

500W 微网逆变器系统设计

黄华

[摘要]在 20 世纪的世界能源结构中,人类所利用的能源主要是石油、天然气和煤炭等一次性能源。随着经济的发展、人口的增加和社会生活水平的提高,能源消费量日益增长,世界上已经出现了能源危机。世界各国都在积极寻找一种可持续发展且无污染的新能源,其中太阳能作为一种高效无污染且可持续发展的新能源,尤其受到广泛的重视。太阳能光伏利用的主要形式为太阳能光伏并网系统,在此背景下,本文在太阳能光伏并网系统的硬件设计、控制算法研究、系统仿真等方面进行了深入探索。

本文在充分分析近年来光伏发电领域重要研究成果的基础上,设计了一套三相光伏发电并网系统,对系统的拓扑结构、控制电路给出了详细的设计要点。以 DSP TMS320F2812 为控制核心,实现了电路保护、数据采集、参数设置等功能,为各种光伏并网控制算法提供了灵活可靠的硬件平台。在软件方面介绍了 SPWM 的控制算法,在分析现有最大功率跟踪(MPPT)方法的基础上,对现有方法进行了改进,把模糊控制引入到最大功率跟踪中,并给出了模糊控制规则库另外分析了并网中存在的孤岛效应问题,并改进了现有解决方法。

[关键词] 太阳能; 光伏并网; 最大功率跟踪(MPPT); DSP; 孤岛效应

Abstract : In the 20th century,the world's energy structure,the use of human energy is mainly oil,natural gas and coal,and other one-time energy.Along with the economic development,population growth and social improvement of living standards,energy consumption growth,the world's energy crisis has already emerged,Countries all over the world to actively seek a sustainable development of new and clean energy.The highly efficient solar energy as a clean and sustainable development of new energy sources,particularly wide attention.And the use of photovoltaic solar energy will be the main form of solar photovoltaic systems and network hardware design,control algorithms,system simulation,carried out in-depth exploration.

This paper studies in recent years in the full field of photovoltaic generating important research results on the basis of a three-phase design of photovoltaic power generation system and network,the topology of the system design,control circuit design is given a detailed design features.DSP TMS320F2812 for the control of the core to core to achieve the current protection,data acquisition,parameter setting,and other functions,and for various photovoltaic network control algorithm provides a flexible and reliable hardware platform.In the software control on the space vector PWM control algorithm,in the analysis of existing maximum power point tracking(MPPT) method is presented based on the use of fuzzy control of the maximum power point tracking,and gives the fuzzy control rules.And the other of the island in the net effect of the problem,and presents a solution.

Key words: Solar; Photovoltaic grid connected; MPPT; DSP; Islanding effect

1 绪论

随着人类社会的发展,能源的消耗量正在不断增加,世界上的化石能源总有一天将达到极限。同时,由于大量燃烧矿物能源,全球的生态环境日益恶化,对人类的生存和发展构成了很大的威胁。在这样的

背景下，太阳能作为一种巨量的可再生能源，引起了人们的重视，各国政府正在逐步推动太阳能光伏发电产业的发展。而在我国，光伏系统的应用还刚刚起步，市场状况尚不明朗。相信作为当今发展最迅速的高新技术之一，太阳能光伏发电技术，特别是光伏并网发电技术将为今后的电力工业以及能源结构带来新的变化。

太阳能作为一种新型的绿色可再生能源，与其他新能源相比是最理想的可再生能源。特别是近几十年来，随着科学技术的不断进步，太阳能及其相关产业成为世界发展最快的行业之一。因为它具有以下的特点：储量丰富；清洁性和经济性；分布范围广泛。

这些技术尤其在我国的北方和西部应用较广并且成效显著。以光伏电池技术为核心的光伏利用成为太阳能开发利用中最重要的应用领域，利用光伏发电，具有明显的优点：

- (1) 结构简单，体积小且轻。
- (2) 容易安装运输，建设周期短。
- (3) 维护简单，使用方便。
- (4) 清洁、安全、无噪声。
- (5) 可靠性高，寿命长，并且应用范围广。

2 太阳能光伏发电系统

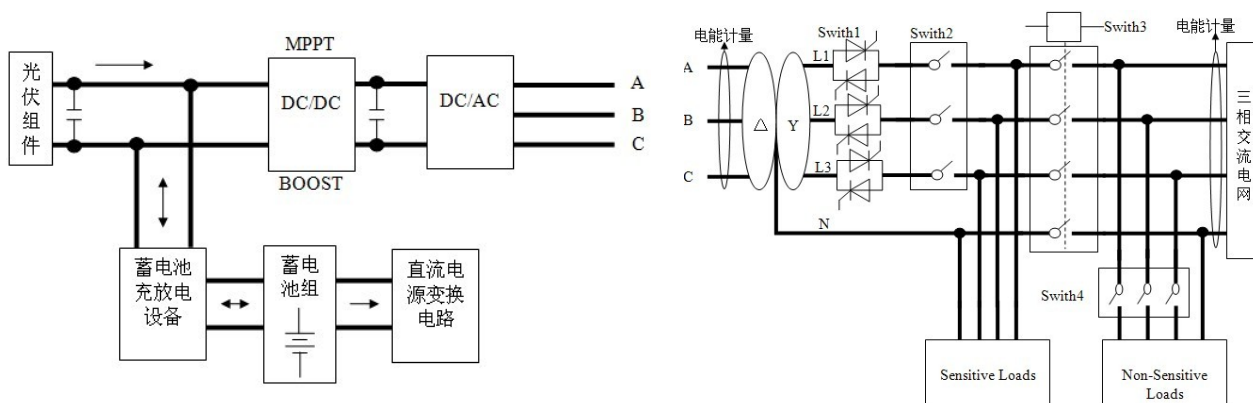
2.1 光伏发电系统的分类

太阳能光伏发电系统按供电方式大致可以分为独立发电系统、并网发电系统和混合发电系统三大类。

2.2 500W 微网逆变器系统设计

微网逆变器系统将可再生能源（如太阳能，风能，水能，地热能，生物质能等）转变为与电网同频、同相的交流电，优先输送给当地负荷供电，剩余的电能馈入电网。微网逆变器系统主要包括：光伏组件，蓄电池组，蓄电池充放电设备，DC/DC 变换器，微网逆变器，静态开关等。

2.2.1 500W 微网逆变器系统结构图



2.2.2 微网逆变器设计

微网逆变器是微网逆变器系统中的关键部分。微网逆变器输出为三相交流电，具有并网和独立运行两种工作模式。微网逆变器主电路采用智能功率模块进行逆变，产生三相交流电通过三相变压器（ $\Delta-Y$ ）进行隔离升压，并变成三相四线输出。

2.2.3 静态开关和电能计量设计

静态开关是微网逆变器系统的重要组成部分。静态开关由三组双向可控硅、两个空气开关以及一个断路器组成，其闭合和断开的驱动信号由 DSP 产生。

正常工作时，开关 Switch1、Switch2、Switch3、Switch4 同时闭合，为当地负荷提供电能；当电网缺相、电压严重跌落等非正常状况时，由 DSP 检测出异常情况，做出判断决策，并控制开关的开通与关断。这时，开通 Switch1 和 Switch2，关断 Switch3，保证重要负荷的供电。当逆变器发生故障时，立即断开 Switch1，逆变器退出，同时断开 Switch4，由电网对重要负荷供电。当逆变器故障消失时，再与电网同步后，开通 Switch1，在闭合 Switch4。恢复对当地负荷的供电。当需要检修逆变器时，先断开开关 Switch2，检修完成后，重新闭合 Switch2。

2.2.4 DC/DC 变换器方案设计

DC/DC 变换器采用 Boost 拓扑，实现直流电压的升压功能和蓄电池的最大功率点跟踪（MPPT）。PWM 驱动信号由 DSP 产生，通过采集太阳能电池板的输出电压和电流，计算瞬时输出功率，不断与前一时刻的输出功率相比较，来跟踪太阳能电池板的最大输出功率。

2.2.5 蓄电池充放电设备设计

蓄电池充放电设备的硬件电路采用 Buck-Boost 拓扑，驱动信号由 PIC 单片机产生。充电时根据当前蓄电池状态，启用均充模式或者浮充模式，实现对蓄电池的智能化充电。当系统需要蓄电池放电时，由 PIC 单片机产生 PWM 驱动脉冲，实现蓄电池对负载的放电。

2.3 光伏并网系统逆变器要求

并网光伏发电系统的核心是并网逆变器，而此系统中需要专用的逆变器，以保证输出的电力满足电网电力对电压、频率等电性能指标的要求。因此并网时，对逆变器提出了较高的要求，主要有：

- (1) 要求逆变器输出正弦波电流；
- (2) 要求逆变器在负载和日照变化幅度较大的情况下均能高效运行；
- (3) 要求逆变器能使光伏方阵工作在最大功率点；
- (4) 要求逆变器具有体积小、可靠性高的特点；
- (5) 可以在市电断电情况下逆变器在日照时能够单独供电。

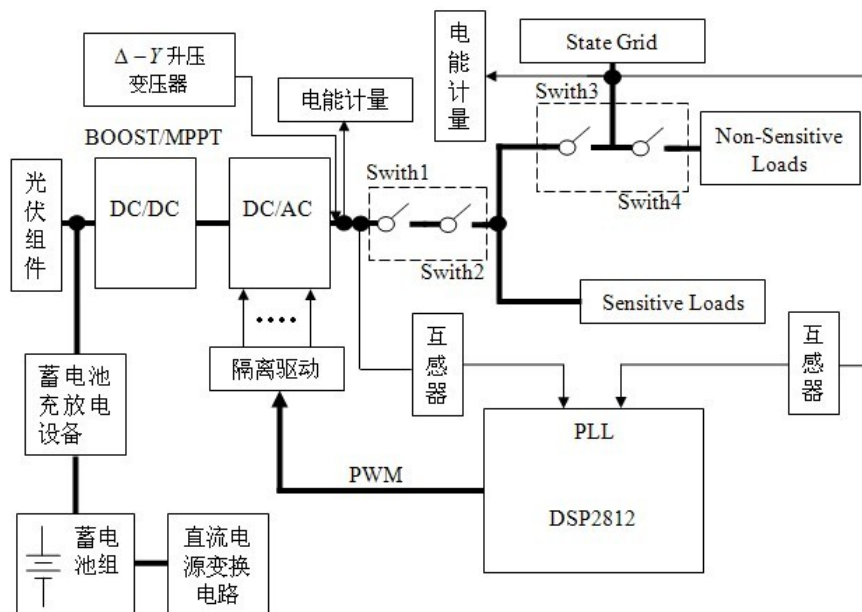
2.4 光伏并网系统的拓扑结构

光伏并网系统的拓扑结构可分为以下三类：

- (1) 单级式并网逆变器拓扑；
- (2) 两级式并网逆变器拓扑；
- (3) 多级式并网逆变器拓扑。

3 500W 微网逆变器电路设计

系统的硬件总体图如下：



3.1 主控制芯片的选择

控制芯片要实现的功能有:对检测信号进行 A/D 转换;产生 PWM 波形;完成 MPPT;电能计量和反孤岛效应的计算过程。控制电路的核心器件采用美国 TI 公司的 TMS320F2812DSP(简称 2812)。

3.2 逆变器的设计

逆变器是光伏并网发电系统的核心部件,选择高可靠性的逆变模块是电路正常工作的必要条件。下面对 IPM(智能功率模块)组成逆变器和分离元件组成逆变器进行分别阐述。

3.2.1 IPM 逆变模块介绍

IPM 是一种先进的功率开关器件,具有 GTR(大功率晶体管)高电流密度、低饱和电压和耐高压特点,并具有 MOSFET(场效应晶体管)高输入阻抗高开关频率和低驱动功率等优点。IPM 内部集成了逻辑、控制、检测和保护电路,不仅减小了系统的体积以及开发时间,也增强了系统的可靠性。

3.2.2 IPM 逆变模块保护电路设计

IPM 故障输出信号封锁 IPM 的控制信号通道,软件保护不需要增加硬件,简便易行,但可能受到软件设计和计算机故障的影响;硬件保护则反应迅速,工作可靠。应用中软件与硬件结合的方法能更好的弥补 IPM 自身保护的不足,提高系统的可靠性。

3.2.3 由 IR2130 组成逆变模块电路设计

IR2130 是 600V 以下高压集成驱动器件,它具有六路输入信号和六路输出信号,且只需一个供电电源即可驱动三相桥式逆变电路的 6 个功率开关器件,一片 IR2130 可替代 3 片 IR2110,使整个驱动电路更加简单可靠。

3.3 微网逆变器电源设计

微网逆变器电源系统直接影响逆变器输出的三相交流电,整个系统的稳定性,所以一个稳定的电压系统是逆变器稳定工作又一必要条件。对于蓄电池供电的电源系统需要高效率,低纹波。下面分别阐述由外部 220V 供电和蓄电池供电的电源设计。对于实验时,可以先用外部 220V 供电的电源系统,对于实验完毕成为产品,为了简化电路,需用内部只带蓄电池供电。

3.4 微网逆变器信号调理电路设计

由于 DSP 不能输入负电压，故逆变器的输出线电压和线电流，电网端的线电压和线电流总共 12 路信号要通过信号调理才能送入 DSP。

3.4.1 电压互感器的选择

此系统输出是三相交流电，输出线电压为 380V，故选择 TV19E 电压互感器，其输出负载电阻可以接 0~500 欧，输出交流电压 0~2.5V，此系统采用 240 欧的电阻，输出电压-1.2V~1.2V。满足 DSP 的输入要求。电路如图 3.5 所示。

3.4.2 电流互感器的选择

此系统输出电流小于 1A，故选择最大可以测量 1A 的电压型电流互感器 TA1410，负载电阻用是 200 欧，输出电压为-1~1V 的交流电压。电路如图 3.6 所示。

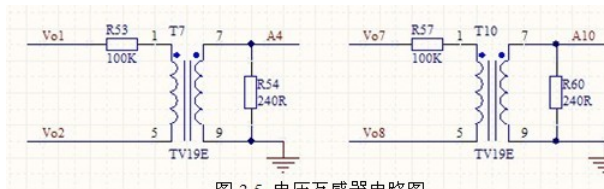


图 3.5 电压互感器电路图

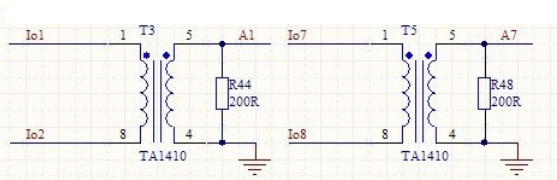


图 3.6 电流互感器电路图

3.4.3 电平提升电路的设计

由于 DSP 输入端不能输入负电平，故要对电压互感器和电流互感器的信号进行+1.25V 的提升，使输入信号在 0~3.3V 之间。

3.5 微网逆变器开关驱动电路设计

为了实现微网逆变器、负载、电网间的连接，当电路出现故障，需要快速的切换，故电路中使用了静态开关（晶闸管），交流接触器，空气开关。

3.6 微网逆变器电能计量电路设计

本系统采用两块 ATT7022B 分别对逆变器侧和电网侧进行电能计量 ATT7022B 是一款高精度三相电能专用计量芯片，集成了 6 路差分输入二阶 sigma-delta ADC，适用于三相三线和三相四线应用，在输入动态工作范围(1000: 1)内非线性测量误差小于 0.1%。主要功能包括：电能计量、参数测量、数字接口和数字校准。

3.7 微网逆变器 DC-DC 电路设计

为了输入实现 MPPT，输入 DC-DC 采用 BOOST 电路。采用 SG3525 作为主控芯片。

3.8 微网逆变器蓄电池充放电电路设计

智能充放电器采用升降压拓扑结构，并用 PIC 单片机进行智能控制，电路既包括智能充电电路，也包括智能发电电路。

3.9 微网逆变器变压器设计

本系统逆变其输出三相交流电线电压为 190V，结果三相升压变压器（变比 1:2）升压到 380V，并采用 Δ -Y 接法，功率 500W。此变压器起升压作用，另外起隔离作用。

4 软件设计和测试结果

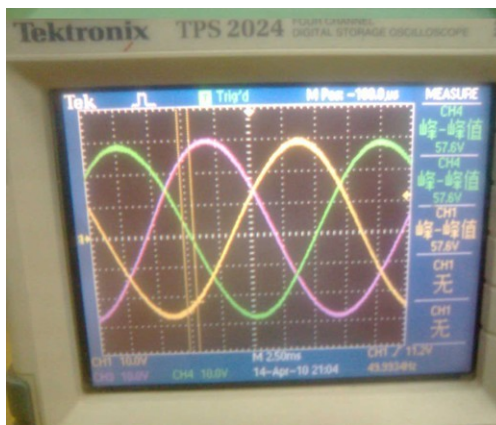
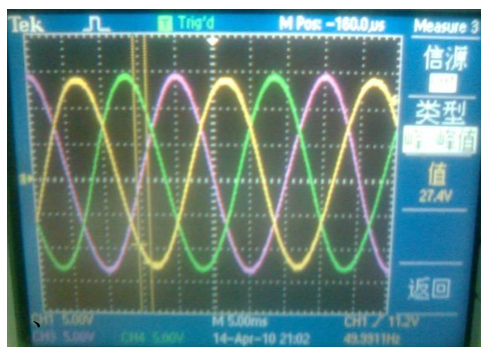
根据前面分析讨论，研制一套基于 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320LF2812 的 500W 光伏并网发电装置，由于 DSP 强大的控制能力和数据处理能力，使整机硬件结构较为简单，除了主电路、取样检测电路和驱动电路外，所有的运算、数据处理均由 DSP 完成。因此合理有效的控制策略和简洁软件构架是该系统可靠运行的有力保证。根据前面的分析和光伏并网发电系统的基本要求，DSP 应该完成最大功率点跟踪控制、独立供电运行控制、同步锁相与并网控制、孤岛检测保护控制及相应的其它保护。本章主要根据上述要求给出相应的软件架构及主要实验结果。

4.1 系统的整体软件构架

微网逆变光伏发电系统的目的是将光伏器件产生的电能优先供给本地负载使用，多余的电量回馈给电网，软件的设计不仅要准确可靠地体现控制思想，而且要保证系统稳定可靠，防止干扰信号对系统的影响。

4.2 同步锁相控制

光伏并网发电系统要实现并网，必须使逆变输出与电网电压的幅度、相位与频率达到一致，否则将会使电网谐波增加、电能质量下降，并产生并网环流，甚至造成光伏发电系统的损坏。因此在并网过程中必须进行同步锁相控制、输出电压幅度控制以满足并网的要求。根据 IEEE Std 1547-2003 规定最大相位误差为 20 度，瞬时电压误差不能超过电网电压的 10%、最大频率误差不能超过 0.3Hz。图片 4-1 为独立工作模式时纯电阻负载两端的电压波形。



图片 4-1 独立工作模式时纯电阻负载两端的电压波形

4.4 孤岛检测与保护

孤岛效应是包括光伏发电在内的分布式能源必须重视的一个重要问题。所谓孤岛效应(Islanding)是指在分布式能源系统逆变器并网工作过程中，当市电输入被人为断开或出现故障而停止供电时，逆变器仍持续向局部电网供电从而使本地负载的供电电源继续处于工作状态。

参考文献

- [1]冯焱生. 太阳能发电原理与应用. 北京:人民邮电出版社, 2007
- [2]崔容强. 并网型太阳能光伏发电系统. 北京:化学工业出版社, 2007
- [3]昌金铭. 国内外光伏发电的新进展. 阳光能源,2007, (1):28-31