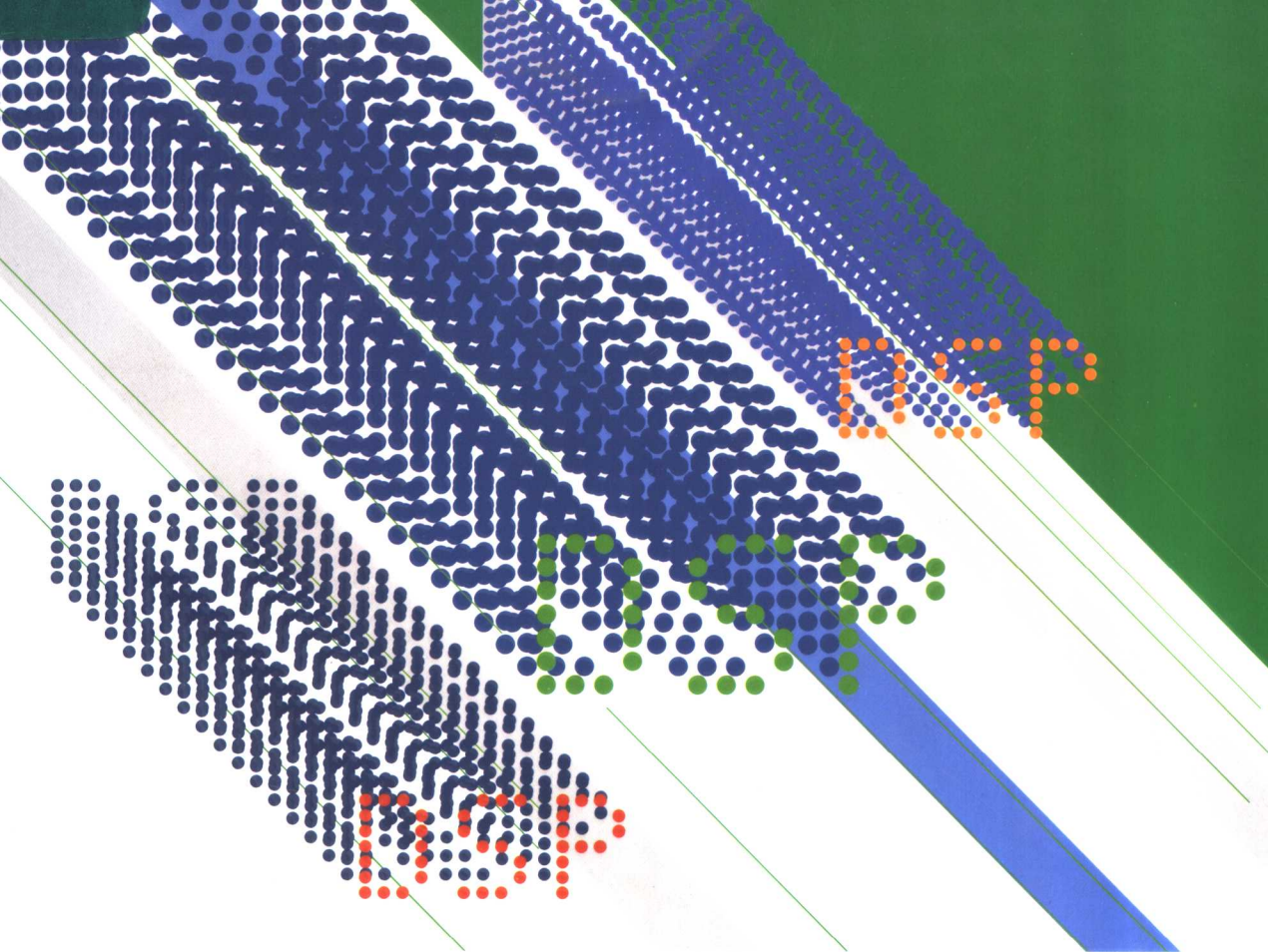




DSP 原理 及电机控制应用 ——基于TMS320LF240x系列

刘和平 编著
邓 力 江 渝 郑群英



北京航空航天大学出版社

TM911.72

154D

2006

DSP 原理及电机控制应用

——基于 TMS320LF240x 系列

刘和平
邓 力 江 渝 郑群英 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

介绍了 TMS320LF240x DSP 的硬件概况、内部资源、寻址方式、指令系统、程序设计和调试环境等。以 TMS320LF240x 模块的原理和应用为主线,介绍了一个功能模块(或外设)的基本原理,并列举出相应的应用实例,给出应用电路原理接线图以及汇编程序和 C 程序清单。使用 C 语言或使用 C 语言与汇编语言混合编程开发 DSP 控制应用程序,可以达到事半功倍的效果,在满足控制应用程序运行速度的基础上,可以更好地维护和移植程序。书中提供的所有程序均在作者设计的实验开发板上调试通过。

本书可作为大学本科生和研究生的 DSP 原理及应用课程的教材,也可作为 DSP 应用开发人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

DSP 原理及电机控制应用:基于 TMS320LF240x 系列/
刘和平等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,
2006.10

ISBN 7-81077-819-6

I. D… II. 刘… III. ①数字信号—微处理器②数
字信号—信号处理—应用—电机—控制 IV. ①TP332
②TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 121455 号

© 2006, 北京航空航天大学出版社, 版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书及其所附光盘内容。侵权必究。

DSP 原理及电机控制应用——基于 TMS320LF240x 系列

刘和平

编著

邓 力 江 渝 郑群英

责任编辑 李 键

*

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(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhp@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:29 字数:650 千字

2006 年 11 月第 1 版 2006 年 11 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-819-6

定价:42.00 元(含光盘 1 张)

前言

TMS320LF240x 是定点的 DSP 芯片,其功能强大的结构设计提供了低成本、低功耗和高性能的处理能力。它集成了对电机的数字化运动控制非常有用的先进外设,提供真正的单芯片数字信号控制器解决方案。与 24x DSP 控制器芯片代码兼容的同时,240x 芯片具有处理性能更好(40 MIPS),外设集成度更高,程序存储器更大以及 A/D 转换速度更快等特点。240x 芯片提供了多种类型,包含不同容量存储器和不同外设的芯片以满足各种应用要求。它拥有高达 32K 字的 FLASH 储存器系列,也包括 ROM 存储器系列。其引脚是完全兼容的。

所有 240x 芯片都至少有一个事件管理器模块,用于电机数字化控制应用。该模块包括中间和/或边缘对齐的 PWM 发生器;具有可编程的死区控制性能,以防止桥式驱动主电路的上下桥臂短路;还可实现同步 A/D 转换功能。如果带有双事件管理器(TMS320LF2407A),那么就能用一个 240x DSP 控制芯片对多个电机的和/或逆变器进行控制。

其高性能 10 位 A/D 转换器(ADC)的转换时间为 500ns,并提供多达 16 路的模拟输入。它具有自动排序功能,使得最大为 16 路的转换在同一个转换期间进行而不会增加 CPU 的开销。

该系列所有的控制器都集成有串行通信接口(SCI),使之能够与系统中的其他控制器进行异步通信。对于要求额外通信接口的系统,F2407 和 F2406 控制器提供了一个 16 位的同步串行外围接口(SPI),它们还提供了符合 CAN2.0B 规范要求的 CAN 通信接口。

本书在已出版的《TMS320LF240xDSP 结构、原理及应用》和《TMS320LF240xDSP 结构、原理及其 C 语言应用》的基础上进行了修改:引入了最新的 CCS3.1 集成开发环境,增加了电机控制的内容、液晶显示器和数码管的接口,汇集了 DSP 工程应用经验。多次反复修改设计的实验开发板已应用在工程项目中。

本书介绍了 TMS320LF240x DSP 的硬件概况、内部资源、寻址方式、指令系统、程序编写和开发环境等。编写体系以 TMS320LF240x 模块的原理和应用为主线,介绍了一个功能模块(或外设)的基本原理,并列举出相应的应用实例,给出应用的电路原理接线图和汇编程序清单、C 语言程序清单。使用 C 语言或使用 C 语言与汇编语言混合编程开发 DSP 控制应用程序,可达到事半功倍的效果,在满足控制应用程序的运行速度基础上可更好地维护程序和移植程序。书中提供的所有程序均在重庆大学—美国德州仪器公司数字信号处理器解决方案实验室设计的实验开发板上调试通过。

本书在成书过程中得到了重庆大学电气工程学院电力电子与电力传动系的许多老师的大力帮助和支持,在此表示感谢。本书还得到了刘平、周有为、杨利辉、严利平、张学锋、卓清锋、冼成瑜和杨立勇等同学的帮助,他们为此做了大量的工作,在此一并表示感谢。

在这里还要感谢美国德州仪器公司大学计划项目所提供的大力支持。

限于编者的水平,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

作 者
重庆大学
2006 年 7 月

作者联系方式:

重庆市重庆大学电气工程学院 刘和平

邮编: 400044

电话: 023 - 65102438

Email: enginner@cqu.edu.cn

目 录

第 1 章 TMS320LF240x 概述	1
1.1 TMS320 系列 DSP 概况	1
1.2 TMS320LF240x 系列芯片概述	1
1.3 TMS320LF240x 系列 DSP CPU 控制器的功能结构图	2
1.4 TMS320LF240x 系列 DSP 引脚功能介绍	6
1.5 TMS320LF240x 系列 DSP 存储器映射图	13
1.6 TMS320LF240x 系列 DSP 外设存储器映射图	15
第 2 章 TMS320LF240x 系列 DSP 内部资源介绍	17
2.1 TMS320LF240x 系列 DSP 的 CPU 内部功能模块介绍	17
2.1.1 输入定标移位器	20
2.1.2 乘法器	21
2.1.3 中央算术逻辑部分	22
2.1.4 辅助寄存器算术单元	24
2.1.5 状态寄存器 ST0 和 ST1	25
2.2 存储器和 I/O 空间	27
2.2.1 程序存储器	27
2.2.2 数据存储器	28
2.2.3 I/O 空间	30
2.3 系统配置和中断	31
2.3.1 系统配置寄存器	31
2.3.2 中断优先级和中断向量表	34
2.3.3 外设中断扩展控制器	37
2.3.4 中断向量	38
2.3.5 中断响应的流程	40
2.3.6 中断响应的延时	40



2.3.7 CPU 中断寄存器	40
2.3.8 外设中断寄存器	44
2.3.9 复位	50
2.3.10 无效地址检测	51
2.3.11 外部中断控制寄存器	51
2.4 程序控制	52
2.4.1 程序地址的产生	53
2.4.2 流水线操作	56
2.4.3 转移、调用和返回	56
2.4.4 重复单条指令	60
第 3 章 TMS320LF240x 寻址方式和指令系统	61
3.1 寻址方式	61
3.1.1 立即寻址方式	61
3.1.2 直接寻址方式	62
3.1.3 间接寻址方式	64
3.2 指令集	65
3.3 典型指令说明	77
第 4 章 CCS3.1 集成调试环境安装	85
4.1 CCS3.1 软件安装	85
4.2 USB 接口仿真器驱动程序安装	89
4.3 配置 CCS3.1 的运行环境	97
第 5 章 CCS3.1 集成调试环境简介	102
5.1 CCS3.1 集成调试环境主要菜单及功能	103
5.1.1 Project(项目)菜单	103
5.1.2 View(观察)菜单	104
5.1.3 Debug(调试)菜单	106
5.2 工作窗口区	107
5.3 4 个基本文件和 1 个库函数文件简介	108
5.3.1 C 语言程序文件	111
5.3.2 寄存器头文件 F2407_C.H	111
5.3.3 命令文件.CMD	123

5.3.4	中断向量文件	126
5.3.5	库文件 rts2xx.lib	126
5.4	利用 CCS 编译器调试程序的简单步骤	126
5.4.1	4 种类型的文件	126
5.4.2	建立一个项目	126
5.4.3	编译环境的简单配置	128
5.4.4	编译源程序文件	128
第 6 章	C 语言和汇编语言程序混合编程方法及中断处理方法	131
6.1	C 语言和汇编语言程序混合编程方法	131
6.1.1	在 C 语言中嵌入汇编语言程序	131
6.1.2	分开编写 C 语言和汇编语言程序	133
6.2	用 C 语言处理 DSP 中断	134
第 7 章	TMS320LF2407 实验开发系统	143
7.1	TMS320LF2407 实验开发板介绍	143
7.2	TMS320LF2407 实验开发板模块功能介绍	144
7.3	实验开发板的硬件设置	146
7.3.1	外部接口功能	146
7.3.2	实验开发板跳线设置	147
7.3.3	部分插座引脚详细说明	148
第 8 章	数字量 I/O 模块	151
8.1	数字量 I/O 端口概述	151
8.2	数字量 I/O 端口寄存器	151
8.2.1	I/O 端口复用输出控制寄存器	152
8.2.2	I/O 端口数据和方向寄存器	155
8.3	I/O 端口应用	157
8.3.1	I/O 端口作为输出	157
8.3.2	键盘与发光二极管配合使用程序	161
8.3.3	光电隔离的 8 路开关量输入与 8 路开关量输出电路	166
第 9 章	事件管理器模块	169
9.1	事件管理器模块概述	169



9.1.1	事件管理器结构框图	169
9.1.2	事件管理器寄存器地址列表	172
9.1.3	事件管理器中断	174
9.2	通用定时器	182
9.2.1	通用定时器概述	182
9.2.2	通用定时器功能模块	182
9.2.3	通用定时器的计数操作	191
9.2.4	通用定时器的比较操作	195
9.2.5	通用定时器的 PWM 输出	198
9.2.6	通用定时器复位	199
9.2.7	通用定时器的中断实现	199
9.3	比较单元	204
9.4	脉宽调制电路 PWM	209
9.4.1	与比较单元相关的 PWM 电路	209
9.4.2	比较单元和 PWM 电路中的 PWM 波形产生	212
9.4.3	事件管理器的空间矢量 PWM 波形产生	215
9.4.4	PWM 波形产生举例	217
9.5	捕获单元	221
9.5.1	捕获单元概述	221
9.5.2	捕获单元操作	222
9.5.3	捕获单元应用举例	226
9.6	正交编码脉冲电路	232
9.6.1	正交编码脉冲电路概述	232
9.6.2	正交编码脉冲电路的编码操作	233
9.6.3	正交编码脉冲电路的编程应用	234
第 10 章	A/D 转换模块	237
10.1	A/D 转换模块概述	237
10.2	自动排序器的工作原理	238
10.2.1	连续的自动排序模式	240
10.2.2	排序器的启动/停止模式	241
10.2.3	输入触发源	243
10.2.4	在排序转换时的中断操作	243
10.3	ADC 时钟预定标	245

10.4	校准模式	246
10.5	自测试模式	247
10.6	ADC 模块的寄存器	247
10.7	ADC 转换时钟周期	258
10.8	ADC 转换应用举例	258
第 11 章	串行外设接口模块	265
11.1	串行外设接口概述	265
11.2	串行外设接口操作	267
11.2.1	操作介绍	267
11.2.2	串行外设接口模块的主动和从动方式	268
11.2.3	串行外设接口中断	269
11.2.4	数据格式	269
11.2.5	串行外设接口波特率设置和时钟方式	270
11.2.6	串行外设接口的初始化	272
11.2.7	数据传送示例	272
11.3	串行外设接口控制寄存器	274
11.4	串行外设接口应用举例 1	280
11.4.1	硬件电路的设计	280
11.4.2	软件设计	283
11.5	串行外设接口应用举例 2	288
第 12 章	串行通信接口模块	291
12.1	串行通信接口概述	291
12.2	多处理器和异步通信模式	293
12.2.1	串行通信接口可编程的数据格式	293
12.2.2	串行通信接口的多处理器通信	294
12.2.3	串行通信接口通信格式	297
12.2.4	串行通信接口中断	299
12.2.5	串行通信接口波特率计算	300
12.3	串行通信接口控制寄存器	301
12.4	串行通信接口典型应用举例	307



第 13 章 CAN 控制器模块	315
13.1 CAN 控制器模块概述	315
13.1.1 CAN 技术简介	315
13.1.2 TMS320LF240x 系列 CAN 控制器概述	316
13.2 邮 箱	318
13.2.1 CAN 信息包格式说明	318
13.2.2 CAN 邮箱寄存器	318
13.3 CAN 控制寄存器	320
13.4 CAN 控制器的操作	334
13.4.1 初始化 CAN 控制器	334
13.4.2 信息的发送	335
13.4.3 信息的接收	336
13.4.4 远程帧	337
13.5 CAN 控制器的应用举例	338
13.5.1 硬件电路设计	338
13.5.2 软件设计	338
第 14 章 TMS320LF2407 与图形液晶显示模块接口及应用	349
14.1 概 述	349
14.2 液晶显示器与 TMS320LF2407 接口硬件设计	349
14.2.1 MCG12864A8-3 的结构特点	349
14.2.2 MCG12864A8-3 模块的引脚说明	349
14.3 TMS320LF2407 与 MCG12864A8-3 模块的接口电路	350
14.4 字模软件的使用说明	351
14.5 液晶显示模块指令系统	352
14.6 液晶显示程序	354
第 15 章 串行 EEPROM 的接口编程	361
15.1 24LC256 概述	361
15.2 24LC256 与 F2407 的硬件接口	363
15.3 24LC256 的应用编程	363

第 16 章 实现快速傅里叶变换	370
16.1 快速傅里叶变换的原理	370
16.2 快速傅里叶变换的 DSP 实现	376
第 17 章 三相感应电动机恒压频比控制系统	389
17.1 交流感应电机恒压频比控制和空间矢量方法	389
17.1.1 交流感应电机的恒压频比控制原理	389
17.1.2 空间矢量 PWM 技术	391
17.1.3 利用 F2407 实现 SVPWM 算法	396
17.2 三相感应电动机转速闭环控制系统	398
17.2.1 软件流程	398
17.2.2 空间矢量 PWM 实现	400
17.2.3 电机转速测量	403
17.2.4 闭环转速控制	404
17.3 三相感应电动机变频调速系统硬件设计	406
17.3.1 系统功率电路	406
17.3.2 逆变电路	406
附录 C 语言库函数	413
...	
参考文献	450



第 1 章 TMS320LF240x 概述

1.1 TMS320 系列 DSP 概况

TMS320 系列包括:定点、浮点、多处理器 DSP 和定点 DSP 控制器。TMS320 系列 DSP 的体系结构专为实时信号处理而设计,该系列 DSP 控制器将实时处理能力和控制器外设功能集于一身,为控制系统应用提供了一个理想的解决方案。下列特性使得 TMS320 系列成为很多信号处理及控制应用的理想选择:

- 灵活的指令集;
- 灵活的内部操作;
- 高速的运算能力;
- 改进的并行结构;
- 有效的成本。

目前 TI 公司主推的 DSP 有:定点系列 TMS320C2000、TMS320C5000,浮点系列 TMS320C6000。其中 TMS320C6000 系列中也有部分为定点 DSP。

TMS320 同一产品系列中的器件具有相同的 CPU 结构,但片内存储器和外设的配置不同。派生的器件集成了新的片内存储器和外设,以满足世界范围内电子市场的不同需求。通过将存储器和外设集成到控制器内部,TMS320 器件降低了系统成本,节省了电路板空间,提高了系统的可靠性。

1.2 TMS320LF240x 系列芯片概述

在 TMS320 系列 DSP 的基础上,TMS320LF240x(本书以后简称 F240x)系列 DSP 有以下特点:

- 采用高性能静态 CMOS 技术,使得供电电压降为 3.3 V,减小了控制器的功耗;30 MIPS 的执行速度使得指令周期缩短到 33 ns(30 MHz),从而提高了控制器的实时控制能力。

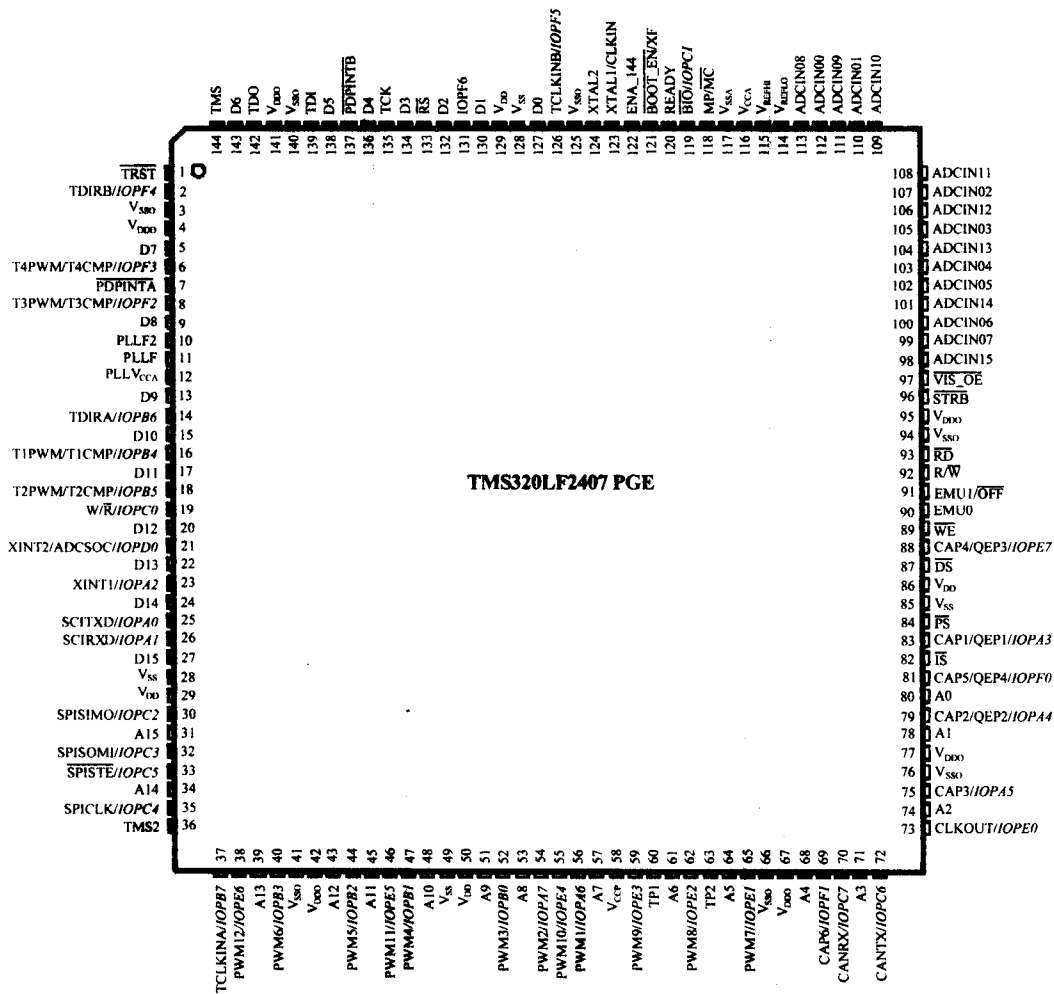


- ▶ 基于 TMS320C2xx DSP 的 CPU 核,保证了 F240x 系列 DSP 代码与 TMS320 系列 DSP 代码兼容。
- ▶ 片内有高达 32K 字的 FLASH 程序存储器、高达 1.5K 字的数据/程序 RAM、544 字双口 RAM(DARAM)和 2K 字的单口 RAM(SARAM)。
- ▶ 两个事件管理器模块 EVA 和 EVB,每个包括:两个 16 位通用定时器;8 个 16 位脉宽调制(PWM)通道。它们能够实现:三相反相器控制,PWM 的对称和非对称波形,快速的 PWM 通道关闭(当外部引脚 $\overline{\text{PDPINTx}}$ 出现低电平时),可编程的 PWM 死区控制(以防止上下桥臂同时输出触发脉冲),3 个捕获单元,片内光电编码器接口电路,16 通道 A/D 转换器。事件管理器模块适用于控制交流感应电机、无刷直流电机、开关磁阻电机、步进电机、多级电机和逆变器。
- ▶ 可扩展的外部存储器(LF2407)总共 192K 字空间:64K 字程序存储器空间、64K 字数据存储器空间和 64K 字 I/O 寻址空间。
- ▶ 看门狗定时器模块(WDT)。
- ▶ 10 位 A/D 转换器最小转换时间为 500 ns,可选择由两个事件管理器来触发的两个 8 通道输入 A/D 转换器或一个 16 通道输入 A/D 转换器。
- ▶ 控制器局域网络(CAN)2.0 B 模块。
- ▶ 串行通信接口(SCI)模块。
- ▶ 16 位串行外设(SPI)接口模块。
- ▶ 基于锁相环的时钟发生器。
- ▶ 高达 40 个可单独编程或复用的通用 I/O 引脚(GPIO)。
- ▶ 5 个外部中断(两个电机驱动保护、复位和两个可屏蔽中断)。
- ▶ 电源管理包括 3 种低功耗模式,能独立地将外设器件转入低功耗工作模式。

1.3 TMS320LF240x 系列 DSP CPU 控制器的功能结构图

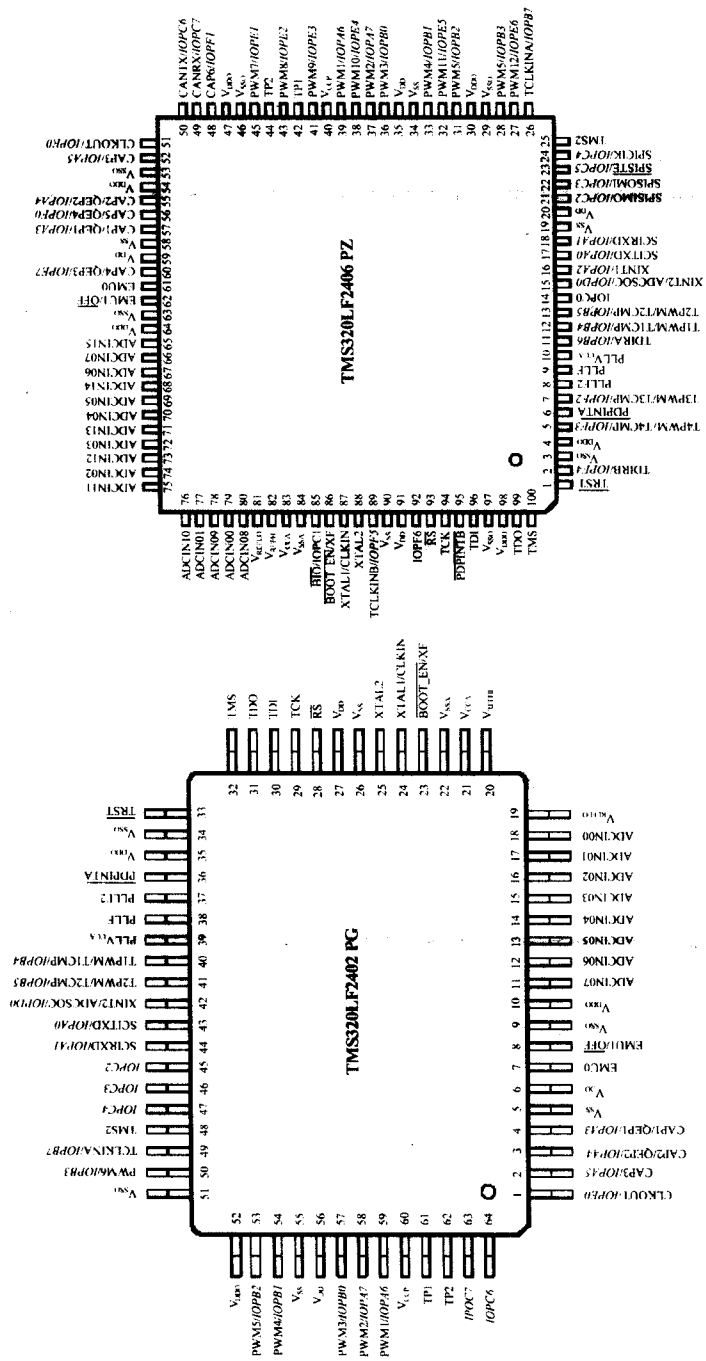
图 1.1~1.4 列出 F2407/2406/2402 的 PGE 封装图及 F2407 DSP CPU 控制器的功能结构图。





† *italicized pin names* indicate pin function after reset.

图 1.1 F2407 的 PGE 封装图



↑ italicized pin names indicate pin function after reset.

图1.2 F2406的PGE封装图

图1.3 F2402的PGE封装图

↑ italicized pin names indicate pin function after reset.

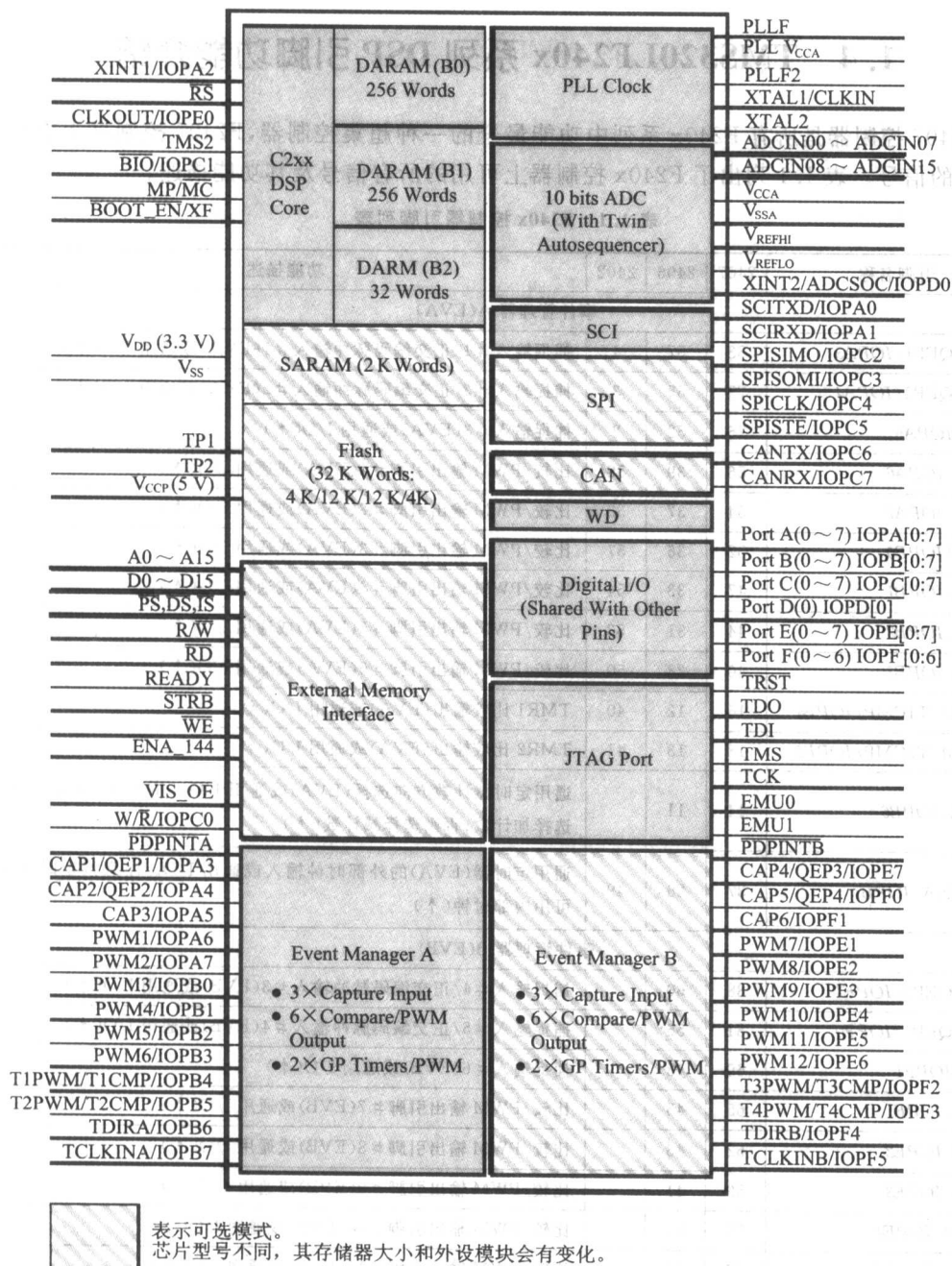


图 1.4 F2407 DSP 控制器功能结构图