

第一篇 数字系统设计基础

CHAPTER 1

第 1 章

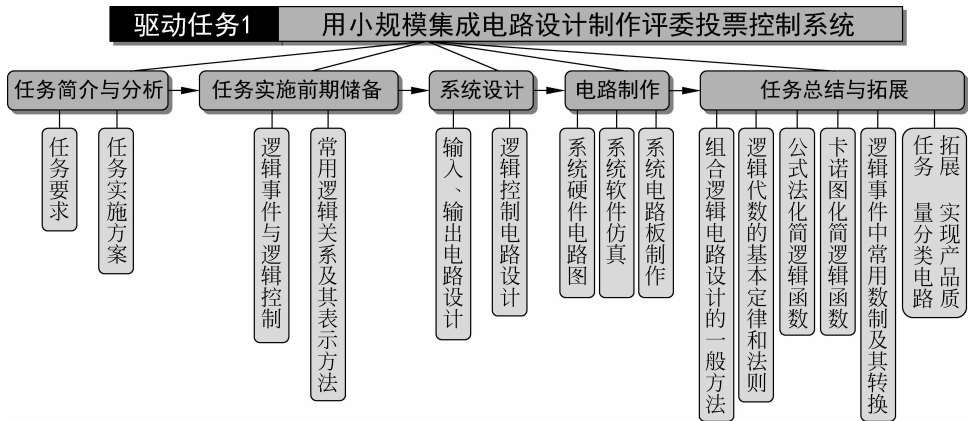
门电路应用系统设计

——用小规模集成电路设计制作评委投票控制系统

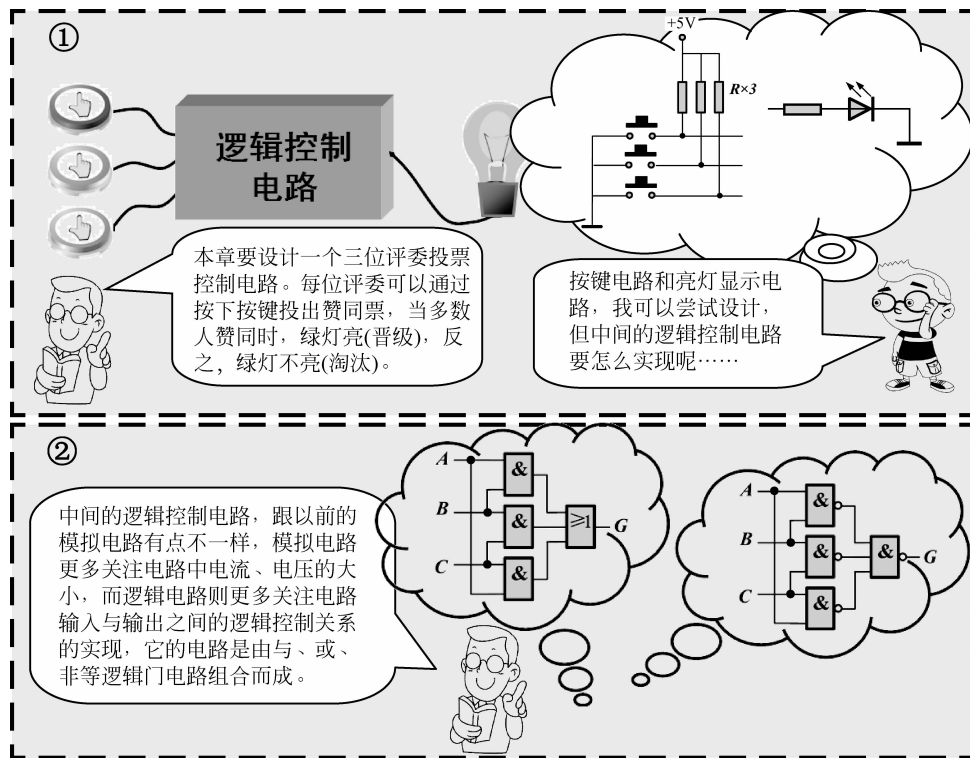


本章以驱动任务——用小规模集成电路设计制作评委投票控制系统为主脉,组织贯穿整个章节。首先,分析任务要求,确定任务实施方案分为三步:三位评委按键输入电路、亮灯显示电路、投票逻辑控制电路。然后,针对重、难点——投票逻辑控制电路,先储备逻辑事件、逻辑代数等相关知识,再依据实施方案分步设计系统、制作电路。最后,对任务进行总结,补充逻辑函数化简、常用数制等任务相关知识,并通过拓展任务加深巩固。

章节学习提纲



驱动任务 1 用小规模集成电路设计制作评委投票控制系统



1.1 任务简介与分析

1. 任务要求

某海选活动有三位评委,评委通过按下按键投赞同票,不按键投反对票。设计一个评委投票控制电路,当多数人赞同时,亮绿灯表示晋级。

2. 任务实施方案

根据任务要求可将评委投票控制电路分成三个部分,即按键输入部分、显示输出部分和逻辑控制电路部分,如图 1.1 所示。

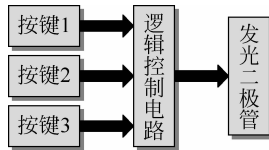


图 1.1 评委投票控制系统框图

对于按键输入电路和输出显示(亮、灭灯)电路,借助以前电路的知识,不难解决;逻辑控制电路是整个系统的核心部分。当三位评委中按下按键的人数为多数时,逻辑控制电路经过逻辑判断,输出高电平;当少数人按下按键时,逻辑控制电路经过逻辑判断,输出低电平,从而控制显示输出电路中晋级灯的亮和灭。

因此,对评委投票控制系统的逻辑控制分析发现,系统中有三个按键输入,是一个涉及三输入变量的逻辑事件。要完成表决系统逻辑控制电路的设计,需要先了解一个变量、两个变量的逻辑事件构成的逻辑关系。在逻辑关系中,有三种基本的逻辑关系:与、或、非,读者需要先具备这部分知识,才能设计和制作投票控制系统逻辑控制电路。

1.2 任务实施前期储备

1.2.1 逻辑事件与逻辑控制

我们常见的开关与灯的关系如图 1.2 所示。开关与灯为串联关系,它们之间有这样一种因果关系:当开关 A 闭合时,灯 F 亮;当开关 A 断开时,灯 F 灭。

所谓逻辑,简单地说,就是表示事物的因果关系,即输入、输出之间变化的因果关系。逻辑控制电路是实现这种因果关系的电路,它与模拟电路是完全不同类的。

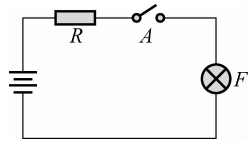


图 1.2 开关与灯的常见控制关系

所谓逻辑事件,是这样的一类事物,它们具有如下共性:其存在或表现形式有且仅有两个相互对立的状态,而且事件的存在形式必是这两个状态中的一个。例如,开关只有“闭合”和“断开”两种对立状态,而且开关的存在形式必为二者之一;发光二极管只有“亮”和“灭”两种对立状态。再如,生物的活与死;射击导弹击中目标与未击中;竞选的成功与失败;外星人的存在与不存在,等等。上述事件都是逻辑事件,又叫做逻辑量。

在数字系统中,常用“0”和“1”分别表示两种对立状态。把开关闭合、灯亮、成功、击中目标等状态都用“1”表示,而开关断开、灯灭、失败、未击中目标等状态都用“0”表示,这种表示方法称为正逻辑表示法。反之,把开关闭合、灯亮、成功、击中目标等状态都用“0”表示,而开关断开、灯灭、失败、未击中目标等状态都用“1”表示,这种表示方法称为负逻辑表示法。本书未特意说明时,均采用正逻辑表示法。

所谓逻辑控制,是指在现实生活中的一些实际关系,会使某些逻辑量的取值互相依赖,或互为因果。这种逻辑事件之间的关系简称逻辑关系。例如,开关的通、断决定了发光二极管的亮、灭;反过来,可以从发光二极管的状态推导出开关的相应状态。

在实际应用中会遇到各种逻辑控制电路,它们都是由基本的逻辑关系复合而成的。在数字电路中有一些基本的逻辑控制电路,反映了基本的逻辑关系(又称逻辑运算)。这些基本的逻辑运算是构成各种复杂逻辑电路的基础。

1.2.2 常用逻辑关系及其表示方法

1. 逻辑关系的表示方法

(1) 实例表示法

在生活中,许多逻辑事件之间存在各种逻辑关系,图 1.3(a)、(b)、(c)所示是几种开关与灯的连接关系。若电路中的开关和灯分别用 A、B 和 F 来表示,则称 A、B 和 F 为表示逻

辑事件的逻辑变量, A 、 B 和 F 之间的各种控制关系, 称为逻辑事件之间的逻辑关系。

思考

- 根据图 1.3(a)、(b)、(c) 所示电路, 请描述开关与灯的控制关系。

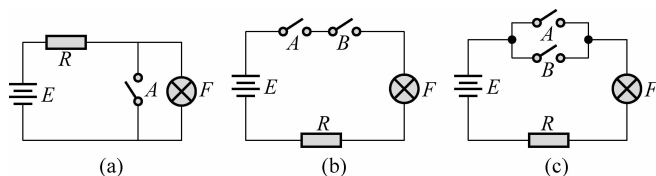


图 1.3 开关与灯的几种控制关系

- 表 1.1 列出了日常生活中几种逻辑事件, 请你判断它们与图 1.3(a)、(b)、(c) 中所示哪种控制关系对应, 并将结果填入空格。

表 1.1 日常生活中几种逻辑关系

日常生活中几种逻辑关系		对应逻辑关系(a)、(b)、(c)
条件(输入)	发生结果(输出)	
教室前、后两个门打开与否	读者进入教室	
每门功课是否都是 90 分以上	拿一等奖学金	
电源总开关与风扇分开关打开与否	打开教室的电风扇	
我方打仗胜与负	敌方打仗胜与负	

分析

根据图 1.3(a) 所示电路, 开关 A 与灯 F 并联, 当开关 A 闭合时, 灯 F 灭; 当开关 A 断开时, 灯 F 反而亮, 与常见的控制关系正好相反。这反映了一种反的逻辑关系, 称为“非”(NOT)。

逻辑非的含义为: 当条件不具备时, 事件才发生。

根据图 1.3(b) 所示电路, 当开关 A 、 B 全部闭合时, 灯 F 才亮; 开关 A 、 B 只要有一个断开, 灯 F 灭, 即输入 A 、 B 只有在全闭合的状态, 输出 F 才亮; 对于其他输入情况, 输出 F 都是灭。这种逻辑关系称为“与”(AND), 也叫逻辑乘。

逻辑与的含义为: 只有当决定一个事件的所有条件全部具备时, 这个事件才会发生。

根据图 1.3(c) 所示电路, 当开关 A 、 B 全部断开时, 灯 F 才灭; 开关 A 、 B 只要有一个闭合, 灯 F 都亮, 即输入 A 、 B 只有在都断开的状态, 输出 F 才灭, 对于其他输入情况, 输出 F 都是亮。这种逻辑关系称为“或”(OR), 也叫逻辑加。

逻辑或的含义为: 在决定一个事件的所有条件中, 只要有一个或一个以上的条件具备时, 这个事件就发生。

(2) 真值表

描述逻辑函数各个变量的取值组合和逻辑函数取值之间对应关系的表格, 叫做真值表。每个输入变量都有 0 和 1 两种取值, n 变量就有 2^n 个不同的取值组合。如果将输入变量的全部取值组合和对应的输出函数值一一对应地列举出来, 即可得到真值表。

在图 1.3(a)、(b)、(c) 所示开关与灯的关系电路中, 如果开关闭合和灯亮都用“1”表示, 开关断开和灯灭都用“0”表示, 则得到如表 1.2 所示逻辑非的输入/输出关系及真值表。真

值表是反映输入与输出情况的关系表格。

思考

请参考表 1.2, 将表 1.3 和表 1.4 所示真值表补充完整, 并用一两句话描述真值表的功能特点。

表 1.2 “非”情况表及真值表

开关	灯	A	F
断开	亮	0	1
闭合	灭	1	0

表 1.3 “与”情况表及真值表

开关 1	开关 2	灯	A	B	F
断开	断开	灭	0	0	
断开	闭合	灭	0	1	
闭合	断开	灭	1	0	
闭合	闭合	亮	1	1	

表 1.4 “或”情况表及真值表

开关 1	开关 2	灯	A	B	F
断开	断开	灭	0	0	
断开	闭合	亮	0	1	
闭合	断开	亮	1	0	
闭合	闭合	亮	1	1	

分析

表 1.2 所示真值表为逻辑非的关系, 即输入 A 为 0, 输出 F 为 1; 输入 A 为 1, 输出 F 为 0。表 1.3 真值表所示为逻辑与的关系, 即输入 A 、 B 全为 1, 输出 F 才为 1。表 1.4 所示真值表为逻辑或的关系, 即输入 A 、 B 全为 0, 输出 F 才为 0。

(3) 逻辑符号表示法

在数字电路中, 逻辑关系的实现一般采用逻辑符号来表示。如图 1.4(a)、(b)、(c) 所示分别是非、与、或三种逻辑关系的符号。对变量执行非、与、或、运算的逻辑门分别称为非门与门、或门。

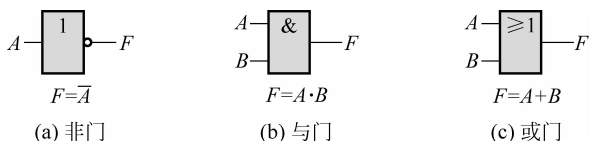
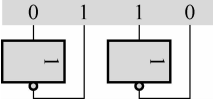
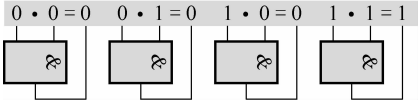
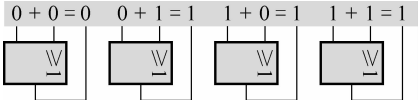


图 1.4 门电路逻辑符号及表达式

非、与、或三种逻辑关系运算的基本法则如表 1.5 所示。

表 1.5 非、与、或逻辑关系运算基本法则

常量间的关系	门电路表示
非运算 $\bar{1}=0; \bar{0}=1$	
与运算 $0 \cdot 0=0; 1 \cdot 1=1; 1 \cdot 0=0 \cdot 1=0$	
或运算 $0+0=0; 1+1=1; 1+0=0+1=1$	

(4) 逻辑函数表达式

用与、或、非等逻辑运算表示逻辑变量之间关系的代数式,叫做逻辑函数表达式。例如, $F=A+B, G=A \cdot B+C+\bar{D}$ 等。

在图 1.4(a)、(b)、(c)中,逻辑符号下面的表达式就是非、与、或三种逻辑关系的运算表达式,分别为 $F=\bar{A}$ 、 $F=A \cdot B$ 和 $F=A+B$ 。式中, A 上面的符号“ $-$ ”表示取反,在其逻辑符号的输出端用一个小圆圈来表示,如图 1.4(a)所示。在数字电路的逻辑符号中,若在输入端加小圆圈,表示低电平信号有效;若在输出端加一个小圆圈,表示将输出信号取反。图 1.4(b)中,“ $\cdot$ ”为逻辑与运算符,可以省略;图 1.4(c)中,“ $+$ ”为逻辑或运算符。

(5) 逻辑图

由逻辑符号表示的逻辑函数的图形,叫做逻辑电路图,简称逻辑图,例如, $F=\bar{A}B+A\bar{C}$ 的逻辑图如图 1.5 所示。同理,根据图 1.5 所示逻辑图也可推导出输出 F 的表达式为 $F=\bar{A}B+A\bar{C}$ 。

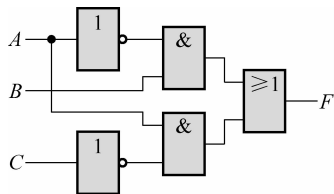


图 1.5 $F=\bar{A}B+A\bar{C}$ 的逻辑图

【例 1.1】在图 1.6(a)、(b)所示空格中填写相应逻辑运算表达式。

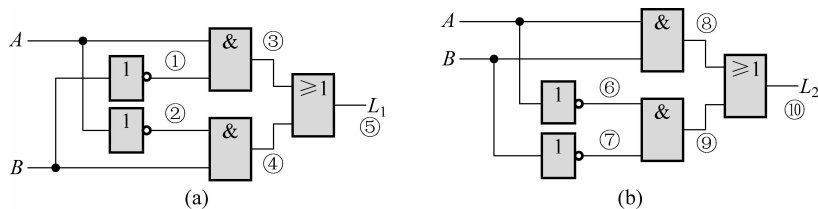


图 1.6 逻辑图对应的表达式

解：解题时，一般按电路顺序从左向右进行。下面是图 1.6(a)的解题过程。

①、②分别是 B 、 A 接非门的输出，故①、②分别为 $\bar{B}$ 、 $\bar{A}$ ；

③、④均是与门的输出，其中③为 A 、①相与，④为 B 、②相与，故③、④分别为 $A\bar{B}$ 、 $\bar{A}B$ ；

⑤为③、④相或，故⑤为 $A\bar{B} + \bar{A}B$ ；

综上，得输出 $L_1 = A\bar{B} + \bar{A}B$ 。

同理，分析出图 1.6(b)的⑥、⑦、⑧、⑨、⑩分别为 $\bar{A}$ 、 $\bar{B}$ 、 AB 、 $\bar{A}\bar{B}$ 、 $AB + \bar{A}\bar{B}$ ，即 $L_2 = AB + \bar{A}\bar{B}$ 。

(6) 波形图

逻辑运算关系除了可以用上面介绍的表示形式以外，还可以用波形图(又称为时序图)来描述。图 1.7、图 1.8 和图 1.9 所示分别为非门、与门、或门的波形图。

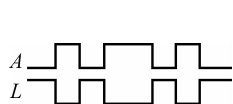


图 1.7 非门波形图

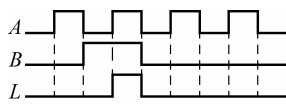


图 1.8 双输入与门波形图

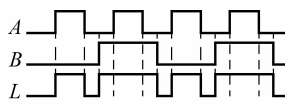


图 1.9 双输入或门波形图

波形图既可以直观地描述输入与输出各变量在某一时刻的对应关系，又能描述每个信号的变化趋势。根据表达式，可以画出与给定输入波形相对应的输出波形。故波形图也是表示逻辑函数的一种方式。

如图 1.7 所示，输出 L 与输入 A 反相，输入、输出间为逻辑非的关系。如图 1.8 所示，输出 L 只有在 A 、 B 同时为高时，才输出高，其他情况全输出低，输入、输出间为逻辑与的关系。如图 1.9 所示，输出 L 只有在 A 、 B 同时为低时，才输出为低，其他情况全输出为高，输入、输出间为逻辑或的关系。

(7) 卡诺图

卡诺图是图形化的真值表。如果把各种输入变量取值组合下的输出函数值填入一种特殊的方格图，可得到逻辑函数的卡诺图。对卡诺图的详细介绍参见 1.5.4 小节。

2. 门电路存在形式

逻辑门电路是指能实现基本逻辑运算的电路，简称门电路或逻辑元件。各种门电路均可由半导体元件构成。图 1.10(a)、(b)、(c)所示分别是能实现非、与、或三种基本逻辑关系的门电路示意图。

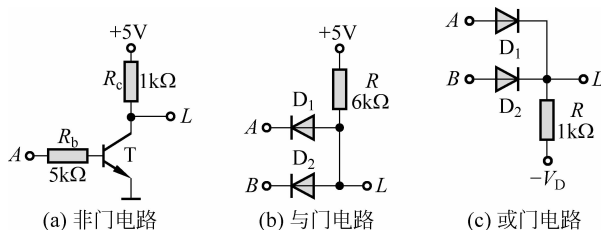


图 1.10 逻辑门电路示意图

图 1.10(a)所示为单输入/单输出 DTL 非门电路。当输入端 A 为高电平“1”(+5V)

时,晶体管 T 导通, L 端输出 $0.2 \sim 0.3V$ 的电压,属于低电平“0”的范围;当输入端为低电平“0”(0V)时,晶体管截止,晶体管集电极—发射极间呈高阻状态,输出端 L 的电压近似等于电源电压(+5V),即输入与输出信号状态满足逻辑非的关系。任何能实现“非”逻辑运算关系($L = \bar{A}$)的电路均称为非门。

图 1.10(b)所示为双输入/单输出 DTL 与门电路。当输入端 A 与 B 同时为高电平“1”(+5V)时,二极管 D_1 、 D_2 均截止, R 中没有电流,其上的电压降为 0V,输出端 L 为高电平“1”(+5V);当 A 、 B 中的任何一端为低电平“0”(0V)或 A 、 B 两端同时为低电平“0”时,二极管 D_1 、 D_2 的导通使输出端 L 为低电平“0”(0.7V)。可见,只要任意输入端为低电平时,输出就一定为低电平,只有当输入端均为高电平时,输出端才为高电平,即输入与输出信号状态满足逻辑与的关系。任何能够实现“与”逻辑运算关系($L = A \cdot B$)的电路均称为与门。

图 1.10(c)所示为双输入/单输出 DTL 或门电路。当输入端 A 或 B 中的任何一端为高电平“1”(+5V)时,输出端 L 一定为高电平“1”(+4.3V);当输入端都为高电平“1”时,输出端也为高电平“1”;当输入端 A 和 B 同时为低电平“0”(0V)时,输出端 L 一定为低电平“0”。可见,只要任意输入端为高电平,输出就为高电平,只有当输入端均为低电平时,输出才为低电平。即输入与输出信号状态满足逻辑或的关系。任何能够实现“或”逻辑关系($L = A + B$)的电路均称为或门。

将多个常用的门电路集成在一片芯片上,就构成了集成门电路。如图 1.11 所示为非、与、或三种集成门电路芯片的内部结构图。

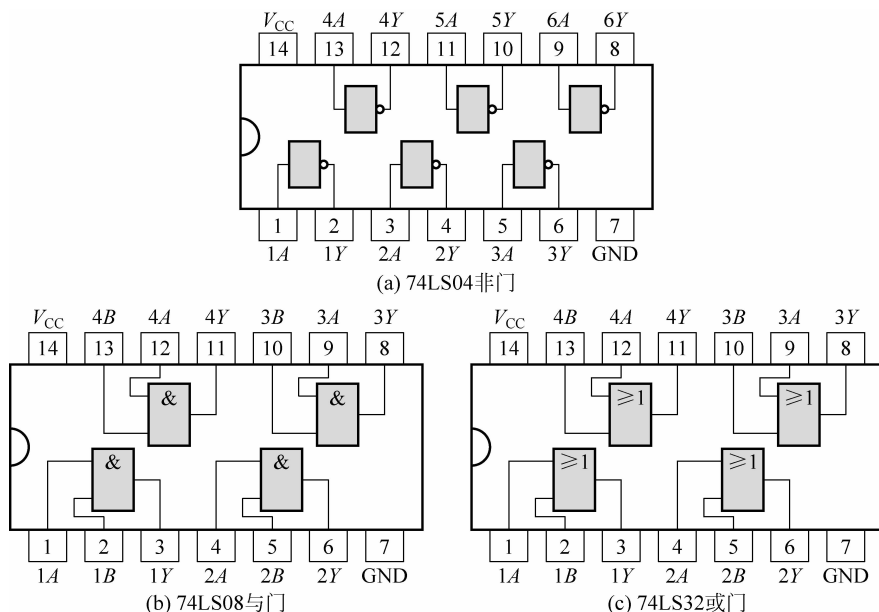


图 1.11 集成门电路芯片

3. 其他逻辑门电路及其表示方法

前面我们初步了解了逻辑事件之间的三种基本逻辑关系(与、或、非)及其实现电路。本节将介绍其他几种常用的门电路。

(1) 与非和或非

与非,顾名思义,先与再非。当把与运算电路和非运算电路级联,便得到与非逻辑电路,如图 1.12(a)所示。图 1.12(b)、(c)所示分别为与非逻辑符号和表达式,其真值表和波形图如图 1.12(d)、(e)所示。

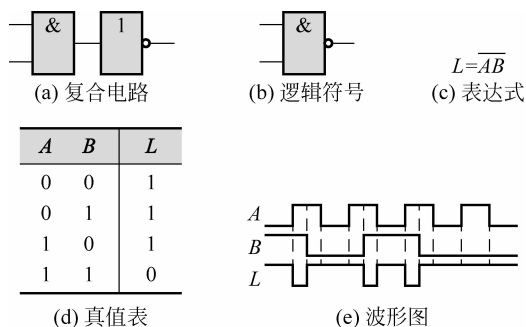


图 1.12 与非逻辑关系表示方法

或非,顾名思义,先或再非。把或运算电路和非运算电路级联,便得到或非逻辑电路,如图 1.13(a)所示。图 1.13(b)、(c)所示分别为或非逻辑符号和表达式,其真值表和波形图如图 1.13(d)、(e)所示。

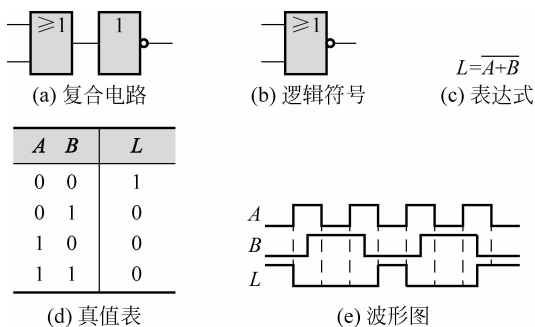


图 1.13 或非逻辑关系表示方法

(2) 同或和异或

逻辑表达式 $L = \overline{A}B + A\overline{B}$ 表示 A 和 B 的异或运算。任何能实现异或逻辑运算关系的电路均称为异或门,其逻辑电路、逻辑符号、真值表和波形图分别如图 1.14(a)、(b)、(c)、(d)所示。从真值表可以看出,异或运算的含义是:当输入变量电平状态相同时,输出为 0;当输入变量电平状态相异时,输出为 1。 $L = \overline{A}B + A\overline{B}$ 又可表示为 $L = A \oplus B$,符号“ $\oplus$ ”读做“异或”。

逻辑表达式 $L = \overline{A}\overline{B} + AB$ 表示 A 和 B 的同或运算,任何能实现同或逻辑运算关系的电路均称为同或门,其逻辑电路、逻辑符号、真值表和波形图分别如图 1.15(a)、(b)、(c)、(d)所示。从真值表可以看出,同或运算的含义是:当输入变量电平状态相同时,输出为 1;当输入变量电平状态相异时,输出为 0。 $L = \overline{A}\overline{B} + AB$ 又可表示为 $L = A \odot B$,符号“ $\odot$ ”读做“同或”。

通过图 1.14(a)和图 1.15(a)中所示的真值表可以看出,异或和同或互为非运算,即

$$L = A \odot B = \overline{A \oplus B}$$

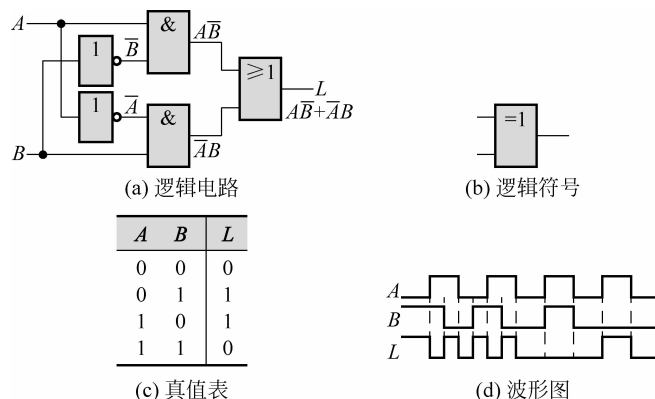


图 1.14 异或逻辑关系表示方法

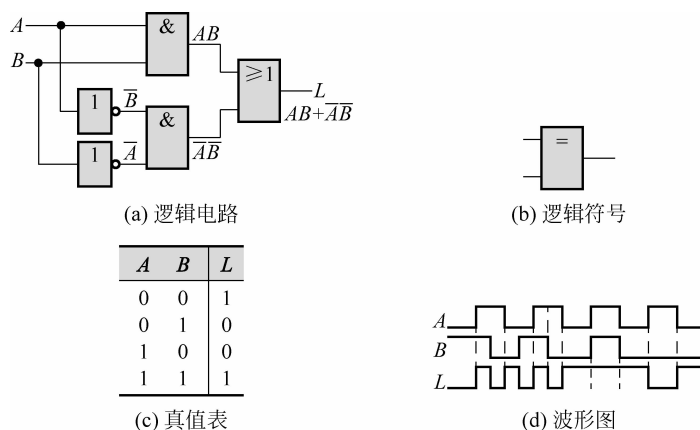


图 1.15 同或逻辑关系表示方法



学习小总结

- 异或运算口诀——相异出 1, 相同出 0。
- 同或运算口诀——相同出 1, 相异出 0。
- 异或的非是同或, 同或的非是异或。

上面讨论了几种简单的复合逻辑运算。包括基本逻辑运算在内的这些运算可以推广到多变量的情况, 例如:

$$F = A \cdot B \cdot C \cdots$$

$$F = A + B + C + \cdots$$

实际的逻辑问题往往非常复杂, 但是它们可以通过基本逻辑关系的组合来实现。例如, $F = \overline{A \cdot B \cdot C}$ 为与非运算, $F = \overline{A + B + C}$ 为或非运算, $F = \overline{AB + CD}$ 为与非或运算, $F = \overline{A(B + C) + DEF}$ 为复杂运算。



友情小提示

在复合逻辑运算中要特别注意运算的优先顺序, 即圆括号→非运算→与运算→或运算。