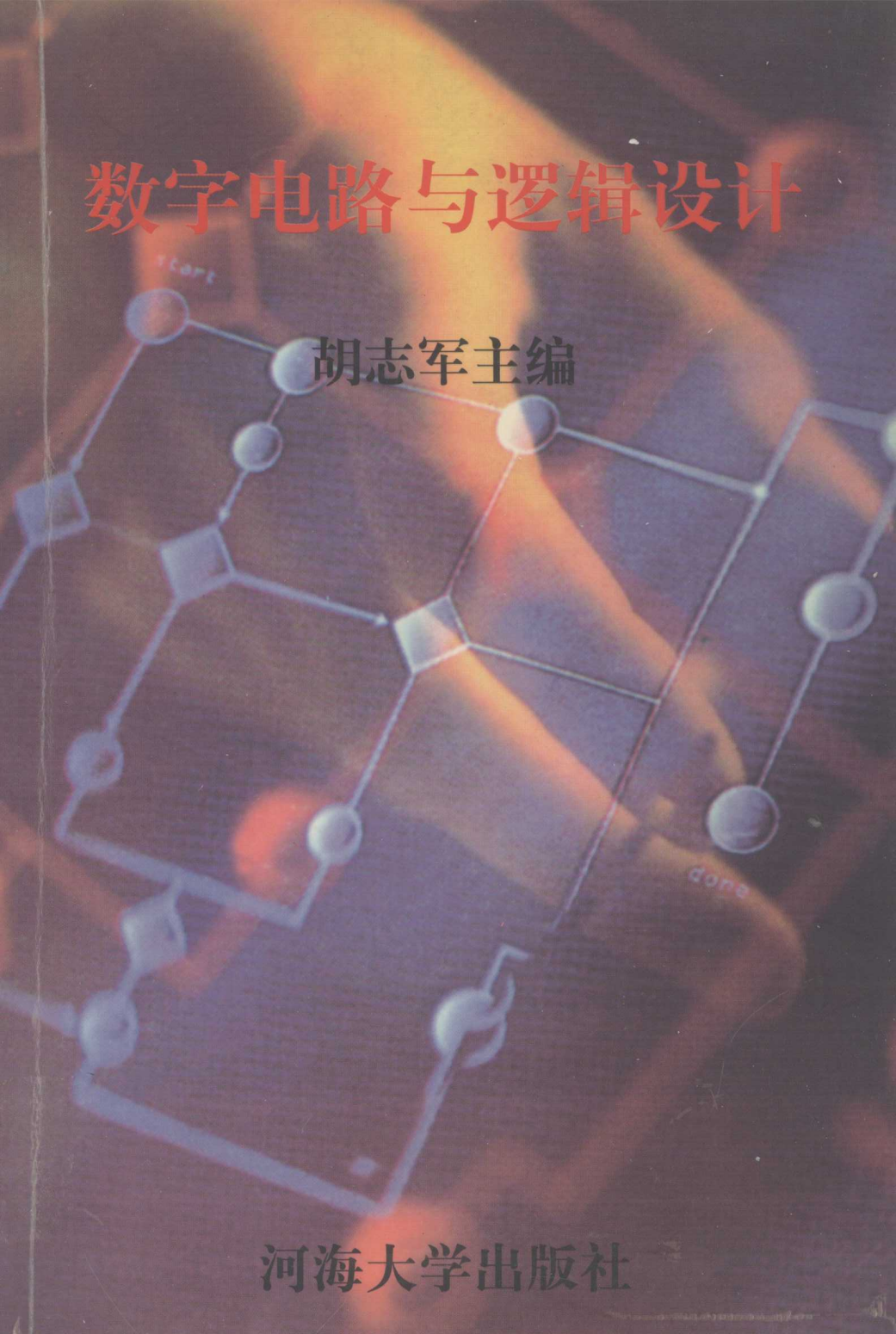


数字电路与逻辑设计



胡志军主编

河海大学出版社

数字电路与逻辑设计

胡志军 主编

河海大学出版社
南 京

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计/胡志军等编著. —南京: 河海大学出版社, 2000. 1

ISBN 7-5630-1479-9

I. 数… II. 胡… III. 数字电路—逻辑设计—函授教育—教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 01773 号

河海大学出版社出版发行

(南京市西康路 1 号 邮编: 210098)

扬中市印刷厂印刷

江苏省新华书店经销

2000 年 1 月第 1 版

2000 年 1 月第 1 次印刷

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 8.625

字数: 224 千字

印数: 1~5000 册

定价: 13.00 元

前 言

《数字电路与逻辑设计》是计算机应用专业的主干课程之一。我们在组织编写本书时,立足于大专教育层次的特点,贯彻少而精的原则,理论上做到深入浅出,力求通俗易懂,注意知识的系统性,强调理论联系实际,培养学生分析问题和解决问题的能力。

全书共分八章,其中第二章介绍了逻辑代数的基本概念、基本定律、规则、常用公式以及逻辑函数的表示和化简方法,它是全书的理论基础,是分析和设计逻辑电路的数学工具。本书按照由逻辑代数到逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、大规模集成电路以及 D/A 和 A/D 转换器的顺序编写,以便将基本概念、基本分析方法和实际应用逐步引出并讨论、逐步巩固并提高,使读者易于学习和掌握。

本书由胡志军主编。其中第一章、第二章由胡志军执笔,第三章、第四章由刘俊执笔,第五章、第六章由童馨执笔,第七章、第八章由石伟执笔。

在本书的编写过程中,得到了江苏省委党校干部函授学院的大力支持和帮助,冯继生教授审阅了全书并提出了许多宝贵的意见,张景、王晓宁同志也为本书做了大量的工作,另外,我们还参考了许多专家、学者的相关文献,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

作 者

1999 年 11 月

中共江苏省委党校干部函授学院教材

编 审 委 员 会

主 任 潘宗白

副主任 郭荣成

方根林

委 员(按姓氏笔划为序)

方在农 冯继生 吕书琼

刘小兵 汪发良 张 枬

范建中 周文筠 徐正超

桑学成

目 录

代序 江苏迈上了奔向现代化的新征程	陈焕友
一 物华天宝竞风流	1
二 综合经济实力显著增强	8
三 工业大省再铸辉煌	16
四 农村经济蓬勃发展	38
五 外向型经济突飞猛进	53
六 现代化小城镇星罗棋布	66
七 基础设施建设成绩斐然	73
八 结构调整初战告捷	88
九 精神文明建设成效显著	100
十 社会事业全面发展	125
后记	142

二、或逻辑.....	(30)
三、非逻辑.....	(31)
四、组合逻辑.....	(32)
五、正逻辑和负逻辑.....	(34)
第二节 逻辑代数的基本定律与规则	(34)
一、逻辑代数的基本定律.....	(35)
二、逻辑代数的三项规则.....	(36)
三、逻辑代数的常用公式.....	(38)
第三节 逻辑函数的表示	(39)
一、逻辑函数及逻辑函数间的相等.....	(39)
二、逻辑函数的表示方法.....	(40)
第四节 逻辑函数的化简	(49)
一、公式法.....	(49)
二、卡诺图化简法.....	(53)
三、带约束条件的逻辑函数的化简.....	(61)
习题二	(64)
第三章 逻辑门电路	(71)
第一节 常用逻辑门电路	(71)
一、“与”门电路.....	(72)
二、“或”门电路.....	(72)
三、“非”门电路.....	(73)
四、“与非”门电路.....	(74)
五、“或非”门电路.....	(74)
六、“与或非”门电路.....	(76)
七、“异或”门电路.....	(76)
第二节 TTL 门电路	(76)
一、TTL 与非门电路	(77)

二、TTL 与非门的外部特性	(78)
三、TTL 与非门电路的主要参数	(83)
四、集电极开路门和三态门	(85)
五、TTL 门电路的扩展器	(87)
六、TTL 门电路的改进	(89)
第三节 MOS 门电路	(92)
一、MOS 门电路的特点和构成	(92)
二、单沟道 MOS 逻辑电路	(93)
三、互补 MOS(CMOS)逻辑电路	(97)
习题三	(101)

第四章 组合逻辑电路

第一节 组合逻辑电路的分析	(107)
一、组合逻辑电路的结构和特点	(107)
二、组合逻辑电路的分析方法	(108)
第二节 组合逻辑电路的设计	(111)
一、组合逻辑电路的设计方法	(111)
二、设计举例	(112)
第三节 常见组合逻辑电路	(114)
一、加法器	(115)
二、编码器	(118)
三、译码器	(121)
四、数据选择器	(126)
五、数值比较器	(129)
第四节 组合逻辑电路中的竞争与冒险	(130)
一、竞争—冒险	(131)
二、识别竞争—冒险现象的基本方法	(132)
三、消除竞争—冒险现象的基本方法	(133)

习题四	(134)
第五章 触发器	(140)
第一节 基本 RS 触发器	(141)
一、电路结构及逻辑符号	(141)
二、工作原理	(141)
三、逻辑功能	(142)
四、基本 RS 触发器的特点	(145)
第二节 时钟触发器	(145)
一、同步 RS 触发器	(145)
二、主从 RS 触发器	(146)
三、主从 JK 触发器	(148)
四、主从 T 触发器	(150)
五、边沿 JK 触发器	(150)
六、边沿 D 触发器	(152)
第三节 触发器逻辑功能的分类	(154)
一、RS 触发器的逻辑功能及其表示方法	(154)
二、JK 触发器的逻辑功能及其表示方法	(156)
三、D 触发器的逻辑功能及其表示方法	(158)
四、T 触发器的逻辑功能及其表示方法	(159)
第四节 触发器的脉冲工作特性	(165)
习题五	(166)
第六章 时序逻辑电路	(173)
第一节 寄存器	(173)
一、基本寄存器	(174)
二、移位寄存器	(174)
第二节 计数器	(178)

一、同步计数器	(178)
二、异步计数器	(183)
第三节 节拍脉冲发生器	(187)
一、移位型节拍脉冲发生器	(188)
二、计数型节拍脉冲发生器	(188)
第四节 时序逻辑电路的分析与设计	(190)
一、时序逻辑电路的分析	(190)
二、时序逻辑电路的设计	(196)
习题六	(198)
第七章 大规模集成电路	(203)
第一节 存储器	(203)
一、随机存取存储器(RAM)	(204)
二、只读存储器(ROM)	(209)
第二节 可编程逻辑器件	(212)
一、可编程逻辑器件的发展概况	(212)
二、可编程逻辑器件的特点	(213)
三、可编程逻辑器件的基本结构	(214)
四、可编程逻辑器件的编程	(230)
习题七	(230)
第八章 D/A 与 A/D 转换器	(231)
第一节 D/A 转换器	(231)
一、D/A 转换的基本原理	(231)
二、常见 D/A 转换器	(232)
三、集成 D/A 转换器	(237)
四、D/A 转换器的主要技术参数	(239)
第二节 A/D 转换器	(240)

一、A/D 转换的基本原理	(240)
二、A/D 转换的实现过程	(242)
三、常见 A/D 转换器	(245)
四、集成 A/D 转换器	(252)
五、A/D 转换器的分类	(255)
习题八	(256)
附录一	(260)
附录二	(262)
参考文献	(263)

第一章 数制与编码

在日常生活和工作中,人们习惯于用十进制数,而在数字系统和计算机中,经常采用的是二进制数和十六进制数,有些地方还用到八进制数。因此,本章着重介绍几种常用进位计数制及其转换,以及几种常见的二—十进制代码和可靠性编码。

第一节 进位计数制

按照进位原则进行计数,称为进位计数制,简称数制。

一、十进制

十进制是最为常用的进位计数制,它有 0~9 十个数码,计数基数为 10。计数规律是“逢十进一,借一当十”。数码在不同的位置代表的数值不同,这称之为“权”值。

例如,十进制数 $(518.78)_{10}$ 可表示为:

$$(518.78)_{10} = 5 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

由此可见,在不同位置的数字有不同的含义。其中 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 分别为各位的权值,也即相应位的数码 1 所代表的实际数值。位数越高,权值越大。因此,任意一个有 m 位整数、 n 位小数的十进制数 N ,都可以表示为:

$$\begin{aligned}
N_{10} &= (K_{m-1}K_{m-2}\cdots K_1K_0.K_{-1}\cdots K_{-n})_{10} \\
&= K_{m-1} \times 10^{m-1} + K_{m-2} \times 10^{m-2} + \cdots \\
&\quad + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots + K_{-n} \times 10^{-n} \\
&= \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 10^i
\end{aligned}$$

式中, K_i 为十进制数第 i 位的数码, 10^i 为第 i 位的权值, m 和 n 都为正整数, m 为整数部分的位数, n 为小数部分的位数, 而且 $-n \leq i \leq m-1$ 。

那么, 对于任意进制数, 都可以表示为:

$$N_R = \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times R^i$$

式中 K_i 为任意进制中第 i 位的数码, R 为进位基数, R^i 为第 i 位的权值, m 和 n 为正整数, m 为整数部分的位数, n 为小数部分的位数。

二、二进制

二进制数只有 0 和 1 两个数码, 计数基数为 2。计数规律是“逢二进一, 借一当二”。

例如, 二进制数 $(101.101)_2$ 可表示为:

$$(101.101)_2 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

其中 2^2 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 、 2^{-3} 分别为各位的权值, 也就是说二进制中不同数位的权值也不相同, 其相邻各位的权值是以 2 为底的连续整数次幂, 即相差一倍。因此任意一个二进制数 N 都可以表示为:

$$\begin{aligned}
N_2 &= (K_{m-1}K_{m-2}\cdots K_1K_0.K_{-1}\cdots K_{-n})_2 \\
&= K_{m-1} \times 2^{m-1} + K_{m-2} \times 2^{m-2} + \cdots \\
&\quad + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \cdots + K_{-n} \times 2^{-n} \\
&= \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 2^i
\end{aligned}$$

式中, K_i 为二进制数第 i 位的数码, 2^i 为第 i 位的权值, m 和 n 都为

正整数, m 为整数部分的位数, n 为小数部分的位数。

二进制数各位数值如表 1-1 所示。

表 1-1 二进制各位数值

i	2^i	i	2^i	i	2^i
-1	0.5	0	1	5	32
-2	0.25	1	2	6	64
-3	0.125	2	4	7	128
-4	0.0625	3	8	8	256
-5	0.03125	4	16	9	512
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

二进制数数值之间的算术运算与十进制数基本相同, 差别仅在于进(借)位规律的不同。在二进制数的算术运算中, 进位时“逢二进一”, 借位时“借一当二”。

二进制数的算术运算规则如下所示:

加 法	减 法	乘 法	除 法
$0+0=0$	$0-0=0$	$0\times 0=0$	$0\div 0$ (无意义)
$0+1=1$	$0-1=1$ (有借位)	$0\times 1=0$	$0\div 1=0$
$1+0=1$	$1-0=1$	$1\times 0=0$	$1\div 0$ (无意义)
$1+1=10$ (有进位)	$1-1=0$	$1\times 1=1$	$1\div 1=1$

下面举例说明二进制加、减、乘、除运算:

例 1-1 求二进制数 1011 与 110 之和。

解:

$$\begin{array}{r} 1011 \\ +) 110 \\ \hline 10001 \end{array}$$

所以 $(1011)_2 + (110)_2 = (10001)_2$

例 1-2 求二进制数 1101 与 1010 之差。

解:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ -) 1010 \\ \hline 0011 \end{array}$$

所以 $(1101)_2 - (1010)_2 = (0011)_2$

例 1-3 求二进制数 1110 与 1011 之积。

$$\begin{array}{r} \text{解:} \qquad \qquad \qquad 1110 \\ \qquad \times) \quad 1011 \\ \hline \qquad \qquad \qquad 1110 \\ \qquad \qquad 1110 \\ \qquad \qquad 0000 \\ +) \quad 1110 \\ \hline 10011010 \end{array}$$

所以 $(1110)_2 \times (1011)_2 = (10011010)_2$

例 1-4 求二进制数 11001 与 101 之商。

$$\begin{array}{r} \text{解:} \qquad \qquad \qquad 101 \\ 101 \overline{) 11001} \\ \underline{-) 101} \\ 101 \\ \underline{-) 101} \\ 0 \end{array}$$

所以 $(11001)_2 \div (101)_2 = (101)_2$

在数字系统和计算机中,广泛采用二进制是因为二进制数在计算机中是很容易表示与实现的(它只有两个数码 0 和 1,可用逻辑元件实现),并且运算非常简单。当然二进制也有书写冗长、不便于读与记的缺点。

三、八进制

二进制数虽在计算机中容易实现,然而它最大的缺点是不便读写,与十进制数相比,表示同一个数时二进制数用的位数较多。为了弥补二进制的不足,引入了八进制。

八进制有 0~7 八个数码,其计数基数为 8,计数规律是“逢八进一,借一当八”。

例如,八进制数 $(4096.78)_8$ 可表示为:

$$(4096.78)_8 = 4 \times 8^3 + 0 \times 8^2 + 9 \times 8^1 + 6 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1} + 8 \times 8^{-2}$$

其中 $8^3, 8^2, 8^1, 8^0, 8^{-1}, 8^{-2}$ 分别为各位的权值。对于任意一个八进制数 N , 都可以表示为:

$$\begin{aligned} N_8 &= (K_{m-1}K_{m-2}\cdots K_1K_0.K_{-1}\cdots K_{-n})_8 \\ &= K_{m-1} \times 8^{m-1} + K_{m-2} \times 8^{m-2} + \cdots \\ &\quad + K_1 \times 8^1 + K_0 \times 8^0 + K_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + K_{-n} \times 8^{-n} \\ &= \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 8^i \end{aligned}$$

式中, K_i 为八进制数第 i 位的数码, 8^i 为第 i 位的权值, m 和 n 都为正整数, m 为整数部分的位数, n 为小数部分的位数。

四、十六进制

为了弥补二进制的不足, 还引入了十六进制。十六进制数比二进制数位少, 便于书写和记忆, 因此在计算机中经常使用。

十六进制有 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数码, 这里十进制数的 10~15 分别用 A~F 六个英文字母表示。其计数基数为 16, 计数规律是“逢十六进一, 借一当十六”。

例如, 十六进制数 $(5A.B4)_{16}$ 可表示为:

$$(5A.B4)_{16} = 5 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 11 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2}$$

其中, $16^1, 16^0, 16^{-1}, 16^{-2}$ 分别为各位的权值。对于任意一个十六进制数 N , 都可以表示为:

$$\begin{aligned} N_{16} &= (K_{m-1}K_{m-2}\cdots K_1K_0.K_{-1}\cdots K_{-n})_{16} \\ &= K_{m-1} \times 16^{m-1} + K_{m-2} \times 16^{m-2} + \cdots \\ &\quad + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + K_{-n} \times 16^{-n} \\ &= \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 16^i \end{aligned}$$

式中, K_i 为十六进制数第 i 位的数码, 16^i 为第 i 位的权值, m 和 n 都为正整数, m 为整数部分的位数, n 为小数部分的位数。

十进制数与二、八、十六进制数相对照如表 1-2 所示。

表 1-2 数制对照表

对照内容	十进制	二进制	八进制	十六进制
数码	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9	0,1	0,1,2,3,4,5,6,7	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F
计数规律	逢十进一 借一当十	逢二进一 借一当二	逢八进一 借一当八	逢十六进一 借一当十六
计数基数	10	2	8	16
权	10^i	2^i	8^i	16^i
表达式	$N_{10} = \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 10^i$	$N_2 = \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 2^i$	$N_8 = \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 8^i$	$N_{16} = \sum_{i=-n}^{m-1} K_i \times 16^i$
数值表示	0	0000	0	0
	1	0001	1	1
	2	0010	2	2
	3	0011	3	3
	4	0100	4	4
	5	0101	5	5
	6	0110	6	6
	7	0111	7	7
	8	1000	10	8
	9	1001	11	9
	10	1010	12	A
	11	1011	13	B
	12	1100	14	C
	13	1101	15	D
	14	1110	16	E
	15	1111	17	F
	16	10000	20	10