

# 独立交流微电网中储能电池与微型燃气轮机的协调控制

白园飞,程启明,吴 凯,王鹤霖,赵晋斌

(上海电力学院 电力与自动化工程学院,上海 200090)

**摘要:** 在独立交流微电网系统内,微型燃气轮机与储能蓄电池的协调控制是保证独立微电网稳定运行的关键。首先建立了光伏、微型燃气轮机、蓄电池的模型;再根据不同微电源的特性,采用下垂控制或  $PQ$  控制的控制方法;然后,建立了微型燃气轮机与蓄电池的协调控制,针对切换过程中的短时停电,提出微型燃气轮机与蓄电池间的无缝切换控制策略;最后,在 PSCAD/EMTDC 仿真软件上进行了仿真验证。仿真结果表明所提协调控制方法能保证在切换过程中对系统的冲击小,影响时间短,实现了无缝切换。

**关键词:** 独立交流微电网; 微型燃气轮机; 蓄电池; 储能; 协调控制; 无缝切换

中图分类号: TM 73

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.03.011

## 0 引言

微电网既可与主网联网运行,又可与主网断开独立运行。通常微电网与主网并网运行,以互为补充,但当主网故障而导致微电网脱网,或在偏远的特殊场合无主网存在时,微电网只能独立运行<sup>[1-2]</sup>。微电网系统可分为直流和交流 2 种,其中直流微电网只需 1 个逆变器,成本和损耗较小,经济性较高,但仅适用于容量较小、可再生能源比较紧密的负荷地区。因此,目前大多采用交流微电网。

交流微电网独立运行时,需要由其内部微电源为微电网系统提供稳定的电压  $u$  和频率  $f$ ,其将自动吸收微电网内发电和负荷的不平衡功率,以维持电压和频率的稳定。如果为系统提供稳定电压和频率的微电源只有 1 个,通常采用  $U/f$  控制,当多个微电源共同为系统提供稳定电压和频率时,则各压频控制单元采用具有下垂特性的电压与频率控制,即下垂控制(Droop 控制)<sup>[3-4]</sup>。

微电网一般都采用微型燃气轮机和(或)储能系统等作为主电源维持系统的电压和频率。但当微型燃气轮机因故障无法运行或独立微电网内负荷低谷期时,可以停用微型燃气轮机,此时由储能系统充当主电源,维持系统的电压和频率。微电网内主电源从微型燃气轮机转化为储能系统,或从储能系统转为微型燃气轮机时,系统会出现短时停电。针对主变流器并网模式和孤岛模式的无缝切换,文献<sup>[5-6]</sup>提出逆变器在并网时采用电流控制模式,在独立运行时采用电压控制模式,从而在切换时实现无缝切

换;文献<sup>[7-8]</sup>提出逆变器在并网时采用  $PQ$  控制模式,离网运行时采用  $U/f$  模式,从而在切换时实现无缝切换。然而这些文献中所提出的方法均为在大电网时微电网内主电源在双模式之间的无缝切换,它们与本文将研究的独立微电网系统中双主电源的无缝切换不同。这些文献中为大电网情况下,当微电网与主网并列运行时,系统的电压和频率由大电网提供;而本文中由于为独立交流微电网的情况,没有主网为其提供稳定的电压和频率,需要选用合适的微电源,采用合适的控制方法来为系统提供稳定的电压和频率。由于微型燃气轮机惯性大,本文采用微型燃气轮机作为主电源,对其逆变器采用 Droop 控制,以维持整个微电网内部电压和频率的稳定。本文的无缝切换涉及的是微型燃气轮机和储能系统的无缝切换,储能系统采用的 2 种控制方式是当储能系统作辅助电源时采用  $PQ$  控制,而当储能系统作主电源时采用 Droop 控制。Droop 控制模式不同于  $U/f$  控制模式,采用  $U/f$  控制模式时,微电源应具有较大的容量,需配置大容量的储能装置;另外,一旦采用  $U/f$  控制的微电源因故障失去,在孤网运行情况下微电网会失稳,这种控制可靠性不高。Droop 控制模式是利用本地测量的电网状态变量作为控制参数,实现冗余,系统的可靠运行不依赖于通信。当某微电源因故障退出运行时,其余的电源仍能够不受影响地继续运行,系统可靠性高,实现“即插即用”。在正常运行范围内,由于负荷或者可再生能源波动,将会引起系统频率、电压波动,采用基于 Droop 控制的微电源可以有效抑制上述波动,提高用户电能质量<sup>[9-12]</sup>。因此,当储能系统作为主电源时,本文采用 Droop 控制。

为了实现一定的经济效益,实际的微电网系统中微型燃气轮机不再是单台大容量机组,而是选择多台相对小容量的机组<sup>[13-14]</sup>。本文选用 2 台微型燃气轮机,当微型燃气轮机作为主电源时,对其逆变器采

收稿日期:2013-01-05;修回日期:2013-11-27

基金项目:上海市重点科技攻关计划(11510500800);上海市重点实验室电站自动化技术实验室项目(04DZ05901)

Project supported by the Key Science and Technology Plan of Shanghai Science and Technology Commission(11510500800) and the Program of Shanghai Key Laboratory Power Station Automation Technology Laboratory(04DZ05901)

用 Droop 控制,以维持微电网内部的电压和频率稳定,然而微型燃气轮机动态响应速度较慢,有十秒到几十秒的延时,因此,它们必须与储能系统进行配合,以保证微电网在各种运行状态下可靠供电,此时储能系统充当辅助电源;当微型燃气轮机因故障无法运行或独立微电网内负荷低谷期时,可停用微型燃气轮机,此时储能系统应充当主电源,以维持独立微电网内电压和频率的稳定。因此,储能系统采用 PQ 控制和 Droop 控制 2 种控制方法<sup>[15-20]</sup>。

由上面分析可知,独立微电网中微型燃气轮机和储能系统的协调控制非常重要。本文针对含有储能系统和微型燃气轮机的交流微电网孤立系统,提出了储能系统和微型燃气轮机的协调控制策略,使微型燃气轮机为主电源时,储能系统辅助进行功率控制,以及独立交流微电网系统中微型燃气轮机和储能系统的无缝切换、储能系统 2 种控制方式的无缝切换,并用 PSCAD/EMTDC 仿真软件对本文所提方法进行了验证。

## 1 独立交流微电网系统的结构及各微电源的控制

本文的独立交流微电网系统由 2 台微型燃气轮机、储能单元、光伏发电单元等微电源,负荷 1—4,传输电缆等组成。其结构见图 1。图中,每个微电源经过各自的逆变器接入到 400 V 交流微电网上。

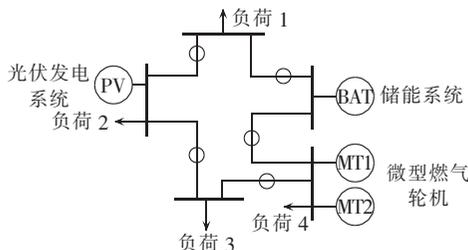


图 1 交流微电网系统的结构

Fig.1 Structure of AC microgrid system

图中各微电源的控制方法如下。

**a. 光伏发电单元。**光伏发电应实现最大功率点跟踪 (MPPT),由于其发出的功率波动大,因此,光伏的并网逆变器采用 PQ 控制。由于光伏发电已比较成熟,本文不再阐述。

**b. 微型燃气轮机。**微型燃气轮机发电系统的结构如图 2 所示。它是由微型燃气轮机、永磁发电机、整流器、逆变器、滤波器和负荷等组成,其中微型燃

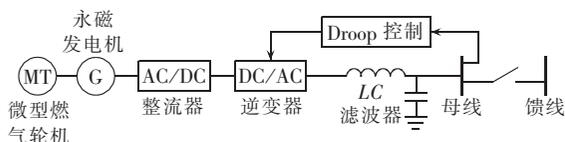


图 2 微型燃气轮机发电系统的结构

Fig.2 Structure of microturbine system

气轮机包含压缩器、能量回收器、燃烧室以及带 1 个负荷的动力透平机。从离心式压气机出来的高压空气先在回热器内由涡轮排气预热,然后进入燃烧室与燃料混合、燃烧,高温燃气送入向心式涡轮做功,直接带动高速发电机(转速在 50 000~120 000 r/min 之间)发电,高频交流电流经过整流器和逆变器,即 AC/DC/AC 变换转化为工频交流电输送到交流电网。本文中微型燃气轮机采用 Droop 控制后,再经过电容电压外环控制和电感电流内环控制,从而达到精确地维持系统的电压和频率的目的。

**c. 储能系统。**蓄电池的储能系统不仅能起到能量缓冲的作用,还能提供短时供电、缓冲微电网中负荷波动、改善微电网电能质量。目前微电网系统中大多采用免维护的铅酸蓄电池储能系统,储能系统的结构如图 3 所示。

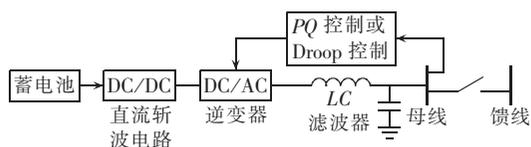


图 3 储能系统的结构

Fig.3 Structure of energy storage system

图 3 中,DC/DC 部分为直流斩波器,它采用 Buck-Boost 升降压电路。蓄电池通过 Buck-Boost 电路进行充放电,实现蓄电池与电网之间功率的双向流动;DC/AC 部分为并网逆变器,本文中储能逆变器通过恒功率控制(即 PQ 控制)和 Droop 控制 2 种控制模式进行无缝切换。

**a. 当微型燃气轮机工作时,**储能逆变器采用 PQ 控制,由微型燃气轮机提供电压  $u$  和频率  $f$  支持,储能系统辅助微型燃气轮机进行独立微电网控制,通过其自动进行充放电操作,对光伏、风电等输出功率波动的对象进行平滑,并抑制电压闪变和波动等。

PQ 控制的结构框图如图 4 所示,图中采用双环控制。当逆变器输出的功率  $P, Q$  与参考功率  $P_{ref}, Q_{ref}$  不相等时,它们的误差信号不为 0,采用比例积分 (PI) 调节器进行功率调节,直至误差信号为 0,控制器达到稳态,即逆变器输出的功率调整至参考功率。

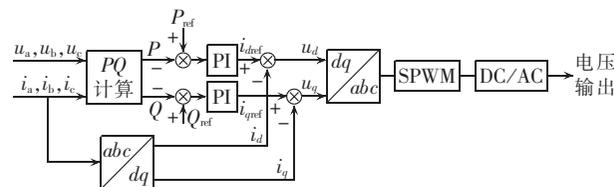


图 4 PQ 控制的结构框图

Fig.4 Structural diagram of PQ control

**b. 当微型燃气轮机退出运行时,**储能逆变器采用 Droop 控制,以维持独立微电网内的电压和频率稳定。Droop 控制的结构框图如图 5 所示。首先,根

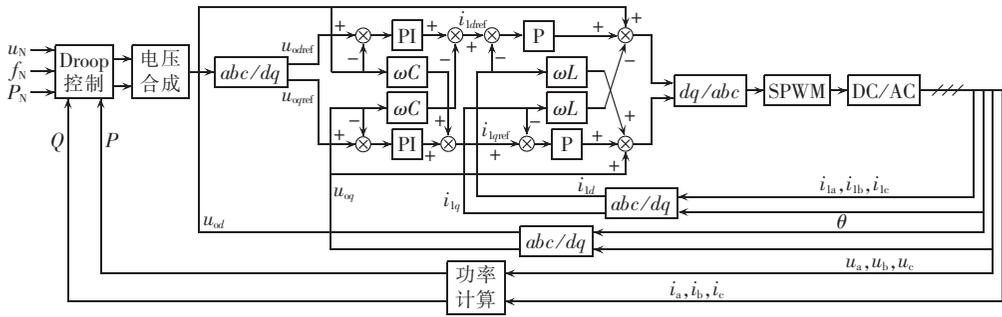


图 5 Droop 控制的结构框图

Fig.5 Structural diagram of Droop control

据下垂特性方程,设计下垂控制器,得到参考电压  $u_{odref}$ 、 $u_{oqref}$ ,再设计滤波电容电压环和电感电流环的双环控制器,从而得到逆变器门极控制信号。电压控制器的主要目的是稳定逆变器输出端口电压,为了使负载电压稳态误差为 0,采用 PI 控制;而电流控制器的主要目的是提高系统的动态响应速度,因此采用比例(P)控制。

## 2 微型燃气轮机与储能系统的协调控制

### 2.1 微型燃气轮机和储能系统的协调控制

图 6 为微型燃气轮机和储能系统的协调控制结构。图中,交流独立微电网中的微电源为 2 台微型燃气轮机、储能单元和光伏发电,微型燃气轮机通过同步并网开关实现与交流微电网系统的同期并列;解列开关用于实现微型燃气轮机与储能系统之间的无缝切换。上层协调控制单元分别与微型燃气轮机的逆变器主控单元、储能的并网逆变器主控单元通信,向微型燃气轮机下达并网运行指令和功率分配指令,并实现微型燃气轮机与储能系统之间的协调控制。

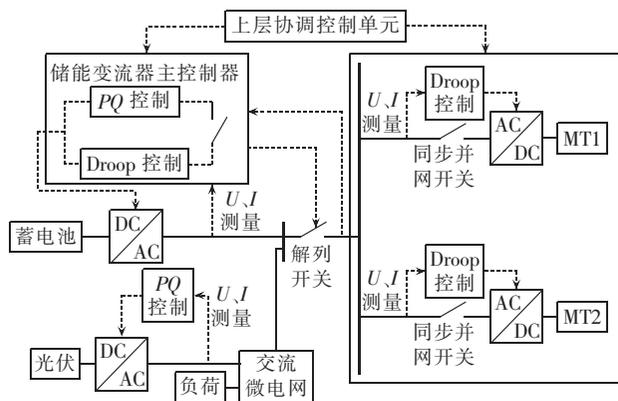


图 6 协调控制系统的结构框图

Fig.6 Structural diagram of coordinated control system

微型燃气轮机作为主电源时,储能系统的逆变器采用图 4 的 PQ 控制;而当微型燃气轮机退出运行时,储能系统由辅助电源变为主电源时,其逆变器由 PQ 控制变为图 5 的 Droop 控制。

### 2.2 无缝切换的条件

在储能系统接收到独立控制指令或微型燃气轮机接收到并网指令时,它们的输出电压的幅值与相位可能与独立微电网内的电压有一定偏差。如果对它们的输出电压,尤其是相位不加以控制,则它们并入微电网后会对微电网产生很大的电流冲击。

图 7 为切换过程等效相量图。流向电网的电流  $i_g$  可表示为:

$$i_g = \frac{u_o - u_g}{Z_g} = \frac{\sqrt{2} U_o \sin(\omega_1 t + \varphi_1) - \sqrt{2} U_g \sin(\omega_2 t + \varphi_2)}{Z_g} \quad (1)$$

其中,  $u_g$  为微电网内的电压,  $u_g = \sqrt{2} U_g \sin(\omega_2 t + \varphi_2)$ ;  $u_o$  为需要并网的逆变器输出电压,  $u_o = \sqrt{2} U_o \sin(\omega_1 t + \varphi_1)$ ;  $Z_g$  为独立微电网侧的等效阻抗;  $i_g$  为流向微电网的电流。

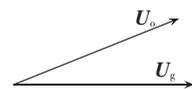


图 7 切换过程的等效相量图

Fig.7 Equivalent phasor diagram of switching process

当  $U_g$  与  $U_o$  的电压相位相等、大小相差单位电压的 1/1000 时,有:

$$i_g = 0.001 \sqrt{2} U_g / Z_g \quad (2)$$

当  $U_g$  与  $U_o$  的电压大小相等、相位相差整周期  $2\pi$  的 1/1000 时,有:

$$i_g = 0.0063 \sqrt{2} U_g / Z_g \quad (3)$$

由此可见,电压的相位差引起的冲击远大于电压的幅值差引起的冲击。要达到无缝切换,电压的幅值与相位要严格控制在与微电网的电压相同,特别是相位要一致。本文的解决方法是:用锁相环来使输出电压不断跟踪微电网电压的频率和相位,并且对于储能系统,由于在 2 种模式中滤波电容的电压外环和滤波电感的电流内环保持不变,因而能确保微电网系统在 2 种模式切换过程中的平滑和快速。

### 2.3 微型燃气轮机和储能的切换顺序

a. 当微型燃气轮机因检修或停运退出系统时,

在微型燃气轮机的解列开关断开的时间内和储能系统 2 种模式的切换时间上会存在时间差,微型燃气轮机的解列开关的断开时间长,因此在储能系统转换为主电源后,储能系统仍然会和微型燃气轮机相连。为了避免在切换过程中的电压偏差,当储能逆变器的控制模式为 Droop 控制方式时,其参考电压由微型燃气轮机的电压幅值和相位决定。微型燃气轮机在退出运行前,其输入到独立微电网内的有功功率越大,微型燃气轮机与交流微电网的母线断开后对微电网的影响越大,对储能系统的冲击也就越大,因此储能系统的逆变器运行模式切换时,首先应减小切换前流过并网开关的电流,将其减小至某一设定值。

**b.** 当储能系统作主电源时,它需稳定微电网内的电压幅值与频率。此时,若微型燃气轮机重新启动,微型燃气轮机控制单元检测微电网的电压、频率和相角,据此调整其自身的输出电压、频率和相角,当满足并网条件时,并网开关合并。

**c.** 当上层协调控制单元检测到微型燃气轮机的并网开关合上后,上层协调控制单元向储能逆变器发出模式切换命令,切换后微电网内的电压和频率由微型燃气轮机决定。在切换过程中,应使储能逆变器的输出功率在 2 种模式切换前后保持不变,待 2 种模式的切换完成后,再逐渐减少储能系统的输出功率,将负荷从储能系统平滑地转移给微型燃气轮机。

### 3 系统仿真分析

本文利用 PSCAD/EMTDC 仿真软件搭建了图 1 所示独立微电网仿真模型。仿真中有关参数取值为:光伏的额定功率为 100 kW,2 台微型燃气轮机的单机额定功率为 100 kW,电池储能系统的额定容量为 100 kV·A,总负荷为 100 kW。

#### 3.1 微型燃气轮机作主电源且负荷变动时的仿真

微型燃气轮机作主电源时,0 s 时微电网内负荷为 60 kW,3 s 时系统负荷变为 100 kW。图 8 为该情况下相关变量的仿真曲线。其中,图 8(a)为额定频率  $f_N=50$  Hz 时微电网频率  $f$  的曲线,在 0.3 s 时由于有功功率的上升且系统维持电压采用有差调节的 Droop 控制,使得频率略微下降,但在允许的范围内变化;图 8(b)为 3 s 前后微电网系统的三相电压曲线  $u_a, u_b, u_c$ ,当负荷发生变化时,它们基本无波动,电压完全符合系统要求;图 8(c)为微型燃气轮机的有功功率  $P_{MT}$  输出曲线,在 3 s 时其输出功率由 40 kW 变为 80 kW;图 8(d)为储能系统的有功功率  $P_{BT}$  输出曲线,其输出功率的设定值为 15 kW。由图可见,微型燃气轮机能快速调整其输出的有功功率,以满

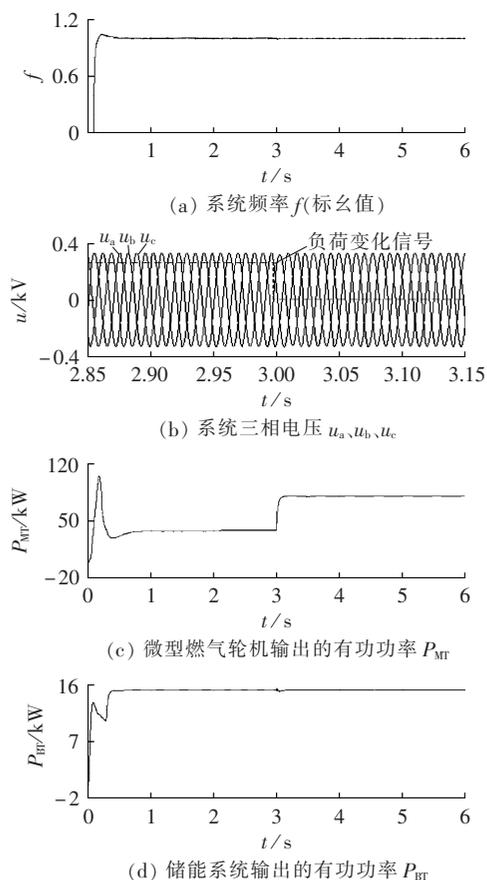


图 8 微型燃气轮机作主电源且负荷变动时的仿真曲线  
Fig.8 Simulative curves when microturbine is main source and load changes

足负荷的需求,负荷变动对独立交流微电网内的频率和电压影响都很小,微电网系统能维持其电压和频率,因此,本系统的稳定性好。

#### 3.2 储能系统在 2 种模式切换时的仿真

储能系统在 2 种模式切换时微电网系统的负荷为 90 kW,在整个仿真过程中,光伏承担 13 kW 功率。在 1 s 时微型燃气轮机退出运行,储能系统由辅助电源变为主电源,储能系统由 PQ 控制变为 Droop 控制;在 3 s 时当微型燃气轮机启动后并且其电压频率和相角满足并网条件时,将其并入微电网内,储能系统由主电源变为辅助电源,储能系统由 Droop 控制变为 PQ 控制。

图 9 为这种情况下相关变量的仿真曲线。其中,图 9(a)为额定频率  $f_N=50$  Hz 时微电网系统的频率曲线;图 9(b)为微电网系统的在 1 s 左右的三相电压曲线;图 9(c)为微型燃气轮机再并入微电网,储能系统 2 种模式切换过程的三相电压曲线,由图 9(b)、(c)可见,在切换前后微电网系统的频率和电压波动很小,实现了无缝切换;图 9(d)为储能逆变器的交直流轴电流分量  $i_d, i_q$ ,三相电流经过坐标变换为交直轴的直流分量可以更直观地观察到整个切换过程;图 9(e)为微型燃气轮机输出的有功功率,其在 1 s

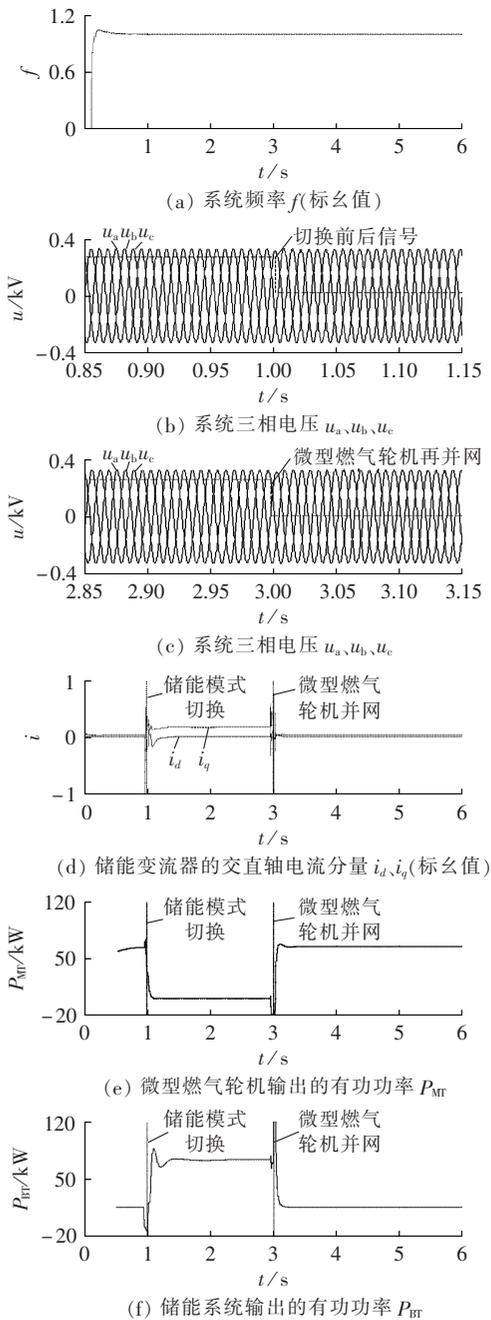


图9 储能系统2种模式切换时的仿真曲线

Fig.9 Simulative curves of switching between two energy storage system modes

前作为主电源,维持系统的电压和频率,输出功率为62 kW,1 s时退出运行,输出功率也就变为0,3 s时又并入微电网,输出功率为62 kW;图9(f)为储能系统的有功功率输出曲线,储能系统在切换前采用PQ控制,其输出的功率为额定值15 kW,在1 s时进行2种模式切换中,其输出功率迅速变为67 kW,来承担系统的负荷,即当其切换为Droop控制后,能维持系统的电压和频率稳定,在3 s时其由主电源变为辅助电源,由Droop控制变为PQ控制,输出功率变为15 kW。由此可见,当微型燃气轮机退出运行后及其再并网后,储能系统能迅速地进行2种模式

切换,实现了对系统的影响时间尽量短,以及对电压和频率的无缝切换。

总之,由仿真曲线可见,本文中所搭建的独立交流微电网能够稳定运行,并且可以维持系统电压和频率的稳定,也能实现微型燃气轮机与储能系统之间无缝切换,达到预期目标。

## 4 结论

本文搭建了独立交流微电网模型,提出了微型燃气轮机和储能系统的协调控制方案,并且在PSCAD/EMTDC仿真软件上实现了微型燃气轮机和储能系统的控制,以及储能系统2种控制模式的无缝切换。仿真结果表明在负荷变化和微型燃气轮机故障2种情况下微电网系统的频率和电压均非常稳定,因此本文的协调控制方案具有一定的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 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):99-108.  
TANG Xisheng,DENG Wei,LI Ningning,et al. Control technologies of micro-grid operation based on energy storage[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):99-108.
- [2] 王成山,杨占刚,王守相,等. 微网实验系统结构特征及控制模式分析[J]. 电力系统自动化,2010,34(1):99-105.  
WANG Chengshan,YANG Zhangang,WANG Shouxiang,et al. Analysis of structural characteristics and control approaches of experimental microgrid systems[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(1):99-105.
- [3] 石庆均,耿光超,江全元. 独立运行模式下的微网实时能量优化调度[J]. 中国电机工程学报,2012,32(16):26-34.  
SHI Qingjun,GENG Guangchao,JIANG Quanyuan. Real-time optimal energy dispatch of standalone micro-grid[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(16):26-34.
- [4] BARLEY C D,WINN C B. Optimal dispatch strategy in remote hybrid power systems[J]. Solar Energy,1996,58(4):165-179.
- [5] YAO Zhilei,XIAO Lan,YAN Yangguang. Seamless transfer of single-phase grid-interactive inverters between grid-connected and stand-alone modes[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2010,25(6):1597-1602.
- [6] TIRUMALA D,MOHAN N,HENZE C. Seamless transfer of grid-connected PWM inverters between utility-interactive and stand-alone modes[C]//Applied Power Electronics Conference and Exposition,Seventeenth Annual IEEE. Dallas,USA:IEEE,2002:1081-1086.
- [7] 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(1):92-96.  
TANG Xisheng,DENG Wei,QI Zhiping. Research on grid-connected/islanded seamless transition of micro-grid based on energy storage[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2011,26(1):92-96.
- [8] ROCABERT J,AZEVEDO G,VAZQUEZ G,et al. Intelligent control agent for transient to an island grid[C]//2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). Bari,Italy:

- IEEE, 2010; 2223-2228.
- [9] 邱培春, 葛宝明, 毕大强. 基于蓄电池储能的光伏并网发电功率平抑控制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(3): 29-33.  
 QIU Peichun, GE Baoming, BI Daqiang. Battery energy storage-based power stabilizing control for grid-connect photovoltaic power generation[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(3): 29-33.
- [10] 郭力, 王成山. 含多种分布式电源的微网动态仿真[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(2): 82-86.  
 GUO Li, WANG Chengshan. Dynamical simulation on micro-grid with different types of distributed generations[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(2): 82-86.
- [11] 陶琼, 吴在军, 程军照, 等. 含光伏阵列及燃料电池的微网建模与仿真[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 89-93.  
 TAO Qiong, WU Zaijun, CHENG Junzhao, et al. Modeling and simulation of micro-grid containing photovoltaic array and fuel cell[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(1): 89-93.
- [12] 李鹏, 张玲, 王伟, 等. 微网技术应用与分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(20): 109-115.  
 LI Peng, ZHANG Ling, WANG Wei, et al. Application and analysis of micro-grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(20): 109-115.
- [13] 赵克, 耿加民, 汪之文, 等. 微型燃气轮机发电系统启动过程控制[J]. 电工技术学报, 2009, 24(2): 48-53.  
 ZHAO Ke, GENG Jiamin, WANG Zhiwen, et al. Start process control techniques for the micro-turbine generation system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(2): 48-53.
- [14] 刘君, 穆世霞, 李岩松, 等. 微电网中微型燃气轮机发电系统整体建模与仿真[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(7): 85-89.  
 LIU Jun, MU Shixia, LI Yansong, et al. Overall modeling and simulation of micro-turbine generation systems in micro-grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(7): 85-89.
- [15] 范元亮, 苗铁群, 江全元, 等. 基于下垂控制结构的微电网机组控制设计[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(6): 125-130.  
 FAN Yuanliang, MIAO Yiqun, JIANG Quanyuan, et al. Generator control design based on droop control architecture for micro-grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(6): 125-130.
- [16] 林新春, 段善旭, 康勇, 等. 基于下垂特性控制的无互联线并联UPS建模与稳定性分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 33-38.  
 LIN Xinchun, DUAN Shanxu, KANG Yong, et al. Modeling and stability analysis for parallel operation of UPS with no control interconnection basing on droop characteristic[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(2): 33-38.
- [17] 王成山, 肖朝霞, 王守相. 微网中分布式电源逆变器的多环反馈控制策略[J]. 电工技术学报, 2009, 24(2): 100-107.  
 WANG Chengshan, XIAO Zhaoxia, WANG Shouxiang. Multiple feedback loop control scheme for inverters of the micro source in micro-grid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(2): 100-107.
- [18] DEWADASA M, MAJUMDER R, GHOSH A, et al. Control and protection of a micro-grid with converter interfaced micro-sources[C]// Proceedings of Third International Conference on Power Systems. Kharagpur, India: [s.n.], 2009: 1-6.
- [19] BENJAMIN K, ROBERT L. A look at micro grid technologies and testing projects from around the world[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008, 6(3): 41-53.
- [20] 张方华, 朱成花, 严仰光. 双向DC-DC变换器的控制模型[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(11): 46-49.  
 ZHANG Fanghua, ZHU Chenghua, YAN Yangguang. The control model of bi-directional DC-DC converter[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(11): 46-49.

#### 作者简介:



白园飞

白园飞(1988-),女,河南洛阳人,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化、新能源发电控制等(E-mail: byf0909@126.com);

程启明(1965-),男,江苏盐城人,教授,研究方向为电力系统自动化、发电过程控制、先进控制及应用等(E-mail: chengqiming@sina.com);

吴凯(1989-),男,江苏镇江人,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化、新能源发电控制等(E-mail: 752205027@qq.com);

王鹤霖(1989-),女,江苏徐州人,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化、新能源发电控制等(E-mail: whl7228@126.com);

赵晋斌(1972-),男,湖北武汉人,教授,博士,研究方向为电力电子技术、新能源发电技术等(E-mail: zhaojinbin@shiep.edu.cn)。

## Coordinated control of storage battery and microturbine in islanded AC microgrid

BAI Yuanfei, CHENG Qiming, WU Kai, WANG Helin, ZHAO Jinbin

(College of Electric Power and Automation, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** The coordinated control of storage battery and microturbine is essential to the stable operation of islanded AC microgrid. The models of photovoltaic cell, microturbine and battery are established; Droop control or  $PQ$  control is adopted according to the characteristics of microsource to be controlled; the coordinated control of microturbine and battery is established and the control strategy of seamless switching between them is proposed to avoid the short-time outage. Simulative verification is carried out with PSCAD/EMTDC simulation software and results show that, the coordinated control realizes the seamless switching, ensuring the small and short-time impact on system during switching process.

**Key words:** islanded AC microgrid; microturbine; electric batteries; energy storage; coordinated control; seamless switching