



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校规划教材

电工电子技术（下册）

电子技术

熊幸明 主编 曹才开 高岳民 副主编



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等学校规划教材

电工电子技术（下册）

电子技术

熊幸明 主编 曹才开 高岳民 副主编

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是根据教育部关于普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基本要求而编写的。本书包括模拟电子和数字电子两部分内容,与曹才开教授主编的《电工技术》配套使用,亦可作为“电子技术”课程教材单独使用。

全书共分9章,主要介绍了半导体器件基础、晶体三极管放大电路、集成运算放大电路、正弦波振荡电路、电源电路、基本逻辑电路、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、数/模与模/数转换。全书安排了14个实训项目,分为基本技能、设计性、综合性3类,将理论教学与实践训练有机地融于一体。书中配有大量应用实例和经过精心选择的习题,书末提供了部分习题答案。考虑到不同专业的实际需要,对一些章节、内容加有“*”号,供教师灵活取舍,学生自由选学。

本书可作为应用型本科、高职高专和成人教育相应课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术.下册,电子技术/熊幸明主编. —北京:清华大学出版社,2007.8

高等学校规划教材

ISBN 978-7-302-15325-2

I. 电… II. 熊… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材
IV. TM1 TN01

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第078029号

责任编辑:刘青

责任校对:李梅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印刷者:北京国马印刷厂

装订者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:17.25 字 数:397千字

版 次:2007年8月第1版 印 次:2007年8月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:25.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020664-01

本书(上、下册)是根据教育部 1995 年颁布的高等工业学校“电子技术(电工学Ⅱ)”课程的基本要求和教育部关于普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基本要求,由湖南省高校电子技术教学研究会组织省内部分高等院校教师,在多年教学研究和教材建设的基础上编写而成的。本册与曹才开教授主编的《电工电子技术》上册《电工技术》相匹配,亦可单独作为“电子技术”课程教材。

本书内容包括:半导体器件基础、晶体三极管放大电路、集成运算放大电路、正弦波振荡电路、电源电路、基本逻辑电路、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、数/模与模/数转换。本书具有如下特点:

(1) 根据“确保基础、突出集成、加强应用”的指导思想和非电工程专业的实际需要,适当减少模拟电子比重,增加数字电子分量。模拟部分以集成运放为核心,数字部分以中、大规模集成部件为主体。压缩分立元件内容,加强运算放大器等模拟集成电路应用的介绍。

(2) 将理论教学与实践教学融于一体,采用教、学、做相结合的教学模式。全书设有 14 个实训项目,其中基本技能项目 7 个,设计性项目 3 个,综合性项目 4 个。每章有 1 个或两个实训课题,紧密结合工程实际,加强工程和系统综合知识应用能力训练。

(3) 强调基本概念,理论以“必须、够用为度”,删减细节问题的定量分析计算,避免繁琐的数学推导和理论阐述,突出方法应用,加强器件外部特性的宏观分析。

(4) 结构合理,篇幅恰当,新概念、新器件、新技术的介绍紧密联系当前实际。本教材重点突出,内容编排删减合理,叙述简明扼要,解决了长期困扰教学的学时少与内容逐渐膨胀的矛盾,满足了较少学时的教学需要。去除加“*”号的内容,适用讲授课时约 40 学时,可满足不同专业的实际需要。

(5) 突出基本概念,避免繁杂计算。书末提供了部分习题答案,方便教与学。

(6) 在写作方式上,除简明易懂、好教好学外,注重启发式。有意识地提出问题,引导学生深入思考,培养学生自学能力,学会自我学习知识的本领。

本书由熊幸明任主编,曹才开、高岳民任副主编。参加本书编写工作的有:曹才开(第1章)、梁建华(第2章)、贾雅琴(第3章)、李仲秋(第4章)、熊幸明(第5章及附录)、俞斌(第6章)、李和平(第7章)、高岳民(第8章)、刘辉(第9章)。张跃勤、石成钢、郭民利、邓居祁、包艳、殷科生、张文希、雷敏、冯艳为本书编写提供了部分资料,并对一些实例进行测试验证。本书由天津大学万健如教授和国防科技大学邹逢兴教授担任主审。

在本书的编写过程中,得到了湖南省高校电子技术教学研究会和长沙学院的大力支持,谨致以衷心的感谢!

本书于2006年5月经教育部组织专家评审,确定为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请各位读者提出宝贵意见。

编 者

2007年4月

第 1 章 半导体器件基础	1
1.1 半导体二极管	1
1.1.1 N 型半导体和 P 型半导体	1
1.1.2 PN 结及其单向导电性	2
1.1.3 二极管的结构和分类	3
1.1.4 二极管的伏安特性	3
1.1.5 二极管的主要参数	4
1.2 特殊二极管	4
1.2.1 稳压二极管	4
*1.2.2 发光二极管	6
*1.2.3 光电二极管	6
1.3 晶体三极管	7
1.3.1 三极管的基本结构	7
1.3.2 三极管的电流放大作用	8
1.3.3 三极管的特性曲线	9
1.3.4 三极管的主要参数	11
1.3.5 三极管的微变等效电路	12
*1.4 场效应晶体管	13
1.4.1 绝缘栅场效应管(MOSFET)的结构和 工作原理	14
1.4.2 场效应管的主要参数	17
1.4.3 MOSFET 的微变等效电路	17
实训 1 常用半导体元件的识别与性能测试	17
本章小结	20
习题	21
第 2 章 晶体三极管放大电路	24
2.1 共发射极放大电路	24
2.1.1 共发射极放大电路的组成	24

2.1.2	共发射极放大电路的工作原理	25
2.1.3	静态工作点的确定	26
2.1.4	静态工作点对波形失真的影响	28
2.2	放大电路的微变等效电路分析法	30
2.2.1	共发射极放大电路的微变等效电路	30
2.2.2	共发射极放大电路的电压放大倍数	31
2.2.3	输入电阻与输出电阻	31
2.3	分压式偏置放大电路	33
2.3.1	静态工作点的稳定问题	33
2.3.2	分压式偏置放大电路的分析	35
2.4	共集电极放大电路	37
2.4.1	共集电极放大电路的静态分析	37
2.4.2	共集电极放大电路的动态分析	38
2.5	多级放大电路	41
2.5.1	多级放大电路的级间耦合方式	41
2.5.2	多级放大电路的电压放大倍数	42
* 2.6	功率放大器	44
2.6.1	功率放大器的特点和分类	44
2.6.2	互补对称功率放大器	45
2.6.3	集成功率放大器	48
* 2.7	场效应管放大电路	50
2.7.1	自给偏压偏置电路	50
2.7.2	分压式偏置电路	51
实训 2	共射极单管放大电路的安装与测试	53
* 实训 3	集成功率放大器的安装与测试	56
本章小结	.....	59
习题	.....	60
第 3 章	集成运算放大电路	64
3.1	集成运放的组成和基本特性	64
3.1.1	集成运放的组成和主要参数	64
3.1.2	集成运放的电压传输特性	66
3.1.3	集成运放的理想模型	67
3.2	放大器中的负反馈	68
3.2.1	负反馈的概念与判别	68
3.2.2	负反馈对放大器性能的影响	76
3.3	集成运放的应用	78
3.3.1	信号运算电路	78
3.3.2	信号处理电路	84

3.3.3	信号测量电路	89
3.4	集成运放的使用	91
3.4.1	选用集成运放的原则	91
3.4.2	使用集成运放的注意事项	91
实训 4	基本运算电路的安装与测试	93
实训 5	三角波信号发生器的设计与安装	95
本章小结	.....	97
习题	.....	98
第 4 章	正弦波振荡电路	102
4.1	正弦波振荡的条件及基本组成	102
4.1.1	产生正弦波振荡的条件	102
4.1.2	振荡的建立与稳定	103
4.1.3	正弦波振荡电路的基本组成	103
4.2	LC 正弦波振荡电路	103
4.2.1	变压器反馈式振荡电路	104
4.2.2	电感三点式振荡电路	104
4.2.3	电容三点式振荡电路	105
4.3	RC 正弦波振荡电路	106
*4.4	石英晶体振荡电路	107
4.4.1	石英晶体的基本特性与等效电路	108
4.4.2	石英晶体振荡电路	108
实训 6	RC 音频振荡器的安装与测试	109
本章小结	.....	110
习题	.....	111
第 5 章	电源电路	113
5.1	整流电路	113
5.1.1	单相半波整流电路	113
5.1.2	单相桥式整流电路	114
5.2	滤波电路	116
5.2.1	电容滤波电路	116
5.2.2	电感滤波电路	118
5.2.3	复式滤波电路	118
5.3	稳压电路	119
5.3.1	稳压管稳压电路	119
5.3.2	集成稳压器	120
*5.3.3	开关型稳压电源	122

* 5.4	晶闸管	124
5.4.1	晶闸管的基本结构	124
5.4.2	晶闸管的工作原理	124
5.4.3	晶闸管的伏安特性	125
5.4.4	晶闸管的主要参数	126
* 5.5	单相可控整流电路	127
5.5.1	单相半波可控整流电路	127
5.5.2	单相半控桥式整流电路	129
5.5.3	晶闸管的保护	130
* 5.6	晶闸管触发电路	132
5.6.1	对触发电路的基本要求	132
5.6.2	单结晶体管及其触发电路	132
* 5.7	双向晶闸管	136
* 5.8	晶闸管应用电路	137
5.8.1	晶闸管交流调压电路	137
5.8.2	直流伺服电动机调速电路	138
	实训 7 三端集成稳压电源的设计与安装	139
	* 实训 8 晶闸管可控整流电路的安装与测试	140
	本章小结	142
	习题	143
第 6 章	基本逻辑电路	145
6.1	逻辑代数	145
6.1.1	逻辑代数运算法则	145
6.1.2	逻辑函数的表示方法	146
6.1.3	逻辑函数的化简	149
6.2	三极管的开关特性	151
6.3	分立元件基本门电路	152
6.3.1	二极管“与”门电路	152
6.3.2	二极管“或”门电路	152
6.3.3	三极管“非”门电路	153
6.4	集成门电路	154
6.4.1	TTL 门电路	154
6.4.2	CMOS 门电路	158
	实训 9 基本逻辑电路安装及功能测试	160
	实训 10 简单抢答器的安装与试验	162
	本章小结	164
	习题	165

第 7 章 组合逻辑电路	167
7.1 组合逻辑电路的分析和设计方法	167
7.1.1 组合逻辑电路的分析	167
7.1.2 组合逻辑电路的设计	169
7.2 加法器	171
7.2.1 二进制	171
7.2.2 半加器	173
7.2.3 全加器	173
7.3 编码器、译码器及数字显示	174
7.3.1 编码器	174
7.3.2 译码器	178
7.3.3 数字显示	181
* 7.4 集成多路器	184
7.4.1 数据选择器	184
7.4.2 数据分配器	185
实训 11 编/译码及数码显示	186
本章小结	187
习题	188
第 8 章 触发器与时序逻辑电路	191
8.1 集成触发器	191
8.1.1 RS 触发器	191
8.1.2 JK 触发器	194
8.1.3 D 触发器和 T 触发器	196
* 8.1.4 触发器逻辑功能的转换	197
8.2 寄存器	198
8.2.1 数码寄存器	198
8.2.2 移位寄存器	199
8.3 计数器	201
8.3.1 二进制计数器	201
8.3.2 十进制计数器	204
* 8.3.3 其他进制计数器及计数器的组合	206
8.4 555 定时器	208
8.4.1 555 定时器的结构和功能	208
8.4.2 用 555 定时器组成的多谐振荡器	209
8.4.3 用 555 定时器组成的单稳态触发器	210
8.5 应用电路	211
8.5.1 无稳态触发器的应用	211
8.5.2 单稳态触发器的应用	211

实训 12 由触发器构成的改进型抢答器	212
实训 13 流水灯的设计与安装	216
本章小结	218
习题	219
第 9 章 数/模与模/数转换	224
9.1 数/模(D/A)转换器	224
9.1.1 T型网络 D/A 转换器	224
9.1.2 集成 D/A 转换器	226
9.1.3 DAC 的主要技术指标	227
9.2 模/数(A/D)转换器	228
9.2.1 几个基本概念	228
9.2.2 逐次逼近型 A/D 转换器	230
9.2.3 双积分型 A/D 转换器	231
9.2.4 集成 A/D 转换器	234
9.2.5 ADC 的主要技术指标	236
9.3 应用电路	237
9.3.1 D/A 转换器的应用	237
9.3.2 A/D 转换器的应用	238
实训 14 A/D 转换显示	239
本章小结	241
习题	241
附录 A 部分习题参考答案	244
附录 B 国产半导体器件的型号及命名方法	254
附录 C 常用半导体器件参数	256
附录 D 国产晶闸管型号命名法及常用晶闸管电参数	261
附录 E 常用模拟集成组件	265
参考文献	266

半导体器件基础

半导体器件是组成电子电路的核心元件,常用半导体器件包括半导体二极管、晶体三极管和场效应晶体管等。本章在简要介绍半导体导电特性、PN 结形成机理的基础上,主要分析半导体二极管、晶体三极管的基本结构、工作原理,介绍其特性和参数,为后面学习各种电子电路打下基础。

1.1 半导体二极管

1.1.1 N 型半导体和 P 型半导体

自然界的半导体材料主要是硅(Si)和锗(Ge),它们都是 4 价元素,如果通过一定的工艺提纯,所有原子便基本上排列整齐,形成晶体结构。所以,由半导体构成的管件也称晶体管。在晶体结构中,外层价电子与原子核间有很强的束缚力,因此,纯半导体(又称本征半导体)的导电能力不强,电阻率介于导体和绝缘体之间。

硅(或锗)原子最外层轨道有 4 个价电子,相邻原子间组成共价键结构。当温度为绝对零度时,共价键中的电子被束缚得很紧,不存在自由电子。当温度升高或受到外界因素(如光照)激发时,少量的价电子挣脱原子核的束缚成为自由电子,同时在共价键上留下空位,叫做空穴。电子带负电,空穴带正电,但作为一个整体,半导体仍是中性的。

电子和空穴都称为载流子。受激后自由电子和空穴总是成对产生的,称为电子—空穴对。自由电子在运动中如果和空穴相遇,可以放出多余的能量而填补这个空穴,二者同时消失,这种现象称为复合。在一定温度下,激发与复合达到动态平衡,载流子维持一定的数量。常温下,本征半导体中的载流子数量很少,其导电性能很差。随着环境温度升高,载流子数量按指数规律增加。

在电场作用下,自由电子可以定向移动,形成电流。空穴虽不能移动,但因为带正电,故能吸引相邻原子中的价电子来填补。相邻原子一旦失去电子,便产生新的空穴。一部分空穴被填补,另一部分空穴相继产生,如此继续,就好像带正电的粒子(空穴)在运动。因此,半导体中出现两部分电流:一是自由电子逆电场方向运动形成的电子电流;二是空穴顺电场方向运动形成的空穴电流。

在本征半导体中加入其他元素即杂质,导电能力可显著提高。这种掺入杂质的半导体,称为杂质半导体。按照掺杂的不同,杂质半导体分为 N 型半导体和 P 型半导体。

1. N型半导体

在本征半导体中掺入微量的5价元素,例如磷(P),就得到N型半导体。由于掺入杂质数量很少,整个晶体的结构不变,只是在某些位置上,原来的硅(或锗)原子被磷原子取代。磷原子有5个价电子,其中的4个价电子与相邻的4个硅原子组成共价键,多余的1个电子便成为自由电子。磷原子由于丢失1个价电子成为带正电荷的磷离子。磷离子不能移动,故不参与导电。因正离子数目与自由电子数目相等,半导体仍然是中性的。本征半导体中还有原来因激发产生的数量不多的自由电子和空穴。掺杂后,自由电子总数大大超过空穴数目。因此,在N型半导体中,自由电子是多数载流子,简称多子。空穴是少数载流子,简称少子。这种半导体主要靠自由电子导电,故又称为电子型半导体。

2. P型半导体

在本征半导体中掺入微量3价元素,例如硼(B),就得到P型半导体。硼原子只有3个价电子,与相邻的3个硅原子组成3对完整的共价键,还有1个共价键因缺少1个价电子而形成1个空位。在常温下,邻近原子的价电子很容易过来填补这个空位,这就使邻近原子中形成1个新的空穴。硼原子因获得1个电子成为带负电的硼离子,它不能移动也不参与导电。因此,P型半导体中,空穴是多数载流子,电子是少数载流子,它主要靠带正电的空穴进行导电,故又称为空穴型半导体。

1.1.2 PN结及其单向导电性

如果采取工艺措施,在一块本征半导体中掺入不同的杂质,一边做成N型,另一边做成P型,则在P型半导体和N型半导体的交界面上形成一个特殊的薄层,称为PN结。许多半导体器件都含有PN结。

实际工作中的PN结,总加有一定的电压。当外加电压的极性不同时,PN结的情况也明显不同。

(1) 外加正向电压时,正向电流较大。PN结加正向电压的情况如图1.1所示,即直流电源正极接P区,负极接N区。此时,PN结处于导通状态,导电方向从P区到N区。PN结呈现的电阻称为正向电阻,其值很小,一般为几欧到几百欧。

(2) 外加反向电压时,反向电流很小。PN结外加反向电压的情况如图1.2所示,即直流电源正极接N区,负极接P区,PN结基本上处于截止状态。此时的电阻称为反向电阻,其值很大,一般为几千欧至十几千欧。

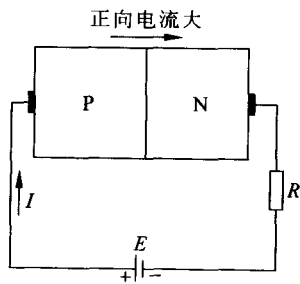


图 1.1 PN结外加正向电压

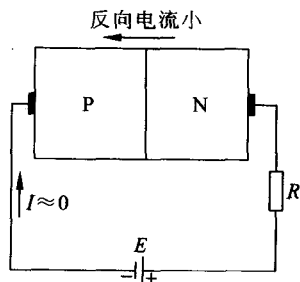


图 1.2 PN结外加反向电压

综上所述,PN结外加正向电压时,正向扩散电流较大,PN结呈导通状态,结电阻小;PN结外加反向电压时,反向漂移电流很小,PN结呈截止状态,结电阻很大。因此,PN结具有单向导电性。

1.1.3 二极管的结构和分类

将一个PN结的两端加上电极引线并用外壳封装起来,就构成一只半导体二极管。常用二极管的外形、结构和符号如图1.3所示,图(a)为点接触型,图(b)为面接触型,图(c)是二极管的图形符号,符号箭头表示正向电流的方向。

不论何种型号、规格的二极管,都有两个电极:由P区引出的电极,称为正极(也叫阳极);由N区引出的电极,称为负极(也叫阴极)。

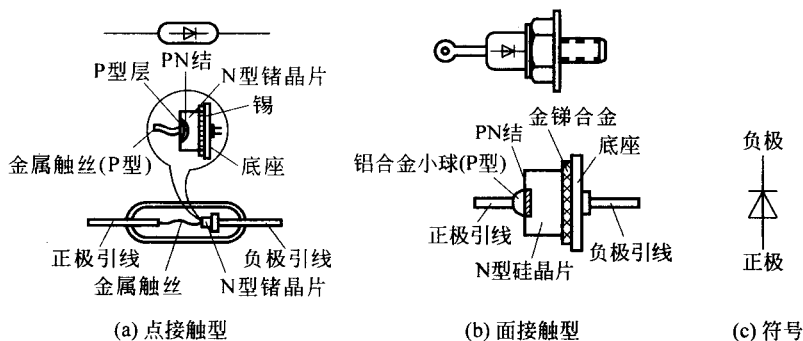


图 1.3 二极管的外形、结构和符号

二极管的种类很多。按制造材料分,主要有硅二极管和锗二极管;按用途分,主要有整流二极管、检波二极管、稳压二极管、开关二极管等;按结构分,主要有点接触型二极管和面接触型二极管。点接触型二极管的结面积小,因而结电容小,允许通过的电流小,适用于高频,常用在检波、脉冲技术中,国产有2AP系列和2AK系列;面接触型二极管的结面积大,结电容大,适用于整流,不适于高频,国产有2CP系列和2CZ系列。国产半导体器件的型号及命名方法见附录A。

1.1.4 二极管的伏安特性

二极管两端所加电压与流过管子的电流之间的关系曲线,称为伏安特性,如图1.4所示。图中给出了硅材料和锗材料制成的二极管伏安特性曲线。

由图可见,当外加正向电压很低时,二极管正向电流几乎为零。只有在外加电压大于某一数值时,正向电流才明显增加,这个电压称为死区电压。硅管的死区电压约0.5V,锗管约为0.2V。当外加电压超过死区电压后,二极管处于正向导通状态,其正向压降很小,硅管约为0.6~0.7V,锗管约为0.2~0.3V。因此,使用二极管时,如果外加电压较大,应串接限流电阻,防止过电流烧坏PN结。

当外加反向电压时,二极管反向电流很小。小功率硅管的反向电流约在 $1\mu\text{A}$ 以下,锗管也只有几十微安,二极管相当于一个开关关断的状态。二极管的反向电流在一定温度下为常数,不随外加电压变化,故又称该反向电流为反向饱和电流。在同样温度下,硅管的反向电流比锗管小得多。当外加反向电压超过某一定值时,反向电流急剧增大,这种现象称为反向击穿。对应的反向电压称为二极管反向击穿电压。

从图 1.4 还可看出,二极管的伏安特性不是直线,而是曲线。因此,二极管是非线性电阻元件。其正向电阻是工作点的函数,大小随工作点的改变而变化,反向电阻则近似为无穷大。

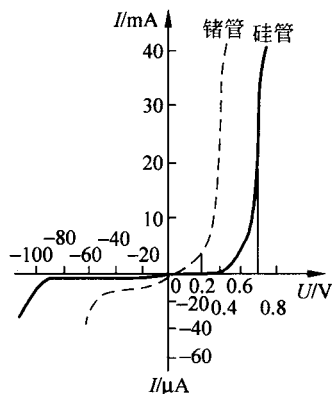


图 1.4 二极管伏安特性

1.1.5 二极管的主要参数

二极管的参数用来表征二极管的性能和适用范围,主要参数如下。

1. 最大整流电流 I_{OM}

指二极管长时间使用时,允许流过二极管的最大正向平均电流。它的大小取决于 PN 结的面积、材料和散热情况。点接触型二极管的 I_{OM} 一般在几十毫安以下,面接触型二极管的 I_{OM} 较大,一般在几百毫安以上。

2. 最高反向工作电压 U_{RM}

指二极管上允许加的反向电压最大值。若工作时所加反向电压值超过此值,管子就有可能反向击穿而失去单向导电性。点接触型二极管的 U_{RM} 一般为数十伏,面接触型二极管则可达数百伏。

3. 最大反向电流 I_{RM}

指在二极管上加最高反向工作电压时的反向电流值(又称为反向饱和电流)。反向电流越小,二极管的单向导电性越好。反向电流受温度影响较大,常温下,硅管的反向电流一般在几微安以下,锗管的反向电流一般在几十至几百微安之间。

二极管的参数很多,实际应用时,可查阅半导体器件手册。附录 B 中列出了部分常用二极管的参数。

1.2 特殊二极管

1.2.1 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管,具有稳定电压的作用。其图形符号和伏安特性曲线分别如图 1.5(a)、(b)所示。

稳压二极管与普通二极管的主要区别在于：稳压二极管工作在伏安特性曲线的反向击穿区。从反向特性曲线可以看出，当反向电压在一定范围变化时，反向电流很小。当反向电压达到或超过击穿电压时，反向电流急剧增大。在击穿电压附近，电流虽然变化很大，但稳压二极管两端的电压变化很小。稳压二极管就是利用这一特性来实现稳压的。通过制造过程中的工艺措施和使用时限制反向电流的大小，使稳压二极管工作在反向击穿状态下不因过热而损坏。

稳压二极管的主要参数如下。

1. 稳定电压 U_Z

指稳压二极管在正常工作情况下管子两端的电压值。由于半导体工艺的分散性，同一型号的管子参数差别较大。例如，型号为 2CW14 的稳压二极管的稳定电压为 6~7.5V。

2. 稳定电流 I_Z

指维持稳定电压的正常工作电流，它允许在一定范围内变化。设计选用时要根据具体情况，如工作电流的变化范围来考虑。

3. 最大稳定电流 I_{ZM}

指稳压管允许通过的最大反向工作电流。

4. 电压温度系数 α_u

表征稳压管受温度变化影响程度的系数。 α_u 越小，温度稳定性越好。一般来说，稳压值在 6V 左右的管子，温度稳定性较好。

5. 动态电阻 r_Z

指稳压二极管两端电压变化量与对应电流变化量的比值，即

$$r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \quad (1.1)$$

这是反映管子稳压性能的一个重要参数，反向伏安特性越陡， r_Z 越小，稳压性能越好。

6. 最大允许耗散功率 P_{ZM}

指管子不致发生热击穿的最大功率损耗， $P_{ZM} = U_Z I_{ZM}$ 。

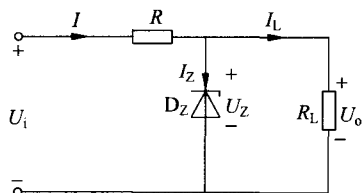


图 1.6 稳压管构成的稳压电路

用稳压管可构成图 1.6 所示的稳压电路。 R 限制流过稳压管的电流，防止其工作电流超过最大稳定电流 I_{ZM} 而烧坏。 R_L 为负载电阻。稳压管工作在反向击穿状态， U_Z 基本不变，使得负载两端电压 $U_o = U_Z$ 基本稳定。

附录 B 列出了部分国产稳压管的型号及其参数，供读者选用。

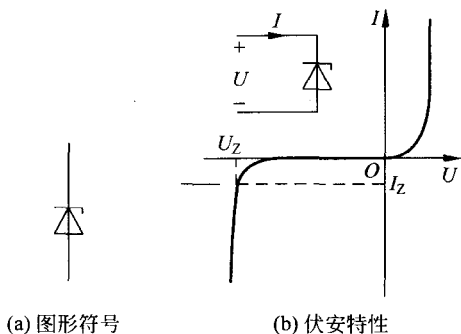


图 1.5 稳压二极管的图形符号和伏安特性

*1.2.2 发光二极管

发光二极管是一种将电能直接转换成光能的固体器件,简称 LED(Light Emitting Diode)。它是由特殊材料构成的 PN 结,正向导通时,由于空穴和电子的复合而释放能量,发出一定波长的可见光,颜色因波长不同而异,常见的有红、绿、黄等颜色。其伏安特性曲线和符号分别如图 1.7(a)、(b)所示。

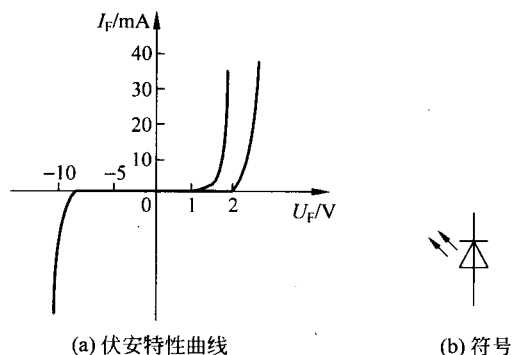


图 1.7 发光二极管伏安特性曲线和符号

发光二极管的伏安特性与普通二极管相似。当正向电压 U_F 未达到开启电压时,正向电流几乎为零;但电压一旦超过开启电压,电流急剧上升。这个开启电压通常称为正向电压,取决于制作材料的禁带宽度。例如,GaP 绿色的 LED 约为 2.3V,GaAsP 红色的 LED 约为 1.7V。

发光二极管的正向工作电压一般小于 2V,正向电流为 10mA 左右,反向击穿电压一般大于 5V。

发光二极管驱动电压低,工作电流小,具有很强的抗震动和抗冲击能力。由于其体积小、可靠性高、耗电省、寿命长,被广泛应用于信号指示等电路中。图 1.8 即为一个简单的发光二极管电源通断指示电路,供电电源既可以是直流,也可以是交流。应用时必须保证发光二极管的正向工作电流在规定的范围之内。

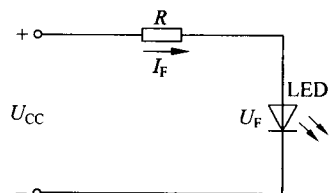


图 1.8 发光二极管指示电路

*1.2.3 光电二极管

光电二极管又称光敏二极管,其 PN 结工作在反向偏置状态。2DU 型光电二极管的外形、符号及基本电路分别如图 1.9(a)、(b)、(c)所示。

当装有透镜的窗口未接受光照射时,电路中流过微小的反向电流,称为暗电流。当窗口受到光照射时,反向电流会急剧增长,称为亮电流。通过外接电阻 R_L 上电压的变化,实现光—电信号的转换。