

单片微机原理 及其应用

谢康林 夏雨人 金树福著

上海科学技术文献出版社

单片机原理及其应用

谢康林 夏雨人 金树福 著

上海科学技术文献出版社

责任编辑：徐 静
封面设计：徐 利

单片微机原理及其应用

谢康林 夏雨人 金树福 著

*

上海科学技术文献出版社出版发行

(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

上海科技文献出版社昆山联营厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 415 000

2001年2月第1版 2001年2月第1次印刷

印数：1—5 100

ISBN 7-5439-1699-1/T·644

定价：24.00元

图书在版编目(CIP)数据

单片微机原理及其应用/谢康林编著. —上海: 上海
科学技术文献出版社, 2001. 2

ISBN 7-5439-1699-1

I. 单… II. 谢… III. 单片微型计算机-基本知识
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 87896 号

内 容 简 介

本书以最新、高档 8 位/16 位单片微机为基础,详细介绍单片微机的结构、工作原理、程序设计及其开发工具应用方法等内容。全书共分为四章:第一章主要介绍单片微机基本原理、特点和外围模块。第二章为 CPU 内核、工作方式、异常处理、中断处理。第三章介绍指令系统、交叉汇编、C 编译及其应用等。第四章介绍单片微机开发工具及应用、单片微机应用实例等。

本书结合 H8/300 系列单片微机的介绍,读者可从中系统而完整地了解到高档单片微机原理及其应用的概念,以及单片微机应用系统开发的工具和方法。从而满足广大读者对日益广泛应用的单片微机知识的需求。

本书既可作为大专院校“微机原理”课程的更新教材,也可供从事计算机、电子技术、自动控制、机电一体化等技术领域的研究开发人员作为参考用书。

前 言

由于微电子技术和数字技术的飞速发展,二十多年来计算机、尤其是微型计算机及其应用技术取得极其广泛和深刻的进步。其中单片微机由4位、8位,迅速发展到了16位、32位,在运算速率、总线控制、存储容量、接口功能及数量、开发工具、软件支持等方面都取得了长足的进步。单片微机具有体积小、价格低、高性能、应用开发简捷等优点,在工业控制、生产自动化、机械、电器、智能仪器仪表、信息家电、航空航天、通信导航、汽车电子等领域,得到异乎寻常、日益广泛的应用。

计算机及其应用的发展,对人们传统的工作、学习和生活模式,以及思维方式产生了巨大的冲击。计算机应用促使计算机技术与其它学科技术的交叉融合,促进边缘学科的发展和更新。计算机技术成为人们必须掌握的重要基础知识之一。而从单片微机原理的学习开始,不失是一种良好的选择。

HITACHI(日立公司)的单片微机品种多、性能好,是世界上目前应用最广泛的单片微机之一。本书主要根据日立公司的高性能8位/16位单片微机H8/3048(H8/300系列)的最新技术资料(1999年11月版),以及近期日立公司其它有关资料编写而成。笔者在本书中系统介绍了最新、高档8位/16位单片微机的结构、工作原理、程序设计、开发工具及其应用方法。可供大专院校作为“微机原理”课程的更新教材,也可供从事单片微机应用的有关科技人员学习和参考之用。

本书在编写过程中,得到日立亚洲(香港)有限公司、日立亚洲科技有限公司的大力支持和帮助,对此表示诚挚的谢意!承王莉等同仁的协助,谨表示衷心的感谢。

本书第一、四章由金树福执笔编写,第二章由夏雨人执笔编写,第三章由谢康林执笔编写。全书编写工作由谢康林统筹安排。由于受学识水平所限,书中错误和不当之处在所难免,敬请读者提出宝贵意见,批评指正。

编 者

2000年7月于上海

目 录

第 1 章 单片机概述	(1)
1.1 单片机的历史.....	(1)
1.1.1 什么是单片机.....	(1)
1.1.2 单片机的技术发展.....	(1)
1.1.3 单片机的特点.....	(1)
1.1.4 单片机的应用范围.....	(2)
1.2 HITACHI H8/300 系列单片机.....	(3)
1.2.1 H8/300 单片机	(3)
1.2.2 H8/300L 单片机	(6)
1.2.3 H8/300H 单片机	(8)
1.2.4 H8/3048 单片机外围模块	(10)
1.3 HITACHI SH7000 系列单片机.....	(18)
1.3.1 SH7000 系列的特点	(18)
1.3.2 CPU	(19)
1.3.3 芯片外围模块.....	(25)
1.3.4 支持工具.....	(31)
1.4 单片机的应用.....	(31)
第 2 章 CPU 内核	(33)
2.1 CPU 结构	(33)
2.1.1 概述.....	(33)
2.1.2 CPU 工作模式	(34)
2.1.3 地址空间.....	(34)
2.1.4 寄存器配置.....	(34)
2.1.5 数据格式.....	(36)
2.1.6 指令系统.....	(38)
2.1.7 寻址模式和有效地址的计算.....	(45)
2.1.8 处理状态.....	(48)
2.1.9 基本时序.....	(51)
2.2 MCU 的工作方式	(52)
2.2.1 概述.....	(52)
2.2.2 方式控制寄存器(MDCR).....	(53)
2.2.3 系统控制器寄存器(SYSCR)	(53)
2.2.4 工作方式说明.....	(55)
2.2.5 各工作方式下的引脚功能.....	(56)

2.2.6	各工作方式下的存储器映像	(56)
2.3	异常处理	(63)
2.3.1	概述	(63)
2.3.2	复位	(64)
2.3.3	中断	(66)
2.3.4	Trap 指令	(67)
2.3.5	异常处理后的堆栈状态	(67)
2.3.6	堆栈使用中须注意之处	(67)
2.4	中断控制器	(68)
2.4.1	概述	(68)
2.4.2	寄存器描述	(70)
2.4.3	中断源	(76)
2.4.4	中断操作	(79)
2.4.5	应用注释	(83)
第3章	程序设计	(85)
3.1	概述	(85)
3.2	H8/300 指令系统	(85)
3.2.1	概述	(85)
3.2.2	寻址方式和有效地址计算	(86)
3.2.3	指令系统详解	(87)
3.3	交叉汇编及其使用	(114)
3.3.1	汇编程序概述	(114)
3.3.2	汇编指令	(124)
3.3.3	条件汇编	(145)
3.3.4	宏	(154)
3.3.5	结构汇编	(162)
3.4	C 编译及其使用	(168)
3.4.1	概述	(169)
3.4.2	编程	(172)
3.4.3	系统安装	(182)
3.4.4	错误信息	(193)
第4章	单片机系统的开发和应用	(194)
4.1	应用系统的开发过程	(194)
4.1.1	单片机应用系统的开发	(194)
4.1.2	应用系统开发中的主要问题	(195)
4.1.3	单片机在线仿真器	(196)
4.2	H8/300 Simulator/Debugger 软件的使用	(197)
4.2.1	概述	(197)
4.2.2	仿真/调试程序的功能	(199)

4.2.3	仿真/调试程序的应用	(202)
4.2.4	仿真/调试程序的启动和命令输入	(204)
4.2.5	仿真/调试程序的命令	(207)
4.2.6	通告	(223)
4.2.7	产生 CPU 信息	(225)
4.3	H8/300 的开发系统及其应用	(227)
4.3.1	SLE300 简介	(227)
4.3.2	SLE300 硬件结构	(228)
4.3.3	SLE300 软件使用方法	(232)
4.3.4	终端命令	(236)
4.4	H8/300 系列单片机应用实例	(239)
4.4.1	H8/300L 单片机的应用	(239)
4.4.2	H8/300 单片机的应用	(242)
4.4.3	H8/300H 单片机的应用	(244)
4.4.4	I—ZTAT 型单片机的应用	(246)

第1章 单片机概述

1.1 单片机的历史

1.1.1 什么是单片机

单片机一词是来自英文 Single Chip Microcomputer, 它是 80 年代初从英文直译而来。单片机的物理含义是把 CPU、存储器和各种各样外围设备的接口都集成在一块半导体芯片上, 形成单片级的计算机。但是, 目前国内外的多数厂商和学者普遍改称“微控制器”(Microcontroller Unit)来代替以前的单片机(Single Chip Microcomputer)。究其原因, 是这类微型计算机, 从功能到形态皆由控制计算机演变而来。因此, 单片机改称微控制器后, 其含义就更加准确。

1.1.2 单片机的技术发展

单片机由 4 位单片机、8 位单片机发展到 16 位单片机。近几年, 有关公司又推出 32 位单片机, 其集成度越来越高, 功能愈来愈强。它们的应用范围几乎发展到所有领域。

1975 年, 4 位单片机诞生, 揭开了单片机的历史。

1976 年, Intel 公司的 MCS-48 系列单片机的出现, 使单片机进入了 8 位机的历史阶段。几年以后, Motorola 公司、仙童公司、国家半导体公司等美国公司和日本的日立公司等公司也先后推出了 8 位单片机。这些单片机主要应用于工业控制及多机控制系统, 用来满足各种对象的控制要求。因此, 单片机必须具有各种不同规格的接口, 如传感器、各种驱动功率接口、数据的串/并接口。所以, 8 位单片机在功能上有了很大的发展。以日本的 HITACHI 公司的单片机为例, 它具有高速的 I/O 接口、计数器/比较器功能、模数/数模转换、功率驱动 I/O 接口、VFD 控制器/驱动器等。从 8 位单片机的发展及其性能/价格比的提高来看, 8 位单片机在一较长的时期内, 仍是单片机的主要机型。

1983 年, Intel 公司又推出了 16 位单片机, 如 MC3-96 系列产品。MC3-96 系列集成度达到 12 万只晶体管/片。寻址范围 64KB, 片内 ROM 8KB, RAM 256B, 5 个 8 位并行 I/O 端口, 4 个全双工串行端口, 8 级中断处理和 4 个 16 位可编程的定时器/计时器, 8 个 10 位 ADC 转换器, 指令系统能处理位、字节、字和双字操作, 指令执行时间平均 $1\sim 2\mu\text{S}$, 16 位加法运算时间为 $1\mu\text{S}$, 16 位 $\times$ 16 位或 32 位 $\times$ 16 位的运算时间为 $6.5\mu\text{S}$ 。它的性能相当好。

近几年, 有些公司又推出 32 位单片机, 如 HITACHI 公司的 SH7000 系列, NEC 的 MPD77230。这种单片机也称高级信号处理器。它被用作数字滤波、高速数据调制、高速控制、图像处理、图形传送、语音处理等。

1.1.3 单片机的特点

1. 多功能

单片机利用当今先进的半导体器件制造技术,尽可能多地把各种计算机部件、存储器和各种类型的输入/输出端口都集成在一块芯片内。因此,一台单片机所能实现的功能是很多的。

2. 高性能

由于单片机的制造技术和系统结构的改善,单片机的运行速度和执行效率大大提高。集成度的提高,不但使各种各样的输入/输出接口可以集成在单片机内,而且使存储器的寻址范围也大大扩大,因此,单片机的性能比同类微型计算机的性能有明显的优势。

3. 体积小

正因为单片机的集成度高,使所有硬件集中在一块半导体芯片上,所以,单片机体积较同类微处理器小得多。因此,系统中控制部分的体积也随之大大缩小,单片机将成为微电子嵌入式系统中的理想部件。

4. 低功耗

目前,许多单片机都能在低电压、低功耗下工作,有的单片机可在 2.2V,甚至能在 0.9V 下工作,并且,电流也低到微安级。

5. 产品设计周期短

用单片机进行产品设计,由于它的功能强,体积小,使硬件设计简化;又因各种仿真器的问世,使用户的编程和调试变得非常方便,大大减少了用户系统的软件设计和调试的时间。

1.1.4 单片机的应用范围

正因为单片机有如此优越的性能,所以它的应用范围已经深入到各行各业,并且还在不断地扩展。

1. 工业过程控制

单片机具有丰富的指令类型,输入/输出的端口多,运行速度快,适用于工业过程控制。在控制系统中,单片机可以担当主控制机,也能作为从机分布在控制系统中的各个节点上,负责采集各种输入数据。经过识别、处理后,再向控制对象发出控制信号,控制工业生产的全过程。

2. 家用电器

现代家用电器的发展方向是智能化、现代化和舒适化。毫无疑问,单片机是家电更新换代的理想工具。它体积小、功耗低、功能强,可以说是无所不能。

3. 智能化仪表

各类仪器仪表的现代化标志是它的智能化。智能化仪表能从数据的采集、处理、误差校正到输出显示等,实现测试过程的全部自动化。单片机参与仪表智能化后,仪表不但实现数字化、微型化和智能化,并且其本身的成本也大大降低。

4. 计算机外设智能接口

计算机的若干外部设备,如打印机、显示器、键盘、软/硬磁盘驱动器以及现在流行的 IC 卡中的控制部分,几乎全有单片机参与。单片机参与外部设备控制后,不但提高了外部设备的智能化程度,而且使主机管理外部设备的机时大大节省。

随着单片机性能的不断提高,将会出现通信、声频、视频和射频诸方面与 MCU(单片机)相结合的产品,产生更加辉煌的业绩。

5. 多机应用

多个单片机可构成多机系统,如多台单片机构成的功能集散系统、并行多机系统和网络系统。

1.2 HITACHI H8/300 系列单片机

日立公司的 H8/300 系列单片机包含三种不同的类型:H8/300、H8/300L 和 H8/300H 单片微机。后两种都是以 H8/300 为基础衍生出来的性能有所不同的单片机。下面按照 H8/300、H8/300L 和 H8/300H 的顺序,对它们作简单地介绍。第二章和第三章将详细介绍 H8/300H(H8/3048)的若干细节。

1.2.1 H8/300 单片机

1. 特点:低电压,多功能,适合各种系统控制器

- 先进工艺水平的 8 位结构的 CPU
- 8 位 CPU 中最快的操作速度
- 增强的外围功能
 - 监视计数器
 - 10 位 A/D 转换器(3V 操作)
 - 低电平操作
 - 快速存储器
- 通用寄存器
 - 16 个 8 位寄存器(8 个 16 位寄存器)
- 2 个控制寄存器(PC、CCR)
- 高速
 - 最大的时钟频率:16MHz (16MHz 振荡器)
 - 加/减:125ns, 乘/除:785ns (寄存器—寄存器操作,16MHz)
- 为快速操作配备的最优化的指令系统
 - 指令长度:2 或 4 字节
 - 基本操作:只允许寄存器—寄存器操作
 - 通过 MOV 指令完成存储器—寄存器传送
- 特殊指令
 - 除($16 \div 8$ 位)
 - 位累加器指令
 - 数据块传送指令

2. H8/300 系列单片机的演变

H8/300 单片机系列有若干品种,以引脚数而论,有 64 只引脚的型号如下:

- H8/325(带两个串行 SCI 接口)
- H8/329(带 A/D 转换)
- H8/310(带 E²PROM)

80 只引脚或更多引脚的单片机品种有：

- H8/330/350(带 A/D 转换)
- H8/338(带 A/D 转换)
- H8/3334(使用 2.7V 低电压)
- H8/3437(100 只引脚)

具体演变情况如图 1.1, 表 1-1(64 只引脚)和图 1.2, 表 1-2(80 或更多引脚)所示。

表 1-1 H8/300 系列 64 引脚的 CPU 性能演变

系列号	H8/325		H8/329	—		H8/3297
	H8/322,3,4,5	H8/3256,7	H8/326,7,8,9	H8/310	H8/3101	H8/3292,4,6,7
ROM(KByte)	8,16,24,32	48,60	8,16,24,32	10	10	16,32,48,60
RAM(Byte)	256,512,1K,1K	2K,2K	256,512,1K,1K	256	256	512,1K,2K,2K
16-bit 计时器	1	1	1	—	—	1
8-bit 计时器	2	2	2	—	—	2
SCI(ch)	2	2	1	—	—	1
8-bit ADC(ch)	—	—	8	—	—	10-bit×8

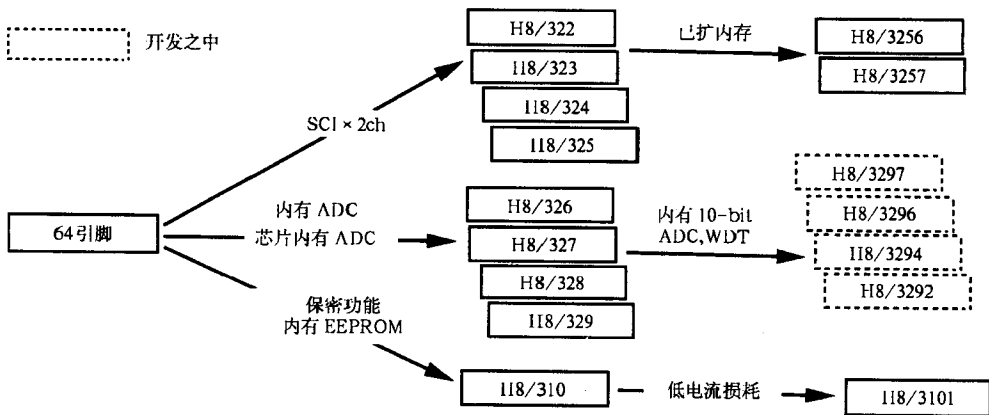


图 1-1 H8/300 系列 64 引脚的 CPU 演变

表 1-2 H8/300 系列 80 或更多引脚的 CPU 演变

系列号	—	—	H8/338	H8/3334	H8/3337	H8/3437	内有快闪内存	H8/3397	H8/3318
	H8/330	H8/350	H8/336,7,8	H8/3332, /3334	H8/3334Y, /6Y, /7Y	H8/3434, /6, /7	H8/3434F, /3334YF	H8/3394, /6, /7	H8/3315 H8/3318
ROM(KByte)	16	32	24,32,48	16,32	32(快闪内存)	32,48,60	32,48,60	32,48,60	32,60
RAM(Byte)	512	512	1K,1K,2K	512,1K	1K	1K,2K,2K	1K,2K,2K	1K,2K,2K	4K
16-bit 计时器	1	19bit×1	1	1	1	1	1	1	2
8-bit 计时器	2	4	2	2	2	2	2	2	2
SCI(ch)	1	2	2	2	2	2	2	2	2
8-bit ADC(ch)	8	16	8	8	10-bit×8	10-bit×8	10-bit×8	10-bit×8	10-bit×8

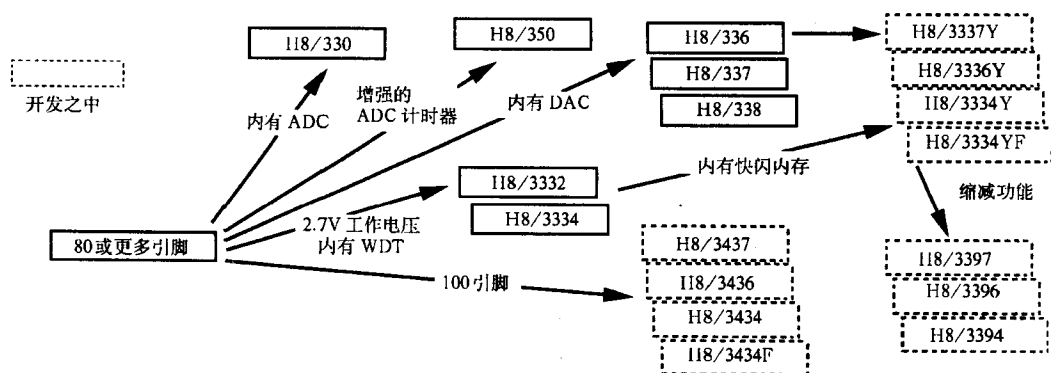


图 1-2 H8/300 系列 80 或更多引脚的 CPU 演变

3. H8/300 系列单片机的 I/O 功能

H8/300 系列单片机的 I/O 功能相当强。有多个定时器,多道串行 I/O,PWM 脉冲调宽,A/D 和 D/A 转换和双口 RAM 等功能,下面进行简单介绍:

(1) 定时器

H8/300 单片机有 2~4 个 8 位定时器,1~2 个 16 位定时器。这些定时器具有双向计数、输入捕获、输出比较功能。有的还有“看门狗(Watchdog)”定时器。

(2) PWM 脉冲调宽输出

H8/300 系列单片机一般具有 8 位 PWM,有的单片机具有 14 位的 PWM 脉冲调宽输出。

(3) 串行通信接口 SCI

H8/300 单片机具有 8 位同步/异步串行 I/O 接口和 8~16 位同步串行接口。

(4) I²C 总线接口

I²C 总线接口广泛用于外扩 I/O 和存储,其特点只需 SDA(数据线)和 SCL(时钟线)来传送数据。

(5) HIF 主机接口

H8/333X 和 H8/343X 具备主机接口 HIF(Host Inter Face)。借助于主机接口 HIF,主机之间可以进行并行连接。

(6) 双口 RAM

双口 RAM 对主机提供了一种并行接口,通过双口 RAM 接口可与外部存储器或主机连接。

(7) A/D,D/A 转换器

H8/300 系列单片机中具有 A/D 和 D/A 转换器,大多数型号单片机具有 8 个通道的 8 位 A/D 转换器和 2 个通道的 8 位 D/A 转换器。

(8) I/O 端口

H8/300 系列单片机具有多个 I/O 端口,有的带有 P1~P7 7 个 I/O 端口,H8/33X 和 H8/350 具有 P1~P9 9 个 I/O 端口,而 H8/34X 系列则具有 P1~P9 以及 PA、PB 共 11 个 I/O 端口。有的端口驱动能力很强,可以直接驱动 LED 显示管。

1.2.2 H8/300L 单片机

H8/300L 单片机系列是在 H8/300 系列单片机基础上发展来的。它与 H8/300 单片机系列具有相同的 CPU 结构,相同的指令系统,只是 I/O 功能有所不同。H8/300L 的供电电压低,功耗更小,其运行速度也低,主要的使用领域在家用电器方面。

1. H8/300L 系列的特点

- 日立新颖的 8 位微型计算机 H8/300 系列之一
 - 与 H8/300 CPU 的指令系统兼容
- 低电压,低功耗
 - 工作电压 $V_{cc}=2.7V$ 到 $5.5V$
 - 多种低功率方式(7 种方式)
- 高值附加系统的简单支持和发展
 - 存储器和封装是可变的
 - 内部显示功能
 - 软件高产的 CPU 结构
- 可用子时钟系统操作
 - 32kHz

2. H8/300L 的演变

H8/300L 单片机系列主要应用于家用电器,根据各种类型的家用电器的不同要求,又生产出适应不同类型家用电器的 H8/300L 单片机,有通用型,驱动荧光显示器型,驱动 LCD 型,带 A/D、D/A 的 I/O 模拟型以及专用型。各种类型的演变如图 1-3,表 1-3,图 1-4,表 1-4 和图 1-5,表 1-5 所示。

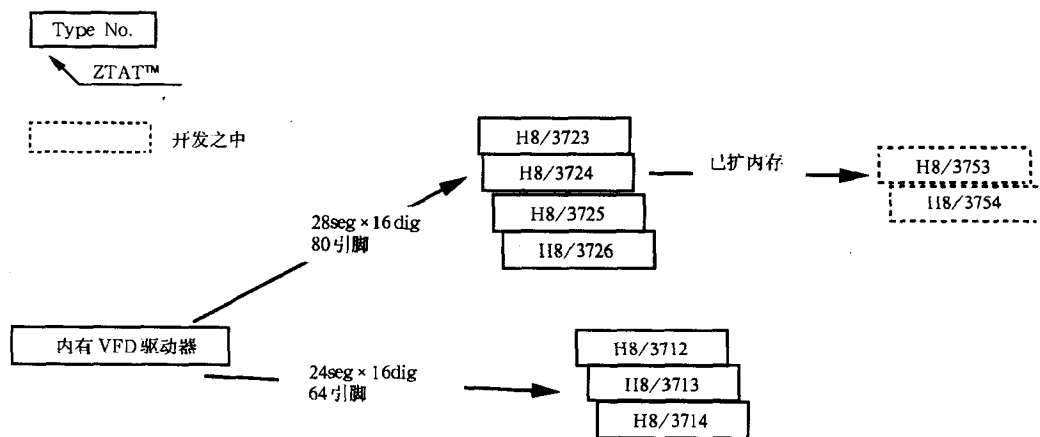


图 1-3 H8/300L 系列荧光显示型单片机的演变

表 1-3 H8/300L 系列荧光显示型单片机的性能

系列号	H8/3724	H8/3754	H8/3714
	H8/3723,4,5,6	H8/3753,4	H8/3712,3,4
ROM(KByte)	24,32,40,48	24,32	16,24,32
RAM(Byte)	384,512,640,1K	1K	384,384,512

(续表)

系列号	H8/3724	H8/3754	H8/3714
	H8/3723,4,5,6	H8/3753,4	H8/3712,3,4
8-bit 计时器	5	5	5
PWM	14-bit×1	14-bit×1	14-bit×1
SCI(ch)	2	2	2
8-bit ADC(ch)	8	8	8
I/O(High vol. pins)	70(36)	70(36)	54(32)

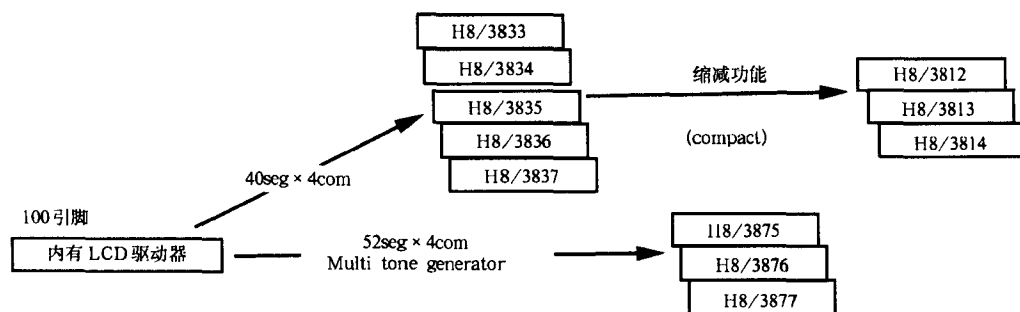


图 1-4 H8/300 系列 LCD 型单片机的演变

表 1-4 H8/300L 系列 LCD 型单片机的性能

系列号	H8/3834	H8/3814	H8/3877
	H8/3833,4,5,6,7	H8/3812,3,4	H8/3875,6,7
ROM(KByte)	24,32,40,48,60	16,24,32	40,48,60
RAM(Byte)	1K,1K,2K,2K,2K	512	2K
8-bit 计时器	5	3	3
PWM	14-bit×1	—	—
SCI(ch)	3	2	2
8-bit ADC(ch)	12	12	8
其它	—	—	DTMF generator Multitone generator

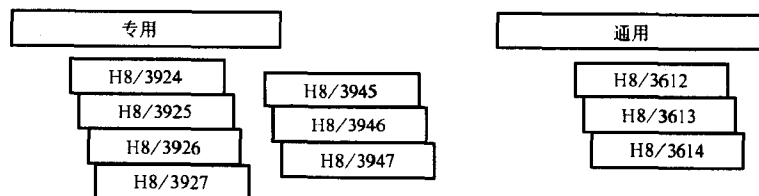


图 1-5 H8/300L 系列通用型单片机的演变

3. H8/300L 单片机的 I/O 功能

H8/300L 单片机的 I/O 功能也很强, 有多个定时器, 多通道串行 I/O, PWM 脉冲调宽,

A/D 和 D/A 转换等。这些 I/O 功能和 H8/300 系列单片机的 I/O 功能基本相同,就不一一介绍了。此外,还有一些专用的 I/O 功能。

表 1-5 H8/300 系列通用单片机的性能

系列号	H8/3614	H8/3927	H8/3947
	H8/3612,3,4	H8/3924,5,6,7	H8/3945,6,7
ROM(KByte)	16,24,32	32,40,48,60	40,48,60
RAM(Byte)	512,1K,1K	1K	2K
8-bit 计时器	5	9	8
SCI(ch)	2	2	1
8-bit ADC(ch)	8	8	12
其它	—	D/A 转换器 看门狗计时器	1°C bus I/F:2 ch 8-bit PWM×8 ch

1.2.3 H8/300H 单片机

H8/300H 系列单片机也是从 H8/300 系列单片机发展来的。但是,H8/300H 是 16 位的单片机,CPU 内部具有 32 位内部结构,而且,它也具有低电压、低功耗和 I/O 功能强等特性。H8/300 H 具有 16 M 字节的线性地址空间,与 H8/300 向上兼容。

1. CPU 特性

● 通用寄存器

4 种组合: 16 个 8 位寄存器,8 个 16 位寄存器

16 个 16 位寄存器

8 个 24 位寄存器(地址指针)

8 个 32 位寄存器(数据)

● 控制寄存器

PC: 24 位程序计数器

CCR: 8 位状态码寄存器

● 强大的指令集合

62 条指令

2. H8/300H 系列单片机的品种

需外接 ROM 的 H8/300 为 H8/300H 单片机的基本型。这种无 ROM 型的单片机发展情况如图 1-6 所示,它们的性能如表 1-6 所示。标准单片机型是 H8/3042 系列,它又演变为存储器增强型(H8/3048)和 80 只引脚的紧凑型(H8/3032)。标准单片机的发展如图 1-7 所示,它们的性能如表 1-7 所示。H8/3072 系列是智能型,其内嵌入了智能的协处理器,功能与运行速度都有了很大提高。

3. H8/300H 单片机 I/O 功能

H8/300H 单片机具有非常强的 I/O 功能,有多个定时器、多个 I/O 端口、看门狗电路、SCI 串行通信接口、A/D 转换和 DMA 控制器。

4. H8/300H 系列单片机的发展

无 ROM 型的单片机现在又添了 H8/3004、3005、3006 和 3007 等新成员。而标准单片机