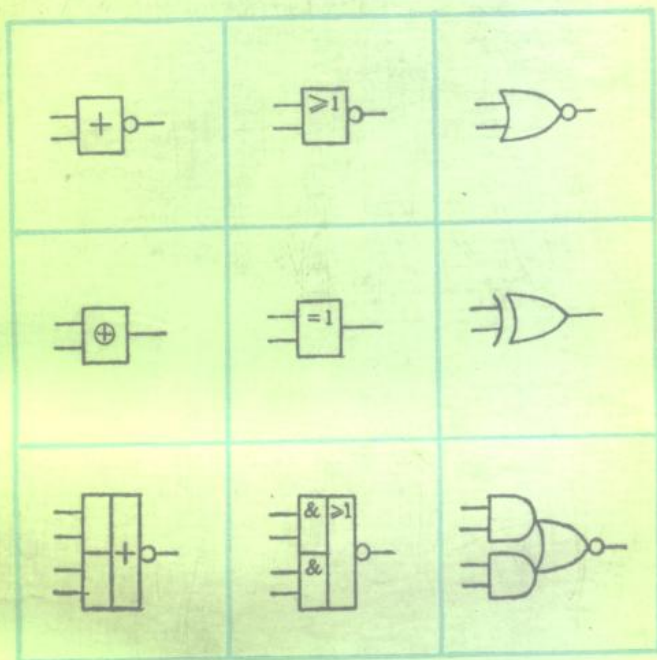


张 著 程震先 刘继华 编著



数字设计

— 电路与系统

北京理工大学出版社

数 字 设 计

——电路与系统

张 著 程震先 刘继华 编著

北京理工大学出版社

(京)新登字149号

内 容 简 介

本书能满足电子、通信、自动控制与计算机等专业本科和大专教学要求。全书分十章和若干附录,包括逻辑代数基础、组合与时序电路分析和设计、集成逻辑门、触发器、时钟信号产生、A/D、D/A转换、系统设计和PLD的功能及应用,特别加强了MSI和LSI电路的应用以及用ASM图和RTL实现数字系统设计的方法。每章后配有习题可供选用。

本教材可根据需要作适当取舍,以满足不同层次的教学要求而不失其系统性。文字通俗易懂、便于自学,还可供有关工程技术人员参考。

数 字 设 计

电路与系统

张 著 程震先 刘继华 编著

北京理工大学出版社出版发行

各地新华书店经售

北京顺义北方印刷厂印刷

850×1168毫米 32开本 16印张 415千字

1992年6月第一版 1992年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-439-6/TN·7

印数: 1—5000册

定价: 5.15元

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神，兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵工教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下，在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容逐步更新、利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准、明确岗位责任，建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点，成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵工教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套，为教学质量的提高，培养国

防现代化人才，为促进兵工类专业科学技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由崔志奎主审，经兵器工业总公司电子技术专业教学指导委员会复查，兵工教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

兵器工业总公司兵工教材编审室

1991年8月

前 言

本书是根据兵工类专业教材编写出版规划，为高等工科院校电子、通信和计算机等专业开设数字逻辑设计课程编写的教材。书稿经兵器工业总公司电子技术专业指导委员会复查，兵工教材编审室审定定稿。

随着半导体集成技术的迅速发展，已经生产出快速、可靠、价格适当的数字/模拟和模拟/数字集成转换器，以及各种集成规模(SSI、MSI、LSI)的其它数字电路，很多过去只能靠模拟方法解决的问题，今天可以用数字概念和方法来实现。当前数字概念和方法以及微处理器几乎渗透到所有领域，并将继续发展下去。

微处理器和系统级大规模数字集成电路的出现，并不意味着可以取消基本逻辑设计方法，而只需要强调逻辑设计的接口设计。事实上，根据数字集成电路的现状和新的进展，为适应新的需要，应让学生从基本逻辑设计开始，进而实现接口设计。因此，逻辑设计者当前和今后的任务是通过逻辑和接口设计，将各种规模的逻辑器件和部件连接起来，构成预定的数字系统。本教材首先解决基本逻辑分析和设计方法，进而阐明通过逻辑和接口设计实现小型数字系统的设计方法。此外本教材也为通过微程序设计实现更复杂的数字系统——微处理器、单片机和微型计算机，打下硬件基础。

本教材是按72学时编的，它的先修课程是“线性电路分析”和“半导体电路基础”。在编写本教材时，编者注意到教材的先进性和实用性。在内容安排上既注重对数字电路基本理论、基本概念和基本方法的要求，又照顾到实际应用的需要和数字集成技术的新进展，因此有必要删除一些繁琐和陈旧内容，增加一些新的实

用的处理数字电路的方法；既注意到便于教师课堂讲授又考虑到学生自学的方便；既能满足本科生需要，又便于大专和不同层次要求的学生对内容的取舍。基于上述考虑，增加了用ASM图和RTL实现小型数字系统设计方法、如何用MSI和LSI实现组合电路和时序电路的方法，并给出较多应用实例；介绍了应用日益广泛的可编程逻辑器件(PLD)(可编程阵列逻辑(PAL)、通用阵列逻辑(GAL))的结构和应用；删减了SSI、MSI、LSI等各种规模电路的内部工作过程分析，强调其逻辑功能和应用，还删除时序电路传统设计方法的繁琐内容。在内容安排和叙述上注意到由浅入深，由易到难，循序渐进，通俗易懂的原则，以适应不同层次学生的要求和自学需要，本教材各章配有习题可供选用，将正文中不便于安排但较重要的内容放在最后的附录中，供教学参考。

本教材除作为电子、通信、自动控制和计算机本科和大专教材外，对从事有关工作的工程技术和科技人员也有参考价值。

参加本书编写工作的有程震先(第二、三、五、十章)、刘继华(第四、八章)、张著(第一、六、七、九章)等同志，全书由张著主编。

编写本书时参考了张著、吕德新、杨继安编写的“数字逻辑电路”教材，编写过程中得到北京理工大学电子工程系电子技术应用教研室同志的关心和帮助，恽雪如参与习题搜集和部分书稿的审阅工作，提出很多中肯的意见，张樟淼对编写方案提出过宝贵意见。

本书由北京工业大学崔志奎副教授主审。

编者对所有为本教材进行审阅以及在编写和出版过程中给以热情帮助和支持的同志们在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中势必存在不妥之处和错误，恳请读者批评指正。

编者

1991.6

目 录

第一章 数字技术概念以及数制和编码

1.1 引言	I
1.2 数制	3
1.3 数制间的转换	4
1.3.1 二、八、十六进制数转换为十进制数	4
1.3.2 十进制数转换为二、八、十六进制数	5
1.3.3 二、八、十六进制数之间的转换	7
1.4 数的补码及运算	8
1.4.1 数的补码	9
1.4.2 补码的运算	10
1.5 编码	11
1.5.1 二进制码、格雷码和二-十进制码	12
1.5.2 字母数字码	15
1.5.3 检错码	16

第二章 逻辑代数基础

2.1 逻辑变量与逻辑函数	18
2.1.1 逻辑变量和三种基本运算	18
2.1.2 逻辑函数	20
2.2 逻辑代数的运算规律	21
2.2.1 基本公式	21
2.2.2 三个重要规则	23
2.2.3 若干常用公式	25
2.2.4 复合运算和复合门	26
2.3 逻辑函数的两种标准形式	29
2.3.1 最小项和最大项	29

2.3.2	标准表达式和真值表	32
2.4	逻辑函数的代数化简法	35
2.4.1	简化的意义和途径	35
2.4.2	代数化简法	37
2.5	逻辑函数的卡诺图化简法	40
2.5.1	卡诺图(K图)	40
2.5.2	最小项合并规律	44
2.5.3	用卡诺图化简逻辑函数	47
2.6	非完全描述逻辑函数的化简	52
2.6.1	非完全描述逻辑函数	52
2.6.2	利用约束项简化非完全描述逻辑函数	53
2.7	逻辑表达式的变换	55
2.8	逻辑函数的描述	58
2.8.1	逻辑函数的描述方法	58
2.8.2	描述方法间的转换	60

第三章 组合逻辑电路

3.1	概述	66
3.1.1	组合电路的特点	66
3.1.2	组合元件——逻辑门	68
3.2	常用组合逻辑电路	71
3.2.1	编码器和译码器	71
3.2.2	数据选择器和数据分配器	84
3.2.3	数码比较器	89
3.2.4	加法器	93
3.2.5	码组校验电路	100
3.3	组合电路逻辑分析	102
3.4	组合电路逻辑设计	107
3.4.1	用SSI设计组合电路	107
3.4.2	用MSI设计组合电路	114
3.4.3	一般设计步骤和逻辑抽象举例	121
3.5	竞争与冒险	126

3.5.1 竞争与冒险现象	127
3.5.2 竞争与冒险的识别	128
3.5.3 冒险现象的排除	129

第四章 触 发 器

4.1 基本RS触发器	131
4.2 时钟控制的RS触发器	133
4.2.1 电路结构及工作原理	134
4.2.2 钟控RS触发器的特性方程和状态图	136
4.3 JK触发器	136
4.3.1 主从式JK触发器	136
4.3.2 JK边沿触发器	140
4.4 维持阻塞式D触发器	144
4.4.1 电路及工作原理	144
4.4.2 D触发器的特性方程及状态图	146
4.5 T和T'触发器	146
4.5.1 T和T'触发器的逻辑功能	146
4.5.2 触发器的驱动(或称激励)表	147
4.6 触发器的脉冲工作特性	148
4.6.1 主从式JK触发器的脉冲工作特性	148
4.6.2 JK边沿触发器的脉冲工作特性	149
4.6.3 维持阻塞式D触发器的脉冲工作特性	149
4.7 CMOS触发器	150
4.7.1 主从式D触发器	151
4.7.2 主从式JK触发器	153
4.8 触发器逻辑功能的转换	154
4.8.1 D触发器转换为其它功能的触发器	154
4.8.2 JK触发器转换为其它功能的触发器	155

第五章 时序逻辑电路

5.1 概述	158
--------------	-----

5.1.1	时序电路的特点与组成	158
5.1.2	时序电路的功能描述	159
5.2	常用时序逻辑部件	164
5.2.1	寄存器	164
5.2.2	移位寄存器	167
5.2.3	计数器	176
5.3	计数和分频电路	189
5.3.1	同步计数器的分析与设计	189
5.3.2	异步计数器的分析与设计	204
5.3.3	用MSI计数器实现任意模计数和分频	212
5.3.4	移存型计数器	221
5.4	序列信号发生器	229
5.4.1	顺序脉冲发生器	229
5.4.2	移存型序列信号发生器	232
5.4.3	计数型序列信号发生器	240
5.5	同步时序电路的分析与设计	244
5.5.1	同步时序电路分析	244
5.5.2	同步时序电路设计	249
5.5.3	同步时序电路的实现	258

第六章 数字系统设计

6.1	概述	271
6.2	ASM图符号	273
6.3	ASM图的硬件实现	276
6.3.1	用传统方法实现ASM图	276
6.3.2	用多路选择器实现ASM图	279
6.3.3	每个状态一个触发器法	283
6.3.4	基于ROM法实现ASM图	286
6.3.5	对实现已知ASM图需进一步明确的问题	287
6.4	用ASM图实现小型数字系统	288
6.4.1	系统时钟的设计	289
6.4.2	交通信号灯的设计	291

6.4.3	电子组合锁的设计	296
6.4.4	波形产生器的设计	305
6.4.5	自动售货机控制器的设计	307
6.5	用寄存器传输语言(RTL)实现数字系统	313
6.5.1	关于ASM图与RTL的概述	313
6.5.2	RTL符号和语句	313
6.5.3	设计时序比较器	316
6.5.4	逻辑电路自动测试器的设计	321

第七章 集成逻辑门

7.1	概述	329
7.2	晶体管-晶体管逻辑门(TTL门)	330
7.2.1	TTL与非门的工作原理	330
7.2.2	TTL与非门的传输特性和静态参数	332
7.2.3	TTL与非门的输入输出特性	333
7.2.4	TTL与非门的动态特性	337
7.2.5	改进型TTL与非门	339
7.3	TTL门的其它类型及射极耦合逻辑(ECL)门	340
7.3.1	集电极开路TTL与非门(OC门)	341
7.3.2	三态门	343
7.3.3	射极耦合逻辑(ECL)门	345
7.4	MOS及CMOS逻辑门	345
7.4.1	CMOS反相器	346
7.4.2	CMOS逻辑门	347
7.5	接口问题	350
7.5.1	TTL与CMOS接口	350
7.5.2	CMOS与TTL接口	351

第八章 脉冲波形的产生及整形

8.1	555定时器	354
8.1.1	定时器的电路结构	354

8.1.2	555定时器的逻辑功能	355
8.2	单稳态触发器	356
8.2.1	555定时器构成的单稳态触发器	356
8.2.2	集成单稳态触发器	357
8.2.3	单稳态触发器的用途	360
8.3	多谐振荡器	361
8.3.1	555定时器构成的多谐振荡器	361
8.3.2	石英晶体多谐振荡器	363
8.4	施密特触发器	364
8.4.1	555定时器构成的施密特触发器	364
8.4.2	集成施密特触发器	366
8.4.3	施密特触发器的应用	368
8.5	集成门组成的脉冲波形电路	369
8.5.1	微分型单稳态触发器	370
8.5.2	集成门组成的多谐振荡器	373
8.5.3	集成门组成的施密特触发器	353

第九章 数字/模拟及模拟/数字转换

9.1	数字/模拟转换器	377
9.1.1	电压激励T型电阻网络D/A转换器	377
9.1.2	电流激励D/A转换器	379
9.1.3	模拟开关	380
9.1.4	D/A转换器主要参数	382
9.1.5	D/A转换器芯片简介和应用	383
9.2	模拟/数字转换原理	384
9.2.1	取样及保持电路	385
9.2.2	量化及编码	387
9.3	模拟/数字转换器(ADC)	388
9.3.1	并行比较式ADC	388
9.3.2	串并行A/D转换器	390
9.3.3	逐位比较(逐次逼近)式ADC	392
9.3.4	双积分式ADC	393

9.3.5 A/D转换器的主要参数	396
9.3.6 A/D转换器芯片简介和应用	397

第十章 可编程逻辑器件PLD

10.1 只读存储器ROM	399
10.1.1 只读存储器的组成及原理	400
10.1.2 用ROM实现逻辑函数	404
10.1.3 ROM的应用与扩展	408
10.2 可编程逻辑阵列PLA	414
10.2.1 PLA的逻辑结构	414
10.2.2 PLA的应用	416
10.3 PLD的基本结构	420
10.3.1 PLD的简化表示	420
10.3.2 PLD的基本结构	422
10.4 通用阵列逻辑GAL	425
10.4.1 GAL器件的结构和特点	425
10.4.2 GAL器件的开发与应用	431
习题	440
附录1 引入变量卡诺图	472
附录2 BCD/七段译码器	478
附录3 阻塞反馈式异步计数器的设计	481
附录4 程序分频器	485
附录5 随机存取存储器(RAM)	491
附录6 常用符号对照表	497
参考书目	498

第一章 数字技术概念以及 数制和编码

1.1 引 言

自1938年香农 (Shannon) 将布尔 (Boole) 理论系统地应用到开关网络以来, 促使数字技术领域以及相关应用取得了惊人的进展, 这种情况在其它领域是少见的。当今的数字装置和部件, 如计算机、单片机、微处理器、计算器、电子表、数字电子仪器和智能仪器等已相当普及, 应用十分广泛。这些都是数字设计的成果, 它们都属于数字系统或称离散系统范畴。

与数字技术对应的学科是模拟技术, 我们过去熟悉的模拟装置和部件, 如收音机、电视机、录音机、模拟计算机、集成运算放大器和模拟电子测量仪器等都属于模拟系统或称连续系统范畴。

有趣的是, 随着电子学和集成电路的迅速发展, 越来越难以将两种技术——数字技术和模拟技术截然分开, 几乎每天都有两者混合体的电子装置和部件出现, 就是上述说法的证明。如数字电压表、数字示波器和开关电源等, 都是模拟和数字技术二者结合的产品。

我们已经比较熟悉模拟信号 (如正弦变化的电压和电流等) 的分析和处理方法, 对数字信号和数字量了解较少。若在一个正弦 (或非正弦) 信号周期内取若干个点的值, 取点的多少以能恢复原信号为依据, 再将每个点的值用若干位二进制数码表示, 这就是用数字量表示模拟量的方法。模拟信号可以转换成数字信号, 同样数字信号也可以转换成模拟信号。这说明同一问题可有

两种描述方式，存在由两个途径解决同一问题的方法，即连续方法和离散方法——模拟方法和数字方法。这两种方法各有特色，在解决某一具体问题，往往两种方法混合运用，到底各占多少比例，视具体情况而定。总的说来，数字方法在很多方面优于模拟方法，它们是：

△对器件参数变化不敏感

△可预先决定精度

△较大的动态范围

△更适合于非线性控制

△对环境温度变化敏感性低

△可靠性高

△系统依据时间划分进行多路传输时，有较大灵活性

△纯数字系统是由大量简单通断开关（机械的、电磁的和电子的）组成的，它基本上不随时间和温度产生漂移，系统性能始终一致

△数字系统的故障比模拟系统易于识别和消除

以上这些特点就是我们倾向采用数字方法的原因。

我们熟知的十进制数有 10 个符号，0、1、2、…、7、8、9，工程上制作具有 10 个状态的器件表示十进制数的 10 个符号是困难的，因此难于直接用十进制数实现自动化。由于二进制数只有两个符号 0、1，具有两个状态的器件在工程上比较容易实现，例如开关的通断、晶体管的导通与截止、脉冲的有无皆可表示 0、1 两个符号。因此在数字系统中广泛采用二进制数，它便于实现自动化。需要指出，0、1 既可代表二进制数的两个符号，在逻辑运算中它又可以代表两个逻辑状态。因此，不要将二进制数的符号 0、1 同逻辑运算的两个逻辑状态 0、1 混淆起来，后者只表示两种逻辑状态，完全没有数值概念。

在数字系统和自动控制中，广泛采用二进制数，人们熟悉的十进制数不能被机器直接接受，因此当人机通信时，则需要将十

进制数转换成二进制数，以便机器接受。当机器运算结束时，结果仍为二进制数，为便于阅读，常将该二进制数再转换成十进制数。为此需研究各种数制间的转换及不同的编码方式，以便于实现信息的传输。

1.2 数 制

十进计数制有 10 个符号 0、1、2、…、7、8、9；二进计数制只有两个符号 0、1；八进计数制有 8 个符号 0、1、2、…、5、6、7；十六进计数制有 16 个符号 0、1、2、3、…、9、A、B、C、D、E、F。可见，每一种计数制都有一组数字符号与之相对应。利用这些数字符号，按运算规则，可实现加、乘及其它运算。每一种计数制都有各自的基数，基数就是相应计数制的进制数。如二进计数制的基数为 2；十进计数制的基数为 10。一个具有整数和小数位的数可用下式表示为

$$(N)_r = (a_{n-1}a_{n-2}a_{n-3}\cdots a_2a_1a_0.a_{-1}a_{-2}a_{-3}\cdots a_{-m})$$

其中 r 是计数制的基数，常用的有 2、8、10、16 等； a 是一组数字符号，称为相应计数制的系数，对二进计数制是 0、1，对十进计数制是 0、1、2、3、…、8、9 等等； n 是整数部分的位数； m 是小数部分的位数； a_{n-1} 是数的最高位； a_{-m} 是数的最低位。

系数 a 随其在被表示的数中所处的位置不同而具有不同的权值。权值就是相应进制数的位值系数为 1 时所代表的数值。例如

$$\begin{array}{cccccc} \text{十进制数} & (& 4 & 2 & 7 & 3 & . & 5 &)_{10} \\ & & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \\ & & 1 & 1 & 1 & 1 & & 1 & \\ & & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \\ & & 10^3 & 10^2 & 10^1 & 10^0 & & 10^{-1} & \end{array}$$

其中处在 4 的位置的数代表千位，该位的权值为 1000，处在 2 位置的数代表百位，其权值为 100 等等。其它进制数权值表示方法类同，如