

计 算 机 科 学 丛 书

数字逻辑 应用与设计

Digital Logic

Applications and Design

(美) John M. Yarbrough 著

李书浩 仇广煜 等译

汪诗林 审校

计算机科学丛书

数字逻辑：应用与设计

(美) John M. Yarbrough 著

李书浩 仇广煜 等译

汪诗林 审校



机械工业出版社
China Machine Press

本书系统地介绍了数字电路设计与分析的基础知识,内容全面,实用性强。首先从数字电路、数制系统等基本概念入手;然后论述组合逻辑、时序电路的分析与设计以及异步时序电路;最后讨论了数字开关电路。书中提供的数百道习题能充分加深学生对所学知识的理解与运用。此外,还给出了合理的课时安排供老师参考。最为难得的是书中全部采用真实的集成电路器件进行设计,使读者可以迅速适应实际设计工作。

本书适合作为计算机、电子、电气及控制等专业本科生的教材,也可供教师和从事该领域设计或应用的研究人员用做参考书。

John M. Yarbrough: Digital Logic: Applications and Design.

Original edition copyright © 1997 by PWS.

All rights reserved.

本书中文版由美国Thomson公司授权机械工业出版社独家出版,未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有,侵权必究。

本书版权登记号: 图字: 01-1999-2364

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑: 应用与设计 / (美)亚伯拉 (Yarbrough, J. M.) 编著; 李书浩等译. —北京: 机械工业出版社, 2000. 4

(计算机科学丛书)

书名原文: Digital Logic: Applicatons and Design

ISBN 7-111-07770-9

I. 数… II. ①亚…②李… III. ①数字电路-设计②数字电路-分析 IV. TN790.2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2000) 第12879号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 陈贤舜 陈 谊

北京第二外国语学院印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行

2000年4月第1版第1次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 33.75印张

印数: 0 001-5 000册

定价: 49.00元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换

译 者 序

有关数字逻辑的教材目前已经很多，但内容都不够全面，或者主要讲述其原理，或者主要讲述其应用。本书明显的特色就是理论与实践并重，既覆盖了经典数字逻辑教学的内容，也覆盖了PAL、PLA、GAL、EPLD及FPGA等基本原理和设计知识，并且专门分析讨论了各种实用的集成电路。

本书的另一特色是实用性很强。书中结合大量具体的实例介绍数字系统分析与设计的全过程。现实的应用背景和严格的技术规范将使读者深切地体会到设计过程中指导原则和各种技巧的重要性。

本书也非常注重标准化，并将这一原则贯穿全书始终。本书采用真实的IC（集成电路）器件进行设计，给出了许多常用的SSI（小规模集成电路）器件和MSI（中规模集成电路）器件的内部逻辑实现与外部逻辑符号。这对于读者熟悉现有器件的情况，以及将来迅速适应实际设计工作非常重要。

本书适用面广，可广泛作为计算机、电子、电气、控制等专业的本科生教材，也可供有关方面的科技人员参考；对于打算自学这方面内容的学生来说，本书也确实是一本不可多得的好书。

参加本书翻译的人员有：李书浩、仇广煜、张晓明、潘芳、陈光、吴兴林、王璐、陈天放等。由汪诗林博士审校全书。由于本书篇幅较大，翻译时间仓促，难免会出现不少问题，恳请广大读者给予批评指正。

译 者
1999年9月

前 言

编写本书的目的是为电气、电子和计算机工程以及工程技术方面的学生提供数字电路设计与分析的基础知识。它也可供工程师、应用科学家和技术人员使用。实际上，只要具备基本的科学背景知识，都可以以此书作自学或复习用。

本书针对的读者是大学二年级学生，他们所学习的一系列季度课程或学期课程中的第一门或第二门课程即为数字逻辑与电路。本书的内容很全面，它覆盖了经典的组合逻辑与时序逻辑方面的内容，以及一些关于逻辑电路的PAL、PLA、GAL和EPLD实现的一些知识，并且有一章专门分析讨论TTL、ECL和CMOS逻辑系列的电路。

本书共十章。首先论述基本原理和数制系统的一些问题，然后论述组合逻辑时序电路分析与设计以及异步时序电路，最后讨论数字开关电路。本书的内容组织如下：

第1章介绍数字概念、数制系统、二进制编码和算术运算。

第2章讨论逻辑符号与布尔代数。

第3章定义了组合逻辑和根据真值表写出开关方程的方法。接着讨论了对开关方程的化简方法，如：卡诺图方法、Quine-McClusky方法和映射变量算法等。

第4章讨论一些组合逻辑的设计问题，包括多路器、译码器、加法器、减法器 and 算术逻辑部件等。

第5章讨论触发器，包括计时规范。同时讨论简单的计数器、中规模集成电路（MSI）计数器和寄存器。

第6章介绍同步时序电路设计，包括Mealy与Moore时序电路模型、状态图表示法、转换表与激励表的形成和激励函数与输出函数的导出。同时还论述了同步电路的分析和计数器的设计。

第7章继续讨论时序电路设计的一些问题，如：状态等价与状态化简、状态分配、算法状态机和链接时序机。

第8章讨论异步时序电路的分析与设计。主要包括：基本模式与脉冲模式电路，异步电路的分析、流程表的导出、状态分配问题和设计实例。本章还讨论了数据同步和混合操作模式逻辑。

第9章介绍了实现组合电路与时序电路的存储芯片。讨论了PLD设计，并给出了相关实例。本章也介绍了两种现场可编程门阵列（FPGA）的体系结构；介绍了Xilinx和Actel的FPGA器件。本章从简单的开关开始，逐步论述各种TTL、ECL和CMOS逻辑系列电路，基本覆盖了所有的数字开关电路。

第10章通过给出数字集成电路逻辑系列的综述来结束本书。包括有关TTL、ECL和CMOS电路的讨论。另外，还给出了三态、集电极开路和混合逻辑子系列接口。

在很多关于数字逻辑的文章中都未提及数字设计与分析中电子学方面的内容。在我看来，从严格的逻辑角度讲，组合逻辑设计与时序逻辑设计是不完整的。数字集成电路是电子设备。诸如扇出、供电电流、传播延迟和计时分析等因素皆影响工作系统的设计。为了说明数字设计中的电子学以及逻辑方面的内容，全书皆采用真实的IC（集成电路）器件作为实例。逻辑设计者需要熟悉可用的众多IC，其重要性不亚于知道布尔代数和状态图表示法。本书中给出了许多

常用的SSI和MSI器件的内部逻辑及其逻辑符号。

尽管在多数情况下,只有工业逻辑设计者才会选择PLD、FPGA和ASIC器件,然而通过使用标准的IC来论述基本原理,可以使具备一些使用ASIC库的预备知识。一旦学会了逻辑设计原理,便可精通并使用任意的FPGA或ASIC设计系统。但是,直接从布尔代数、组合与时序逻辑设计原理跨越到利用FPGA和ASIC部件设计电路毕竟还是有些困难。同时,FPGA与ASIC设计平台及软件仍然十分昂贵,不太可能进入大学课程。如果用给定的硬件平台和设计软件写一篇文章,希望一定要使用相关的硬件和软件平台。

在理想情况下,应该是每个人都能将一系列集成电路连接起来得到一些有用的结果。但对非理想情况又会怎样呢?答案可以在第10章“数字集成电路”中找到,其目的是将“逻辑”与实现该逻辑的电子线路联系起来。对那些有较好的晶体管电路背景知识的人来说,第10章前面部分的许多内容皆可略去不看而直接跳到IC本身的规范和特性部分。对于那些更倾向于将数字逻辑作为计算机体系结构和软件课的先修课程的学生而言,第10章可以完全跳过。

课程教学安排

对书中所提供的内容有几种可能的划分方法,这取决于相对的侧重点、授课学时数和实验课程(季度或学期)学时数以及所给的学分数。下面给出了一些教学内容安排的例子:

1. 季度课程,三阶段的课程学习,重点在电路逻辑。讲课分为三个阶段,实验也分为三个阶段。

阶 段	课 程
第1季度 讲课3学分, 实验2学分 ^①	第1章 数字概念与数制系统
	第2章 布尔开关代数
	第3章 组合逻辑的原理
	第10章 数字集成电路(本章的部分内容可以略看或不看,这取决于是否将IC系列和晶体管电路作为授课重点)
第2季度 讲课3~4学分, 实验1~2学分	第4章 组合逻辑的分析与设计
	第5章 触发器、简单计数器和寄存器
	第6章 时序电路介绍
第3季度 讲课3~4学分, 实验1~2学分	第7章 时序电路设计
	第8章 异步时序电路
	第9章 可编程逻辑和存储器

① 表中学分分配为美国大学使用值——译者注。

2. 学期课程,它与三阶段课程学习所覆盖内容相同。

学 期	课 程
第1学期	第1章 数字概念与数制系统
	第2章 布尔开关代数
	第10章 数字集成电路
	第3章 组合逻辑原理
	第4章 组合逻辑的分析与设计

(续)

学 期	课 程
第2学期	第5章 触发器、简单计数器和寄存器
	第6章 时序电路介绍
	第7章 时序电路设计
	第8章 异步时序电路
	第9章 可编程逻辑和存储器

可以用每章后面所给的精选习题进行实验。例如，第5章可进行如下一些实验：

1. 锁存器和触发器（习题3、4、5、6、7、8、9）

- (1) 从“与非”门构造一个S'R'锁存器。验证特征表，导出特征方程。
- (2) 增加额外的“与非”门，将S'R'锁存器转换为电平触发的J-K触发器，通过构造特征表来验证该操作。指出J=K=1时的操作。为所遇到的问题提供一种解法（将电平触发转换为脉冲触发）。
- (3) 将脉冲触发的J-K触发器转换为一个D触发器和一个T触发器。通过创建特征表来验证每个触发器的操作。导出特征方程。
- (4) 预测并测量功耗和传播延迟。

2. 计数器（习题25）

- (1) 用标准的IC触发器设计一个模8计数器。
 - (a) 构造状态图。
 - (b) 确定所需的触发器数目。
 - (c) 进行二进制状态分配（000, 001, 010, 111）。
 - (d) 创建状态表和转换表。
 - (e) 用D触发器创建激励表（比较转换表与激励表）。
 - (f) 生成简化的激励方程。
 - (g) 用TTL集成电路包（D触发器、“与”门、“与非”门等）构造电路。
- (2) 预测模8计数器的时序图。
- (3) 测试电路操作。
 - (a) 单步经历每个状态，验证状态转换。
 - (b) 将函数产生器连至时钟输入，置函数产生器以产生0~5V之间的10 kHz频率的方波。用示波器测量触发器的输出，产生时序图。

3. Johnson计数器（习题26）

4. 专用脉冲产生器（习题33）

5. 寄存器系统（习题43）

目 录

译者序

前言

第1章 数字概念与数制系统	1
1.1 数字和模拟: 基本概念	1
1.2 数字系统的历史	4
1.3 数字技术对社会的影响	4
1.4 定义问题, 算法简介	5
1.5 数字系统综述	6
1.6 数制系统简介	7
1.7 位数系统	7
1.7.1 十进制数	7
1.7.2 二进制数	8
1.7.3 八进制数	8
1.7.4 十六进制数	8
1.7.5 用基 r 进行计数	9
1.8 数制系统的转换	9
1.8.1 二进制到十六进制的转换	10
1.8.2 十六进制和八进制到二进制的转换	10
1.8.3 二进制到十进制的转换	11
1.8.4 逐次除法基转换	11
1.8.5 小数基转换、逐次乘法	12
1.8.6 基转换算法	14
1.8.7 十进制到任意进制的转换	14
1.8.8 任意进制到十进制的转换	15
1.9 二进制编码	16
1.9.1 自然二进制编码的十进制	16
1.9.2 (加权)二进制编码	16
1.9.3 BCD自补码	17
1.9.4 间隔位编码	18
1.9.5 字母数字编码	19
1.9.6 带符号数的二进制编码	20
1.9.7 带符号数量编码	20
1.9.8 补码	21
1.10 算术运算	22

1.10.1 二进制算术运算	22
1.10.2 使用补码进行二进制算术运算	25
1.10.3 十六进制算术运算	27

小结

参考文献

术语

习题

第2章 布尔开关代数

2.1 二进制逻辑函数

2.1.1 IEEE逻辑符号

2.1.2 逻辑运算、符号和真值表

2.2 开关代数

2.2.1 相等

2.2.2 封闭

2.2.3 单位

2.2.4 结合律

2.2.5 分配律

2.2.6 交换律

2.2.7 互补律

2.2.8 对偶律

2.2.9 吸收律

2.2.10 等幂律

2.2.11 二进制变量和常数

2.2.12 德·摩根定理

2.3 功能完全操作集

2.4 用布尔代数简化布尔方程

2.5 开关函数的实现

2.5.1 开关函数到逻辑图的转换

2.5.2 逻辑图转化为开关方程

小结

参考文献

术语

习题

第3章 组合逻辑原理

3.1 组合逻辑的定义

3.1.1 真值表问题的提出	65	4.9 阵列乘法器	167
3.1.2 导出开关方程	69	4.10 三态缓冲	170
3.2 标准形式	70	4.11 组合逻辑险态	171
3.3 从真值表中生成开关方程	72	4.11.1 静险态	171
3.4 卡诺图	75	4.11.2 动险态	174
3.4.1 三变量和四变量卡诺图	75	小结	175
3.4.2 五变量和六变量卡诺图	81	参考文献	175
3.4.3 使用五变量卡诺图化简	82	术语	176
3.4.4 使用六变量卡诺图化简	84	习题	177
3.4.5 不完全确定的函数(随意项)	85	第5章 触发器、简单计数器和寄存器	181
3.4.6 化简最大项方程	87	5.1 时序电路模型	181
3.5 Quine-McClusky最小化方法	89	5.2 触发器	185
3.5.1 使用随意项的QM法	92	5.3 触发器时间规范	197
3.5.2 简化的质蕴含表	93	5.3.1 时钟参数、脉冲宽度和扭曲	197
3.6 映射变量	96	5.3.2 触发器定时、建立、保持和延迟	199
3.7 混合逻辑组合电路	101	5.3.3 触发器的亚稳定性	199
3.7.1 逻辑符号	102	5.4 简单计数器	202
3.7.2 圆圈逻辑的转换	104	5.4.1 除2、4和8计数器(异步)	202
3.7.3 使用圆圈表示合成开关函数	105	5.4.2 Johnson计数器(同步)	203
3.8 多输出函数	108	5.4.3 循环计数器(同步)	204
小结	110	5.5 中规模集成电路计数器	205
参考文献	111	5.5.1 MSI异步计数器	206
术语	111	5.5.2 MSI同步计数器	207
习题	112	5.5.3 通过译码计数器输出来控制信号生成	212
第4章 组合逻辑的分析与设计	117	5.5.4 计数器应用: 数字时钟	213
4.1 组合逻辑设计的一般方法	117	5.5.5 MSI计数器的IEEE标准符号	216
4.2 数字集成电路介绍	122	5.6 寄存器	219
4.3 译码器	128	5.6.1 寄存器数据输入与输出	219
4.4 编码器	137	5.6.2 三态寄存器	224
4.5 数字多路器	141	5.6.3 寄存器连接到公共数据总线	228
4.6 加法器和减法器	149	5.6.4 寄存器传输时间	231
4.6.1 串行全加器	152	小结	232
4.6.2 先行进位加法器	152	参考文献	234
4.6.3 中规模集成电路加法器	153	术语	234
4.6.4 将MSI加法器用作减法器	155	习题	237
4.6.5 将MSI加法器用作实现BCD码到余3码的转换器	156	第6章 时序电路介绍	244
4.6.6 BCD码加法器	157	6.1 MEALY与MOORE模型	244
4.7 二进制比较器	159	6.2 状态机表示法	244
4.8 算术逻辑部件	163	6.2.1 现态与次态	245
		6.2.2 状态图	246

6.2.3 状态表	248	8.4.1 竞争和循环	345
6.2.4 转换表	249	8.4.2 共享行状态分配	346
6.2.5 激励表与激励函数	249	8.4.3 多行状态分配	348
6.2.6 激励实现的代价	255	8.4.4 “单活跃态”状态分配	349
6.3 同步时序电路分析	257	8.5 异步电路设计	350
6.3.1 分析原理	257	8.5.1 异步电路设计问题1	350
6.3.2 分析实例	258	8.5.2 异步电路设计问题2	352
6.4 构造状态图	263	8.6 数据同步	355
6.4.1 可逆十进制计数器	263	8.7 异步时序电路的混合工作模式	358
6.4.2 序列检测器	263	小结	360
6.4.3 串行余3码-BCD码转换器	267	参考文献	361
6.5 计数器设计	269	术语	362
6.5.1 模8同步计数器	269	习题	363
6.5.2 可逆十进制计数器设计	271	第9章 可编程逻辑和存储器	368
小结	278	9.1 存储器	368
参考文献	280	9.2 用EPROM实现时序电路	372
术语	280	9.3 可编程逻辑器件	376
习题	281	9.3.1 可编程逻辑阵列	377
第7章 时序电路设计	285	9.3.2 可编程阵列逻辑	378
7.1 状态等价	285	9.3.3 用PAL设计一个可逆十进制计数 器	382
7.2 状态化简	285	9.3.4 普通阵列逻辑	384
7.2.1 等价类	285	9.3.5 用GAL设计同步时序电路	386
7.2.2 隐含表	287	9.4 可擦除的可编程逻辑器件	390
7.3 不完全定义状态表的状态化简	291	9.4.1 Altera EP600 EPLD	391
7.4 状态分配方法	294	9.4.2 用EP600实现时序电路	393
7.4.1 状态分配排列	295	9.5 PLD计算机辅助设计	396
7.4.2 状态分配算法	296	9.5.1 组合逻辑的PLD实现	397
7.4.3 隐含图	300	9.5.2 用PLD语言实现真值表	401
7.5 算法状态机	302	9.5.3 用PLD语言实现触发器	401
7.5.1 ASM符号	302	9.5.4 用PLD语言实现状态机	402
7.5.2 ASM设计实例	305	9.6 现场可编程门阵列	404
7.6 链接时序机	312	9.6.1 Xilinx FPGA	405
小结	326	9.6.2 Xilinx FPGA系统开发工具	409
参考文献	327	9.6.3 Xilinx宏库	411
术语	328	9.6.4 Actel FPGA	412
习题	329	小结	415
第8章 异步时序电路	335	参考文献	416
8.1 基本模式和脉冲模式的异步时序机	335	术语	417
8.2 异步时序机分析	337	习题	418
8.3 建立流程图	343	第10章 数字集成电路	421
8.4 状态分配	345		

10.1 作为开关的二极管	421	10.6.3 ECL到TTL及TTL到ECL的接口	448
10.2 双极晶体管开关	424	10.7 互补金属氧化物半导体	450
10.3 二极管逻辑	425	10.7.1 场效应管	450
10.4 从DTL到TTL的演变	426	10.7.2 MOSFET	452
10.5 晶体管-晶体管逻辑电路	427	10.7.3 MOSFET逻辑门	455
10.5.1 TTL电路工作机理	429	10.7.4 CMOS逻辑门	457
10.5.2 TTL技术要求	430	10.7.5 高速CMOS的功耗	458
10.5.3 TTL子系列	433	10.7.6 高速CMOS的传输延迟	459
10.5.4 肖特基面结	435	10.7.7 CMOS噪声容限	459
10.5.5 TTL子系列要求比较	436	10.7.8 CMOS子系列	460
10.5.6 集电极开路TTL电路	437	小结	461
10.5.7 三态TTL器件	440	参考文献	461
10.5.8 混合的TTL子系列扇出	441	术语	462
10.5.9 其他TTL电路	442	习题	463
10.6 射极耦合逻辑	443	附录A TTL分析Spice练习	469
10.6.1 射极耦合逻辑电路	444	附录B 奇数号习题的答案	472
10.6.2 ECL技术要求	446		

第1章 数字概念与数制系统

概述

在电子系统非常广泛的应用领域内，到处可见到处理离散信息的数字电路。供消费用的微波炉和电视、先进的工业控制系统、空间通讯系统、交通控制雷达系统、医院急救系统等在设计过程中无一不用到数字技术。数字电路制造工业的进步，使得系统设计人员能在更小的空间内实现更多的功能，从而提高系统可靠性和速度。数字系统在某些代表真实的逻辑和算术运算功能的数值上进行运算。设计者的任务就是建立数值与所执行的任务之间的联系。本章即阐述数制的用途及它们怎样在数字系统中代表真实世界的各种条件。

“数字(Digit)”和“数字的(Digital)”两个词的使用很可能与计数有关：它适用于十进制数(0, 1, 2, 3, …, 9)或其他进制如二进制(0, 1)的数。用十进制数值计数，或者说用手指或脚趾的个数计数，也可能直接同人类的历史相关。对于电子专业和计算机专业学生而言，数字系统是处理离散信息的系统，它更为有用。一个数字系统只是一个接收输入、处理或控制工作过程、以离散的或不连续的方式输出信息的系统。信息可以用许多方式来编码或表示；它可以用人们所熟悉的十进制数制系统表示，也可用其他的数制系统表示，如二进制。

数字设计是运用一组规则和技术，为解决某些特定问题而设计数字电路或数字子系统。

1.1 数字和模拟：基本概念

数字和模拟之间的区别主要体现在对信息的编码上。数字电子学使用离散值表示信息而模拟电子学用连续信号表示信息。离散意味着是分开的或分离的，与连续的或相连的相对。模拟系统处理连续变化的信息。以模拟方式表示变量的例子包括用水银温度计测量的温度，带指针的时钟，电流计上显示的正弦波电压值或者汽车上的指针或速度计。同一个变量可用连续量表示，也可以用离散量数字化地表示出来。

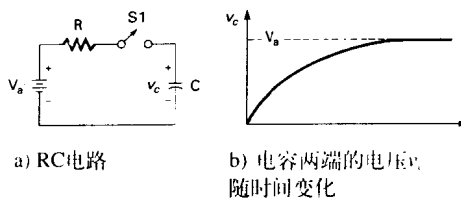


图1-1 RC电路和 v_c 的连续曲线

假设有简单的RC电路如图1-1a所示。也许你已在物理学或介绍电子学的课程中遇见过该电路。令电容 C 两端的初始电压等于0，当开关 $S1$ 闭合后， C 两端电压将会从0逐渐变化到最大，最终等于电源电压 V_s 。用公式描述如下：

$$\begin{aligned} v_c(0) &= 0 \text{ V, 在 } t_0 \text{ 时刻初始电压为 } 0 \text{ V} \\ v_c &= V_s(1 - e^{-t/RC}) \end{aligned} \tag{1-1}$$

电容 C 两端电压随时间变化，如图1-1b，说明了一个模拟函数： C 两端电压按指数律增加直到 $t = \infty$ 时增至 V_s 值。由于信息的连续性质因而 C 两端电压被归于模拟类。

电子系统一般来说要么被归于模拟类（连续）要么被归于数字类（离散）。模拟系统的数学将输入与输出用连续的方法联系起来；例如，放大器的增益公式描述为频率的函数，它反映了输入电压是如何被放大的。数字系统同样可以将输入转化为输出。然而，数据都通常用二进

制数制系统离散地表示，而不是用人们熟悉的十进制系统表示。之所以使用二进制数制而不是十进制数制，是因为运用电子装置很容易获取二进制数。如果不得不使用十进制数，那么在两个离散数值之间比在十个离散的数值之间更容易进行转换操作。数制系统（十进制、二进制及其他数制）将会在本章稍后讨论。

正弦波既能用连续（模拟）方式也能用离散方式表示。图1-2是表示同一函数的两种方法。

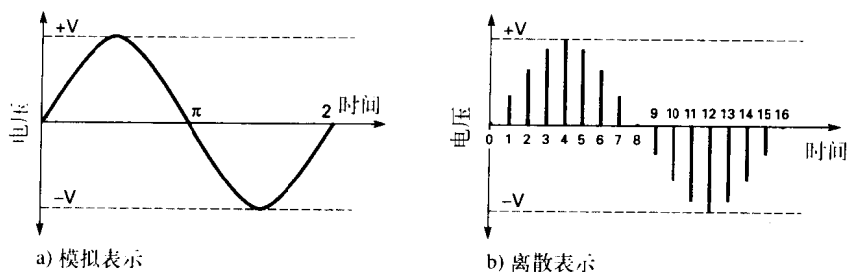


图1-2 用连续形式和离散形式表示的正弦波电压

图1-2a用连续或模拟方式表示一个正弦波函数，而图1-2b则用离散或数字方式表示同一函数。图1-2b中正弦波的每个点用某个时间（ t ）处的离散电压值表示。离散电压值的数字表示既可用十进制系统，也可以用其他数制（如二进制）系统。

设图1-2b中所示正弦波的每个离散值用表1-1中所示的三位十进制数（Three-digit Decimal Number）来表示。设正弦波一个周期分成16个等长时间间隔，每个间隔代表22.5度。本例的时间划分是随机的，当然也可按另外的方法划分。水平时间轴的划分数决定时间分辨率，而这个时间间隔的电压值的位数决定函数的电压分辨率。表1-1也可以用二进制数或其他进制数表示。

一个函数的离散表示可以提供已有时刻的有用信息。例如，若在时间间隔6时进行测量，则 $V_t = 7.07$ V。电压 V_t 在时间间隔7被更新为3.83 V；而在时间间隔6和7之间 V_t 的值是未知的。

图1-3显示了一个典型的测量电压的模拟伏特表的方框图。输入电压是模拟的，一个量程选择开关允许使用者选择读值的范围，一个输出测量表持续显示最后所得到的电压值。图1-4显示了一个数字伏特表，注意输入部分与模拟电压表是相同的。在显示之前，模拟-数字转换器将连续的模拟电压值转换成离散的十进制数值。

图1-5显示了一个大型数字系统的例子。表示特定的汽车功能的模拟和数字输入被送入各子系统。模拟输入数据被转换成数字信号并被送入数字控制系统进行处理。控制系统与各子系统间的数字信号为控制数据流提供必要的通信。输出被送到显示器或主控系统。例如，要求发动机RPM控制燃料流。发动机RPM被传感器（将物理RPM转换成电信号）检

表1-1 不同时间间隔的离散电压值

度 数	电压 V_t	时间间隔
00.0	0.00	0
22.5	3.83	1
45.0	7.07	2
67.5	9.23	3
90.0	10.0	4
112.5	9.23	5
135.0	7.07	6
157.5	3.83	7
180.0	0.00	8
202.5	-3.83	9
225.0	-7.07	10
247.5	-9.23	11
270.0	-10.0	12
292.5	-9.23	13
315.0	-7.07	14
337.5	-3.83	15
360.0	0.00	16

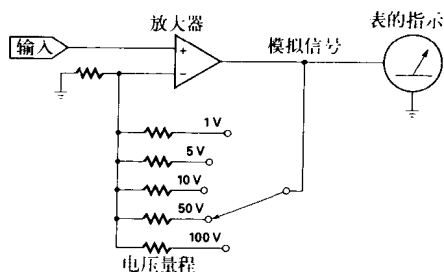


图1-3 模拟伏特表

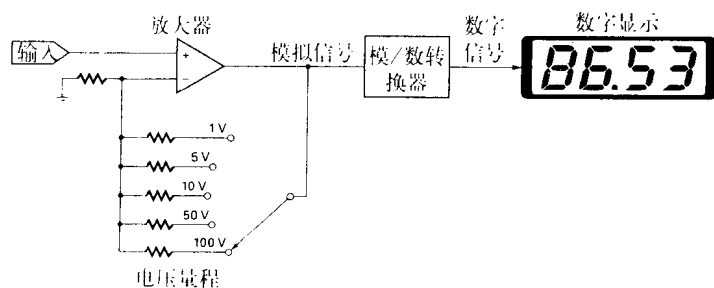


图1-4 数字伏特表

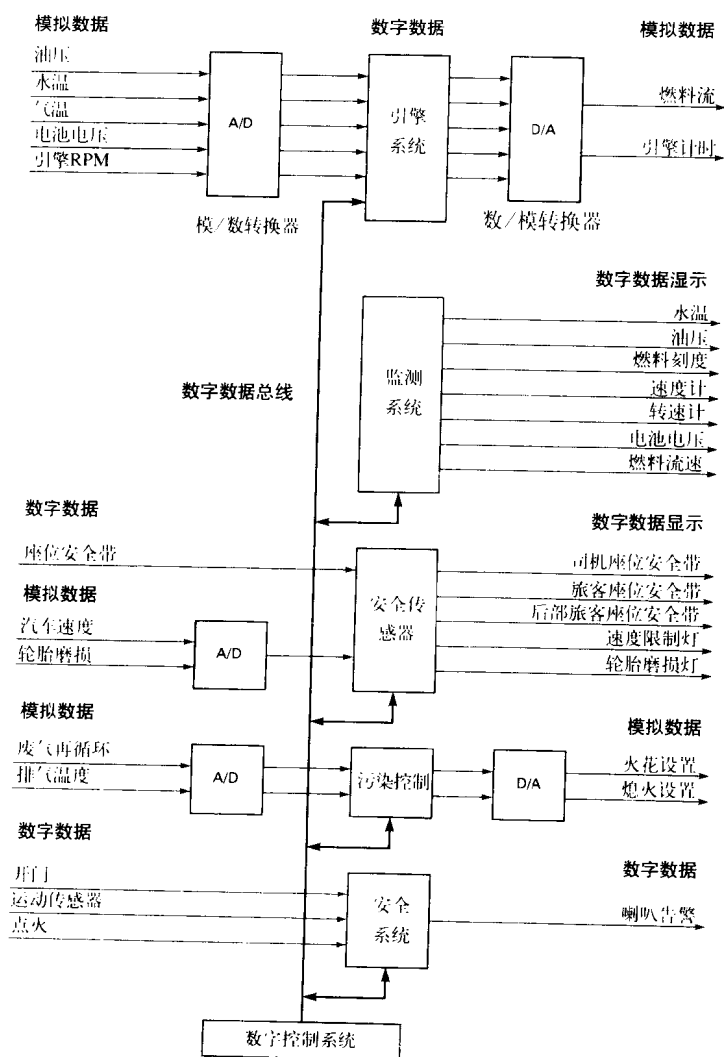


图1-5 汽车数字控制系统

测到，并且从模拟量转换成数字量，最后作为控制燃料流所需信息的一部分被送到控制系统。其他相互作用以同样方式发生。数字控制系统实际上也许就是一个微处理器。实施一个操作的逐步处理过程叫作一个算法。控制算法定义了一个过程，测量所需信息（输入数据），确定预期的响应（操作指令序列），并向显示或输出单元发送必要的输出信息。

1.2 数字系统的历史

Pascal、Boole、De Morgan、Babbage以及其他人对数学的研究为现代数字系统奠定了基础。Blaise Pascal于1642年设计了一个机械的加法器，在1671年，德国数学家Gottfried发明了一台机器进行乘法和除法运算。Charles Babbage，这位19世纪的英国数学家动手制造了一个用于计算航行时间表的自动计算机，该机器被认为是现代计算机的先驱。他的机器由于当时技术上的限制而存在可靠性问题。另一位英国数学家George Boole研究出一种特殊的代数，就是我们现在所说的布尔代数，它成了现代逻辑设计的核心。

法国人Jacquard研制了一台织布用的自动织布机。在19世纪，他将数学逻辑运用到机器设计中以实现商业用途。20世纪早期，人们希望找到制造实用加法器、打字机、簿记机的方法。20世纪30年代，在贝尔实验室工作的Claude Shannon期望使电话交换自动化，他继承了布尔的早期工作，并在一篇如今堪称经典的论文中阐述了现在用于数字逻辑设计的现代交换代数。电子学的发展，从1947年Walter Brattain, John Bardeen和William Shockley发明半导体三极管导致真空管的诞生，直到20世纪60年代集成电路的发明，都推动了数字逻辑和计算机的发展。1946年在普林斯顿工作的Von Neumann, Elbert和Mauchly设计出现在已成为计算机经典体系结构的结构图。20世纪70年代初，英特尔公司设计出第一个微处理器。而最早的“芯片上的计算机”是为了减少大型桌面计算器（它在小型手持式计算器之前投放市场）所需元件数而设计的。

现代数字系统的设计者们正站在那些先行者的肩膀上，以惊人的速度生产从测量汽车燃料量的微处理器到最新一代超级计算机上用的大型定制集成电路的元件和系统。如今，远程通信电路能使数据从宇宙飞船传送到地面控制系统。在这些工作的基础上，新一代数字系统设计师们可设计和制造一系列产品，帮助人们控制生产过程，通信，娱乐，探索太空奥秘和预测天气。

1.3 数字技术对社会的影响

无论是模拟还是数字电子学，只有当它能以某种方式使人们受益时才是有用的。电子装置除了制造它本身的材料外并不具备固有价值，这些装置的真正价值来源于人们从中所获的利益。

人们购买电视机和音响设备，是为了娱乐、获取信息以及接受教育，并不是为了投资。捕鱼者购买电子声纳是为了提高他们寻找到鱼群的概率。卡车驾驶员利用他们的呼叫设备相互联系或娱乐。

无论是从汽车制造公司到原木加工厂，还是从轮胎制造厂到玩具制造厂，各种加工制造公司，无一不使用电子设备进行测量、计算、控制及联系。由于电子学的影响，无论是食品处理器还是机器工具都能提高质量、降低成本，同时自动控制还能够减小人们在生产过程中的差错率。

一般的统计公司都使用电话、台式电脑和传真机，更不用说复印机以及午餐室里的微波炉了。甚至当地的汽车配件商店也需要用一台计算机来控制报表系统，许多杂货商店利用激光扫描仪将价格输入到数字控制的收银机中。

数字技术对计算机有巨大的影响，它不仅影响庞大的、数百万美元的大型机，而且也影响到小型个人计算机乃至测量燃料被注入到新的汽车发动机的微处理控制器。很多人都把计算机看作是银行或保险公司用的中、大型系统，或作科研、军事上的应用。在最近十年内，个人计算机的增长趋势十分巨大。但是今天市场上所售的大多数微处理器和微控制器并未用于个人计算机，而是被大量用于洗碗机、汽车、飞机、示波器、音响设备、电视机和用于测量木材厚度或控制钢铁制造的工业控制系统。

数字技术正在进入通常被认为是严格意义上的模拟电子学领域。商用的双向无线电设备拥

有设置本地振荡器频率的微处理器。电子设备如示波器、逻辑分析仪、函数发生器、测量电流电压及电阻的万用表都广泛应用了数字技术。实际上,很难发现现今设计的某种电子设备不以任何方式上运用数字技术。**数字信号处理(DSP)**是一种将模拟信息转换成数字信息、用某种相当复杂的方式处理该信息、并产生模拟或数字输出的方法。例如,现代潜艇运用DSP来测量发生在深海的声觉噪音。

数字技术由于其对电子噪声(如电压或电流的尖峰脉冲或波动)、温度影响、元件寿命及其他影响模拟系统的因素的灵敏度相对较低而尤为有用。这并不意味着模拟技术不重要或电子学专业(甚至计算机专业)的学生不应研究模拟电路和系统。实际上,恰好相反。无线电传播、天线设计、放大器分析以及有源滤波器等概念比以前更为重要。要将数字设计原理正确地应用到这些领域必须对模拟原理有深刻的理解。并且,随着数字装置的频率持续增长,系统设计者面临着解决与模拟相关的问题。直到最近,还只是微波工程技术人员为一个微型计算机系统的50MHz的方波时钟信号操心,该信号是印刷电路板设计所必需的。

数字技术在消费品、工业控制、军事/国防以及服务行业中的应用范围将越来越广。为了提高数字系统的速度,单片集成电路中嵌入了更复杂、既有数字功能又有模拟功能的集成系统,甚至有可能应用有机材料构造存储器件。

1.4 定义问题, 算法简介

设计数字系统通常需要分析一个任务,以便将其划分为较易描述的函数形式。每个函数同系统其他函数以特定方式发生联系。试图解决逻辑问题的设计者在没有明确的要求和约束的情况下会得到不可行的解或不适用的解。这一节介绍一种帮助大家获得解答之前界定好问题的思想方法。

算法通常同数学和计算机程序相关联,但问题界定的基本原理对逻辑硬件设计和软件开发同样有效。算法是解决问题或控制一个过程的系统化过程。问题有可能简单,仅需一只铅笔一张纸就可解决,也可能复杂到需要一台超级计算机才能得到解答。

过程有可能是生产面包、测量或显示速度如每分钟转数或者是控制喷气式飞机的飞行平面。算法就是为特定类型的问题产生正确结果而规定操作顺序的指令序列。一个逻辑问题的解答最终能用硬件实现(本书将进行阐述)或用软件实现。设计数字系统的问题定义的方法包括:

1) 确定处理任务(任务实施的深化):

- a. 确定每个任务的输入。
- b. 确定每个任务的输出。

2) 为完成任务而指定成员函数。

任何活动都可分解成单项的任务,且完成每项任务的步骤能够定义。一旦定义了任务,输入、输出以及任务间的相互关系就可确定。

设计数字硬件经常需要刚才提到的两个基本步骤。如果既没有定义输入输出,又没有定义电路功能,就不能设计出一个数字电路。使用流程图来描述一个问题通常是十分有用的,流程图即说明任务流向的图表。本书后面部分将研究一种称为算法状态机(ASM)的设计技术。ASM从计算机程序中借鉴了流程图的符号,并将其运用到数字硬件设计中。无论是写一个程序还是设计系统硬件,问题定义都可通过生成“流程图”来完成。简单的流程图如图1-6和1-7所示。也可以设计说明同一问题的其他流程图。流程图中的椭圆形符号表示解决问题的起始点,平行四边形标明系统的输入或输出,矩形表示一个函数,该函数可能简单也可能复杂,由设计者斟酌决定。菱形表示流程图中通常由输入或内部操作条件决定的一个判定或一个分支。

图1-5所示的汽车系统框图中显示了子单元与主控单元之间的输入与输出信号传输。框图

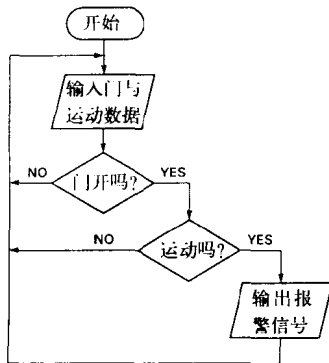


图1-6 喇叭报警流程图



图1-7 燃料流流程图

中数字控制块表示功能处理在何处发生。例如，当汽车在行驶过程中车门半开着，报警喇叭将发出声响。流程图中的输出平行四边形表示打开喇叭的要求。激发报警信号的决定是操作汽车门半开和汽车行驶的输入信号作出的。使喇叭发出声音需要输送一个信号驱动喇叭螺旋管。

可以简要或详细地定义问题。简单问题通常不需任何图形帮助就可直观地描述。图1-6显示了喇叭问题的选择过程。图1-7显示了一个简单的流程图，用一个功能框表示一个复杂的函数（计算燃料流量）。同样，燃料流量计算函数又可用它自己的流程图表示。算法可用多种方式描述，其中仅有一种是流程图，其他方法包括数学方程和图形化的框图。

1.5 数字系统综述

数字设计可认为是一种层次结构。由最底层的基本电路开始，逐步向上，每层都显示更复杂的功能单元。基本电路由单独的元件组成，能执行特定功能。各种元件，如电阻、电容、电感和传感器等，对电路设计者有用，而对系统设计人员不会马上有用。设计和构造数字电路以提供某些功能，在研制更复杂的功能时，这些功能被逻辑设计者作为构造块。基本的电路构造块同样被看作是更大功能单元的组成部件。逻辑设计人员考虑的基本功能单元称为门。在设计大型的更复杂的功能时门将实现特定的逻辑功能。

一旦理解了基本的逻辑门，便不必过于关心内部电子电路的细节，于是我们可以更多地关注它们的用途以设计实现更高级功能。数字加法器（将两个二进制数相加）就是一个由门电路构成的标准逻辑函数。许多逻辑函数已标准化并可作为集成电路包获得。通常，一个设计者的任务就是指明所需功能并选择适当的集成电路来完成任务。设计由电子元件构成的数字集成电路，以提供特定逻辑功能。简单集成电路只包含一些逻辑门，它们被称为小规模集成（SSI，包含0~9个门），更复杂的功能需要更多的门，被称为中规模集成（MSI，包含10~99个门）。这样下去就会由MSI到大规模集成（LSI，包含100个或更多个门）甚至超大规模集成（VLSI，没有规定的门的个数，通常认为超过1000个门）。集成电路制造者指明了普通逻辑功能，并将它们标注在集成电路上。

在数字设计的各个级别上，都介绍了附加的概念和

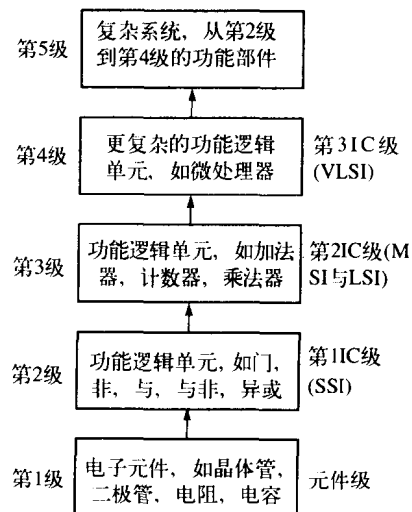


图1-8 简单的数字层次