"十二五"普通高等教育本科国家级规划教材

"十二五"江苏省高等学校重点教材

21世纪高等学校计算机基础实用规划教材

数字逻辑电路设计学习指导与实验教程

（第二版）

马汉达 赵念强 曾宇 等 编著

鲍可进 主审

DLC

清华大学出版社

"十二五"普通高等教育本科国家级

"十二五"江苏省高等学校重点教材（编号：2014-1-021）

21世纪高等学校计算机基础实用规划教材

数字逻辑电路设计
学习指导与实验教程
（第二版）

马汉达 赵念强 曾宇 等 编著

清华大学出版社

内容简介

本书分为两部分，第一部分是课程的学习指导，根据鲍可进主编的《数字逻辑电路设计》（第二版）教材的内容，主要从课程的要点指导、例题精讲、习题答案3个方面对每一章的重点内容进行概括和总结，方便学生学习；第二部分是实验教程，主要介绍数字逻辑电路设计课程实验涉及的相关内容，如EDA技术的基本概念、开发方法，QuartusⅡ开发工具，以提高学生实践动手能力和工程设计能力为目的。本书精心选择了若干个基础实验和综合性的实验内容，实验具有一定的层次性，还具有较强的综合性、设计性、实用性和趣味性，能够引起学生的学习兴趣，从而激发他们内在的学习动力。

本书可作为高等院校电子信息、通信工程、计算机科学与技术、软件工程、网络工程、自动化等电气信息类专业数字逻辑电路设计课程和EDA技术课程的实验教学用书，同时也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数字逻辑电路设计学习指导与实验教程/马汉达，赵念强，曾宇等编著. --2版. --北京：清华大学出版社，2015

21世纪高等学校计算机基础实用规划教材

ISBN 978-7-302-40884-0

Ⅰ. ①数… Ⅱ. ①马… ②赵… ③曾… Ⅲ. ①数字电路－逻辑电路－电路设计－高等学校－教材 Ⅳ. ①TN790.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第164373号

责任编辑：刘向威 薛 阳
封面设计：常雪影
责任校对：焦丽丽
责任印制：杨 艳

出版发行：清华大学出版社
网 址：http://www.tup.com.cn，http://www.wqbook.com
地 址：北京清华大学学研大厦A座 **邮 编：**100084
社 总 机：010-62770175 **邮 购：**010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
课 件 下 载：http://www.tup.com.cn，010-62795954
印 装 者：三河市春园印刷有限公司
经 销：全国新华书店
开 本：185mm×260mm **印 张：**13.5 **字 数：**323千字
版 次：2012年8月第1版 2015年8月第2版 **印 次：**2015年8月第1次印刷
印 数：1～2000
定 价：25.00元

产品编号：064143-01

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化，高等教育也得到了快速发展，各地高校紧密结合地方经济建设发展需要，科学运用市场调节机制，加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度，通过教育改革合理调整和配置了教育资源，优化了传统学科专业，积极为地方经济建设输送人才，为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是，高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要，不少高校的专业设置和结构不尽合理，教师队伍整体素质亟待提高，人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变，学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007 年 1 月，教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》，计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程（简称‘质量工程’）”，通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容，进一步深化高等学校教学改革，提高人才培养的能力和水平，更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中，各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势，对其特色专业及特色课程（群）加以规划、整理和总结，更新教学内容、改革课程体系，建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上，经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议，清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程，分别规划出版系列教材，以配合“质量工程”的实施，满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机公共课程领域，以公共基础课为主、专业基础课为辅，横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 面向多层次、多学科专业，强调计算机在各专业中的应用。教材内容坚持基本理论适度，反映各层次对基本理论和原理的需求，同时加强实践和应用环节。

(2) 反映教学需要，促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要，正确把握教学内容和课程体系的改革方向，在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养，为学生的知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略，突出重点，保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上；特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版，逐步形成精品教材；提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本，合理配套。基础课和专业基础课教材配套，同一门课程可以有针对不同层次、面向不同专业的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化，基本教材与辅助教材、教学参考书，文字教材与软件教材的关系，实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21世纪高等学校计算机基础实用规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前　言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，作者编写了此教材。

本书分为两部分，共 10 章。第一部分是“数字逻辑电路设计”课程的学习指导，共分 6 章，是根据鲍可进教授主编的《数字逻辑电路设计(第二版)》教材的第 1～6 章的主要内容从要点指导、例题精讲、习题答案 3 个方面进行归纳和总结，对于学生学习该课程具有很好的指导价值。第二部分是数字逻辑电路的实验教程，共分 4 章，主要对数字逻辑电路设计和 EDA 技术课程实验涉及的相关内容进行介绍，内容包括 EDA 的基本概念、设计流程、设计方法和常用开发工具以及 Quartus Ⅱ 的设计流程、文本输入设计过程和原理图设计方法。在第二版中对第 1 版内容进行了优化，本书的基本实验部分以提高学生实践动手能力和工程设计能力为目的，精心选择了 20 个不同难度的基础实验，供不同专业、不同学时的学生选用；综合性设计性的实验部分，设计了 6 个典型工程应用设计案例，所有的实验项目在内容安排上由浅入深、循序渐进，便于读者的学习和教学使用。

本书由马汉达、赵念强、曾宇等编著，鲍可进主审，其中第一部分的第 1～6 章由赵念强主要负责编写，其中的第 1 章 1.3 节、第 5 章的 5.3 节由鲍可进编写，第 2 章的 2.3 节和第 4 章的 4.3 节由赵不贿编写。第二部分的第 7～9 章和附录部分由马汉达编写，第 10 章由曾宇、马汉达编写。由于作者水平有限，书中难免存在不当之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

2015 年 6 月

目 录

第一部分 学习指导

第二部分 实验教程

第一部分　学习指导

第 1 章　数字系统与编码

【学习要求】

本章讲述了数字系统中最基础的知识——数制与编码，主要包括各种进制数的表示方法与相互转换、带符号二进制数的编码表示方法及运算、十进制数的二进制编码、各种可靠性编码及字符编码。要求学生重点掌握各种进制数之间的相互转换、真值与三种机器数（原码、反码、补码）之间的相互转换、补码的运算、十进制数与 8421 码和余 3 码之间的相互转换以及 8421 码和余 3 码的加减运算、二进制数与格雷码之间的相互转换。

1.1　要 点 指 导

1. 数制

1）进位记数制

数制是指用一组固定的符号和统一的规则进行记数的方法。如果按照进位规则记数，则称为进位记数制。任何一种进位记数制都有基数和权两个基本要素。

基数是指某种进位记数制中使用的数字符号的个数。权是指在某种进位记数制中，数字符号根据其所处的位置不同所代表的单位大小。

数有并列表示法和多项式表示法两种表示方法。并列表示法是将各位数字简单罗列的方法，如$(N)_R=(r_{n-1}r_{n-2}\cdots r_1 r_0.r_{-1}r_{-2}\cdots r_{-m})_R$，$r_i\in\{0,1,2,\cdots,R-1\}$表示有 n 位整数和 m 位小数的 R 进制数据。多项式表示法又称为按权展开式，即将各位的数字与其对应的权相乘然后再求和的一种表示方法。如：

$$
\begin{aligned}
(N)_R &= (r_{n-1}r_{n-2}\cdots r_1 r_0.r_{-1}r_{-2}\cdots r_{-m})_R \\
&= (r_{n-1}\times R^{n-1}+r_{n-2}\times R^{n-2}+\cdots r_1\times R^1+r_0\times R^0 \\
&\quad +r_{-1}\times R^{-1}+r_{-2}\times R^{-2}+\cdots+r_{-m}\times R^{-m})_R \\
&= \sum_{i=-m}^{n-1} r_i\times R^i,\quad r_i\in\{0,1,2,\cdots,R-1\}
\end{aligned}
$$

常用的进位记数制有二进制、八进制、十进制、十六进制等，其特点如表 1-1 所示。

表 1-1　4 种常用进位记数制的特点

数制	基数	使用的字符	进位规则	表示形式	权
二进制	2	0、1	逢二进一	$(N)_2=(r_{n-1}\cdots r_0.r_{-1}\cdots r_{-m})_2=\sum_{i=-m}^{n-1}r_i\times 2^i$	2^i
八进制	8	0～7	逢八进一	$(N)_8=(r_{n-1}\cdots r_0.r_{-1}\cdots r_{-m})_8=\sum_{i=-m}^{n-1}r_i\times 8^i$	8^i

续表

数制	基数	使用的字符	进位规则	表示形式	权
十进制	10	0～9	逢十进一	$(N)_{10}=(r_{n-1}\cdots r_0.r_{-1}\cdots r_{-m})_{10}=\sum_{i=-m}^{n-1}r_i\times 10^i$	10^i
十六进制	16	0～9,A～F	逢十六进一	$(N)_{16}=(r_{n-1}\cdots r_0.r_{-1}\cdots r_{-m})_{16}=\sum_{i=-m}^{n-1}r_i\times 16^i$	16^i

2）数制转换

各种进制数之间的相互转换方法汇总如表 1-2 所示。

表 1-2　进制转换方法汇总

进制转换	方　法	要　点
α 进制→十进制	按权展开法	第 i 位的权为 α^i，而非 10^i
十进制整数→α 进制	除 α 取余法	直到商为 0 为止，第一次得到的余数为最低位，最后一次得到的余数为最高位
十进制小数→α 进制	乘 α 取整法	直到小数部分为 0 或达到要求的精度为止，第一次得到的整数为最高位，最后一次得到的整数为最低位
α 进制↔β 进制	α 进制↔十进制↔β 进制	以十进制为桥梁进行转换
2^i 进制↔二进制	1 位 2^i 进制↔i 位二进制	牢记 1 位 2^i 进制与 i 位二进制之间的对应关系
2^i 进制↔2^j 进制	2^i 进制↔二进制↔2^j 进制	以二进制为桥梁进行转换，牢记 1 位 2^i、2^j 进制与 i、j 位二进制之间的对应关系

表中 2^i 进制↔2^j 进制的转换，常见的是八进制和十六进制之间的相互转换，以二进制为桥梁要比以十进制为桥梁更为方便，但要牢记 1 位 2^i、2^j 进制与 i、j 位二进制之间的对应关系。可以采用按权展开的方法进行记忆。

十进制→α 进制的转换也可以按照“按权累加”的方法直接进行，这样比采用“除 α 取余”法和“乘 α 取整”法更方便快捷。如：

$$\begin{aligned}(169.375)_{10}&=(128)_{10}+(32)_{10}+(8)_{10}+(1)_{10}+(0.25)_{10}+(0.125)_{10}\\&=(10101001.011)_2\end{aligned}$$

2. 编码

1）带符号数的代码表示

这部分首先要掌握真值和机器数的概念。真值是人们直接用＋号和－号表示数据正、负的一种带符号数的表示方法。机器数是计算机或其他数字系统中有符号数的表示方法，即将＋号和－号转换成数字 0 和 1，并将数据位做适当变换(或不变换)的表示方法。根据数据位变换规则的不同，机器数有原码、反码和补码三种常见的表示形式，表 1-3 对这三种机器数进行了总结。

相对于原码和反码来讲，补码有表示形式唯一、运算速度快等优势，因此在计算机等数字系统中被广泛使用。教材中有关补码的快速求法和特殊数据的补码求法需要熟练掌握。另外，要熟练掌握真值、原码、反码和补码之间的相互转换，已知其中任意一种代码，应能熟练地写出其他代码。代码之间的相互转换方法是相同的，如从负数的原码到补码的转换是数值位变反加 1，符号位不变，那么从负数的补码到原码的转换也是数值位变反加 1，符号位不变。

表 1-3　三种常见机器数的比较

机器数	原　码	反　码	补　码
编码规则	符号位：+和−转换成 0 和 1，数值位不变	符号位：+和−转换成 0 和 1，正数的数值位不变，负数的数值位按位取反	符号位：+和−转换成 0 和 1，正数的数值位不变，负数的数值位变反加 1
0 的表示形式	$[+0]_{原}=0.00\cdots00$ $[-0]_{原}=1.00\cdots00$	$[+0]_{反}=0.00\cdots00$ $[-0]_{反}=1.11\cdots11$	$[+0]_{补}=0.00\cdots00$ $[-0]_{补}=0.00\cdots00$
n 位代码的表示范围	整数：$-2^{n-1}<N<2^{n-1}$ 小数：$-1<N<1$	整数：$-2^{n-1}<N<2^{n-1}$ 小数：$-1<N<1$	整数：$-2^{n-1}\leqslant N<2^{n-1}$ 小数：$-1\leqslant N<1$
加减运算规则	数值位进行加减运算，符号位需单独处理	符号位一起参与运算，加减运算统一成加法运算，需要循环进位 $[N_1+N_2]_{反}=[N_1]_{反}+[N_2]_{反}$ $[N_1-N_2]_{反}=[N_1]_{反}+[-N_2]_{反}$	符号位一起参与运算，加减运算统一成加法运算，不需要循环进位 $[N_1+N_2]_{补}=[N_1]_{补}+[N_2]_{补}$ $[N_1-N_2]_{补}=[N_1]_{补}+[-N_2]_{补}$

这里还要注意，教材中讲述已知$[N]_{补}$求$[-N]_{补}$时，引入了求补的概念，即

$$[-N]_{补}=[[N]_{补}]_{求补}$$

这里的求补运算是连同符号位一起变反加 1，不区分数据的正负，与求补码的运算是两个不同的概念。

另外，在计算机等数字系统中真值的表示可以采用不同的位数，如 8 位、16 位等，因此同一个数的真值，因为使用的位数不同会有多种不同的表示方法。比如教材中讲到 $N=-2^{n-1}$（n 为代码的长度）时，给出的结论是$[N]_{补}=2^{n-1}$，如 $N=-10000$，则$[N]_{补}=10000$。有的同学会质疑，因为采用变反加 1 法得到的结论是$[N]_{补}=110000$。这里的问题就是代码位数的问题，教材中讲的是 $N=-2^{n-1}$这样的特殊数的补码的求法，而且这里 n 是代码的位数（包括符号位），而用变反加 1 法求得的$[N]_{补}=110000$ 是用 $n+1$ 位表示的，同样若用 $n+2$ 位表示，则$[N]_{补}=1110000$。

2）十进制数的二进制编码

通常称为二-十进制编码，即 BCD 码。常用的 BCD 码有 8421 码、2421 码和余 3 码三种，因 8421 码是其中最常用的一种，所以 8421 码也常简称为 BCD 码。按照代码的各位是否有固定的权值，BCD 码分为有权码（各位有固定的权，如 8421 码、2421 码等）、偏权码（在有权码的基础上加上一个偏值，如余 3 码）和无权码（如格雷码等）三种类型。

三种 BCD 码与十进制数之间的相互转换，是以 4 位对应 1 位直接进行变换的。一个 n 位十进制数对应的 BCD 码为 $4n$ 位。

这里应特别强调的是，BCD 码不是二进制数，而是用二进制编码表示的十进制数，因此每种 BCD 码都仅有与十进制的“0”～“9”对应的 10 组有效代码，另外 6 组为非法代码。

虽然 BCD 码表示的是十进制数据，但因其编码采用的是相当于 1 位十六进制的 4 位二进制数据，内部运算时也就按照十六进制的进位规则进行。因此用 BCD 码进行加减运算时，需要对运算结果进行适当的修正。

8421 码的加法修正规则是，当两个 8421 码相加的结果无进位且小于或等于 9 时，则不需要修正（或加 0 修正）；当相加的结果大于 9 或有进位时，则该位需加 6 修正；低位修正的

结果使高位大于 9 或有进位时,则高位也应加 6 修正。

余 3 码的加法修正规则是,当两个余 3 码相加的结果无进位时,和需要减 3 进行修正,否则和需要加 3 进行修正。

3) 可靠性编码

可靠性代码可以提高信息传输的准确性。有两种方法可以实现代码的可靠性,一种是基于代码本身的某种特征(如相邻代码间仅有 1 位数字不同),使得代码在形成过程中不易出错。另一种是代码出错时可以被发现,甚至能对错误进行定位并予以纠正,这种代码称为校验码。

教材讲述了格雷码、奇偶校验码和汉明码三种常用的可靠性编码。格雷码就是具备上述第一种特性的可靠性编码,对于格雷码,学习时应重点掌握其代码的特点、编码方式以及与普通二进制码之间的相互转换方法。奇偶校验码和汉明码属于校验码,其中奇偶校验码因为只有 1 位校验位,相对比较简单,掌握其编码方法和校验规则即可。汉明码实际上是多重奇偶校验码(有多个校验位,进行分组奇偶校验),其功能比奇偶校验码更强大,可以对单个错误进行定位,学习时应重点理解其编码的方法和校验的过程。

4) 字符编码

这部分内容重点掌握常见字符的 ASCII 代码,后续的计算机课程中会经常用到。

数字"0"~"9": 30H~39H(后缀 H 表示是十六进制数据);

大写字母"A"~"H": 41H~5AH;

小写字母"a"~"h": 61H~7AH,与大写字母相差 20H;

空格: 20H,回车: 0DH,换行: 0AH。

1.2 例题精讲

例 1-1 将十进制数 80.125 转换成二进制数和十六进制数。

解: 十进制数转换成任意进制数的基本方法是"基数乘除法",用该方法进行转换的过程如下:

$$
\begin{array}{r|l l}
2 & 80 & \\
2 & 40 & \cdots 0 \\
2 & 20 & \cdots 0 \\
2 & 10 & \cdots 0 \\
2 & 5 & \cdots 0 \\
2 & 2 & \cdots 1 \\
2 & 1 & \cdots 0 \\
 & 0 & \cdots 1
\end{array}
\uparrow
\qquad
\begin{array}{r l}
 & 0.125 \\
\times & 2 \\ \hline
 & 0.250 \quad \cdots 0 \\
\times & 2 \\ \hline
 & 0.500 \quad \cdots 0 \\
\times & 2 \\ \hline
 & 1.000 \quad \cdots 1
\end{array}
\downarrow
$$

$$
\begin{array}{r|l l}
16 & 80 & \\
16 & 5 & \cdots 0 \\
 & 0 & \cdots 5
\end{array}
\uparrow
\qquad
\begin{array}{r l}
 & 0.125 \\
\times & 16 \\ \hline
 & 2.000 \quad \cdots 2
\end{array}
$$

即

$$(80.125)_{10}=(1010000.001)_2=(50.2)_{16}$$

在掌握基本方法的基础上，针对具体问题可灵活处理，尽可能采用简单快速的方法。本例采用“按权累加”法更快捷，具体过程为：

因为

$$(80.125)_{10}=64+16+0.125=2^6+2^4+2^{-3}$$

又因为

$$2^6=(1000000)_2,2^4=(10000)_2,2^{-3}=(0.001)_2$$

所以

$$(80.125)_{10}=(1010000.001)_2$$

求出对应的二进制数之后，可以直接按照二进制数与十六进制数的对应关系，采用“4位变1位”的方法直接求出对应的十六进制数据，具体过程如下：

$$\underset{\displaystyle 5}{\underset{\downarrow}{\underline{0\ 1\ 0\ 1}}}\quad \underset{\displaystyle 0}{\underset{\downarrow}{\underline{0\ 0\ 0\ 0}}}\,.\,\underset{\displaystyle 2}{\underset{\downarrow}{\underline{0\ 0\ 1\ 0}}}$$

所以

$$(80.125)_{10}=(50.2)_{16}$$

例 1-2 已知 $N=-\frac{13}{64}$，求$[N]_{补}$和$[-N]_{补}$。

解：一般同学拿到该题后，可能首先会想到先把分数化成十进制小数，然后再转换成二进制数据，最后再求补码。这种方法虽然步骤正确但比较烦琐，而且有时会因为除不尽而影响转换精度。

实际上，联想到教材中介绍的根据$[N]_{补}$求$\left[\frac{N}{2}\right]_{补}$的方法，不难找出该问题的简便解法。因为 $N=-\frac{13}{64}=-\frac{13}{2^6}$，所以，只要写出十进制$-13$ 对应的二进制数-1101，然后将小数点左移 6 位（整数的小数点默认在最低位的右边），便可得到 N 的二进制小数-0.001101，再求其补码即可得到$[N]_{补}=1.110011$。

当然也可以通过先求-13，即二进制数-1101 的补码$[-1101]_{补}=1110011$（用 7 位代码表示），然后再将小数点左移 6 位，同样得到$[N]_{补}=1.110011$。

注意，教材中所讲的已知$[N]_{补}$求$\left[\frac{N}{2}\right]_{补}$的方法，是假设$\frac{N}{2}$仍然为整数的情况下进行的，此时将$[N]_{补}$右移 1 位，保持符号位不变，将最右边的位忽略即可（如略去的是 1 则有精度损失）。而此处 $N=-\frac{13}{64}$为小数，是通过左移-13 对应的二进制数的小数点进行的（对于定点小数，小数点左移 1 位即相当于原数据右移 1 位）。

本题的另外一个问题，求$[-N]_{补}$可以通过对$[N]_{补}$进行求补运算得到，即

$$[-N]_{补}=[[N]_{补}]_{求补}=0.001101$$

当然也可以直接对$-N=0.001101$ 直接求补码得到。这里应注意求补码的运算和求补运算是两个完全不同的概念。

例 1-3 已知$[N_1]_{反}=10110101$、$[N_2]_{补}=10000000$,求 N_1 和 N_2 对应的十进制真值。

解:前面已经强调,大家要掌握三种机器数与真值之间的相互转换,已知其中任意一种代码,就应该能快速地写出其余代码。任意两种代码之间的相互转换方法是相同的,比如已知原码求反码的方法是符号位不变,负数时数值位取反,那么从反码回到原码也是同样的过程。

在本题中,因为$[N_1]_{反}=10110101$,所以$[N_1]_{原}=11001010$,进而 $N_1=(-1001010)_2=(-74)_{10}$。

对于本题的 N_2 要特别注意,它属于-2^{n-1}(n 为代码长度)这样的特殊数字的补码。因为$[N_2]_{补}=10000000$,所以 $N_2=(-10000000)_2=(-128)_{10}$。

例 1-4 求二进制数 B=1000011.101 对应的 8421 码。

解:8421 码是用 4 位二进制编码表示 1 位十进制数字的 BCD 码,所以求二进制数的 8421 码,就要先将给定的二进制数转换成十进制数,然后再求相应十进制数的 8421 码。

$$(1000011.101)_2=(67.625)_{10}=(01100111.011000100101)_{8421}$$

例 1-5 求余 3 码 100010101001 对应的二进制数据,并将所得的二进制数转换为典型的 Gray 码。

解:余 3 码同样是用 4 位二进制编码表示 1 位十进制数字的 BCD 码,所以求余 3 码对应的二进制数,也应先求出其表示的十进制数,然后再转换成二进制数。求出二进制数之后,根据二进制数与典型 Gray 码之间的转换公式,可求出对应的典型 Gray 码。

$$(100010101001)_{余3}=(576)_{10}=(1001000000)_2=(1101100000)_{Gray}$$

例 1-6 某机器对标准 ASCII 代码进行了扩充,用一个字节表示,其中最高位 P 为奇偶校验位,低 7 位 $X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$ 为标准 ASCII 码的数据位。如果校验位 P 的生成方式为 $P=X_6\oplus X_5\oplus X_4\oplus X_3\oplus X_2\oplus X_1\oplus X_0$,问该 ASCII 码的校验方式是奇校验还是偶校验。若要改成另外一种校验方式,则 P 的生成表达式应如何修改?

解:异或运算$\oplus$具有"奇数个 1 相异或结果为 1,偶数个 1 相异或结果为 0"的性质,所以,当数据位 $X_6X_5X_4X_3X_2X_1X_0$ 中含有奇数个 1 时,P 为 1,从而使整个代码中 1 的个数为偶数,所以该机器中 ASCII 码的校验方式是偶校验。

不难理解,若要改成奇校验方式,则 P 的生成表达式应为 $P=X_6\oplus X_5\oplus X_4\oplus X_3\oplus X_2\oplus X_1\oplus X_0\oplus 1$。

例 1-7 某机器中十进制数采用 8421 码表示,试给出十进制数加法 87+74=161 用 8421 码运算的过程。

解:前面已经讲过 8421 码加法,需要对结果进行修正。方法是:当两个 8421 码相加的结果无进位且小于或等于 9 时,不需要修正(或加 0 修正);当相加的结果大于 9 或有进位时,则该位需加 6 修正;低位修正的结果使高位大于 9 或有进位时,则高位也应加 6 修正。

本题的运算过程如下:

$$\begin{array}{cccccccccl}
 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & (87) \\
+) & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & (74) \\
\hline
 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & \\
+) & & & & & 0 & 1 & 1 & 0 & \text{结果的低位大于9,加6调整} \\
\hline
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \\
+) & 0 & 1 & 1 & 0 & & & & & \text{向高位产生进位,高位加6调整} \\
\hline
1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \text{表示十进制的161,结果正确}
\end{array}$$