TMS320F2812 在有源电力滤波器中的应用

张 蔷，蒋云峰，宫 鑫，李洪涛
（武汉大学，湖北 武昌 430072）

摘 要：在分析有源电力滤波器的基本原理基础上，组成以 TMS320C2812 为核心的 DSP 单片机控制系统，实现谐波的检测及补偿。

关键词：TMS320F2812； 有源电力滤波器（APF）； 多重化
中图分类号：TM714.3 **文献标识码**：B **文章编号**：1002-0349(2005)03-0034-05

The Application of TMS320F2812 in Active Power Filter

ZHANG Qiang, JIANG Yun-feng, GONG Xin, LI Hong-tao
(Wuhan University, Wuchang Hubai 430072, China)

Abstract: This paper introduces the characteristic of TMS320F2812 chip made by U. S. A. TI Company. Based on the analysis of the basic principle of active power filter, the DSP one-chip computer control system taking TMS320C2812 as the core is made up and the harmonic detection and compensation are realized.

Keywords: TMS320C2812; Active power filter(APF); Multiplex

1 前言

随着全球电力能源消费的不断增加，对电力系统电能质量要求越来越高。一方面在电力系统中，各种谐波源产生的谐波对电力系统造成污染。随着各种半导体变流装置在电力系统的广泛应用，电力系统谐波干扰增加的问题日益严重，对电力系统的安全、经济运行带来了很大的影响。另一方面，各种对电能质量敏感的精密复杂的用电设备不断增加，用户对电能质量及其可靠性的要求越来越高。治理电网的谐波污染，提高用户电能质量，已经成为现代电力系统的重要研究课题之一。解决电力电子装置和其他谐波源的谐波污染问题，大多是装设滤波补偿装置，而当前谐波抑制的一个重要趋势就是采用有源电力滤波器。

2 有源电力滤波器的基本原理

有源电力滤波器是一种用于动态抑制谐波、补偿无功的新型电力电子装置，应用可克服 LC 滤波器等传统的谐波抑制和无功补偿方法的特点。对大小和频率都变化的谐波以及变化的无功进行补偿，其基本原理是从补偿对象中检测出谐波电流，由补偿装置产生一个与该谐波电流大小相等方向相反的补偿电流，从而使电网电流只含基波分量。图 1 是并联型有源滤波器的系统框图。

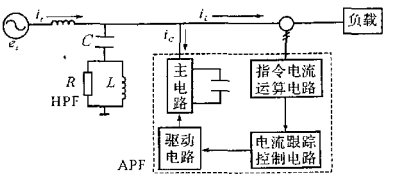

图 1 并联型有源滤波器的系统框图

从图中可以看出有源滤波器主要由两大部分构成，即指令电流运算电路和补偿电流发生电路

* 收稿日期：2005-05-25

(由电流跟踪控制电路、驱动电路和主电路三部分构成)。其中,指令电流运算电路的核心是检测出补偿对象电流中的谐波和无功等电流分量;补偿电流发生电路的作用是根据指令电流运算电路得出的补偿电流的指令信号,产生实际的补偿电流。主电路采用 PWM 变流器。图 2 为有源电力滤波器的变流主电路。而谐波电流检测采用实时性强、在有源滤波器方面得到了广泛应用的基于瞬时无功功率理论的谐波电流检测法。

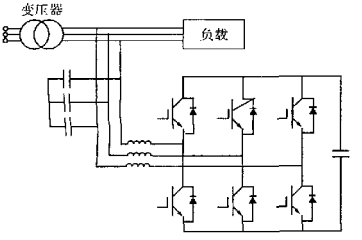

图 2　有源电力滤波器的变流主电路

从有源电力滤波器的基本原理可以看出补偿的效果取决于三个因素:谐波电流的快速、正确检测;补偿的控制方案;高效、大容量逆变器。因此,采用什么样的硬件来构成谐波电流检测回路和控制电路是很重要的。本文介绍一种基于 TI 公司 C2000 系列最新 DSP_s 芯片——TMS320F2812 的电力有源滤波器检测和回路的基本结构及其实现方法。

3　TMS320F2812 主要特点

C28X 系列的主要片种为 TMS320C2810 和 TMS320C2812。两种芯片的差别是:F2812 内含 128K × 16 位的片内 Flash 存储器,有外部存储器接口,而 F2810 仅有 64K × 16 位的片内 Flash 存储器,且无外部存储器接口。TMS320F2812 主要特点如下:

(1)运算速度快,工作时钟频率达 150MHz,指令周期可以达到 6.67ns 以内;低功耗(核心电压 1.8V,I/O 口电压 3.3V)。

(2)优化的 CPU 结构,采用哈佛总线结构,具有强大的超作能力、迅速的中断响应处理和统一的寄存器编程模式。可以实现 16 位 × 16 位和 32 位 × 32 位乘且累加操作和 16 位 × 16 位的两个乘且累加。

(3)片内存储器包括 8K16 位的 Flash 存储器,1K16 位的 OTP 型只读存储器,两块 4K16 位的单口随机存储器,一块 8K16 位的单口随机存储器,两块 1K16 位的单口随机存储器。外部存储器接口可实现多达 1M 存储器的扩展。

(4)外部扩展模块(PIE)可支持 96 个外部中断,45 个可用。

(5)两个增强的事件管理器模块(EVA、EVB),提供了一整套用于运动控制和电机控制应用的功能和特性。每个事件管理模块包括通用定时器(GP)、比较单元、捕获单元以及正交编码脉冲电路。

(6)外围设备包括 3 个 32 位的 CPU 定时器,16 通道 12 位 ADC(单个转换时间为 200ns,单路转换时间为 60ns),它不仅具有串行外围接口(SPI)和两个串行通信接口(SCIs)还有改进的局域网络(eCAN),多通道缓冲串行接口(McBSP)和串行外围接口模式。

(7)代码高效(用 C/C + + 或汇编语言,支持 TMS320C24x/240x 的指令。

TMS320F2812 的这些优点可以满足实时、快速地完成有源电力滤波器控制和采样计算要求。

4　系统的实现

系统硬件分为检测控制回路和主电路两部分。检测控制部分结构如图 3 所示,以 TMS320F2812 作为整个电路板的核心,在此基础上添加了外围的三相电流、电压采样电路和对于后级 IGBT 智能功率模块进行驱动的 PWM 驱动、隔离电路,以及用于数据通信和监控网络的串口

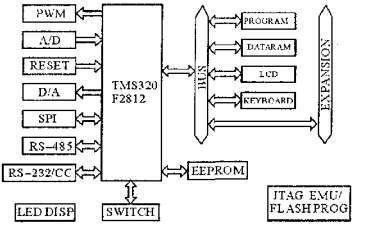

图 3　检测控制部分结构图

和 CAN 模块接口，实现串并联侧的控制算法，产生 IGBT 的 PWM 触发信号；主电路部分由 PWM 变流器构成，相当于一个放大器，负责将补偿信号指令放大为实际输入电网的电气量，但它不仅仅是作为逆变器而工作的，当电网向有源电力滤波器直流侧贮能元件充电时，它就做为整流器工作。

5　三相电压、电流的采样

要进行谐波检测，首先要通过电流型霍尔传感器和电压型霍尔传感器将三相电网上每一相的电压和电流信号通过霍尔原理转换成电压信号。这六路的电压和电流信号就是要接入谐波检测、补偿板的信号。

F2812 的 ADC 模块是一个 12 位分辨率的、具有流水线结构的模－数转换器。ADC 模块有 16 个通道可配置为两个独立的 8 通道模块以便为时间管理器 A 和 B 服务。两个 8 通道模块具有对一系列转换和自动序列化的能力通过模拟多路复用器，每个模块都可以选择可用的 8 个通道中的任何一个通道。在级联模式下，自动序列发生器可做为一个单一的 16 通道序列发生器。在每个序列发生器上，一旦转换结束，已选择的通道值就保存在各个通道的结果寄存器 ADCRESULT 中。自动序列化允许系统对同一通道转换多次，允许用户执行过采样算法。这较传统的单一采样转换结果有了更多的解决方案。

6　补偿分量的计算

现有的谐波电流检测算法有 Fryze 定义的时域法，Shepherd 和 Zakikham（S-Z）频域法、Czarnecki 频域法（C 法）、基于瞬时无功功率理论的畸变电流瞬时检测法等，此外还有基于小波变换的时变谐波检测法、基于鉴相原理的谐波电流检测法、基于人工神经网络的谐波检测法等。其中，1984 年由赤木泰文（H. Akag）等人提出的瞬时无功功率理论的谐波电流检测的算法实时性强，在有源滤波器方面得到了广泛的应用。图 4 为以三相电路瞬时无功功率理论为基础的三相电路谐波和无功电流检测的 i_p、i_q 法。

$$\text{其中 } C=\begin{bmatrix}\sin\omega t & -\cos\omega t\\ -\cos\omega t & -\sin\omega t\end{bmatrix}$$

$$C_{32}=\sqrt{2/3}\begin{bmatrix}1 & -1/2 & -1/2\\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2\end{bmatrix}$$

$$C_{23}=C_{32}^{T}$$

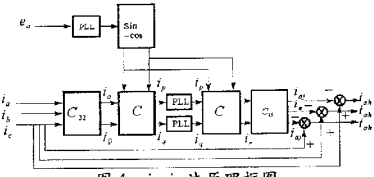

图 4　i_p、i_q 法原理框图

此法涉及大量的连乘、累加操作，用一般的处理器计算时间很长，无法满足实时性的要求。而 F2812 的高性能的 32 位中央处理器和 6.67ns 的时钟周期能很好的实现实时、准确的谐波检测。

7　系统的软件实现

图 5 所示为 DSP 谐波检测程序流程图。在完成系统初始化之后，开中断，启动定时器 A/D 中断，采集所需要的三相电压、三相电流数据。由于 DSP 中有 16 路 A/D 中断通道，因而可以一次采集三相电压、三相电流数据，并保存在数据存储区中。当采样完所需要的数据后，关闭中断，调用 i_p、i_q 算法子程序进行运算。在进行算法运算过程中，就不再采样数据。当完成算法运算后，根据计算结果调整脉冲输出。此时，再一次打开定时器 A/D 中断，重复以上过程。这就是整个 DSP 谐波检测程序运行流程。

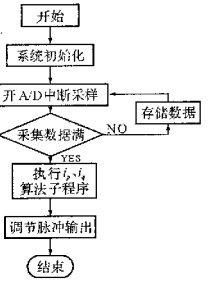

图 5　DSP 谐波检测程序流程图

由于 28X 系列 DSP 芯片只能处理定点数据，因而在编写 DSP 谐波检测程序时，首先要确定好所有数据的定标因子。定点 DSP 芯片处理小数的方法是确定一个数的小数点位于 16(或 24)位中的哪一位，这就是数的定标。通过设定小数点在 16 位中的不同位置，就可以表示不同大小和不同精度的小数了，通常用 Q15 ~ Q0 来表示不同的定标因子。采用不同的定标因子，所得到的数据范围和精度是不同的。在实际的定点算法中，为了达到最佳性能，必须两者兼顾。在本程序中，全部采用 Q13 的定标方法，以便计算。

8　试验结果

信号源产生 50Hz 正弦信号，作为电压信号进行采样。由一个 36K 电阻和一个 0.01μF 电容串连构成 RC 移相电路，得到电流信号。采样频率为 250μs，每个周期采样 80 个点，一共采样两个周期，采样完成后进行 $p-q-r$ 运算。将运算得到的数据结果还原成原始电压、电流数据，并导入 MATLAB 中，绘制电压、电流信号波形和经过谐波检测后的原始基波信号波形，如图 6 ~ 9 所示。

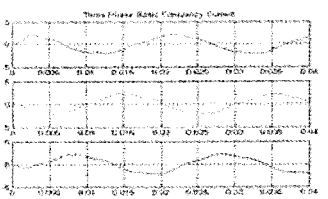

图 6　采样电压波形

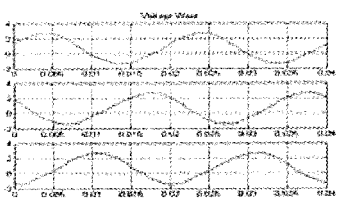

图 7　采样电流波形

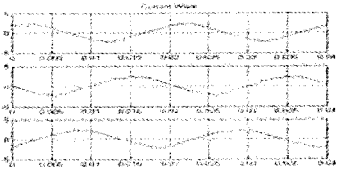

图 8　DSP 检测三相基波电流波形

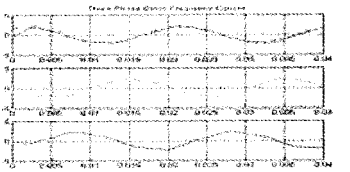

图 9　p_p、i_q 法检测三相基波电流波形

虽然存在一定误差，但试验结果从总体上验证了 i_p、i_q 算法在 F2812 上实现的可行性。

9　结论

决定有源滤波器效果的一个重要因素是大容量的变流器。因为 IGBT 频率和容量的限制，大容量有源电力滤波器所用开关器件容量和开关速度之间存在着矛盾，可采用多重化主电路实现大容量的有源电力滤波器。F2812 的两个事件管理器及每个时间管理器可在同一时刻产生 8 个 PWM 的波形输出；一片芯片可同时控制两路变流器，亦为多重化的实现提供了一个经济的方案。

文中根据 APF 的结构特点及技术要求，选用瞬时无功理论作为 APF 的补偿算法；根据算法特点及控制要求，选择 TI 公司 C2000 系列最新 DSPs 芯片 TMS320F2812 作为本装置的控制芯片，给出了 DSPs 算法流程，并用 MATLAB 进行了仿真。试验证明 F2812 能很好的实现电力有源滤波实时、准确的谐波补偿的要求，而这一 DSPs 必将在电机控制、工业自动化、电力转换系统及通信设备方面得到广泛的应用。　（下转第 40 页）

不能正常运行。

6 放电线圈接线不正确对电容器组运行的影响

近几年设计的电容器组放电器全部采用全密封放电线圈，取消了电压互感器作放电器。放电线圈的技术特性除符合放电器的规定外还可以作为保护设备，因为放电线圈带有二次线圈，满足二次负荷和电压变比误差的要求。一般情况下，对电容器组的开口三角保护（或电压不平衡保护）是从放电线圈二次线圈获取电压的。这样做的好处是当电容器发生内部故障后，三相电容量会出现不平衡，放电线圈二次电压就会出现超过定值的电压，使电容器组保护动作，电容器可以迅速从电源脱离。

我们知道放电线圈一次侧应直接并联在电容器两端，而二次线圈接法是 A 相尾和 B 相首相连，B 相尾和 C 相首相连，A 相首和 C 相尾开口（见图 2）。即放电线圈二次线圈接成开口三角形。

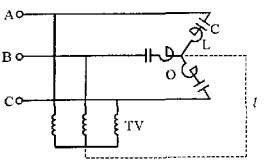

图 2 放电线圈接线图

由于电容器三相电容量基本平衡，开口三角电压理论上应该为零，实际上是一个很小的数值。当电容器发生故障，熔断器断开故障电容器或集合式电容器内部小单元电容器损坏后，开口三角电压就会升高，达到保护定值后，不平衡电压保护就会动作掉闸。施工中特别容易发生放电线圈接线的错误，放电线圈是有极性的，极性接反，会引起放电线圈的损坏；放电线圈接线盒处二次线没接成开口三角时，保护装置会出现一个大于 10V 左右的悬浮电压，使电容器组投不上；放电线圈接线错误还能使保护装置出现 100V 左右的电压，使电容器组投不上。

除此之外，在施工中连接放电线圈的是铝排，运行中发生电容器爆裂时，其震动使靠近电容器最近的放电线圈也产生机械震动，此震动造成放电线圈套管的扭曲，使放电线圈套管漏油或损坏。所以放电线圈也应采用软连接，一旦电容器发生爆裂，其震动经过软的连接线而消除，可避免放电线圈的损坏。

综上所述，并联电容器工程的监理是非常重要的，施工质量的好坏直接影响变电站电容器组是否能正常运行，特别是在满负荷运行的变电站，并联电容器几乎全天投入，可见电容器装置的现场施工质量是多么的重要。

作者简介：

陈静元（1969 - ），男，工程师，河北唐山人，主要从事唐山供电公司可靠性技术管理工作。

王维义（1948 - ），男，工程师，河北唐山人，主要从事唐山供电公司工程监理工作。

（上接第 37 页）

参考文献：

[1] Akagi H, Kanazawa Y, Nabae A. Generalized theory of the instantaneous reactive power in three - phase circuits[J]. In: IEEE&JIEE. ProceedingsIPEC. Tokyo: IEEE, 1983: 1375 ~ 1386.

[2] 王兆安，杨君，刘进军．谐波抑制和无功功率补偿[M]．北京：机械工业出版社，2002.

[3] 卓放等．大容量有源电力滤波器实现方法的研究[J]．电力电子技术，2001，(4).

[4] TEXAS INSTRUMENTS TMS320C28x Digital Signal Processors Data Manual, April 2001 Revised June 2004.

[5] TEXAS INSTRUMENTS TMS320F28x DSP Event Manager (EV) Reference Guide TEXAS INSTRUMENTS, 2003.

作者简介：

张蕾（1979 - ），男，汉族，在读硕士，研究方向：电力电子技术及其电力传动。

蒋云峰（1965 - ），男，汉族，副教授，研究方向：DSP 及其应用，电力电子技术应用。电话：027 - 61084102，E-mail: quartus@ tom. com