

DSP 控制器在能量反馈系统中应用

刘 洋,董浩斌
(中国地质大学 研究生院,湖北 武汉 430074)

摘要: 能量反馈系统是将各种独立的交直流供电设备多余的电能收集起来并反馈回市电电网的装置,其核心问题是如何控制输出电流与市电保持同步。根据能量反馈系统的特点提出了全数字化的控制方案,用数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)TMS320LF 2407 设计并实现,解决了这一核心问题。进行了仿真试验,跟踪精度达到 0.1Hz,完全满足能量反馈系统的需要。
关键词: 能量反馈系统; DSP 控制器; 数字控制; 同步
中图分类号: TM 734 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)04-0081-02

本文提出了一种用数字信号处理器 DSP(Digital Signal Processor)实现能量反馈系统的全数字控制方法,并给出了实验结果^[1,2]。

1 能量反馈系统

能量反馈系统将独立交、直流供电设备所输出的电能反馈回电网,系统框图如图 1 所示。



图 1 能量反馈系统框图
Fig.1 The block diagram of energy feedback system

要求系统的输出电流必须与市电的频率、相位保持一致。因此,系统应具有同步锁相功能,这由控制部分完成^[3,4]。

本能量反馈系统的控制部分采用 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2407 实现^[5~7]。图 2 是能量反馈系统中逆变器的电路图。

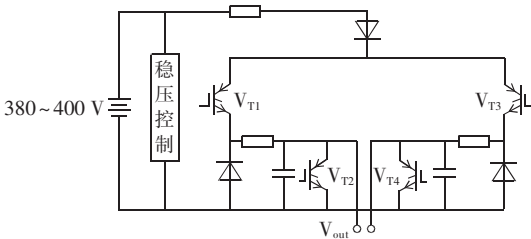


图 2 逆变器电路图
Fig.2 The circuitry of inverter

如图所示,若在 V_{T1} 管和 V_{T3} 管输入单极性的正弦脉冲宽度调制 (SPWM) 波, V_{T2} 管和 V_{T4} 管输入两路相位相反的方波,则可以在 V_{out} 处输出双极性的 SPWM 波,再经过滤波即可得到正弦波。各个端口的波形示意图如图 3 所示,图中每半个周期的波形之间加上了 0.8 ms 的死区,这是为了防止 V_{T2} 管和 V_{T4} 管同时导通。

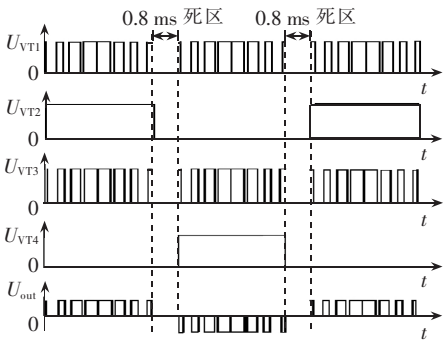


图 3 波形示意图
Fig.3 The sketch diagram of control pulses

DSP 控制器需要输出三路信号:一路单极性带死区的 SPWM 波和两路相位相反带死区的方波信号。此外,这三路信号要与市电保持同步,因此 DSP 控制器还有一市电的输入信号。

2 DSP 全数字化控制方案设计与实现

在 TMS320LF 2407 中,其片内外设资源中的事件管理器 (EV) 模块是专用于运动控制和电机控制的。为完成上述控制功能,需要用到 EV 模块中的通用定时器、PWM 发生器、捕获器以及中断逻辑。整个控制方案分 3 个步骤进行,首先是 SPWM 波的发生,然后是捕获市电频率,最后是进行同步锁相。

2.1 SPWM 波的发生

SPWM 波是由正弦波与三角波 (载波) 相比较而产生的一组宽度与正弦波幅值成正比的方波。该方波经滤波电路可还原为正弦波。

由 DSP 内部的通用定时器进行计数,定时器的周期寄存器装载三角载波周期所需要的计数值,同时将正弦波各个比较点的幅值取出,送给定时器的比较寄存器,当定时器的计数值与比较寄存器的值相等时,发生比较匹配。定时器继续计数直至达到周期寄存器的值,发生周期匹配,一个三角载波周期结束。如果需改变三角载波频率和比较值,只需

改变相应的周期寄存器和比较寄存器的值,相应的引脚即可输出宽度不等的 SPWM 波。在整个过程中,三角载波和正弦波并没有出现,它们只是一种抽象的波形。图 4 是 PWM 波发生的简要示意图。

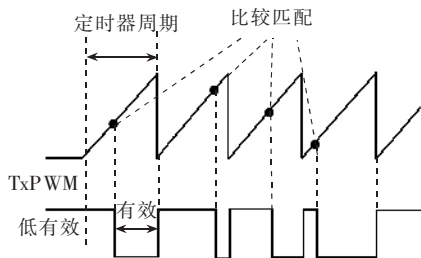


图 4 连续增计数模式下的比较输出 (TxPWM)

Fig.4 The comparative output under continuous increment counting mode(TxPWM)

在用软件实现时,为了便于分频,假定三角载波的频率是正弦波频率的 256×2 倍。下面是需要用到的两个计算公式:

$$U_i = \sin(i\pi/256) \quad i = 0, 1, 2, \dots, 255 \quad (1)$$

$$N_T = 40 \times 10^6 / [(256 \times 2) f_s] \quad f_s = 47 \sim 52 \text{ Hz} \quad (2)$$

用式(1)可算出三角波与半个周期的正弦波相交的 256 个幅值,用式(2)可以算出定时器的周期寄存器需装载的值,其中 40×10^6 是指所用的 TMS320LF2407 的内部时钟频率, f_s 是市电的频率,系统要求市电跟踪的精度是 0.1 Hz,所以将上述两个公式计算出的值做成表,以查表方式产生 SPWM 波,从而提高程序运行的效率。SPWM 波的死区通过精确的延时程序实现。

2.2 捕获市电频率

捕获器的作用是捕获输入引脚上电平的变化并记录其变化发生的时间。由于市电是 220 V 的正弦波,所以将其进行降压和过零检测后得到幅值约 3 V 的方波,以便于 DSP 捕获。1 个 DSP 芯片有 2 个 EV 模块 (EV_A 和 EV_B),它们分别包括 3 个捕获器。该系统采用 EV_B 模块的 4,5 两个捕获器,其中 CAP₄ 捕获方波的上升沿, CAP₅ 捕获方波的下降沿。捕获上升沿是为了确定市电的频率,由两次捕获值之差即可得到对应的市电频率;捕获下降沿是为了在 SPWM 波的后半周期进行锁相调整,这样在 1 个周期内就可跟踪上市电。

在实际编程时,考虑到 CAP₄ 的捕获值与市电频率有一个对应关系,所以按频率顺序将捕获标准值做成一个范围表。当 CAP₄ 的捕获中断发生时,就可以根据捕获值查到相应的市电频率,进而查到相应三角载波的周期值,然后调用发生 SPWM 波的子程序,这样就可以产生前半个周期的 SPWM 波。

2.3 同步锁相

锁相是该系统里很重要的一个步骤,为了解决这个问题,程序采用了一个辅助寄存器 AR_x ($x = 0, 1, 2, \dots, 7$) 进行 SPWM 波的计数^[3],从而在下降沿中断发生时得到 SPWM 波与市电的相位差,进而

进行锁相调整。其原理可以这样解释:一个完整的半周期 SPWM 波需要取 256 个点进行比较,在上升沿 CAP₄ 发生中断时, AR_x 的初值设为 256,以后每比较 1 次,辅助寄存器值减 1。如果在下降沿 CAP₅ 发生中断时,该寄存器的值不为 0,则需要改变三角载波的频率进行锁相调整,以使 SPWM 波与市电同步。

下面是计算调整后的 SPWM 波的相关定时器周期寄存器值公式^[8]:

$$N'_T = N_T - (x/256)N_T = (1 - x/256)N_T$$

其中 x 是 AR_x 中的值,当 $x > 0$ 时,表示 SPWM 波滞后 x 个点, N_T 减小以加快三角载波的频率;相反则表示超前 x 个点,此时 x 为负值, N_T 增大以减慢三角载波的频率。由于 AR_x 计数时,当其中的数小于 0 时,它会从 0FFFF H 开始往下递减,负数在 DSP 内部以补码形式存储, 0FFFF H 就是 -1 的补码,所以根本不用考虑超前还是滞后,只需按上面的公式即可算得新的 N_T 值。最后,调用 SPWM 波子程序,发生调整后的后半周期 SPWM 波。

除此之外, DSP 控制器还需输出两路相位相反的方波信号。由于两路方波信号要求与 SPWM 波一样具有死区和跟踪市电的功能,因此将它们分别放在 CAP₄ 和 CAP₅ 的中断子程序里发生,其原理与 SPWM 波相同,不同之处是相应的定时器的比较寄存器只需要放 1 个比较值即可,该值可通过计算死区时间得到。

3 实验结果

能量反馈系统的控制部分主要是通过对 DSP 芯片编程实现的,其硬件电路是 1 个 DSP 的最小系统,无需扩展任何外围电路。整个系统的程序已通过闻亭公司的 EPP-XDS510 仿真器调试完毕。

调试结果显示该控制器能准确跟踪 47~52 Hz 的市电,跟踪精度为 0.1 Hz。此外,系统还考虑到了过量程的处理。在市电频率超出 47~52 Hz 范围时,系统处于待机状态;当市电频率在规定的范围内时,系统重新启动。

4 结论

针对能量反馈系统,用 DSP 设计并实现了对市电的同步锁相控制。所有的控制功能在 1 片 DSP 芯片内部完成,无需增加任何外围设备。控制电路非常简单,占用体积小,而且控制精度高,能实现复杂控制,几乎不受外界环境因素的影响。

参考文献:

- [1] 何立民. 单片机应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1992.
- [2] 胡广书. 数字信号处理——理论、算法与实现 [M]. 北京:清华大学出版社,1997.

(上接第 82 页 continued from page 82)

- [3] 林征宇, 吴建德, 何湘宁. 基于 DSP 带同步锁相的逆变器控制[J]. 电力电子技术, 2001, (2): 24-28.
LIN Zheng-yu, WU Jian-de, HE Xiang-ning. DSP-based control strategy for single-phase inverters with synchronous phase locked loop[J]. **Power Electronics**, 2001, (2): 24-28.
- [4] 吴渭, 向建玲, 邢岩. 基于 DSP 的 UPS 输出电压锁相设计[J]. 电工技术杂志, 2003, (4): 49-51.
WU Wei, XIANG Jian-ling, XING Yan. Design of software phase-locked loop based on DSP for UPS application[J]. **Electrotechnical Journal**, 2003, (4): 49-51.
- [5] 何苏勤, 王忠勇. TMS320C2000 系列 DSP 原理及实用技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [6] 江思敏. TMS320LF240x DSP 硬件开发教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [7] 刘和平, 王维俊, 江渝, 等. TMS320LF24x DSP 结构、原

理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.

- [8] 姜桂宾, 裴云庆, 杨旭, 等. SPWM 逆变电源的无互联信号线并联控制技术[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23 (12): 94-98.
JIANG Gui-bin, PEI Yun-qing, YANG Xu, *et al.* Parallel operation of sinusoid wave inverters without control interconnections[J]. **Proceedings of the CSEE**, 2003, 23 (12): 94-98.

(责任编辑: 戴绪云)



作者简介:

刘洋(1979-), 女, 湖北枝江人, 硕士研究生, 主要从事智能仪器与智能控制的研究(E-mail: liuyang@2002.cug.edu.cn)。

Application of DSP controller in energy feedback system

LIU Yang, DONG Hao-bin

(China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Energy feedback system is the equipment that collects superfluous electric power of independent AC/DC power supply installations and feeds them back to power network. Its core technique is to keep the output current in-phase with the power net. According to the features of energy feedback system, a full digital control scheme based on DSP (Digital Signal Processor) TMS320LF2407 is presented, which meets the tracing precision of 0.1 Hz. Simulative test is performed.

Key words: energy feedback system; DSP controller; digital control; in-phase

