

中等专业学校试用教材

非电专业通用

工业电子学

(第二版)

沈裕钟 主编

高等教育出版社

中等专业学校试用教材

非电专业通用

工业电子学

(第二版)

沈裕钟 主编

高等教育出版社

本书是根据教育部 1932 年 1 月颁发的中等专业学校工科非电专业通用的“工业电子学教学大纲”(试行草案),在沈裕钟主编的机械制造类各专业适用的《工业电子学》试用教材(第一版)的基础上重新修订和编写的。

本书内容有:晶体二极管整流与滤波电路、晶体管放大电路、晶体管正弦波振荡电路、晶闸管及其应用、脉冲与数字基本单元电路、基本数字部件、电子管等。本书在内容阐述方面以物理概念为主,深浅适度,解说清楚,可作为中等专业学校工科非电专业“工业电子学”课程的试用教材,也可供有关工程技术人员参考。

中等专业学校试用教材
非电专业通用
工业电子学
(第二版)
沈裕钟 主编

*

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
江苏海安印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 11.5 字数 275,000

1978 年 12 月第 1 版

1983 年 1 月第 2 版 1983 年 8 月第 5 次印刷

印数 458,001—513,500

书号 15010·096 定价 1.15 元

前 言

本书是根据教育部1982年1月颁发的中等专业学校工科非电专业通用的“工业电子学教学大纲”(试行草案),在沈裕钟主编的机械制造类各专业适用的《工业电子学》试用教材(第一版)的基础上重新修订和编写的。

本书按照教学大纲的基本要求,精选教学内容,力求做到深浅适度,主次分明,详略恰当。在内容的阐述方面,以物理概念为主,对某些较难的章节尽可能从具体电路入手,作比较详细的分析。本书力求作到文字通顺流畅,以便学生学习。

书中带有*号的部分是选学内容,可根据不同专业、不同学制的需要加以选择。

本书第五章和第六章,既有分立元件电路,也有集成电路,可按照教学需要选讲其中一部分。若选讲集成电路,可讲授第五章的概述,晶体管的开关特性,反相器,门电路,集成“与非”门电路,集成触发器,基本数字部件等章节。

本书由南京机器制造学校沈裕钟主编,上海机器制造学校董锡江、哈尔滨电机制造学校吕国太参加编写。第一、二、三、四、七章以及第五章5-9、5-10节由沈裕钟修改重编;第五章5-1到5-8节由董锡江修改重编;第六章由吕国太修改重编。全书的修改定稿由沈裕钟负责。

本书由南京工学院自动控制系李士雄教授主审,并提出了许多宝贵意见,编者在此表示衷心感谢。

本书经主审审阅后,又经机械工业部中等专业学校“电工学与工业电子学”课程组于1981年8月在无锡召开审稿会审阅。出席审稿会的有:机械工业部中等专业学校基础课教材编审委员会主任向阳,南京工学院李士雄教授,以及人民教育出版社、福建机电

学校、哈尔滨电机制造学校、上海机器制造学校、北京机械学校、咸阳机器制造学校、山东省机械工业学校、黑龙江机械制造学校、南京机器制造学校等有关同志。此外，还有河北纺织工业学校、江苏省无锡机械制造学校、中国人民解放军高级军械学校、成都航空工业学校等同志。到会同志在盛夏之际详细审阅了原稿，提出了许多宝贵意见，编者在此表示衷心感谢。

需要说明，原书《工业电子学》(第一版)第一、七章由南京机器制造学校程明义同志编写；第三、四章由南京机器制造学校瞿祖庚同志编写；第五章5-9和5-10节由上海机器制造学校李浩同志编写；第六章由哈尔滨电机制造学校华振卿同志编写。因为工作和任务的改变，所以上述几位同志未参加这次的修改重编工作。

由于我们的学识有限，加以编写时间比较仓促，书中可能仍有错误和不妥之处，殷切期望使用本书的师生和广大读者给予批评指正，以便今后修订提高。

编 者

1982.10

目 录

前 言	1
绪 论	1
第一章 晶体二极管整流与滤波电路	4
1-1 概 述	4
1-2 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
1-3 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	13
(三) 晶体二极管的主要参数	15
(四) 晶体二极管的简易测试	15
1-4 单相整流电路	16
(一) 单相半波整流电路	17
(二) 单相全波整流电路	19
(三) 单相桥式整流电路	21
*1-5 三相整流电路	25
(一) 三相半波整流电路	25
(二) 三相桥式整流电路	27
1-6 滤波电路	30
(一) 电容滤波	33
(二) 电感滤波	35
(三) 复式滤波	37
1-7 硅稳压管和简单并联型直流稳压电路	39
(一) 硅稳压管	39
(二) 简单并联型直流稳压电路	41

思考题和习题	42
第二章 晶体管放大电路	46
2-1 概 述	46
2-2 晶体三极管	46
(一) 晶体三极管的结构	46
(二) 晶体三极管的工作原理	48
(三) 晶体三极管的输入和输出特性曲线	52
(四) 晶体三极管的工作区	55
(五) 晶体三极管的主要参数	57
(六) 晶体三极管的简易测试	61
2-3 交流电压放大器的工作原理和图解法	63
(一) 单管交流电压放大器的组成	63
(二) 放大器的图解法	67
(三) 输出端带有负载电阻的放大器	73
(四) 电路参数对放大器工作性能的影响	76
2-4 放大器的微变等效电路法	78
(一) 晶体管的简化等效电路	79
(二) 共发射极放大器的微变等效电路法	81
2-5 偏置电路及静态工作点的稳定	83
(一) 电压负反馈偏置电路	84
(二) 电流负反馈偏置电路	85
2-6 阻容耦合及变压器耦合多级电压放大器	87
(一) 阻容耦合两级电压放大器	88
(二) 放大器的输入电阻和输出电阻	89
(三) 多级放大器的电压放大倍数	91
(四) 阻容耦合放大器的频率响应	92
(五) 变压器耦合两级电压放大器	94
2-7 负反馈放大器	96
(一) 反馈的基本概念	96
(二) 射极输出器	97
(三) 电流串联负反馈电路	101
(四) 多级负反馈电路	104

2-8 功率放大器	106
(一) 功率放大器的特点	106
(二) 单管功率放大器	108
(三) 乙类推挽功率放大器	113
*(四) 无变压器的功率放大器	116
2-9 晶体管放大器的应用举例	119
(一) 3瓦手提式扩音机	119
(二) 晶体管直流稳压电源	120
*2-10 直流放大器	123
(一) 直接耦合放大器	123
(二) 差动放大器	125
(三) 差动放大器的几种输入·输出形式	128
*2-11 集成运算放大器	130
(一) 比例运算和变号运算电路	132
(二) 加法运算电路	135
(三) 减法运算电路	136
*2-12 场效应晶体管及其放大电路	137
(一) 结型场效应管	137
(二) 绝缘栅场效应管	140
思考题和习题	144
第三章 晶体管正弦波振荡电路	153
3-1 概 述	153
3-2 自激振荡的条件	154
3-3 LC 振荡器	157
(一) LC 回路的选频特性	157
(二) 变压器反馈式振荡器	158
(三) 电感三点式振荡器	161
(四) 电容三点式振荡器	162
3-4 LC 振荡器的应用举例	163
(一) 晶体管接近开关	163
*(二) 动圈式温度指示调节仪	167

*3-5	RC 振荡器	170
	(一) RC 回路的选频特性	170
	(二) RC 振荡器的工作原理	172
	思考题	174
第四章	晶闸管及其应用	178
4-1	概 述	178
4-2	晶闸管	178
	(一) 晶闸管的结构和工作原理	178
	(二) 晶闸管的主要参数与型号	184
4-3	具有电阻性负载的可控整流电路	185
	(一) 单相半波可控整流电路	185
	(二) 单相桥形可控整流电路	188
4-4	具有电感性负载的可控整流电路	191
4-5	晶闸管的保护	193
	(一) 晶闸管的过电流保护	193
	(二) 晶闸管的过电压保护	195
4-6	晶闸管的触发电路	197
	(一) 单结晶体管	197
	(二) 单结晶体管自激振荡电路	199
	(三) 用单结晶体管触发的可控整流电路	201
	(四) 带放大环节的单结晶体管触发电路	204
4-7	晶闸管的应用举例	206
	(一) 用晶闸管调节直流电动机的转速	206
	(二) 具有晶闸管的晶体管时间继电器	209
	思考题和习题	210
第五章	脉冲与数字基本单元电路	212
5-1	概 述	212
5-2	晶体管的开关特性	215
*5-3	RC 电路	219
	(一) 微分电路	220
	(二) 积分电路	223
5-4	晶体管反相器	224

(一) 反相器的工作原理	224
(二) 反相器的截止与饱和条件	225
(三) 具有加速电容的反相器	228
(四) 反相器的应用举例	229
*5-5 双稳态触发器	231
(一) 双稳态触发器的稳定工作条件	232
(二) 双稳态触发器的触发翻转	235
(三) 双稳态触发器的应用举例	241
(四) 射极耦合触发器(施密特触发器)	242
*5-6 单稳态触发器	245
(一) 单稳态触发器的工作原理	246
(二) 单稳态触发器的应用举例	248
*5-7 多谐振荡器	250
(一) 多谐振荡器的工作原理	250
(二) 多谐振荡器的振幅和频率	253
5-8 门电路	254
(一) “与”门电路	254
(二) “或”门电路	257
(三) “非”门电路(反相器)	259
(四) “与非”门电路和“或非”门电路	260
(五) 门电路的应用举例	262
5-9 集成“与非”门电路	263
(一) TTL 集成“与非”门电路	264
(二) 集成“与非”门电路的主要参数	269
5-10 集成“与非”门组成的触发器	271
(一) 基本 $R-S$ 触发器	271
(二) 导引电路	274
(三) 主从 $J-K$ 触发器	276
(四) D 触发器	279
思考题和习题	282
第六章 基本数字部件	287
6-1 概 述	287

6-2 数的表示法	287
(一) 二进制数	287
(二) 二进制数和十进制数的互相换算	290
(三) 二进制数的四则运算	291
6-3 计数器	293
(一) 二进制加法计数器	293
*(二) 二进制减法计数器	296
(三) 十进制计数器	297
6-4 寄存器	301
(一) 数码寄存器	301
(二) 移位寄存器	302
6-5 译码器	304
(一) 二极管译码器	306
(二) “与非”门译码器	310
6-6 数字显示电路	312
(一) 辉光数码管及其显示电路	313
(二) 荧光数码管及其显示电路	317
思考题	321
*第七章 电子管	323
7-1 二极管及其整流电路	323
7-2 三极管及其放大电路	328
7-3 五极管及束射四极管	336
7-4 电子管振荡器	338
思考题	341
附录一 国产半导体器件型号命名法	342
附录二 几种常用半导体器件的主要参数	344
附录三 电阻标称阻值系列表	348
附录四 本书采用的文字符号说明	349
部分习题答案	354

绪 论

工业电子学是研究电子技术在工业中应用的一门科学，而电子技术是把电子器件(晶体管、电子管、光电管等)应用到各个领域中的应用技术。

电子技术在工业中的应用极其广泛，要把各种应用作一系统而全面的分类是比较困难的，现仅就其主要的应用简单介绍如下：

(1) 能量转换

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，从而使直流电动机实现无级调速；用三极电子管组成振荡器，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

应用电子器件组成各种测量线路，可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、零件的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。它的出现给

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。

电子技术之所以得到如此广泛的应用，主要是由于电子器件具有下列几个特点：

(1) 工作速度快

电子器件没有机械运动部分，故无机机械惯性。而电子的惯性极小，所以电子器件的反应速度很快。

(2) 灵敏度高

电子放大器件有很强的放大能力，它能把极微弱的信号加以放大并显示出来，这是其他器件所不能比拟的。

(3) 使用方便

电子器件的体积小，重量轻，能量消耗少，连接方便，操作简单，在自动化装置中特别适用。

电子技术日新月异，发展很快。目前，它不仅在工业上有极广泛的应用，而且已普遍地渗透到国民经济的各个部门，在“四化”建设中起着重要作用。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“四化”建设的需要。

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看法：

(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，即使进行严密的计算也不一定能得到和实际完全符合的准确结果，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。有时交流和直流共存于同一电路之中，在分析这种电路时，要分清它的直流通道和交流通道；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，近似分析方法是具有很重要的实际意义的。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。在遇到难点时，首先要了解问题是怎样提出的，有些什么矛盾，它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。

第一章 晶体二极管整流与滤波电路

1-1 概 述

发电厂所提供的电能都是交流电能。虽然生产上广泛采用交流电，但在许多电子仪器、电气设备、工艺过程和自动控制系统中经常需要直流电。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。

随着半导体技术的不断发展，半导体整流器的应用日益广泛。半导体整流器具有结构简单、体积小、重量轻、不象电子管那样需要加热灯丝等优点。半导体整流器的整流元件是一种半导体器件——晶体二极管。晶体二极管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。

1-2 半导体的基本知识

自然界中所有的物质，按照它们的导电能力，可分为导体、绝缘体和半导体三类。

导体的导电能力很强，它的电阻率很小，通常小于 10 欧·毫米²/米。

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，因此有大量的电子能够脱离原子核的束缚而成为自由电子，它们在外电场的作用下，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就是自由电子。

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^{18} 欧·毫米²/米。

半导体的原子结构则比较特殊，它既不象导体的外层电子很容易脱离原子核的束缚；也不象绝缘体的外层电子，受原子核的束缚很紧。因此，半导体的导电能力介于导体和绝缘体之间，它的电阻率为 $10\sim 10^{10}$ 欧·毫米²/米。

需要说明，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升高而显著地增强，而绝大多数导体的导电能力，均随温度升高而有所下降。此外，半导体的导电能力还随它所掺入的有用杂质、受光线照射、电场、磁场等作用而发生显著的变化。

综上所述，半导体就是一种在外界条件影响下有时能导电，有时几乎不能导电，容易受到热、光、电、磁和杂质等作用而改变其导电能力的一种固体材料。正是由于半导体具有这些多变的特性，才使它在电子工业中获得极为广泛的应用。

半导体的这种多变特性，是由它的导电机构所决定的。它与导体的导电机构不同。下面来讨论半导体的导电原理。

(一) 本征半导体

完全纯净的、结构完整的半导体，称为本征半导体。当然，绝对纯的物质实际上是不存在的。目前半导体材料通常要求提纯达到 99.99999% 以上的纯度。

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。

当硅或锗等半体制成单晶体*时,其原子排列就由杂乱无章的状态变为非常整齐的状态。每个原子最外层的四个电子,不仅受自身原子核的束缚,而且还与周围相邻的四个原子发生联系。这时,每两个相邻原子之间都共有一对电子,使相邻两原子紧密地联系在一起,形成共价键结构,如图 1-1(a)所示。

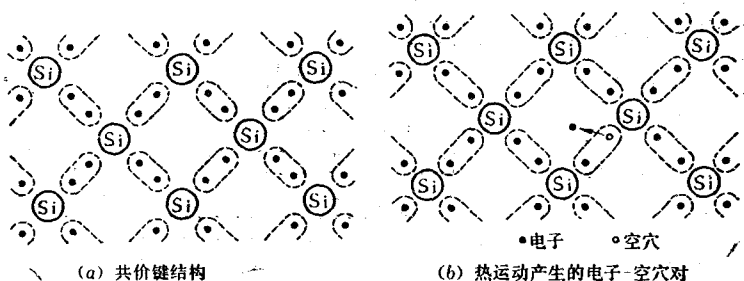


图 1-1 硅单晶体的结构

图 1-1(a) 实际上是本征半导体在绝对温度为零度 (-273°C) 时的情况。这时原子周围的价电子都被束缚在共价键之中,因此半导体中没有可以自由移动的电荷。若加以外电场,此时本征半导体中无电流形成。可见,本征半导体在绝对零度时就好像是一个绝缘体。

当本征半导体的温度升高或受到光线照射时,本征半导体共价键中的价电子就从外界获得了能量。由于半导体原子外层的电子不象绝缘体那样被原子核紧紧地束缚着,因此就有少量的价电子在获得了足够的能量后,挣脱了原子核的束缚而成为自由电子。

* 晶体分为单晶体和多晶体两种。若整个晶体的原子,按照一定的规律整齐排列,则这种晶体称为单晶体;若整个晶体由大量小单晶体杂乱排列组成,则这种晶体称为多晶体。