

高等学校规划教材

电路和电子技术

(下)

李燕民 主编



北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

教育部推荐教材

电路和电子技术

第二版

王兆安 主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

王德胜 副主编

清华大学出版社

电路和电子技术(下)

主编 · 李燕民
编者 温照方 姜明

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是按照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校“电子技术(电工学Ⅱ)”课程的教学基本要求,根据多年的教学实践的经验编写的。各章后均附有习题,以便于读者掌握本书各章的内容和分析方法。

本书包括8章内容:半导体器件,交流放大电路,集成运算放大器,电源技术,组合逻辑电路,时序逻辑电路,模拟量与数字量的转换,PLD技术及其应用。

本书可与《电路和电子技术(上)》及《电机与控制》教材配套使用,作为高等学校非电类本科生“电工和电子技术”(电工学)课程的教材,或供其它相关专业选用,也可以作为相关工程技术人员自学和参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电路和电子技术. 下/李燕民主编. —北京:北京理工大学出版社,2004.3

ISBN 7-5640-0218-2

I. 电... II. 李... III. ①电路理论—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM13②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 122460 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 500 千字

版 次 / 2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

印 数 / 1~5000 册

责任校对 / 郑兴玉

定 价 / 29.00 元

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

《电路和电子技术》分为上、下两册,是按照教育部(前国家教育委员会)1995年颁发的高等工业学校:“电工技术(电工学Ⅰ)”和“电子技术(电工学Ⅱ)”两门课程的教学基本要求,根据作者多年的教学实践经验编写的。

“电工和电子技术”课程是面向高等工科大学本科生非电类专业开设的电类技术基础课。根据目前高等学校对学生进行全面素质教育的要求,这门课程的改革势在必行且至关重要。几年来,我们对“电工和电子技术”课程内容、体系、方法及手段进行了改革与实践,并取得了一定的成效。通过多年来的教学实践,尤其是近几年的教学改革和探索,我们按照新的课程体系,编写了《电路和电子技术》(与《电机与控制》配套),作为“电工和电子技术”课程的教材。

“电工和电子技术”课程的总体框架是:电路基础—元件—线路—系统。《电路和电子技术》教材在实现以上教学思想方面作了一些尝试,本教材的特点是:

1. 打破了原“电工和电子技术”课程中电路、电子、电机与控制相对独立的格局,加强了电路、电子、电机与控制的内在联系,并突出了系统性。改变了通常将“电工和电子技术”课程分为“电工技术”和“电子技术”两大部分的作法,将电路基础部分的内容适当压缩,电子技术部分的内容提前,以便在电机和控制部分之后,能够增加系统的知识。我们将电工电子技术的新发展引入教学,如 CPLD 等新技术的基础知识,这是编写本套教材的宗旨。

2. “电工和电子技术”课程的新体系体现了一定的基础性和先进性。使学生通过本课程的学习,能够具有较为宽厚的基础理论和基础知识,具有可持续发展和创新的能力。为此,我们在《电路和电子技术》教材中强调了课程内容的基础性,以元件—线路—系统为脉络,集中给出基本电子元件及特性,在介绍基本单元电路的基础上,适当给出一些应用实例。以培养学生对新技术的浓厚兴趣,引导他们积极主动地学习。

3. 新体系的课程内容注重培养学生分析问题和解决问题的能力、综合运用所学知识的能力以及工程实践能力。《电路和电子技术》教材中加入了元器件的选择和性能比较,并举出一些较为综合的系统实例,帮助学生了解电工技术和电子技术在工程实际中的应用。并注意将经典的电路及电子的基础理论与电子技术的最新发展相结合,用 EDA 的设计方法去设计组合

逻辑电路和时序逻辑电路等。在第12章“PLD 技术及其应用”中,介绍了工程设计软件,使非电类学生具有一定的电子线路的设计能力。

4. 在选材和文字叙述上力求符合学生的认知规律,由浅入深、由简单到复杂、由基础知识到应用举例。本书配有丰富的例题和习题,并在书后给出了部分习题的参考答案。

《电路和电子技术》由北京理工大学信息科学技术学院的部分教师编写,其中,张振玲编写了第1、2章;郜志峰编写了第3章、第4章13节;王勇编写了4.4节,温照方编写了第5、8、11章;李燕民编写了6、7、9、10章;姜明编写了第12章。由李燕民担任主编,负责全书的统稿。

北京理工大学庄效桓副教授对本书进行了认真地、逐字逐句地审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议。此外,北京理工大学信息学院电工教研室的各位老师在本书编写过程中,也给予了很大的帮助。在此,一并表示衷心的感谢!

由于我们的水平和能力有限,加之编写时间较为仓促,书中难免存在一些疏漏和错误之处,恳请读者批评指正,以便今后加以改进。

编 者

2003年8月

目 录

第 5 章 半导体器件	(1)
5.1 半导体的基础知识	(1)
5.1.1 本征半导体	(1)
5.1.2 杂质半导体	(2)
5.1.3 PN 结	(2)
5.2 半导体二极管	(4)
5.2.1 二极管的基本结构	(4)
5.2.2 二极管的伏安特性	(4)
5.2.3 二极管的主要参数	(5)
5.2.4 二极管的主要应用	(6)
5.3 硅稳压二极管.....	(10)
5.3.1 硅稳压二极管的伏安特性.....	(10)
5.3.2 稳压二极管的主要参数.....	(11)
5.3.3 硅稳压二极管稳压电路.....	(12)
5.4 半导体三极管.....	(13)
5.4.1 三极管的结构、分类和符号	(13)
5.4.2 三极管的工作状态.....	(14)
5.4.3 三极管的特性曲线.....	(15)
5.4.4 三极管的主要参数.....	(17)
5.4.5 三极管的微变等效电路.....	(18)
5.5 绝缘栅型场效应管.....	(19)
5.5.1 绝缘栅场效应管的基本结构.....	(19)
5.5.2 场效应管的工作原理.....	(20)
5.5.3 场效应管的特性曲线.....	(21)
5.5.4 场效应管的微变等效电路.....	(22)
5.5.5 场效应管的主要参数.....	(23)
5.6 电力半导体器件.....	(24)
5.6.1 晶闸管.....	(24)
5.6.2 晶闸管的应用.....	(26)
5.6.3 晶闸管的触发电路.....	(30)
5.6.4 全控型开关器件.....	(33)
习题	(34)

第 6 章 交流放大电路	(38)
6.1 共发射极放大电路	(38)
6.1.1 放大电路的概念	(38)
6.1.2 基本放大电路的工作原理	(39)
6.1.3 放大电路的静态分析	(40)
6.1.4 放大电路的动态分析	(42)
6.2 静态工作点稳定的放大电路	(48)
6.2.1 温度变化对静态工作点的影响	(48)
6.2.2 分压式偏置电路	(49)
6.2.3 静态分析	(50)
6.2.4 动态分析	(50)
6.3 共集电极放大电路	(52)
6.3.1 静态分析	(52)
6.3.2 动态分析	(53)
6.3.3 特点和应用	(55)
6.4 多级放大电路	(55)
6.4.1 多级放大电路的级间耦合方式	(55)
6.4.2 阻容耦合放大电路的分析	(56)
6.4.3 阻容耦合放大电路的频率特性	(58)
6.5 差动放大电路	(59)
6.5.1 直接耦合放大电路的零点漂移	(60)
6.5.2 差动放大电路的组成和工作原理	(61)
6.5.3 差动放大电路的输入输出方式	(62)
6.6 功率放大电路	(66)
6.6.1 功率放大电路的概念	(66)
6.6.2 互补对称功率放大电路	(67)
6.6.3 集成功率放大器	(70)
6.7 场效应管放大电路	(71)
6.7.1 静态分析	(72)
6.7.2 动态分析	(72)
习题	(75)
第 7 章 集成运算放大器	(82)
7.1 集成运放的结构、特性和分析依据	(82)
7.1.1 集成运放的结构和参数	(82)
7.1.2 集成运放的理想化模型	(84)
7.1.3 集成运放的电压传输特性和分析依据	(85)
7.2 运放在模拟运算方面的应用	(87)
7.2.1 比例运算电路	(87)
7.2.2 模拟运算电路	(92)

7.3	放大电路中的负反馈	(98)
7.3.1	反馈的基本概念	(99)
7.3.2	负反馈的四种典型组态	(100)
7.3.3	反馈类型的判别	(104)
7.3.4	负反馈对放大电路性能的影响	(107)
7.4	运放在信号处理方面的应用	(111)
7.4.1	有源滤波器	(111)
7.4.2	电压比较器	(115)
7.5	信号产生电路	(119)
7.5.1	正弦波振荡电路	(119)
7.5.2	方波发生器	(124)
7.5.3	三角波发生器	(126)
7.5.4	锯齿波发生器	(127)
7.5.5	函数发生器简介	(128)
	习题	(130)
第8章	电源技术	(140)
8.1	电源技术的基本内容	(140)
8.2	直流稳压电源	(141)
8.2.1	直流稳压电源的主要指标及种类	(141)
8.2.2	串联式线性稳压电源	(142)
8.2.3	集成稳压器	(143)
8.2.4	如何选择使用集成稳压器	(146)
8.3	开关型稳压电源	(146)
8.3.1	开关型稳压电源的组成	(146)
8.3.2	脉宽调制式串联型开关稳压电源的基本工作原理	(147)
8.4	交流稳压电源	(149)
8.5	逆变电路	(151)
8.5.1	逆变的概念	(151)
8.5.2	电压型逆变电路	(152)
8.5.3	电流型逆变电路	(153)
8.5.4	PWM 逆变电路	(155)
8.6	不间断电源 UPS 简介	(157)
	习题	(158)
第9章	组合逻辑电路	(160)
9.1	逻辑关系	(160)
9.1.1	基本逻辑关系	(160)
9.1.2	复合逻辑关系	(162)
9.2	逻辑门电路	(162)
9.2.1	分立元件门电路	(163)

9.2.2	TTL 集成门电路	(164)
9.2.3	CMOS 门电路	(171)
9.3	逻辑函数的表示和化简	(173)
9.3.1	逻辑代数的基本定律和运算规则	(173)
9.3.2	逻辑函数的表示方法	(175)
9.3.3	逻辑函数的化简	(176)
9.4	组合逻辑电路的分析与设计	(182)
9.4.1	组合逻辑电路的分析	(182)
9.4.2	组合逻辑电路的设计	(183)
9.5	常用的集成组合逻辑电路	(185)
9.5.1	加法器	(186)
9.5.2	编码器	(188)
9.5.3	译码器	(189)
9.5.4	数值比较器	(193)
9.5.5	数据选择器	(194)
	习题	(197)
第 10 章	时序逻辑电路	(203)
10.1	双稳态触发器	(203)
10.1.1	基本 RS 触发器	(203)
10.1.2	同步 RS 触发器	(206)
10.1.3	JK 触发器	(207)
10.1.4	D 触发器	(209)
10.1.5	T 触发器和 T' 触发器	(210)
10.1.6	集成触发器及其逻辑功能的转换	(211)
10.2	寄存器	(213)
10.2.1	数码寄存器	(213)
10.2.2	移位寄存器	(214)
10.3	计数器	(216)
10.3.1	二进制计数器	(217)
10.3.2	十进制加法计数器	(220)
10.3.3	N 进制计数器	(221)
10.3.4	中规模集成计数器	(222)
10.4	单稳态触发器	(228)
10.4.1	555 定时器的组成和功能	(228)
10.4.2	由 555 定时器构成的单稳态触发器	(230)
10.4.3	集成单稳态触发器	(231)
10.4.4	单稳态触发器的应用举例	(233)
10.5	多谐振荡器	(233)
10.5.1	由 555 定时器构成的多谐振荡器	(234)

10.5.2	石英晶体多谐振荡器	(235)
10.6	施密特触发器	(236)
10.7	数字电路应用举例	(238)
	习题	(240)
第 11 章	模拟量与数字量的转换	(249)
11.1	数模转换器(DAC)	(249)
11.1.1	数模转换器(DAC)的转换原理	(249)
11.1.2	DA 转换器的主要参数	(250)
11.1.3	集成数模转换器(DAC)	(251)
11.2	模数转换器(ADC)	(253)
11.2.1	模数转换器(ADC)的转换原理	(253)
11.2.2	AD 转换器的主要参数	(255)
11.2.3	集成模数转换器	(255)
11.3	模拟开关及采样保持电路	(257)
11.3.1	模拟开关	(257)
11.3.2	采样—保持电路	(258)
	习题	(259)
第 12 章	PLD 技术及其应用	(260)
12.1	可编程逻辑器件	(260)
12.1.1	早期的 PLD 器件	(260)
12.1.2	CPLD 的结构特点和编程工艺	(264)
12.1.3	FPGA 的结构特点和编程工艺	(265)
12.1.4	FPGA/CPLD 的比较	(267)
12.1.5	PLD 厂商及产品介绍	(267)
12.2	可编程逻辑器件的开发环境	(269)
12.2.1	MAX+PLUS II 设计流程	(269)
12.2.2	设计输入	(270)
12.2.3	编译设计项目	(276)
12.2.4	设计项目的模拟仿真	(281)
12.2.5	时间分析	(283)
12.2.6	器件编程	(285)
12.3	硬件描述语言	(286)
12.3.1	概述	(286)
12.3.2	VHDL 语言程序的基本结构	(287)
12.3.3	VHDL 语言的数据类型及运算操作符	(296)
12.3.4	VHDL 顺序语句	(300)
12.3.5	VHDL 并行语句	(305)
12.3.6	命名规则和注解标记	(308)
12.3.7	VHDL 程序设计实例	(308)

习题.....	(314)
部分习题参考答案.....	(317)
参考文献.....	(325)

第 5 章 半导体器件

在电子电路中，半导体二极管、三极管、场效应管、晶闸管等是应用最为广泛的半导体器件，掌握这些半导体器件的特性和模型是学习电子电路的基础。本章首先介绍半导体的基础知识，然后介绍半导体二极管、三极管、场效应管和晶闸管等的基本结构及工作原理、特性和主要参数。

5.1 半导体的基础知识

5.1.1 本征半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。自然界中属于半导体的物质很多，用来制造半导体器件的材料主要有硅和锗。硅和锗都是四价元素，将硅或锗提纯，形成单晶体后，晶体中的原子基本上整齐排列，即其最外层的四个价电子都与邻近的原子形成共价键结构，具有这种结构的晶体称为本征半导体。如图 5.1.1 所示。

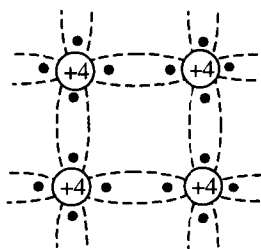


图 5.1.1 硅(或锗)的共价键结构

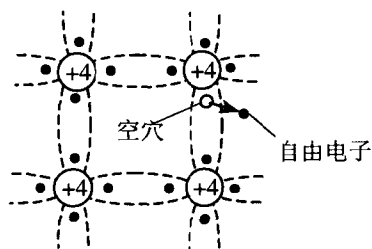


图 5.1.2 自由电子和空穴的形成

常温下，在本征半导体内，共价键中大多数价电子不能摆脱共价键的束缚，只有极少数的价电子从外界获得足够的能量，摆脱共价键的束缚而成为自由电子，这样该电子就会在它原来的位置上留下一个空位，称为空穴，如图 5.1.2 所示。失去电子的原子显正电，空穴是由原子失去了带负电的价电子后形成的，所以可认为空穴带正电，且所带电量与电子相等。在一定外界条件下，有空穴的原子能吸引相邻原子中的价电子来填补这个空穴，从而使相邻原子的共价键中也出现了一个空穴。如此下去，好像空穴在移动，但空穴运动方向与价电子运动方向相反。显然，本征半导体有两种粒子参与导电(金属导体只有电子)，即自由电子和空穴，它们都是载运电荷的粒子，称它们为载流子。载流子—空穴与电子是成对出现的。如果半导体的自由电子填补了空穴，这样电子和空穴就成对消失，这个过程称为复合。

本征半导体的载流子数目很少，其导电能力很低，通常用掺入杂质的方法提高导电性。

5.1.2 杂质半导体

在本征半导体中掺入少量的杂质就形成了杂质半导体，根据掺入杂质的不同，杂质半导体分为以下两大类。

1. N 型半导体

在硅(或锗)的晶体中掺入少量的五价磷(或砷)元素，某些位置上的硅原子被磷原子所取代，但整个晶体的结构不变。磷原子有五个价电子，在它以四个价电子与周围相邻的硅原子组成共价键后，还多余一个价电子(图 5.1.3)，这个价电子不受共价键的束缚，很容易成为自由电子，失去一个价电子的磷原子成为带正电的离子。

掺入五价磷元素的半导体，其自由电子数目远大于空穴的数目，使得载流子中自由电子占多数，空穴占少数，这种杂质半导体称为 N 型半导体(图 5.1.4)。

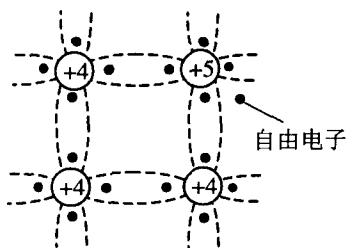


图 5.1.3 硅晶体中掺磷元素

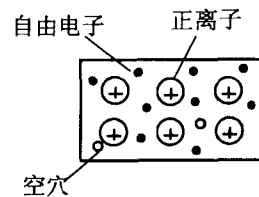


图 5.1.4 N 型半导体

2. P 型半导体

在硅(或锗)的晶体中掺入少量的 3 价元素硼(或镓)，某些位置上的硅原子被 3 价硼原子所取代，但整个晶体的结构不变。硼原子只有 3 个价电子，在它以 3 个价电子与周围相邻的硅原子组成共价键后，而留下一个空位(图 5.1.5)，若相邻的价电子填补了这个空位，硼原子会因为接受一个电子而成为负离子，而相邻原子中就出现了一个空穴。

掺入三价硼元素的半导体中，每个硼原子都能提供一个空穴，其空穴数目远大于自由电子数目，使得载流子中空穴占多数，电子占少数，这种杂质半导体称为 P 型半导体(图 5.1.6)。

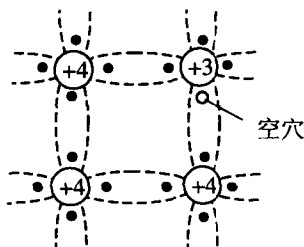


图 5.1.5 硅晶体中掺硼元素

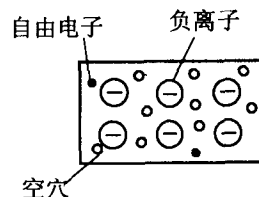


图 5.1.6 P 型半导体

5.1.3 PN 结

1. PN 结的形成

用特殊的制造工艺在一块本征半导体上分别掺入五价元素和三价元素，形成 P 型半导体

和 N 型半导体(图 5.1.7)。

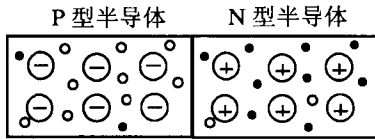


图 5.1.7 P 型半导体和 N 型半导体

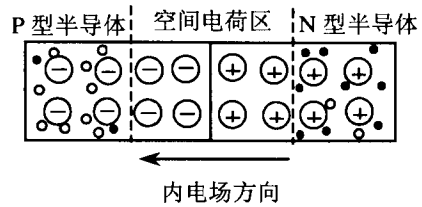


图 5.1.8 空间电荷区(PN 结)

由于两种半导体内的自由电子浓度和空穴浓度不同,根据扩散原理,N 型半导体内的多数自由电子向 P 型半导体内扩散,P 型半导体中的空穴也要向 N 型半导体内扩散。扩散到 P 型半导体的自由电子与空穴复合,扩散到 N 型半导体的空穴与自由电子复合,这样在它们的交界面,由于 N 型半导体内自由电子的减少而出现带正电的正离子,自由电子进入 P 型半导体后与空穴复合而出现了带负电的负离子,形成了空间电荷区。随着扩散的不断进行,正负离子增加,在 P 型半导体与 N 型半导体交界面处的电荷逐渐增多,加宽了空间电荷区,如图 5.1.8 所示,空间电荷区又称为 PN 结。

空间电荷区的出现在两种半导体交界面处形成了内电场,内电场的方向是从“+”指向“-”(图 5.1.8),内电场阻碍 N 型半导体内自由电子向 P 型半导体内扩散,但使 P 型半导体内的少数自由电子容易地漂移到 N 型半导体。随着内电场的增强,漂移与扩散的自由电子相等,达到了动态平衡,这时半导体内空间电荷区的宽度不再增加。空间电荷区虽然带有正负电荷,但在这个区域内不存在自由电子和空穴,因而不能导电,表现出较高的电阻率。

2. PN 结的单向导电性

空间电荷区即 PN 结在没有外界电场作用时,通过 PN 结的净载流子数为零,因此 PN 不具有导电性。

若在 P 型半导体与 N 型半导体两端施加电压,将电源正极接 P 型半导体,电源负极接 N 型半导体,由此产生一个与内电场方向相反的外电场(图 5.1.9),使空间电荷区变窄,削弱了内电场。从而使多数载流子的扩散大于少数载流子的漂移,且不断的通过 PN 结,形成了较大的正向电流 I_F (图 5.1.9 中的 R 是限流电阻),并由电源来补充 P 型半导体内的空穴和 N 型半导体中的自由电子,形成了连续电流。使 PN 结变薄、形成较大正向电流的外加电压称为正向电压。

若在半导体两端加上与正向电压极性相反的反向电压,如图 5.1.10 所示。这时所形成的外电场与内电场方向一致,使空间电荷区变宽,从而加强了内电场,使多数载流子的扩散不能进行,只有少数载流子在电场的作用下形成很小的漂移电流,称为反向电流 I_R 。这个反向电流的大小与环境温度有关,在一定温度范围内反向电流不会变化,因此又称为反向饱和电流。

综上所述,PN 结的单向导电性表现在:外加正向电压时 PN 结变窄,表现出 PN 结的电阻小,通过的正向电流大,PN 结处于导通状态;外加反向电压时 PN 结变宽,表现出 PN 结的电阻很大,通过的反向电流很小,PN 结处于截止状态。

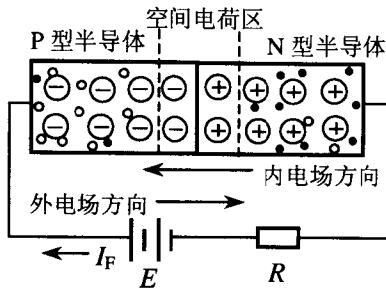


图 5.1.9 加正向电压

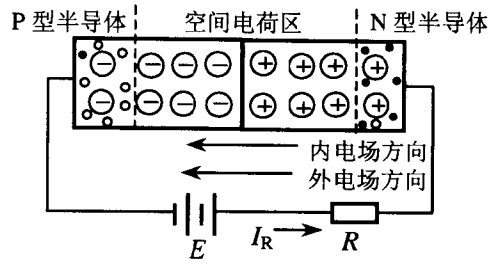


图 5.1.10 加反向电压

5.2 半导体二极管

5.2.1 二极管的基本结构

半导体二极管是由一个 PN 结，并从 PN 结两端加上引线，然后外加管壳封装制成的。与 P 型半导体端相联的引线为二极管的阳极，也称正极，与 N 型半导体端相联的引线为二极管的阴极，也称为负极，符号如图 5.2.1 所示。由于制造工艺不同，二极管又分为点接触型和面接触型。点接触型二极管 PN 结面积小，不能通过较大电流，适用于数字电路、高频检波等电路。面接触型二极管 PN 结面积大，可以通过较大电流，适用于整流电路。

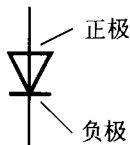


图 5.2.1 二极管电路符号

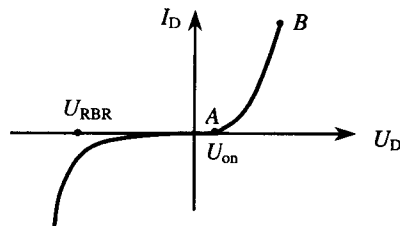


图 5.2.2 二极管的伏安特性曲线

5.2.2 二极管的伏安特性

二极管两端电压 U_D 和通过二极管电流 I_D 之间的关系，即 $I_D = f(U_D)$ ，称为二极管的伏安特性。根据半导体理论，它们之间的关系为

$$I_D = I_R (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1) \quad (5.2.1)$$

式中 I_R —— 二极管反向饱和电流；

U_T —— 与温度有关，在室温下， $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。

由这个关系式做出二极管的伏安特性曲线如图 5.2.2 所示。在图 5.2.3(a)中二极管两端加正向电压(R 为限流电阻)，当 $U_D > U_{on}$ ，因为 $U_D \gg U_T$ ，所以 $e^{\frac{U_D}{U_T}} \gg 1$ ，则 $I_D \approx I_R e^{\frac{U_D}{U_T}}$ ，二极管的正向电流 I_D 与正向电压 U_D 按指数规律变化，变化曲线在图 5.2.2 中的第一象限 AB 段。

当外加正向电压 $U_D < U_{on}$ 时, 正向电流很小, 几乎为零。这是因为当外加电压较小时, 外加电压产生的外电场较弱, 不足以克服 PN 结的内电场, 只有当正向压大于 U_{on} , PN 结才能正向导通, 我们把这一电压称为死区电压(又称为阈值电压)。硅材料制成的二极管(常称硅二极管), 死区电压约为 0.5 V。锗材料制成的二极管(常称为锗二极管), 死区电压约为 0.1 V。

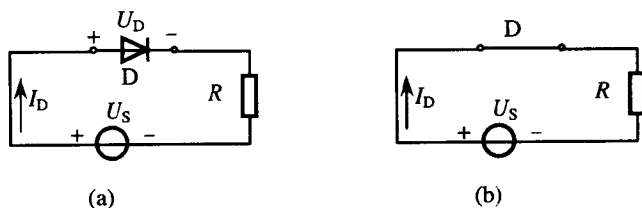


图 5.2.3 二极管加正向电压

可见二极管正向导通后, 正向电流随外加电压增加而明显增加, 但它的正向压降却比较小, 硅管正向压降 U_D 约 0.6 V, 锗管 U_D 约为 0.3 V。若视为理想二极管, 则正向压降为零, 等效电路如图 5.2.3(b)所示。

二极管加上反向电压时(图 5.2.4) U_D 为负值, 当 $|U_D| \gg U_T$, $e^{\frac{U_D}{U_T}} \approx 0$, $I_D \approx -I_R$, 形成近似为定值的很小反向电流, 二极管处于截止状态, 若视其为理想二极管, 则 $I_R = 0$, 这时的等效电路如图 5.2.4(b)所示。

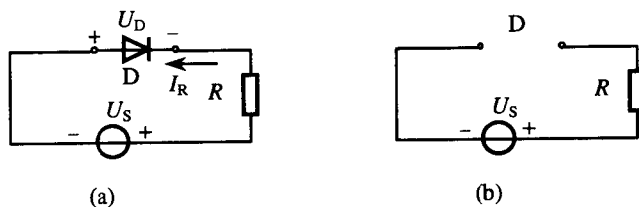


图 5.2.4 二极管加反向电压

当二极管反向电压增大到一定数值后, 过强的外电场把价电子从共价键中拉出来, 产生了大量的载流子, 使反向电流迅速增大, 称为电击穿。如不采取措施加以限制, 会造成 PN 结过热, 并由电击穿转向热击穿, 将 PN 结烧坏, 二极管就失去了单向导电性。通常将二极管产生击穿的电压称为反向击穿电压 U_{RBR} 。

5.2.3 二极管的主要参数

二极管的参数是二极管使用范围的依据, 主要有以下参数。

1. 最大整流电流 I_F

I_F 是二极管长期工作时允许通过的最大正向平均电流。若长时间超过允许值, 二极管会由于过热而损坏。

2. 最高反向工作电压 U_{DRM}

U_{DRM} 为二极管工作时允许加在二极管两端的最大反向电压。超过此值, 二极管可能被击穿, 通常选择 U_{DRM} 为二极管反向击穿电压的一半。

3. 反向电流 I_R