

高等院校电子信息应用型规划教材

单片机 原理与应用

——基于可在线仿真的STC15F2K60S2单片机

丁向荣 主 编

陈崇辉 副主编

姚永平 主 审



清华大学出版社

高等院校电子信息应用型规划教材

单片机原理与应用

——基于可在线仿真的STC15F2K60S2单片机

丁向荣 主 编

陈崇辉 副主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

STC15F2K60S2 系列单片机是 STC 高性能单片机,传承于经典的 8051 单片机,新增上电复位电路与高精度 R/C 振荡器,给单片机芯片加上电源就可运行程序,一块芯片就是一个单片机最小系统; IAP15F2K61S2 单片机内置独特的在线仿真技术,一块单片机既是目标芯片,又是仿真芯片;集成了大容量的程序存储器、数据存储器以及 EEPROM,集成了 A/D、PWM、SPI 等高性能接口部件,大大简化了单片机应用系统的外围电路,促使单片机应用系统的设计更加简捷,系统性能更加高效、可靠。

本教材以 STC15F2K60S2 单片机为主线,系统地介绍了 STC15F2K60S2 单片机的硬件结构、指令系统与应用编程,单片机应用系统的开发流程与接口设计;还介绍了单片机应用系统的开发工具,提出诸如 Keil C 集成开发环境(含软件模拟仿真与在线硬件仿真)、Proteus 仿真软件的系统仿真,以及系统调试等多种实践模式,使单片机的学习与应用变得更简单、高效。

本书可作为普通高校计算机类、电子信息类、电气自动化与机电一体化等专业的教学用书,基础较好的高职高专也可选用本书。此外,可作为电子设计竞赛、电子设计工程师考证的培训教材,也是传统 8051 单片机应用工程师升级转型的重要参考书籍。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与应用:基于可在线仿真的 STC15F2K60S2 单片机/丁向荣主编.--北京:清华大学出版社,2015

高等院校电子信息应用型规划教材

ISBN 978-7-302-38086-3

I. ①单… II. ①丁… III. ①单片微型计算机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 221094 号

责任编辑:王剑乔

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁 芳

责任印制:沈 露

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>, 010-62795764

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:24

字 数:553 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:48.00 元

产品编号:059174-01

21 世纪全球全面进入计算机智能控制、计算时代，其中的一个重要方向就是以单片机为代表的嵌入式计算机控制、计算。由于最适合中国工程师、学生入门的 8051 单片机有 30 多年的应用历史，绝大部分工科院校均有此必修课，几十万名对该单片机十分熟悉的工程师可以相互交流开发和学习心得，有大量的经典程序和电路可以直接套用，从而大幅降低了开发风险，极大地提高了开发效率，这也是 STC 宏晶科技基于 8051 系列单片机产品的巨大优势。

Intel 8051 技术诞生于 20 世纪 70 年代，不可避免地面临落伍的危险，如果不对其进行大规模创新，我国的单片机教学与应用就会出现被动局面。为此，STC 宏晶科技(www.stcmcu.com)对 8051 单片机进行了全面的技术升级与创新：全部采用 Flash 技术(可反复编程 10 万次以上)和 ISP/IAP(在系统可编程/在应用可编程)技术；针对抗干扰进行了专门设计，超强抗干扰；进行了特别加密设计，如宏晶 STC15 系列现无法解密；对传统 8051 进行了全面提速，指令速度最快提高了 24 倍；大幅提高集成度，如集成了 A/D、CCP/PCA/PWM (PWM 还可当 D/A 使用)、高速同步串行通信端口 SPI、高速异步串行通信端口 UART(如宏晶 STC15F2K60S2 系列集成了两个串行口，分时复用可当 5 组串口使用)、定时器(STC15F2K60S2 系列最多可实现 6 个定时器)、“看门狗”、内部高精度时钟($\pm 1\%$ 温漂， $-40\sim +85^{\circ}\text{C}$ ，可彻底省掉昂贵的外部晶振)、内部高可靠复位电路(可彻底省掉外部复位电路)、大容量 SRAM(如 STC15F2K60S2 系列集成了 2KB 的 SRAM)、大容量 EEPROM、大容量 Flash 程序存储器等。

在中国民间企业掌握了 Intel 8051 单片机技术，以“初生牛犊不怕虎”的精神，击溃欧美竞争对手之后，正在向 32 位前进的途中。此时欣闻官方国家队也已掌握 Intel 80386 通用 CPU 技术，相信经过数代人的艰苦奋斗，我们一定会赶上和超过世界先进水平！

明知山有虎，偏向虎山行。

感谢 Intel 公司发明了经久不衰的 8051 体系结构。感谢丁向荣老师的新书,保证了中国 30 年来的单片机教学与世界同步。

STC 宏晶科技 姚永平

2014 年 7 月 15 日

STC15F2K60S2 系列单片机是 STC 高性能单片机，传承于经典的 8051 单片机，新增上电复位电路与高精度 R/C 振荡器，给单片机芯片加上电源就可运行程序，一块芯片就是一个单片机最小系统；IAP15F2K61S2 单片机内置独特的在线仿真技术，一块单片机既是目标芯片，又是仿真芯片；集成了大容量的程序存储器、数据存储器以及 EEPROM，集成了 A/D、PWM、SPI 等高功能接口部件，大大简化了单片机应用系统的外围电路，促使单片机应用系统的设计更加简捷，系统性能更加高效、可靠。

STC15F2K60S2 单片机是教育部教育管理信息中心主办的全国信息技术应用水平大赛“STC”杯单片机系统设计大赛的指定硬件平台，也是工业和信息化部人才交流中心主办的全国软件和信息技术专业人才大赛单片机设计与开发项目的指定硬件平台。

本教材以 STC15F2K60S2 单片机作为主讲机型，系统地介绍了 STC15F2K60S2 单片机的硬件结构、指令系统与应用编程。

STC15F2K60S2 单片机的指令系统和标准的 8051 内核完全兼容，因此，原来讲解 8051 单片机的师资力量可以充分发挥以前讲解单片机原理及应用课程的经验；对于具有 8051 单片机知识的读者，也不存在转型困难的问题。

教材力求实用性、应用性与易学性，以提高读者的工程设计能力与实践动手能力为目标。本书具有以下几方面的特点。

(1) 单片机机型贴近生产实际。STC 单片机是我国 8 位单片机应用中市场占有率最高的，更难能可贵的是，STC 单片机是我国本土的 MCU。

(2) 采用“双”语言编程。绝大多数应用程序采用汇编语言和 C 语言(C51)对照编程。采用汇编语言程序设计的学习有利于加强对单片机的理解，而 C51 在功能、结构上，以及可读性、可移植性、可维护性，都有更加明显的优势。

(3) 理论联系实际。在学习单片机指令系统前的第 3 章就专门介绍了单片机应用的开发工具，贯穿程序的编辑、编译、下载与调试。强化单片机知识的应用性与实践性，不论是一条指令，或若干条指令，或一个程序段，都可以用开发工具进行仿真调试或在系统调试。

(4) 强化单片机应用系统的概念,学习单片机是为了能开发与制作有具体意义的单片机应用系统,第13章介绍单片机基本的外围接口技术与典型单片机应用系统的设计与开发。

(5) 在教材的编写中,直接与STC单片机的创始人姚永平先生进行了密切沟通与交流。姚永平先生亲自担任本教材的主审,确保了教材内容的系统性与正确性。

(6) 开发与教材配套的STC—15型单片机通用开发板,并申请了专利,授权专利号为:ZL2013 2 0438991.2。同时,该开发板为全国信息技术应用水平大赛“STC”杯单片机系统设计大赛现场赛的指定开发平台。

全书由丁向荣任主编,陈崇辉任副主编,缪文南参编。具体分工如下:丁向荣编写了第1~9章、第11章、第12章、第14章,陈崇辉编写了第10章、第13章,缪文南参与了第11章、第12章的编写工作。深圳宏晶科技有限公司总经理姚永平先生担任主审。姚永平先生亲力亲为,对图书的筹划、编写、校核等各方面提出了宝贵意见。参与资料收集及部分编写的还有郑培彬、陈龙远、吕泽权、胡美兰,在此,对以上人员致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限,书中定有疏漏和不妥之处,敬请读者不吝指正!请将宝贵意见发至电子邮箱dingxiangrong65@163.com,与作者进一步沟通与交流。有关图书的勘误信息会动态地公布在STC的官方网站(www.stcmcu.com)上。

编 者

2014年7月于广州

目 录

第 1 章 微型计算机基础	1
1.1 数制与编码	1
1.1.1 数制及转换方法	1
1.1.2 微型计算机中数的表示方法	4
1.1.3 微型计算机中常用编码	6
1.2 微型计算机原理	7
1.2.1 微型计算机的基本组成	7
1.2.2 指令、程序与编程语言	9
1.2.3 微型计算机的工作过程	9
1.2.4 微型计算机的应用形态	11
本章小结	11
习题与思考题	12
第 2 章 STC15F2K60S2 单片机增强型 8051 内核	13
2.1 单片机概述	13
2.1.1 单片机的概念	13
2.1.2 常见单片机	13
2.1.3 STC 系列单片机	14
2.2 STC15F2K60S2 单片机资源概述与引脚功能	15
2.2.1 STC15F2K60S2 单片机资源与功能概述	15
2.2.2 STC15F2K60S2 单片机引脚功能	15
2.3 STC15F2K60S2 单片机的内部结构	19
2.3.1 STC15F2K60S2 单片机的内部结构框图	19
2.3.2 CPU 结构	20
2.4 STC15F2K60S2 单片机的存储结构	21
2.5 STC15F2K60S2 单片机的并行 I/O 端口	26
2.5.1 STC15F2K60S2 单片机的并行 I/O 端口与 工作模式	26

2.5.2	STC15F2K60S2 单片机的并行 I/O 端口的结构	27
2.5.3	STC15F2K60S2 单片机并行 I/O 端口的使用注意事项	29
2.6	STC15F2K60S2 单片机的时钟与复位	31
2.6.1	STC15F2K60S2 单片机的时钟	31
2.6.2	STC15F2K60S2 单片机的复位	33
	本章小结	35
	习题与思考题	36
第 3 章	STC15F2K60S2 单片机的在线编程与在线仿真	37
3.1	Keil μ Vision4 集成开发环境	37
3.1.1	概述	37
3.1.2	应用 Keil μ Vision4 开发工具编辑、编译用户程序， 生成机器代码	38
3.1.3	应用 Keil μ Vision4 集成开发环境调试用户程序	45
3.2	STC 系列单片机在线编程	53
3.2.1	STC 系列单片机在系统可编程(ISP)电路	53
3.2.2	安装 USB 转串口驱动程序	54
3.2.3	单片机应用程序的下载与运行	56
3.2.4	STC-ISP 在线编程软件的其他功能	57
3.3	Proteus 模拟仿真软件	57
3.3.1	Proteus 绘制电原理图	58
3.3.2	Proteus 模拟仿真软件实施单片机仿真	63
	本章小结	64
	习题与思考题	65
第 4 章	STC15F2K60S2 单片机的指令系统	67
4.1	概述	67
4.2	数据传送类指令	73
4.3	算术运算类指令(24 条)	79
4.4	逻辑运算与循环移位类指令(24 条)	84
4.5	控制转移类指令(17 条)	88
4.6	位操作类指令(17 条)	94
	本章小结	98
	习题与思考题	99
第 5 章	STC15F2K60S2 单片机的程序设计	102
5.1	汇编语言程序设计	102
5.1.1	汇编语言程序设计基础	102

5.1.2 基本程序结构与程序设计举例	107
5.2 C51 程序设计	116
5.2.1 C51 基础	116
5.2.2 C51 程序设计	125
本章小结	131
习题与思考题	131
第 6 章 STC15F2K60S2 单片机存储器的应用	133
6.1 STC15F2K60S2 单片机的程序存储器	133
6.2 STC15F2K60S2 单片机的基本 RAM	135
6.3 STC15F2K60S2 单片机的扩展 RAM(XRAM)	136
6.4 STC15F2K60S2 单片机的 EEPROM(数据 Flash)	140
本章小结	148
习题与思考题	148
第 7 章 STC15F2K60S2 单片机的定时/计数器	149
7.1 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的结构和工作原理	149
7.2 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的控制	150
7.3 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的工作方式	152
7.4 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的应用举例	156
7.4.1 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的定时应用	156
7.4.2 STC15F2K60S2 单片机定时/计数器(T0/T1)的计数应用	158
7.4.3 T0、T1 的综合应用	159
7.5 STC15F2K60S2 单片机的定时/计数器 T2	162
7.5.1 STC15F2K60S2 单片机的定时/计数器 T2 的电路结构	162
7.5.2 STC15F2K60S2 单片机的定时/计数器 T2 的控制寄存器	162
7.6 STC15F2K60S2 单片机的可编程时钟输出功能	164
7.6.1 STC15F2K60S2 单片机的可编程输出时钟: CLKOUT0、 CLKOUT1、CLKOUT2	164
7.6.2 STC15F2K60S2 单片机可编程时钟的应用举例	165
本章小结	166
习题与思考题	167
第 8 章 STC15F2K60S2 单片机中断系统	168
8.1 中断系统概述	168
8.1.1 中断系统的几个概念	168
8.1.2 中断的技术优势	169
8.1.3 中断系统需要解决的问题	169

8.2	STC15F2K60S2 单片机的中断系统	170
8.2.1	STC15F2K60S2 单片机的中断请求	170
8.2.2	STC15F2K60S2 单片机的中断响应	176
8.2.3	STC15F2K60S2 单片机中断应用举例	179
8.3	STC15F2K60S2 单片机外部中断的扩展	183
	本章小结	186
	习题与思考题	186
第 9 章	STC15F2K60S2 单片机的串行口	187
9.1	串行通信基础	187
9.2	STC15F2K60S2 单片机串行口 1	190
9.2.1	串行口 1 的控制寄存器	190
9.2.2	串行口 1 的工作方式	193
9.2.3	串行口 1 的波特率	196
9.2.4	串行口 1 的应用举例	198
9.3	STC15F2K60S2 单片机串行口 2	212
9.3.1	STC15F2K60S2 单片机串行口 2 控制寄存器	212
9.3.2	STC15F2K60S2 单片机串行口 2 的工作方式与波特率	214
9.4	STC15F2K60S2 单片机与 PC 的通信	214
9.4.1	单片机与 PC 的 RS-232C 串行通信接口设计	214
9.4.2	单片机与 PC 的 USB 总线通信接口设计	217
9.4.3	单片机与 PC 串行通信的程序设计	217
9.5	STC15F2K60S2 单片机串行口 1 的中继广播方式	219
9.6	STC15F2K60S2 单片机串行口硬件引脚的切换	220
	本章小结	221
	习题与思考题	222
第 10 章	STC15F2K60S2 单片机的 A/D 转换模块	223
10.1	STC15F2K60S2 单片机 A/D 模块的结构	223
10.2	STC15F2K60S2 单片机 A/D 模块的控制	224
10.3	STC15F2K60S2 单片机 A/D 转换的应用	227
	本章小结	236
	习题与思考题	236
第 11 章	STC15F2K60S2 单片机 CCP/PCA/PWM 模块	237
11.1	STC15F2K60S2 单片机的 CCP/PCA/PWM 模块的结构	237
11.2	PCA 模块的特殊功能寄存器	238
11.3	CCP/PCA 模块的工作模式与应用举例	241

11.4 PCA 模块功能引脚的切换	251
本章小结	252
习题与思考题	252
第 12 章 STC15F2K60S2 单片机的 SPI 接口	253
12.1 SPI 接口的结构	253
12.2 SPI 接口的特殊功能寄存器	255
12.3 SPI 接口的数据通信	256
12.4 SPI 接口的应用举例	261
12.5 SPI 接口功能引脚的切换	265
本章小结	265
习题与思考题	266
第 13 章 单片机应用系统的设计	267
13.1 单片机应用系统的开发流程	267
13.1.1 单片机应用系统的设计原则	267
13.1.2 单片机应用系统的开发流程	268
13.1.3 单片机应用系统工程报告的编制	271
13.2 人机对话接口应用设计	273
13.2.1 LED 数码显示与应用编程	273
13.2.2 LED 显示接口与应用编程	282
13.2.3 键盘接口与应用编程	298
13.3 串行总线接口技术与应用编程	306
13.3.1 I ² C 串行总线接口技术与应用编程	306
13.3.2 单总线接口技术与应用编程	322
13.4 STC15F2K60S2 单片机的低功耗设计与可靠性设计	330
13.4.1 STC15F2K60S2 单片机的低功耗设计	330
13.4.2 STC15F2K60S2 单片机的可靠性设计	334
本章小结	337
习题与思考题	338
第 14 章 微型计算机总线扩展技术*	339
14.1 微型计算机的总线结构	339
14.2 MCS-51 单片机系统扩展	339
14.2.1 编址技术	340
14.2.2 程序存储器的扩展	343
14.2.3 数据存储器的扩展	344
14.2.4 I/O 接口的扩展	345

· 本章小结	347
· 习题与思考题	347
附录 A ASCII 码表	348
附录 B STC15F2K60S2 单片机指令系统表	349
附录 C STC_ISP 下载编程软件实用程序简介	354
附录 D C51 常用头文件与库函数	357
附录 E STC15 系列单片机功能特性	369
参考文献	372

微型计算机基础

1.1 数制与编码

数制与编码是微型计算机的基本数字逻辑基础,是学习微型计算机的必备知识。数制与编码的知识一般会在数字逻辑或计算机文化基础中学习,但数制与编码的知识与当前课程的关系并非“不可或缺”,又比较枯燥。在微型计算机原理或单片机的教学中,教师普遍感觉到,学生这方面的知识不扎实。在此,以提纲挈领的形式再理一理。

1.1.1 数制及转换方法

数制是计数的方法,通常采用进位计数制。在微型计算机的学习与应用中,主要有十进制、二进制和十六进制 3 种计数方法。日常生活采用的是十进制,微型计算机硬件电路采用的是二进制,但为了更好地记忆与描述微型计算机的地址、程序代码以及运算数字,一般采用十六进制。

1. 各种进位计数制及其表示方法

各种进位计数制及其表示方法如表 1.1 所示。

表 1.1 二进制、十进制与十六进制的计数规则与表示方法

进位制	计数规则	基数	各位的权	数 码	权值展开式	表示法	
						后缀字符	下标
二进制	逢二进一	2	2^i	0, 1	$(b_{n-1} \cdots b_1 b_0 b_{-1} \cdots b_{-m})_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \cdot 2^i$	B	$()_2$
十进制	逢十进一	10	10^i	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9	$(d_{n-1} \cdots d_1 d_0 d_{-1} \cdots d_{-m})_{10} = \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \cdot 10^i$	D	$()_{10}$
						通常缺省表示	
十六进制	逢十六进一	16	16^i	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F	$(h_{n-1} \cdots h_1 h_0 h_{-1} \cdots h_{-m})_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} h_i \cdot 16^i$	H	$()_{16}$

注: i 是各进制数码在数字中的位置, i 值是以小数点为界, 往左依次为 0、1、2、3、..., 往右依次为 -1、-1、-3、...

2. 数制之间的转换

任意进制之间相互转换,整数部分和小数部分必须分别进行。各进制的相互转换关系如图 1.1 所示。

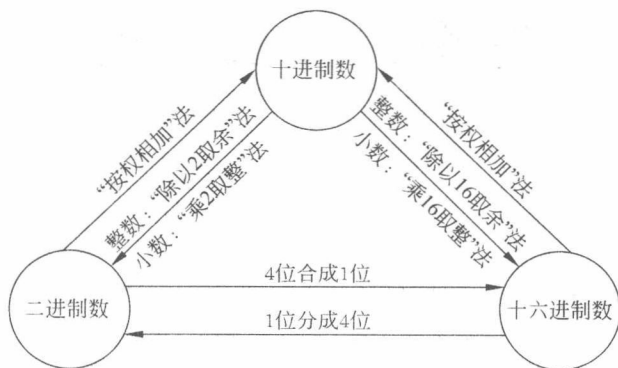


图 1.1 各进制的相互转换关系图

(1) 二进制、十六进制转十进制

将二进制、十六进制数按权值展开式展开相加所得数,即为十进制数。

(2) 十进制转二进制

十进制转二进制要分成整数部分与小数部分,而且其转换方法是完全不同的。

① 十进制整数部分转换成二进制——除 2 取余法,并倒序排列,如下所示。

2	84	余数	二进制数码
2	42	0	b_0
2	21	0	b_1
2	10	1	b_2
2	5	0	b_3
2	2	1	b_4
2	1	0	b_5
	0	1	b_6

$$(84)_{10} = (1010100)_2$$

② 十进制小数转换成二进制小数——乘 2 取整法,如下所示。

		0.6875
		$\times 2$
b_{-1}	1	1.3750
		$\times 2$
b_{-2}	0	0.7500
		$\times 2$
b_{-3}	1	1.5000
		$\times 2$
b_{-4}	1	1.0000

$$(0.6875)_{10} = (0.1011)_2$$

将上述两部分合起来,则有

$$(84.6875)_{10} = (1010100.1011)_2$$

(3) 二进制与十六进制互转

① 二进制转十六进制。

以小数点为界,往左、往右每 4 位二进制数为一组,每 4 位二进制数用 1 位十六进制数表示,往左高位不够用 0 补齐,往右低位不够用 0 补齐。例如:

$$(111101.011101)_2 = (\underline{0011} \ \underline{1101} . \underline{0111} \ \underline{0100})_2 = (3D.74)_{16}$$

② 十六进制转二进制。

每位十六进制数用 4 位二进制数表示,再将整数部分最高位的 0 去掉,小数部分最低位的 0 去掉。例如:

$$(3C20.84)_{16} = (\underline{0011} \ \underline{1100} \ \underline{0010} \ \underline{0000} . \underline{1000} \ \underline{0100})_2 = (11110000100000.100001)_2$$



数制转换工具

利用 PC 附件中的计算器(科学型)可实现各数制间的相互转换。单击任务栏中的“开始”按钮,选择“所有程序”→“附件”→“计算器”,即可打开计算器工具,在计算器工具界面“查看”菜单栏中选择“科学型”,计算器界面即为科学型计算器工具界面,如图 1.2 所示。

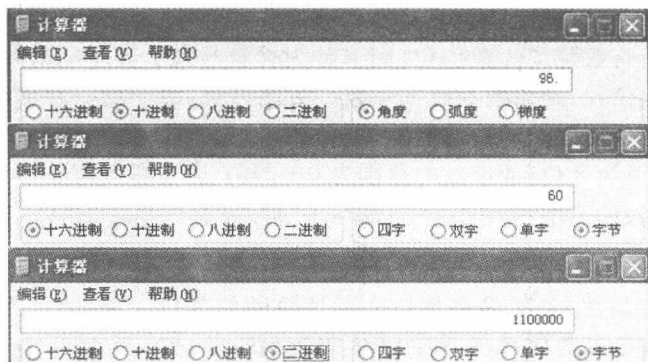


图 1.2 科学型计算器与各进制转换

转换方法:先选择被转换数制的类型,输入转换数字,再选择目标转换数制类型,此时,看到的的就是转换后的数字。如 96 转换为十六进制、二进制,先选择数制类型为十进制,如图 1.2 上部所示,在输入框中输入数字 96,然后选择数制类型为十六进制,此时,显示框中看到的数字即为转换后的十六进制数字 60,如图 1.2 中部所示;再选择数制类型为二进制,此时,显示框中看到的数字即为转换后的二进制数字 1100000,如图 1.2 底部所示。

3. 二进制数的运算规则

(1) 加法运算规则

$$0+0=0, \quad 0+1=1, \quad 1+1=0(\text{有进位})$$

(2) 减法运算规则

$$0-0=0, \quad 1-0=1, \quad 1-1=0, \quad 0-1=1(\text{有借位})$$

(3) 乘法运算规则

$$0 \times 0 = 0, \quad 1 \times 0 = 1, \quad 1 \times 1 = 1$$

1.1.2 微型计算机中数的表示方法

1. 机器数与真值

数学中的正、负用符号“+”和“-”表示,计算机中是如何表示数的正、负呢?在计算机中数据是存放在存储单元内,而每个存储单元则由若干二进制位组成,其中每一数位或是0,或是1。刚好数的符号或为“+”号,或为“-”号,这样就可用一个数位表示数的符号。在计算机中规定用“0”表示“+”,用“1”表示“-”。用来表示数的符号的数位称为“符号位”(通常为最高数位),于是数的符号在计算机中已数码化了,但从表示形式上看符号位与数值位毫无区别。

设有两个数 x_1, x_2 :

$$x_1 = +1011011\text{B}; \quad x_2 = -1011011\text{B}$$

它们在计算机中分别表示为(带下划线部分为符号位,字长为8位):

$$x_1 = \underline{0}1011011\text{B}; \quad x_2 = \underline{1}1011011\text{B}$$

为了区分这两种形式的数,把机器中以编码形式表示的数称为机器数(上例中 $x_1 = 01011011\text{B}$ 及 $x_2 = 11011011\text{B}$),而把原来一般书写形式表示的数称为真值($x_1 = +1011011\text{B}$ 及 $x_2 = -1011011\text{B}$)。

若一个数的所有数位均为数值位,则该数为无符号数;若一个数的最高数位为符号位而其他数位为数值位,则该数为有符号数。由此可见,对于同一存储单元,它存放的无符号数和有符号数所能表示的数值范围是不同的[如存储单元为8位,当它存放无符号数时,因有效的数值位为8位,故该数的范围为0~255;当它存放有符号数时,因有效的数值位为7位,故该数的范围(补码)为-128~+127]。

2. 原码

对于一个二进制数,如用最高数位表示该数的符号(“0”表示“+”号,“1”表示“-”号),其余各数位表示其数值本身,则称为原码表示法:

若 $x = \pm x_1 x_2 \cdots x_{n-1}$, 则 $[x]_{\text{原码}} = x_0 x_1 x_2 \cdots x_{n-1}$ 。

其中, x_0 为原机器数的符号位,它满足:

$$x_0 = \begin{cases} 0, & x \geq 0 \\ 1, & x < 0 \end{cases}$$

3. 反码

$[x]_{\text{原}} = 0x_1 x_2 \cdots x_{n-1}$, 则 $[x]_{\text{反}} = [x]_{\text{原}}$ 。

$[x]_{\text{原}} = 1x_1 x_2 \cdots x_{n-1}$, 则 $[x]_{\text{反}} = 1 \overline{x_1} \overline{x_2} \cdots \overline{x_{n-1}}$ 。

也就是说,正数的反码与其原码相同(反码=原码),而负数的反码为保持原码的符号位不变,数值位按位取反。

4. 补码

(1) 补码的引进

首先以日常生活中经常遇到的钟表“对时”为例说明补码的概念。假定现在是北京标