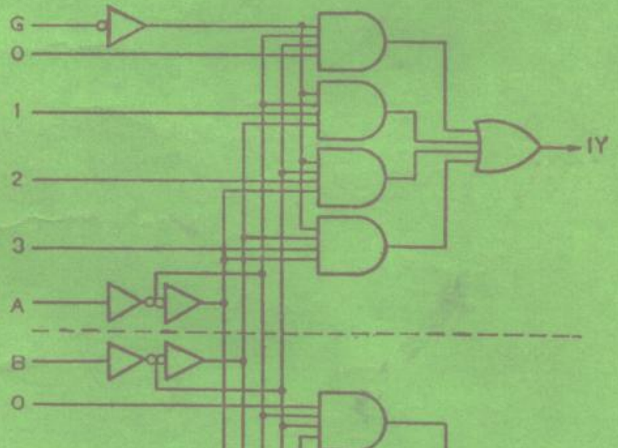
北京市高等教育自学考试用书

# 数字逻辑

王克义 编



北京市高等教育自学考试用书

# 数 字 逻 辑

王克义 编



北 京 大 学 出 版 社

## 内 容 简 介

本书主要包括：数制和常用编码，逻辑代数的基本原理和应用，组合逻辑电路及时序逻辑电路的分析和设计，计算机常用逻辑部件以及采用中、大规模集成电路进行逻辑设计等方面的内容.

本书可作高等教育自学考试学习用书，也可作大专院校有关专业的教学参考书.

北京市高等教育自学考试用书

**数 字 逻 辑**

王 克 义 编

责任编辑：周月梅

*

北京大学出版社出版

（北京大学校内）

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行　各地新华书店经售

*

850×1168 毫米　32 开本　8.5 印张　209 千字

1987 年 3 月第一版 1987 年 3 月第一次印刷

印数：00001—8,000 册

统一书号：13209·169　　定价：1.95 元

# 前　　言

本书写作的主要依据是一九八三年六月教育部委托华中工学院编写并由高等学校计算机软件教材编审委员会审定的计算机软件专业四年制(工科、综合大学)数字逻辑教学大纲．为了便于自学，在内容的选取上作了适当的精简和调整，在写法上，力求通俗易读。

数字逻辑是电子数字计算机基础理论的一个重要组成部分，它为“计算机组织”、“计算机体系结构”及“微型计算机”等后续课程提供必要的逻辑设计基础．它的任务是教给学生有关逻辑部件的分析和设计的基本方法，并使学生对电子数字计算机系统的基本硬件有一定的认识．

本书主要介绍逻辑代数的基本原理及逻辑电路的分析和设计方法，重点是组合逻辑电路及同步时序逻辑电路．本书是从逻辑功能而不是从电性能的角度介绍集成逻辑电路，并在集成电路的基础上，以门电路作为基本单元讨论逻辑部件的组成，同时对采用中、大规模集成电路进行逻辑设计的新的发展方向也作了适当介绍．随着集成电路技术的发展，研究数字系统逻辑设计的方法和原则也在不断地发展变化，但当今很多人仍认为，经典开关理论的最小化设计的基本方法和原则，仍应是数字逻辑的基础，对用逻辑门和触发器为基本使用单元来构成逻辑部件，仍应作为数字逻辑的基本功予以训练．编者赞成这样的看法，并在本书的内容安排上有所体现．请读者在阅读和使用本书中予以注意．

书中对应掌握的概念和定理，不追求形式化的阐述与证明，而尽量通过实例，使读者逐步理解，并能熟练应用．

每章后面列出的“本章要求”，概括了每章的内容；“思考题”帮助读者回顾、整理该章应掌握的基本概念；“习题”多是为巩固和

理解课程内容必做的练习，并没列出过难的习题，题量也不大，读者仿照例题一般能独立完成。

本书是在近几年讲授数字逻辑课程的基础上编写的，并参考了国内兄弟院校有关的教材及国外某些大学的教科书，但由于时间和水平所限，书中缺点和错误一定难免，希望读者多提宝贵意见。

本书在北京大学计算机科学技术系主任杨芙清教授组织、指导下编写，许卓群副教授审定了编写大纲，陈葆珏副教授全面审阅了初稿，提出许多重要的修改意见，在此表示衷心的感谢。

编者

1986年6月

# 目　　录


**第一章　数制和编码** …… 1
第一节　进位计数制 …… 1
一、十进计数制 …… 1
二、二进计数制 …… 3
三、八进计数制 …… 6
四、十六进计数制 …… 7
第二节　数制转换 …… 8
一、二进制数转换成十进制数 …… 8
二、十进制数转换成二进制数 …… 9
第三节　数的定点与浮点表示 …… 12
一、定点数 …… 13
二、浮点数 …… 13
第四节　原码、反码与补码 …… 15
一、机器数与真值 …… 15
二、原码 …… 16
三、反码 …… 17
四、补码 …… 17
五、二进制整数的机器表示 …… 18
第五节　十进制数的二进制编码 …… 18
一、8421 码 …… 19
二、2421 码 …… 20
三、余 3 码 …… 21
第六节　可靠性编码 …… 22
一、格雷码 …… 22
二、五中取二码 …… 23
三、奇偶校验码 …… 24
第七节　字符代码 …… 26
一、ASCII 码 …… 26
二、国家标准码 …… 28
本章要求 …… 30

思考题 …… 30
习题 …… 30
**第二章 逻辑代数的基本原理及应用** …… 32
第一节 逻辑代数的基本概念 …… 32
一、基本逻辑运算 …… 33
二、逻辑函数 …… 36
三、逻辑函数的相等 …… 37
第二节 逻辑代数的基本定律及规则 …… 38
一、基本定律 …… 38
二、逻辑代数的三个重要规则 …… 41
第三节 逻辑函数的代数化简法 …… 43
一、"与或"表达式的化简 …… 44
二、"或与"表达式的化简 …… 46
三、代数化简法小结 …… 47
本章要求 …… 47
思考题 …… 47
习题 …… 48
**第三章 基本逻辑门电路** …… 50
第一节 开关器件及其逻辑描述 …… 50
第二节 分立元件的门电路 …… 51
一、二极管"与"门 …… 51
二、二极管"或"门 …… 52
三、"非"门 …… 53
四、"与非"门 …… 54
第三节 TTL 集成电路 …… 55
一、TTL"与非"门 …… 55
二、扩展器和"与或非"门 …… 57
三、集电极开路门 …… 59
四、三态门 …… 60
第四节 ECL 电路及 MOS 电路 …… 62
一、ECL 电路 …… 62
二、MOS 电路 …… 63
第五节 逻辑门电路的性能指标 …… 64
一、输出高、低电平 …… 64
二、平均延迟时间 …… 65
三、扇入和扇出 …… 66

四、功耗 ………… 67
第六节 常用逻辑门的图形符号 ………… 68
本章要求 ………… 70
思考题 ………… 70
习题 ………… 70
**第四章 组合逻辑电路** ………… 72
第一节 几个基本概念 ………… 72
一、“积之和”与“和之积” ………… 72
二、最小项和最大项 ………… 73
三、最小项表达式和最大项表达式 ………… 75
第二节 逻辑函数的图解化简法 ………… 78
一、卡诺图 ………… 79
二、卡诺图的编号 ………… 81
三、用卡诺图化简逻辑函数 ………… 84
第三节 逻辑函数的列表化简法（Q-M 法） ………… 91
第四节 不完全规定的逻辑函数的化简 ………… 99
一、无关最小项的概念 ………… 99
二、包含无关最小项逻辑函数的 Q-M 化简法 ………… 102
第五节 多输出逻辑网络的化简 ………… 103
第六节 组合逻辑电路的分析 ………… 107
第七节 组合逻辑电路的综合 ………… 109
一、二进制运算电路的设计 ………… 110
二、代码转换电路的设计 ………… 115
本章要求 ………… 120
思考题 ………… 120
习题 ………… 121
**第五章 组合逻辑电路的应用** ………… 123
第一节 译码器电路 ………… 123
第二节 多路分配器 ………… 129
第三节 多路选择器 ………… 131
一、多路选择器的逻辑特性 ………… 131
二、用多路选择器实现逻辑函数 ………… 132
第四节 只读存贮器（ROM） ………… 137
一、ROM 的逻辑结构 ………… 138

二、ROM 的应用实例……141
第五节　可编程序逻辑阵列(PLA)……143
本章要求……145
思考题……146
习题……146
**第六章　时序电路的基本单元——触发器……147**
第一节　RS 触发器……147
一、基本 RS 触发器……147
二、钟控 RS 触发器……150
三、触发器外部逻辑特性的描述……151
第二节　维持阻塞触发器……153
第三节　主从结构的 JK 触发器……156
一、主从触发器……158
二、JK 触发器……159
三、主从 JK 触发器……163
第四节　T 触发器……161
本章要求……161
思考题……162
习题……162
**第七章　时序逻辑电路……163**
第一节　时序电路模型……163
一、框图表示法……163
二、状态表和状态图……164
三、Mealy 模型……167
四、Moore 模型……168
第二节　时序电路的分析……170
一、同步时序电路的分析……170
二、异步时序电路的分析……172
第三节　时序电路的综合……176
一、根据设计要求形成原始状态表……177
二、状态化简……179
三、状态分配与电路实现……192
第四节　时序电路设计举例……199
本章要求……207
思考题……208

习题 …… 209
**第八章　逻辑部件** …… 212
第一节　寄存器 …… 212
一、代码寄存器 …… 212
二、移位寄存器 …… 215
三、累加寄存器 …… 220
第二节　计数器 …… 223
一、概述 …… 223
二、二进制异步计数器 …… 224
三、二进制同步计数器 …… 226
四、非二进制计数器 …… 230
五、组合计数器 …… 237
第三节　节拍和脉冲分配器 …… 238
一、节拍分配器 …… 239
二、脉冲分配器 …… 242
本章要求 …… 243
思考题 …… 243
习题 …… 244
**第九章　竞争与险象** …… 245
第一节　竞争现象 …… 245
第二节　险象的产生 …… 246
第三节　险象的判别 …… 250
第四节　险象的消除 …… 252
本章要求 …… 256
思考题 …… 256
习题 …… 256
**主要参考资料** …… 257

# 第一章 数制和编码

本章从人们常用的十进计数制开始，讨论一般的进位计数规则和各种不同数制之间的转换方法．重点讨论二进计数制的基本特点及其在电子计算机中的表示形式．

本章还将介绍十进制数的二进制编码表示，可靠性编码及字符代码．

## 第一节 进位计数制

关于数，大家并不陌生．在日常工作和学习中，我们已经接触过各种各样的数．这里，我们讨论数的问题，主要是从电子计算机的角度，研究数的表示方法及其特点．

人类在长期的生产实践中，发明和积累了多种不同的记数方法，如现在广泛使用的渊源于阿拉伯民族文化的十进制数，记分、秒用的六十进制数以及在计算机和其它数字电子设备中普遍采用的二进制数等．

大家熟知，十进制数采用“逢十进一”的进位规则，六十进制数采用“逢六十进一”的进位规则……．这里提出了一个问题，即“进位制”的问题，或称“数制”的问题．下面我们对它作具体讨论．

### 一、十进计数制

在我们日常生活中习惯使用的是十进计数制．在这种计数制中，采用了十个数字符号 0，1，2，3，4，5，6，7，8，9 来表示一个数的大小（如果是小数的话，还需要有一个小数点符号“·”），这样的若干个数字符号并列在一起即可表示一个十进制数．

例如，十进制数 312.25，小数点左边的第一位为个位，2 代表

2；左边第二位为十位，1 代表 $1\times10$；左边第三位为百位，3 代表 $3\times100$；而小数点右边第一位为十分位，2 代表 $2\times\frac{1}{10}$；右边第二位为百分位，5 代表 $5\times\frac{1}{100}$. 由此我们可以看出，处于不同位置的数字符号代表着不同的意义，我们称之为有不同的权(Weight)，312.25 可按权展开为下列形式:

$312.25=3\times(10)^2+1\times(10)^1+2\times(10)^0+2\times(10)^{-1}+5\times(10)^{-2}$

等号左边的形式，我们称之为十进制数的位置记数法，也叫并列表示法；等号右边的形式，我们称之为十进制数的多项式表示法，也叫按权展开式.

一般地说，任意一个十进制数 $N$，都可以用下列位置记数法表示(为方便起见假设是正数):

$$(N)_{10}=(k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}k_{-2}\cdots k_{-m})_{10} \qquad (1\text{-}1)$$

其中 $n$ 代表整数位数，$m$ 代表小数位数. $k_i$ 是十个数字符号 0，1，2，3，4，5，6，7，8，9 中的任意一个，记作 $0\leqslant k_i\leqslant 9$. 括号外的下标为进位制的基数，在本例中为 10，代表十进制. 所谓某进位制的基数，就是该进位制中可能用到的数字符号的个数.

十进制数 $N$ 也可以用多项式表示法写为:

$$(N)_{10}=k_{n-1}(10)^{n-1}+k_{n-2}(10)^{n-2}+\cdots+k_1(10)^1+k_0(10)^0$$
$$+k_{-1}(10)^{-1}+\cdots+k_{-m}(10)^{-m} \qquad (1\text{-}2)$$

也可以写成以下和式:

$$(N)_{10}=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i\cdot 10^i \qquad (1\text{-}3)$$

从(1-1)、(1-2)、(1-3)式我们可以看出，在十进制数的位置记数法中，位置为 $i$ 的数字 $k_i$ 具有的权是 $10^i$.

实际的电子数字设备和人们日常用到的进位计数制并不仅仅是十进制，其它进制的计数规律可以看成十进制计数规律的推广. 对于任意的 $R$ 进制来说，数 $N$ 可以用下列位置记数法表示:

$$(N)_R=(k_{n-1}k_{n-2}\cdots k_1k_0.k_{-1}\cdots k_{-m})_R$$

用多项式表示法写为：

$$(N)_R=(k_{n-1}R^{n-1}+k_{n-2}R^{n-2}+\cdots+k_1R^1+k_0R^0+k_{-1}R^{-1}+\cdots+k_{-m}R^{-m})_R$$

或写为和式：

$$(N)_R=\left(\sum_{i=-m}^{n-1}k_iR^i\right)_R$$

上式的 $n$ 代表整数的位数，$m$ 代表小数位数，$k_i$ 是 $R$ 进制中 $R$ 个数字符号中的任何一个，即

$$0\leqslant k_i\leqslant R-1$$

若基数 $R=2$，即为二进计数制，它是数字电子系统特别是电子数字计算机中广泛采用的进位计数制．我们将着重讨论它．

## 二、二进计数制

在二进计数制中，每个数位只能有两个不同的取值，即“0”和“1”．这就特别适合于用仅有两种状态的开关元件(通、断，高、低等)来表示，一般是采用电子开关元件，目前绝大多数是采用半导体集成电路的开关器件来实现，这将在后续章节作进一步介绍．

为了熟悉二进制的表示，我们列出几个简单的二进制数与十进制数对照表，如表1-1所示．

对于一个二进制数，也可用类似十进制数按权展开的办法予以展开，例如 11011.101 可以写成：

$$11011.101=1\times2^4+1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}$$

一般地，任意一个二进制数 $N$ 都可以表示为：

$$N=k_{n-1}2^{n-1}+k_{n-2}2^{n-2}+\cdots+k_12^1+k_02^0+k_{-1}2^{-1}+\cdots+k_{-m}2^{-m}$$

$$=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i2^i$$

其中 $k_i=0$ 或 $k_i=1$，$m$，$n$ 为正整数，$n$ 代表整数位数，$m$ 代表小数位数．

表 1-1

| 十进制 | 二进制 | 十进制 | 二进制 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0.5 | 0.1 |
| 1 | 1 | 0.25 | 0.01 |
| 2 | 1 0 | 0.125 | 0.001 |
| 3 | 1 1 | 0.0625 | 0.0001 |
| 4 | 1 0 0 | | |
| 5 | 1 0 1 | | |
| 6 | 1 1 0 | | |
| 7 | 1 1 1 | | |
| 8 | 1 0 0 0 | | |
| 9 | 1 0 0 1 | | |
| 10 | 1 0 1 0 | | |
| 11 | 1 0 1 1 | | |
| 12 | 1 1 0 0 | | |
| 13 | 1 1 0 1 | | |
| 14 | 1 1 1 0 | | |
| 15 | 1 1 1 1 | | |
| 16 | 1 0 0 0 0 | | |
| 32 | 1 0 0 0 0 0 | | |

二进制的四则运算规则很简单。

(1) 对于加法，有如下规则：

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10 \text{（“逢二进一”）}$$

上述结果可列加法表，如表 1-2。

表 1-2

| 被加数 | 加　数 | 和 | 进　位 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

**例** $1010 + 111 = 10001$ $\quad$ $1011.101 + 10.01 = 1101.111$

$$\begin{array}{r} 1010 \\ +\quad 111 \\ \hline 10001 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1011.101 \\ +\quad 10.01\phantom{0} \\ \hline 1101.111 \end{array}$$

(2) 对于减法,有如下规则:

$$0 - 0 = 0$$
$$1 - 0 = 1$$
$$1 - 1 = 0$$
$$0 - 1 = 1 \text{ (“借一当二”)}$$

上述结果可列减法表,如表 1-3.

**表 1-3**

| 被减数 | 减　数 | 差 | 借　位 |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |

**例** $1011 - 101 = 110$ $\quad$ $1101.111 - 10.01 = 1011.101$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ -\quad 101 \\ \hline 110 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1101.111 \\ -\quad 10.01\phantom{0} \\ \hline 1011.101 \end{array}$$

(3) 对于乘法,有如下规则:

$$0 \times 0 = 0$$
$$0 \times 1 = 0$$
$$1 \times 0 = 0$$
$$1 \times 1 = 1$$

上述结果可列乘法表,如表 1-4.

表 1-4

| 被乘数 | 乘　数 | 积 |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

**例**　1011 × 10 = 10110　1101.11 × 10.01 = 11110.1111

$$
\begin{array}{r}
1011 \\
\times\quad 10 \\
\hline
0000 \\
1011\phantom{0} \\
\hline
10110
\end{array}
\qquad
\begin{array}{r}
1101.11 \\
\times\quad 10.01 \\
\hline
110111 \\
110111\phantom{000} \\
\hline
11110.1111
\end{array}
$$

(4) 对于除法:

二进制数的除法是乘法的逆运算，这与十进制数的除法是乘法的逆运算一样．因此利用二进制数的乘法及减法规则可以容易地实现二进制数的除法运算．

**例**　求 110110 ÷ 1010

$$
\begin{array}{r}
101 \cdots\cdots \text{商} \\
1010\,/\,\overline{110110} \\
1010\phantom{00} \\
\hline
1110 \\
1010 \\
\hline
100 \cdots\cdots \text{余数}
\end{array}
$$

## 三、八进计数制

八进计数制的基数 $R=8$，每位可能取八个不同的数字符号 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 中的任何一个，进位规则是“逢八进一”．

由于三位二进制数刚好有八种不同的数位组合（如下所示），所以一位八进制数容易改写成相应的三位二进制数来表示:

八进制: 0,　1,　2,　3,　4,　5,　6,　7

二进制: 000,001,010,011,100,101,110,111

这样，把一个八进制数每位变换为三位二进制数，组合在一起就成了相等的二进制数。

**例 1** 将八进制数53转换成二进制数。

$$\begin{array}{lcc} \text{八进制} & 5 & 3 \\ & \downarrow & \downarrow \\ \text{二进制} & 101 & 011 \end{array}$$

所以，$(53)_8=(101011)_2$

**例 2** 将八进制数 67.721 转换成二进制数。

$$\begin{array}{lccccc} \text{八进制} & 6 & 7. & 7 & 2 & 1 \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ & 110 & 111. & 111 & 010 & 001 \end{array}$$

所以，$(67.721)_8=(110111.111010001)_2$

**例 3** 也可以将一个二进制数转换为八进制数。

$$\begin{array}{ccccc} 101 & 111 & 011. & 011 & 111 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 5 & 7 & 3. & 3 & 7 \end{array}$$

所以，$(101111011.011111)_2=(573.37)_8$。

显然，用八进制比二进制书写要简短、易读，而且与二进制间的转换也很方便。

## 四、十六进计数制

十六进制数中的每位用十六个数字符号 0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F 中的一个表示，进位规则是“逢十六进一”。

由于四位二进制数刚好有十六种不同的数位组合（如下所示），所以一位十六进制数可以改写成相应的四位二进制数来表示：

$$\begin{array}{lccccccc} \text{十六进制} & 0, & 1, & 2, & 3, & 4, & 5, & 6, \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \text{二进制} & 0000, & 0001, & 0010, & 0011, & 0100, & 0101, & 0110, \\ & 7, & 8, & 9, & & & & \\ & \downarrow & \downarrow & \downarrow & & & & \\ & 0111, & 1000, & 1001, & & & & \end{array}$$