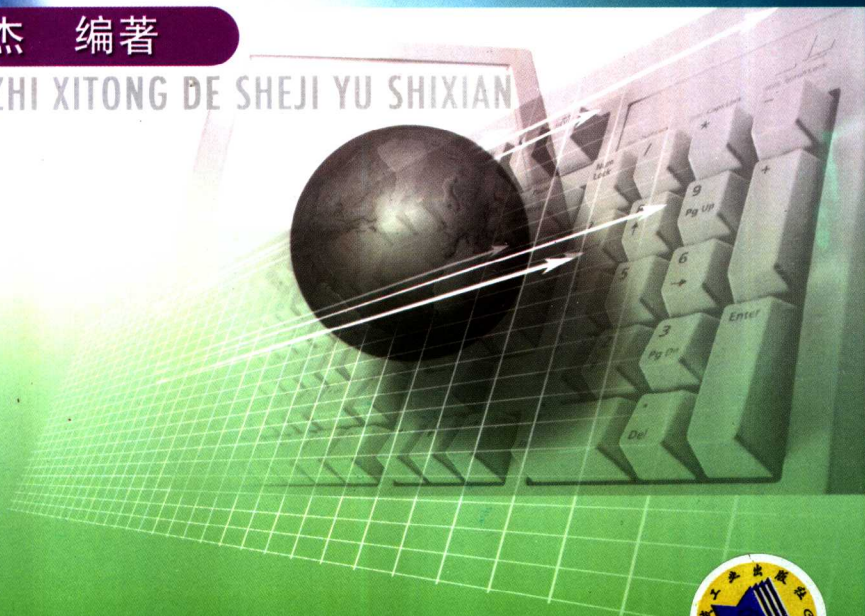


DSP

控制系统的设计 与实现

扈宏杰 编著

DSP KONGZHI XITONG DE SHEJI YU SHIXIAN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

1.72

441

DSP 控制系统的设计与实现

扈宏杰 编著

机械工业出版社

本书对 TI 公司的 TMS320x240x 系列 DSP 控制器的工作原理、硬件以及软件的构成进行了系统的介绍, 针对汇编语言定点算法的数据结构、非线性函数的处理方法、DSP 外部电路的接口设计以及控制系统的前后向通道的信号采集和处理等一些关键问题进行了分析。最后, 本书还介绍了基于 DSP 的飞行仿真转台系统设计, 以及控制系统电流、位置和速度信号采集的硬件和软件设计方法。

本书旨在使读者在了解 DSP 控制器的原理的基础上, 能较快地掌握 DSP 控制系统的设计和开发方法。

本书是一本实用性很强、面向自动控制系统的设计和开发、适合从事 DSP 芯片应用开发的广大科技人员的参考书, 也可作为相关专业的研究生和高年级本科生的教学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 控制系统的设计与实现 / 扈宏杰编著. —北京:
机械工业出版社, 2004.9

ISBN 7-111-15167-4

I. D… II. 扈… III. 数字信号—信号处理—系统设计 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 086753 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 牛新国

责任编辑: 张俊红

责任印制: 李妍

成都新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 8 印张 · 309 千字

0001 - 4000 册

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646
封面无防伪标均为盗版

前 言

随着控制理论不断发展,人们对控制系统的要求也越来越高,表现在:其一,对控制系统的性能指标要求的提高;其二,对控制系统的体积和功耗限制越来越严;其三,对控制系统的成本要求越来越严,传统的、以 MCS-51 为代表的单片机不可能满足上述要求。

目前,随着大规模集成电路技术的不断发展,作为一类结构特殊的单片机——DSP 的价格已经和普通单片机相接近,而其性能却远远超过单片机。DSP 芯片的特点是内部采用程序和数据分开的哈佛结构,具有专门的硬件乘法器,广泛采用流水线操作,提供特殊的 DSP 指令,可以用来快速实现各种数字信号处理算法。

DSP 在诞生后的短短 10 多年时间里得到了飞速的发展。随着 DSP 芯片性能价格比和开发手段的不断提高,DSP 在航空航天、军事、通信、工业、医疗、家用电器等领域的应用将更加广泛。

本书重点介绍 TI 公司的、具有代表性的 TMS320x240x 系列 DSP 芯片的产品。该芯片是定点、外设集成度高、价格低廉、适合于各种控制系统,尤其是为小体积、低功耗、低价格、高可靠性的电气伺服系统的设计提供了可能。可以预见,在不久的将来,该系列 DSP 芯片将在高性能伺服系统、智能化仪表、过程控制系统的设计、开发和生产等领域得到非常广泛的应用。

定点 DSP 控制系统,尤其是采用汇编语言设计的、具有批量的产品开发设计的核心问题有两个:其一,在正确设定各个功能模块的同时,如何确定数据的结构以及如何进行处理;其二,如何对系统的前后向通道的模拟或数字信号进行准确的采样和处理。作者在多年教学和控制系统设计,尤其是在 DSP 控制系统设计和开发的经验基础之上编写了本书,在系统介绍 DSP 控制器各个功能定义的基础之上,对上述问题进行了详细的讨论。

本书共 7 章。第 1 章概述了控制系统和 DSP 技术的发展概况;第 2 章介绍了 TMS320x240x 系列 DSP 的基本原理,包括系统配置和中断的实现方法;第 3 章介绍了 DSP 控制器的软件结构,包括指令系统、文件结构,尤其是对定点 DSP 的数据定标、定点算法以及非线性函数的处理方法等进行了详细的讨论;第 4 章介绍了 DSP 控制器的片内外设的功能设置,包括数字 I/O、事件管理器、ADC、SCI、SPI 以及 WD 模块;第 5 章介绍了 DSP 控制器的外设接口电路设计方法,包括电源、晶振、复位、JTAG 接口、电平转换、串/并行的 D/A、SRAM 接口;

第 6 章介绍了基于矢量控制理论的永磁同步电动机的控制理论;第 7 章从硬件和软件两个方面介绍了基于 DSP 的飞行仿真转台控制系统的设计方法,包括电流、速度以及磁极位置信号的检测和处理方法。另外,本书所介绍的数据处理方法同样适合于温度、压力、流量等信号的处理。

本书在成书过程中,得到了北京航空航天大学自动化学院自动控制系尔联洁、王卫红、吴云洁等老师及博士生刘振华、王青伟和硕士生苗雨桥等的大力支持,在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限,外加时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评指正。

扈宏杰

2004 年 8 月于北京航空航天大学

目 录

前言

第1章 概 述	1
1.1 控制系统的发展	1
1.2 DSP 芯片概况	2
1.3 TMS320x240x 系列 DSP 控制器	5
第2章 TMS320x240xDSP 控制器的基本原理	13
2.1 TMS320x240x DSP 控制器的功能特点	13
2.2 TMS320x240x DSP 芯片的存储器映射	14
2.3 TMS320x240x DSP 片内主要的功能模块	18
2.3.1 中央处理单元 (CPU)	18
2.3.2 辅助寄存器算术单元 (ARAU)	21
2.3.3 状态寄存器 ST0 和 ST1	22
2.4 系统配置	23
2.4.1 系统配置寄存器 1 (SCSR1)	24
2.4.2 系统配置寄存器 2 (SCSR2)	25
2.5 系统的中断管理	27
2.5.1 中断向量及优先级分配	28
2.5.2 现场保护	31
2.5.3 中断管理寄存器	32
2.5.4 中断的实现方法	36
2.5.5 中断的其它一些相关问题	38
2.6 DSP 的程序控制问题	39
第3章 TMS320x240x 系列 DSP 的软件结构	43
3.1 TMS320x240x 的指令系统	43
3.1.1 寻址方式	43
3.1.2 常用汇编指令	48
3.2 DSP 软件的文件结构	62
3.2.1 常用汇编伪指令	62
3.2.2 基本文件类型	63
3.3 定点 DSP 芯片的数据定标及运算	66

3.3.1 数据定标方法	66
3.3.2 定点算法	67
3.4 非线性函数的处理方法	70
3.4.1 十进制整数 (Q12 格式) 表示的 256 点的正弦函数表的建立	71
3.4.2 表格的存储	71
3.4.3 查表的方法	72
3.5 头文件	76
3.5.1 寄存器头文件	76
3.5.2 中断向量表头文件	83
第 4 章 TMS320x240x 系列芯片的片内外设	85
4.1 数字 I/O 端口	85
4.1.1 I/O 端口的复用控制寄存器	86
4.1.2 I/O 端口的数据和方向控制寄存器	87
4.2 事件管理器模块 (EVM)	89
4.2.1 事件管理器的中断管理	94
4.2.2 通用定时器	98
4.2.3 比较单元	111
4.2.4 PWM 电路	115
4.2.5 捕获单元	127
4.2.6 正交编码脉冲 (QEP) 电路	135
4.3 模数转换模块	137
4.4 串行通信接口 (SCI) 模块	145
4.4.1 SCI 工作的基本原理	145
4.4.2 SCI 的数据格式	147
4.4.3 SCI 异步通信和多机通信	148
4.4.4 SCI 的中断	153
4.4.5 SCI 波特率编程	153
4.4.6 SCI 寄存器	154
4.4.7 串行通信实例	160
4.5 串行外设接口 (SPI) 模块	162
4.5.1 SPI 工作的基本原理	162
4.5.2 SPI 操作的基本原理	163
4.5.3 SPI 中断控制	165
4.5.4 SPI 的数据格式及波特率设置	165
4.5.5 SPI 的波特率及时钟模式	166

4.5.6 SPI 的初始化	167
4.5.7 SPI 的寄存器	167
4.6 CAN 接口模块	172
4.6.1 CAN 工作的基本原理	172
4.6.2 CAN 控制器的结构	173
4.6.3 CAN 的邮箱	175
4.6.4 CAN 的寄存器	178
4.6.5 CAN 的中断	187
4.6.6 CAN 模块的初始化	190
4.7 看门狗 (WD) 定时模块	191
4.7.1 WD 的特性	192
4.7.2 WD 的操作	193
4.7.3 WD 的寄存器	195
第 5 章 DSP 控制系统的接口电路设计以及集成开发环境	197
5.1 DSP 电源、晶振及复位电路	197
5.1.1 DSP 的电源设计	197
5.1.2 DSP 的晶振及复位电路	202
5.2 DSP 与 JTAG 接口设计	203
5.3 电平转换接口	204
5.4 DSP 的模拟接口	206
5.4.1 DSP 串行 D/A 接口	206
5.4.2 DSP 并行 D/A 接口	209
5.5 DSP 与 SRAM 接口	210
5.6 集成开发环境	213
第 6 章 永磁同步电动机的矢量控制原理	216
6.1 矢量控制的基础理论	216
6.1.1 坐标变换的条件	216
6.1.2 三相定子到两相定子的变换	217
6.1.3 两相定子到两相旋转坐标的变换	220
6.1.4 三相静止到两相任意速度旋转坐标的变换	220
6.2 永磁同步电动机的变频调速控制	222
第 7 章 基于 DSP 的飞行仿真转台控制系统设计	228
7.1 飞行仿真转台系统构成	228
7.2 飞行仿真转台系统的软件流程	231
7.3 飞行仿真转台系统的 DSP 控制结构	231

7.4 DSP 控制软件流程	234
7.5 磁极位置信号的检测及软件处理	235
7.5.1 磁极位置信号检测	235
7.5.2 磁极位置信号的软件处理	238
7.6 电流信号的检测及软件处理	239
7.7 指令速度信号的检测及软件处理	241
7.8 反馈速度信号的检测及软件处理	242
7.9 反馈速度信号的过零处理	244
参考文献	246

第 1 章 概 述

1.1 控制系统的发展

随着控制理论和计算机技术的不断发展,以及工业和军事领域的相关技术要求的不断提高,对控制系统的体积、可靠性、快速性、廉价性要求也越来越严格。这就要求:第一,控制算法越来越复杂,控制过程的运算量越来越大,同时控制时间要求越来越短;第二,控制系统的关键芯片的相关外设集成度高、系统体积小、可靠性高;第三,芯片的价格低廉,实现工业和日常生活的普遍应用。

一个完整的闭环控制系统一般都包括前向通道、后向通道以及反馈通道等几个部分。前向通道,即控制指令的输入通道,此通道一般可通过 A/D 转换接口或其它通信方式,如 SPI、SCI 实现;后向通道,即控制结果的输出,一般可通过 D/A、PWM 或其它的方式实现;反馈通道,是闭环控制系统的关键部分,一般通过 A/D、SPI、SCI 或特定的接口电路来实现,如当反馈器件为光电码盘时,需要通过特定的外部电路对码盘的输出信号进行处理,再转化为计算机的可读信号。假如以上这些通道的接口电路都是由用户自己设计和调试的,则系统的开发时间必然很长,同时可靠性也不高,系统的体积也会很大。反之,如果将以上各种接口电路都集成在一个芯片内,用户只需通过对相应的寄存器进行设置和读写操作,便可实现系统的闭环控制,则系统的开发难度系数会大大降低,效率也会大大提高。

影响一个控制系统性能好坏的另外一个技术因素是控制算法的可靠实现。经典的 PID 方法、前馈方法基本可以通过模拟电路来实现。随着对控制系统性能要求的不断提高,在经典控制方法中忽略的系统非线性和模型的不确定性对系统性能的影响会更加突出,因此,在设计控制律时,必须加以考虑,也就是说,必须采用更先进的控制理论和方法。但复杂的控制算法,如神经网络算法、模糊算法以及滑模变结构方法等采用模拟的方式无法实现。

控制算法按实现方式可分为模拟式和数字式,其中模拟式控制方式广泛应用于 20 世纪 60、70 年代,其控制算法(如 PID 法)由硬件电路实现,改变控制算法就需改变电路结构,调试周期长,且由于电路器件参数可能随环境条件变化而变化,控制稳定性很差,所以这种控制方式现已基本淘汰;数字式控制方式即为计算机控制方式,其控制算法由软件实现,在不改变电路基本结构的情况下,可

随意改变控制算法及控制参数, 调试极为方便, 同时也为复杂控制算法的实现提供了可能。全数字化是控制系统发展的一个重要方向。

自动控制技术与计算机技术是同步发展的, 计算机是控制系统的核心。随着大规模集成电路技术的不断改进, 微处理器由 8 位向 16 位、32 位甚至 64 位发展, 在配置外围设备后便形成单板机或微机 (PC), 使得计算机不但在计算、控制中得到了广泛的应用, 而且逐步走向家庭。同时微处理器与外围设备集成在一块芯片上形成单片机, 使得控制系统的体积越来越小, 真正实现了微型化。

由于单片机的出现, 计算机在控制领域的应用得到了一次新的突破。单片机具有体积小、成本低、功耗小、可靠性高等一系列优点, 在各种智能控制设备和仪器系统的应用中, 可以真正作到机、电、仪一体化。同时, 单片机可方便地应用于多机控制或分布式控制, 从而使系统的控制效率和可靠性得到大大提高。

作为一种特殊的单片机, DSP 也是将中央处理器、控制单元以及外围设备集成到一块芯片上。不同于普通单片机的是, DSP 采用了多组总线技术实现并行运行机制, 从而极大地提高了运行速度。

早期的 DSP 是针对数字信号处理的, 尤其是语音信号、图像信号的处理, 由于这类信号处理的算法复杂, 就要求 DSP 具有强大的运算速度。随着 DSP 技术的不断改进, 开发软件和工具的不断完善, 以及销售价格的大幅度下降, DSP 在控制领域的应用也逐渐扩大。

1.2 DSP 芯片概况

在信号与信息处理领域, 数字信号处理 (Digital Signal Processing, 简称 DSP) 是一门十分重要的新兴学科。20 世纪 60 年代以来, 随着计算机和信息科学的飞速发展, 数字信号处理技术应运而生, 并得到迅速发展。数字信号处理的理论和技术可应用于多个学科领域, 近几十年来, 数字信号处理已经在通信、自动化等领域得到了极为广泛的应用。

数字信号处理利用计算机或其他信号处理设备, 以数字形式对信号进行采集、变换、滤波、估值、增强、压缩、识别等处理, 以得到满足应用需要的信号形式。数字信号处理是围绕着数字信号处理的理论、实现和应用等几个方面发展起来的。数字信号在理论上的发展推动了数字信号处理应用的发展。反过来, 数字信号处理技术的应用又促进了数字信号处理理论的发展。而数字信号处理技术的发展则是理论和应用之间的桥梁。

数字信号处理是以众多的科学理论为基础的, 它所涉及的范围极其广泛。例如, 在数学领域, 微积分, 概率统计, 随机过程, 数值分析等都是数字信号的基本工具; 与网络理论、信号与系统、控制论、通信理论、故障诊断等也密切相关;

新兴的一些学科,如人工智能、模式识别、神经网络等,都与数字信号处理密不可分。可以说,数字信号处理把许多经典的理论体系作为自己的理论基础,同时又使自己成为一系列新兴学科的理论基础。

过去,数字信号处理通常采用通用计算机(C语言)、单片机(汇编语言)或专用计算机,通用计算机的缺点是速度较慢;单片机(MCS-51、96系列)由于其自身资源的限制无法应用于复杂的数字信号处理;专用计算机通用性很差,且造价很高。随着专用和通用DSP技术的不断推广,它极大地推动了数字信号处理技术的发展与成熟。其中,专用DSP芯片一般是将一些特殊的数字算法,如数字滤波、卷积、相关、FFT(快速傅里叶变换)等在芯片内用硬件加以实现,用户无须进行编程,这样的芯片只使用在一些对信号处理速度要求极高的特殊场合,芯片价格昂贵;而通用DSP芯片的通用性很强,非常适合于构成运算速度较高、结构又比较复杂的系统,因此它具有很好的应用前景。

尽管数字信号处理的理论已经有了长足的发展,由于硬件技术发展水平的限制,直到20世纪80年代世界上第一个单片可编程的DSP芯片诞生,才将数字信号处理的理论成果应用于实际系统中。因此,可以认为DSP芯片的诞生以及发展对近30年以来的通信、计算机、控制等领域起到了十分重要的作用。

自从DSP芯片诞生以来,在过去近30年的时间里,DSP技术得到了迅速的发展。世界上DSP芯片的厂家主要有美国的德克萨斯仪器(Texas Instruments,简称TI)公司、模拟仪器(Analog Devices,简称AD)公司及Motorola公司等。从目前的市场占有情况来看,TI公司生产的DSP系列芯片应用最广泛,其产品在世界上占有近一半的市场销量。

DSP芯片广泛应用的原因在于它所具有的如下特点:

- 1) 灵活的指令集。
- 2) 内在操作的灵活性。
- 3) 高速的运算能力。
- 4) 并行的运算结构。
- 5) 功耗低。

TI公司在20世纪80年代初首推出其第一代产品TMS32010以来,相继推出了定点、浮点两大类别多代产品,目前形成了TMS320C2000、TMS320C5000和TMS320C6000等三大系列DSP芯片产品。

DSP芯片在本质上是一个数字信号处理器,适合于实时数字信号处理,实现快速实时控制算法。实时处理是指在规定的采样时间内完成对输入信号的处理运算。为实现快速实时的数字信号处理运算,DSP芯片一般应该具有如下一些特点:

- (1) 快速的运算速度;
- (2) 在一个指令周期内可以完成一次乘法或加法运算;

- (3) 程序和数据空间是分开的, 可同时访问指令和数据;
- (4) 片内具有快速 RAM, 通常可通过独立的数据总线在两块中同时访问;
- (5) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持;
- (6) 快速的中断处理和硬件 I/O 支持;
- (7) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器;
- (8) 可以并行执行多个操作;
- (9) 支持流水线操作, 使得取址、译码和执行等操作可以并行完成;
- (10) 另外, 为适应一般系统的开发, 片内还应该具有一定容量的闪存 (Flash Memory, 简称为 FLASH), 这样, 可以使得系统的体积更小。

可以说, 凡是可以采用单片机进行控制的领域都可以采用 DSP 芯片进行控制, 单片机不能实现的复杂控制也可以通过 DSP 芯片控制来实现。随着 DSP 芯片性能的不断提高和芯片价格的大幅度下降, DSP 芯片的应用领域几乎遍布了整个电子领域。

目前, DSP 芯片广泛应用于网络、高速调制解调器、无线通信、语音识别、音频和影像产品、汽车、磁盘驱动、机器人、运动控制系统、数控机床、工业过程控制和测量、机电一体化、雷达、声纳以及地震监测、生物工程、航空航天、电力系统、故障检测、二次仪表等领域。表 1-1 给出了 DSP 芯片的典型应用领域。

表 1-1 DSP 芯片的典型应用领域

应用领域	说 明
汽车	行驶控制、防抱死系统 (ABS)、发动机点火控制等
控制	电动机控制、机器人控制、数控机床控制、仿真设备等高精度伺服系统
工业	电力系统、安全检测、过程控制、故障诊断等
军事	导弹控制、火炮跟踪控制、战场信息收集、电子干扰设备、图像压缩和传输处理、视觉处理等
通信	调制解调器、中继器、均衡器、基站、交换机、IP 电话、移动电话等
消费类产品	MP3 机、CD 机、扫描仪、电视机、电子防盗系统、密码系统等
医疗仪器等	诊断设备 (CT、B 超机)、胎儿监护、助听器、实时医疗仪表、内嵌式人造器官等

目前, TI 公司的 DSP 芯片主要可分为 3 个比较大的系列:

1) TMS320C2000 系列, 包括 C20x、C24x、C24xx、C28x 等, 该系列主要用于数字控制系统。

2) TMS320C5000 系列, 包括 C54x、C55x 等, 该系列主要用于便携式无线终端系统的产品。

3) TMS320C6000 系列, 包括 C62x、C67x、C64x 等, 该系列主要用于高性能、低功耗的复杂的通信系统或其它一些高端应用等。

TMS320x240x 系列 DSP 芯片是 TI 公司推出的面向数字控制系统的芯片。该芯片除了具有一般数字信号处理器的一般特点之外,片内还增加了经过优化的、专门用于数字控制系统的外设电路。与 C24x 系列 DSP 芯片类似,根据芯片内是否带有 FLASH, x24x 系列产品可分为两大类。

另外,为降低功耗, TI 公司又推出了 C240x 系列的 DSP 芯片,主要包括 LC2402/2404/2406、LF2402/2406/2407 等型号。x240xA 系列为加密芯片,包括 LC2402A/2404A/2406A、LF2401A/2402A/2403A/2407A 等型号。

1.3 TMS320x240x 系列 DSP 控制器

TMS320x240x 系列 DSP 控制器是在 C24x 的基础上的低功耗改进型,利用该系列 DSP 芯片可实现如下功能:

- 1) 实现交流电动机、直流永磁电动机以及开关磁阻电动机的新一代控制器设计。
- 2) 无刷直流电动机控制。
- 3) 通过改变电动机的速度实现节能控制,节约能量可达 25%。
- 4) 降低机动车电子制动系统的制造和维护成本。
- 5) 用于汽车动力系统中,提高燃烧性能。
- 6) 减小转矩波动量,提高系统的跟踪精度,实现低功耗、低振动和长寿命。
- 7) 通过实时多项式计算,减小内在的查表工作,降低系统 CPU 的时间开销。
- 8) 使用先进的算法减少系统中传感器的数量。
- 9) 利用先进的控制算法,实现功率逆变控制。
- 10) 多电机系统的单芯片控制。

x240x 系列 DSP 控制器是针对控制应用而设计的。它集成了高性能的 DSP 内核和片内外设于一个芯片内,是传统的微控单元与昂贵的多片设计的一种廉价替代产品。x240x 系列的 DSP 芯片的运行速度可达 3000 万条指令/s (30MIPS),使其速度远远超过任何传统的 16 位微处理器,而 x240xA 的运行速度甚至可高达 40MIPS。

在 TMS320 系列的基础之上, TMS320LF240xDSP 芯片具有如下特点:

- 1) 采用静态 CMOS 技术, 3.3V 电压供电, 30MIPS 的运行速度。
- 2) 基于 TMS320C2xDSP 芯片的内核,保证了代码与 TMS320 的其它 DSP 芯片代码兼容。
- 3) 片内含有 32k 字的 FLASH (程序存储器)。
- 4) 两个事件管理器 EVA 和 EVB, 每个事件管理器又包含有两个 16 位的通用定时器, 8 个 16 位的 PWM 通道, 可编程的 PWM 死区控制, 3 个捕获单元,

正交编码脉冲电路, 16 通道的 ADC 电路。

5) 可扩展的 192k 字外部存储器; 64k 字程序存储器、64k 字的数据存储器、64k 字的 I/O 寻址空间。

6) 看门狗定时器 (WD) 模块。

7) I/O 的 ADC 最小转换时间为 500ns。

8) 区域控制器 (CAN) 模块。

9) 串行通信 (SCI) 模块。

10) 串行外设接口 (SPI) 模块。

11) 带有锁相功能的时钟电路。

12) 40 个可编程的输入/输出引脚。

13) 5 个外部中断源。

14) 3 种电源管理的低功耗操作模式。

从 DSP 芯片的数据结构分, DSP 芯片分为定点和浮点两种类型。数据以定点格式工作的 DSP 芯片称为定点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列、TMS320C6000 系列中的 TMS320C62xx 等; 数据以浮点格式工作的芯片称为浮点 DSP 芯片, 如 TI 公司的 TMS320C3x/C4x、TMS320C6000 系列中的 TMS320C67xx 等。

另外, 按照 DSP 芯片的用途来分, 可以分为专用 DSP 芯片和通用 DSP 芯片两种。专用型 DSP 芯片一般用以完成特定的运算功能, 并且已经将控制算法固化在芯片内, 通用性比较差; 通用型 DSP 芯片是内部资源对用户开放的系统, 用户可以根据不同的需要进行编程, 可以实现各种数字信号的处理算法。

DSP 芯片的性能指标主要包括 DSP 芯片的运算速度, DSP 芯片的运算精度, DSP 芯片的软、硬件资源, DSP 芯片的功耗, 片内闪存 (FLASH) 容量的大小。其中, 运算速度是 DSP 芯片的首要指标, 也是选择 DSP 芯片时首先要考虑的一个因素。运算速度一般采用 MIPS (每秒执行百万条指令) 来表征, 如 TMS320VC5409-100 的最高运算速度就是 100MIPS, 即在 1s 的时间内可以执行 1 亿条指令, 指令周期为 10ns。另外, 有时也用 MFLOPS (每秒执行百万次浮点操作)、MOPS (每秒执行百万次操作) 等指标来衡量 DSP 芯片的运算速度。就 DSP 芯片精度而言, 一般定点 DSP 芯片的价格便宜、功耗较低、运算精度较差, 而浮点 DSP 芯片的运算精度较高、价格昂贵、功耗也比较大。

另外, 在选择片内具有 ADC 模块的 DSP 芯片时, 还要考虑芯片的供电电压的高低。供电电压越高, 受环境电压波动的影响就越小, 转换的精度就越高。

在诸多的 DSP 芯片中, 综合运算速度、精度、价格、货源等因素考虑, 其中 TI 公司的定点芯片中的 TMS320C2000 系列 DSP 芯片更加适合于构成控制系统, 因此又将此类芯片称为 DSP 控制器, 可广泛应用于运动伺服系统、过程控制系统

等领域；高速、浮点 DSP 芯片更加适合于复杂的数字信号处理，如 FFT、卷积等变换，此类芯片广泛应用于雷达、电视的图像处理等场合。本书主要从控制的角度出发来分析 DSP 控制问题，因此主要讨论定点 DSP 芯片中 TMS320LF240x 芯片的原理、应用以及控制方法。

TMS320LF240x 芯片为 TI 公司的 TMS320C200 系列下的一种定点 DSP 芯片，特别适合于运动系统的全数字化控制。它具有低成本、低功耗、高性能的处理能力。它将几种外设集成到芯片内，形成了真正的单芯片控制器，具有运算速度在 30MPIS 以上、外设集成度高、程序存储量大（片内 FLASH）、ADC 模块的转换速度快等特点。同时，该类芯片具有强大的外部通信接口（SCI、SPI、CAN），便于构成大的控制系统。

TMS320LF2407 的功能结构如图 1-1 所示。

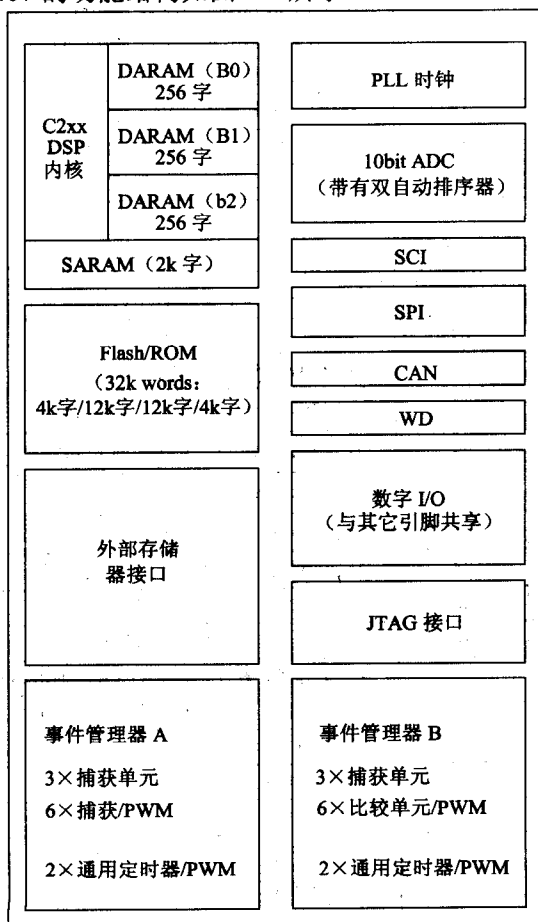


图 1-1 TMS320LF2407 的功能结构

表 1-2 给出了 TMS320LF2407 的引脚功能定义。

表 1-2 TMS320LF2407 的引脚说明

名 称	引脚号	功 能 说 明
事件管理器 A (EVA)		
CAP1/QEP1/IOPA3	83	捕获输入 1/QEP1 (EVA) /通用 I/O
CAP2/QEP2/IOPA4	79	捕获输入 2/QEP2 (EVA) /通用 I/O
CAP3/IOPA5	75	捕获输入 3 (EVA) /通用 I/O
PWM1/IOPA6	56	比较/PWM 输出 1 (EVA) /通用 I/O
PWM2/IOPA7	54	比较/PWM 输出 2 (EVA) /通用 I/O
PWM3/IOPB0	52	比较/PWM 输出 3 (EVA) /通用 I/O
PWM4/IOPB1	47	比较/PWM 输出 4 (EVA) /通用 I/O
PWM5/IOPB2	44	比较/PWM 输出 5 (EVA) /通用 I/O
PWM6/IOPB3	40	比较/PWM 输出 6 (EVA) /通用 I/O
T1PWM/T1CMP/IOPB4	16	TMR1/比较输出 1 (EVA) /通用 I/O
T2PWM/T2CMP/IOPB5	18	TMR1/比较输出 2 (EVA) /通用 I/O
TDIRA/IOPB6	14	GP 定时器 (EVA) 的计数方向选择/通用 I/O
TCLKINA/IOPB7	37	GP 定时器 (EVA) 的外部时钟输入/通用 I/O
事件管理器 B (EVB)		
CAP4/QEP3/IOPE7	88	捕获输入 4/QEP 输入 3 (EVB) /通用 I/O
CAP5/QEP4/IOPF0	81	捕获输入 5/QEP 输入 4 (EVB) /通用 I/O
CAP6/IOPF1	69	捕获输入 6 (EVB) /通用 I/O
PWM7/IOPE1	65	比较/PWM 输出 7 (EVB) /通用 I/O
PWM8/IOPE2	62	比较/PWM 输出 8 (EVB) /通用 I/O
PWM9/IOPE3	59	比较/PWM 输出 9 (EVB) /通用 I/O
PWM10/IOPE4	55	比较/PWM 输出 10 (EVB) /通用 I/O
PWM11/IOPE5	46	比较/PWM 输出 11 (EVB) /通用 I/O
PWM12/IOPE6	38	比较/PWM 输出 12 (EVB) /通用 I/O
T3PWM/T3CMP/IOPF2	8	TMR3 比较输出 (EVB) /通用 I/O
T4PWM/T4CMP/IOPF3	6	TMR4 比较输出 (EVB) /通用 I/O
TDIRB/IOPF4	2	GP 定时器计数方向选择 (EVB) /通用 I/O
TCLKINB/IOPF5	126	GP 定时器 (EVB) 外部时钟输入/通用 I/O
ADC 模块		
ADCIN00	112	ADC 模拟输入 0
ADCIN01	110	ADC 模拟输入 1
ADCIN02	107	ADC 模拟输入 2
ADCIN03	105	ADC 模拟输入 3
ADCIN04	103	ADC 模拟输入 4
ADCIN05	102	ADC 模拟输入 5