

# 双模式储能系统的研究

为了解决系统中由于接入光伏、风电等新能源所带来的功率波动及系统控制问题,提出了一种微电网系统的设计方案,该方案中的双模式储能系统可以满足在离、并网情况下工作的要求,重点分析了储能变流器的控制策略和智能配电柜的结构设计,并对监控调度单元的控制策略进行了描述。系统的工程化实现和稳定运行验证了本设计方案的可行性。

王俊平 曾国宏 吴学智/北京交通大学国家能源主动配电网技术研发中心  
吴涛 李善颖/华北电力科学研究院有限责任公司

随着新能源技术的发展,光伏和风力发电技术得到了越来越多的应用,光伏和风电等新能源的接入会带来功率波动和系统控制问题,并且随着微电网技术的发展,要求储能系统不仅可以在并网情况下正常工作,同时在离网情况下也可以稳定运行<sup>[1]</sup>。文献[2]提出了微电网孤岛运行时分布式电源的V/F控制策略,采用的是电压单闭环控制,并且提出了一种P/Q控制策略,采用的是功率环控制方式。文献[3]提出的在并网情况下P/Q控制策略是采用了电压、电流和功率3个控制环的实现方式,离网情况下V/F控制策略是采用电压、电流双闭环的方式。文献[4]提出的并网P/Q控制策略是采用了电流内环和功率外环的实现方式,离网情况下的V/F控制策略采用的是电压电流双闭环控制方式。文献[5,6]对储能系统离并网模式之间的切换进行了描述。文献[7]描述了一个简单的储能装置的实际工程应用系统。

863课题项目:一体化锂电池储能单元架构及电气特征优化研究(2011 AA05A113)。

微电网系统设计方案中的双模式储能系统在并网情况下采用电流单闭环的P/Q控制策略,离网情况下采用电流外环、电压内环的V/F控制策略,该设计方案可以实现电网供电中断情况下为关键负荷提供不间断供电,并网情况下实现削峰填谷和平抑系统功率波动的功能,除此之外,还可以实现储能系统并离网模式之间的无缝切换。本文重点分析了双模式储能系统的控制策略、储能变流器的控制、智能配电柜的结构以及系统的控制策略。以一个电动汽车换电站的电池储能系统工程化实现和稳定运行,验证了本设计方案的可行性。

## 微电网系统的设计方案

微电网系统主要包括监控调度单元(MDS)、风力发电系统(WTS)、光伏发电系统(PVS)、储能电池及其管理系统(BBMS)、储能变流器(PCS)、智能配电柜(IDU)以及电网、负荷(包括一级负荷、二级负荷、普通负荷和特殊负荷)等组成,如图1所示。

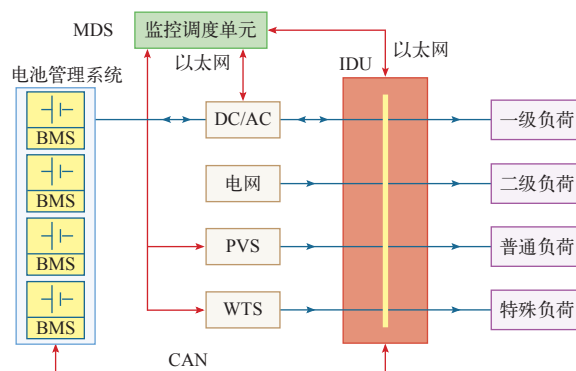


图1 微电网系统的总体结构

## 关键词/Keywords

双模式储能系统·  
储能变流器·  
智能配电柜·  
监控调度单元·

监控调度单元与微电网系统其他设备之间通过以太网交换数据,实现系统的信息采集和协调控制。储能电池通过CAN与智能配电柜连接,经智能配电柜进行协议转换后实现与监控调度单元的数据交换。智能配电柜作为微电网系统各个部分主电路的接入设备,负责微电网系统各个支路的投切和状态监测,以及各个支路电压、电流的采集和数据综合及传输。

本文重点分析了由储能变流器构成的双模式储能系统的控制策略,微电网系统的其他部分只做简要概述。

### 1. 储能变流器

储能变流器的主要作用是按照监控调度单元的指令实现电池与电网的能量交换及电池向负荷的功率输出。储能系统在离网情况下可作为备用电源,按照用电计划为重要负荷供电;在并网情况下,首先为离网运行预留足够的保有容量,同时兼具削峰填谷和平抑功率波动的功能。

#### (1) 储能变流器在并网情况下的控制策略

在并网情况下储能变流器以电流源模式运行,储能变流器采用P/Q控制(如图2所示),即储能变流器输出的有功功率和无功功率能随监控调度单元的给定有功功率和无功功率的指令值变化。

具体实现方式是采用电流单闭环控制结构。有功电流指令值 $i_d^*$ 和无功电流指令值 $i_q^*$ 分别由监控调度单元给定,与 $d-q$ 轴的实际电流相比较,误差经PI调节和前馈解耦环节后,再经过SVPWM调制,控制储能变流器的输出。

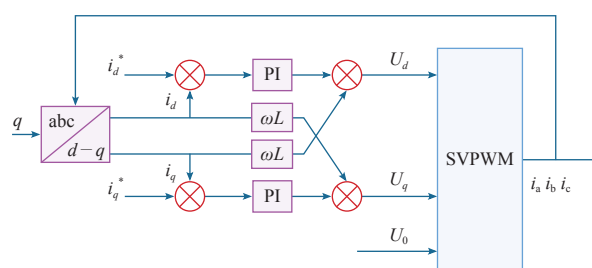


图2 储能变流器P/Q控制框图

#### (2) 储能变流器在离网情况下的控制策略

在离网情况下储能变流器以电压源模式运行,采用V/F控制(如图3所示),即采用恒压恒频控制来维持电压和频率的稳定,频率采用恒定参考值50 Hz。具体实现方式是采用电压外环、电流内环的双闭环控制方式。通过实时检测变流器端口输出电压,经坐标变换后与电压给定参考值作比较,通过PI调节器产生电流的参考值,电流参考值与 $d-q$ 轴的实际电流相比较,再经PI调节和前馈解耦环节后,经过SVPWM脉宽调制,产生开关信号,实现储能整流器的控制。

三相静止坐标系与两相同步旋转坐标系之间的坐标变换公式为

$$\begin{pmatrix} u_d \\ u_q \\ u_0 \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 120^\circ) & \cos(\theta + 120^\circ) \\ -\sin \theta & -\sin(\theta - 120^\circ) & -\sin(\theta + 120^\circ) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{pmatrix} \quad (1)$$

储能变流器经过V/F控制,可以保持输出电压和频率的稳定,为储能系统的孤岛运行提供可靠

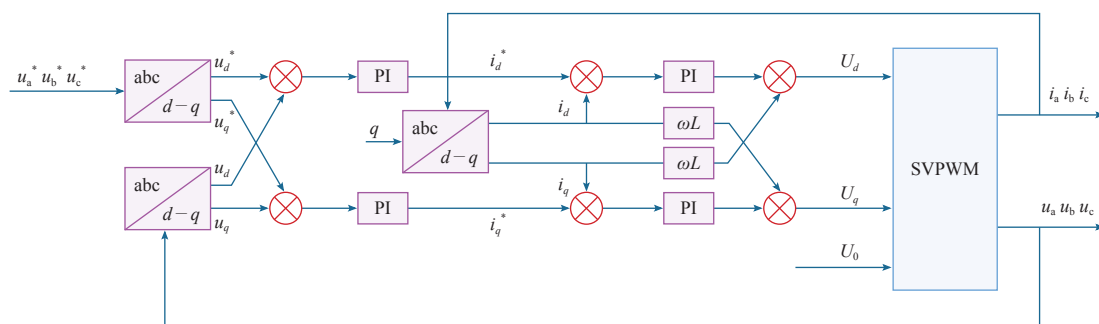


图3 储能变流器的V/F控制框图

的保证。

### (3) 储能变流器控制策略仿真验证分析

本文搭建了储能变流器的仿真模型, 储能变流器的额定功率为50 kW, 负载功率为15 kW, 系统频率为50 Hz, 线电压为380 V。其仿真波形如图4、图5所示。

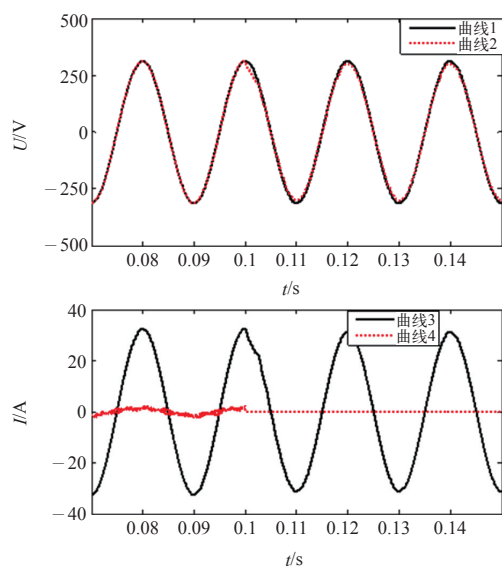


图4 储能变流器由并网切换到离网控制策略仿真波形

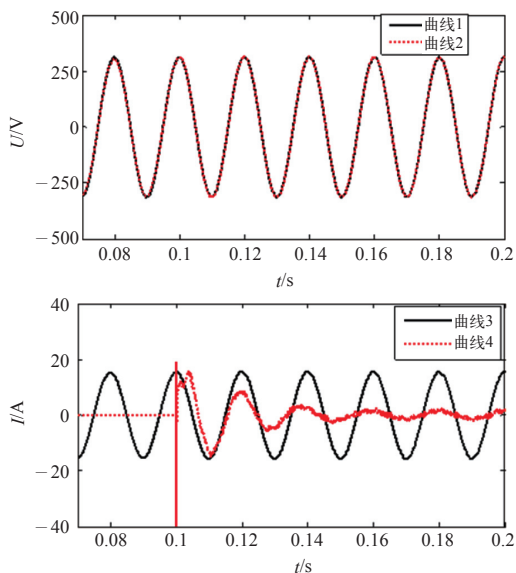


图5 储能变流器由离网切换到并网控制策略仿真波形

图4中, 曲线1为电网电压; 曲线2为储能变流器电压; 曲线3为电网电流; 曲线4为负载电流。当在0.1 s时, 储能变流器由并网模式切换到离网模式, 储能变流器输出电压在一个周期内就输出稳定了, 实现了并网到离网的无缝切换。

图5中, 曲线1为电网电压; 曲线2为储能变流器电压; 曲线3为电网电流; 曲线4为负载电流。当在0.1 s时, 储能变流器由离网模式切换到并网模式, 储能变流器输出电压基本不变, 实现了离网到并网的无缝切换。

## 2. 智能配电柜

智能配电柜用于实现电网、储能变流器、光伏变流器、风电变流器及负荷的切换控制, 以及电网、储能系统、光伏变流器、风电变流器和负荷相关信息的采集与传送。当电网有电时, 将电网接入给负荷供电; 当电网无电时, 断开与电网的连接, 通过储能系统给负荷供电。并网、离网的判断通过智能配电柜中的控制板实现, 并告知监控调度单元, 在其控制下实现并网与离网之间的切换。图6为配电柜总体构成示意图。

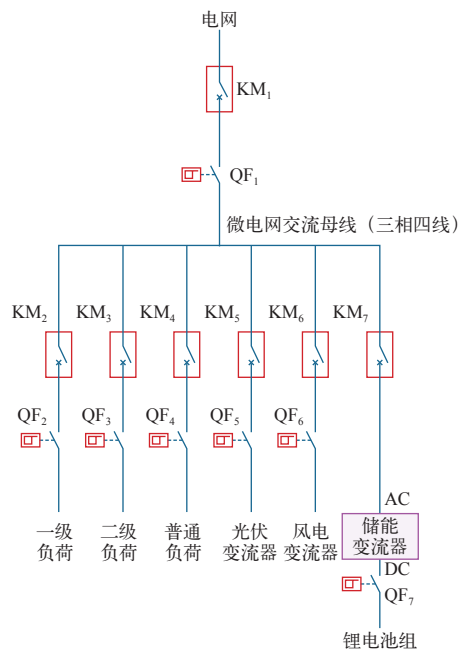


图6 配电柜总体构成示意图

QF—断路器 KM—接触器

## 监控调度单元

### 1. 监控系统的功能

本系统中, 监控调度单元负责整个系统的能量调度与控制, 可以进行人机操作并配有显示界面以及与其他设备信息交互的通道。通过监控系统显示界面, 用户可以掌握系统总体的运行状况, 以及各个子系统、各个装置的运行状态; 设

置期望的运行参数,选择控制模式和控制策略,通过系统自动控制(必要时可人工干预),实现系统的高效、可靠和稳定运行。

## 2. 监控调度单元控制策略

图7为监控调度单元的控制流程图。

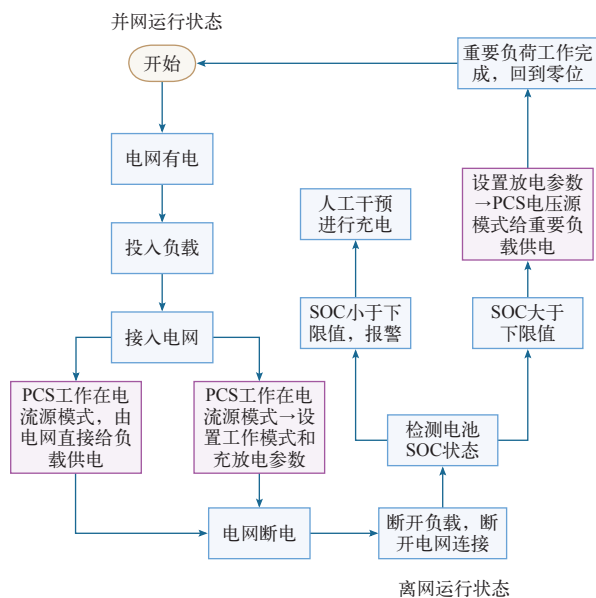


图7 监控调度单元控制流程图

在并网情况下,储能变流器作为电流源控制,储能系统首先为离网运行预留足够的保有容量,当电池存储的能量低于该容量时仅作为备用电源,并等待充电条件具备时补充能量;当电池存储的能量高于该容量时,利用剩余的储能容量进行削峰填谷或移峰填谷,同时储能变流器还起到平抑功率波动的作用。

在离网情况下储能变流器作为电压源控制,根据用电计划为重要负荷供电,储能系统保证供电质量,实现供电和用电的功率平衡。当负荷功率超过变流器的额定功率,或电池储存的容量不足以满足供电需求时,系统将采取相应的保护措施或停机。在监控调度单元的控制下,储能变流器可以实现并网离网之间的无缝切换。

## 双模式储能系统的实际应用

本系统安装在某公交换电站内,由锰酸锂储能电池、电池管理系统、储能变流器、智能配电柜、电动机负载和监控调度单元组成。其相关参

数如下表所示。

表 双模式储能系统参数表

| 名称      | 容量       | 电压/V                 |
|---------|----------|----------------------|
| 锰酸锂储能电池 | 104 kW·h | 460~610              |
| 储能变流器   | 50 kW    | 直流侧450~650<br>交流侧380 |
| 智能配电柜   | 110 kW   | 380                  |
| 电动机负载   | 50 kW    | 380                  |

图8为储能变流器从50 kW充电工况变换为50 kW放电工况的波形,满充电转换为满放电时间约为50 ms。

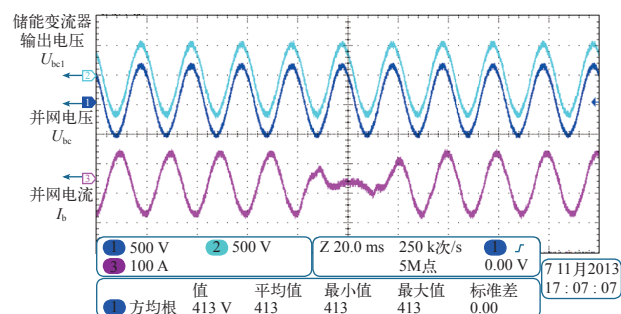
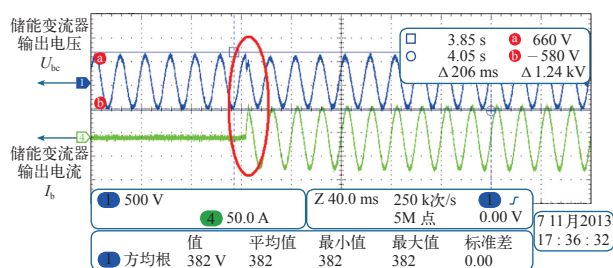
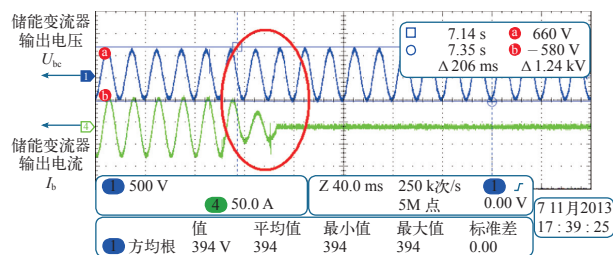


图8 储能变流器充放电转换

图9a红圈内波形为储能变流器在离网、空载情况下运行时,突然投入负载,储能变流器输出电压的变化情况。从图9a可以看出,突然投入负载后



(a) 储能变流器空载离网运行突投负载



(b) 储能变流器离网运行突切除负载

图9 储能变流器离网运行突投/突切除负载波形图

经过约3 ms的暂态过程,储能变流器输出电压恢复正常。

图9b红圈内波形为储能变流器在离网、有负载情况下运行时,突然切除负载,储能变流器输出电压的变化情况。从图9b中可以看出,突然切除负载,储能变流器输出电压基本没变化。储能变流器离网情况下可以保持输出电压和频率的稳定。

图10为变流器从并网切换为离网的过程,断开网侧断路器后,变流器自动从并网模式转换为离网模式,储能变流器输出电压波动,暂态过程约为200 ms,切换过程连续,无停机过程,顺利实现并网到离网的无缝切换。

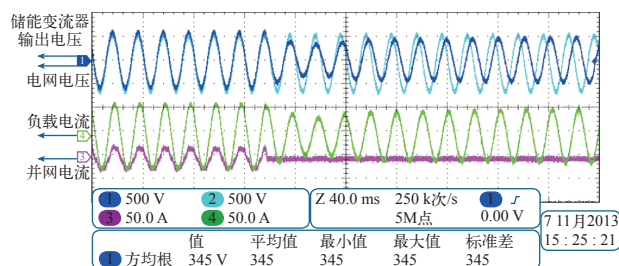


图10 储能变流器由并网切换到离网

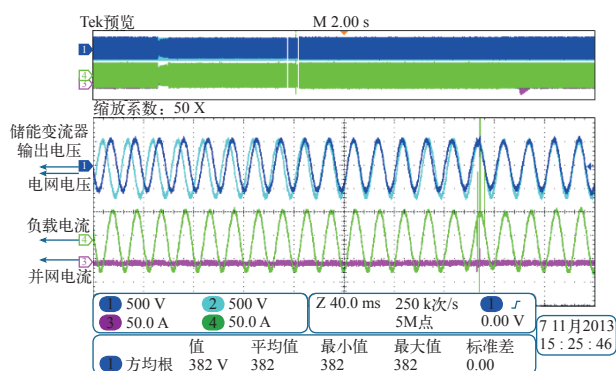
图11a为变流器离网运行过程中,收到上位机并网指令后,开始同步电网电压和相位,准备并网运行,同步过程约为80 ms。图11b为储能变流器与电网同步运行后,闭合网侧断路器,储能变流器自动进入并网运行模式,顺利实现离网到并网的无缝切换。

## 结束语

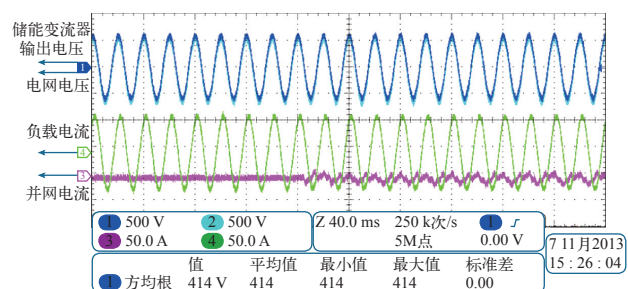
对一套双模式储能系统进行了描述,双模式储能系统可以在并网时按能量管理调度实现平抑功率波动和削峰填谷的功能,离网时可以为重要负荷供电。通过工程的实际运行验证了双模式储能系统的有效性。

## 参考文献

- [1] 陶以彬,杨波,陈彬,等.并/离网双模式储能变流器的研制[J].电力电子技术,2012,46(5):



(a) 储能变流器收到上位机并网指令后同步电网电压和相位



(b) 储能变流器进入并网运行模式

图11 储能变流器由离网切换到并网

47-50.

- [2] 刘文.微电网孤岛运行的主从控制策略研究[J].五邑大学学报:自然科学版,2011,25(3):56-60.
- [3] 唐西胜,邓卫,齐智平.基于储能的微网并网/离网无缝切换技术[J].电工技术学报,2011,26(增刊1):279-284.
- [4] 徐少华,李建林.光储微网系统并网/孤岛运行控制策略[J].中国电机工程学报,2013,33(34):25-33.
- [5] 周俊.微网能量控制策略研究[D].北京:北京交通大学,2012.
- [6] 唐西胜,邓卫,李宁宁,等.基于储能的可再生能源微网运行控制技术[J].电力自动化设备,2012,32(3):99-103,108.
- [7] 王泽众,李家辉.电池梯次利用储能装置在电动汽车充换电站中的应用[J].电气自动化,2012,34(6):49-50.

(收稿日期:2014-03-13) EA