

DSP应用开发教程系列



TMS320LF240x

DSP应用程序设计教程

清源科技 编著

NL



DSP 应用开发教程系列

TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程

清源科技 编著

机 械 工 业 出 版 社

本书共分两篇。第1篇主要讲述 TMS320LF240x 系列 DSP 硬件概况、内部资源、汇编语言寻址方式和指令系统、汇编程序的编写方法和 CCS 调试环境以及汇编程序开发实例；第2篇主要讲述 TMS320LF240x 系列 DSP 的 C 编译器、C 代码的优化、C 程序的链接、运行时支持库以及与 TMS320LF240x 系列 DSP 相关的 C 语言知识，并且使用两个实例阐述了 C 程序开发过程等。

本书主要面向从事自动控制、信息处理、通信、多媒体、网络以及相关电子仪器仪表系统设计的技术人员，非常适合使用 TMS320LF240x 系列 DSP 的技术人员参考，也适合高校师生学习参考，是一本全面而实用的 TMS320LF240x 系列 DSP 学习教程。

图书在版编目 (CIP) 数据

TMS320LF240x DSP 应用程序设计教程/清源科技编著. —北京: 机械工业出版社, 2003.7

(DSP 应用开发教程系列)

ISBN 7-111-12502-9

I. T… II. 清… III. 数字信号—信号处理—数字通信系统, TMS320LF240x—程序设计—教材 IV. TN914.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 052027 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 吉 玲 封面设计: 张 静

责任印制: 路 琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·22.75 印张·560 千字

0 001—4 000 册

定价: 36.00 元

编辑信箱: jiling@mail.machineinfo.gov.cn

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

目前, DSP (Digital Signal Processor) 芯片已经广泛应用于自动控制、图像处理、通信技术、网络设备、仪器仪表和家电等领域; DSP 为数字信号处理提供了高效而可靠的硬件基础。目前, 应用最广泛的 DSP 芯片是 TI (德州仪器) 公司的产品, 占到全球市场的 60% 左右, 并广泛应用于各个领域。TI 公司 DSP 的主流产品包括 TMS320C2000 系列 (包括 TMS320C2x/C2xx)、TMS320C5000 系列 (包括 TMS320C5x/C54x/C55x)、TMS320C6000 系列 (包括 TMS320C62x/C67x)。

TMS320C2000 系列的 DSP 是适用于数字控制的一种 DSP。TI 公司为我们提供了完整的数字控制 DSP 解决方案, 设计了工业级性能的 DSP 芯片, 提供了很多实用代码, 这些都极大地推进了数字控制的革命。TMS320C2000 系列 DSP 具有完美的性能并综合最佳的外设接口。在这个系列的器件中, 它集成了闪存、高速 A/D 转换器、高性能的 CAN 模块等。TMS320C2000 系列 DSP 具有较高的性价比, 设计工程师利用它可以降低开发难度, 缩短产品开发时间, 有效地降低开发成本。

本书介绍的 TMS320LF240x 系列是 TMS320C2000 家族的最新的、功能强大的 DSP 芯片, 它与 TMS320C/LF24x 是兼容的, 但是资源更加丰富、功能更强。目前, TMS320LF240x 系列主流器件为 40M 条指令/s 的 DSP, 包括基于闪存的 TMS320LF2402、TMS320LF2406 及 TMS320LF2407 等器件, 以及基于 ROM 的 TMS320LC2402、TMS320LC2404 及 TMS320LC2406 等器件。上述这些芯片都是最新一代的 DSP, 其中最具革命性的产品是 LF2407/2407A, 它是当前世界上集成度最高、性能最强的运动控制 DSP 芯片。LF2407/2407A 集成了 32K 字闪存、16 个脉宽调制(PWM)通道、一个 CAN 模块, 以及一个超高速的 500ns 的 10 位模数转换器 (ADC)。本书主要以 LF2407/2407A 为主进行讲解。

本书共分两篇, 第 1 篇共有 7 章, 这 7 章主要讲述了 TMS320LF240x 硬件概况、内部资源、汇编语言寻址方式和指令系统、汇编程序的编写方法和 CCS 调试环境以及汇编程序开发实例; 第 2 篇共有 6 章, 这 6 章主要讲述了 TMS320LF240x 的 C 编译器、C 代码的优化、C 程序的链接、运行时支持库以及与 TMS320LF240x 相关的 C 语言知识, 并且使用两个实例阐述了 C 程序开发过程等。

本书非常适合使用 TMS320LF240x 系列 DSP 芯片的技术人员参考, 也适合高等学校师生学习参考, 是一本全面而实用的 240x 系列 DSP 芯片的学习教程。

本书由江思敏博士主编, 戴向国博士、李伟博士参与部分章节的编写。由于水平有限, 时间仓促, 书中缺点和不足之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。作者 Email: jiangsimin@yahoo.com。

编 者
于清华园

目 录

前言

第 1 篇 TMS320LF240x CPU 和汇编程序设计	1
第 1 章 TMS320LF240x DSP 简介	3
1.1 DSP 芯片基本结构	3
1.2 TMS320LF240x DSP 控制器简介	5
1.2.1 基于控制领域的应用	5
1.2.2 TMS320LF240x 特点和资源	5
1.2.3 TMS320LF240x 的功能结构	6
1.3 TMS320LF240x DSP 存储映射	7
1.3.1 TMS320LF240x DSP 存储器映射	7
1.3.2 TMS320LF240xDSP 外设存储器映射图	9
1.4 TMS320LF240x 的 CPU 内部总线结构	10
第 2 章 存储器和 I/O 空间	11
2.1 片内存储器	11
2.1.1 双端口 RAM (DARAM)	11
2.1.2 单端口 RAM (SARAM)	11
2.1.3 FLASH 程序存储器	11
2.2 程序存储器	12
2.3 数据存储器	13
2.4 I/O 空间	16
第 3 章 中央处理单元 (CPU)	18
3.1 TMS320LF240x DSP 的 CPU 功能模块	18
3.2 输入定标部分	21
3.3 乘法部分	23
3.3.1 乘法器	23
3.3.2 乘积定标移位器	24
3.4 中央算术逻辑部分	25
3.4.1 中央算术逻辑单元	26
3.4.2 累加器(ACC)	27
3.4.3 输出定标移位器	27
3.5 辅助寄存器算术单元 (ARAU)	28
3.5.1 辅助寄存器算术单元(ARAU)简述	28
3.5.2 辅助寄存器	29
3.6 状态寄存器 ST0 和 ST1	30

3.7 外部存储器接口操作	31
第4章 程序控制	35
4.1 程序地址的产生	35
4.1.1 程序计数器 (PC)	36
4.1.2 堆栈	37
4.1.3 微堆栈 (MSTACK)	38
4.2 指令流水线操作	38
4.3 转移、调用和返回	39
4.3.1 无条件转移	39
4.3.2 无条件调用	39
4.3.3 无条件返回	40
4.4 条件转移、调用和返回	40
4.4.1 使用多个条件	40
4.4.2 条件的稳定	41
4.4.3 条件转移	41
4.4.4 条件调用	41
4.4.5 条件返回	42
4.5 重复单条指令	42
4.6 中断	42
4.7 CPU 中断寄存器	47
4.7.1 CPU 中断标志寄存器	47
4.7.2 CPU 中断屏蔽寄存器	49
第5章 寻址方式	50
5.1 立即寻址方式	50
5.2 直接寻址方式	51
5.2.1 使用直接寻址方式	52
5.2.2 直接寻址举例	52
5.3 间接寻址方式	54
5.3.1 当前辅助寄存器	54
5.3.2 间接寻址的选择	54
5.3.3 下一次的辅助寄存器	55
5.3.4 间接寻址操作码的格式	56
5.3.5 间接寻址举例	57
5.3.6 修改辅助寄存器的内容	58
第6章 汇编程序设计及开发环境	60
6.1 TMS320LF240x DSP 的应用软件开发流程和工具	60
6.2 COFF 文件概述	62
6.2.1 COFF 文件的基本单元——段	62
6.2.2 汇编器对段的处理	62

6.2.3	链接器对段的处理	67
6.2.4	重新定位	69
6.2.5	运行时重新定位	70
6.2.6	加载程序	70
6.2.7	COFF 文件中的符号	71
6.3	汇编语言程序格式	71
6.4	程序汇编	74
6.4.1	运行汇编程序	74
6.4.2	条件汇编	75
6.4.3	列表文件	76
6.4.4	交叉引用清单	77
6.5	程序链接	78
6.5.1	链接器的调用	79
6.5.2	链接器的选项	79
6.5.3	链接器命令文件 (.cmd 文件)	81
6.6	编写链接器命令文件 (.cmd 文件)	82
6.6.1	MEMORY 指令	82
6.6.2	SECTIONS 指令	84
6.6.3	MEMORY 和 SECTIONS 指令的默认算法	88
6.6.4	基于 CCS 环境下命令文件编写实例	88
6.7	宏定义和宏调用	89
6.7.1	宏定义	89
6.7.2	宏调用	90
6.8	集成开发环境 (CCS)	91
6.8.1	CCS 的系统配置	91
6.8.2	运行 CCS	93
6.8.3	建立工程文件	93
6.8.4	设置工程项目选项	94
6.8.5	编译和创建输出目标文件	98
6.8.6	仿真运行输出目标文件	98
6.8.7	查看存储器信息	98
6.8.8	查看寄存器信息	100
6.8.9	修改存储器和寄存器内容	100
6.8.10	设置断点和探测点	101
6.8.11	FLASH 烧录	102
6.9	TMS320LF240x DSP 汇编程序开发实例	104
6.9.1	寄存器定义文件 240xA.h	104
6.9.2	中断向量表定义文件	112

6.9.3 闭环 PID 控制汇编程序	113
第 7 章 汇编语言指令	121
7.1 指令集概述	121
7.2 如何使用指令描述	127
7.2.1 语法	128
7.2.2 操作数	129
7.2.3 操作码	129
7.2.4 执行	129
7.2.5 状态位	130
7.2.6 说明	130
7.2.7 字数	130
7.2.8 周期数	130
7.2.9 举例	132
7.3 指令描述	132
第 2 篇 TMS320LF240x C 语言编程	257
第 8 章 C 编译器概述	259
8.1 C 编译器特性	259
8.2 命令解释程序	260
8.3 调用编译器命令解释程序	261
8.4 改变编译器的选项	262
8.4.1 常用的选项	262
8.4.2 指定文件名	263
8.4.3 修改 Shell 对文件名的解释	263
8.4.4 修改 Shell 对文件名扩展的解释和命名	264
8.4.5 指定目录	264
8.4.6 忽略 ANSI C 类型检查的选项	264
8.4.7 运行时模块选项	265
8.4.8 控制汇编器的选项	265
8.5 使用环境变量改变编译器特性	266
8.5.1 设置默认 Shell 选项 (C_OPTION)	266
8.5.2 指定临时文件目录(TMP)	267
8.6 控制预处理器	267
8.6.1 预定义的宏名	267
8.6.2 #include 文件的搜索路径	268
8.6.3 用-i 选项改变#include 文件的搜索路径	268
8.6.4 产生预处理的列表文件 (-pl 选项)	269
8.7 使用直接插入函数展开	269
8.7.1 直接插入内部操作数	269
8.7.2 控制直接插入函数展开(-x 选项)	270

8.7.3	_INLINE 预处理器符号	270
8.8	使用交互列表工具	271
8.9	编译错误简介	272
8.10	使用 CCS 汇编工具	274
第 9 章	优化 C 代码	278
9.1	使用 C 编译优化器	278
9.2	使用 -o3 选项	279
9.2.1	控制文件级优化 (-o1n 选项)	279
9.2.2	创建优化信息文件 (-onm 选项)	280
9.3	执行程序优化级	280
9.3.1	控制程序级优化 (-opn 选项)	280
9.3.2	当混合 C 语言和汇编的优化考虑因素	281
9.3.3	命名程序编译输出文件 (-px 选项)	281
9.4	自动内嵌扩展(-oi 选项)	281
9.5	使用交互列表工具	282
9.6	调试优化的代码和优化类型	282
9.6.1	调试优化的代码	282
9.6.2	可执行的优化类型	282
第 10 章	链接 C 代码	290
10.1	单步调用链接器	290
10.2	使用编译器的 Shell 程序调用链接器 (-z 选项)	291
10.3	禁用链接器 (-c Shell 选项)	291
10.4	控制链接过程	291
10.4.1	链接运行时支持库	292
10.4.2	指定初始化类型	292
10.4.3	指定段在存储器中的分配	293
10.4.4	链接器命令文件实例	294
第 11 章	TMS320LF240x 的 C 语言	296
11.1	TMS320LF240x C 语言的特点	296
11.2	数据类型	297
11.3	寄存器变量和全局寄存器变量	298
11.3.1	寄存器变量	298
11.3.2	创建全局寄存器变量	298
11.4	Pragma 伪指令	299
11.5	初始化静态和全局变量	301
11.6	C 语言和汇编语言混合编程	302
11.6.1	用 C 代码调用汇编语言模块	303
11.6.2	在 C 语言中插入汇编语句	304
11.6.3	在程序中访问汇编语言变量	305

11.6.4 修改编译器输出	306
第 12 章 运行时环境和支持库	307
12.1 存储器模式	307
12.1.1 段	307
12.1.2 C 系统堆栈	308
12.1.3 分配 const 到程序存储器	308
12.1.4 动态存储器分配	309
12.1.5 变量初始化	310
12.1.6 为静态和全局变量分配存储器	310
12.1.7 字符串常数	310
12.2 寄存器规定	311
12.2.1 状态寄存器的位	311
12.2.2 堆栈指针、帧指针和局部变量指针	312
12.3 函数结构和调用规定	312
12.3.1 函数如何进行调用	312
12.3.2 被调用函数如何响应	313
12.4 中断处理	314
12.4.1 C 语言中断的基本知识	314
12.4.2 使用 C 中断程序	315
12.4.3 使用汇编语言中断程序	315
12.5 系统初始化	316
12.5.1 运行时堆栈	316
12.5.2 变量自动初始化	316
12.5.3 初始化表	316
12.5.4 运行时变量的自动初始化	317
12.5.5 在加载时变量的初始化	318
12.6 运行时支持库函数	319
12.6.1 库	319
12.6.2 头文件	320
第 13 章 应用实例	326
13.1 对称 PWM 波形产生实例	326
13.1.1 主程序 Exam2407.c	326
13.1.2 中断向量表定义文件 cvectors.asm	329
13.1.3 外设寄存器定义文件 f2407C.h	330
13.1.4 链接器命令文件 Exam2407C.cmd	335
13.2 产生锯齿波波形	336
13.2.1 主程序	336
13.2.2 包含程序 DAC.h	340
13.2.3 包含程序 ioreg.h	341

13.2.4 中断向量表定义 <code>vectors.asm</code>	344
13.2.5 引导程序 <code>Boot2407.asm</code>	345
13.2.6 链接器命令文件 <code>Saw_wave.cmd</code>	349
附录 汇编指令索引	351
参考文献	353

第 1 篇 TMS320LF240x CPU 和汇编程序设计

第 1 章 TMS320LF240x DSP 简介

TMS320LF240x DSP (Digital Signal Processor) 是 TMS320 数字信号处理器 (DSP) 家族中的一员。TMS320LF240x 系列 DSP 是为满足大范围的数字电动机控制 (DMC) 应用而设计的。本章是对当前 TMS320 家族作一个概述, 描述 TMS320LF240x DSP 产品的背景和技术优势, 并介绍 TMS320LF240x DSP。

1.1 DSP 芯片基本结构

1. 什么是 DSP 芯片

DSP 芯片, 也称数字信号处理器芯片, 是一种具有特殊结构的微处理器。DSP 芯片的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, 可以快速地实现各种数字信号处理算法。根据数字信号处理的要求, DSP 芯片一般具有如下的主要特点:

- (1) 在一个指令周期内可完成一次乘法和一次加法。
- (2) 程序和数据空间分开, 可以同时访问指令和数据。
- (3) 片内具有快速 RAM, 通常可通过独立的数据总线同时访问两块芯片。
- (4) 具有低开销或无开销循环及跳转的硬件支持。
- (5) 快速的中断处理和硬件 I/O 接口支持。
- (6) 具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器。
- (7) 可以并行执行多个操作。
- (8) 支持流水线操作, 使取指、译码和执行等操作可以重叠执行。

2. DSP 芯片的基本结构

DSP 芯片的基本结构包括:

(1) 哈佛结构 哈佛结构的主要特点是将程序和数据存储在不同的存储空间中, 即程序存储器和数据存储器是两个相互独立的存储器, 每个存储器独立编址, 独立访问。与两个存储器相对应的是系统中设置了程序总线 and 数据总线, 从而使数据的吞吐率提高了一倍。由于程序和数据存储在两个分开的空间中, 因此取指和执行能完全重叠进行。

(2) 流水线操作 流水线与哈佛结构相关。DSP 芯片广泛采用流水线, 以减少指令执行的时间, 从而增强了处理器的处理能力。处理器可以并行处理 2~4 条指令, 每条指令处于流水线的不同阶段。图 1-1 所示为一个三级流水线操作的例子。

(3) 专用的硬件乘法器由于具有专用的应用乘法器, 乘法可在一个指令周期内完成。乘法速度越快, DSP 的性能越高。

(4) 特殊的 DSP 指令。

(5) 快速的指令周期 哈佛结构、流水线操作、专用的硬件乘法器、特殊的 DSP 指令, 再加上集成电路的优化设计, 可使 DSP 芯片的指令周期在 50ns 以下, 现在高档的 DSP 指令

周期可以达到 5ns。

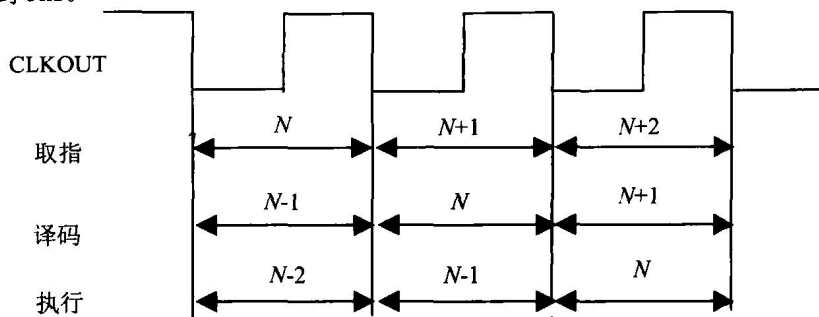


图 1-1 三级流水线操作

3. TS320 系列 DSP 概述

TI 公司在 1982 年成功推出其第一代 TMS32010、TMS32011、TMS320C10/C14/C15/C16/C17 等 DSP 芯片之后，相继推出了第二代 TMS32020、TMS320C25/C26/C28 DSP 芯片，第三代 TMS320C30/C31/C32 DSP 芯片，第四代 TMS320C40/C44 DSP 芯片，第五代 TMS320C5x/C54x DSP 芯片，第二代 DSP 芯片的改进型 TMS320C2xx，集多个 DSP 芯片于一体的高性能 DSP 芯片 TMS320C8x 以及目前速度最快的第六代 TMS320C62x/C67x 等 DSP 芯片。TI 公司将常用的 DSP 芯片归纳为三大系列，即：TMS320C2000 系列（包括 TMS320C2x/C2xx）、TMS320C5000 系列（包括 TMS320C5x/C54x/C55x）、TMS320C6000 系列（TMS320C62x/C67x），如图 1-2 所示。

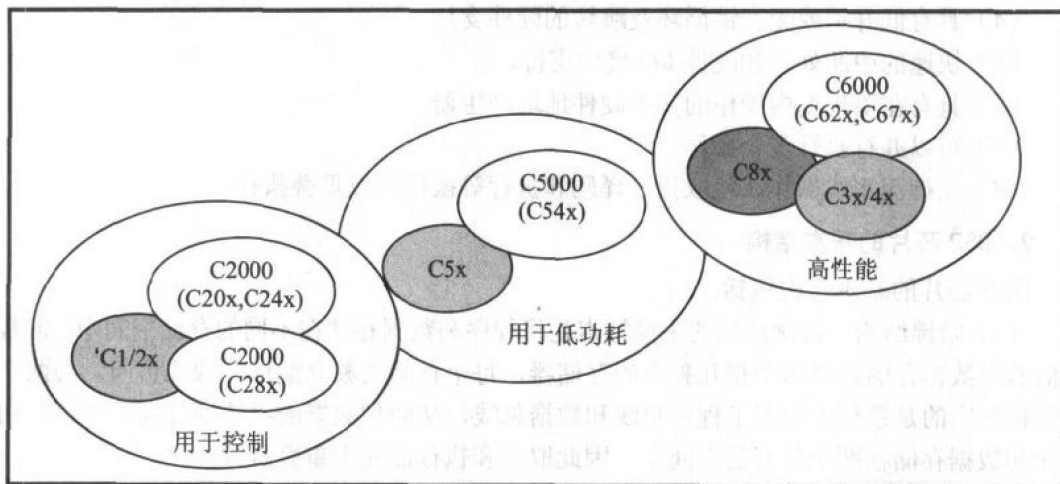


图 1-2 TI DSP 产品系列

TMS320 家族中同一代的器件有相同的 CPU 结构，但片内存储器 and 外围配置是不同的。派生的器件使用了新的片内存储器和外设来满足全球电子市场上大范围的应用需要。通过把存储器和外设集成为一个单片器件，TMS320 系列 DSP 降低了系统功耗，并节省了电路板的空间，提高了系统的可靠性。

本书将主要讲述 LF24x/240x DSP 芯片的软件开发技术。

1.2 TMS320LF240x DSP 控制器简介

1.2.1 基于控制领域的应用

TMS320LF240x DSP 是为了满足控制应用而设计的。通过把一个高性能的 DSP 内核和微处理器的片内外设集成为一个芯片的方案, TMS320LF240x DSP 成为传统的微控制单元 (MCU) 和昂贵的多片设计的一种廉价替代产品。30M 条指令/s (30MIPS) 的处理速度, 使 TMS320LF240x DSP 可以提供远远超过传统的 16 位微控制器和微处理器的性能。

说明: TMS320LF240x DSP 的处理速度为 30MIPS, 其新款的 LF240xA DSP 的处理速度为 40MIPS。

TMS320LF240x DSP 的 16 位定点 DSP 内核为模拟系统的设计者提供了一个不牺牲系统精度和性能的数字解决方案。实际上, 对那些诸如自适应控制、卡尔曼滤波和状态控制等技术, 通过使用先进的控制算法, 系统的性能会得到提高。TMS320LF240x DSP 提供了高可靠性和可编程性。对于模拟控制系统的硬连线方案, 会因老化、器件失效和漂移等因素降低系统性能。

1.2.2 TMS320LF240x 特点和资源

TMS320LF240x DSP 具有 TMS320 系列 DSP 的基本功能, 还具有以下一些特点:

- 采用高性能静态 CMOS 技术, 使得供电电压降为 3.3V, 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 33ns (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 TMS320LF240x DSP 代码和 TMS320 系列 DSP 代码兼容;
- 片内有高达 32K 字×16 位的 Flash 程序存储器 (EEPROM, 4 扇区); 高达 2.5K 字×16 位的数据 / 程序 RAM; 544 字双端口 RAM (DARAM); 2K 字的单口 RAM (SARAM);
- SCI/SPI 引导 ROM;
- 两个事件管理器模块 EVA 和 EVB, 每个均包括如下资源: 两个 16 位通用定时器; 8 个 16 位的脉宽调制 (PWM) 通道, 可以实现三相反相器控制、PWM 的中心或边缘校正及当外部引脚 PDPINTx 出现低电平时快速关闭 PWM 通道; 防止击穿故障的可编程的 PWM 死区控制; 对外部事件进行定时捕获的 3 个捕获单元; 片内光电编码器接口电路; 16 通道的同步 ADC。事件管理器模块适用于控制交流异步电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机、步进电动机、多级电动机和逆变器;
- 可扩展的外部存储器 (LF2407) 总共具有 192K 字×16 位的空间, 分别为 64K 字程序存储器空间、64K 字的数据存储空间和 64K 字的 I/O 空间;
- 看门狗 (WD) 定时器模块;
- 10 位 ADC, 其特性为: 最小转换时间为 500 ns、8 个或 16 个多路复用的输入通道、可选择由两个事件管理器来触发两个 8 通道输入 ADC 或一个 16 通道输入 ADC;
- CAN 2.0 B 模块, 即控制区域网模块;

- 串行通信接口 (SCI) 模块;
- 16 位串行外部设备接口 (SPI) 模块;
- 基于锁相环(PLL)的时钟发生器;
- 高达 41 个可单独编程或复用的通用输入 / 输出 (GPIO) 引脚;
- 5 个外部中断 (2 个驱动保护、1 个复位和 2 个可屏蔽中断);
- 电源管理, 具有 3 种低功耗模式, 能独立地将外围器件转入低功耗工作模式。

本书主要以 TMS320LF2407A 为例来介绍 TMS320LF240x DSP 的应用和开发技术。

TMS320LF2407A 的引脚布置如图 1-3 所示。

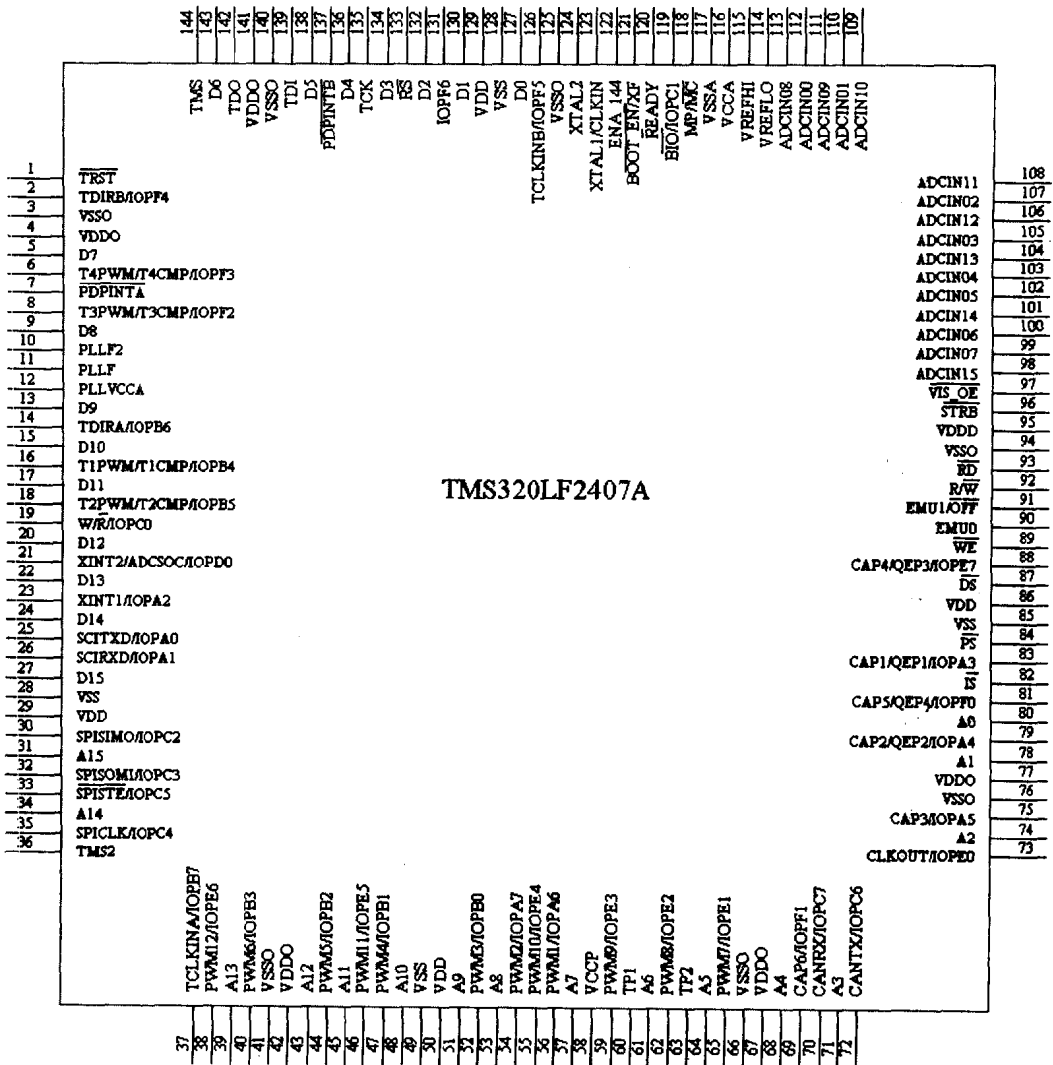


图 1-3 TMS320LF2407A 的引脚布置

1.2.3 TMS320LF240x 的功能结构

TMS320LF2407A 引脚可以按功能表示为图 1-4 所示的功能结构。