

文章编号:1000-582X(2012)04-128-05

利用故障方向信息的差动式微电网保护

周念成¹, 黄睿¹, 王睿晗², 冉彪³

(1. 重庆大学输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 云南电网公司玉溪电力局, 云南 玉溪 653100; 3. 成都电力局, 四川 成都 611130)

摘要:针对传统的电流保护无法满足微电网保护的问题,提出了一种新型的微电网的系统保护方案。在该保护方案中,通过相邻保护单元之间互相交换带方向的故障信息,确定故障范围,快速动作清除故障。最后通过分析一个包含三条支路和两个基于逆变器的微电源的微电网在三种故障情况下保护的動作,验证了该方法能够达到快速动作切除故障以及在并网模式和孤岛模式中采用相同的保护策略的目的。

关键词:微电网; 继电保护; 微电源; 故障信息

中图分类号: TM571.6

文献标志码: A

Research on differential protection for micro-grid using failure message with direction information

ZHOU Nian-cheng¹, HUANG Rui¹, WANG Rui-han², RAN Biao³

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China; 2. Yunnan Power Grid Corporation Yuxi Power Supply Bureau, Yuxi 653100, Yunnan, P. R. China; 3. Chengdu Electric Power Bureau, Chengdu 611130, Sichuan, P. R. China)

Abstract: Considering traditional current protection cannot satisfy the micro-grid, a system protection solution for the micro-grid is proposed. In this solution, the failure message with direction information can be exchanged among the adjacent protection units, so the fault coverage can be determined and the fault can be quickly cleared. By analyzing the movement of the protection in three kinds of fault conditions in the micro-grid that contains three branches and two micro-power based on inverter, the method has been proved that the fault can be quickly cleared and the protection has the same protection strategies for both islanded and grid-connected operation.

Key words: micro-grid; relay protection; micro-source; fault information

分布式电源位置灵活分散的特点很好地适应了分散电力需求和资源分布,延缓了输配电网升级换代所需的巨大投资,但分布式电源单机接入成本高、容量小,运行不确定性强,受制于自然条件,缺少灵

活可控的特点,对大电网是一个不可控源。目前大电网采取隔离限制的方式处理分布式电源,限制了分布式电源的效能发挥,间接限制了新能源的利用。为了充分发挥分布式电源的价值与效益,降低分布

收稿日期: 2011-08-30

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2009BB6190);输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室自主研究资助项目(2007DA10512709208)

作者简介: 周念成(1969-),男,重庆大学副教授,博士,主要从事继电保护研究, Tel(13320218869);
(E-mail) nczhou@163.com。

式电源带来的不利影响,同时发挥分布式电源的作用,一个较好的解决方法就是把分布式电源和负荷一起作为配电子系统——微电网(Micro-grid)。微电网从系统观点看问题,将发电机、负荷、储能装置及控制装置等结合,形成一个单一可控的单元^[1-2]。

微电网中的电源多为微电源,亦即含有电力电子界面的小型机组(小于100 kW),包括微型燃气轮机、燃料电池、光伏电池以及超级电容、飞轮、蓄电池等储能装置^[3]。微电源接入配电系统后,使传统的单电源辐射网络变成了一个多源网络。微电网一般由唯一的接口(静态开关)与配电网相连接,既可并网运行亦可独立(孤岛)运行。正常运行时网络中的潮流分布,以及系统故障时短路电流的大小、流向和分布均发生了变化。由于微电网中的微电源多采用基于逆变器连接的微电源,而逆变器的故障电流被半导体器件限制在两倍额定电流内,因此微电源出口处的故障电流不会像传统电网短路电流那么大,当微电网运行在孤岛模式下,若微电网中仅只有一个微电源,则故障时的最大短路电流不高于额定电流的2倍,而同时电压较传统电网短路时下降更加剧烈^[4]。文献[5]通过仿真验证了微电网的故障电流一般情况下远小于主网的故障电流。传统的电流保护显然无法满足微电网保护的特定要求。当故障切除后,微电网将重新与主电网连接。微电网中微电源的容量一般都较小,在独立运行或两种模式转换过程中,操作或负荷和微电源波动都可能会出现较长的暂态过程^[6]。由于以上的问题,传统配电系统中保护设备之间建立起来的配合关系被打破,保护的动作为行为和动作性能都受到影响。针对微电网继电保护存在的问题,有学者提出了一些保护的思路。

文献[4]提出了一种基于差动电流分量与零序负序分量的微电网保护策略,为微电网保护提供了一种思路,但是其针对的微电网结构较为简单,属于针对性保护配置,通用性不够,在微电网结构变得复杂时,可能造成矛盾的结果。文献[7]的作者提出开发一种比传统的继电器更能精确反映故障位置的实时故障定位装置,以能够精确的反映故障位置。但是这个方法成本太高,需要对现有的配电网进行大的改造,且这个装置的技术目前只存在于理论构想阶段。文献[8]提出了一种基于电流对称分量检测的保护策略,以超过一定阈值的零序电流和负序电流分量作为主保护的启动值,将传统的过电流保护与之结合可取得良好的效果。而当配网发生三相短路时,保护处检测不到零序和负序电流,则无法启动

主保护,只能靠传统的过电流保护来切断故障,因此在发生三相短路时该方案并不能取得理想的效果。文献[9]通过数学变换把微电源出口的ABC三相交流电压转换成为以 dq 轴为参考的直流电压,用 dq 轴上的电压构造出故障判别电压 V_{DIST} ,当微电网中发生故障时微电源的输出电压将会出现变化,通过 V_{DIST} 可能具有恒定的直流量、叠加交流的直流量和在零和最大值之间变化的交流量的三种形式来确定是发生三相、两相和单相故障;并通过比较一个整定的平均电压值来判别区内和区外故障。微电网中的微电源间距离可能很短,区内和区外故障时电压非常接近,可能使形成的故障判据灵敏度不够。

虽然国际上已有学者提出了一些微电网的保护策略,但这些保护策略都不够完善^[10-15]。笔者提出了一种新的针对微电网的系统保护方案。在该保护方案中,通过相邻保护单元之间互相交换带方向的故障信息,确定故障范围,进而达到快速动作切除故障以及在并网模式和孤岛模式中采用相同的保护策略的目的。在这种保护方案中,将数据通信和相邻保护装置的故障信息交换分开,保护信息只是简单的布尔信号,能在相邻保护装置之间高速传递(小于100 μ s)。以此为基础实现了新的故障判别、故障隔离等功能。

1 微电网系统保护方案

当微电源接入主网络后,使主网络继电保护的运行条件变得更加严酷,传统的线路保护配置模式已不能满足电网的要求。微电网的保护原则是:微电网在孤岛模式和并网模式中采用相同的保护策略。静态开关用于快速断开大电网和微电网的连接。当大电网故障时,微电网应与之断开,一方面切断微电网向故障点提供短路电流的通路,另一方面要保证微电网以孤岛状态继续安全稳定运行。当大电网的故障切除后,能方便可靠的恢复并网运行。在微电网内部故障的情况下,应能迅速切除微电网内的故障区域,微电网中的其他区域继续可靠运行。

笔者在文献[16]提出了一种利用方向信息的继电保护原理。当故障发生时,故障状态差动保护首先判断故障电流的方向。采取故障电流正方向时信号不发信,反方向发送禁止动作信号的原理构成。表1为信号组合方式。保护中根据电流方向将与之连接的保护分为M侧和N侧两组,M侧和N侧是指与保护的两侧相邻的保护单元。M和N侧各自的接收信号相“或”后合成为M侧和N侧信号。

表 1 信号组合方式及其解释

组合方式	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4
M 侧收信	无	有	无	有
N 侧收信	无	无	有	有
故障定位	两侧开关之间	M 侧开关外	N 侧开关外	信号交换
跳闸判断	允许跳闸	禁止跳闸	禁止跳闸	禁止跳闸

在文献[16]中,这种原理应用的对象是配电网。对于微电网,由于需面对用户负荷,受限于电压等级,不适合并入高压电网,一般多为并入中低压配电网。所以配电网和微电网具有许多共同点。且由于微电网的双向潮流特性,如果能利用多点信息,则会有利于对故障点的判断。同时微电网中常常存在多分支连接,如图 1 所示,系统中 6B 有 5 条分支。根据电流方向将与之连接的保护分为 M 侧和 N 侧两组:M 侧由 1B、2B 和 3B 组成,N 侧由 4B 和 5B 组成。M 侧和 N 侧各自的接收信号相“或”后合成为 M 侧和 N 侧信号。图 1 中,1B、2B 和 3B 为正方向,不发信,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号;4B 为反方向,发闭锁信号,5B 为正方向,不发信,相“或”后 N 侧信号也为“有”信号,6B 保护禁止跳闸。对 4B 保护,M 侧为 5B 和 6B,均为正方向,不发信,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号;4B 的 N 侧保护装置为正方向或无故障电流流过,不发信,合成信号为“无”信号;故障电流流过 4B,根据表 1 中方式 1 的工作方式,4B 保护跳闸。

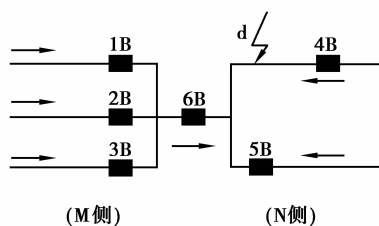


图 1 多分枝接线保护动作分析

为此,利用文献[16]提出的利用故障方向信息的故障状态差动保护原理,提出了一套微电网系统保护配置方案如下:利用故障电流方向与故障电流幅值大小原理构成的信号差动保护作为微电网的主保护,这种保护以通信为基础,构建微电网级的通信网络,利用微电网多处的故障电流信息进行综合分析判断,从而实现了对微电网的保护。

由于从孤岛模式转换为并网模式时会产生很大的振荡电流,有可能造成保护的误动作,所以在孤岛

模式到并网模式转换时微电网内所有的保护需要闭锁;同时由于微电网中的负荷比较小,微电源投切时,会产生很大的冲击电流,也有可能造成保护的误动作,这时也需要闭锁所有的保护。

微电源的动作要与区域电网内隔离设备的重合闸方式相协调配合。在微电网内线路发生故障时,当主系统侧 PCC 开关跳开后,若微电源继续向故障点供电,会影响故障电弧的熄灭,造成重合闸不成功。如果在重合闸时,运行在孤岛模式中的微电源没有断开,则会造成非同期合闸,由此引起的冲击电流远远超过正常供电涌流,可能导致不希望出现的断路器动作,并给微电源带来危害。在重合闸的配置中,PCC 上配检同期重合闸和检无压重合闸;微电源处也需要配置检同期重合闸;馈线线路上配置检同期重合闸;负荷处配置快速重合闸;同时以上重合闸需配置后加速保护。重合闸是双向的,M 或 N 侧故障,保护动作后重合闸都启动。当重合闸进行一次重合,若为瞬时故障,则重合成功,线路继续运行;如果为永久性故障,则启动后加速保护,瞬时切除故障。

并网运行时,当发生故障后,首先跳开 PCC 开关,微电网内所有保护延时启动,延长时间与 PCC 处重合闸动作时间相配合,等待 PCC 处重合闸。当 PCC 处重合闸后,若为瞬时性故障,重合成功,继续并网运行;或为永久性故障,启动重合闸后加速保护,跳开 PCC 开关,微电网内的保护启动,迅速判断故障位置,跳开故障处保护。

孤岛运行时,微电网内保护启动,确定故障位置,迅速跳开保护。此时故障处保护的重合闸启动,若为瞬时性故障,重合成功,继续孤岛运行;若为永久性故障,启动重合闸后加速保护,跳开故障处的保护。

2 算例与分析

实现微电网系统保护最重要的条件就是得到相邻故障信息即故障状态。为完成保护、隔离、数据采集等功能,必须使用既能进行数据通信又能交换电平信号的专用光纤通信设备,这种能传输电平和串行信号的设备称为复合型光纤调制解调器,简称复合光 Modem。

普通双向复合光 Modem 有两个电平接收口和两个电平发送口,分别用于 M 侧和 N 侧故障信号的接收和发送,与光缆的两光口方向对应。有 3 个及以上光口的光 Modem 有同等数量的电平口与之对应^[11]。

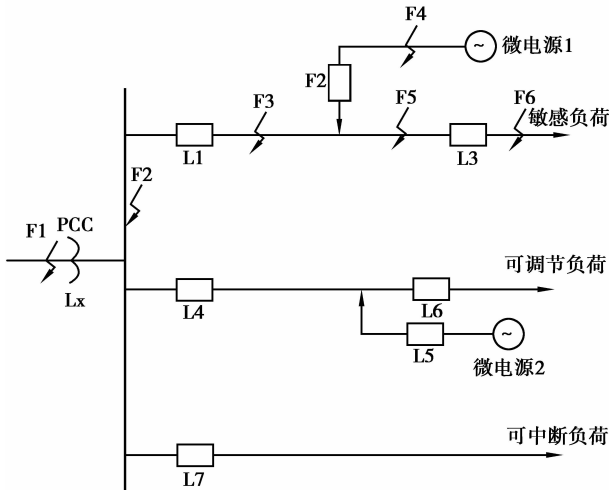


图 2 微电网故障图

图 2 为一个微电网的故障图例,静态开关(PCC 开关)将大电网和微电网隔离开来。微电网部分包含三条支路和两个基于逆变器的微电源。假设孤岛运行时,微电源能够满足微电网中的负荷需求,保护之间采用点对点的连接方式,每台保护装置之间采用光纤通信。本文分微电网并网运行时大电网处发生故障,微电网处发生故障,母线处发生故障以及微电网孤岛运行时发生故障这几种故障情况讨论故障发生时微电网内保护的動作方式,图中故障标识表示仅发生此故障,网络其他部分正常运行。

2.1 微电网外部故障

图 2 中的 F_1 就属于这种类型的故障。当故障发生时,首先断开 PCC 开关,将大电网和微电网脱离。微电网外部的故障时保护的動作按照配电网的保护動作方式動作。如果为瞬时性故障,通过自动重合闸,微电网将与大电网恢复并网运行。如果为永久性故障,一次重合闸后,启动后加速保护,切断微电网和大电网的连接,微电网运行在孤岛模式下,配网此时形成一个由两个电源和三条线路组成的微电网。当 PCC 开关断开后,若微电网中连接有光伏电源,由于光伏电源输出的电能具有间歇性特点,会引起电压波动,造成微电网的振荡。在储能设备投入运行和其他微电源对振荡调节前,需要将微电网内的所有保护闭锁。如果储能设备的容量足够大,微电网将能很快的恢复稳定运行。如果振荡无法消除,保护将会動作,切断微电源的供电,直到大电网恢复供电,再并网运行。

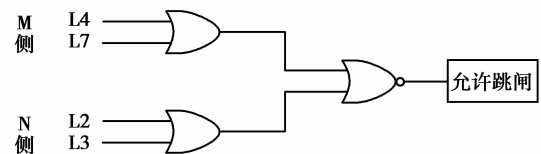
2.2 微电网内部故障

图 2 中的 F_3 、 F_4 、 F_5 、 F_6 处就属于微电网内部故障。下面分微电网并网运行时发生故障和微电网孤

岛运行时发生故障两部分讨论。

2.2.1 微电网并网运行时发生故障

当 F_3 处发生故障时,首先断开 PCC 开关,PCC 开关处的自动重合闸重合一次,微电网内的保护延时動作,延时时间为 PCC 处重合闸的動作时间。若为瞬时性故障,则系统继续并网运行,若为永久性故障,则启动重合闸后加速保护,PCC 开关断开,使系统运行在孤岛模式下。此时保护处的方向信息元件启动,各个保护之间通过光纤传递方向信息,根据前文提出的動作判断方式,迅速确定故障位置。以 L_1 处保护为例,根据故障电流方向将与之相连的保护分为 M 侧和 N 侧两组, L_1 的 M 侧由 L_4 、 L_7 组成, L_7 无故障电流流过,不发信; L_4 上故障电流为正方向,不发信,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号。 L_1 的 N 侧由 L_2 、 L_3 组成, L_2 故障电流为正方向(不发信, L_3 无故障电流流过,不发信);相“或”后合成 N 侧信号为“无”信号;故障电流流过 L_1 ,根据表 1 所示方式 1, L_1 保护跳闸。同理, L_2 也将跳闸。 L_3 上无故障电流流过,保护不启动。

图 3 L_1 处保护跳闸的動作流程逻辑图

此时微电源 2 如果能够满足可中断负荷和可调节负荷的容量需求,则将对两部分负荷供电。微电源 1 停止对负荷供电。

当 F_4 处发生故障时,同样首先断开 PCC 开关,PCC 开关处的自动重合闸重合一次,微电网内的保护延时動作,延时时间为 PCC 处重合闸的動作时间。若为瞬时性故障,则系统继续并网运行,若为永久性故障,则启动重合闸后加速保护,PCC 开关断开,使系统运行在孤岛模式下。此时保护处的方向信息元件启动,各个保护之间通过光纤传递方向信息,迅速确定故障位置。此时根据电流方向将与 L_2 相连的保护分为 M 侧和 N 侧两组, L_2 的 M 侧由 L_1 、 L_3 组成, L_1 上故障电流为正方向,不发信; L_3 无故障电流流过,不发信,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号。 L_2 的 N 侧为微电源 1,无信号;不发信,N 侧信号为“无”信号;故障电流流过 L_2 ,根据表 1 所示方式 1, L_2 保护跳闸。由于 L_2 直接与微电源相连,如果在重合闸时,运行在孤岛模式中的微电源没有断开,则会造成非同期合闸,由此引起的冲击电流

远远超过正常供电涌流,可能导致不希望出现的断路器动作,并给微电源带来危害,因此, L_2 上需配置检同期重合闸。

2.2.2 电网孤岛运行时发生故障

假设微电网运行在孤岛模式下, F_6 处发生故障,如图 1 所示。由于 PCC 开关已经断开,所以此时只需要检测微电网内的故障电流。当 F_6 处发生故障时,以 L_3 处保护为例,根据故障电流方向将与之相连的保护分为 M 侧和 N 侧两组, L_3 的 M 侧为 L_1 和 L_2 , L_1 故障电流为正方向,不发信, L_2 故障电流为正方向,不发信,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号; L_3 的 N 侧无信号,不发信,为“无”信号;根据表 1 所示方式 1, L_3 动作跳闸。此时重合闸启动,如果为瞬时性故障,通过自动重合闸,将继续对负荷供电;如果为永久性故障,一次重合闸后,启动后加速保护,跳开 L_3 处开关,停止对负荷处供电,直到故障清除。 L_3 处配置快速重合闸。

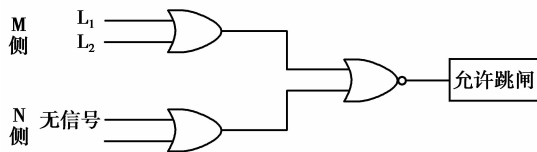


图 4 L_3 处保护跳闸的动作流程逻辑图

2.3 微电网母线故障

图 2 中的 F_2 处就属于母线的故障。当故障发生时,首先断开 PCC 开关,PCC 开关处的自动重合闸重合一次,微电网内的保护延时动作,延时时间为 PCC 处重合闸的动作时间。若为瞬时性故障,则系统继续并网运行,若为永久性故障,则启动重合闸后加速保护,PCC 开关断开,使系统运行在孤岛模式下。以 L_4 处保护为例, L_4 的 M 侧由 L_1 、 L_7 组成, L_1 故障电流为正方向,不发信; L_7 无故障电流流过,无信号,相“或”后合成 M 侧信号为“无”信号。 L_4 的 N 侧由 L_5 、 L_6 组成, L_5 故障电流为正方向,不发信; L_6 无故障电流流过,无信号,相“或”后合成 N 侧信号为“无”信号;故障电流流过 L_4 ,根据表 1 所示方式 1, L_4 保护跳闸。同理, L_1 也将跳闸。

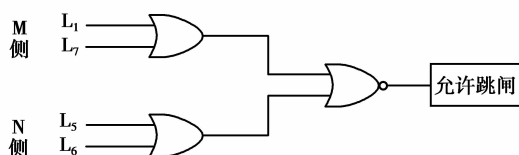


图 5 L_4 处保护跳闸的动作流程逻辑图

当发生母线故障时,微电网仅对自身重要负荷供电。可中断负荷将被断开,微电网无法对其供电,只有当母线故障切除后才能恢复供电。

3 结 论

提出了一种新的微电网保护方案,针对一个含三条支路和两个基于逆变器的微电源的微电网的不同故障情况分析验证了这种保护方案的有效性。通过举例验证可知,按利用方向信息的故障状态差动保护原理实现的系统保护能可靠的判断故障边界,实现快速隔离故障,能有效解决微电网继电保护的问题。

参考文献:

- [1] 赵宏伟, 吴涛涛. 基于分布式电源的微网技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(1): 121-128.
ZHAO HONG-WEI, WU TAO-TAO. Review of distributed generation based on micro-grid technology [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2008, 20(1): 121-128.
- [2] 黄睿. 利用方向信息的双向闭锁式微电网保护研究[D]. 重庆:重庆大学,2010.
- [3] 鲁宗相, 王彩霞, 阎勇, 等. 微电网研究综述[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(19): 100-107.
LU ZONG-XIANG, WANG CAI-XIA, MIN YONG, et al. Overview on micro-grid research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(19): 100-107.
- [4] NIKKHAJOEII H, LASSETER R H. Micro-grid protection [C] // Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 24-28, 2007, Tampa, FL, USA. [s. l.]: IEEE Press, 2007: 1-6.
- [5] JAYAWARNA N, JENKINS N, BARNES M, et al. Safety analysis of a micro-grid[C]// Proceedings of the 2005 International Conference on Future Power Systems, Nov. 18, 2005, Amsterdam, Netherlands. [s. l.]: IEEE Press, 2005: 7.
- [6] 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, 2009, 33(2):82-85.
GUO LI, WANG CHENG-SHAN. Dynamic simulation for micro-grid with different types of distributed generations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(2):82-85.
- [7] LASSETER R H. Micro-grids [C]// Proceedings of the 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, January 27-31, 2002, New York, USA. [s. l.]: IEEE Press, 2002, :305-308.

- [10] 乔映宾, 张永光. 甲醇汽油应用情况及存在问题的探讨[J]. 石油化工, 2005, 34(增刊): 74-77.
QIAO YING-BIN, ZHANG YONG-GUANG. On application and problems of methanol gasoline [J]. Petrochemical Technology, 2005, 34(z1): 74-77.
- [11] 孙培岩, 唐佚, 唐运榜, 等. 电喷汽车百公里油耗随车测量新方法[J]. 小型内燃机与摩托车, 2004, 33(6): 35.
SUN PEI-YAN, TANG YI, TANG YUN-BANG, et al. A new approach to measuring the 100-kilometer fuel consumption of EFI vehicle on the move[J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2004, 33(6): 35.
- [12] 王春芳, 王兆安, 王开艳. 弧焊逆变器主电路的改进和实验验证[J]. 电力电子技术, 2010, 44(7): 51-52.
WANG CHUN-FANG, WANG ZHAO-AN, WANG KAI-YAN. Main circuit improvements and its experimental verification for arc welding inverter[J]. Power Electronics, 2010, 44(7): 51-52.
- [13] ZHANG Y J, CHEN L, FAN L Y. A design of elevator positioning control system model [C]. // Proceedings of IEEE 2008 International Conference on Neural Networks and Signal Processing., June 7-11, 2008, Nanjing, China, [s. l.]: IEEE Press, 2008: 535-538.
- [14] RAJABBEIGIA N, ELYASSI B, ABBAS K A, et al. Oxygen sensor with solid-state $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2\text{-TiO}_2$ reference [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2005, 108(1-2): 341-345.
- [15] 胡凯伟, 孙毅, 毛亚郎, 等. 基于 PROTEUS 的 ARM 温度采集系统仿真设计[J]. 机械设计与制造, 2010, 2(2): 28.
HU KAI-WEI, SUN YI, MAO YA-LANG, et al. The proteus-based simulation design of temperature acquisition ARM system [J]. Machinery Design & Manufacture, 2010, 2(2): 28.

(编辑 张小强)

~~~~~

(上接第 132 页)

- [8] NIKKHAJOEI H, LASSETER R H. Micro-grid fault protection based on symmetrical and differential current components [EB/OL]. (2006-12-02) <http://www.pserc.org/cgi-pserc/getbig/publicatio/2007public/microgrid-protection-1.Pdf>.
- [9] AI-NASSERI H, REDFERN M A, OGORMAN R. Protecting micro-grid systems containing solid-state converter generation [C] // Proceedings of the 2005 International Conference on Future Power Systems, Nov 18, 2005, Amsterdam, Netherlands. [s. l.]: IEEE Press, 2005:1-5.
- [10] SALAM A A, MOHAMED A., HANNAN M A.. Technical challenges on miro-grids[J]. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2008, 3(6): 64-67.
- [11] 周念成, 贾延海, 赵渊. 一种新的配电网快速保护方案[J]. 电网技术, 2005, 29(23):68-73.  
ZHOU NIAN-CHENG, JIA YAN-HAI, ZHAO YUAN. A new high-speed protection scheme for distribution network [J]. Power System Technology, 2005, 29(23):68-73.
- [12] LI Y W, VILATHGAMUWA D M, LOH P C. Micro-grid power quality enhancement using a three-phase four-wire grid-interfacing compensator [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2005, 41(6): 1707-1719.
- [13] KATIRAEI F, IRAVANI M R. Power management strategies for a micro-grid with multiple distributed generation units [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006 21(4):1821-1831.
- [14] KARINIOTAKIS G N, SOULTANIS N L, TSOUCHNIKAS A I, et al. Dynamic modeling of micro-grids [C] // Proceedings of the 2005 International Conference Future Power Systems, Nov 18, 2005, Amsterdam, Netherlands. [s. l.]: IEEE Press, 2005: 6-7.
- [15] MARNAY C, ROBIO F J, SIDDIQUI A S. Shape of the micro-grid [C] // Proceedings of the 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Jan28-Feb1, 2001, Columbus, USA. [s. l.]: IEEE Press, 2001, 1: 150-153.
- [16] 周念成, 贾延海, 赵渊. 基于配电网系统保护的馈线终端[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(8): 66-68.  
ZHOU NIAN-CHENG, JIA YAN-HAI, ZHAO YUAN. Feeder terminal unit based on system protection to distribution network [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(8): 66-68.

(编辑 张小强)