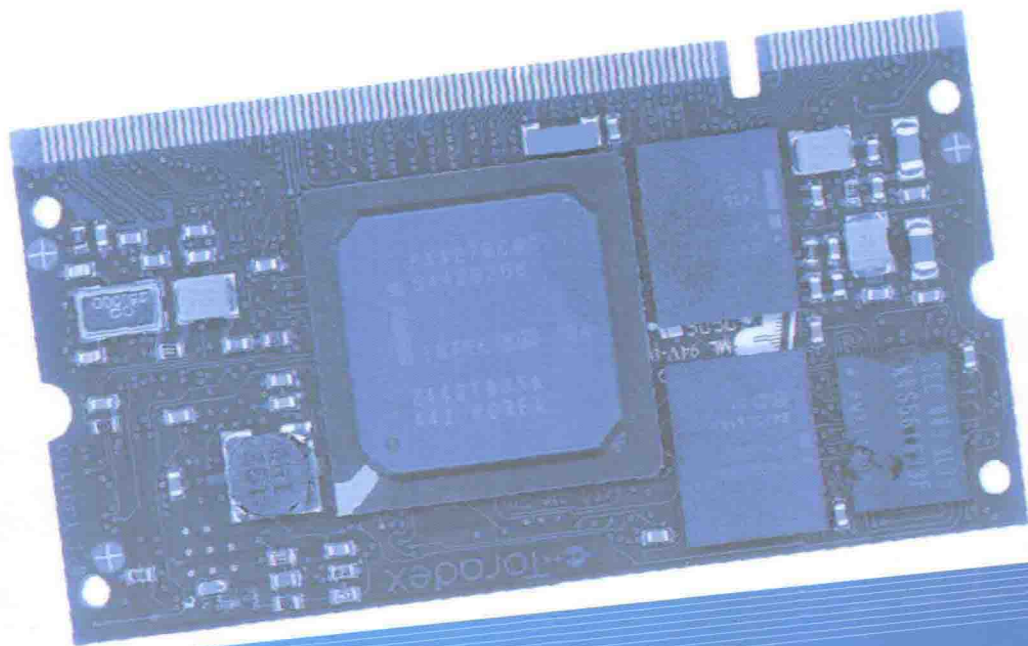


21世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材



单片机应用技术教程

主 编 罗国荣 海鹏洲



- 模块与体例精心设计冲击视觉——妙手添花
- 11个项目全面引领单片机教学——深入浅出
- 汇编语言和C语言双重讲解——奠定嵌入式基础



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材

单片机应用技术教程

主 编	罗国荣	海鹏洲	
副主编	戚金凤	雷源春	何建威
	吴国文	杨慧敏	李廷贵
	张春龙		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是编者依据多年来在单片机教学、项目开发及技术培训等方面的经验编写的。本书共分 11 个项目, 主要内容包括: 点亮一个 LED 灯、彩灯控制电路、秒脉冲发生器电路、脉冲计数测量电路、数码显示电路、彩灯键盘显示控制系统电路、A/D 转换控制系统电路、PWM 直流电机控制系统电路、MCU 之间的串行通信(一)、MCU 之间的串行通信(二)、汽车车灯智能控制系统。在各项目中, 每个实例的源代码都分别给出了汇编语言和 C 语言程序, 以供初学者参考, 这是本书的一大特点。

本书内容新颖、实用, 重点突出, 详略得当, 可用作大中专院校单片机课程教材, 也可供从事单片机产品开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技术教程/罗国荣, 海鹏洲主编. —北京: 北京大学出版社, 2012.2

(21 世纪全国高职高专电子信息系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-20000-1

I. ①单… II. ①罗…②海… III. ①单片微型计算机—高等教育—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 277494 号

书 名: 单片机应用技术教程

著作责任者: 罗国荣 海鹏洲 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 刘健军

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-20000-1/TH · 0281

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.5 印张 506 千字

2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 40.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

目前,单片机的应用非常广泛,如电话机、温度与流量控制仪表、马达、电冰箱、洗衣机、微波炉、监视器、医疗器械、通信设备、汽车电子仪表、卫星导航仪表等。可以说单片机的应用无处不在,而且以后的应用也会越来越广泛,因此单片机技术是机电类相关技术人员必须掌握的知识和技能。

本书以市面上应用广泛的飞思卡尔 8 位单片机为例进行讲解。飞思卡尔的前身是摩托罗拉半导体部,摩托罗拉是世界上最大的单片机厂商,其产品特点是品种齐全、选择余地大、新产品多,多年来一直雄居单片机销量的榜首。它的特点是在同样的速度下所用的时钟频率较其他单片机低得多,因而使得高频噪声低,抗干扰能力强,更适合于恶劣的环境。编者对飞思卡尔 HCS08 系列微控制器有丰富的研发经验,在充分消化吸收飞思卡尔半导体公司的技术资料的基础上编写了本书。

本书由浅入深地阐述了飞思卡尔单片机的硬件结构、开发工具软件、程序设计所需的汇编语言和 C 语言、单片机各种功能模块的具体应用。读者可按下表课时安排进行学习。

章 节	教 学 内 容	课时数
项目 1	点亮一个 LED 灯	8
项目 2	彩灯控制电路	6
项目 3	秒脉冲发生器电路	12
项目 4	脉冲计数测量电路	6
项目 5	数码显示电路	4
项目 6	彩灯键盘显示控制系统电路	6
项目 7	A/D 转换控制系统电路	8
项目 8	PWM 直流电机控制系统电路	6
项目 9	MCU 之间的串行通信(一)	8
项目 10	MCU 之间的串行通信(二)	6
项目 11	汽车车灯智能控制系统	6
复 习		4
共 计		80

本书的主要特点是在每个实例应用中都用汇编语言和 C 语言讲解,非常适合初学者的学习和制作,以作为日后提升嵌入式系统设计能力的基础,也适合现阶段从事嵌入式系统的设计人员参考之用。

本书由广州科技职业技术学院罗国荣、海鹏洲担任主编,广州科技职业技术学院戚金凤、雷源春、何建威、吴国文、杨慧敏,以及泸州职业技术学院李廷贵、黑龙江生态工程职业学院张春龙担任副主编,具体分工如下:张春龙编写了项目 1,罗国荣编写了项目 3、项目

10 和附录，戚金凤编写了项目 2，李廷贵编写了项目 4，雷源春编写了项目 5，何建威编写了项目 6，吴国文编写了项目 7，海鹏洲编写了项目 8、项目 11，杨慧敏编写了项目 9。另外，梁燕、唐美审阅了本书，并提出了许多宝贵意见，在此表示衷心的感谢！同时本书的编写也参考和借鉴了大量的相关资料和书籍，在此一并向有关作者致以最诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2011 年 11 月

北京大学出版社高职高专电子信息系列规划教材

序号	书号	书名	编著者	定价	出版日期
1	978-7-301-11566-4	电路分析与仿真教程与实训	刘辉珞	20.00	2007.2
2	978-7-301-12182-5	电工电子技术	李艳新	29.00	2007.8
3	978-7-301-12181-8	自动控制原理与应用	梁南丁	23.00	2007.8
4	978-7-301-12180-1	单片机开发应用技术	李国兴	21.00	2007.8
5	978-7-301-09529-5	电路电工基础与实训	李春彪	31.00	2007.8
6	978-7-301-12392-8	电工与电子技术基础	卢菊洪	28.00	2007.9
7	978-7-301-12386-7	高频电子线路	李福勤	20.00	2008.1
8	978-7-301-12384-3	电路分析基础	徐 锋	22.00	2008.5
9	978-7-301-13572-3	模拟电子技术及应用	刁修睦	28.00	2008.6
10	978-7-301-13575-4	数字电子技术及应用	何首贤	28.00	2008.6
11	978-7-301-14453-4	EDA 技术与 VHDL	宋振辉	28.00	2009.2
12	978-7-301-14469-5	可编程控制器原理及应用(三菱机型)	张玉华	24.00	2009.3
13	978-7-301-12385-0	微机原理及接口技术	王用伦	29.00	2009.4
14	978-7-301-12390-4	电力电子技术	梁南丁	29.00	2009.4
15	978-7-301-12383-6	电气控制与 PLC(西门子系列)	李 伟	26.00	2009.6
16	978-7-301-12391-1	数字电子技术	房永刚	24.00	2009.7
17	978-7-301-12387-4	电子线路 CAD	殷庆纵	28.00	2009.8
18	978-7-301-12382-9	电气控制及 PLC 应用(三菱系列)	华满香	24.00	2009.9
19	978-7-301-16898-1	单片机设计应用与仿真	陆旭明	26.00	2010.2
20	978-7-301-16830-1	维修电工技能与实训	陈学平	37.00	2010.7
21	978-7-301-17324-4	电机控制与应用	魏润仙	34.00	2010.8
22	978-7-301-17569-9	电工电子技术项目教程	杨德明	32.00	2010.8
23	978-7-301-17696-2	模拟电子技术	蒋 然	35.00	2010.8
24	978-7-301-17712-9	电子技术应用项目式教程	王志伟	32.00	2010.8
25	978-7-301-17730-3	电力电子技术	崔 红	23.00	2010.9
26	978-7-301-17877-5	电子信息专业英语	高金玉	26.00	2010.10
27	978-7-301-17958-1	单片机开发入门及应用实例	熊华波	30.00	2011.1
28	978-7-301-18188-1	可编程控制器应用技术项目教程(西门子)	崔维群	38.00	2011.1
29	978-7-301-18322-9	电子 EDA 技术(Multisim)	刘训非	30.00	2011.1
30	978-7-301-18144-7	数字电子技术项目教程	冯泽虎	28.00	2011.1
31	978-7-301-18470-7	传感器检测技术及应用	王晓敏	35.00	2011.1
32	978-7-301-18630-5	电机与电力拖动	孙英伟	33.00	2011.3
33	978-7-301-18519-3	电工技术应用	孙建领	26.00	2011.3
34	978-7-301-18770-8	电机应用技术	郭宝宁	33.00	2011.5
35	978-7-301-18520-9	电子线路分析与应用	梁玉国	34.00	2011.7
36	978-7-301-18622-0	PLC 与变频器控制系统设计与调试	姜永华	34.00	2011.6
37	978-7-301-19310-5	PCB 板的设计与制作	夏淑丽	33.00	2011.8
38	978-7-301-19326-6	综合电子设计与实践	钱卫钧	25.00	2011.8
39	978-7-301-19302-0	基于汇编语言的单片机仿真教程与实训	张秀国	32.00	2011.8
40	978-7-301-19153-8	数字电子技术与应用	宋雪臣	33.00	2011.9
41	978-7-301-19525-3	电工电子技术	倪 涛	38.00	2011.9
42	978-7-301-19953-4	电子技术项目教程	徐超明	38.00	2012.1
43	978-7-301-20000-1	单片机应用技术教程	罗国荣	40.00	2012.2
44	978-7-301-20009-4	数字逻辑与微机原理	宋振辉	49.00	2012.1

请登录 www.pup6.cn 免费下载本系列教材的电子书(PDF 版)、电子课件和相关教学资源。

欢迎免费索取样书,并欢迎到北京大学出版社来出版您的大作,可在 www.pup6.cn 在线申请样书和进行选题登记,也可下载相关表格填写后发到我们的邮箱,我们将及时与您取得联系并做好全方位的服务。

联系方式:010-62750667, laqingbeida@126.com, linzhangbo@126.com, 欢迎来电来信。

目 录

项目 1 点亮一个 LED 灯	1	5.5 端口 E.....	150
1.1 MC9S08GB60A 单片机的整体结构.....	4	5.6 端口 F.....	152
1.2 MC9S08GB60A 单片机的引脚及封装.....	10	5.7 端口 G	154
1.3 MC9S08GB60A 存储器结构图	15	5.8 输入/输出端口应用	157
1.4 复位与中断	18	项目 6 彩灯键盘显示控制系统电路	178
1.5 低电压检测保护系统(LVD)	21	6.1 键盘中断模块的概述	180
项目 2 彩灯控制电路.....	24	6.2 键盘中断模块的应用	185
2.1 编程平台 CodeWarrior 的开发环境	25	项目 7 A/D 转换控制系统电路.....	199
2.2 工程和文件	33	7.1 A/D 转换器的基本知识.....	200
2.3 编译器.....	39	7.2 模数转换模块(A/D)的概述	202
2.4 链接器.....	42	7.3 模数转换模块(A/D)的应用	211
2.5 综合应用实例	43	项目 8 PWM 直流电机控制系统电路	220
项目 3 秒脉冲发生器电路.....	52	8.1 定时器/脉冲调宽模块(TPM)的概述	222
3.1 寻址方式.....	53	8.2 定时器/脉冲调宽模块(TPM)的应用	233
3.2 汇编指令系统及应用举例	57	项目 9 MCU 之间的串行通信(一).....	245
3.3 伪指令.....	88	9.1 串行通信接口及其相关概念.....	246
3.4 基本程序设计范例	92	9.2 串行通信接口 SCI 模块的概述	249
项目 4 脉冲计数测量电路.....	99	9.3 串行通信接口 SCI 模块的应用	269
4.1 C 语言的数据类型、运算符和表达式.....	101	项目 10 MCU 之间的串行通信(二)	278
4.2 算术运算符	104	10.1 串行外围器件接口 SPI 的概念.....	279
4.3 C 语言的程序控制结构.....	107	10.2 串行外围器件 SPI 模块的应用	292
4.4 C 语言的数组和指针	117	项目 11 汽车车灯智能控制系统.....	301
4.5 C 语言的函数、结构体和共用体.....	121	附录 A 寄存器简表	317
项目 5 数码显示电路.....	134	附录 B 汇编指令简表	323
5.1 端口 A	137	参考文献.....	335
5.2 端口 B	140		
5.3 端口 C	144		
5.4 端口 D.....	147		

项目1

点亮一个 LED 灯

学习目标

通过本项目的学习，能够熟练阐述飞思卡尔 HCS08 系列 MC9S08GB60A 单片机的内部资源及特点；能够阐述 MC9S08GB60A 单片机的整体结构；能够理解与内核相关 CPU 控制寄存器的作用；熟悉并能识别 MC9S08GB60A 单片机的封装及引脚；能够根据应用要求设计硬件电路图；能够熟悉阐述 MC9S08GB60A 单片机的存储器结构；能够理解中断与复位的概念及用途。

学习要求

能力目标	知识要点	权 重	自测分数
能够熟练阐述飞思卡尔 HCS08 系列 MC9S08GB60A 单片机的内部资源及特点	60KB 带块保护和安全机制的可片上在线编程的 Flash 存储器、4KB 片上随机存储器 (RAM)、8 通道 10 位模数转换器 (ATD)	10%	
掌握 MC9S08GB60A 单片机的整体结构	Flash 存储器、随机存储器 (RAM)、模数转换器 (ATD)、串行外围器件接口模块 (SPI)、串行通信接口模块 (SCI)、IIC 总线 (IIC)、定时器/脉宽调制器 (TPM) 模块、键盘中断模块 (KBI)	15%	
理解与内核相关 CPU 控制寄存器的作用	累加器 A、变址寄存器、堆栈指针、程序计数器、条件码寄存器	30%	
能够识别 MC9S08GB60A 单片机的封装及引脚；能够根据应用要求设计硬件电路图	电源引脚、振荡器引脚、复位引脚、背景/模式选择引脚、通用 I/O 及外设端口引脚	30%	
能够熟悉阐述 MC9S08GB60A 单片机的存储器结构；理解中断与复位的概念及用途	Flash 存储器、随机存储器 (RAM)、复位、中断	15%	

项目导入

一个最简单的单片机系统的开发也需要电路设计、单片机器件选择和程序编写这 3 个步骤。对于单片机系统，最简单的功能无非是控制输出电平的高低，这也是数字电路最基本的功能，所以，第一个例子就

是将单片机系统接上一个发光二极管，用二极管的亮灭表示设计的单片机系统是否正常工作。

图 1.1 是采用飞思卡尔 MC9S08GB60A 型单片机组成的最小系统电路，设计要求：利用 CodeWarrior 软件包，编写一个使 LED 灯点亮的程序并编译。将编译后的二进制文件通过 ISP 下载接口写入 MC9S08GB60A 单片机芯片中，运行程序观察 LED 灯的状态。



项目分析

要了解单片机的控制作用，必须先认识单片机，熟悉单片机的基本结构及功能，而利用单片机集成开发环境(IDE)——CodeWarrior 软件包，可以更加直观地模拟仿真单片机的工作过程，现在就让我们来认识单片机，学习单片机的特点、整体结构、引脚及其存储器结构等。(注意，本书是以飞思卡尔单片机为学习对象。)

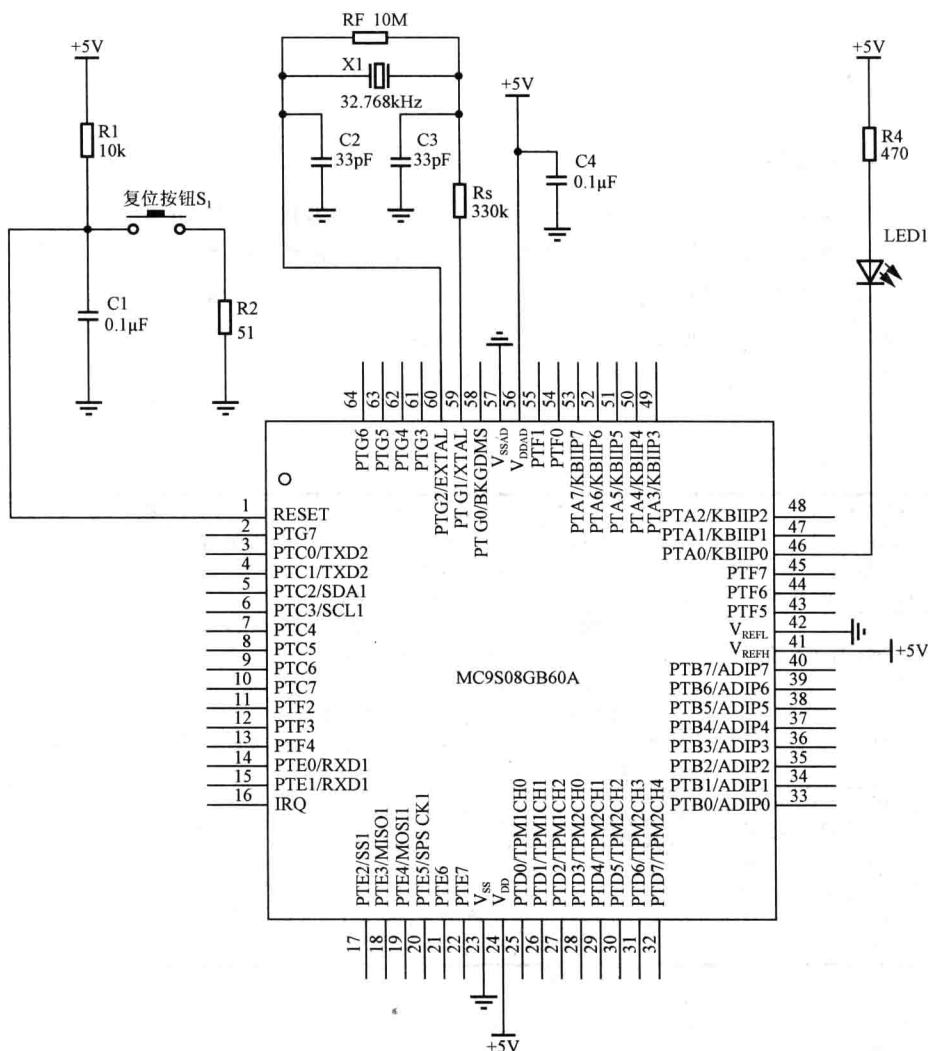


图 1.1 单片机最小系统电路的构成



相关知识

单片机是一种集成在电路的芯片,是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器(CPU)、随机存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、多种 I/O 口和中断系统、定时器/计数器等功能(可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换器、A/D 转换器等电路)集成到一块硅片上构成的一个小而完善的计算机系统。它的应用十分广泛,在工业控制领域、家电产品、智能化仪器仪表、计算机外部设备,特别是机电一体化产品中,都有十分重要的用途。单片机的种类繁多,本书以飞思卡尔半导体(Freescale)的单片机为例,叙述其功能及应用。

飞思卡尔半导体是嵌入式半导体设计与制造的全球领导者,其产品面向汽车、消费电子、工业和网络市场。飞思卡尔的前身是拥有 50 多年历史的摩托罗拉半导体部,在此期间,该公司广泛开发出先进的技术以及嵌入式领域的专业知识,并带来了诸多创新的系统级解决方案。多年来,飞思卡尔公司致力于开发先进的高性能技术,为客户创造价值,引领行业未来的发展。其知识产权包括 6200 多项专利产品系列,每年的研发投资超过 10 亿美元,在全球 20 个国家拥有 20000 名员工,促进创新和多元化,在环保方面保持领先地位。飞思卡尔凭借其雄厚的技术实力、强大的产品系列和专利组合,并依靠合作伙伴和联盟关系,提供全面的解决方案,以满足复杂的客户和市场需求。

目前飞思卡尔半导体主推的 8 位机是 HCS08 系列。HCS08 微控制器不仅集成度高、片内资源丰富,接口模块包括 SPI、SCI、IIC、A/D、KBI、定时器、LVD 和 PWM 等,且具有灵活的时钟模式,还具有很宽的工作温度范围。其主要特点如下:技术成熟、高可靠、高性能、抗干扰和电磁兼容性强,内部资源丰富,且种类齐全,选择余地大,新产品多;开发技术先进且费用低廉,可提供免费的集成开发环境和开发调试器;支持 C 高级语言开发,并进行了硬件和软件优化,效率较高;飞思卡尔推出的 flexis 系列(属于 S08 高端和 coldfire 低端)可平滑完成从 8 位 MCU 到 32 位 MCU 核心的转移,它们的引脚兼容、开发环境不变。

HCS08 系列 MCU 具有悠久的历史,其与 Intel8051 单片机是同一时期推出的,但与 Intel8051 系列单片机不同。HCS08 在近 30 年的发展中不断改进优化(而 8051 这么多年来基本上没有什么改进),今天的 HCS08MCU 以远非当初与 8051 同一水准的产品了。秉承飞思卡尔处理器一贯的高可靠性、抗干扰能力强的特点,HCS08 的可靠性及稳定性是首屈一指的,在国外大量应用于工业控制、汽车电子等环境恶劣的场合,同时 HCS08 系列的易用性也是一流的,高度模块化的结构和丰富的片上资源使得很少需要外扩电路模块即可完成设计,有利于降低整个系统的成本和 PCB 面积。

HCS08MCU 具有 40MHz 的主频,产品线齐全,其硬件结构、性能、存储器结构及工作原理大体相同,有 8pin 的低端单片机也有集成了 usb、can 等高端 MCU,但由于整个系列的 HCS08 是高度兼容的,其实只要学会一种,就可很容易学会其他型号的 S08 单片机。

MC9S08GB60A 是 HCS08 系列的首款产品,下面将其作为 HCS08 系列 MCU 的一个典型实例进行介绍。MC9S08GB60A 的功能特点如下。

- 可在线编程的 60KB Flash 存储器,该存储器具有块保护和机制。
- 具有 4KB 容量的片上随机存储器(RAM)。
- 具有 8 通道、10 位的模数转换器(ATD)。
- 具有两个串行通信接口模块(SCI)。
- 具有串行外设接口模块(SPI)。
- 可选的时钟源有:晶体振荡器、陶瓷谐振器、外部时钟或经精确的 NVM 校准的内部时钟。
- 具有高达 100Kb/s 的 IIC 总线(IIC)。
- 具有一个 3 通道和一个 5 通道的 16 位定时器/脉宽调制器模块(TPM),每个通道可以选择输入捕

捉、输出比较和边缘对齐 PWM 等功能。每个定时模块的每个通道可配置为缓冲的中心对齐的脉宽调制模式(CPWM)。

- 具有 8 个引脚键盘中断模块(KBI)。
- 具有 16 个大电流引脚(受封装形式限制)。
- 端口引脚作为输入时,可以通过软件设置是否有内部上拉电阻,端口的每一位都可以单独设置,端口引脚作为输出时,内部上拉电阻会被禁止。
- RESET 和 IRQ 引脚设置内部上拉电阻可减少用户系统开销。
- 56 个通用输入/输出引脚(I/O),和封装形式有关。
- 该芯片采用 64 引脚薄型扁平式的封装(LQFP)。



知识链接

单片机的种类繁多,较常见的单片机有飞思卡尔单片机、Amdel 单片机、AVR 单片机、PIC 单片机、合泰单片机等。各种单片机都有其各自的特点及价格优势。飞思卡尔的微控制器(即单片机)有 8 位微控制器、16 位微控制器、数字信号微控制器、Kinetis ARM Cortex-M4 微控制器、基于 Power Architecture®技术的 32 位 Qorivva 微控制器、ColdFire32 位微控制器、ColdFire+ 32 位微控制器。其中 8 位单片机可分 6 种类型:RS08 系列、HCS08 系列、HC08 系列、HC05 系列、HC11 系列和“嵌入式+电源”的单片机。用户进行项目设计时,要根据应用工程的要求及其性价比选择相应系列的单片机。

内部上拉电阻也称内部上拉,是芯片内部的一个电阻,芯片的引脚通过它连接到系统电源上。内部下拉电阻也称内部下拉,也是芯片内部的一个电阻,芯片的引脚通过它连接到系统地。

1.1 MC9S08GB60A 单片机的整体结构

MC9S08GB60A 单片机内部组成包括 HCS08 内核、Flash 存储器、片上随机存储器(RAM)、8 通道 10 位模数转换器(ATD)、两个串行通信接口模块(SCI)、串行外设接口模块(SPI)、定时器/脉宽调制器(TPM)模块、100Kb/s 的 IIC 总线(IIC)、8 个引脚键盘中断模块(KBI)等主要部件,如图 1.2 所示。图中标有注意事项的解释如下。

- (1) 端口引脚作为输入时可以通过软件设置选择内部上拉电阻。
- (2) 若 IRQ 使能(IRQPE=1),引脚包含可软件配置的上拉/下拉电阻。
- (3) IRQ 没有通过钳位二极管连接 V_{DD} 。IRQ 不能加载高于 V_{DD} 的电平。
- (4) 引脚包含集成的上拉电阻。
- (5) 大电流驱动。
- (6) PTA[7:4]引脚包含可软件配置的上拉/下拉电阻。

单片机内部最核心的部分是 HCS08 内核,它是单片机的大脑和心脏。它的主要功能是产生各种控制信号、控制存储器、输入/输出端口的数据传送、数据的算术运算、逻辑运算、位操作以及各种保护功能。

Flash 存储器主要用于保存程序和数据,一般存放程序代码和不常改变的数据。可以通过单线后台调试接口把需要的程序和数据上载到 Flash 存储器中。它的一个突出的优点是

擦除和编程操作不需要特殊的电压，所以也可以通过其他软件控制的通信路径来实现应用编程。

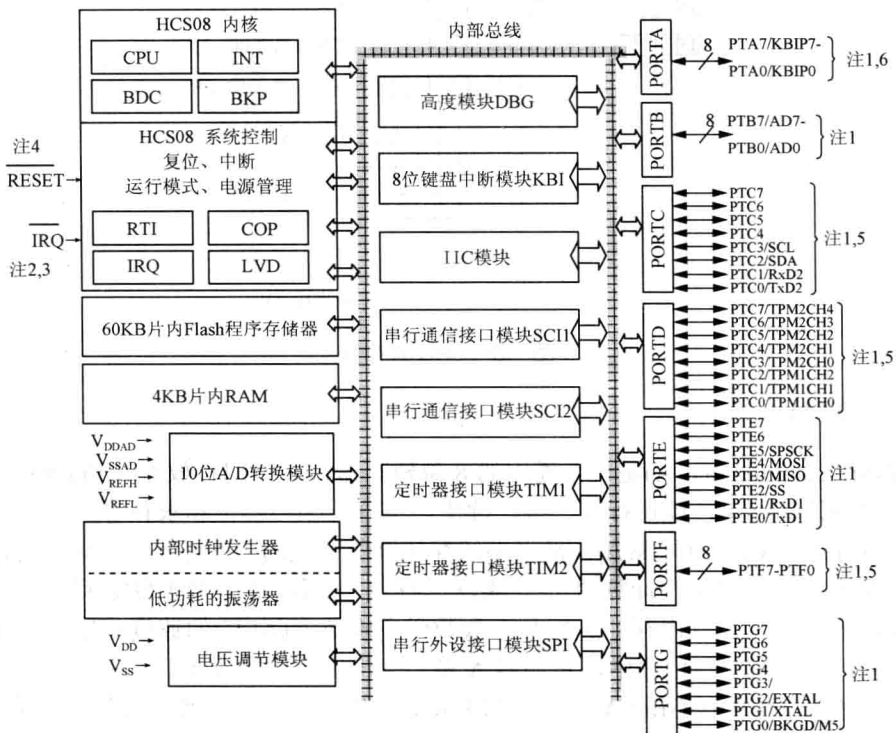


图 1.2 MC9S08GB60A 单片机整体结构框图

RAM 数据存储器主要用于存放运算中间结果、数据暂存和缓冲、标志位、待调试的程序等。模数转换器(ATD)可把芯片外部的模拟信号转换为适合单片机内核处理的数字信号。串行通信接口模块(SCI)、串行外设接口模块(SPI)和 IIC 总线模块(IIC)主要用于与外界器件进行信息交换。定时器/脉宽调制器(TPM)模块实现定时、计数和 PWM 脉宽信号输出等功能。调试模块 BDG 与内核中的背景调试控制器 BDC 一起进行片上闪存和其他非易失性存储器的编程。键盘中断模块(KBI)可以方便地把外部的按键信号传送入单片机内核。



知识链接

不同种类的单片机，甚至同一种类不同类型的单片机，其结构中的功能模块并不一定相同，如 Amtel 单片机 AT89S52，它的结构中就没有模数转换模块(ATD)，如果须用这个模块的功能，必须另外购买模数转换模块(ATD)，再通过引脚连接才能实现该功能。

要实现内核与各模块的功能，需要单片机内核 CPU 寄存器的支持。与内核相关 CPU 控制寄存器简述如下，如图 1.3 所示。

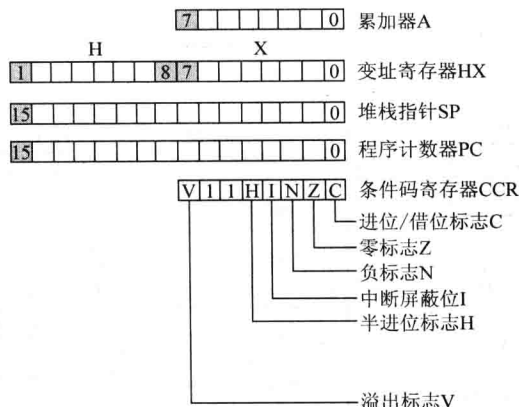


图 1.3 CPU 寄存器

1.1.1 累加器(A)

累加器(Accumulator, A)是一个通用的 8 位暂存器,是专门存放 CPU 的操作数与算术或逻辑运算的计算结果,能进行加、减、读出、移位、循环移位和求补等操作。

在中央处理器 CPU 中,累加器是用来储存计算所产生的中间结果。如果没有像累加器这样的暂存器,那么在每次计算(加法、乘法、移位等)后就必须要将结果写回到内存,然后再读取出来。然而存取内存的速度与存取数学逻辑单元(ALU)的速度相比较,存取内存的速度更慢,所以在编写程序中,累加器 A 是一个最常用的寄存器。

累加器 A 是 MC9S08GB60A 单片机的主要数据寄存器。一般地,数据的存取、传送、移位、算术运算、逻辑运算等都应用到它,例如,数据可以通过 LDA 指令从存储器读入到 A,或通过 PULA 指令从堆栈读入到 A;数据也可通过指令 STA 将 A 的内容存入存储器中,或通过堆栈指令 PSHA 将 A 出栈。而传送指令可以将数据从累加器 A 传送到寄存器 X 中(TAX),或者从寄存器 X 传送到累加器 A 中(TXA),或者从累加器 A 传送到 CCR 中(TAP),或者从 CCR 传送到累加器 A 中(TPA)。TAP 和 TPA 中的 P 表示处理机状态。A 半交换指令(NSA)使 A 中数据的高四位和低四位交换。

通常 A 中的值可通过 ADD、SUB、ASLA、RORA、INCA、DECA、AND、ORA、EOR 等指令执行算术、移位和逻辑操作。其中有些指令如 INCA 和 ASLA,对 A 中的内容进行操作后回存给 A。另外一种情况如 ADD 和 AND,它们有两个操作数:一个操作数在 A 中,另一个操作数在存储器中。算术和逻辑操作的结果都是替代累加器内的值。

乘法和除法指令使用 A 作为一个操作数,并且保存部分值到 A 中。MUL 指令将 X 和 A 中的无符号数相乘并将 16 位结果的高低字节分别存储在 X 和 A 中。DIV 指令将 H、A 中的 16 位无符号数除以 X 中的 8 位无符号数,再将商储存在 A 中,余数放入 H 中。在进行两个 BCD 码数的加法(ADD 或 ADC)操作时,须执行十进制调整指令 DAA 来纠正 A 中的值,使其变为有效的 BCD 码。

1.1.2 变址寄存器(H: X)

这是一个 16 位的变址寄存器,为访问 64KB 的存储器空间提供索引,事实上是两个独立的 8 位寄存器(H 和 X)的合并。H 表示高 8 位, X 表示低 8 位, H: X 表示整个寄存器,在变址寻址方式下, CPU 根据变址寄存器的内容确定操作数的有效地址,变址寄存器也可

以作为临时数据的存储单元。在应用变址寻址方式时,使用 H:X 作为 16 位的基本参考点,允许使用有 16 位偏移量、8 位偏移量和无偏移量的指令。

1.1.3 堆栈指针(SP)

堆栈实质是随机存储器 RAM 的一部分,是从 RAM 空间中划分出来的临时空间,专门存放中断或转移调用的地址,但它不能超过芯片可用 RAM 空间的大小。

堆栈指针(Stack Pointer, SP)是一个 16 位的地址指针寄存器,这个寄存器用于自动维护 CPU 的一个后进先出(LIFO)堆栈。当 CPU 执行绝对转移调用(JSR)或相对转移调用(BSR)指令时,它会自动保存返回地址到堆栈中。当子程序最后执行返回指令(RTS)时,该返回地址会自动从堆栈中恢复,并由此继续执行先前暂停的指令。由于 SP 是一个满 16 位寄存器,所以堆栈可以寻址存储映射区的任何地方,堆栈指针总是指向堆栈中下一个可用位置。当一个数值要进栈时,它会被写到 SP 指向的地址中,随后 SP 会自动减少而指向下一个可用位置。当一个数值要出栈时,SP 首先会自增以指向堆栈中最近进栈的数据,然后从刚被 SP 指向的地址中读出数据。需要注意的是,SP 指向的数据在出栈的过程中不会被改变。

当请求中断时,CPU 将寄存器的当前内容保存在堆栈中,在完成中断服务子程序后处理器将它们恢复以继续执行之前的程序。注意,在中断前,SP 已指向堆栈中的下一个可用位置了。其步骤是:SP 先将数据保存到堆栈中指定位置,然后会自减以指向堆栈中的下一个可用位置。结束中断时,中断例程的 RTI 指令以相反的顺序出栈来恢复 CPU 寄存器。



知识链接

“先进先出”,顾名思义,就是先存放在堆栈的地址在要取出来的时候首先被读出来,如同一个小球从一个两头空的圆筒的一端进去而从另一端出来一样;“后进先出”则是先存放在堆栈的地址在要取出来的时候只能最后被读出,如同几个小球装在一个有底的圆筒,最先进去的小球只能到最后才能被取出,如图 1.4 所示。

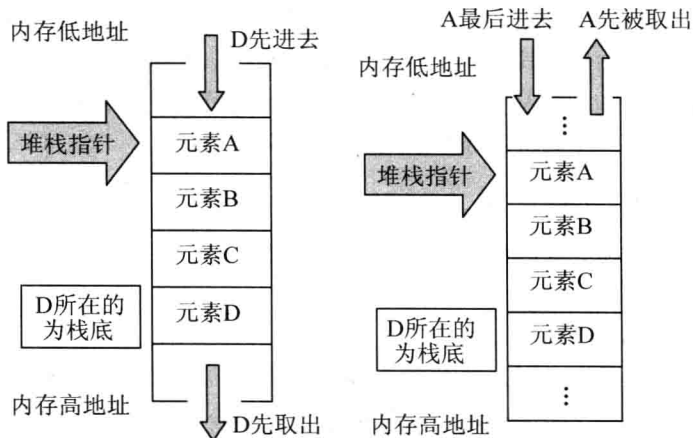


图 1.4 “先进先出”及“后进先出”示意图

1.1.4 程序计数器(PC)

程序计数器(Program Counter, PC)是一个 16 位的寄存器,它保存着下一个待取指令或操作数的地址。通常情况下,每当一个指令或操作数被提取后,程序计数器会自动指向存储器里的下一个连续地址。但当遇到跳转、分支或中断操作时情况就不同了,这时会将下一个地址压入堆栈保存,而将新的转移地址装入程序计数器中。在复位时,程序计数器 PC 会自动装入复位向量地址 \$FFFE: \$FFFF 中的值作为程序的入口地址,开始执行程序。要注意的是,复位向量地址 \$FFFE: \$FFFF 中存放的是首条指令的地址,而不是要执行的首条指令。\$FFFE 单元存放 16 位地址的高 8 位, \$FFFF 单元存放 16 位地址的低 8 位。

1.1.5 条件码寄存器(CCR)

8 位条件码寄存器(Condition Codo Register, CCR)包含 1 个中断屏蔽位 I 和 5 个状态标志位。标志位表示刚执行完的指令的结果,中断屏蔽位是由用户写入的控制位,第 6 位和第 5 位永远为逻辑 1。图 1.5 标出了 CCR 寄存器的各位及其位置。

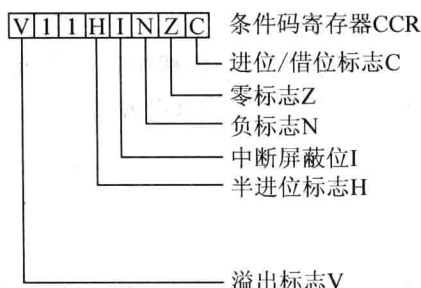


图 1.5 条件码寄存器

I 位是中断屏蔽控制位,与其他位不同的是它在 CCR 中不是处理器状况位。在 CCR 的 6 个可执行位中, I 位也是复位后唯一可被初始化的位。I 位复位后置为 1,这使得中断被屏蔽直到堆栈指针被初始化。其他 5 个状态位(V、H、N、Z 和 C)在复位后是未知的,只有在执行一个指令后才能知道。复位后无须强制这些位为特定的值,因为直到执行了一个影响它们的指令后,与这些位相关的条件转移才有意义。

1. I——中断屏蔽标志位

中断屏蔽位控制全局中断屏蔽,该位有两种状态:

1=全局中断被屏蔽

0=全局中断使能

当 I=1 时表示禁止所有中断。复位时 I 等于 1 即中断被禁止,直到应用程序初始化堆栈指针后中断禁止才解除。如果在堆栈指针被初始化前允许中断, CPU 寄存器内容会存储在不适合的内存单元中。用户程序可用 SEI 或 CLI 指令使 I 置位或清零。

中断屏蔽位设置成自动响应中断(包含 SWI 指令)可以阻止不必要的中断嵌套。在中断服务子程序中包含 CLI 指令可允许中断嵌套,尽管中断嵌套能在可控制的方式下运作,但



这通常不被推荐,因为它可能导致微小的系统错误,而这些错误往往难以寻找和纠正。

WAIT 和 STOP 指令会自动对 I 位清零,以保证中断能将 CPU 从 WAIT 或 STOP 模式中唤醒。中断响应时,CCR 的值在 I 位更新前被保存在堆栈中(在堆栈中 I 位将被置为零)。当执行 RTI 指令时,CCR 的值会从堆栈中恢复。

2. V——溢出标志位

当二进制补码溢出时,溢出标志位置位。该位有两种状态:

1=溢出

0=未溢出

在执行加法操作时,如果符号相同的两个操作数相加结果溢出,V 位也将被置位。对于执行减法或比较操作时,如果一个负数(第 7 位等于 1)减去一个正数(第 7 位等于 0)并且结果为正数,或者一个正数减去一个负数结果为负数时,V 位也被置位。

V 位的一个普遍作用是在执行 CMP、CPHX、CPX、SBC 或 SUB 指令后支持符号跳转指令(如 BLT、BLE、BGE 和 BGT)。这些指令可以使 ALU 从 CPU 寄存器中减去内存单元的内容,并且根据运算结果改变 V、N、Z 和 C 位(C 被用于无符号而不是有符号的跳转)。

进行算术左移和逻辑左移(ASL 或 LSL)时,如果结果的符号与原来数值的符号相反,V 就会被置位。在右移操作后,V 的意义会变得没那么有用了,但它在某些系统中有特定的逻辑意义。DAA 指令能够改变 V 位,因此,不要在运行 DAA 指令后,但还没有执行比较或减法指令时,就尝试符号跳转。

3. H——半进位标志位

半进位标志位多用于 BCD 码的操作。该位有两种状态:

1=位 3 向位 4 进位

0=位 3 未向位 4 进位

H 位仅在少数的几个指令中受影响,加法指令(ADD 和 ADC)是仅有的影响 H 位的指令。如果相加结果中的低 4 位向上产生进位,即 D3 向 D4 有进位,则 CPU 将半进位标志 H 置 1。

而 BCD 码是一个从 0 到 9 的十进制编码,其编码是一个 4 位二进制数。十六进制数从 \$A 到 \$F 被认为是不合法的 BCD 码。ALU 的标准二进制数加法函数也能用于 BCD 数值中,但是结果需要检验和校正,改正的结果仍然是 BCD 码,通常用十进制累加器调整(DAA)指令,该指令就是用于检查和改正操作数。

4. N——负标志位

当进行算术操作、逻辑操作或数据操作时产生负值时,该位被置位。该位有两种状态:

1=为负结果

0=非负结果

负标志位表明结果的最高位被置 1,如果它的符号位为 1,那么在两个数求补时也会产生负数。如果一个操作数包含 16 位数(如 LDHX 或 CPHX 指令)并且结果的第 15 位为 1,则 N 位被置位。实际上,这个标志位有很多种用法,并不仅仅和符号运算有关。

5. Z——零标志位

零标志位被置位时表明操作结果为\$00(或是十六进制的\$0000)。该位有两种状态:

1=结果为零

0=结果为非零

相对转移指令包含相等转移(BEQ)和不相等转移(BNE),该转移指令执行时,内部 CPU 寄存器内容会减去存储器中的操作数,如果两者是相等的,内部减法的结果将为 0,Z 将被置为 1。

不论相等(BEQ)或不相等(BNE)的转移,仅仅是基于 Z 位的简单转移。Z 位仍然被带符号转移(如 BLE、BGT 指令)和无符号转移(如 BLS、BHI)使用。所有的取数、存数、转移、算术、逻辑、交换和循环指令使得 Z 位更新。当开始执行中断服务子程序时,TAP 允许 Z 被累加器 A 中第 1 位的值直接置位。

6. C——进位/借位标志位

该位有两种状态:

1=有进位

0=无进位

其功能有两种:一是存放算术运算的进位标志,当两个 8 位二进制数相加或相减时,产生进位或借位时,由硬件自动将该标志位置 1,否则被清 0;二是在位操作中(如左移或右移),做“位累加器”使用。

在实际应用中,可以利用该位的状态进行跳转操作,如 BCC 指令和 BCS 指令是根据进位是否为 0 进行跳转操作,也可以独自控制该位的状态,如 SEC(进位置 1)指令和 CLC(进位清 0)指令。

1.2 MC9S08GB60A 单片机的引脚及封装

MC9S08GB60A 单片机采用 64 引脚的 LQFP 封装形式,如图 1.6 所示,其典型的外部引脚连接如图 1.7 所示。

1.2.1 电源引脚

V_{DD} 和 V_{SS} 分别是 MC9S08GB60A 单片机的电源和电源地引脚。 V_{DD} 是单片机的主电压源,该电压源为所有的输入/输出缓冲电路和内部电压调节器供电。而芯片内部的电压调节器向 CPU 和其他 MCU 内部电路提供 2.5V 电压。

通常应用系统有两个单独的电容器和电源引脚相连。一个是大容量电解电容器,如 10 μ F 的钽电容,用来为全体系统提供大电量存储;另一个是 0.1 μ F 的陶瓷旁路电容,该电容要尽可能地靠近 MCU 电源引脚,用以抑制高频噪声。

V_{DDAD} 和 V_{SSAD} 也是单片机的电源引脚,但该引脚引入的电源是为 ADC 模块供电的。在硬件电路设计上,可在离单片机电源引脚尽可能近的地方安装一个 0.1 μ F 的陶瓷旁路电容器,用来抑制高频噪声。