21世纪

高等学校电子信息类系列教材

数字电子技术基础

杨颂华 冯毛官
孙万蓉 胡力山 编著

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

★21世纪高等学校电子信息类系列教材

数字电子技术基础

杨颂华　冯毛官
孙万蓉　胡力山　编著

西安电子科技大学出版社
2000

内 容 简 介

本书全面介绍了数字电路、脉冲电路和数字系统中常用电路及基本模块的工作原理、分析方法及设计方法。全书共分 11 章，各章均选用了较多的典型实例，并配有相当数量的习题和思考题，便于读者联系实际，灵活运用，提高分析问题、解决问题的能力。

本书可作为高等学校通信、电子工程、自动控制、工业自动化、检测技术及电子技术应用等专业本科和专科“数字电路”课程的基本教材和教学参考书，亦可供其它专业师生及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/杨颂华等编著．—西安：西安电子科技大学出版社，2000.7

高等学校教材

ISBN 7-5606-0869-8

Ⅰ．数…　Ⅱ．杨…　Ⅲ．电子电路-高等学校-教材　Ⅳ．TN7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28086 号

责任编辑　云立实　孙雪姝

出版发行　西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电　　话　(029)8227828　　邮　编　710071

http://www.xduph.com　　E-mail：xdupfxb@pub.xaonline.com

经　　销　新华书店

印　　刷　陕西画报社印刷厂

版　　次　2000 年 7 月第 1 版　2000 年 7 月第 1 次印刷

开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16　印张 18

字　　数　423 千字

印　　数　1～8 000 册

定　　价　18.00 元

ISBN 7-5606-0869-8/TN・0150

前　　言

本书是根据国家教委工科电工课程教学指导委员会审订通过的高等学校“电子线路”课程基本要求，并结合我们多年来的教学经验而编写的专业技术基础课教材。

数字技术是当前发展最快的学科之一。随着集成电路工艺的发展，数字集成器件已经历了从小规模集成电路(SSI)、中规模集成电路(MSI)到大规模集成电路(LSI)、超大规模集成电路(VLSI)的发展过程。相应地，数字电路和数字系统的设计方法及设计手段也在不断演变和发展，因而对“数字电路”课程的教学内容、教学方法、教学手段及其教材也提出了新的要求。为此，本书在编写时注意了以下几点：① 在内容的选取上，首先立足打好基础，在确保基本理论、基本概念和基本方法教学的前提下，力求反映当前数字技术的新发展，介绍目前已普遍应用的新器件和已趋于成熟的新技术和新方法。② 在内容的次序安排上，注意既要使教师便于组织教学，又要便于学生阅读和自学，编写时力求做到深入浅出，突出重点，并前后照应。③ 为了便于联系工程实际，编者结合多年科研实践体会，选择了较多的例题及系统实例，并介绍了一些工程实践中常用的分析和设计方法，以便帮助读者提高解决问题的能力。

本书共分 11 章。第 1、2 章介绍了数制编码和逻辑代数的基础知识。第 3 章和第 5 章分别介绍了基本数字器件集成逻辑门和触发器的基本外特性，对其内部结构和内部电路的分析计算作了许多精简。第 4、6、7 章分别介绍了组合逻辑电路、时序逻辑电路的分析方法和设计方法。这部分内容是数字电路逻辑设计的理论基础。这里除了介绍传统的分析方法和设计方法外，重点介绍了常见的各种中规模集成数字器件的基本功能和应用，以及以中规模器件为核心的组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析、设计方法，从而为系统中的模块化设计打下基础。第 8 章简要介绍了脉冲信号的产生与整形。第 9 章介绍半导体存储器和可编程逻辑器件。可编程逻辑器件是近期迅速发展起来的新型逻辑器件，并使数字系统的设计方法发生了崭新的变化。这里简要介绍了可编程逻辑器件的发展过程及可编程逻辑器件的电路结构特点、基本工作原理和开发过程，主要为今后应用这些器件打下基础。有关开发可编程逻辑器件的软件系统及硬件描述语言(VHDL 或 Verilog HDL)等内容，另有课程介绍，读者可参考有关资料。第 10 章介绍 D/A 和 A/D 转换。第 11 章介绍数字系统设计实例。这一章主要通过几个常用小型数字系统的设计举例，使读者了解数字系统的设计方法和设计过程，并从系统的角度对学过的知识进一步加深理解。

本书是我校国家电工电子教学基地规划教材之一，由西安电子科技大学通信工程学院和电子工程学院的老师共同编写完成。其中第 7、8、9 章由杨颂华编写，第 6、10 章由冯毛官编写，第 1、5、11 章由孙万蓉编写，第 2、3、4 章由胡力山编写，最后由杨颂华、冯毛官负责全书的修改和统稿工作。

本书由侯伯亨教授审阅，并提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，自始至终得到孙肖子教授的大力支持和帮助，西安电子科技大学出版社云立实、孙雪妹编辑为此书的出版付出了艰辛的劳动，在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，敬请各位老师、同学和读者提出批评和指正。

编　者

2000 年 5 月

目　　录

第 1 章　数制与编码 …… 1
1.1　数制 …… 1
1.1.1　进位计数制 …… 1
1.1.2　进位计数制之间的转换 …… 3
1.2　编码 …… 6
1.2.1　二—十进制编码(BCD 码) …… 6
1.2.2　可靠性编码 …… 7
1.2.3　字符代码 …… 9
习题 1 …… 9

第 2 章　逻辑代数基础 …… 11
2.1　逻辑代数的三种基本运算 …… 11
2.1.1　逻辑变量与逻辑函数 …… 11
2.1.2　三种基本运算 …… 12
2.2　逻辑代数的基本定律和规则 …… 14
2.2.1　基本定律 …… 14
2.2.2　三个重要规则 …… 15
2.2.3　若干常用公式 …… 16
2.3　复合逻辑 …… 16
2.3.1　复合逻辑运算和复合门 …… 16
2.3.2　逻辑运算符的完备性 …… 18
2.4　逻辑函数的两种标准形式 …… 19
2.4.1　最小项和最小项表达式 …… 19
2.4.2　最大项和最大项表达式 …… 21
2.5　逻辑函数的代数化简法 …… 22
2.6　逻辑函数的卡诺图化简 …… 23
2.6.1　卡诺图的构成 …… 23
2.6.2　逻辑函数的卡诺图表示法 …… 24
2.6.3　最小项合并规律 …… 26
2.6.4　用卡诺图化简逻辑函数 …… 27
2.7　非完全描述逻辑函数的化简 …… 31
2.7.1　非完全描述的逻辑函数 …… 31

2.7.2 非完全描述逻辑函数的化简 …… 32
习题 2 …… 33

第 3 章 集成逻辑门 …… 35
3.1 数字集成电路的分类 …… 35
3.2 TTL 集成逻辑门 …… 36
3.2.1 TTL 与非门的工作原理 …… 36
3.2.2 TTL 与非门的特性与参数 …… 38
3.2.3 TTL 门电路的改进 …… 41
3.2.4 集电极开路门和三态门 …… 43
3.3 MOS 集成逻辑门 …… 46
3.3.1 CMOS 反相器 …… 46
3.3.2 CMOS 逻辑门 …… 48
3.3.3 CMOS 传输门 …… 49
3.3.4 CMOS 逻辑门系列 …… 50
3.4 集成门电路使用中的实际问题 …… 51
习题 3 …… 53

第 4 章 组合逻辑电路 …… 56
4.1 组合逻辑电路的分析 …… 56
4.2 组合逻辑电路的设计 …… 58
4.3 常用 MSI 组合逻辑器件及应用 …… 62
4.3.1 编码器 …… 62
4.3.2 译码器 …… 65
4.3.3 数据选择器 …… 70
4.3.4 数据分配器 …… 75
4.3.5 数码比较器 …… 76
4.3.6 加法器 …… 78
4.4 组合逻辑电路中的竞争与冒险 …… 81
习题 4 …… 83

第 5 章 触发器 …… 87
5.1 基本 RS 触发器 …… 87
5.1.1 电路结构和工作原理 …… 87
5.1.2 基本 RS 触发器的功能描述方法 …… 88
5.2 时钟控制的触发器 …… 89
5.2.1 钟控 RS 触发器 …… 89
5.2.2 钟控 D 触发器 …… 91
5.2.3 钟控 T 触发器和 T′触发器 …… 91

5.2.4 钟控 JK 触发器 …… 92
5.2.5 电位触发方式的工作特点 …… 93
5.3 集成触发器 …… 94
5.3.1 主从触发器 …… 94
5.3.2 边沿触发器 …… 97
5.4 触发器的逻辑符号及时序图 …… 100
5.4.1 触发器的逻辑符号 …… 100
5.4.2 时序图 …… 101
习题 5 …… 103

第 6 章 时序电路的分析与设计 …… 106
6.1 时序电路概述 …… 106
6.1.1 时序电路的特点 …… 106
6.1.2 时序电路的分类 …… 107
6.1.3 时序电路的功能描述 …… 108
6.2 同步时序逻辑电路的分析 …… 110
6.2.1 同步时序逻辑电路的一般分析方法 …… 110
6.2.2 典型时序逻辑电路的分析 …… 114
6.3 异步时序电路的分析方法 …… 123
6.4 同步时序电路的设计方法 …… 125
6.4.1 建立原始状态图和状态表 …… 126
6.4.2 状态化简 …… 128
6.4.3 状态分配 …… 131
6.4.4 同步时序电路的设计举例 …… 132
习题 6 …… 138

第 7 章 常用集成时序逻辑器件及应用 …… 142
7.1 集成计数器 …… 142
7.1.1 常用集成计数器功能分析 …… 143
7.1.2 集成计数器的级联 …… 147
7.1.3 任意模值计数器 …… 149
7.2 集成寄存器和移位寄存器 …… 157
7.2.1 常用集成寄存器 …… 157
7.2.2 常用集成移位寄存器 …… 157
7.3 序列信号发生器 …… 163
7.3.1 序列信号发生器的设计 …… 163
7.3.2 *m* 序列码发生器 …… 167
7.4 以 MSI 为核心的同步时序电路的分析与设计 …… 169
7.4.1 分析方法 …… 169

7.4.2 设计方法 …… 170
习题 7 …… 173

第 8 章 脉冲波形的产生与整形 …… 177
8.1 概述 …… 177
8.1.1 脉冲产生电路和整形电路的特点 …… 177
8.1.2 脉冲电路的基本分析方法 …… 178
8.2 555 定时器及其应用 …… 178
8.2.1 555 定时器的组成与功能 …… 178
8.2.2 555 定时器的典型应用 …… 179
8.3 集成单稳态触发器 …… 184
8.4 集成逻辑门构成的脉冲电路 …… 187
8.4.1 微分型单稳态触发电路 …… 187
8.4.2 多谐振荡器 …… 189
习题 8 …… 192

第 9 章 存储器和可编程逻辑器件 …… 195
9.1 半导体存储器 …… 195
9.1.1 只读存储器(ROM) …… 196
9.1.2 随机存取存储器(RAM) …… 203
9.1.3 存储器容量的扩展 …… 206
9.2 可编程逻辑器件 …… 207
9.2.1 概述 …… 207
9.2.2 低密度可编程逻辑器件 …… 209
9.2.3 高密度可编程逻辑器件 …… 220
9.2.4 可编程逻辑器件的开发 …… 228
习题 9 …… 232

第 10 章 数—模转换和模—数转换 …… 235
10.1 概述 …… 235
10.2 D/A 转换器(DAC) …… 236
10.2.1 D/A 转换器的基本工作原理 …… 236
10.2.2 D/A 转换器的主要电路形式 …… 236
10.2.3 D/A 转换器的主要技术指标 …… 238
10.2.4 八位集成 DAC0832 …… 239
10.3 A/D 转换器(ADC) …… 241
10.3.1 A/D 转换器的基本工作原理 …… 241
10.3.2 A/D 转换器的主要电路形式 …… 243
10.3.3 A/D 转换器的主要技术指标 …… 249

10.3.4 八位集成 ADC0809 …… 250
习题 10 …… 252

第 11 章 数字系统设计实例 …… 254
11.1 数字系统设计的描述方法 …… 254
11.1.1 方框图 …… 254
11.1.2 时序图 …… 255
11.2 数字系统设计实例 …… 256
11.2.1 定时电路的设计 …… 256
11.2.2 数字频率的设计 …… 259
11.2.3 任意波形发生器的设计 …… 263
11.2.4 数据采集系统的设计 …… 268

附录一 常用逻辑符号对照表 …… 273
附录二 数字集成型号电路的命名法 …… 274
附录三 常用标准集成电路器件索引 …… 275
参考文献 …… 278

第 1 章

数制与编码

数字系统的基本功能是对数进行加工和处理，如数的运算、存储和变换等，因此我们首先要对数的基本特征有所了解。

本章从常用的十进制数开始，分析推导各种不同数制的表示方法以及各种数制之间的转换方法，并着重讨论数字计算机和其它数字设备中广泛采用的二进制数，最后介绍几种常用的编码。

1.1 数　　制

1.1.1 进位计数制

按进位的原则进行计数，称为进位计数制。每一种进位计数制都有一组特定的数码，例如十进制数有 10 个数码，二进制数只有两个数码，而十六进制数有 16 个数码。每种进位计数制中允许使用的数码总数称为基数或底数。

在任何一种进位计数制中，任何一个数都由整数和小数两部分组成，并且具有两种书写形式：位置记数法和多项式表示法。

1. 十进制数(Decimal)

十进制数有以下特点：

① 采用 10 个不同的数码 0、1、2、…、9 和一个小数点(.)。

② 进位规则是“逢十进一”。

若干个数码并列在一起可以表示一个十进制数。例如在 435.86 这个数中，小数点左边第一位的 5 代表个位，它的数值为 5；小数点左边第二位的 3 代表十位，它的数值为 3×10^1；左边第三位的 4 代表百位，它的数值为 4×10^2；小数点右边第一位的值为 8×10^{-1}；小数点右边第二位的值为 6×10^{-2}。可见，数码处于不同的位置，代表的数值是不同的。这里 10^2、10^1、10^0、10^{-1}、10^{-2}称为权或位权，即十进制数中各位的权是基数 10 的幂，各位数码的值等于该数码与权的乘积。因此有

$$435.86 = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$$

上式左边称为位置记数法或并列表示法，右边称为多项式表示法或按权展开法。

一般，对于任何一个十进制数 N，都可以用位置记数法和多项式表示法写为

$$(N)_{10} = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$$

$$
\begin{aligned}
&= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} \\
&\quad + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
&= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i
\end{aligned}
\tag{1 - 1}
$$

式中，n 代表整数位数，m 代表小数位数，$a_i(-m \leqslant i \leqslant n-1)$表示第 i 位数码，它可以是 0、1、2、3、…、9 中的任意一个，10^i 为第 i 位数码的权值。

上述十进制数的表示方法也可以推广到任意进制数。对于一个基数为 $R(R \geqslant 2)$的 R 进制计数制，数 N 可以写为

$$
\begin{aligned}
(N)_R &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\
&= a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_1 \times R^1 + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} \\
&\quad + a_{-2} \times R^{-2} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\
&= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i R^i
\end{aligned}
\tag{1 - 2}
$$

式中，n 代表整数位数，m 代表小数位数，a_i 为第 i 位数码，它可以是 0、1、…、$(R-1)$个不同数码中的任何一个，R^i 为第 i 位数码的权值。

2. 二进制数(Binary)

二进制数的进位规则是“逢二进一”，其进位基数 $R=2$，每位数码的取值只能是 0 或 1，每位的权是 2 的幂。表 1 - 1 列出了二进制位数、权和十进制数的对应关系。

表 1 - 1　2 的幂与十进制值

二进制位数	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
权	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
（十进制表示）	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

二进制位数	−1	−2	−3	−4	−5	−6
权	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}
（十进制表示）	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.015625

任何一个二进制数，根据式(1 - 2)可表示为

$$
\begin{aligned}
(N)_2 &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m} \\
&= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} \\
&\quad + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
&= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 2^i
\end{aligned}
\tag{1 - 3}
$$

例如：

$$(1011.011)_2 = 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}=(11.375)_{10}$$

可见，一个数若用二进制数表示要比相应的十进制数的位数长得多，但采用二进制数却有以下优点：

① 因为它只有 0、1 两个数码，在数字电路中利用一个具有两个稳定状态且能相互转

换的开关器件就可以表示一位二进制数，因此采用二进制数的电路容易实现，且工作稳定可靠。

② 算术运算规则简单。二进制数的算术运算和十进制数的算术运算规则基本相同，惟一区别在于二进制数是“逢二进一”及“借一当二”，而不是“逢十进一”及“借一当十”。例如：

加法运算	减法运算	乘法运算	除法运算
1101.01	1101.01	1101	101…商
+1001.11	−1001.11	× 110	101)11011
10111.00	0011.10	0000	101
		1101	111
		1101	101
		1001110	10…余数

运算规则的简单，必然使运算电路和控制电路简化，因而设备也可以简单。由于有这些优点，所以目前在数字设备和计算机中几乎全都采用了二进制数。另外，为了表示和书写方便，计算机中还常常采用八进制数和十六进制数。

3. 八进制数(Octal)

八进制数的进位规则是“逢八进一”，其基数 $R=8$，采用的数码是 0、1、2、3、4、5、6、7，每位的权是 8 的幂。任何一个八进制数也可以根据式(1-2)表示为

$$(N)_8=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i8^i \qquad (1-4)$$

例如：

$$\begin{aligned}(376.4)_8&=3\times8^2+7\times8^1+6\times8^0+4\times8^{-1}\\&=3\times64+7\times8+6+0.5=(254.5)_{10}\end{aligned}$$

4. 十六进制数(Hexadecimal)

十六进制数的特点是：

① 采用的 16 个数码为 0、1、2、…、9、A、B、C、D、E、F。符号 A～F 分别代表十进制数的 10～15。

② 进位规则是“逢十六进一”，基数 $R=16$，每位的权是 16 的幂。

任何一个十六进制数，也可以根据式(1-2)表示为

$$(N)_{16}=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i16^i \qquad (1-5)$$

例如：

$$(3AB\cdot11)_{16}=3\times16^2+10\times16^1+11\times16^0+1\times16^{-1}+1\times16^{-2}=(939.0664)_{10}$$

1.1.2 进位计数制之间的转换

1. 二进制数与十进制数之间的转换

1）二进制数转换成十进制数——按权展开法

二进制数转换成十进制数时，只要将二进制数按式(1-3)展开，然后将各项数值按十

进制数相加，便可得到等值的十进制数。例如：

$$(10110.11)_2=1\times2^4+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^{-1}+1\times2^{-2}=(22.75)_{10}$$

同理，若将任意进制数转换为十进制数，只需将数$(N)_R$写成按权展开的多项式表示式，并按十进制规则进行运算，便可求得相应的十进制数$(N)_{10}$。

2）十进制数转换成二进制数

① 整数转换——除 2 取余法。若将十进制整数$(N)_{10}$转换为二进制整数$(N)_2$，则可以写成

$$\begin{aligned}(N)_{10} &= a_{n-1}\times2^{n-1}+a_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+a_1\times2^1+a_0\times2^0\\ &=2(a_{n-1}\times2^{n-2}+a_{n-2}\times2^{n-3}+\cdots+a_2\times2^1+a_1)+a_0\\ &=2Q_1+a_0\end{aligned}$$

如果将上式两边同除以 2，所得的商为$Q_1=(a_{n-1}\times2^{n-2}+a_{n-2}\times2^{n-3}+\cdots+a_2\times2^1+a_1)$，余数就是$a_0$。

同理，这个商又可以写成

$$Q_1=2(a_{n-1}\times2^{n-3}+a_{n-2}\times2^{n-4}+\cdots+a_2)+a_1$$

显然，若将上式两边再同时除以 2，则所得余数是a_1。重复上述过程，直到商为 0，就可得二进制数的数码a_0、a_1、…、a_{n-1}。

例如，将$(57)_{10}$转换为二进制数：

		余数
2	57	
2	28 …………	$1=a_0$
2	14 …………	$0=a_1$
2	7 …………	$0=a_2$
2	3 …………	$1=a_3$
2	1 …………	$1=a_4$
	0 …………	$1=a_5$

故
$$(57)_{10}=(111001)_2$$

② 小数转换——乘 2 取整法。若将十进制小数$(N)_{10}$转换为二进制小数$(N)_2$，则可以写成

$$(N)_{10}=a_{-1}\times2^{-1}+a_{-2}\times2^{-2}+\cdots+a_{-m}\times2^{-m} \tag{1-7}$$

将上式两边同时乘以 2，便得到

$$2(N)_{10}=a_{-1}+(a_{-2}\times2^{-1}+\cdots+a_{-m}\times2^{-m+1}) \tag{1-8}$$

令小数部分$(a_{-2}\times2^{-1}+a_{-3}\times2^{-2}+\cdots+a_{-m}\times2^{-m+1})=F_1$，则上式可写成

$$2(N)_{10}=a_{-1}+F_1$$

因此，$2(N)_{10}$乘积的整数部分就是a_{-1}。若将$2(N)_{10}$乘积的小数部分F_1再乘以 2，则有

$$2F_1=a_{-2}+(a_{-3}\times2^{-1}+a_{-4}\times2^{-2}+\cdots+a_{-m}\times2^{-m+2})$$

所得乘积的整数部分就是a_{-2}。显然，重复上述过程，便可求出二进制小数的各位数码。

例如，将$(0.724)_{10}$转换成二进制小数。

$$
\begin{array}{rll}
 & 0.724 & \\
\times & 2 & \text{整数} \\
\hline
 & 1.448 \cdots\cdots & 1=a_{-1} \\
 & 0.448 & \\
\times & 2 & \\
\hline
 & 0.896 \cdots\cdots & 0=a_{-2} \\
\times & 2 & \\
\hline
 & 1.792 \cdots\cdots & 1=a_{-3} \\
 & 0.792 & \\
\times & 2 & \\
\hline
 & 1.584 \cdots\cdots & 1=a_{-4}
\end{array}
$$

故
$$(0.724)_{10}=(0.1011)_2$$

可见，小数部分乘 2 取整的过程，不一定能使最后乘积为 0，因此转换值存在误差。通常在二进制小数的精度已达到预定的要求时，运算便可结束。

将一个带有整数和小数的十进制数转换成二进制数时，必须将整数部分和小数部分分别按除 2 取余法和乘 2 取整法进行转换，然后再将两者的转换结果合并起来即可。

同理，若将十进制数转换成任意 R 进制数$(N)_R$，则整数部分转换采用除 R 取余法；小数部分转换采用乘 R 取整法。

2. 二进制数与八进制数、十六进制数之间的相互转换

八进制数和十六进制数的基数分别为 $8=2^3$，$16=2^4$，所以三位二进制数恰好相当一位八进制数，四位二进制数相当一位十六进制数，它们之间的相互转换是很方便的。

二进制数转换成八进制数的方法是从小数点开始，分别向左、向右，将二进制数按每三位一组分组(不足三位的补 0)，然后写出每一组等值的八进制数。

例如，求$(01101111010.1011)_2$的等值八进制数：

$$
\begin{array}{lcccccccc}
\text{二进制} & \underline{001} & \underline{101} & \underline{111} & \underline{010} & . & \underline{101} & \underline{100} \\
\text{八进制} & 1 & 5 & 7 & 2 & . & 5 & 4
\end{array}
$$

所以
$$(01101111010.1011)_2=(1572.54)_8$$

二进制数转换成十六进制数的方法和二进制数与八进制数的转换相似，从小数点开始分别向左、向右将二进制数按每四位一组分组(不足四位补 0)，然后写出每一组等值的十六进制数。

例如，将(1101101011.101)转换为十六进制数：

$$
\begin{array}{cccccc}
\underline{00\ 11} & \underline{01\ 10} & \underline{10\ 11} & . & \underline{10\ 10} \\
3 & 6 & \mathrm{B} & . & \mathrm{A}
\end{array}
$$

所以
$$(1101101011.101)_2=(36\mathrm{B.A})_{16}$$

八进制数、十六进制数转换为二进制数的方法可以采用与前面相反的步骤，即只要按原来顺序将每一位八进制数(或十六进制数)用相应的三位(或四位)二进制数代替即可。

例如，分别求出$(375.46)_8$、$(678.A5)_{16}$的等值二进制数：

八进制	3	7	5	. 4	6	十六进制	6	7	8	.	A	5
二进制	011	111	101	.100	110	二进制	0110	0111	1000	.	1010	0101

所以 $(375.46)_8=(011111101.100110)_2$，$(678.A5)_{16}=(011001111000.10100101)_2$

1.2 编　码

在数字系统中，任何数据和信息都是用若干位“0”和“1”组成的二进制代码来表示的。n位二进制码元，可以组成2^n种不同的代码，代表2^n种不同的信息或数据。因此，用若干位二进制码元按一定规律排列起来表示给定信息的过程称为编码。下面介绍数字系统中常用的编码及特性。

1.2.1 二—十进制编码(BCD码)

二—十进制编码是用四位二进制码的10种组合表示十进制数0～9，简称BCD码(Binary Coded Decimal)。

这种编码至少需要用四位二进制码元，而四位二进制码元可以有16种组合。当用这些组合表示十进制数0～9时，有六种组合不用。由16种组合中选用10种组合，有

$$A_{16}^{10}=\frac{16!}{(16-10)!}\approx 2.9\times 10^{10}$$

种编码方案，但并不是所有的方案都有实用价值，表1-2列出了几种常用BCD码的编码方式。

表1-2 几种常用的BCD码

十进制数	8421码	5421码	2421码	余3码	BCD Gray码
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	1011	1000	0111
6	0110	1001	1100	1001	0101
7	0111	1010	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1100	1000

1. 8421 BCD码

8421 BCD码是最基本和最常用的BCD码，它和四位自然二进制码相似，各位的权值为8、4、2、1，故称为有权BCD码。和四位自然二进制码不同的是，它只选用了四位二进

制码中前 10 组代码，即用 0000～1001 分别代表它所对应的十进制数，余下的六组代码不用。

2. 5421 BCD 码和 2421 BCD 码

5421 BCD 码和 2421 BCD 码为有权 BCD 码，它们从高位到低位的权值分别为 5、4、2、1 和 2、4、2、1。这两种有权 BCD 码中，有的十进制数码存在两种加权方法，例如，5421 BCD 码中的数码 5，既可以用 1000 表示，也可以用 0101 表示，2421 BCD 码中的数码 6，既可以用 1100 表示，也可以用 0110 表示。这说明 5421 BCD 码和 2421 BCD 码的编码方案都不是惟一的，表 1 - 2 只列出了一种编码方案。

表 1 - 2 中 2421 BCD 码的 10 个数码中，0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的代码的对应位恰好一个是 0 时，另一个就是 1。我们称 0 和 9、1 和 8 互为反码。因此 2421 BCD 码具有对 9 互补的特点，它是一种对 9 的自补代码(即只要对某一组代码各位取反就可以得到 9 的补码)，在运算电路中使用比较方便。

3. 余 3 码

余 3 码是 8421 BCD 码的每个码组加 3 (0011)形成的。余 3 码也具有对 9 互补的特点，即它也是一种 9 的自补码，所以也常用于 BCD 码的运算电路中。

用 BCD 码可以方便地表示多位十进制数，例如十进制数$(579.8)_{10}$可以分别用 8421 BCD 码、余 3 码表示为

$$
\begin{aligned}
(579.8)_{10} &= (0101\quad 0111\quad 1001.1000)_{8421\text{BCD码}} \\
&= (1000\quad 1010\quad 1100.1011)_{\text{余3码}}
\end{aligned}
$$

1.2.2 可靠性编码

代码在形成、传输过程中可能会发生错误。为了减少这种错误，出现了可靠性编码，其常用的有两种。

1. Gray 码(格雷码)

Gray 码也称循环码，其最基本的特性是任何相邻的两组代码中，仅有一位数码不同，因而又叫单位距离码。

Gray 码的编码方案有多种，典型的 Gray 码如表 1 - 3 所示。从表中看出，这种代码除了具有单位距离码的特点外，还有一个特点就是具有反射特性，即按表中所示的对称轴为界，除最高位互补反射外，其余低位数沿对称轴镜像对称。利用这一反射特性可以方便地构成位数不同的 Gray 码。

Gray 码的单位距离特性有很重要的意义。假如两个相邻的十进制数 13 和 14，相应的二进制码为 1101 和 1110。在用二进制数作加 1 计数时，如果从 13 变 14，二进制码的最低两位都要改变，但实际上两位改变不可能完全同时发生，若最低位先置 0，然后次低位再置 1，则中间会出现 1101—1100—1110，即出现暂短的误码 1100，而 Gray 码因只有一位变化，因而杜绝了出现这种错误的可能。

BCD Gray 码是一种具有单位距离特性的 BCD 码，其编码方案也很多，表 1 - 2 最右边仅列出了一种，它有前九组代码与典型的四位 Gray 码相同，仅最后一组代码不同，用 1000 代替了 Gray 码的 1101，这是因为从最大数 9 返回到 0，也应具有单位距离特性。