

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.04.021

分布式光伏/储能一体化并网技术研究及开发*

柯 勇¹, 陶以彬², 李 阳³, 刘学会⁴

(1. 芜湖职业技术学院 电气工程系, 安徽 芜湖 241000; 2. 中国电力科学研究院, 江苏 南京 210003;
3. 上海电力学院 电气工程学院, 上海 201300; 4. 中国航天远洋测量船基地, 江苏 江阴 214431)

摘要: 针对分布式光伏发电的快速发展,高渗透率光伏发电对电网的安全稳定运行带来的问题,对分布式光伏和储能联合的拓扑结构、工作原理、恒功率控制、电压/频率控制、直流电压控制算法、控制系统的硬件和软件设计进行了全面研究。为满足光伏/储能系统并网工作模式的要求,同时也满足离网工作模式的要求,采用了光储一体化的拓扑结构,并对系统的拓扑结构参数进行详细的计算。研制了一台50 kW的分布式光伏/储能一体化样机,搭建了多类型储能试验平台对样机的并网充放电、离网带载、并离网切换以及MPPT有效性进行功能测试,详细分析了试验测试数据,给出了稳态和暂态试验波形。研究结果表明,该光伏/储能一体化并网设备功能强大,动态响应快,离网带载能力强,具有很好的推广价值。

关键词: 一体化; MPPT; 双DSP; 双模式

中图分类号: TM46 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2015)04-0544-06

Research and development of distributed PV/storage integration grid technology

KE Yong¹, TAO Yi-bin², LI Yang³, LIU Xue-hui⁴

(1. Department of Electrical Engineering, Wuhu Profession And Technology College, Wuhu 241000, China;
2. China Electric Power Research Institute, Nanjing 210003, China;
3. Department of Electrical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 201300, China;
4. China's Space Base in Ocean-going Tracking, Jiangyin 214431, China)

Abstract: Aiming at the rapid development of distributed photovoltaic power generation, high-penetration PV on the grid to bring security and stability issues, distributed photovoltaic and energy storage topology, operating principle, constant power control, voltage/frequency control DC voltage control algorithms, the control system hardware and software design were comprehensively studied. To meet the PV/storage systems off-grid and grid operating mode requirements, the integration of PV/storage topology was used, and the parameters of the system was detail calculated. A distributed 50 kW photovoltaic/storage integrated prototype was developed, a platform for multiple types of storage was builded to test prototype grid charging and discharging, off-grid loading and grid and off-grid switching and MPPT effectiveness function, to detail analysis the experimental test data, and to give the steady and transient state test waveforms. The results indicate that PV/storage integration grid equipment is powerful, fast dynamic response and strong, which have good promotional value.

Key words: integration; MPPT; dual DSP; dual-mode

0 引 言

随着分布式光伏的快速发展,在局部电网中渗透率越来越高,对电网的安全稳定运行提出了新的

挑战^[1-2]。而采用分布式储能技术,可以有效缓解分布式光伏发电并网矛盾、提高电网安全性和稳定性、改善供电质量,尤其在电网出现故障情况下,可以起到紧急后备的作用,极大地提高了用户供电质量^[3-6]。分布

收稿日期: 2014-08-08

基金项目: 芜湖市科技计划资助项目(2013CXY04)

作者简介: 柯 勇(1957-),男,安徽芜湖人,教授,主要从事分布式光伏发电方面的研究。E-mail: taoyibin1977@126.com

式光伏/储能一体化变流器是分布式光伏和储能并网的重要环节,其功能和结构直接决定了分布式光储联合系统的运用。

传统的光储一体化变流器主要是以离网运行为主,随着分布式发电和微电网技术的发展,要求光储变流器不但具有并网工作模式,还要求具有离网工作模式,同时具备并网和离网的平滑切换功能。

笔者研究双模式光储一体化变流器的基本控制方法,阐述双模式光储变流器控制系统的设计,研制一台 50 kW 双模式光储变流并网接口设备,通过试验验证本研究所采用的拓扑结构和控制方法的可行性和正确性。

1 主系统拓扑结构

分布式光储一体化变流器系统拓扑结构如图 1 所示。光伏电池接入直流转换单元,提供光电能量转换。其核心部件是交直流转换单元模块和直流转换单元模块^[7]。光伏 MPPT 控制模块接受主控制模块的控制,主控制模块根据光照资源的条件,启动直流转换模块工作,实现光伏发电的最大功率点跟踪(MPPT)。直流转换单元模块可以将光伏发电通过升压的方式接入交直流转换单元模块的直流侧,实现直流升压的功能。储能电池直接接入交直流转换单元的直流侧,可以稳定直流母线电压,实现并网和离网条件下的功率平衡。交直流转换单元可以将交流侧的电流在其主电路中具有双向流动性,使光储一体化变流器能够工作于充放电的状态,实现对储能电池的充电和放电功能,同时可以工作在并网模式和离网模式。其中,并网模式下由恒功率控制模块控制,离网模式下由恒压/恒频控制模块控制,主控制模块根据调度的运行指令来启动不同的运行模式。

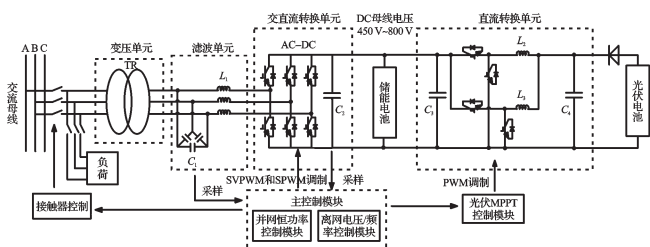


图1 主系统拓扑结构图

2 控制方法

2.1 恒功率控制方法

在并网模式下,根据电网的调度要求可以进行恒功率控制模式。恒功率模式如图 2 所示。其中,在恒

功率模式下,都具备有功和无功平滑调节能力^[8]。

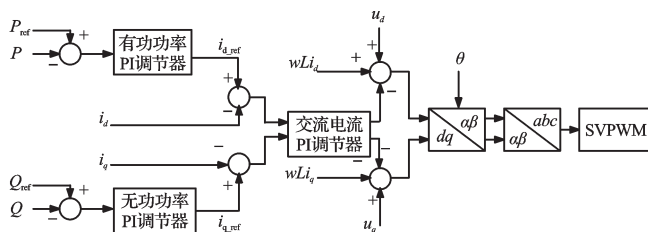


图2 并网模式下控制框图

恒功率控制采用双环控制,恒功率的外环是功率环;内环为交流电流控制环。电流内环作用是用于提高系统的动态性能和实现限流保护。功率外环的误差信号送入PI调节器,PI调节器的输出即为主电路交流输入参考电流,系统通过比较得到电流误差后,对电流误差进行PI调节,实现交流侧有功和无功的调节。

2.2 电压/频率控制方法

离网模式下,储能系统独立给负荷供电或储能系统在微网中作主电源运行时,要为负荷提供电压和频率支撑,维持供电点电压和频率的稳定,采取定电压和定频率控制策略(V/f控制)。

V/f控制框图如图 3 所示。

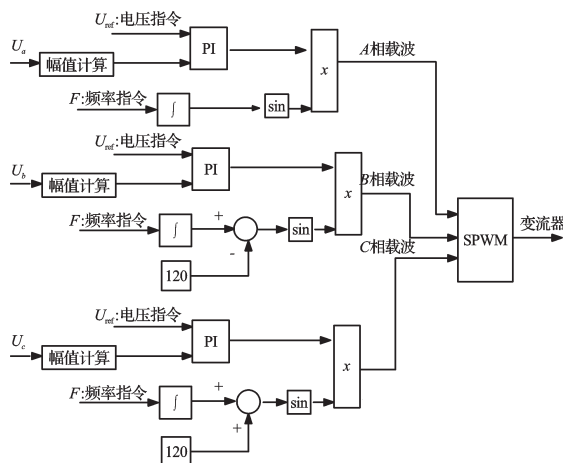


图3 V/f控制框图

为了保证在微电网系统中,存在三相不平衡负载,外环采用三相独立的相电压控制,经过PI调节器,产生三相交流电压,再和三相交流电压的瞬时值比较,产生三相调制波。调制波和6.4 kHz的载波进行比较,生成相应的6路驱动脉冲。

2.3 直流电压控制方法

考虑光伏发电的运行特点,本研究应用扰动观察法实现光伏发电最大功率跟踪。为保证太阳能电池工作在最大功率点处,本研究使用MPPT算法产生直流电压参考值,与直流电压实测值比较后经过PI调节器,产生直流电压参考值,再和直流电压实测值比较,经过PI后产生PWM调制波。

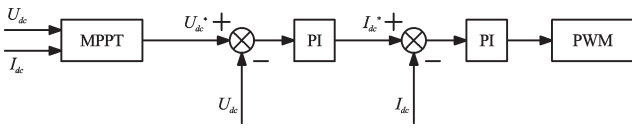


图4 直流电压控制框图

3 控制系统设计

3.1 系统组成

考虑光储一体化变流器的实时控制和接受监控调度快速响应,控制系统采用双DSP的设计方案,硬件控制电路的控制框图如图5所示。其中DSP选用TMS320 F28335作为控制核心,该芯片主频150 MHz,具有浮点数据处理能力和PWM事件管理能力^[9]。双DSP具体分工为:控制DSP主要负责逻辑控制、保护功能、开入开出处理、控制算法处理以及PWM脉冲的生成;通讯DSP主要负责通讯数据的处理,其中BMS采用CAN通讯,人机界面采用RS485通讯,并网点保护装置采用RS485通讯,上位机采用以太网通讯。控制DSP和通讯DSP采用双口RAM进行实时数据交互,保证数据传输的快速性。

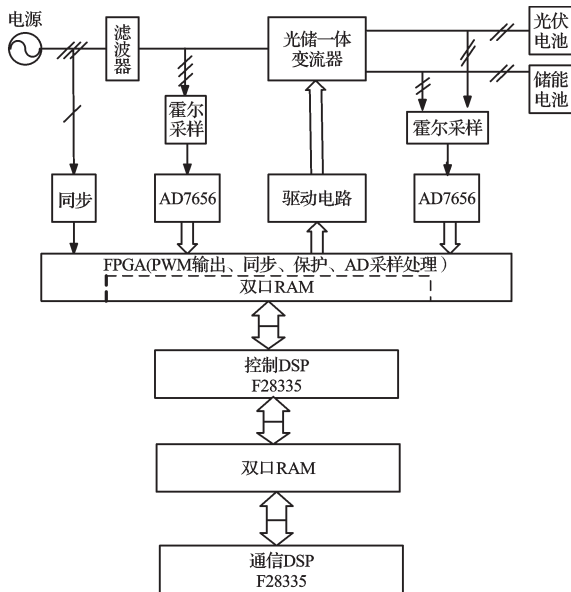


图5 控制系统框图

3.2 控制芯片

控制芯片采用TI公司生产的32位浮点DSP,时钟频率为150 MHz,内置128 k×16位的片内Flash。它既具有数字信号处理能力,又具有强大的事件管理能力和嵌入式控制功能,特别适用于有大量数据处理的测控场合。

3.3 A/D变换

本研究将经过调理好的模拟信号转换为数字量,采用AD公司出品的16 bit真双极性、多通道模/数转

换器(ADC)AD7656,该器件仅有160 mW功耗,它比最接近的同类双极性输入ADC的功耗降低了60%。AD7656包含一个低噪声、宽带跟踪保持放大器以便处理输入频率高达8 MHz的信号。该AD7656还具有高速并行和串行接口,从而允许该器件与微处理器(MPU)或者数字信号处理器(DSP)连接。

3.4 双口RAM

本研究采用高速双口RAM进行控制DSP和通讯DSP之间的数据交换。高速双口RAM采用DT70V25S芯片。该芯片具有230 mW的功耗,高速通道25/35/55 ns,为兼容总线控制采用高字节和低字节分别控制方式,该芯片易于扩展到32位数据数据总线。

4 系统软件设计

在双微处理器的软件设计中,控制系统的程序设计分为控制部分程序和通讯数据处理程序两部分,其中控制部分软件流程框图如图6所示。其中,控制DSP的主控制程序进行控制系统的参数初始化和光储一体化运行状态的判断,来启动并网运行模式或者离网运行模式。恒功率控制程序进行交流侧的有功和无功分解,根据给定的有功和无功参考值调节PWM输出脉冲。光伏MPPT控制流程程序根据光伏输入的电压和电流,计算输出功率,进行当前输出功率和上一次输出功率的比较,确定目前光伏输出功率是否处于最佳功率点,从而输出控制电压值。

5 实验

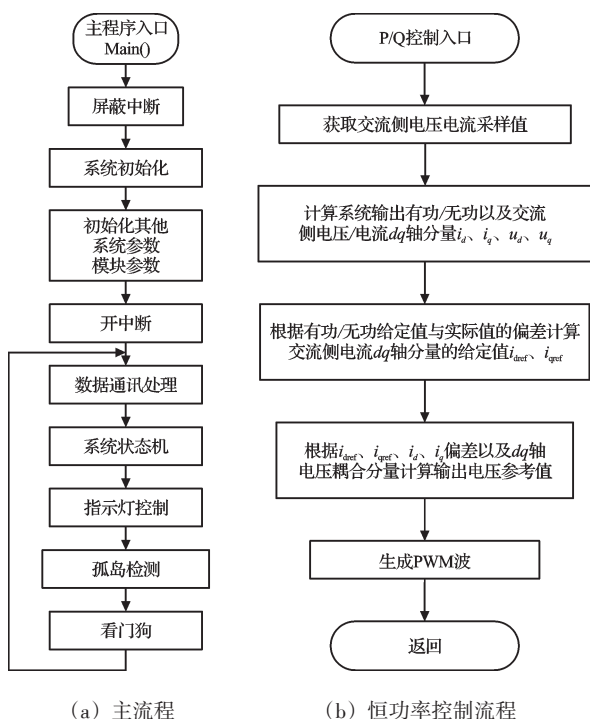
依据以上研究,笔者研制了一台50 kW分布式光伏/储能一体化样机。主要器件参数如表1所示,主要技术参数如表2所示。

表1 主要元器件参数

器件	参数
变压器	50 kVA、270/400 V、Dyn11
电抗器	1.8 mH
IGBT模块	300 A, 1 200 V
交流EMI滤波器	480 VAC, 130 A

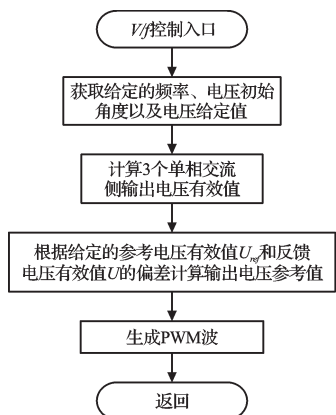
表2 主要技术参数

技术参数	数值
功率等级/kW	50
电网电压/V	380±15%
电网频率/Hz	50±1%
直流电压范围/V	300~850
开关频率/kHz	6.4

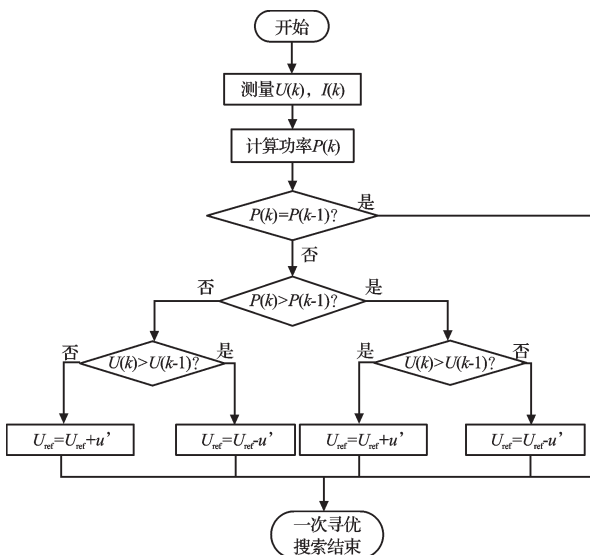


(a) 主流程

(b) 恒功率控制流程



(c) 电压/频率控制流程



(d) MPPT控制流程

图6 控制DSP软件流程图

5.1 试验环境

为验证光储一体化并网接口设备的功能,笔者搭建试验平台,其中的储能电池包括40 kW/75 kWh铁锂电池、30 kW/60 kWh铁锂电池、40 kW/100 kWh铅酸电池、25 kW/50 kWh的锌溴电池、两台50 kW×10 s超级电容,能量转换装置包括两台100 kW和四台50 kW的AC-DC储能变流器,两台100 kW的DC-DC直流变换器,还有一台100 kW光伏模拟器和30 kW模拟柴油发电机以及部分试验和照明负荷。结构图如图7所示。

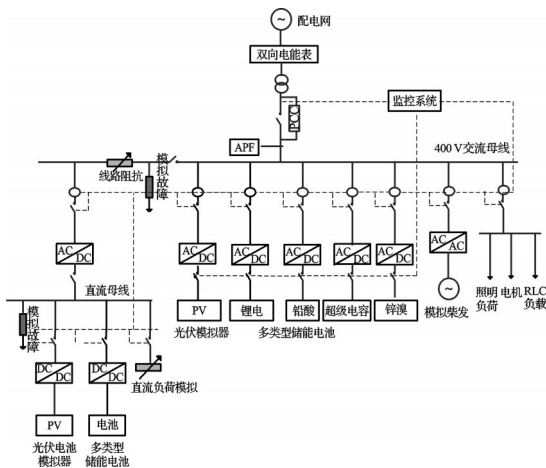


图7 光储一体化并网接口试验平台

5.2 光储一体化设备充放电试验

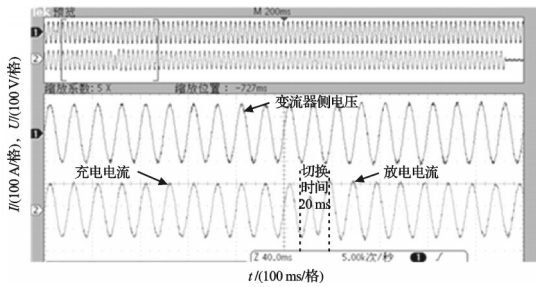
为验证光储一体化的快速切换的能力,本研究进行并网充、放电快速切换能力测试,50 kW充电切换到50 kW放电时三相交流电压和A相交流电流波形如图8(a)所示,切换过程约为20 ms。光储一体化设备50 kW放电切换到50 kW充电时三相交流电压和A相交流电流波形如图8(b)所示,切换时间约为20 ms。从试验波形,可以充分体现光储一体化设备的动态切换过程的快速性和稳定性。

5.3 光储一体化设备离网带载能力试验

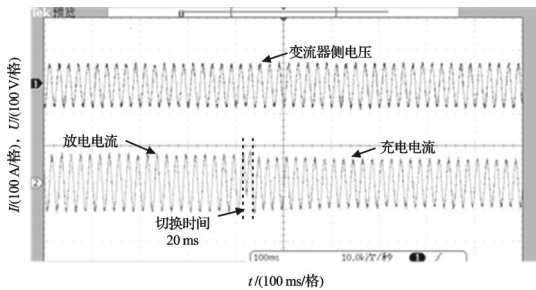
为验证光储一体化在离网条件下,带载能力强的特点,本研究进行不同负载条件下的运行测试,以测试运行时的电能质量。

(1) 带50 kW阻性负荷时输出电压/电流波形,由于三相输出电压比较均衡,笔者只给出了A相的波形,对A相电压进行谐波分析,谐波畸变率最高为5次谐波,为0.35%,总畸变率为0.634%,满额50 kW阻性负载输出波形如图9所示。从试验结果可以看出,设备稳态输出电压波形良好,总谐波畸变率低。

(2) 突加30 kW阻性负载时,输出三相电压和A相电流波形,变流器突加负载时C相电压处于峰值点,C相电压跌落约70 V,恢复时间不到10 ms,A、B相电压未处于峰值点跌落较小,动态响应速度良好。

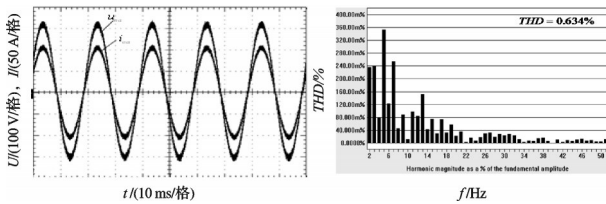


(a) 50 kW 充电转 50 kW 放电波形



(b) 50 kW 放电转 50 kW 充电波形

图 8 50 kW 充放电切换时试验波形



(a) 输出 A 相电压电流 (b) 电压谐波分析

图 9 满额 50 kW 阻性负载输出波形

突加 30 kW 阻性负载时输出波形如图 10 所示。

(3) 带 20 kVA 非线性负载时出光储一体化设备的试验波形,对 A 相电压进行谐波分析如图 11 所示。总谐波畸变率为 3.062%,满足离网电压性能要求。

5.4 光储一体化设备并离网切换试验

光储一体化设备在非计划性孤岛时,当检测电网电压连续 N 个采样点与上一个周波电压对应采样点

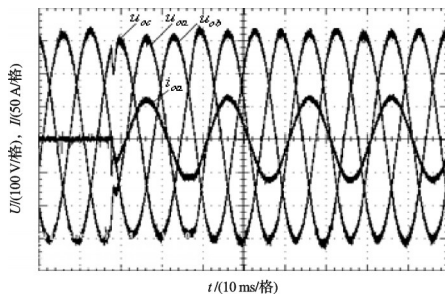
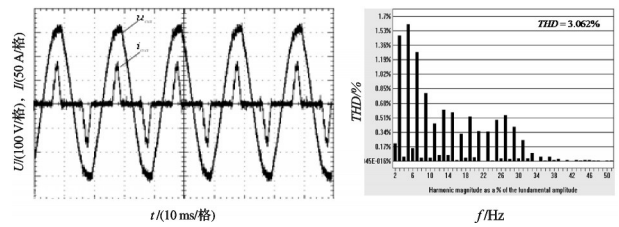


图 10 突加 30 kW 阻性负载时输出波形



(a) 输出电压/电流波形 (b) 电压频谱分析

图 11 20 kVA 非线性负荷时输出波形

发生电压跌落或者上升幅度超过设定阈值时,即认为主网与系统断开或者主网故障,控制系统中主储能装置自动切换到离网控制模式,同时,开出接点跳开主网开关实现非计划性离网切换。离/并网切换波形如图 12 所示。

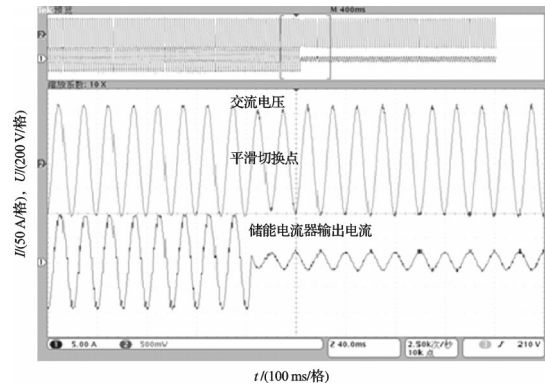


图 12 并/离网切换试验波形

监控系统发出并网同期控制令,PCS 通过调整微网系统电压、频率达到同期并网条件,发出并网开关控制指令。离/并网切换波形如图 13 所示。

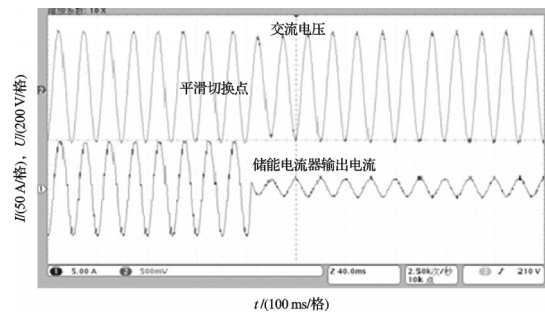


图 13 离/并网切换试验波形

5.5 MPPT 有效性验证试验

光伏板标准条件 ($S=1000 \text{ W/m}^2, T=25 \text{ }^\circ\text{C}$),开路电压为 600 V,短路电流为 100 A。在标准条件下最大功率点, $U_m=478.5 \text{ V}, P_m=43.2 \text{ kW}$ 。气象环境突变

(下转第 560 页)

本文引用格式:

柯 勇,陶以彬,李 阳,等. 分布式光伏/储能一体化并网技术研究及开发[J]. 机电工程,2015,32(4):544-548,560.

KE Yong, TAO Yi-bin, LI Yang, et al. Research and development of distributed PV/storage integration grid technology[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(4): 544-548, 560.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>