

# TMS320C28X 处理器在交流采样中的应用

王荣华, 王士敏

(清华大学 电机工程及应用电子技术系, 北京 100084)

**摘要:** TMS320C28X 系列处理器是德州仪器公司为工业控制领域设计的新一代 DSP 处理器。本文介绍了 TMS320C28X 处理器在交流采样中的应用和一些关键性的问题。

**关键词:** TMS320C28X; 交流采样

**中图分类号:** TM933.13    **文献标识码:** B    **文章编号:** 1001-1390(2005)03-0055-04

## The Application of TMS320C28X in AC Sampling

WANG Rong-hua, WANG Shi-min

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The TMS320C28X series processor is new DSP designed by TX Instrument Company for the industry control area. This paper introduces its application in AC sampling and some key problems.

**Key words:** TMS320C28X; AC sampling

### 0 前言

DSP 器件在电能质量监测、保护、谐波治理、无功补偿和电机拖动等领域的应用日益普遍。

本文介绍的 TMS320C28X 系列处理器是德州仪器公司专门为工业应用而设计的新一代 DSP 处理器, 它的性能大大优于当前广泛使用的 C24X 系列, 目前在国内正处于推广应用阶段, 它将逐渐替代 C24X 系列产品。该系列最典型的产品型号是 TMS320F2812。本文以 TMS320F2812 为例, 来叙述 TMS320C28X 系列处理器在交流采样中的应用。

TMS320F2812 非常适合于完成多路交流信号的采样, 它可以同时完成 16 路交流电流或电压信号的采集。

### 1 TMS320F2812 的主要特点

TMS320F2812 具有 32 位处理器、最高 150MHz 的主频、6.67ns 的指令周期、外部采用低频时钟、通过片内锁相环倍频。

片上有 18K 字的高速 RAM, 128K 字的可加密 Flash ROM。

16 通道的 12 位模数转换器(ADC), 内部含两路采样保持器, 一个转换单元, 可实现双通道同步采样, 最小转换时间为 80ns。

片上含两个事件管理单元(EVA, EVB), 设计用

于 PWM 输出、转速测量、脉宽测量等。

通讯接口, 含 2 个通用异步串口(Serial Communications Interface), 1 个通用同步串口 (Serial Peripheral Interface), 1 个 CAN 总线接口 (Enhanced Controller Area Network) 和 1 个 McBSP 串口 (Multichannel Buffered Serial Port)。

56 个独立配置的通用多功能 I/O 口 (GPIO)。

扩展存储器接口(External Memory Interface)读写时序可编程, 3 路独立片选(CS), 兼容不同速率的外设扩展。

TMS320F2812 处理器集成了工业控制应用的大量外设接口, 简化了电路设计。同时, 它提供了足够的处理能力, 使一些复杂的实时控制算法的应用成为可能。

### 2 TMS320F2812 中的模数转换部件

ADC 部件是交流采样的核心部件, TMS320F2812 提供了 16 通道的 12 位模数转换器(ADC), 内部含两路采样保持器, 一个转换单元, 可实现双通道同步采样, 在 25MHz 的 ADC 工作频率下, 单通道转换时间为 80ns 左右。采用 TMS320F2812 搭建交流采样系统的时, 通常不必外接 ADC, 避免了复杂的硬件设计。

#### 2.1 ADC 部件的结构

图 1 为 ADC 部件的原理图。模拟量由 16 个通道

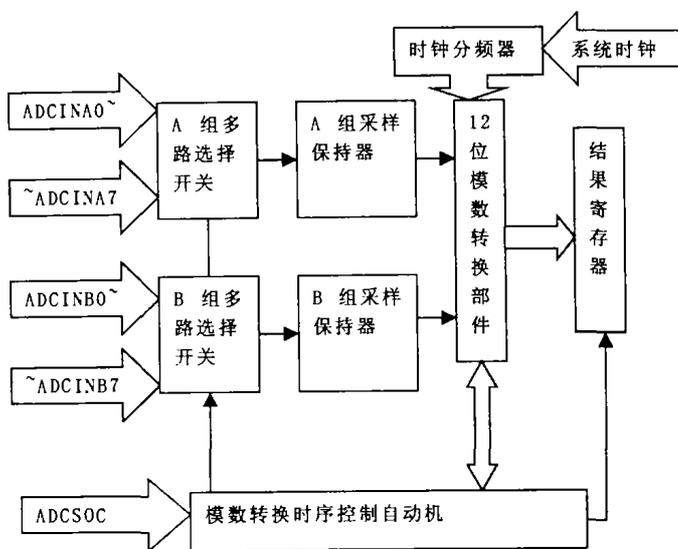


图 1 ADC 部件原理图

输入, 被分为 A、B 两组, ADCINA0~7 通道为 A 组, ADCINB0~7 通道为 B 组, 每组有完全独立的多路选择器和采样保持器, 共用一个 12 位模数转换器。整个转换时序和转换过程由模数转换时序控制自动机完成, 不需要 DSP 中央处理单元的干预。编程的时候只需要为配置寄存器设定合适的值, 自动机就会按照设定的顺序和模式自动地实现多通道模数转换, 并将其结果写入到 16 字的转换结果寄存器中。结果寄存器为双缓冲结构, 这就保证对于结果寄存器, 自动机的写操作和中央处理单元的读操作不会产生时序冲突, 大大提高了 DSP 的并行能力, 从而提高了中央处理单元的效率。输入管脚 ADCS0C 是模数转换的外部触发输入, 用于要求严格同步触发采样的场合。ADC 的时序基准频率由处理器主频分频提供, 可以通过改动相关配置寄存器的值来设定分频系数, 从而改变 ADC 的转换速率。

TMS320F2812 的 ADC 可以工作在预设的多种模式下。

按照采样触发方式的不同, 可分为触发模式和周期模式:

(1) 在触发模式下, 触发事件一旦发生, 模数转换立即启动。触发事件包括软件触发、事件管理单元触发和外部输入触发。可以用于同步触发采样;

(2) 在周期模式下, ADC 部件初始化以后, 就可按照设定的采样频率和通道顺序, 周而复始的循环采样, 刷新结果寄存器。

按照采样通道顺序的不同可分为顺序模式和通道同步模式:

(1) 在顺序模式下, 转换是按照 ADCINA0~7、ADCINB0~7 的顺序来完成 16 路通道的模数转换, 通

过设定配置寄存器, 可以使某些通道不转换, 直接跳过;

(2) 在通道同步模式下, 由于 A 组和 B 组有独立的采样保持部件, 因此 A 组和 B 组对应的一对通道就可以实现完全同步采样。如果 ADC 部件在该模式下工作, 则对 ADCINA0 和 ADCINB0 通道输入的信号同时进行采样保持, 然后由转换器先后完成转换, 通道延迟就为 0。可以将一对同步通道配置成相关电量的测量通道, 例如用 ADCINA0 测量电流, 用 ADCINB0 测量相应的电压, 这样两个测量值就没有通道延迟。

上述两种模式分类是独立的, 可以组合成 ADC 部件的 4 种工作方式, 以满足特定的交流采样的需要。

通道的模拟电压容许的输入范围在  $-0.3V \sim 3.3V$  之间。对于交流采样系统, 必须为前级的运放电路提供电平偏置和保护。

## 2.2 ADC 部件的校正

TMS320F2812 上集成的 12 位 ADC 的线性度较好, 非线性误差为  $\pm 1LSB$ , 但是增益误差和零点偏移在 40LSB, 如果使用的时候, 对其不进行校正, 它的测量误差是不能容许的(图 2)。

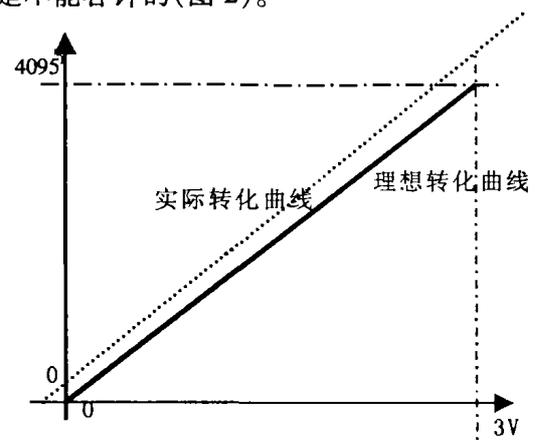


图 2 ADC 部件误差示意图

理论上可以采用线性函数  $Y=AX+B$  的方法, 对 ADC 部件的转换结果进行校正。但通常不进行 ADC 部件的单独校正, 而对整个测量回路的误差进行一次校正就可以了, 校正系数可保留在片内 Flash ROM 或者外部扩展的可擦除 ROM 中。

由于 TMS320F2812 的 ADC 部件的通道一致性较好, 也可以设计为自动校正, 即利用模数转换的两路通道分别接入一高一低两个精密电压基准, 利用这两个通道的测量值, 以得到实际转化曲线上的两点, 计算出校正函数  $Y=AX+B$  的系数, 再用该校正函数对其它测量通道的测量值进行校正(图 2)。

## 2.3 ADC 的程序流程

图 3 说明了交流采样的程序流程。将 ADC 部件设置为周期模式,选用较高的转换速率。由于结果寄存器具有双缓冲特性,中央处理单元可以在模数转换过程中的任何时刻,直接读取转换结果。交流采样中一般要以一定的采样频率进行采样,例如每周期 1024 个点,所以可利用 DSP 的系统定时器,将系统定时器中断的频率设定为基准采样频率,在定时器中断程序中读取结果寄存器的值,实现转换数据的间隔抽样,然后,进行如快速傅立叶变换,数字滤波等运算处理。多通道采样时,如果各个通道所需的采样频率不同,则各个通道的采样频率应设计为系统定时器中断频率的整数分频,然后将采集到的数据统一在定时器中断程序中进行处理。

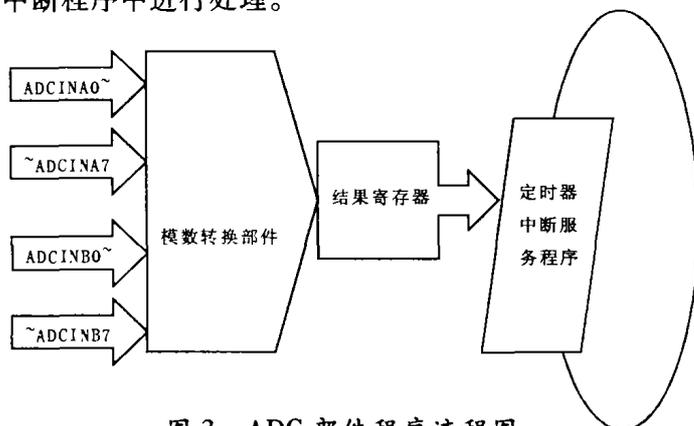


图 3 ADC 部件程序流程图

### 3 交流采样谐波分析的同步采样问题

交流采样中,经常要利用离散傅立叶变换进行谐波分析,理论上采样频率必须是基波频率的整数倍,否则会造成频域泄漏,这个理论采样频率称为同步采样频率。当用某个固定频率进行交流采样时,电网基波频率的波动会导致同步采样频率与实际采样频率的不等,从而造成频域泄漏,产生谐波分析误差,这个误差称为非同步采样误差。在某些应用场合下,交流基波频率的变化范围很宽,若用固定频率采样就会产生严重的频率泄漏。为了保证谐波分析的准确度,通常需要交流采样系统跟踪基波频率的变化,把实际采样频率调整为同步采样频率,以达到消除非同步采样误差的目的。

消除非同步采样误差常用的方法主要有三类:

(1)硬件同步采样:通过硬件测量基波频率,计算出同步采样频率,然后将交流采样的频率调整为同步采样频率。硬件测频可以采用锁相环、过零比较等方法。TMS320F2812 片上集成了过零计数测频和脉宽测周的硬件接口部件,也可以采用外部中断触发实现同步采样;

(2)软件同步采样:没有外部的硬件测频环节,而

是直接使用预设的采样频率进行采样,然后进行 FFT 运算,计算相邻两个周波的 FFT 的基波相位差。利用该偏差计算出同步采样频率,代替预设的采样频率进行下一周的采样。该方法实际上是采用软件测频来代替方法 1 中的硬件测频。

具体的计算如下:

采用一个接近同步采样频率的采样频率去采样一个周波,通过 FFT 运算后,得到基波的相角为  $\theta_{n-1}$ ,采用同样的方法采样下一个周波,计算出基波相角为  $\theta_n$ ,预设的采样间隔为  $T_s$ ,每周期采样的点数为  $N$ ,信号频率为  $f_0$ ,则有下列等式近似成立

$$\frac{2 + \pi_n - \theta_{n-1}}{2\pi f_0} = N \cdot T_s$$

计算出修正的新的采样间隔  $T_s'$  为

$$T_s' = \frac{1}{Nf_0} = \frac{1}{1 + \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{2\pi}} T_s \approx (1 - \frac{\theta_n - \theta_{n-1}}{2\pi}) T_s$$

(3)准同步采样:采用和同步采样频率接近的固定采样频率进行采样,然后对其 FFT 变换的结果进行误差补偿。误差补偿的方法文献中描述较多,补偿的准确度和算法的复杂性也各不相同。

比较典型的方法是:窗法、准同步窗法、相位差校正法、频域修正法、细化 FFT 法等。窗法是采用三角窗、汉宁窗、汉明窗等抑止频率泄漏,但是效果不是很显著,通常和其它方法结合使用。准同步窗法是基于迭代积分原理,是一种特殊的窗法,在谐波测量中应用较多,效果较好。相位差法是基于相邻采样窗的误差相消的方法,可以得到很高的相位补偿准确度,可用于相位跟踪。频域修正法是在频域上插值,改善频率泄漏。细化 FFT 法是对频域的局部区域进行 FFT,获得较高的频域分辨率。

上述第一类方法容许基波频率的变化范围很宽,理论上可以完全消除非同步误差。但是需要采用一定的硬件外设,而且硬件测频的方法对于干扰比较敏感,需要进行一些处理,如舍去错误的过零点等。

第二类方法采用的是软件算法,无需外部测频环节,抗干扰能力较强,因为 FFT 对于干扰不敏感。

而第三类方法的好处是采样频率是固定的,采样的过程在 DSP 程序设计中通常是采用定时器中断来实现的。固定的采样频率可以大大地简化程序的设计,特别是在多通道交流采样而每个通道的同步采样频率又不同的情况下。对误差进行补偿的软件算法可以发挥 DSP 的计算能力强的特点,符合硬件软件化的思想。笔者采用相位差法实现电网相位跟踪,取得了

很好的效果,频率波动 $\pm 5\%$ 时,相位误差在 $1^\circ$ 以下。

由此可见 TMS320F2812 处理器最适合采用第三类方法来实现交流采样的谐波分析。

#### 4 TMS320F2812 处理器的程序设计

在实际工业产品设计中,为了提高开发的速度,提高代码的可移植性和可维护性,可以采用交叉 C 编译器。TI 公司为 TMS320F2812 提供了高效的 C 编译器,同时还提供了一些辅助的开发样例程序和开发库。下面介绍各个开发库的主要用途,利用这些开发库可以快速开发出高效的交流采样程序。

其中 C281xC/C++Header Files and Peripheral Examples 开发样例提供了各种内部寄存器的 C 封装,同时提供了一些典型应用的函数。便于用户快速地利用该框架开发自己的应用程序。

C28x IQMath Library 提供了虚拟浮点数应用库。TMS320F2812 是定点数处理器。采用 C 语言中的浮点数实现运行效率较低,采用 C28x IQMath Library 可以高效地完成浮点数运算。同时该库还提供了诸如正弦函数和余弦函数等基本数学函数的快速算法,便于采用复杂的实时算法。

C28x Fast Fourier Transforms Library 提供了快速傅立叶变换 FFT 的实现程序,通过该应用库可以高效地完成 FFT,适合于谐波分析这类应用。

Filter Library 提供了 IIR 和 FIR 滤波器的设计。通过 Matlab 设计出合适的滤波器系数,然后采用 Filter Library 实现,可以实现数字滤波。

TMS320F281x Flash API 提供了对片上的 Flash ROM 进行擦写操作的接口函数,简化了对 Flash ROM 操作的编程。

上面列举的开发库简化了 DSP 的编程工作,提高了开发速度和代码的可移植性。

#### 5 结束语

本文介绍了 TMS320C28X 系列处理器的特点,重点介绍了和交流采样关系密切的 ADC 部件的特点和应用,同时分析了谐波分析的同步采样问题,简单地介绍了对 TMS320C28X 系列处理器进行开发的方法。TMS320C28X 处理器非常适合交流采样的应用,通过合适的算法和控制,可以应用到电能质量监测、保护、谐波治理、无功补偿和电机拖动等领域。

#### 参 考 文 献

- [1] TMS320F2810, TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual[Z]. Texas Instruments, 2003.
- [2] TMS320F28x Analog-to-Digital Converter (ADC)Reference Guide [Z]. Texas Instruments, 2003.
- [3] F2810, F2811, and F2812 ADC Calibration. Texas Instruments, 2004.
- [4] 基于 DFT 的非同步采样情况下相量测量误差研究综述[J].继电器,2004(5).
- [5] C281x C/C++ Header Files and Peripheral Examples. Texas Instruments[Z], 2003.
- [6] IQmath Library A Virtual Floating Point Engine[Z]. Texas Instruments, 2002.
- [7] FFT Library. Texas Instruments[Z], 2002.
- [8] Filter Library. Texas Instruments[Z], 2002.
- [9] TMS320F281x Flash API. Texas Instruments[Z], 2003.

作者简介:

王荣华(1980-),男,毕业于清华大学机械系,现为清华大学电机系硕士研究生,主要研究方向为 DSP 在工业自动化中的应用。

收稿日期:2004-12-01

(郭松林 编发)

生活能源网(<http://www.life-demands.com>)(仪表王国)是定位于水、电、气、热计量与抄收领域的专业网站,网站的主管单位是哈尔滨电工仪表研究所、全国电工仪器仪表生产力促进中心,依托主管单位的行业优势,积极为计量仪表企业提供技术、产品、经济、人才、政策信息,为企业进行全方位信息咨询服务!

中国电工仪器仪表信息网(<http://www.tc104.org>)和双月刊,每期发行 6000 份的《电工仪表与公用表计行业信息》杂志是依托全国电工仪器仪表生产力促进中心、中国仪器仪表协会电工仪器仪表分会、中国仪器仪表学会电磁测量信息处理仪器分会、全国电工仪器仪表标准化技术委员会、国家电工仪器仪表质量监督检验中心等行业管理部门建立的信息网站。它汇集国内外电工仪表行业各类信息,涵盖电磁测量、电能计量、自动抄表 AMR、精密非电量测量、信息处理、自动化测控技术等领域。并利用行业优势发布市场预测报告、本行业年度发展计划和五年发展计划、电工仪器仪表产品型号注册情况、电工仪器仪表产品质量质量监督检验结果、国家(行业)标准信息、国际交流活动信息等,并积极致力于开展技术支持合作、质检认证、政企沟通、标准制定与推广、行业调查监督、专家咨询、会议展览、培训业务等方面工作,为业内同仁提供全程、综合性服务。

《电测与仪表》网站(<http://www.emimag.com>)是《电测与仪表》期刊的电子版,主要以报道《电测与仪表》杂志最新文章,最新的行业动态、在线投稿。本网站愿为广大读者提供一个传递与交流的园地。