维普资讯 http://www.cqvip.com

第21卷第6期
2007年11月

湖 南 工 业 大 学 学 报
Journal of Hunan University of Technology

Vol.21 No.6
Nov. 2007

基于TMS320F2812的SVG设计及实现

梁辛征

（广西百捷电气有限公司，广西 南宁 530031）

摘 要：设计了一种基于TMS320F2812 DSP微处理器的静止无功发生器，给出了硬件电路和软件流程的具体实现方案。实验结果表明，该设计方案具有良好的工作性能。

关键词：数字信号处理器；静止无功发生器；柔性交流输电系统；SPWM；IGBT

中图分类号：TP273　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1673-9833(2007)06-0087-04

Design and Realization of SVG Based on TMS320F2812

Liang Xinzheng

（Guangxi BaiJie Electrical Co. Ltd.，Nanning 530031，China）

Abstract: By giving the hardware circuit and software work flow, a design of SVG based on digital signal processor (DSP) TMS320F2812 is presented. The research shows that the control system has good performance.

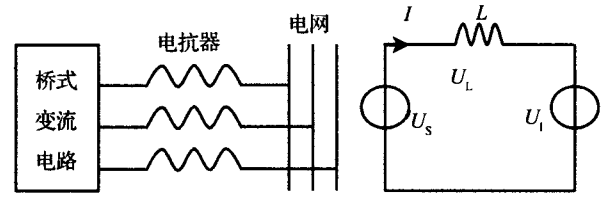
Key words: digital signal processor (DSP); Static Var Generator (SVG); flexible alternative current transmission system; SPWM; IGBT

随着电力电子装置应用的日益广泛，电网中的谐波问题日益严重，影响了供电质量[1,2]。无功功率动态补偿和谐波抑制的研究，在电力系统的电压稳定和提高功率因数等方面意义重大。

静止无功发生器（Static Var Generator，简称SVG）具有连续调节、调节范围大、响应速度快、控制精度高等优点，是当前比较好的动态无功补偿装置。SVG的控制关键在于大量的实时计算和高速的脉冲控制。随着集成有丰富片内外设的工业级高速数字信号处理器（Digital Signal Processor，简称DSP）的出现，这为设计性能优良的SVG提供了很好的解决方案。

1 SVG的基本工作原理

SVG的基本原理，是将自换相桥式变流电路通过电抗器或者直接并联在电网上。如图1中的a）所示，SVG类似于一个电压型逆变器，只不过其交流侧输出接的不是无源负载，而是电网[3]。因此，当仅考虑基波频率时，SVG可以等效地被视为幅值和相位均可以控制的一个与电网同频率的交流电压源。所以，SVG的工作原理就可以用如图1中的b）所示的单相等效电路图来说明，图2所示为等效电路图中电流超前和滞后时各向量的关系。由原理图可知，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[4]，实现动态无功补偿的目的。



a) 线路接线　　b) 单相等效电路

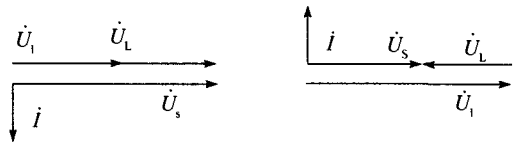
图1 SVG的基本工作原理图

Fig. 1 Block diagram of SVG basic operation principle

收稿日期：2007-08-20

作者简介：梁辛征（1979-），男，广西南宁人，广西百捷电气有限公司助理工程师，工程硕士研究生，主要研究方向为电力电子变换技术，电力系统自动化.

维普资讯 http://www.cqvip.com



a）电流滞后　　b）电流超前

图2　等效电路向量图

Fig. 2　Vector plot of equivalent circuit

2　SVG的主体结构

作为SVG的主体，桥式变流电路的结构可以分为电压型和电流型2种。本文的设计采用当前的主流结构——电压型结构，其基本的结构如图3所示。

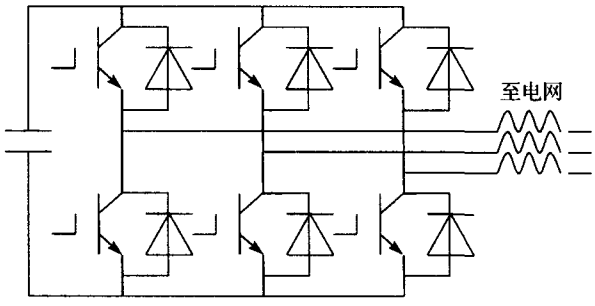


图3　电压型桥式变流电路的基本结构

Fig. 3　Basic configuration of voltage sourced bridge converters

由于IGBT的容量和电压等级不是很高，为了适应现在的高电压等级和超大容量的需要，可把多个逆变器组合成多重化结构、多级并联逆变器结构和多电平结构。

多重化结构是把几个单相或三相逆变器产生相位相差若干度的方波电压，用变压器将不同相位的方波电压串联在一起，使所形成的阶梯波更接近于正弦波。多重化结构的优点是：提高了变压器的容量和电压，减少了输出电压和电流中的谐波。其缺点是需要大量的变压器，造成SVG体积过大，成本过高。

多个逆变器并联结构，由多个开关频率较高的小容量SVG并联运行，其主要优点是可以灵活扩大逆变系统的容量，易于实现逆变器模块化，提高系统运行的可靠性和系统的可维护性。该结构的技术难点是逆变器的并联运行难。

多电平结构具有以下优点：M电平逆变器可以产生M层阶梯形输出电压，减少谐波含量；功率开关器件电压应力低，串联均压可以大大减轻电磁干扰，开关元件一次动作的$\mathrm{d}v/\mathrm{d}t$通常只有二电平的$1/(M-1)$；用较低的频率进行开关动作能减少损耗，提高效率[5]。因而此结构在高电压大功率SVG场合具有广泛的应用前景[1]。

3　SVG功率电路器件的选择

3.1　IGBT模块的选择

3.1.1　IGBT额定电流值的确定

在实验室条件下，交流电源为380 V，则直流侧电容两端电压U_d为：

$$U_d = 1.35U_S = 1.35\times380\ \mathrm{V} = 513\ \mathrm{V}。\tag{1}$$

逆变器输出电压最大值$U_{i\max}$为：

$$U_{i\max} = \frac{\sqrt{3}}{2}U_d = 0.866U_d = 0.866\times513\mathrm{V} = 444\ \mathrm{V}。\tag{2}$$

逆变器输出电压的实际有效值为：

$$U_{i\max} = \frac{U_{i\max}}{\sqrt{2}}\times\alpha\times\beta = \frac{444\mathrm{V}}{\sqrt{2}}\times0.95\times0.95 = 283\ \mathrm{V}，\tag{3}$$

式(3)中：α为考虑的最大调制度，通常取0.95；β为考虑死区影响产生的系数，通常取0.95。所以在10 kVar的额定容量下的输出线电流I_N近似计算为：

$$I_N = \frac{10\times10^3}{U_i\sqrt{3}} = \frac{10\times10^3}{283\ \mathrm{V}\times\sqrt{3}} = 20.4\ \mathrm{A}。\tag{4}$$

通态峰值电流I_m为：

$$I_m = \sqrt{2}I_N = \sqrt{2}\times20.4\mathrm{A} = 28.8\ \mathrm{A}。\tag{5}$$

考虑1.5～2.0倍的安全系数，取额定电流I_N为50 A。

3.1.2　IGBT耐压值的确定

IGBT正反相峰值电压为：

$$U_m = \sqrt{2}U = \sqrt{2}\times380\mathrm{V} = 537\ \mathrm{V}。\tag{6}$$

考虑1.5～2.0倍的安全系数，取额定耐压值为1 000 V。

根据上述IGBT参数的计算，本研究中选用型号为CM50DY-20的IGBT模块，其耐压值为1 000 V，最大电流为50 A。

3.2　二极管整流模块器件的选择

因为SVG并网之前需先对其直流侧的储能电容进行充电，所以需选择相应的二极管整流模块。

3.2.1　二极管电压额定值的确定

二极管的耐压值U_M由下式确定：

$$U_M \geq U_{AC}\times\sqrt{2}\times K_V\times\alpha_V = 380\mathrm{V}\times\sqrt{2}\times1.1\times2 = 1\,182.3\ \mathrm{V}。\tag{7}$$

式(7)中，U_{AC}为整流桥输入电压的额定值，K_V为电压波形系数，α_V为安全系数。

3.2.2　二极管电流额定值的确定

二极管的峰值电流为：

$$I_m = \sqrt{2}I_N = \sqrt{2}\times20.4\mathrm{A} = 28.8\ \mathrm{A}。\tag{8}$$

流过二极管电流的有效值为：

$$I_D = \sqrt{\frac{1}{360}\int_0^{120^\circ} I_m^2\,\mathrm{d}(wt)} = \frac{1}{\sqrt{3}}I_m = 16.6\ \mathrm{A}。\tag{9}$$

二极管的额定电流值为：

维普资讯 http://www.cqvip.com

$$I_n = (1.5 \sim 2)\frac{I_D}{1.57} = 15.8 \sim 21.2\ \text{A}。\tag{10}$$

根据以上计算所得的电压、电流额定值，选用的二极管整流模块型号为6RI30G-160，其耐压值为1 600 V，允许流过的最大电流为30 A。

3.3 主体结构直流侧电容的选择

直流侧储能电容可以起到滤波作用，其容量选择方法如下。

3.3.1 直流侧电容电压等级的选择

三相整流输出平均直流电压为：

$$V_{DC} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \times U_{ab} = 1.35 \times 380\text{V} = 513\ \text{V}。\tag{11}$$

加上滤波电容后，V_{DC}的最大电压可达到交流线电压的峰值：

$$V_{DCP} = \sqrt{2} \times U_{ab} = \sqrt{2} \times 380\ \text{V} = 537\ \text{V}。\tag{12}$$

3.3.2 直流侧电容值的确定

根据工程上的经验，直流侧电容的计算公式为：

$$C = \frac{I_F}{U_d f_{min} \sigma} k_\varphi。\tag{13}$$

式(13)中：I_F为逆变器的额定输出电流方均根值；

U_d为直流电压平均值；

f_{min}为逆变器的最低输出频率；

σ为允许直流电压频率低峰值纹波因数；

K_φ为与负载位移因数角有关的系数。

本文未采取此经验公式，而是根据工程上直接选取电容的经验法则：1 kW的负载功率对应1 000 μF的电容，考虑到装置的容量为10 kVar，为了使主回路的容抗不至于太大，综合电压脉动、脉冲电流和成本因素，直流侧电容选用4个2 200 μF / 450 V的电解电容，将其两两串联再并联接入电路。使得这样的一个直流侧电容总耐压值为900 V，电容值为2 200 μF。

4 SVG控制器的控制方法及实现

本设计中的SVG控制器是以TI公司生产的新型TMS320F2812 DSP芯片为核心，采用SPWM原理进行脉冲输出控制，从而驱动主电路中的IGBT器件工作，产生所需的波形。

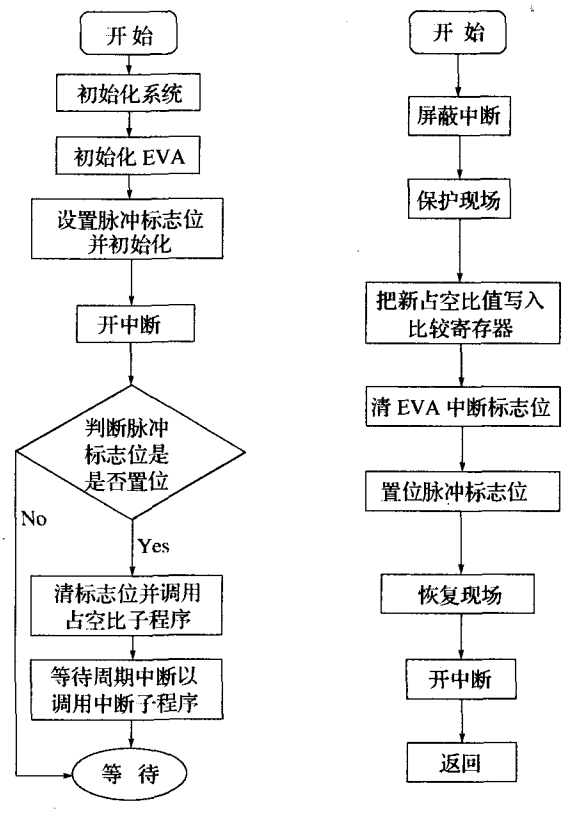
4.1 控制脉冲信号产生的硬件设计

由于TMS320F2812 DSP芯片集成有专门为电机控制而设计的片内外设，这极大方便了SVG控制器控制脉冲产生电路的硬件设计。本设计中，只需利用F2812片内管理器EVA中的全比较单元、通用定时器1、可编程死区发生器和6个PWM输出通道，便可实现控制脉冲的产生。

通用定时器1采用连续增减计数模式，以实现一个计数周期产生一个脉冲。可编程死区单元用于设定死区，以防止桥式变流电路的上下桥臂误导通。死区时间设定值根据所使用的IGBT器件的关断时间设定。脉冲宽度值可由比较寄存器单元的当前值进行控制，而通过实时计算载波三角形与设定值水平线交点对应的时间值，并将该值不断写入比较寄存器，最终达到实时改变脉冲占空比的目的。

4.2 控制脉冲信号产生的程序设计

首先初始化系统，包括禁止中断、数据存储空间映射、设置系统控制寄存器及状态寄存器、设置看门狗寄存器及输出引脚等。其次，初始化EVA模块，包括定时器计数方式的选择、定时器周期寄存器的赋值、比较寄存器的赋值及死区发生器的寄存器的赋值等。控制脉冲信号产生的主流程图和中断子程序流程图如图4所示。



a）主程序　　b）中断子程序

图4　程序流程图

Fig. 4　Diagram of program flow

4.3 实验结果和波形

在实验室条件下，本设计实验结果如下，图5为用于控制一组桥臂的IGBT的互补脉中信号对，图6为相位差为120°的两路SPWM波形，图7为两相SPWM叠加波形，图8为SVG并网前时的线电压波形，图9为并网前SVG输出电压与系统电压。

维普资讯 http://www.cqvip.com

5 结语

本文介绍了基于TMS320F2812 DSP微处理器的静止无功发生器的整体结构设计及其实现方法。本设计由于采用了以新型高性能数字处理器为核心，因此，该系统具有集成度高、运算速度快、精度高、电路设计简单等优点。实验数据及波形表明，该设计方案可行、响应速度快、控制精确，达到预期的设计效果。

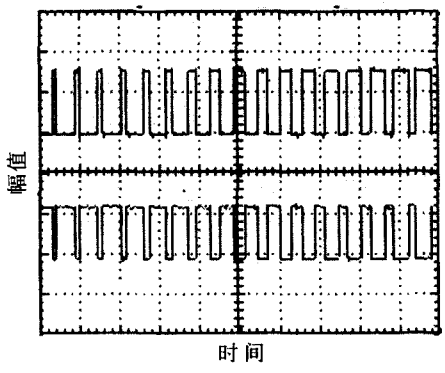


图5 SPWM互补脉冲波形

Fig. 5 Reverse SPWM waveform

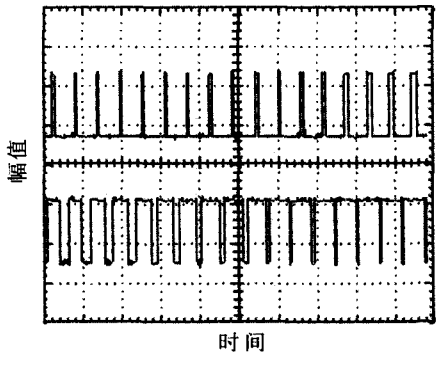


图6 相位差为120°的SPWM波形

Fig. 6 120° phase differences SPWM waveform

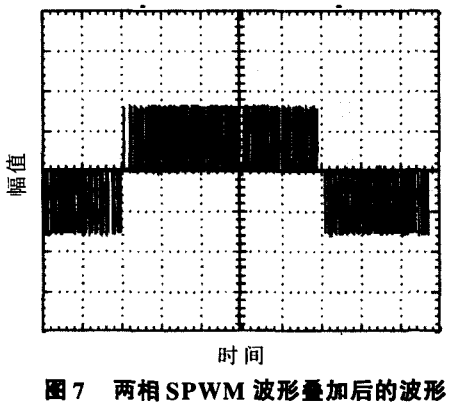


图7 两相SPWM波形叠加后的波形

Fig. 7 Compound SPWM waveform

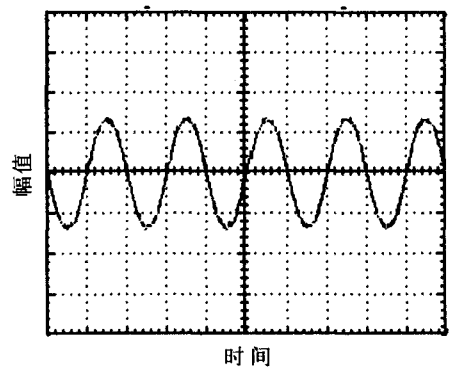


图8 SVG并网前的电压波形

Fig. 8 Voltage waveform of SVG before grid-connected

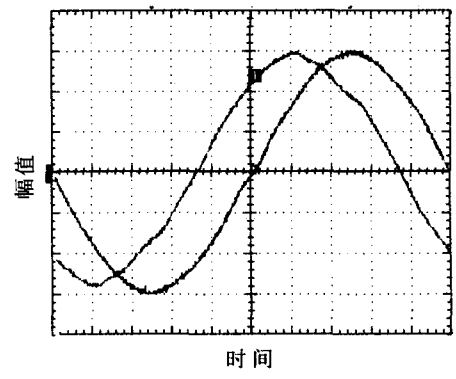


图9 并网前SVG输出电压与系统电压

Fig. 9 SVG outputting voltage and system voltage before grid-connected

参考文献：

[1] 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，1998.

[2] 靳龙章，丁毓山. 电网无功补偿实用技术[M]. 北京：中国水利水电出版社，1997.

[3] 高 航，陈希正，许沛丰，等. ASVG工业化装置在电力系统中的应用[J]. 中国电力，2000，33(2)：33-35.

[4] 王兆安，黄 俊. 电力电子技术[M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[5] 吴忠智，吴加林. 变频器应用手册[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2003.