高等学校理工类课程学习辅导丛书

数字电子技术基础（第六版）

学习辅导与习题解答

阎石　王红　编

高等教育出版社

高等学校理工类课程学习辅导丛书

数字电子技术基础（第六版）

学习辅导与习题解答

SHUZI DIANZI JISHU JICHU XUEXI FUDAO YU XITI JIEDA

阎石　王红　编

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是为配合清华大学电子学教研组编、阎石主编的《数字电子技术基础（第六版）》教材的使用而编写的。内容包括：数字电子技术基础课程的特点和学习方法，各章内容的重点、难点释疑和解题方法，《数字电子技术基础（第六版）》习题解答，自测试卷及答案四部分。

本书除了可作为电气、电子信息类各专业本科生学习数字电子技术基础课程的辅助教材以外，也可供其他相关专业师生和社会读者参考。

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础（第六版）学习辅导与习题解答/阎石，王红编. --北京：高等教育出版社，2016.4

ISBN 978-7-04-044734-7

Ⅰ.①数… Ⅱ.①阎… ②王… Ⅲ.①数字电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字（2016）第020853号

策划编辑	欧阳舟	责任编辑	欧阳舟	封面设计	李卫青	版式设计	童　丹
插图绘制	杜晓丹	责任校对	杨凤玲	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	网　　址	http://www.hep.edu.cn
社　　址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印　　刷	高教社（天津）印务有限公司		http://www.hepmall.com
开　　本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印　　张	24.25		
字　　数	590千字	版　　次	2016年4月第1版
购书热线	010-58581118	印　　次	2016年4月第1次印刷
咨询电话	400-810-0598	定　　价	39.80元

物 料 号　44734-00

前　　言

本书是为配合《数字电子技术基础（第六版）》（阎石主编，高等教育出版社出版）的使用而编写的辅助教材。全书由“数字电子技术基础课程的特点和学习方法”、“各章内容的重点、难点释疑和解题方法”、“《数字电子技术基础（第六版）》习题解答”和“自测试卷及答案”四部分组成。

对于任何一门课程的学习，每个人都可以选择适合自己的具体学习方法。因此，写入“数字电子技术基础课程的特点和学习方法”的目的，仅在于指出本门课程区别于其他基础类课程的特点，以及提醒在学习这门课程的过程中应当注意的几个问题。

在第二部分“各章内容的重点、难点释疑和解题方法”中，虽然给出了每一种类型题目的解题方法和具体步骤，但这并不意味着在任何情况下，都必须机械地套用这些方法和步骤。根据题目的具体条件和要求，有时可以省略其中的某些步骤，或者采用其他更为简捷的解题方法。

书中的第三部分给出了《数字电子技术基础（第六版）》全部习题的解答。除了第一、二章以外，其他各章的习题中设计性习题占有相当大的比重。由于多数设计性题目的答案不是唯一的，所以这里给出的答案只是其中的一种，不能作为判断正误的唯一标准。

为了帮助读者自行检查对本门课程基本内容掌握的情况，在第四部分给出了 7 份不同的自测试卷和答案。其中的评分标准仅供评估学习成绩时参考。此外，这些试卷中的试题还可以作为练习题使用。

习题解答部分出现的“图×.×.×”、“式×.×.×”、“表×.×.×”都是《数字电子技术基础（第六版）》中的插图、公式、图表的编号。而“图×-×-×”、“式×-×-×”、“表×-×-×”则是本书“各章内容的重点、难点释疑和解题方法”部分中使用的编号。请阅读时注意区分。

虽然书中的习题、例题、试题的大部分都在教学过程中使用过，但仍难免存在各种错误和不妥之处，恳求读者给予批评指正。

作　者

2015 年 10 月

目　　录

第四部分 自测试卷及答案

第一部分

数字电子技术基础课程的特点和学习方法

数字电子技术基础是一门关于电子技术应用的技术基础课程。它除了具备技术基础课程的一般性特点(具有自身比较完整的理论体系,而且是许多后续课程的公共基础)以外,还具有实践性很强的特点。由于课程内容涉及的许多具体电子电路都可以作为最终的实用电路或者工业产品,所以它不是一门纯理论性质的技术基础课程。

针对上述特点,建议在学习这门课程的过程中注意以下几点:

一、掌握学习的重点。

数字电子技术的应用是一个十分浩瀚的领域。不仅花样繁多的“数码”产品随处可见,而且数字电子电路也是各行各业使用的许多重要仪器和设备中不可缺少的组成部分,甚至是核心部分。

不难想象,针对不同用途而设计制作的数字电子电路是层出不穷的。我们不可能、也不需要去逐个分析和研究它们。但是它们所涉及的基本概念、基本原理、分析方法和设计方法却是共同的。只要掌握了这些基本的原理和方法,我们就能够分析给出任何一种数字电路;也能够根据要求实现的逻辑功能,设计出相应的逻辑电路。因此,应当把教材中讲述的数字电子技术基本概念、基本原理、分析方法和设计方法作为重点学习的内容。

教材中也较为深入地介绍了目前使用的各类数字集成电路的特性。其目的在于帮助读者学习并掌握这些器件的正确使用方法,而不在于研究器件本身的设计和制作。因此,学习的重点应当放在掌握它们的外部特性(包括实现的逻辑功能以及输入端、输出端的电气特性——亦即表示电压与电流关系的所谓“外特性”)和使用方法上。

为了能够正确理解和运用这些集成电路的外特性,需要熟悉它们的输入电路和输出电路的结构以及这些电路结构的工作原理。至于集成电路内部的详细结构和工作过程不是本课程的重点学习内容,更不需要去记忆那些中、大规模集成电路内部的逻辑图。

二、要学会运用工程近似的方法处理工程实际问题。

实际的工程技术问题往往是比较复杂的,影响的因素很多。在满足精度要求的条件下经常采用工程近似的分析、设计方法处理这些问题,即忽略次要因素,使问题简化,以得到可以满足工程要求的近似分析、计算结果。

在数字电子电路中,无论半导体二极管、三极管还是数字集成电路,即使是同一型号的器件,在电气特性上都存在一定的分散性(即允许器件的电气参数与标准值之间有一定范围内的差异)。同时,用于表示逻辑状态的高、低电平也有一个允许的变化范围(即所谓“噪声容限”)。因此,在分析计算电路的逻辑电平时,很适合于采用近似计算方法。当然,近似的方法必须合理,才能保证计算结果的误差在允许范围之内。

三、要重视实验调试能力的培养和 EDA 工具的使用。

由于在设计、计算过程中往往会采用一些工程近似的计算方法,而且选用的电子器件在电气特性上又存在着分散性,所以通过理论计算得到的设计结果还必须经过对实际电路的测试来检验。如果达不到设计要求,可以通过实验调试进行修正。

采用 EDA 手段完成的设计,虽然采用了精确的器件模型和计算方法,但由于通常在计算时

采用的是理想器件模型和标准参数,与实际使用器件的参数同样可能存在差异,所以也需要通过实验测试对设计结果进行检验。如果达不到设计要求,也需要对设计结果进行修正。因此,学习并掌握数字电子电路基本的实验调试方法和实验操作技能,是数字电子技术基础课程教学要求的重要组成部分。

此外,通过做实验也有助于加深对所学理论知识的理解。因此,各高校在开设数字电子技术基础课程时,除了理论教学内容以外,都配有相应的实验教学内容。

在使用大规模集成的可编程逻辑器件设计数字电路时,必须使用 EDA 的设计手段。随着可编程逻辑器件日益广泛地应用,EDA 技术已经成为从事数字系统设计的技术人员必须掌握的一种技术。对于在 PLD 编程过程中需要使用的编程软件和硬件描述语言等设计工具,也只有通过在设计实践中反复使用,才能很好地掌握它们。

第二部分

各章内容的重点、难点释疑和解题方法

第一章　数制和码制

1.1 本章重点内容

一、不同数制之间的转换

二、原码、反码、补码的定义和相互转换的方法

三、二进制数的补码运算

1.2 难点释疑

为什么在数字电路中要采用二进制补码进行两个数值的加、减运算？

一、首先，要回答为什么一定要采用二进制，而不是我们日常生活中熟悉的十进制。

由于一位二进制数只有 **1** 和 **0** 两个数值，可以用一个开关电路输出的高电平和低电平表示，所以用于表示 1 位二进制数值的单元电路结构非常简单，而且对电源电压的稳定度要求也比较低。因为只要能够正确区分出 **1** 和 **0** 两个不同状态，允许高、低电平在一定范围内波动，也就是说有一个允许的“噪声容限”。例如，在采用 5 V 电源电压系列的 CMOS 电路中，以 4.4 V 表示 **1**，以 0.5 V 表示 **0**。若噪声容限为电源电压的 30%，那么只要由于电源电压的波动、电路参数的变化以及外界的干扰导致输出电压的变化不超过 1.5 V，电路都能正常工作。

如果采用十进制，就要求每个单元电路能够给出十个不同电压等级的输出信号，以代表 0~9 十个数值。不难想象，组成这样一个单元电路是很困难的。至今尚未见有人设计出可以实际使用的十进制单元电路。而且，即使有这样的单元电路，在工作过程中无论对电源电压稳定度的要求，还是对电路参数精度和稳定性的要求都是比较高的。例如，同样也采用 5 V 的电源电压，则需要将输出电压划分为 10 个等级，用来表示 0~9。这时每个电压等级之间相差将不到 0.5 V。如果由于电源电压波动、电路参数变化以及外界干扰使输出电平的变化接近 0.5 V，则输出电压所表示的数值就可能发生错误。

鉴于以上原因，目前在几乎所有的数字电路（包括各种数字计算机）中，都采用二进制而不采用十进制。

虽然在有些数字电路的应用中有时也会提及“十进制”运算，其实只不过是用 4 位二进制数当中的十个状态表示十进制数的十个状态而已，本质上仍然是在用二进制数进行运算。

二、为什么二进制算术运算要采用补码运算?

如果两个正数相加，则比较简单，用第四章中所讲的加法器电路就可以完成了。但如果是两个数相减（也就是两个不同符号的数相加）情况就不同了。首先必须比较两个数绝对值的大小，

以确定哪一个作为被减数、哪一个作为减数。然后,让绝对值大的一个数减去绝对值小的一个数。这不仅需要用到比较电路和减法运算电路，而且运算过程也较复杂,影响运算速度。

我们在第二章中已经详细说明了,两个二进制数之间的减法运算可以用它们的补码相加实现。虽然这需要先求取两个数的补码,但产生补码的电路很简单,而且求取补码和两个数相加的操作可以合并为一步完成。

图 1-2-1 是一个采用补码运算的加法运算电路原理图。这个电路是在加法器的基础上附加了一组**异或**门 $G_1 \sim G_5$ 而形成的。它既可以完成加法运算 $M+N$,又可以完成减法运算 $M-N$。

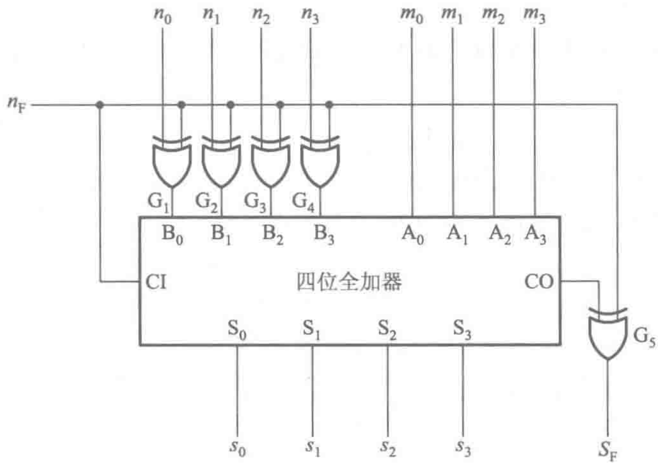

图 1-2-1　采用补码运算的加法运算电路

当两个数正数 $M(m_3m_2m_1m_0)$ 和 $N(n_3n_2n_1n_0)$ 相加时,情况比较简单。因为在正常工作情况下,和数 $S(s_3s_2s_1s_0)$ 不允许超出 **1111**,不会有进位输出,所以 $CO=\mathbf{0}$。同时,N 为正数,它的符号位 $n_F=\mathbf{0}$。因此,最后的进位输出信号 $S_F=\mathbf{0}$,表示 S 为正数。

当 M 为正数、N 为负数时,$n_F=\mathbf{1}$,经过 $G_1 \sim G_4$ 反相后,得到 $n_3n_2n_1n_0$ 的反码,并加到加法器的输入端上。同时,n_F 加到加法器的进位输入端,实现“加 1”运算。这样就实现了 $M-N$ 的运算。在 M 的绝对值大于 N 的绝对值时,$CO=\mathbf{1}$,$S_F=\mathbf{0}$,表示和数为正;在 M 的绝对值小于 N 的绝对值时,$CO=\mathbf{0}$,$S_F=\mathbf{1}$,表示和数为负。

可见,用补码相加进行减法运算不仅运算电路结构简单,而且运算可以一步完成。

1.3　习题类型与解题方法

这一章的习题在内容上有三种主要类型:不同数制间的转换,原码、反码、补码间的转换,二进制数的补码运算。

一、不同数制间的转换

1. 将任意进制数转换为等值的十进制数

解题方法和步骤:

利用公式

$$D=\sum k_i N^i \tag{1-3-1}$$

即可将任何进制的数转换为等值的十进制数。上式中的 N 为以十进制数表示的计数进位的基数，k_i 为第 i 位的系数，它可以是 $0\sim N$ 中的任何一个整数。若整数部分有 n 位，小数部分有 m 位，则 i 将包含从 $n-1$ 到 0 的所有正整数和从 -1 到 $-m$ 的所有负整数。

对于整数部分为 n 位、小数部分为 m 位的二进制数（$N=2$），则得到等值的十进制数为

$$\begin{aligned}D&=\sum k_i 2^i\\&=k_{n-1}2^{n-1}+k_{n-2}2^{n-2}+\cdots+k_0 2^0+k_{-1}2^{-1}+k_{-2}2^{-2}+\cdots+k_{-m}2^{-m}\end{aligned} \tag{1-3-2}$$

其中每一位的系数 k_i 可能是 **1** 或 **0**。

对于整数部分为 n 位、小数部分为 m 位的八进制数（$N=8$），则得到等值的十进制数为

$$\begin{aligned}D&=\sum k_i 8^i\\&=k_{n-1}8^{n-1}+k_{n-2}8^{n-2}+\cdots+k_0 8^0+k_{-1}8^{-1}+\cdots+k_{-m}8^{-m}\end{aligned} \tag{1-3-3}$$

其中每一位的系数 k_i 可能是 0~7 当中的某个数值。

对于整数部分为 n 位、小数部分为 m 位的十六进制数（$N=16$），则得到等值的十进制数为

$$\begin{aligned}D&=\sum k_i 16^i\\&=k_{n-1}16^{n-1}+k_{n-2}16^{n-2}+\cdots+k_0 16^0+k_{-1}16^{-1}+\cdots+k_{-m}16^{-m}\end{aligned} \tag{1-3-4}$$

式中每一位的系数 k_i 的取值可能是 0~15 当中的某一数值。

【例 1-3-1】 将下面给出的二进制、八进制和十六进制数转换为等值的十进制数。

(1) $(1101.011)_2$；(2) $(36.27)_8$；(3) $(4A.BD)_{16}$。

解：

(1) 根据式(1-3-2)得到

$$\begin{aligned}(\mathbf{1101.011})_2&=1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}\\&=8+4+1+0.25+0.125=(13.375)_{10}\end{aligned}$$

(2) 根据式(1-3-3)得到

$$\begin{aligned}(36.27)_8&=3\times8^1+6\times8^0+2\times8^{-1}+7\times8^{-2}\\&=24+6+0.25+0.11=(30.36)_{10}\end{aligned}$$

(3) 根据式(1-3-4)得到

$$\begin{aligned}(4A.BD)_{16}&=4\times16^1+10\times16^0+11\times16^{-1}+13\times16^{-2}\\&=64+10+0.69+0.05=(74.74)_{10}\end{aligned}$$

2. 将十进制数转换为等值的二进制数

解题方法和步骤：

若十进制数包含整数和小数，则整数部分和小数部分需按不同方法分别进行转换。

(1) 整数部分的转换

将十进制数除以 2，所得余数即二进制数的 k_0；

将上面得到的商再除以 2，所得余数即二进制数的 k_1；

将上面得到的商再除以 2，所得余数即二进制数的 k_2；

依此类推，直到所得商等于 0 为止，就得到了等值的二进制数。

(2) 小数部分的转换

将十进制数的小数乘以 2，所得乘积的整数部分即 k_{-1}；

将上面得到的乘积的小数部分再乘以 2,所得乘积的整数部分即 k_{-2};

将上面得到的乘积的小数部分再乘以 2,所得乘积的整数部分即 k_{-3};

依此类推,直到求出要求的位数为止,就得到了等值的二进制数。

【例 1-3-2】　将十进制数$(273.69)_{10}$转换为等值的二进制数。小数部分要求保留 4 位有效数字。

解:首先进行整数部分的转换

$$\begin{array}{r|l} 2 & \underline{\ 273\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{1} = k_0 \\ 2 & \underline{\ 136\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_1 \\ 2 & \underline{\ \ 68\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_2 \\ 2 & \underline{\ \ 34\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_3 \\ 2 & \underline{\ \ 17\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{1} = k_4 \\ 2 & \underline{\ \ \ 8\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_5 \\ 2 & \underline{\ \ \ 4\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_6 \\ 2 & \underline{\ \ \ 2\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{0} = k_7 \\ 2 & \underline{\ \ \ 1\ } \quad \cdots\cdots\cdots\cdots 余数 = \mathbf{1} = k_8 \\ & \ \ \ \ 0 \end{array}$$

故整数部分等值的二进制数为$(\mathbf{100010001})_2$。

其次进行小数部分的转换

$$\begin{array}{rl} 0.69 & \\ \times\quad 2 & \\ \hline 1.38 & \cdots\cdots\cdots\cdots 整数部分 = \mathbf{1} = k_{-1} \\ 0.38 & \\ \times\quad 2 & \\ \hline 0.76 & \cdots\cdots\cdots\cdots 整数部分 = \mathbf{0} = k_{-2} \\ 0.76 & \\ \times\quad 2 & \\ \hline 1.52 & \cdots\cdots\cdots\cdots 整数部分 = \mathbf{1} = k_{-3} \\ 0.52 & \\ \times\quad 2 & \\ \hline 1.04 & \cdots\cdots\cdots\cdots 整数部分 = \mathbf{1} = k_{-4} \end{array}$$

于是得到小数部分的转换结果为$(\mathbf{0.1011})_2$。

总的转换结果为$(273.69)_{10} = (\mathbf{100010001.1011})_2$。

3. 二进制与八进制和十六进制间的互相转换

解题方法和步骤:

在将二进制数转换为八进制数时,首先将二进制数的整数部分从最低位向高位每 3 位划分为一组,同时将二进制数的小数部分从最高位向低位每 3 位划分为一组,然后将每一组代之以等值的八进制数,就得到了所求的转换结果。

在将二进制数转换为十六进制数时，首先将二进制数的整数部分从最低位向高位每 4 位划分为一组，同时将二进制数的小数部分从最高位向低位每 4 位划分为一组，然后将每一组代之以等值的十六进制数，就得到了所求的转换结果。

相反地，在将八进制数转换为二进制数时，只需将八进制数的每一位代之以等值的 3 位二进制数并按原来的顺序排列起来就行了。

同理，在将十六进制数转换为二进制数时，只需将十六进制数的每一位代之以等值的 4 位二进制数并按原来的顺序排列起来就行了。

【例 1-3-3】 试将二进制数$(\mathbf{10111001011.0110111})_2$转换为等值的八进制和十六进制数。

解：将给定的二进制数整数部分从右到左每 3 位分成一组、小数部分从左到右每 3 位分成一组，然后将每组用等值的八进制数代替，得到等值的八进制数为

$$
\begin{array}{cccccccccc}
(& \mathbf{10} & \mathbf{111} & \mathbf{001} & \mathbf{011.} & \mathbf{011} & \mathbf{011} & \mathbf{1} &)_2 \\
 & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
(& 2 & 7 & 1 & 3. & 3 & 3 & 4 &)_8
\end{array}
$$

整数部分最左边一组的 **10** 应视为 **010**，小数部分最右边的一组 **1** 应视为 **100**，即不够 3 位时以 **0** 补足 3 位。

将二进制数的整数部分自右向左每 4 位分成一组，同时将小数部分自左向右每 4 位分成一组，然后将每组代之以等值的十六进制数，则得到

$$
\begin{array}{ccccccc}
(& \mathbf{101} & \mathbf{1100} & \mathbf{1011.} & \mathbf{0110} & \mathbf{111} &)_2 \\
 & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\
(& 5 & \mathrm{C} & \mathrm{B.} & 6 & \mathrm{E} &)_{16}
\end{array}
$$

整数部分最左边一组的 **101** 应视为 **0101**，小数部分最右边一组的 **111** 应视为 **1110**，即不够 4 位时以 **0** 补足 4 位。

4. 将十进制数转换为等值的八进制和十六进制数

转换方法和步骤：

（1）首先将十进制数转换为等值的二进制数。

（2）再将得到的二进制数转换为等值的八进制和十六进制数。

二、原码、反码、补码之间的转换

在数字电路中是用加在二进制数绝对值前面的符号位表示正、负数的。习惯上用符号位的 **0** 表示正数，用符号位的 **1** 表示负数。用这种表示方法得到的数码叫做原码。

同时还规定，正数的反码和补码与原码相同，所以正数不存在需要转换的问题。

1. 从负数的原码求反码和补码

解题方法和步骤：

（1）保持符号位的 **1** 不变，将数字部分的每一位求反（**1** 改为 **0**，**0** 改为 **1**），就得到了反码。

（2）在反码的末位上加 **1**，即得到补码。

2. 从负数的补码求原码

因为“补码的补码等于原码”，所以将补码再求补，得到的就是原码。

【例 1-3-4】 写出二进制数+1010 和-0101 的原码、反码和补码。

解： **+1010** 的原码应写成 **01010**，反码和补码与原码相同，也是 **01010**。

-0101 的原码是 **10101**，反码是 **11010**，补码是 **11011**。

三、二进制数的补码运算

在数字计算机中，为了简化运算器的电路结构，是用补码相加完成两数相减（不同符号两个数的代数和）运算的。

解题方法和步骤：

（1）将两个带符号的加数写成补码形式。

（2）将这两个补码按二进制加法相加，即得补码形式的和。

两数的符号位和来自数值部分的进位相加，所得结果就是和的符号位。

这里需要注意两点。第一，补码相加的和仍为补码，当符号位为 **1** 时，和为负数，这时的数值部分不是这个数的绝对值。第二，将两数写成补码时，数值部分所取的位数必须足以表示和的最大绝对值，否则计算结果将出现错误。

【例 1-3-5】 试用补码运算的方法计算下面各式

（1）**1101+0101**；（2）**1110-0111**；（3）**0111-1110**；（4）**-1011-1010**。

解：

（1）因两数相加之和的绝对值为 **10010**，所以补码的数值部分至少应取 5 位。加上 1 位符号位，补码一共为 6 位。于是得到两数的补码相加结果

$$\begin{array}{r} \mathbf{001101} \\ +\ \mathbf{000101} \\ \hline \mathbf{010010} \end{array}$$

和的符号位仍为 **0**，表示和为正数$(+18)_{10}$。

（2）因两数符号不同，和的绝对值一定小于加数当中绝对值较大一个的绝对值，所以补码的数值部分不需要增加位数。由此可得两数的补码相加结果

$$\begin{array}{r} \mathbf{01110} \\ +\ \mathbf{11001} \\ \hline \mathbf{00111} \end{array}$$

和的符号位为 **0**，表示和为正数$(+7)_{10}$。

（3）同上，因两数异号，所以补码的数值部分取 4 位即可。两数的补码相加结果为

$$\begin{array}{r} \mathbf{00111} \\ +\ \mathbf{10010} \\ \hline \mathbf{11001} \end{array}$$

和的符号位为 **1**，表示和为负数。

如果将和的补码再求补，则得到和的原码为 **10111**$(-7)_{10}$。

（4）因两数绝对值之和为 5 位二进制数 **10101**，所以补码的数值部分至少需要用 5 位表示。加上一位符号位以后，补码一共为 6 位。由此可得到两数原码和补码为