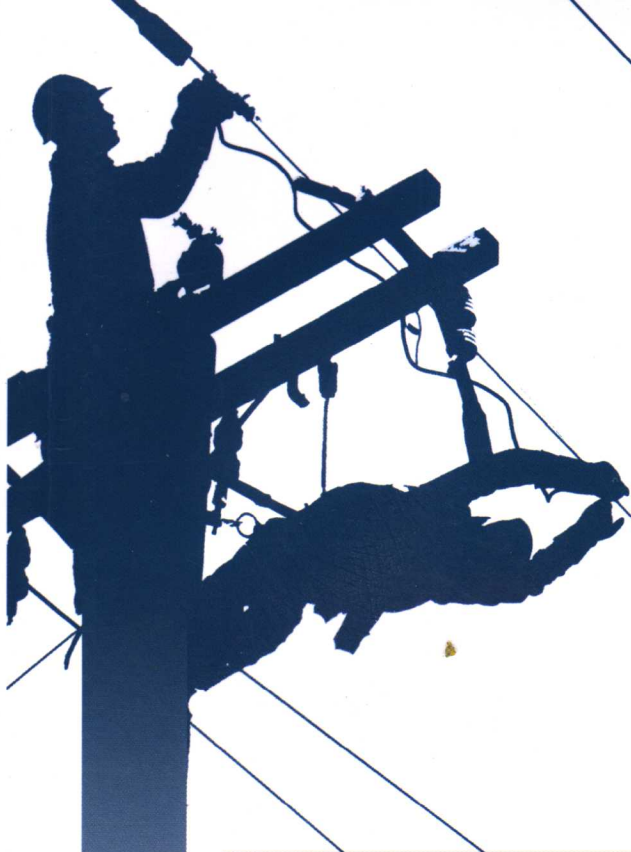




实用电子技术基础

陈 华 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

第 1 章 绪论
第 2 章 电路的基本概念和基本定律
第 3 章 电阻电路的分析和计算
第 4 章 正弦交流电路
第 5 章 三相电路
第 6 章 非正弦周期电流电路
第 7 章 动态电路分析
第 8 章 线性电路的等效电路
第 9 章 互感和耦合电感
第 10 章 变压器
第 11 章 运算放大器
第 12 章 集成运放的应用
第 13 章 数字电路
第 14 章 组合逻辑电路
第 15 章 时序逻辑电路
第 16 章 半导体二极管
第 17 章 三极管
第 18 章 场效应管
第 19 章 功率放大电路
第 20 章 直流稳压电源
第 21 章 集成稳压电源
第 22 章 直流电动机
第 23 章 交流电动机
第 24 章 继电接触器控制
第 25 章 可编程序控制器
第 26 章 变频器
第 27 章 伺服电动机
第 28 章 步进电动机
第 29 章 传感器
第 30 章 执行机构
第 31 章 工业控制网络
第 32 章 工业控制计算机
第 33 章 工业控制系统的组成
第 34 章 工业控制系统的控制策略
第 35 章 工业控制系统的控制设备
第 36 章 工业控制系统的控制工程
第 37 章 工业控制系统的控制工程应用
第 38 章 工业控制系统的控制工程应用案例
第 39 章 工业控制系统的控制工程应用案例
第 40 章 工业控制系统的控制工程应用案例

实用电子技术基础

第二版

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



电 工 技 术 培 训 读 本

实用电子技术基础

陈 华 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

本书是《电工技术培训读本》之一,对于电子技术最基本的基础知识做了较详细的叙述,同时又介绍了一些实用电子电路、实用技术知识,以使读者尽早了解实用的电子技术专业知识。突破学科体系的束缚,着眼于职业能力培养的需要组织内容。注重理论联系实际,内容精练、实用,通俗易懂,且有一定的理论深度。每章有学习目标,提出具体的要求,且每章后有思考练习题,便于自学及组织培训。

本书可作为工业企业的电气技术人员的培训教材,也可作为高职、高专院校自动化、电气技术、机电一体化及相近专业的选用教材。

图书在版编目(CIP)数据

实用电子技术基础/陈华主编. —北京:化学工业出版社,
2006.10

(电工技术培训读本)

ISBN 978-7-5025-9335-3

I. 实… II. 陈… III. 电子技术-技术培训-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 120217 号

电工技术培训读本 实用电子技术基础

陈 华 主 编

责任编辑:赵丽霞 刘 哲

文字编辑:徐卿华

责任校对:李 林

封面设计:于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010) 64982530

(010) 64918013

购书传真:(010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9½ 字数 250 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9335-3

定 价:20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

随着科学技术的发展，电气化程度正在日益提高，电气工作人员的综合素质，直接影响到电气设备的安装、维护和检修质量，关系到工厂企事业单位的正常运行和经济效益。应广大电气工作人员的要求，化学工业出版社组织南京化工职业技术学院、中国石化集团公司南京化学工业有限公司、南京工程学院、南京化工技工学校、江苏海事职业技术学院、中国石化集团公司扬子石化公司培训中心等单位编写了《电工技术培训读本》丛书，包括《电路与电工测量》、《实用电子技术基础》、《电机应用技术》、《电气控制与可编程控制器》、《工厂供配电技术》、《电工材料》、《继电保护与综合自动化系统》、《电气运行与管理技术》、《工厂电气试验》。

为保证本套丛书的质量，成立了电工技术培训读本编写委员会，编写人员均为生产一线具有丰富生产经验的工程技术专家、高级技师或具有多年丰富的教育培训教学经验的教师。根据劳动和社会保障部颁发的《职业技能鉴定规范》中电工的“知识要求”，结合工厂企业的生产特点，借鉴当前电工的实际工作经验，为电工的职业教育、职业培训和电工的职业技能鉴定，提供一套具有充实内容的教材和参考书。

全套培训读本在编写过程中，着眼于工厂现状，以目前使用较普遍的和以后预计使用量会增加的电气设备为主，适当地考虑到今后发展和提高的要求。本着突出针对性、典型性、实用性的原则，并注意工人培训的特点，内容精练、实用，注重理论联系实际，学以致用，且有一定的理论深度。每章有学习目标，提出具体的要求，并且章后有思考与练习，贯彻以培训为主的原则。本套读本通俗易懂，易学实用。不仅适用于具有初中以上文化程度、没有经过系统专业培训的从事电力系统运行与维护的人员，而且对于从事现

场电气专业设计、安装、运行维修的电工、工程技术人员，也有一定的参考价值。

本书是《电工技术培训读本》之一，对电子技术最基本的基础知识做了较详细的叙述，同时又介绍了一些实用电子电路、实用技术知识，以使读者尽早了解实用的电子技术专业知识。突破学科体系的束缚，着眼于职业能力培养的需要组织教学内容。全书共分 8 章，包括电子电路和电子系统的基本知识、电子器件基本知识、模拟电路、数字电路、实用功能电路，同时还注意介绍新型电子器件、先进的分析设计方法。在内容安排上，尽量减少复杂的理论计算和理论推导，以掌握基本概念，培养实际应用技能为重点，通俗易懂，便于培训和自学，并力求具有一定的先进性和实用性。本书由陈华任主编，并编写了第 3 章，杨玉萍编写了第 1 章、第 2 章，季明丽编写了第 4 章、第 5 章，金玮编写了第 6 章、第 7 章、第 8 章。全书由陈华统稿。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请广大读者及同行批评指正。

编 者

2006 年 8 月

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的概念	1
1.1.2 半导体的导电性	1
1.1.3 本征半导体	2
1.1.4 杂质半导体	6
1.2 PN 结	9
1.2.1 PN 结的形成	9
1.2.2 PN 结的单向导电性	11
1.3 半导体二极管	13
1.3.1 半导体二极管的结构、种类、符号	13
1.3.2 半导体二极管的伏安特性	14
1.3.3 半导体二极管的主要参数	16
1.4 特殊二极管	19
1.4.1 稳压二极管	19
1.4.2 光敏二极管	21
1.4.3 发光二极管	21
1.5 半导体三极管	22
1.5.1 基本结构	22
1.5.2 电流分配和电流放大作用	24
1.5.3 特性曲线	26
1.5.4 主要参数	28
1.6 场效应管	29
1.6.1 N 沟道增强型绝缘栅场效应管	29
1.6.2 N 沟道耗尽型绝缘栅场效应管	32

思考与练习	33
第 2 章 交流放大电路	36
2.1 基本放大电路的组成及各元件的作用	36
2.2 放大电路的静态分析	38
2.2.1 计算法确定静态工作点	38
2.2.2 图解法确定静态工作点	39
2.3 放大电路的动态分析	41
2.3.1 放大电路的动态工作情况	41
2.3.2 微变等效电路法	42
2.4 静态工作点的设置与稳定	47
2.4.1 静态工作点的设置	47
2.4.2 静态工作点的稳定	49
2.5 射极输出器	52
2.5.1 静态工作点的计算	52
2.5.2 动态分析计算	53
2.6 阻容耦合多级放大电路	54
2.7 场效应管放大电路	58
2.8 功率放大电路	61
2.8.1 功率放大电路的效率问题	62
2.8.2 乙类互补对称式功率放大器	63
2.8.3 甲乙类互补对称式功率放大器	65
思考与练习	68
第 3 章 模拟集成放大器及应用	72
3.1 差分放大电路	72
3.1.1 电路的组成	72
3.1.2 差分放大电路特性	73
3.1.3 共模抑制比	73
3.1.4 抑制零点漂移	74
3.1.5 输入电阻的提高	74
3.2 集成放大器基础	75

3.2.1	集成放大器概述	75
3.2.2	集成放大器的结构及主要参数	76
3.2.3	理想集成放大器及其分析重点	79
3.3	集成放大器的应用举例	82
3.3.1	集成放大器组成的三种基本实用放大器	82
3.3.2	集成放大器的线性应用	84
3.3.3	集成放大器应用技术	91
	思考与练习	92
第4章	晶闸管及其应用电路	96
4.1	晶闸管的工作原理及主要参数	96
4.1.1	晶闸管的可控单相导电性	96
4.1.2	晶闸管的工作原理与特性	100
4.1.3	晶闸管的主要特性参数	105
4.2	单相可控整流电路	114
4.2.1	单相半波可控整流电路	114
4.2.2	单相全波可控整流电路	125
4.2.3	单相桥式可控整流电路	132
4.3	单结晶体管触发电路	143
4.3.1	单结晶体管的结构	143
4.3.2	单结晶体管自激振荡电路	145
4.3.3	单结晶体管同步触发电路	149
4.4	晶闸管可控整流应用实例	151
	思考与练习	156
第5章	直流稳压电源	159
5.1	整流、滤波电路	159
5.1.1	单相整流电路	159
5.1.2	滤波电路	165
5.2	串联稳压电路	171
5.2.1	稳压管稳压电路	171
5.2.2	限流电阻的选择	173

5.2.3 串联负反馈式稳压电路	173
5.3 集成稳压器简介	179
5.4 三端稳压器典型应用电路举例	184
思考与练习	186
第6章 门电路与组合逻辑电路	190
6.1 数字逻辑基础	190
6.1.1 数字信号与数字电路的特点	190
6.1.2 数制及其相互间的转换	191
6.1.3 逻辑代数	195
6.1.4 逻辑代数的公式和逻辑函数的公式化简法	197
6.1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	200
6.2 TTL 集成逻辑门电路	210
6.2.1 最简单的门电路	210
6.2.2 TTL 集成门电路	213
6.3 CMOS 门电路	217
6.3.1 CMOS 集成门电路特点	217
6.3.2 CMOS 门电路	218
6.4 组合逻辑电路及应用举例	219
6.4.1 编码器与译码器	219
6.4.2 数据选择器与数据分配器	225
6.4.3 组合逻辑电路的分析	227
6.4.4 组合逻辑电路的设计	229
思考与练习	234
第7章 触发器与时序逻辑电路	237
7.1 触发器	237
7.1.1 基本 R-S 触发器	237
7.1.2 同步 R-S 触发器	239
7.1.3 主从式 J-K 触发器	241
7.1.4 D 触发器	245
7.1.5 T 触发器	246

7.2 寄存器	247
7.2.1 寄存器	247
7.2.2 移位寄存器	248
7.3 计数器	250
7.3.1 二进制计数器	250
7.3.2 十进制计数器	253
7.3.3 N 进制计数器	255
7.4 555 集成定时器及应用举例	257
7.4.1 555 定时器电路结构	258
7.4.2 用 555 定时器构成单稳态触发器	259
7.4.3 用 555 定时器构成多谐振荡器	261
7.4.4 用 555 定时器构成施密特触发器	262
7.5 时序逻辑电路的应用	263
7.5.1 用 74LS175 构成智力竞赛 4 人抢答器	263
7.5.2 用 74LS194 构成四相时序脉冲产生器	264
7.5.3 用 74LS195 构成模 12 同步计数器	265
7.5.4 用 74LS161 采用反馈置零法构成九进制加法 计数器	266
7.5.5 用 74LS161 采用反馈置数法构成九进制加法 计数器	268
7.5.6 用 74LS290 采用级联法构成二十四进制 计数器	268
思考与练习	269
第 8 章 数模转换和模数转换	273
8.1 数模转换器	273
8.1.1 数模转换原理和一般组成	273
8.1.2 权电阻网络 DAC	275
8.1.3 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 DAC	277
8.1.4 数模转换器的主要技术指标	278
8.2 模数转换器	279

8.2.1 模数转换原理和组成	279
8.2.2 逐次比较型模数转换器	281
8.2.3 双积分型模数转换器	283
8.2.4 模数转换器的主要技术指标	285
思考与练习	286
参考文献	287

第 1 章 半导体器件

学习目标

1. 了解半导体的基本知识，掌握 PN 结的单向导电性。
2. 掌握普通二极管和稳压管的伏安特性，熟悉其工作特点、主要参数，掌握二极管电路的基本分析方法。
3. 了解半导体三极管和场效应管的结构，掌握其伏安特性，熟悉其工作原理、主要参数。

半导体器件是近代电子学的重要组成部分。半导体器件具有体积小、重量轻、功耗低、可靠性强等优点，在各个领域中得到了广泛的应用。由于集成电路的出现，使电子器件在微型化和可靠性方面更是向前推进了一大步。

半导体二极管和三极管是最常用的半导体器件，而 PN 结又是组成二极管和三极管及各种电子器件的基础。本章首先介绍有关半导体的基本知识，然后重点介绍二极管和三极管的结构、工作原理、特性曲线与主要参数等，为后面各章的学习打下基础。

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 半导体的概念

在自然界的事物中，存在着这样一类物质，其导电能力介于导体与绝缘体之间，因而称它们为半导体。导体如金、银、铜、铝等；绝缘体如橡胶、云母、陶瓷等；典型的半导体材料则有硅、锗、硒及其某些金属氧化物、硫化物等，其中，用来制造半导体器件最多的半导体材料是硅和锗。

1.1.2 半导体的导电性

半导体之所以用来制造半导体器件，并不在于其导电能力介于

导体与绝缘体之间，而是在于其独特的导电性能，主要有以下几方面。

① 半导体的导电能力对温度反应灵敏，受温度影响大。当环境温度升高时，其导电能力增强，称为热敏性。

② 半导体的导电能力随光照的不同而不同。当光照增强时，导电能力增强，称为光敏性。根据热敏性和光敏性这两个特殊性质，人们制造出了热敏元件和光敏元件。

③ 半导体更为独特的导电性能体现在其导电能力受杂质影响极大，称为掺杂特性。这里所说的“杂质”，是指某些特定的纯净的其他元素。在纯净半导体中，只要掺入微量的杂质，导电能力即急剧增加，一个典型的数据是：在纯净硅中，如果掺入百万分之一硼，其导电能力增加约 50 万倍。

1.1.3 本征半导体

纯净的成单晶形式存在的半导体称为本征半导体，而用来制造半导体器件的硅、锗等材料，必须是经过加工、提炼的单晶半导体。物质的原子结构决定了物质的性质，因此，有必要先来了解一下半导体的原子结构及其导电性能的形成。

(1) 典型半导体的原子结构 自然界中的物质均由原子组成，原子又由带正电的原子核和若干带负电的电子组成。这些电子分层绕核运动。同一原子中，内层电子受核的吸引力大，外层电子所受吸引力小，而影响物质导电性能的主要是外层电子。最外层的电子数即为该元素的化合价数，因此，将最外层的电子称为价电子。

在本征硅（锗）的晶体结构中，硅（锗）原子按一定规律整齐排列，组成了一定形式的空间点阵。

典型半导体硅与锗的原子结构如下。

硅：元素符号 Si，序号 14，各层电子数目分别为 2、8、4，其结构示意如图 1-1(a) 所示。可见，硅为 4 价元素。

锗：元素符号 Ge，序号 32，各层电子数目分别为 2、8、18、4，其结构示意如图 1-1(b) 所示。显然，锗也是 4 价元素。

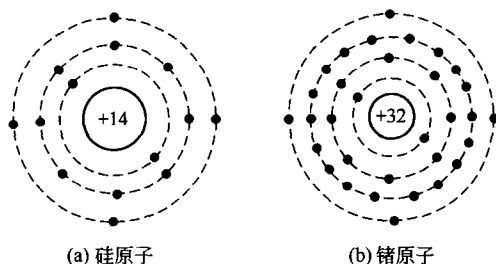
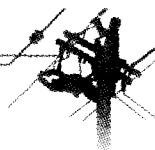


图 1-1 原子结构

(2) 半导体的结构特征——共价键结构 如前所述，用来制造半导体器件的硅、锗等材料，其原子排列均为紧密的晶体点阵结构，而硅或锗的原子结构最外层都是 4 个价电子。但是，对于原子结构而言，最外层有 8 个电子才是稳定结构，因此每个原子都要争夺相邻的 4 个价电子，以求达到稳定状态，结果是使得每个原子最外层的 4 个价电子，都既受自身原子核的吸引，围绕自身的原子核转动，由于结构

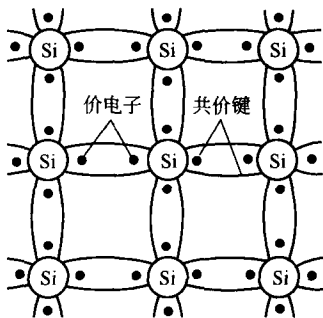


图 1-2 共价键结构

紧密，它们又受相邻原子核的吸引，经常出现在相邻原子的价电子轨道上，这样就形成了一种特殊的结构，从而使每个硅（锗）原子最外层形成了拥有 8 个共有电子的相对稳定的结构。由于每对价电子是每两个相邻原子所共有的，因而将这种结构称为“共价键”结构。这里特别需要指明的一点是：共价键结构是半导体结构的最大特征，如图 1-2 所示。

(3) 热激发与电子-空穴对的产生 共价键结构把相邻的原子结合在一起，由于每个原子的最外层均有 8 个电子，因而处于相对稳定的状态。但是，也正是由于共价键的特殊结构方式，使得原子最外层的共有电子不像绝缘体中被原子核束缚得那样紧。在一定温

度下,当共价键中的价电子受到热激励,或从外部获得能量时,共价键中的某些价电子就可以挣脱原子核的束缚,而成为自由电子。温度越高,热运动越厉害,挣脱束缚的电子就越多。

共价键中的价电子在外部能量作用下,脱离共价键成为自由电子的过程叫做“激发”,或称“热激发”。电子脱离共价键束缚所需的最小能量叫“激活能”,用 E_g 表示。硅的激活能为 1.1eV (电子伏);锗的激活能为 0.68eV 。光照与热辐射都是激活能的来源。

既然有些价电子挣脱了原子核的束缚而成为自由电子,在原来的共价键中,便留下一些“空位”,称为“空穴”。自由电子呈负电性,而失去一个价电子的硅原子则成为 $+1$ 价离子,故好像这个空位带有 $+1$ 价电荷一样,因此空穴呈正电性。自由电子与空穴都将作为运载电流的粒子而存在,统称为“载流子”。在外界能量激发下,空穴会被相邻原子的价电子填补,而在这个价电子原来的位置上又出现了新的空穴。

空穴载流子的出现,是半导体导电特性的一个重要特点。必须指出的是,这些自由电子与空穴在热运动中出现,数量总是相等的,即出现一个自由电子,就出现一个空穴,自由电子与空穴总是相伴而生,成对出现。这样,在半导体中,就有自由电子与空穴两种载流子,即电子载流子和空穴载流子,它们形成的电流分别称为电子电流与空穴电流。载流子数目的多少,是衡量半导体导电能力的标志。而载流子的浓度是随温度的增加按指数规律增大的,这就导致半导体的导电能力随温度的增加而显著增加。这一点正是前面指出的导电特性之一的热敏性。

上述物理过程如图 1-3 所示。



图 1-3 电子-空穴对的产生



(4) 半导体的导电方式 既然晶体管出现了带正电的空穴，那么，它将很容易吸引相邻原子中的价电子来填补空穴（注意，这里所说吸引的电子，是指相邻原子中仍被原子核束缚却又束缚不紧的价电子，而不是自由电子），当一个价电子填补了空穴，它原来的位置上又出现了新的空穴，这样，从效果上和现象上，都可以看成是带正电的空穴在晶格中移动，这就是“空穴运动”，如图 1-4 所示。这种填补运动是由于空穴的产生引起的，它始终在原子的共价键之间进行，因而不同于自由电子在晶格中的自由运动。为了区别这两种不同的运动方式，可把价电子填补空穴的运动看作是空穴的逆向运动。就原子而言，它失去了一个价电子，出现了一个空穴，空穴可被看作是带正电荷的粒子，即空穴载流子。

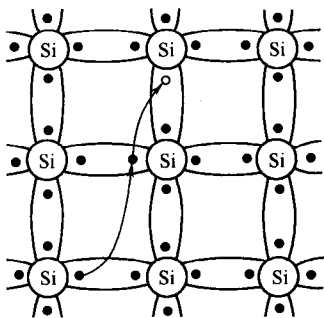


图 1-4 空穴运动

由于电子带负电，空穴带正电，就整个晶体而言，它仍呈中性。

当半导体两端外加电压时，一方面是带负电的自由电子向正极作定向运动，另一方面是被原子核束缚的价电子递补空穴向负极移动（即空穴运动），两种载流子分别形成了电子流，尽管电荷极性不同，但电流方向相同。

因此得到结论，在半导体导电过程中，同时存在着空穴导电与电子导电两种导电方式，而且电子和空穴形成的电流方向相同，即半导体中的电流为电子电流与空穴电流之和。两种导电方式同时存在，是半导体导电机制的最大特点，也是半导体导电与导体导电在导电原理上的最大区别。

(5) 电子-空穴对的复合与动态平衡 在热激发情况下，电子-空穴对的产生只是问题的一个方面，问题的另一方面是，由于自由电子处在热运动中，它总有可能碰到空穴，并与空穴重新组合而消