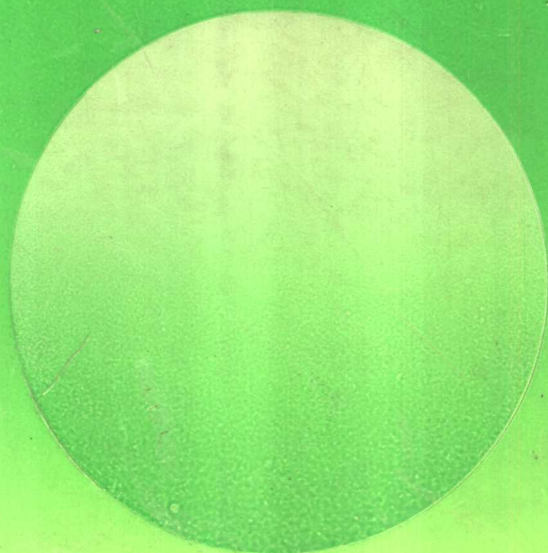


● 研 究 生 用 书 ●

MODERN DIGITAL
DESIGN

华中理工大学出版社



陈 耀 奎

现代数字设计

4+4+2

73.872373.87237
C103
C103

880582 -86

阅 8 清

现代数字 设计

陈耀奎



10351233

华中理工大学出版社



· 研究生用书 ·

现代数字设计

陈耀奎

责任编辑 李凤英

责任校对 卢金锋

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 7.625 插页: 2 字数: 175 000

1990年1月第1版 1991年8月第2次印刷

印数: 1 001-2 000

ISBN 7-5609-0370-3/TP·30

定价: 3.50 元

内 容 简 介

本书着重介绍数字系统设计的现代方法, 内容包括: 混合逻辑、中规模集成电路及其应用、自顶向下设计数字系统的方法、微程序控制器以及寄存器传送语言的硬件程序设计。

本书可作为高等学校工科无线电、电子计算机与控制类专业研究生和高年级本科生的选修教材, 也可供从事数字系统设计的人员参考。

Abstract

This book introduces the approaches to digital systems design, covering the mixed logic, MSI circuits and their applications, top-down method of design, microprogram controllers, and hardware programming for the register transfer language.

The book is intended to serve as a text of an elective course for radio, computer, and control engineering graduates and senior undergraduates. It can be used as a reference for practicing engineers engaged in digital design.

“研究生用书”总序

研究生教材建设是提高研究生教学质量的重要环节，是具有战略性的基本建设。各门课程必须有高质量的教材，才能使学生通过学习掌握各门学科的坚实的基础理论和系统的专门知识，为从事科学研究工作或独立担负专门技术工作打下良好的基础。

我校各专业自1978年招收研究生以来，组织了一批学术水平较高、教学经验丰富的教师，先后编写了公共课、学位课所需的多种教材和教学用书。有的教材和教学用书已正式出版发行，更多的则采用讲义的形式逐年印发。这些讲义经过任课教师多年教学实践，不断修改、补充、完善，已达到出书的要求。因此，我校决定出版“研究生用书”，以满足本校各专业研究生教学需要，并与校外单位交流，征求有关专家学者和读者的意见，以促进我校研究生教材建设工作，提高教学质量。

“研究生用书”以公共课和若干门学位课教材为主，还有教学参考书和学术专著，涉及的面较广，数量较多，准备在今后数年内分批出版。编写“研究生用书”总的要求是从研究生的教学需要出发，根据各门课程在教学过程中的地位和作用，在内容上求新、求深、求精，每本教材均应包括本门课程的基本内容，使学生能掌握必需的基础理论和专门知识；学位课教材还应接触该学科的发展前沿，反映国内外的最新研究成果，以适应目前科学技术知识更新很快的形势；学术专著则

应充分反映作者的科研硕果和学术水平，阐述自己的学术见解。在结构和阐述方法上，应条理清楚，论证严谨，文字简炼，符合人们的认识规律。总之，要力求使“研究生用书”具备科学性、系统性和先进性。

我们的主观愿望虽然希望“研究生用书”的质量尽可能高一些，但由于研究生的培养工作为时尚短，水平和经验都不够，其中缺点、错误在所难免，尚望校内外专家学者及读者不吝指教，我们将非常感谢。

华中理工大学研究生院院长

陈 珏

1989.11.

前 言

随着数字技术和计算机技术的迅速发展,各种规模的数字系统,其应用范围越来越广。在这种情况下,如何用中、大规模集成电路,按设计任务的要求,迅速而有效地设计数字系统,无疑,这是一个有着重要实际意义的问题。然而,目前有关介绍用中、大规模集成电路设计数字系统的书籍大多是限于对一些数字系统工作原理的描述,提供设计技巧和方法的颇少。作者编写本书的目的是试图向读者介绍一些新颖而又实用的数字系统设计方法。本书所提供的设计方法不仅能以简明的形式将设计者的设计思路表达清楚,而且也为设计过程中的修改以及使用过程中的维修提供了方便。这种设计方法引用了计算机软件程序设计的思路和技巧,如果读者具有软件程序设计知识,将有助于理解和掌握这种设计方法。

本书共分五章:

第一章混合逻辑。介绍了数字系统设计中使用混合逻辑的意义,各种逻辑门在混合逻辑中的逻辑功能以及用混合逻辑方法分析和综合逻辑电路。这一章内容是本课程的基础,也是分析和设计数字系统一种有效手段。

第二章几种常用的中规模集成电路及其应用。介绍了几种常用的中规模集成电路的功能及其典型应用。

第三章自顶向下设计数字系统的方法。这一章是本书的重点。介绍了什么是自顶向下的设计方法和用这种方法设计数字系统的基本步骤。较深入地讨论了算法状态机——一种控制算法的描述方法,以及用硬件实现它的几种方法。本章列举了较多的设计实例,其中每一例

子,从内容的选择到设计过程的讨论,充分考虑了初学者学习上的需要,试图为读者提供数字系统设计方法上的范例。

第四章微程序控制器。这一章内容是第三章的延伸。第三章仅讨论算法状态机的硬件实现,本章将用微程序设计技术实现算法状态机。所讨论的微程序控制器,是从本课程的要求出发,仅限于用在中等规模的数字系统。

第五章寄存器传送语言的硬件程序设计。这一章内容是由第三章派生出来的。自顶向下的数字系统设计方法,在第三章中是以算法状态机流图的形式来描述系统的功能,并由此组织硬件设计,而本章则是以寄存器传送语言组成的语句序列——硬件程序来描述系统的功能,并将其变换成相应的硬件。

本书中所用的逻辑图形符号,系我国国家标准局于1986年颁布的国家标准逻辑图形符号,以改变过去数字设计中使用逻辑图形符号时出现的混杂情况。使用标准逻辑图形符号,对初接触的读者来说,不免一时会感到有些不习惯,但从长远来看,无疑是有裨益的。

本课程的先修课程是:“脉冲与数字电路”,“计算机程序设计基础”,“微型计算机原理”等。

作者试图在有限的篇幅中,以内容的新颖、丰富、实用,语言阐述的通俗易懂,成为本书的一个特色,力求使本书对新、老数字系统设计者都将有所帮助。但是由于编者水平有限,编写时间仓促,恐难达到要求,错误不妥之处在所难免,恳请读者批评、指正。

作 者

1988年9月



作者简介

陈耀奎，1956年毕业于南京工学院(现改为东南大学)无线电系，现为华中理工大学电子与信息工程系副教授。

本人长期从事本科生、研究生的教学工作，编有《无线电技术基础》，译有《无线电工程设备中脉冲与数字电路单元电路的计算》等书，近几年在国内学术刊物上发表论文多篇。目前主要研究现代数字设计和微机应用技术。

目 录

第一章 混合逻辑..... (1)

§1.1 概述..... (1)

§1.2 各种门电路的混合逻辑功能..... (4)

1.2.1 与非门的混合逻辑功能..... (4)

1.2.2 或非门的混合逻辑功能..... (7)

1.2.3 异或门的混合逻辑功能..... (8)

1.2.4 非门的混合逻辑功能..... (10)

§1.3 逻辑非的实现..... (13)

§1.4 混合逻辑电路的综合..... (14)

§1.5 混合逻辑电路的分析..... (22)

§1.6 混合逻辑电路与正逻辑电路的互换..... (24)

1.6.1 变正逻辑电路为混合逻辑电路的方法..... (24)

1.6.2 变混合逻辑电路为正逻辑电路的方法..... (26)

第二章 几种常用的中规模集成电路及其应用..... (29)

§2.1 多路选择器..... (29)

2.1.1 集成多路选择器的功能..... (29)

2.1.2 用多路选择器产生逻辑函数..... (32)

§2.2 多路分配器..... (37)

2.2.1 集成多路分配器的功能..... (37)

2.2.2 多路分配器与译码器的对偶性..... (39)

§2.3 计数器..... (44)

2.3.1 异步计数器..... (44)

2.3.2 同步计数器..... (52)

§2.4 移位寄存器..... (58)

2.4.1 串行输入-并行输出单向移位寄存器 (74164)..... (59)

2.4.2 串行输入、并行输入-串行输出单向移位寄存器 (74165)..... (64)

§2.5 单稳态触发器..... (68)

2.5.1 非重触发单稳态触发器(74121)..... (69)

2.5.2 可重触发单稳态触发器 (74122)	(76)
§2.6 数码比较器	(80)

第三章 自顶向下设计数字系统的方法.....(86)

§3.1 概述	(86)
§3.2 自顶向下方法的设计步骤	(88)
§3.3 算法状态机	(91)
3.3.1 算法状态机和算法状态机流程图	(91)
3.3.2 算法状态机流程图的各种符号	(91)
§3.4 算法状态机的硬件实现	(95)
3.4.1 传统方法	(96)
3.4.2 多路选择器方法	(98)
3.4.3 环形计数型方法	(103)
§3.5 异步输入与控制器的转换竞争	(109)
§3.6 单脉冲发生器的设计	(111)
§3.7 系统时钟的设计	(116)
§3.8 并行至串行数据转换器的设计	(119)
§3.9 串行至并行数据转换器的设计	(123)
§3.10 串行位时钟的设计	(127)
§3.11 累加开关数据系统的设计	(133)
§3.12 串行码电子锁系统的设计	(143)
§3.13 终端多路复用器的设计	(158)

第四章 微程序控制器.....(168)

§4.1 概述	(168)
§4.2 微指令的组成(格式)	(170)
4.2.1 输出命令字段的组成	(171)
4.2.2 顺序控制字段的组成	(172)
§4.3 通用微程序控制器	(175)
§4.4 由微指令指定后继微地址的微程序控制器	(178)
§4.5 用微程序计数器指定后继微地址的微程序控制器	(182)

第五章 寄存器传送语言的硬件程序设计.....(185)

§5.1 概 述.....	(181)
§5.2 寄存器传送语言(RTL).....	(186)
5.2.1 系统输入、输出和寄存器的表达.....	(186)
5.2.2 基本的系统操作.....	(186)
§5.3 寄存器传送语言的语句表达式.....	(188)
§5.4 控制器的电路设计.....	(195)
§5.5 受控电路的设计.....	(200)
§5.6 计算 N 的平方根的数字系统的设计.....	(207)
§5.7 除法器的设计.....	(211)
§5.8 特征数据循环移位存储系统的设计.....	(215)
附录 I 中华人民共和国国家标准 GB4728.12-85	
《电气图用图形符号二进制逻辑单元》(摘要)	(200)
附录 II 常用图形符号对照表	(228)
参考文献	(229)

第一章 混合逻辑

本章介绍有关混合逻辑的一些知识。先介绍什么是混合逻辑以及在系统一级的数字设计中使用混合逻辑的意义。然后讨论常用正逻辑门在混合逻辑时的逻辑功能。最后介绍用混合逻辑法分析和综合逻辑电路的步骤，并列举实例。

§1.1 概 述

为了解混合逻辑，让我们先来明确数字设计的含义。

数字设计包括逻辑设计和电路设计(或电路实现)两方面的内容：

(1) 逻辑设计

逻辑设计的任务是将一个具体的设计任务变成一个逻辑问题。在电路一级的设计中，组合逻辑由真值表或布尔表达式所表示；时序逻辑被表示为状态转换图或状态转换表。在系统一级的设计中，也有相应的逻辑表示方法，这将在本书的第三章中加以介绍。

(2) 电路设计

电路设计就是用硬件来实现逻辑问题。通常，组合逻辑由门电路实现，而时序逻辑则由门电路和触发器加以实现。对于系统一级的设计，其逻辑主要由相应的中规模集成电路加以实现。

任何一个数字器件的逻辑功能，有赖于其输入、输出端的内部逻辑状态1(真，T)、0(假，F)到器件的两个物理量H(高电平)、L(低电平)之间的映射关系，即

$$\left. \begin{aligned} 1 &\longleftrightarrow H \text{ 或 } L \\ 0 &\longleftrightarrow L \text{ 或 } H \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

如果器件的所有输入、输出端都以H代表1，L代表0，即

$$\left. \begin{aligned} 1 &\longleftrightarrow H \\ 0 &\longleftrightarrow L \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

这种特定的情况，称其为正逻辑约定。反之，即

$$\left. \begin{aligned} 1 &\longleftrightarrow L \\ 0 &\longleftrightarrow H \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

则是负逻辑约定。同一器件，如果其有的输入或输出端采用正逻辑约定，而另一些采用负逻辑约定，这种情况，称它为混合逻辑约定，简称为混合逻辑(Mixed Logic)。

大家所熟悉的TTL门电路，就是以正逻辑时的逻辑功能来对其命名的，如与非门、或非门、异或门、非门等。当用混合逻辑时，它们的逻辑功能就不一定同门的名称相一致了。例如，下一节将要讨论的正逻辑与非门，在混合逻辑时的逻辑功能不是“与非”，而是“与”或“或”了。

正逻辑(或负逻辑)，可能由于其逻辑约定的单一化，或者由于门的逻辑功能被门的名称所指定，而容易被人们所接受，致使流传很广。然而，无论是对电路的分析还是综合，正逻辑(或负逻辑)都有其弊端，主要是：

(1) 用门电路实现“与-或-非”表达式，需对表达式加以变换。

设计组合电路，在逻辑设计时所得的原始表达式，总是为“与-或-非”形式。为了用门电路(例如与非门)来实现它，需将原始表达式变换成二阶或多阶的与非形式。然而，这种变换除了对一些简单的“积之和”形式或“和之积”形式的表达式外，一般处理上比较麻烦，且技巧性较强，容易出错。

(2) 在实现的电路上，不能直接再现“与-或-非”表达式。

“与-或-非”表达式被变换后，在其实现的电路上，直接读

取的不再是原来的表达式，从而破坏了电路同“与-或-非”表达式之间的直接的概念联系。

【例1.1】 用二输入与非门实现以下表达式

$$F = \overline{A}B + (C + \overline{D}) \quad (1.4)$$

用摩根定律将式(1.4)变换成

$$F = \overline{A}B \cdot (C + D) = \overline{A}B \cdot \overline{\overline{C}D} \quad (1.5)$$

其实现电路如图1.1所示。

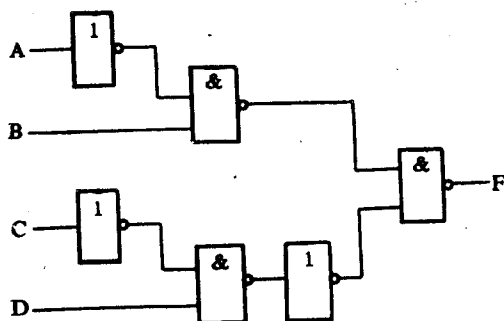


图 1.1

从该图中直接读取的逻辑表达式，不再是式(1.4)，而是式(1.5)了。

正逻辑(或负逻辑)的弊端集中到一点，就是它把门电路的逻辑功能限定死了，与非门只能实现与非逻辑功能，或非门只能实现或非逻辑功能，使门电路不能与“与-或-非”表达式直接相通。因此，为了实现组合逻辑，不得不改变表达式的形式，以适应门电路的要求。

混合逻辑法是实现组合逻辑的又一种方法，它在“与-或-非”表达式同“与非”或“或非”门电路之间起着桥梁作用，使所用的门电路去适应“与-或-非”表达式的要求，而不再是改变表达

式去适应门电路的要求。混合逻辑法之所以具有这个特点，是因为门电路在不同的混合逻辑约定下具有不同的逻辑功能。如与非门，当其输入端为正逻辑、输出端为负逻辑时，它将实现“与”的逻辑功能；当其输入端为负逻辑、输出端为正逻辑时，它将实现“或”的逻辑功能。

混合逻辑法最初是在1953年由沃什伯恩(Washburn)提出的，当时称其为电压符号法(Voltage Symbol)，以后又叫做逻辑极性符号法。在刚提出这种方法时，并没有受到人们的足够重视。随着计算机技术的迅速发展，由于设计的数字系统越来越大，功能越来越复杂，设计中要求门电路能顺应设计人员的“与-或-非”逻辑表达式，使组合逻辑的实现变成一种规范化的“程序式”的工作。同时，要求实现的电路逻辑明了，以便检测和排除故障。当今，混合逻辑法已得到日益广泛地应用。在本书的以后各章中，都将采用混合逻辑法。

§1.2 各种门电路的混合逻辑功能

如上所述，所有TTL门电路都是以正逻辑时的逻辑功能来对其命名的。在混合逻辑中，它们的逻辑功能是什么呢？这就是本节中要讨论的问题。下面，分别来讨论与非门、或非门、异或门和反相器的混合逻辑功能。

1.2.1 与非门的混合逻辑功能

任何一个门电路，其物理的电压输入/输出特性是唯一的，而逻辑的输入/输出特性则不同，它随输入、输出端的不同正、负逻辑约定而异。表1.1列出二输入与非门的电压输入/输出特性，当其输入、输出端均为正逻辑约定，即输入A、B及输出F均有 $1=H$ ($1=H$ ，表示以高电平表示逻辑1，是正逻辑的表示方法； $1=L$ ，表示以低电平表示逻辑1，是负逻辑的表示方法)，

由表1.1可对应出逻辑的输入/输出特性——逻辑真值表,如表1.2所示。该真值表指出,与非门在正逻辑时的逻辑功能,正如其命名的逻辑功能。图1.2是正逻辑与非门的图形符号,其中的小圆圈表示逻辑非的符号。

表 1.1

A	B	F
L	L	H
L	H	H
H	L	H
H	H	L

表 1.2

A	B	F
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

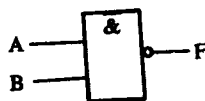


图 1.2

二输入与非门,当其用混合逻辑时,它的逻辑功能如何呢?下面,分两种不同情况加以讨论。

1. 输入端为正逻辑,输出端为负逻辑

表 1.3

A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

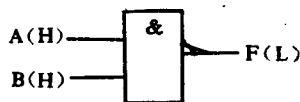


图 1.3

当输入A、B有 $1=H$,而输出F有 $1=L$,由表1.1可对应出另一张逻辑真值表来,如表1.3所示。显然,该真值表所表示的逻辑功能不再是“与非”,而是“与”的逻辑功能了。

当用混合逻辑时,对门电路的输入、输出变量,应以一定的方式来表明它们的正、负逻辑。在上一节所提到的电压符号法中,对正逻辑信号用“+”符号表示,而负逻辑信号用“-”表示。本书中,用加括号的H表示正逻辑信号,而用加括号的L表