

轻松入门系列丛书

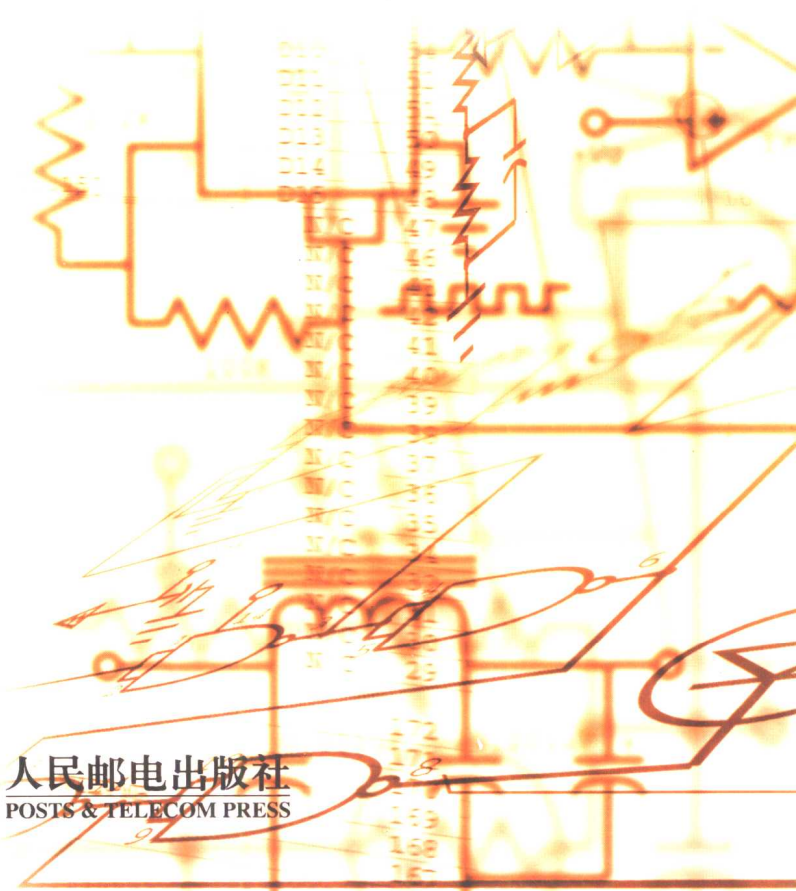
# 放大器电路识图 与故障分析 轻松入门

胡斌 蔡月红 编著

22  
9



人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS



轻松入门系列丛书

放大器电路识图与故障  
分析轻松入门

胡 斌 蔡月红 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

放大器电路识图与故障分析轻松入门/胡斌, 蔡月红编著.

北京: 人民邮电出版社, 2003. 9

(轻松入门系列丛书)

ISBN 7-115-11320-3

I. 放... II. ①胡... ②蔡... III. ①放大器—电路图—识图法②放大器—故障诊断  
IV. TN722

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 043849 号

## 内 容 提 要

本书从基本的放大器电路知识开始, 详尽介绍了数十种使用频率很高的放大器电路工作原理、识图方法、电路故障分析思路, 还比较详细地介绍了胆机中的电子管放大器基础知识, 最后介绍了万用表检修放大器的全过程。

本书采用了人性化的写作方式, 旨在方便读者阅读。本书读者对象为无线电和电子技术初学者, 厂矿企事业单位的电工, 大中专院校相关专业的学生。

轻松入门系列丛书

## 放大器电路识图与故障分析轻松入门

◆ 编 著 胡 斌 蔡月红  
责任编辑 唐素荣

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
读者热线 010-67129264  
北京汉魂图文设计有限公司制作  
人民邮电出版社河北印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张 18.5  
字数: 443 千字 2003 年 9 月第 1 版  
印数 1-6 000 册 2003 年 9 月河北第 1 次印刷

ISBN 7-115-11320-3/TN · 2088

定价: 24.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010) 67129223

# 前 言

放大器是各种整机电路中必不可少的电路，也是各种有源控制电路中不可缺少的基本单元电路，本书详细、系统地介绍了使用频率很高的数十种放大器电路的工作原理、电路故障分析思路以及与放大器相关的基础知识。书中还对近几年“复兴”的电子管放大器的基础知识作了较为系统的介绍。

通过阅读本书可以全面而系统地掌握音频和常用放大器电路工作原理，熟悉与放大器相关的近百种单元电路，为分析各种类型放大器电路打下了牢固的、宽面的基础知识。

为了减轻读者的阅读负担，本书以读者为本，采用了人性化的写作方式，旨在方便读者阅读。

本书有如下三大特色：其一，力求图文同页。广大读者朋友可能都有体会，如果书中的文字和相关电路图不在同一个翻开的页面时，阅读的时候就需要不断地翻转页面，很容易疲劳，而且影响阅读的连贯性，阅读效果会大打折扣。而如果图文同页，电路图和原理解析文字在同一页面，阅读起来就会很方便。

其二，提示阅读。在网上辅导的时候，许多读者提到一个共性问题，就是想知道书中哪些内容相对重要，希望能够指出全书内容的重要性级别，以便在阅读时有的放矢，合理分配时间和精力。因此，本书中每节开头都提出阅读要求，列出了精读和泛读的内容，以便读者了解哪些内容必须掌握，需要仔细阅读，哪些是扩展知识面的内容，泛读即可。

第三，指示电路图中元器件位置，减少电路图阅读困难。在分析元器件数目较多的电路图时，在文中指示该元器件在电路图中的大致方位，以方便读者寻找。

本书的读者对象为真正零起点的无线电爱好者和电子技术爱好者，厂矿企事业单位的电工，大中专院校的在校和刚刚毕业的学生，以及立志在电子领域有所作为的朋友。

本人是江苏大学副研究员，自由撰稿人，长期从事科普写作，正式出版著作 52 本；两次荣获全国三等奖，一次获北方十省市一等奖。

为了加强对读者的辅导，本人专设了辅导网站（电子技术全国连锁空中课堂），主页辟有《电子爱好者交友广场》、《电子技术在线入门》、《录音辅导》、《答疑 BBS》、《每周一题》、《单元电路大全》和《学习方法》等专栏，欢迎广大读者前来交友、交流。本人将定期上线实时和通过 BBS 论坛、电子邮件解答读者学习中遇到的难点问题，辅导读者阅读本书。同时，在专用辅导网站上对书中重点和难点内容进行语音讲解，欢迎进入本人为读者专辟的辅导网络，听取语音辅导。

本人的永久性网络昵称古木，《古木工作室》一号；主页网址：<http://gumu.nease.net/>，镜像网址：<http://gumuju.nease.net/>，域名：<http://gumuju.126.com>；E-mail：[wjkw@163.net](mailto:wjkw@163.net)；QQ 号码：13535069，1155390。主页网址如有变动，请见 QQ 资料中最新地址。

江苏大学  
胡斌

# 目 录

<b>第1章 三极管及直流电路详解、电路故障分析</b> .....	1
1.1 三极管基础知识全新详解 .....	1
1.1.1 阅读要求 .....	2
1.1.2 外形特征和指示电流流向的电路符号 .....	2
1.1.3 必须掌握的三种工作状态 .....	3
1.1.4 两项三极管放大条件 .....	5
1.1.5 三类主要参数 .....	5
1.1.6 型号和放大倍数表示方法 .....	9
1.1.7 引脚分布规律和识别方法 .....	10
1.1.8 三种主要故障说明 .....	13
1.2 三极管重要特性全新解说 .....	13
1.2.1 阅读要求 .....	13
1.2.2 重要的电流特性 .....	14
1.2.3 必须牢记的电压与电流之间关系 .....	15
1.2.4 三种工作状态下各电极电压和电流特征 .....	16
1.2.5 电路分析中的六大主要特性 .....	17
1.3 三极管直流电路全解及电路故障分析 .....	20
1.3.1 阅读要求 .....	20
1.3.2 直流电路概述 .....	21
1.3.3 NPN型三极管采用正极性电源供电直流电路详解及电路故障分析 .....	21
1.3.4 NPN型三极管采用负极性电源供电直流电路详解及电路故障分析 .....	22
1.3.5 PNP型三极管直流电路详解及电路故障分析 .....	24
1.4 三极管基极偏置电路详解及电路故障分析 .....	25
1.4.1 阅读要求 .....	25
1.4.2 基极直流偏置电路功能、种类和分析方法 .....	26
1.4.3 四种固定式偏置电路工作原理详解及电路故障分析 .....	26
1.4.4 四种分压式偏置电路工作原理详解及电路故障分析 .....	29
1.4.5 分压式偏置电路变形电路之一 .....	33
1.4.6 分压式偏置电路变形电路之二 .....	35
1.4.7 分压式偏置电路变形电路之三 .....	36
1.4.8 集电极—基极负反馈式偏置电路分析方法和电路工作原理详解 .....	37
1.4.9 基极直流电路故障分析小结 .....	39
1.4.10 基极偏置电路识图小结 .....	40
1.5 三极管集电极和发射极直流电路全解 .....	41
1.5.1 阅读要求 .....	42

1.5.2	集电极直流电路详解和电路故障分析	42
1.5.3	集电极直流电路变形电路详解及电路故障分析	44
1.5.4	发射极直流电路详解及电路故障分析	46
1.5.5	发射极直流电路变形电路解析	47
1.5.6	识图小结和注意事项	48
<b>第2章</b>	<b>共发、共集、共基放大器全解和电路图种类、识图方法综述</b>	<b>49</b>
2.1	放大器概念、信号波形和电路分析方法攻略	49
2.1.1	阅读要求	49
2.1.2	放大器电路符号和种类	50
2.1.3	信号和噪声	51
2.1.4	常见信号波形	53
2.1.5	信号相位概念与表示方式	55
2.1.6	放大器类型的分析方法	57
2.1.7	放大器电路分析的具体步骤和方法小结	58
2.2	共发射极放大器电路详解及电路故障分析	60
2.2.1	阅读要求	60
2.2.2	电路组成和放大器类型识别方法	60
2.2.3	直流电路工作原理详解	61
2.2.4	交流电路工作原理详解	62
2.2.5	电路故障分析	63
2.2.6	元器件作用分析	64
2.2.7	共发射极放大器的重要特性	67
2.2.8	放大器电路分析中信号的合成与分解	68
2.2.9	信号分离方法	70
2.2.10	直流电路分析小结	70
2.2.11	交流电路分析方法小结	72
2.2.12	元器件作用分析小结	73
2.3	共集电极放大器电路详解及电路故障分析	74
2.3.1	阅读要求	74
2.3.2	放大器电路类型识别	74
2.3.3	直流电路分析	75
2.3.4	交流电路分析	75
2.3.5	元器件作用分析和电路故障分析	76
2.3.6	共集电极放大器的重要特性	77
2.4	共基极放大器电路详解	78
2.4.1	阅读要求	78
2.4.2	放大器类型识别方法	79
2.4.3	直流电路分析	80

2.4.4	交流电路分析	80
2.4.5	元器件作用分析	81
2.4.6	共基极放大器的主要特性	82
2.4.7	共基极放大器电路分析说明	83
2.4.8	三种放大器的比较	84
2.5	六种电子电路图和七种识图方法解说	84
2.5.1	阅读要求	85
2.5.2	方框图识图方法和技巧	85
2.5.3	单元电路图识图方法和技巧	88
2.5.4	等效电路图识图方法	90
2.5.5	集成电路应用电路识图方法	91
2.5.6	整机电路图和识图方法	93
2.5.7	印制线路图识图方法	94
2.5.8	修理识图方法和注意事项	96
<b>第3章</b>	<b>负反馈放大器及消振电路全解和电路故障分析</b>	<b>98</b>
3.1	负反馈基础知识及电路分析方法	98
3.1.1	阅读要求	98
3.1.2	反馈电路的组成方框图及种类	99
3.1.3	正反馈和负反馈概念	99
3.1.4	负反馈电路种类和作用	100
3.1.5	负反馈信号种类	102
3.1.6	负反馈电路分析方法	103
3.2	电压并联负反馈电路详解及电路故障分析	104
3.2.1	阅读要求	104
3.2.2	放大器电路分析	105
3.2.3	负反馈元件确定方法	106
3.2.4	负反馈电阻 R1 分析	106
3.2.5	高频负反馈电容 C2 分析	107
3.2.6	电路故障分析	108
3.2.7	电压并联负反馈电路辨别方法	108
3.3	电压串联负反馈电路详解及电路故障分析	108
3.3.1	阅读要求	108
3.3.2	放大器电路分析	109
3.3.3	负反馈电路分析	110
3.3.4	电路故障分析	111
3.3.5	串联负反馈电路判断方法	111
3.4	电流并联负反馈电路详解及电路故障分析	112
3.4.1	阅读要求	112

3.4.2	放大器电路分析 .....	113
3.4.3	负反馈电路分析 .....	114
3.4.4	电路故障分析 .....	115
3.4.5	电流负反馈判别方法 .....	115
3.5	电流串联负反馈电路详解及电路故障分析 .....	115
3.5.1	阅读要求 .....	115
3.5.2	放大器电路分析和电路故障分析 .....	116
3.5.3	负反馈电路分析及变形电路 .....	116
3.6	特殊负反馈电路总汇和电路分析小结 .....	119
3.6.1	阅读要求 .....	119
3.6.2	特殊负反馈电路全解 .....	120
3.6.3	电路分析说明 .....	124
3.7	负反馈电路改善放大器性能的原理 .....	126
3.7.1	阅读要求 .....	126
3.7.2	负反馈电路对改善放大器性能的贡献 .....	127
3.7.3	负反馈减小非线性失真原理 .....	127
3.7.4	负反馈扩宽放大器频带原理 .....	128
3.7.5	负反馈降低放大器噪声原理 .....	130
3.8	负反馈放大器消振电路及电路故障分析 .....	130
3.8.1	阅读要求 .....	130
3.8.2	自激产生条件 .....	131
3.8.3	消振电路原理和种类 .....	131
3.8.4	超前式消振电路详解 .....	132
3.8.5	滞后式消振电路详解 .....	133
3.8.6	超前一滞后式消振电路详解 .....	134
3.8.7	负载阻抗补偿电路 .....	135
3.8.8	电路分析说明和电路故障分析 .....	135
<b>第4章</b>	<b>多级放大器电路详解及故障分析</b> .....	<b>137</b>
4.1	多级放大器电路组成方框图和电路分析方法 .....	137
4.1.1	阅读要求 .....	137
4.1.2	多级放大器电路结构方框图 .....	137
4.2	双管阻容放大器电路详解及电路故障分析 .....	139
4.2.1	阅读要求 .....	139
4.2.2	单级放大器类型识别方法 .....	139
4.2.3	直流电路和交流电路分析 .....	140
4.2.4	元器件作用分析 .....	140
4.2.5	电路故障分析 .....	142
4.3	双管直接耦合放大器详解及电路故障分析 .....	142



4.3.1	阅读要求 .....	142
4.3.2	直流电路和交流电路分析 .....	143
4.3.3	元器件作用分析和电路分析说明 .....	143
4.3.4	电路故障分析 .....	144
4.4	三级放大器电路详解及电路故障分析 .....	144
4.4.1	阅读要求 .....	144
4.4.2	电路分析 .....	145
4.4.3	电路故障分析 .....	145
4.5	耦合电路详解及电路故障分析 .....	146
4.5.1	阅读要求 .....	146
4.5.2	耦合电路功能和电路种类 .....	146
4.5.3	阻容耦合电路详解及电路故障分析 .....	147
4.5.4	直接耦合电路详解 .....	148
4.5.5	变压器耦合电路详解及电路故障分析 .....	148
4.6	退耦电路详解及电路故障分析 .....	151
4.6.1	阅读要求 .....	151
4.6.2	级间交连概念 .....	151
4.6.3	退耦电路工作原理和电路分析小结 .....	153
4.6.4	电路故障分析 .....	153
4.7	放大器性能参数全解 .....	153
4.7.1	阅读要求 .....	154
4.7.2	放大倍数 .....	154
4.7.3	失真度 .....	156
4.7.4	频率响应 .....	157
4.7.5	信噪比 .....	159
4.7.6	输出功率和动态范围 .....	160
4.8	音响专用放大器性能指标解读 .....	160
4.8.1	阅读要求 .....	160
4.8.2	三种用途的放大器 .....	160
4.8.3	放大器客观评价综述 .....	162
4.8.4	放大器技术性能指标解说 .....	163
4.8.5	放大器性能指标与音质之间的关系 .....	167

<b>第5章</b>	<b>差分放大器和音频前置集成电路详解及电路故障分析 .....</b>	<b>169</b>
5.1	差分放大器详解及电路故障分析 .....	169
5.1.1	阅读要求 .....	169
5.1.2	差分放大器的种类、电路特点和电路分析方法 .....	169
5.1.3	差模信号和共模信号概念 .....	170
5.1.4	双端输入、双端输出式差分放大器详解及电路故障分析 .....	171

5.1.5	双端输入、单端输出式差分放大器详解和电路故障分析	175
5.1.6	单端输入、单端输出式差分放大器详解及电路故障分析	177
5.1.7	单端输入、双端输出式差分放大器详解	179
5.1.8	带恒流源的差分放大器详解及电路故障分析	180
5.1.9	具有零点校正的差分放大器详解及电路故障分析	181
5.1.10	多级差分放大器详解及电路故障分析	182
5.2	集成电路常用引脚外电路分析	183
5.2.1	阅读要求	183
5.2.2	集成电路综述	184
5.2.3	集成电路输入和输出引脚电路分析及电路故障分析	187
5.2.4	集成电路电源引脚和接地引脚电路分析及电路故障分析	189
5.3	音频前置集成电路实用电路详解及电路故障分析	193
5.3.1	阅读要求	193
5.3.2	引脚作用和电路分析	193
5.3.3	电路故障分析	194
5.3.4	交流负反馈电路详解	194
<b>第6章</b>	<b>音频功率放大器详解及电路故障分析</b>	<b>196</b>
6.1	音频功率放大器基础知识大全	196
6.1.1	阅读要求	196
6.1.2	电路结构方框图和放大器种类	196
6.1.3	甲类、乙类和甲乙类放大器	198
6.1.4	定阻式输出和定压式输出概念	201
6.1.5	推挽、互补推挽和复合互补推挽放大器概念	201
6.1.6	推挽输出级静态偏置电路大全	203
6.2	变压器耦合推挽功率放大器详解及电路故障分析	204
6.2.1	阅读要求	204
6.2.2	推动级电路分析	205
6.2.3	功放输出级电路分析	205
6.2.4	电路故障分析	207
6.2.5	电路特点和电路分析小结	207
6.3	分立元器件 OTL 功率放大器详解及电路故障分析	208
6.3.1	阅读要求	208
6.3.2	OTL 功率放大器输出端耦合电容分析	208
6.3.3	直流电路分析	209
6.3.4	交流电路分析	210
6.3.5	自举电路分析	211
6.3.6	电路故障分析和输出端直流电压分析	212
6.3.7	电路特点	213

6.3.8	实用复合互补推挽式 OTL 功率放大器详解及电路故障分析	214
6.4	集成电路 OTL 功率放大器详解及电路故障分析	217
6.4.1	阅读要求	217
6.4.2	单声道 OTL 功率放大器集成电路详解及电路故障分析	217
6.4.3	双声道 OTL 音频功率放大器集成电路详解及电路故障分析	223
6.5	分立和集成 OCL 功率放大器详解及电路故障分析	226
6.5.1	阅读要求	226
6.5.2	分立元器件 OCL 功率放大器详解及电路故障分析	226
6.5.3	集成电路 OCL 音频功率放大器详解及电路故障分析	230
6.6	分立和集成 BTL 功率放大器详解及电路故障分析	232
6.6.1	阅读要求	232
6.6.2	BTL 功率放大器综述	232
6.6.3	分立元器件 BTL 功率放大器详解及电路故障分析	233
6.6.4	集成电路 BTL 功率放大器详解	235
<b>第7章</b>	<b>场效应管、电子管电路分析及电路故障分析</b>	<b>238</b>
7.1	场效应管知识全解	238
7.1.1	阅读要求	238
7.1.2	外形特征和电路符号	238
7.1.3	种类和结构	240
7.1.4	主要特性	242
7.1.5	型号说明和引脚识别方法	244
7.1.6	检测、选配和操作方法	245
7.2	场效应管放大器详解及电路分析	246
7.2.1	阅读要求	246
7.2.2	三种基本组态及偏置电路三种特点	246
7.2.3	四种常见场效应管偏置电路详解	247
7.2.4	场效应管和晶体三极管混合放大器详解	249
7.2.5	场效应管调频收音高频放大器详解	250
7.3	电子管放大器详解及电路故障分析	251
7.3.1	阅读要求	251
7.3.2	外形特征和电路符号	252
7.3.3	三极管结构、各电极作用和工作原理	253
7.3.4	三极管主要特性和参数	254
7.3.5	三极管放大器直流电路详解	255
7.3.6	阴极输出器详解	257
7.3.7	三极管双管阻容耦合电压放大器详解	257
7.3.8	五极管电路和束射管	258

<b>第 8 章 其他常用放大器详解及电路故障分析</b> .....	261
8.1 运算放大器详解及电路故障分析 .....	261
8.1.1 阅读要求 .....	261
8.1.2 电路符号和特点 .....	261
8.1.3 运算放大器构成的恒压源电路和电压比较器 .....	262
8.1.4 运算放大器构成的音频放大器和 +1 放大器 .....	264
8.2 调谐放大器详解及电路故障分析 .....	265
8.2.1 阅读要求 .....	265
8.2.2 调谐放大器综述 .....	265
8.2.3 采用陶瓷滤波器的选频放大器详解及电路故障分析 .....	267
8.2.4 采用 LC 并联谐振电路的选频放大器详解及电路故障分析 .....	268
8.3 限幅放大器详解 .....	269
8.3.1 阅读要求 .....	269
8.3.2 限幅放大器种类及电路特点 .....	269
8.3.3 二极管限幅电路详解 .....	270
8.3.4 三极管限幅放大器和差分放大器限幅电路 .....	271
<b>第 9 章 用万用表检修常用放大器的步骤和方法</b> .....	273
9.1 放大器常见故障及检修方法 .....	273
9.1.1 阅读要求 .....	273
9.1.2 放大器常见故障 .....	273
9.1.3 常用检修方法 .....	274
9.2 单级音频放大器故障检修方法 .....	278
9.2.1 阅读要求 .....	278
9.2.2 无声故障检修方法 .....	278
9.2.3 声音轻和噪声大故障检修方法 .....	280
9.3 音频集成电路功率放大器故障检修方法 .....	280
9.3.1 阅读要求 .....	281
9.3.2 集成电路故障检修综述 .....	281
9.3.3 双声道音频功率放大集成电路故障检修 .....	282

## 三极管及直流电路详解、电路故障分析

晶体三极管简称三极管。在电子电路中，用来构成放大器电路的主要器件是三极管。但是，三极管除了起放大作用外，还起着其他的作用。实际上，许多电子设备中，绝大多数的三极管并不工作在放大状态，而是工作在各种控制状态，这一点一定要清楚。

三极管的基本工作状态主要有下列三种：

- ① 截止状态，这时相当于二极管的截止状态。
- ② 饱和状态，这时相当于二极管的深度导通状态。
- ③ 放大状态，这是二极管所没有的工作状态，此时三极管可以用来放大信号，可以放大直流信号，也可以放大各种交流信号。

### 1.1 三极管基础知识全新详解

三极管的种类繁多，分类也比较复杂，普通三极管主要有以下几种：

① 三极管按照极性划分有两种：一是 NPN 型三极管，这是目前常用的三极管；二是 PNP 型三极管。这两种三极管通过电路符号是可以分清的，其不同之处是电路符号中发射极的箭头方向不同。

② 三极管按照材料划分有两种：一是硅三极管，简称硅管，这是目前常用的三极管，因为它的热稳定性能比较好；二是锗三极管，简称锗管，现在很少使用这种类型的三极管，这是因为它的热稳定性能没有硅三极管好。

③ 三极管根据极性和材料的不同组合，共有四种类型：一是 NPN 型硅管，即采用硅材料制成的极性为 NPN 型的三极管；二是 NPN 型锗管，即采用锗材料制成的极性为 NPN 型的三极管；三是 PNP 型硅管，即采用硅材料制成的极性为 PNP 型的三极管；四是 PNP 型锗管，即采用锗材料制成的极性为 PNP 型的三极管。

④ 三极管按照工作频率的高低划分，有低频三极管（3MHz 以下）和高频三极管（3MHz 以上）等。

⑤ 三极管按照输出功率大小划分，有小功率（500mW 以下）、中功率（500 ~ 1000mW）和大功率放大管（1W 以上）。

三极管按用途划分则更多，如放大管、开关管、控制管等。

此外，还有一些特殊功能的三极管，如光敏三极管等。

## 1.1.1 阅读要求

### 1. 精读内容

本节要求通过精读来熟练掌握的内容主要有以下几部分：

- ① 1.1.2 外形特征和指示电流流向的电路符号。
- ② 1.1.3 必须掌握的三种工作状态。
- ③ 1.1.4 两项三极管放大条件。
- ④ 1.1.7 引脚分布规律和识别方法。
- ⑤ 1.1.8 三种主要故障说明。

### 2. 泛读要求

本节要求通过泛读来掌握或了解的内容主要有以下几部分：

- ① 1.1.5 三类主要参数。
- ② 1.1.6 型号和放大倍数表示方法。

## 1.1.2 外形特征和指示电流流向的电路符号

### 1. 外形特征

图 1-1 所示是常用的三种三极管外形示意图。图 (a) 所示是目前用得最多的塑料封装三极管外形示意图，图 (b) 所示是金属封装的三极管外形示意图，图 (c) 所示是金属封装的中功率、大功率三极管外形示意图。

关于三极管的外形特征，主要说明以下几点：

① 一般三极管只有三根引脚，每根引脚之间是不能相互代替的。这三根引脚可以是按等腰三角形分布，也可以是一字形排列。各引脚的分布规律在不同封装类型的三极管中是不同的，这在后面的识别方法中介绍。

② 三极管的外形可以是圆形的，也可以是扁形的或其他形状的。

③ 有些三极管不是三根引脚的。一些功率放大管只有两根引脚，它的外壳作为第三根引脚，即为集电极。有的高频放大管有四根引脚，第四根引脚是接金属外壳的，这根引脚不参与三极管的内部工作。

④ 有些三极管外壳上装有散热片，这主要是功率放大管。

⑤ 三极管的外壳主要有两种：一是金属的，二是塑料的。另外，还有一种体积很小无外壳的三极管。

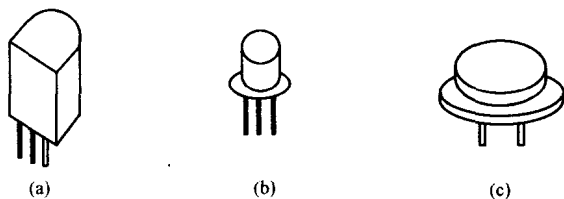


图 1-1 常见的三种三极管外形示意图

⑥ 三极管的体积有大有小，一般功率放大管的体积较大，且功率愈大其体积愈大，体积大的三极管约有手指般大小，体积小的三极管只有半粒黄豆般大小。

## 2. 电路符号

图 1-2 所示是三极管的电路符号。三极管共有三个电极，分别是基极（用 B 表示）、集电极（用 C 表示）和发射极（用 E 表示），各电极的分布在电路符号中已经表示出来，有箭头的是发射极。

图（a）所示是过去采用的三极管电路符号，三极管按照极性划分有 NPN 型和 PNP 型两种，这是 NPN 型三极管的电路符号，在电路符号中过去用大写字母 BG 表示。

图（b）所示是过去采用的 PNP 型三极管电路符号。

这两种不同极性三极管电路符号的主要不同之处是发射极（E）的箭头方向不同，NPN 型三极管的发射极箭头方向朝外，而 PNP 型三极管的发射极箭头方向朝里。

图（c）所示是目前国家最新规定的 NPN 型三极管的电路符号，它与旧电路符号相比，少了外面的圆圈，电路符号中用大写字母 V 或 VT 表示三极管。

图（d）所示是目前国家最新规定的 PNP 型三极管电路符号。

图（e）所示也是目前国家最新规定的 NPN 型三极管的电路符号，它有一个圆圈，但集电极与圆圈之间用一个黑点相连，这表示这种三极管只有两根引脚，其第三根引脚集电极就是三极管的金属外壳。

在实用电路图中，特别是在进口家用电器电路图中，还会见到其他一些形式的三极管电路符号。不管三极管的电路符号如何变化，它总是有三根引脚。

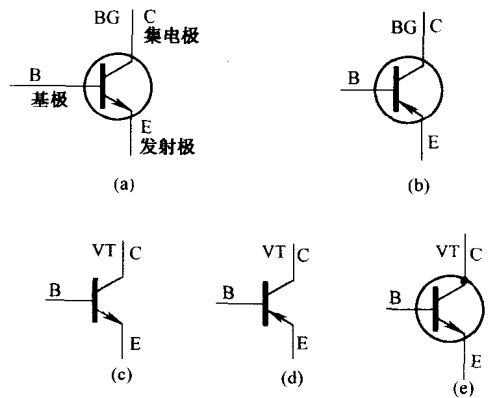


图 1-2 三极管电路符号

### 1.1.3 必须掌握的三种工作状态

了解三极管的结构，对记忆三极管的一些主要特性有着积极的意义。

三极管由三块半导体构成，对于 PNP 型三极管而言，由两块 P 型半导体和一块 N 型半导体构成，如图 1-3（a）所示，N 型半导体在中间，两块 P 型半导体在两侧，各半导体所引出的电极如图中所示，一块 P 型半导体上引出集电极 C，另一块 P 型半导体上引出发射极 E，在 N 型半导体上引出基极 B。

在 P 型和 N 型半导体的交界面处形成两个 PN 结，在基极与集电极之间的 PN 结称为集电结，在基极与发射极之间的 PN 结称为发射结，如图中所示。

图 1-3（b）所示是三极管结构示意图。

三极管共有下列三种工作状态：

① 截止工作状态。

- ② 放大工作状态。
- ③ 饱和工作状态。

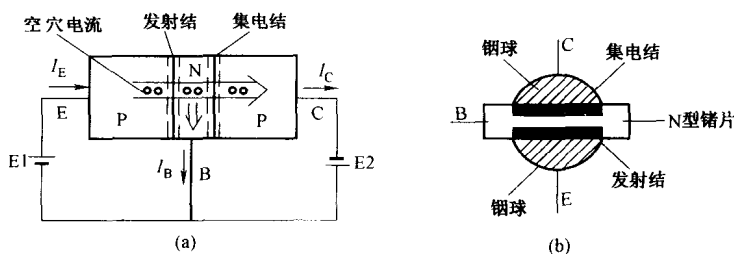


图 1-3 三极管结构示意图

当三极管用于不同目的时，三极管所需要进入的工作状态是不同的。

### 1. 截止工作状态

当三极管的各电极工作电流为零或很小时，即  $I_B = 0$  或很小时， $I_C$  和  $I_E$  也为零或很小，因为  $I_C = \beta I_B$ ,  $I_E = (1 + \beta) I_B$ ，此时三极管处于截止状态。换句话说，当三极管处于截止状态时，三极管的各电极电流为零或很小。

在电子制作或修理中，利用电流为零或很小的特征，可以判断三极管已处于截止状态了。应记住判别三极管是否处于截止状态的这一电流依据。

在截止状态下，输入三极管的信号要处于截止区，此时三极管是非线性的。所谓非线性，通俗地讲，是指给三极管输入一个信号后，三极管的输出信号是存在非线性失真的，如输入标准的正弦信号，而输出的信号已不是一个标准的正弦信号了，输出信号与输入信号不同就是失真，产生这一失真的原因是三极管的非线性。

当三极管用于放大信号时，是不允许三极管进入截止状态的，因为这会造成信号的非线性失真。当三极管用于开关电路中时，三极管的一个工作状态就是截止状态。在截止状态下，三极管的  $\beta$  为零或是很小。

### 2. 放大工作状态

当三极管用来放大信号时，三极管要工作在放大状态，此时三极管是呈线性的。在线性状态下，给三极管输入一个正弦信号，三极管输出的也是正弦信号，此时输出信号的幅度比输入信号要大（对输入信号已有了放大作用），但是正弦信号的特性未改变，所以没有非线性失真。

放大器的输出信号幅度变大了，这其实也是一种失真，但称之为线性失真。在放大器电路中，这种线性失真是需要的，没有这种线性失真，放大器就没有放大能力。显然，线性失真和非线性失真是不同的。

在放大状态下，输入三极管的信号进入三极管的放大区，这是三极管的线性区。此时，三极管的工作电流比截止时的电流要大得多，但也不是很大。在放大状态下， $I_C = \beta I_B$  中的  $\beta$  值大小基本不变，有一个基极电流就有一个与之相对应的集电极电流。 $\beta$  值基本不变是放大区的一个特征。



### 3. 饱和工作状态

当三极管的工作电流进一步增大，比放大状态时的电流还要大得多时，三极管将进入饱和状态。饱和状态时，三极管的工作电流是很大的，此时三极管的电流放大倍数要下降。 $I_C = \beta I_B$  中的  $\beta$  值在下降，饱和得愈深其值愈小，一直能到小于 1。

在三极管处于饱和状态时，输入三极管的信号要进入饱和区，这是三极管的另一个非线性区，所以在放大信号时，三极管也是不能进入饱和区的。在开关电路中，三极管的另一个工作状态是饱和状态。

在三极管的三种工作状态中，三极管工作电流都有一定的范围，其中截止区的电流范围为最小，放大区的电流范围为最大，饱和区其次，当然，通过外电路的调整也可以改变三极管各工作区的电流范围。

#### 1.1.4 两项三极管放大条件

要使三极管进入放大区，必须给三极管一个正常的工作条件，即要给三极管各个电极一个合适的直流电压，归纳起来是以下两点：

- ① 给三极管的集电结加反向直流偏置电压。
- ② 给三极管的发射结加正向直流偏置电压。

无论是 NPN 型还是 PNP 型三极管，这两个条件是一样的，并且这两个条件要同时满足，缺一不可，如果缺一个，三极管就不能工作在放大状态。

从各电极的直流电压大小这一角度上讲，当三极管工作在放大状态时，对于 NPN 型三极管而言，有  $U_C > U_B > U_E$ 。对于 PNP 型三极管而言，各电极直流电压为  $U_E > U_B > U_C$ 。关于三极管工作在放大状态下的工作原理，在后面的单级放大器电路中介绍。

三极管的上述两个条件是通过直流偏置电路实现的。

#### 1.1.5 三类主要参数

三极管的具体参数很多，可以分成下列三大类：

- ① 直流参数。
- ② 交流参数。
- ③ 极限参数。

##### 1. 直流参数

这里主要介绍三极管的三个直流参数，即共发射极直流放大倍数  $\bar{\beta}$ 、集电极反向截止电流  $I_{CBO}$  和集电极—发射极反向截止电流  $I_{CEO}$ 。

① 共发射极直流放大倍数  $\bar{\beta}$ 。 $\bar{\beta}$  也可以用  $h_{FE}$  表示。它是指在共发射极电路中（三极管三种放大器电路中的一种），没有交流电流输入时，集电极电流  $I_C$  与基极电流  $I_B$  之比。

共发射极直流放大倍数  $\bar{\beta}$  是衡量三极管电流放大能力的一个重要指标，对于同一个三极