

张元英 张榕民 编

数字逻辑

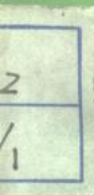
SHUZI LUOJI

ZIBIAN JIAOCAI



武汉大学出版社

WUHANDAXUECHUBANSHE



数 字 逻 辑

张元英 张裕民 编

武 汉 大 学 出 版 社

数字逻辑

张元英 张裕民 编

*

武汉大学出版社出版发行

(430072 武昌 珞珈山)

国营华严彩印厂印刷

850×1168 毫米 1/32 8.25 印张 206 千字

1994 年 5 月第 1 版 1996 年 3 月第 2 次印刷

印数:2001—4000

ISBN 7-307-01531-5/TP·45

定价:8.20 元

前 言

数字逻辑是电子计算机专业的一门基础技术课。根据加强基本训练的原则,本书着重阐明了数字逻辑电路的基本概念和设计方法。和本课程相关联的是《计算机原理》和《电子技术》。为了本书内容的完整性、系统性及对学习《计算机原理》有承上启下的作用,本书特编写了“运算方法”一章。全书的图形符号采用的均是国际通用标准。

全书共分七章。第一章绪言。第二章计算机中的数字系统。介绍计算机中常用的进制及其相互转换、码制和常用编码。第三章布尔代数。从数字逻辑的基本观点出发,介绍了逻辑代数的基本概念、运算,以及公理和定理等。它是逻辑分析和综合的数学工具。第四章组合逻辑电路。介绍了组合逻辑电路的分析和综合方法。在介绍组合逻辑电路分析方法的同时,引入了卡诺图化简和列表法化简布尔函数的方法。第五章时序逻辑电路。着重介绍了同步时序电路的分析和设计方法。第六章基本逻辑部件。介绍了一些由组合逻辑电路和时序逻辑电路组成的基本逻辑部件。如寄存器、计数器、译码器、加法器等的功能及设计方法。第七章运算方法。介绍了原码、补码、反码的加、减、乘、除运算及逻辑框图。

本书为了培养学生的逻辑推理能力,打好较充实的专业基础,尽量注意了学科知识的系统性和逻辑推理的严密性。同时又力求叙述简明并通过练习和实验以求对理论知识的更好理解。

本书在编写过程中得到了武汉大学计科系及关心本书的同行的关怀与支持,在此深表谢意。本书中插图均由陈宝联、王莉娟同

志负责。由于编者水平有限,难免有许多缺点和错误之处,恳切希望读者批评指正。

编 者

1993年10月于武汉大学

目 录

第一章 绪论	1
1.1 电子数字计算机的发展历史	1
1.2 电子数字计算机系统及其主要特点	2
1.3 电子数字计算机与数字系统	4
第二章 计算机中的数字系统	8
2.1 进位计数制	8
2.1.1 十进制数的表示	8
2.1.2 二进制数的表示	9
2.1.3 二进制的特点	11
2.1.4 八进制数和十六进制数	13
2.2 进位制数之间的转换	15
2.2.1 十进制整数转换成二进制整数	15
2.2.2 十进制小数转换成二进制小数	16
2.2.3 二进制数转换成十进制数	18
2.3 数的定点与浮点表示	19
2.4 原码、补码和反码	24
2.4.1 机器数与真值	24
2.4.2 原码表示法	25
2.4.3 补码表示法	26
2.4.3.1 补码的简单性质	29
2.4.3.2 补码的基本公式	30
2.4.3.3 变形补码	33

2.4.3.4 整数的补码	36
2.4.4 反码表示法	37
2.5 计算机中的几种常用代码	39
2.5.1 代码的唯一性和长度	39
2.5.2 有权码	40
2.5.2.1 8421 码	40
2.5.2.2 余 3 码	40
2.5.3 无权码	42
2.5.4 字符码	43
习 题	43
 第三章 布尔代数和逻辑门	47
3.1 布尔代数简介	47
3.1.1 逻辑变量	47
3.1.2 逻辑运算	48
3.1.3 逻辑函数	50
3.2 布尔代数的基本公式	53
3.2.1 逻辑函数值相等	53
3.2.2 布尔代数的基本公式	55
3.2.3 关于等式的若干规则	56
3.2.3.1 代入规则	56
3.2.3.2 反演规则	57
3.2.3.3 对偶规则	58
3.2.4 若干常用公式	59
3.3 布尔代数和命题演算	61
3.4 布尔代数和集合运算	67
3.5 其他逻辑操作	74
3.6 数字逻辑门	76
习 题	80
 第四章 组合逻辑	83

4.1	组合逻辑电路的分析	83
4.2	用真值表描述布尔表达式	84
4.3	布尔表达式的化简	87
4.3.1	公式化简法	87
4.3.2	最小项和函数的最小项表达式	90
4.3.2.1	最小项	90
4.3.2.2	最小项的性质	91
4.3.2.3	函数的最小项表达式	93
4.3.2.4	函数的最小项表达式的性质	94
4.3.3	图解法化简	97
4.3.3.1	真值表与卡诺图	97
4.3.3.2	卡诺图的编号	99
4.3.3.3	用卡诺图化简布尔表达式	103
4.3.4	列表法化简	105
4.3.4.1	质蕴含函数	105
4.3.4.2	用列表法求蕴含	108
4.3.4.3	蕴含函数的化简	111
4.4	布尔代数在设计中的应用	113
4.4.1	用“与-非”门构成的组合逻辑电路	114
4.4.2	用“与-或-非”门构成的组合逻辑电路	116
4.4.3	设计中应注意的几个问题	117
4.4.3.1	没有反变量输入时的化简问题	118
4.4.3.2	多输出网络的化简	121
4.4.3.3	不完全规定函数	122
4.4.3.4	减少级数的方法	125
习 题		128

第五章 时序逻辑..... 133

5.1	引言	133
5.2	触发器	134
5.2.1	基本触发器电路	134
5.2.2	时钟 RS 触发器	135

5.2.3 D 触发器	137
5.2.4 JK 触发器	138
5.2.5 T 触发器	139
5.3 触发器的触发	139
5.3.1 主-从触发器	141
5.3.2 边触发的触发器	144
5.3.3 直接输入	146
5.4 时钟时序电路的分析	147
5.4.1 时序电路的一个例子	147
5.4.2 状态表	148
5.4.3 状态图	149
5.4.4 状态方程	150
5.4.5 触发器的输入函数	152
*5.5 状态化简和分配	153
5.5.1 状态化简	153
5.5.2 状态分配	157
5.6 触发器激发表	158
5.6.1 RS 触发器	159
5.6.2 JK 触发器	160
5.6.3 D 触发器	161
5.6.4 T 触发器	161
5.7 设计过程	161
5.8 用状态方程的设计	167
5.8.1 具有 D 触发器的时序电路	168
5.8.2 JK 触发器的状态方程	169
习 题	171

第六章 基本逻辑部件..... 174

6.1 寄存器	174
6.1.1 代码寄存器	174
6.1.2 移位寄存器	175

6.2	计数器	176
6.2.1	加“1”计数器的计数规律	176
6.2.2	脉冲进位型计数器	177
6.2.3	电位进位型计数器	179
6.2.4	不规则计数器	181
6.3	译码器	184
6.3.1	多—译码器	185
6.3.2	—多译码器	186
6.3.3	多-多译码器	188
6.4	多路转换器	189
6.5	时钟脉冲和单脉冲线路	195
6.5.1	时钟	195
6.5.2	单脉冲线路	195
6.6	节拍发生器和脉冲分配器	198
6.6.1	计数型节拍发生器	198
6.6.2	移位型节拍发生器	199
6.6.3	脉冲分配器	200
6.7	加法器	201
6.7.1	二进制加法器	201
6.7.2	用半加器构成全加器	206
6.7.3	十进制加法器	207
习 题		211
第七章	运算方法	214
7.1	加减法运算	214
7.1.1	补码加法	214
7.1.2	溢出判断	216
7.1.3	补码浮点加减法	217
7.1.4	舍入问题	219
7.1.5	反码加法运算	220
7.1.6	减法运算	221

7.2 乘法运算	222
7.2.1 原码一位乘法	222
7.2.2 补码一位乘法	225
7.3 两位乘法	232
7.3.1 原码两位乘法	232
7.3.2 补码两位乘法	234
7.4 除法运算	238
7.4.1 原码除法	239
7.4.2 补码除法	243
7.4.3 补码除法的几点说明	248
习 题	250
主要参考文献	252

第一章 绪 论

人类在生产劳动中发明了各种计算工具，其中最早的一种就是我国劳动人民创造的算盘，算盘是用算盘珠子表示“数字”，通过拨动珠子进行数值运算。因而它是一种数字式计算工具。大家所熟悉的计算尺是以线段长短表示数值大小，即以线段模拟数值的，因此它是一种模拟计算工具。

电子数字计算机和算盘有点相似，它通过电子线路直接对“数字”自动地进行高速计算。此外还有一种电子模拟计算机，它和计算尺有点相似，是以电压的大小模拟数值大小，通过电子线路进行运算的。

由于电子数字计算机的功能、作用、精度、速度以及广泛应用的程度都远远超过电子模拟计算机，因此，目前一般都把电子数字计算机简称为电子计算机。

1.1 电子数字计算机的发展历史

电子数字计算机发明于 20 世纪 40 年代。它是当时科学技术发展的产物。而导致它出现的直接原因是军事上的需要。1946 年美国的电气工程师普雷斯波·埃克特 (J. Prespen Eckert) 和物理学家约翰·莫奇勒博士 (John W. Mauchly) 等研制成功了世界上第一台电子数字计算机。当时命名为“电子数值积分器和计数器”简称 ENIAC。ENIAC 是一个使用了 18800 个真空管，体积 3 000 立方英尺，占地 170 平方米，重达 30 吨，功率 150 千瓦的庞然大物。内存容量只有 17K 位，字长 12 位，加法运算速度 200

微秒，即每秒运算约 5 000 次，从现代的观点讲，水平是不高的。但是，当时美国陆军用它来算出炮弹从发射到弹着轨道 40 点的位置只要 3 秒钟。而原来人工计算足足需要 7 小时。与其相比速度提高 38 400 倍，获得了划时代的进展，显示了计算机的威力。

自 ENIAC 之后，各方面对计算机的研究逐渐“繁荣”起来。计算机不断得到了改进和迅速发展。埃克特的 ENIAC 机还是一台外程序式计算机，后来普林斯顿高级研究所的约翰·冯·诺依曼针对这个问题提出了著名的冯·诺依曼总体结构思想（主要是内程序式和二进制运算）。诺依曼型结构在宾夕法尼亚大学的 EDVAC 机上具体化了。它确定了今日的电子数字计算机的基础。

此后的 30 多年中电子计算机经历了四代的发展。各代的划分没有严格的定义，分法也不完全相同。

从世界上第一台电子数字计算机诞生的 1946 年到 1957 年的这 11 年为计算机的第一代。这代计算机是以电子管作为计算机器件。随着晶体管的发明，于 1958 年制成晶体管计算机，它标志着第二代电子计算机的诞生。由于半导体技术的发展，1964 年制成了集成电路计算机，叫做第三代电子计算机，1971 年出现了大规模集成电路计算机叫做第四代电子计算机。

我国计算机事业发展很快。在 1958 年制成第一台电子管计算机。1964 年第二代的晶体管计算机问世。第三代集成电路计算机于 1971 年问世。目前，我国自行设计制造的大型机已投入运行，第四代计算机也已诞生，正在进行第五代计算机的研制工作。

1.2 电子数字计算机系统及其主要特点

电子数字计算机是一种能自动地进行高速运算的工具。它每秒钟能进行成万上亿次各种不同运算。一个可供使用的计算机系统通常包括硬件和软件两大部分。硬件系指电子线路、元器件和机械部件等构成的具体装置。一般包括运算器、控制器、存贮器和输入输出设备等部分。当计算机用于实时控制等用途时，通常

还需要有 D/A、A/D 转换器、开关量输入输出器及数据终端等。软件系相对硬件而言，泛指为了使用计算机所必须的各种各样的程序和数据。它主要包括系统软件、应用软件和程序设计语言及其编译系统等。有的计算机中还有一种软、硬件结合的部件——固件。它是一种具有软件功能的硬件。

电子数字计算机的主要特点是：

1. 计算速度快。这是电子计算机显著的特点。由于计算机的主要部件大部分采用快速的电子元件组成。因此它的工作速度远远地超过机械式和电机式的计算工具。从 1946 年计算机诞生至今，组成计算机的电子元件的性能不断发展，元件本身的速度有了飞跃的发展。电子管元件的计算机速度每秒只几千次，现在大中规模集成电路的计算机每秒运算几百万上千万次。不仅速度快，而且体积小，耗电少。

2. 精确度高。由于计算机采用二进制数字表示法，因此使数据的表示、保存及计算都能以很高的精度进行。根据生产和科研的实际需要可以选择计算机计算的精度，从千分之几到百万分之几。

3. 具有“记忆”能力和逻辑判断能力。计算机的存储器使计算机具有类似记忆的能力，它保存着大量的解题程序、数据等信息，它还可以进行各种逻辑判断并能根据判别的情况自动决定计算机应执行什么命令。这两种功能是构成计算机能自动工作的重要原因。

4. 自动地工作。电子计算机能在程序控制下自动地工作，不需要人直接参与计算过程。

5. 通用性强。电子计算机的应用范围正在不断扩大，它经常应用于：

(1) 科学研究与工程设计方面。

计算机可以完成各种数学、物理问题的计算，进行设计样品的性能模拟和各种设计方案的比较。因此，可以利用计算机来帮

助人们进行各种研究和设计工作。取得比过去用实验方式或粗略估算方法精确得多的结果,从而大大减少研究试制的时间和费用。计算机辅助设计(CAD)已成为一门独立的学科。

(2) 数据处理方面。

国民经济中企事业单位的管理、统计工作以及工业、农业、生物、医学等大量的实验数据的分析等都可以利用电子计算机。如从地质勘探所获得大量数据中提取有关地质矿藏情况的资料都离不开计算机。它能提高工作效率,避免不必要的差错,及时地预报各种统计结果。

(3) 自动控制方面。

航天宇宙飞行的自动控制及生产过程的自动控制都是借助计算机实现的。

1.3 电子数字计算机与数字系统

数字计算机已经使科学、工业和商业获得的进步是其他任何东西不能做到的。如果没有实时的,连续的计算机监视,我们的空间计划是不能实现的。总之数字计算机已用于科学计算、商业和事务数据处理、空中交通控制、空间导航;教育及其他领域,数字计算机的最显著特征是它的通用性。它可以根据一系列指令(叫做程序)在给出的数据上操作。用户可以修改程序和数据。由于这个灵活性的原因,通用数字计算机可以完成广泛的信息处理任务。

通用数字计算机是数字系统的最好例子。另外的例子包括电子开关交换器、数字电压表频率计数器及电传机等。数字系统的特点是它的信息的离散元素的执行。离散元素可能是电子脉冲、十进制数字、字母、算术操作、标点符号或其他任何有意义的符号集。信息的离散元素的“并”表示信息的数量,例如,字母d, o, g 组成一个字 dog, 数字 237 构成一个数。于是离散元素的序列形成一个语言,就是传送信息的规则。早先的数字计算机多数用于

计算。在此情况下使用的离散元素是数字。由于这个应用就出现了数字计算机这个名字。数字计算机最适合的名字应是“离散信息处理系统”。

在数字系统中信息的离散元素由信号的物理量表示。象电压和电流那样的电信号是最一般的。在所有现代电子数字系统中的信号只有两个离散值即二进制。数字系统设计者限于使用二进制信号，因为多值电子线路的可靠性低，换句话说，具有十个状态的电路，对于每个状态使用一个离散的电压值是可以设计的，但是其操作的可靠性能低。相比情况下，开关晶体管具有两个可能的信号值，它可以构成非常可靠的电路。由于部件的物理限制和人的逻辑倾向于二进制，所以被限制的数字系统为了得到离散值而进一步约束为二进制值。

信息的离散量可以将连续过程数字化。例如，工资单一览表是一个包括职员名、社会安全数、每周出勤、收入税等固定的离散过程。职员检查是用象字母（名）、数字（出勤日）和专门符号\$的离散数值处理的。另一方面，科研工作者也许观察一个连续的过程，但是记录以列表形式只记录特殊的数据。于是科研工作者将它的连续数据量子化，在表中的每个数是信息的离散元素。

可以从数字上用不同的方程描述许多物理系统。方程的解作为时间函数给出过程的完全特性。模拟计算机执行物理系统的直接模拟。在模拟计算机中的变量是由连续的信号表示的。通常是随时间而变的电压值。于是模拟电压的测量可以用过程的变量代替。术语模拟信号曾用连续信号代替。因为“模拟计算机”意指计算机执行连续变量。

在数字计算机中为了模拟物理过程，量必须数字化。当过程变量是由实时连续信号表示时，后者是由模数转换设备数字化了的。性能由数学方程描述的物理系统在数字计算机中是由数值方法模拟的。当处理的问题原来是离散的，象在商业应用中那样，数字计算机按照它们的自然形式操作。

数字计算机的框图示于图 1.1。存贮器部件存贮程序和数据。处理器执行由程序说明的算术和其他数据处理作业。控制部件监督各部件间的信息流，它一步步地从存贮在内存中的程序取出指令。对每条指令，控制部件通知处理机执行由指令说明的操作，控制部件监督程序的执行，而处理器执行由程序说明的操作。

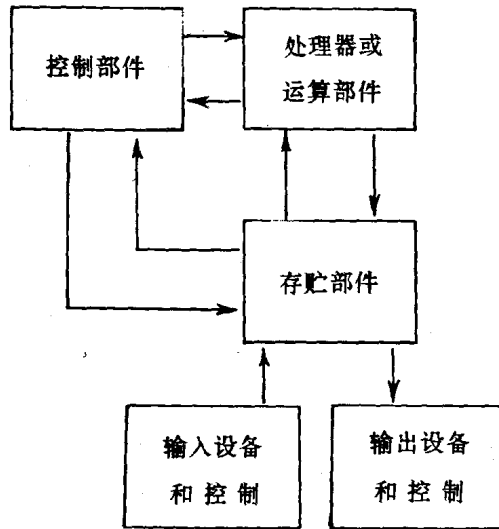


图 1.1 数字计算机的框图

用户准备的程序和数据由输入设备传送到存贮器中。输出设备取回操作的结果并把打印的结果提供给用户。输入和输出设备是由电机部分驱动和电子数字电路控制的特殊数字系统。

电子计算器是类似于数字计算机的数字系统，它具有键盘输入设备和数字显示的输出设备。指令由功能键打入计算器，数据由数字键打入计算器。结果以数字形式直接显示出来。有些计算器很类似数字计算机，因为其具备打印功能和可编程序设备。然而数字计算机比计算器功能强。数字计算机能适应许多其他输入输出设备，它不仅执行算术操作，而且能执行逻辑操作，还