

# 含多种分布式电源的微电网控制策略

王 鹤<sup>1,2</sup>, 李国庆<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院, 北京 102206;

2. 东北电力大学 电气工程学院, 吉林 吉林 132012)

**摘要:** 针对微电网的并网与孤岛运行方式以及 2 种运行方式之间的转换, 提出了一种含多种分布式电源的微电网控制策略。该控制策略中微电网中心控制器连续监测微电网和大电网的运行状态并对微电网进行统一的协调控制; 对于并网运行的微电网, 当检测到孤岛状态时立即切换到孤岛运行控制方式; 对于孤岛运行的微电网, 通过选择主调频电源实现微电网频率的无差调节, 避免了下垂控制产生的频率偏差; 微电网重新并网时, 通过采用电压灵敏度分析方法调节并网接口处的电压幅值并监视与大电网的电压相位差, 实现微电网运行方式的平稳切换。采用 PSCAD/EMTDC 软件对含多种分布式电源的微电网进行仿真分析。仿真结果表明, 提出的控制策略能够维持微电网的稳定运行, 并能实现微电网并网与孤岛运行方式的平稳过渡。

**关键词:** 微电网; 分布式发电; 控制; 电压测量; 灵敏度分析

中图分类号: TM 61; TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2012)05-0019-05

## 0 引言

分布式发电具有广泛的经济和社会效益, 但分布式电源单机接入成本高、控制困难等问题限制了其大规模投入使用。微电网将分布式电源、负荷、储能及控制装置结合在一起, 形成一个统一自治的可控小型发配电系统, 能有效解决大电网与分布式电源间的矛盾, 推动分布式发电技术发展<sup>[1-2]</sup>。分布式电源的特性决定了其不能直接和电网相连, 需电力电子接口设备的支持。为维持微电网的稳定运行, 需对分布式电源和相应的电力电子接口设备进行有效控制<sup>[3]</sup>。

近年来, 大量文献对微电网的建模、控制、优化运行以及稳定性进行了广泛的研究<sup>[4-9]</sup>, 文献<sup>[7]</sup>分别对微电网的并网及孤岛运行方式进行研究, 详细介绍了逆变器的恒功率控制(PQ 控制)和恒压恒频控制(U-f 控制)方法。文献<sup>[8-9]</sup>主要研究逆变器的下垂控制方法, 通过模拟电力系统中发电机频率和有功、电压和无功之间的下垂特性来协调多个分布式电源, 具有较好的应用前景。现有文献大多没有考虑下垂控制引起的稳定频率偏差对电能质量、储能装置以及孤岛并网的影响, 且大多只是分别研究微电网的并网及孤岛运行方式, 并提出相应的控制策略, 对 2 种运行方式之间的转换没有进行深入研究。

本文选择微型燃气轮机、燃料电池和光伏发电 PV(Photo Voltaic)作为微电网中的分布式电源, 并根据分布式电源的发电特性分别选择了合适的电力电子接口设备, 利用 PSCAD/EMTDC 软件搭建微电网仿真实验平台。在此基础上, 对微电网并网及孤岛运行方式的转换进行深入研究, 提出了一种有效

的微电网并网与孤岛运行控制策略。仿真实验结果表明: 所选电力电子接口设备和采用的控制方法能够很好地配合微型燃气轮机、燃料电池和光伏电池的发电特性; 提出的控制策略能够维持微电网的稳定运行, 且能实现微电网运行方式的平稳过渡。

## 1 微电网的结构与组成

本文构建的微电网主体结构如图 1 所示。

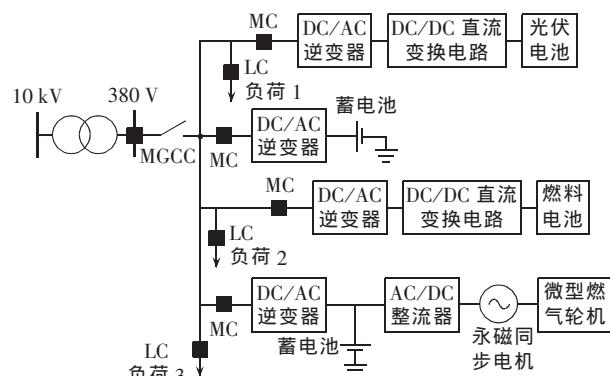


图 1 微电网结构

Fig.1 Structure of microgrid

在整体控制策略上, 采用文献<sup>[10]</sup>中实验室微电网的分层控制结构。微电网中心控制器 MGCC (MicroGrid Central Controller) 和负荷控制器 LC (Load Controller)、微电源控制器 MC (Microsource Controller) 间需建立可靠的通信连接。MGCC 安装在中压-低压变电站, 用来对微电网进行统一的协调控制, 并负责微电网与大电网之间的通信与协调; LC 和 MC 从属于 MGCC, 分别对负荷和微电源进行控制。

### 1.1 分布式电源

微型燃气轮机具有高燃料利用效率、低废气排放

水平、低初始安装费用等优点。本文选择高速单轴结构的微型燃气轮机<sup>[11]</sup>,其结构紧凑、可靠性高,当前应用较广泛。它可以直接驱动永磁同步电机,发出的高频交流电经过整流和逆变后向电网或者负荷供电。为了提高微型燃气轮机发电系统的响应速度,本文在整流器和逆变器之间的直流侧安装了蓄电池。

固体氧化物燃料电池 SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) 是一种在中高温下直接将燃料中的化学能转化成电能的发电装置,属于第 3 代燃料电池技术。它具有燃料适应性广、能量转换效率高、零污染、低噪声等优点。本文采用文献[12]的 SOFC 动态数学模型。

PV 是一种具有广泛应用前景的分布式电源,具有可再生、无污染、方便灵活、可与建筑集成等优点<sup>[13]</sup>。

### 1.2 负荷和储能装置

微电网属于小型低压发配电网,其负荷通常是三相不对称的。为了研究方便,本文主要考虑三相对称的恒阻抗负荷。此外,选择蓄电池作为储能装置,采用文献[14]中的三阶动态数学模型,其较精确地反映了蓄电池的充放电特性。

### 1.3 电力电子接口设备

分布式电源和储能装置都需电力电子接口设备的支持才能接入微电网,主要包括整流器、逆变器和直流变换电路。

微型燃气轮机驱动永磁同步电机输出的高频交流电需进行整流。本文采用固定开关频率 PWM 电流控制方法,其具有控制算法简单、物理意义清晰、实现方便等优点,控制器的详细设计可参考文献[15]。本文在 SOFC 输出端接入 Buck-Boost 变换电路来提高电池组的输出电压与动态响应速度。光伏电池的开路电压和短路电流受光照强度和温度影响较大,导致系统工作点不确定;其输出还受外接串联电阻的影响。本文采用 Boost 电路实现的扰动观察法来实现最大功率点跟踪,其本质是一个自寻优过程。

经整流或直流电压变换后,分布式电源发出的电能被转换成较稳定的直流电压输出。在此基础上,分布式电源和储能装置需再经过逆变器才能向微电网或者负荷供电。逆变器的控制策略直接影响到分布式电源或者储能装置的动态性能,是微电网控制的核心问题之一。

## 2 微电网的综合控制策略

### 2.1 微电网并网运行

当并网运行时,微电网内部的各个分布式电源只需控制功率输出以保证微电网内部的功率平衡,而电压和频率由大电网来支持和调节,此时的逆变器可以采用 PQ 控制方法,按照设定值提供固定的有功功率和无功功率<sup>[16]</sup>。

在整体控制策略上,微电网并网运行时,MGCC 根据大电网的需要、本地负荷情况和分布式电源的发电能力来决定各分布式电源的 PQ 控制有功功率和无功功率运行点及各负荷的运行状态。然后 MGCC 将

设定的运行点和负荷运行状态传递给相应的 MC 和 LC,MC 控制分布式电源逆变器按照设定值输出所需的有功功率和无功功率,LC 按照要求调整负荷。

### 2.2 微电网孤岛运行

当微电网孤岛运行时,与大电网的连接断开。此时,需由 1 个或多个分布式电源来维持微电网的电压和频率,这些分布式电源逆变器可以采用下垂控制方法,其余分布式电源逆变器仍然采用 PQ 控制方法。下垂控制方法就是使逆变器的输出模拟高压电力系统中同步发电机的频率和端电压与所输出的有功功率和无功功率之间的下垂特性。在低压配电系统中线路的电阻值大于电抗值,但可以通过整体设计使逆变器的输出阻抗呈感性,保证下垂特性成立<sup>[16]</sup>。

下垂特性可以用式(1)、(2)描述:

$$f = f_N - k_P(P - P_N) \quad (1)$$

$$U = U_N - k_Q Q \quad (2)$$

其中,  $P$  和  $Q$  分别是逆变器发出的有功功率和无功功率,  $P_N$  是逆变器在额定频率下输出的功率;  $f$  和  $U$  分别是逆变器的频率和电压,  $f_N$  和  $U_N$  分别是其额定值;  $k_P$ 、 $k_Q$  是下垂系数,可通过式(3)、(4)求得。

$$k_P = (f_N - f_{\min}) / (P_{\max} - P_N) \quad (3)$$

$$k_Q = (U_N - U_{\min}) / Q_{\max} \quad (4)$$

逆变器下垂控制方法详细介绍可参考文献[8-9]。当微电网中有多个分布式电源参与频率调节时,频率偏移导致有功负荷在不同分布式电源之间分配,假设分布式电源个数为  $n$ ,则:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \quad (5)$$

$$\Delta f_i = k_i \Delta P_i = \Delta f \quad (6)$$

其中,  $k_i$  是第  $i$  个分布式电源的有功功率下垂控制系数,  $\Delta f_i$  和  $\Delta P_i$  分别是第  $i$  个分布式电源频率偏移和输出的有功功率偏移,  $\Delta f$  是微电网的频率偏移。

当微电网孤岛运行时,采用下垂控制的分布式电源逆变器通过模仿同步发电机实现频率的一次调节,对故障和负荷变化等情况做出正确的响应。但频率一次调节是有差调节,稳定的频率偏差会影响电能质量和储能装置的正确运行,且不利于微电网的重新并网,所以需进行频率的二次调节,实现无差调节。

微电网中频率二次调节原理如下:首先根据可调容量的大小、调节速度和调节经济性等方面的需求选择主要负责频率二次调节的分布式电源作为主调频电源,由 MGCC 根据频率偏差调整主调频电源的逆变器下垂控制曲线。当主调频电源调节能力不足时,由 MGCC 调节具有可调容量且执行 PQ 控制的分布式电源逆变器的有功功率和无功功率运行点,通过增发功率为主调频电源提供支持。如果以上策略仍不能满足调频要求,MGCC 还可以控制 LC 减负荷来维持微电网的稳定运行。

### 2.3 微电网运行方式切换

当微电网的运行方式发生变化或者计划进行调

整时,需迅速地判断微电网的实际运行状态并调整相应的控制方法,微电网运行方式转换原理如图 2 所示。当微电网并网运行时, MGCC 连续执行孤岛检测,一旦发现微电网实际进入孤岛运行状态,立刻调整控制策略执行孤岛运行控制。MGCC 按照预先设定的计划将负责维持电压频率稳定的分布式电源逆变器由 PQ 控制方式调整为下垂控制方式,并调节其他 PQ 控制逆变器的有功功率和无功功率运行点增发功率,必要时控制 LC 减负荷维持孤岛的稳定运行。

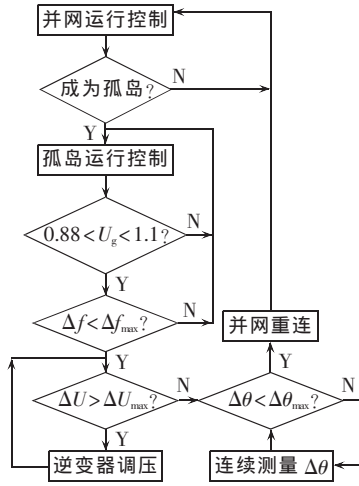


图 2 微电网运行方式切换原理

Fig.2 Changeover between operating modes

当微电网孤岛运行时,若需转换为并网运行,则 MGCC 启动并网过程。首先判断大电网侧的正序电压幅值  $U_g$  是否在合理的范围内,排除故障状态的干扰;然后连续监测微电网的频率,如果频率偏差  $\Delta f < \Delta f_{max}$ ,则继续监测电压幅值偏差  $\Delta U$ ;如果  $\Delta U > \Delta U_{max}$ ,则 MGCC 控制并网接口处的蓄电池增发无功功率,调节微电网并网处的电压使之与大电网侧的电压幅值趋于一致;当  $\Delta U$  满足条件后, MGCC 开始监测电压相角差  $\Delta \theta$ ,频率的微小偏差会导致  $\Delta \theta$  不断变化,当  $\Delta \theta$  满足并网条件时, MGCC 控制断路器合闸并网,同时调整执行并网运行控制。在并网过程中,如果某个并网条件不满足,则并网过程终止或者重新开始。

并网接口处的蓄电池负责调整  $\Delta U$  满足并网条件,采用基于电压灵敏度分析的方法。考虑并网接口节点处的潮流方程,在运行点处将潮流方程线性化:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial P / \partial \delta & \partial P / \partial U \\ \partial Q / \partial \delta & \partial Q / \partial U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix} \quad (7)$$

假设潮流方程的雅可比矩阵是非奇异的,则灵敏度矩阵为:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{\delta P} & S_{\delta Q} \\ S_{U P} & S_{U Q} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (8)$$

可得由有功功率和无功功率变化引起的并网接口处的电压偏移:

$$\Delta U = S_{UP} \Delta P + S_{UQ} \Delta Q \quad (9)$$

为了使微电网侧并网接口处电压与大电网侧电

压近似一致,蓄电池应该发出的无功功率为:

$$Q_{bat} = \frac{\Delta U_0}{S_{UQ}} - \frac{S_{UP}}{S_{UQ}} (P - P_0) + Q_0 \quad (10)$$

其中,  $P_0$ 、 $Q_0$  分别是运行点处的有功和无功功率,  $\Delta U_0$  是运行点处电压与大电网侧电压幅值间的差值。

### 3 仿真实验与分析

本文采用 PSCAD/EMTDC 软件搭建微电网仿真实验平台。共有 3 个算例,采用图 1 的微电网结构,微型燃气轮机、燃料电池、PV 和蓄电池与 MGCC 间的线路参数为  $R=0.641 \Omega/\text{km}$ ,  $X=0.101 \Omega/\text{km}$ , 4 条线路长度分别为 400 m、200 m、200 m 和 20 m。大电网侧线路参数为  $R=0.347 \Omega/\text{km}$ ,  $X=0.2345 \Omega/\text{km}$ , 线路长度为 1 000 m。微型燃气轮机、燃料电池和 PV 的主要参数详见参考文献 [11-13]。

算例 1: 并网接口处蓄电池不投入运行。仿真开始时微电网并网运行, 负荷参数为  $P_1=15 \text{ kW}$ ,  $Q_1=3 \text{ kvar}$ ,  $P_2=25 \text{ kW}$ ,  $Q_2=2 \text{ kvar}$ ,  $P_3=25 \text{ kW}$ ,  $Q_3=10 \text{ kvar}$ , 均由大电网供电。0 s 时刻微型燃气轮机、燃料电池和光伏电池开始并网发电, 微型燃气轮机逆变器采用下垂控制, 下垂系数为  $k_p=40 \text{ kW/Hz}$ ,  $k_Q=1.31579 \text{ kvar/V}$ , 运行点为 25 kW、380 V, 燃料电池和光伏电池逆变器都采用 PQ 控制方式, 燃料电池功率参考值设置为  $P_{ref2}=20 \text{ kW}$ ,  $Q_{ref2}=0 \text{ kvar}$ , PV 工作在最大功率点处,  $Q_{ref3}=0 \text{ kvar}$ 。8 s 时刻将燃料电池逆变器的 PQ 控制参考值修改为  $P_{ref2}=25 \text{ kW}$ ,  $Q_{ref2}=10 \text{ kvar}$ 。在 10 s 时刻, 因计划或者故障微电网由并网运行转变成孤岛运行, MGCC 检测到孤岛状态后将燃料电池逆变器由 PQ 控制转变成下垂控制, 下垂系数为  $k_p=40 \text{ kW/Hz}$ ,  $k_Q=1.31579 \text{ kvar/V}$ , 运行点为 20 kW、380 V, 不进行微电网频率的二次调整, PV 逆变器仍保持 PQ 控制。微电网孤岛运行后, 在 15 s 时刻负荷 3 突然增加为  $P_3=30 \text{ kW}$ ,  $Q_3=10 \text{ kvar}$ 。

图 3 给出了微电网中交流电压频率以及各分布式电源输出的有功和无功功率的仿真实验结果(图中, 从上到下依次为微电网频率、微型燃气轮机功率、

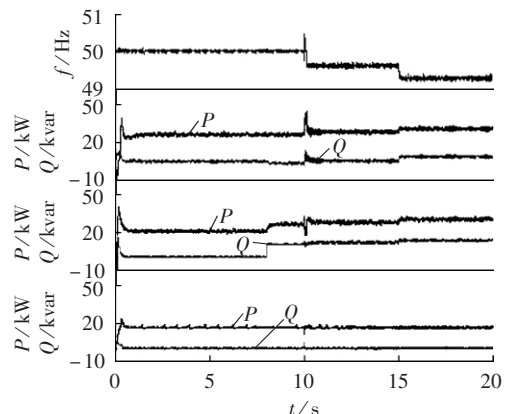


图 3 微电网不进行二次频率调节结果

Fig.3 Results of microgrid without secondary frequency regulation

燃料电池功率、PV 功率;图 4 同)。从图中可以看出,初始时刻微电网并网运行,交流电压频率为 50 Hz。经过短暂的波动,微型燃气轮机和燃料电池开始按照控制设定输出有功和无功功率,PV 系统运行在最大功率点处,有功功率约为 16 kW。在 8 s 时刻,调整燃料电池的 PQ 控制设定参考值后,其输出功率按新的参考值增加。此时微电网内部分布式电源发出的功率和本地负荷消耗的功率基本平衡。微电网在 10 s 时刻与大电网断开连接,经过大约 0.1 s, MGCC 检测到微电网的实际孤岛运行状态,转化为孤岛运行控制。微电网进入孤岛后保持稳定运行,但是系统频率和电压随着分布式电源输出功率的变化而变化,造成了稳定的频率和电压偏差,电能质量下降,并导致储能装置在正常运行状态下的持续放电,使其在紧急状态下无法为微电网提供正常支持。此外,微电网孤岛运行后微型燃气轮机和燃料电池的输出有功和无功功率都略有增加,这是因为执行下垂控制的分布式电源开始负责维持微电网的电压和频率稳定,并提供线路上的损耗。在 15 s 时刻负荷 3 突然增加,微型燃气轮机和燃料电池按照下垂控制特性调整输出功率和频率,继续维持微电网的稳定运行。

算例 2: 仿真参数和算例 1 相同,并网接口处蓄电池投入运行,并网运行时处于满充电状态。由微型燃气轮机负责孤岛运行时微电网频率的二次调整,其运行点受 MGCC 控制,根据频率偏差实时调整,仿真实验结果如图 4 所示。

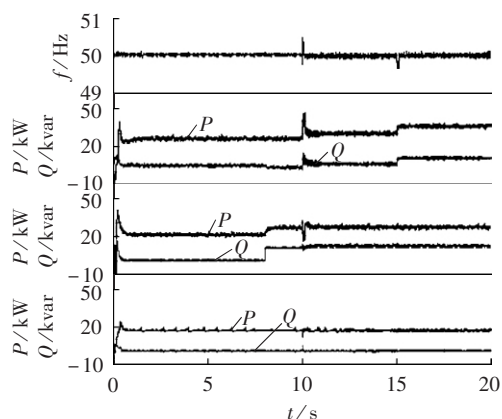


图 4 微电网进行二次频率调节结果

Fig.4 Results of microgrid with secondary frequency regulation

从图 4 可以看出,进行频率二次调节后,消除了稳定的频率偏差,微电网中负荷的波动主要由负责调频的微型燃气轮机承担。当调频能力不足时,可以由 MGCC 控制其他分布式电源增发功率提供支持。二次调频提高了微电网的电能质量,避免了对蓄电池充放电的影响,也为微电网的重新并网创造了条件。

算例 3: 对孤岛运行微电网的并网进行仿真。在 4 s 时刻开始启动并网,微电网孤岛及并网的运行状态和算例 2 相同,图 5 给出了仿真实验结果(图中,从上到下依次为微电网与大电网频率差、并网接口处

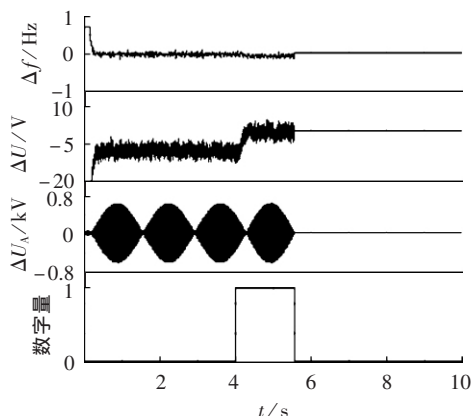


图 5 孤岛运行微电网并网重连

Fig.5 Re-connection of islanded microgrid to power network

电压有效值差、并网接口处 A 相电压瞬时值差、并网控制信号)。

从图 5 可以看出,4 s 时刻启动并网,图中控制信号由 0 变成 1 表示并网过程启动。首先判断大电网侧电压幅值是否在合理范围之内,并监测微电网和大电网之间的频率偏差  $\Delta f$ ,由于微型燃气轮机对微电网频率的二次调节,上述条件在启动并网时就已经满足。然后控制并网接口处蓄电池按照式(10)增发无功功率调节并网接口处电压,经过大约 0.3 s,  $\Delta U$  满足条件,此时开始监测相角差  $\Delta\theta$ 。图中并网接口处 A 相电压瞬时值差  $\Delta U_A$  反映了  $\Delta\theta$  的变化,  $\Delta f$  的存在导致  $\Delta\theta$  不断变化,其中  $\Delta U_A=0$  时就是满足  $\Delta\theta=0$  的时刻。大约 5.57 s 时刻所有并网条件满足,控制信号由 1 变成 0,微电网转化为并网运行控制,同时闭合断路器与大电网连接,实现了微电网由孤岛到并网运行方式的平稳过渡。

#### 4 结论

微电网需具有在并网及孤岛 2 种运行方式下平稳运行、平稳转换的能力。本文对含多种分布式电源的微电网进行研究,提出了一种微电网控制策略。通过选择主调频电源对孤岛运行微电网的频率进行二次调节,提高了电能质量,避免了稳定的频率偏差对储能装置充放电的影响,同时也为微电网并网创造了条件。通过连续检测微电网侧和大电网侧的频率以及电压幅值和相角,对微电网的实际运行状态进行判断,并采用电压灵敏度分析方法调节微电网并网接口处电压,实现了微电网运行方式的平稳转换。仿真实验结果表明,本文提出的微电网控制策略能够实现微电网在并网和孤岛 2 种运行方式下的平稳运行和平稳转换。

参考文献:

- [1] 鲁宗相,王彩霞,闵勇,等. 微网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007,31(19):100-107.  
LU Zongxiang, WANG Caixia, MIN Yong, et al. Overview on microgrid research [J]. Automation of Electric Power Systems,

- 2007,31(19):100-107.
- [2] CHOWDHURY S, CHOWDHURY S P, CROSSLEY P. Microgrids and active distribution networks [M]. London, UK: IET, 2009: 122-127.
- [3] 柳明, 柳文. 基于电压的自治微电网分布式协调控制[J]. 电力自动化设备, 2010, 30(1): 20-24.  
LIU Ming, LIU Wen. Voltage-based distributed control of autonomous microgrid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(1): 20-24.
- [4] 李振杰, 袁越. 智能微网: 未来智能配电网新的组织形式[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 42-48.  
LI Zhenjie, YUAN Yue. Smart microgrid: a novel organization form of smart distribution grid in the future [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 42-48.
- [5] 林霞, 陆于平, 吴新佳. 分布式发电系统对继电保护灵敏度影响规律[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(1): 54-59.  
LIN Xia, LU Yuping, WU Xinjia. Influence law of distributed generation on relay protection sensitivity [J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(1): 54-59.
- [6] 别朝红, 李更丰, 王锡凡. 含微网的新型配电系统可靠性评估综述[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(1): 1-6.  
BIE Zhaohong, LI Gengfeng, WANG Xifan. Review on reliability evaluation of new distribution system with micro-grid [J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1): 1-6.
- [7] LOPES J A P, MOREIRA C L, MADUREIRA A G. Defining control strategies for analyzing microgrids islanded operation [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2006, 21(2): 916-924.
- [8] MOHAMED Y, SAADANY E. Adaptive decentralized droop controller to preserve power sharing stability of paralleled inverters in distributed generation microgrids [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2008, 23(6): 2806-2816.
- [9] BARKLUND E, POGAKU N, PRODANOVIC M, et al. Energy management in autonomous microgrid using stability-constrained droop control of inverters [J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2008, 23(5): 2346-2352.
- [10] 黄伟, 孙昶辉, 吴子平, 等. 含分布式发电系统的微网技术研究综述[J]. 电网技术, 2009, 33(9): 14-18.  
HUANG Wei, SUN Changhui, WU Ziping, et al. A review on microgrid technology containing distributed generation system [J]. Power System Technology, 2009, 33(9): 14-18.
- [11] GAONKAR D N, PILLAI G N, PATEL R N. Dynamic performance of microturbine generation system connected to grid [J]. Journal of Electric Power Components Systems, 2008, 36(10): 1031-1047.
- [12] HATZIADONIU C J, LOBO A A, POURBOGHRAT F, et al. A simplified dynamic model of grid-connected fuel-cell generators [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2002, 17(2): 467-473.
- [13] 王岩, 李鹏, 唐劲飞. 基于模糊参数自校正 PID 方法的光伏发电系统 MPPT 控制[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(3): 55-58.  
WANG Yan, LI Peng, TANG Jinfei. MPPT of PV generation system based on fuzzy parameter self-tuning PID control [J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(3): 55-58.
- [14] 张国驹, 唐西胜, 齐智平. 超级电容器与蓄电池混合储能系统在微网中的应用[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(12): 85-89.  
ZHANG Guojun, TANG Xisheng, QI Zhiping. Application of hybrid energy storage system of super-capacitors and batteries in a microgrid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(12): 85-89.
- [15] 王成山, 马力, 王守相. 基于双 PWM 换流器的微型燃气轮机系统仿真[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 56-60.  
WANG Chengshan, MA Li, WANG Shouxiang. Simulation of a microturbine system based on double PWM converters [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1): 56-60.
- [16] 王成山, 肖朝霞, 王守相. 微网综合控制与分析[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 98-103.  
WANG Chengshan, XIAO Zhaoxia, WANG Shouxiang. Synthesized control and analysis of microgrid [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 98-103.

#### 作者简介:

王鹤(1983-),男,辽宁铁岭人,博士研究生,从事微电网仿真与控制方面的研究(E-mail:wang\_he12@yahoo.com.cn);  
李国庆(1963-),男,吉林长春人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统安全控制与稳定分析方面的研究。

## Control strategy of microgrid with different DG types

WANG He<sup>1,2</sup>, LI Guoqing<sup>2</sup>

(1. School of Electrical & Electronic Engineering,

North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Electrical Engineering College, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

**Abstract:** According to the grid-connected and islanded operating modes of microgrid and the changeover between them, a control strategy of microgrid with different kinds of DG (Distributed Generation) is proposed, which monitors the operating states of both microgrid and power network and provides the unified coordinating control by the central controller of microgrid. When the islanded operating state is detected, the microgrid is changed over from grid-connected control mode to islanded control mode immediately. In islanded mode, a DG is selected as the master for no-error frequency regulation of microgrid to prevent the frequency error caused by droop control. The voltage amplitude of the connecting point is adjusted by the voltage sensitivity analysis and its phase deviation from power grid is monitored for the re-connection of microgrid to power network. Results of simulation with PSCAD/EMTDC demonstrate that, the proposed strategy keeps the stable operation of microgrid and implements the bumpless changeover between two operating modes.

**Key words:** microgrid; distributed power generation; control; voltage measurement; sensitivity analysis