

唐竞新 编著

数字电子电路

清华大学出版社



TN79
T263

唐竞新 编著



A1106792

数字电子电路



清华大学出版社
北京

14M73/67

内 容 简 介

本书全面介绍了数字电子电路的基本理论、基本分析方法和设计方法。全书共分8章,包括逻辑代数和逻辑函数、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲和定时电路,A/D和D/A转换电路、存储器和可编程逻辑器件等。

本书概念清楚,内容先进实用,章节编排合理;每章均有计算实例和大量习题,易于学习。

本书可作为高等学校理工科各专业学生的教材,也可作为教师的教学参考书,还可供有关工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子电路 / 唐竞新编著. —北京: 清华大学出版社, 2003. 9

ISBN 7-302-06836-4

I. 数… II. 唐… III. 数字电路—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 082877 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 王仁康

文稿编辑: 邹开颜

版式设计: 肖 米

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 25 字数: 571 千字

版 次: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06836-4/TN·142

印 数: 1~5000

定 价: 30.00 元

前言

数字电子电路

本书是作者根据国家教委制订的电子技术基础课程教学基本要求，并在多年教学实践的基础上编写而成。本书可作为高等院校的教材，亦可作为有关专业工程技术人员的参考书。

数字电子电路是理工科专业一门重要的专业基础课。本书着重介绍数字电子电路的基本理论以及电路的分析与设计方法。在内容的节选上注重新先进性和实用性，在章节的编排上力求兼顾国内一些通用教材的体系。为便于读者对所讲述内容的理解和消化，在每章开始前有“内容提要”，在每章之后有“本章小结”。每章中均有大量计算实例，各章之后均有习题。

全书共分8章。第1章介绍分析和设计数字电路的工具——逻辑代数和逻辑函数。第2章介绍数字电路最基本的单元——门电路，对集成门电路的原理和电气特性作了较为详细的介绍。第3章介绍组合逻辑电路，重点介绍了几种常见的、典型的组合电路。第4章和第5章是本书重点，分别介绍了触发器和时序逻辑电路。触发器是时序逻辑电路的基本单元，所以书中单独设一章，从触发器的结构、动作特性、不同逻辑功能触发器及其转换等角度对它作了较为详细的介绍。时序逻辑电路是数字电路中最重要内容，书中对寄存器、计数器、顺序脉冲发生器等典型电路作了详尽的描述，并介绍了时序逻辑电路的多种设计方法。第7章介绍A/D，D/A转换电路，对D/A和A/D转换的多种方法以及相关的集成电路作了介绍。第8章介绍存储器和可编程逻辑器件，重点介绍了只读存储器ROM和随机存取存储器RAM的结构、原理和应用。可编程逻辑器件PLD是一种新型器件，本书简要地介绍了它的发展概况，并对PLA，PAL和GAL等典型PLD器件的原理和应用作了较详细的介绍。

本书除第8章采用国际通用符号外，其余章节基本采用国家标准GB/T 4728《电气简图用图形符号》所规定的逻辑符号。

限于作者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2003年5月于清华园

目 录

数字电子电路

第 1 章 逻辑代数和逻辑函数	1
1.1 基本和复合逻辑关系及其描述	1
1.1.1 与、或、非逻辑	1
1.1.2 复合逻辑关系	2
1.2 逻辑代数中的公式和定理	3
1.2.1 基本公式	3
1.2.2 常用公式	3
1.2.3 基本定理	4
1.3 逻辑函数及其表示方法	5
1.3.1 逻辑函数的引出	5
1.3.2 逻辑函数的表示方法	6
1.3.3 逻辑表达式的种类	7
1.3.4 函数的 $\sum m_i$ 和 $\prod M_j$ 的形式	7
1.4 逻辑函数的公式化简法	9
1.4.1 利用基本公式和常用公式的化简	10
1.4.2 利用反演或对偶定理的公式化简	11
1.5 逻辑函数的图形化简法	12
1.5.1 逻辑函数的卡诺图表示法	12
1.5.2 含有无关项的逻辑函数的表示法	13
1.5.3 卡诺图化简函数为最简与或式	14
1.5.4 卡诺图化简函数为其他各种最简式	16
1.5.5 逻辑函数的其他化简法介绍	18
1.6 函数的逻辑运算	22
1.6.1 逻辑函数的求反运算	22
1.6.2 逻辑函数之间的逻辑运算	23
本章小结	25
思考题和习题	25



第2章 门电路	31
2.1 分立元件门电路	31
2.1.1 二极管门电路	31
2.1.2 三极管反相器	32
2.1.3 DTL 门电路及其改进电路	33
2.2 TTL 集成门电路	36
2.2.1 TTL 集成门电路系列	36
2.2.2 TTL 集成门电路工作原理	39
2.2.3 TTL 集成门电路电气特性	42
2.2.4 TTL 集成门电路使用注意	48
2.2.5 其他类型的 TTL 集成门电路	51
2.3 CMOS 集成门电路	57
2.3.1 MOS 管结构和开关特性	57
2.3.2 CMOS 反相器	60
2.3.3 CMOS 门电路	63
2.3.4 CMOS 集成电路使用注意	71
2.3.5 电路的带载能力	72
2.4 其他集成门电路介绍	73
2.4.1 HTL 集成门电路	73
2.4.2 ECL 集成门电路	80
2.4.3 IIL 集成电路	86
本章小结	88
思考题和习题	88
第3章 组合逻辑电路	102
3.1 组合逻辑电路简介	102
3.1.1 组合逻辑电路特点	102
3.1.2 组合逻辑电路功能描述	102
3.1.3 组合逻辑电路分析方法	103
3.1.4 组合逻辑电路设计方法	105
3.2 常用组合逻辑电路	107
3.2.1 译码器	107
3.2.2 编码器	118
3.2.3 数据选择器	123
3.2.4 加法器	128
3.3 竞争-冒险	133
3.3.1 组合逻辑电路中冒险现象	133
3.3.2 冒险现象出现时刻的判定	134



3.3.3 消除竞争-冒险的方法	135
本章小结	137
思考题和习题	138
第4章 触发器	145
4.1 触发器的组成和特点	145
4.1.1 触发器的组成	145
4.1.2 触发器的工作原理和特点	145
4.1.3 触发器的分类	146
4.2 常见结构触发器及其动作特点	146
4.2.1 基本 R-S FF	146
4.2.2 同步 R-S FF	148
4.2.3 主从结构 FF	149
4.2.4 边沿结构 FF	153
4.3 触发器功能及其描述	161
4.3.1 触发器的功能	161
4.3.2 触发器按功能的分类	161
4.3.3 触发器功能描述方法	161
4.3.4 不同功能触发器的转换	162
4.4 常用集成触发器芯片介绍	165
4.4.1 TTL 集成触发器芯片	165
4.4.2 CMOS 集成触发器芯片	169
4.5 触发器应用举例	171
4.5.1 触发器构成的锁存器	171
4.5.2 触发器构成移位寄存器	171
4.5.3 触发器构成计数器	171
4.5.4 触发器实现单稳态定时电路	172
本章小结	173
思考题和习题	174
第5章 时序逻辑电路	182
5.1 时序逻辑电路简介	182
5.1.1 时序逻辑电路的特点	182
5.1.2 时序逻辑电路的模型	182
5.1.3 时序逻辑电路功能的描述	183
5.2 时序逻辑电路分析方法	184
5.2.1 同步计数器分析法	184
5.2.2 异步计数器分析法	186



5.2.3 一般同步时序电路分析法	187
5.3 常用时序逻辑电路	189
5.3.1 寄存器	189
5.3.2 计数器	194
5.3.3 顺序脉冲发生器	210
5.3.4 脉冲分配电路	213
5.4 时序逻辑电路设计	214
5.4.1 同步计数器设计	214
5.4.2 异步计数器设计法介绍	221
5.4.3 有控制变量的计数器设计	224
5.4.4 两级(或多级)计数器设计考虑	226
5.4.5 同步时序电路设计	230
本章小结	238
思考题和习题	238
第6章 脉冲、定时电路	251
6.1 施密特触发器电路	251
6.1.1 施密特触发器的引出	251
6.1.2 施密特触发器的特点和用途	252
6.1.3 常见的施密特触发器电路	253
6.2 多谐振荡器	259
6.2.1 多谐振荡器的引出	259
6.2.2 多谐振荡器的特点和用途	261
6.2.3 常见的多谐振荡器电路	261
6.3 单稳态触发器	270
6.3.1 单稳态触发器的引出	270
6.3.2 单稳态触发器的特点和用途	271
6.3.3 常见的单稳态触发器电路	272
6.3.4 集成单稳态触发器	279
6.4 555 定时器	282
6.4.1 555 定时器的组成和原理	282
6.4.2 555 定时器的应用	283
6.4.3 7555 定时器组成和原理	290
本章小结	291
思考题和习题	291
第7章 A/D,D/A 转换电路	301
7.1 A/D,D/A 转换简介	301

7.2	D/A 转换电路	302
7.2.1	常见结构的 D/A 转换器	302
7.2.2	双极性输出的 D/A 转换器	311
7.2.3	D/A 转换器的重要参数	312
7.3	A/D 转换电路	312
7.3.1	A/D 转换的一般步骤和方式	312
7.3.2	采样-保持电路	314
7.3.3	多路模拟开关	315
7.3.4	直接 A/D 转换器	316
7.3.5	间接 A/D 转换器	322
7.3.6	A/D 转换器的重要参数	328
	本章小结	328
	思考题和习题	328
第 8 章	存储器和可编程逻辑器件	336
8.1	只读存储器	336
8.1.1	只读存储器原理	336
8.1.2	可编程只读存储器的类型	338
8.1.3	只读存储器应用举例	342
8.2	随机存取存储器	343
8.2.1	RAM 的组成和工作原理	344
8.2.2	RAM 的存储单元	344
8.2.3	RAM 的应用	347
8.3	可编程逻辑器件	351
8.3.1	可编程逻辑器件简介	351
8.3.2	可编程逻辑阵列	354
8.3.3	可编程阵列逻辑	357
8.3.4	可编程通用阵列逻辑	364
	本章小结	381
	思考题和习题	382
	参考文献	388

内容提要：逻辑代数是分析和设计数字电路的数学工具。本章先扼要地介绍逻辑代数中常用的公式和定理，然后再介绍逻辑函数及其描述方法，最后着重介绍逻辑函数的化简法。

1.1 基本和复合逻辑关系及其描述

逻辑代数是数字电路分析和设计时所用的一种主要数学工具，是对逻辑函数进行运算和化简的代数。

逻辑代数是英国数学家乔治·布尔(George Boole)在 1849 年首先提出的，因而也称布尔代数。

1.1.1 与、或、非逻辑

在逻辑代数中，常用英文字母 $A, B, C, \dots$ 表示变量。在二值逻辑中，变量的取值仅有 0 和 1 两种，因而运算的规则简单。这里所述的 0 和 1 的含义不是具体数值的大小，而是代表两种不同的逻辑状态。

人们常用因果关系来描述客观事物条件和结果之间的关系。

若决定事物结果的全部条件都满足时，结果才能发生，则称这种因果关系为逻辑与。

若决定事物结果的各种条件中只要有一个满足，结果就会发生，则称这种因果关系为逻辑或。

若决定事物结果的条件成立，则结果不会发生，反之条件不成立，结果反而发生，称此因果关系为逻辑非。

图 1.1.1 所示开关和灯的 3 种示意电路可以分别用来说明上述 3 种基本的逻辑关系。

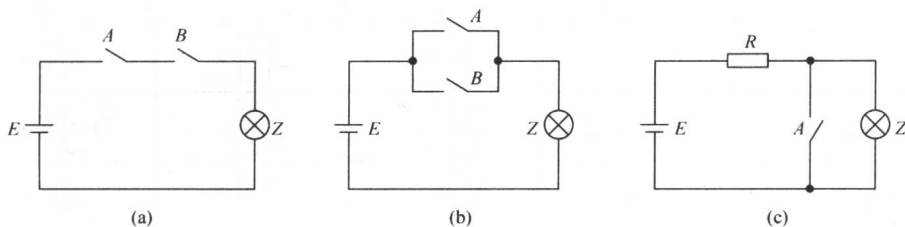


图 1.1.1 开关和灯的示意电路

图 1.1.1(a) 电路表明, 只有当电路中两个开关 A, B 同时闭合时, 灯泡 Z 才亮。条件全部满足, 事件才发生, 为逻辑与。

图 1.1.1(b) 电路表明, 电路中两个开关 A, B 只要有一个闭合, 灯泡 Z 就亮。任一条件满足, 事件就发生, 为逻辑或。

图 1.1.1(c) 电路表明, 开关 A 闭合, 灯泡 Z 不亮; 开关 A 打开, 灯泡 Z 才亮。条件满足, 事件不成立, 反之条件不满足, 事件成立, 为逻辑非。

和这 3 种基本的逻辑关系相对应, 逻辑代数中有与、或、非 3 种基本运算, 也常称为逻辑乘、逻辑加、逻辑求反。这 3 种运算常用算符“ $\cdot$ ”、“ $+$ ”和“ $-$ ”表示, “ $\cdot$ ”经常省略。

这样图 1.1.1 所示的 3 种电路描述的逻辑关系就可以写成如下数学形式:

图 1.1.1(a) 电路 $Z = A \cdot B = AB$

图 1.1.1(b) 电路 $Z = A + B$

图 1.1.1(c) 电路 $Z = \bar{A}$

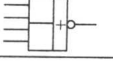
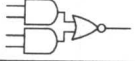
上述形式常称为逻辑表达式。

1.1.2 复合逻辑关系

实际数字系统中的逻辑问题远比简单的与、或、非运算复杂。为便于描述, 引出了各种复合逻辑运算, 常见的有与非、或非、与或非、异或和同或等。

现将 3 种基本逻辑和各种复合逻辑关系的逻辑表达式和逻辑符号整理在表 1.1.1 中。表中各种复合逻辑关系是用 3 种基本的与、或、非的逻辑组合而成, 其中: 与非是与和非的直接组合; 或非是或和非的直接组合; 与或非是先与、后或、再求反的组合。

表 1.1.1 各种逻辑关系的表达式和逻辑符号

逻辑关系	逻辑表达式	逻辑符号		
		常用	国标	国际
与	$Z = AB$			
或	$Z = A + B$			
非	$Z = \bar{A}$			
与非	$Z = \overline{AB}$			
或非	$Z = \overline{A + B}$			
与或非	$Z = \overline{AB + CD}$			
异或	$Z = A \oplus B$			
同或	$Z = A \odot B$			



异或的含义是当输入 A 和 B 不相同, 输出 Z 为高电平; 反之 A, B 输入相同, 输出 Z 为低电平。异或的表达式可写成与或的形式, 即有

$$A \oplus B = A\bar{B} + \bar{A}B$$

同或的含义是当输入 A 和 B 相同时, 输出 Z 为高电平; 反之当 A, B 输入不相同, 输出 Z 为低电平。同或逻辑也可认为是异或非逻辑。同或的表达式写成与或的形式为

$$A \odot B = AB + \bar{A}\bar{B}$$

各种逻辑关系除用逻辑表达式表示外, 还常用相应的逻辑符号来描述。表 1.1.1 中的 3 套符号从左向右分别为常用符号、国家标准符号和国际通用符号。

1.2 逻辑代数中的公式和定理

1.2.1 基本公式

逻辑代数中的基本公式, 也称为布尔恒等式, 列写如下:

- | | |
|--------------------------------------|------------------------|
| (1) $A+0=A$ | (1') $A \cdot 1=A$ |
| (2) $A+1=1$ | (2') $A \cdot 0=0$ |
| (3) $A+\bar{A}=1$ | (3') $A\bar{A}=0$ |
| (4) $A+B=B+A$ | (4') $AB=BA$ |
| (5) $A+(B+C)=(A+B)+C$ | (5') $A(BC)=(AB)C$ |
| (6) $A(B+C)=AB+AC$ | (6') $A+BC=(A+B)(A+C)$ |
| (7) $A+A=A$ | (7') $AA=A$ |
| (8) $\bar{\bar{A}}=A$ | |
| (9) $\overline{A+B}=\bar{A}\bar{B}$ | |
| (10) $\overline{AB}=\bar{A}+\bar{B}$ | |

基本公式共有 17 个, 其中(9)和(10)也称为摩根定理(De Morgan's theorem), 在逻辑函数的运算和化简时经常用到。

上述公式中, 除公式(6')外, 其余的都容易证明。对公式(6')的证明如下。公式右边

$$\begin{aligned}(A+B)(A+C) &= A+AB+AC+BC \\ &= A(1+B+C)+BC \\ &= A+BC\end{aligned}$$

因为右边等于左边, 所以公式(6')成立。

另外公式(1')~(7')和公式(1)~(7)互为对偶式, 用对偶定理(在 1.2.3 节中将介绍)可直接求得。

1.2.2 常用公式

这里介绍 5 个逻辑代数中的常用公式:

- (1) $AB+A\bar{B}=A$
- (2) $A+AB=A$



$$(3) A + \bar{A}B = A + B$$

$$(4) AB + \bar{A}C + BC = AB + \bar{A}C$$

$$(5) \overline{AB} + \overline{AB} = AB + \bar{A}\bar{B}$$

公式(4)的证明如下。公式左边

$$\begin{aligned} AB + \bar{A}C + BC &= AB + \bar{A}C + (A + \bar{A})BC \\ &= AB + \bar{A}C + ABC + \bar{A}BC \\ &= AB(1 + C) + \bar{A}C(1 + B) \\ &= AB + \bar{A}C \end{aligned}$$

因为左边等于右边,所以公式(4)成立。

公式(5)的证明如下。公式左边

$$\begin{aligned} \overline{AB} + \overline{AB} &= \overline{AB} \overline{AB} \\ &= (\bar{A} + B)(A + \bar{B}) \\ &= AB + \bar{A}\bar{B} \end{aligned}$$

因为左边等于右边,所以公式(5)成立。

1.2.3 基本定理

介绍 3 个基本定理,反演定理、对偶定理和代入定理。

1. 反演定理

反演定理也称为反演规则或香农定理(Shannon's theorem),用于求一个函数的反函数,描述如下。

若对一逻辑函数 F 同时进行下述 6 种替换:

$$\begin{aligned} + &\longleftrightarrow \cdot \\ 0 &\longleftrightarrow 1 \\ x &\longleftrightarrow \bar{x} \end{aligned}$$

且保持原函数先后运算顺序不变,则所得函数即为原函数 F 的反函数,记为 $\bar{F}$ 。

现结合一实例介绍反演定理的具体应用。

例 1.1 已知一个 4 变量函数 F ,且

$$F(ABCD) = \overline{ABC} + \overline{ACD}(\overline{ABD} + \overline{BCD})$$

用反演定理求其反函数,写出 $\bar{F}$ 的逻辑表达式。

解 按反演定理所求的反函数 $\bar{F}$ 的表达式为

$$\bar{F} = (\bar{A} + B + \bar{C})(\bar{A} + \bar{C} + D) + (A + B + \bar{D})(B + \bar{C} + \bar{D})$$

从本例所得的反函数 $\bar{F}$ 的表达式可看出,在反演过程中要进行规定的原变量和反变量、加号和乘号的互换,且需保持原有函数的运算顺序不变,但原函数中多个变量上共用的反号应保持不变。

2. 对偶定理

若对一逻辑函数 F 同时进行下述 4 种替换:

$$+ \longleftrightarrow \cdot$$

$$0 \longleftrightarrow 1$$

且保持原函数先后运算顺序不变,则所得函数即为原函数 F 的对偶函数,记为 F' 。

现仍以上述 4 变量函数 F 为例,介绍对偶定理的具体应用。

例 1.2 试用对偶定理写出上述 4 变量函数 F 的对偶函数。

解 按对偶定理所求的对偶函数 F' 的表达式为

$$F' = (A + \bar{B} + C)(A + C + \bar{D}) + (\bar{A} + \bar{B} + D)(\bar{B} + C + D)$$

由 F' 表达式知,对偶过程中,原函数中多个变量上共同的反号也应保持不变。这点和反演过程相同。

反演需进行 6 种变换,而对偶只进行其中的 4 种变换,不需对原、反变量进行变换。它常用于对逻辑函数与或式和或与式的变换中。

需注意的是,对一个逻辑函数的对偶式 F' 再进行一次对偶运算,所得函数即为原函数 F ,即

$$(F')' = F$$

3. 代入定理

若将函数 H 代替一个等式中的某一变量,则等式仍然成立。

下面试举一例,说明此定理。设

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

已知 $H = h(x_1, x_2, \dots, x_n)$,若用 H 代替上述等式中的任一变量,如 x_1 ,则有

$$f(H, x_2, \dots, x_n) = g(H, x_2, \dots, x_n)$$

将代入定理应用于基本公式和常用公式中,可以在较大程度上拓宽这些公式的使用范围。

1.3 逻辑函数及其表示方法

逻辑代数中的变量称为逻辑变量,对逻辑变量进行与、或、非等各种逻辑运算而得到的一些表达式,常称为逻辑函数。

1.3.1 逻辑函数的引出

下面结合一个 3 位多数表决电路来引出逻辑函数。

例 1.3 设有 A, B, C 共 3 人对某议案进行表决,两人以上赞成,议案通过,议案用 Z 表示。写出多数表决电路的逻辑表达式。

解 先设定 0 和 1 的含义:表决人赞成用 1 表示,反对用 0 表示;议案通过用 1 表示,否决用 0 表示。

可以将各种表决的结果列成表格的形式,如表 1.3.1 所示。此表也称为真值表。

表 1.3.1 多数表决真值表

A	B	C	Z
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

真值表中内容表明,在下述 4 种情况下,议案能通过:

B, C 赞成, A 反对;

A, C 赞成, B 反对;

A, B 赞成, C 反对;

A, B, C 都赞成。

若分别用 $\bar{A}BC, A\bar{B}C, AB\bar{C}$ 和 ABC 表示上述 4 种情况,则议案 Z 和 A, B, C 的关系可用下面的表达式来描述:

$$Z = \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$

上式即为逻辑函数 Z 的逻辑表达式。

1.3.2 逻辑函数的表示方法

逻辑函数的表示方法通常有真值表(表格形式)、逻辑表达式(数学公式形式)、逻辑电路(逻辑符号形式)、卡诺图(几何图形)等 4 种方法。这里先介绍前面 3 种,卡诺图形式将在后面图形法化简函数中再作详细介绍。

1. 函数的真值表

将输入变量和输出函数列成表格的形式,如表 1.3.1 所示的即为函数真值表。函数的真值表能直观明了地反映函数的功能,但通常只适用于变量数较少的情况。若变量数多时,则真值表形式反显繁琐。

2. 逻辑表达式

逻辑表达式是一种数学公式形式,用输入变量与、或、非等逻辑运算的组合来描述输出函数,便于运算、变换和化简。如上述 3 位多数表决电路函数 Z 的表达式为

$$Z = \bar{A}BC + A\bar{B}C + AB\bar{C} + ABC$$

函数 Z 若经化简,可写成

$$Z = AB + BC + AC$$

两式实际为同一函数,但后者比前者简单。后者为 3 项和,每项两个变量,而前者是 4 项和,每项 3 个变量。



3. 逻辑电路图

通常将逻辑符号组成的图形称为逻辑电路图。

图 1.3.1(a),(b)所示即为上述 3 位多数表决函数 Z 的逻辑电路图,其中图 1.3.1(a)采用与门和或门实现,图 1.3.1(b)采用与非门实现。

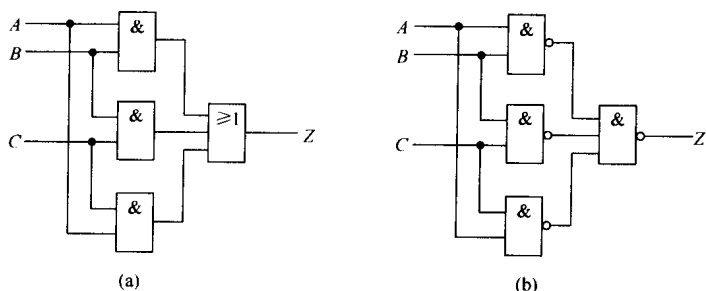


图 1.3.1 3 位多数表决逻辑电路图

1.3.3 逻辑表达式的种类

在 1.3.2 节介绍逻辑函数的表示方法时,曾提到逻辑表达式的形式,实际上逻辑表达式的种类有 8 种之多。现仍以 3 位多数表决函数 Z 为例,其 8 种表达式如下:

$Z = AB + BC + AC$	与或式
$Z = \overline{AB} \overline{BC} \overline{AC}$	与非-与非式
$Z = (\overline{A} + \overline{B})(\overline{B} + \overline{C})(\overline{A} + \overline{C})$	或与非式
$Z = \overline{A} + \overline{B} + \overline{B} + \overline{C} + \overline{A} + \overline{C}$	或非-或式
$Z = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{AC}$	与或非式
$Z = \overline{AB} \overline{BC} \overline{AC}$	与非-与式
$Z = (A + B)(B + C)(A + C)$	或与式
$Z = \overline{A + B + B + C + A + C}$	或非-或非式

上述 8 种逻辑表达式中基本的两种是与或式、或与式,其中与或式为最基本。其他如与非-与非式、与或非式以及或非-或非式在数字电路的设计中常用到,因为这 3 种表达式和数字电路中 3 种最常见的门电路与非门、与或非门以及或非门相对应。而剩下的 3 种表达式只是在个别情况下才使用,如 ECL IC 中用或非-或式,使用 TTL OC 门时用与非-与式较为方便。

1.3.4 函数的 $\sum m_i$ 和 $\prod M_j$ 的形式

逻辑函数也常用最小项之和 $\sum m_i$ 和最大项之积 $\prod M_j$ 来表示,常将这两种形式称为逻辑函数的两种标准形式。下面分别介绍最小项和最大项的有关内容。

1. 最小项和最大项

最小项为包含所有变量的乘积项,且每个变量只能以原变量或反变量的形式出现一次。

如前面介绍的 3 位多数表决电路输出函数 Z 中的 $\bar{A}BC, A\bar{B}C, ABC$ 和 ABC 等项均为最小项。而经化简后表达式中的 AB, BC 和 AC 等都不能称为最小项,原因是未包含所有变量。

最大项为包含所有变量的和项,且每个变量只能以原变量或反变量的形式出现一次。对变量为 A, B, C 的 3 变量函数而言,如 $(A+B+C), (A+B+\bar{C}), \dots, (\bar{A}+\bar{B}+\bar{C})$ 等均为最大项。

(1) 最小项和最大项的编码表

现以 3 变量 A, B, C 为例,其最小项和最大项的编码表如表 1.3.2 所示。

表 1.3.2 最小项、最大项编码表

变 量			最小项	编号	最大项	编号
A	B	C				
0	0	0	$\bar{A}\bar{B}\bar{C}$	m_0	$(A+B+C)$	M_0
0	0	1	$\bar{A}\bar{B}C$	m_1	$(A+B+\bar{C})$	M_1
0	1	0	$\bar{A}B\bar{C}$	m_2	$(A+\bar{B}+C)$	M_2
0	1	1	$\bar{A}BC$	m_3	$(A+\bar{B}+\bar{C})$	M_3
1	0	0	$A\bar{B}\bar{C}$	m_4	$(\bar{A}+B+C)$	M_4
1	0	1	$A\bar{B}C$	m_5	$(\bar{A}+B+\bar{C})$	M_5
1	1	0	$AB\bar{C}$	m_6	$(\bar{A}+\bar{B}+C)$	M_6
1	1	1	ABC	m_7	$(\bar{A}+\bar{B}+\bar{C})$	M_7

(2) 最小项和最大项主要性质

最小项和最大项的主要性质各列举了 4 点,如表 1.3.3 所示。

表 1.3.3 最小项和最大项性质

性质	最 小 项	最 大 项
1	在输入变量的任何取值下,必有一个最小项,而且仅有一个最小项的值为 1	在输入变量的任何取值下,必有一个最大项,而且仅有一个最大项的值为 0
2	全部最小项之和为 1,记为 $\sum_{i=0}^{2^n-1} m_i = 1$	全部最大项之积为 0,记为 $\prod_{i=0}^{2^n-1} M_i = 0$
3	任意两个不同的最小项之积为 0,即 $m_i m_j = 0, \quad i \neq j$	任意两个不同的最大项之和为 1,即 $M_i + M_j = 1, \quad i \neq j$
4	n 变量的最小项有 n 个相邻项	n 变量的最大项有 n 个相邻项