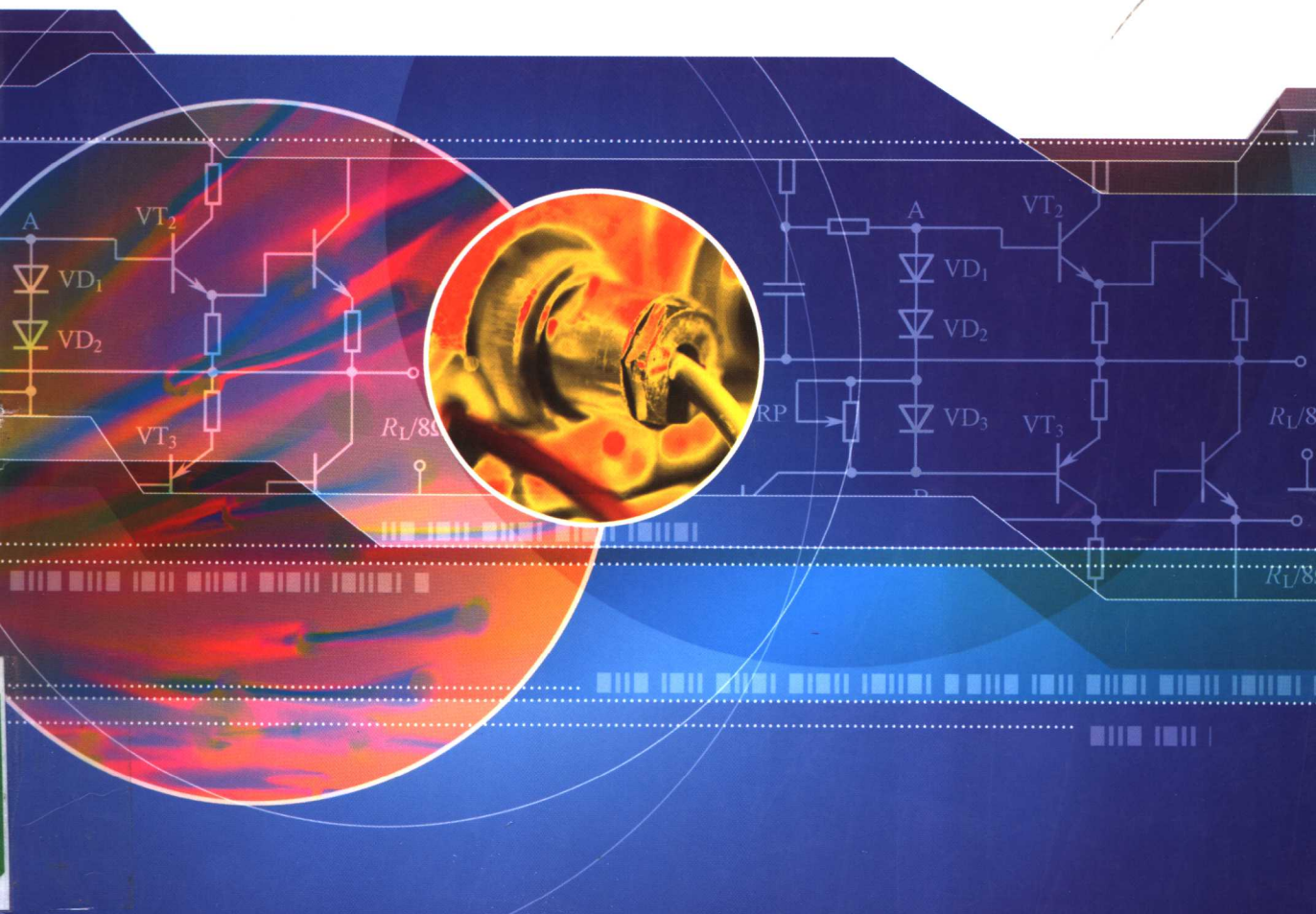


常用电子器件 及典型应用

周惠潮 孙晓峰 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

内 容 简 介

本书主要以图解形式介绍现代电子器件的基本知识、原理、识别及在不同领域、不同环境中的典型应用。其特点以现代器件为例,介绍它们在新产品或高技术产品中的使用,突出应用实例与效果。

本书适合广大电子技术初学者、深造者、电子爱好者、电路设计者及相关院校师生参考。

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

常用电子器件及典型应用/周惠潮,孙晓峰编著. —北京:电子工业出版社,2007.4
ISBN 978-7-121-03988-1

I. 常… II. ①周…②孙… III. 电子器件—图解 IV. TN6-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第031948号

责任编辑:魏永昌 和德林 特约编辑:李云霞

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:38 字数:975千字

印 次:2007年4月第1次印刷

印 数:5000册 定价:58.00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,联系电话:(010)68279077;邮购电话:(010)88254888。

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。

服务热线:(010)88258888。

前 言

电子器件包括分立电子器件与集成电路器件两大类，本书将讨论分立电子器件类。所谓分立电子器件是指各种分别独立的半导体器件，常用的分立电子器件如半导体二极管、晶闸管、三极管、场效应晶体管等。

分立电子器件是电子电路中一个较大的群体，属电路的重要组成部分。在一定意义上讲，分立电子器件在大多数电路中起着核心作用。在现代电子技术领域，虽然集成电路器件的应用日趋广泛，但分立电子器件在电路中的独特优势仍不可代替。到目前为止，分立电子器件在电子、电气电路中一直占据着主导地位。这主要是由于分立电子器件本身的结构、性能、特点、独特性、可靠性和可维修性等所决定的。所以无论是初学者、电子爱好者，还是从事电路设计、电路维修的专业工作人员，对各种分立电子器件基本知识的学习与深度了解是十分必要的。

分立电子器件所囊括的内容繁多，基本知识丰富，篇幅庞大，本书将分为晶体二极管、晶闸管、晶体三极管三大部分进行讨论。场效应管（包括 IGBT）是三极管中的一种类型，故在三极管部分讨论。

本书编写手法是针对所指某种分立电子器件，分前、后两个侧面进行讨论。

第一个侧面 以常用分立电子器件为核心，由表及里、自浅入深地介绍它们的外观、原理、构造、型号、规格、性能、特点、识别、质量判断及使用规范。并对其在基本电路中的工作原理和它们在电路结构中所起的作用，从现象到本质、从理论到实际，进行较详细的分析。同时，根据其特点和功能，从应用领域的多方面入手，追踪介绍这些常用分立电子器件的其他基本知识，分析它们在电路中的其他功能、工作原理、工作波形的变化、电路解释等。

第二个侧面 以常用分立电子器件为主线，结合近年来国内、外电路领域的新发展、新成就、新内容，以分析典型应用电路为重点，有的放矢地对各类典型应用单元电路作较详细的原理分析或波形分析，以加深对分立电子器件的认识，丰富应用知识，提高对有关电路的阅图水平和分析能力，增强自我设计意识。

本书在编写上，力求遵循用词通俗，由浅入深，既分析到位，又避免烦琐的基本原理的叙述，以达到既少而精、又全而不繁之效果。谨望能给予新、老电子技术专业人员与广大电子爱好者以帮助和启发。

本书由周惠潮和孙晓峰博士共同编著。由于时间仓促，作者水平有限，难免会出现力不从心或错误之处，恳请广大读者批评指正，深表谢意。

编著者：周惠潮 孙晓峰

2006年8月

目 录

第 1 部分 二 极 管	
第 1 章 普通二极管	1
1.1 概述	1
1.1.1 普通二极管简介	1
1.1.2 二极管的工作原理	1
1.1.3 二极管的主要技术参数	2
1.2 检波二极管	2
1.2.1 检波二极管的结构原理与特性	2
1.2.2 检波二极管的检波原理	3
1.2.3 检波二极管的性能与参数	12
1.3 整流二极管	14
1.3.1 整流二极管的结构原理与特性	14
1.3.2 整流二极管的整流原理	16
1.3.3 整流二极管的计算与质量判断	24
1.4 稳压二极管	36
1.4.1 稳压二极管的结构原理与特性	36
1.4.2 稳压二极管的性能测试与识别	39
1.5 开关二极管	43
1.5.1 开关二极管的性能特点	43
1.5.2 开关二极管的外形结构与识别	44
1.5.3 硅电压开关二极管	47
1.6 变容二极管	48
1.6.1 变容二极管的结构与特性	48
1.6.2 变容二极管的结构外形与技术参数	50
1.7 快恢复二极管	52
1.7.1 快恢复二极管简介	52
1.7.2 快恢复二极管的外形结构与技术参数	52
1.8 阶跃恢复二极管	58
1.8.1 阶跃恢复二极管的结构原理	58
1.8.2 阶跃恢复二极管的性能特点	58
1.9 肖特基二极管	59
1.9.1 肖特基二极管的结构原理	59
1.9.2 肖特基二极管的特点及用途	62
1.9.3 肖特基二极管的性能判断	65
1.10 隧道二极管	65
1.10.1 隧道二极管的隧道效应及 $U-I$ 特性	65
1.10.2 隧道二极管的结构原理	66
1.10.3 隧道二极管的性能特点及用途	66
1.11 恒流二极管	67
1.11.1 恒流二极管的性能特点	67
1.11.2 恒流二极管的主要参量与典型电路	68
1.11.3 恒流二极管的性能判断	69
1.11.4 恒流二极管的性能参数	70
1.12 阻尼二极管	71
1.12.1 阻尼二极管的结构与特点	71
1.12.2 阻尼二极管的阻尼原理	71
1.12.3 阻尼二极管的识别与性能参数	72
1.13 微波二极管	73
1.13.1 微波二极管的结构原理	73
1.13.2 微波二极管的工作原理及特性	74
1.13.3 常用微波二极管的性能参数	75
1.14 补偿二极管	75
1.14.1 补偿二极管的基本特性	75
1.14.2 补偿二极管实用电路与性能参数	76
1.15 精密二极管	76
1.15.1 精密二极管基本特性	76
1.15.2 精密二极管的性能参数	77
1.16 其他二极管	77
1.16.1 限幅二极管	77
1.16.2 钳位二极管	81
1.16.3 续流二极管	83
1.16.4 垫位二极管	84
1.16.5 保护二极管	86
1.16.6 译码二极管	88
1.16.7 PIN 二极管	92
1.16.8 雪崩二极管	92
1.16.9 瞬变电压抑制二极管	92
1.16.10 高反向电阻点接触型二极管	92
1.16.11 高传导点接触型二极管	92
第 2 章 发光二极管	93
2.1 普通发光二极管	93

2.1.1 发光二极管的基本知识	93	3.1.4 光敏二极管的性能参数	134
2.1.2 发光二极管的结构及发光原理	94	3.2 激光二极管	135
2.1.3 发光二极管的特性及分类	97	3.2.1 激光及其产生	135
2.1.4 发光二极管的特点及用途	99	3.2.2 激光二极管简介	137
2.1.5 发光二极管的识别及性能参数	100	3.2.3 固体激光器	137
2.2 变色发光二极管	103	3.2.4 液体激光器	138
2.2.1 变色 LED 的结构原理	103	3.2.5 气体激光器	138
2.2.2 变色 LED 的特点及用途	104	3.2.6 半导体激光器	139
2.2.3 常用变色 LED 的性能参数	104	3.2.7 光纤激光器	140
2.3 贴片发光二极管	105	3.2.8 常用的半导体激光二极管	141
2.3.1 贴片 LED 的结构原理	105	3.2.9 激光二极管的技术性能	143
2.3.2 贴片 LED 的特点、用途与尺寸	105	3.3 太阳能电池（光生电二极管）	144
2.4 电压控制型发光二极管	106	3.3.1 太阳能电池的结构原理	144
2.4.1 电压控制型 LED 的结构原理	106	3.3.2 太阳能电池的基本特性	145
2.4.2 电压控制型 LED 的电压规范及参数	107	3.3.3 太阳能电池的电路连接	148
2.5 闪烁发光二极管	107	3.3.4 太阳能电池的性能特点与用途	149
2.5.1 闪烁 LED 的性能特点	107	3.3.5 太阳能电池使用四须知	150
2.5.2 闪烁 LED 的结构与闪烁原理	108	3.4 双向触发二极管	151
2.5.3 闪烁 LED 的特点及用途	110	3.4.1 双向触发二极管的结构原理	151
2.5.4 闪烁 LED 的性能参数	110	3.4.2 双向触发二极管的基本特性	152
2.6 发光二极管显示器	111	3.4.3 双向触发二极管的特点与用途	153
2.6.1 LED 数码管显示器	112	3.5 双基极二极管	155
2.6.2 LED 数码管显示器的驱动	114	3.5.1 双基极二极管（UJT）的结构原理	155
2.6.3 多位 LED 数码管显示器	117	3.5.2 双基极二极管的 $U-I$ 特性	156
2.6.4 LED 米字管、符号管显示器	119	3.5.3 双基极二极管的自振荡	156
2.6.5 LED 点阵式显示器	121	3.5.4 双基极二极管的性能特点与用途	157
2.6.6 LED 显示器的型号命名	122	3.6 磁敏二极管	159
2.7 有机发光二极管	123	3.6.1 磁敏二极管的结构原理	159
2.7.1 有机发光二极管 OLED 简介	123	3.6.2 磁敏二极管的基本特性	160
2.7.2 OLED 发光二极管结构原理	124	3.6.3 磁敏二极管的特点及用途	162
2.8 红外发光二极管	125	第 4 章 二极管的检测	163
2.8.1 红外 LED 简介	125	4.1 普通二极管的检测	163
2.8.2 红外 LED 的结构原理	125	4.1.1 二极管器件的常规检测	163
2.8.3 红外 LED 的特点及 $U-I$ 特性	127	4.1.2 二极管的在路检测	165
2.8.4 红外 LED 的性能参数	128	4.2 特殊二极管的检测	168
第 3 章 特种二极管	130	4.2.1 稳压二极管的检测	168
3.1 光敏二极管	130	4.2.2 双向触发二极管的检测	169
3.1.1 光敏二极管 PD 的结构原理	130	4.2.3 发光二极管的检测	170
3.1.2 光敏二极管的光电转换原理	133	4.2.4 红外发光二极管的检测	171
3.1.3 光敏二极管的特点与用途	134	4.2.5 红外光敏二极管的检测	171

4.2.6	可见光光敏二极管的检测	172	5.1.33	恒流二极管扩流电路	196
4.2.7	激光二极管的检测	173	5.1.34	恒流二极管升压电路	196
4.2.8	变容二极管的检测	174	5.1.35	恒流二极管扩流、升压电路	196
4.2.9	双基极二极管的检测	175	5.1.36	电动机调速电路中的二极管	197
4.2.10	高压硅堆的检测	175	5.1.37	液体导电能力检测电路	198
4.2.11	肖特基二极管的检测	175	5.1.38	流水音乐产生电路	198
第 5 章	二极管的典型应用	176	5.1.39	二极管与门电路	199
5.1	普通二极管的典型应用	176	5.1.40	二极管或门电路	200
5.1.1	二极管半波整流电路	176	5.1.41	二极管与非门电路	201
5.1.2	“矿石”收音机电路	176	5.1.42	二极管或非门电路	202
5.1.3	彩电开关电源半波整流电路	177	5.1.43	二极管电平指示器	203
5.1.4	彩电行输出半波整流电路	177	5.1.44	二极管集成电路电平指示器	204
5.1.5	“热得快”二极管半波整流电路	178	5.1.45	二极管隔离充、放电电路	204
5.1.6	脉动电流充电电路	178	5.1.46	二极管耦合多曲门铃电路	204
5.1.7	二极管全波整流电路	179	5.1.47	二极管模拟开关电路	205
5.1.8	二极管桥式整流电路	179	5.1.48	二极管模拟开关信号传输电路	206
5.1.9	桥式 78**实用稳压电路	180	5.1.49	稳压二极管浪涌抑制电路	207
5.1.10	桥式 79**实用稳压电路	180	5.1.50	稳压二极管彩电过电压保护电路	207
5.1.11	桥式 LM317 可调稳压电路	180	5.1.51	稳压二极管电弧抑制电路	207
5.1.12	桥式电流扩展稳压电路	182	5.1.52	二极管的功率扩展应用	207
5.1.13	简单的恒流充电电路	182	5.1.53	二极管钳位、限幅电路拾零 30 例	208
5.1.14	简单可调的充电电路	183	5.1.54	二极管其他应用电路拾零 33 例	211
5.1.15	宽适用范围充电电路	183	5.2	发光二极管典型应用	213
5.1.16	可预充电电流的充电电路	184	5.2.1	LED 图案形音量显示电路	213
5.1.17	可监测电池电压的充电电路	185	5.2.2	LED 调温电热指示电路	213
5.1.18	失真极小的 AM 检波器电路	186	5.2.3	LED 音响-彩灯同步电路	214
5.1.19	彩电 AM、FM 检波器典型电路	187	5.2.4	正反顺序自控 LED 显示电路	214
5.1.20	二极管正极性倍压电路	188	5.2.5	汽车手闸位置 LED 显示器	215
5.1.21	二极管负极性倍压电路	188	5.2.6	LED→TTL 电平测试笔电路	216
5.1.22	DC +5V→±15V 升压变换电路	189	5.2.7	LED→CMOS 电平测试笔电路	217
5.1.23	小功率二极管二倍压电路	189	5.2.8	双路五位 LED 电平指示电路 1	217
5.1.24	小功率二极管三倍压电路	189	5.2.9	双路五位 LED 电平指示电路 2	218
5.1.25	小功率二极管多倍压电路	190	5.2.10	双路五位 LED 电平指示电路 3	218
5.1.26	收音机中的二极管偏置电路	190	5.2.11	五步序列 LED 逐次熄灭显示器	219
5.1.27	收音机中变容二极管调谐电路	191	5.2.12	五步序列 LED 逐次点亮显示器	220
5.1.28	变容二极管移相电路	192	5.2.13	LED 追逐序列显示器电路	220
5.1.29	变容二极管调频电路 1	192	5.2.14	LED 连续加速显示器电路	221
5.1.30	变容二极管调频电路 2	193	5.2.15	LED 连续减速显示器电路	221
5.1.31	变容二极管倍频电路	194	5.2.16	LED 追逐序列扩展显示电路	222
5.1.32	恒流二极管恒流源电路	195	5.2.17	LED 交通信号灯应用知识	223

5.2.18 LED 红、黄、绿信号灯驱动电路···	227	5.2.55 LED 显示屏概述·····	261
5.2.19 LED 其他信号灯驱动电路·····	229	5.2.56 LED 显示屏结构与系统·····	262
5.2.20 LED 倒计时数显信号灯驱动电路 ·····	230	5.3 特种二极管的典型应用·····	266
5.2.21 2 位数码倒计时 LED 信号灯电路 ·····	230	5.3.1 光-电编码电路·····	266
5.2.22 LED 交通信号灯的时序控制·····	232	5.3.2 晶闸管变频器光敏控制电路·····	266
5.2.23 太阳能 LED 闪烁交通警示灯·····	236	5.3.3 灵敏光/电接收电路·····	267
5.2.24 太阳能 LED 红、黄、绿高竿信号灯	237	5.3.4 盲人亮度监测器电路·····	267
5.2.25 LED 暖室温度指示器电路·····	237	5.3.5 天亮呼叫电路·····	267
5.2.26 LED 转速指示器电路·····	238	5.3.6 自动生产线中断监视电路·····	268
5.2.27 LED 对数电平指示器电路·····	239	5.3.7 夜间防盗显示电路·····	268
5.2.28 LED 模拟电压指示器电路·····	239	5.3.8 光控报警电路·····	269
5.2.29 五彩 LED 电平指示器电路·····	240	5.3.9 红外发射与接收电路·····	269
5.2.30 LED 多光柱扫描显示电路·····	240	5.3.10 日光能量检测电路·····	270
5.2.31 最简单的 LED 闪光电路·····	241	5.3.11 光电池自动启门电路·····	270
5.2.32 带闪光报警的 LED 显示电路·····	241	5.3.12 110V 光电池继电器电路·····	270
5.2.33 LED 条式电平表电路·····	242	5.3.13 高灵敏度光测电路·····	271
5.2.34 60dB 点条式 LED 指示电路·····	242	5.3.14 光学雷达中的红外发射电路·····	271
5.2.35 LED 条状显示电路·····	242	5.3.15 光纤传输的 LED 发送与接收电路	272
5.2.36 安全高压 LED 闪光电路·····	244	5.3.16 循环码磁/电编码电路·····	272
5.2.37 双色 LED 交替闪光电路·····	244	5.3.17 光中断型脉冲发生器电路·····	273
5.2.38 两种 LED 脉冲电流增亮电路·····	245	5.3.18 自动夜光灯电路·····	274
5.2.39 几种点、条形 LED 显示电路·····	245	5.3.19 可调光开关电路·····	274
5.2.40 速率可调的 LED 闪光电路·····	250	5.3.20 红外光发射电路·····	275
5.2.41 录音机 LED 遥控指示电路·····	250	5.3.21 红外光接收电路·····	275
5.2.42 符合鉴别器 LED 指示电路·····	251	5.3.22 LED 汽车电压监示电路·····	276
5.2.43 LED 油压显示电路·····	251	5.3.23 MAX3867 激光二极管驱动电路	276
5.2.44 白光 LED 控制电路·····	252	5.3.24 He-Ne 激光二极管激励电路·····	280
5.2.45 白光 LED 微型手电筒电路·····	252	5.3.25 氩离子 (Ar ⁺) 激光二极管激发电路 ·····	280
5.2.46 数码显示定时电路·····	253	5.3.26 二氧化碳 (CO ₂) 激光二极管激发电路 ·····	281
5.2.47 LED 点阵显示电路·····	253	5.3.27 固体激光器脉冲氙灯激发电路···	282
5.2.48 LED 扩展点阵及内部电路·····	254	5.3.28 固体激光器氙灯光泵激发电路···	283
5.2.49 5×7 点阵常用驱动电路·····	255	5.3.29 激光打印技术的应用·····	285
5.2.50 8×8 点阵常用驱动电路·····	256	5.3.30 激光应用展望·····	287
5.2.51 8×8 点阵模块驱动电路·····	257	5.3.31 双基极二极管冰箱自动保护电路	288
5.2.52 16×8 双色点阵模块驱动电路·····	257	5.3.32 彩电超电压断电保护电路·····	289
5.2.53 16×16 单色 LED 点阵屏驱动电路 ·····	258	5.3.33 可燃气体全自动点火电路·····	290
5.2.54 LED 点阵屏亮度自控电路·····	260	5.3.34 自动快速干手器电路·····	290
		5.3.35 自动窗帘开闭电路·····	291

5.3.36	窗帘开度自动调节电路	292	6.2	双向晶闸管	350
5.3.37	隧道二极管脉冲电路	293	6.2.1	双向晶闸管 BTA 的结构与特点	350
5.3.38	隧道二极管单稳态电路	293	6.2.2	双向晶闸管的特性	351
5.3.39	隧道二极管多谐振荡器电路	294	6.2.3	交流固态继电器 SSR	352
5.3.40	隧道二极管双稳态电路	295	6.2.4	双向晶闸管的交流调压	354
5.3.41	隧道二极管整形电路	295	6.2.5	双向晶闸管的过压、过流保护	356
5.3.42	太阳能电池振荡电路	296	6.2.6	双向晶闸管的外形结构与性能	356
5.3.43	太阳能电池光敏振荡电路	296	第 7 章	特种晶闸管	358
5.3.44	LED 红外光信号发射电路	297	7.1	光控晶闸管 (GSCR)	358
5.3.45	LED 话音调制光发射电路	298	7.1.1	光控晶闸管的结构原理	358
5.3.46	50kHz 的 LED 光发射电路	298	7.1.2	光控晶闸管的主要特性	360
5.3.47	人体红外探测报警电路	298	7.1.3	光控晶闸管的入射光	361
5.3.48	两例 LED 大功率光输出电路	299	7.1.4	光控晶闸管的功率	361
5.3.49	火光探测式报警电路	300	7.2	其他特种晶闸管	361
5.3.50	彩电加装“红外遥控开、关”电路	301	7.2.1	双向光控晶闸管 GBTA	361
			7.2.2	光、电两用晶闸管 (GDS)	362
			7.2.3	可关断晶闸管 (GTO)	362
			7.2.4	寄生晶闸管 (IGBT)	364
			第 8 章	晶闸管的典型应用	365
第 2 部分	晶 闸 管		8.1	晶闸管的功能及作用	365
第 6 章	普通晶闸管	303	8.1.1	晶闸管的主要功能	365
6.1	单向晶闸管 SCR	303	8.1.2	晶闸管在电路中的作用	365
6.1.1	单向晶闸管的性能特点	303	8.2	晶闸管的典型应用	366
6.1.2	单向晶闸管的结构原理	304	8.2.1	摩托车 CDI 晶闸管点火器电路	366
6.1.3	单向晶闸管的主要特性与参量	306	8.2.2	晶闸管自动调光闪光电路	366
6.1.4	单向晶闸管的外形结构与极性判别	310	8.2.3	晶闸管楼道照明开关电路	367
6.1.5	单向晶闸管的串/并联	310	8.2.4	晶闸管调光台灯电路	368
6.1.6	单向晶闸管的过电流保护	315	8.2.5	晶闸管电扇自然风产生电路	368
6.1.7	单向晶闸管的过电压保护	316	8.2.6	晶闸管吸尘器电路	369
6.1.8	单向晶闸管的控制原理	324	8.2.7	晶闸管无级调光台灯电路	369
6.1.9	单向晶闸管单相半波整流	328	8.2.8	晶闸管闪光开关电路	370
6.1.10	单向晶闸管单相全波整流	331	8.2.9	晶闸管轮换闪光开关电路	370
6.1.11	单向晶闸管单相桥式整流	332	8.2.10	晶闸管互补闪光开关电路	371
6.1.12	单向晶闸管三相半波整流	334	8.2.11	触摸式晶闸管照明调光电路	372
6.1.13	单向晶闸管三相桥式半控整流	337	8.2.12	脚踏式晶闸管继电器电路	373
6.1.14	单向晶闸管三相桥式全控整流	339	8.2.13	双向晶闸管累计电路	373
6.1.15	单向晶闸管无源逆变原理	341	8.2.14	彩电增设晶闸管遥控关机电路	374
6.1.16	单向晶闸管并联逆变电路	341	8.2.15	晶闸管软启动电源电路	375
6.1.17	单向晶闸管串联逆变电路	343	8.2.16	晶闸管电影放映机稳速电路	375
6.1.18	单向晶闸管三相桥式逆变电路	344	8.2.17	晶闸管交流电动机调速电路	376
6.1.19	常用单向晶闸管与模块	345			

8.2.18	晶闸管大转矩电动机调速电路	376	8.2.53	晶闸管停电自锁开关电路	397
8.2.19	晶闸管自动延迟电动机停转电路	377	8.2.54	晶闸管调速吸尘器电路	398
8.2.20	晶闸管通用电动机调速电路	378	8.2.55	晶闸管声控音乐彩灯电路	398
8.2.21	晶闸管电钻转矩补偿控制电路	378	8.2.56	晶闸管中间继电器电路	398
8.2.22	晶闸管手动交流调压电路	379	8.2.57	晶闸管延迟熄灭开关电路	399
8.2.23	晶闸管电磁离合器电路	379	8.2.58	飞利浦晶闸管专用触发 IC/TDA1023 的特点	399
8.2.24	晶闸管顺序定时循环驱动电路	380	8.2.59	飞利浦晶闸管 IC/TDA1023 的 应用电路	401
8.2.25	简单晶闸管过零开关电路	381	8.2.60	晶闸管电动机速度开环 控制电路	401
8.2.26	晶闸管水液面检测报警电路	382	8.2.61	晶闸管电动机速度闭环 控制电路	402
8.2.27	晶闸管交流电源切换电路	382	8.2.62	一体化模块三相全控程序化充、 退磁电路	402
8.2.28	晶闸管家用烤箱控制电路	383	8.2.63	40kW 三相半控程序化充、 退磁电路	404
8.2.29	晶闸管舞台灯光控制电路	383	8.2.64	分立模块三相全控程序化充、 退磁电路	405
8.2.30	晶闸管医疗灯强度控制电路	384	8.2.65	晶闸管光控车库灯电路	406
8.2.31	晶闸管汽车路障闪光灯电路	384	8.2.66	可关断晶闸管直流功率 开关电路	406
8.2.32	晶闸管维修安全灯控制电路	385	8.2.67	触摸式晶闸管三状态台灯电路	407
8.2.33	晶闸管交流大功率开关电路	386	8.2.68	触摸式晶闸管顶棚群灯电路	408
8.2.34	晶闸管光束继电器电路	386	8.2.69	常用晶闸管交流调压电路 1	409
8.2.35	晶闸管自动夜光灯电路	387	8.2.70	常用晶闸管交流调压电路 2	409
8.2.36	晶闸管直流大功率开关电路	387	8.2.71	常用晶闸管交流调压电路 3	409
8.2.37	晶闸管触摸点灯电路	388	8.2.72	常用晶闸管逆变电路 1	409
8.2.38	晶闸管 12V 电瓶充电器电路	388	8.2.73	常用晶闸管逆变电路 2	410
8.2.39	晶闸管隔离式充电器电路	389	8.2.74	常用晶闸管逆变电路 3	410
8.2.40	晶闸管汽车刮水器控制电路	389	8.2.75	常用晶闸管直流断续器电路	410
8.2.41	晶闸管过零调功器电路	390	8.2.76	常用晶闸管并联均流电路	411
8.2.42	晶闸管多功能彩灯控制电路	390	8.2.77	常用晶闸管串联均压电路	411
8.2.43	晶闸管“波浪翻滚”彩灯 控制电路	391	8.2.78	常用晶闸管交流开关电路	411
8.2.44	晶闸管触摸开关台灯电路	392	8.2.79	常用晶闸管直流开关电路	412
8.2.45	晶闸管触摸调光台灯电路	392	8.2.80	常用双向晶闸管应用电路	412
8.2.46	晶闸管轻触调光台灯电路	393	8.2.81	常用晶闸管电动机启动、 调速电路	412
8.2.47	晶闸管阻焊机电路	394	8.2.82	常用晶闸管励磁电路	412
8.2.48	专用晶闸管单相触发器 TC782A 的功能	394	8.2.83	常用晶闸管保护电路	413
8.2.49	IC/TC782A 小功率晶闸管 应用电路	395			
8.2.50	IC/TC782A 在晶闸管反并联时 的应用电路	396			
8.2.51	晶闸管 IC/TC782A 单相桥式 触发电路	396			
8.2.52	晶闸管暗室灯光控电路	397			

第3部分 三极管

第9章 三极管基础415

9.1 三极管的基本原理415

9.1.1 三极管的结构原理415

9.1.2 三极管的三种连接方式417

9.1.3 共发射极电路静态特性419

9.1.4 共发射极电路放大工作原理420

9.1.5 三极管的偏置电路421

9.1.6 三极管的主要技术参数422

9.1.7 晶体三极管的噪声425

9.2 三极管放大器428

9.2.1 三极管放大器的基本知识428

9.2.2 放大器的增益与工作点429

9.2.3 共射放大器的动态分析431

9.2.4 共射放大器的频响433

9.2.5 放大器的输入、输出电阻434

9.2.6 常用三极管放大器的分类442

9.2.7 三极管多级放大器443

9.2.8 阻容耦合多级放大器444

9.2.9 变压器耦合多级放大器445

9.2.10 直接耦合多级放大器446

9.2.11 三极管负反馈放大器449

9.2.12 电压串联负反馈放大器451

9.2.13 电压并联负反馈放大器452

9.2.14 电流并联负反馈放大器453

9.2.15 三极管高频提升负反馈放大器454

9.2.16 电流负反馈倒相放大器455

9.2.17 三极管发射极输出放大器456

9.2.18 三极管甲类功率放大器457

9.2.19 三极管乙类功率放大器459

9.2.20 三极管 OTL 功率放大器461

9.2.21 三极管 OCL 功率放大器464

9.2.22 三极管直流放大器466

9.2.23 差动式直流放大器469

9.2.24 谐振放大器472

9.2.25 选频放大器473

9.2.26 隔离放大器474

9.3 三极管振荡器476

9.3.1 三极管振荡器的基本知识476

9.3.2 电感三点式振荡器478

9.3.3 电容三点式振荡器480

9.3.4 并联晶体稳频振荡器480

9.3.5 串联晶体稳频振荡器482

9.3.6 三极管低频 RC 振荡器482

9.3.7 RC 桥式振荡器486

9.3.8 双 T 型选频网络 RC 振荡器487

9.3.9 间歇振荡器488

9.3.10 自激多谐振荡器490

9.3.11 三极管的外形结构与性能参数490

第10章 特殊三极管495

10.1 场效应三极管495

10.1.1 场效应管的结构原理495

10.1.2 场效应管的基本特性496

10.1.3 场效应管的特点和主要参数497

10.1.4 场效应管普通放大器498

10.1.5 场效应管源极输出器500

10.1.6 场效应管调制放大器500

10.1.7 场效应管直流放大器503

10.1.8 场效应管差分直流放大器503

10.1.9 场效应管的外形结构与参数504

10.2 IGBT 三极管507

10.2.1 概述507

10.2.2 IGBT 的结构与工作原理508

10.2.3 IGBT 的性能特点与参数510

10.2.4 IGBT 对驱动电路的要求510

10.2.5 IGBT 的直接驱动512

10.2.6 IGBT 的变压器隔离驱动512

10.2.7 IGBT 的光耦隔离驱动513

10.2.8 IGBT 的集成模块驱动513

10.2.9 IGBT 的外形结构与性能参数514

10.3 达林顿管——复合三极管518

10.3.1 达林顿管的电路结构518

10.3.2 达林顿管的特点与用途519

10.3.3 达林顿管典型电路519

10.3.4 高速大电流达林顿管的设计520

10.3.5 常用达林顿管的结构与参数521

10.4 音乐三极管522

10.4.1 概述522

10.4.2 音乐三极管的性能特点522

10.4.3 音乐三极管电路连接523

10.5	光敏三极管	524	12.1.13	三级并联负反馈放大器	543
10.5.1	概述	524	12.1.14	二级负反馈放大器电路	544
10.5.2	光敏三极管的结构原理	524	12.1.15	二级负反馈音频放大器电路	544
10.5.3	光敏三极管的特点和用途	525	12.1.16	二级交替负反馈放大器电路	545
10.5.4	光敏三极管的性能参数	526	12.1.17	测量指示放大器电路	546
第 11 章	三极管的检测	527	12.1.18	三级 RC 放大器电路	547
11.1	普通三极管的检测	527	12.1.19	三级直接耦合放大器电路	547
11.1.1	三极管的检测项目	527	12.1.20	常用乙类推挽功放电路	548
11.1.2	已知型号和管脚排列时的检测	527	12.1.21	50W/OTL 准互补放大器电路	548
11.1.3	三极管 β 值的检测	527	12.1.22	差分放大器式 OCL 输出电路	549
11.1.4	判别三极管的三个电极	529	12.1.23	高输入阻抗多级放大电路	549
11.1.5	三极管在路电压检测	529	12.1.24	最简单的场效应管放大电路	550
11.2	达林顿管的检测	529	12.1.25	伺服电机驱动功放电路	550
11.2.1	达林顿管的检测项目	529	12.1.26	视频放大电路	551
11.2.2	达林顿管的检测方法	529	12.1.27	收音机 OTL 通用功放电路	552
11.3	场效应管的检测	530	12.1.28	达林顿管 OTL 通用 功放电路 1	552
11.3.1	场效应管的检测项目	530	12.1.29	达林顿管 OTL 通用 功放电路 2	553
11.3.2	场效应管的检测方法	530	12.1.30	场效应管超高增益放大电路	554
11.4	带阻尼行输出三极管的检测	532	12.1.31	光导摄像管视放前置放大电路	554
11.4.1	带阻尼行输出三极管的 检测项目	532	12.1.32	场效应管拾音前置放大电路	555
11.4.2	带阻尼行输出三极管的 检测方法	533	12.2	三极管振荡功能典型应用	556
11.5	IGBT 管的检测	533	12.2.1	MW 频带振荡电路	556
11.5.1	IGBT 管的检测项目	533	12.2.2	100kHz/LC 校正振荡电路	556
11.5.2	IGBT 管的检测方法	533	12.2.3	高稳定度高频 LC 振荡电路	557
第 12 章	三极管的功能及典型应用	534	12.2.4	FET 高频振荡电路	558
12.1	三极管放大功能典型应用	534	12.2.5	FM 高频调谐电路	558
12.1.1	三极管基本典型放大电路	534	12.2.6	使本振频率稳定的 AFC 电路	559
12.1.2	高输入阻抗放大器输入级	534	12.2.7	10~25MHz 晶体振荡器电路	560
12.1.3	具有自举电路的输入级	535	12.2.8	120MHz 泛音晶体振荡器电路	561
12.1.4	低阻抗输出级放大器电路	536	12.2.9	FET 低频晶体振荡器电路	562
12.1.5	60 路发送放大器电路	537	12.2.10	并联晶体振荡器电路	562
12.1.6	2MHz 宽带放大器电路	538	12.3	三极管趣味电路	562
12.1.7	60 路载波端机放大器电路	538	12.3.1	三极管永恒单摆电路	562
12.1.8	高输入阻抗放大器电路	539	12.3.2	三极管颤滑音效果放大电路	563
12.1.9	低噪声输出放大器电路	539	12.3.3	电吉他颤滑音效果电路	564
12.1.10	音频前置放大器电路	540	12.3.4	触摸式三极管音量控制电路	564
12.1.11	宽频中电平输出放大器电路	540	12.3.5	三极管音频噪声发生器电路	565
12.1.12	三级串联负反馈放大器	541	12.3.6	三极管白噪声发生器电路	566

12.3.7	三极管随机噪声发生器电路	566	12.4	三极管的其他应用	575
12.3.8	三极管噪声放大器电路	566	12.4.1	增大运放正输出电流电路	575
12.3.9	简单宽带噪声发生器电路	567	12.4.2	增大运放负输出电流电路	575
12.3.10	电子音乐中的鼓声模拟电路	567	12.4.3	增大运放正/负输出电流电路	575
12.3.11	电子音乐低、中、高鼓/板 模拟电路	568	12.4.4	场效应管寻迹探头电路	575
12.3.12	电子音乐军鼓声响模拟电路	568	12.4.5	三极管激光发射驱动电路	576
12.3.13	衰减音形产生电路 1	569	12.4.6	场效应管 360° 移相器电路	576
12.3.14	衰减音形产生电路 2	569	12.4.7	三极管电流切换开关电路	576
12.3.15	多衰减音形产生电路	570	12.4.8	三极管光绝缘开关电路	577
12.3.16	电网“火线”探测笔电路	570	12.4.9	三极管低压功率开关电路	577
12.3.17	电子音乐钹声模拟电路	571	12.4.10	三极管灯闪烁器电路	577
12.3.18	三极管自动复位电路	571	12.4.11	三极管应用电路拾零	578
12.3.19	三极管键控脉冲产生电路	572	附录 A	二极管单相整流电路与 滤波参数表	583
12.3.20	次高压脉冲产生电路	573	附录 B	晶闸管可控整流电路参数表	584
12.3.21	触摸式门铃电路	574	附录 C	常用量与计量单位表	586
12.3.22	双鸟叫声发生器电路	574	后记		591
12.3.23	新颖振铃信号发生器电路	574			

第 1 部分 二 极 管

晶体二极管(以下简称二极管)是一种具有单向导电特性的半导体器件。二极管有正(+)、负(-)两个电极:正极也称阳极,通常用 A 表示;负极也称阴极,通常用 K 表示。二极管在电路领域的应用十分广泛,是一种不可缺少的重要器件之一。所以,几乎在所有的电路中,各种型号、各种外形的二极管处处可见。

二极管的种类较多,按制造材料不同可分为锗二极管、硅二极管;按制造工艺与结构可分为点接触型、面接触型(结型)、金属半导体型;按其功能不同可分为普通二极管、发光二极管、特种二极管等。然而,在实际应用领域,人们更习惯于后一种分类,下面就按其不同功能对各类二极管的结构、原理、特性及使用规范等进行详细介绍。

第 1 章 普通二极管

1.1 概 述

1.1.1 普通二极管简介

普通二极管是一种最常用的二极管,按其结构分为点接触型和面接触型(即结型)两大类别。点接触型二极管具有正向电阻小、结电容小等特点,主要用于中、高频检波,故通常称为检波二极管。点接触型二极管除检波功能外有时也可用于小电流电路整流、限幅、垫位、钳位等;面接触型(即结型)二极管具有正向电流大、反向峰值电压高、漏电流小等特点,主要用于电路整流,故通常称为整流二极管。其整流电流范围很宽,可从几十毫安到几百安,甚至几千安,反向峰值电压可高达数千伏。还有用于高频、甚高频、超高频电路整流的具有独特性能的二极管,如肖特基二极管、快恢复二极管、超快恢复二极管、阶跃二极管、微波二极管等。除了整流之外,结型二极管还有以其功能命名的稳压二极管、阻尼二极管、续流二极管、开关二极管、限幅二极管、钳位二极管、偏置二极管、垫位二极管、信号注入二极管等。

1.1.2 二极管的工作原理

二极管实质上是一个由 P 型半导体和 N 型半导体所形成的 PN 结,在其 PN 结界面处两侧形成空间电荷层和自建电场。

当不存在外加电压时,由于 PN 结两边载流子浓度差所引起的扩散电流和自建电场所引起的漂移电流相等,从而处于电平衡状态。

当二极管两端施加足够大的正向电压 U ,即处于正向偏置时,由于外界电场和自建电场的互相抵消作用,使多数载流子的扩散电流增加,从而引起了正向电流 I_F 。此物理现象被称为二极管的“正向导电”或“正向导通”现象。导通后,二极管两端的电压基本上保持不变,

锗管约为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ ；硅管约为 $0.6\sim 0.7\text{V}$ ，此电压称为二极管的“正向压降”。必须说明的是，当加在二极管两端的正向电压很小，甚至小于此“正向压降”时，二极管仍然不能导通，这时流过二极管的正向电流十分微弱，此微弱电流称为正向漏电流。只有当正向电压达到某一数值后二极管才能真正导通，通常称此电压值为“门槛电压”值。二极管的“门槛电压”值，锗管约为 0.3V ，硅管约为 0.7V 。

当二极管两端施加反向电压 U_R ，即处于反向偏置时，外界电场和自建电场进一步加强，形成在一定反向电压范围内与反向偏置电压值无关的极小的反向饱和电流，或称反向漏电流 I_R 。这种物理现象被称为二极管的“反向饱和”或“反向截止”现象。

当外加的反向电压高到一定程度时，PN 结空间电荷层中的电场强度达到临界值产生载流子的倍增过程，产生大量“电子-空穴”对，将会产生数值很大的反向击穿电流，使二极管 PN 结击穿而损坏，从根本上丧失单方向导电的特性，此物理现象被称为二极管的“反向击穿”。

1.1.3 二极管的主要技术参数

用来表示或描述二极管性能好坏和适用条件的技术指标，称为二极管的技术参数。不同类型的二极管有不同的技术参数。其主要技术参数如下：

(1) 最大正向电流 I_{FM} 是指管子长期运行时，允许通过的最大正向平均电流。因为电流通过 PN 结要引起管子发热，电流太大，发热量超过限度，就会使 PN 结烧坏。

(2) 额定正向平均工作电流 I_F 是指二极管长期连续工作时允许通过的最大正向电流值。因为电流通过管子时会使管芯发热、温度上升，温度超过允许限度（硅管为 140°C 左右，锗管为 90°C 左右）时，就会使管芯 PN 结过热而损坏。所以，二极管使用中电流不允许超过二极管额定正向平均工作电流值。

(3) 最高反向工作电压 U_R 又称反向峰值电压，是指将会使二极管面临击穿，失去单向导电能力的最大反向工作电压值。

(4) 反向击穿电压 U_{BR} 是指管子击穿时的反向电压值。击穿时，反向电流剧增，二极管的单向导电性被破坏，甚至因过热而烧坏。一般手册上给出的最高反向工作电压约为击穿电压的一半，以确保管子安全运行。

(5) 反向电流 I_R 是指二极管在规定的温度和最高反向工作电压作用下，流过二极管的反向电流。反向电流越小，管子的单方向导电性能越好。值得注意的是，反向电流与温度有着密切的关系，大约温度每升高 10°C ，反向电流会增大一倍。由于温度增加，反向电流会急剧增加，所以在使用二极管时要注意按规定采取散热措施。

(6) 结电容 C_j 是指二极管的极间电容。极间电容包括势垒电容和扩散电容，在高频运用时，由于容抗效应增强，必须考虑二极管结电容的影响。另外，二极管处于不同的工作状态时，其结电容产生的影响效果也不同。

1.2 检波二极管

1.2.1 检波二极管的结构原理与特性

1. 检波二极管的结构原理

检波二极管属于点接触型二极管。早在 18 世纪末期，一个名叫施马克尼的外国科学家

发明了第一台矿石收音机，这台矿石收音机采用了矿石晶体检波器进行检波，虽然失真度较大，但仍然取得较良好的效果。为无线电通信方面做出了突出贡献，为以后真空检波二极管和半导体点接触型检波二极管的发展奠定了基础。现在的点接触型检波二极管正是由晶体检波器演变而来的，所以，点接触型二极管是一种具有悠久历史的半导体器件。

点接触型二极管的结构很简单，即把钨（W）钼（Mo）合金丝制成的探针尖部以适当的弹性压力与 N 型锗（Ge）切片表面点接触（电阻接触），引出两个电极，再由玻璃或塑料封装而成。其外形结构与电路符号如图 1-1 所示。

2. 检波二极管的 U - I 特性

由于点接触型二极管主要工作于信号通路，故其本身的正、反向电流无需很大。一般其正向电流为几个毫安，反向电流为几百个微安；又因为它属针尖弹压式点接触结构，其接触电阻较小，用万用表测量其正、反向电阻时就会发现它比面接触型二极管要小一个量级，故正向压降相应较小（ $<0.3\text{V}$ ）；由于探针与 N 型锗片的点接触具有单向导电特性，可认为探针与 N 型锗片的点接触处 P 型区，同样能承受较大的反向电压。从其 U - I 特性曲线可见，反向电压约为 $-60\sim 80\text{V}$ 左右。点接触型二极管的 U - I 特性曲线如图 1-2 所示。

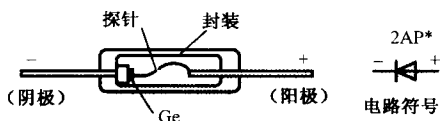


图 1-1 点接触型二极管外形结构与电路符号

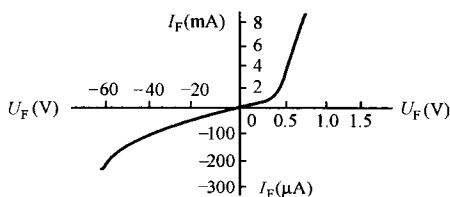


图 1-2 点接触型二极管的 U - I 特性曲线

3. 检波二极管的性能特点

- (1) 正向压降小且等于恒值，通常为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ ；
- (2) 结电容小，损耗小；
- (3) 检波频率高，其工作频率可达 400MHz ；
- (4) 频率稳定性好。

4. 检波二极管的用途

- (1) 主要用于收音机、电视机信号检波；
- (2) 可用于信号整流和微小功率电源整流；
- (3) 用于电压信号钳位与限幅。

1.2.2 检波二极管的检波原理

1. 无线电传输信号

欲了解二极管的检波原理，首先应从无线电传输信号谈起。通常无线电传输信号有 3 种，一种是高频调幅信号，简称 AM 波信号；一种是高频调频信号，简称 FM 波信号；另一种是高频数字传输信号，简称 PCM 码数字信号，分别如图 1-3、图 1-4 和图 1-5 所示。

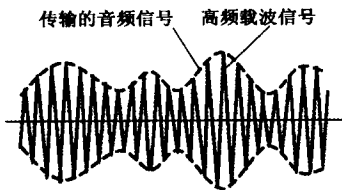


图 1-3 AM 波调幅信号

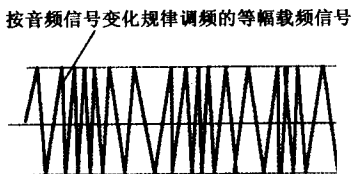


图 1-4 FM 波调频信号

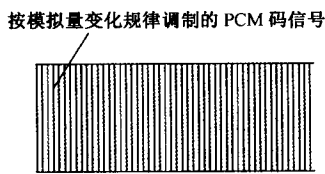


图 1-5 PCM 码数字信号

从图 1-3 可见, AM 波是一种由音频信号调制的高频调幅波, 被调制的恒定高频频率信号称为“载波”信号, 载波幅度(即包络大小)的变化反映着音频信号的变化规律, 故这里的音频信号称为“调制”信号。

从图 1-4 可见, FM 波是一种由音频信号调制的等幅调频波, 被调制的等幅高频频率信号称为“载频”信号, 载频频率(即疏密程度)的变化反映着音频信号的变化规律, 故这里的音频信号仍被称为“调制”信号。

从图 1-5 可见, PCM 码数字信号是一种由音频信号或其他模拟量信号经 A/D 变换后调制的超高频等幅数字量传输信号, 调制以后的超高频“PCM 码”数字信号的变化反映着原音频信号或其他模拟量信号的变化规律, 故这里的音频信号或其他模拟量信号仍被称为“调制”信号。

2. AM 波、FM 波、PCM 码的产生与检波目的

AM 波、FM 波、PCM 码均为无线电传输(即无线传输)信号, 所谓“无线传输”, 即指 AM 波、FM 波、PCM 码信号经发射机发射、空中传输、异地接收机接收的信号传输方式。然而, 由于 AM 波、FM 波、PCM 码信号各不相同, 故它们在各自信号发射机中的生成原理也各不相同, 分述如下。

(1) AM 波 AM 波信号的产生, 是将需传输的音频信号与高频信号源输出的恒频高频载波信号一并送入调幅器, 进行音频信号对高频载波信号的幅度调制而产生 AM 波传输信号, 然后通过功率发射器由发射天线发射出去; 异地接收机将通过接收天线接收到的 AM 波传输信号送入检波器进行解调检波, 最后在终端监听器中获得原始音频信号, 如图 1-6 所示。

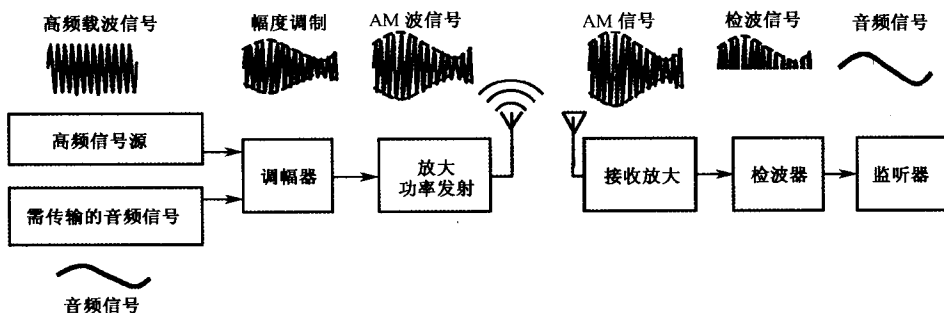


图 1-6 AM 波信号的产生、发射、接收、检波框图与波形

从图 1-6 所示 AM 波信号的产生、发射、接收、检波框图可见, AM 波信号的产生容易理解, 也比较容易实现, 其产生电路有多种, 常用产生电路如图 1-7 所示。

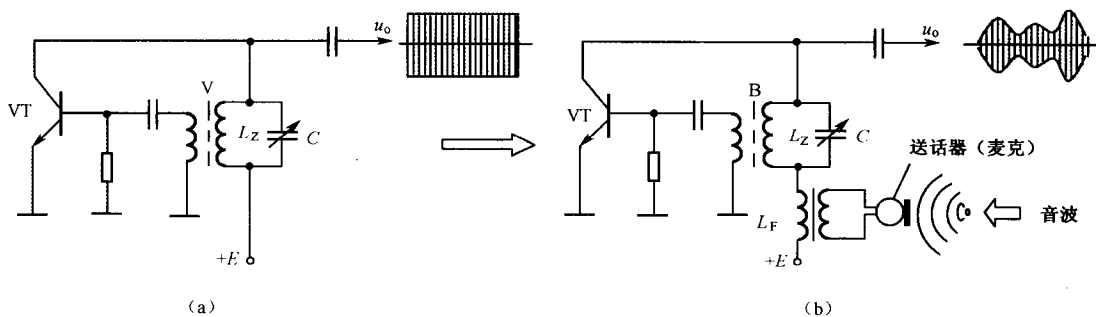


图 1-7 AM 波的产生电路（集电极调幅）与波形

从图 1-7 (a) 可见，这是一个典型的晶体管高频振荡电路， L_Z 为振荡器的负载。若调节 LC 并联谐振回路中可变电容 C 容值的大小，其谐振频率就可随之而变化，一旦 C 被调定，在 u_o 输出端就可获得相应的等幅频率信号。如果使可变电容 C 的容值固定不变，在晶体管 VT 的负载通路中再串联一个负载线圈 L_F 就变成图 1-7 (b) 电路，若此负载线圈 L_F 中的电流不断地变化，那么这时 u_o 输出端虽然频率不变，但其幅度必然会产生相应变化。这便是图 1-7 (b) 的调幅原理，它是借助麦克使振荡电流按音波的变化规律变化而变化的，从而达到调幅之目的。

(2) FM 波 FM 波信号的产生，是将需传输的音频信号送入可调频高频信号源，进行音频信号对高频载频信号的频率调制而产生 FM 波传输信号，然后通过限幅、功率发射环节由发射天线发射出去；接收机将通过接收天线接收到的 FM 波传输信号放大后送入鉴频器（比例检波器）进行解调检波，最后在监听器中获得复原后的音频信号，如图 1-8 所示。

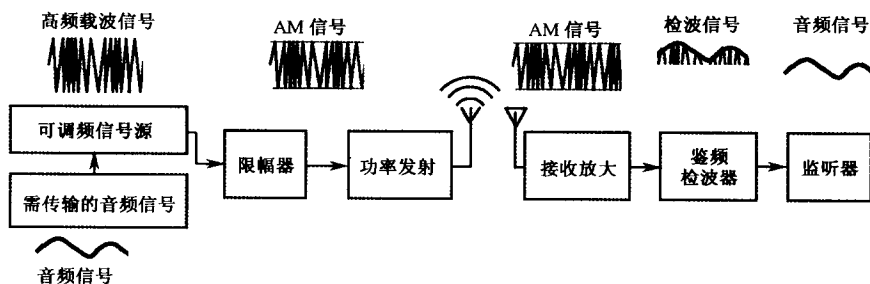


图 1-8 FM 波信号的产生、发射、接收、检波框图与波形

FM 波的产生，比较抽象，尤其对初学者不大容易理解。下面仍用上述振荡电路做详细分析，以加深理解，电路如图 1-9 所示。

从图 1-9 (a) 可见，这是一个典型的晶体管高频振荡电路。若调节 LC 并联谐振回路中可变电容 C 容值的大小，其谐振频率就可随之而变化，一旦 C 被调定，在 u_o 输出端就可获得相应的等幅频率信号。从图 1-9 (a) 可见，如果将可变电容 C 用一个高灵敏度电容式送话器（电容式麦克）替换，那么，LC 并联谐振回路的谐振频率就会按音波的变化规律而变化。这样一来， u_o 输出端虽然信号的幅值不变，但必会产生频率的相应变化，从而达到调频之目的。