

基于 TMS320F2812 的 DSTATCOM 的研究

张 愉¹, 马少军², 齐美星³

(1. 苏州市职业大学电子信息工程系, 江苏 苏州 215104; 2. 秦山第三核电有限公司运行处, 浙江 海盐 314300;
3. 苏州工业园区职业技术学院机电工程系, 江苏 苏州 215021)

摘要: 为了实现对电网的实时动态无功补偿, 笔者提出一种采用高性能数字信号处理器 TMS320F2812 作为控制核心的 DSTATCOM 控制器, 利用其数据处理能力强、片内外设丰富的特点, 实现了信号采样、同步保持、脉冲信号发出及保护等功能。实验结果表明, 所设计的控制器具有硬件电路简单、实时性好、功能完善、可靠性高和抗干扰能力强等优点, 完全可以满足 DSTATCOM 的实时性、多功能和多目标协调控制、处理算法复杂等要求。

关键词: 配电网; 配电网静止无功补偿器; 电能质量; 数字信号处理

中图分类号: TM72

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2008)05-0399-03

TMS320F2812 Based DSTATCOM Controller

ZHANG Yu¹, MA Shao-jun², QI Mei-xing³

(1. Department of Electronic Information of Suzhou College, Suzhou 215104, China;
2. Third Qinshan Nuclear Power Co. Ltd., Operation Department, Haiyan 314300, China;
3. Institute of Vocational Technology of Suzhou Industrial Park, Suzhou 215021, China)

Abstract: In order to achieve real-time dynamic reactive power compensation for power system, this paper presents a DSTATCOM controller, with the digital signal processor TMS320F2812 as its control center. This controller takes advantage of high processing capabilities and rich chip peripherals of TMS320F2812, and realizes such functions as signal sampling, synchronization keeping, pulse signal emitting and safeguard. Experimental results show that the controller has the advantages of simple circuit, good real-time, perfect function, high reliability and anti-jamming, and can satisfy completely the needs for DSTATCOM, including real-time, coordinated control between multiple functions and multiple goals, complex processing arithmetic, and so on.

Key words: distribution network; DSTATCOM; power quality; digital signal processing

0 引言

配电网静止无功补偿器(DSTATCOM)是用户电力技术的重要装置之一, 其将自换相桥式电路通过电抗器或者直接并联在电网上, 适当地调节桥式电路交流侧输出电压的相位和幅值, 或者直接控制其交流侧电流, 就可以使该电路吸收或者发出满足要求的无功电流, 实现动态无功补偿的目的, 从而在很大程度上提高电能质量。而且由于其具有响应速度快、调节连续、装置体积小等优点, 得到了电力工业界越来越多的关注。

控制器是 DSTATCOM 装置的核心部件之一, 它通过产生并控制驱动开关器件的脉冲来控制 DSTATCOM 的各种行为, 完成 DSTATCOM 的控制任务^[1]。设计良好的控制器, 选用合适的控制策略是

DSTATCOM 补偿效果好坏的决定性因素。由于 DSTATCOM 控制环节计算量大、流程复杂、精度要求高, 传统的以单片机作为控制核心的控制器由于受硬件资源与速度的限制, 采样精度不高, 每周波的采样点少, 只能选择计算量小的算法, 结果限制了测量的精度, 已无法实现对电网的实时动态无功补偿^[2]。

笔者提出一种采用高性能数字信号处理器 TMS320F2812 作为控制器核心的 DSTATCOM 控制器弥补了以往控制器的不足, 并且硬件电路简单、实时性好、功能完善、有较高的可靠性和抗干扰能力, 完全可以满足 DSTATCOM 的实时性、多功能和多目标协调控制、处理算法复杂等要求。

1 控制器硬件设计

控制器的硬件结构见图 1, 主要由信号调理电路、保护电路和控制主板 3 部分构成。信号调理电路

收稿日期: 2008-05-15; 修回日期: 2008-08-23

作者简介: 张 愉(1979-), 女, 宁夏银川人, 硕士, 讲师, 研究方向为智能传感器。

将所需的电压和电流信号处理后传给控制主板;在控制主板上,控制核心 TMS320F2812 DSP 将所需电压和电流信号经过基于瞬时无功理论的 i_p-i_q 检测法运算后得到相应的无功电流值,通过控制算法给出要求的补偿信号,补偿信号再通过 TMS320F2812 内部 PWM 模块产生 SVPWM 控制信号送至驱动电路,最终通过功率电子器件产生相应的补偿电流注入电网。同时 TMS320F2812 DSP 负责数据显示及与上位机通讯等任务。当 DSTATCOM 运行在过压、过流、超温或其它一些不正常的情况下,保护电路会输出一个故障信号,控制器发出封锁脉冲封锁 IGBT,使 DSTATCOM 停止工作,防止发生危险。

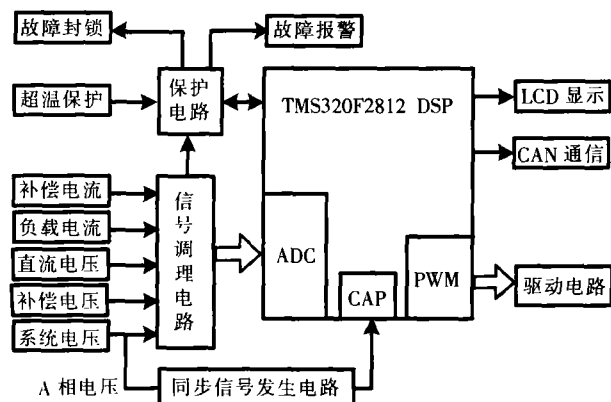


图1 DSTATCOM 控制器的硬件结构

1.1 TMS320F2812 芯片简介

TMS320F2812 是美国 TI 公司最新推出的主频可达 150 MHz 的 32 位定点 DSP,其功能框图见图2。TMS320F2812 片上有丰富的外设资源,主要有模数转换模块(ADC)、事件管理器模块(EV)、串行外设接口模块(SPI)、串行通信接口模块(SCI)、CAN 控制器模块(eCAN)等。其中,片内集成的 ADC 模块具有以下特点:内置带采样/保持器的 12 位 A/D;16 路模

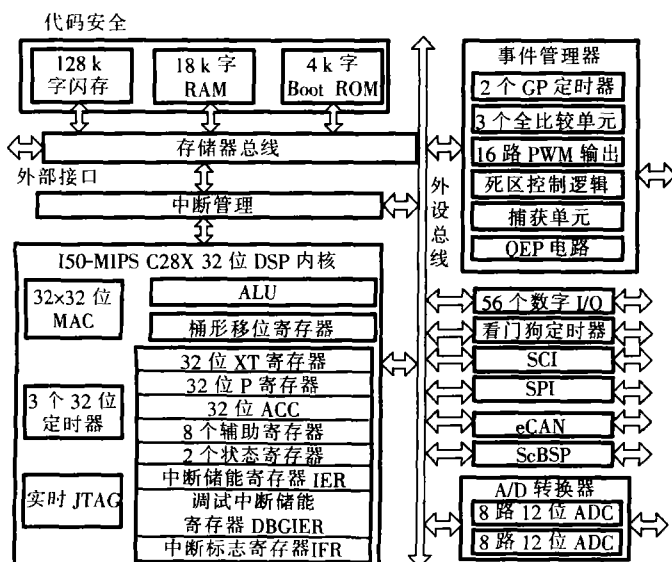


图2 TMS320F2812 功能框图

拟输入通道;单通道转换时间 80 ns;多个触发源启动 A/D。事件管理器(EV)分为 EVA 和 EVB 两个模块,每个模块包括 2 个通用定时器、3 个比较单元、3 个捕获单元以及正交编码电路。

1.2 A/D 转换模块

笔者利用 TMS320F2812 片内集成的 ADC 模块对系统电压、直流电压、补偿电压、负载电流及补偿电流等所需电压信号和电流信号进行采集。TMS320F2812 带有内置采样/保持(S/H)的 12 位模数转换模块 ADC,16 路模拟输入通道;单通道转换时间 80 ns,可实现快速精确的测量,较好地解决了数据采集中准确性与快速性的问题。在两个事件管理器 EVA 和 EVB 中分别有 8 个模拟输入通道,分别为 ADCIN A₀~A₇ 和 ADCIN B₀~B₇,这 16 个模拟输入通道在排序器 SEQ1 (控制 ADCIN A₀~A₇) 和 SEQ2 (控制 ADCIN B₀~B₇) 的控制下既可以单独工作,又可以在模拟输入量较多时级连起来工作。在该设计中,由于共有 13 个模拟量输入,因此将 SEQ1 和 SEQ2 级连工作,使用其中的 13 个模拟量输入通道。设置从引脚 ADCSOC 来的外部信号作为 A/D 转换的触发源,并设置为下降沿有效,同步信号发生电路完成对 A 相系统电压的滤波和整形处理,并通过过零检测电路产生跟随系统电压变化的矩形脉冲,当 A 相系统电压经过负向过零点时,同步信号发生电路产生一个下降沿,从而触发 A/D 转换开始。

1.3 信号调理电路

在对所需的 13 个信号输入量(即系统三相电压 U_{sa} 、 U_{sb} 、 U_{sc} ,逆变器输出的补偿电压 U_{ia} 、 U_{ib} 、 U_{ic} ,补偿电流 I_{ia} 、 I_{ib} 、 I_{ic} ,负载电流 I_{la} 、 I_{lb} 、 I_{lc} 以及直流侧电容电压 U_{dc})进行采样时,笔者选用了 3 种类型的传感器,其中交流电压变送器以 0~5 V 的交流电压作为输出信号,霍尔电流传感器以 -100~+100 mA 的交流电流作为输出信号,霍尔电压传感器则以 0~60 mV 的直流电压信号作为输出信号,而 TMS320F2812 的 A/D 输入信号范围为 0~3 V,因此必须添加合适的调理电路以满足 A/D 输入的要求。

交流电压调理电路见图 3,由 3 部分组成:第 1 部分为射极跟随器,以提高电路的输入阻抗;第 2 部分是电压偏移电路;第 3 部分为箝位限幅电路,以保证输出电压信号在 0~3 V,满足 TMS320F2812 的 A/D 输入信号范围。

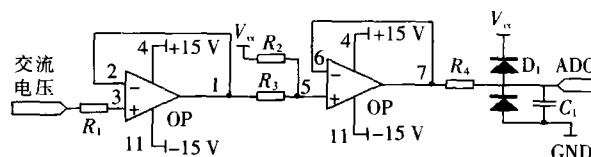


图3 交流电压信号调理电路

交流电流调理电路见图 4,与交流电压调理电路不同的是,第 1 部分是经电容 C_4 滤波后流经精密

采样电阻 R_9 , 将电流信号变换为电压信号, 第2部分是由运放构成的反相器。其他部分与交流电压调理电路基本相同。直流电压信号调理电路见图5, 该电路比较简单, 不再赘述。

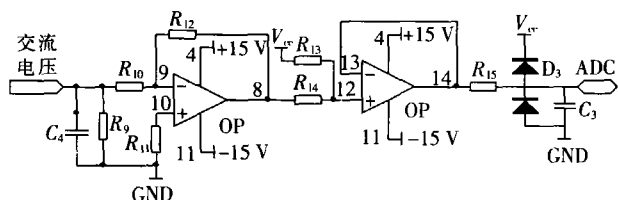


图4 交流电流信号调理电路

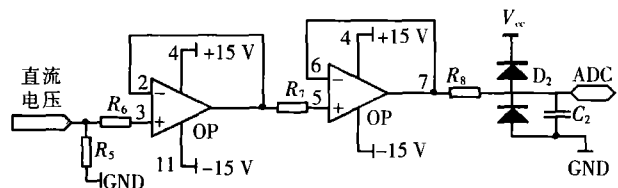


图5 直流电压信号调理电路

1.4 同步信号发生电路

从DSTATCOM的工作原理可知, 当逆变器的输出电压矢量与电网电压矢量幅值大小相等、方向相同时, 连接电抗器内没有电流流动, 而DSTATCOM工作在感性或容性状态都可调节以上两矢量之间的夹角来进行控制。逆变器输出的电压矢量的幅值及方向的调节都是以电网电压的幅值和方向作为参考的。因此, DSTATCOM与电网电压的同步问题就显得尤为重要了。笔者采用的同步信号发生电路原理图见图6, 由3部分组成: 第1部分采用了低通滤波电路对输入的A相系统电压信号 U_m 进行滤波, 防止同步电压 U_m 中夹杂有高频的干扰信号; 第2部分为射极跟随器, 以提高电路的输入阻抗; 第3部分为高速比较器 LM311, 通过它可完成同步电压的过零点检测。

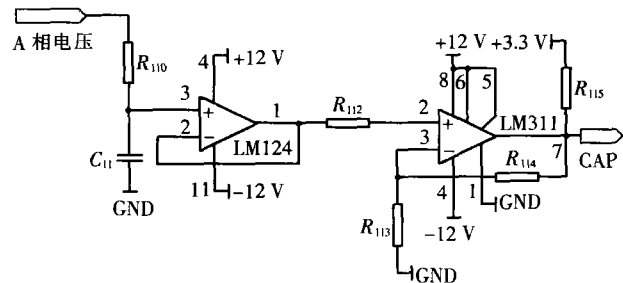


图6 同步信号产生电路

1.5 保护电路

保护电路主要有过流保护、过压保护、过热保护^[3]。笔者在设计时, 对电流及电压通过霍尔元件进行监测, 当发生过流或过压现象时, 立即封锁 IGBT 驱动信号, 关闭主电路, 另外采用温度继电器检测 IGBT 的外壳温度, 当外壳温度超过 85℃ 时, 则认为发生过热故障, 立即封锁脉冲信号。过流保护电路见图7。

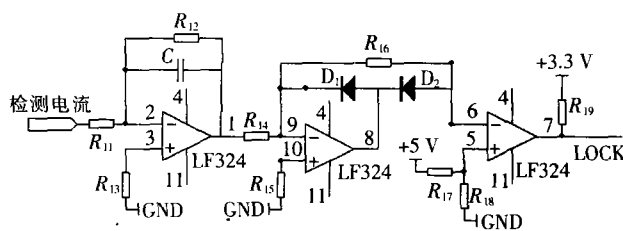


图7 过流保护电路

2 控制器软件设计

系统软件采用C语言编程, 运用模块化编程方式, 程序结构清晰, 便于调试和阅读, 软件总体流程见图8。整个系统分为初始化模块、系统保护模块、显示模块和键盘控制模块、数字滤波模块、DQ变换模块、低通滤波模块、PI调节器模块、DQ反变换模块及SVPWM脉冲生成模块。另外系统包括以下几个中断子程序: CAP过零中断、定时器周期中断、A/D中断, 分别完成过零标志置位、A/D启动、与上位机通信和数据结果传送。

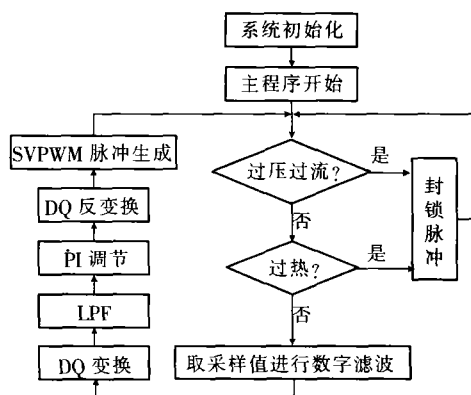


图8 软件流程图

3 试验结果分析

图9为所用实验平台, 在实验室内组建了10kvar的试验样机。DSTATCOM设计容量为10kvar, 系统频率50Hz, 装置与系统的连接电感为3mH, 装置直流侧电容为1600μF, 主电路由基于IGBT的三电平三相逆变器组成, IGBT的额定电流和额定电压分别为50A/1200V, 开关频率为10kHz。

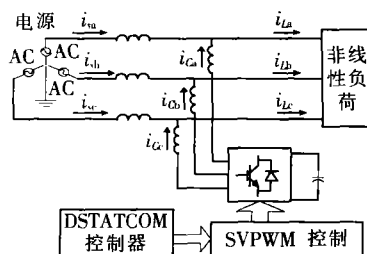


图9 仿真及试验平台

笔者利用图9所示的试验平台, 进行了补偿负荷所需无功功率试验。 (下转第405页)

生器于2007年6月在国家电网公司特高压直流试验基地投入试运行。实际运行中,整个发生器上未见可见电晕,有关部门开展的环境影响试验中亦未发现试验受发生器电晕影响的情况,达到了设计要求。

5 结论

(1)笔者采用有限元法建模计算特高压双极直流发生器的电场分布和改进优化,合理考虑了有限元的剖分、空间域外边界的处理及其对计算精度的影响,计算并采取改进措施优化了发生器的电场分布,达到了设计要求,发生器投运后取得了预期的效果。

(2)在直流电压发生器的电场分布中,电容器上的交流叠加电压分量对最高场强的影响十分明显,在计算中需按最大瞬时电压进行场强计算分析。

(3)采用均压环和防晕罩等措施可有效改进局部电场的分布,按10 kV/cm的计算电场控制值,本体柱防晕罩和分压器与接地柱均压环的管径应分别大于150 mm和60 mm。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.
- [2] 李立涅. 特高压直流输电的技术特点和工程应用[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(24): 5-6.
- [3] 周浩, 余宇红. 我国发展特高压输电中一些重要问题的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(12): 1-9.
- [4] 刘晓明, 王尔智, 曹云东, 等. 采用优化模拟电荷法的三维电场计算[J]. 电工技术学报, 2000, 15(6): 14-17.
- [5] 刘锐, 曾乃工, 王新新. 1.2 MV 全封闭 Marx 发生器的绝缘结构设计[J]. 高电压技术, 2005, 31(4): 69-70.
- [6] 华中工学院, 上海交通大学. 高电压试验技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983.
- [7] 罗来龙, 徐晓英. 电晕区中场强分布与伏安特性的研究[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 28(5): 178-180.
- [8] 谈克雄, 薛家麒. 高压静电场数值计算[M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.
- [9] 河野照哉(日). 电场数值算法. 尹克宁, 译[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [10] 盛剑霓. 工程电磁场数值分析[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- [11] 樊亚东, 文习山, 李晓萍, 等. 复合绝缘子和玻璃绝缘子电位分布的数值仿真[J]. 高电压技术, 2005, 31(12): 1-3.
- [12] JAISWAL V, FARZANEH M, LOWTHER D A. Impulse Flashover Performance of Semiconducting Glazed Station Insulator under Icing Conditions Based on Field Calculations by Finite-element Method[J]. IEE Proceeding of Generation, Transmission and Distribution, 2005, 152(6): 864-870.
- [13] FREEMAN E M, LOWTHER D A. An Open Boundary Technique for Axisymmetric and Three Dimensional Magnetic and Electric Field Problems[J]. IEEE Trans. Magnetic, 1989, 25(5): 4135-4136.
- [14] 刘振, 卞星明, 王黎明, 等. 特高压直流复合绝缘子均压环设计[J]. 高电压技术, 2006, 32(12): 137-141.
- [15] 司马文霞, 杨庆, 孙才新. 基于有限元和神经网络方法对超高压合成绝缘子均压环结构优化的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(17): 115-120.
- [16] LIU Jin, FREEMAN E M, YANG Xi-le, et al. Optimization of Electrode Shape Using the Boundary Element Method[J]. IEEE Trans. on Magnetic, 1990, 26(5): 2184-2186.
- [17] CUI Xiang, LIU Jian-xin. Design of Insulated Structure for Load-ratio Voltage Power Transformer by Finite Element Method[J]. IEEE Trans. on Magnetic, 1994, 30(5): 2944-2947.
- [18] LEE B Y, MYUNG S H, PARK J K, et al. The Use of Rational B-Spline Surface to Improve the Shape Control for Three-dimensional Insulation Design and Its Application to Design of Shield Ring[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 13(3): 962-968.

(上接第401页)

图10(a)为DSTATCOM还没有投入系统运行时的电压与电流波形,可以看出补偿前系统电流 I_a 滞后于系统电压 U_a 30°。图10(b)为DSTATCOM投入系统运行后的电压与电流波形。由图可见,电压与电流之间没有相角差, $\cos \Phi=1$,实现了同相位,减少了系统中的无功流动,证明了DSTATCOM实时完全地补偿了非线性负荷所耗的无功功率。

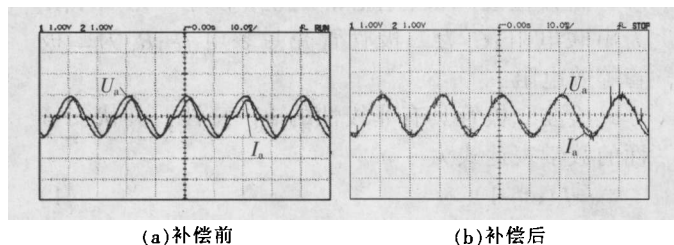


图10 补偿前后系统电压与电流波形

4 结语

基于TMS320F2812的DSTATCOM控制器充分利用了TMS320F2812芯片的运算速度快、精度高、扩展性好的特点。试验结果表明,该控制器具有运算速度快、精度高等优点,能够实时、准确、连续快速地对无功进行补偿,有效地抑制系统电压波动,在很大程度上改善了配电网的电能质量,有着广阔的市场前景。

参考文献:

- [1] 姜齐荣, 刘文华, 韩英铎, 等. ± 20 MVar STATCOM 控制器设计[J]. 电力系统自动化, 2000, 23(7): 24-28.
- [2] 袁佳歆, 陈柏超. 一种低压系统无功补偿器的研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(3): 69-71.
- [3] 廖志凌, 李天博. 基于TMS320F240的混合有源电力滤波系统软硬件设计[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(35): 218-221.