



教育部中等专业学校规划教材

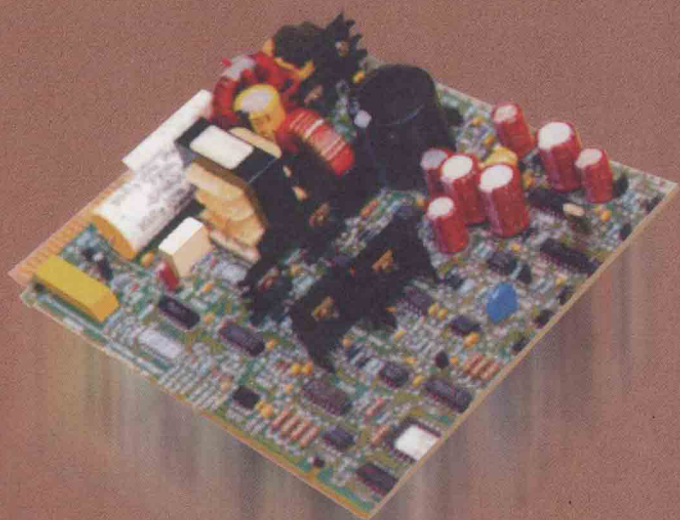
非电专业通用

工业电子学

(第三版)

沈裕钟 王书城 编

沈裕钟 主编



高等教育出版社

教育部中等专业学校规划教材

非电专业通用

工业电子学

(第三版)

沈裕钟 王书城 编

沈裕钟 主编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

工业电子学 / 沈裕钟主编. — 3 版. — 北京: 高等教育出版社, 1999 (2005 年重印)

ISBN 7-04-006699-8

I. 工… II. 沈… III. 电子学 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 12258 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店上海发行所		
印 刷	上海复旦四维印刷有限公司		
开 本	850 × 1168 1/32	版 次	1978 年 12 月第 1 版
印 张	12.125		1998 年 12 月第 3 版
字 数	310 000	印 次	2005 年 8 月第 12 次
		定 价	18.30 元

凡购买高等教育出版社图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书在沈裕钟主编《工业电子学》(第二版)基础上重新修订和编写而成。本书与第二版相比,作了较大修改,删去了一些章节,增加了集成电路、运算放大器、数字电路等内容,使本版教材内容得到进一步更新。同时还增加了联系实际的内容,使本书的应用性进一步有所提高。全书的图形符号、文字符号均采用新的国家标准。

本书的主要内容有:晶体二极管整流、滤波、稳压电路,晶体管放大电路,集成运算放大器,晶体管正弦波自激振荡器,晶闸管及其应用,数字电路基础,数字逻辑部件等。本书可作为中等专业学校工业电子学课程的教材、职业技术教育和成人教育的培训教材,也可供有关人员自学和参考。

第三版前言

本书参照 1998 年全国中专电工学与工业电子学课程组修订的“工业电子学”教学大纲,结合本门课程近年来的改革与发展,在沈裕钟主编《工业电子学》(第二版)的基础上重新修订和编写而成。

本书按照工业电子学课程的基本要求,精选教学内容,力求做到深浅适度,主次分明。在内容阐述方面,以定性分析为主,着重于物理概念的介绍;在文字方面,力求通顺、流畅,便于学生理解和学习。

本书与《工业电子学》(第二版)相比,主要作了如下修改:(1)进一步简化了半导体器件内部物理过程的叙述,着重于介绍它们的伏安特性和应用;(2)删去了变压器耦合功率放大电路,结型场效应管,分立元件的脉冲电路,电子管等内容;(3)适当增加了集成电路,运算放大器,数字电路等内容。在数字电路中,主要介绍新型号中规模集成电路的应用,以进一步更新教材内容;(4)适当增设了一些应用电路和系统举例,以进一步加强教材的应用性;(5)全书的图形符号和文字符号均改用新的国家标准 GB4728—85《电气图用图形符号》、GB6988—86《电气制图》、GB7159—87《电气技术中的文字符号制定通则》中规定的符号。

为了适应不同专业的教学需要,书中编有一些带“*”号的内容,可供选用和参考。

本书第一、二、三、四、五章由南京机械高等专科学校沈裕钟修改重编,第六、七章由南京机械高等专科学校王书城修改重编,全书由沈裕钟主编。

本书由东南大学自动控制系刘京南教授、李桂安副教授、戴义

保副教授审阅,刘京南教授为主审。他们在百忙中仔细地审阅书稿,提出了详尽的修改意见,编者在此表示衷心感谢。

本书前两版得到了许多师生和读者的关怀,提出了很多宝贵的意见和建议,编者在此也表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中仍可能存在错误和不当之处,殷切期望本书的读者给予批评指正,以利今后修订提高。

编 者

1998.6

目 录

绪 论	1
第一章 晶体二极管及整流电路	4
1-1 半导体的基本知识	4
(一) 本征半导体	5
(二) 掺杂半导体	8
(三) PN 结的形成及其特性	9
1-2 晶体二极管	12
(一) 晶体二极管的结构	12
(二) 晶体二极管的伏安特性	14
(三) 晶体二极管的主要参数	15
1-3 单相整流电路	16
(一) 单相半波整流电路	16
(二) 单相桥式整流电路	18
1-4 滤波电路	21
(一) 电容滤波	23
(二) 电感滤波	27
(三) 复式滤波	28
1-5 硅稳压管和简单并联型直流稳压电路	30
(一) 硅稳压管	31
(二) 简单并联型直流稳压电路	33
习题	35
第二章 晶体管放大电路	40
2-1 晶体三极管	40
(一) 晶体三极管的结构	40
(二) 晶体三极管的电流放大作用	42
(三) 晶体三极管的输入和输出特性曲线	46

(四) 晶体三极管的三个工作区	48
(五) 晶体三极管的主要参数	49
2-2 交流电压放大器的工作原理和图解法	53
(一) 单管交流电压放大器的组成	54
(二) 设置静态工作点的必要性	56
(三) 采用图解法对放大电路的静态和动态进行分析	59
(四) 输出端带有负载电阻的放大器	63
(五) 电路参数对放大器工作性能的影响	67
2-3 采用微变等效电路法对小信号放大器的动态进行分析	69
(一) 晶体管的简化微变等效电路	69
(二) 采用微变等效电路法对共射放大器的动态进行分析	72
2-4 偏置电路及静态工作点的稳定	75
(一) 温度对静态工作点的影响	75
(二) 分压式电流负反馈偏置电路	76
2-5 阻容耦合多级电压放大器	79
(一) 阻容耦合两级电压放大器	80
(二) 放大器的输入电阻和输出电阻	81
(三) 多级放大器的电压放大倍数	85
2-6 放大电路中的负反馈	87
(一) 反馈的基本概念	87
(二) 串联电流负反馈放大电路	88
(三) 射极输出器	92
(四) 负反馈对放大电路性能的影响	97
2-7 绝缘栅场效应管及其放大电路	99
(一) N 沟道绝缘栅场效应管	100
(二) P 沟道绝缘栅场效应管	105
(三) 绝缘栅场效应管的基本放大电路	105
(四) 绝缘栅场效应管使用中的注意事项	107
2-8 功率放大电路	108
(一) 功率放大电路的特点和分类	108
(二) 互补对称功率放大电路	111
2-9 晶体管放大电路的应用举例	119

2-10 直接耦合放大电路	122
(一) 直接耦合放大电路的主要问题	122
(二) 差动放大电路	126
习题	131
第三章 集成运算放大器	139
3-1 集成电路概述	139
3-2 集成运放的基本组成和电压传输特性	142
(一) 集成运放的基本组成和图形符号	142
(二) 集成运放的主要参数	144
(三) 集成运放的电压传输特性	146
(四) 理想化的集成运放	147
3-3 集成运放的三种输入方式	148
(一) 反相输入方式	148
(二) 同相输入方式	151
*(三) 双端输入方式	153
3-4 集成运放的应用举例	155
(一) 组成运算器用于模拟数学运算	155
(二) 组成比较器用于对输入信号进行比较	159
(三) 组成直流稳压电源	163
(四) 组成 PI 调节器用于自动控制	166
*(五) 组成高精度的测量放大器用于信号检测	169
3-5 集成运放的使用常识	172
习题	175
第四章 晶体管正弦波自激振荡器	180
4-1 自激振荡器的基本原理	180
4-2 LC 振荡器	184
(一) LC 回路的选频特性	184
*(二) 变压器反馈式振荡器	186
4-3 LC 振荡器的应用举例	188
4-4 RC 振荡器	191
(一) RC 回路的选频特性	191
(二) RC 振荡器的工作原理	194

*4-5 石英晶体振荡电路	195
(一) 石英晶体谐振器的构造及其电特性	196
(二) 石英晶体振荡电路	199
习题	201
第五章 晶闸管及其应用	205
5-1 晶闸管应用概述	205
5-2 晶闸管的结构和工作原理	206
(一) 晶闸管的结构	206
(二) 晶闸管的工作原理	208
(三) 晶闸管的主要参数和型号	212
5-3 单相半波可控整流电路	213
(一) 电阻性负载的半波可控整流电路	214
(二) 电感性负载的半波可控整流电路	217
5-4 单相桥式可控整流电路	220
(一) 单相半控桥式整流电路	220
* (二) 用晶闸管作为开关管的单相桥式可控整流电路	221
5-5 晶闸管的保护	224
(一) 晶闸管的过电流保护	224
(二) 晶闸管的过电压保护	226
5-6 晶闸管的触发电路	228
(一) 单结晶体管	228
(二) 单结晶体管的弛张振荡电路	231
(三) 用单结晶体管触发的可控整流电路	233
(四) 带放大环节的单结晶体管触发电路	237
5-7 晶闸管的应用举例	238
(一) 晶闸管直流电动机调速系统	238
(二) 双向晶闸管及交流调压电路	241
习题	245
第六章 数字电路基础	249
6-1 数字电路的特点	249
6-2 晶体管的开关作用	252
6-3 二进制数及其运算	255

(一) 常用的计数进位制	255
(二) 二进制数与十进制数的换算	258
(三) 二进制数的四则运算	259
6-4 逻辑代数基础	261
(一) “与”逻辑和“与”运算	262
(二) “或”逻辑和“或”运算	262
(三) “非”逻辑和“非”运算	263
(四) 逻辑代数的运算法则和基本定律	264
* (五) 逻辑函数的化简	265
6-5 基本逻辑门电路	268
(一) “与”门电路	268
(二) “或”门电路	270
(三) “非”门电路	271
(四) 复合门电路	272
6-6 集成逻辑门电路	274
(一) TTL 集成“与非”门电路的工作原理	274
(二) TTL 集成“与非”门的电压传输特性和主要参数	276
* (三) 三态输出“与非”门电路	279
(四) MOS 门电路简介	281
6-7 组合逻辑电路的分析方法	284
6-8 触发器	288
(一) 基本 $R-S$ 触发器	289
(二) 同步 $R-S$ 触发器	291
(三) 主从 $J-K$ 触发器	293
(四) D 触发器	297
习题	299
第七章 数字逻辑部件	307
7-1 加法器	307
(一) 半加器	307
(二) 全加器	308
* (三) 多位加法器	310
7-2 寄存器	312

(一) 数码寄存器	313
(二) 移位寄存器	314
* (三) 双向移位寄存器	315
7-3 计数器	317
(一) 二进制计数器	318
(二) 十进制计数器	325
7-4 数字显示器件与译码器	333
(一) 数字显示器件	333
(二) 译码器	334
*7-5 脉冲波形的产生	342
(一) 555 定时器的工作原理	342
(二) 由 555 定时器组成的单稳态触发器	343
(三) 由 555 定时器组成的多谐振荡器	345
7-6 数字电路应用举例	347
(一) 数字转速表	347
(二) 数字电子钟	348
* (三) 三相六拍步进脉冲分配器	349
习题	352
附录一 半导体器件型号命名方法	357
附录二 部分半导体器件的主要参数	360
附录三 半导体集成电路型号命名方法	366
附录四 常用电阻器、电容器的标称系列值	369
部分习题答案	371
参考书目	375

绪 论

工业电子学是研究电子技术在工业中应用的一门学科。

工业电子学的应用极其广泛,现仅就其主要的应用简单介绍如下:

(1) 能量和信号的转换

应用电子器件可以实现能量转换。例如:用半导体二极管可以组成整流电路,把交流电能转换为直流电能;用晶体三极管可以组成放大电路,把微弱的电信号加以放大,实现以小能量控制大能量的作用;用晶闸管可以组成可控整流电源和变频装置,从而使交、直流电动机实现无级调速;用三极管可以组成振荡器,把直流电能转换为高频交流电能,对零件进行表面热处理等。

(2) 自动控制

应用电子器件可以组成各种线路和装置,以实现自动控制。例如:用电子器件组成无触点开关,实现无触点控制;组成各种继电器(电子时间继电器、光电继电器等),实现时间、光电等各种控制;组成各种逻辑电路和运算电路,实现程序控制和数字控制等。

(3) 检验和测量

应用电子器件还可以组成各种测量线路,实现物理量的检验和测量。例如:检验和测量炉温、锅炉的蒸汽流量、机械振动、零件表面光洁度和内部缺陷、罐头食品的真空度等。

(4) 数据的运算和处理

随着电子技术的迅速发展,出现了电子计算机。它的出现为计算技术和工业自动化开辟了一个新的时代。利用电子计算机,

可以把大量的资料进行统计和分类,使企业的规划、管理现代化;可以使复杂的生产过程实现自动化。

总之,现代一切新的科学技术的发展无不与电子技术的应用有着密切的联系。

电子技术日新月异,发展很快。目前,它不仅在工农业生产上有极广泛的应用,而且已普遍地渗透到国民经济的各个部门并起着重要作用。因此,非电专业的工程技术人员除需要掌握本专业的知识外,还需要学习工业电子学。这样,在工作中就能开阔思路,学习和应用先进技术,以适应经济建设和发展的需要。

工业电子学的内容很广泛,对初学者来说常感到新的概念多,电路的形式多,不易掌握。针对这种情况,下面对如何学好工业电子学提几点建议:

(1) 对基本概念要理解清楚,这是学好本课程的前提。对电路的工作原理要能作较深入的定性分析,了解其物理过程。定量估算仅是进一步加深对内容的理解和巩固。在学习中不必片面追求估算值的精确程度。因为在电子电路中,即使进行严密计算也不一定能得到和实际完全符合的结果,最终还需要进行实验调整。

(2) 电子电路不同于单一的直流电路或交流电路。交流和直流往往共存于同一电子电路之中,在分析这种电路时,要分清它的直流通路和交流通路;要分清静态和动态工作情况;要搞清楚直流量和交流量之间的相互联系。

(3) 电子电路的工作原理常比较复杂,有时与很多因素有关。我们要善于分清主次,考虑主要因素,略去次要因素,采用近似分析方法。在研究电子电路时,近似分析方法具有很重要的实际意义。否则,由于涉及的因素过多,致使问题复杂化,甚至无从解决。

(4) 在学习中要经常注意总结对比,找出各章节的相互联系和区别。遇到难点时,首先要了解问题是怎样提出的,有什么矛盾,最后又是怎样一步步解决的。要有一个层次清晰的分析问题的思路。否则,就会感到内容繁多,头绪纷纭。

(5) 课后要及时复习,认真读书,对所学内容理解以后,再去完成作业。要重视实验课。通过实验可以使学到的理论知识得到验证和巩固,熟悉电子仪器的使用方法,培养分析问题和解决问题的能力。

只要我们认真学习,注意改进学习方法,是会取得较好的学习效果的。

第一章 晶体二极管及 整流电路

发电厂对工农业生产和日常生活用电所提供的电能,通常都是交流电能。但在某些场合,例如,电解、电镀、蓄电池充电、直流电动机以及各种电子装置设备的运行中,常需要直流电源供电。把交流电转变为直流电的方法称为整流,用作整流的装置称为整流器(即整流电源)。目前,半导体整流器的应用十分广泛。半导体整流器中的整流元件是晶体二极管。它的基本构造就是一个PN结,而许多半导体器件也都是由PN结构成的。因此,本章首先介绍半导体的基本知识和PN结的形成、晶体二极管的特性和参数,然后分析几种常用的晶体二极管整流与滤波电路。最后介绍硅稳压管和简单的直流稳压电路。

1-1 半导体的基本知识

自然界中的物体,按照它们的导电能力,一般分为导体、绝缘体和半导体三类。

导体的导电能力很强,电阻率很小,通常小于 $10^{-6}\Omega\cdot\text{m}$ 。

在金属导体中,由于原子外层的电子受原子核的束缚力很小,因此大量的电子能够脱离原子核的束缚而成为自由电子。自由电子在外电场的作用下,作定向运动形成电流。这种运载电荷形成

电流的粒子称为载流子,可见金属导体中的载流子只是自由电子。

在绝缘体中,由于原子外层的电子受原子核的束缚力很大,能形成自由电子的机会非常小。因此绝缘体的导电能力很差,其电阻率很高,通常大于 $10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 。

半导体的原子结构则比较特殊,它既不象导体的外层电子那样容易脱离原子核的束缚;也不象绝缘体的外层电子那样难于摆脱原子核的束缚。因此,半导体的导电能力介于导体与绝缘体之间。

需要说明的是,电阻率并不是区分半导体与非半导体的唯一标准。半导体除电阻率与导体、绝缘体不同外,它还具有其他一些重要的特性。例如,半导体的导电能力随温度的升高而显著地增强,而绝大多数导体的导电能力,均随温度的升高而有所下降。此外,半导体的导电能力还与掺入有用杂质的多少以及受光线照射与否等因素有关。正是由于半导体具有这些特性,才使得它在电子工业中获得了极为广泛的应用。

半导体的这种特性,是由它的导电机构所决定的。它与导体的导电机构不同。下面简单讲述半导体的导电原理。

(一) 本征半导体

完全纯净、结构完整的半导体,称为本征半导体。当然,绝对纯净的物质实际上是不存在的。目前使用的半导体材料通常要求纯度达到 99.999999% 以上。

半导体材料很多,我们以常用的硅(Si)和锗(Ge)为例来说明半导体的导电原理。硅和锗都是四价元素,亦即它们的原子最外层都只有四个电子。

当硅或锗半导体制成单晶体* 时,其原子排列就由杂乱无章

* 晶体分单晶体和多晶体两种。若整个晶体的原子,按照一定规律整齐排列,则称这种晶体为单晶体;若整个晶体是由大量小单晶体杂乱排列组成,则称为多晶体。