

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

数字设计基础与应用

学习与实验指导

邓元庆 主编
关宇 贾鹏 余红娟 编著

清华大学出版社





数字设计基础
电子工业出版社

数字设计基础与应用 学习与实验指导

主编：王明
副主编：王明、王明、王明

数字设计基础

高等学校教材
电子信息

数字设计基础与应用 学习与实验指导

邓元庆 主编
关宇 贾鹏 余红娟 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《数字设计基础与应用》的配套教材,内容分为上、下两篇。上篇介绍《数字设计基础与应用》各章的学习要点、学习要求以及习题、自测题的参考解答;下篇介绍数字设计课程的配套实验,包括数字设计实验基础、基本实验、综合实验与课题设计等三部分内容。

本书既可作为电子、信息、雷达、通信、测控、计算机、电力系统及自动化和机电一体化等专业的数字电路学习与实验指导教材,也可作为相关专业学生考研和参加全国大学生电子设计竞赛的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数字设计基础与应用学习与实验指导/邓元庆主编;关宇,贾鹏,余红娟编著. —北京:清华大学出版社,2007.4

(高等学校教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-14412-0

I. 数… II. ①邓…②关…③贾…④余… III. 数字电路—电路设计—高等学校—教材
IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 163972 号

责任编辑:魏江江 顾 冰

责任校对:白 蕾

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:19.25 字 数:463 千字

版 次:2007 年 4 月第 1 版 印 次:2007 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:020884-01

本书是清华大学出版社出版的《数字设计基础与应用》一书的配套教材。全书分为上、下两篇,共10章。

上篇(第1~7章)介绍《数字设计基础与应用》各章的学习要点、学习要求以及习题、自测题的参考解答,对于读者正确把握该课程的学习重点,及时解决学习中的难点,训练各种解题技巧和解题方法,拓宽解题思路,具有重要的指导意义;对于那些选考数字电路课程的考研学生来说,本书细心的指导、灵活的题型、详尽的解答,对于复习迎考无疑具有重要的参考价值。

下篇(第8~10章)介绍数字设计课程的配套实验,包括数字设计实验基础、基本实验、综合实验与课题设计等三部分内容,对于培养学生理论联系实际的精神、掌握现代实验方法、提高逻辑设计能力和动手能力,同样具有重要的指导意义。书中实验项目较多,共包括验证性实验、虚拟仿真实验和综合设计实验三种类型,各校使用时,可根据学时数予以适当剪裁。

本书由解放军理工大学邓元庆教授主编,解放军理工大学关宇副教授、贾鹏讲师和金华职业技术学院信息学院余红娟副教授参编。第1、2章由关宇编写,第3~5章由邓元庆编写,第6、7章由贾鹏编写,第8~10章由余红娟编写,附录由邓元庆和余红娟共同编写。解放军理工大学理学院的各级领导及编者的家人为本书的编写提供了大量的支持,杨云硕士参与了本书中大量 VHDL 源程序的调试工作,谨在此一并致谢。

由于时间仓促和编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者斧正。

编 者

上篇 学习指导

第 1 章 数字逻辑基础	3
1.1 学习指导	3
1.2 习题解答	10
1.3 自测题解答	36
第 2 章 组合逻辑电路分析与设计	40
2.1 学习指导	40
2.2 习题解答	46
2.3 自测题解答	78
第 3 章 时序逻辑基础	85
3.1 学习指导	85
3.2 习题解答	91
3.3 自测题解答	109
第 4 章 同步时序电路分析与设计	113
4.1 学习指导	113
4.2 习题解答	116
4.3 自测题解答	143
第 5 章 数字系统设计	149
5.1 学习指导	149
5.2 习题解答	150
5.3 自测题解答	179

第 6 章 电子设计自动化	183
6.1 学习指导	183
6.2 习题解答	184
6.3 自测题解答	190
第 7 章 数/模、模/数转换与脉冲产生电路	192
7.1 学习指导	192
7.2 习题解答	195
7.3 自测题解答	199

下篇 实验指导

第 8 章 数字设计实验基础	205
8.1 数字逻辑实验设备与常用测试工具简介	205
8.2 仿真实验软件 EWB	208
8.3 PLD 开发软件 Quartus II	216
第 9 章 基本实验	227
9.1 加法器、比较器的应用	227
9.2 编码器、译码器的功能仿真与应用	228
9.3 数据选择器、数据分配器的功能测试与应用	230
9.4 触发器功能测试及仿真	231
9.5 计数器功能仿真与应用	233
9.6 移位寄存器功能仿真与应用	235
9.7 存储器的功能测试与扩展	236
9.8 CPLD 编程与应用	238
9.9 A/D、D/A 转换器的应用	242
9.10 555 定时器的应用仿真	244
第 10 章 综合实验与课题设计	248
10.1 按键显示电路	248
10.2 16×16 点阵显示系统	249
10.3 数字式抢答计时器	250
10.4 数字钟	251
10.5 铁道路口交通控制器	252
10.6 十字路口交通灯控制器	253
10.7 数字密码锁	255

10.8 4 位二进制数硬件乘法器	256
10.9 节日彩灯控制器	256
10.10 全自动电梯控制器	261
10.11 4 位数字频率计	263
10.12 除尘器振打清灰控制系统	263
10.13 FIFO 堆栈设计	265
附录 A 模拟试卷(120 分钟)及参考答案	266
附录 B 部分 74 系列芯片资料	271
参考文献	293

上 篇

学 习 指 导

- 第1章 数字逻辑基础
- 第2章 组合逻辑电路分析与设计
- 第3章 时序逻辑基础
- 第4章 同步时序电路分析与设计
- 第5章 数字系统设计
- 第6章 电子设计自动化
- 第7章 数/模、模/数转换与脉冲产生电路

数字逻辑基础

1.1 学习指导

本章介绍数字逻辑的基础知识,内容包括数字电路与数字系统的基本概念、数字系统中信息的表示方法、逻辑代数基本公式和逻辑函数描述方法及逻辑函数化简方法。这些内容是分析和设计数字电路与数字系统的基础,需要重点掌握。各部分内容及教学要求如下:

(1) 理解数字电路与数字系统的基本概念,理解模拟信号和数字信号、模拟电路和数字电路的概念,理解数字分析和数字设计的概念,了解数字设计的不同层次。

信号是信息的载体,电信号就是用变化的电压或电流表示信息。根据信号的变化特点分类,电信号可以分为模拟信号和数字信号。模拟信号的幅度是连续变化的,数字信号的幅度是离散的,通常是二值的。二值电压信号用高、低两个电平表示信息,通常用抽象的数学符号“1”和“0”来表示。将高、低电平分别用“1”、“0”表示,称为正逻辑表示法;反之,称为负逻辑表示法。

电路是对电信号进行传输、变换和处理的装置,处理模拟信号的电路称为模拟电路,处理数字信号的电路称为数字电路。数字系统是系统级设备,比功能部件级的数字电路规模更大、功能更复杂,鉴定一个数字装置是否是数字系统,要看它是否包含控制器。

数字电路与系统是在模拟电路之后发展起来的,具有抗干扰能力强、可靠性高、集成度高、可编程能力强、易于扩展等优点。

数字分析是指分析一个已知的数字电路或系统,明确其工作原理、确定输入/输出信号的关系、确定系统和各部分的逻辑功能。数字设计则是针对特定的设计任务,采用一定的设计手段,构造一个符合要求的数字系统。数字设计的层次由高到低可以分为系统级、模块级、门级、晶体管级和物理级五个层次。

(2) 理解“0”、“1”表示信息的含义。理解数值表示法的基本概念,掌握十进制表示法和十六进制表示法,熟练掌握二进制表示法,理解带符号数表示法的基本思想,掌握原码、反码和补码表示法,理解符号的编码表示法,了解二进制格雷码编码方法,熟练掌握 8421BCD 码编码方法,掌握其他常用 BCD 码,了解 ASCII 码的编码方法,了解差错控制编码的概念,掌握奇偶校验码的编码方法。

在数字系统中,所有信息都用“0”和“1”来表示。十进制表示法是人们熟悉的数值表示法,但不适用于数字系统;二进制表示法是适合数字系统的数值表示法;十六进制表示法

是一种便于人们使用、又便于转换为二进制的数值表示法。上述三种数值表示法都属于“按位计数制”，又叫进位计数制、标位计数法，其基本概念包括字符、基数和权。 N 进制计数法使用了 N 个字符，基数为 N ，计数时逢 N 进1，第 i 位的权值是 N^i 。

对于带符号数，首先要用“0”、“1”表示正、负号，规则为：符号位在最高位，“0”表示正号，“1”表示负号；其次是数值的表示，有三种方法，称为原码、反码和补码。对于负数，原码表示法的数值位就是带符号数的二进制绝对值，反码表示法的数值位是原码数值位逐位取反，补码表示法的数值位是反码数值位再末位加1。对于正数，三种编码表示法的数值位相同，都是带符号数的二进制绝对值。带符号数的补码表示法的意义在于：带符号的二进制数的加减运算可以统一为补码数的加法运算。

字母、字符等符号在数字系统中采用“0”、“1”对其进行编码表示，数值除了可以用二进制数的形式在数字系统中表示外，还可以采用其他编码形式。格雷码（又叫典型循环码）就是不同于二进制表示法的另一种数值表示法，它是一种无权码，具有相邻和循环的特性，表1-1是十进制数0~15的自然二进制码和格雷码的编码对照表。

表 1-1 十进制数 0~15 的自然二进制码和格雷码的编码对照表

十进制数	二进制编码		十进制数	二进制编码	
	自然二进制码	格雷码		自然二进制码	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

BCD 码采用特定编码表示十进制数中 0~9 这十个字符，进而表示十进制数。常用的 BCD 编码有 8421 码、5421 码、2421 码、余 3 码和余 3 循环码，如表 1-2 所示。其中 8421 码、5421 码、2421 码都是按各位权值命名的有权码，余 3 码和余 3 循环码则是无权码。

表 1-2 常用 BCD 码

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余 3 码	余 3 循环码
0	0000	0000	0000	0011	0010
1	0001	0001	0001	0100	0110
2	0010	0010	0010	0101	0111
3	0011	0011	0011	0110	0101
4	0100	0100	0100	0111	0100
5	0101	1000	1011	1000	1100
6	0110	1001	1100	1001	1101
7	0111	1010	1101	1010	1111
8	1000	1011	1110	1011	1110
9	1001	1100	1111	1100	1010

ASCII 码是美国信息交换标准代码的简称,它采用 7 位二进制编码格式,共有 128 种不同的编码,用来表示十进制字符、英文字母、基本运算字符、控制符和其他符号。完整的 ASCII 码编码表如表 1-3 所示。

表 1-3 ASCII 码编码表

$B_7 B_6 B_5 B_4$ $B_3 B_2 B_1 B_0$	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	.	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
1001	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011	VT	ESC		;	K	[	k	{
1100	FF	FS	,	<	L	\	l	
1101	CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110	SO	RS	.	>	N	^	n	~
1111	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

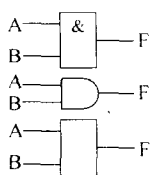
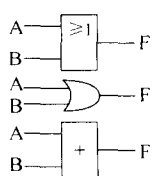
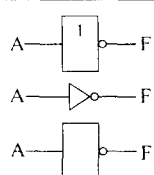
差错控制编码是用于检查并进而纠正信息传输中出现差错的一类编码,分为检错码和纠错码。检错码可以发现错误,但不能纠正;纠错码不仅可以发现错误,而且可以纠正。奇偶校验码是最简单的检错码,它在 n 个信息位上增加一个校验位,构成 $n+1$ 位传输码字,可以检出奇数个错误,不能发现偶数个错误。奇偶校验码分为奇校验码和偶校验码,奇校验码的特点是传输码字中包含奇数个“1”,偶校验码的特点是传输码字中包含偶数个“1”。

(3) 理解逻辑变量、逻辑运算和逻辑函数的概念,熟练掌握三种基本逻辑运算的定义、运算规则、表示方法和逻辑符号,熟练掌握复合逻辑运算和常用逻辑门,熟练掌握逻辑代数的基本运算定律和运算规则,熟练掌握逻辑函数的表达式、真值表、逻辑图等表示方法,熟练掌握积之和式、和之积式、最小项表达式、最大项表达式的表示方法和相互转换,熟练掌握逻辑函数表达式与真值表的相互转换。

逻辑代数又叫布尔代数或开关代数,是研究逻辑变量和逻辑运算的代数体系,是数字系统分析与设计的数学工具。数字系统中的信号和信号间的相互关系被抽象表示为逻辑变量和逻辑运算,使电子系统中的信号处理过程可以用数学方法加以研究。

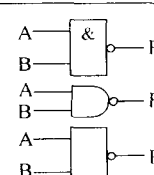
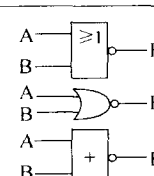
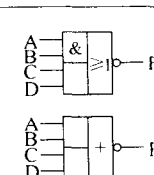
逻辑代数中的变量称为逻辑变量,逻辑变量用字符或字符串表示,一个逻辑变量只有两种可能的取值:0、1,这两个取值称为逻辑值。逻辑代数定义了三种基本的逻辑运算:与运算、或运算和非运算,表 1-4 归纳了三种基本逻辑运算的表达式、真值表、逻辑门符号和运算特征,其中逻辑门符号从上到下依次为国标符号、美标符号和旧部标符号。

表 1-4 基本逻辑运算

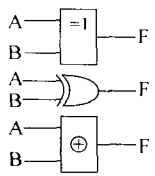
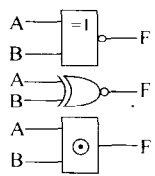
运算名称	逻辑表达式	真值表	逻辑门符号	运算特征										
与	$F = A \cdot B$	<table><tr><th>AB</th><th>F</th></tr><tr><td>00</td><td>0</td></tr><tr><td>01</td><td>0</td></tr><tr><td>10</td><td>0</td></tr><tr><td>11</td><td>1</td></tr></table>	AB	F	00	0	01	0	10	0	11	1		输入全为 1 时， 输出 $F=1$
AB	F													
00	0													
01	0													
10	0													
11	1													
或	$F = A + B$	<table><tr><th>AB</th><th>F</th></tr><tr><td>00</td><td>0</td></tr><tr><td>01</td><td>1</td></tr><tr><td>10</td><td>1</td></tr><tr><td>11</td><td>1</td></tr></table>	AB	F	00	0	01	1	10	1	11	1		输入全为 0 时， 输出 $F=0$
AB	F													
00	0													
01	1													
10	1													
11	1													
非	$F = \bar{A}$	<table><tr><th>A</th><th>F</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	A	F	0	1	1	0		输出与输入 取值相反				
A	F													
0	1													
1	0													

从方便电路实现的角度出发,定义了由基本逻辑运算构成的复合逻辑运算,常用的是与非、或非、与或非、异或和同或。这些逻辑运算对应的逻辑门为常用逻辑门,表 1-5 给出了它们的表达式、真值表、逻辑门符号及运算特征,其中与或非门没有相应的美标符号。

表 1-5 复合逻辑运算与常用逻辑门

运算名称	逻辑表达式	真值表	逻辑门符号	运算特征															
与非	$F = \overline{A \cdot B}$	<table> <tr> <th>AB</th> <th>F</th> </tr> <tr> <td>00</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0</td> </tr> </table>	AB	F	00	1	01	1	10	1	11	0		输入全为 1 时, 输出 $F=0$					
AB	F																		
00	1																		
01	1																		
10	1																		
11	0																		
或非	$F = \overline{A + B}$	<table> <tr> <th>AB</th> <th>F</th> </tr> <tr> <td>00</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>0</td> </tr> </table>	AB	F	00	1	01	0	10	0	11	0		输入全为 0 时, 输出 $F=1$					
AB	F																		
00	1																		
01	0																		
10	0																		
11	0																		
与或非	$F = \overline{AB + CD}$	<table> <tr> <th>AB</th> <th>CD</th> <th>F</th> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	AB	CD	F	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0		与项全为 0 时, 输出 $F=1$
AB	CD	F																	
0	0	1																	
0	1	0																	
1	0	0																	
1	1	0																	

续表

运算名称	逻辑表达式	真值表		逻辑门符号	运算特征
异或	$F = A \oplus B$ $= \overline{A}B + A\overline{B}$	AB	F		输入奇数个 1 时, 输出 F=1
		00	0		
		01	1		
		10	1		
		11	0		
同或 (异或非)	$F = A \odot B$ $= \overline{A \oplus B}$ $= AB + \overline{A}\overline{B}$	AB	F		输入偶数个 0 时, 输出 F=1
		00	1		
		01	0		
		10	0		
		11	1		

无论是基本逻辑运算还是复合逻辑运算,都可以用于多变量运算。在标准的74系列逻辑门中,有2输入、3输入、4输入的与门、或门、与非门和或非门等。

逻辑代数的基本运算定律如表1-6所示,其中反演律又称为摩根定律。

表 1-6 逻辑代数的基本运算定律

名称	公式 1	公式 2
交换律	$A+B=B+A$	$AB=BA$
结合律	$A+(B+C)=(A+B)+C$	$A(BC)=(AB)C$
分配律	$A+BC=(A+B)(A+C)$	$A(B+C)=AB+AC$
互补律	$A+\overline{A}=1$	$A \cdot \overline{A}=0$
0-1 律	$A+0=A$	$A \cdot 1=A$
	$A+1=1$	$A \cdot 0=0$
对合律	$\overline{\overline{A}}=A$	$\overline{\overline{A}}=A$
重叠律	$A+A=A$	$A \cdot A=A$
吸收律	$A+AB=A$	$A(A+B)=A$
	$A+\overline{A}B=A+B$	$A(\overline{A}+B)=AB$
	$AB+\overline{A}B=A$	$(A+B)(\overline{A}+\overline{B})=A$
	$AB+\overline{A}C+BC=A\overline{B}+\overline{A}C$	$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)=(A+B)(\overline{A}+C)$
反演律	$\overline{A+B}=\overline{A}\overline{B}$	$\overline{AB}=\overline{A}+\overline{B}$

逻辑代数有三个重要的运算规则:代入规则、对偶规则和反演规则。

- 代入规则:对于任何逻辑等式,以任意一个逻辑变量或逻辑函数同时取代等式两边的某个变量后,等式仍然成立。
- 对偶规则:如果两个逻辑函数相等,则它们的对偶式也相等。所谓对偶式是指,将逻辑表达式 F 中出现的所有“ $\cdot$ ”和“ $+$ ”互换,“0”和“1”互换,就得到了一个新的函数表达式 F' (也可以写作 F_d),该表达式 F' 和原表达式 F 互为对偶式。计算对偶式时,应该注意保持原有的计算次序不变。与运算和或运算、与非运算和或非运算、异或运算和同或运算都是互为对偶关系的运算。表1-6的公式1和公式2中相应的等式都是互为对偶关系的等式。

- 反演规则：将一个函数表达式 F 中出现的所有“ $\cdot$ ”和“ $+$ ”互换，“0”和“1”互换，原变量和反变量互换，就得到了反函数 $\bar{F}$ 。由原函数求反函数的过程叫反演或取反，我们可以利用反演律求反函数，也可以用反演规则求反函数，计算时要注意保持原函数的运算次序不变。

逻辑函数有两种基本的表示方法：表达式和真值表。逻辑函数表达式就是把函数关系表示为变量的与、或、非、异或等运算的形式；真值表表示法通过罗列自变量的取值和相应的函数值，得到反映函数关系的取值表格。真值表是用逻辑代数描述实际设计问题的基本方法。由于各种逻辑运算都可以用相应的逻辑门实现，任意给定的函数表达式都存在一个逻辑电路与之对应，或者说，逻辑电路图也是逻辑函数的一种表示方法。波形图反映了逻辑电路输入、输出电平关系，也可以作为逻辑函数的一种表示方法。

最常用的函数表达式形式是积之和式与和之积式，任何逻辑函数都可以表示为这两种形式。积之和式又叫与或式，是若干个乘积项的和（逻辑加）。乘积项就是几个自变量的与运算，参与与运算的是自变量的原变量形式或反变量形式。和之积式又叫或与式，是若干个和项的乘积（逻辑乘）。和项就是几个自变量的或运算，参与或运算的是自变量的原变量形式或反变量形式。积之和式、和之积式与真值表之间没有明显的对应关系。

最小项表达式又叫标准积之和式，其中的每个乘积项都是最小项。最小项包含了构成逻辑函数的所有自变量，每个自变量以原变量或反变量的形式出现，且仅出现一次。 n 变量的逻辑函数包含 2^n 个最小项，这些最小项与自变量的 2^n 种取值有着一一对应的关系。任何一个最小项有且仅有一组自变量取值使其等于 1，最小项的简写形式为 m_i ，下标 i 就是与该最小项对应的自变量取值的十进制数。下标 i 也可以这样确定：将一个最小项中的原变量替换为 1、反变量替换为 0，得到一个二进制数，其等值的十进制数就是 i 。最小项表达式的简写形式为 $\sum m_i$ 。最大项表达式又叫标准和之积式，其中的每个和项都是最大项。最大项的定义、性质与最小项相对应。最大项的简写形式为 M_i ，将最大项中的原变量和反变量分别用 0 和 1 表示，对应的数值就是下标 i 。最大项表达式的简写形式为 $\prod M_i$ 。

最小项表达式、最大项表达式、真值表之间存在明显的对应关系：最小项表达式由真值表中函数值为 1 的行所对应的最小项组成，最大项表达式由真值表中函数值为 0 的行所对应的最大项组成。

(4) 理解逻辑函数化简的意义，理解最简逻辑电路与最简表达式的含义和相互关系，了解逻辑函数不同化简方法的优缺点，了解代数化简法，熟练掌握 4 变量以内逻辑函数的卡诺图化简法，理解任意项的概念，掌握其表示方法和使用方法。

完成同样逻辑功能的电路越简单越好，逻辑电路的化简通过逻辑函数的化简来实现。逻辑门电路的最简标准是所用逻辑门数量最少，每个逻辑门的输入端数量也最少。由与或式或或与式实现的两级门电路是组合电路的典型结构，最简门电路对最简与或式和最简或与式的要求是：乘积项最少，和项最少，变量数最少。

常用的逻辑函数化简方法包括：代数化简法、卡诺图化简法和计算机辅助化简法。代数化简法就是利用逻辑代数的基本公式，通过项的合并 ($AB + A\bar{B} = A$)、吸收 ($A + AB = A$)、消去冗余变量 ($A + \bar{A}B = A + B$) 等手段达到化简目的。这种方法比较灵活，通常不易判断结果是否最简。计算机辅助化简法是实际电路设计中较多采用的方法，可以得到最优化的

电路结构,但概念性不强,教学中较少采用。卡诺图化简法是一种将合并所需的逻辑相邻项转换为几何相邻项的图形化简法,可以将具有逻辑相邻关系的 2^n 个几何相邻项合并为 1 项,同时消去 n 个变量。为了得到最简表达式,在圈 1(或 0)时,应遵循圈数尽量少、每个圈尽量大的合并原则;为了防止出现冗余项,应该保证每个圈中至少有一个 1(或 0)是没有被其他圈圈过的。圈 1 可以求出最简与或式,圈 0 可以求出最简或式。

实际应用中,不但存在所有自变量取值都有确定函数值的完全描述型逻辑函数,还有非完全描述的逻辑函数,这种函数在自变量某些取值下的函数值无定义,称为任意项,记作 Φ 。在卡诺图化简时,任意项可以和 1 或 0 圈在一起,有助于函数化简。化简后的逻辑函数不存在任意项,函数值都是确定的。含任意项的逻辑函数可以写成最小项表达式形式 $F = \sum m(\quad) + \sum \Phi(\quad)$ 、最大项表达式形式 $F = \prod M(\quad) \cdot \prod \Phi(\quad)$ 或其他表示形式。

本章的教学重点是数值的二进制表示法、符号的编码表示法、逻辑代数基础知识和逻辑函数的化简;教学难点是卡诺图化简法。为了帮助大家把握学习重点,破解学习难点,下面再举一个卡诺图化简的例子。

例 1-1 试化简函数 F , 求出最简与或式和最简或式。

$$\begin{cases} F(A,B,C,D) = A \cdot \overline{B+C} + \overline{A+B+C+D} \\ AB+AC=0 \end{cases}$$

解 为了方便填写卡诺图,需要先将函数 F 的表达式变换为与或式

$$F(A,B,C,D) = A\overline{B}\overline{C} + \overline{A}BC + \overline{A}BD$$

表达式 $AB+AC=0$ 是函数 F 的约束条件,可以根据表达式含义确定任意项,即自变量 A 、 B 不能同时为 1,自变量 A 、 C 不能同时为 1。也可以将 $AB+AC=0$ 写成 $\sum \Phi(\quad) = 0$ 的形式,即

$$\sum \Phi(10,11,12,13,14,15) = 0$$

显然,该任意项还可以描述为:输入信号是 8421BCD 码。

画出卡诺图,如图 1-1 所示,并分别圈 1,求最简与或式;圈 0,求最简或式。

CD \ AB	00	01	11	10
00				
01		1	1	1
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10	1	1	Φ	Φ

$F=A+BC+BD$
(a) 最简与或式

CD \ AB	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0			
11	Φ	Φ	Φ	Φ
10			Φ	Φ

$F=(A+B)(A+C+D)$ 或 $F=(A+B)(\overline{B}+C+D)$
(b) 最简或式

图 1-1 例 1-1 的卡诺图

圈 1 时,遵循“圈数尽量少,每个圈尽量大”的化简原则,将所有任意项都和 1 圈在一起,从而最简与或式 $F=A+BC+BD$ 对应的函数最小项表达式是