

基于DSP双闭环控制的单相逆变电源设计与实现

李东旭, 黄灿水, 汤宁平, 陈桂玉
(福州大学 电气工程与自动化学院, 福建 福州 350108)

摘要: 设计了一种基于 DSP 的电压、电流双闭环控制的单相逆变电源, 介绍了平均值闭环控制原理。利用 MATLAB 软件对控制策略进行了仿真分析, 并以 DSP 为实验平台对系统的硬件与软件进行了实验验证。结果表明, 该方案可以保证逆变电源输出的稳定, 并具有良好的动态性能, 成本低, 能满足普通场合的需要。

关键词: 正弦脉宽调制; 数字信号处理器; 双闭环控制; 反馈

中图分类号: TM464 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-3175(2011)03-0021-03

Design and Realization of DSP-Based Single-Phase Inverter with Dual-Closed Loops Control

LI Dong-xu, HUANG Can-shui, TANG Ning-ping, CHEN Gui-yu

(College of Electrical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: A kind of single-phase inverter, based on a digital signal processor (DSP), with voltage and current dual-closed loops control, was designed. Introduction was made to the average value closed loop control principle. MATLAB software was used to carry out simulation analysis for control strategy. The DSP was taken as an experimental platform to carry out experiment and verification for hardware and software of the system. The result shows that this plan can assure stable inverter output with good dynamic performance and low cost, meeting the need of normal site.

Key words: sinusoidal pulse width modulation; digital signal processor; dual-closed loops control; feedback

0 引言

逆变技术广泛应用于现代工业的各个领域, 随着电力电子技术的发展, 电压与频率的变换与传统的逆变电源相比较, 可以更容易获得所需要的各种电能形式。

本文采用平均值电压外环、电感电流内环的控制策略, 设计了一种简单而且易于实现的单相逆变电源控制方案, 并利用 MATLAB 软件的 SIMULINK 以及 POWER SYSTEM 工具包进行了仿真。最后利用 TI 公司高精度 DSP 芯片 TMS320LF2407A 为控制核心制作了样机。采用此方案的逆变电源具有较好的动、稳态性能, 体积小并且成本低廉^[1-2]。

1 逆变电源系统结构

本文设计的逆变电源系统结构图如图1所示。单相逆变主电路采用单相全桥逆变电路拓扑, 功率开关管采用绝缘栅双极型晶体管 (IGBT), 逆变电路输出侧接滤波电感 L 与滤波电容 C 组成 LC 滤波电路。逆变电路控制采用双极性 SPWM 控制, 即开关管 T_1 、 T_4 同时导通和关断, 开关管 T_2 、 T_3 同时导通和关断, 并且两组开关管导通相位相反且存在死区^[3]。

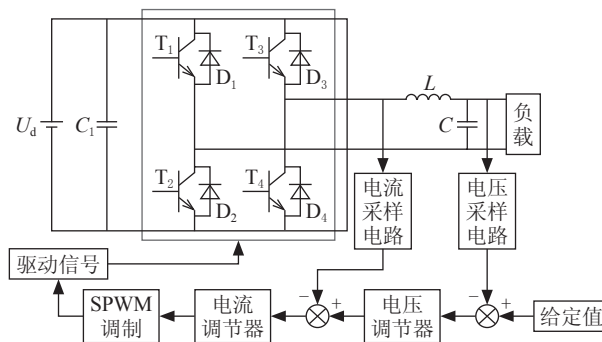


图1 逆变电源结构图

作者简介: 李东旭(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为变流技术与传动控制。

2 闭环控制策略

电压闭环控制的目的是使输出电压幅值稳定在给定值, 即有较小的稳态误差。瞬时值反馈需要对电压进行实时采样与计算, 占用了处理芯片大量的运算资源。电压平均值反馈则是通过硬件电路将输出电压经过整流和滤波后转化为平均值电压量, 这样可以大大减小处理器的运算量, 而且较电压瞬时值反馈, 输出电压波形也更加稳定, 可以获得良好的稳态性能。因此本文电压闭环控制采用输出电压的平均值作为控制量。具体做法是计算给定值与采样电压平均值的误差, 经过PI调节后得到下一周期电压的控制输出量, 电压闭环控制如图1所示。

常用的电流闭环控制对象有电感电流和电容电流。电感电流闭环控制具有较好抗负载干扰性能, 并且可以对逆变器进行限流保护, 因此常被采用。电容电流闭环控制相比于电感电流闭环控制可以使系统具有更好的动态性能, 缺点是采样时序复杂, 而且无法对逆变器进行限流保护, 只是一些要求高精度动态响应速度的场合被使用。

本文采用电感电流作为电流内环的反馈控制量, 调节输出电压, 补偿输出电流引起的电压降。大部分控制策略采用电感电流瞬时值反馈, 由于在负载不是纯阻性的情况下, 电感电流与负载电压有一

定的相位差, 在负载性质变化较大的场合, 相位差也会有较大的变化, 采用电感电流瞬时值反馈会引起不同程度的控制误差, 通常为了消除误差必须控制采样时序, 计算繁琐复杂。如果采用电感电流平均值作为反馈对象, 则负载电压与电感电流的相位差不会影响闭环控制, 因此在负载性质变化较大的场合, 使用电感电流平均值可以增加系统的稳定性。本文电感电流同样经过整流, 滤波后, 得到电感电流的平均值。电压环的输出值作为电流内环给定值, 与电感侧采样电流进行比较, 经过一个比例环节, 计算出输出下一个周期电压的控制量。当负载突然变换时, 由于电感电流的变化超前于负载电压的变化, 通过电感电流内环的反馈作用, 早于电压反馈控制之前, 调节输出量, 快速使输出电压恢复到给定值^[4]。电流、电压反馈控制如图1所示。

3 仿真实证

基于上述控制方案, 使用MATLAB软件的SIMULINK以及POWER SYSTEM工具包进行了仿真实证。仿真参数和指标如下: 直流母线电压为310V, 输出电压为110V有效值, 功率为500W, 输出电压总谐波畸变率THD小于2%。输出滤波器电感 $L=10\text{mH}$, $C=13\mu\text{F}$ 。图2为MATLAB系统仿真设计原理图。

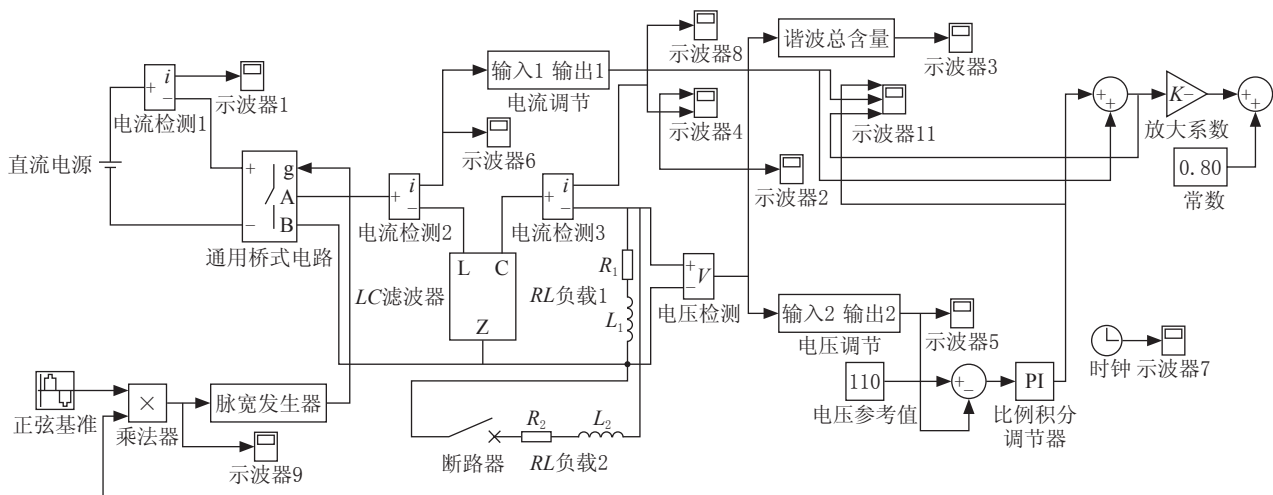


图2 系统仿真结构图

图3为逆变电源由半载切换至到满载时的电流和电压的仿真波形, 可以看出, 稳态时输出电压、输出电流波形稳定, 正弦度良好。谐波含量小, THD小于2%, 逆变器输出质量较好。从图中可

以看出, 在负载电流突变后, 电压经过一个调制波周期的调整后, 在第2个调制周期恢复了较好的正弦度, 第3个调制波周期幅值也恢复了正常, 逆变器动态响应很快。

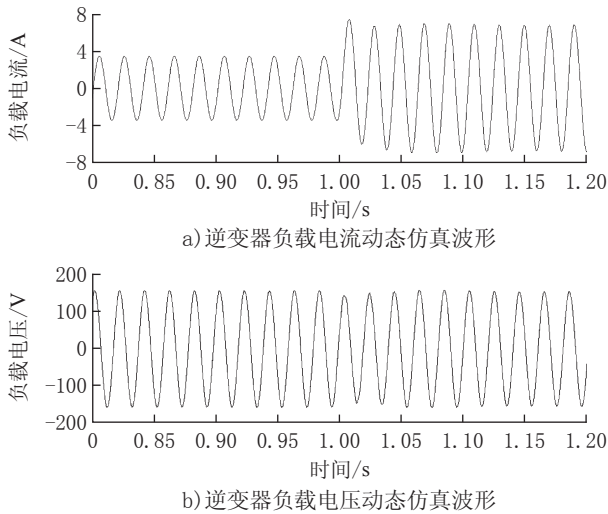


图3 逆变器负载电流、电压动态仿真波形

4 实验验证

本文设计了一个基于上述闭环控制策略的逆变电源样机，输出电压有效值为110V，功率为500W的逆变电源。选用TI公司专为电机控制设计的TMS320LF2407A型DSP为控制平台进行实验。TI公司的TMS320LF2407A型DSP数字处理功能强大，外围电路简单，可靠性高，广泛应用于传动领域，可以方便地实现逆变器SPWM的调制与逆变器输出的控制。随着近些年数字处理芯片的不断发展，芯片公司不断推出新的DSP芯片，TI公司TMS320LF2407A型DSP价格也比刚推出时降低了很多，具有很高的性价比，适合作为低成本逆变电源的控制核心^[5-6]。

电压采样及平均值整流电路如图4所示。

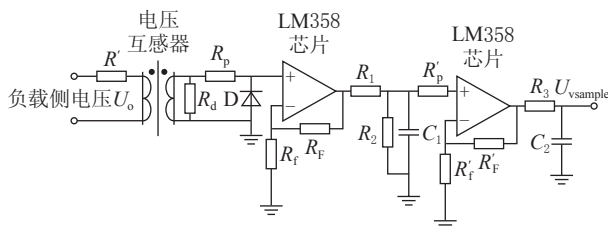


图4 电压采样及平均值整流电路

电流采样电路与电压采样电路方法相似，其中 R_d 为互感器采样电阻。在互感器输出侧得到电压和电流的交流信号后，经过运算放大器和二极管的整流得到半波信号，经过滤波后得到电压或电流的平均量，再由DSP的AD模块采样进行信号处理。当互感器输出正半周电压时，正半周电压输入运算放大器，运算放大器输出正半周电压；当互感器输出

负半周电压时，二极管导通，输入运算放大器的电压为二极管的导通压降，输入电压在-0.7V到0V之间，运算放大器输出为零。

逆变电源SPWM调制和闭环控制主要由中断程序完成。中断程序流程如图5所示。进入中断后，首先对电压和电流进行采样，将采到的数据进行调理，计算电压的误差，经过PI调节后作为电流内环的给定值，然后计算电流的误差值，经过比例调节后生成SPWM信号。由于电压信号采用整流和阻容低通滤波，因此有一定的相位滞后。在实验中，电流调节器只采用比例调节，输出电压稳定性最好，故本文在电流调节中只采用比例控制。本文在程序设计时，在一个调制波周期采样8次电压平均值，即在一个调制波周期采样电压量8次，再计算平均值，电流平均值则采用实时采样的方法。计算的结果在下一个周期内用于SPWM的计算。这样做的好处是防止电压失真影响逆变器输出波形质量，既节省了DSP的计算时间，又保证了波形在一个调制周期中的稳定性，由于电流为实时控制，也保证了逆变器输出的动态响应速度。

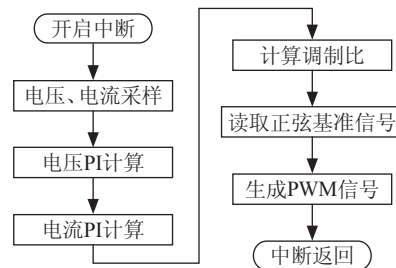


图5 中断程序流程图

本文对样机进行试验，并用示波器记录了试验波形。图6为逆变器满载时负载侧电流和电压的波形示意图，从波形图可以看出输出电压稳定，正弦度良好，逆变器输出稳态性能良好。

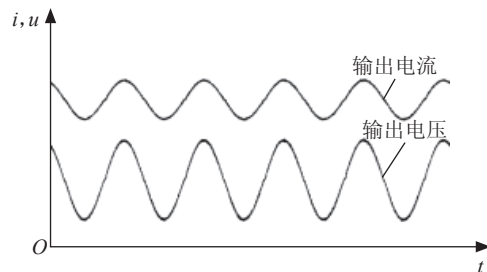


图6 逆变器负载电流与负载电压波形示意图

图7为负载突变时的输出电压、电流动态波 (下转第46页)

路,除了具备测量各种低电阻的功能外,还能补偿大电感设备的电流惯性,高速建立测量电流,使测试时间大大缩短。

5 判断依据

根据《电力设备交接和预防性试验规程》规定,变压器绕组直流电阻测量的判断依据如下^[2]:

(1) 1.6 MVA以上电力变压器,各相绕组电阻互相间的差别不应大于三相平均值的2%,无中性点引出的绕组,线间差别不应大于三相平均值的1%。

(2) 1.6 MVA以下的电力变压器,相间差别一般不大于三相平均值的4%,线间差别一般不大于三相平均值的2%。

(3) 与以前相同部位测的值比较,其变化不应大于2%。

(4) 单相变压器的相同温度下与历次测量结果相比无显著变化。

不同温度下的电阻值应按下列式换算:

$$R_2 = R_1 [(T+t_2)/(T+t_1)] \quad (4)$$

式中 R_1 、 R_2 为在温度 t_1 、 t_2 下的电阻值, T 为计

算用常数,铜导线取235,铝导线取225。

6 结语

大型变压器绕组的直流电阻是变压器预防性试验中一项很重要的指标,也是判断大型变压器内部故障的有效依据之一。作为现场工作的试验人员,可以采取增大电阻、减小电感、高压充电低压测量及利用新型快速测试仪等方法来快速有效地测量出变压器绕组的直流电阻。通过采取这些试验方法和仪器对大型变压器的测量证明,该方法和仪器测量出的数据正确、可靠且速度快,能满足现场测试要求,并可大大提高工作效率,减轻了试验人员的劳动强度。

参考文献

- [1] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2001.
- [2] 上海市电力公司. 电力设备交接和预防性试验规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

收稿日期: 2010-12-27

(上接第23页)

形,从图7中可知,负载突变后,逆变器输出经过约300ms的调整后,幅值和正弦度都恢复了正常,动态响应较快,满足大部分场合对动态性能要求。

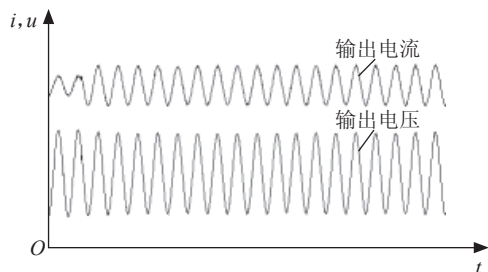


图7 负载突变时逆变器负载电流和电压波形

5 结语

本文介绍的双闭环控制逆变电源,虽然采用平均值反馈,响应速度较瞬时值反馈有一定降低,但通过在电压环内引入电流内环,动态反应速度可以

满足大部分场合的要求,相比使用霍尔传感器的瞬时值采样反馈,线路简单,成本低,系统稳定性好,且有较好的动态响应性能,满足一般逆变电源的供电要求。

参考文献

- [1] 陈坚. 电力电子学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [2] 王晓明, 王玲. 电动机的DSP控制[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004.
- [3] 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.
- [4] 陶永华. 新型PID控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] 付好名, 马皓. 基于DSP和增量式PI电压环控制的逆变器研究[J]. 电源技术应用, 2004, 7(12): 715-718.
- [6] 魏光, 李群湛. 基于DSP的SPWM优化算法研究[J]. 微计算机信息, 2008, 24(11-2): 184-186.

收稿日期: 2010-10-29