

电工电子 实用电路

周志敏
周纪海 编著
纪爱华



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

TM13
137

电工实用技术系列

电工电子实用电路

周志敏 周纪海 纪爱华 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书在系统地介绍电工常用电子器件(二极管、三极管、晶闸管、光敏器件、集成电路)的特性和测量方法的基础上,着重讲述了由电工常用电子器件构成的控制电路、延时电路、保护电路、检测电路、驱动电路及电源电路的设计、应用和识图技巧。全书文字通俗,图文并茂,电路实用,突出重点,内容新颖,是电工掌握电子技术的必备读物。

本书既适合于具有初中以上文化程度的工矿企业和农村电工阅读,也适合于相关电工培训班和职业技术学院的教学参考。

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

电工电子实用电路/周志敏,周纪海,纪爱华编著. —北京:电子工业出版社,2005.4
(电工实用技术系列)

ISBN 7-121-00994-3

I. 电… II. ①周…②周…③纪… III. ①电路—基本知识 ②电子电路—基本知识 IV. ①TM13 ②TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015758 号

责任编辑:富 军 特约编辑:张友德

印 刷:北京李史山胶印厂

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:850×1168 1/32 印张:14.375 字数:383 千字

印 次:2005 年 7 月第 2 次印刷

印 数:3 000 册 定价:19.00 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

随着我国电器工业和电力电子技术的发展,电子技术在电器设备和电气控制领域中的应用越来越广泛。由电子器件构成的电子电路,在实现供用电系统自动化和电气控制智能化中处于极其重要的地位。电子电路的运行维护和检修水平,将直接影响电器设备和电气控制系统的可靠性、安全性和生产的连续性,为此对电工提出了掌握电子技术和电子电路性能及操作技能的要求,以满足供用电系统自动化和电气控制智能化系统的运行、维护和检修的要求。

为了便于电工掌握电子技术的基础知识和电子电路的识图技能,本书在编写中以电工电子实用电路为主线,将电工应掌握的电子基础知识与电工电子实用电路融为一体,使电工能在识图中掌握电子技术基础知识和电子器件性能,并把其应用到电子电路的设计和制作中。本书收集了近 500 个实用电子电路,使电工在学习的同时可直接将书中的电子电路应用到工作实践中,以提高电工的电子技术水平和操作技能。书中电子电路的选择在做到有针对性和实用性的同时,力求简捷,易于设计和制作。本书在保证科学性的同时,注重通俗性。读者可以此为“桥梁”,全面系统地了解电子电路的基础知识,并掌握电子器件的检测、电子电路的设计制作及故障诊断和故障处理技能。

本书在写作过程中,从资料的收集和技术信息的交流上都得到了国内专业学者和同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于时间短,加之作者水平有限,书中难免有错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 二极管	1
1.1 半导体及二极管特性	1
1.1.1 半导体和PN结	1
1.1.2 二极管的结构和特性	5
1.2 二极管应用电路	7
1.2.1 二极管整流电路	7
1.2.2 稳压二极管应用电路	14
1.2.3 变容二极管应用电路	17
1.2.4 阶跃恢复二极管应用电路	20
1.2.5 开关二极管应用电路	21
1.2.6 肖特基二极管(SBD)	22
1.2.7 双向击穿二极管	25
1.2.8 恒流二极管应用电路	27
1.2.9 双向触发二极管	29
1.2.10 快恢复二极管	30
1.2.11 补偿二极管应用电路	30
1.2.12 纳米硅开关二极管及其应用电路	31
1.2.13 单结晶体管原理	35
1.2.14 程控单结晶体管PUT	38
1.3 二极管的测量方法	40
1.3.1 普通二极管的测量方法	40
1.3.2 稳压二极管的检测	43
1.3.3 恒流二极管的检测	45
1.3.4 用兆欧表和万用表检测双向触发二极管	47

1.3.5	单晶体管的检测	50
1.3.6	程控单晶体管的检测	51
1.3.7	变容二极管的检测	52
1.3.8	桥堆的检测	53
1.3.9	变阻二极管的检测	54
1.3.10	肖特基二极管的检测	54
1.3.11	瞬态电压抑制二极管 (TVS) 的检测	55
1.4	二极管的选用与代用	55
1.4.1	二极管的选用	55
1.4.2	不同种类的二极管如何代换	56
第2章	三极管	58
2.1	三极管的结构特性	58
2.1.1	三极管的结构	58
2.1.2	三极管的特性曲线	60
2.1.3	三极管的主要参数	62
2.2	三极管放大电路	62
2.2.1	放大电路的组成原理	62
2.2.2	放大电路中的反馈电路	68
2.2.3	差动放大电路	70
2.2.4	多级放大电路	74
2.2.5	功率放大电路	76
2.3	三极管的开关电路	81
2.3.1	三极管的开关特性	81
2.3.2	TTL 逻辑门电路	84
2.4	三极管应用电路	87
2.4.1	电子恒流源	87
2.4.2	串联型稳压电路	88

2.4.3	三极管射随电路	90
2.4.4	恒流三极管应用电路	91
2.4.5	三极管电子开关电路	95
2.4.6	达林顿管应用电路	101
2.5	三极管测量	103
2.5.1	判别三极管的极性	103
2.5.2	三极管性质的判别	106
第3章	晶闸管	112
3.1	晶闸管的结构及特性	112
3.1.1	晶闸管的结构和型号	112
3.1.2	晶闸管的主要工作特性	114
3.2	晶闸管的测量	119
3.2.1	晶闸管电极和好坏的判别	119
3.2.2	晶闸管性能的测量	125
3.3	晶闸管保护和缓冲电路	130
3.3.1	晶闸管保护电路	130
3.3.2	晶闸管缓冲电路	137
3.4	晶闸管集成触发电路	139
3.4.1	TC782A 集成触发器	139
3.4.2	TC787/TC788 集成触发电路	143
3.4.3	集成电路 Y992	147
3.5	晶闸管应用基础	150
3.5.1	晶闸管主要技术参数	150
3.5.2	晶闸管的选择	151
3.6	晶闸管应用电路	155
3.6.1	晶闸管单相半波可控整流电路	155
3.6.2	晶闸管单相桥式半控整流电路	157

3.6.3	晶闸管整流电路负载特性	159
3.6.4	全数字双向晶闸管电路	162
3.6.5	晶闸管交流调压器	164
3.6.6	晶闸管控制的功放动态电源	165
3.6.7	四比较器的恒温控制器	167
3.6.8	光控电子开关	168
3.6.9	恒温控制器	169
3.6.10	可调型汽车蓄电池充电器	170
3.6.11	全自动无触点稳压器	171
第 4 章	光敏器件	173
4.1	光敏器件分类及应用电路	173
4.1.1	光敏器件分类	173
4.1.2	光敏器件应用电路	176
4.2	光电耦合器	180
4.2.1	光电耦合器的分类及特性	181
4.2.2	光电耦合器的检测	188
4.3	光电耦合器的应用	196
4.3.1	光电耦合器在补偿电路中的应用	196
4.3.2	光电耦合器在驱动电路中的应用	198
4.3.3	光电耦合器在开关电源中的应用	200
4.3.4	光电耦合器在检测电路中的应用	206
4.3.5	光电耦合器组成的控制电路	210
4.3.6	光电耦合器在固体继电器 SSR 中的应用	218
4.3.7	光电耦合器在接口电路中的应用	220
第 5 章	集成电路	222
5.1	集成电路的种类及检测	222

5.1.1	集成电路的种类	222
5.1.2	集成电路的常用检测方法	225
5.2	集成运算放大器	227
5.2.1	集成运算放大器工作特性及组成	228
5.2.2	集成运放应用电路	231
5.3	CMOS 集成电路	241
5.3.1	CMOS 集成电路特性参数	241
5.3.2	CMOS 集成电路的选择及应用	244
5.3.3	CMOS 应用电路	248
5.4	稳压集成电路	257
5.4.1	TL431 特性	258
5.4.2	TL431 应用电路	259
5.5	555 时基集成电路的应用	264
5.5.1	555 时基集成电路	264
5.5.2	555 应用电路	268
5.6	典型集成电路的应用	276
5.6.1	信号发生电路	276
5.6.2	IR2110 电路	279
5.6.3	差动放大器 AD629 及其应用	285
5.6.4	温度-频率转换电路	287
5.6.5	数字编、译码器 UM3758—108A 电路	288
5.6.6	CD4046 锁相电路	291
第 6 章	电子控制电路	299
6.1	继电器控制电路	299
6.1.1	继电器自动控制电路	299
6.1.2	遥控电子电路	306
6.2	电子开关电路	311

6.2.1	互锁开关电路	311
6.2.2	触摸开关电路	315
6.2.3	电子开关应用电路	326
6.3	电子温控电路	333
6.3.1	电子恒温控制电路	333
6.3.2	LM 系列精密温度传感器应用电路	334
6.3.3	人工智能的温度控制电路	339
6.4	红外控制电路	342
6.4.1	红外线光控开关	342
6.4.2	单通道红外遥控电路	344
6.4.3	热释电红外控制电路	346
6.5	灯光控制电路	348
6.5.1	光控电子开关电路	348
6.5.2	道路施工警示灯控制电路	352
6.5.3	电子显示电路	354
6.6	电子驱动电路	363
6.6.1	UBA2030T 驱动电路	363
6.6.2	功率 MOSFET 的驱动电路	369
第 7 章	保护和检测电路	375
7.1	保护电路	375
7.1.1	电子滤波器	375
7.1.2	过电压保护电路	376
7.1.3	延时和定时电路	379
7.2	测试电路	384
7.2.1	晶振测试电路	384
7.2.2	电压检测器 SN500 应用电路	392
7.2.3	二极管测试器	394

7.2.4 线缆测试	396
第 8 章 电源电路	398
8.1 线性电源	398
8.1.1 稳压电源	398
8.1.2 特种电源	415
8.2 开关电源	422
8.2.1 电荷泵开关电源	422
8.2.2 典型开关电源电路	431

第 1 章 二 极 管

1.1 半导体及二极管特性

1.1.1 半导体和 PN 结

1. 半导体

1) 本征半导体

纯净晶体结构的半导体称为本征半导体。常用的半导体材料有硅和锗。它们都是 4 价元素。其原子结构的最外层轨道上均有 4 个价电子。当将其制成晶体时，则硅原子或锗原子均是靠共价键的作用紧密地联系在一起的。

共价键中的一些价电子由于热运动获得一些能量，从而摆脱共价键的约束成为自由电子，同时在共价键上留下空位，则这些空位被称为空穴，带正电。在外电场的作用下，自由电子产生定向移动，形成电子电流。同时，价电子也按一定的方向一次填补空穴，从而使空穴产生定向移动，形成空穴电流。因此，在晶体中存在两种载流子，即带负电的自由电子和带正电的空穴，它们是成对出现的。

2) 杂质半导体

在本征半导体中，两种载流子的浓度均很低，因此导电性很差。若向晶体中有控制的掺入特定的杂质来改变它的导电性，则这种半导体被称为杂质半导体。

3) N 型半导体

在本征半导体中，掺入 5 价元素，使晶体中某些原子被杂质原子

代替, 则这种半导体被称为 N 型半导体。因为杂质原子最外层有 5 个价电子, 与周围原子形成共价键后, 还多余一个自由电子, 因此使其中空穴的浓度远小于自由电子的浓度。但是, 自由电子的浓度与空穴的浓度乘积是一个常数, 与掺杂无关。在 N 型半导体中, 自由电子是多数载流子, 空穴是少数载流子。

4) P 型半导体

在本征半导体中, 掺入 3 价元素, 晶体中的某些原子被杂质原子代替, 则这种半导体被称为 P 型半导体。但是杂质原子的最外层只有 3 个价电子, 与周围的原子形成共价键后, 还多余一个空穴, 因此使其中的空穴浓度远大于自由电子的浓度。在 P 型半导体中, 自由电子是少数载流子, 空穴是多数载流子。

2. PN 结

通过现代工艺, 在一块本征半导体的一边形成 P 型半导体, 另一边形成 N 型半导体, 于是这两种半导体的交界处就形成了 PN 结, 它是构成其他半导体的基础。

1) 异形半导体接触现象

在形成的 PN 结中, 由于两侧的自由电子和空穴的浓度相差很大, 因此会产生扩散运动, 自由电子从 N 区向 P 区扩散; 空穴从 P 区向 N 区扩散。因为它们都是带电粒子, 所以向另一侧扩散的同时, 在 N 区留下了带正电的空穴, 在 P 区留下了带负电的自由电子, 这样就形成了空间电荷区, 也就是形成了电场 (自建场)。它们的形成过程如图 1-1 所示。

在电场的作用下, 载流子将做漂移运动, 它的运动方向与扩散运动的方向相反, 阻止扩散运动。电场的强弱与扩散的程度有关, 扩散的越多, 电场越强, 同时对扩散运动的阻力也越大。当扩散运动与漂移运动相等时, 通过界面的载流子为 0。此时, PN 结的交

界区就形成一个缺少载流子的高阻区,把这个高阻区称为阻挡层或耗尽层。

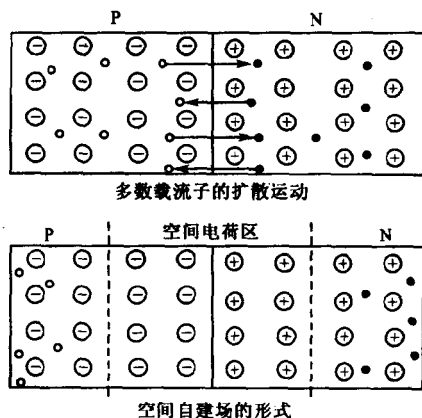


图 1-1 多数载流子扩散与自建场的形成过程

2) PN 结的单向导电性

在 PN 结两端加不同方向的电压,可以破坏它原来的平衡,从而使它呈现出单向导电性。PN 结外加正向电压的接法是 P 区接电源的正极, N 区接电源的负极。这时外加电压形成电场的方向与自建场的方向相反,从而使阻挡层变窄,扩散作用大于漂移作用,多数载流子向对方区域扩散形成正向电流,方向是从 P 区指向 N 区,如图 1-2(a) 所示。

这时的 PN 结处于导通状态,它所呈现的电阻为正向电阻。正向电压越大,电流也越大。它的关系是指数关系,即

$$I_D = I_S e^{\frac{U}{U_T}} \quad (1-1)$$

式中, I_D 为流过 PN 结的电流;

U 为 PN 结两端的电压;

$U_T = kT/q$ 称为温度电压当量, k 为玻尔兹曼常数, T 为绝对温

度, q 为电子电量, 在室温下 (300K), $U_T=26\text{mV}$;

I_S 为反向饱和电流。

若 PN 结加与正向相反的电压, 即 P 区接电源的负极, N 区接电源的正极, 如图 1-2 (b) 所示, 则此时的外加电压形成电场的方向与自建场的方向相同, 从而使阻挡层变宽, 漂移作用大于扩散作用, 少数载流子在电场的作用下, 形成漂移电流, 其方向与正向电压的方向相反, 所以又称为反向电流。因反向电流由少数载流子形成, 故反向电流很小, 即使反向电压再增加, 少数载流子也不会增加, 反向电压也不会增加, 因此它又被称为反向饱和电流, 即

$$I_D = -I_S \quad (1-2)$$

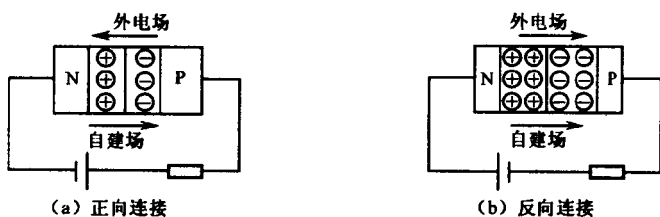


图 1-2 PN 结正反向外电场

此时, PN 结处于截止状态, 呈现的电阻为反向电阻, 而且阻值很高。

由以上可以看出: PN 结在正向电压作用下, 处于导通状态, 在反向电压的作用下, 处于截止状态, 因此 PN 结具有单向导电性。它的电流和电压的关系通式为

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right) \quad (1-3)$$

式 (1-3) 被称为伏-安特性方程。图 1-3 为二极管的伏-安特性曲线。

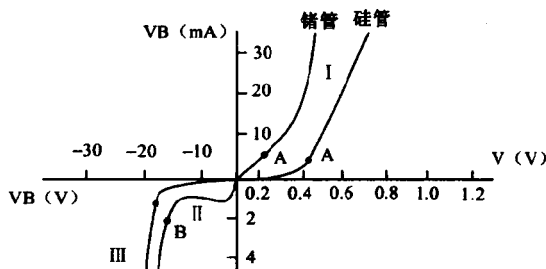


图 1-3 二极管的伏安特性曲线

3) PN 结的击穿

PN 结处于反向偏置时，在一定的电压范围内，流过 PN 结的电流很小，但电压超过某一数值时，反向电流急剧增加，这种现象被称为反向击穿。击穿形式分为两种：雪崩击穿和齐纳击穿。

对于硅材料的 PN 结来说，击穿电压 $> 7V$ 时为雪崩击穿，击穿电压 $< 4V$ 时为齐纳击穿。在 $4 \sim 7V$ 之间，两种击穿都有。这种现象破坏了 PN 结的单向导电性。击穿并不意味着 PN 结已被烧坏。

4) PN 结的电容效应

由于电压的变化将引起电荷的变化，从而出现电容效应。PN 结内部有电荷的变化，故具有电容效应。PN 结的电容效应有两种，即势垒电容和扩散电容。

(1) 势垒电容是由阻挡层内的空间电荷引起的。

(2) 扩散电容是 PN 结在正向电压的作用下，由多数载流子在扩散过程中引起电荷的积累而产生的。

PN 结正偏时，扩散电容起主要作用；PN 结反偏时，势垒电容起主要作用。

1.1.2 二极管的结构和特性

二极管的基本结构是由一个 PN 结接上引出线并封入管壳内而构

成的。它有两个电极，从 P 型半导体中接出的引出线叫正极；从 N 型半导体中接出的引出线叫负极。

1. 二极管特性

二极管最主要的特性是单向导电性。

1) 正向特性

加在二极管两端的正向电压（P 为正、N 为负）很小时（锗管小于 0.1V，硅管小于 0.5V），二极管不导通，处于“死区”状态；当正向电压超过一定数值后，二极管才导通；电压再稍微增大，电流急剧增加（如图 1-3 所示 I 段）。不同材料的二极管，其起始电压不同，硅管为 0.5~0.7V 左右，锗管为 0.1~0.3V 左右。

2) 反向特性

二极管两端加上反向电压时，反向电流很小；当反向电压逐渐增加时，反向电流基本保持不变。这时的电流称为反向饱和电流（如图 1-3 所示 II 段）。不同材料的二极管，其反向电流大小不同，硅管约为 $1\mu\text{A}$ 到几十微安，锗管则可高达数百微安。另外，反向电流受温度变化的影响很大。锗管的稳定性比硅管差。

3) 击穿特性

当反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增大，这种现象被称为反向击穿（如图 1-3 所示 III 段）。这时的反向电压称为反向击穿电压，不同结构、不同工艺及不同材料制成的二极管，其反向击穿电压值差异很大，可由 1V 到几百伏，甚至高达数千伏。

4) 频率特性

由于结电容的存在，当频率高到某一程度时，容抗小到使 PN 结短路，导致二极管失去单向导电性，不能工作。PN 结面积越大，结电容也越大，越不能在高频状态下工作。

5) 温度特性

二极管对温度很敏感，在室温附近，温度每升高 1°C ，正向电压