

基于 DSP 控制的单相光伏并网逆变系统的设计

吴玉蓉, 张国琴

(武汉科技学院电子信息工程学院, 湖北 武汉 430073)

摘要: 阐述了基于数字信号处理器 TMS320F2812 控制的单相光伏并网逆变系统的设计, 该系统主要应用于小功率光伏并网发电系统。分析了系统的结构和控制原理, 设计了最大功率跟踪 MPPT(Maximum power point tracking)算法和锁相环的软件设计流程图, 构建了实验室样机。实验结果表明并网电流波形良好, 但含有少量的高次谐波, 逆变器输出的电流基本与电网电压同频同相, 并网的功率因数近似为 1。

关键词: 光伏; 逆变; 数字信号处理器

Design of single phase photovoltaic grid-connected inverse system based on DSP

WU Yu-rong, ZHANG Guo-qin

(School of Electronic Engineering and Information, Wuhan University of Science and Engineering, Wuhan 430073, China)

Abstract: This paper presents the design of single phase photovoltaic grid-connected inverse system based on the digital signal processor TMS320F2812. The system mainly has application in the small power photovoltaic grid-connected generation system. The paper analyzes the constitute and control principle of the system and designs the software flow chart of MPPT(Maximum Power Point Tracking) algorithm and the phase lock loop. An experimental prototype is built up. The experimental results show the wave of grid-connected current is better except for a little amount high-order harmonical wave. The wave of grid-connected current has the same frequency and phase as the utility voltage. The power factor of grid-connected has reached to nearly 1.

Key words: photovoltaic; inverse; digital signal processor

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2008)04-0051-03

0 引言

随着科学技术的快速发展和人们生活水平的不断提高, 人们对能源的需求量越来越多, 而传统的化石能源日益枯竭, 同时化石能源的过度开采严重破坏了生态环境, 化石能源的利用严重污染着生活环境。因此, 开发利用可再生能源是全世界各国共同追求的目标。太阳能发电安全、清洁、资源分布均匀, 对环境没有污染和破坏。目前太阳能独立发电已经投入使用, 但由于独立的发电系统受天气等因素的影响而不稳定, 因此将太阳能发电与大电网连接起来即光伏并网发电可提高太阳能发电系统的运行性能和效率, 实现太阳能由补充能源向替代能源的过渡。本文设计了一种将光伏电池的低压直流电逆变成交流电并向电网供电的小功率逆变系统。

1 单相光伏并网发电系统的组成

光伏并网发电系统主要由光伏阵列、DC-DC

升压电路、DC-AC 逆变电路、滤波电抗器、DC-DC 控制电路和 DC-AC 控制电路构成。光伏并网发电系统的结构框图如图 1 所示, 其工作过程为: 由光

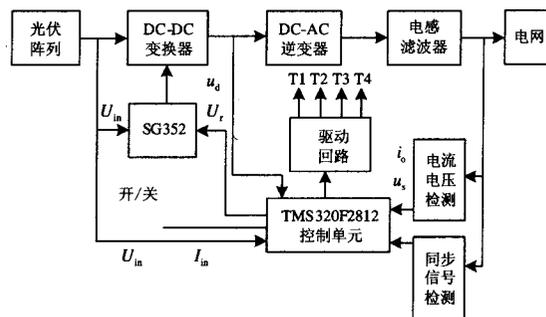


图 1 光伏并网发电系统的组成框图

Fig.1 Diagram of photovoltaic grid-connected generation system

伏阵列送来的直流电经过 DC-DC 变换器升压, 进入逆变器主回路, 经逆变器转换成交流方波, 再经滤波器滤波成为正弦波电压送至电网。采用 SG3525

控制芯片确保光伏电池的输出电压稳定在给定的最大功率点电压 U_r 上, 采用 TMS320F2812 控制芯片保证并网逆变器输出的正弦电流与电网电压同步。

1.1 主电路拓扑结构

单相光伏并网发电系统的主电路由两部分组成(如图 2 所示), 左侧为一个 DC-DC 全桥式变换器电路, 右侧为一个 DC-AC 逆变电路^[1], 因为小功率的太阳电池板的输出电压不高于电网电压的峰值电压, 故需将光伏阵列的电压升压至高于电网的峰值电压, 一般设定 400 V。DC-DC 变换器除了完成升压的任务, 还起到了电气隔离的作用。电感 L 起滤波的作用。

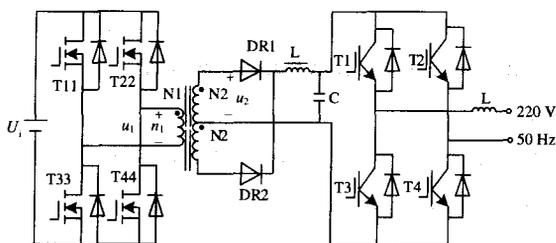


图 2 光伏并网发电系统主电路图

Fig.2 Main circuit of photovoltaic grid-connected generation system

1.2 控制电路的构成

控制电路框图如图 1 所示, 采用脉宽控制型芯片 SG3525 调节太阳能电池的输出电压, 确保光伏电池的输出电压稳定在给定的最大功率点电压 U_r 上。采用 32 位定点 DSP 芯片 TMS320F2812 控制芯片保证并网逆变器输出的正弦电流与电网电压同步。TMS320F2812 芯片作为本系统的控制核心, 需要实时检测直流侧太阳能电池的电流和电压信号, 中间环节 DC-DC 变换后的直流电压 U_d , 并网电流 i_o 和电压 u_s 信号。DSP 输出四路脉冲信号对逆变器的开关管 IGBT 进行控制以实现输出电流的并网同步, 并给 SG3525 发出最大功率点跟踪的电压指令 U_r 和启动、停止信号。

1.3 控制芯片

TI 公司生产的 32 位定点 TMS320F28x 系列 DSP 芯片是目前控制领域最高性能的处理芯片, 具有精度高、速度快、集成度高等特点, 为控制领域提供了高性能解决方案。TMS320F2812 芯片具有如下主要特点: (1) 采用高性能的静态 CMOS 技术, 主频达 150 MHz (时钟周期为 6.67 ns), Flash 编程电压为 3.3 V, 低功耗; (2) 片内有高达 128K×16 位的 Flash 存储器, 可实现在线编程; (3) 两个事件管理器 EVA 和 EVB, 可编程的死区时间, 6 个捕获单

元, 16 通道 16 位的 PWM 和 4 个 16 位的通用目的定时器; (4) 完成单通道最快转换周期为 200 ns, 流水线最快转换周期为 60 ns^[2]。这些特点使得 TMS320F2812 能够很好地实现光伏并网逆变系统所需的各种功能, 成为本系统的控制芯片。

1.4 控制原理图

单相光伏并网逆变系统的控制原理图如图 3 所示。采用双闭环控制结构, 内环为并网电流环, 外环为直流电压环。外环的给定电压是光伏阵列的最大功率跟踪模块的输出值 U_r , 反馈量为光伏阵列实际的电压值 u_{dc} , 对误差进行 PI 调节, 此时系统通过检测电网电压的上升沿过零点, 一旦出现上升沿过零, 则产生同步中断, DSP 内部的参考正弦表的值 $\sin(\omega t)$ 与电压误差调节后的值 i_0^* 相乘作为内环的电流幅值给定 i_r , 反馈量为逆变后实际输出的电流值 i_o , 二者的误差再经过 PI 调节, 所得到的波形与三角载波比较产生四路 PWM 调制信号。由于是在电网电压的上升沿过零点产生中断, 控制输出电流, 从而可以保证输出电流和电网电压同步同相, 功率因素为 1。

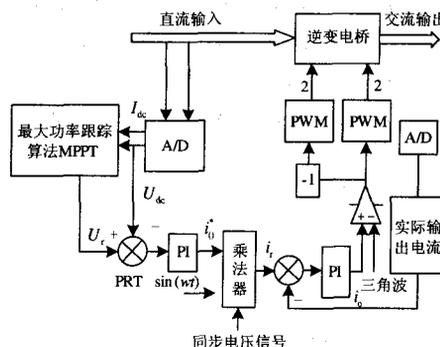


图 3 光伏发电系统控制原理框图

Fig.3 Controlling principle diagram of photovoltaic grid-connected generation system

2 软件设计

2.1 最大功率点跟踪 (MPPT) 控制算法

太阳能电池输出特性是非线性的, 受光照强度和环境温度以及阴、雨、晴、雾等气象条件的影响。图 4 所示为温度一定时太阳能电池的输出特性。为了充分地利用太阳能, 应使太阳能电池工作在最大功率点附近, 这就需要研究太阳能电池最大功率点跟踪策略。最大功率点跟踪算法有干扰观测法、电导增量法、模糊逻辑控制法、滞环比较法、神经元网络控制法、最优梯度法等方法。本设计中采用的是电导增量法, 电导增量法控制精确, 响应速度较

快, 适用于大气条件变化较快的场合, 硬件要求较高, 各部分响应速度要求比较快, 而本文采用 TMS320F2812 控制芯片可以满足速度快的要求。电导增量法跟踪太阳能电池的最大功率点的算法如图 5 所示^[3]。

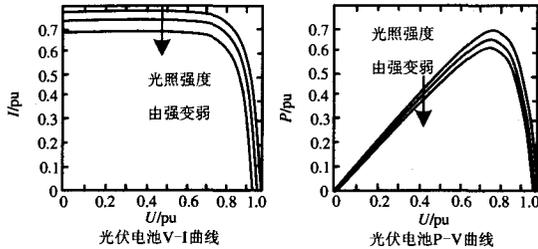


图 4 太阳能电池的输出特性

Fig.4 The output characteristic of the solar energy cell

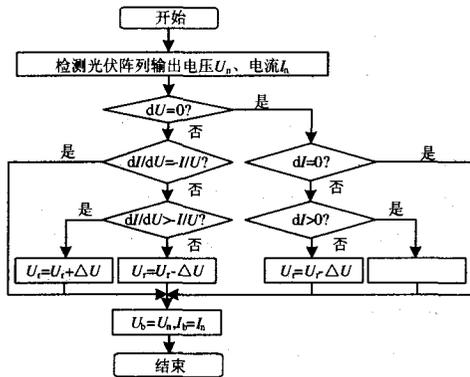


图 5 电导增量法的控制流程图

Fig.5 Flow chart for conductance incremental method

3.2 并网同步的软件实现

光伏并网逆变器实现并网必须满足两个条件: 一是逆变器输出的电压与电网的电压同频同相同幅值; 另一个条件是输出的电流必须与电网的电同频同相。由于本设计中的逆变器的输出控制采用电流控制方式, 电网可以视为容量无穷大的交流电压源, 则只需控制逆变器的输出电流相位与电网电压的相位同步, 幅值保持正弦输出, 即可达到并联运行的目的^[4]。本设计采用软件锁相实现输出电流的频率、相位与电网电压严格同步。将电网电压的信号经过滤波、整形产生与其同步的方波信号, 将该方波信号送入 TMS320F2812 的 CAP1 的引脚, TMS320F2812 为 CAP1 分配通用定时器 1 作为时钟基准, 并设置递增的计数模式; 捕捉方波信号的上升沿, 并记录此定时器的值, 相邻两次定时器值之差就是所测电网电压的周期, 用该周期作为正弦调制波的周期, 通过判断电网电压过零时正弦表指针的位置判断二者的相位差, 相应调整给定并网电流的正弦

表指针, 从而实现二者的同频同相。软件锁相由捕捉中断和定时中断共同完成。正弦表取 1024 个点。锁相环流程图如图 6 所示。

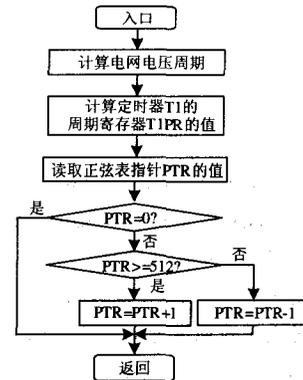


图 6 锁相环控制流程图

Fig.6 Flow chart for the phased lock loop

4 实验及实验分析

根据上述设计方案, 建立了实验室装置, 用示波器测量了 2006 年 12 月 22 号上午一时间段逆变系统输出侧的交流电流和电网的电压, 其波形如图 7 所示。蓝色的波形是电网电压的波形, 红色的波形是并网时逆变系统输出的交流电流的波形, 由图 7 可知, 逆变系统输出的交流电流与电网的电压基本同频率同相位, 说明输出侧功率因素接近 1, 但电流波形不太光滑说明含有少量的高次谐波。

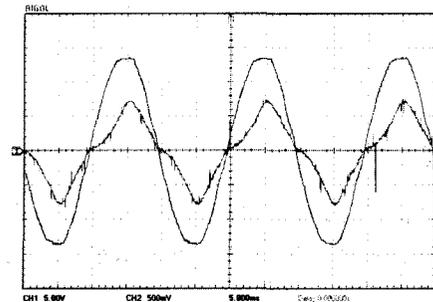


图 7 并网时的电流和电压波形

Fig.7 Current and voltage wave at grid-connected

5 结论

本文提出了一种基于 TMS320F2812 控制的单相光伏并网逆变系统的设计方法, 分析了系统的结构和控制原理, 设计了最大功率跟踪 MPPT 算法和锁相环的软件设计流程图, 构建了实验室样机, 其实验的结果表明了本设计方案的正确性和可行性, 但电流波形中的高次谐波问题有待进一步研究。

(下转第 78 页 continued on page 78)

定值加以克服。

3.6 鼠害因素的防范对策

做好防鼠工作,特别是对于工期较长的增容改造,每天工作结束时,把盘柜电缆入口用堵板挡好,防止老鼠爬入保护盘柜。

3.7 其它因素的防范对策

引入新技术,采用先进的新原理保护设备,提高保护对区外故障的判断和抑制能力。

4 结束语

综上所述,在区外故障时引起变压器主保护的误动的原因是多方面的,本文仅就区外故障变压器差动保护误动原因的分析处理及防范提出一些思路。只有根据不平衡电流产生的原因采取相应的措施来尽量减少不平衡电流,同时通过对差动保护定值的科学整定,才能使变压器差动保护既能够躲开不平衡电流的影响,又可以保证其有足够的可靠性和灵敏性。

(上接第 53 页 continued from page 53)

参考文献

- [1] 叶斌. 电力电子应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
YE Bin. Electric Power Electron Application Technology[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [2] 苏奎峰, 吕强, 耿庆锋, 等. TMS320F2812 原理与开发[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
SU Kui-feng, LV Qiang, GENG Qing-feng, et al. The Principle and Development of TMS320F2812[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2005.
- [3] 赵争鸣, 刘见证, 孙晓瑛, 等. 太阳能光伏发电及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
ZHAO Zheng-ming, LIU Jian-zheng, SUN Xiao-ying, et al. The Photovoltaic Generation and Application of the

(上接第 74 页 continued from page 74)

- [2] 牛晓民, 王晓彤, 等. 超高压串联补偿输电线路的潜供电流和恢复电压[J]. 电网技术, 1998, 22(9): 9-12.
NIU Xiao-min, WANG Xiao-tong, et al. Secondary Arc Current and Recovery Voltage of Series Compensated EHV Transmission Line [J]. Power System Technology, 1998, 22 (9): 9-12.
- [3] 钟胜. 与超高压输电线路加装串补装置有关的系统问题及其解决方案[J]. 电网技术, 2004, 28(6): 26-30.
ZHONG Sheng. Problems Caused by Adding Series Compensation Devices to EHV Transmission System and Their Solution[J]. Power System Technology, 2004, 28 (6): 26-30.
- [4] 贺建国, 邓军波, 等. 阳城 500 kV 输电工程中串补装置的工作条件[J]. 高电压技术, 2001, 27(6): 34-36.

参考文献

- [1] 王梅义. 电网继电保护应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [2] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护典型故障分析[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [3] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 1995.
- [4] 贺家李. 电力系统继电保护原理(增订版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

收稿日期: 2007-11-07; 修回日期: 2007-11-26

作者简介:

姬希军(1970-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析; E-mail: jixijun@xjgc.com

胡宝峰(1976-), 男, 本科, 工程师, 从事电力计量、降损技术的研究与管理工作;

刘以军(1975-), 男, 本科, 工程师, 从事电力系统继电保护产品设计、调试和事故分析。

Solar Energy[M]. Beijing: Science Press, 2005.

- [4] 郑诗程, 丁明, 苏建徽, 等. 户用光伏并网发电系统的研究和设计[J]. 电力电子技术, 2005, (1): 55-57.
ZHENG Shi-cheng, DING Ming, SU Jian-hui, et al. Research and Design of Residential Photovoltaic Grid-connected Generation System[J]. Power Electronics, 2005, (1): 55-57.

收稿日期: 2007-05-23; 修回日期: 2007-11-06

作者简介:

吴玉蓉(1975-), 女, 讲师, 主要研究方向为电能质量分析和光伏发电; E-mail: wyr9130999@yahoo.com.cn

张国琴(1977-), 女, 讲师, 主要研究方向为数字信号处理与电力电子技术。

HE Jian-guo, DENG Jun-bo, et al. Working Condition of Fixed Series Compensation in Yangcheng 500 kV Transmission System[J]. High Voltage Engineering, 2001, 27 (6): 34-36.

收稿日期: 2007-07-25; 修回日期: 2007-10-08

作者简介:

何尔文(1975-), 男, 硕士, 主要从事超高压运行管理及变电设备维护及试验管理工作; E-mail: darwin413@126.com

吴蓉(1975-), 女, 工程师, 主要从事电力科技管理工作。

李健(1982-), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护工作。