



电子技术

主 编 © 杨现德

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

电子技术

主 编 杨现德

副主编 潘莹月 王 锋 张新廷

内 容 简 介

本书是编者结合多年从事电子技术课程的教学与实践经验,根据应用型本科教学要求而编写的,内容包括模拟电子技术和数字电子技术两部分。其中,模拟电子技术部分包含半导体器件、放大电路、集成运算放大器、波形产生电路与变换电路及直流稳压电源共5章。数字电子技术部分包含逻辑代数与逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲产生电路及存储器与数模转换共6章。

本书可作为高等院校电气信息类及非电类专业电子技术课程教材,也可作为相关科技人员的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电子技术/杨现德主编. —北京:北京理工大学出版社, 2018. 6

ISBN 978-7-5682-5853-1

I. ①电… II. ①杨… III. ①电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第149746号



出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 493千字

版 次 / 2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

定 价 / 79.50元

责任编辑 / 张鑫星

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

电子技术是高等院校理工科专业的一门专业基础课程。本书是针对应用型本科院校电气信息类及非电类理工科专业而编写的，强调基础性、系统性和实用性，力求理论与实践紧密结合，突出应用性和针对性，加强学生实践能力的培养，注重培养学生的应用能力和解决现场实际问题的能力。在内容编排上充分考虑应用型人才的特点，从工程应用的角度出发，介绍电子技术的基础知识和理论，注重工程应用能力的培养。大部分章节设有本章要点、实验、本章小结和习题，更能配合应用型本科教学的使用。

本书内容包括模拟电子技术和数字电子技术两部分。其中，模拟电子技术以信号放大为主脉络，减少理论与推导，突出集成运算放大器的应用。内容包括：放大所需的元件（第1章半导体器件）、分立元件放大电路（第2章放大电路）、集成放大（第3章集成运算放大器）、波形产生电路与变换电路及直流稳压电源。数字电子技术部分以数字逻辑应用为主脉络，减少逻辑门、触发器内部复杂电路的相关内容，突出组合、时序逻辑电路的应用。内容包括：组合逻辑的分析与设计（第6章逻辑代数与逻辑门电路、第7章组合逻辑电路），时序逻辑的分析与设计（第8章触发器、第9章时序逻辑电路），脉冲产生电路及存储器与数模转换。

编者在编写本书时，尽可能保持每章内容的独立性和完整性，书中标有※的内容为选学内容，便于不同学校依据不同学时的课程进行内容调节和删减。

本书共11章。其中，模拟电子技术部分（除习题外）由杨现德、潘莹月编写，数字电子技术部分（除习题外）由杨现德、王锋编写，全书习题由张新廷编写。全书由杨现德统稿、修改和定稿。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和疏漏，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一部分 模拟电子技术

第1章 半导体器件	3
1.1 半导体的基础知识	3
1.1.1 半导体及其导电特性	3
1.1.2 PN结的形成及单向导电特性	5
1.2 半导体二极管	6
1.2.1 二极管的结构及类型	6
1.2.2 二极管的伏安特性	6
1.2.3 二极管的主要参数	7
1.2.4 特殊二极管	8
1.2.5 二极管的应用	9
1.3 二极管电路的分析方法	11
1.3.1 理想模型分析法	11
1.3.2 恒压降模型分析法	12
1.3.3 注意事项	14
1.4 半导体三极管	14
1.4.1 晶体管的结构及制造工艺上的特点	14
1.4.2 晶体管的放大作用	15
1.4.3 晶体管的特性曲线	17
1.4.4 晶体管的主要参数	18
※1.5 场效应晶体管	20
1.5.1 结型场效应管	20
1.5.2 绝缘栅型场效应管 (MOS 场效应管)	23
1.5.3 场效应管的主要参数及使用注意事项	26
实验 二极管基本应用电路的仿真实验	27
本章小结	28
习题	29
第2章 放大电路	32
2.1 基本放大电路	32
2.1.1 放大电路的组成	32
2.1.2 放大电路的工作状态	33
2.1.3 放大电路的主要性能指标	35

2.2	偏置电路	37
2.2.1	固定偏置电路	37
2.2.2	分压式偏置电路	38
※2.3	放大电路的图解分析法	39
2.3.1	图解分析法的含义	40
2.3.2	静态情况分析	40
2.3.3	动态图解分析法	41
2.3.4	图解分析法分析放大电路的步骤	42
2.3.5	用图解分析法分析静态工作点对输出波形非线性失真的影响	43
2.4	放大电路的微变等效电路分析法	44
2.4.1	晶体管微变等效电路	44
2.4.2	放大电路的微变等效电路	45
2.4.3	用微变等效电路求动态指标	46
2.4.4	微变等效电路分析法举例	46
2.5	典型放大电路分析	48
2.5.1	工作点稳定的共发射极放大器的分析	48
2.5.2	共集电极放大器的组成及分析	50
2.5.3	共基极放大器的组成及分析	53
2.5.4	三种基本放大器的比较	54
2.6	多级放大电路	55
2.6.1	多级放大电路的组成	55
2.6.2	级间耦合方式	56
2.6.3	多级放大电路的分析计算	58
2.7	差分式放大电路	59
2.7.1	差分式放大电路的功能	59
2.7.2	基本差分式放大电路的组成	59
2.7.3	基本差分式放大电路的工作原理	60
2.7.4	共模抑制比	62
2.7.5	具有恒流源的差分式放大电路	63
2.7.6	差分式放大电路的其他接法	63
2.7.7	由复合管构成差分电路	65
※2.8	场效应管放大电路	65
2.8.1	场效应管放大电路的静态分析	66
2.8.2	场效应管放大电路的等效电路及动态分析	66
2.9	功率放大电路	68
2.9.1	功率放大电路的特点	68
2.9.2	功率放大电路的类型	69
2.9.3	功率放大电路的性能指标	70
2.9.4	OCL 互补对称功率放大电路	71
2.9.5	OTL 互补对称功率放大电路	72

2.9.6 复合管互补对称功率放大电路	72
实验 晶体管放大器的仿真实验	74
本章小结	78
习题	78
第3章 集成运算放大器	83
3.1 集成运算放大器简介	83
3.1.1 集成运算放大器的组成	83
3.1.2 集成运算放大器的符号与引脚构成	85
3.1.3 集成运算放大器的主要参数	85
3.1.4 理想运算放大器的特点	86
3.2 反馈放大电路	87
3.2.1 反馈的定义及组成	87
3.2.2 反馈的基本关系式	89
3.2.3 反馈的极性	89
3.2.4 反馈电路的类型	90
3.2.5 负反馈对放大器性能的影响	92
3.2.6 引入负反馈原则	94
3.3 集成运算放大器的线性应用	94
3.3.1 集成运算放大器线性应用的工作条件	94
3.3.2 集成运算放大器工作在线性区的特点	95
3.3.3 基本负反馈运算放大电路(比例运算)	95
3.4 基本运算电路	100
3.4.1 加法运算电路	100
3.4.2 加减法运算电路	102
3.4.3 积分、微分运算电路	103
3.4.4 对数与指数运算电路	104
3.5 集成运算放大器的非线性应用	105
3.5.1 理想运算放大器工作在非线性区的特点	106
3.5.2 电压比较器	106
3.5.3 单限电压比较器	106
3.5.4 迟滞电压比较器	107
※3.6 集成运算放大器在实际应用中的注意事项	109
实验 运算放大器组成的信号运算电路仿真实验	111
本章小结	114
习题	114
第4章 波形产生电路与变换电路	119
4.1 正弦波产生电路	119
4.1.1 产生正弦波振荡的条件	119
4.1.2 正弦波振荡器的组成及分析方法	120
4.1.3 RC桥式正弦波振荡电路	120

4.1.4 LC 正弦波振荡电路	123
4.2 非正弦波产生电路	124
4.2.1 脉冲波产生电路	125
4.2.2 矩形波产生电路	126
4.2.3 三角波产生电路	126
本章小结	127
习题	127
第5章 直流稳压电源	129
5.1 整流电路	129
5.1.1 整流电路的组成及工作原理	129
5.1.2 整流电路的主要技术指标	131
5.2 滤波电路	134
5.2.1 电容滤波电路	134
5.2.2 电感滤波及复式滤波电路	135
5.3 稳压电路	137
5.3.1 硅稳压管组成的并联型稳压电路	137
5.3.2 串联型稳压电路	139
5.3.3 集成稳压电路	141
5.3.4 开关型稳压电路	143
实验 串联稳压电路	144
本章小结	145
习题	146

第二部分 数字电子技术

第6章 逻辑代数与逻辑门电路	151
6.1 数字电子技术概述	151
6.1.1 电路中的信号	151
6.1.2 数字电路的特点	152
6.1.3 数字脉冲波形的的主要参数	152
6.2 数制和码制	153
6.2.1 数制	153
6.2.2 不同数制间的转换	154
6.2.3 码制	156
6.3 逻辑代数中的运算	159
6.3.1 基本逻辑运算	159
6.3.2 常用复合逻辑运算	161
6.4 逻辑代数中的基本定律、常用公式及规则	164
6.4.1 逻辑代数中的基本定律	164
6.4.2 逻辑代数中的常用公式	165
6.4.3 逻辑代数中的三个基本规则	165

6.5	逻辑函数	167
6.5.1	逻辑函数基础知识	167
6.5.2	逻辑函数的代数化简与变换	170
6.5.3	逻辑函数的卡诺图化简法	173
6.6	集成逻辑门电路	180
6.6.1	基本逻辑门电路和组合逻辑门电路	180
6.6.2	TTL 集成逻辑门电路	181
6.6.3	CMOS 集成门电路	186
	实验 TTL 和 CMOS 逻辑功能测试	189
	本章小结	191
	习题	191
第 7 章	组合逻辑电路	195
7.1	组合逻辑电路的分析	195
7.1.1	组合逻辑电路的结构组成	195
7.1.2	组合逻辑电路的分析方法	195
7.1.3	组合逻辑电路分析举例	196
7.2	组合逻辑电路的设计	197
7.2.1	组合逻辑电路的设计方法	197
7.2.2	组合逻辑电路设计举例	197
7.3	编码器	200
7.3.1	二进制编码器	200
7.3.2	二-十进制编码器	201
7.3.3	优先编码器	202
7.4	译码器	203
7.4.1	二进制译码器	204
7.4.2	二-十进制译码器	206
7.4.3	显示译码器	208
7.5	其他常用组合逻辑器件	211
7.5.1	数据分配器	211
7.5.2	数据选择器	212
7.5.3	数值比较器	214
7.5.4	加法器	216
7.6	组合逻辑电路中的竞争冒险	217
7.6.1	冒险的分类	218
7.6.2	0 型冒险和 1 型冒险的判断	218
7.6.3	竞争冒险的消除	219
	实验一 组合逻辑电路设计	219
	实验二 常用集成组合逻辑电路	223
	本章小结	227
	习题	228

第 8 章 触发器	231
8.1 概述	231
8.2 基本 RS 触发器	232
8.2.1 用与非门构成的基本 RS 触发器	232
8.2.2 由或非门构成的基本 RS 触发器	234
8.2.3 基本 RS 触发器的应用	235
8.3 同步触发器	236
8.3.1 同步 RS 触发器	236
8.3.2 同步 D 触发器	238
8.3.3 同步 JK 触发器	239
8.3.4 同步触发器的空翻现象	241
8.4 主从触发器	241
8.4.1 主从 RS 触发器	242
8.4.2 主从 JK 触发器	243
8.5 边沿触发器	245
8.5.1 利用门电路传输延迟的边沿 JK 触发器	245
8.5.2 维持-阻塞 D 触发器	246
8.6 触发器逻辑功能的转换	247
8.6.1 触发器逻辑功能转换的原因	247
8.6.2 触发器逻辑功能转换的方法	247
8.6.3 触发器逻辑功能转换举例	248
实验 触发器功能测试及应用	250
本章小结	253
习题	254
第 9 章 时序逻辑电路	256
9.1 概述	256
9.1.1 时序逻辑电路的特点及分类	256
9.1.2 时序逻辑电路的组成	256
9.1.3 时序逻辑电路功能的描述方法	257
9.1.4 时序逻辑电路的分析步骤	258
9.2 同步时序逻辑电路的分析	259
9.2.1 同步时序逻辑电路	259
9.2.2 同步时序逻辑电路的一般分析步骤	259
9.2.3 同步时序逻辑电路的分析举例	259
9.3 异步时序逻辑电路的分析	263
9.3.1 异步时序逻辑电路	263
9.3.2 异步时序逻辑电路的分析举例	263
9.4 计数器	266
9.4.1 计数器的类型	266
9.4.2 二进制计数器	267

9.4.3	十进制计数器	270
9.5	集成计数器	272
9.5.1	典型集成计数器	272
9.5.2	常用集成计数器	274
9.5.3	任意进制计数器	275
9.6	寄存器和移位寄存器	279
9.6.1	寄存器	279
9.6.2	移位寄存器	280
9.7	同步时序逻辑电路的设计	283
9.7.1	同步时序逻辑电路的设计步骤	283
9.7.2	同步时序逻辑电路设计举例	283
	实验 数字电子钟的设计与仿真	285
	本章小结	289
	习题	289
第 10 章	脉冲产生电路	293
10.1	概述	293
10.1.1	脉冲信号产生电路	293
10.1.2	555 定时器	293
10.2	用 555 定时器构成的多谐振荡器	295
10.2.1	多谐振荡器的电路结构	295
10.2.2	多谐振荡器的工作原理	296
10.2.3	占空比可调的多谐振荡器	296
10.3	石英晶体多谐振荡器	297
10.4	用 555 定时器构成的施密特触发器	298
10.4.1	施密特触发器的电路结构	298
10.4.2	施密特触发器的工作原理	298
10.4.3	施密特触发器的应用	299
10.5	用 555 定时器构成的单稳态触发器	300
10.5.1	单稳态触发器的电路结构	300
10.5.2	单稳态触发器的工作原理	300
10.5.3	单稳态触发器的应用	302
	实验 555 定时器及其应用	302
	本章小结	305
	习题	306
第 11 章	存储器与数模转换	307
11.1	数/模和模/数转换器	307
11.2	D/A 转换器	308
11.2.1	D/A 转换器的基本原理	308
11.2.2	权电阻网路 D/A 转换器	308
11.2.3	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	309

11.2.4 D/A 转换器的主要技术指标	311
11.3 A/D 转换器	312
11.3.1 A/D 转换的基本原理	312
11.3.2 并行比较型 A/D 转换器	313
11.3.3 双积分型 A/D 转换器	315
11.3.4 A/D 转换器的主要技术指标	316
实验 D/A、A/D 转换器测试	316
本章小结	318
习题	318
参考文献	319

第1章

半导体器件

第一部分

模拟电子技术

第 1 章

半导体器件

● 本章要点

本章先介绍半导体的导电特性及导电规律；再讨论 PN 结的形成和特点；然后介绍半导体二极管和半导体三极管的结构、原理、特性曲线及分析方法；最后介绍场效应管的结构、原理、特性曲线及放大作用。其中，重点介绍半导体二极管和半导体三极管的外特性和参数。

1.1 半导体的基础知识

半导体器件具有体积小、质量小、寿命长、效率高等优点，在电子技术中应用广泛。常用的半导体器件有半导体二极管、半导体三极管和场效应管等。

1.1.1 半导体及其导电特性

1. 半导体的定义

在生产实践和日常生活中，有些金属（如银、铜、铝、铁等）易导电，称为导体；有些物质（如陶瓷、有机玻璃、橡胶等）不易导电，称为绝缘体；而导电能力介于导体和绝缘体之间的物质，称为半导体。常用的半导体材料主要有硅、锗、硒等元素及其合成物、各种金属的氧化物及硫化物等。

2. 本征半导体

本征半导体是指纯净的、具有单晶体结构（原子按一定规律整齐排列）的半导体。以硅原子为例：硅原子是由原子核和 14 个外层电子组成的中性粒子，最里面两层电子受原子核的束缚力大，无法脱离轨道而自由活动，很稳定；而硅原子的最外层有 4 个价电子，如图 1.1 所示。

硅原子的每一个价电子分别与相邻硅原子的 1 个价电子组成 1 个价电子对，为相邻 2 个原子共同所有，形成共价键结构，如图 1.2 所示。

在绝对零度（约 $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）和无外界激发的情况下，价电子不会挣脱共价键的束缚而参与导电。此时本征半导体中没有可以自由运动的带电粒子，而不呈现导电性，如同绝缘体一样。

当温度升高或受到光照时，少数价电子从外界获得足够的能量而挣脱共价键的束缚，成为自由电子；同时，在原来的共价键中留下一个空位，称为空穴，如图 1.2 所示。自由电子带负电，空穴因为失去电子而带正电。由于正负电的吸引，空穴附近共价键中的电子就比较容易进

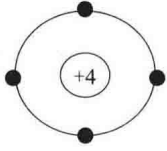


图 1.1 硅原子结构

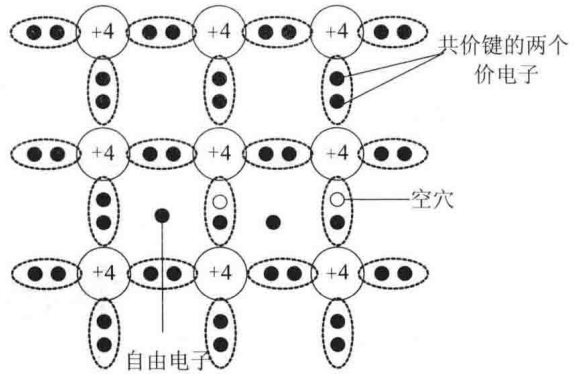


图 1.2 本征半导体的结构

来填补，而在附近的共价键中留下一个新的空位，又会有相邻的电子来填补。从效果上看，这种共有电子的填补运动相当于带正电荷的空穴在运动。自由电子和空穴这两种带电粒子都可以参与导电，称为载流子。

在本征半导体中，受激发产生的自由电子和空穴是成对出现的，这种现象称为本征激发。自由电子在运动中与空穴相遇，使电子-空穴对消失的现象称为复合。在一定温度下，尽管本征激发和复合在不断地进行，但自由电子（或空穴）的浓度不变，保持一种动态平衡状态。当温度升高或受到光照时，本征激发将加强，复合也随着增加，最后达到一种新的动态平衡。

3. 杂质半导体

在室温下，本征半导体的导电能力很差，而且也不好控制。为提高本征半导体的导电能力，在其中掺入微量杂质元素，称为杂质半导体。按掺入杂质元素的不同分为 N 型半导体和 P 型半导体。

在四价硅（或锗）中掺入五价元素（磷、砷、锑等）后，将增加自由电子的浓度，半导体以电子导电为主，此时自由电子称为多数载流子，简称“多子”；空穴称为少数载流子，简称“少子”。这种以电子导电为主的半导体称为 N 型（或电子型）半导体，其结构如图 1.3 所示。

在 N 型半导体中，也同样存在着本征激发的现象，有电子-空穴对的产生。由于电子的增多，空穴遇到电子而被复合的概率增大，N 型半导体中空穴的浓度远小于同温度下本征半导体中空穴的浓度。在 N 型半导体中自由电子的浓度由掺入杂质的浓度决定，整个晶体呈电中性。

在四价硅（或锗）中掺入三价元素（硼、铝、镓等）后，将增加空穴的浓度，半导体以空穴导电为主，此时空穴称为多数载流子，而自由电子为少数载流子，这种以空穴导电为主的半导体称为 P 型（或空穴型）半导体，其结构如图 1.4 所示。

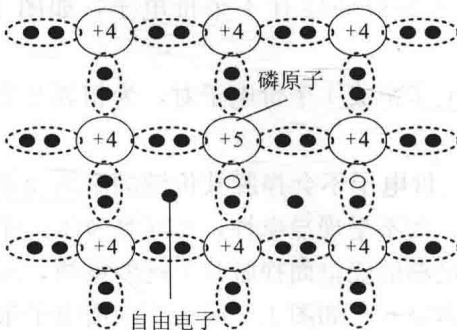


图 1.3 N 型半导体的结构

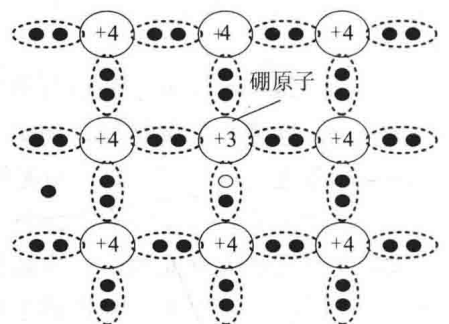


图 1.4 P 型半导体的结构

在P型半导体中,也同样存在着本征激发的现象,有电子-空穴对的产生,由于空穴的增多,电子遇到空穴而被复合的概率增大,P型半导体中电子浓度远小于同温度下本征半导体中电子的浓度。在P型半导体中多子空穴的浓度由掺入杂质的浓度决定,整个晶体呈电中性。

1.1.2 PN结的形成及单向导电特性

1. PN结的形成

采用特殊制造工艺,在同一块半导体基片的两端分别形成N型和P型半导体,在两者的交界处形成具有特殊物理性能的带电薄层,称为PN结。

由于两种半导体界面两侧载流子浓度的不同,载流子会从高浓度区向低浓度区做扩散运动,即P区的空穴向N区扩散,N区的电子向P区扩散。扩散后P区失去空穴留下带负电的杂质离子,N区失去电子留下带正电的杂质离子,这些不能移动的带电杂质离子在P区和N区交界面附近形成一个很薄的空间电荷区(又称为耗尽层),形成了方向由N区指向P区的电场(简称内电场),如图1.5所示。在内电场的作用下,多子的扩散运动得到抑制并促进少子的漂移运动。当外部条件一定时,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,扩散电流与漂移电流相等,通过PN结的总电流为零,内电场为定值。PN结内电场的电位称为内建电位差,其数值一般为零点几伏。室温时,硅材料PN结的内建电位差为0.5~0.7V,锗材料PN结的内建电位差为0.2~0.3V。

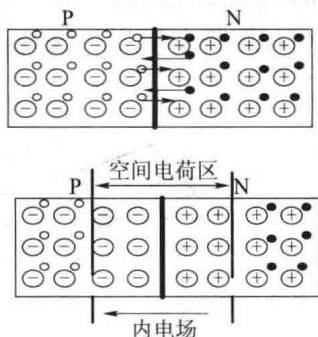


图 1.5 PN结的形成

综上所述,PN结的形成过程可总结为三个阶段:

- (1) 扩散运动和空间电荷区的形成;
- (2) 内建电场的形成和漂移运动;
- (3) 扩散运动与漂移运动达到动态平衡。

2. PN结的单向导电特性

加在PN结上的电压称为偏置电压。P区接电源正极,N区接电源负极,称PN结外接正电压或PN结正向偏置(简称正偏)。此时在电场作用下,PN结变薄,当正偏电压增加到一定值后,PN结呈现很小的电阻,多子的扩散运动形成较大的正向电流,此时PN结呈现低阻导通状态,如图1.6所示。

N区接电源正极、P区接电源负极,称PN结外接反向电压或PN结反向偏置(简称反偏)。此时在电场作用下,PN结变厚,当反偏电压增加到一定值后,PN结呈现很大的电阻,少子的漂移运动形成的反向电流近似为零,此时PN结呈现高阻截止状态,如图1.7所示。

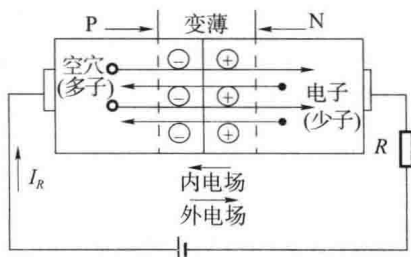


图 1.6 PN结的正偏导通特性

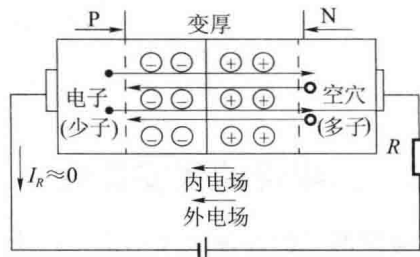


图 1.7 PN结的反偏截止特性