



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专机电类教材系列

谢芳芳 / 主 编

谭耀辉 邱丽芳 / 主 审

数字信号处理

技术及应用



科学出版社

www.sciencep.com

• 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

数字信号处理技术及应用

谢芳芳 主 编
郑 剑 王世锋 副主编
胡邦南 刘 奕
谭耀辉 邱丽芳 主 审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以 TMS320LF2407 芯片各模块的应用技术为主线,介绍 TMS320LF240x 芯片的工作原理与应用技术,重点介绍基于 TMS320LF2407 芯片的典型应用系统。每个应用系统的介绍均包含完整的硬件电路和程序,以及对它们的详细分析。应用系统所涉及的硬件模块包括 TMS320LF2407 芯片的大部分片内外设,主要有数字输入输出模块(I/O)、事件管理器模块(EV)、模数转换模块(ADC)、串行外设接口模块(SPI)、串行通信接口模块(SCI),而应用系统的程序主要由汇编语言、C语言编写。

本书可作为自动控制、电气工程、电子工程、通信工程等专业的高职教材,也可作为相关专业领域的 DSP 芯片应用研发人员的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

数字信号处理技术及应用/谢芳芳主编. —北京:科学出版社,2009
高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专机电类教材系列
ISBN 978-7-03-025380-4

I. 数… II. 谢… III. 数字信号-信号处理-高等学校:技术学校-教材 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 149826 号

责任编辑: 庞海龙 张雪梅/责任校对: 柏连海 王万红
责任印制: 吕春珉/封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2009 年 9 月第一次印刷 印张: 15 3/4
印数: 1—3 000 字数: 356 000

定价: 24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135319-8999 (VA03)

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

目前，DSP 芯片已广泛应用于自动控制、通信、电子、航空航天及家电产品中，成为一种十分重要的电子产品核心部件。

为满足高职院校对 DSP 芯片相关课程的教学需要，我们以 TMS320LF240x 芯片为例编写了本书。本书具有以下特点：

- 1) 适合项目驱动式教学。每一章的内容都是一个完整的子项目。
- 2) 注重内容系统、全面。每个子项目都有完整的硬件电路与相应的应用程序，并详细介绍了相关硬件电路的结构与原理，以及应用程序的编写方法与实现过程。
- 3) 强调实用性。所选用的子项目都是实际工作中典型的应用实例。

本书共包括 8 章，基本囊括了 TMS320LF2407 的主要硬件、软件设计方法。

第 1 章介绍了 TMS320LF240x DSP 芯片的硬件资源，包括 CPU、存储器、基本外围电路。这些内容是后叙 TMS320LF240x DSP 应用系统的基础。

第 2 章介绍了用 TMS320LF240x 实现流水灯控制的硬件电路与软件设计，重点介绍了 TMS320LF2407 的数字输入输出模块 (I/O)，以及编写 DSP 应用程序时常用的 C 语言语句。

第 3 章首先介绍了 PWM 波形的应用场合与产生原理，然后详细介绍了 TMS320LF2407 的事件管理器模块 (EV) 的通用定时器、比较单元，并介绍了 TMS320LF240x 的中断系统，最后分析了 PWM 波形发生器的主程序。

第 4 章介绍了系统的硬件组成，以及两种不同测速方法的软件设计。重点介绍了光电编码器、TMS320LF2407 事件管理器模块的捕获单元与正交编码脉冲电路，详细分析了基于同一种硬件电路的两种不同测速方法的程序。

第 5 章介绍了系统的硬件组成和软件设计，重点介绍了 MCP604、TMS320LF2407 的模数转换模块 (ADC)、TMS320LF240x 主要的汇编指令，并分析了电压信号采集系统的汇编主程序。

第 6 章介绍了系统中的硬件，包括 MAX5121、TMS320LF2407 的串行外设接口模块 (SPI)；分析了电压输出系统的程序。

第 7 章首先介绍了系统中的硬件，包括 MAX232、串行通信接口模块 (SCI)，接下来详细介绍了 DSP 开发工具 CCS，最后给出了系统的主程序与命令文件的分析。

第 8 章介绍了芯片 AD8041、AD7237 以及定点运算基础、PID 算法，给出了基于 TMS320LF2407 的 PID 算法的汇编主程序与命令文件。

本书由湖南工业职业技术学院王世锋编写第 1 章和第 2 章的部分章节，湖南工业职



业技术学院谢芳芳编写第 2 章、第 5 章和第 7 章的部分章节以及第 8 章，湖南机电职业技术学院郑剑编写第 3 章，湖南工业职业技术学院胡邦南编写第 4 章、第 5 章的部分章节，湖南科技职业学院刘奕编写第 6 章、第 7 章的部分章节。谭耀辉、邱丽芳审阅本书时提出了许多宝贵的修改意见，在此对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 TMS320LF240x DSP	1
1.1 DSP 概述	1
1.1.1 DSP 的两种含义	1
1.1.2 DSP 系统的构成	2
1.1.3 DSP 系统的开发过程	2
1.2 TMS320LF240x DSP 芯片	3
1.2.1 TMS320 DSP 系列产品	3
1.2.2 TMS320LF240x DSP 芯片	4
1.3 TMS320LF240x DSP 硬件资源	4
1.3.1 TMS320LF240x DSP 的基本结构和引脚功能	4
1.3.2 TMS320LF240x DSP 的 CPU	13
1.3.3 TMS320LF240x DSP 的存储器	17
1.4 TMS320LF240x DSP 基本外围电路	21
1.4.1 时钟电路	21
1.4.2 复位电路	22
小结	24
习题	24
第 2 章 流水灯控制系统	25
2.1 流水灯控制系统	25
2.1.1 流水灯控制系统的硬件组成	25
2.1.2 流水灯控制系统的工作过程	25
2.2 74HC273	26
2.2.1 74HC273 简介	26
2.2.2 74HC273 的引脚与引脚功能	26
2.3 TMS320LF2407 数字输入、输出模块	26
2.3.1 TMS320LF2407 数字输入、输出模块概述	26
2.3.2 TMS320LF2407 数字输入、输出模块寄存器	27
2.4 用 C 语言编写 DSP 应用程序	32
2.4.1 常用 C 语言语句	32
2.4.2 用 C 语言实现端口位操作	35
2.4.3 在 C 语言中嵌入汇编语言	37



2.5	流水灯控制系统程序	37
2.5.1	流水灯控制系统 C 语言主程序	37
2.5.2	流水灯控制系统程序分析	39
	小结	40
	习题	40
第 3 章	PWM 波形发生器	41
3.1	PWM 波形发生器	41
3.1.1	采用事件管理器模块中的通用定时器产生 PWM 波形	41
3.1.2	采用事件管理器模块中的比较单元产生 PWM 波形	43
3.2	PWM 波形	44
3.2.1	PWM 控制技术	44
3.2.2	SPWM 算法	45
3.3	TMS320LF2407 事件管理器模块的通用定时器与比较单元	47
3.3.1	TMS320LF2407 事件管理器模块的组成	47
3.3.2	TMS320LF2407 事件管理器模块的通用定时器	48
3.3.3	TMS320LF2407 事件管理器模块的比较单元	54
3.4	TMS320LF240x 中断系统	59
3.4.1	TMS320LF240x 中断系统简述	59
3.4.2	TMS320LF240x 中断响应过程	61
3.4.3	TMS320LF240x 中断寄存器	65
3.5	用 C 语言处理 DSP 中断	73
3.5.1	通过软件识别中断标志的方法实现可屏蔽中断	73
3.5.2	通过外围中断向量寄存器 PIVR 的值实现可屏蔽中断	73
3.6	PWM 波形发生器程序	74
3.6.1	基于通用定时器的 PWM 波形发生器 C 语言主程序	74
3.6.2	基于通用定时器的 PWM 波形发生器程序分析	77
3.6.3	基于比较单元的 PWM 波形发生器 C 语言主程序	78
3.6.4	基于比较单元的 PWM 波形发生器程序分析	81
	小结	82
	习题	82
第 4 章	电机测速系统	84
4.1	电机测速系统	84
4.1.1	电机测速系统硬件电路的组成	84
4.1.2	电机测速系统的工作过程	84
4.2	光电编码器	85
4.2.1	光电编码器简介	85
4.2.2	增量式旋转光电编码器的工作原理	85

4.3	TMS320LF2407 事件管理器模块的捕获单元	86
4.3.1	捕获单元简述	86
4.3.2	捕获单元操作	86
4.3.3	捕获单元寄存器	86
4.3.4	捕获单元应用举例	90
4.4	TMS320LF2407 事件管理器模块的正交编码脉冲电路	93
4.4.1	正交编码脉冲电路简述	93
4.4.2	正交编码脉冲电路的编码操作	94
4.4.3	正交编码脉冲电路应用举例	94
4.5	电机测速系统程序	97
4.5.1	电机测速系统 C 语言主程序 1	97
4.5.2	电机测速系统 C 语言主程序 1 分析	100
4.5.3	电机测速系统 C 语言主程序 2	102
4.5.4	电机测速系统 C 语言主程序 2 分析	105
小结	.....	106
习题	.....	106
第 5 章	电压信号的采集	107
5.1	电压信号采集系统	107
5.1.1	电压信号采集系统硬件电路的组成	107
5.1.2	电压信号的采集过程	107
5.2	MCP604	108
5.2.1	MCP604 简介	108
5.2.2	MCP604 的引脚与引脚功能	108
5.3	TMS320LF2407 A/D 转换模块	109
5.3.1	ADC 的工作原理	109
5.3.2	ADC 的工作方式	109
5.3.3	ADC 模块的寄存器	110
5.3.4	ADC 举例	115
5.4	TMS320LF240x 常用汇编指令	118
5.4.1	TMS320LF240x DSP 汇编指令的寻址方式	118
5.4.2	TMS320LF240x DSP 的常用汇编指令	120
5.5	电压信号的采集程序	138
5.5.1	电压信号的采集汇编语言主程序	138
5.5.2	电压信号的采集汇编语言主程序分析	142
小结	.....	145
习题	.....	145



第 6 章 电压信号的输出	146
6.1 电压信号输出系统	146
6.1.1 电压信号输出系统硬件电路的组成	146
6.1.2 电压信号的输出过程	146
6.2 MAX5121	147
6.2.1 MAX5121 芯片功能介绍	147
6.2.2 MAX5121 的 SPI 接口指令	148
6.2.3 MAX5121 的 SPI 接口工作时序图	148
6.3 TMS320LF2407 串行外设接口模块	149
6.3.1 串行外设接口简述	149
6.3.2 串行外设接口操作	149
6.3.3 串行外设接口控制寄存器	151
6.4 电压信号的输出程序	156
6.4.1 电压信号的输出汇编语言主程序	156
6.4.2 电压信号的输出程序分析	159
小结	160
习题	160
第 7 章 TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信	161
7.1 TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信系统	161
7.1.1 TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信系统硬件电路的组成	161
7.1.2 TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信实现过程	161
7.2 MAX232	161
7.2.1 MAX232 简介	161
7.2.2 MAX232 的应用	162
7.3 TMS320LF2407 的串行通信接口模块	162
7.3.1 串行通信接口简述	162
7.3.2 串行通信接口操作	164
7.3.3 串行通信接口波特率 (SCIBRR) 计算	165
7.3.4 串行通信接口控制寄存器	165
7.4 TMS320C240x DSP 开发工具 CCS	171
7.4.1 CCS 简述	171
7.4.2 CCS 的安装和使用	172
7.4.3 CCS 的使用	174
7.5 CCS 工程文件中的命令文件	179
7.5.1 CCS 工程文件中的命令文件	179
7.5.2 CCS 工程文件中命令文件的创建	180
7.6 TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信程序	183



7.6.1	TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信主程序	183
7.6.2	TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信程序分析	186
7.6.3	TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信的命令文件	187
7.6.4	TMS320LF2407 与 PC 机的串行通信的命令文件分析	188
	小结	188
	习题	188
第 8 章	PID 算法	190
8.1	PID 控制系统	190
8.1.1	PID 控制系统硬件电路的组成	190
8.1.2	PID 控制过程	191
8.2	AD8041	191
8.2.1	AD8041 简介	191
8.2.2	AD8041 的引脚与引脚功能	192
8.3	AD7237	192
8.3.1	AD7237 简介	192
8.3.2	AD7237 的工作原理	193
8.4	PID 控制	194
8.4.1	PID 控制方法简介	194
8.4.2	PID 控制方法的实现	194
8.5	定点运算基础	196
8.5.1	定标的概念	196
8.5.2	定点运算	198
8.5.3	TMS320LF2407 的定点运算	201
8.6	PID 算法程序实现	204
8.6.1	PID 控制算法汇编主程序	204
8.6.2	PID 控制算法汇编主程序分析	212
8.6.3	PID 控制算法的命令文件	217
8.6.4	PID 控制算法的命令文件分析	217
	小结	218
	习题	218
附录 1	TMS320LF2407 头文件	219
附录 2	事件管理器的中断与中断寄存器	233
附录 3	系统配置寄存器	237
参考文献	.....	240

第 1 章 TMS320LF240x DSP

目前 DSP (数字信号处理) 技术发展迅速, DSP 的应用越来越广泛。本章讲述 DSP 的含义、市场上 DSP 主流芯片及 TMS320LF240x DSP 芯片, 重点介绍 TMS320 DSP 系列产品、TMS320LF240x DSP 芯片的硬件资源和基本外围电路。

1.1 DSP 概述

1.1.1 DSP 的两种含义

DSP (digital signal processing) 即“数字信号处理”, 是用数学的方法对数字信号进行运算、处理并得到相应结果的过程。现实世界的模拟信号经采样后成为数字信号, 将其输入计算机或专用处理设备后, 计算机或专用处理设备以数字的形式对此数字信号进行采集、变换、滤波等处理, 得到相应的运算结果。经典的数字信号处理有时域 FIR 滤波、频域的 FFT 频谱分析、控制领域的离散 PID 算法等。

通常所说的 DSP 有两方面的含义: 一方面是指理论上的数字信号处理方法, 包括各种数字信号处理算法; 另一方面 DSP 也指数字信号处理器, 此时 DSP 是指一种特别适于进行数字信号处理的微处理器。本书提到的 DSP 指后一种含义。

目前主要 DSP 芯片供应商有 TI (Texas Instruments, 美国德州仪器) 公司、Motorola 公司、Lucent 公司、ADI 公司、NEC 公司等, 其中 TI 公司是世界上最大的 DSP 芯片供应商。各公司部分典型 DSP 产品的型号与特性见表 1.1。

表 1.1 典型的 DSP 产品

型号	厂家	运行速度 /MIPs	内部存储器/字			
			程序 ROM	程序 RAM	数据 ROM	数据 RAM
ADSP2186	ADI	40	无	8k	无	8k
ADSP21060		33/40	无	80k	无	128k
ADSP21061		33/40	无	16k	无	32k
DSP1609	Lucent	100	24k	2k	24k	2k
DSP1610		40	512k	8k	512k	8k
DSP1612		120	4k	32k	4k	32k
DSP56812	Motorola	60			24k	2k
DSP56824		60			32k	3.5k
μ dp77015	NEC	60	4k	256	2×2k	2×1k
TMS320C2000	TI	≤40	4~32k	256~4.25k		544~4.5k
TMS320C6201		1600		16k		64k (字节)
TMS320C6701		1GFLOPS		16k		16k



1.1.2 DSP 系统的构成

图 1.1 为一个基本的 DSP 系统。图中，输入为各种各样的模拟信号，如麦克风输出的语音信号、存储在计算机里的图像信号等。对于一个控制系统而言，模拟信号主要来自现场各传感器的输出。模拟信号经 A/D 转换后成为数字信号，输入到 DSP 芯片，DSP 对输入的信号进行相关的运算（如离散 PID 算法），并将运算后得到的数字信号经 D/A 转换后输出。

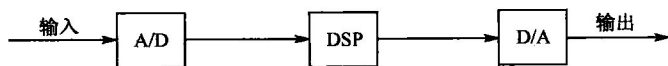


图 1.1 基本的 DSP 系统

1.1.3 DSP 系统的开发过程

图 1.2 是 DSP 系统设计的一般过程。

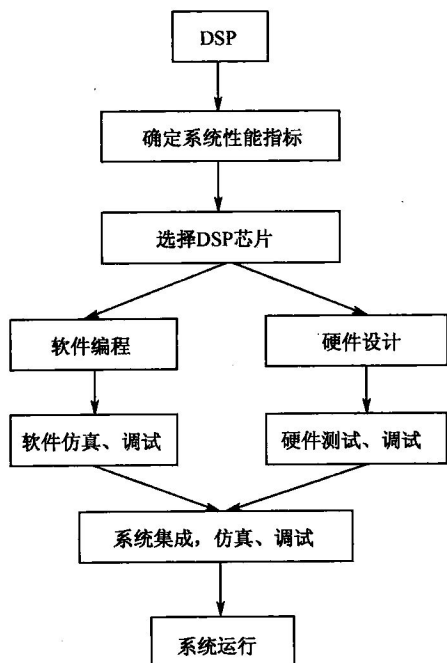


图 1.2 DSP 系统设计的一般过程

1) 确定系统性能指标。设计一个 DSP 系统，首先应确定所设计的 DSP 系统的性能指标。

2) 选择 DSP 芯片。选择 DSP 芯片主要从下面几方面考虑：① DSP 芯片的运算速度，如指令周期、MAC 时间、FFT 执行时间等；② DSP 芯片的价格；③ DSP 芯片的硬件资源，不同的 DSP 芯片所能提供的硬件资源是不相同的，如片内 RAM、ROM 的数量，外部可扩展的程序和数据空间，I/O 接口的数目，是否集成了 A/D、D/A 等；④ DSP 芯片的运算精度，主要考虑 DSP 芯片的字长、运算实现的方式（是采用定点运算还是浮点运算）。

3) 软、硬件设计。硬件设计主要是选定 DSP 芯片，然后确定该 DSP 芯片的外围硬件，并制成硬件开发板。软件方面主要根据系统要求和已选定的 DSP 芯片和外围硬件，编写相应的 DSP 应用程序（目前普遍采用 DSP 汇编语言和 C 语言的混合编程方法）。

4) 软、硬件调试。硬件方面，主要检查硬件开发板能否正常工作，是否满足设定的需要。软件方面，主要是检查主程序设计是否合理、各子程序能否实现设定的功能、程序有没有语法错误等。

5) 系统集成。在硬件、软件分别调试完后，可借助 DSP 的集成开发工具 CCS 和仿真器，将程序下载到硬件开发板。通过硬件模拟实际的输入信号，经过软件程序实现的运算，检查能否得到理想的输出。



6) 系统集成调试完后, 将软件固化到硬件开发板上的 ROM, 硬件开发板脱离仿真器直接到应用系统上运行。

1.2 TMS320LF240x DSP 芯片

1.2.1 TMS320 DSP 系列产品

1982 年 TI 公司推出了 TMS320 系列的第一款定点 DSP 芯片——TMS32010。至今, TMS320 系列已有 C1x、C2x、C20x、C24x、C28x、C5x、C54x、C55x、C62x、C64x 等定点 DSP 芯片, C3x、C4x 和 C67x 等浮点 DSP 芯片, C8x 多处理器 DSP 芯片。其中, TMS320C2000 系列(包括 C2x、C20x、C24x、C28x)主要面向自动控制领域, 目前主推 TMS320C24x 和 TMS320C28x; TMS320C5000 系列主要面向通信、信息技术领域, 目前主推 TMS320C54x、TMS320C55x; TMS320C6000 系列主要面向图像处理, 是目前 TI 公司运算速度最快的产品, 具有最佳的性能, 且便于高级语言编程, 特别适用于需要高性能处理的场合。图 1.3 给出了 TMS320 系列产品, 图 1.4 给出了 TMS320 芯片的命名方法。

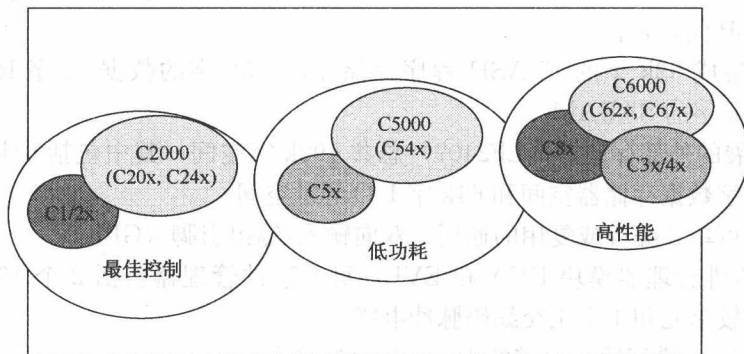


图 1.3 TMS320 系列产品

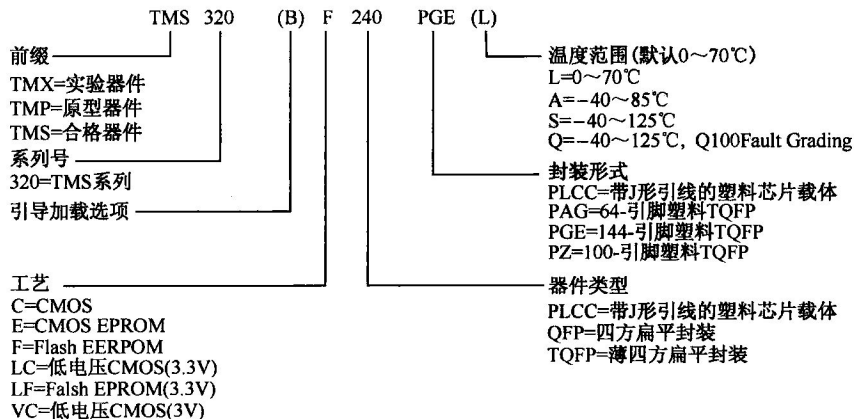


图 1.4 TMS320 芯片的命名方法



TMS320 系列中的同一系列产品具有相同的 CPU 结构, 只是片内存储器 and 片内外设的配置不同。派生的器件集成了新的片内存储器和片内外设, 以满足不同应用场合的需要。将存储器和外设集成到 DSP 芯片内, 不仅降低了系统成本, 还节省了电路板空间。

TMS320 系列包括了定点、浮点、多处理器数字信号处理芯片和定点 DSP 控制器。TMS320 DSP 芯片的体系结构适合于实时的数字信号处理, 其中 240xA 系列 DSP 控制器将实时处理功能与控制器的外设功能集于一身, 为控制系统应用提供了一个理想的解决方案。

1.2.2 TMS320LF240x DSP 芯片

TMS320LF240x DSP 芯片是 TMS320C2000™ 平台的成员, 是 24x 定点 DSPs (digital signal processors, 数字信号处理器) 系列的一部分。它是为了满足广泛需要的电动机控制和其他嵌入式控制应用而设计的。

TMS320LF240x DSP 有以下特点:

- 1) 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。
- 2) 30MIPs (百万条每秒) 的执行速度提高了控制器的实时控制能力。
- 3) 基于 TMS320C2xx DSP 的 CPU 核, TMS320LF240x 系列 DSP 代码和 TMS320C2xx 系列 DSP 代码兼容。
- 4) 片内集成 32k 字的 FLASH 程序存储器, 1.5k 字的数据/程序 RAM, 544 字 DARAM 和 2k 字的 SARAM。
- 5) 可扩展的外部存储器 (LF2407) 总共 192k 字空间, 其中包括 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。
- 6) 40 个可单独编程或复用的通用、双向输入/输出引脚 (GPIO)。
- 7) 2 个事件管理器模块 EVA 和 EVB, 每个事件管理器包括 2 个 16 位通用定时器、3 个全比较单元和 1 个正交编码脉冲电路。
- 8) 多达 16 个模拟输入通道的 10 位 A/D 转换器。
- 9) 同步串行外设 (SPI) 接口模块。
- 10) 异步串行通信接口 (SCI) 模块。
- 11) 控制器局域网络 (CAN) 模块。
- 12) 基于锁相环的时钟发生器。
- 13) 5 个外部中断 (两个电机驱动保护、复位和两个可屏蔽中断)。
- 14) 看门狗定时器模块 (WDT)。

1.3 TMS320LF240x DSP 硬件资源

1.3.1 TMS320LF240x DSP 的基本结构和引脚功能

1. 基本结构

TMS320LF240x 主要由三大部分构成, 即 CPU、存储器和片内外设, 其功能结构

框图如图 1.5 所示。

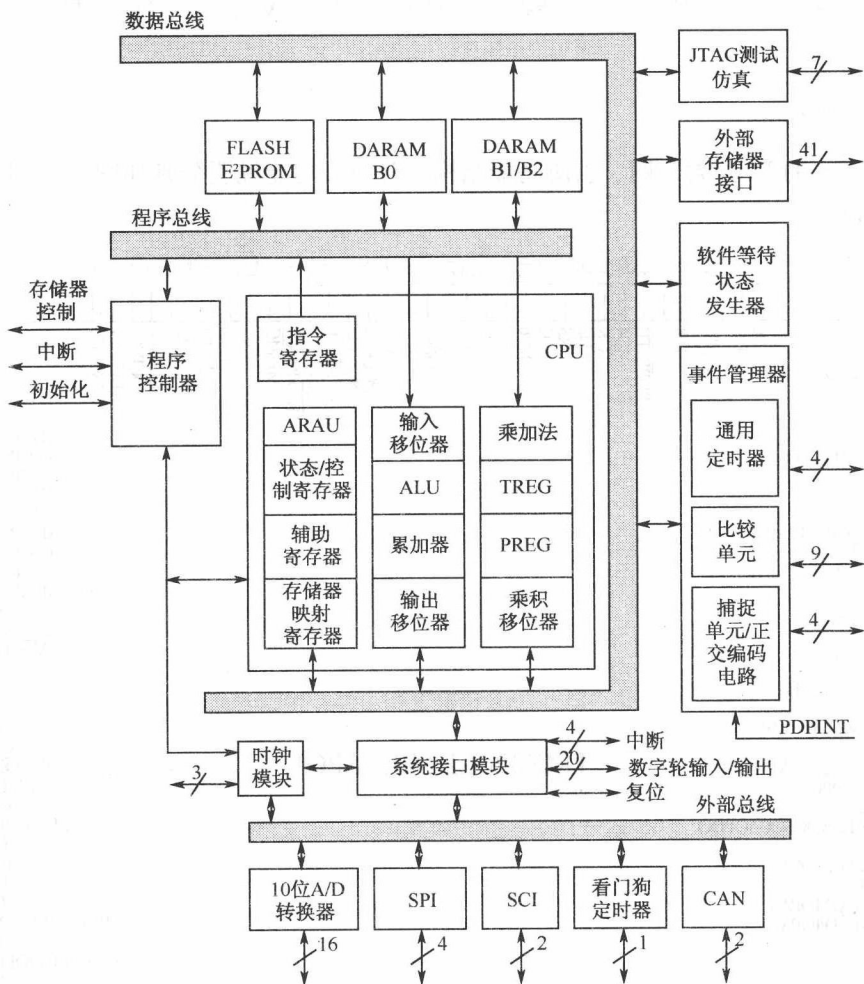


图 1.5 LF240x 的功能结构框图

TMS320LF240x 芯片采用了改进的多总线哈佛结构，具有分离的程序总线和数据总线，一共由 6 套 16 位的内部总线组成，即 PAB（程序地址总线）、PRDB（程序读总线）、DWAB（数据写地址总线）、DRAB（数据读地址总线）、DRDB（数据读总线）、DWEB（数据写总线）。分离的程序和数据总线，允许 CPU 同时访问程序指令和数据存储器；同时，因为有独立的数据读/写地址总线和数据读/写总线，使 CPU 对数据存储器的读、写访问可在同一机器周期内完成，运行速度得以大幅度提高。

通过外部总线接口还可以访问输入/输出空间，外设总线映射到数据空间，通过一个特定的系统模块与数据总线相连，因此能够在数据存储空间进行操作的指令同样能够对外设寄存器进行操作。

TMS320CLF240x 芯片的 CPU 主要包括算术逻辑单元（ALU）、累加器（ACC）、



乘法器、移位器等。存储器包括 ROM、单访问 RAM (SARAM) 和双访问 (DARAM)。片内外设包括事件管理器、A/D 转换器、SPI、SCI、CAN、看门狗定时器、软件等待状态发生器等。

2. 引脚功能

LF240x 的 PGE 封装图、引脚功能结构、各引脚功能说明分别如图 1.6、图 1.7 和表 1.2 所示。

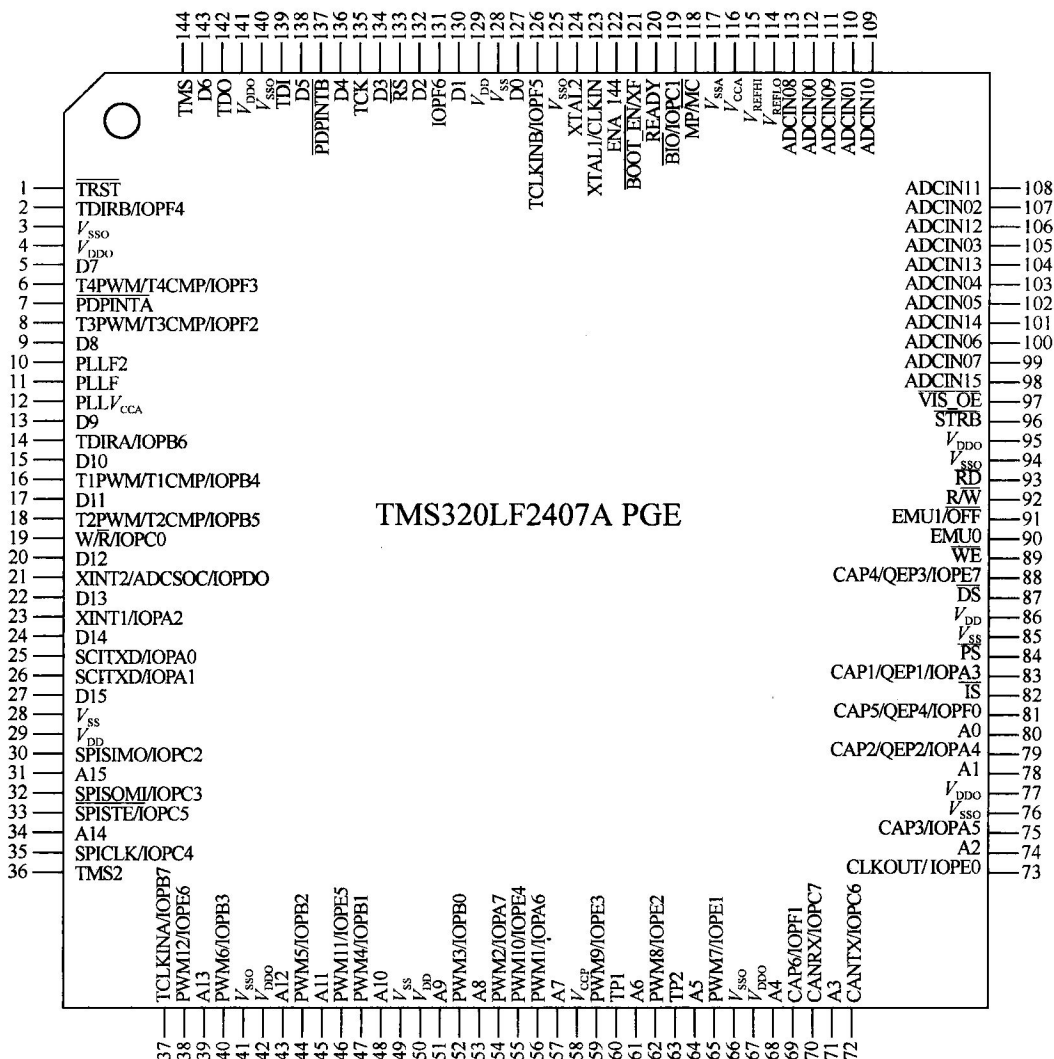


图 1.6 LF2407A 的 PGE 封装图

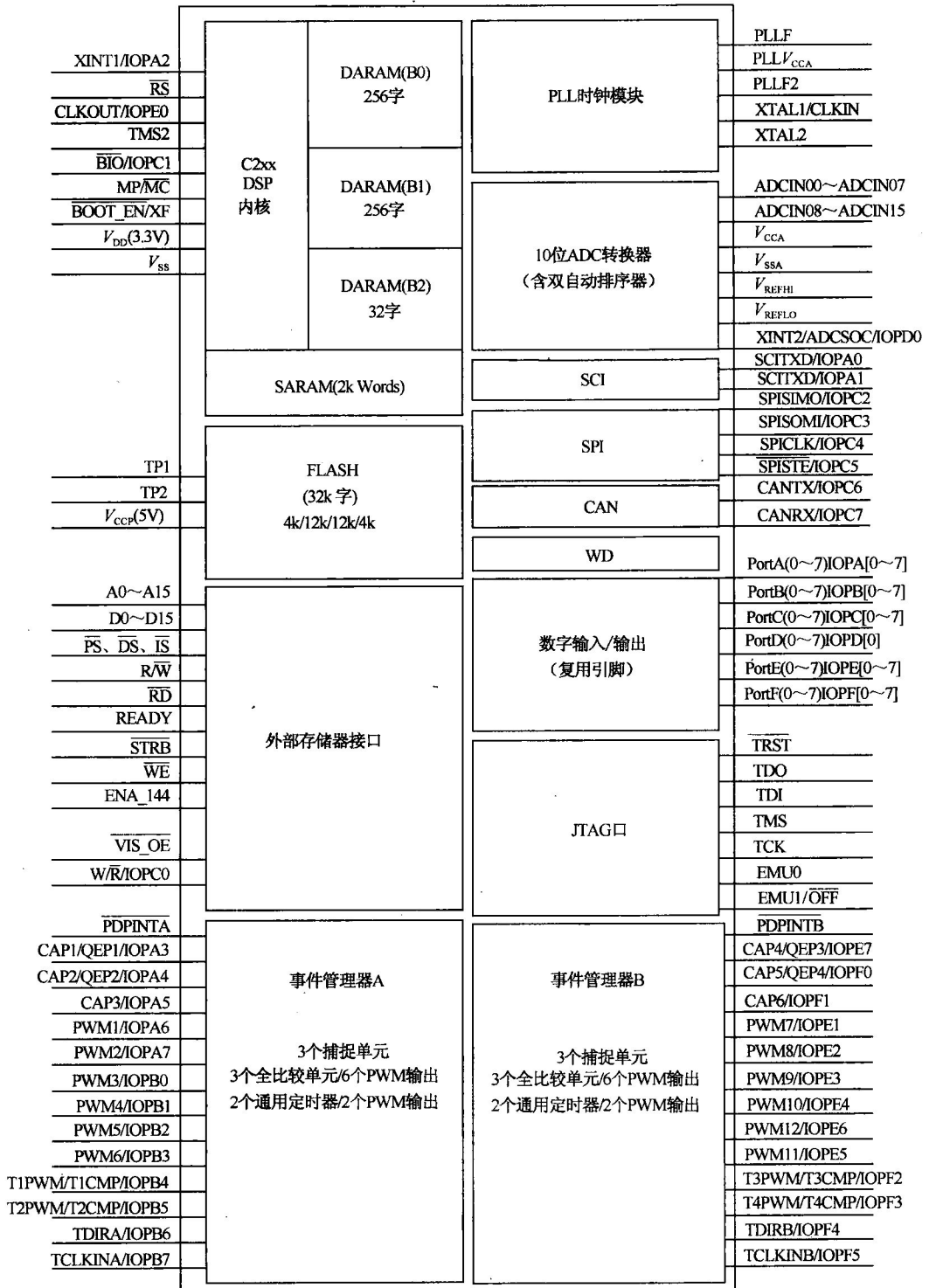


图 1.7 LF240x 的引脚功能结构