

21 世纪课程教材

普通高等学校“十五”重点规划教材

摩托罗拉 Motorola 68HC12 系列微控制器 原理、应用与开发技术

杨国田 白焰 编著



中国电力出版社

www.infopower.com.cn

摩托罗拉68HC12 Motorola 68HC12 系列微控制器 原理、应用与开发技术

杨国田 白焰 编著

中国电力出版社

内容提要

本书以 68HC12 系列 MCU 内部组成为主线,以 68HC912BC32 为例,系统介绍了 CPU12 的硬件结构、工作原理和指令系统,以及 MCU 内部的 TIM/ECT、高速 I/O、SCI/SPI、ATD、PWM、Watchdog、BDLC、CAN、BDM 等模块的结构原理与使用方法,着重介绍了应用系统扩展、模糊逻辑、BDLC、msCAN 的相关基础知识。本书既介绍原理,也结合应用实际,内容共分 13 章,前 4 章主要介绍 68HC12 的基本组成,其后各章主要介绍其他内部模块及系统的开发与调试,内容具有一定的独立性。书中融入了作者多年来在单片机应用系统及仿真器开发方面的经验、教训与体会。

本书内容新颖、介绍深入、注重基础并结合实际,语言通俗易懂,可作为高等院校自动控制、仪器仪表或其他相关专业的研究生或本科生的教材或教学参考书,并适合嵌入式系统、测试、控制及仪器仪表、汽车电器等领域的工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

Motorola 68HC12 系列微控制器原理、应用与开发技术 / 杨国田、白焰 编著. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1528-6

I. M… II. 杨… III. 微控制器, Motorola 68HC12 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 071925 号

出版发行: 中国电力出版社

地址: 北京市三里河路6号 邮政编码: 100044

电话: (010) 88515918 传真: (010) 88518169

本书如有印装质量问题, 我社负责退换

印 刷: 汇鑫印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16 印 张: 23.5 字 数: 532千字

书 号: ISBN 7-5083-1528-6

版 次: 2003年9月北京第一版

印 次: 2003年9月第一次印刷

印 数: 0001—4000

定 价: 35.00 元

版权所有, 翻印必究

前言

Motorola 单片机是全球单片机的主流产品, 1974 年以来, 它相继推出了 M6805、M6804、M68HC05、M68HC11、M68HC16、M68300、M68HC08、MC68HC12 等系列单片机。其中多数系列在国内得到了广泛应用。在过去的 8 年中, Motorola 一直是全球最大的微控制器供应商, 有关统计资料显示, 目前全球有超过 80 亿个 Motorola 处理器在使用中, 2001 年 Motorola 半导体业务的销售额为 49 亿美元。

M68HC12 系列是 Motorola 于 1996 年作为 M68HC11 的升级换代产品推出的, 它采用模块化结构及 16 位的中央处理单元 CPU12, 最高总线速度 8MHz, 支持背景调试模式, 支持大容量存储器扩展, 内部同时集成 FLASH、EEPROM 及 RAM 存储器, 最新的器件 FLASH 存储容量可高达 512KB, 而且无需外加编程电压, 整个芯片重点强化了低功耗技术。HC12 还是世界上第一个包含完整的模糊逻辑指令的标准 MCU, 与 HC11 相比, 构成同样一个完整的模糊推理核心, CPU12 仅需要 1/5 的代码长度和不到 1/10 的执行时间。HC12 继承并发展了 Motorola 的一贯做法, 内部集成 CAN、BDLC、SCI、SPI、HSIO 等多种接口, 功能丰富、速度高、功耗低、性价比高、系统设计简单, 尤其是背景调试及片内硬件断点支持 OCD 方式开发, 大大降低了开发成本。

HC12 系列目前有 A、B、D 三个子系列, 主要是集成外设及扩展方式不同。限于篇幅, 本书重点介绍 B 子系列的四个器件 HC912B32、HC912BC32、HC12BC32 及 HC12BE32, 并兼顾其他子系列及后来的 HCS12 系列。相信读者掌握 HC12 的 B 子系列后, 很容易过渡到其他子系列。

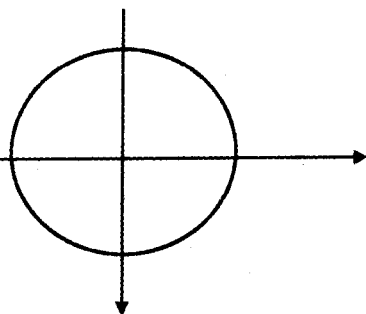
本书第一章为绪论, 其余章节在逻辑上可以分为四个部分, 第 2、3 章主要介绍 HC12 的核心 (CPU12) 及其基本系统, 第 4 章介绍 CPU12 的指令系统, 第 5 章至第 12 章主要介绍内部集成的外设, 第 13 章介绍 BDM 子系统。其中第 11、12 两章还分别着重介绍了 BDLC 及 CAN 总线的有关概念及其他相关知识。熟悉部分外设的读者可以把重点放在第 2、3、4 及 13 等章节, 也可以通过第 11、12 两章具体了解 BDLC 及 CAN 总线的相关知识。

作者在多年从事单片机教学、应用系统开发及曾经进行仿真器开发的基础上, 总结和整理了最近几年的研究生课程教学内容, 并根据大量的 Motorola 英文文献, 编撰成本书。书中的例子程序均经过汇编并在评估板上实际运行验证, 但本书依据的原版文献对个别具体问题阐述不够详细、具体, 例如 SCI、CAN、TIM 等部分的一些细节问题, 作者只能通过查阅大量的其他文献并通过实验确定, 尽可能详细地解释。而且直到本书脱稿, 一直没有发现公开出版的 M68HC12 系列单片机的简体中文文献, 也未得到英文的 HC12 系列参考书籍, 加之写作时间仓促, 书中错误与不当之处在所难免, 如蒙读者、专家和各位同行批评指正, 作者将不胜感激。

编著者

2003 年 7 月于北京 华北电力大学

目 录

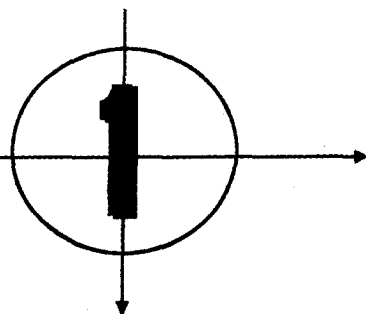


前 言

第 1 章 绪论	1
1.1 单片机的发展	1
1.2 Motorola 单片机概述	2
1.3 M68HC11 系列单片机简介	4
1.4 M68HC12 系列 MCU 简介	5
1.5 M68HCS12 系列单片机简介	10
第 2 章 HC12 系列 MCU 组成及工作原理	12
2.1 HC12 系列 MCU 的结构组成及引脚分配	12
2.2 CPU12 的结构与工作原理	21
2.3 存储器组织	24
2.4 寄存器区	29
2.5 振荡器与时钟电路	41
2.6 MCU 的操作模式与运行状态	51
2.7 总线控制与系统扩展	57
2.8 复位与中断	68
第 3 章 HC12 内部的非易失存储器	81
3.1 FLASH 存储器	81
3.2 EEPROM 存储器	88
第 4 章 CPU12 指令系统	94
4.1 程序设计模型	94
4.2 汇编指令格式	98
4.3 寻址方式	99
4.4 指令系统	101
第 5 章 并行 I/O 接口	146
5.1 I/O 接口的结构与设置	146
5.2 I/O 接口功能介绍	149
第 6 章 标准定时器模块 (TIM)	158
6.1 定时器模块的结构组成	158
6.2 定时器模块的工作过程与设置	160
6.3 定时器模块的相关寄存器	164
6.4 TIM 的应用实例	172

第 7 章 增强型捕捉定时器模块 (ECT)	174
7.1 ECT 的组成与工作模式	174
7.2 ECT 的工作过程与设置	179
7.3 ECT 寄存器	185
第 8 章 模数转换器 (ATD)	200
8.1 ATD 的结构组成及功能特点	200
8.2 ATD 的设置	201
8.3 ATD 的应用实例	208
第 9 章 串行接口	210
9.1 串行通信接口	210
9.2 串行设备接口 (SPI)	221
9.3 关于引脚共享	231
9.4 串行接口的使用	231
第 10 章 脉冲宽度调制模块 (PWM)	234
10.1 PWM 的结构组成和工作特点	234
10.2 PWM 的设置	237
10.3 PWM 的应用举例	243
10.4 其他 PWM 输出方案	244
第 11 章 BDLIC 通信接口	246
11.1 J1850 总线与 BDLIC 接口	246
11.2 BDLIC 的消息表达	248
11.3 BDLIC 模块结构、原理与操作模式	257
11.4 BDLIC 操作过程及其设置	264
11.5 BDLIC 寄存器	272
第 12 章 msCAN12 控制器模块	282
12.1 CAN 总线与 msCAN12	282
12.2 msCAN12 的结构、原理与工作过程	284
12.3 msCAN12 的存储区与寄存器	298
第 13 章 应用系统开发支持	310
13.1 开发手段概述	310
13.2 背景调试模式 (BDM)	311
13.3 指令队列的重构与指令挂牌	319
13.4 断点逻辑	321
13.5 BDM 的应用	331
13.6 评估板与 D-BUG12 简介	332
附录 A CPU12 指令总表及编码规则	336
附录 B HC12 工作参数	358
后记	367
参考文献	368

绪 论



单片微型计算机简称单片机，是将中央处理单元(CPU)、存储器(RAM、ROM、EPROM、EEPROM、FLASH 等)、接口(并行 I/O、串行 I/O、高速 I/O、定时/计数器、A/D 转换器、网络接口等)等集成在单个芯片内的高集成度器件。因其性能特点而广泛应用于汽车、家用电器及工业控制领域，所以也称为微控制器或微控制器单元(MCU)。图 1-1 所示为一种比较经典的单片机结构组成，目前的单片机内部器件更为丰富。

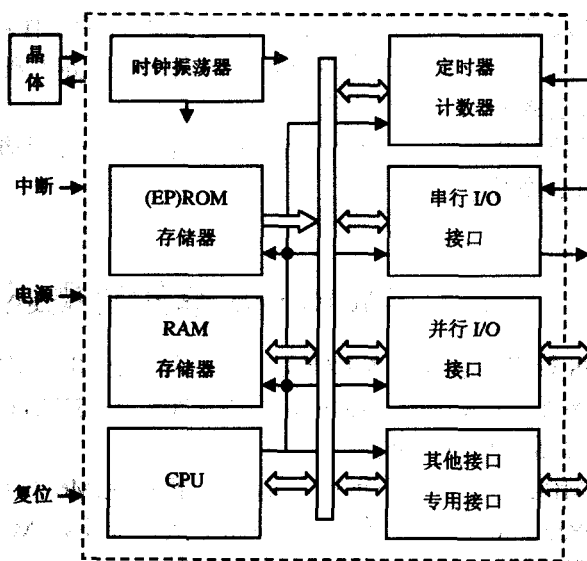


图 1-1 单片机的典型结构

1.1 单片机的发展

作为微型计算机的一个重要分支，从 1971 年 Intel 首次宣布其 4 位微处理器 4004 至今，单片机的发展已经过了 30 余年的时间。期间经历了 8 位机、16 位机直到目前的 32 位机，内部集成的接口也无所不包，速度和存储器容量大幅度提高。

目前, 常用单片机的 CPU 字长有 4 位、8 位、16 位及 32 位等。其中 4 位、8 位机已相当普遍, 据统计两者约占市场总量的 85%, 而逐渐崛起的 16 位机则占 10%。但 8 位机地址空间有限, 数学运算速度低, 而 32 位机虽具有较高的数据处理速度, 但价格高, 性价比不如 16 位机, 目前并未被普遍接受。与 8 位、32 位机相比, 16 位机存储空间按字组织, 对 C 语言编程支持较好, 而且处理能力强、成本低, 能够胜任多任务、复杂中断处理等场合。例如 Motorola 的 16 位微控制器 68HC16 就具有 68332 (同一公司的 32 位处理器) 90% 的处理能力, 但价格低得多。该公司 20 世纪 90 年代中期推出的 68HC12 比 68HC16 价格更低、功率消耗更小, 接口及功能更丰富。此外 RISC 微控制器价格也已经大幅度下降, 而功耗更低, 工作电压甚至低至 2V。

随着需求的增长和技术的进步, 从 A/D、PWM、TIMER、SCI、SPI 到 HSIO、CAN、BDLC 等均已进入单片机, 片内存储器数量也不断增加, 品种从 RAM、ROM 到 EEPROM、FLASH 无所不包, 片内 FLASH 甚至达到 512KB, 擦/写时间不断缩短, 有的还无需另加编程电压, 擦写只需单一电源 (甚至 1V 的低电压)。因为 FLASH 低功耗、方便、价廉及可使产品快速推向市场等特点, 据预测内嵌 FLASH 的微控制器将是未来几年的主流。尽管处理速度越来越高, 价格却不断下降, 功耗也越来越低。开发手段从最初的反复试验、利用监控程序到现在的仿真器、OCD (片内调试支持); 使用的语言从汇编语言一统天下到广泛使用 C 语言等高级语言, 开发周期大大缩短、难度下降。目标程序的工作环境也开始转变为嵌入式实时多任务操作系统。可以说, 经过许多软硬件生产企业和业界无数开发人员的共同努力, 单片机应用系统的开发已经进入一个新阶段。

1985 年 10 月份的统计数据显示, 单片机仅有 50 个系列 373 个机种, 今天世界上单片机的品种已经远远超过这个数字。

1.2 Motorola 单片机概述

1974 年, Motorola 推出首款 8 位 MC6800 微处理器, 1978 年又宣布了与 6800 兼容的 6801 单片机, 之后相继推出了 M6805、M6804、M68HC05、M68HC11、M68HC16、M68300、M68HC08、MC68HC12 等系列单片机。

Motorola 公司的 MPU 已经有多个系列。其 32 位机是在 M68000 系列基础上开发出来的, 主要产品有 MC68332 和 MC68331。其 8 位机系列产品是在 M6800 和 M6809 系列基础上开发研制的, 主要有两大类, 一是可外扩总线型的 M6801、M68HC11 系列, 另一类是 M6805、M6804、M681405、M68HC05 等系列单片机。在 MC68HC11A8 基础上还开发出了 16 位单片机 MC68HC16Z1, 另外一种 16 位机是 HC11 的升级产品 M68HC12。在诸多生产 8 位或 16 位单片机的厂商中间, Motorola 最为著名, 它的 M6805、M68HC05、M68HC11、M68HC16 和 M68300 系列均在国内得到了广泛应用, 而 M68HC12 则是后起之秀, 在国外已经广泛使用。

M6800 是 Motorola MCU 的先驱, M6801 系列 MCU 则是在它的基础上开发的, 但仍采用 NMOS 工艺, CPU 功能和指令系统与 M6800 向上兼容。为了进一步降低成本, 满足家电领域的需求, Motorola 推出了 M6805 系列单片机, 其结构在 M6801 基础上进行了简化, 去

掉了一个累加器,减少了存储器,缩小了寻址范围,简化了 I/O 功能,但增加了位操作功能,并采用高性能 HMOS 技术。由于该系列采用模块结构,很快出现了片内带 A/D 转换器、锁相环、SPI、定时器的各种型号,再加上价格便宜,使得 M6805 系列得到了广泛应用。之后,在 M6801 的基础上又出现了带 EPROM、I/O 功能更强的型号,如 MC68701、MC6801U4 和 MC68701U4,以及采用高性能 HMOS 技术的 MC68HC01。接着对 M6801 进行更新换代,推出了同样采用 HCMOS 技术的 M68HC11 系列,CPU 和 I/O 功能比 M6801 有大幅度提高,是一种功能强大的 8 位单片机。与此同时, Motorola 一方面生产比 M6805 功能更简单、价格更低的 M6804 单片机,另一方面为适应低功耗的要求,也生产采用 CMOS 技术的 M146805 系列单片机。并于 1983 年推出速度更快、性能更好的 M68HC05/M68HC04 系列。为了适应单片机在人工智能、精密控制、激光打印机等领域的应用,以 MC68020 为基础,在 1989 年推出了 32 位单片机 M68300 系列,如 MC68331、MC68332 等。1996 年,又推出了 M68HC11 的升级换代产品、性能更强、指令更丰富、调试更方便的 16 位系列 M68HC12,后来又进一步推出 HCS12 系列,性能又有所进步。

普通微处理器的速度提升是用时钟频率来衡量的。对于单片机,为提高抗干扰能力、降低噪声,提高运算速度而不提高或少提高甚至降低时钟频率是技术发展的目标。 Motorola 某些型号的单片机使用了锁相环技术或内部倍频技术使内部总线速度大大高于时钟产生器的频率,在同样速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低很多,因而高频噪声低,抗干扰能力强,更适合用于工控领域及恶劣的环境,这也是 Motorola 单片机的一个重要特点。例如 68HC08 单片机使用 4.9M 外部振荡器而内部时钟可达 32M,而 M68K 系列 32 位单片机使用 32K 的外部振荡器频率内部时钟可达 16MHz 以上。

Motorola 的单片机从应用角度看,可分成两大类:一类是高性能通用方式的 M6801、M68HC11、M68HC12 和 M68300 系列单片机。由于它们分别是以 M6800 和 M68000 MPU 为基础的,实际上是将 MPU 与 ROM、RAM 和多种 I/O 接口集成于一体。因此与原 MPU 向上兼容,既可工作在总线扩充方式,也可工作在单片方式,因此可以增加功能、提高可靠性、减小体积,在控制领域有着广泛应用。另一类适合于广阔的家电领域,如 M6805、M6804、M68HC05、M68HC04 等,它们性价比高,无需外接存储器,甚至对外不提供地址和数据总线,只有 I/O 接口,一般工作在单片方式。由于 CPU 只需访问内部存储器,所以应用系统外围电路很少,差不多一个单片机就是整个控制系统。

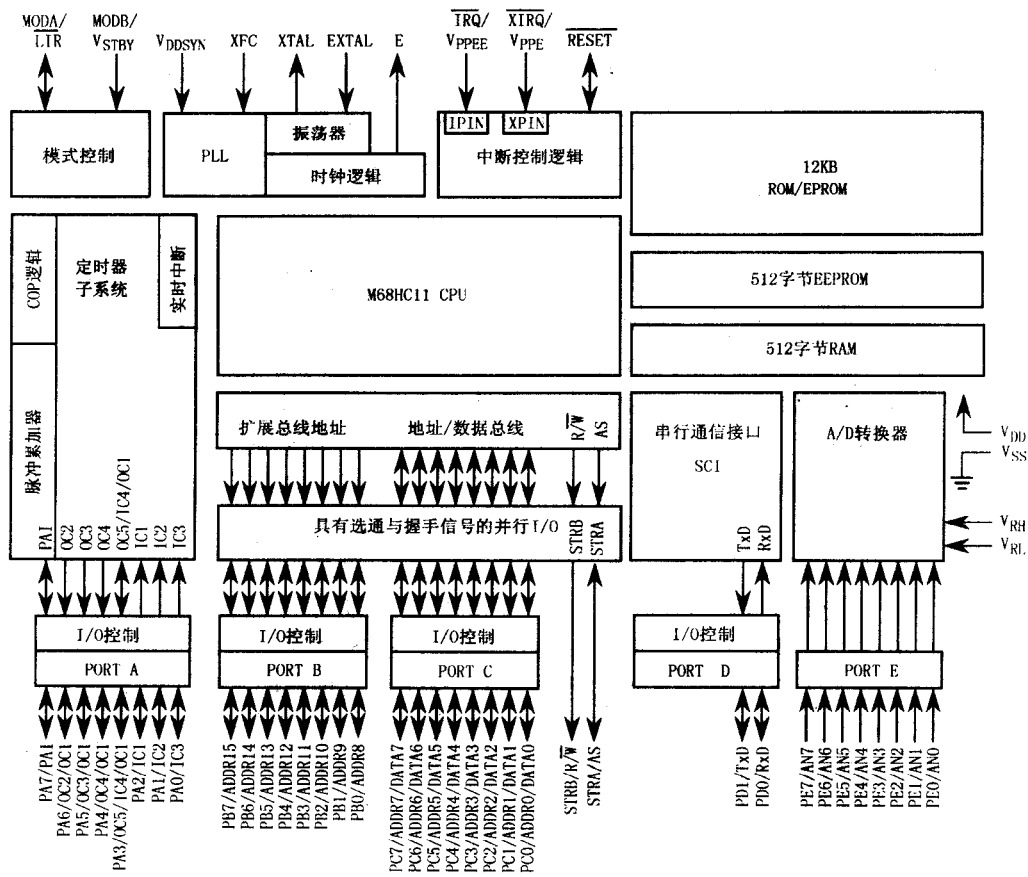
可以说,品种全、选择余地大、新产品多是 Motorola 单片机的特点,在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08,68HC05 有 30 多个系列,200 多个品种。8 位增强型单片机 68HC11 也有 30 多个品种,升级产品有 68HC12 系列、HCS12 系列。16 位机 68HC16 也有 10 多个品种。32 位单片机的 683XX 系列也有几十个品种。从现有的高端 8 位 HC05、HC08、HC11 和 HCS08 产品到 16 位 HC12 和 HCS12 以至 32 位系列产品, Motorola 提供了完整清晰的过渡方案,并凭借其 68HC16、68HC12 两个系列成为 16 位微控制器市场中的主要供应厂商之一。

在过去的 8 年中, Motorola 一直是全球最大的微控制器供应商,它生产的微控制器已广泛使用在成百上千种产品的嵌入式系统或制成成品内。目前,全球有超过 80 亿个 Motorola 处理器在使用中。2001 年, Motorola 半导体业务的销售额为 49 亿美元。

1.3 M68HC11 系列单片机简介

M68HC11 系列是功能很强的 8 位单片机,它是在 M6801 的基础上进行改进、采用 1.5 μ m HCMOS 工艺制造的,最高总线速度 4.0MHz,集成度高、功耗低。它内部集成了 CPU、存储器、定时器、串行通信接口 SCI、串行设备接口 SPI、A/D 转换器等多种功能,在智能化仪器仪表、通信设备、家用电器等领域,特别在便携式、智能化的设备和自控系统中得到了非常广泛的应用。

图 1-2 是 M68HC11 系列单片机的结构组成,其 CPU 为 M6801 内核的改进型,内设两个 8 位累加器 A、B 可级联成 16 位累加器 D,因此可进行 16 位操作。其大多数指令与 M6801 向上兼容,可执行 16 位与 16 位的整数和小数除法,增加了移位、16 位加、减 1 指令及位处理指令,其寻址方式比 M6801 更强。M68HC11 还有 WAIT 和 STOP 两种低功耗运行模式。处于 WAIT 模式时,程序停止运行,只有时钟继续工作,消耗电流小于 10mA。WAIT 模式可以通过内部时钟中断或外部中断结束。处于 STOP 模式时,整个 CPU 停止,但寄存器和 RAM 中的数据保持有效,整个芯片耗电小于 0.1mA。该模式只能通过外部中断结束。



M68HC11 系列有单片、扩展两种基本工作模式。每种基本工作模式又有普通、特殊两种模式。因此，单片模式有正常单片模式和特殊引导模式。在这两种单片模式时，MCU 不提供外部地址总线，只具有 I/O 功能；扩展模式有普通扩展模式和特殊测试模式，这两种模式具有外部地址、数据总线，可寻址外部存储器。根据型号不同，有的地址、数据总线采用分时复用方案，另外一些型号则采用独立的地址、数据总线。M68HC11 系列内部具有存储器、I/O 接口、定时器、看门狗等资源，简单介绍如下。

(1) RAM: 512 字节，数据可用后备电池保护。掉电后，只要后备电源引脚电压达到额定值，RAM 中的数据就可以保持。

(2) EEPROM: 512 字节，擦写需要的高压由片内电荷泵在 V_{DD} 电源基础上产生，电荷泵使用容量很小的 MOS 电容。软件可随时对 EEPROM 进行擦写，无需外部高压。

(3) 定时器子系统：由 16 位自由计数器、中断逻辑等组成，具有 3~4 个控制输入端及 4~5 个控制输出端。主要有以下四种功能：

1) 定时中断：定时器计数器溢出时，发出中断请求，可作为周期定时信号。

2) 输入捕捉：可选 3~4 个输入捕捉通道，外部引脚出现指定的跳变时，自由计数器的当前值自动保存到 16 位的输入捕捉寄存器。该功能一般用来测量输入脉冲的宽度或周期，以及确定几个信号的相位差。

3) 输出比较：可选 4~5 个输出比较通道，每通道有一个 16 位寄存器，内部逻辑持续将其与自由计数器比较，两者相同时，在指定引脚输出匹配信号，并可发出中断请求。该功能的本质是在指定时刻改变引脚电平，通过软件配合可用来产生方波、触发可控硅、触发模拟采样、用作 PWM、控制步进电动机等，也可以产生定时中断，构成软件实时时钟，但其周期一般与自由计数器溢出周期相同，若要改变则软件开销增大。

4) 实时中断：该定时器还可产生实时中断 (RTI)，中断速率可通过软件设置。

(4) 脉冲累加器：可用于外部事件记数或引脚脉冲宽度测量。

(5) A/D 转换器：8 位 8 通道，最小转换时间 $16.5\mu\text{s}$ ，精度 ± 1 个 LSB，采用全电容电荷再分配技术，无需采样保持。

(6) 串行接口：包括同步串行设备接口 (SPI) 和异步串行通信接口 (SCI)。SPI 的从机最高位速率为 2.1Mb/s 主机最高位传送速率为 1.05Mb/s。SCI 波特率及帧格式可软件设定，可产生 110~38400 之间的所有标准波特率，可选 8/9 位 UART 及硬件奇偶校验。

(7) 并行 I/O：在单片模式下，具有最多 36 个 I/O 引脚，输入/输出可选。在扩展模式下，部分 I/O 引脚用作地址/数据总线、读写控制线及地址锁存允许。

(8) 运行监视电路：即时钟监视器和看门狗电路 (COP)，若内部时钟低于 10kHz，时钟监视电路自动将复位端拉低，强制 MCU 复位。若因为干扰等原因，CPU 运行过程中没有按时复位看门狗电路，CPU 的复位端也被拉低，强制复位，使 MCU 自动重新启动。两种监视措施均可通过软件禁止或启用。

此外 M68HC11 系列的开发、仿真调试比较容易，甚至无仿真器也可进行。

1.4 M68HC12 系列 MCU 简介

M68HC12 系列是 Motorola 于 1996 年作为 M68HC11 的升级换代产品推出的，它采用

16 位的中央处理单元 CPU12，程序空间多达 4MB，支持背景调试模式，而且是世界上第一个包含完整的模糊逻辑指令的标准 MCU。

该系列第一个投产的器件是 112 脚的 MC68HC812A4，它专为大型的扩展模式系统设计。第二个器件是 80 引脚的 MC68HC912B32，它专为单片应用系统设计。两者都采用模块化结构及新的 16 位 CPU12 处理器。其制造工艺保证 2.7~5.5V 整个电压范围内 8MHz 的总线速度，整个芯片重点强化了低功耗技术。

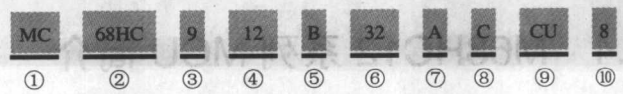
继 HC812A4、HC912B32 之后，Motorola 陆续推出了 B 子系列的另外三个型号 HC912BC32、HC12BC32 及 HC12BE32，后来又推出了 D 子系列，见表 1-1。

表 1-1 M68HC12 系列功能设置情况比较

产品型号	内部 RAM	掩膜 ROM	EE-PROM	FLASH	串行接口	定时器	最高总线频率	工作电压	A/D		PWM		I/O 引脚	备注
					类型	通道数			通道	位数	通道	位数		
单位	字节	字节	字节	字节		最大	MHz	V	个	位	个	位	最大	
68HC812A4	1024	—	4096	—	SCI,SPI	16	2	5	8	8			91	
68HC912B32	1000	—	768	32000	SCI,SPI,I1850	8	8	5	8	10	2,8	8,16	63	
68HC912BC32	1000	—	768	32000	msCAN12,SCI,SPI	8	8	5	8	10	2,8	8,16	63	
68HC12BC32	1000	32000	768	—	msCAN12,SCI,SPI	8	8	5	8	10	2,8	8,16	63	
68HC12BE32	1000	32000	768	—	SCI,SPI,I1850	8	8	5					8,16	
68HC12D60														
68HC912D60	2000	—	1000	60000	msCAN12,SCI,SPI	8	8	5	8	10,8	4	8	48,68	
68HC912D60A	2000	—	1000	6000	CAN2.0A/B,SCI,SPI		8		8	10,8	4,2	8,16		
68HC912D60C														
68HC912D60P														
68HC912DGI28A	8000	—	2000	128000	SCI,msCAN12,SPI	8	8	5.0	8		4,2	8,16	69	
68HC912DGI28C														
68HC912DGI28P														
68HC912DT128A	8000	—	2000	128000	msCAN12,SCI,msCAN12,SPI	8	8	5,5.0	8	10	4,2	8,16	67	
68HC912DT128C														
68HC912DT128P														

1.4.1 M68HC12 系列命名规则

该系列命名规则与以往略有不同，分为 10 个部分，如下图所示：



①表示器件状态，共有 MC、XC、PC、KMC、KXC 等五种。其中 MC 表示完全合格品；

XC 表示部分合格品；PC 表示生产工程；KMC、KXC 则表示样品包装。此外还可以是单个字母 M，它表示一个系列，而非某个具体型号，例如 M68HC12 系列。

②可选前缀，其中 68 为固定内容，HC 表示 HCMOS 产品，空则为 HMOS 或 CMOS。

③存储器类型，空表示 ROM，7 表示 OTP，8 表示 EEPROM，9 表示 FLASH。

④内核类型或系列标志，该系列全部为 12，表示内核为 CPU12。

⑤产品系列，例如 MC68HC812A4、MC68HC912B32 等。

⑥存储器大小的近似值，32 表示内部集成 32KB FLASH 程序存储器。

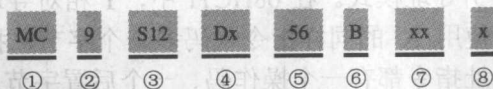
⑦简化或修订版本标志，例如 MC912DG128A。

⑧工作温度范围标志，I 表示 0~85℃，C 表示 -40~85℃，V 表示 -40~105℃，M 表示 -40~125℃。

⑨封装标志，常见的有 PV 表示 90 引脚 QFP，FU 表示 112 引脚 LQFP。

⑩可选项，表示总线速度，例如 8 表示总线速度为 8MHz。

此外后来推出的 M68HCS12 系列，型号组成为八个部分，如下图所示。



①表示器件状态，取值同 M68HC12。

②存储器类型，目前只有 9，表示 FLASH。

③内核类型，该系列全部为 S12。

④产品系列，意义同 M68HC12。

⑤存储器大小的近似值，同 M68HC12，目前有 64、128、256 三种。

⑥FLASH 版本标志，反映不同的擦写电压、时间等。

⑦工作温度范围标志，共有 C、V、M 三档，各档温度范围同 M68HC12。

⑧封装标志，常见的有 PV 表示 90 引脚 QFP，FU 表示 112 引脚 LQFP，PK 表示 80 引脚 QFP。

1.4.2 M68HC12 系列单片机的功能特点

HC12 系列的主要指标已如表 1-1 所示，该系列主要特点说明如下。

一、降低功率消耗

只对输入时钟进行 2 分频，避开了功耗更大的高频电路，总线速率为 8MHz 时，只需使用 16MHz 晶体，而 HC11 同样条件下总线速率为 4MHz。此外还具有 WAIT 和 STOP 模式进一步降低功耗。其中 HC812A4 具有另外的节能方式，它可以使用低频率的晶体（例如 32kHz），然后通过 PLL 倍频后供 MCU 使用。程序可控制 PLL 在满足要求的前提下尽量降低时钟速率，自动平衡性能与功耗之间的关系。

二、兼容性

CPU12 完全兼容 HC11 的源程序，多数指令汇编后生成相同的目标代码，它的程序设计模型与中断响应的堆栈操作顺序与 HC11 完全相同。此外 CPU12 增加了不少新的指令。

三、提高速度

CPU12 是 16 位的处理器, ALU 在某些运算中为 20 位。68HC12 内部所有数据总线为 16 位, 外部总线接口一般也是 16 位的, 但可以选择按照 8 位方式工作, 这样可用 8 位的存储器件构造低成本的应用系统。即使选择了这种 8 位方式, CPU12 仍然按 16 位方式操作, 智能总线接口自动将其分成两次 8 位操作, 期间暂时冻结 CPU。

其次, CPU12 具有一个类似流水线的指令队列, 用于缓冲指令代码。CPU 开始执行任何一条指令时, 除了 8 位操作码以外, 至少另外两个字节的目標代码对 CPU 可见。这意味着对于多数指令来讲, 开始执行时, 所需代码已经进入 CPU, 可在单个周期内完成, 而无需等待取指操作。取指操作固定按照 16 位进行, 与指令代码长度无关, 因此不要求代码长度一定是偶数字节, 从而提高了代码效率。CPU12 的指令队列逻辑和微代码使对齐的和非对齐的指令执行时间完全相同。

四、强有力的索引寻址

CPU12 大大加强了索引寻址模式。在 68HC11 中, Y 相对寻址指令一般在操作码前需要一个前置字节, 因此比使用 X 的同样指令代码多一个字节, 执行时间长一个周期。在 CPU12 中, 所有的索引寻址指令都有一个操作码、一个后置字节及 0、1、2 个扩展字节用于指定索引偏移量。后置字节指定使用哪一个索引寄存器以及索引寻址的类型。HC11 仅有一个索引寻址类型(无符号 8 位偏移量), 只允许 X 和 Y 作为索引寄存器。CPU12 可以使用 X、Y、SP 及 PC 作为索引寄存器, 而且具有七种索引寻址类型。HC11 的 8 位无符号偏移量被 5 位、9 位有符号偏移量及 16 位偏移量所替代。累加器偏移量索引寻址模式使用 8 位累加器 A、B 及 16 位累加器 D 与索引寄存器 X、Y、SP 或 PC 相加后形成操作数的有效地址。

CPU12 具有新的自动增减指针指令, 可以预先增减, 也可以后增减, 调整范围可选为 -8~+8, 与操作数宽度无关, 索引寄存器可选 X、Y 及 SP, 显然不能使用 PC。例如可用 LDAA 5, SP- 向累加器加载一字节后 SP 减 5, 这种灵活性使得 CPU12 可以非常有效地处理小的数据结构。这类指令的执行时间与简单的无偏移量形式相同(如 LDAA 5, +SP 仅需要三个总线周期)。这类指令非常适合数据移动, 例如 MOVW 2, SP+, 2, X+ 可从堆栈中取一个字, 然后存放到[X+0]并将 SP 和 X 分别自动加 2。

CPU12 增加了两类间接索引寻址模式, 使用索引寄存器 X、Y、SP 或 PC 加上累加器 D 或 16 位常数作为偏移量后, 形成中间地址, 从该地址取得的 16 位数为操作数的最终有效地址。这类指令可用于根据计算结果转移的程序结构, 或者以地址无关方式访问操作数, 也可以用于在 C 语言中实现某些条件或开关语句。

CPU12 的索引寻址方式特别适合高级语言, 例如 SP 相对寻址对 C 编译器来说就十分重要。CPU12 还增加了 LEAX、LEAY、LEAS 等简单的指针运算指令, 例如 5 位、9 位及 16 位有符号常数偏移量可以用于向上或向下调整索引指针, A、B、D 可用于向上调整指针, 索引寄存器还可以用内存字替换(使用间接索引寻址)。

五、指令的升级与替换

尽管 CPU12 接受 HC11 的所有指令, 但其中少数指令汇编时自动替换成新的指令。例

如, HC11 的 ABX 将自动按照 LEAX B, X 汇编, 二者执行相同的操作, 甚至包括对状态字节的影响。此外 CPU12 还用通用的传送/交换指令替换 HC11 的寄存器传送与交换指令, 其中包括 8 位与 16 位寄存器的组合。CPU12 还新增了位操作指令 BSET、BCLR、BRSET 及 BRCLR 的扩展寻址模式。

1. 算术运算指令

CPU12 加入了几个高精度的数学运算指令, 以及一些特殊的数学指令, 例如 16 乘法指令、乘积为 32 位的乘-累加指令和 8 位、16 位的查表插值指令。这些指令的执行时间在 3~13 个总线周期之间, 当总线速率为 8MHz 时, 时间在 375ns~1.625μs 之间。

2. 模糊运算指令

CPU12 中最特殊的指令当属四条模糊逻辑指令, 利用它们可以计算隶属度函数、加权或非加权的规则推理以及用于加权平均解模糊算法的输出求和、权值求和。利用这些指令, 可以在大约 50 个字节代码长度内构成一个完整的模糊推理核心, 执行时间仅 60μs, 同样的功能在 HC11 下实现大约需要 250 个字节以上的代码, 执行时间约 750μs。

3. 数据传送指令

CPU12 的改进还有 8 位及 16 位的内存到内存直接数据传送指令 MOV, 寻址方式可以是立即数、扩展寻址、索引寻址的所有可用组合, 执行中不使用 CPU 的任何寄存器。将 MOV 指令与新的灵活的指针自动调整指令结合起来, 移动数据块易如反掌。

4. 转移指令

CPU12 增加了新的循环控制指令 DBEQ、DBNE、IBEQ、IBNE、TBEQ 和 TBNE, 它们使用 A、B、D、X、Y 和 SP 作为循环计数器。

5. 其他

CPU12 还包括一组最大/最小指令, 用于在累加器 A、D 与内存字节或字之间进行 MIN/MAX 运算。这类指令共有 8 个: MINA、MINM、MAXA、MAXM、EMIND、EMINM、EMAXD 及 EMAXM。

六、扩展存储器

CPU12 的 CALL 和 RTC 指令与内部逻辑配合能够访问 64KB 以上的程序空间, 采用的是线性寻址和存储体切换之间的折衷方案。

线性寻址程序设计最容易, 但多数指令代码长度增加, 因此执行时间延长; 此外还会导致那些不需要 64K 以上程序存储器的用户无端增加成本。而存储体切换一般难于管理, 原因有三个:

(1) 中断向量必须驻留在非分页的存储区, 或者在每个存储体中保留一个备份。

(2) 在页切换期间必须禁止中断, 以避免在切换过程中出现中断而导致无法预料的结果。而禁止、开放中断本身也增加了代码长度和执行时间。

(3) 进行存储体切换的代码本身必须驻留在未分页的内存区, 以避免执行时被改变。同样跳转到切换例程本身也增加开销。

基于 CPU12 的 MCU 巧妙地解决了上述问题。实际上, CALL 指令工作过程与 JSR 类似, 而 RTC 指令的执行过程与 RTS 类似, 不同的是 CPU 要处理页面寄存器。CALL 指令及目标子程序可以驻留在任何位置, 甚至位于扩展存储器的不同存储体中, 执行时也不需

要禁止中断。

七、背景调试模式

HC12 系列内置背景调试功能,通过单线接口即可对 MCU 进行调试,而且比以往的背景调试系统具有更小的侵入性。一般来说,调试系统的现行操作与目标系统的实时操作是互斥的。但 HC12 把这项技术带入了一个新的水平,它简化了硬件连接,增大了调试系统和目标系统分离的程度。事实上,HC12 的物理调试接口就是一个独立的引脚,通过它可以访问 MCU 应用系统的任何存储器资源,同时不影响 MCU 的正常运行,对于其他调试功能,例如读写 CPU 寄存器、单步跟踪,读写整个内存区,以及访问其他调试功能,可以停止目标系统(进入背景调试模式)以等待串行命令。

通过背景调试接口可以在任何时候(包括现场)编程或重写 FLASH 及 EEPROM。该接口还可以用于应用代码的维护,或者在现场排除故障,也为产品检验和校准等提供了多种可能性。考虑一个采用 HC12 的遥控检测记录系统,EEPROM 可以用于保存采集结果,数据提取系统可以通过 BDM 直接将采集到的数据读出,而不影响正在进行的采集工作。

八、硬件断点

如果程序位于 ROM 中,调试过程需要使用硬件断点逻辑。HC12 可以提供两个普通断点,或者一个包括 16 位地址、16 位数据及读写信号 R/W 的条件断点。断点处理方案包括在匹配地址前停止 CPU 或者产生软件中断 SWI。

在双地址断点模式下,通过 SWI 可以为 ROM 中的程序作两个软件补丁。例如在初始化阶段对断点逻辑进行设置,使它在遇到错误地址时产生 SWI,SWI 服务例程可以调用安排在 EEPROM 中的补丁程序,替代受损的指令序列,最后跳转到错误指令序列后面继续运行。

高级硬件仿真器可提供多个硬件断点及更复杂的条件断点逻辑,但是 HC12 的 BDM 系统调试功能齐全,可以与许多全功能的硬件仿真器相媲美,而价格却仅是它们的一部分。有些应用系统对于物理连接具有严格的限制,这时简单的 BDM 是惟一可行的方案。

九、其他

MCU 的内部 RAM 经过特殊设计,规范字及非规范字的访问均为一个总线周期。对于非规范字,访问时的数据高、低位字节相反,内总线控制器将它们交换后送到 CPU12。

1.5 M68HCS12 系列单片机简介

HCS12 是继 HC12 系列之后推出的 16 位 MCU,软件兼容 HC11。与 HC12 相比,该系列在总线速度、时钟、存储器、接口等方面均有变化。首先,HCS12 采用 Motorola 的第三代快闪存储器,容量 32~512KB,具有快速编程能力、灵活的保护与安全机制,有利于软件版权的保护,而且擦除和写入无需外加高电压;HCS12 的 RAM 和 EEPROM 容量总体上高于 HC12 系列,分别为 2~14KB 和 1~4KB。在串行接口方面,HCS12 最多可支持 5 个 CAN 总线接口、1 个 J1850 接口、1 个 I²C 总线接口、2 个 SCI 接口、3 个 SPI 接口,以后还计划增加 USB 和其他接口。其次,HCS12 时钟发生器模块内设 PLL,内部时钟可软件调节。HCS12 的一些性能优于 HC12 系列,尤其是 FLASH 模块,采用了先进的 0.25μm 工艺,无需外加编

程电压，最短整体擦除时间仅 100ms，512 字节页擦除时间仅 20ms。

目前该系列已经推出 10 余个器件，如表 1-2 所示。

表 1-2 HCS12 系列功能设置情况比较

产品型号	内部 RAM	掩膜 ROM	EE- PROM	FLASH	串行接口	定时器	最高 总线 频率	工作 电压	A/D		PWM		I/O 引脚	备注
					类型	通道数			通道	位数	通道	位数		
单位	字节	字节	字节	字节		最大	MHz	V	个	位	个	位	最大	
MC9S12A128B	8192		2048	131072	SCI,IIC,SPI	8	25	5	8	10	4,8	8,16	59,91	
MC9S12A256B	12288		4096	262144	SCI,IIC,SPI	8	25	5	8	10	4,8	8,16	59,91	
MC9S12A64	4000		1000	64000	SCI,IIC,SPI	8	25	5.0	8		4,8,7	8,16	59,91	
MC9S12D64	4096		1024	65536	SCI,IIC,SPI,CAN2.0A/B	8	25	5.0	8		4,8,7	8,16	59,91	
MC9S12DJ64	4000		1000	64000	SCI,IIC,SPI, CAN2.0A/B,J1850	8	25	5.0	8		4,8,7	8,16	59,91	
MC9S12DB128														
MC9S12DB128B	8192		2048	131072	BYTEFLIGHT,SCI, SPI,CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	8	8	91	
MC9S12DG128														
MC9S12DG128B	8192		2048	131072	SCI,IIC,SPI,CAN2.0A/B	8,7	25	5	8	10	8	8	59,91	
MC9S12DG256B	12288		4096	262144	SCI,IIC,SPI,CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	4,8	8,16	91	
MC9S12DJ128														
MC9S12DJ128B	8192		2048	131072	MSCAN12,SCI,IIC,SPI, CAN2.0A/B,J1850	8,7	25	5	8	10	4,8	8,16	59,91	
MC9S12DJ256B	12288		4096	262144	SCI,IIC,SPI,J1850, CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	4,8	8,16	59,91	
MC9S12DP256B	12288		4096	262144	SCI,IIC,SPI,J1850, CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	8	8	91	
MC9S12DT128														
MC9S12DT128B	8192		2048	131072	SCI,IIC,SPI,CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	4,8	8,16	91	
MC9S12DT256B	12288		4096	262144	SCI,IIC,SPI,CAN2.0A/B	8	25	5	8	10	8	8	91	
MC9S12H256B	12288		4096	262144	Can2.0A/B,SCI,IIC,SPI	8	16	5	16	10	6,3	8,16	99	
MC9S12H128B	12288		4096	131072	Can2.0A/B,SCI,IIC,SPI	8			16	10	6,3	8,16		
MC9S12T64	2048		2048	65536	SCI,SPI	8			8	10	4,8	8,16		