的变化量 (交流分量),当偏流电阻 R_b 很大时, $i_B \approx i_b$,如图 1-4 (3) 中的交流通路所示。

同理,集电极电流在静态电流 I_{CQ} 的基础上也要上升,其变化量为 $i_c = \beta i_b$;这样,集电极电流总瞬时值为 $i_c = i_c + I_{CQ}$ 。同时,集电极电流 i_c 在集电极电阻 R_c 上产生电压降 $i_c R_c$,而集电极瞬时电压为 $u_{CE} = U_{CC} - i_c R_c$ 。这样,当 i_c 的瞬时值上升时, u_{CE} 就要减小。所以 u_{CE} 的变化正好与 i_c 相反。也就是说在图 1-4 (3) 中,当 u_i 为正半周时,集电极电压的变化量 u_{ce} 为负半周 (相位相反),图中用带圈的负号表示。

以上分析的为正半周的情况,对于负半周的输入信号也可得到同样的结论,即输出电压 u_o 与输入电压 u_i 的变化规律一样,同样为正弦波,但相位相反 (倒相作用)。

1.2.1.4 电路增益与输入输出电阻

(1) 电路增益。

如果电路参数选择合适,放大电路的输出电流 i_c 比输入电流 i_b 大的多,而且输出电压 u_o 的幅度也比输入电压 u_i 的幅度大的多,从而达到放大信号的目的。放大电路中各种电压、电流成分的波形及其相互关系已表示在图 1-4 中。放大电路的放大倍数的绝对值通常可以用交流有效值 (或最大值) 来表示。为得出放大电路增益的具体表达式,必须采用交流等效图。由于 U_{CC} 为稳压电源,其内阻极小,两端没有交流的电压降,所以对交流而言相当于短路。此外,电容 C1、C2 对交流也可看作短路,这样就可以得到如图 1-4 (3) 所示的电路,它仅表示电流、电压变化量通路的电路,故叫做放大电路的交流通路。

本电路的电流放大倍数为

$$A_i = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_i} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_{OM}}{I_{iM}}$$

电压放大倍数为

$$A_u = \frac{\Delta U_o}{\Delta U_i} = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{OM}}{U_{iM}}$$

在这两个公式中, U_{OM} 和 I_{OM} 分别表示输出电压和电流的最大值。

我们知道,在三极管的输入端接上输入电压 u_i 时,就会有相应的电流。这就如同在一