

# TMS320F28335 DSP 在电力电子变流器中 性能优势分析

孙今英 上海输配电股份有限公司技术中心

**摘要:** 主要分析了首款工控用浮点 DSP - TMS320F28335 与 TMS320F2808、TMS320F2812 等一些目前大量应用于电力电子变流装置的 DSP 在控制算法实现、系统效率和开发周期上所具有的一些优势, 得出了该浮点 DSP 具有相当的可替代性优势, 并将成为电力电子变流控制技术发展的重要实现平台。

**关键词:** 数字信号处理器(DSP) 28335 电力电子变流器 分析

## The Performance Advantages of TMS320F28335 DSP in the Power Electronics Converter Application

Sun Jin ying Shanghai Power Transmission and Distribution Co., Ltd. Technollgy Center

**Abstract:** This paper analyzed the advantages of the first floating - point DSP made for industrial application named TMS320F28335. Comparing with other widely used DSPs in power electronics converter application such as TMS320F2808 and TMS320F2812, a conclusion is drawn that this new DSP has its advantages in the aspect of algorithm realization, system efficiency and development duration. Thus, it can replace these former DSPs and become a new and important realization platform in the development of power electronics.

**Keywords:** digital signal processor(DSP) 28335 power electronics analyzed

### 0 前言

数字信号处理(简称 DSP)技术目前在国内有了飞速的发展,其应用范围亦在不断的扩大。TI(德州仪器)公司的 DSP(Digital Signal Processor 数字信号处理器)系列产品由于其在技术支持、产品类型等方面的独到优势,已经成为了全世界最大的 DSP 芯片及其周边芯片的供货商。在该公司的系列产品中,TMS320C2000 系列有着十分丰富的片上外设和极高的性能价格比,因此一直是工业控制领域的首选 DSP。

近年来,电力电子学科也得到了蓬勃的发展,许多新型的变流拓扑、控制算法的出现使得对变流装置更有效的控制成为可能。然而,拓扑结构和算法的复杂化所带来的一个问题就是如何有效地实现。对控制系统越来越大的算法压力使得目前的主流变流器用 DSP,即 TMS320F2808(以下简称 2808)和 TMS320F2812(以下简称 2812)显得捉襟见肘起来。为了跟上学科的发展,使得最新的科研成果能够尽快地转变为生产力,我们需要一种更快、更有效、成本更低的 SoC(System on a Chip 单片系统)来完成控制要求。

作为 TI2000 系列 DSP 平台的最新成员之一, TMS320F28335(以下简称 28335)和目前的主流变流器用 DSP 相比优势主要体现在哪里? 下面分别进行对比分析。

### 1 定点核与浮点核

28335 从广义上来讲就是 C28X 核心 + FPU (Floating-point Unit 浮点处理单元),也就是说该芯片可以同时执行定点和浮点运算指令。当 CPU 时钟运行在 150 MHz 时,其浮点核的运算速度为 300MFLOPS(百万浮点指令/s),支持 IEEE 标准单精度浮点数<sup>[1]</sup>。由于电力电子变流器控制算法中大量使用的诸如实时三角、反三角函数,高精度数字 PI(Proportion Integration 比例积分)控制,坐标变换, IIR(Infinite Impulse Response 有限冲击响应)滤波和 FFT(Fast Fourier Transform 快速傅里叶变换)运算等均属于浮点型算法,因此浮点核的优势就更能有所体现。相比定点算法,浮点算法的优势主要有下述几方面。

#### 1.1 运算速度快

表 1 给出了定点和浮点芯片在各种经典运算和算法实现所需程序步。

表 1 定点和浮点芯片在各种经典运算和算法实现所需程序步

运算/算法	TMS320C28x(定点)	TMS320F2833x(浮点)
除法	70	24
开方	60	27
sin, cos	92	44
arctan	118	53
FFT	~27 000	~11 000
IIR	14 次循环	8 次循环

注:数字单位是 CPU 时钟周期,以上数据来自 TI 官方<sup>[1]</sup>。

从表 1 中可以看出,采用 FPU 实现上述算法将会提高约 50% 的处理速度,更高的处理速度则意味着可以实现更多、更复杂的控制算法。在开关器件允许的情况下,有更快的处理速度就可以相应地提高电力电子开关器件工作的开关频率,使得后端滤波器的设计相应简化。

#### 1.2 不易溢出

由于 32 为 IEEE 单精度浮点数的表示范围,为  $\pm 1.7^{-38} \sim \pm 3.4^{+38}$ ,而 32 位定点数的表示范围仅为  $\pm 2^{-31} \sim \pm 2^{+31}$ 。因此,在进行乘·加运算等时溢出的可能性大大降低。即使溢出,也会保持原值,不会导致定点数运算有可能出现倒置的现象,从而造成控制量出现混乱,导致系统失控。

#### 1.3 易于开发

浮点算法的软件程序语法和高级语言的语法十分相近,从而能够很方便地把核心算法从 Matlab、PSPICE 等仿真工具调试出的控制算法直接移植到 DSP 中,不需重新通过数据定标等一系列繁琐的流程转换成相应定点算法后再植入下位机,从而缩短了软件的开发流程。

### 2 DMA 的引入

DMA(Direct Memory Access 直接内存存取)是一种目前常见于 PC 和高端单片机的数据存取技术。这种技术通过增加 DMA 控制器直接在系统内存和外设空间之间进行数据传输,而不需要 CPU 进行参与。在工控用 DSP 上增加这种技术的目的就是为了解放 CPU,把批量数据传输的工作交给 DMA 控制器去完成,使 CPU 有更多的时间去做复杂的信号处理核心算法。

通常,在工控应用场合都需要 A/D 采样及数据处理。而在经典的算法实现流程中,DSP 一般会先进行 A/D 数据的传输,然后再作各种算法处理。现在,我们可以将从 A/D 转换芯片临时寄存单元到芯片内存的数据传输工作交给 DMA 控制器,这样就能有效利用这段时间穿插其他核心算法了。

### 3 28335 与 2808 比较

2808 目前主要应用于电机控制用电力电子变流器中。从某种意义上说,28335 是 2808 的升级版,两者的核心结构和外设配置都十分相近<sup>[2]</sup>。但是,除了上述的共同优势外,28335 克服了 2808 的

一个最致命的弱点,即外设扩展性弱。

28335 拥有类似 2812 的 XINTF (External Interface 外部接口),但其功能更为强大,是 16/32 位数据位宽可配置, DMA 可控制的。在系统设计时,可以通过该接口很方便地扩展片外存储器和其他外设,独立设置它们的控制时序,这对于现在电力电子变流器的控制十分重要。因为片上外设往往并不能满足系统全部的控制要求,这就需要系统具有良好的可扩展性。28335 的可扩展性相比 2808 上了一个台阶。

#### 4 28335 与 2812 比较

2812 是 281x 系列资源最为丰富的 DSP,目前在

新能源发电(风能和太阳能)、不间断电源、开关电源、综合电能质量控制装置等许多系统的电力电子变流装置中被广泛使用。28335 对于 2812 的改进较 2808 更大,在保留了 2812 良好的可扩展性和丰富系统资源的同时,引入了许多 2808 中设计合理、可靠性高的外设模块<sup>[3]</sup>,使得以前一些系统实现中遇到的“顽疾”得以有效地解决。对于电力电子装置控制来说,最大的变化就是 PWM (Pulse Width Modulation 脉宽调制)发生模块的调整。以下通过一个三单相结构变流器控制实例来说明这些调整所带来的优势。

图 1 为典型的三单相变流器的拓扑结构。虽然,相比三相全桥变流器所用开关管数量大,但由于

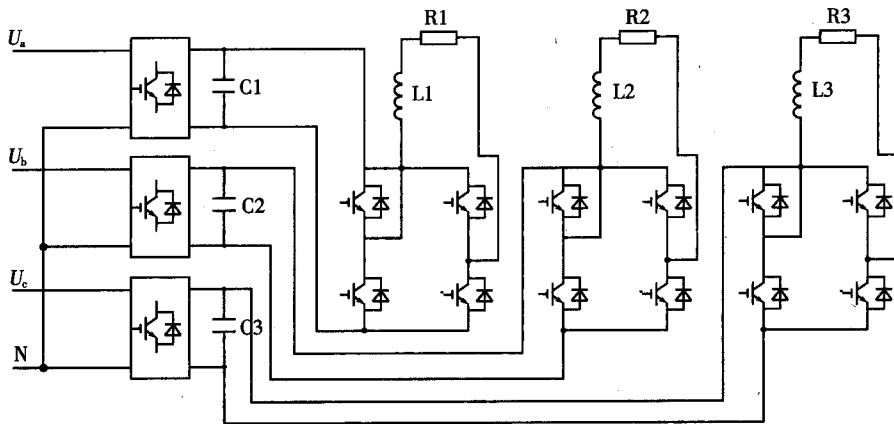


图 1 三单相变流器拓扑结构

各相独立,控制相对简单,在很多场合得到了应用。然而,在用 2812 实现这种结构变流器的 SPWM (Sine Pulse Width Modulation 正弦脉宽调制)控制中,存在定时器同步的问题。由于 2812 的 PWM 模块设计针对的是三相桥式结构,分别由定时器 T1 和 T3 作为控制时基,各自负责 6 路 PWM 的发生。但是这 2 个定时器并不能设为完全同步,因此在三单相结构中各相所用的时基无法完全同步,这会导致一定程度上的输出波形相位的偏移。若采用 28335,则可以设置外部同步信号,将各个 PWM 发生模块串联起来,形成如图 2 所示的结构。在收到

可控的外部同步信号后,同时将各相三角载波的初始相位 0 写入相应移相寄存器中,就可实现三相输出波形的精确同步。

这种带有同步机制的 PWM 发生模块同样可以很方便地实现目前较为常用的针对级联型变流器的载波移相 SPWM 调制算法。以如图 3 所示的三单元级联型单相逆变器拓扑为例,由载波移相 SPWM 调制理论可知,若采用  $360/N$  移相方式;三单元级联结构/单元内两桥臂间需要互差  $180^\circ$  的三角载波,而各单元对应桥臂间的三角载波需互差  $360^\circ/3 = 120^\circ$ <sup>[4]</sup>。为了正确地发生这些波形,在采用图 2

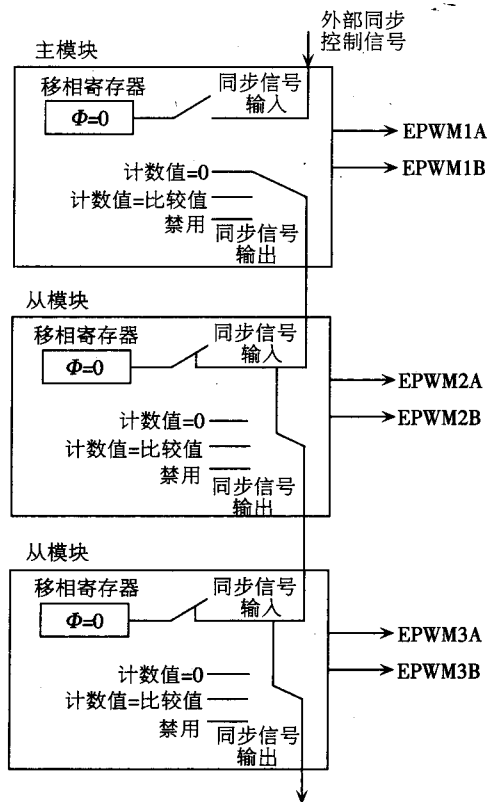


图2 三相同步 PWM 模块发生设计

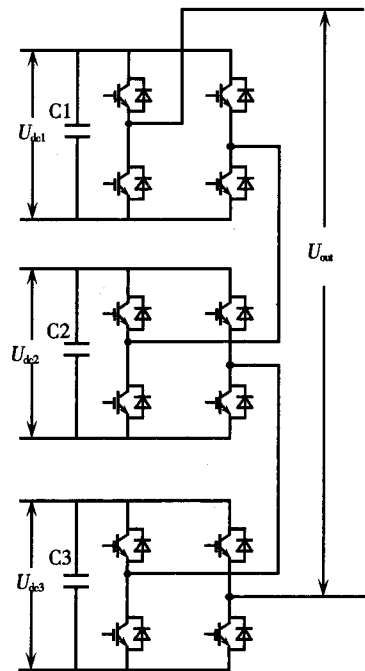


图3 三单元级联型单相逆变器拓扑

结构的同时,需要在同步信号发出后设置各 PWM 模块的移相寄存器的值,从而使得各计数器按照所要求的偏移量重新开始计数。在正确设置载波后,仅需在每个 PWM 周期计算所需占空比,设置相应的比较寄存器值,就能够发出 PWM 波形了。

需要说明的是,由于 28335 仅有 18 路 PWM 输出,因此在实现三相三单元级联结构时需要增加 FPGA(Field Programmable Gate Array 现场可编程门阵列)等协处理器,DSP 仅需将各桥臂上管的驱动波形算出,然后由 FPGA 做反相和硬件死区,这样至少可以减少一半的 PWM 端口。

## 5 结语

通过对比分析可知,28335 既具有 2812 的资源优势和良好的可扩展性,又有 2808 的高适应性、高可靠性的片上外设模块,且其浮点内核能够更快、更有效地实现各种复杂的算法,加之目前该芯片的周

边应用软件、库函数等已十分齐全,因此在电力电子变流装置的设计中完全可以取代 2812 和 2808,成为统一的控制核心,为现代电力电子技术发展提供良好的实现平台。

## 参 考 文 献

- [1] Andrew Soukup. Enabling Greener Embedded Control Systems with Floating - Point DSCs [J]. Texas Instruments White Paper, 2008, 5.
- [2] Lori Heustess. TMS320x280x to TMS320x2833x or 2823x Migration Overview [J]. Texas Instrument Application Report, 2008, 7.
- [3] Lori Heustess. TMS320x281x to TMS320x2833x or 2823x Migration Overview [J]. Texas Instrument Application Report, 2008, 7.
- [4] 姜旭,肖湘宁,尹忠东,等. 基于载波移相 SPWM 级联式变流器输出谐波分析 [J]. 电力电子技术, 2005, 39 (5): 57 ~ 58.