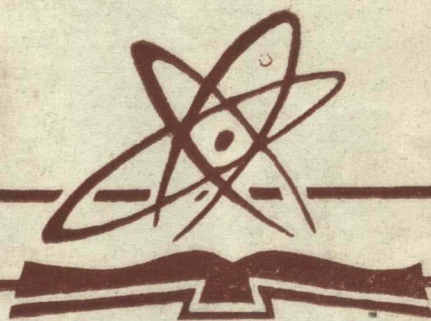


数字逻辑

西安交通大学

蒋大宗 余秉钧 金德庆 编著

国防工业出版社



数 字 逻 辑

西安交通大学电子计算机教研组

蒋大宗 余秉钧 金德庆编



国防工业出版社

数 字 逻 辑

西安交通大学 编著

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业 营业许可证出字第 074 号

西安交通大学印刷厂印装·内部发行·

*

787×1092 16开 印张 16 406千字

1979 年第一版 1982 年 8 月 第二次印刷 印数 23,001-31,800 册

统一书号: N.15034 (四教 004)

定价: 1.67 元

内 容 简 介

本书的中心内容是数字逻辑电路的基本概念和常用的设计方法。本书的第一部分说明了数字逻辑电路的概貌和表达方式。第二部分讨论组合逻辑的分析方法和设计技巧。在讨论中连系到具体的电子器件并举了一些应用的实例。第三部分讨论各类时序逻辑的分析方法和设计方法，最后加以总结并举了应用实例。末尾两章讨论了竞争现象和大规模集成的只读存贮器的应用。

本书供大专院校电子计算机或有关专业作基础技术课的教材使用。

前 言

本书系高等学校工科电子类电子计算机专业统编教材(试用)之一。本书按 1978 年 4 月在上海召开的该专业教材编审会所讨论通过的大纲编写。

本课程是电子计算机专业的一门基础技术课。和它相关联的课程是《计算机原理》和《电子技术基础》。这三门课程之间的分工在教材编审会上已有明确的规定。

本课程是学员接触本专业的第一门课程。考虑到目前我国学校一、二年级的实际教学内容,本书在数学上没有引用集合论等数学工具。只是简要的从实质问题出发,并不严密地引用了布尔代数和有关的逻辑概念。更严密的教学工具将在后续课程《离散数学》中再作介绍。

根据加强基本训练的原则,本课程的目的在于阐明数字逻辑电路的基本概念和 design 方法。本书中所介绍的几种常用方法都是希望学员能熟练掌握的。书中所举的例子,是为了演示这些基本方法。本书并没有意图要全面介绍计算机或数字装置中常见的一些基本部件,如各种运算器等。这些数字逻辑部件将在《计算机原理》课程中全面介绍。

在大规模集成电路出现后,对逻辑电路的设计原则有较大的影响。但由于尚未见到有系统的成熟材料,而我们又非常缺少实践的经验,所以对这方面未能有比较满意的论述。我们认为常规的简化原则还是逻辑设计的基本功,所以本书的内容还是以基本的常规方法为主线来讨论,只是在适当的地方提出大规模集成电路出现后值得重新考虑的问题。

本书从使用外特性的角度,回顾了应当在《电子技术基础》课程中学过的各种电子元件,为的是使抽象的逻辑设计能紧密地落实到具体的元件上。这样有利于联系实际结合具体问题,使本书不致显得太“空”。但电子线路中的噪声、串扰、反射、电源耦合等具体问题在本书中也没有涉及。如本课程与《电子技术基础》一课平行教学要适当处理其间某些内容的重复。

对于数字逻辑这一学科近来出现的一些新课题,如多值逻辑、阈值逻辑、计算机辅助逻辑设计和逻辑电路的故障诊断等。在原订大纲中要求作简短的介绍。在审稿期间经过反复讨论,认为本书的重点还是在讲清基本概念。这些课题在后续课程中还要接触到,有的还设置了选修课程。所以我们根据审稿的意见将该部分完全删去。

至于“程序逻辑”是解决逻辑设计的另一条路径,和本书主要介绍的“硬接线逻辑”的思路完全不同。要讲清这个问题要用电子计算机整机的概念。所以本书也不作介绍。

本书中的符号和代码等都尽量采用我国的国家标准规定。如逻辑电路图形符号就依据了四机部颁布的部标准 SJ1223-77。

本书由西安交通大学电子计算机教研组集体编写,由蒋大宗主编。其中一、四、七、十二章的初稿由蒋大宗执笔。三、五、六、十三章的初稿由余秉钧执笔。二、八、九、十、十一章的初稿由金德庆执笔。并经集体讨论修改。

· 本书承上海交通大学电子计算机教研组审稿，由王蔼主审。在审阅中提出了一些宝贵意见。于 1979 年 6 月初在闵行举行了有十二所院校参加的审稿会议。到会代表十七人在会上对初稿提了许多重要的宝贵意见。会后编者又根据会议讨论的意见作了最后修改。

由于编写的时间匆促，对这门课程我们又没有足够的教学和实践经验。书中的错误和不妥之处一定很多。请广大教师和学员在试用中不吝提出批评和指正。

编 者

1979年6月

目 录

前 言

第一章 绪言

1.1 什么是数字系统.....	1
1.2 为什么要用数字系统.....	1
1.3 数字技术的由来.....	2
1.4 数字逻辑电路的种类和研究方法.....	4

第二章 数制和编码

2.1 进位计数制.....	6
2.2 数制转换.....	8
2.2.1 多项式替代法.....	8
2.2.2 基数乘除法.....	9
2.2.3 任意二种进位制之间的转换.....	13
2.2.4 基数为 2^K 进位制之间的转换.....	13
2.2.5 数制转换时小数位数的确定.....	14
2.3 带符号数的代码表示.....	15
2.3.1 原码.....	15
2.3.2 反码.....	16
2.3.3 补码.....	17
2.3.4 原码、反码和补码之间的转换.....	17
2.3.5 加减运算.....	18
2.3.6 二进制整数的代码表示.....	20
2.3.7 十进制数的补的概念.....	20
2.4 数的定点与浮点表示.....	21
2.5 十进制数的代码表示.....	22
2.5.1 “8421”码.....	22
2.5.2 “2421”码.....	22
2.5.3 余3码.....	23
2.6 可靠性编码.....	23
2.6.1 Gray 码.....	23
2.6.2 奇偶检验码.....	25
2.6.3 Hamming 码.....	26
2.7 字符代码.....	28

参考资料	31
习题	31

第三章 布尔代数及基本逻辑函数

3.1 与、或、非逻辑运算的基本定义	32
3.1.1 “或”运算及或门	32
3.1.2 “与”运算及与门	34
3.1.3 “非”运算及非门	35
3.2 布尔代数的基本公式及规则	36
3.2.1 逻辑函数间的相等	36
3.2.2 基本公式	37
3.2.3 布尔代数的三个规则	38
3.3 几个附加公式	41
3.4 实际逻辑电路的逻辑函数	42
3.4.1 与非逻辑及或非逻辑	43
3.4.2 与或非逻辑	44
3.4.3 异或逻辑及同或逻辑	44
3.5 逻辑运算符的完整性	46
参考资料	47
习题	47

第四章 实现逻辑功能的电子器件

4.1 用电子器件实现逻辑功能	49
4.1.1 用集成技术制造逻辑门电路	49
4.1.2 逻辑门的性能指标	50
4.1.3 集成逻辑电路的种类	52
4.2 TTL 集成电路	53
4.2.1 TTL 与非门	54
4.2.2 对 TTL 门输出端的处理	55
4.2.3 TTL 的其他逻辑门	58
4.2.4 由 TTL 派生出的电路	62
4.3 高速双极型器件的逻辑电路	63
4.3.1 典型的 ECL 电路	64
4.3.2 低功耗的 ECL 电路	65
4.4 用场控晶体管的逻辑电路	65
4.4.1 MOS 管构成反相器和与非门	65
4.4.2 n 沟 MOS 器件作门电路	67
4.4.3 互补 MOS 的逻辑电路	68
4.4.4 其他的 MOS 逻辑电路	69

4.5 中大规模集成电路中的电子器件.....	69
参考资料.....	71

第五章 组合逻辑电路的分析及简化

5.1 逻辑电路的分析.....	72
5.2 逻辑函数的代数简化法.....	74
5.2.1 与或式的化简.....	75
5.2.2 或与式的化简.....	77
5.3 逻辑函数的图解简化法.....	77
5.3.1 最小项及最大项.....	77
5.3.2 卡诺图的构成方法.....	82
5.3.3 逻辑函数在卡诺图上的表示.....	86
5.3.4 用卡诺图将逻辑函数简化成与或式.....	87
5.3.5 用卡诺图将逻辑函数简化成或与式.....	89
5.4 $Q-M$ 简化法.....	90
5.5 逻辑函数简化成与非—与非表示式.....	93
5.6 逻辑函数简化成或非—或非表示式.....	94
5.7 逻辑函数简化成与或非式.....	95
5.8 逻辑函数简化中几个实际问题的考虑.....	96
5.8.1 包含无关最小项的逻辑函数的简化.....	96
5.8.2 具有多个输出的逻辑函数的简化.....	99
5.8.3 输入反变量不存在时的与非网络的简化.....	105
参考资料.....	109
习题.....	110

第六章 组合逻辑电路设计举例

6.1 二进制运算电路的逻辑设计.....	113
6.1.1 半加器.....	113
6.1.2 全加器.....	114
6.2 十进制运算电路的逻辑设计.....	117
6.2.1 BCD 代码的变补器.....	117
6.2.2 BCD 代码奇偶位发生器及奇偶检测器.....	118
6.2.3 七段数字显示器.....	119
6.3 代码转换电路.....	121
6.3.1 BCD 码转换成二进制数码的转换电路.....	121
6.3.2 8421码转换成 Gray 码的转换电路.....	122
6.4 译码器.....	123
6.5 多路选择器.....	125
6.5.1 多路选择器的逻辑特性.....	125

6.5.2 用多路选择器实现逻辑函数	126
6.6 多路分配器	128
参考资料	130
习题	130

第七章 实现记忆作用的电子器件

7.1 为什么要有记忆作用	133
7.2 用逻辑门来构成触发器	133
7.2.1 基本的 SR 触发器	134
7.2.2 有同步脉冲控制的 SR 触发器	136
7.2.3 触发器外特性的逻辑描述	137
7.3 SR 触发器	137
7.4 多功能触发器	138
7.4.1 JK 触发器	138
7.4.2 主从结构的触发器	139
7.4.3 主从 JK 触发器	140
7.4.4 实际的集成 JK 触发器及其逻辑描述	141
7.4.5 T 触发器	142
7.5 边沿触发的触发器	142
7.5.1 边沿触发的 JK 触发器	143
7.5.2 维持阻塞结构的触发器	144
7.5.3 维阻 D 触发器	144
7.5.4 实际的集成 D 触发器	146
7.6 触发器类型的相互演化	147
7.7 延时元件作为记忆装置	148
7.7.1 移位寄存器作为动态存贮器	149
参考资料	150
习题	151

第八章 同步时序电路的分析

8.1 时序电路的概述	152
8.2 时序电路的状态表和状态图	153
8.2.1 不考虑外部输出的状态图和状态表	154
8.2.2 Mealy 型电路的状态图和状态表	155
8.2.3 Moore 型电路的状态图和状态表	156
8.3 同步时序电路的分析方法	157
8.4 几个典型例子的分析	157
参考资料	164
习题	164

第九章 同步时序电路的设计

9.1 概述	166
9.2 形成原始状态表	167
9.3 状态化简	168
9.3.1 最小化状态表和等效状态的概念	168
9.3.2 利用隐含表进行状态化简	171
9.4 其他设计步骤与各类触发器的激励表	173
9.4.1 其他设计步骤	173
9.4.2 触发器的激励表	174
9.5 设计举例	175
9.6 关于状态分配的讨论	180
9.7 不完全给定同步时序电路的设计	183
9.7.1 不完全给定的概念	183
9.7.2 相容状态和相容类	184
9.7.3 状态化简	185
习题	187

第十章 异步时序电路的分析和设计

10.1 脉冲异步电路的分析	190
10.2 脉冲异步电路的设计	193
10.3 电平异步电路的概述	195
10.4 电平异步电路的分析	197
10.5 电平异步电路的设计	200
习题	206

第十一章 时序电路小结和应用举例

11.1 时序电路的分类及其研究方法	208
11.2 常见的一些典型时序电路	211
11.2.1 寄存器	211
11.2.2 计数器	212
11.2.3 序列检测器	213
11.2.4 信号发生器	215

第十二章 竞争与险象

12.1 竞争现象	219
12.2 组合电路中险象的产生	220
12.2.1 静态险象	220
12.2.2 动态险象	221

12.3 组合电路中险象的消除.....	222
12.4 时序电路中的险象.....	224
12.4.1 时序电路所特有的竞争现象.....	224
12.4.2 时序电路中的重要险象.....	226
12.5 对时序电路中竞争的处理.....	227
12.5.1 用改变状态分配来消除险象.....	227
12.6 时钟脉冲的差异.....	229
参考资料.....	230
习题.....	231

第十三章 只读存储器

13.1 只读存储器的实现方法.....	232
13.2 只读存储器设计应用举例.....	235
13.3 可编程逻辑阵列(<i>PLA</i>).....	237
13.3.1 组合可编程逻辑阵列.....	237
13.3.2 时序可编程逻辑阵列.....	240
13.4 可写入程序的只读存储器(<i>PROM</i>).....	243
参考资料.....	244
习题.....	244

第一章 绪 言

1.1 什么是数字系统?

在我们四周的世界中存在许许多多物理量,我们把表征他们的数值特征的量叫做信息。人类的生产和生活活动中就要大量的传递、加工和处理这些信息。这些物理量常常是具有连续变化的特点。例如:大气温度的变化,水库中蓄水水位的变化等等。这些温度或水位可表现为任意连续变化的实数。但是在工程应用中,我们往往采用另一种易于传递或处理的物理量(譬如电压)来代表原有的温度或水位。这就有了比拟或者模拟的概念。在现代的工程技术中,已经习惯于用一个不太适当的术语模拟量(Analog value)来称呼连续变化的物理量,应当说,目前大多数指示仪表还都是模拟量的显示。如钟表指针、压力表、温度计、电流表、电压表都是属于这一类。但这类仪表较难得到较高的精度,在传递过程中也容易产生误差。另一类表示的方法就是把这些物理量的连续值,在一定的精度要求下以数字值来表示。如以水位为 1,375 米来代表实际为 1.37492……米的水位。这样做法其绝对误差虽尚有 1 毫米之多,但是模拟量的仪表却很难准确地得到和传递同样精度的信息。这种数值化的表示方法称之为离散量(Discrete value)。这种量对立于前面所提的模拟量,也有一个被习惯采用但不十分恰当的名称叫数字量(Digital value)。

运用电子技术可以相当方便地把模拟量和数字量相互变换。这就是所谓模-数变换(A-D Conversion)以及数-模变换(D-A Conversion)。

使用数字量来传递和加工处理信息的实际工程系统就称之为数字系统(Digital system)。在一个数字系统中如 1.375 米的水位要用到四位十进制数来表达。实验上,为了提高数字系统的可靠性,数值是用第二章中将要介绍的二进制数来表示的。二进制数只有 0 和 1 两个符号,在传递和处理时不易出错。这就大大地提高了系统的可靠和准确性。在下一章中可以看到。这样一个四位数如改用二进制数来表示将要占到 11 个数位。这种做法可以看成是把原来的数编成另外一种代码(Code)。这就是用 11 个简单的二值性的信息(不为 0,即为 1)来代表这一个水位值。这要花费较多的器材和设备才能达到,要比一个简单电压表(模拟指示器)要复杂。一般说来,一个数字系统常要比同样功能的模拟系统要花费更多的资金,例如目前一个普通模拟电压表仅值数十元,而一个数字电压表往往要值上千元。但数字系统的精度和可靠性却可以大大提高。

在我们以前学习中所使用的仪器和设备,大多数是属于模拟系统,现在开始要接触数字系统。本书就是讨论数字系统的基本性能 and 设计方法。

1.2 为什么要用数字系统?

前面已经说到数字系统有准确和可靠的优点,但设备用得较费。若 11 位的二进制信息要

11根导线来传递,这当然是不经济的。但把这11位信息排成队依次在一根导线上传送,那末只要一根线就够了,但需要11倍的时间才能送完全部信息。这是用时间来换取设备的投资。这种在时间上依次传送的技术,在数字系统中叫作串行。而把多位信息同时传送的办法叫作并行。用串行的办法可以使得数字系统在经济上有可能达到和模拟系统相比的程度。实际上,一个物理量常常是随着时间的进展在不断地变化着。要把这个量从模拟量变为数字量,这个数字量只能每隔一段时间跳变一次。这样把这个随时间变化的量在时间上也加以离散化,这就是所谓采样技术。采样的时间间隔愈短,这个被数字化了的量就愈能精确的近似原来物理量的变化。但是这样信息的总量也就增加了。

近年来数字电子器件的进展,可使数字信息传递和加工的速度达到很高水平,例如传送的延迟可短到一毫微秒(10^{-9} 秒)以内。这样即使采用串行的办法,传送或加工一组信息所需的时间也是很短的。如果传送或加工所需的时间比起整个物理系统的活动过程所需要的时间是可以忽略不计的话,那么这个数字系统就可以称作实时系统。在实时系统中,数字部分的设计就可以象在普通的模拟系统中一样处理,而不必作时间配合上考虑。所以只要数字器件的速度足够快,系统设计上也是很方便的。

从这里可以看到,数字系统可以完全承担起过去传统的模拟系统在工程技术所做的每一项工作,并且有可能做的比原来的更好。只不过在经济和性能的综合考虑上,我们要恰当地解决下列的一些矛盾:如速度和器件的成本,速度和设备复杂的程度,精度和系统复杂的程度等等。

随着新型电子器件的不断出现,大规模集成电路工艺的成熟,高速的复杂电路的成本日益降低,这样使得数字系统对传统的模拟系统的竞争能力愈来愈强。再加上数字系统所特有的标准化,通用性和灵活性,在设备制成后也很容易作适应生产变化的修改和改进,这就是为什么数字系统在近年来日益被人们广泛采用的原因。

数字系统除了对信息可以进行数值的运算加工外,还可以方便的进行各种逻辑加工。这些逻辑加工在控制、决策等应用中是很重要的。在传统的模拟系统中,要完全准确的运算和逻辑判断的功能要用较为复杂的设备才能办到,这是数字系统的另一个优点。因此,数字系统也常被习惯的称为数字逻辑系统(Digital logical system),或称为数字逻辑电路(Digital logical circuit)。这个名称从字面上看似乎有点含混费解,实质上就是研究数值的逻辑加工和运算的电路。本书的书名就采用了这个习惯名称:《数字逻辑》。

数字逻辑系统中最有代表性的设备就是数字电子计算机,它在国民经济的各个领域都有了广泛的应用。在工业和其他领域中的数字控制系统,可以直接对各种生产对象进行控制,最近已发展到具有一定智能的机器人的程度。在通信领域中所谓按时间划分的多路通信制,也是数字技术的一类典型的应用。

1.3 数字技术的由来

前面已经说到电气的数字技术简单可靠的特点,首先在于代表一个量的信号具有二值性,即不是“有”就是“无”,不是“是”就是“非”,或不是“真”就是“伪”。因此表达这种量最原始的电气工具就是开关,一个开关只能有两种状态,不是“通”就是“断”。以开关来实现二值性的逻辑控制,最简单的例子就是日常生活中遇到的以多个开关来控制一盏白炽灯的线路。这

类控制电路可以做得很复杂，以得到很特殊的逻辑功能。为研究如何最经济的实现一定的逻辑功能，科学家们发展了一套所谓“开关理论”(Switching theory)。并为此应用了一种专门的数学工具，它不同于普通的代数规律，专门用来表达二值性的函数关系，这是本书中将要介绍的布尔代数。工业系统中目前正在使用的众多控制设备中，有许多具有逻辑功能的设备也就是属于简单的数字逻辑系统。

在19世纪末出现的电报通信可以说是第一个简单的二值性电气数字系统。接着在本世纪30年代前后，电话大量普及。遇到的问题就是如何从众多的电话机中选取你所需要的对象。电话的数量已经多到无法用人工的方法来转接，解决的办法就是我国还在普遍使用的拨号式自动交换系统。自动电话就是一个典型的电气数字系统，在号码盘上依次拨动的五位或六位十进制号码就是从一对电线上串行传送的脉冲编码信号。自动电话成为数字技术发展的一个里程碑。在自动交换系统中大量的用了电磁式继电器，继电器不但增强了开关电路的逻辑功能，并且在数字技术中初次引进了信息存贮或记忆的新概念。在二十年的进展中丰富了数字技术的经验，使得开关理论趋于成熟，成长为称为“继电一触点网络理论”(Relay-Contact network theory)的一门学科。在这个理论的基础上，我们建立了一套对于数字逻辑电路进行分析和综合设计的方法。

在40年代，由于要求高速度进行大量的精确计算工作，这就要求计算工作的机械化和自动化。当时很自然的想到利用数字技术，但继电器这样的器件无论在速度上和能量消耗上都不能满足需求。1946年出现了第一台用电子管的电子数字计算机。也就是现在称为第一代的电子计算机。这部计算机为了使计算工作能高速地自动进行，采用了数字技术中的存贮程序技术。所谓程序(Program)就是一串操作或运算命令的集合，不过这些命令已经被编成计算机能够识别的数字代码。程序这一概念可追溯到我国古老的提花织布机，在提花机上有个样板预先按该织出的花纹一行行地把哪一根经线该提起或放下作出记号(注意它的二值性，不是“提起”就是“放下”)。这样织机就按它的要求自动地把纬线织出花纹来。这个样板上一行行的记号就是程序。现代化的计算机不过是把程序存放在专门的存贮电子器件中，程序也是可以任意变更的。为了使现代化计算机使用更方便，在计算机中除了要放进人们需要的计算程序外，还预先放着一个庞大的程序系统来管理计算机内部的工作。这种管理用的程序和应用的程序，现在通称为软件(Software)。目前，计算机系统中大量的软件成为愈来愈重要的部分。而构成计算机的各元件、器件、接线、附属设备等实物，则通称为硬件(Hardware)。在这三十年中，电子计算机不论在硬件方面或软件方面都有许多划时代的进展，本书所讨论的主要是数字系统中的硬件部分的一些问题。

从硬件的角度来看：以晶体管代替了真空电子管是进入第二代的标志，这次的改进主要是缩小体积和降低能量消耗，在工作速度上也有所提高。接着在一块半导体的小块上，同时制造出相互连接的几十个电子器件和元件的所谓集成电路(Integrated circuit)。以这种集成电路装成的电子计算机就是第三代。这代机器进一步缩小了体积、降低了功耗。还由于器件引出线的大量减少，其可靠性大幅度的提高。这就为计算机不但可进行大量的繁杂计算，而且可以应用到许多实际生产现场中创造了条件。

在第二代、第三代电子计算机发展的同时，大量的国防、工业、科研、医疗领域中普遍的应用了数字技术。数字电子技术深入到各行各业中去，这是由于集成电路的价格愈来愈低廉所致。便宜而性能优良的数字电路的出现，使得原来不敢采用数字技术的仪器和设备，都

纷纷采用了。数字化仪器、仪表、机床和其他数字控制设备等等使得数字技术出现了百花齐放的局面。这些数字电子设备从计算机的角度来看也不妨称作一些专用的计算机。

到70年代中期集成电路的规模,已由一块硅片上制造几十个器件而发展到几百个、几千个、甚至达到上万个器件,分别被称作小规模、中规模、大规模和超大规模集成电路(SSI、MSI、LSI、GSI)。这种大规模集成器件又进一步提高了可靠性并大幅度的降低了成本。现在已经可把一整台计算机制造在一块半导体材料上,这就是所谓微型计算机或单片计算机。这样的微型计算机其功能大致可与当年的第一台电子计算机相当,速度还要快,而其大量生产的价格则可降到与一台普通半导体收音机相当的程度。有人把微型机的出现称作第四代,不单是从硬件角度看它的集成规模大,而且从它的通用性和价格低廉来看。现在的趋势是把这种廉价通用的微型计算机装入各种各样的仪器、仪表和控制设备。今后在某些方面的应用上可能将看不到有独立存在的通用或专用计算机,而是把计算机吸收到设备总体里面去了。计算机或数字设备的成本将只占整个设备的很小一部分,这是因为采用了廉价的通用微型机而不需要专门为这种应用设计专用的数字系统。对于专供科学计算或处理大量数据的大型或巨型计算机,则也可采用很多个微型计算机来排成阵列同时工作。这在硬件角度来看也就是全面的应用了大规模集成电路,这可以说是数字技术发展的新阶段。

有趣的是,曾作为数字技术发展初期的推动力的自动电话继电器交换系统,多年来没有太大的变化。而在第三代第四代计算机出现后又采用了以通用计算机作程序控制的、使用新概念的全电子交换系统。它能提高交换业务的质量,大大缩小了交换机的体积,使电话服务更好地利用了数字技术。

1.4 数字逻辑电路的种类和研究方法

一般数字系统中表达二值性逻辑值的元件或器件,可以是机械装置的翻板或凸轮,以气流控制的所谓射流器件,或是液压系统中的阀门。但这些器件的速度过低,能源不方便,以及其他种种原因都竞争不过电子器件。现在的数字系统,绝大多数是应用不同的电子器件。所以本书是讨论数字逻辑电路。

数字逻辑电路以能完成独立逻辑功能的一组电子元件和器件所组成的线路为基本单元。这种基本单元叫作逻辑门(Logical gate)。后面我们会看到,整个复杂的数字系统都可以由一种或几种基本的标准逻辑门来构成。所以《数字逻辑》的内容,就是研究如何把复杂的逻辑功能分解为由许多基本的逻辑门所综合成的一个网络或线路。

数字逻辑电路可以分作两类。一类是逻辑电路的输出只和当时输入的逻辑值有关,而与此电路过去的历史状态无关,这叫作组合逻辑(Combinational logic),意思是输出只与某些输入的组合有关。这一类逻辑电路可以用普通的对字锁来比拟。如一只有三个码盘的对字锁,只有当三位正确的数字组合在一起时这个锁方能打开,只要有一位数字不正确就不能打开这个锁。也就是说打开这把锁,只有三个正确的数字同时出现在码盘上时才有可能。而与码盘过去曾经放过的数字无关。另一类则是逻辑电路的输出不但和当时输入的逻辑值有关,而且和在此以前曾经输入过的逻辑值有关,这叫作时序逻辑(Sequential logic)。意思是输出与输入值的过去和现在的顺序都有关系。这种电路的工作要复杂得多。要构成这种电路,其内部要有能存贮信息的器件或者在线路的内部存在着局部的有时延的反馈。这种逻辑

电路基本性能的研究尚在继续发展。在有些文献中,将这一类电路称之为有限状态自动机(Finite state machine)。同样,时序逻辑电路也可以用一种对字锁来比拟。用在保险箱上较高级的对字锁只有一个码盘,譬如说要连续拨动三次,每次都要是正确数码方能打开。第三次拨动的数码输入时,必须要在前两次都送入正确数码时,才能打开。这意味着最后的输出不但和当时的输入(第三个数码)有关,还和当时的内部状态(前两次输入造成的)有关,有了这样的时序电路,数字系统才能完成复杂的逻辑功能。

对于一个现成的数字逻辑电路,研究它的工作性能和逻辑功能叫做分析。先确定要完成的逻辑功能,再求出应有的逻辑电路则叫作综合,或逻辑设计。逻辑设计并不一定都是按照一定的繁琐规则去做的,也可选用已经成熟的现成基本线路环节来构成。这不失为节省时间的好办法。通常设计的解答不是唯一的,但我们要找的是一个最佳的设计,要满足全面的性能指标。例如在完成需要的逻辑功能的前提下,还要求满足价格最低、时间最省、功耗最小、可靠性高、还有所用的元件器件都是可以从市场上买得到的等等。因此最佳设计是受当时的具体客观条件所制约的。必须紧密联系实际,才能决定适合于当时当地条件的最佳设计。

就技术经济指标来看,初步要求是所用的逻辑门的数目最少。为了这一个目标,已经发展出多种求最简化逻辑结构的方法。按照这些方法是可实现最佳设计的。可是在今天集成电路的规模愈来愈大、可靠性提高、价格降低的新条件下,仅追求逻辑门的数目最少,并不一定是最佳设计了。现在作为评价设计的指标常常变为追求集成封装(集成块)的数目最少和引出线的总数最少。因为这二者是决定系统可靠性和价格的主要条件。但设计必须是选用在市场上能顺利购到的集成电路品种才行;否则设计再好也是落空的。所以,一个好的工程设计并不仅仅是技术上力求先进的问题,最佳的条件是错综复杂的。

在本书的讨论中,还是以寻求逻辑门数目最少为目标。这些方法仍是数字逻辑的基础,也是一些成熟了的方法。对于适合于新的工艺条件下如何寻求最佳设计,现在尚未发展出成熟的系统方法。我们通常只是按传统方法找出最简化的结构以后再根据实际情况加以调整。

在一个数字逻辑系统中,如有一个输入的逻辑值在某一时刻有变化,本应导致输出的逻辑值有相应的变化。但这些逻辑值在经过各个逻辑门加工时都不可避免的要有延。这就有可能造成一些差错。为了解决这个问题,就提出了一种办法在整个系统中加上同步的信号。要求所有的逻辑值都在同一个瞬间变化。即使有某一个输入值在其他的时刻有了变化,它也要等到同步信号到来的瞬间方才发生作用。这样整个的逻辑系统都随着同步信号有节奏地有条不紊工作。这种同步信号一般是短脉冲,常称作时钟脉冲(Clock pulse)或同步脉冲。这种具有时钟信号的数字系统也就称作同步逻辑电路(Synchronous logic circuits)。相反,没有时钟信号的数字系统,就称作非同步逻辑电路或异步逻辑电路(Asynchronous logic Circuits)。对于一个大的系统来说如果采用同步的办法虽然设备上略多一些,但在设计上会减少许多时间配合上的困难,整个系统在工作上发生差错的可能性也少得多。所以,大多数复杂数字系统是同步型的。