职业教育精品实用教材

单片机原理与应用

主　编　黄　健

西北工業大學出版社

【内容简介】 本书根据国家教育部最新颁发的教学指导要求编写，主要包括微型计算机基础，MCS－51系列单片机结构，单片机指令系统，中断、定时/计数器和串行口，单片机系统的扩展技术，单片机应用系统及其开发等内容。

本书可作为职业技术学校电工电子技术类专业教材，也可作为职工培训教材和职业技能鉴定指导教材。

图书在版编目（CIP）数据

单片机原理与应用/黄健主编．—西安：西北工业大学出版社，2008.6
职业教育精品实用教材
ISBN 978-7-5612-2405-2

Ⅰ．单… Ⅱ．黄… Ⅲ．单片微型计算机—职业教育—教材 Ⅳ．TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2008）第076034号

出版发行：西北工业大学出版社
通信地址：西安市友谊西路127号 邮编：710072
电 话：(029)88493844 88491757
网 址：www.nwpup.com
印 刷 者：陕西丰源印务有限公司
开 本：787 mm×1 092 mm 1/16
印 张：13.5
字 数：326千字
版 次：2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷
定 价：21.90元

出版说明

为了更好地贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，全面落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，职业教育精品实用教材编写组组织相关力量对实现职业教育培养目标、保障重点专业建设的主干课程的教材进行了规划和编写。

职业教育精品实用教材是面向职业教育的规范性教材，严格按照国家最新颁发的教学大纲编写，并通过了专家的审定。本套教材深入贯彻素质教育的理念，突出职业教育的特点，注重对学生的创新能力和实践能力的培养，在内容编排、例题设置和图示说明等方面努力创新，在满足不同学制、不同专业以及不同办学条件教学需求的同时，实现教学效果的最优化。

我们希望各地、各校在使用本套教材的过程中，及时提出改进意见和建议，使之不断地得到完善和提高。

职业教育精品实用教材编写组

前　　言

随着社会经济的发展，对专业技术人才的需求日趋旺盛，也对技术人才的专业知识和操作技能提出了更高的要求。因此，为了更好地适应社会对电工电子类人才的需求，职业学校电工电子类专业的招生规模也不断扩大，教学内容和教学方法也在不断调整。

本书根据国家教育部最新颁发的教学指导要求编写，可作为职业技术学校电工电子技术类专业教材，也可作为职工培训教材和职业技能鉴定指导教材。

本书的编写力争体现职业教育的性质、任务和培养目标，相关专家审定后认为符合职业教育的课程教学基本要求，符合职业教育的特点和规律，具有职业教育特色。

本书在编写过程中力求做到结合专业的特点，注重应用，降低理论难度。具体表现在以下几点：

(1)对单片机的基本概念论述透彻，力求使读者在理解最基本的概念的基础上，深入了解单片机的工作原理；

(2)对单片机的原理部分论述力求做到深入浅出、通俗易懂，使读者对单片机各功能部件的工作过程有直观的认识；

(3)选用简单有代表性的实例，使读者轻松自如地掌握单片机的基本应用；

(4)将有代表性的实践训练附在相应章节之后，并详细列出实验步骤，使读者在实践中快速掌握所学原理。

本书适合86课时教学，书中打“*”的部分为选学模块。课时分配建议如下：

章　　次	课时数
第1章　微型计算机基础	6
第2章　MCS—51系列单片机结构	18
第3章　单片机指令系统	18
第4章　中断、定时/计数器和串行口	14
第5章　单片机系统的扩展技术	20
第6章　单片机应用系统及其开发	10
合　　计	86

在编写过程中，编者参阅了大量的相关专业书籍和资料，在此向原著作者表示衷心地感谢。

由于编者的编写经验有限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请广大读者提出宝贵的意见，以便进一步完善。

编　者

目　　录

第 1 章

微型计算机基础

电子计算机是一种能够存储程序，并且按照程序自动地、精确地、高速地进行大量计算和信息处理的电子机器，可以在一定程度和范围内代替人的脑力劳动，从而辅助人们的工作和减轻人的工作量，随着科学技术进一步的发展，计算机的发展更加迅速，性能也更加良好，同时随着计算机的进一步发展，科学技术和生产力的持续发展变成可能。

1.1 计算机发展过程

根据冯·诺伊曼的理论，计算机是由控制器、运算器、存储器、输入设备和输出设备五大部分组成。1946 年，美国宾夕法尼亚大学研制出世界上第一台电子计算机 ENIAC（Electronic Numerical Integrator And Computer）。到现在 21 世纪初，电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路和超大规模集成电路四个发展阶段。

（1）第一代计算机（1946－1958 年）主要以电子管为主要元器件，也称为电子管计算机。主存储器采用磁鼓、磁芯，外存储器采用磁带、纸带等；使用机器语言或者汇编语言进行程序设计，主要用于科学计算。

（2）第二代计算机（1958－1964 年）主要是用晶体管代替原来的电子管，提高了计算机的运算速度和可靠性；外存储器开始采用磁盘，存储量有明显提高。此外，出现了一些高级程序设计语言，例如 FORTRAN，COBOL 等，程序的复杂性降低，通用性提高，应用范围也扩展至数据处理、事务管理和工业控制等方面，第二代计算机也被称为晶体管计算机。

（3）第三代计算机（1964－1970 年）主要采用中小规模的集成电路代替晶体管，所以也被称为集成电路计算机，通过半导体集成技术，可以在几平方毫米大的硅片上集成数百个电子元件，大大减小了计算机的体积，显著提高了运算速度，主存储器也逐渐由半导体取代磁芯，存储容量也有较大的提高；开始出现操作系统，并且和通信技术紧密结合，实现了计算机网络，在工业控制、数据处理、科学计算等许多领域得到了广泛的应用。

（4）第四代计算机（1970 年至今）即超大规模集成电路计算机。它们的元器件集成度很

高,一方面使得计算机微型化,运算速度有进一步显著提高,这就为计算机逐步应用于各个领域以及在家庭中得到普及创造了条件;另一方面,可以利用大规模集成电路制造多种逻辑芯片,从而组装成为大型机和巨型机,使运算速度和存储容量都得到了极大的提高,进一步推动许多新兴科学的发展。操作系统也逐渐成熟完善,并且开始出现面向对象的程序设计语言,实现代码的重用。

1.2 微处理器、微型计算机、微型计算机系统

随着微型计算机的高速发展,单片微型计算机、单板微型计算机、微型计算机系统、微型计算机开发系统和计算机网络工作站等新机种纷纷出现。这里,我们要掌握几个概念。

(1)微处理器(Microprocssor Unit)。微处理器就是将组成 CPU 的部件集成在一片半导体芯片上,称为 MPU。微处理器中主要包括控制部件、算术逻辑单元和寄存器组三部分,是微型计算机的核心部分。

(2)微型计算机。微型计算机就是以微处理器为核心,再配以相应的半导体存储器(RAM 和 ROM)、I/O(Input/Output)接口和终端系统等。通常包括多板微型计算机、单板微型计算机和单片微型计算机。

(3)微型计算机系统(Microcomputer System)。以微型计算机为核心,再配以相应的外围设备、电源、辅助电路和控制微型计算机工作的软件,构成了完整的微型计算机系统。

1.3 单片机介绍

上面提到的单片微型计算机(Single Chip Microcomputer)简称为单片机,是将微处理器、存储器、I/O 接口电路集成在一块芯片上的芯片级微机。单片机适用于测量和控制领域。

1.3.1 单片机的发展

1974 年,美国 Fairchild 公司推出了世界上第一台 8 位单片机 F8。该机结构独特,由两块集成电路芯片组成,具有与众不同的指令系统,受到民用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视。自此,单片机发展迅速,应用范围不断扩大,现在已经成为微型计算机的一个重要分支。单片机的发展可以分为四个阶段。

第一阶段(1974—1976 年)是单片机的起步阶段。这时的单片机制造工艺比较落后,集成度也较低,并且采用了双片形式。代表产品有 Fairchild 公司的 F8 和 Mostek 公司的 3870 等。

第二阶段(1976—1978 年)是单片机的发展阶段。这个时期生产的单片机已经能够在单

块芯片内集成8位CPU、并行I/O口、8位定时器/计数器、RAM和ROM、中断源等功能部件，为单片机的发展奠定了基础，是单片机发展过程中的一个重要阶段，最典型的是Intel－48系列单片机。

第三阶段(1979－1982年)是8位单片机的成熟阶段。这一阶段的单片机不仅增大了存储容量和寻址范围，而且在不同程度上增加了中断源、并行I/O口和定时器/计数器的个数，甚至集成了全双工串行通信接口电路。在指令方面，增设了乘除法和比较指令。代表产品有Intel公司的MCS－51系列机、Motorola公司的MC6801系列机、Zilog公司的Z8系列机等。

第四阶段(1983年至今)是16位单片机和8位高性能单片机并行发展阶段。这一时期的单片机大力发展控制功能并提高系统运行的可靠性，逐步将测控系统要求的外部接口电路纳入片内，真正实现“微控制器”所应该具备的功能。

1.3.2 单片机的特点

(1)可靠性高。单片机应用于测控领域，往往要接受恶劣环境的挑战。单片机在体系结构和指令系统方面都进行了针对性设计。它集成了存储器I/O接口，大大降低了外界干扰对系统的侵入。在运行方式上增加了掉电保护和程序运行监视系统功能，大大提高了可靠性。

(2)功能强。单片机具有判断和处理能力，可以直接对I/O口进行各种操作，运算速度高，实时控制功能强。

(3)体积小，功耗低。由于单片机包含了运算器等基本功能部件，具有较高的集成度，因此有单片机组成的应用系统结构简单、功能全、电源单一，功耗低。

(4)使用方便。由于单片机内部功能强，系统扩展方便，因此应用系统的硬件设计非常简单。

(5)性价比较高，易于产品化。单片机具有功能强、价格便宜、体积小、接插件少、安装调试简单等特点，这使单片机应用系统的性价比较高。同时单片机开发工具很多，这些开发工具都有很强的软件调试功能，使单片机的应用开发极为方便，大大缩短了产品研制的周期，并使单片机应用系统易于产品化。

1.3.3 单片机的应用

(1)单片机在智能仪表中的应用。单片机常应用于各种智能仪器仪表中，简化了仪器仪表的硬件结构，增强了控制功能，提高了测量速度和测量精度。

(2)单片机在机电一体化中的应用。机电一体化产品集机械技术、电子技术、自动化技术和计算机技术于一身，是机械工业发展的方向。将单片机应用于机械行业，发挥它体积小、可靠性高、功能强和安装方便等优点，提高了机器的自动化和智能化程度。

(3)单片机在实时控制中的应用。单片机被广泛地应用于各种实时控制系统中，例如对工业生产过程中温度、湿度等参数的测量和控制。

(4)单片机在分布式测控系统中的应用。分布式测控系统的主要特点是系统中有多个处

理单元，各自完成特定的任务，单片机可以作为一个处理单元应用于分布式测控系统中。

(5)单片机在工业过程控制中的应用。单片机 I/O 口线多，并具有位操作能力，特别适用于工业过程控制。

(6)单片机在日常生活中的应用。单片机被广泛应用于生活中的各个方面，如洗衣机、电冰箱、交通信号灯等。

1.3.4 单片机的发展趋势

随着大规模集成电路及超大规模集成电路的发展，单片机将向着更深层次发展，主要体现在以下几个方面：

(1)高集成度。一片单片机内部集成的 ROM/RAM 容量增大，增加了电闪存储器，具有掉电保护功能，并集成了 A/D、D/A 转换器、定时器/计数器、系统故障检测和 DMA 电路等。

(2)引脚多功能化。随着芯片内部功能的增加和资源的丰富，一脚多用的设计方案日益显示出其重要地位。

(3)高性能。这是单片机发展所追求的一个目标，更高的性能将会使单片机应用系统变得更加简单、可靠。

(4)低消耗。这将是未来单片机发展追求的一个目标，随着单片机集成度的不断提高，由单片机构成的系统体积越来越小，低功耗将是设计单片机产品时首先考虑的指标。

1.4 微型计算机的运算基础

计算机中的运算分为两种：一种是算术运算，包括加、减、乘、除法；另一种就是逻辑运算，包括逻辑“与”、逻辑“或”、逻辑“非”和逻辑“异或”等。而在计算机运行的过程中，数字电路通常有两种状态：开关的断开与接通，计算机通常也被设计为仅能识别这两种信号。断开与接通，这两种状态刚好可以用“0”和“1”来表示，此时，高、低两种电位在物理上最容易实现。这是计算机中采用二进制的主要原因。另外，二进制的运算规则简单，两个二进制数的和、积运算组合分别只有三种，即 $0+0=0$，$0+1=1$，$1+1=0$（向高位进一）；$0\times0=0$，$0\times1=0$，$1\times1=1$。二进制只有两个数码，这与逻辑代数中的“真”、“假”刚好吻合。此外，二进制和十进制相互转化也比较方便。因此，计算机中广泛采用二进制。

1.4.1 数制

所谓数制，是指用一组固定的符号和统一的规则来表示数的方法，也称为计数制。进位计数制包括三个要素：数位、基数和位权。

数位：指数中各数码的位。

基数：指进位计数制中数码的总个数。

位权：某数位上数码所代表的数值大小等于该数字乘以一个固定的数。这个固定的数就是这个数位的位权。

1. 十进制

十进制是人们日常生活中最常见、用途最广的进位计数制。十进制的数位、基数、位权分别是：

数位：……百位 十位 个位 . 十分位 百分位 千分位 ……

基数：由于十进制数中0、1、2、3、4、5、6、7、8、9一共有10个数字，因此十进制数的基数是10。

位权：…… 10^2 10^1 10^0. 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3}……

在十进制数中，一个数码所代表的数值由两个因素决定：数码本身和它所在的数位。例如，999.99这个数中，虽然各个数位上的数码都是9，但是他们代表的数值各不相同，个位数的9代表的数值就是9本身，也即9×10^0；十位的9代表9×10^1；百位的9代表9×10^2；十分位的9代表0.9，即9×10^{-1}；百分位的9代表0.09，即9×10^{-2}。那么999.99可以写成如下多项式的形式：

$$999.99=9\times10^2+9\times10^1+9\times10^0+9\times10^{-1}+9\times10^{-2}$$

2. 二进制

二进制是计算机中使用的进位计数制。二进制数的数位、基数、位权如下：

数位：……第3位 第2位 第1位 .第1位 第2位 第3位……

基数：由于二进制数中只有0、1两个数字，因此二进制数的基数是2。

位权：……2^2 2^1 2^0. 2^{-1} 2^{-2} 2^{-3}……

与十进制数类似，二进制中一个数字所代表的数值由这个数字本身和它所在的数位决定。以$(10111.01)_2$为例：

$$(10111.01)_2=1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}=(23.25)_{10}$$

3. 八进制

我们可以用八进制数方便地表示二进制数。八进制数的数位、基数、位权如下：

数位：…… 第3位 第2位 第1位 .第1位 第2位 第3位……

基数：由于八进制数中有0、1、2、3、4、5、6、7共8个数字，因此八进制数的基数是8。

位权：…… 8^2 8^1 8^0 . 8^{-1} 8^{-2} 8^{-3}……

同样的，在八进制中，一个数字所代表的数值由这个数字本身和它所在的数位决定，以$(471.26)_8$为例：

$$(471.26)_8=4\times8^2+7\times8^1+1\times8^0+2\times8^{-1}+6\times8^{-2}=(313.34375)_{10}$$

4. 十六进制

用十六进制数也可以方便地表达二进制数。十六进制数的数位、基数、位权如下：

数位：…… 第3位 第2位 第1位 .第1位 第2位 第3位……

基数：由于十六进制数中有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共 16 个数字，因此 16 进制数的基数是 16。其中 A、B、C、D、E、F 分别表示十进制数的 10、11、12、13、14、15。

位权：……16^2　16^1　16^0．16^{-1}　16^{-2}　16^{-3}……

同理十六进制数$(C6E.8A)_{16}$转换成十进制数如下所示：

$(C6E.8A)_{16}=12\times16^2+6\times16^1+14\times16^0+8\times16^{-1}+10\times16^{-2}=(3182.5390625)_{10}$

1.4.2　不同进制数的表示

给出一个数字我们如何区分它到底是用哪种数制表示的呢？我们用以下三种方法来加以区分：

第一种，在数字后面加一个缩写字母后缀来表示不同的进制。例如，B 表示二进制数：如 101101B 表示的就是二进制数；Q 表示八进制数：如 101101Q 表示的就是八进制数；H 表示十六进制数：如 101101H 表示的就是十六进制数；十进制数通常省略字母：如 101101 表示的就是十进制数。

第二种，将数字用圆括号括起来，在括号外加下标，下标的数值就是该数的进制数。例如$(100101.01)_2$、$(100101.01)_8$、$(100101.01)_{10}$、$(100101.01)_{16}$分别代表二进制数、八进制数、十进制数和十六进制数。

第三种，给数字加下标，在下标中用圆括号把进制数括起来。例如 $11011.101_{(2)}$、$11011.101_{(8)}$、$11011.101_{(10)}$、$11011.101_{(16)}$分别代表二进制数、八进制数、十进制数和十六进制数。

1.5　不同数制之间的转换

1.5.1　将二、八、十六进制数转换为十进制数

将二、八、十六进制数转换成十进制数的方法就是“按权展开求和”。

(1) 把一个任意的二进制数转换成十进制数：

$$\begin{aligned}B&=b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_1b_0\cdot b_{-1}b_{-2}\cdots b_{-m}\\&=b_{n-1}\times2^{n-1}+b_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+b_1\times2^1+b_0\times2^0+b_{-1}\times2^{-1}+b_{-2}\times2^{-2}\\&\quad+\cdots+b_{-m}\times2^{-m}\\&=\sum_{i=-m}^{n-1}b_i\times2^i\end{aligned}$$

上式中，b_i 可以取的值是 0 或 1。小数点前面有 n 位，小数点后面有 m 位。

(2)把一个任意八进制数转换成十进制数：

$$\begin{aligned}B&=b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_1b_0\cdot b_{-1}b_{-2}\cdots b_{-m}\\&=b_{n-1}\times8^{n-1}+b_{n-2}\times8^{n-2}+\cdots+b_1\times8^1+b_0\times8^0+b_{-1}\times8^{-1}+b_{-2}\times8^{-2}\end{aligned}$$

$$+\cdots+b_{-m}\times 8^{-m}$$

$$=\sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 8^i$$

上式中，b_i 可以取的值是 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数字。小数点前面有 n 位，小数点后面有 m 位。

(3)把一个任意十六进制数转换成十进制数：

$$B=b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_1 b_0 \cdot b_{-1}b_{-2}\cdots b_{-m}$$

$$=b_{n-1}\times 16^{n-1}+b_{n-2}\times 16^{n-2}+\cdots+b_1\times 16^1+b_0\times 16^0+b_{-1}\times 16^{-1}+b_{-2}\times 16^{-2}+\cdots+b_{-m}\times 16^{-m}$$

$$=\sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 16^i$$

上式中，b_i 可以取 0～F 这 16 个数字中的任意值，小数点前面有 n 位，小数点后面有 m 位。

1.5.2 将十进制数转换成为二、八、十六进制数

将十进制数转换为二、八、十六进制数时，整数部分和小数部分遵循不同的转换规则。下面以十进制转换成二进制为例进行说明，十进制转换成八进制和十六进制的方法与此相同。

整数部分的转换方法：用将要进行转换的十进制数的整数部分除以 2，记录当前除法所得的余数，然后将当前得到的商作为下一步除法的被除数，仍然除以 2，这样反复地做除法取余数，直到商为 0 为止，最后一次除法得到的余数是该二进制数整数部分的最高位，第一次做除法所得到余数是该二进制数整数部分的最低位。

小数部分的转换方法：把要进行转换的十进制数的小数部分乘以 2，记录当前乘法得到的结果的整数部分，再将当前乘法所得结果的小数部分作为下一步乘法的乘数，仍然乘以 2，记录所得的整数部分的值，这样反复地做乘法记录乘积的整数部分。第一次乘法得到的整数部分就是所求二进制数小数部分的最高位。

下面用实例进行说明，例如将$(37.728)_{10}$转换成为二进制数(取 3 位小数)。

整数部分：

2|37
2|18……1 低位
2|9……0
2|4……1
2|2……0
2|1……0
0……1 高位

小数部分：

0.728
× 2 ……1 高位
1.456
0.456
× 2 ……0
0.912
0.912
× 2 ……1 低位
1.824

即$(37.728)_{10}\approx(100101.101)_2$。

1.5.3 二进制与八、十六进制的相互转换

由于 $8=2^3$、$16=2^4$，因此1位八进制数对应3位二进制数，1位十六进制数对应4位二进制数。因此二进制数转换成为八、十六进制数时，只需以小数点为界，整数部分从右向左每3位或4位分成一组，各组用相应的1位八进制数或十六进制数表示，即可得到对应的八进制数值或十六进制数值；而小数部分则是从左向右每隔3位或4位分成一组分别进行转换。当分组时，整数部分的最左边和小数部分的最右边不够3位或4位时用0补齐。

同理若将八进制或十六进制转换成二进制时，只需将八进制数或十六进制数的每一位分别转换成为对应的二进制数即可，转换时，1位八进制数对应3位二进制数，1位十六进制数对应4位二进制数。

二进制数和八进制数、十六进制数的对应关系见表1.1。

表1.1 三种数制之间的对应关系

二进制数	八进制数	十六进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0000	0	0	1000	10	8
0001	1	1	1001	11	9
0010	2	2	1010	12	A
0011	3	3	1011	13	B
0100	4	4	1100	14	C
0101	5	5	1101	15	D
0110	6	6	1110	16	E
0111	7	7	1111	17	F

【例1—1】将10100111010.0101101011B转换成为八进制数和十六进制数。

解：转化成为八进制数时，将整数部分从右到左分组，每3个为一组，则有

$\underline{(0)10}\quad\underline{100}\quad\underline{111}\quad\underline{010}=2\ 4\ 7\ 2$

将小数部分从左到右分组得到

$\underline{010}\quad\underline{110}\quad\underline{101}\quad\underline{1(00)}=2\ 6\ 5\ 4$

所以，10100111010.0101101011B=2472.2654Q。

转换成十六进制数时，整数部分从右到左每4个为一组

$\underline{(0)101}\quad\underline{0011}\quad\underline{1010}=5\ 3\ \mathrm{A}$

将小数部分从左到右分组得到

$\underline{0101}\quad\underline{1010}\quad\underline{11(00)}=5\ \mathrm{A}\ \mathrm{C}$

所以，10100111010.0101101011B=53A.5ACH。

【例1—2】将4071.53Q转换成二进制数。

解：根据表1.1，我们可以得到4Q=100B，0Q=000B，7Q=111B，1Q=001B，5Q=101B， 3Q=011B，所以：4071.53Q=100 000 111 001.101 011B。

【例1—3】将8C0.FAH转换成二进制数。

解：因为 8H = 1000B，CH = 1100B，0H = 0000B，FH = 1111B，AH = 1010B，所以：8C0.FAH=1000 1100 0000.1111 1010B。

1.6 二进制的算术运算和逻辑运算

二进制运算是计算机运算的基础，二进制采用“0”和“1”的二值数字逻辑电路就可以实现二进制的各种运算，简化了计算机结构；十进制是人们所熟悉的数制；十六进制是简化人和机器对数字描述差别的一种过渡性的中间数制。因此，单片机系统在软、硬件设计过程中，三者之间的相互转换是经常遇到的。

由于计算机在运算中采用的是二进制，因此下面主要讲解二进制的算术运算和逻辑运算。

1.6.1 二进制的算术运算

在这里我们主要学习二进制加法和减法的运算法则。

1. 二进制加法

(1)0+0=0

(2)0+1=1

(3)1+0=1

(4)1+1=$\boxed{10}$

逢“2”进“1”

【例1—4】已知 M=10100101B，N=11010111，求 $M+N$=？

解：

$$\begin{array}{r} 10100101 \\ +11010111 \\ \hline \boxed{1}01111100 \end{array}$$

其中，结果中最高位的“1”是进位所得。

加法法则：从右向左把被加数和加数相对应的位上的数相加，若出现进位则向高位进“1”。

2. 二进制减法

(1)0−0=0

(2)1−1=0

(3)1－0＝1

(4)0－1＝1(从高位借“1”)

【例 1－5】已知 M＝11010111B,N＝10100101B,求:$M-N$＝?

解:

$$\begin{array}{r} 11010111 \\ -10100101 \\ \hline \boxed{00}110010 \end{array}$$

其中,最高位和次高位的“00”是由借位所得。

减法法则:从最低位开始,用对应位上的被减数减去减数,若被减数小于减数则要向高位数借 1。

1.6.2　二进制的逻辑运算

在二进制的逻辑运算中,我们主要学习与运算、或运算和异或运算。

1. 与运算

与,又称为逻辑积,它的运算规则是:两个逻辑数求积,只有当两个数都为 1 的时候其乘积才等于 1,只要有一个为 0,那么结果就为 0。

逻辑积用“·”表示,读作“与”。

根据它的运算规则,我们可以得到以下结果:

(1)0·0＝ 0

(2)0·1＝ 0

(3)1·0＝ 0

(4)1·1＝ 1

【例 1－6】已知 M＝101110110,N＝110101001,求 M 和 N 的逻辑与值。

解:对应位进行逻辑与运算,M 和 N 的最高位都是“1”, 逻辑与所得结果等于 1,对于最低位,M 和 N 的值分别为“0”和“1”,逻辑与所得结果为 0;其他位的计算方法相同,于是 M 和 N 的逻辑与值如下所示:

$$\begin{array}{r} 101110110 \\ \wedge\ 110101001 \\ \hline 100100000 \end{array}$$

在计算时,用“∧”表示两个数作逻辑与运算。

2. 或运算

或,又称为逻辑和,它的运算规则是:两个逻辑数求和,只有当两个数都为 0 的时候,它们的和才为 0,只要有一个数为 1,那么结果就为 1。

逻辑和用“＋”表示,读作“或”。

根据它的运算规则，我们可以得出以下结果：

(1)0＋0＝ 0

(2)0＋1＝ 1

(3)1＋0＝ 1

(4)1＋1＝ 1

【例 1－7】已知 M＝101110110，N＝110101001，**求** M **和** N **的逻辑或值。**

解：对应位进行逻辑或运算，M 和 N 的最高位都是“1”，逻辑或所得结果等于 1，对于最低位，M 和 N 的值分别为“0”和“1”，逻辑或所得结果就等于 1；其他位的计算方法相同，于是 M 和 N 的逻辑或值如下所示：

$$\begin{array}{r} 101110110 \\ \vee\ 110101001 \\ \hline 111111111 \end{array}$$

在计算时，用“∨”表示两个数作逻辑或运算。

3. 异或运算

异或，又称为逻辑异或，它的运算规则是：当两个逻辑数进行异或运算时只有当两个逻辑数不相同时，结果为 1，否则为 0。

逻辑异或用“⊕”表示，读作“异或”。

根据它的运算规则，我们可以得出以下结果：

(1)0 ⊕ 0＝ 0

(2)0 ⊕ 1＝ 1

(3)1 ⊕ 0＝ 1

(4)1 ⊕ 1＝ 0

【例 1－8】已知 M＝101110110，N＝100101001，**求** M **和** N **的异或值。**

解：对应位进行逻辑异或运算，M 和 N 的最高位都是“1”，逻辑异或的结果等于 0；对于次高位，M 和 N 的值都是“0”，则逻辑异或的结果也等于 0；对于最低位，M 和 N 的值分别为“0”和“1”，逻辑异或所得结果就等于 1；其他位的计算方法相同，于是 M 和 N 的逻辑异或值如下所示：

$$\begin{array}{r} 101110110 \\ \oplus 100101001 \\ \hline 001011111 \end{array}$$

在计算时，用“⊕”表示两个数作逻辑异或运算。