

◀ SHUZIDIANZI JISHUJICHU
◀ DISANBAN



高等学校教材

数字 电子 技术 基础

第 3 版

◀ 清华大学电子学教研组 编 ◀ 阎石 主编

本书是根据国家教委制定的“电子技术基础课程基本要求”，在第二版的基础上修订而成的。

在内容上，进一步削减了分立元件电路和讲述集成电路内部结构及其详细工作过程的内容，增强了CMOS电路和中、大规模集成电路应用的比重。

在体系上，部分调整了一些章节内容的先后次序及归属，使全书结构更加切合教学实际，易于学生接受。

本书内容按要求分为两大部分：正文部分基本上按“基本要求”编写；附录部分供学时较多、要求较高的院校作为选讲或自学内容。为了便于读者自行检查学习效果，每章除思考题与习题外还增加了自我检验题。书中绝大部分的习题是重新编排的。

本书与童诗白主编的《模拟电子技术基础》(第二版)配套使用，可作为高等学校电气、电子类专业“电子技术基础”课程教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

本书责任编辑 章浩平

**注意：未经国家教委同意，任何单位
不得出版本教材的习题解答**

高等学校教材

数字电子技术基础

(第三版)

清华大学电子学教研组编

阎石 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 20.875 字数 500 000

1981年9月第1版 1989年3月第3版 1989年3月第1次印刷

印数 0001— 27 145

ISBN7-04-002066-1/TN·108

定价 4.95元

第三版序

自《数学电子技术基础》(第一版)出版至今,已经过去七年了。由于电子技术及其应用又有了很大的发展,同时教委主持制定了电子技术基础课程的教学基本要求,因而对原书进行全面的修订就势在必行了。

修订工作主要是针对以下几个方面进行的:

从内容上,进一步削减了分立元件电路和讲述集成电路内部结构及其详细工作过程的内容,增强了CMOS电路和中、大规模集成电路应用的比重。同时,还适当介绍了一些近年来迅速发展起来的新型器件和电路,如高速CMOS电路、半定制集成电路等。

鉴于原书中各章的习题与内容配合得不够紧密,而且新版教材的内容又改动很大,所以这次更换了绝大部分的习题。另外,为便于读者自行检查学习效果,每章除思考题与习题之外还增加了自我检验题,并在全书的最后给出了这些题目的答案。自我检验题所涉及的内容都是各章的基本概念、基本原理和基本的分析、设计方法。

从体系上,在基本沿用原书体系的基础上,作了一些局部调整。首先调换了第一、二章的先后次序。因为门电路一章的份量比较重,概念和难点比较集中,而逻辑代数基础的内容很容易为学生所接受,所以将两章的次序对掉符合由浅入深的原则。其次,把原来的第四章分成了触发器和时序逻辑电路两章,这样既解决了原来第四章篇幅过大的问题,同时又不影响教材体系的系统性和完整性。再次,考虑到大规模集成电路往往是既包含组合逻辑电路又包含时序逻辑电路的数字系统,所以把大规模集成电路的内容也

单独列成了一章。这样,就形成了新版教材的九章体系。

从要求上,正文部分基本上按基本要求编写,略有超出。一部分虽属比较重要但已超出基本要求的内容写在每章的附录中。这些内容既可供那些学时较多、要求较高的院校作为课堂讲授的选讲内容,又可以供学生作为自学的阅读材料。

本书是与童诗白主编的《模拟电子技术基础》(第二版)的配套教材,同时又有相对的独立性。如果将这两本教材配合使用,那么既可以先讲模拟部分、后讲数字部分,也可以先讲数字部分、后讲模拟部分。在先讲数字电路时,只要预先讲过《模拟电子技术基础》(第二版)的第一章即可转入本书的讲授。为了使两学期的学时平衡,可将第八章A/D、D/A转换的内容移到第二学期的模拟部分之后再讲。

第三版的修订工作全部由阎石完成。修订工作得到了童诗白教授的悉心指导。

西安交通大学沈尚贤教授、张庆男副教授、古新生副教授和林雪亮副教授在百忙中仔细地审阅了全部书稿并提出了许多宝贵的意见。多年来,我们的教材工作得到了沈尚贤教授和西安交通大学电子学教研室各位老师的热情关怀和大力支持,在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

许多兄弟院校的师生为本书的修订工作提出过积极的建议和殷切的期望。在收集资料的过程中,得到了上海元件五厂、国营七四九厂、北京半导体器件三厂、上海无线电十四厂、国营四四三五厂有关同志的热情支持,在此一并向他们表示感谢。

新版教材中一定还有不少缺点和不足之处,恳请各界读者给予批评指正。

阎石

一九八八年五月

第一版前言

这套教材是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材会议在1977年11月制定的“电子技术基础”(自动化类)编写大纲和各兄弟院校后来对该大纲提出的修改意见编写的,以“模拟电子技术基础”和“数学电子技术基础”两书出版。本书是其数学电子技术基础部分。全书共有九章,分为上、下两册。上册包括门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路及脉冲波形的产生和整形等五章。这是数字电路的基本部分。下册包括金属-氧化物-半导体集成电路、数模和模数转换、数字电路中的若干实际问题以及综合读图练习等四章,作为选讲部分。在安排教学内容时,可以视具体要求和学时的多少,作必要的增删。

在处理不断出现的新器件和基本内容的矛盾时,我们采取的措施是:以小规模和大规模集成电路为主来组织内容,并适当介绍大规模集成电路;而在基本数字脉冲单元方面,则仍以分立元件为主。

考虑到目前的数字电子技术课程多半安排在模拟电子技术课程之后,所以在用到模拟电路中的有关内容时,就直接作为结论加以引用了。

本书是由清华大学电子学教研组的同志们集体编写的,其中第一章由金国芬、阎石执笔,第二章由余孟尝执笔,第三章由赵佩芹执笔,第四、六章由许道荣执笔,第五章由李大义执笔,第七章由周明德执笔,第八章由吴年予执笔,第九章由赵佩芹、张乃国执笔,阎石同志担任主编。全部编写工作都是在教研组主任童诗白教授亲自组织与具体指导下完成的。

在本教材的整理和定稿过程中，承许多兄弟院校的老师对征求意见稿提出宝贵意见。审稿会上，在主审单位西安交通大学沈尚贤教授的主持下，华中工学院、南京工学院、浙江大学、山东工学院、昆明工学院、东北工学院、合肥工业大学、贵州工学院、上海交通大学、天津大学、华北电力学院、哈尔滨工业大学、吉林工业大学、大连工学院、重庆大学、湖南大学、太原工学院、华南工学院、同济大学、成都科技大学等兄弟院校的老师仔细阅读了原稿，指出许多错误和欠妥之处。在评审和复审过程中，又经沈尚贤教授和西安交通大学电子学教研室胡瑞雯、林雪亮、古新生等同志写出详细的修改意见，在此谨致以诚挚的谢意。

由于我们对先进的数字电子技术了解不够，本教材又缺乏一定的教学实践，虽然已经根据兄弟院校老师们的意见对征求意见稿作了修改，但必然还存在不少缺点和错误，殷切期望各方面的读者能给以批评和指正。

编者

1981年1月

第二版说明

本书原分上、下两册出版。考虑到教学上的方便,同时考虑到第八章(电子电路中元器件的选择和抗干扰问题)和第九章(数字电路应用举例)的内容不在教学大纲的要求之内,因此决定将第一至第七章及附录合印成一册出版。

编者

1984年9月

目 录

第一章 逻辑代数基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字量和模拟量	1
1.1.2 数制和码制	2
1.1.3 算术运算和逻辑运算	5
1.2 逻辑代数中的三种基本运算	6
1.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	11
1.3.1 基本公式	11
1.3.2 若干常用公式	12
1.4 逻辑代数的基本定理	14
1.4.1 代入定理	14
1.4.2 反演定理	15
1.4.3 对偶定理	16
1.5 逻辑函数及其表示方法	17
1.5.1 逻辑函数	17
1.5.2 逻辑函数的表示方法	18
1.5.3 逻辑函数的两种标准形式	22
1.6 逻辑函数的公式化简法	26
1.6.1 逻辑函数的最简形式	26
1.6.2 常用的化简方法	28
1.7 逻辑函数的卡诺图化简法	31
1.7.1 逻辑函数的卡诺图表示法	31
1.7.2 用卡诺图化简逻辑函数	34
1.8 具有无关项的逻辑函数及其化简	39
1.8.1 约束项、任意项和逻辑函数式中的无关项	39
1.8.2 无关项在化简逻辑函数中的应用	40

本章小结	42
参考文献	43
自我检验题	44
思考题和习题	46
第二章 门电路	51
2.1 概述	51
2.2 半导体二极管和三极管的开关特性	52
2.2.1 半导体二极管的开关特性	52
2.2.2 半导体三极管的开关特性	55
2.3 分立元件门电路	59
2.3.1 二极管门电路	59
2.3.2 三极管门电路	60
2.4 TTL门电路	62
2.4.1 TTL与非门的工作原理	62
2.4.2 TTL与非门的静态输入特性与输出特性	66
2.4.3 TTL与非门的动态特性	72
2.4.4 其他类型的TTL门电路	76
2.4.5 TTL电路的改进系列	86
2.5 CMOS门电路	91
2.5.1 CMOS反相器的工作原理	91
2.5.2 CMOS反相器的静态输入特性与输出特性	96
2.5.3 CMOS反相器的动态特性	99
2.5.4 其他类型的CMOS门电路	104
2.5.5 改进的CMOS电路	114
本章小结	117
参考文献	119
自我检验题	119
思考题和习题	121
第三章 组合逻辑电路	129
3.1 概述	129

3.2	常用的组合逻辑电路	139
3.2.1	编码器	131
3.2.2	译码器	138
3.2.3	数据选择器	144
3.2.4	加法器	148
3.2.5	数值比较器	153
3.3	组合逻辑电路的设计方法	157
3.3.1	设计组合逻辑电路的原则和一般步骤	157
3.3.2	用SSI设计组合逻辑电路的实例	159
3.3.3	用MSI设计组合逻辑电路的实例	167
3.4	组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	174
3.4.1	竞争-冒险现象及其成因	174
3.4.2	检查竞争-冒险现象的方法	176
3.4.3	消除竞争-冒险现象的方法	178
	本章小结	181
	参考文献	182
	自我检验题	183
	思考题和习题	184
第四章	触发器	190
4.1	概述	190
4.2	触发器的电路结构与动作特点	191
4.2.1	基本RS触发器的电路结构与动作特点	191
4.2.2	同步RS触发器的电路结构与动作特点	195
4.2.3	主从触发器的电路结构与动作特点	198
4.2.4	边沿触发器的电路结构与动作特点	205
4.3	触发器的逻辑功能及其描述方法	213
4.3.1	触发器按逻辑功能的分类	213
4.3.2	触发器的电路结构与逻辑功能的关系	217
4.4	触发器逻辑功能的转换	219
4.4.1	D触发器转换为其他逻辑功能触发器的方法	219
4.4.2	JK触发器转换为其他逻辑功能触发器的方法	221

本章小结	223
参考文献	224
自我检验题	225
思考题和习题	227
第五章 时序逻辑电路	236
5.1 概述	236
5.2 同步时序逻辑电路的分析方法	239
5.2.1 分析同步时序逻辑电路的一般步骤	239
5.2.2 时序逻辑电路的状态转换表、状态转换图和时序图	241
5.3 若干常用的时序逻辑电路	244
5.3.1 寄存器和移位寄存器	244
5.3.2 计数器	253
5.3.3 顺序脉冲发生器	291
5.4 时序逻辑电路的设计方法	295
5.4.1 设计时序逻辑电路的原则和一般步骤	295
5.4.2 时序逻辑电路的设计举例	297
本章小结	310
参考文献	311
自我检验题	312
思考题和习题	313
第六章 脉冲波形的产生和整形	319
6.1 概述	319
6.2 施密特触发器	320
6.2.1 集成施密特触发器	321
6.2.2 用门电路组成的施密特触发器	326
6.2.3 施密特触发器应用举例	330
6.3 单稳态触发器	333
6.3.1 用门电路组成的单稳态触发器	333
6.3.2 用施密特触发器组成的单稳态触发器	341
6.3.3 集成单稳态触发器	342

6.4	多谐振荡器	347
6.4.1	用门电路组成的多谐振荡器	348
6.4.2	用施密特触发器组成的多谐振荡器	361
6.4.3	石英晶体多谐振荡器	363
6.5	555定时器及其应用	365
6.5.1	555 定时器的电路结构	365
6.5.2	用 555 定时器接成的施密特触发器	366
6.5.3	用 555 定时器接成的单稳态触发器	368
6.5.4	用 555 定时器接成的多谐振荡器	370
	本章小结	374
	参考文献	375
	自我检验题	376
	思考题和习题	377
第七章	大规模集成电路	383
7.1	概述	383
7.2	只读存储器 (ROM)	385
7.2.1	固定 ROM	385
7.2.2	PROM 和 EPROM	388
7.2.3	用 ROM 实现组合逻辑函数	395
7.3	可编程逻辑阵列 (PLA)	401
7.4	随机存取存储器 (RAM)	403
7.4.1	RAM 的结构及工作原理	403
7.4.2	RAM 的扩展	415
7.5	顺序存取存储器 (SAM)	418
7.5.1	SAM 的结构及工作原理	418
7.5.2	SAM 中的 MOS 动态移位寄存单元	422
7.6	半定制集成电路	429
7.6.1	门阵列	430
7.6.2	标准单元	433
7.6.3	半定制电路的研制步骤	433

本章小结	435
参考文献	436
自我检验题	437
思考题和习题	437
第八章 数-模和模-数转换	439
8.1 概述	439
8.2 D/A 转换器	441
8.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	441
8.2.2 T 形电阻网络 D/A 转换器	443
8.2.3 权电流型 D/A 转换器	447
8.2.4 具有双极性输出的 D/A 转换器	449
8.2.5 D/A 转换器的转换精度与转换速度	451
8.3 A/D 转换器	458
8.3.1 A/D 转换的一般步骤及采样定理	458
8.3.2 采样-保持电路	461
8.3.3 直接 A/D 转换器	464
8.3.4 间接 A/D 转换器	472
8.3.5 A/D 转换器的转换精度与转换速度	480
本章小结	482
参考文献	484
自我检验题	484
思考题和习题	485
第九章 数字系统读图练习	491
9.1 概述	491
9.2 $3\frac{1}{2}$ 位双积分型数字电压表	492
9.3 ASCII 码键盘编码电路	498
参考文献	504
自我检验题答案	505
半导体集成电路型号命名方法	517

第一章附录	522
附录 1A 不同数制间的转换.....	522
附录 1B 原码、补码和反码.....	525
附录 1C 若干常用的编码.....	527
附录 1D 用 Q-M 法化简逻辑函数.....	533
附录 1E 混合逻辑中逻辑符号的等效替换.....	536
第二章附录	538
附录 2A 双极型数字集成电路的其他类别.....	538
附录 2B CMOS 电路的锁定效应.....	549
附录 2C CMOS 电路的正确使用方法.....	551
附录 2D MOS 数字集成电路的其他类别.....	553
附录 2E TTL 与 CMOS 电路的接口.....	555
附录 2F TTL 与非门的主要性能参数.....	560
附录 2G CMOS 或非门 CC4001 的主要性能参数.....	562
附录 2H 各类数字集成电路主要性能参数比较表.....	564
第三章附录	565
附录 3A 算术逻辑单元和奇偶校验器.....	565
附录 3B 附加功能齐全的七段字形译码器.....	570
附录 3C 数码显示器件.....	573
第四章附录	584
附录 4A 触发器的动态特性.....	584
附录 4B 集成触发器的主要性能参数.....	589
第五章附录	594
附录 5A 异步时序逻辑电路的分析方法.....	594
附录 5B 异步时序逻辑电路的设计方法.....	597
附录 5C 时序逻辑电路的自启动设计.....	602
附录 5D 时序逻辑电路中的竞争-冒险现象.....	605
附录 5E 最大长度移位寄存器式计数器.....	609
第六章附录	613

附录 6A	多谐振荡器振荡频率的调节方法	613
附录 6B	可重复触发的集成单稳态触发器	515
附录 6C	式(6-11)和式(6-16)的推导	618
附录 6D	555 定时器的主要性能参数	620
第七章附录		623
附录 7A	EPROM 实例——2716	623
附录 7B	电荷耦合器件	627
附录 7C	磁泡存储器	633
第八章附录		638
附录 8A	集成 D/A 转换器的主要性能参数与实例	638
附录 8B	集成 A/D 转换器的主要性能参数与实例	641

第一章 逻辑代数基础

内 容 提 要

本章介绍分析数字电路逻辑关系的基本方法。

首先扼要地讲述了逻辑代数的基本公式、常用公式和重要定理,然后介绍逻辑函数及其表示方法,最后着重阐述了应用这些公式和定理化简逻辑函数的方法。

为便于读者理解和掌握这些基本概念、公式、定理和方法,各部分均配置了较多的例题。

1.1 概述

1.1.1 数字量和模拟量

当我们观察自然界中形形色色的物理量时可以发现,尽管它们的性质各异,但就其变化规律的特点而言,不外乎两大类。

其中一类物理量的变化在时间上和数量上都是离散的。也就是说,它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间。同时,它们的数值大小和每次的增减变化都是某一个最小数量单位的整数倍,而小于这个最小数量单位的数值没有任何物理意义。我们把这一类物理量叫做数字量,把表示数字量的信号叫做数字信号,并且把工作在数字信号下的电子电路叫做数字电路。

例如,当我们用一个电子电路记录从自动生产线上输出的零件数目时,每送出一个零件就给电子电路一个信号,使之记1,而平

时没有零件送出时加给电子电路的信号是 0，所以不记数。可见，零件数目这个信号的变化在时间上和数量上都不连续，所以它是一个数字信号。最小的数量单位就是 1 个。

与此同时，我们将除数字量以外的所有物理量统称为模拟量，把表示模拟量的信号叫做模拟信号^①，并把工作于模拟信号下的电子电路称为模拟电路。

例如，从热电偶得到的电压信号就属模拟信号，因为在任何情况下被测温度都不可能发生突跳，所以测得的电压信号无论在时间上还是在数量上都是连续的。而且，这个电压信号在连续变化的过程中任何一个取值都有具体的物理意义，即代表一个相应的温度。

1.1.2 数制和码制

一、数制

用数字量表示物理量的大小时，仅用一位数码往往不够用，因而必须用进位计数的方法组成多位数码使用。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。常用的数制有以下几种：

1. 十进制

十进制是我们日常生活和工作中最常使用的进位计数制。在这种进位计数制中，每一位有 0~9 十个数码，所以计数的基数是 10。超过 9 的数必须用多位数表示，其中低位数和相邻高位数之间的关系是“逢十进一”，故称为十进制。例如：

$$143.75 = 1 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

所以任意一个正的十进制数 D 均可展开为

^① 严格地讲，应当包含模拟信号和数字信号以外的其他离散信号。