



嵌入式研发系列丛书

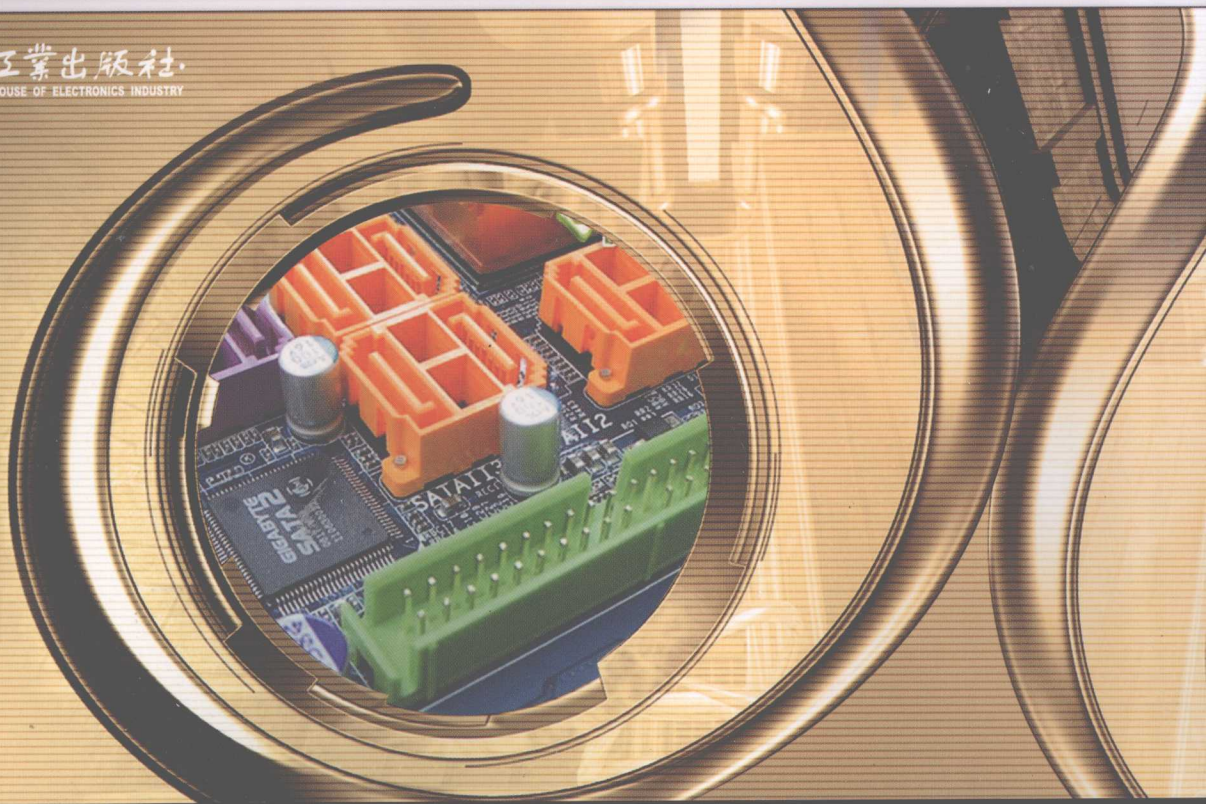
TMS320F2812 DSP原理 及其在运动控制 系统中的应用

◆ 谢青红 张筱荔 编著

<http://www.phei.com.cn>



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



嵌入式研发系列丛书

TMS320F2812 DSP原理及其 在运动控制系统中的应用

谢青红 张筱荔 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书介绍了美国 TI 公司最新推出的 TMS320F2812 DSP 芯片的原理及其在运动控制系统中的应用。前 5 章介绍了 TMS320F2812 DSP 芯片的总体结构及各个硬件功能模块;第 6 章介绍了一些常用的 DSP 编程实例;第 7~11 章分别介绍了 DSP 在机器人、汽车、电力电子、电机控制方面的应用,并阐述了利用 DSP 对各种控制对象进行控制的方法,结合每种控制原理和方法的介绍,给出了具体的编程实例和非常详细的程序注释。

本书可作为工业领域中从事电动机驱动、机器人、控制和电力电子技术的科研及工程技术人员的参考书,也可作为高等院校电力电子、自动控制、电气工程等专业的高年级本科生和硕士研究生的教学参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

TMS320F2812 DSP 原理及其在运动控制系统中的应用 / 谢青红, 张筱荔编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.10

(嵌入式研发系列丛书)

ISBN 978-7-121-09112-4

I. T… II. ①谢… ②张… III. 数字信号—信息处理系统 IV. TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 102223 号

策划编辑: 刘海艳

责任编辑: 李蕊

印刷: 北京市顺义兴华印刷厂

装订: 三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本: 787×1092 1/16 印张: 23.25 字数: 595.2 千字

印次: 2009 年 10 月第 1 次印刷

印数: 4000 册 定价: 45.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

自从 20 世纪 70 年代末 80 年代初 DSP 芯片诞生以来,它得到了飞速的发展。DSP 芯片的高速发展,一方面得益于集成电路技术的发展;另一方面也得益于十分巨大的市场。在近 30 年的时间里,DSP 芯片已经在信号处理、通信、电动机控制等许多领域得到了广泛的应用。再加上 DSP 芯片的价格越来越低,性价比日益提高,使其具有巨大的应用潜力。TI 公司最新推出的 TMS320F2812 数字信号处理器是目前控制领域最先进的处理器之一,在高精度伺服系统、机器人控制和电力电子技术等领域有广泛的应用,同时也是电动机等数字化控制产品升级的最佳选择。

TMS320F2812 是 TI 公司生产的一款用于控制的高性能、多功能、高性价比的 32 位定点 DSP 芯片。该芯片兼容 TMS320LF2407 指令系统,最高可在 150MHz 主频下工作,并带有 $18\text{K}\times 16$ 位零等待周期片内 SRAM 和 $128\text{K}\times 16$ 位片内 Flash (存取时间 36ns)。和许多其他种类 DSP 一样,TMS320F2812 采用经典的哈佛总线结构,利用多总线在存储器、外围模块和 CPU 之间转移数据。程序读总线有 22 根地址线和 32 根数据线,数据读/写线都是 32 位,这种多总线结构使得它可以在一个周期内并行完成取指令、读数据和写数据,同时它也采用了指令流水线技术,使得信号的处理速度明显提高。TMS320F2812 和 C/C++ 编译程序设计在一起,使程序员能够完全使用高级语言来开发控制应用,从而确保了实现代码编译的最高效率,可以大大减少软件设计的周期。

本书共 11 章,第 1~3 章分别介绍了 TMS320F2812 结构、系统控制、中断、存储器及扩展接口;第 4 章介绍了 F2812 的事件管理器各功能模块的原理与操作;第 5 章介绍了 F2812 的 ADC 模块的工作原理;第 6 章介绍了一些常用的 DSP 编程实例,包括数字 PID 控制,控制带串行端口的正弦波发生器,用 SPI 实现点对点通信,以及用 PWM 通道实现 D/A 转换;第 7 章系统的介绍了 RoboCup 中型组足球机器人的工作原理及 DSP 对其伺服电动机的控制;第 8 章讲述了汽车控制系统中 CAN 总线通信的 DSP 实现;第 9 章阐述了 SPWM 与 SVPWM 的生成原理及用 DSP 实现的具体方法;第 10、11 章讲述了对永磁同步电动机和无刷直流电动机的 DSP 控制。其中第 6~11 章给出了具体应用实例相应的程序代码。

本书的第 1、2、4、5、9~11 章由谢青红编写,第 3、6 章由张筱荔编写,第 7 章由黎浩编写,第 8 章由何金波编写,全书由谢青红统稿。同时参加本书编写的还有刘斌、苏昭晖、张延伟、吴勋、吴明强、任宁莉、孟宪军、王晓戎、张铭、乔曙光、李永战等老师。

由于本书编写仓促,作者水平有限,书中难免有错误和不足之处,望广大读者不吝指教。

作 者

目 录

第 1 章	TMS320F2812 结构及性能概述	1
1.1	TMS320F2812 性能概述	1
1.2	TMS320F2812 封装及引脚信号说明	4
1.2.1	TMS320F2812 的引脚分布	4
1.2.2	TMS320F2812 引脚功能和信号说明	6
1.3	TMS320F2812 CPU 内核结构	13
1.3.1	CPU 内核组成	13
1.3.2	CPU 主要特性	13
1.4	TMS320F2812 CPU 寄存器	14
1.4.1	累加器 (ACC、AH、AL)	15
1.4.2	被乘数寄存器 (XT)	16
1.4.3	结果寄存器 (P、PH、PL)	16
1.4.4	数据页指针 (DP)	17
1.4.5	堆栈指针 (SP)	18
1.4.6	辅助寄存器 (XAR0~XAR7 和 AR0~AR7)	18
1.4.7	程序计数器 (PC)	19
1.4.8	返回程序寄存器 (RPC)	19
1.4.9	中断控制寄存器 (IFR、IER、DBGIER)	19
1.4.10	状态寄存器 (ST0)	20
1.4.11	状态寄存器 (ST1)	22
1.5	TMS320F2812 的引导模式	25
第 2 章	TMS320F2812 系统控制及中断	30
2.1	时钟及系统控制	30
2.1.1	时钟	30
2.1.2	振荡器和锁相环	33
2.1.3	低功耗模式	34
2.1.4	看门狗模式	36
2.1.5	CPU 定时器	38
2.2	TMS320F2812 通用 I/O	41
2.2.1	多功能复用 GPIO	41
2.2.2	GPIO 寄存器	44
2.3	TMS320F2812 外设中断扩展	45
2.3.1	PIE 控制器概述	46

2.3.2	中断向量表	48
2.3.3	中断源	49
2.3.4	PIE 向量表	50
2.3.5	PIE 寄存器	54
第 3 章	TMS320F2812 存储器及扩展接口	57
3.1	内部存储空间	58
3.1.1	程序/数据存储器	58
3.1.2	保留空间	59
3.1.3	CPU 中断向量区	59
3.2	片内存储器总线接口	59
3.2.1	地址总线和数据总线	60
3.2.2	总线的特殊访问	61
3.3	片内 Flash 和 OTP 存储器	61
3.3.1	Flash 存储器	62
3.3.2	TMS320F2812 Flash 寻址空间分配	62
3.3.3	Flash 和 OTP 的性能	62
3.3.4	改变 Flash 配置寄存器步骤	63
3.3.5	Flash 和 OTP 寄存器	64
3.4	外部扩展接口	67
3.4.1	外部接口描述	67
3.4.2	访问外部接口	67
3.4.3	配置建立、激活及保持阶段周期	69
3.4.4	外部接口时序寄存器	71
3.4.5	XINTF 时序图	77
3.4.6	DMA 接口	80
3.5	外部接口的应用	81
3.5.1	外部接口初始化	82
3.5.2	实现断电后运行	82
第 4 章	事件管理器	87
4.1	事件管理器功能概述	87
4.1.1	事件管理器功能	87
4.1.2	F28x 事件管理器的增强特性	89
4.1.3	事件管理器的寄存器地址	90
4.2	通用定时器	91
4.2.1	通用定时器功能特性	92
4.2.2	通用定时器的计数操作	96

4.2.3	通用定时器的比较操作	100
4.2.4	通用定时器的 PWM 输出	103
4.3	全比较单元	104
4.4	PWM 电路	106
4.4.1	与比较相关的 PWM 电路	106
4.4.2	PWM 波形的产生	109
4.5	空间矢量 PWM	112
4.5.1	三相功率逆变电路	112
4.5.2	用基本空间矢量近似计算电动机电压	113
4.5.3	用事件管理器产生 SVPWM 波形	114
4.5.4	空间矢量 PWM 硬件	114
4.5.5	空间矢量 PWM 波形	115
4.5.6	未使用的比较寄存器	115
4.5.7	空间矢量 PWM 的边界条件	116
4.6	捕获单元	116
4.6.1	捕获单元概述	116
4.6.2	捕获单元的操作	118
4.6.3	捕获单元的 FIFO 堆栈	118
4.6.4	捕获单元的中断	119
4.7	正交编码脉冲 (QEP) 电路	119
4.7.1	QEP 电路概述	119
4.7.2	QEP 电路的编码操作	120
4.8	事件管理器中断	121
4.8.1	事件管理器中断概述	121
4.8.2	事件管理器中断请求和服务子程序	123
4.9	事件管理器寄存器	123
4.9.1	定时器寄存器	123
4.9.2	比较控制寄存器	129
4.9.3	比较方式控制寄存器	133
4.9.4	捕获单元寄存器	136
4.9.5	事件管理器中断标志寄存器	141
4.9.6	EV 扩展控制寄存器	151
第 5 章	模数转换器 (ADC)	153
5.1	ADC 模块的主要特点	153
5.2	自动转换排序器的工作原理	155
5.2.1	顺序采样模式	157
5.2.2	并发采样模式	157
5.2.3	并发采样双序列采样模式举例	159

5.2.4	并发采样级联序列采样模式举例	159
5.3	连续自动排序模式	160
5.3.1	排序器的启动/停止模式	162
5.3.2	并发采样模式	163
5.3.3	输入触发描述	163
5.3.4	排序器的中断操作	164
5.4	ADC 时钟预定标	165
5.5	低功耗模式	166
5.6	上电顺序	167
5.7	ADC 寄存器	167
5.7.1	ADC 控制寄存器	167
5.7.2	最大转换通道寄存器	172
5.7.3	自动排序状态寄存器	173
5.7.4	ADC 状态和标志寄存器	174
5.7.5	ADC 输入通道选择排序控制寄存器	175
5.7.6	ADC 转换结果缓冲寄存器	176
第 6 章	DSP 的简单应用举例	177
6.1	数字 PID 控制	177
6.1.1	数字 PID 控制理论概述	177
6.1.2	数字 PID 的改进算法	180
6.1.3	数字 PID 的编程例子	183
6.2	控制带串行端口的正弦波发生器	184
6.2.1	AD9833 介绍	185
6.2.2	系统设计	188
6.3	用 SPI 实现点对点通信	192
6.3.1	拓扑结构	192
6.3.2	SPI 实现点对点通信硬件电路	195
6.3.3	软件设计	197
6.4	用 PWM 通道实现 D/A 转换	200
6.4.1	基本原理	200
6.4.2	硬件设计	203
6.4.3	程序设计	203
6.4.4	实验结果	206
第 7 章	RoboCup 中型组足球机器人的 DSP 控制	208
7.1	RoboCup 足球机器人发展概述	208
7.1.1	RoboCup 足球机器人及其竞赛的由来和意义	208

7.1.2	国内机器人足球研究现状	209
7.2	RoboCup 中型组足球机器人系统介绍	209
7.2.1	RoboCup 中型组比赛系统基本机构	209
7.2.2	RoboCup 中型组足球机器人主要的功能特性和参数	213
7.2.3	RoboCup 中型组足球机器人结构描述	213
7.2.4	RoboCup 中型组足球机器人供电系统	214
7.2.5	RoboCup 中型组足球机器人踢球机构和拨球机构	215
7.2.6	RoboCup 中型组足球机器人视觉系统	218
7.2.7	RoboCup 中型组足球机器人控制平台	221
7.2.8	RoboCup 中型组足球机器人远程控制系统	224
7.2.9	RoboCup 中型组足球机器人电气连接示意图	225
7.3	RoboCup 中型组足球机器人 DSP 控制	227
7.3.1	RoboCup 中型组足球机器人的 DSP 控制原理	227
7.3.2	RoboCup 中型组足球机器人的 DSP 控制硬件设计	229
7.3.3	RoboCup 中型组足球机器人的 DSP 控制软件设计	232
第 8 章	汽车控制系统中 CAN 总线通信的 DSP 实现	238
8.1	CAN 总线技术在电动汽车中的应用和发展	238
8.2	CAN 总线控制系统的总体设计	240
8.2.1	TMS320F2812 的 CAN 网络和模块概述	240
8.2.2	CAN 数据链路控制	242
8.2.3	CAN 总线的速率与距离的关系	242
8.2.4	电动汽车 CAN 网络拓扑结构	243
8.2.5	硬件设计	243
8.2.6	软件设计	244
8.3	CAN 总线通信的 DSP 实现	246
8.3.1	CAN 模块初始化	246
8.3.2	CAN 模块的配置步骤	251
8.3.3	自测试调试	252
8.3.4	配置发送邮箱	256
8.3.5	配置接收邮箱	258
8.3.6	中断	260
8.3.7	中断处理	262
8.3.8	TMS320F2812 eCAN 调试技巧	267
第 9 章	SPWM 与 SVPWM 技术及 DSP 控制的实现	268
9.1	电压正弦 PWM 技术	268
9.1.1	SPWM 的基本思想	268
9.1.2	SPWM 的主电路和控制电路	269

9.1.3	SPWM 信号生成方法	270
9.1.4	SPWM 信号的调制方式	272
9.2	电压正弦 PWM 的 DSP 控制算法	273
9.2.1	自然采样法	274
9.2.2	对称规则采样法	275
9.2.3	不对称规则采样法	276
9.2.4	SPWM 的 DSP 编程例子	279
9.3	电压空间矢量 SVPWM 控制技术	283
9.3.1	电压矢量与磁矢量的关系	284
9.3.2	基本电压矢量	285
9.3.3	磁链轨迹 PWM 的控制算法	287
9.3.4	参考电压矢量所在区域的判断	288
9.3.5	开关持续时间的计算	290
9.4	SVPWM 在 DSP 中的实现	292
第 10 章	永磁同步电动机的 DSP 控制	298
10.1	永磁同步电动机控制系统的结构原理	298
10.1.1	永磁同步电动机的本体结构	299
10.1.2	位置传感器	299
10.1.3	控制模块	300
10.1.4	电力电子变流装置功率驱动模块	300
10.2	永磁同步电动机的数学模型	301
10.2.1	永磁同步电动机在静止坐标系 (ABC) 上的模型	301
10.2.2	永磁同步电动机在两相静止坐标系 ($\alpha\beta$) 上的模型	302
10.2.3	永磁同步电动机在旋转坐标系 (dq) 上的模型	304
10.3	永磁同步电动机的矢量控制	305
10.3.1	永磁同步电动机矢量控制基本原理	305
10.3.2	永磁同步电动机矢量控制策略	306
10.4	永磁同步电动机控制系统的 DSP 实现	309
10.4.1	系统结构	309
10.4.2	系统电流检测电路	310
10.4.3	采样结果校正	311
10.4.4	转子位置和速度的检测	313
10.5	永磁同步电动机控制系统的软件构成	315
10.5.1	IQmath 库函数介绍	315
10.5.2	软件设计	316
第 11 章	无刷直流电动机的 DSP 控制	332
11.1	无刷直流电动机的基本组成环节及工作原理	332

11.1.1	基本组成环节	332
11.1.2	基本工作原理	333
11.2	无刷直流电动机的数学模型	338
11.3	无刷直流电动机的 DSP 控制	340
11.3.1	三相无刷直流电动机的控制策略	340
11.3.2	控制系统硬件设计	340
11.3.3	控制系统软件设计	343
参考文献		359

01

第 1 章

TMS320F2812 结构及性能概述

TMS320F2812 是 TI 公司专门用于控制的一款高性能、多功能、高性价比的定点 32 位 DSP 处理芯片。该芯片与 TMS320LF2407 指令系统兼容,最高可以 150MHz 主频工作,并带有 18K×16 位零等待周期的片内 SRAM 和 128K×16 位片内 Flash (存取时间为 36ns)。该器件还有 3 个独立的 32 位 CPU 定时器,以及 56 个可独立编程的 GPIO 引脚,还可外扩大于 1M×16 位程序和数据存储器。该芯片片上外设主要包括 16 路 12 位精度的 ADC (最快 80ns 转换时间)、2 路 SCI (SCIA 和 SCIB)、1 路 SPI、1 路 McBSP、1 路 eCAN,以及两个事件管理模块 (EVA 和 EVB) 等。每个事件管理模块包括 6 路 PWM/CMP、2 路 QEP、3 路 CAP 和 2 路 16 位的定时器。

器件所集成的多种先进的外设,为各类电动机控制及其他运动控制系统等领域的应用提供了良好的平台。而且指令和代码同 TI 公司 F24X 系列数字信号处理器完全兼容,项目或产品设计的可延续性得到了保障。和现在许多其他种类数字处理器一样,TMS320F2812 采用经典的哈佛总线结构。程序读总线有 32 根数据线和 22 根地址线,数据读/写线都是 32 位的,这种多总线结构使得它可以在 1 个周期内同时完成取指令、读数据和写数据,而采用了指令流水线技术,使得信号的处理速度得到明显提高。

为使程序员能够完全使用高级语言来开发该芯片,TMS320F2812 和 C/C++ 编译程序设计在一起,可以大大缩短软件设计的周期,从而确保了实现代码编译的最高效率。

1.1 TMS320F2812 性能概述

1. TMS320F2812 DSP 芯片主要性能特点

(1) 高性能静态 CMOS (Static CMOS) 技术

- 主频可达 150MHz (时钟周期 6.67ns);
- 低功耗 (内核电压为 1.8V 时,芯片最高运行频率为 135MHz,内核电压为 1.9V 时,芯片最高运行频率为 150MHz, I/O 引脚电压为 3.3V);

- 3.3V 的 Flash 编程电压。
- (2) 支持 JTAG 边界扫描 (Boundary Scan)
- (3) 高性能的 32 位中央处理器
- 支持 16 位 $\times$ 16 位和 32 位 $\times$ 32 位乘法累加操作;
- 2 个 16 位 $\times$ 16 位的乘法累加器;
- 可操作性强;
- 采用哈佛总线结构;
- 统一的寄存器编程模式;
- 快速的中断响应和处理;
- 4MB 的线性程序地址和数据地址;
- 代码效率高 (可用 C/C++ 或汇编语言);
- 与 TMS320F24x/LF240x 系列处理器的源代码兼容。
- (4) 片内存储器
- 16 位 128K 的 Flash 存储器 (4 个 16 位 8K 和 6 个 16 位 16K 的存储区间);
- 16 位 128K 的 ROM;
- 16 位 1K 的 OTP ROM;
- 2 块 16 位 4K 的 SARAM (L0 和 L1);
- 1 块 16 位 8K 的 SARAM (H0);
- 2 块 16 位 1K 的 SARAM (M0 和 M1)。
- (5) 引导 ROM (16 位 4K 的存储区间)
- 软件引导模式;
- 标准的数学表。
- (6) 外部存储器接口
- 多达 1MB 的存储器空间;
- 具有可编程等待状态;
- 具有可编程读/写选通计数器;
- 具有 3 个独立的片选端。
- (7) 时钟与系统控制
- 支持动态改变锁相环 (PLL) 的频率;
- 片内振荡器;
- 看门狗定时器模块。
- (8) 3 个外部中断引脚
- (9) 外部中断扩展 (PIE) 模块
- 可支持多达 96 个外部中断, 当前仅使用了 45 个外部中断。
- (10) 3 个 32 位的 CPU 定时器
- (11) 电动机控制外围设备
- 事件管理器 EVA 和 EVB;

- 指令和代码与 240xA 兼容。
- (12) 串行接口外围设备
 - 串行外围设备接口 (SPI);
 - 标准 UART 的 2 个串行通信接口 (SCI);
 - 增强的局域网络 (eCAN);
 - 串行外围接口模式的多通道缓冲串行接口 (McBSP)。
- (13) 16 通道 12 位的 A/D 转换器
 - 16 通道的多路输入选择器;
 - 2 个采样保持器;
 - 单/连续通道转换;
 - 可达 60ns 的快速转换时间。
- (14) 56 个独立的可编程通用输入/输出 (GPIO) 引脚
- (15) 先进的仿真调试特性
 - 具有分析和设置断点的功能;
 - 能实时硬件调试。
- (16) 开发工具
 - ANSI C/C++编译器/汇编程序/连接器;
 - 与 TMS320C24x/240x 指令兼容;
 - 代码编辑集成环境 (CCS);
 - DSP/BIOS;
 - JTAG 扫描控制器。
- (17) 低功耗模式和节能模式
 - 支持模式有空闲模式、等待模式、悬挂模式;
 - 可关断单个外围时钟。
- (18) 封装
 - 179 引脚 BGA;
 - 176 引脚 PGF LQFP。
- (19) 温度选择
 - A: $-40\sim+85^{\circ}\text{C}$;
 - S: $-40\sim+125^{\circ}\text{C}$ 。

2. TMS320x281x 系列不同型号 DSP 的区别

(1) F 系列 DSP 和 C 系列 DSP 的区别

TI 公司 TMS320F281x 系列 DSP 带有 Flash 存储器, 而 TMS320C281x 系列 DSP 不带 Flash 存储器。另外 F 系列中的一次性可编程 (OTP) ROM 在 C 系列中改成了 ROM。若采用 TMS320C281x 编写程序, 则必须在软件开发完成后将代码交付给生产厂商, 在出厂前将程序固化进 TMS320C281x 的 ROM。而 TMS320F281x 系列 DSP 程序存储器可重复编

程、反复擦写，在产品开发阶段用起来比较方便。因此使用 TMS320F281x DSP 可降低生产成本，非常适用于产品研发阶段。

(2) TMS320F2812、TMS320F2811 和 TMS320F2810 之间的区别

- 三款 DSP 芯片中只有 TMS320F2812 有外部存储器接口，其他没有；
- TMS320F2812 和 TMS320F2811 的 Flash 区间为 128KB，而 TMS320F2810 仅 64KB。

TI 公司近年还推出了 TMS320F2808、TMS320F2806 和 TMS320F2801 等系列 DSP，其引脚数、工作频率及内部资源等均较 TMS320F2812/2810 有所降低，以降低成本，不过体系结构和 TMS320F2812/2810 基本类似。

综上所述，TMS320F2812 和 TMS320F2810 两款 DSP 芯片片内资源丰富、性能强大、开发方便，在国内得到了广泛应用。

1.2 TMS320F2812 封装及引脚信号说明

1.2.1 TMS320F2812 的引脚分布

128 引脚 PBK 封装顶视图如图 1-1 所示，176 引脚 PGF 封装顶视图如图 1-2 所示，179 引脚 GHF 封装底视图如图 1-3 所示。

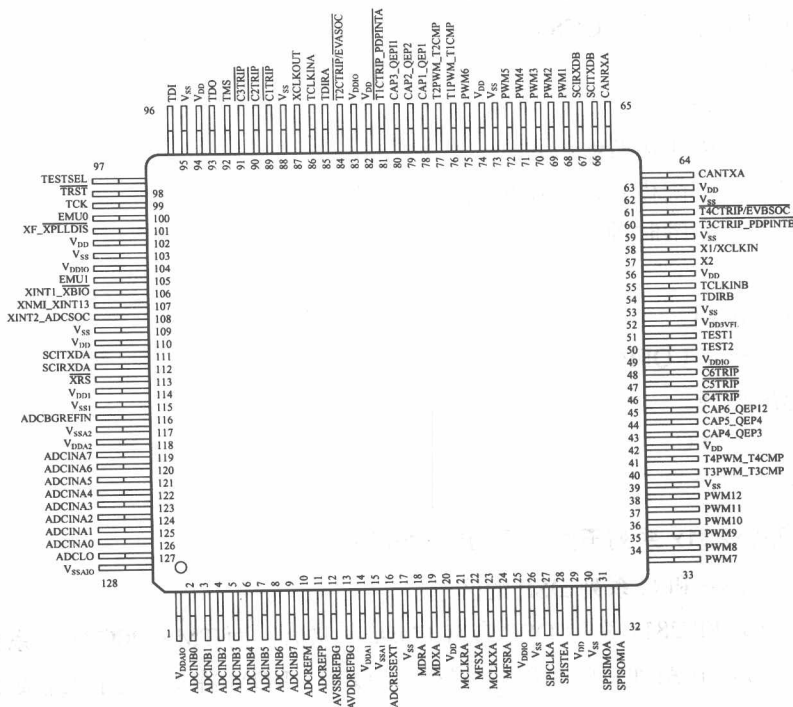
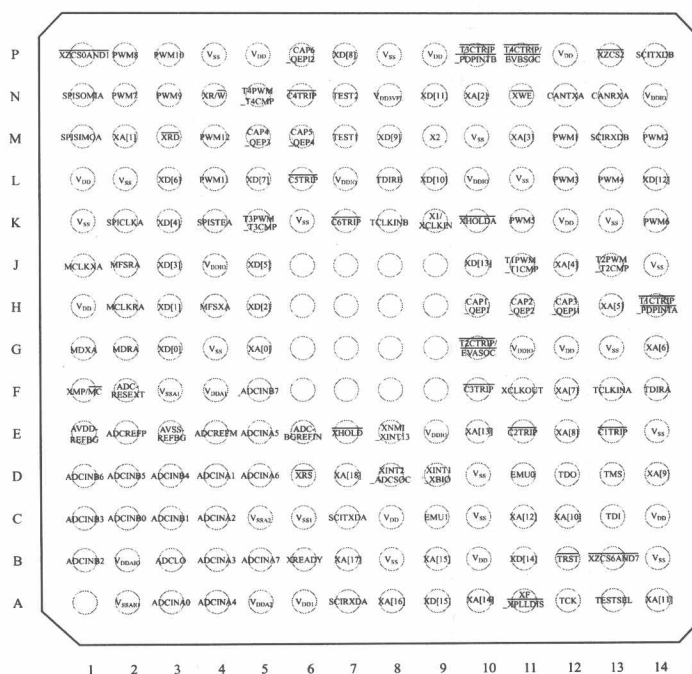
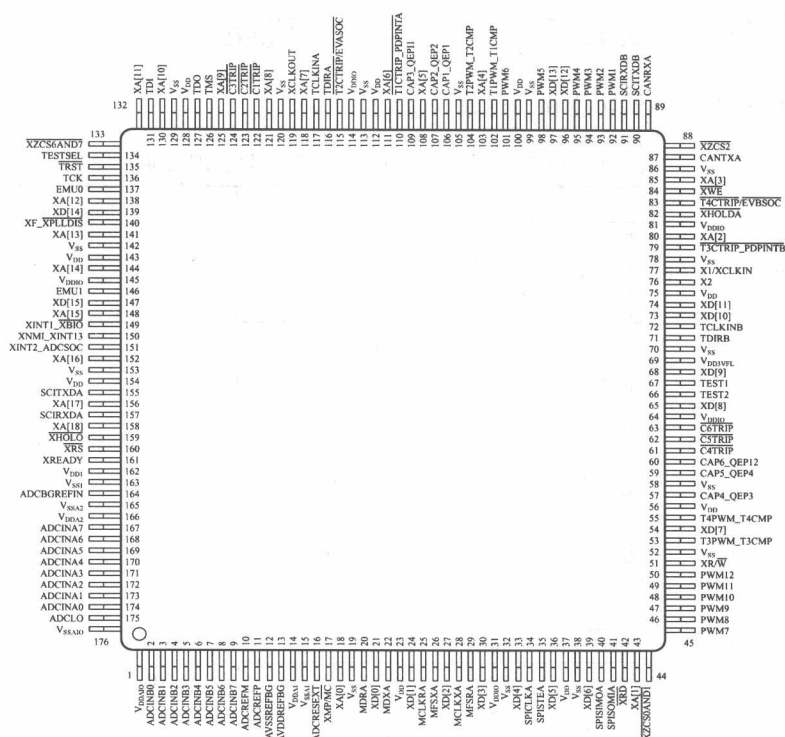


图 1-1 128 引脚 PBK 封装顶视图



1.2.2 TMS320F2812 引脚功能和信号说明

TMS320F2812 的引脚功能和信号情况见表 1-1。

表 1-1 TMS320F2812 引脚功能和信号情况说明^①

名 字	引 脚 号			I/O/Z®	PU/PD®	说 明
	179 针 GHH 封装	176 针 PGF 封装	128 针 PBK 封装			
XINTF 信号（只限于 F2812）						
XA[18]	D7	158	—	O/Z	—	19 位 XINTF 地址总线
XA[17]	B7	156	—	O/Z	—	
XA[16]	A8	152	—	O/Z	—	
XA[15]	B9	148	—	O/Z	—	
XA[14]	A10	144	—	O/Z	—	
XA[13]	E10	141	—	O/Z	—	
XA[12]	C11	138	—	O/Z	—	
XA[11]	A14	132	—	O/Z	—	
XA[10]	C12	130	—	O/Z	—	
XA[9]	D14	125	—	O/Z	—	
XA[8]	E12	121	—	O/Z	—	
XA[7]	F12	118	—	O/Z	—	
XA[6]	G14	111	—	O/Z	—	
XA[5]	H13	108	—	O/Z	—	
XA[4]	J12	103	—	O/Z	—	
XA[3]	M11	85	—	O/Z	—	
XA[2]	N10	80	—	O/Z	—	
XA[1]	M2	43	—	O/Z	—	
XA[0]	G5	18	—	O/Z	—	
XD[15]	A9	147	—	I/O/Z	PU	16 位 XINTF 数据总线
XD[14]	B11	139	—	I/O/Z	PU	
XD[13]	J10	97	—	I/O/Z	PU	
XD[12]	L14	96	—	I/O/Z	PU	
XD[11]	N9	74	—	I/O/Z	PU	
XD[10]	L9	73	—	I/O/Z	PU	
XD[9]	M8	68	—	I/O/Z	PU	
XD[8]	P7	65	—	I/O/Z	PU	
XD[7]	L5	54	—	I/O/Z	PU	
XD[6]	L3	39	—	I/O/Z	PU	
XD[5]	J5	36	—	I/O/Z	PU	
XD[4]	K3	33	—	I/O/Z	PU	
XD[3]	J3	30	—	I/O/Z	PU	
XD[2]	H5	27	—	I/O/Z	PU	
XD[1]	H3	24	—	I/O/Z	PU	
XD[0]	G3	21	—	I/O/Z	PU	