

基于 DSP 的小功率光伏并网逆变器的设计

Design of A 1kW Photovoltaic Grid-connected Inverter

北京交通大学 电气工程学院 杨 军 金新民 童亦斌
Yang Jun Jin Xinmin Tong Yibin

摘要: 本文介绍了 1kW 并网逆变器的设计。详细的介绍了逆变器的基本设计和关键技术, 以及并网电流的控制策略。并在完成试验装置, 验证了逆变器的稳定性和控制策略的可靠性。

关键词: 太阳能 光伏并网 逆变器

Abstract: This paper presents design of a 1kW photovoltaic grid-connected inverter. The fundamentals and key technique, and the technique for inverter to connected with grid are discussed in detail. The experiment proves the feasibility of the control scheme and the inverter.

Key words: Solar energy Photovoltaic grid-connected Inverter

[中图分类号] TM615

文献标识码] B

文章编号 1561-0330(2007)10-0045-03

1 前言

随着生态环境的日益恶化, 人们逐渐认识到必须走可持续发展的道路, 太阳能必须完成从补充能源向替代能源的过渡。光伏并网是太阳能利用的发展趋势, 光伏发电系统将主要用于调峰电站和屋顶光伏系统。

在光伏并网系统中, 并网逆变器是核心部分。目前并网型系统的研究主要集中于 DC-DC 和 DC-AC 两级能量变换的结构。DC-DC 变换环节调整光伏阵列的工作点使其跟踪最大功率点; DC-AC 逆变环节主要使输出电流与电网电压同相位, 同时获得单位功率因数。其中 DC-AC 是系统的关键设计, 本文详细介绍了小功率光伏并网逆变器的设计。并对逆变器进行了实验验证。

2 系统结构

太阳能光伏并网逆变装置的主原理图如图 1 所示。本系统采用两级式设计, 前级为 BOOST 升压斩波器, 后

级为全桥式逆变器。前级用于最大功率追踪, 后级实现对并网电流的控制。他们的控制都是由 DSP 芯片 TMS320F2812 协调完成。

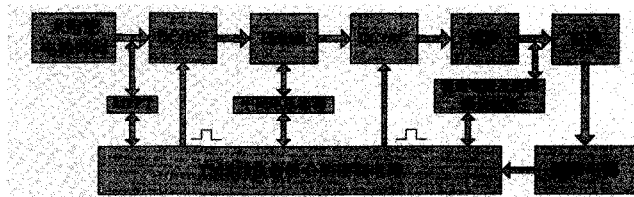


图 1 光伏并网系统结构图

3 逆变器的设计

太阳能并网逆变器是并网发电系统的核心部分, 其主要功能是将太阳能电池板发出的直流电逆变成单相交流电, 并送入电网。同时实现对中间电压的稳定, 便于前级 Boost 升压斩波器对最大功率点的跟踪。并且具有完善的并网保护功能, 保证系统能够安全可靠地运行。图 2 是并网逆变器的原理图。

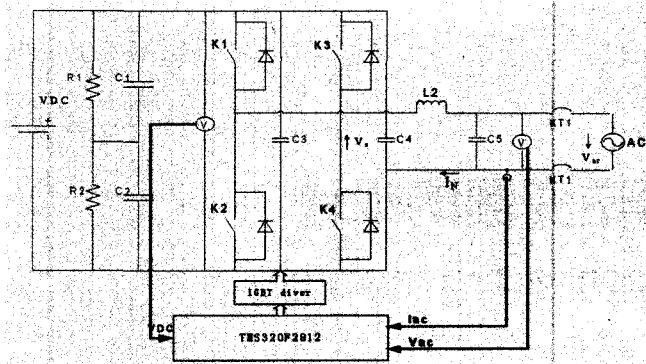


图2 逆变器原理框图

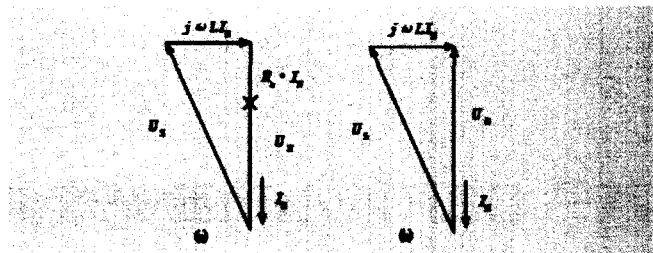


图3 控制矢量图

在一个开关周期内对上式进行周期平均并假设输入电流能在一个开关周期内跟踪电流指令即可推导出公式(3):

$$V_s(t) = V_{ac}(t) - K [i_N^*(t) - i_N(t)] \quad (3)$$

式中, $K = L/TC$, TC 为载波周期。

从该模型即可以得到本系统所采用的图3所示的控制框图。此方法称为基于改进周期平均模型的固定频率电流追踪法。

(2) 逆变器控制框图

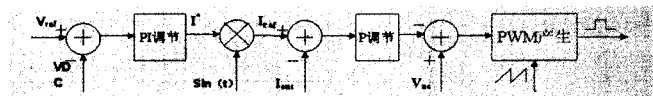


图4 逆变器控制框图

图4所示为逆变器的控制框图。其中参考电压 V_{ref} 与光伏电池实际输出电压 V_{DC} 相比较后, 误差经PI调节得到电流指令 I^* , 再与正弦波形相乘得到正弦指令 I_{ref} , I_{ref} 与实际输出的电流相比较后, 误差经P调节后得到的值(物理意义上就相当于逆变器输出侧电感上产生的电压)与网压 $V_{ac}(t)$ 相加得到的波形与三角波比较, 便产生了4路PWM波控制逆变器开关管的通断, 这样就实现了光伏电池输出电压基本工作在 V_{ref} 附近, 系统输出正弦电流波形幅值为 I^* 。

方案中对并网电流的采用了固定开关频率的控制方法。固定开关频率控制是将电流误差P调节后作为调制波与三角载波比较产生PWM波。其缺点是必须与实际电流存在偏差才能产生PWM波。因此在固定开关频率控制的基础上有所改进, 加入了交流侧网压 V_{ac} 的计算, 即电流误差信号 I_{ref} 经过PI调节后与 V_{ac} 相加, 得到的值再与三角载波进行比较。 Δi 在物理意义上就相当于逆变器输出侧电感上产生的电压。 $\Delta i \times P$ 与 V_{ac} 之和, 就相当于逆变器输出脉冲电压, 这样构成的矢量图与逆变器输出向量图一致。改进的固定开关频率的控制策略在保持原有优点的同时, 电流跟踪误差显著减小, 改善了PWM整流器的电流跟踪性能。

3.1 控制系统简介

控制系统以TI公司高性能DSP控制芯片TMS320F2812为核心, 可以实现反馈信号的处理和AD转换、DC/DC变换器和PWM逆变器控制脉冲的产生、系统运行状态的监视和控制、故障保护和存储、485通讯等功能。实际电路中的中间电压VDC、网压、并网电流和太阳能电池的电压电流信号采样后送至F2812控制板。控制板主要包括以下几个部分:CPU及其外围电路, 信号检测及调理电路, 驱动电路及保护电路。其中信号检测及调理单元主要完成强弱电隔离、电平转换和信号放大及滤波等功能, 以满足DSP控制系统对各路信号电平范围和信号质量的要求。驱动电路起到提高脉冲的驱动能力和隔离的作用。保护逻辑电路则保证发生故障时, 系统能从硬件上直接封锁输出脉冲信号。

3.2 控制方法

(1) 控制理论的推导

在实现同频的条件下可用矢量进行计算从图2可以看出逆变器输出端存在如图3a所示的矢量关系对于光伏并网逆变器的输入端存在如公式(1)的基本矢量关系式:

$$V_{ac} = V_s + j \omega L \cdot I_N + R_s \cdot I_N \quad (1)$$

式中, V_{ac} ——电网基波电压幅值;

V_s ——逆变器输出端基波幅值。

在网压 $V_{ac}(t)$ 为一定的情况下 $I_N(t)$ 幅值和相位仅由光伏并网逆变器输出端的脉冲电压中的基波分量 $V_s(t)$ 的幅值, 及其与网压 $V_{ac}(t)$ 的相位差来决定。改变 $V_s(t)$ 的幅值和相位就可以控制输入电流 $I_N(t)$ 和 $V_{ac}(t)$ 同相位。PWM整流器输入侧存在一个矢量三角形关系, 在实际系统中 R_s 值的影响一般比较小, 通常可以忽略不计得到如图3b所示的简化矢量三角形关系, 即公式(2)。

$$V_s(t) = V_{ac}(t) - L \frac{di_N(t)}{dt} \quad (2)$$

4 最大功率跟踪和反孤岛效应的检测

MPPT 控制的最终目的在于动态的追寻太阳能电池的最大功率点。常用的方法有固定电压跟踪法、扰动观测法、导纳微增法和间歇扫描跟踪法。本文采用的是最后一种方法。这种方法的原理是定时扫描太阳能电池板阵列的输出功率，然后逐次比较，直到追踪到最大功率点。由于电池板最大功率点受光照的影响变化不是很剧烈，所以本文作者对这种方法进行了改进，只需要在最大功率点附近搜索扫描即可找到最大功率点。改进后的间歇扫描法控制及保持了跟踪的控制精度有提高了系统运行的稳定性。

所谓孤岛效应就是当电力公司的供电系统，因故障事故或停电维修等原因而停止工作时，安装在各个用户端的光伏并网发电系统未能即时检测出停电状态而迅速将自身切离市电网络，因而形成了一个由光伏并网发电系统向周围负载供电的一个电力公司无法掌握的自给供电孤岛现象。

其具体实现思想就是：系统通过软硬件电路周期性地检测出相邻两次电网电压过零点的时刻，计算出电网电压的频率 f ，然后在此频率 f 的基础上引入偏移量 Δf ，最后将频率 $(f \pm \Delta f)$ 作为输出并网电流的给定频率，并且在电网电压每次过零时使输出并网电流复位。那么，当电网无故障时，负载上的电压频率即为电网电压频率，因此 DSP 每次检测到的电网电压频率基本不变；而当市电脱网时，光伏阵列的输出并网电流单独作用于负载上，由于输出并网电流频率的逐周期偏移，所以，DSP 每次检测到的负载电压频率就会相应地改变，这样，就形成了给定输出并网电流频率的正反馈，使得负载电压的频率很快就会超过频率保护的上、下限值从而使系统有效检测出市电脱网，因此，主动频率偏移法使系统具有了良好的反孤岛效应功能。

5 实验结果

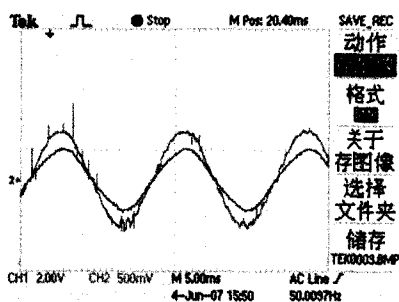


图5 500W 实验时输出电流电压波形

根据以上设计方案，已在搭建完成额定功率 1.5kW 的光伏并网实验装置。输入为 100 - 300V，输出并网电流为 4.5A。输出功率约为 1kW，频率为 50Hz。并网电流与电网电压同相同频，功率因数接近为 1。实验波形如图 5 所示。

6 结束语

本文介绍的小功率光伏并网逆变器采用改进的固定开关频率的电流控制并网方案，使输出功率因数接近为 1。采用 TMS320F2812 作为控制芯片，使系统具有很好的动态相应，保护完善，提高了并网效率。运用了具有最大功率跟踪和反孤岛效应的软件设计，通过实验证明该系统工作稳定可靠，性能良好。

作者简介

杨 军(1983 一) 男 硕士研究生 研究方向为太阳能并网系统。

参考文献

- [1] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计. 北京: 电子工业出版社, 1999
- [2] 邵丙衡. 电力电子技术. 北京: 中国铁道出版社, 1997
- [3] 吴守箴, 臧英杰. 电气传动的脉宽调制技术. 北京: 机械工业出版社, 1997
- [4] 张卫宁. TMS320C28x 系列 DSP 的 CPU 与外设. 北京: 清华大学出版社, 2004

▶ 有任何意见或评论, 请登陆: <http://www.inverterworld.hk/>

(上接第 92 页)

5 结束语

通过现场多年的使用情况来看: 其一, 系统的可靠性好, 解决了以前立焊的难题; 其二, 系统的焊接精度高, 有效地保证产品的焊接质量; 其三, 大大提高工作效率, 减轻工人的劳动强度, 维护了工人的身心健康; 其四, 节能效果显著; 其五, 环境污染程度低。总之, 该系统自投产以来不但保证了产品的质量和产量, 同时又克服了环境污染问题, 为企业创造良好的经济效益。

作者简介

张兄华 男 高级工程师 现主要从事自动化方面研究, 研究课题为“工业自动衡器及过程控制”。

参考文献(略)

▶ 有任何意见或评论, 请登陆: <http://www.inverterworld.hk/>