

基于 DSP 的新型并网逆变器的研制

刘家恒¹, 文励洪², 钟宇明²

(1.哈尔滨工业大学深圳研究生院, 广东 深圳 518055; 2.深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055)

摘要:基于 DSP 的新型并网逆变器采用 TMS320LF2407A 作为控制器, 以实现 MOS 管正弦脉宽调制 (SPWM)、电流输出跟踪、并网逆变与独立逆变的切换控制等功能。分析了最大功率点跟踪、孤岛效应检测和并网时的相位同步等控制问题, 并通过对太阳的实时跟踪和最大功率点算法的改进, 有效提高了太阳能输出的效率。

关键词:逆变器; 脉宽调制; 控制 / 最大功率点跟踪; 孤岛效应

中图分类号: TM464 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-100X(2009)06-0050-03

Development of a new Grid-connected Inverter based on DSP

LIU Jia-heng¹, WEN Li-hong², ZHONG Yu-ming²

(1. Harbin Institute of Technology Shenzhen Graduate School, Shenzhen 518055, China;

2. Shenzhen Polytechnic Automatic Institute, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Texas instrument DSP TMS320LF2407A is used as core to develop a new grid-connected inverter and produce SPWM to drive MOSFET, track output current, switch between grid-connected and independent work etc. The maximum power point tracking, isolated island observation and phase synchronization are analyzed. This new inverter improves solar energy conversion efficiency by real time solar tracking and a new maximum power point tracking algorithm.

Keywords: inverter; pulse width modulation; control / maximum power point tracking; isolated island

1 引言

近年来,随着能源的日益紧张,太阳能光伏发电已经开始由补充能源向替代能源转换,并且已经形成偏远地区中小功率的独立发电系统向大型并网型发电站的转换。一些发达国家已经提出百万屋顶光伏计划,其发展速度相当迅猛。我国也进行了相关研究,具有一定的基础,但与世界发达国家相比还有一定差距。讨论了适合住宅使用的 3~5 kW 的新型并网型逆变器,它可以单独给住宅供电,也可以直接对电网输入电能。研究了并网型逆变器的基本结构和有关技术问题。

2 并网逆变器的设计及技术要求

光伏并网发电系统有带蓄电池和不带蓄电池两种。前者可控制并网时间,使用较为灵活,但蓄电池成本和污染问题难以解决;后者就是实时地把逆变器的电能输送到电网,无法控制上网时间,但可减少成本和污染,住宅可以采用在闲时向电网送电,忙时再从电网取电的方式解决电能使用的时差问题。

关键技术要求有:额定功率为 3 kW;输出波形为正弦波;输出电压为 $(220 \pm 5\%)$ V;输出波形失真度小于 5%;并网功率因数大于 0.98;输出频率为 (50 ± 0.2) Hz;直流输入电压为 30~40 V。

3 系统原理及结构介绍

图 1 示出光伏并网系统和功率转换电路结构。

该结构在并网逆变器上很少使用,采用直流低电压高频逆变,经高频变压器升压后二极管整流,再工频换向为标准的正弦电压输入电网。与传统逆变器相比,这种新型结构逆变器的优点有:①输入侧没有 DC/DC 升压结构,减少了损耗并提高了安全性;②控制方式简单,提高了转换效率;③减少了 EMI,高压侧的二极管可防止电流的反灌,提高了系统的可靠性。

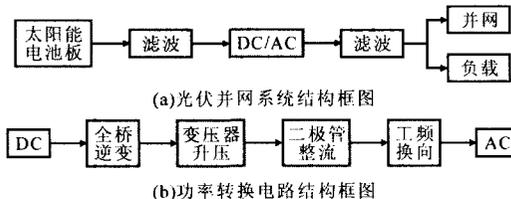


图 1 光伏并网系统和功率转换电路结构框图

图 2 示出并网逆变器的电路原理框图。图 3 示出主逆变电路的原理图。

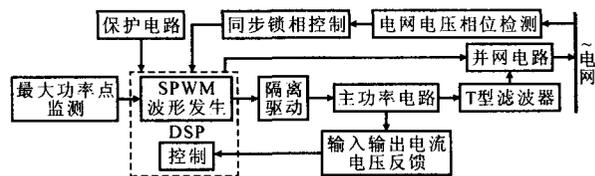


图 2 并网逆变器电路原理图

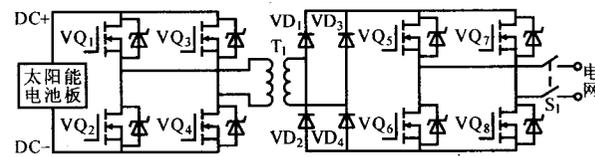


图 3 主电路原理图

4 并网逆变器主要环路电路分析

4.1 并网运行输出电流控制

图 4 示出电流闭环控制框图。并网运行时,通过

定稿日期: 2009-01-08

作者简介: 刘家恒(1984-),男,安徽人,硕士研究生,研究方向为并网逆变器。

电流闭环控制使输出电流为高品质、并与电网电压同相位的正弦波形。电网反馈的电压信号通过信号调理电路变为同相位的方波信号进入 DSP 的捕捉引脚,通过一个捕捉中断触发 DSP 内部的 SPWM 产生。此时就是输出正弦波形的时间起点。霍尔电流传感器把采样电流输入 DSP 的 A/D 采样口。DSP 把给定的电流大小与反馈做比较,进行 PI 算法的调节,使得系统闭环运行。

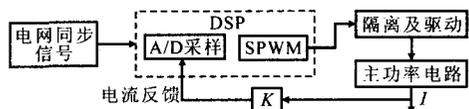


图 4 电流闭环控制框图

通过电流的跟踪控制来保证输出电压和网侧电压的同相位、同频率运行。

4.2 独立供电输出电压控制

独立供电时,要保证输出电压的稳定以及实现空载和过载时的保护。此时控制的对象就是输出电压,通过电压反馈实现闭环控制。为提高系统的动态性能,加快在负载突变时控制的调整速度,在独立供电控制时向系统加入了前馈控制,这时的系统就是前馈加反馈的复合控制系统^[1],如图 5 所示。

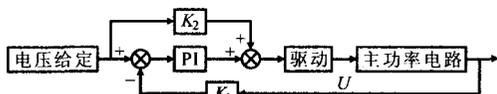


图 5 独立供电时的控制方式

4.3 网侧电压锁相控制

在并网之前,必须锁定网侧电压的相位,然后逆变开始,从而保证并网以后输出电压与网侧电压同相位运行。通过传感器采集出网侧的电压信号,使用运算放大器接近无穷大的放大倍数把交流的电压信号调理成与之同频的方波信号,这种低于 3.3 V 的脉冲信号可以被 DSP 事件管理器的捕捉模块直接识别,从而实时监测网侧的相位,实现了网侧电压相位的锁定。

4.4 SPWM 正弦调制波的产生

SPWM 波形的产生是系统的核心部分,尤其是输出 SPWM 的频率对输出波形的质量有很大影响。采用的 DSP 有专用的带死区控制的 PWM 发生模块,通过对 DSP 的编程,可以方便地产生需要频率及相位控制的 SPWM。

DSP 输出的 SPWM 信号要通过光耦的隔离及驱动芯片才可以驱动 MOSFET。其中光耦和驱动芯片的选择也很关键,选择标准与 SPWM 的频率及 MOSFET 所需驱动能力的大小有关。

系统采用 25 kHz 的 SPWM 频率,选用 TLP250 型光耦和 TPS2812 型驱动芯片,选用了 FQA160N08 型 MOSFET。

4.5 系统安全保护及监测

系统设计包括直流过流、交流过流、交流过压、过热、欠压等保护电路,一旦系统出现故障,首先通过 DSP 的硬件保护电路封锁所有的驱动信号输出。

检测 DSP 的 PDPINTx 引脚电平的跳变可以产生可屏蔽最高优先级 INT1 的中断,在 200 ns 的时间内 DSP 可以终止所有驱动信号^[2],所以用于监测 MOSFET 过热和过流,效果很好。

孤岛效应检测是并网型逆变器必不可少的部分,它是指在电网断电的情况下必须切断逆变器对电网的电力输送。孤岛效应检测的方法很多,在此采用电压功率突变和谐波急剧变化方法,即在电网断电的情况下继续向电网输送电能,这样会造成输出电压的突变,一般会出现输出电压和功率急剧减小、输出电压谐波急剧增大的情况。软件上有孤岛效应监测程序,一旦检测到上述情况,马上切断并网,逆变器报警。

系统还设有数据采集电路,可以收集太阳能电池板和逆变器的多种模拟量参数,同时显示在 LCD 显示屏上面。为了方便操作还设计了上位机软件,通过操作软件上面的控制按钮实现系统的控制,同时也可以监测系统的状态。

5 最大功率点跟踪

为了获得太阳能电池板的最大输出电能,就要确定电池板的最大功率点,这是由太阳能电池板的伏安特性决定的,如图 6 所示。

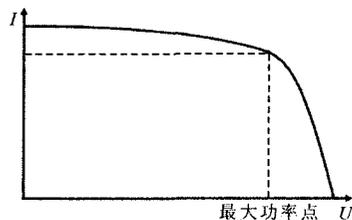


图 6 太阳能电池板的伏安特性

为了使太阳能电池工作在最大功率点附近,必须使用相关的算法计算出这个点。

5.1 最大功率点算法在 DSP 中的实现

目前最大功率点跟踪的方法有很多,主要有定电压跟踪法、扰动观察法、电导增量法等。这些方法各有优缺点,需根据不同系统进行选择。在此采用基于最优梯度法的最大功率跟踪法,利用太阳能电池板伏安特性的梯度特性来得到最大功率点。

$$V_{PV,k+1} = V_{PV,k} + \alpha_k g_k \quad (1)$$

式中: α_k 为非负常数; g_k 为上次功率点上伏安曲线对应梯度。

采用迭代的方法,得到当前最大功率点的电压值。利用梯度法进行最大功率点跟踪,保留了扰动观察法的各种优点,同时提供了一个类似动态的扰动量,可以改变太阳能输出功率曲线上电压的收敛速

度。当工作点位于最大功率点左侧时,电压以一较大的幅度增加;当工作点位于最大功率点附近时,由于此时的斜率较小,则提供一较小的扰动量。反之,当工作点位于最大功率点右侧时,电压以一较大的幅度减小。这样可改善最大功率点附近振荡的缺点,同时该方法也有很好的响应速度^[3]。

5.2 实验结果

通过一系列实验,最终得到了满意的结果。图 7 示出实验结果。通过最终统计,系统的转换效率达到了 82%,波形畸变度小于 5%,功率因数大于 0.99。

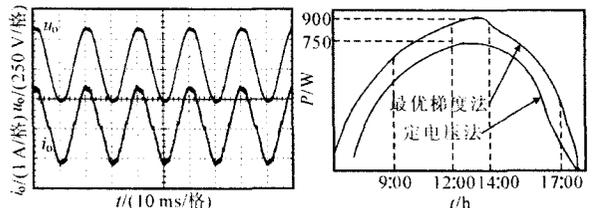


图 7 实验波形

6 结束语

太阳能光伏发电作为 21 世纪世界范围能源需求的热点,正以惊人的速度发展。其中光伏并网发电系统是应用发展的趋势。采用 TMS320LF2407A 型 DSP 芯片作为光伏并网发电系统核心部件,使系统具有较好的动态响应特性。软件上采用了具有最大功率跟踪功能的设计,使太阳电池阵列真正工作在最大功率点,充分利用了能源。实验证明了该系统工作稳定,性能良好。

参考文献

- [1] 王斯成,余世杰,王德林.3 kW 可调度型并网逆变器的研制[J].太阳能学报,2001,22(1):18-19.
- [2] 徐科军,张兴,肖本贤.TMS320LF/LC24 系列 DSP 的 CPU 与外设[M].北京:清华大学出版社,2004:30-35.
- [3] 汪海宁.光伏并网功率调节系统及其控制的研究[D].合肥:合肥工业大学,2005.

(上接第 38 页)图 5 示出仿真结果。

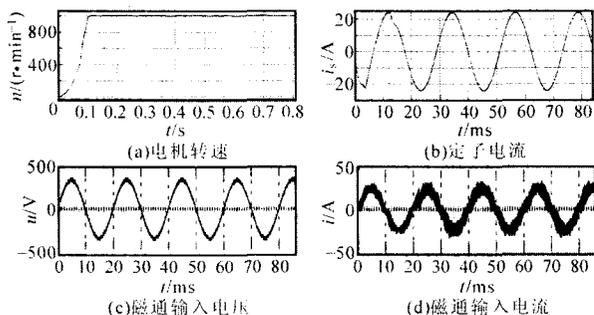


图 5 1200 r·min⁻¹,20 N·m 时的仿真结果

以 TMS320LF2407 和 MAX7000S CPLD 为控制核心,设计了基于 MC 的三相异步电机 DTC 系统,其相关设备参数为:三相调压变压器容量 S=10 kVA,三相异步电机额定功率 1 kW、额定电压 220 V、额定频率 50 Hz。电机转速设定为 700 r·min⁻¹,电机空载运行。图 6 示出实验结果。

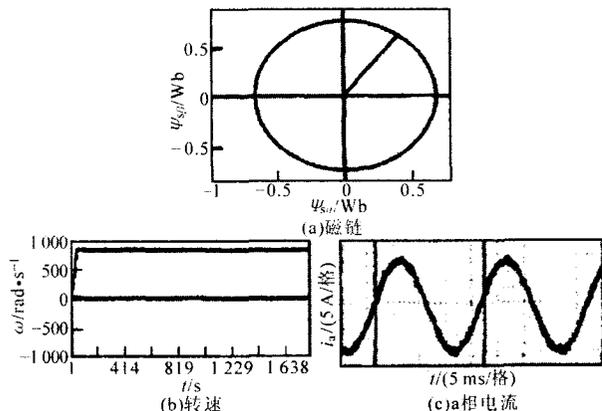


图 6 实验波形

由图 5,6 可见,矩阵变换器-DTC 系统具有传统

变换器 DTC 系统的特点,磁链波形比较接近圆形,电机输入电流为正弦波。同时可见,电压波形与电流波形基本是同相位的,输入功率因数接近 1。

6 结论

把矩阵变换器的矢量控制算法与异步电机的直接转矩控制算法相结合,形成了一种新的控制策略。通过仿真和实验可知,该系统的控制算法能够实现对三相异步电机的直接转矩控制,定子磁通幅值和电磁转矩稳定在给定值,电机输入电流为正弦波,保持了单位功率因数,降低了电网谐波污染,有利于改善电网质量。实验结果表明该控制策略有效且可行,基于矩阵变换器的直接转矩控制系统是一种优良的调速系统。

参考文献

- [1] 谢新锋.异步电动机直接转矩控制闭环调速系统的研究[D].南宁:广西大学,2003.
- [2] L Huber, D Borojevic.Space Vector Modulator for Forced Commutated Cycloconverters[A].Twenty-fourth IEEE Industry Applications Society Annual Meeting [C].California, 1989,(1):871-876.
- [3] L Huber, D Borojevic, N Burany.Space Vector based PWM Control of Forced Commutated Cycloconverters[A].15th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society[C].Pennsylvania, 1989,(1):106-111.
- [4] 南光群,胡学芝.DTC 系统磁链观测器的建模与仿真[J].自动化与仪表仪器,2007,(2):9-10.
- [5] 朱建林,陈才学,易灵芝,等.基于矩阵变换器的异步电机直接转矩控制[J].电气传动,2007,37(8):20-24.