

Microchip公司大学计划用书

dsPIC33F 系列

数字信号控制器仿真与实践

江 和 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

Microchip 公司大学计划用书

dsPIC33F 系列数字信号 控制器仿真与实践

江 和 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书以 Microchip 公司的 16 位机 dsPIC33F 系列数字信号控制器(包括 GP 和 MC 系列)为对象,介绍了相应的功能模块的原理与应用。几乎每个功能模块都配以多个应用实例,实例程序用 MPLAB C30 语言编制,所有的程序都经过实物或 PROTEUS 仿真验证,并配有相应的应用线路图。通过这些实例读者可以较快地理解功能模块并掌握其应用技巧。本书实例的完整程序与电路图,以及相关模块设计时需要计算的 EXCEL 计算表,可以在 www.buaapress.com.cn 的“下载专区”下载获得。

本书可作为工程技术人员迅速掌握 dsPIC30F/33F 系列 16 位数字信号控制器开发技术的实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

dsPIC33F 系列数字信号控制器仿真与实践 / 江和编

著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2014.9

ISBN 978-7-5124-1430-3

I. ①d… II. ①江… III. ①数字控制器—研究
IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 127085 号

版权所有,侵权必究。

dsPIC33F 系列数字信号控制器仿真与实践

江 和 编著

责任编辑 梅栾芳 栾冬华 曾文静

*

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@gmail.com 邮购电话:(010)82316524

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:25.25 字数:538 千字

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1430-3 定价:59.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前言

Microchip 公司的数字信号控制器(DSC)是介于单片机(MCU)与数字信号处理器(DSP)之间的系列产品,适合于既能灵活控制,又需要大量计算的应用场合。

dsPIC33F 是 Microchip 公司 16 位机中重要的一个系列,我们从其名称上就可以对该系列产品有一个大致的了解:“dsPIC”可以看作“dsP”+“PIC”,其中的“P”为共用,而“DSP”中的“DS”改为小写“ds”,说明其具有 DSP 的功能,但这并不是其主要的,其主要功能是 PIC 单片机的功能。

在学习 DSC 或单片机的过程中,初学者往往较难入门,特别是那些自学者。他们希望在每一个功能模块的基本介绍之后,能有较多的实例来帮助他们掌握这些功能模块,并能马上编程应用,希望能起到事半功倍的效果。因此,本书中几乎每一章在介绍完各功能模块后,都配有多个实例,这些实例有完整的程序和相应的电子线路图,程序用 C30 语言编写,并附有详细的注解。读者通过这些实例的阅读和仿真的逐步运行,可以很快掌握每个功能模块的应用编程技巧,并用于实际产品开发中。

本书主要内容如下:

第 1 章对 dsPIC33F 系列产品作了简介,使读者对该系列产品有一个大概的了解。

第 2 章介绍了 dsPIC 专用的 C 编译器 C30 的特点及应用,全书的所有程序都用 C30 语言编写,它与标准的 C 语言是有差别的。

第 3~6 章介绍其端口、中断、系统配置和振荡器配置。dsPIC33F 丰富的中断源和多种灵活的振荡器选择,使得应用相对复杂,但通过实例,读者会很快掌握这些模块的使用,如第 6 章振荡器配置与应用就配有 9 个实例。

第 7 章介绍定时器。dsPIC33F 的定时器可以配置为 16 位或 32 位,使用更加方便灵活。

第 8~9 章分别介绍输入捕捉和输出比较模块,同样附有多个实例。

第 10 章介绍模/数转换器 ADC。dsPIC33F 的转换器 ADC 有多种触发方式、多种采样模式,相对于其他芯片来说,较为复杂,初学者往往较难掌握。为此,本章附有

前言

7 个实例,通过这些不同的例子能帮助读者理解和掌握 ADC 模块的编程使用。

第 11~13 章分别为异步串行通信 UART、SPI 通信接口和 I2C 通信接口。其中第 13 章的应用实例中,先给出了字符型 LCD 1604 的简介,然后给出了 dsPIC 控制时钟芯片 DS1307 和 LCD 1604 的实时时钟应用程序与线路图。

第 14 章介绍电机控制系列(MC 系列)的专有电机控制 PWM 模块,本章配有 SPWM、SVPWM 的简介,并有相应的实例,这些实例为直流电源变换为单相交流电源、直流电源变换为三相对称的交流电源。

第 15 章介绍电机控制系列(MC 系列)的专有正交编码器接口 QE1,它配以编码器,可以方便地检测电机等旋转体的转速。

第 16 章介绍直接数据存取控制器 DMA,这是 dsPIC33F 的重要功能,本章附有 2 个实例,另外在第 10 章也有 3 个、第 11 章有 2 个与 DMA 有关的实例。

第 17 章介绍了 CAN 总线模块。

附录 A 给出了内建函数的介绍。

书中的所有程序和线路均为作者本人编写完成,疏漏和不足之处在所难免,希望读者批评指正。读者可以发送电子邮件到 jianghe706@163.com,与作者交流,也可以发送电子邮件至 emsbook@gmail.com,与本书的策划编辑进行交流。

在此感谢 Microchip 公司提供的免费软件和相关资料,感谢广州风标电子科技有限公司免费提供的 PROTEUS 软件。

作者

2014 年 4 月于福州大学沁园



第 1 章 dsPIC33F 系列 DSC 简介	1
1.1 MCU、DSC 与 DSP	1
1.2 Microchip 公司 MCU 和 dsPIC 系列产品简介	1
1.3 dsPIC33F 中的 GP、MC、GS 系列的区分	2
1.4 dsPIC33F 通用系列(GP)性能简介	3
1.5 程序存储器	5
1.6 数据存储器	6
1.7 CPU 结构	9
1.7.1 工作寄存器阵列 W0~W15	9
1.7.2 W0 和文件寄存器指令	10
1.7.3 W 寄存器和字节模式指令	12
1.7.4 影子寄存器	12
1.7.5 DO 循环影子寄存器	12
1.7.6 未初始化的 W 寄存器的复位	12
1.7.7 软件堆栈指针	12
1.8 中断系统	13
1.9 开发工具的支持	13
第 2 章 C30 及开发环境介绍	14
2.1 C30 与标准 C(ANSI C)的差别	14
2.1.1 关键字差别	14
2.1.2 语句差别	23
2.1.3 表达式差别	26
2.1.4 C30 的头文件与引用	26

目 录

2.2	行内汇编	28
2.3	C30 的数据类型	29
2.4	内建函数	30
2.5	C30 在 MPLAB IDE 中的使用	31
2.5.1	项目的建立与编译	31
2.5.2	C30 程序的仿真与调试	33
第 3 章	I/O 口	39
3.1	I/O 口概况	39
3.2	与 I/O 相关的寄存器	41
3.3	漏极开路配置	46
3.4	配置模拟端口引脚	47
3.5	输入状态变化与弱上拉	48
3.6	外设引脚的可重映射功能选择	51
3.6.1	控制外设引脚选择	51
3.6.2	控制配置改变	53
第 4 章	中 断	57
4.1	中断概述	57
4.2	中断向量表	57
4.3	中断控制和状态寄存器	62
4.4	中断设置过程	69
4.4.1	中断的初始化	69
4.4.2	中断服务程序	70
4.4.3	陷阱服务程序	70
4.4.4	禁止中断	70
4.5	中断程序示例	71
第 5 章	系统配置	76
5.1	器件配置综述	76
5.2	FBS 配置寄存器	77
5.3	FSS 配置寄存器	78
5.4	FGS 配置寄存器	79
5.5	FOSCSEL 配置寄存器	80
5.6	FOSC 配置寄存器	81
5.7	FWDT 配置寄存器	81

5.8	FPOR 配置寄存器	87
5.9	FICD 配置寄存器	88
第 6 章 振荡器配置与应用		90
6.1	dsPIC33F 的时钟概况	90
6.1.1	PLL 配置	92
6.1.2	与振荡器相关的寄存器介绍	93
6.2	FRC 振荡器	98
6.3	主振荡器(XT、HS 或 EC)	103
6.4	辅助振荡器(LP 或 SOSC)	106
6.5	低功耗内部振荡器(LPRC)	107
6.6	时钟切换	108
6.6.1	时钟切换工作原理	108
6.6.2	使能时钟切换	108
6.6.3	振荡器切换步骤	109
第 7 章 定时器		112
7.1	定时器 Timer1	112
7.1.1	特点及简介	112
7.1.2	相关寄存器介绍	114
7.1.3	实 例	115
7.2	定时器 Timer2/3、Timer4/5、Timer6/7、Timer8/9	123
7.2.1	功能说明	123
7.2.2	相关寄存器	125
7.2.3	32 位定时/计数器	126
第 8 章 输入捕捉 IC		130
8.1	概 述	130
8.2	相关寄存器介绍	131
第 9 章 输出比较 OC		138
9.1	概 述	138
9.2	相关寄存器介绍	138
9.3	输出比较 OC 的工作方式	140
9.3.1	单次比较模式(低电平有效和高电平有效)	141
9.3.2	翻转模式	143

目 录

9.3.3	延迟单次模式	145
9.3.4	连续脉冲模式	147
9.3.5	PWM 模式(带故障保护与不带故障保护)	148
第 10 章 模/数转换器 ADC		152
10.1	概 述	152
10.2	ADC 和 DMA	153
10.3	相关寄存器介绍	153
10.4	ADC 转换的相关参数与设置	161
10.4.1	ADC 转换时钟周期 T_{AD}	161
10.4.2	ADC 转换触发源	162
10.4.3	采样多路开关	163
10.4.4	ADC 参考电压的选择	163
10.5	无 DMA 模块的 ADC 实例	164
10.6	带 DMA 模块的 ADC 实例	183
第 11 章 异步串行通信 UART		195
11.1	概 述	195
11.2	发送器	196
11.3	接收器	197
11.4	UART 波特率发生器(BRG)	198
11.5	相关寄存器	198
11.6	UARTx 的几种工作方式	202
11.6.1	奇偶校验	202
11.6.2	环回模式	203
11.6.3	自动波特率检测	205
11.6.4	发送间隔字符	207
11.6.5	UARTx 与 DMA	208
第 12 章 SPI 通信接口		213
12.1	简 介	213
12.2	相关寄存器	215
12.3	SPI 模块的工作模式	218
12.3.1	8 位/16 位模式	218
12.3.2	主/从模式	219
12.3.3	SPI 帧模式	220

12.4 相关工作模式的时序图	220
第13章 I2C通信接口	233
13.1 简介	233
13.2 波特率发生器	234
13.3 I2C地址	234
13.4 I2C相关控制寄存器	236
13.5 I2C总线特性	240
13.5.1 I2C协议	241
13.5.2 I2C报文协议的几个基本内容	242
13.6 作为主器件在单主机环境下通信	243
13.6.1 产生启动总线事件	244
13.6.2 发送数据到从器件	244
13.6.3 接收来自从器件的数据	245
13.6.4 应答产生	246
13.6.5 产生停止总线事件	246
13.6.6 产生重复启动总线事件	246
13.7 作为从器件通信	246
13.7.1 检测启动和停止条件	247
13.7.2 检测地址	247
13.7.3 接收来自主器件的数据	250
13.7.4 发送数据到主器件	254
第14章 电机控制 PWM 模块	272
14.1 简介	272
14.2 PWM的时基与工作模式	274
14.2.1 PWM的时基	274
14.2.2 PWM的工作模式	274
14.2.3 PWM的分频	275
14.2.4 PWM的周期	276
14.2.5 PWM对齐方式	276
14.2.6 PWM占空比比较单元	278
14.2.7 互补PWM操作	279
14.2.8 死区发生器	279
14.2.9 PWM输出引脚及相关控制	280
14.2.10 PWM故障引脚	282

14.2.11	PWM 更新锁定	283
14.2.12	PWM 特殊事件触发器	283
14.2.13	CPU 休眠模式与空闲模式下的 PWM 操作	283
14.3	PWM 的相关寄存器	284
14.4	MCPWM 的应用实例	291
第 15 章	正交编码器接口 QE1 模块	315
15.1	概 述	315
15.2	相关寄存器介绍	316
15.3	16 位向上/向下位置计数器模式	319
15.3.1	位置计数器错误检查	319
15.3.2	位置计数器复位	319
15.4	x2 与 x4 模式的区别	320
15.5	POS1CNT 与 MAX1CNT 匹配复位计数器	321
15.6	索引脉冲复位计数器	321
15.7	可编程数字噪声滤波器	322
15.8	备用 16 位定时/计数器	322
15.9	正交编码器接口中断	323
第 16 章	直接数据存取控制器 DMA	325
16.1	简 介	325
16.2	DMA 寄存器	326
16.3	DMA 工作模式	331
16.3.1	字节或字传输	331
16.3.2	寻址模式	331
16.3.3	DMA 传输方向	332
16.3.4	空数据外设写模式	332
16.3.5	连续数据块或单数据块的工作	332
16.3.6	乒乓模式	333
16.3.7	手动传输模式	333
16.3.8	DMA 请求源选择	333
16.4	DMA 中断和陷阱	333
16.5	DMA 实例	334
第 17 章	CAN 总线模块 ECAN	343
17.1	概 述	343

目 录

17.2 帧类型·····	344
17.3 工作模式·····	345
17.3.1 初始化模式·····	345
17.3.2 禁止模式·····	346
17.3.3 正常工作模式·····	346
17.3.4 监听模式·····	346
17.3.5 监听所有报文模式·····	347
17.3.6 环回模式·····	347
17.4 报文接收·····	347
17.4.1 接收缓冲器·····	347
17.4.2 FIFO 缓冲器模式·····	347
17.4.3 报文接收过滤器·····	347
17.4.4 报文接收过滤器屏蔽寄存器·····	348
17.4.5 接收错误·····	348
17.4.6 接收中断·····	348
17.5 报文发送·····	349
17.5.1 发送缓冲器·····	349
17.5.2 发送报文优先级·····	349
17.5.3 发送过程·····	349
17.5.4 远程发送请求的自动处理·····	350
17.5.5 中止报文发送·····	350
17.5.6 发送错误·····	350
17.5.7 发送中断·····	350
17.6 波特率设置·····	351
17.6.1 位时序·····	351
17.6.2 预分频比设置·····	352
17.6.3 传播时间段·····	352
17.6.4 相位缓冲段·····	352
17.6.5 采样点·····	352
17.6.6 同 步·····	352
17.7 相关寄存器·····	353
附录 A 内建函数介绍·····	369
A.1 内建函数列表·····	369
A.2 内建函数·····	370
参考文献·····	391

第 1 章

dsPIC33F 系列 DSC 简介

Microchip 公司的单片机/数字信号控制器系列产品已经得到众多技术人员的喜爱并应用于他们的设计中。Microchip 公司的产品有量大面广的 8 位机、16 位机和 32 位机,而 16 位机以其卓越的性能、合适的价格得到越来越多技术人员的青睐。本书介绍 16 位机中的 dsPIC33F 系列,其主要内容基本适用于 16 位机中的 PIC24 系列和 dsPIC30F 系列。

1.1 MCU、DSC 与 DSP

MCU:英文全称为 Microprocessor Control Unit,即微控制单元,简称 MCU,即我们常称的单片机。MCU 是把计算机的 CPU、RAM、ROM、定时器和多种 I/O 接口模块集成在一片芯片上,形成芯片级的计算机,为各种应用提供现场控制检测等应用。

DSP:英文全称为 Digital Signal Processor,即数字信号处理器,简称 DSP。DSP 是一种特别适合进行数字信号处理运算的微处理器,主要用于实时快速地实现各种数字信号处理算法,它广泛应用于数码相机、数码摄像机,及需要快速适时处理大量数据的产品中。

DSC:英文全称为 Digital Signal Controllers,即数字信号控制器,简称 DCS,它是 Microchip 公司提出的一个概念。DSC 的性能介于 MCU 与 DSP 间,它既有 MCU 控制功能强的特点,又兼有 DSP 数据处理能力强的优点,适合于既需要大量快速处理数据,又需要控制、监测各种参量的场合。

提示:Microchip 公司的 dsPIC 属于 DSC。可以这样理解:“dsp”+“PIC”=“dsPIC”,中间的一个“P”是共用的。

1.2 Microchip 公司 MCU 和 dsPIC 系列产品简介

如图 1.1 所示,在 Microchip 公司的 MCU 和 dsPIC 系列产品中,属于 8 位机的

第1章 dsPIC33F 系列 DSC 简介

有 PIC10、PIC12、PIC16 和 PIC18 系列。属于 16 位机的有 PIC24、dsPIC30 和 dsPIC33 系列。PIC32 为 32 位单片机。

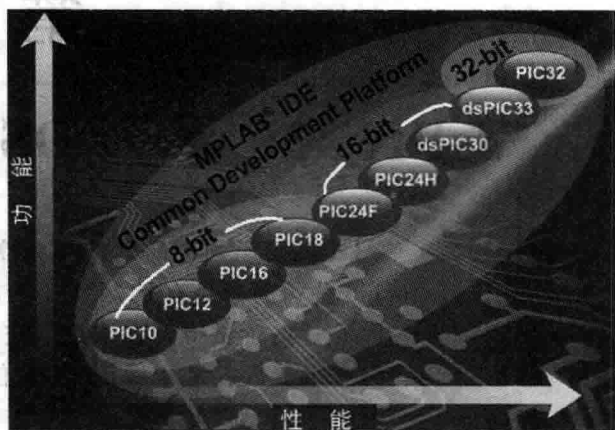


图 1.1 Microchip 公司 MCU 和 dsPIC 产品性能示意图

16 位机产品中, PIC24 为单片机, 目前有 PIC24F 和 PIC24H/E 系列。PIC24F 为低功耗系列, 最大指令频率为 16 MIPS; PIC24H/E 为高性能系列, 最大指令频率为 40 MIPS; 而最新的 PIC24EP 系列的最大指令频率为 70 MIPS。

dsPIC30 为 dsPIC 第一代产品, 工作电压为 2.5~5.5 V, 最大指令频率为 30 MIPS。dsPIC33 为 dsPIC 第二代产品, 工作电压为 3~3.6 V, 最大指令频率为 40 MIPS, 有些产品可达 50 MIPS。最新的 dsPIC33EP 系列的最大指令频率为 70 MIPS。在性能与功能上, dsPIC33 较 dsPIC30 有了进一步的提升, 如增加了 DMA(直接数据存储)、I/O(输入/输出)重定向功能, 工作频率更高等。

提示: MIPS 为 Million Instructions Per Second 的缩写, 即每秒处理百万条机器语言指令数。这是衡量 CPU 速度的一个指标。

本书所给的相关产品参数为截止到 2014 年 1 月 31 日在 Microchip 官网上公布的资料。

1.3 dsPIC33F 中的 GP、MC、GS 系列的区别

在 dsPIC33F 系列产品中, 还分为 GP、MC 和 GS 系列, GP(General Purpose)为通用系列, MC(Motor Control)为电机控制系列, GS(Switch Mode Power Supply)为数字电源系列。如:

dsPIC33FJ64GP202 为通用系列。

第1章 dsPIC33F 系列 DSC 简介

dsPIC33FJ64MC202 为电机控制系列,与通用系列的主要区别是增加了专用于电机控制的 PWM 模块(MCPWM)和正交编码器接口模块(QEI)。其电机专用的 MCPWM 模块具有各种对齐方式、死区控制、故障控制等功能,方便电机控制。

dsPIC33FJ32GS610 为数字电源系列,与通用系列的主要区别是,在与电源控制有关的模块中提高了速度,如高速 PWM、高速 10 位模/数转换器和高速模拟比较器,使得在数字电源应用中能获得更加优越的性能。

1.4 dsPIC33F 通用系列(GP)性能简介

dsPIC33F 是 16 位的 DSC,故其数据总线是 16 位,指令宽为 24 位,即一条单字指令占用 3 字节的程序存储器空间。如 dsPIC33FJ64GP706A 的程序存储器大小是 64 KB,如果全部用单字指令,一共可以存储 $64/3 \approx 21\text{K}$ 条指令。有时表示为 21 KW,即 21K 指令字。

dsPIC33F 的主要功能与性能如下:

(1) 高性能 DSC CPU

- 84 条基本指令;多数为单字/单周期指令;
- 16 个 16 位通用寄存器,2 个 40 位累加器;
- 灵活的软件堆栈;
- 16×16 位小数/整数乘法运算;
- 32/16 位和 16/16 位除法运算。

(2) 直接存储器访问(Direct Memory Access, DMA)

即允许在 CPU 执行代码期间在 RAM 和外设间传输数据(不占用额外的周期),最多有 8 通道硬件 DMA,2 KB 双口 DMA 缓冲区,用于存储通过 DMA 传输的数据。注意,并非所有的 dsPIC33F 芯片都有此模块,使用时要查询相应的芯片资料。

(3) 中断控制器

dsPIC33F 有多达 118 个中断向量中断控制器,最多 67 个中断源,最多 5 个外部中断,7 个可编程优先级,最长达 8 个处理器异常和软件陷阱。

(4) 数字 I/O 引脚

- 最多 24 个引脚具有电平变化中断/唤醒功能;
- 输出引脚可驱动 3.0~3.6 V 电压,所有数字输入引脚可承受 5 V 电压;
- 所有 I/O 引脚的灌/拉电流为 4 mA。

(5) 片上闪存和 SRAM

- 闪存程序存储器,最大 256 KB;
- 数据 SRAM,最大 30 KB(包括 2 KB 的 DMARAM)。

第1章 dsPIC33F 系列 DSC 简介

(6) 系统管理

- 外部振荡器、晶振、谐振器和内部 RC 振荡器；
- 全集成、极低抖动 PLL；
- 上电延时定时器；
- 振荡器起振定时器/稳定器；
- 自带 RC 振荡器的看门狗定时器；
- 故障保护时钟监视器；
- 多个复位源。

(7) 功耗管理

- 片内 2.5 V 稳压器；
- 实时时钟源切换；
- 可快速唤醒的空闲、休眠和打盹(Doze)模式。

(8) 定时器/捕捉/比较/PWM

- 最多 9 个 16 位定时器,最多可以配对作为 4 个 32 位定时器使用；
- Timer1 可依靠外部 32.768 kHz 振荡器作为实时时钟使用；
- 输入捕捉(最多 8 个通道)可进行上升沿捕捉、下降沿捕捉或上升/下降沿捕捉,每个捕捉通道都带有 4 字深度的 FIFO 缓冲区；
- 输出比较(最多 8 个通道):1 个或 2 个 16 位比较模式；
- 16 位无毛刺 PWM 模式。

(9) 通信模块

- 3 线 SPI(最多 2 个模块)；
- I2C(最多 2 个模块)；
- UART(最多 2 个模块)；
- 数据转换器接口(Data Converter Interface,DCI)模块；
- 增强型 CAN(ECAN 模块)2.0B Active 版本(最多 2 个模块)。

(10) 模/数转换器(ADC)

- 一个器件中最多有两个模/数转换器模块；
- 10 位 1.1 Msps 或 12 位 500 Ksps(samples per second,即每秒采样次数)转换；
- 2、4 或 8 路同时采样,最多 32 路带有自动扫描功能的输入通道,休眠模式下仍可进行转换。

(11) CMOS 闪存技术

低功耗的高速闪存技术,全静态设计,3.3 V($\pm 10\%$)工作电压,工业级温度范围为 $-40\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$,还有更高的扩展级工作温度范围 $-40\sim+125\text{ }^{\circ}\text{C}$,甚至更高温,其工作温度范围为 $-40\sim+140\text{ }^{\circ}\text{C}$,适合于特殊场合。

1.5 程序存储器

dsPIC33F 系列芯片采用的是独立的程序和数据空间及总线,即所谓的哈佛结构。采用这一结构的优点是能够在代码执行过程中从数据空间直接访问程序存储器,从而极大地提高了程序的执行速度。

dsPIC33F 器件的程序空间最大可存储 4M 个指令字。可通过由程序执行过程中 23 位程序计数器(PC)、表操作或数据空间重映射得到的 24 位值的程序存储器寻址,用户只能访问程序存储空间的低半地址部分(地址范围为 $0x000000 \sim 0x7FFFFFFF$)。当使用表读/表写指令 TBLRD/TBLWT 时,情况有所不同,因为这两条指令允许访问配置存储空间中的配置位和器件 ID。

图 1.2 给出了 dsPIC33F 系列器件三个型号的程序存储器映射情况,图中的存储区未按比例显示。从图可见,不同型号的 DSC 的程序存储器空间大小不同,用户必须根据相应的数据手册来确定其范围。图 1.3 给出了程序存储器的构成示意图。

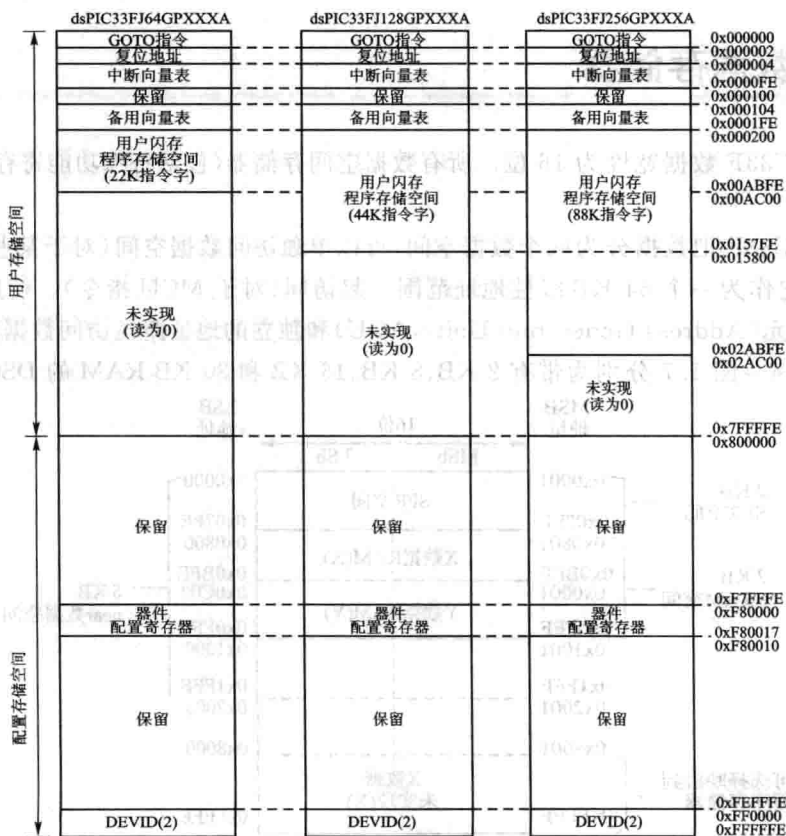


图 1.2 三个型号的 DSC 程序存储器示意图