

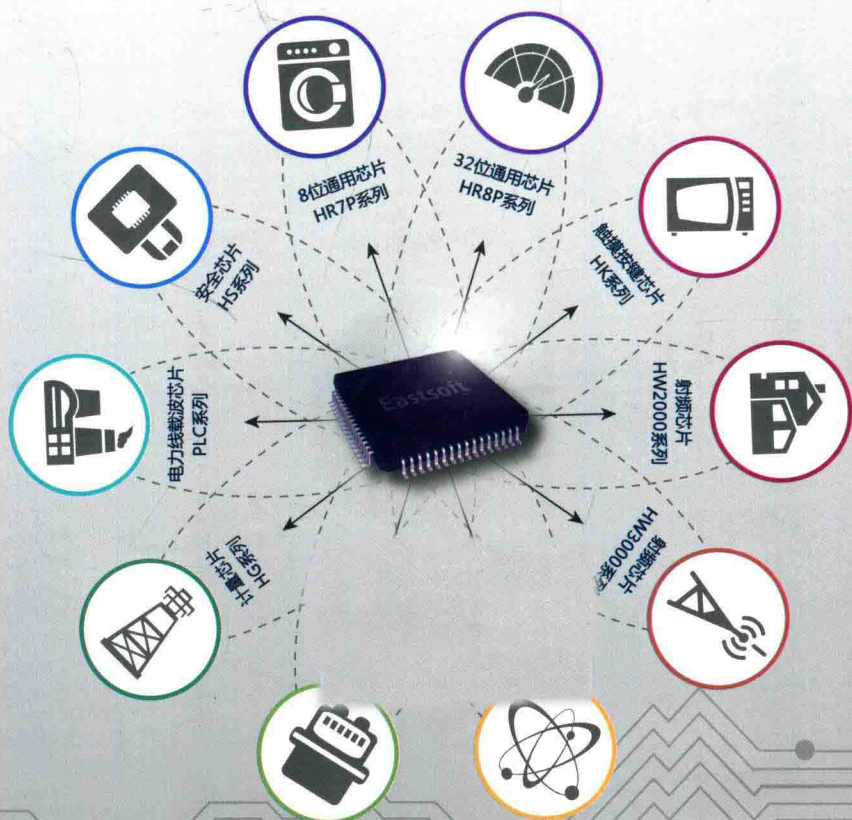


普通高校“十三五”规划教材

Eastsoft.

东软载波单片机 应用系统

上海东软载波微电子有限公司 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高校“十三五”规划教材

东软载波单片机应用系统

上海东软载波微电子有限公司 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书首先详细介绍了 HR 单片机的内核特性及集成开发环境等基础知识;然后以产品系统开发为主线,结合软硬件的系统设计方法,针对 7 个实例进行了详细讲解;最后针对系统的 EMC 问题,从硬件和软件两方面介绍了系统整改对策。本书具体内容包括:HR 单片机简介、集成开发环境与学习开发套件、移动电源、太阳能热水器控制器、碎纸机控制器、电磁炉控制器、汽车 HID 灯安定器、全自动波轮洗衣机控制器、单相智能电表和 EMC 测试及设计等。本书行文简洁明了,通俗易懂,例程丰富,实用性强。

本书可作为本科电子工程系相关专业的教材,也可作为广大单片机爱好者学习 HR 单片机以及工程技术人员使用 HR 单片机进行产品设计时的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

东软载波单片机应用系统 / 上海东软载波微电子有限公司编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2016.10

ISBN 978-7-5124-2261-2

I. ①东… II. ①上… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 234115 号

版权所有,侵权必究。

东软载波单片机应用系统

上海东软载波微电子有限公司 编著

责任编辑 孙兴芳

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:24.75 字数:527 千字

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2261-2 定价:55.00 元

序 言

近年来,我国政府在半导体产业的投入越来越大,包括政策倾斜和组建大基金,以支持我国半导体产业快速发展,缩小技术代差和引领创新,为国民经济持续健康发展提供坚强有力的信息基础保障。从世界范围内半导体产业发展趋势来看,半导体技术和产业从美国开始兴起,创造了硅谷神话;接着,半导体技术扩散到欧洲和日本,为欧洲和日本经济的腾飞打下了坚实的基础,以日本为例,其以半导体技术为核心,发展了材料、设备、生产工艺、芯片设计及产业应用(如白色家电和汽车等),取得了巨大的经济成果;紧接着,半导体技术进一步转移到东南亚,包括中国台湾和韩国,此时,半导体产业分工模式发生了裂变,由传统的半导体产业垂直整合转型为无工厂设计——专业半导体生产代工模式,中国台湾亦成为世界集成电路中心之一;半导体产业发展到今天,作为全球最大的集成电路应用市场,中国大陆不失时机地抓住了半导体产业转移机会,迎来了中国半导体产业发展的黄金时期。

上海东软载波微电子有限公司(前身为上海海尔集成电路有限公司)专注于芯片设计 16 余年,紧跟半导体产业发展大势和步伐,不断进行艰苦的技术探索和创新,在国内取得了令人瞩目的成绩,迄今已经形成 S(安全芯片系列)、M(8/32 位工业微控制器芯片系列)、A(智能电网领域专用芯片系列)、R(无线通信芯片系列)、T(触控芯片系列)五大系列几十余款集成电路产品。近几年,公司每年芯片出货量数以亿计。其中,MCU 芯片作为各种电子电气设备的核心器件,具有不可替代的作用,素有“工业粮食”之称。MCU 芯片在前期需要有长期的技术积累和资金投入,后期应用又需要工具链平台支持,整体研发跨多个技术领域,十分复杂。上海东软载波微电子有限公司迎难而上,经过多年努力,逐步形成了中国本土独特而完整的 MCU 芯片设计平台,包括具有自主知识产权的 MCU 芯片设计;工具链平台,包括操作系统、集成开发环境(IDE)和 C 编译器等;利用工具链平台,用户使用上海东软载波微电子有限公司的 MCU 完成了数以万计的应用系统产品开发,并实现了巨大的销售业绩。随着物联网的兴起,MCU 由传统的以控制为主,向着具有一定自适应智能控制和智能连接的方向演进,上海东软载波微电子有限公司紧紧抓住这一历史机遇,加大研发和市场投入,实现快速跨越,为中国半导体产业之崛起尽一份绵薄之力。

为向广大读者介绍上海东软载波微电子有限公司在 MCU 领域的一些典型应用

系统,本书所选系统都是在各领域具有代表性的产品,内容描述深入浅出,无论是初级工程师还是资深工程师都可以从中有所收获。本书不仅介绍了应用系统产品开发流程和注意事项等内容,还介绍了开发工具使用、编程技巧、EMC 对策等实战性较强的知识。



2016 年 9 月

前 言

HR 系列单片机是上海东软载波微电子有限公司推出的产品,包含 8 位机和 32 位机。本书以 HR7P 系列 8 位单片机为例,通过实际工程系统,详细介绍了系统设计方法。全书共 10 章,具体内容如下:

第 1 章介绍了 HR7P 系列单片机的基础知识,包括内核特性、存储器、外设、复位、休眠和唤醒、配置字等方面的内容,以帮助读者熟悉 HR 单片机。

第 2 章介绍了集成开发环境和学习开发套件,包括 iDesigner 的安装和使用、开发套件的介绍等内容。引导读者入门,打下系统开发的坚实基础。

第 3~9 章为系统开发实例,精心选取了具有代表性的 7 个实例,从系统设计思路分析、硬件电路设计、软件设计 3 个方面详细介绍了 HR 单片机在家电、电源、仪器仪表等领域的系统开发知识。

第 10 章介绍了系统 EMC 知识,包括 EMC 测试内容和规范,并从软、硬件两个方面介绍了 EMC 设计方法和整改思路。

本书可作为本科电子工程院系相关专业的教材,也可作为广大单片机爱好者学习 HR 单片机以及工程技术人员使用 HR 单片机进行产品设计时的参考书。

本书主要由万峰编写,崔波和魏绍昌提供了相关素材,杨荣在校对过程中给予了指导并提出了修改意见。

由于时间仓促,作者水平有限,书中难免有不足和疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

作 者
2016 年 9 月

目 录

第 1 章 HR 单片机简介	1
1.1 HR 单片机概述	1
1.2 HR7P 单片机的内核	1
1.2.1 指令集	3
1.2.2 乘法器和除法器	3
1.2.3 程序计数器和程序堆栈	4
1.2.4 中 断	6
1.2.5 程序存储器	7
1.2.6 Flash	9
1.2.7 数据存储器	13
1.3 HR 单片机的外设	16
1.3.1 I/O 端口	16
1.3.2 定时器和计数器	20
1.3.3 ADC	30
1.3.4 UART 通信	32
1.4 复 位	38
1.5 休眠和唤醒	42
1.6 配置字	44
第 2 章 集成开发环境与学习开发套件	46
2.1 概 述	46
2.1.1 iDesigner 安装	46
2.1.2 菜单与工具	47
2.1.3 解决方案与项目	48
2.2 编码辅助功能	48
2.2.1 成员信息	48
2.2.2 函数信息	49

目 录

2.2.3	定义与引用	50
2.2.4	智能显示	51
2.2.5	大纲显示	52
2.3	编译生成	52
2.4	调 试	53
2.4.1	配置调试环境	53
2.4.2	执行控制	53
2.4.3	调试窗口	55
2.5	编程环境	55
2.6	应用实例	57
2.6.1	生成项目	57
2.6.2	调试项目	60
2.6.3	编程工具	67
2.7	学习开发套件	69
2.7.1	系统组成	69
2.7.2	系统功能	73
第3章	移动电源	74
3.1	功能需求	74
3.2	设计思路分析	75
3.2.1	充放电电路分析	76
3.2.2	保护功能分析	79
3.2.3	充电算法分析	79
3.2.4	HR 单片机型号的选择	80
3.3	硬件电路设计	81
3.3.1	充放电电路	83
3.3.2	快速充电电路	87
3.3.3	保护电路	87
3.3.4	显示按键电路	90
3.4	软件设计	90
3.4.1	主程序流程框架	91
3.4.2	PWM 调节	92
3.4.3	充放电控制	97

第4章 太阳能热水器控制器	102
4.1 功能需求	102
4.1.1 电气连接	102
4.1.2 太阳能热水器显示面板图	103
4.1.3 太阳能热水器的主要功能	103
4.2 设计思路分析	105
4.2.1 节能量算法	105
4.2.2 预约洗浴算法	105
4.2.3 HR 单片机型号的选择	106
4.3 硬件电路设计	114
4.3.1 显示电路	114
4.3.2 实时时钟电路	118
4.3.3 触摸电路	121
4.4 软件设计	123
4.4.1 主程序流程框架	123
4.4.2 时钟芯片	124
4.4.3 显示模块	130
4.4.4 触摸按键	134
第5章 碎纸机控制器	140
5.1 功能需求	140
5.2 设计思路分析	141
5.2.1 负载检测	141
5.2.2 电动机控制	141
5.2.3 HR 单片机型号选择	142
5.3 硬件电路设计	144
5.3.1 负载检测电路	146
5.3.2 电动机控制电路	146
5.4 软件设计	149
5.4.1 主程序流程框架	149
5.4.2 纸厚检测处理	150
5.4.3 卡纸处理	153

第 6 章 电磁炉控制器	157
6.1 功能需求	158
6.2 设计思路分析	160
6.2.1 工作原理	160
6.2.2 谐振变换器的工作过程分析	162
6.2.3 功能实现	167
6.2.4 HR 单片机型号的选择	169
6.3 硬件电路设计	169
6.3.1 电源电路	172
6.3.2 主控制电路	172
6.3.3 IGBT 驱动电路	178
6.3.4 保护与报警电路	181
6.3.5 MCU 控制接口电路	185
6.3.6 按键检测电路	186
6.3.7 显示电路	187
6.4 软件设计	189
6.4.1 主程序流程框架	190
6.4.2 功率控制模块	191
6.4.3 锅具检测模块	195
6.4.4 故障保护模块	199
第 7 章 汽车 HID 灯安定器	200
7.1 功能需求	201
7.2 设计思路分析	202
7.2.1 HID 灯状态控制分析	202
7.2.2 系统设计重点	203
7.2.3 HR 单片机型号的选择	204
7.3 硬件电路设计	205
7.3.1 直流升压电路	207
7.3.2 电流反馈电路	209
7.3.3 高压点火电路	211
7.3.4 全桥逆变电路	212
7.3.5 MCU 控制电路	215
7.3.6 防反接电路	216

7.4 软件设计	216
7.4.1 主程序流程框架	217
7.4.2 电池电压检测	220
7.4.3 点火启动模块	223
第8章 全自动波轮洗衣机控制器	230
8.1 功能需求	230
8.1.1 电气连接	230
8.1.2 全自动洗衣机的主要功能	231
8.2 设计思路分析	235
8.2.1 水位检测实现方法	235
8.2.2 容量智能检测实现方法	236
8.2.3 衣料智能检测实现方法	238
8.2.4 声音提示(音乐蜂鸣)实现方法	239
8.2.5 HR 单片机型号的选择	240
8.3 硬件电路设计	242
8.3.1 水位检测电路	244
8.3.2 电源及过零检测电路	244
8.3.3 负载驱动及模糊检测电路	246
8.3.4 显示与按键扫描电路	248
8.4 软件设计	250
8.4.1 主程序流程框架	250
8.4.2 洗衣机的洗涤流程控制	252
8.4.3 Bootloader 设计	256
第9章 单相智能电表	265
9.1 功能需求	265
9.2 DL/T 645 协议	269
9.2.1 字节格式	269
9.2.2 帧格式	269
9.2.3 传 输	271
9.2.4 数据标识	272
9.2.5 读数据	272
9.2.6 读后继数据	273
9.2.7 写数据	274

目 录

9.3	ISO 7816 标准	274
9.4	ESAM 模块	281
9.4.1	ESAM 模块硬件	282
9.4.2	ESAM 模块的应用要点	284
9.4.3	ESAM 模块文件系统	284
9.4.4	远程费控流程	285
9.5	电表参数数据分类	292
9.6	HR 芯片型号的选择	293
9.6.1	MCU 的选择	293
9.6.2	计量芯片的选择	295
9.7	硬件电路设计	301
9.7.1	电源电路	303
9.7.2	红外接收/发射电路	305
9.7.3	RS-485 电路	307
9.7.4	继电器驱动电路	308
9.7.5	电源检测电路	309
9.7.6	计量电路	310
9.7.7	载波模块接口电路	311
9.8	软件设计	312
9.8.1	主程序流程框架	313
9.8.2	电能量计量	313
9.8.3	事件记录	314
9.8.4	负荷记录	316
9.8.5	时区时段费率	317
9.8.6	冻结和结算	317
9.8.7	显 示	319
9.8.8	通 信	320
9.8.9	休 眠	321
9.8.10	RTC 调校	322
9.8.11	CRC 校验	322
9.8.12	计量调校及测量	326
第 10 章	EMC 测试及设计	329
10.1	EMC 标准化组织	329
10.2	EMC 测试	331

10.2.1 EMI 测试	331
10.2.2 EMS 测试	333
10.3 系统 EMC 设计	337
10.3.1 常用器件.....	340
10.3.2 滤波电路.....	343
10.3.3 结构设计.....	344
10.3.4 PCB 设计	345
10.3.5 软件设计.....	348
附录 A HR 系列单片机选型表	350
附录 B HR 系列单片机指令集	351
参考文献.....	380

第 1 章

HR 单片机简介

MCU(Micro Controller Unit,微控制器),在一片硅片上集成了微处理器、存储器和各种输入/输出(I/O)接口,具有一台计算机的属性,因而被称为单片微型计算机,简称单片机。MCU 自 20 世纪 70 年代问世以来,就以极其高的性能价格比受到人们的重视和关注,所以其应用广泛,发展很快。微控制器的优点是:体积小,重量轻,抗干扰能力强,价格低廉,可靠性高,灵活性好,开发较为容易。

进入 21 世纪以来,“中国芯”的开发和产业化取得了突破性的进展,一大批具有自主知识产权的芯片都成功地实现了产业化。目前,HR 芯片在小家电、白色家电、工业控制、电源、智能电网等领域已经得到广泛应用,全球累计出货量已逾 10 亿。

1.1 HR 单片机概述

目前,HR 单片机有 HR6P、HR7P 两个系列 8 位单片机,以及 HR8P 系列 32 位 Cortex-M0 核单片机、HR9P 系列 32 位 Cortex-M3 核单片机。本书主要讲述 HR7P 系列 8 位单片机。

HR7P 系列单片机是上海东软载波微电子有限公司最新设计的新一代采用高性能哈佛结构的单片机。它采用 2T 架构,每个机器周期包含两个系统时钟周期,其指令运行速度较 HR6P 系列快了一倍。

HR7P 系列单片机按照程序存储器容量和所包含的外设可分为高、低两个等级。低等级产品的程序存储器采用 OTP 工艺,数据存储器及外设功能都较少,主要针对成本敏感的低端消费品领域,代表型号有 HR7P155、HR7P159、HR7P166 等。高等级产品的程序存储器采用 Flash 工艺,具备较大的数据存储器和丰富的外设功能,主要针对白色家电、工业控制、仪器仪表等品质要求较高的应用领域,代表型号有 HR7P91、HR7P195、HR7P196 等。

1.2 HR7P 单片机的内核

HR 单片机采用哈佛结构(见图 1-1),程序存储器和数据存储器在物理空间上完全独立,两条总线也完全分开。这样读取指令和存取操作数可以同时进行,大大提

第1章 HR 单片机简介

高了代码运行效率。

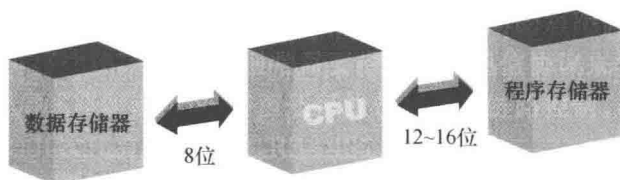


图 1-1 哈佛结构示意图

HR7P 系列单片机内核结构如图 1-2 所示,它具有以下特点:

- 高性能哈佛结构;
- 79 条精简指令;
- 多级硬件程序堆栈(宽度同程序指令宽度);
- 复位向量位于 0000H,默认中断向量位于 0004H,支持中断优先级的向量表;
- 支持硬件乘/除法器;
- 支持中断处理,有多个中断源。

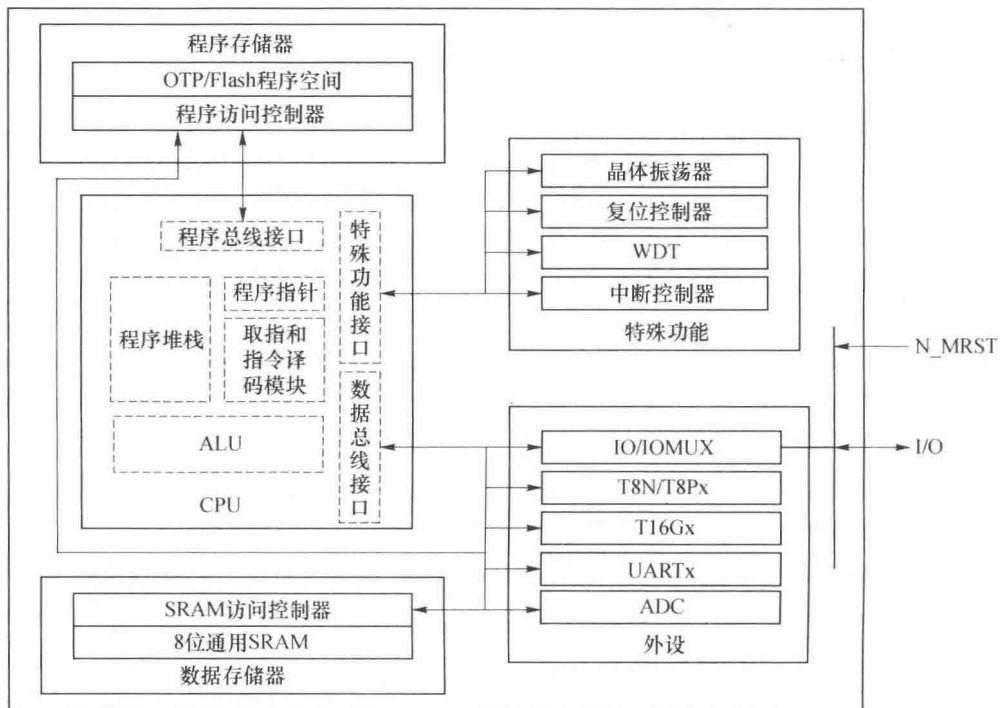


图 1-2 HR7P 系列单片机内核结构

系统程序运行时,数据运算、取指、指令译码、控制逻辑等操作都在中央处理器(由运算单元 ALU 和总线接口以及相关控制单元组成)中完成,它是单片机的核心区域模块。

程序存储器用于存放程序指令。数据存储器分为特殊功能寄存器 SFR 和通用数据寄存器两部分,特殊功能寄存器用于规定和设置芯片外设模块的操作,而通用数据寄存器用于用户数据的存储。

1.2.1 指令集

HR7P 系列单片机采用优化设计的 2T 架构,通过片内时钟生成器产生两个不重叠的正交时钟——phase1(p1)和 phase2(p2)。两个不重叠的正交时钟组成一个机器周期,即一个机器周期由两个系统时钟周期组成。CPU 在第一个系统时钟周期内进行取指、译码、中断处理、读取操作数,并且进行算术运算和逻辑运算操作;在第二个系统时钟周期内将运算结果写回并预取下一条指令。

HR7P 系列单片机绝大多数采用 79 条精简指令集。为了方便程序设计者使用,指令助记符大多是由指令功能的英文缩写组成。这些指令组成的程序经过编译器编译和链接器链接后,会被转换为相对应的指令码。每条二进制代码均由操作码(opcode)与操作数(operand)两部分组成,其中操作码部分对应到指令本身。

指令的宽度为 16 位。按照执行周期的不同,指令可分为单周期指令和双周期指令。

在 79 条指令中,除了 NOP 和 NOP2 两条指令不执行任何操作外,其余指令根据执行功能可分为 3 类:寄存器操作类指令、程序控制类指令和算术逻辑运算类指令。详细的指令集介绍请参考“附录 B HR 系列单片机指令集”。

1.2.2 乘法器和除法器

为加快算术运算的速度,部分 HR7P 系列单片机内核中包含一个硬件乘法器或者除法器。如果单片机内核中没有硬件乘法器或除法器,那么需要进行乘/除法运算时就只能调用库函数,通过加减法和移位运算来实现。这样操作的弱点是:代码较长,运行较慢,系统实时响应较差。采用硬件乘/除法器就不会存在此类问题。HR7P 系列单片机的硬件乘法器和除法器结构如图 1-3 所示。

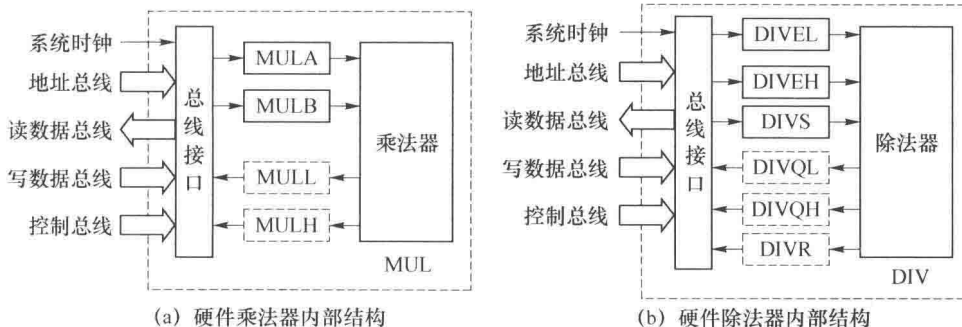


图 1-3 硬件乘/除法器内部结构

第1章 HR 单片机简介

硬件乘法器是一个 8 位×8 位的乘法器,乘积为 16 位。通过 MULA 寄存器和 MULB 寄存器设置乘数。这两个寄存器只能被写入,无法被读取。运算的结果存入 MULL 和 MULH 两个寄存器中。这两个寄存器只能被读取,无法被写入。MULA 与 MULL 共用一个寄存器地址,MULB 与 MULH 共用一个寄存器地址。整个硬件乘法器的运算周期为 1 个机器周期。

硬件除法器是 16 位被除数/8 位除数=16 位商和 8 位余数。通过 DIVEH 和 DIVEL 寄存器设置被除数,通过 DIVS 寄存器设置除数。这 3 个寄存器只能被写入,无法被读取。运算的商存入 DIVQH 和 DIVQL 寄存器中,余数存入 DIVR 寄存器中。这 3 个寄存器只能被读取,无法被写入。DIVEL 和 DIVQL 共用一个寄存器地址,DIVEH 和 DIVQH 共用一个寄存器地址,DIVS 和 DIVR 共用一个寄存器地址。被除数和除数设置完成后,需要插入 2 条 NOP 指令,才能读取商和余数。若除数为 0x00,则商为 0xFFFF,余数为 0xFF,表示结果溢出。

需要特别注意的是,如果用户程序需要在主程序和中断服务程序中同时调用乘法器或除法器,则有可能产生相关乘/除法特殊功能寄存器数据的冲突,所以用户需要在中断程序入口处对乘/除法相关寄存器进行保护,中断返回后再恢复这些寄存器。

1.2.3 程序计数器和程序堆栈

程序计数器(Program Counter, PC)用于控制指令的执行顺序。HR7P 系列单片机 PC 的宽度最多为 16 位,寻址范围为 0~65 535,寻址超出地址范围会导致 PC 溢出循环。在单片机内部,CPU 通过程序总线,从当前 PC 指向的程序单元中读取指令和操作数,读取当前指令后 PC 自动加 1,指向下一条待执行指令的程序地址。如果程序空间中所有的指令都是顺序执行的,那么单片机执行完程序空间最后一条指令后,PC 会自动返回 0000H。

指令系统还为用户提供了一些强行改变程序执行顺序的指令,如跳转指令等,通过适当运用这些指令,即可完成各种程序判断逻辑的功能。

当单片机运行过程中发生复位时,PC 的值会被自动重置为 0000H;当单片机运行过程中产生中断且中断被允许响应时,PC 会根据不同的中断向量模式指向对应的中断向量入口地址。HR7P 系列单片机默认中断向量入口地址是 0004H。

HR 单片机的堆栈是独立于其他存储单元的一组特殊存储区域,它与 PC 密切相关,其每个存储单元的数据位宽度和 PC 宽度一致。当发生子程序调用或中断响应时,单片机会自动把当前 PC 值压入堆栈,即保存在堆栈栈顶,而原先栈顶和其下单元的内容则被顺序往下移一个单元位置,最后一个单元的内容被丢弃。当子程序调用结束返回或中断返回时,单片机会自动将堆栈栈顶数据置入 PC 中,顶部其下的单元内容顺序往上移一个单元,程序从新的 PC 值处运行。