

逻辑电路设计方法

张赓毅 编著



		A	B	00	01	11	10
Co	0	0	1	0	1		
I	1	0	1	0			

		A	B	00	01	11	10
Co	0	0	1	0	0		
I	1	1	1	1	0		

北京科学技术出版社

逻辑电路设计方法

张赓毅 编著

北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书所介绍的逻辑电路设计是采用较新、较简便的方法。论述力求通俗易懂，把抽象的概念由实例中导出，进而讨论深化，使读者容易掌握。

本书从第一章到第四章介绍逻辑电路设计的基础知识；第五、六章介绍组合逻辑电路设计方法；第七、八、九章讨论时序逻辑电路设计方法。在各章之后有重点提要 and 练习题，书末附有详细答案。

本书适合于从事过程控制、自动化仪表、计算机接口及其他数字技术的工人、科技人员参考。也可作为有关学校、培训班的教材。

逻辑电路设计方法

张赓毅 编著

北京科学技术出版社出版

(北京西直门外南路19号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京通县马驹桥印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 10.75印张 234千字

1990年1月第一版 1990年1月第一次印刷

印数1—2180册

ISBN 7-5304-0478-4/T·93

定价：4.50元

前 言

过去, 数字电路都是用二极管、三极管等分立元件进行设计的, 这种方法比较麻烦。由于电子学和计算机技术的飞速发展, 促使人们去寻找更简单的设计方法, 于是出现了逻辑设计。这种方法是以门电路、触发器等作为单元电路进行设计的。只要我们从市场上购进所需要的各种集成电路芯片, 根据工作的要求进行逻辑设计就可以达到预期的目的, 从而收到简单迅速、性能可靠、体积小、成本低的效果。这是逻辑设计方法的优点。

对一些在生产第一线和科研第一线的工人、技术人员来说, 他们迫切需要掌握这一门新技术去提高设备的自动化程度和设计出自己所需要的控制和检测装置。使用计算机来控制生产过程越来越成为一种趋势, 这除了要掌握一些计算机知识外, 还要掌握对接口电路的逻辑设计; 对此, 人们往往苦于不能入门而一直徘徊在先进技术的大门之外。本书就是为那些急需掌握这一先进技术的工人、技术人员编写的。

目前, 逻辑电路 (特别是时序逻辑电路) 的设计尚在发展之中, 方法难于统一。本书采用目前较新、较简便的设计方法, 加上笔者在设计工作和讲课实践中的体会, 针对初学的读者编写的。叙述上力求通俗易懂, 在内容安排上由浅入深, 循序渐进。一些抽象的概念是在电路设计的实例中直观地引导出来的, 并在以后的叙述中作了必要的重复和深化, 便于读者强化记忆和加深理解。只要读者学完了本书, 并认真地做了练习题, 那么, 无论从事何种专业工作, 例如机

械、采矿、医疗、交通运输、商业服务等等，都可以完成周围所需要的自动化装置和检测装置的设计。在此基础上，还可以进一步提高深造。

本书由王之庭同志和张斌奎同志审阅，并提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

作 者

1989年6月

目 录

第一章 逻辑电路中的计数制

§1-1 十进计数制的特征.....	(1)
§1-2 数的二进制.....	(3)
§1-3 数的八进制和十六进制.....	(7)
一、八进制	(8)
二、十六进制	(9)
§1-4 用二进制表示十进制的几种编码(BCD码)	(11)
一、8421码	(13)
二、其它几种BCD码	(15)
§1-5 计数制间的相互转换.....	(17)
一、二进制转换成十进制	(17)
二、十进制转换成二进制	(18)
三、八进制转换成十进制	(21)
四、十进制转换成八进制	(21)
五、421码与八进制的相互转换	(22)
六、十六进制转换成十进制	(23)
七、十进制转换成十六进制	(24)
§1-6 原码、补码、反码和二进制的运算.....	(25)
一、原码、补码和反码	(25)
二、二进制的运算	(27)
重点提要.....	(30)

练习题	(30)
-----	--------

第二章 逻辑门电路

§2-1 与、或、非逻辑关系概述	(33)
§2-2 与、或、非逻辑门电路	(37)
§2-3 复合逻辑门电路	(44)
一、与非门	(44)
二、或非门	(44)
三、异或门	(45)
四、同或门	(46)
重点提要	(48)

第三章 布尔代数基础

§3-1 布尔代数基本知识	(49)
一、逻辑加	(51)
二、逻辑乘	(52)
三、逻辑非	(53)
§3-2 布尔代数的基本定理	(53)
§3-3 解析法化简逻辑函数	(66)
重点提要	(71)
练习题	(71)

第四章 卡 诺 图

§4-1 真值表与卡诺图, 读入和读出	(73)
§4-2 用卡诺图化简逻辑函数	(79)
§4-3 逻辑函数的标准形式与卡诺图	(88)
一、与或式读入卡诺图	(88)

二、或与式读入卡诺图	(89)
三、与或非式读入卡诺图	(89)
四、或与非式读入卡诺图	(90)
§4-4 卡诺图的应用举例.....	(92)
重点提要.....	(101)
练习题.....	(101)

第五章 组合逻辑电路的一般设计方法

§5-1 概述.....	(103)
§5-2 组合逻辑电路设计的思路和步骤.....	(105)
重点提要.....	(112)
练习题.....	(112)

第六章 组合逻辑电路应用设计

§6-1 加法器和减法器逻辑电路设计.....	(113)
一、全减器逻辑电路设计	(113)
二、全加器逻辑电路设计	(116)
三、全加减器逻辑电路设计	(118)
四、多位二进制数的全加减器	(121)
§6-2 二-十进制 (BCD 码) 运算逻辑电路.....	(122)
§6-3 数字比较逻辑电路设计.....	(128)
一、一位数字比较逻辑电路设计	(129)
二、两位数字比较逻辑电路设计	(131)
三、三位和多位数字比较逻辑电路设计	(134)
§6-4 排队逻辑电路设计.....	(142)
一、不变排队逻辑电路设计	(142)
二、可控排队逻辑电路设计	(144)

§6-5 数字编码逻辑电路设计.....	(147)
§6-6 编码变换逻辑电路设计.....	(149)
§6-7 数字显示译码逻辑电路设计.....	(152)
§6-8 逻辑电路设计中的几个问题.....	(161)
一、门电路的延迟时间	(162)
二、冒险问题	(162)
三、扇入系数	(163)
四、关于正逻辑和负逻辑	(164)
五、逻辑电路的集成化	(164)
重点提要.....	(164)

第七章 触发器时序逻辑电路的分析

§7-1 时序逻辑电路概述.....	(165)
§7-2 触发器电路分析——完整法.....	(167)
§7-3 触发器电路分析——简化法.....	(186)
§7-4 触发器间的相互转换.....	(196)
一、T触发器转换成D触发器	(196)
二、D触发器转换成T触发器	(198)
三、D触发器转换成JK触发器	(200)
四、JK触发器转换成D触发器	(201)
五、RS触发器转换成T触发器	(202)
六、RS触发器转换成JK触发器.....	(202)
重点提要.....	(203)
练习题.....	(205)

第八章 计数器时序逻辑电路的分析

§8-1 计数电路分析概述.....	(209)
--------------------	---------

§8-2 同步计数器分析.....	(210)
§8-3 异步计数器分析.....	(219)
§8-4 一般时序电路分析.....	(228)
重点提要.....	(240)
练习题.....	(241)

第九章 计数时序逻辑电路的设计

§9-1 计数电路设计概述.....	(244)
§9-2 同步计数器的设计.....	(249)
一、非循环码同步计数器	(249)
二、循环码同步计数器	(264)
§9-3 异步计数器设计.....	(276)
一、 2^n 型异步计数器	(277)
二、非 2^n 型异步计数器	(279)
重点提要.....	(284)
练习题.....	(285)
练习题参考答案.....	(286)
主要参考书目.....	(334)

第一章 逻辑电路中的计数制

§1-1 十进计数制的特征

大概是因为人有10个指头的原因，我们在日常生活和工作中都用十进计数制进行计数。例如，7个苹果加上1个就是8个，8个再加上5个就是13个；又比如在重量计量中8两加上9两就是1斤7两，等等。人们太习惯这种计数方法了。然而，这并不是唯一的方法。我们还记得过去有1斤等于16两的事吗？这时，8两加上9两就不再是1斤7两，而是1斤1两。这就是十六进制。此外，还有1打铅笔是12支（十二进制）；1分钟等于60秒（六十进制）等等。随着电子计算机技术的发展，人们又应用了二进计数制，这是最简单却又是我们所不熟悉的一种计数制。

在学习二进制前，我们先复习一下十进制。这里的一些概念和规律对下面学习二进制是很有用的。

在十进制中，我们使用了十个数字符号（简称数符，又叫数码）来表示数值的大小。它们从零开始到最大的顺序是0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。注意，在十个数符中没有10，因为10是由1和0这两个数符组成的，因此，其最大数符是9而不是10。

当我们说出一个数的时候，它总是由数符组成的，这就是数与数符的区别，它很象英文里单词和字母的关系。

由两个数符组成的最小十进制数是多少？从上面说过的

十个数符中一下子就找到10了。这个10就称为十进制的基数。可见：数符的数目等于基数；最大的数符是基数减1。

以上的概念不难理解，问题是要记住。

下面，我们再来看看十进计数制中的数的表示方法。谁都知道327.68这个数是表示多少，问题是我们要求找出用数符表示数的规律。我们知道，数符在数中的位置不同，它所代表的数值是不同的。7在小数点左边第一位，表示7个，称个位。2在第二位，表示20，即 2×10 ，称十位。3在第三位，表示300，即 3×100 ，称百位。同样，在小数点右边的第一位是6，表示 $6/10$ ，称十分位。第二位8表示 $8/100$ ，称百分位。于是，这个数还可以用另外一种方法写出来：

$$327.68 = 3 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

这并非多此一举，而是从这里找到了一个数的通式，即表示数的一般规律。为了方便起见，我们假设D是一个正数，它可以写成：

$$D = K_n \times 10^n + K_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 \\ + K_{-1} \times 10^{-1} + K_{-m} \times 10^{-m} = \sum_{j=-m}^n K_j \times 10^j \quad (1-1)$$

其中， K_j 可以是0、1、2、……、9十个数符中的任何一个。当然，D确定之后， K_j 也确定了。m、n为正整数。其中的10就是基数。

当我们从0开始计数时，每计满十（基数）时，就向高位进1，这就是通常说的“逢十进一”。如此简单的事几乎是人人都知道的。

随着科学技术的发展，尤其数字电子计算机的出现，使其它进制的计数方法从数学家的研究室里走了出来，在电子技术领域之中找到了又一个用武之地。常用的有二进制、八

进制、十六进制、二十进制等。每种计数制都有它自己的规律和性质，这些将是我们要学习的内容。我们知道，研究数的性质是数学中一个理论性很强的分支——数论的研究内容。这里，我们只对数的进制（进位法）中有关的问题作部分介绍，这些都是我们今后学习逻辑电路设计所必须的。如果本书的读者对数论中其它内容感兴趣，可阅读有关书籍（见参考书目[2]）。

§1-2 数的二进制

先不要急着知道什么是二进制，让我们留心一下日常生活和工作中一些常见的情形。

电灯不外是一亮一灭；门不外是一开一关（半开也是开着，绝不能说是关着）；今天下雨还是不下雨（下小雨也是在下雨）；马达转还是不转；产品合格还是不合格；等等。这种属于两种状态的事情太多了，举不胜举。

对于繁多的两种相反的状态，人们思考着用两个符号来表示。这样，只要出示其中一个符号，我们便立刻知道这种事物是处于什么状态。用A和B或者其它符号可以吗？当然可以。但人们选用了两个数字符号（数码）“0”和“1”。如果规定“0”为一种状态，则“1”便为另一种状态。例如用“0”表示灯灭，用“1”表示灯亮；反过来，用“1”表示灯灭，用“0”表示灯亮也可以，反正表示两种相反的状态。

现在，我们就用“0”和“1”来表示晶体管的导通和截止。当我们说晶体管是处于“0”态，就是说它是导通的，处于“1”态是截止的，再次导通又处于“0”态。注意，这

是第二次导通。如此一连串的导通、截止状态的组合就构成“0”和“1”表示的一连串开关状态。

对于其它属于两种状态的任何事物都可以用“0”和“1”来表示，道理和方法同上。

在逻辑电路中，我们感兴趣的是用“0”和“1”来表示该电路输入或输出电平的高低。这里的电平高或低是由晶体管处于开关状态形成的。我们知道，从三极管的输出特性曲线中可以看出它有三个工作区域：饱和区，放大区，截止区。当晶体管工作在放大区时，则可组成各种放大电路（如晶体管收音机电路）。要是使晶体管工作在饱和区和截止区（又称开关状态）则可组成各种开关电路，它实质上是把晶体管当成一个开关来使用的。此时，晶体管输出电平的高低是由输入电平的高低进行控制的。在逻辑电路中，之所以不让晶体管工作在放大区，就是为了使高低电平相差得明显些。因为高低电平之间相差的值越大，区别它就越容易，工作起来也就越可靠。

任何一个逻辑电路，包括计算机电路在内，无论它有多么复杂，其输入输出信号都是由一连串的高高低低的电平组成的，也就是由“0”和“1”两种状态的变化组成的。

“0”和“1”是两个数字符号，可以用它组成一种计数制，这就是二进制。二进制只有两个数字符号：“0”和“1”。它的基数是2，计数的规则是“逢二进一”。现在，我们看它是怎样计数的：

“0”表示没有，加“1”后即为“1”（ $0+1=1$ ），这和十进制是一样的。再加“1”呢？因为它是逢二进一， $1+1$ 要进位，得“10”。注意，这个“10”可不是十进制中的10，它相当于十进制中的2，不过是用二进制的“10”表

示十进制中的2罢了。再加“1”呢？得“11”，即 $10+1=11$ 。这里的“11”相当于十进制中的3。再加“1”呢？得“100”，即 $11+1=100$ ，它相当于十进制中的4。
.....

把 $1+1=10$ 的进位情况与十进制中 $9+1=10$ 的进位情况比较一下，不难看出它的规律：一个是逢二进一，一个是逢十进一。

下面，我们把二进制与十进制的对应关系列出一个对照表，见表1-1。这个表只写到十进制的16，以下数字的对应

表 1-1

十 进 制	二 进 制
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010
11	1011
12	1100
13	1101
14	1110
15	1111
16	10000
⋮	⋮
⋮	⋮

关系，读者可以接着写下去。

为避免数制间的混淆，我们将进制数作为下标，写在数字的右下角，例如十进制数字27，我们写作 $(27)_{10}$ 。10写作 $(10)_{10}$ 等；二进制数“10”写作 $(10)_2$ ，“101”写作 $(101)_2$ 等；八进制数字7，写作 $(7)_8$ 等。

表1-1中的对应关系即指数量上相等的意思，于是我们有。

$$(5)_{10} = (101)_2$$

$$(8)_{10} = (1000)_2$$

既然二进制的基数是2，那么，对于任意一个二进制数，参照十进制的方法，将 $(101101.11)_2$ 可以表示为如下形式

$$101101.11 = 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

现在回过头去看看式 (1-1)，我们也可以把二进制数写成如下的通式：

$$B = K_n \times 2^n + K_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \dots + K_{-m} \times 2^{-m} = \sum_{i=n}^{-m} K_i \times 2^i \quad (1-2)$$

其中， K_i 只能取“0”和“1”中任意一个数符，它取决于B。m, n为正整数。

这里的 $2^n, 2^{n-1}, \dots, 2^{-1}, \dots, 2^{-m}$ 代表了某一位数符，由于所在位置的不同而具有不同的数值。例如，一个数符 $(1)_2$ ，它所代表的实际数值(十进制数值)将因其所在数字中的位置不同而不同，这个实际数值的大小决定于基数2的幂。于是，我们称 $2^n, 2^{n-1}, \dots, 2^{-1}, \dots, 2^{-m}$ 为不同位数的“位值”，也叫“权码”或“位权”。

如对 $(1101)_2$ 来讲，它的权码从左到右分别为 $2^3, 2^2,$

$2^1, 2^0$ 。用十进制数表示即是8, 4, 2, 1。

请注意, 在各种计数制间的转换过程中, 权码的概念是非常重要的, 一定要弄清、记住。请看式(1-1), 十进制的权码是以基数 $(10)_{10}$ 为底的幂。再看式(1-2), 二进制的权码是以基数 $(2)_{10}$ 为底的幂。当然八进制的权码就是以基数 $(8)_{10}$ 为底的幂, 等等。

关于二进制数的运算规则, 我们将在原码、补码(第六节)中专门讲述。

§1-3 数的八进制和十六进制

既然有上面的二进制, 又何必提出八进制和十六进制呢? 其实进位制可以有无数种, 从二进制开始按顺序排下去可有三进制、四进制、五进制……八进制……十进制……十六进制……一百进制……。但我们常用的只不过是其中的几种: 二进制、八进制、十进制、十六进制。

为什么要使用八进制和十六进制呢?

我们从前面可以看到二进制的缺点。首先, 不习惯。其次, 用二进制表示一个数时其位数太多, 如

$$(3675)_{10} = (111001011011)_2$$

如果要我们记住二进制数111001011011就是十进制的3675那是太困难了。同时, 读和写也都感到不方便。人们非常习惯的还是3675这个写法, 而八进制、十六进制就很接近十进制的写法。这样, 读、记起来就会方便得多。

使用八进制和十六进制的另一个原因是逻辑电路或计算机硬件都是由具有二种状态的物理元件——晶体管组成的, 我们是用物理元件的两种不同稳定状态来表征“0”和“1”