

# 光伏并网逆变器的研制

Design of grid-connected photovoltaic inverter

(郑州大学) 凌飞 张宇翔 郭敏  
LING Fei ZHANG Yu-xiang GUO Min

**摘要:** 本文介绍了一种工频隔离型光伏并网逆变器的主功率板、主控制板、辅助电源板等硬件模块,阐述了并网逆变器的几种控制方式。以TI公司的TMS320LF2407A芯片为主控制芯片,详细介绍了该芯片的功能特点及产生SPWM波的过程,并给出了主要程序的流程图。最后介绍了最大功率点跟踪和孤岛保护。

**关键词:** 光伏并网逆变器; 太阳能电池; SPWM; 孤岛效应

中图分类号: TM615

文献标识码: B

**Abstract:** In this article, the IPM board, the CPU board and the assistant power board of the kind of line frequency isolated inverter are introduced. It has introduced some control mode of the grid-connected inverter. TMS320LF2407A of TI company is the most control chip of the system. The function and characteristic of the chip and the generating process of the SPWM is introduced in detail too, and the flow chart of the programs are list. Finally, it introduces the Maximum Power Point Tracking and Island protection.

**Key words:** the grid-connected photovoltaic inverter; solar cell; SPWM; islanding

## 1 引言

作为21世纪最有潜力的能源,太阳能产业的发展潜力巨大。太阳能产业是新兴的朝阳行业,再加上良好的政策环境、行业本身的特性,使得太阳能产业具有较高的投资价值和发展潜力。过去由于太阳能电池的生产成本居高不下,所以光伏电池多用于偏远无电地区的中小功率离网用户。但是,太阳能光伏市场近年来发生了很大变化,开始由边远农村地区逐步向并网发电以及和建筑结合的常规发电方向发展,开始由补充能源向替代能源过渡。我国地域广大,人口众多,正处在经济转轨和发展时期,能源问题突出而紧张;另一方面,有近7000万人口生活在无电地区,光伏发电的潜在市场是非常巨大的。同时我国具有丰富的太阳能资源,太阳能并网发电的前景广阔。

## 2 硬件电路设计

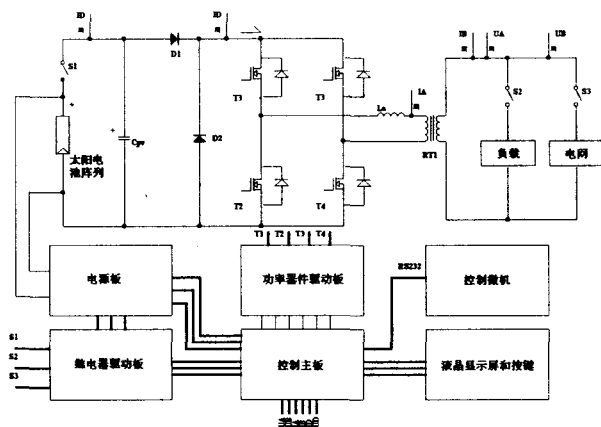


图1 光伏并网逆变器原理图

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输出的直流电逆变成交流电,并送入电网。其硬件电路主要包括主功率逆变电路、DSP主控制电路、辅助电源电路、及通讯和接口等几大部分。原理图如图1所示:

光伏并网的逆变器拓扑结构有很多种,其中最常用的有:直接耦合并网、高频隔离并网、高频不隔离并网、工频隔离并网等几种。工频隔离型是最常用的结构,也是目前市场上使用最多的逆变器类型。它有两个突出的优点:一是最后一级加入了工频变压器,保证了系统不会向电网馈入直流分量;二是安全性提高了,如果没有隔离变压器,当人接触到光伏侧的正极或者负极时,电网的电就有可能通过桥臂形成回路对人构成伤害。

主逆变电路将太阳能电池提供的直流电逆变为交流电,通过变压器向电网反馈或是向交流负载发电。原理如图2所示:

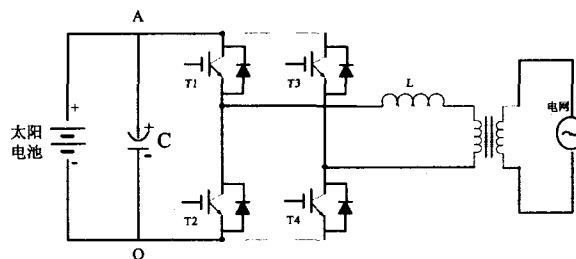


图2 逆变主电路原理图

在光伏并网发电系统中控制主板是整个系统的控制核心,控制主板根据从主电路中采集的模拟量的数值和变化趋势向功率器件驱动板提供合适的SPWM波。该逆变系统所选用的DSP芯片是由美国TI公司(德州仪器公司)推出的数字信号处理器TMS320家族中的一员,属于TMS320C2000系列。作为DSP控制器TMS320C24x系列的新成员,该芯片是TMS320C2000平台下的一种定点DSP芯片。240X芯片具有低成本、低功耗、高性能的处理能力。本系统选用TMS320LF2407

凌飞:在读硕士

作为主控芯片是由于该芯片具有以下诸多优点:

每片 F2407 具有两个事件管理器(EVA, EVB),并且每个事件管理器都具有 2 个通用定时器,8 个 16 位 PWM 通道,可以方便地产生三相 PWM 波,对功率开关器件进行 SPWM 控制。

F2407 运行速度很快,可以用软件实现滤波、跟踪等功能,而不需使用任何硬件,这也是数字信号处理器的特点。

F2407 具有方便的 A/D 接口和数字量接口。

F2407 具有良好、方便的通讯功能,可以和微机进行串口通讯,便于系统网络化。

辅助电源通过一反激变换器将太阳能电池输出的 200-400V 的直流电转换为多路+5V、-5V、+15V、-15V 等电源,对整个光伏逆变系统供电,本设计中的控制用电,以及驱动和传感器用电,都是从辅助电源取得。

### 3 控制系统软件设计

本系统采用的是基于 SPWM 的电流控制方法,通过对系统电路采样信号进行处理,从而产生 PWM 等驱动信号来控制前级 MOSFET 和后级 IGBT。系统的总体工作过程比较简单,系统上电后,首先是系统初始化、PWM 初始化、捕捉初始化和 A/D 初始化,然后启动定时器,开中断,进入 While(1)循环等待中断。控制系统流程图如下所示:

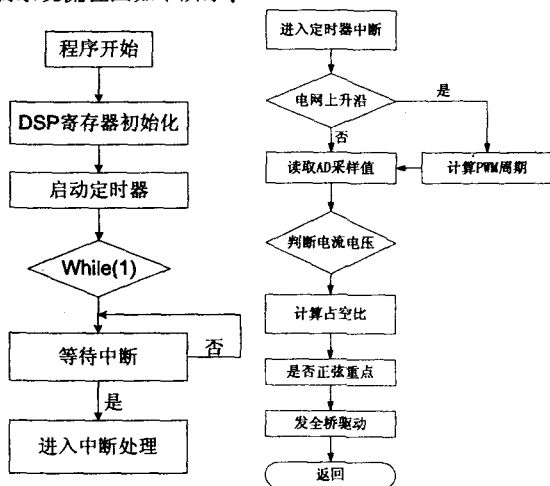


图3 主程序流程图

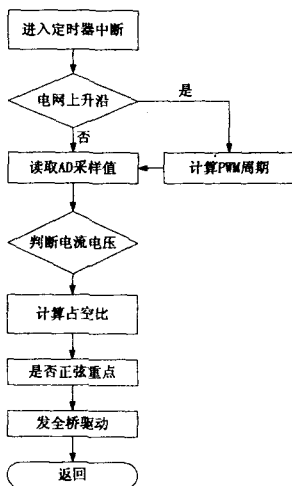


图4 中断子程序流程图

### 4 最大功率点追踪

由于太阳能电池的输出特性(I-V 曲线)受外界环境影响很大,温度和光照辐射度的变化都可以导致输出特性发生很大的变化,另外光伏电池的转换效率也很低,且价格昂贵,初期投入大,因此我们有必要采取具有 MPPT(最大功率点追踪)功能的逆变器来提高光伏系统的效率。

最大功率跟踪常用的几种方法有定电压跟踪法、扰动观察法、增量电导法、滞环比较法等,本系统采用滞环比较法实现最大功率点跟踪。原理如下:

在太阳能电池 P-V 特性曲线顶点附近从左至右依次取 A、B、C 三点,设变化标志 Flag,  $P_A$   $P_B$   $P_C$  对应于 ABC 三点的功率,规定当  $P_B \leq P_C$  时,  $Flag=1$ ,  $P_B > P_C$  时,  $Flag=-1$ ; 当  $P_A < P_B$  时,  $Flag=1$ , 当  $P_A \geq P_B$  时,  $Flag=-1$ 。这样根据 Flag 的值就可以做出扰动方向的判断:

$$Flag = 2 \quad P_A < P_B \& P_B \leq P_C$$

增加扰动量

$$Flag=0 \quad P_A < P_B \& P_B > P_C$$

达到最大点

$$Flag=-2 \quad P_A \geq P_B \& P_B > P_C$$

减小扰动量

当日照快速变化(有云经过)时,也会出现  $P_A \geq P_B \& P_B \leq P_C$  的情况,由于此时  $Flag=0$ ,可以将其归入达到最大点的情况,即工作点不做改变,从而避免了因日照快速变化而导致的误判。

### 5 孤岛保护

当电网由于电气故障、误操作或自然因素等原因停止供电时,各种分布式电源仍继续向电网输送电能,这样便会出现孤岛现象。分布式电源必须避免孤岛现象的出现,原因很多,其中最主要的是安全、可靠和供电质量的问题。因此分布式电源必须具备防止孤岛现象发生的功能。目前,分布式电源日趋增长,尤其是太阳能发电更是发展迅速,解决孤岛问题显得尤为重要。

孤岛的检测方法一般分为被动法和主动法。被动法是通过检测系统的输出状态来判断是否发生孤岛。主动法是系统主动发出扰动信号,检测电网响应来判断是否发生孤岛。

本设计采用主动式自适应逻辑频率偏移法进行孤岛保护,自适应逻辑频率偏移技术它以一般频率偏移技术为基本扰动工具,必要时再叠加一新的偏移量。自适应逻辑频率偏移技术在孤岛效应发生时通过正反馈相位偏移叠加,可以快速地使频率超出欠、过频额定范围而触发欠、过频硬件保护电路,从而能够有效地防孤岛。并且在正常并网状态下维持很小的频率偏移量,相对一般频率偏移技术不仅提高了孤岛检测的速度和精度,也提高了输出功率的质量。

### 6 总结

本文对光伏并网逆变系统进行了理论分析和探讨,选用 TI 公司的 TMS320LF2407 作为主控芯片,采用电流源输出的控制方式产生 SPWM 波,并实现光伏并网逆变系统的孤岛保护,完成了光伏并网逆变器软件和硬件的设计及调试,并实现了并网运行,取得了良好的效果。

本文作者创新点:在设计主功率模块时,将 15V 变换成三路隔离 15V 供上臂驱动电源,采用高共模 dv/dt 耐量的光电隔离驱动芯片驱动主开关管,用高纹波耐量长寿命电容器作解耦电容,设计滤波电感时采用了低损耗小体积的铁基非晶磁芯。

参考文献

- [1]2007 年中国太阳能光伏发电产业分析及投资咨询报告
- [2]张一工,肖湘宁 现代电力电子技术原理与应用.科学出版社,2000,8
- [3]诸江,董金明 基于直接数字频率合成的三角载波移相 PMW 控制 FPGA 的设计实现.微计算机信息,2006,29
- [4]陈兴峰,曹志峰,焦在强,许洪华.基于 DSP 的 20Kw 单相并网光伏逆变器.电气应用,2005,08
- [5]Yin J, Liuchen Chang, Diduch C. A New Total Frequency Deviation Algorithm for Anti-Islanding Protection in Inverter-Based DG Systems. Electrical and Computer Engineering, Canadian Conference on, May 1-4, 2005(s):570-573.

作者简介:凌飞,男,1981 年生,郑州大学物理工程学院物理电子学在读硕士,主要从事电力电子及微控制器应用方面的研究工作。

(下转第 270 页)

机器人服务平台 RobotPlatform 作为客户端与作为服务器端的机器人本地控制程序 ControlServer 通过 ArNetworking 架构进行通信。RobotPlatform 考虑到跨平台的特性,采用 Java 编写,ControlServer 位于机器人上,不用考虑可移植性,故采用 C++编写。

ControlServer 的核心是建立一个 ArRobot 对象和一个 ArServerBase 对象,分别代表机器人以及服务器端(机器人)的网络连接,然后添加需要使用的数据包类型(如表示设置速度的数据包和转弯的数据包等)和与之对应的回调函数用于处理相应的数据请求。

作为客户端的 RobotPlatform 由于采用 Java 编写,要调用由 C++编写的底层函数,必须使用 JNI(Java 本地接口)技术,首先载入动态链接库,然后再进行本地方法调用。RobotPlatform 的核心是建立一个 ArRobot 对象和一个 ArClientBase 对象,分别代表机器人以及客户端(服务器 PC)的网络连接,然后组装相应的 ArNetPacket 数据包,并发送给机器人。

用 ArNetworking 架构进行通信使用起来非常方便,简洁,而且功能非常强大。只要在 ArNetworking Server 端添加相应的数据类型并注册对应的处理器回调函数,然后在 ArNetworking Client 端发送对应的请求 ArNetPacket 包,就可以进行各种数据的交换。

#### 4 结束语

本文的创新点在于直接使用 Pioneer 3-DX 移动机器人自带的 ArNetworking 库进行服务器和机器人之间的网络通信,使得移动机器人操作系统实现起来比较简单,而且程序结构清晰,功能强大,还缩短了开发时间。用户可以仅仅使用浏览器远程访问和控制移动机器人,不仅方便了研究人员,还使宝贵的资源得到了共享。

##### 参考文献

- [1]Ken Goldberg, Steve Gentner, Carl Sutter, and Jeff Wiegley. The Mercury Project: A Feasibility Study for Internet Robots. IEEE Robotics and Automation Magazine, 2000.
  - [2]Reid Simmons. Xavier: An autonomous mobile robot on the web. In International Conference On Intelligent Robots and Systems (IROS): Workshop on Web Robots, Victoria, Canada, 1998.
  - [3]蒋治宏.基于网络的机器人远程系统设计与实现[J].微计算机信息,2006,11-2:262-264.
  - [4]Huosheng Hu, Lixiang Yu, Pui Wo Tsui, Quan Zhou. Internet-based Robotic Systems for Teleoperation. International Journal of Assembly Automation, Vol. 21, No. 2.
  - [5]Aria Reference Manual. ActivMedia Robotics Interface for Application (ARIA) Copyright 2005, ActivMedia Robotics, LLC.
  - [6]Qijun chen, Haixia Geng, Peng-Yung Woo. Research on Pure Java Realization of A Web-based Mobile Robot System. Proceedings of the American Control Conference Denver, Colorado June 4-6, 2003.
  - [7]伍翼,黄心汉,彭刚.JAVA 平台上的移动机器人操作系统.2004 中国机器人足球比赛暨学术论文研讨会论文集.
- 作者简介:刘欢(1982-),男,重庆邮电大学自动化学院硕士研究生。研究方向:网络机器人;张毅(1969-),男,教授、博士生导师。

师。主要研究方向:数据融合、现代移动通信理论与技术、现代信号处理在移动通信中的应用等。

(400065 重庆邮电大学智能系统及机器人研究所 重庆) 刘欢 (Research Center of Intelligent System and Robotics, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China) LIU Huan

通讯地址:(400065 重庆邮电大学自动化学院 77# 信箱)刘欢

(收稿日期:2008.05.27)(修稿日期:2008.07.20)

#### (上接第 272 页)

了三组,对每组传感器中的每个传感器预先设定了一个阈值,这个阈值是考虑移动机器人安全距离而设定的。设计的控制算法是在 Pioneer 3-Dx 型移动机器人的仿真平台 SRIsim 上实现的,本算法简单,有效,能够使移动机器人在做漫游运动时及时而有效的躲避障碍物,实现了预期的目的。在进一步的工作中,打算引入智能算法,用于设计移动机器人作漫游运动时的控制算法,并且将所设计的控制算法用在 Pioneer 3-Dx 型移动机器人上进行漫游实验。

##### 参考文献

- [1]扬杰华,伊大成.怎样制作一个漫游机器人.技术讲座.电子制作 2004,10: 61-63
- [2]Antonio Sgorbissa, Renato Zaccaria. Roaming Stripes: Smooth Reactive Navigation in a Partially Known Environment [J]. Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication Millbrae, California, USA, Oct.31 -Nov. 2, 2003
- [3]肖质红.室内机器人及其路径跟踪网络设计[J].微计算机信息,2006,22,12-2,182-184

作者简介:王洲(1981-),男,硕士。研究方向:移动机器人路径规划;张毅(1969-),男,教授、博士生导师。主要研究方向:数据融合、现代移动通信理论与技术、现代信号处理在移动通信中的应用等。

Biography:WAGNG Zhou,male, Master, major in Path Planning of Mobile Robot.

(400065 重庆邮电大学智能系统及机器人研究所 重庆) 王洲 (Research Center of Intelligent System and Robotics, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China) WANG Zhou

通讯地址:(400065 重庆邮电大学自动化学院 77# 信箱) 王洲

(收稿日期:2008.05.27)(修稿日期:2008.07.20)

#### (上接第 299 页)

Biography:LING Fei (1981-), male, master, ZhengZhou University Physics Engineering College; main research aspect: Power Electronics Technology and application of MCU

(450001 郑州大学物理工程学院 河南 郑州)凌飞

(School Of Physics Engineering, ZhengZhou University, ZhengZhou,450001) LING Fei

通讯地址:(450001 郑州大学新校区物理工程学院物理电子学 2005 级研究生) 凌飞

(收稿日期:2008.05.27)(修稿日期:2008.07.20)