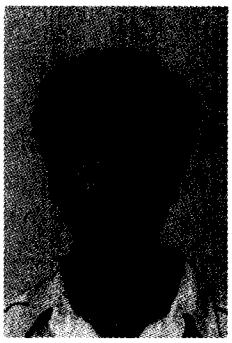
基于 DSP 的并网逆变系统研究



林旭成，　杨　苹，　吕　茵
(华南理工大学 电力学院，广东 广州　510640)

摘　要：阐述了一种基于数字信号处理器 TMS320LF2407A 的小功率并网逆变器的研究与设计。详细分析了系统的工作原理，并给出了系统的控制框图和软件设计流程图。最后进行了仿真和样机试验，结果表明，并网波形良好，满足要求。

关键词：数字信号处理；并网逆变；数字控制
中图分类号：TM 732　**文献标志码**：A　**文章编号**：1001-5531(2010)12-0014-03

林旭成(1985—)，男，硕士研究生，研究方向为电力电子与电气传动。

Research of Grid-Connected Inverter Based on DSP

LIN Xucheng,　*YANG Ping*,　*LV Yin*
(School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A small power grid-connected inverter based on the digital signal processor TMS320LF2407A was studied and designed. The operating principle of the system was analyzed, and control block diagram of the whole system and the software flow charts were given. Finally, the experimental results showed that the output waveform of grid current was unity and could meet the demand of grid-connection.

Key words: digital signal processing(DSP); grid connected inverter; digital control

0　引　言

风能由于其巨大的优势，已经成为新能源技术研究的重点，而逆变器作为风能发电系统中的核心部分，也得到了广泛的关注。其中传统 PI 模拟控制和锁相控制由于其电路组成复杂、可靠性低，已逐渐被日益崛起的数字化控制所替代。本文基于 DSP 数字控制器，设计了一种小功率风机逆变并网系统。

1　小型风机并网发电系统的组成

小功率风机并网系统主要由风机，发电机，DC-DC 升压电路，蓄电池，DC-AC 逆变电路，滤波电路和控制电路构成。风机并网发电系统的结构框图如图 1 所示。

系统的工作过程为：风机和发电机将风能转为电压和频率变化的电能；经过升压和逆变电路将这不稳定的电能转化为与电网同频同相的电能，并尽可能地输送给电网。蓄电池在其中起调节能源传递的作用。

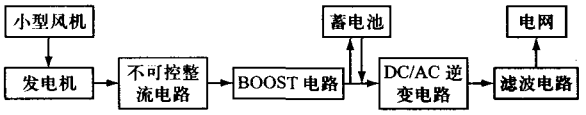


图 1　系统结构框图

1.1　主电路拓扑

小型风机单相并网逆变系统的主电路主要采用单相全桥逆变拓扑，逆变器选用 IPM 模块 6MBP20RH060，该模块内含驱动电路和过流、过压、过热等保护，集成度高，电磁干扰小。滤波电感采用单电感结构，变压器在其中主要起电气隔离作用。主电路拓扑结构如图 2 所示。

1.2　控制芯片

采用 TMS320LF2407A 作为控制芯片。该芯片是一款功能强大的数字信号处理器。其优点有：① 供电电压为 3.3 V，减低了功耗；② 最高频率可达 40 MHz，提高了控制器的实时控制能力；③ 每个管理器模块都包含有通用定时器、PWM

杨　苹(1967—)，女，教授，博士生导师，研究方向为电力电子建模与控制。
吕　茵(1985—)，女，硕士研究生，研究方向为电力电子及电气传动。

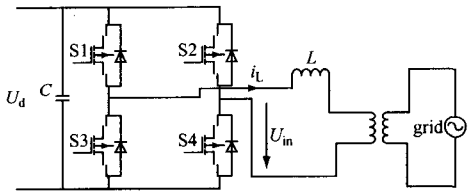


图2　单相全桥逆变电路拓扑图

通道和捕获单元等;④ 完成1路A/D转换的时间仅需375 ns;⑤ 可编程的PWM死区控制可防止上下桥臂直通。当外部引脚PDPINTx出现低电平时能快速关断PWM通道,对系统提供快速可靠的保护。可见TMS320LF2407A具有并网逆变器数字化设计所需的结构特点。

1.3　控制原理图

由于逆变器工作时直流母线电压会有波动,故小型风机单相逆变系统采用双闭环PI控制,外环为直流电压环,内环为并网电流环。外环的给定为恒定的直流母线电压,反馈量为直流母线电容两端的电压,对误差进行PI调节,输出作为并网参考电流的幅值,同时通过检测电网电压的频率相位,并以之作为并网参考电流的频率相位,两者相乘作为参考电流的给定。内环反馈量为实际的逆变输出电流,两者的误差经过PI调节后,得到的波形与三角载波比较产生4路PWM调制波,驱动IPM模块工作。同时为了消除电网扰动对系统的影响,还采取了电网电压前馈控制。前馈控制不仅控制速度快,大大减小了PI调节的输出,还使得系统等效为一个无源逆变系统,大大提高了系统的稳定性。通过PI调节,既可以保持母线电压恒定,同时也保证了输出电流与电网电压同步,使得功率因数为1。系统控制拓扑如图3所示。

2　软件设计

2.1　PI控制的软件实现

由于PI控制简单,参数易于整定等,尤其是和DSP结合后大大提高了系统的可靠性,改善了控制效果,故系统采取PID控制。比例环节P能及时地成比例反映控制系统的偏差,减小偏差,校正偏差,使反应迅速。I能消除或减小稳态误差,改善系统的稳态性能。PI控制的作用类似于相位滞后补偿器,其实现流程如图4所示。

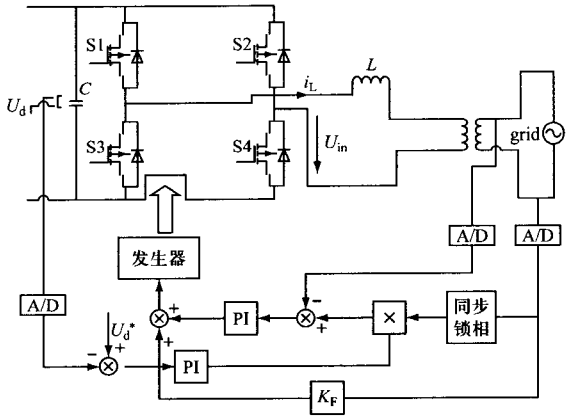


图3　系统拓扑与控制结构

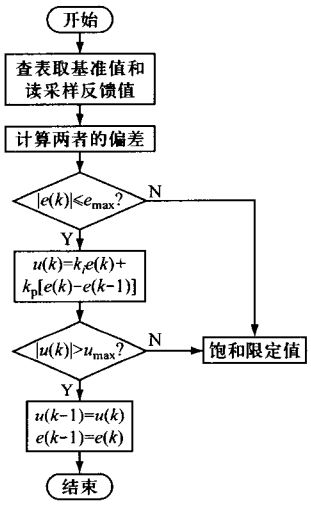


图4　PI控制的程序流程图

2.2　软件锁相

为了尽可能多地向电网输送有功功率,逆变器的输出电流必须与电网电压同频同相。该设计采用软件锁相实现逆变输出电流与电网电压严格同步。将电网电压信号经过整形成与其同步的符合DSP输入的方波信号。该信号送入TMS320LF2407A的CAP1引脚,设定通用定时器3作为CAP1口的时钟基准,并设置为递增计数模式。当捕捉到方波信号的上升沿时记录下此刻定时器的值。由相邻两次定时器值之差可算得电网电压的周期。用此周期值作为正弦调制波的周期,就可以实现输出电流与电网电压同频。通过判断电网电压过零时正弦表指针的位置来判断两者的相位差,调整并网电流正弦表的指针,可实现输出电流与电网电压同相(见图5)。

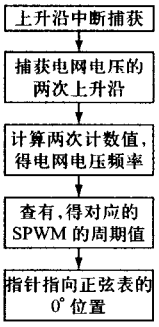


图5　锁相环程序流程图

2.3　SPWM 波的产生

利用 DSP 中的事件管理模块(EV)可以产生 SPWM 波。DSP 中的三角载波是通过定时器的连续增/减计数模式来实现。而正弦调制波则是通过将参考正弦波制成表格,查表获得代表正弦波的数字量。采用定时中断,在每个开关周期,程序从参考正弦表中获得相应的数字量并赋值给比较寄存器 CMPRx。PWM 输出设置为高有效时,当计数值从 0 开始计数到周期值 TxPR 的过程中与 CMPRx 匹配时,则输出高电平;当计数值从周期值 TxPR 开始计数到 0 的过程中与 CMPRx 匹配时,则输出低电平。设置为低有效的另一组 PWM 输出与高有效互补。当到达一个正弦周期时,将查表的指针复位到正弦波的初始处循环读取,其数字实现如图 6 所示。为了同一桥臂的上下开关管直通,2 路互补的 PWM 信号还可以通过死区时间寄存器(DBTCONx)来设置一定的死区时间。

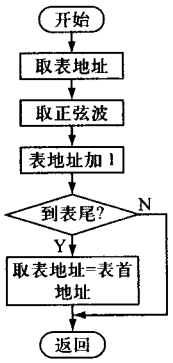


图6　SPWM 的数字程序流程图

3　试验及分析

并网试验装置由 Boost 升压(120 V/350 V)电路、逆变模块 IPM(6MBP20RH060)、滤波电感(3 mH)和隔离变压器(220 V/220 V)组成。试验结果波形如图 7 所示。可知,并网电流与电网电压同频同相,输出功率因数为 1。

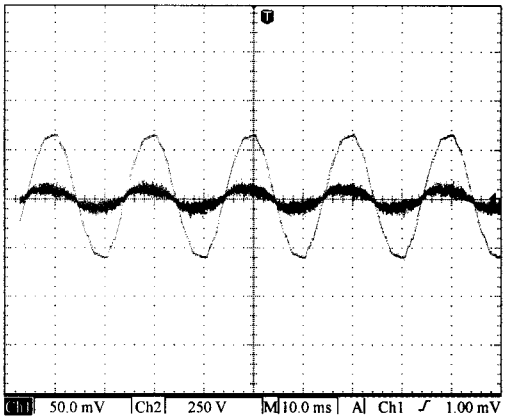


图7　并网电流和电网电压的输出波形

【参 考 文 献】

[1]　JUNG S L, ZOU Y Y. Discrete sliding-mode control of a PWM inverter for sinusoidal output waveform synthesis with optimal sliding curve [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 1996, 11(4): 567-576.

[2]　刘和平. TMS320LF2407X DSP 结构、原理及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2002.

[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, 35(2): 24-25.

[4]　蒋燕君,张超,何湘宁. 基于 DSP 的光伏并网发电系统数字锁相技术[J]. 电源技术应用, 2007, 10(2): 29-32.

[5]　HSIEH G C, HUNG J C. Phase-locked loop techniques-a survey [J]. IEEE Trans. on Ind Electr, 1996, 43(6): 610-612.

收稿日期: 2010-04-25

在线投稿　http://lva.chinaelc.cn