



“十三五”普通高等教育规划教材

DSP YINGYONG SHEJI YU SHIJIAN KAIFA

DSP应用设计与实践开发

——TMS320F28x系列

陈孟元 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



配套课件



“十三五”普通高等教育规划教材

DSP应用设计与实践开发

——TMS320F28x系列

主 编 陈孟元
副主编 戴文俊 方愿捷
编 写 钱田义 汪 鹏 袁 苑 王君洪
主 审 凌有铸



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育规划教材。

全书共分为12章, 主要内容包括 TMS320F281x 概述, TMS320F2812 内部结构, TMS320F2812 片内外设模块, TMS320F281x 寻址方式与指令系统, TMS320F281x 的 C 语言设计, CCS3.3 集成调试环境, TMS320F2812 实验实训开发系统, TMS320F2812 实验实训开发系统 PCB 板设计, 电路的装配、焊接与调试, TMS320F2812 实验实训开发系统实验指导, 基于 TMS320F2812 的开发实例, STC12C5A32S2 实验开发板设计与实现。

本书可作为普通高等教育自动化技术、电子信息技术等专业课程教材, 也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

DSP 应用设计与实践开发: TMS320F28x 系列/陈孟元主编. —北京: 中国电力出版社, 2016. 7

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-5123-8507-8

I. ①D… II. ①陈… III. ①数字信号处理—高等学校—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 049787 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 7 月第一版 2016 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 24.5 印张 602 千字

定价 49.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

DSP 应用设计是一门实践性很强的课程,同时又涉及多个知识面,比如 C 语言程序设计、汇编语言程序设计、数字信号处理算法实现等,具有综合性强的特点。课本涉及的知识只有通过开放实验、实习实训、课程设计或科研活动等实践环节才能加深理解和掌握。DSP 实验设备主要是美国 TI 公司提供的 DSK 开发板和国内公司提供的实验箱、实验板等开发平台,价格普遍由几百到几千元不等。这些实验平台能够提供给使用者代码、实验指导等,但是大部分的开发平台只能让使用者根据实验步骤进行实验查看结果,或者按照使用说明修改参数和设置,很难再去根据使用者自己的想法完成其他实验,例如将自己设计的模块与最小系统的连接,在现有的开发平台上很难实现。这些往往正是提高学生实践能力、激发创新能力的一种重要途径。

作者近年来一直积极开展产学研活动,合作研制、开发新产品和进行技术改造,取得了良好的社会效益和经济效益。作者考虑将最新的科研成果及时地融入教学实践中,基于在项目上取得的经验,将项目中制作的控制板改进为通用性更好的实验实训板,通过学生的制作和调试完成实验实训任务。对于这样的实训装置,由于所有接口和器件的引脚都对使用者开放,学生可以在完成它的基本实验后,自行连接各种外置模块,根据自己的具体情况进行设计性实验。与原有的 DSP 实验设备相比,教师更熟悉自制装置的硬件配置和资源,可以更好地指导学生。对于那些学有余力并且愿意参与到教师科研项目中的学生,通过这样的实验实训装置,可以让学生完成一些接近于教师科研课题的综合性实验。同时通过认识实习、电工电子实习、课程实验、课程设计、综合性实验、毕业设计等环节,在老师的指导下,完成 DSP 实验实训板原理图和 PCB 版的绘制和焊接调试,增强动手能力和创新能力的培养,突出了课程实践性和技术性的特点。

本书以 TMS320F2812 微控制器在工程应用中所需要的知识点为基础,突出 TMS320F2812 微控制器应用的基本方法,以实例为模板,叙述简洁清晰,工程性强,提供了完整的示例程序代码,可以作为工程技术人员进行 TMS320F2812 微控制器应用设计与开发的参考书。

随着全国大学生电子设计竞赛的深入和发展,竞赛题目所要求的深度、难度都有很大的提高,竞赛规则与要求也出现了一些变化,如对微控制器选型的限制等。除单片机外,ARM、DSP、FPGA 等高性能的微控制器及最小系统也开始在电子设计竞赛中得到应用。本书也可以作为高等院校自动化、电气工程等涉电相关专业学生在参加电子设计竞赛前针对 TMS320F2812 嵌入式控制器的培训教材。

本书配套的 TI-F2812-DSP 实验实训系统,是作者 2010 年研制成功并连续使用 6 年,期间多次对其进行了升级和改造。这些实验实训系统基于模块化设计思路,载板、核心板与外设单元之间相对独立,可插拔设计,且核心板各引脚采用插孔方式引出。使用者可以自

行设计并连接组成外设单元模块不同的 DSP 应用系统,方便地对自主研究开发的应用系统进行可行性和正确性测试,便于扩展功能和系统升级。已经获批相关知识产权“一种基于 DSP2812 实验开发板”(201420119526.7)、“基于 STC12C5A32S2 的开发板”(201520439398.9),本书所有示例程序均在此实验实训系统中通过验证。

本书在附录部分收录了该实验实训系统原理图、PCB 图、工具清单等,供学习者对照安装调试。需要具体电路板及相关配套元器件的也可以与作者联系,希望可以为读者的学习和参考提供更多的方便。

本书共享的相关资料,包括所有实例的 C 语言程序代码、Flash 烧写所需相关资源及常用的一些调试软件等,可以加入 QQ 群 450145648 自行下载、交流。

本书由安徽工程大学陈孟元担任主编,戴文俊、方愿捷担任副主编。第 5 章由戴文俊、陈孟元编写,第 8、9 章由方愿捷、陈孟元编写,其余章节由陈孟元编写。全书由陈孟元负责统稿,钱田义、汪鹏对书中的示例程序进行验证,袁苑、王君洪对本书部分书稿进行校对。安徽工程大学凌有铸教授对全书进行了审阅。本书在编著过程中,得到了安徽工程大学电气工程学院许多老师的大力帮助,也参阅了许多国内外出版社的相关著作和资料,在此一并表示衷心感谢。

本书是对安徽工程大学电气工程学院“自动化”与“电子信息工程”等专业“卓越工程师”培养方法的探索和实践,得到安徽省自动化专业校企合作实践基地(2012sjjd022)、安徽省优秀教学成果推广项目(2013cgtg015)、安徽工程大学教学研究项目(2013jyxm11)等项目资助,在此表示感谢。同时感谢安徽省电气传动与控制重点实验室团队对本书编著所做的大量工作与支持,本书也是该实验室师生多年来承担相关教学和科研实践的成果。

目前国内还没有类似正式出版的同类著作,鉴于作者学术水平有限,本书体系结构与内容不足之处在所难免,且是否适合不同院校不同涉电类专业的学生还有待实践检验。因此敬请各位读者批评指正。

作者通信地址:安徽省芜湖市北京中路安徽工程大学电气工程学院,邮编 241000;
E-mail: mychen@ahpu.edu.cn。

陈 孟 元

2016 年 3 月于安徽工程大学

目 录

前言

第 1 章 TMS320F281x 概述	1
1.1 DSP 概述	1
1.2 TMS320F281x 系列芯片及主要性能	4
1.3 本书的特色	18
第 2 章 TMS320F2812 内部结构	21
2.1 TMS320F2812 的 CPU	21
2.2 TMS320F2812 的存储器	24
2.3 TMS320F2812 的时钟和系统控制	26
2.4 TMS320F2812 的通用输入/输出 (GPIO) 多路复用器	34
2.5 TMS320F2812 的中断系统	36
第 3 章 TMS320F2812 片内外设模块	41
3.1 TMS320F2812 的事件管理器 (EV)	41
3.2 TMS320F2812 的串行通信接口 (SCI)	58
3.3 TMS320F2812 的串行外设接口 (SPI)	73
3.4 TMS320F2812 的 eCAN 总线模块	76
3.5 TMS320F2812 的模数转化模块 (ADC)	78
第 4 章 TMS320F281x 寻址方式与指令系统	86
4.1 寻址方式选择位 (AMODE)	86
4.2 TMS320F281x 的寻址方式	86
4.3 TMS320F281x 指令集	92
4.4 汇编源程序	106
第 5 章 TMS320F281x 的 C 语言设计	108
5.1 C 语言程序编写	108
5.2 重要工程文件	114
5.3 C 语言和汇编混合编程	119
第 6 章 CCS3.3 集成调试环境	125
6.1 CCS3.3 的安装与配置	125
6.2 CCS3.3 集成调试环境主要菜单及功能	131
6.3 CCS3.3 的应用	132

第 7 章 TMS320F2812 实验实训开发系统	136
7.1 TMS320F2812 实验实训开发系统的主要功能及资源	136
7.2 TMS320F2812 实验实训开发系统硬件设计	137
第 8 章 TMS320F2812 实验实训开发系统 PCB 板设计	145
8.1 开发工具 Protel 99se	145
8.2 TM320F2812 实验实训开发系统元器件封装	149
8.3 TM320F2812 实训开发板网络表	166
8.4 元器件布局与布线	167
第 9 章 电路的装配、焊接与调试	171
9.1 元器件装配工艺	171
9.2 手工焊接	175
9.3 电路调试技术	179
第 10 章 TMS320F2812 实验实训开发系统实验指导	183
实验一 GPIO 应用: 流水灯实验	183
实验二 GPIO 应用: 蜂鸣器实验	185
实验三 GPIO 应用: 独立按键扫描实验 (流水灯观察)	187
实验四 GPIO 应用: 12864 液晶显示实验	191
实验五 GPIO 应用: 四位数码管显示实验	207
实验六 GPIO 应用: E ² PROM (IIC) 实验 (寄存器观察)	212
实验七 外部中断实验 (流水灯观察)	223
实验八 CPU 定时器应用实验 (点亮流水灯观察)	226
实验九 USB 转串口实验 (SCIA) (串口调试助手)	229
实验十 直流电机驱动实验	233
实验十一 步进电机驱动实验	237
实验十二 A/D 转换实验	243
实验十三 时间信息显示实验 (通过数码管显示)	247
实验十四 温度信息的采集实验 (通过液晶屏显示)	255
实验十五 串口通信实验 (SCIB) (无线传输)	275
实验十六 片内 Flash 运行实验	282
第 11 章 基于 TMS320F2812 的开发实例	284
11.1 DSP 系统的设计与开发	284
11.2 基于网络结构的多电机交流伺服系统硬件设计	285
11.3 基于网络结构的多电机交流伺服系统软件设计	296
11.4 实验结果与分析	303
第 12 章 STC12C5A32S2 实验开发板设计与实现	306
12.1 STC12C5A32S2 实验开发板元器件封装	306
12.2 STC12C5A32S2 实验开发板实验指导	316

实验一	定时器实验 (2 学时)	316
实验二	单片机 I/O 口控制实验 (2 学时)	318
实验三	蜂鸣器驱动实验 (2 学时)	320
实验四	LCD 液晶显示实验 (2 学时)	321
实验五	按键测试实验 (1 学时)	323
实验六	四位数码管显示实验 (2 学时)	325
实验七	温度显示实验 (2 学时)	328
实验八	LCD 屏温度及电子万年历显示实验 (2 学时)	335
实验九	L298N 驱动直流电机实验 (2 学时)	351
实验十	Zigbee 发送接收实验 (2 学时)	354
附录 1	TMS320F2812 实验实训开发系统核心板原理图	371
附录 2	TMS320F2812 实验实训开发系统底板原理图	372
附录 3	TMS320F2812 实验实训开发系统核心板 PCB	373
附录 4	TMS320F2812 实验实训开发系统底板 PCB	374
附录 5	实验工具清单	375
附录 6	TMS320F2812 实验实训开发系统核心板元件明细表	376
附录 7	TMS320F2812 实验实训开发系统底板元件明细表	377
附录 8	实验实训板考核表	379
附录 9	STC 实验实训板原理图	381
附录 10	STC12C5A32S2 实验实训板元件明细表	382
参考文献		384

第1章 TMS320F281x 概述

1.1 DSP 概述

数字信号处理 (Digital Signal Processing, DSP) 技术是指理论上的技术, 而数字信号处理器 (Digital Signal Processor) 是针对数字信号处理的需求而设计的一种可编程的单片机, 也称为 DSP 芯片。因此 DSP 既可以代表数字信号处理技术, 也可以代表数字信号处理器, 两者是不可分割的, 前者要通过后者变成实际产品, 两者结合起来就成为解决实际问题 and 实现方案的手段。本书所涉及的内容为如何利用通用或专用数字信号处理芯片, 通过数字计算的方法对信号进行处理的方法和技术, 研究内容为 DSP 的结构和特点, 如何通过程序编写实现对数字信号的处理。

以 DSP 为核心的 DSP 系统在数字信号处理中有着巨大的优势, 但 DSP 在数字信号处理器的应用领域并不是唯一的。从 TI 第一颗 DSP 诞生至今 30 多年, 成就了无数辉煌。同时, 它的发展也正面临着来自 FPGA、ARM 的挑战。在微处理器领域, 随着 FPGA、ARM 向 DSP 应用领域的渗透逐渐扩展和加速, 其竞争在日益加剧。它们都有自己的优点, 下文主要讲述 DSP 与 MCU、ARM 以及 FPGA 的主要区别与联系。

MCU 是一种集成在电路的芯片, 是采用超大规模集成电路技术把具有数据处理能力的中央处理器 CPU、随机存储器 RAM、只读存储器 ROM、多种 I/O 口和中断系统、定时/计时器等功能 (可能还包括显示驱动电路、脉宽调制电路、模拟多路转换、A/D 转换器等) 集成到一块硅片上构成的一个小而完善的计算机系统, 是为中、低成本控制领域而设计和开发的。MCU 的位控能力强, I/O 接口种类繁多, 片内外设和控制功能丰富、价格低、使用方便, 但与 DSP 相比, 处理速度较慢。DSP 具有的高速并行结构及指令、多总线, MCU 却没有。DSP 处理的算法复杂度和大的数据处理流量更是 MCU 不可企及的。DSP 能够高速、实时地进行数字信号处理运算, 其特点是乘/加及反复相乘求和 (乘积累加)。DSP 与 MCU 相比, 在内部功能单元并行、多 DSP 核并行、速度快、功耗小、完成各种 DSP 算法方面尤为突出。在过去的几十年里, MCU 的广泛应用实现了简单的智能控制功能。随着信息化的进程和计算机科学与技术、信号处理理论与方法等的迅速发展, 使其需要处理的数据量越来越大, 对实时性和精度的要求越来越高, 低档 MCU 已不再能满足要求。近年来, 各种集成化的单片 DSP 的性能得到很大改善, 软件和开发工具也越来越多、越来越好, 价格却大幅度下滑, 于是越来越多的 MCU 用户开始选用 DSP 来提高产品性能。在要求成本控制比较严格、对性能要求不是很高的系统控制应用设计中, 选择使用 MCU 的优势还是比较明显的。

很多读者原先对 MCU 已经有所了解。为了更清楚地说明 DSP 芯片的特点, 表 1-1 给出了 DSP 和 MCU 在几个方面的比较。

表 1-1DSP 和 MCU 的比较

项目		DSP	MCU	DSP 的优点
结构和指令系统	总线结构	哈佛结构或改进型哈佛结构	冯·诺依曼结构	消除总线瓶颈，加快运行速度
	乘法累加算法	利用专门的硬件乘法器，单指令即可实现	没有硬件乘法器，多指令实现	减少所需指令周期数
	位倒序寻址	利用硬件数据指针，实现逆序寻址	普通寻址	减少 FFT 运行寻址时间
	指令运行方式	“流水线”方式，允许程序与数据存储器同时访问	顺序执行	显著提高运算速度
	多处理系统	提供具有很强同步机制的互锁指令	无专用指令	保证了高速运算中的通信以及运算结果的完整性
应用领域		主要用于较为复杂的高速数字信号处理领域，例如通信编码、视频图像处理、语音处理、雷达处理、多电动机的伺服控制等	主要用于简单的系统控制或事务处理，例如简单的测试系统、低档电子玩具控制、简单的电动机控制和家用电器控制等	适合于要求高速数据运算处理的应用场合
价格		较贵	较廉	—

ARM 是 Advanced RISC（精简指令集）Machines 的缩写，它既可以认为是一个公司的名字，也可以认为是对一类微处理器的通称，还可以认为是一种技术的名字。1990 年，ARM 公司成立于英国剑桥，是专门从事基于 RISC 技术芯片设计开发的公司，作为知识产权供应商，设计了大量高性能、耗能低的 RISC 处理器相关技术及软件。ARM 本身不直接从事芯片生产，而是转让设计许可。世界各大半导体生产商从 ARM 公司购买其设计的 ARM 微处理器核，根据各自不同的应用领域，加入适当的外围电路，从而形成自己的 ARM 微处理器芯片进入市场。目前，全世界有几十家半导体公司都获得 ARM 公司的授权，因此既使得 ARM 技术获得更多的第三方工具、制造、软件的支持，又使整个系统成本降低，使产品更容易进入市场被消费者所接受，更具有竞争力。目前，采用 ARM 技术知识产权（IP）核的微处理器，即通常所说的 ARM 微处理器，已遍及工业控制、消费类电子产品、通信系统、网络系统、无线系统等各类产品市场，约占据了 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额。ARM 具有比较强的事务管理功能，可以用来跑界面以及应用程序等，其优势主要体现在控制方面；而 DSP 主要是用来计算的，比如进行加密解密、调制解调等，其优势是强大的数据处理能力和较高的运行速度。

FPGA 是 Field Programmable Gate Array（现场可编程门阵列）的缩写，是在 PAL（Programmable Array Logic，可编程阵列逻辑）、GAL（Generic Array Logic，通用阵列逻辑）、PLD（Programmable Logic Device，可编程逻辑器件）等可编程器件的基础上发展起来的，是专用集成电路中集成度最高的一种，是一种半定制专用集成电路。它的出现既解决了全定制 ASIC 的不足，又克服了原有 PLD 电路数有限的缺点。FPGA 采用了逻辑单元阵

列 LCA (Logic Cell Array) 这样一个新概念, 内部包括可配置逻辑模块 CLB (Configurable Logic Block)、输出输入模块 IOB 和内部连线 3 个部分。用户可对 FPGA 内部的逻辑模块和 I/O 模块重新配置, 以实现用户的逻辑。它还具有静态可重复编程和动态在系统重构的特性, 使得硬件的功能可以像软件一样通过编程来修改。作为专用集成电路领域中的一种半定制电路, FPGA 既解决了定制电路的不足, 又克服了原有可编程器件门电路数有限的缺点。用户可以通过传统的原理图输入法或是硬件描述语言自由地设计一个数字系统, 可以通过软件仿真事先验证设计的正确性, 在 PCB 完成以后, 还可以利用 FPGA 的在线修改能力随时修改设计而不必改动硬件电路。使用 FPGA 来开发数字电路可以大大缩短设计时间, 减少 PCB 面积, 提高系统的可靠性。FPGA 是由存放在片内 RAM 中的程序来设置其工作状态的, 因此工作时需要对片内的 RAM 进行编程。用户可以根据不同的配置模式采用不同的编程方式。加电时, FPGA 芯片将 EPROM 中数据读入片内 RAM 中, 配置完成后 FPGA 进入工作状态。掉电后, FPGA 恢复成白片, 内部逻辑关系消失, 因此, FPGA 能够反复使用。FPGA 的编程无需专用的 FPGA 编程器, 通用的 EPROM、PROM 编程器即可。当需要修改 FPGA 功能时, 只需换一片 EPROM 即可。这样, 同一片 FPGA、不同的编程数据, 可以产生不同的电路功能。因此, FPGA 的使用非常灵活。可以说, FPGA 芯片是小批量系统提高系统集成度、可靠性的最佳选择之一。FPGA 可以用 VHDL 或 Verilog HDL 来编程, 灵活性强, 由于能够进行编程、除错、再编程和重复操作, 因此可以充分地进行设计开发和验证。电路有少量改动时更能显示出 FPGA 的优势, 其现场编程能力可以延长产品在市场上的寿命, 而这种能力可以用来进行系统升级或除错。FPGA 的最大优势在于硬件实现以及通过并行处理实现的效率增益。使用 FPGA 时, 大多的时间并非进行算法设计与优化, 而是逻辑设计与时序约束等。DSP 编程速度快、方便, 适合做算法验证, 如果想用好 DSP, 那么大部分时间都在做算法与语言优化工作。FPGA 编程速度慢, 实现麻烦, 不适合做算法验证, 但是一旦实现后可进行流水线操作, 延时非常低。

由此可见, 通过比较 DSP 与 MCU、ARM 以及 FPGA, 各自的优缺点十分明显, 所以在一些复杂的应用场合中, 如音视频处理、移动通信或者整个通信行业等大量信号处理的工程项目中, 往往采用多个处理器同时运行的模式, DSP、MCU、ARM 以及 FPGA 都有可能用到, 各自发挥优势, 共同完成一个复杂系统的设计要求。对于现在需求的新系统, 比如实时视频传输等, 它们独自实现都存在着一定的不足, 所以根据它们的特点, 由 DSP 和 FPGA 结合而成的混合式方案常常能够为高性能多处理应用提供最好的方案, 使每个器件都发挥其作用。FPGA 做逻辑控制, DSP 做算法; 如果算法不是很占资源的, 也可直接用 FPGA 来做。FPGA+DSP 的最大特点是结构灵活, 有很强的通用性, 适用于模块化设计, 从而能够提高算法的效率; 又由于开发周期较短, 系统易于维护和扩展, 适用于实时信号处理。在实时信号处理中, 低层信号预处理算法所处理的数据量大, 对处理的速度要求高, 但运算结构相对比较简单, 适用于 FPGA 硬件实现, 这样同时兼顾速度和灵活性。高层处理算法的特点是所处理的数据量较低层算法少, 但算法的控制结构复杂, 适合于用运算速度高、寻址方式灵活、通信机制强大的 DSP 来实现。FPGA 和 DSP 是两项互补的技术, 而不是互相竞争的对手。例如在交流伺服控制器的设计中, 采用 FPGA+DSP 的控制方法, DSP 和 FPGA 功能模块的划分的原则是: 高速、周期性强的信号由 FPGA 实现, 如码盘、霍尔、键盘的定时扫描, 显示器的动态刷新, 保护电路的快速锁存。这些信号如果由 DSP 完成势

必占用 CPU 的大量时间和资源。按不同的功能模块由 FPGA 的不同进程实现,既提高了系统的实时性,又方便了软件的编制和系统维护。模拟信号、交流伺服控制算法实现和串行总线的信息交互由 DSP 完成。具体功能的划分是: FPGA 完成 I/O 接口扩展、键盘的扫描、显示器的动态刷新、霍尔信号检测、码盘信号的读取、保护信号的处理等功能; DSP 完成算法的实现、PWM 信号的输出和模拟信号的检测等。

1.2 TMS320F281x 系列芯片及主要性能

1.2.1 概述

目前生产 DSP 芯片的公司有 TI、Motorola (代表型号 MC96002)、ADI (代表型号 AD2100)、微芯、Lucent、NEC 等。

TI 公司的 DSP 产品已经成为当今世界最有影响力的 DSP 芯片,其市场占有率占世界份额的 50% 左右,为最大的 DSP 芯片供应商。TI 公司应用最广泛的三大系列 DSP 芯片为 TMS320C2000 系列、TMS320C5000 系列和 TMS320C6000 系列,如图 1-1 所示。

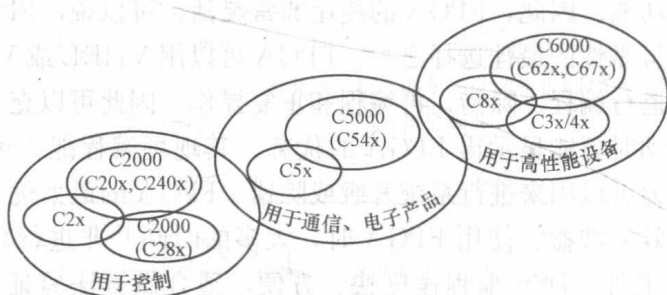


图 1-1 TMS320 DSP 的三大主要系列

1. TMS320C2000 系列

该系列芯片是为控制领域优化设计的,主要是 16 位和 32 位定点 DSP,包括 TMS320C2x/C2xx/C24x/C24xx/C28xx 等子系列,片内集成了 Flash 存储器、高速 A/D 转换器、事件管理器、串行通信接口及 CAN 通信模块等,适用于数字电动机控制(包括变频器、伺服系统等)、运动控制、机器人、数控机床、工业测控等需要数字化的控制领域。

2. TMS320C5000 系列

该系列芯片为低功耗、低成本、高性能 DSP,主要用于无线通信和有线通信设备中,如 IP 电话、PDA、网络电话、服务器、便携式信息系统及消费类电子产品等。

该系列 DSP 芯片具有多种片内外设、封装小、省电等优点,电源可降至 0.9V,速度可达 600MIPS。

C5000 系列中的 C54x 子系列为 16 位定点 DSP,功耗为 0.32mW/MIPS,速度为 32~532MIPS。

C55x 子系列为 8~48 位浮点 DSP,功耗为 0.05mW/MIPS,程序字宽度为 32 位。

3. TMS320C6000 系列

该系列芯片为高性能的 DSP,具有最佳的性能价格比。其中 C62x 子系列为 16 位点 DSP,工作频率为 150~300MHz,运行速度为 1200~2400MIPS,具有 2 个乘法器,6 个算

术逻辑单元, 超长指令字结构, 大容量的片内存储器, 4 个 DMA 接口, 2 个多通道缓冲串口, 32 位片内外设, 可用于无线基站、调制解调器、网络系统、中心交换器, 数字音频广播设备等。

C64x 子系列工作频率为 400~600MHz, 运行速度为 3200~4800MIPS, 具有特殊功能的指令集。

C67x 子系列为 32 位浮点 DSP 芯片, 工作频率为 100~225MHz, 运行速度为 600~1350MFLOPS (Million Floating Point Operations Per Second, 百万次浮点运算每秒), 具有 4 个浮点/定点算术逻辑单元, 2 个定点算术逻辑单元, 4 个浮点/定点乘法器, 可用于基站数字波束形成、图像处理、语音识别和 3D 图形等领域。

TMS320C2000 系列 DSP 部分型号及其主要性能指标见表 1-2。

表 1-2 TMS320C2000 系列 DSP 部分型号及其主要性能指标

技术指标 \ 型号	TMS320F240	TMS320LF2406	TMS320LF2407A	TMS320F2812
时钟频率 (MHz)	20	30	40	150
时钟周期 (ns)	50	33	25	6.67
片内 RAM (W)	544	2K+544	2K+544	18K
片内 Flash (W)	16K	32K	32K	128K
BOOT ROM (W)	0	256	256	4K
寻址空间 (W)	224K	—	192K	1M
扩展存储器接口	√	—	√	√
事件管理器 (个)	1	2	2	2
通用定时器	3×16	4×16	4×16	4×16
COM/PWM	9/12	10/16	10/16	16
CAP/QEP	6/4	4/2	6/4	6/2
看门狗定时器模块	√	√	√	√
片内 A/D 转换器	2×10 (6.6μs)	16×10 (500ns)	8×10 (375ns)、 16×10 (500ns)	16×12 (200ns/60ns)
串行外设接口 (SPI)	1	1	1	1
串行通信接口 (SCI)	1	1	1	2
CAN 总线控制器	—	—	√	√
外设中断	6	5	5	3
通用 I/O 引脚	28	37	40	56
PLL 时钟模块	1	1	1	3×32
供电电压 (V)	5	3.3	3.3	3.3&1.8
电源低功耗模式	4	5	3	3
封装	132Pin PQFP	100Pin LQFP	144Pin LQFP	176Pin PQF

1.2.2 封装信息

TMS320F281x 芯片标识如图 1-2 所示，根据芯片上的字母能够识别器件的型号、封装、版本等信息。

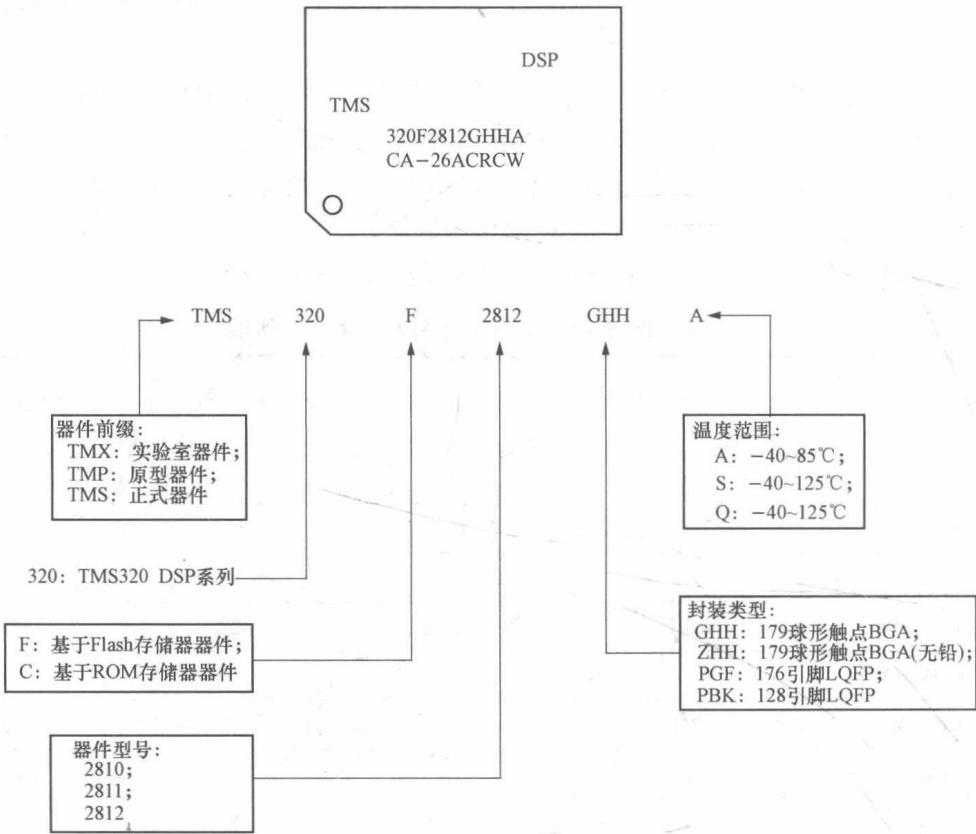


图 1-2 TMS320F281x 芯片标识

1.2.3 TMS320F281x 芯片的主要性能

TMS320F281x 芯片的主要性能如下：

- (1) F2812 DSP 芯片采用高性能静态 CMOS 技术。
 - 1) 主频高达 150MHz，每个时钟周期为 6.67ns。
 - 2) 采用低电压供电，主频为 135MHz 时内核电压为 1.8V，主频为 150MHz 时内核电压为 1.9V，I/O 引脚电压为 3.3V。
 - 3) Flash 编程电压 3.3V。
- (2) 支持 JTAG 在线仿真接口。
- (3) 32 位高性能处理器。
 - 1) 支持 16b×16b 和 32b×32b 的乘法、加法运算。
 - 2) 支持 16b×16b 双乘法运算。
 - 3) 采用哈佛总线结构模式。
 - 4) 快速的中断响应和中断处理能力。
 - 5) 统一的存储设计模式。
 - 6) 兼容 C/C++ 语言以及汇编语言。

(4) 片内存储空间。

1) 片内 Flash 空间大小为 $128\text{K} \times 16\text{b}$ ，分为 4 个 $8\text{K} \times 16\text{b}$ 和 6 个 $16\text{K} \times 16\text{b}$ 存储段。

2) OTP ROM 空间大小为 $1\text{K} \times 16\text{b}$ 。

3) L0、L1: 2 块 $4\text{K} \times 16\text{b}$ 单地址寻址随机存储器 (SARAM)。

4) H0: 1 块 $8\text{K} \times 16\text{b}$ 随机存储器 (SARAM)。

5) M0、M1: 2 块 $1\text{K} \times 16\text{b}$ SARAM。

(5) BOOT ROM 空间。空间大小为 $4\text{K} \times 16\text{b}$ ，内含软件启动模式以及标准数学函数库。

(6) 外部接口。

1) 高达 $1\text{M} \times 16\text{b}$ 的总存储空间。

2) 可编程的等待时间。

3) 可编程的等待读写时序。

4) 3 个独立的片选信号。

(7) 时钟和系统控制。

1) 支持动态锁相环倍频。

2) 片内振荡器。

3) 内含看门狗定时模块。

(8) 3 个外部中断。

(9) 外设中断模块 (PIE)，可以支持 45 个外设中断。

(10) 3 个 32 位 CPU 定时器。

(11) 128 位安全密钥。

1) 可以包含 Flash ROM OTP 以及 L0 L1SARAM。

2) 防止系统硬件、软件被修改。

(12) 用于控制电机的外设。两路事件管理 (EVA、EVB)。

(13) 串行通信端口。

1) 串行外设接口 SPI。

2) 两路串行通信接口 SCI，标准 URAT 口。

3) 增强型 CAN 模块 (eCAN)。

4) 多通道缓冲串行接口 (MCBSP)。

(14) 12 位 ADC 转换模块。

1) 2×8 路输入通道。

2) 2 个采样保持器。

3) 单一或级联转换模式。

4) 最高转换速度 $80\text{ns}/12.5\text{MSPS}$ 。

(15) 56 个通用 GPIO 口。

(16) 先进的仿真模式。

1) 具有实时仿真及设置断点的功能。

2) 支持硬件仿真。

(17) 开发工具。

- 1) DSP 集成环境 CCS。
- 2) JTAG 仿真器。
- (18) 低电模式和电源存储。
- 1) 支持 IDLE、STANDBY、HALT 模式。
- 2) 禁止/使能独立外设时钟。
- (19) 封装。
- 1) 128 引脚 PBK 封装，带扩展存储接口。
- 2) 176 引脚 PGF 封装，带扩展存储接口。
- 3) 179 引脚 BGA 封装，带扩展存储接口。

1.2.4 TMS320F281x 芯片的引脚分布及功能

表 1-3 所示为 TMS320F281x 和 TMS320C281x 芯片的引脚功能和信号情况，该表对硬件设计人员非常重要，必须精读并理解每个引脚的用法。TMS320F281x 所有输入引脚的电平均与 TTL 电平兼容，所有引脚的输出均为 3.3V CMOS 电平，输入不能承受 5V 电压，上拉/下拉电流为 100 μ A/200 μ A。所有引脚的输出缓冲器驱动能力（有输出功能的）典型值是 4mA，但 TDO、XCLKOUT、XF、XINTF、EMU0 和 EMU1 的驱动能力是 8mA。TMS320F281x 处理器是基于 CMOS 技术的，不同于 TTL 技术，一般 CMOS 技术的输入引脚不能悬空，一定要上拉或下拉，明确引脚输入状态，TTL 技术输入悬空，默认为高。TMS320F281x 芯片的输入引脚几乎都有上拉/下拉，但是属于弱拉，在噪声大的环境，最好使用芯片外部的上拉/下拉。表 1-3 中 I 表示输入，O 表示输出，Z 表示高阻，PU 表示有上拉，PD 表示有下拉。

表 1-3 TMS320F281x 和 TMS320C281x 芯片的引脚功能和信号情况

名称	引脚号			I/O/Z	PU/PD	说明
	179 针 GHH	176 针 PGF	128 针 PBK			
XINTF（只限于 F2812）						
XA [18]	D7	158	—	O/Z	—	
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	—	

续表

名称	引脚号			I/O/Z	PU/PD	说明
	179 针 GHH	176 针 PGF	128 针 PBK			
XINTF（只限于 F2812）						
XA [12]	C11	138	—	O/Z	—	19 位地址总线
XA [11]	A14	132	—	O/Z	—	
XA [10]	C12	130	—	O/Z	—	
XA [9]	D14	125	—	O/Z	—	
XA [8]	E12	125	—	O/Z	—	
XA [7]	F12	121	—	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	