

文章编号: 1000-7709(2008)02-0198-03

光伏并网逆变器无差拍控制系统的研究

徐进

(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 在分析无差拍电流控制方法工作原理的基础上, 给出了基于无差拍控制的并网逆变器的脉宽调制(PWM)算法和占空比的推导过程, 将该控制策略应用于两级式单相光伏并网发电系统逆变器的控制中, 使光伏并网系统具有快速利用太阳能电池组件的能源、改善电能质量的功能, 增强了光伏并网系统的实用性。在此基础上研制出一台实验样机。实验结果表明, 采用该控制方案的逆变器具有良好稳态特性和动态性能, 计算简单, 易于实现。

关键词: 无差拍控制; 太阳能发电; 电流控制; 光伏并网

中图分类号: TM464; TM615

文献标志码: A

1 概述

近年来, 光伏发电、风力发电、燃料电池发电等新能源的开发利用得到不断发展, 未来将出现更多的由可再生能源组成的分布式发电系统。将这些分布式发电系统并联在电网上使用, 可达到分布式发电系统与电网间的功率互补^[1]。

20世纪80年代, 日本学者 Nonaka S 等^[2]率先研制成功一种基于电流型 PWM 逆变器(CSR)拓扑结构的光伏阵列并网逆变器。这种并网逆变器较好地适应了光伏电池电流源的特性, 但主电路及控制电路复杂, 同时直流侧电感也降低了系统的运行效率。逆变器的控制成为重点, 出现了瞬时值反馈、重复控制等理论。1985年, Gokhale 在 PESC 年会上提出将无差拍控制应用于逆变器^[3], 逆变器的无差拍控制才引起了广泛重视, 并在此后的十余年里取得了一系列成果, 但也存在较多问题。

本文提出基于 Deadbeat 并网 PWM 实现方案, 其控制系统由高性能的数字信号处理实现。与模拟控制相比, 数值控制具有控制灵活、易改变控制算法和硬件调试方便等优点。这种方法的原理是在每个开关周期开始的时刻, 采样并网逆变器的输出电流 i , 并且预测出下一周期开始时刻该

电流的参考值 i^* , 由差值 $i^* - i$ 计算出开关器件的开关时间, 使 i 在下一个周期开始时刻等于 i^* 。该方法计算量大, 但开关频率固定、动态响应快, 适用于光伏并网系统的数字控制^[2]。

2 无差拍控制逆变器的控制原理

无差拍控制是在负载情况已知的前提下, 在控制周期的开始, 根据电流的当前值和控制周期结束时的参考值选择一个使误差趋于零的电压矢量, 去控制逆变器中开关器件通断的一种控制方式。

光伏逆变器主电路拓扑结构如图1所示。

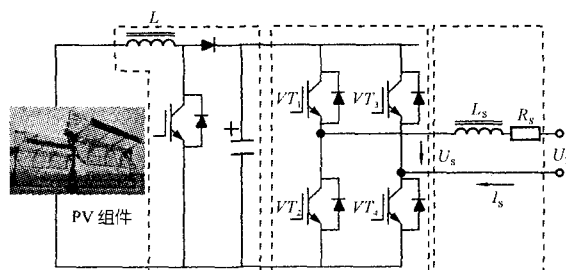


图1 光伏逆变器主电路拓扑结构

Fig.1 Main circuit topology structure of PV inverter

系统运行的环路电压方程为:

$$L \frac{di}{dt} = u_{dc} - u_{N(c)} - iR_s \quad (1)$$

收稿日期: 2007-10-12, 修回日期: 2008-02-25

作者简介: 徐进(1970-), 男, 博士、副教授, 研究方向为电机控制、电力电子及其应用、DSP 应用及并网技术等, E-mail: xujin@njau.edu.cn

式中, u_{dc} 为直流母线电压, $u_{N(t)}$ 为交流电网电压, i 为电流; L 为电感; R_s 为电阻, 在实际系统中 R_s 影响较小, 可忽略不计。如果定义并网逆变桥的开关状态函数为:

$$L \frac{di}{dt} = (S_A u_{dc} - S_B u_{dc}) u_{N(t)} \quad (2)$$

式中, S_A, S_B 均为逆变桥的开关状态函数。

设控制周期为 T_s , 对环路电压方程离散化, 同时设电流参考指令为 i^* , 逆变器开关占空比 $\Delta d_A, \Delta d_B$, 并且假设控制周期远小于电网基波周期, 忽略电网电压和直流母线电压的变化。因此, 在一个控制周期内环路电压方程为:

$$L \frac{(i^* - i)}{T_s} = (\Delta d_A u_{dc} - \Delta d_B u_{dc}) u_{N(t)} \quad (3)$$

由于逆变器上下桥臂的导通在一个控制周期内是对等的, 可以得到:

$$\Delta d_A + \Delta d_B = 1 \quad (4)$$

由式(3)、(4)可求解出用于控制并网逆变器的一路 PWM 信号的占空比为:

$$\Delta d_A = \left[1 + \frac{L(i^* - i)}{u_{dc} T_s} + \frac{u_s}{u_{dc}} \right] / 2 \quad (5)$$

$$\Delta d_B = \left[1 - \frac{L(i^* - i)}{u_{dc} T_s} - \frac{u_s}{u_{dc}} \right] / 2 \quad (6)$$

按式(5)、(6)计算的占空比控制并网逆变器就能实现并网的控制功能。

3 控制算法

图 2 为电流跟踪并网控制原理框图。通过采集太阳能电池组件的电压和电流, 利用最大功率跟踪(MPPT)的方法可得参考电压 u_{max} 。 u_{max} 与太阳能电池组件的实际电压 u_d 比较后, 其误差经 PI 调节得到电流指令 i_{ref} , 与正弦波形相乘得到正弦指令 i_g (i_g 为无差拍控制器中所需要的参考电流), 再与实际并网电流输出相比较后, 利用式(5)、(6), 便产生了 4 路 PWM 波控制逆变器开关管的通断信号。这样就实现了光伏电池输出电压基本工作在 U_{ref} 附近, 系统输出正弦电流波形幅值为 i_{ref} 。

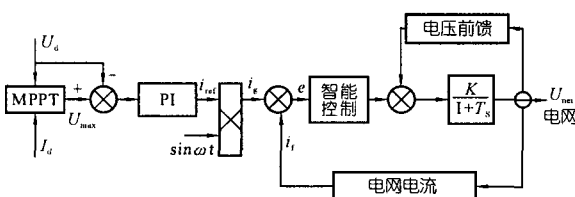


图 2 电流跟踪原理控制框图

Fig.2 Current trails principle control block diagram

4 系统的实现

系统的软件流程图如图 3 所示。

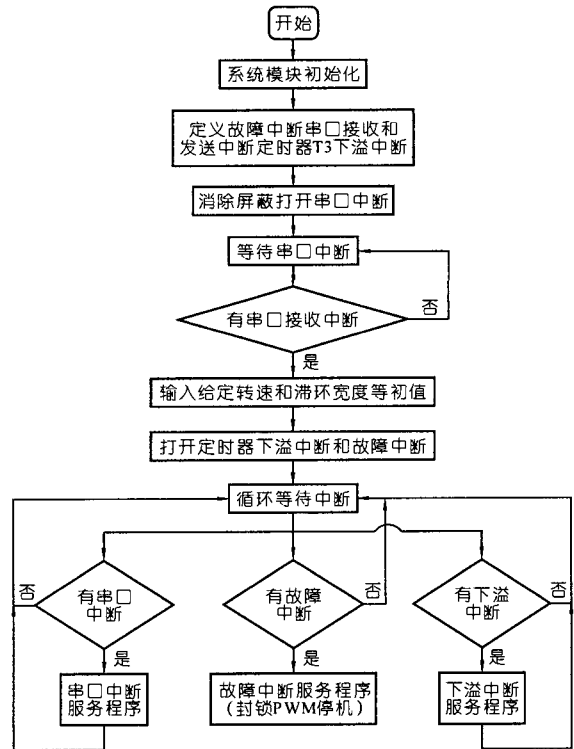


图 3 系统的主流程图

Fig.3 System main flowchart diagram

5 实验结果与分析

研制一台 2.5 kVA 的实验样机, 控制电路采用 DSP30F6010A, 图 4 为样机实物图。滤波电感 $L=10$ mH, 电容 $C=6$ μ F, 直流母线电压为 110 V, 开关频率 $f_{PWM}=18$ kHz。

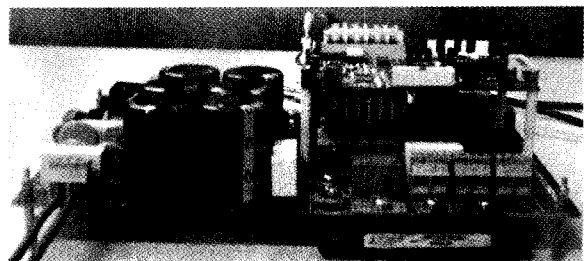


图 4 样机实物图

Fig.4 Picture of prototype

实验采用 Tektronix 公司的 TPS2014 示波器测量输出波形。图 5 电网电压 u_n 和并网逆变器输出的并网电流实验波形。波形表明, 无差拍控制具有响应速度快、功率因数高、并网电流波形

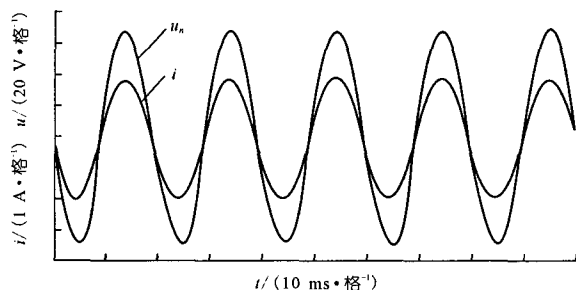


图 5 并网电压和输出电流波形

Fig.5 Waveforms of grid voltage and output current

好等特点。

由输出波形可看出,利用双闭环的光伏网逆变器具有较好的性能。由于采用 DSP 为主要控制芯片,系统具有较好的动态响应特性。实验证明,该系统工作稳定,性能良好。

6 结语

a. 提出一种无差拍光伏并网控制策略,使输出功率因数接近 1。采用 DSPIC30F6010A 作为主要控制芯片,使系统具有良好的动态响应。为充分利用能源,在光伏并网发电系统中,由于外部环境的变化会影响输出电能的质量,因此需控制逆变器使其输出功率始终随光伏器件的输入功率变化而变化。

b. 无差拍电流控制方法利用光伏发电系统采集的数据,计算得到逆变器下一个工作周期开关信号的控制量,因此能根据外部环境变换及时调整逆变器的输出功率。实验证明该控制方法正

确,并使系统工作稳定可靠、性能良好。

c. 实践证明,该方法具有良好的稳态性能和动态响应、实现简单、鲁棒性较强、单位功率因数和电网输出谐波较小,具有市场应用前景及工程应用价值。

参考文献:

- [1] XU Jin. Study of the Grid-Connected PV System Using Improving Power Quality[A]. PVSEC-15[C]. Shanghai, China, 2005.
- [2] Katsuya Hirachi, Masao Yamanaka, omoak1Takada, et al. Feasible Developments of Utility-interactive Multifunctional Bidirectional Converter for Solar Photovoltaic Generating System Incorporating Storage Batteries[A]. PESC'95[C]. IEEE 26th Annual, 1995, 1, 536-541
- [3] Timothy C Y Wang, Zhihong Ye, Gautam Sinha, et al. Output Filter Design for a Grid-interconnected Three-phase Inverter [A]. Power Electronics Specialist Conference[C]. IEEE 34th Annual, 2003, 2: 799-784
- [4] 叶斌. 电力电子应用技术[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [5] 林渭勋. 现代电力电子技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2006.
- [6] 张崇巍, 张兴. PWM 整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
- [7] 张超, 何湘宁. 一种用于光伏发电系统的新型高频逆变器[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(19): 51-53
- [8] Barker P P, Bing J M. Advances in Solar Photovoltaic TEchnology: An Applications Perspective-proceedings of IEEE Power Engineering Society General Meeting[J]. IEEE, 2005(2): 1 955-1 960

Study and Implementation of Photovoltaic Grid-Connected Inverter Deadbeat Control System

XU Jin

(Technical Faculty, Nanjing Agriculture Univ., Nanjing 210031, China)

Abstract: In order to expend the use of the single-phase photovoltaic grid-connected energy and convert the electrical energy fast and get the high quality electrical energy, a method of fast current controlling the inverter is required. The controller should be steady and precise. According to the analysis of the principle of the deadbeat control, this paper describes the arithmetic of the grid-connected inverter Pulse Width Modulation and the detailed deduction of occupation ratio based on the deadbeat control. Use this strategy at the dipolar single-phase photovoltaic grid-connected inverter in the system of generator to make the system of photovoltaic grid-connected. The fast solar energy using rate by using the solar energy charge subassembly. The function of amending the electrical quality and enhancing the use of the photovoltaic grid-connected, are also obtained According to the above analysis, an experimental prototype can be developed. Experimental results show that this control scheme has a good steady-state and dynamic performance characteristics, and the algorithm is simple and easy to realize.

Key words: deadbeat control; solar energy generation; current control; photovoltaic grid-connected