



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电子技术

电工学 II (第二版)

史仪凯 主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品课程主干教材

电 子 技 术

(电工学Ⅱ)(第二版)

史仪凯 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是2007年国家级精品课程“电工学”主干教材之一。全书共9章,主要内容包括半导体二极管与整流电路、半导体三极管与基本放大电路、集成运算放大器与应用、正弦波振荡电路、门电路与组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路、半导体存储器与可编程逻辑器件、模拟量与数字量转换等。每章均附有大量的练习与思考、习题,书后附有试题和部分答案,便于教师教学和学生自学。

本书是在第一版基础上总结提高、不断完善修订而成的,根据编者多年从事教学研究和教学改革的实践体会,对教材内容和结构体系作了适当的整合。本书内容丰富,通俗易懂,应用性强,适用面广,可供不同非电类专业灵活选用。

本书还配有支持教学的多媒体电子教案和网络课程,可以免费提供给使用本书的教师。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术(电工学Ⅱ)/史仪凯主编. —2版. —北京:科学出版社,2008
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·国家级精品课程主干教材)
ISBN 978-7-03-022809-3

I. 电… II. 史… III. ①电工学-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(2008)第124698号

责任编辑:余江 段博原/ 责任校对:赵燕珍

责任印制:张克忠/ 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年1月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2008年8月第 二 版 印张:24

2009年2月第四次印刷 字数:448 000

印数:11 001—14 000

定价:33.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新蕾>)

主 编 简 介



史仪凯 西北工业大学机电学院教授、博士生导师、国家级教学名师。现任西北工业大学电工教学实验中心主任,国家级“电工学精品课程”负责人。兼任陕西省高等学校电工学研究会理事长、中国高等学校电工学研究会副理事长、教育部高等学校高职高专电气技术类专业教学指导委员会委员。

长期从事电工学、机械电子工程、电气工程教学和科研工作。主讲本科生、研究生课程 10 余门。先后主持国家自然科学基金、省部级基金课题等 20 余项,国家和省部级教学研究课题多项。已培养博士、硕士研究生 70 多人。主编(著、译)出版教材和著作 20 余部。在国内外学术刊物、会议发表论文 100 余篇,其中被 SCI、EI、ISTP 收录 30 多篇,申请授权和受理国家发明专利 9 项。先后获国家级教学成果二等奖 1 项、省部级教学成果和科技奖等 8 项、宝钢优秀教师奖 1 项。

联系地址:西安市友谊西路 127 号 西北工业大学 403 信箱

邮编: 710072

电话: 029—88494893

传真: 029—88494893

E-mail: ykshi@nwpu.edu.cn

第二版前言

本书主要根据教育部高等学校电子信息科学与工程类基础课程教学指导分委员会 2004 年修订的高等学校工科“电子技术(电工学Ⅱ)”课程的教学基本要求,在第一版的基础上总结提高、不断完善修订而成。参考学时为 40~60 学时。

本书遵循强化基础性、突出应用性和体现先进性的原则,对教材内容进行了认真的精心设计,力求使之更加符合教学要求,以及各非电类专业需要。对教材体系结构进行了科学的优化整合,力求使之更加符合学生的学习和认知规律,以及课程教学设计的客观规律。

(1) 在介绍二极管后,紧接着介绍“二极管整流电路”、“滤波电路”和“稳压管稳压电路”(第 1 章)。

(2) 删除了“晶体管串联型稳压电路”(2.9 节),将串联型稳压电路相关内容调整至“集成运算放大器的应用”(4.5 节)中介绍。

(3) 重新改写了“集成运算放大器”(第 3 章)内容,将“运算放大电路中的负反馈”(3.2 节)修改为“集成运算放大电路中的反馈”,通过大量例题加强了反馈组态的判别。

(4) 在“集成稳压电路”(4.5 节)中重点介绍集成运放稳压电路,并新增了“开关型稳压电路”的组成和原理。

(5) 在“正弦波振荡电路”(第 5 章)中新增了“石英晶体正弦波振荡电路”(5.4 节)一节。

(6) 对部分“练习与思考”、“习题”进行了修改和补充。

(7) 书中带“*”标号的章节属于加深、拓宽内容,教师可根据专业特点和学时取舍。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,向平任副主编。其中第 1 章、第 2 章由史仪凯编写;第 3 章由付敏江编写;第 4 章由刘雁编写;第 5 章、第 9 章由田梦君编写;第 6 章由向平编写;第 7 章由卢健康编写;第 8 章、附录、电工技术试题(卷)、部分习题解答由袁小庆编写。

本书由西安交通大学马西奎教授和西北工业大学张家喜教授审阅,提出了宝贵意见和修改建议;本书第一版还得到了许多教师和读者的关怀,他们提出了许多建设性意见,尤其是得到了科学出版社、西北工业大学的支持和关心。在此作者一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵的批评意见。

史仪凯

2008 年 7 月于西北工业大学

第一版前言

本书是根据教育部最新颁布的高等学校工科“电工学”课程教学基本要求,并在原《电子技术》(史仪凯主编,1995年出版)的基础上总结提高,重新修订编写的。本教材已被列入西北工业大学2002年校规划重点出版教材。参考学时为40~60学时。

本书编写的指导思想是,在内容上力求贯彻少而精的原则,既覆盖了教学基本要求所规定的全部内容,又增添了一些拓宽和加深的内容,可以满足非电类各专业根据具体需要进行取舍。在阐述上由浅入深,循序渐进,使之符合人们认识客观事物的规律,便于自学,适当反映了现代科学技术发展的新成就。在体系上注意各部分章节的有机联系,根据编者的教学实践和体会,对传统的体系结构作了适当的整合,加强了各主要部分内容的逻辑性,便于读者应用和科技创新能力的培养。在教学上配有多媒体电子教案,教师可以对电子教案进行修改,有利于教师组织课堂教学和提高教学质量。

本书由西北工业大学史仪凯主编和统稿,向平任副主编。其中绪论、第1、2章由史仪凯编写;第3章由付敏江编写;第4章由刘雁编写;第5、9章由田梦君编写;第6章由向平编写;第7章由卢健康编写;第8章由杨坤德编写;附录、电子技术试题(卷)、部分习题答案由袁小庆编写。

本书由西北工业大学陈麟章教授和张家喜教授审阅,并提出了宝贵意见和修改建议。在编写过程中,先后得到西北工业大学电工学课程组同志们的关心和支持。同时,作者借鉴了有关参考资料。在此,对主审、参考资料的作者,以及帮助本书出版的科学出版社、西北工业大学教务处和教材科一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请使用本书的教师和同学,以及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2004年2月于西北工业大学

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 半导体二极管与整流电路	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 本征半导体与掺杂半导体	1
1.1.2 PN 结	3
1.2 半导体二极管	4
1.2.1 基本结构	4
1.2.2 伏安特性	5
1.2.3 主要参数	6
1.3 半导体二极管的应用	7
1.3.1 限幅电路	7
1.3.2 检波电路	8
1.3.3 二极管“续流”保护电路	8
1.3.4 二极管与门电路	9
1.4 二极管整流电路	9
1.4.1 单相半波整流电路	10
1.4.2 单相桥式整流电路	11
1.4.3 三相桥式整流电路	13
1.4.4 滤波电路	15
1.5 稳压二极管及其应用	19
1.5.1 稳压二极管特性与参数	19
1.5.2 稳压二极管稳压电路	21
1.6 光敏二极管	22
1.7 发光二极管	23
本章小结	24
习题	25
第 2 章 半导体三极管与基本放大电路	29
2.1 晶体三极管	29
2.1.1 基本结构	29

2.1.2	放大作用	31
2.1.3	特性曲线	33
2.1.4	主要参数	35
2.1.5	复合晶体管	37
2.2	场效应晶体管	39
2.2.1	基本结构	39
2.2.2	工作原理	40
2.2.3	特性曲线	42
2.2.4	主要参数	43
2.3	光敏三极管与光电耦合管	43
2.3.1	光敏三极管	43
2.3.2	光电耦合管	44
2.4	电压放大电路	46
2.4.1	放大电路的基本组成	46
2.4.2	放大电路工作情况分析	47
2.4.3	放大电路静态工作点稳定	57
2.5	射极输出器	60
2.5.1	射极输出器工作情况分析	60
2.5.2	射极输出器的应用	63
2.6	场效应管放大电路	64
2.6.1	静态分析	66
2.6.2	动态分析	66
2.7	多级放大电路	69
2.7.1	放大电路级间耦合	69
2.7.2	多级放大电路电压放大倍数	71
2.8	差动放大电路	73
2.8.1	差动放大电路基本原理	74
2.8.2	差动放大电路工作情况分析	78
2.8.3	差动放大电路共模抑制比	80
2.8.4	差动放大电路的输入、输出连接方式	84
2.9	功率放大电路	85
2.9.1	功率放大电路基本要求	86
2.9.2	功率放大电路工作状态	87
2.9.3	互补对称功率放大电路	88
2.9.4	集成功率放大电路	92

本章小结	93
习题	94
第3章 集成运算放大器	101
3.1 集成运算放大器的基本概念	101
3.1.1 组成原理	102
3.1.2 主要参数	104
3.1.3 传输特性	106
3.2 集成运算放大电路中的反馈	108
3.2.1 反馈基本概念	108
3.2.2 反馈类型和判断	110
3.2.3 具体负反馈电路分析	112
3.2.4 负反馈对放大电路性能影响	117
3.3 运算放大器使用时应注意的问题	121
3.3.1 选件	121
3.3.2 调零	121
3.3.3 消振	122
3.3.4 保护	122
本章小结	124
习题	125
第4章 集成运算放大器的应用	127
4.1 信号运算电路	127
4.1.1 比例运算电路	127
4.1.2 加法和减法运算电路	129
4.1.3 积分和微分运算电路	131
4.2 信号测量电路	135
4.2.1 电压表电路	135
4.2.2 电流表电路	137
4.2.3 测量放大器电路	138
4.3 信号处理电路	140
4.3.1 RC有源滤波电路	140
4.3.2 电压比较电路	143
4.3.3 半波精密整流电路	146
* 4.4 信号产生电路	148
4.4.1 矩形波发生电路	148
4.4.2 三角波发生电路	149

4.4.3 锯齿波发生电路	150
4.5 集成串联型稳压电路	151
4.5.1 运算放大器组成的串联型稳压电路	151
4.5.2 集成稳压电路	153
* 4.5.3 开关型稳压电路	155
本章小结	158
习题	160
第5章 正弦波振荡电路	166
5.1 正弦振荡电路的基本原理	166
5.1.1 自激振荡条件	166
5.1.2 自激振荡的建立与稳定	167
5.1.3 正弦振荡电路组成	168
5.2 RC 正弦振荡电路	168
5.2.1 RC 串并联电路选频特性	168
5.2.2 RC 桥式振荡电路	169
5.3 LC 正弦振荡电路	170
5.3.1 变压器反馈式	170
5.3.2 电容反馈式	172
5.3.3 电感反馈式	174
5.4 石英晶体正弦振荡电路	174
5.4.1 基本结构	175
5.4.2 等效电路	175
5.4.3 石英晶体正弦振荡电路	176
本章小结	177
习题	178
第6章 门电路与组合逻辑电路	181
6.1 数字电路概述	181
6.1.1 模拟量和数字量	181
6.1.2 数字电路举例	181
6.1.3 脉冲信号	183
6.2 数字电路中数的表示方法	184
6.2.1 计数制	184
6.2.2 二进制与十进制的相互转换	186
6.2.3 二—十进制	187
6.3 晶体管开关作用	187

6.4	逻辑门电路	190
6.4.1	基本逻辑门电路	190
6.4.2	TTL 门电路	194
6.4.3	CMOS 门电路	198
6.5	组合逻辑电路的分析与综合	200
6.5.1	逻辑代数的基本运算法则与定理	200
6.5.2	逻辑式的简化	201
6.5.3	逻辑门电路组合应用	206
6.6	数字集成组合逻辑电路	208
6.6.1	加法器	208
6.6.2	编码器	210
6.6.3	译码器与数码显示	213
6.6.4	数据选择器	218
6.6.5	数值比较器	220
	本章小结	222
	习题	223
第 7 章	触发器与时序逻辑电路	228
7.1	双稳态触发器	228
7.1.1	RS 触发器	228
7.1.2	JK 触发器	232
7.1.3	D 触发器	234
7.1.4	T 触发器和 T' 触发器	236
7.2	寄存器	237
7.2.1	数码寄存器	238
7.2.2	移位寄存器	239
7.2.3	集成寄存器	242
7.3	计数器	246
7.3.1	二进制计数器	246
7.3.2	十进制计数器	251
7.3.3	任意进制计数器与集成计数器	253
7.4	单稳态触发器	259
7.4.1	CMOS 积分型单稳态触发器	259
7.4.2	集成单稳态触发器	260
7.5	无稳态触发器	261
7.6	555 定时器与应用	262

7.6.1	555 定时器	263
7.6.2	由 555 定时器构成的单稳态触发器	264
7.6.3	由 555 定时器构成的多谐振荡器	266
* 7.7	应用举例	268
7.7.1	抢答电路	268
7.7.2	8 路彩灯控制器	269
7.7.3	数字电子钟	270
本章小结		271
习题		272
第 8 章 半导体存储器与可编程逻辑器件		278
8.1	只读存储器	278
8.1.1	ROM 结构	278
8.1.2	ROM 工作原理	279
8.2	随机存取存储器	282
8.2.1	RAM 结构	282
8.2.2	RAM 工作原理	283
8.2.3	2114 型静态 RAM 及其扩展	283
8.3	可编程逻辑器件	285
8.3.1	可编程只读存储器	286
8.3.2	可编程逻辑阵列	291
8.3.3	可编程阵列逻辑器件	293
8.3.4	通用阵列逻辑	294
本章小结		295
习题		295
第 9 章 模拟量与数字量的转换		297
9.1	数/模转换器	297
9.1.1	T 型电阻网络 DAC	298
9.1.2	倒 T 型电阻网络 DAC	300
9.1.3	集成电路 DAC	302
9.1.4	主要参数	303
9.2	模/数转换器	304
9.2.1	逐次逼近 ADC	304
* 9.2.2	双积分式 ADC	307
9.2.3	集成电路 ADC	309
9.2.4	主要参数	311

本章小结	312
习题	313
电子技术试题	314
部分习题答案	327
电子技术试题答案	343
中英文名词对照	348
参考文献	353
附录 A 半导体器件型号命名方法	354
附录 B 常用半导体分立器件参数	356
附录 C 半导体集成电路型号命名法	360
附录 D 常用半导体集成电路参数和符号	362
附录 E TTL 门电路、触发器和计数器的部分品种型号	363
附录 F 国标、部标和国外逻辑符号对照表	364
附录 G 触发器新、旧符号对照表	365

第 1 章 半导体二极管与整流电路

半导体器件具有体积小、重量轻、使用寿命长、耗电少等特点,是组成各种电子电路的核心器件,在当今的电子技术中占有主导地位。因此,了解半导体器件是学习电子技术的基础。

本章首先简要介绍半导体的基础知识;其次讨论二极管和稳压管的基本结构、工作原理、特性曲线、主要参数及简单应用。重点讨论二极管整流电路、滤波电路和稳压电路。

1.1 半导体的基础知识

半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间。常用的半导体材料主要有硅、锗、硒、砷化镓和一些氧化物等。下面以硅为例讨论半导体的导电特性。

1.1.1 本征半导体与掺杂半导体

硅和锗都属于四价元素,其原子的最外层轨道上有 4 个价电子,如图 1.1.1 所示。纯净的硅和锗呈晶体结构,原子排列整齐,且每个原子的 4 个价电子与相邻的 4 个原子所共有,构成共价键结构,如图 1.1.2 所示。当温度为绝对零度时,硅晶体不呈现导电性。当温度升高时,由于热激发,一些电子获得一定能量后会挣脱束缚成为自由电子。与此同时,在这些自由电子原有的位置上就留下相对应的空位置,称为空穴。空穴因失去一个电子而带正电,如图 1.1.3 所示。由于正负电相互吸引,空穴附近的电子会填补这个空位置,于是又产生新的空穴,又会有相邻的电

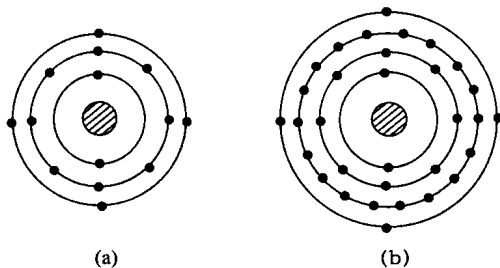


图 1.1.1 硅和锗的原子结构图

(a) 硅;(b) 锗

子来递补。如此继续下去,就好像空穴在运动,这就是所谓的空穴运动。由热激发而产生的自由电子和空穴总是成对出现的。

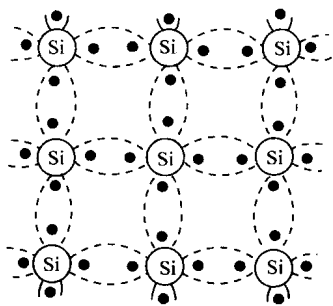


图 1.1.2 硅原子间的共价键结构

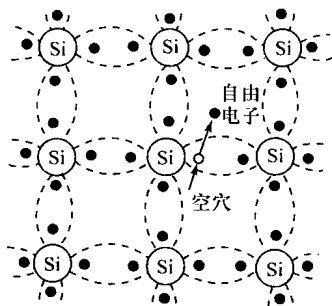


图 1.1.3 空穴和自由电子的形成

自由电子和空穴统称为载流子。

半导体材料在外加电场的作用下,自由电子和空穴按相反方向运动,构成的电流方向一致,所以半导体中的电流是电子流和空穴流之和。这是半导体和金属在导电原理上的本质区别。

半导体器件之所以在现代科学技术中得到如此广泛的应用,是由于其导电性能易受外界条件变化的影响,主要表现如下:

1. 热敏性

环境温度对半导体的导电能力影响很大。随着温度的升高,纯净半导体的导电能力显著增强。因而,可用半导体材料制成各种温度敏感元件,如热敏电阻等。

2. 光敏性

光照对某些半导体材料的导电能力影响很大。一些半导体材料受到光照时,载流子会剧增,导电能力也随之增强。利用这种特性可制成各种光敏器件,如光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光控晶闸管等。

3. 掺杂性

纯净的半导体中自由电子和空穴总是成对出现的,在常温下其数量有限,导电能力并不强,如果在纯净的半导体中掺入某些微量杂质(其他元素),其导电能力将会大大增强。

若在纯净的半导体硅或锗中掺入三价硼、铝等微量元素,由于这些元素的原子最外层有三个价电子,故在构成的共价键结构中由于缺少价电子而形成空穴。这些掺杂后的半导体的导电作用主要靠空穴运动,其中空穴是多数载流子,而热激发形成

的自由电子是少数载流子。因此,称这种半导体为空穴半导体或P型半导体。

若在纯净的半导体硅或锗中掺入五价磷、砷等微量元素,由于这些元素的原子最外层有五个价电子,故在构成的共价键结构中由于存在多余的价电子而产生大量自由电子。这种半导体主要靠自由电子导电,其中自由电子是多数载流子,热激发形成的空穴是少数载流子。因此,称这种半导体为电子半导体或N型半导体。

需要指出的是,不论是P型半导体还是N型半导体,虽然都有一种载流子占多数,但半导体都是中性的,对外不显电性。

1.1.2 PN结

采用适当工艺把P型半导体和N型半导体紧密连接后做在同一基片上,在两种半导体之间形成一个交界面。由于两种半导体中的载流子浓度的差异,将产生载流子的相对扩散运动。若P区的空穴浓度大于N区,P区的空穴要穿过交界面向N区扩散;同样若N区的自由电子浓度大于P区,N区的自由电子也要向P区扩散。扩散的结果是在交界面的P区侧留下带负电的离子,N区侧留下带正电的离子。这些不能移动的带电离子在交界面两侧形成了一个空间电荷区,产生一个由N区指向P区的电场,称为内电场,如图1.1.4所示。内电场一方面阻止多数载流子的继续扩散,即对P区的空穴、N区的自由电子的继续扩散起阻挡作用;另一方面内电场又促进少数载流子的运动,即促进P区的自由电子、N区的空穴的运动。这种少数载流子在内电场作用下的运动称为漂移。显然,多数载流子的扩散运动和少数载流子的漂移运动方向相反。

在空间电荷区开始形成时,扩散运动占优势,空间电荷区逐渐加宽,内电场逐渐加强。内电场的加强又使得漂移运动加强,扩散运动减弱,最后,扩散运动和漂移运动达到动态平衡,在P区和N区的交界面上形成一个宽度稳定的空间电荷区——PN结。在PN结内,大都是不能移动的正负离子,自由电子和空穴大都复合,载流子极少,所以电阻率极高,又称为耗尽层。

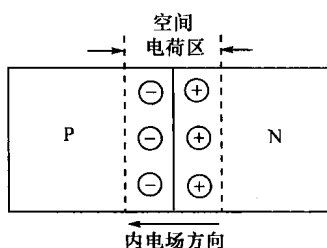


图 1.1.4 PN结的形成

实际工作中,PN结上总有外加电压,称为偏置。

若将P区接电源正极,N区接电源负极,称为正向偏置,简称正偏,如图1.1.5(a)所示。由图可见,外电场与内电场方向相反,空间电荷区变薄,多数载流子的扩散运动加强,形成较大的正向电流,电流方向从P区到N区。在一定范围内,外加电场越强,正向电流越大,此时PN结呈低阻导通状态。

若将P区接电源负极,N区接电源正极,称为反向偏置,简称反偏,如图1.1.5(b)所示。由图可见,外电场和内电场方向一致,空间电荷区变宽,多数载流子的扩