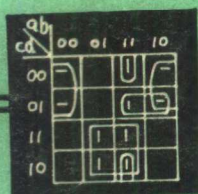


邮 电 高 等 学 校 教 材

数字电路与逻辑设计

安 德 宁 编



人民邮电出版社

邮电高等学校教材

数字电路与逻辑设计

安德宁 编

人民邮电出版社

内 容 提 要

《数字电路与逻辑设计》共分为四部分：第一部分是数字电路基础(1~3章)，第二部分是逻辑电路的分析与综合(4~7章)，第三部分是D/A和A/D转换(第8章)，第四部分是晶体管的开关特性及各种基本脉冲电路(附录)。书中对时序电路的分析和综合方法作了较深入的讨论，并介绍了用MSI、LSI电路设计数字系统部件的方法。书中设计实例较多，使读者便于理解和进一步思考。每章后附有习题。

本书适合计算机、无线电、通信及自控等专业的学生和工程技术人员阅读。

邮电高等学校教材

数字电路与逻辑设计

安德宁 编

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1985年11月第一版

印张：20¹⁶/₃₂ 页数：328 1985年11月北京第一次印刷

字数：470千字 印数：1—9,000册

统一书号：15045·总3159-教719

定价：3.75元

前 言

随着半导体技术的迅速发展，微计算机的广泛运用，数字技术在现代科学技术领域中已占有很重要的地位。目前无论是在计算技术、通讯、电视、雷达、自动控制、测试仪表，还是在人们的日常生活等各个领域，都广泛应用着数字技术。

在编写过程中，考虑到数字电路趋于集成化。因此，本书主要是介绍数字电路的分析和设计方法。在内容的编排上，把数字集成电路基础及主要的 SSI、MSI、LSI 电路与逻辑设计结合进行，具有分析和设计并重的特点。由于晶体管的开关等效电路分析法，也是数字电路的基本分析方法之一。而一些基本脉冲电路在电子仪器、通讯设备、雷达及计算机中还会碰到。为了适应不同学校、不同专业的教学需要，在附录中增加了有关脉冲电路的基本内容。

本书的内容是经过多年的教学实践后，在讲义的基础上修改写成的。并经邮电部教材编审委员会通过，作为邮电高等院校的统编教材之一。

在本书的编写过程中，曾得到北京邮电学院各级领导的关怀和支持，许多同志的帮助。特别是彭家浚、金良玉、徐惠民、易章智等同志对原稿提出过许多宝贵的意见，王云汀等同志在

绘图方面给予了指导和帮助。全书由北京邮电学院宋亚民、金良玉同志审阅。在教材编审会上，南京邮电学院、重庆邮电学院、长春邮电学院等兄弟院校的有关同志提出了宝贵的意见，在此，一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限，加之时间比较仓促，书中一定有不少缺点和错误，敬请有关老师和广大读者批评指正。

北京邮电学院 安德宁

1984.9

目 录

绪言	1
0—1 什么是数字信号	1
0—2 什么是数字电路和数字系统	2
0—3 数字电路与逻辑设计研究的范围	4
第一章 逻辑设计基础	6
1—1 几种常用的进位制及其相互转换	6
一、十进制和二进制	6
二、八进制和十六进制	7
三、十进制和二进制数字的相互转换	8
四、八进制、十六进制和二进制的相互转换	13
1—2 二—十进制码	14
一、8421码	14
二、2421码	15
三、余—3 码	16
四、余—3 格雷码	16
1—3 基本逻辑运算	17
一、“与”逻辑运算	18
二、“或”逻辑运算	19
三、“非”逻辑运算	21
四、逻辑关系的四种不同表现形式	22
1—4 逻辑代数基础	23
一、基本公理	23

二、对偶函数的定义	25
三、逻辑函数的基本定理	26
四、几个常用等式	29
1—5 几种导出逻辑	30
一、“与非”逻辑运算	30
二、“或非”逻辑运算	33
三、“与或非”逻辑运算	34
四、“异或”逻辑运算	34
五、“同”逻辑运算	36
1—6 逻辑函数的两种标准表达式	36
1—7 不完全定义逻辑函数	42
1—8 集合代数的概念	43
一、集合的概念	44
二、集合的运算	45
小结	47
习题及思考题	48
第二章 集成逻辑门电路	53
2—1 二极管门电路	55
一、二极管“与”门电路及其逻辑赋值	55
二、二极管正“或”门	57
2—2 晶体管—晶体管逻辑门	59
一、标准的 TTL 与非门电路	59
二、肖特基 TTL 门电路	75
三、低功耗肖特基 TTL 门电路	77
四、TTL 门电路的逻辑扩展	78
2—3 射极耦合逻辑门电路	86
一、ECL 门电路的工作原理	86

二、ECL 门的主要技术性能	90
三、ECL 门电路的逻辑扩展	95
2—4 MOS 逻辑电路	97
一、静态 N—MOS 反相器	99
二、C—MOS 反相器	104
三、N—MOS 逻辑门电路	106
四、C—MOS 逻辑门电路	108
五、MOS 传输门	110
六、动态 N—MOS 逻辑门电路	114
2—5 集成注入逻辑门电路	116
一、I ² L 基本门的结构和特点	117
二、I ² L 逻辑门	118
小结	120
习题及思考题	122
第三章 逻辑函数简化	131
3—1 逻辑函数简化的概念	131
3—2 代数简化法	132
3—3 卡诺图法	134
一、卡诺图的构成	134
二、卡诺图的填法	137
三、用卡诺图化简逻辑函数	142
3—4 系统简化法	151
一、求函数的全部素项	152
二、选择函数的最佳素项集	154
三、不完全定义逻辑函数的系统简化法	161
3—5 多输出电路的函数化简	163
一、用卡诺图法化简多输出函数	165

二、用系统简化法化简多输出函数·····	169
小结·····	174
习题及思考题·····	174
第四章 组合逻辑电路 ·····	185
4—1 组合逻辑电路的分析·····	186
4—2 组合逻辑电路的设计·····	196
一、两级逻辑门电路的设计·····	196
二、三级逻辑门电路的设计·····	207
三、集成门的扇入系数有限时,组合逻辑电路的设计··	216
4—3 组合逻辑电路的冒险现象·····	219
一、功能冒险·····	220
二、逻辑冒险·····	222
三、弥补冒险的措施·····	225
4—4 组合中规模集成电路及其应用·····	228
一、集成译码器·····	230
二、数据选择器·····	242
4—5 组合大规模集成电路·····	255
一、只读存储器·····	256
二、可编程序逻辑阵列·····	263
小结·····	270
习题及思考题·····	271
第五章 集成触发器 ·····	282
5—1 时序逻辑电路的特点·····	282
5—2 $R-S$ 触发器 ·····	285
一、基本的 $R-S$ 触发器·····	285
二、钟控 $R-S$ 触发器·····	291
5—3 其它功能的电位触发器·····	295

一、D 型触发器	295
二、J-K 型触发器	296
三、T 型触发器	298
四、各种类型触发器之间的转换	298
5—4 主从触发器	303
一、主从 J-K 触发器	303
二、C—MOS 主从 D 型触发器	308
5—5 边沿触发方式的触发器	310
一、维持—阻塞 D 型触发器	311
二、负边沿触发的 J-K 触发器	315
5—6 触发器的应用举例	319
一、单脉冲发生器	319
二、寄存器	321
三、移位寄存器	322
小结	329
习题及思考题	330
第六章 同步时序电路	340
6—1 概述	340
一、时序电路的分类	340
二、时序电路的状态表和状态图	341
6—2 同步时序电路的分析	344
6—3 中、大规模时序集成电路	357
一、MSI 移位寄存器	357
二、MSI 计数器	363
三、时序 PLA	372
6—4 同步计数器的设计	376
一、公式法	376

二、激励表法	379
三、修正法	383
四、移存型计数器	390
6—5 序列信号发生器	399
一、最长线性序列信号发生器	400
二、给定序列信号的设计	408
三、计数型序列信号发生器	411
6—6 一般同步时序电路的设计	413
一、原始状态表的建立	414
二、原始状态表的简化	419
三、状态编码	434
四、设计举例	443
五、用标准MSI/LSI电路的设计	451
小结	455
习题及思考题	456
第七章 异步时序电路	470
7—1 异步时序电路的特点	470
7—2 异步时序电路的分析	473
7—3 异步计数器的设计	490
一、脉冲反馈置“1”法	491
二、阻塞反馈法	493
7—4 一般异步时序电路的设计	497
一、原始状态流程表的建立	498
二、状态编码的基本方法	501
三、设计举例	513
小结	520
习题及思考题	521

第八章 数模及模数转换	529
8—1 数模转换原理.....	529
一、D/A转换器的基本结构	530
二、模拟开关.....	532
8—2 数模转换器.....	534
一、权电阻的D/A转换器	534
二、梯型网络的D/A转换器	537
三、二—十进制码的D/A 转换器.....	540
8—3 模数转换原理.....	544
一、模拟多路选择器.....	545
二、取样保持电路.....	545
三、量化和量化误差.....	548
8—4 模数转换器.....	550
一、并行比较式ADC	551
二、串并行比较式ADC	555
三、逐次比较式ADC	557
四、双积分式ADC	560
小结.....	563
习题及思考题.....	564
 附录 I 双极型和 MOS 型晶体管开关特性	566
一、晶体二极管开关特性.....	566
二、晶体三极管开关特性.....	571
三、三极管倒相器.....	578
四、MOS 晶体管开关特性	586
附录 II 脉冲波形的产生与变换电路	591
一、二极管限幅器和箝位器.....	591

二、集—基耦合双稳态触发器·····	597
三、单稳态触发器·····	606
四、自激多谐振荡器·····	614
五、射极耦合触发器·····	623
六、锯齿波电路·····	629
附录 III 半导体集成电路型号的命名方法 ·····	637
附录 IV TTL 标准门主要静态参数、产品规格, 典型 值和测试条件表·····	639
主要参考书·····	642

绪 言

数字电路已经广泛地应用于通信、电子计算机、电视、雷达、自动控制、电子测量仪器等许多领域中。特别是随着半导体技术的进步,大规模和超大规模数字集成电路的应用,已经给各类电子系统,特别是电子计算机的发展带来了深远的影响。现代的各种类型的微型计算机和数字系统都是利用各种规模的数字集成电路构成的。传统的通信技术都是利用模拟量进行的,但是有了数字集成电路之后,通信技术也在经历着一场数字化的变革。计算机与通信相结合则是工业发达社会的标志。

随着数字电路的应用领域的扩大,对现代技术、工业、社会和人类的文明产生着越来越深刻的影响。正因为如此,“数字电路与逻辑设计”课就成为电子工程各专业的一门重要的技术基础课。

0-1 什么是数字信号

在电子电路课中所遇到的信号,它们在时间上和数值上都是连续变化的模拟信号。而在数字电路中所要处理和存储的信号,在时间上是离散的数字信号。各种模拟物理量的模拟信号,都必须变为数字信号才能送入数字设备中进行加工处理。

所谓数字信号，广义讲就是能用不同的状态代表不同数码来传递信息的信号。最常用的数字信号是用电位的高、低或脉冲信号的有、无两个离散值来分别代表的 0 和 1 两个二进制数字信号。如用“1”代表电位信号中的高电位，或脉冲信号中的有脉冲；用“0”代表电位信号中的低电位，或脉冲信号中的无脉冲。注意，这里的“1”和“0”并未赋予任何数量的概念，故没有大小和正负之分。

数字信号有电位型数字信号和脉冲型数字信号之分。在电位型数字信号中，代表一个“1”的高电位和代表一个“0”的低电位所占时间是相等的，每一个“1”或“0”叫做一位（即一个 bit）。几个连续“1”或连续“0”就是几个 bit 长的高电位或低电位，如图 0-1（b）所示。但脉冲型数字信号是有脉冲代表“1”，无脉冲代表“0”，而对脉冲宽度则不做规定，如图 0-1（c）所示。

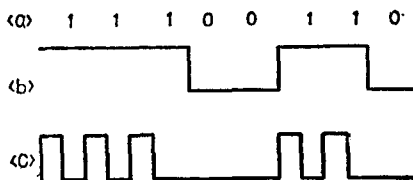


图 0-1 电位型和脉冲型数字信号

0-2 什么是数字电路和数字系统

所谓数字电路，就是用来处理数字信号的电路。在数字电路中，它的输入和输出信号都是数字信号。数字电路执行着对数据进行加工的算术运算，以及对电路进行某种控制的逻辑运算功能。完成这两种运算的基本电路有：门电路、触发器、半加器、全加器、编码器、译码器、码组变换器、比较器、寄存

器和计数器等。

✓ 对于数字电路的分析和设计需要考虑两方面的问题，一方面是电路的电气性能，如基本数字集成电路的工作原理，静态特性和动态特性等。另一方面是电路的逻辑功能，即输入信号和输出信号之间的关系。为了更清楚地表达复杂数字电路的逻辑功能，通常把基本电路用不同的逻辑符号来表示。这种由一系列逻辑符号及它们之间的联系所构成的电路图叫逻辑图。无论是在数字电路的分析还是设计工作中，逻辑图和逻辑功能之间的关系，都是核心的研究课题。

✓ 数字系统就是以数字电路为主，用来传送和处理数字信息的系统。数字系统不能直接对模拟信号进行处理。但是，许多数字系统又必须输入及处理一些模拟信号。这时就需要经过模—数转换器（A/D）把模拟信号变换成数字系统所能接受的数字信号。与此相对应的，数字系统的输出信号又必须经过数—模转换器（D/A）再变换成连续的模拟信号。这种 A/D 和 D/A 系统也算做数字系统的一部分。

✓ 数字系统的特点是基本环节一般比模拟系统多而重复，因而小规模集成电路，中规模集成电路和大规模集成电路已成为数字系统设计的“积木式元件”。逻辑设计就是研究用集成电路组成各种数字系统的方法。这些集成电路按不同的逻辑规律联结起来，就可以构成逻辑功能彼此不同的数字系统，随着大规模和超大规模集成电路的发展，在大规模数字系统中，正在用程序部分地代替电路，也就是说数字系统的逻辑功能，可由程序或者门及触发器电路来实现，两者在功能上是等效的（分别叫做程序逻辑和随机逻辑）。这样不仅可以节省设备，易于调试，而且可以增加逻辑系统的通用性。

0-3 数字电路与逻辑设计研究的范围

数字电路的分析和设计包括的范围非常广泛。特别是随着半导体技术的迅速发展,电子计算机的普遍应用,数字集成电路已由小规模集成(SSI)走向中规模集成(MSI)和大规模集成(LSI)。集成电路的工作速度正在不断提高,而成本也在不断降低,使得以往的功能部件在今天已成为基本电路的元件。大量使用通用的逻辑电路—微处理器的年代即将到来。与此同时,逻辑设计方法也发展得非常快,许多逻辑设计的经典规律在运用中、大规模集成电路的数字系统设计中已不适用了。因此,数字电路是一个发展非常迅速的学科。由于学时的限制,本课程只能介绍基本数字电路的分析和设计方法。即在数字集成电路中以介绍组成中、大规模集成电路的基本积木单元—集成门和触发器为主,也适当介绍一些常用的中、大规模集成电路,如数据选择器、译码器、移位寄存器、计数器、只读存储器(ROM)和可编程序逻辑阵列(PLA)等。在设计方法上以介绍经典的逻辑设计方法为主,也适当介绍一些用中、大规模集成电路进行逻辑设计的特点和方法。

本书共分八章。第一章是逻辑设计基础,主要介绍几种常用的进位制,常用的编码和逻辑代数基础。第二章是集成逻辑门电路,主要介绍现在广泛应用的TTL、ECL、MOS和I²L门的基本结构和对外特性。第三章是逻辑函数的简化,主要介绍三种简化方法,即代数法、卡诺图法和 $Q-M$ 的列表法。第四章是组合逻辑电路,既介绍用小规模集成门电路进行组合逻辑设计的方法。也介绍中、大规模组合集成电路及其应用。第五章是集成触发器,主要介绍各种类型触发器的逻辑功能,三种