

一种新型的微网自适应过流保护方法

邓超平¹, 唐志军¹, 张曦², 邹贵彬², 高厚磊²

(1. 福建电力科学研究所, 福建 福州 350007; 2. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 微网灵活的运行模式给保护带来了严峻的挑战, 对此提出了一种新型的微网自适应过流保护方法。以微网三处典型的故障为案例, 从并网和离网角度剖析了微网自适应保护应具备的功能。以此为基础, 给出了微网自适应保护方案并阐述了集中式微网保护的主从工作机制; 提出了三段式自适应保护的过电流整定算法, 设计了故障识别流程; 基于分析传统过电流保护时限配合在微网保护中存在的弊端, 提出了微网自适应保护在并网和孤岛时的动作时限优化方案, 结合案例分析了其优点。理论和案例分析表明, 所提自适应保护方法能够快速可靠地识别故障区域, 满足微网对保护的要求。

关键词: 微网; 自适应; 过流保护; 孤岛; 动作时限

A novel adaptive overcurrent protection method for microgrid

DENG Chaoping¹, TANG Zhijun¹, ZHANG Xi², ZOU Guibin², GAO Houlei²

(1. Electric Power Research Institute of Fujian Electric Power Limited Company, Fuzhou 350007, China;

2. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The flexible operation mode of microgrid poses a serious challenge to the protection, so this paper proposes a novel current protection method for microgrid. It takes three typical faults as case study, and analyses the function of adaptive protection in connected mode and islanded mode. Based on it, a new protection scheme for microgrid is presented, and the master-slave working mechanism of the centralized protection of microgrid is also illustrated. At the same time, this paper proposes the overcurrent setting algorithm of three zones adaptive protection and designs the flow chart of fault identification. Based on the analysis of the drawbacks of the traditional overcurrent protection time limit coordination, an optimization scheme about the operation time limit in connected mode and islanded mode is also presented, and the advantages are analyzed through the cases. The theory and cases show that the adaptive protection method can identify the fault zone rapidly and reliably, meeting the need of microgrid.

Key words: microgrid; adaptive; overcurrent protection; island; operation time limit

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)04-0038-06

0 引言

微网作为一种新型电力技术, 通过构建小型或微型低压配电系统, 为太阳能、风能、生物质能等可再生能源以及天然气、氢气等环境友好型能源的综合利用提供了一种有效的技术手段^[1]。但同时, 微网多变的运行模式及系统信息采集的复杂性给微网的保护控制带来了严峻的挑战^[2-3]。

微网既可并网运行又可孤岛独立运行, 此外中

小容量 DG 的投退和出力具有随机性, 导致微网正常运行时, 部分负荷受其波动性影响, 故障时其短路电流大小和方向都存在不确定性, 从而很大程度上影响了保护的选择性和灵敏性^[4-5]。因此, 微网的保护整定变得异常复杂。微网孤岛运行模式下内部发生故障时, 逆变型 DG 受电力电子器件过流能力的限制, 提供的短路电流值有限, 导致传统过流保护因故障电流偏小或整定值过高而无法正常启动^[6-7]。文献[8]提出在微网中应用导纳继电器设定整定判据进行保护, 但并未深入分析验证。文献[9-10]采用了数字继电器进行微网保护, 它能够检测过/欠电压、过电流并能编程来实现相互通信, 但是不

基金项目: 山东大学自主创新基金项目(2012ZD005); 福建省电力有限公司科技项目(201311144)

能做到实时反映系统运行状态, 以最优的保护方式来解决故障问题。文献[11]提出将微电网进行分区保护, 故障时只将故障区隔离的方式。但此种保护方式降低了用电可靠性, 不能保证整体系统的稳定性。微网并入大电网后, 将从根本上改变大电网的网架结构, 而且故障后的电气量特征发生显著变化, 从而传统的故障检测和继电保护模式难以满足现行电网安全运行的要求^[12-15]。

通过对微网进行实时检测, 利用通信网络获取重要节点的电压、电流信息以及微电源出力状态, 从而实时调整保护控制策略, 是实现微网保护的有效手段。基于此, 本文提出了微网自适应过流保护方法, 给出了三段式自适应保护的过电流整定算法, 设计了故障识别流程, 给出了两种运行模式下的动作时限优化方案。这种在全线安装断路器, 利用网内节点信息, 采用自适应技术的新型保护方式尤其适用于对电能质量要求较高的地区。

1 自适应保护的動作行为分析

1.1 含 DG 的微网系统结构

微网是由分布式电源(DG)、负荷以及储能系统组成的可控单元^[16], 其保护系统必须具备实时反应内、外部故障的能力。当微网外部故障时, 保护系统能够使微网快速脱离主网并保障网内重要负荷的正常供电。当微网内部故障时, 保护系统能够隔离最小的故障区域并保障非故障区域的正常供电。因此, 微网不仅要具备“即插即用”的特点, 而且要满足发电容量和负荷需求实时平衡的原则。图 1 是一种典型的微网拓扑结构示意图, 其中 CB 和开关编号均表示断路器, 同时配置相应的保护单元; G 表示分布式电源; L 表示负荷; T 表示联络开关; F1~F4 是故障点。

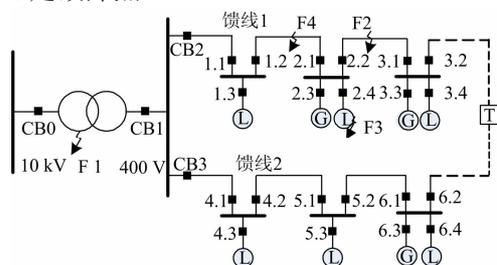


图 1 典型的微网拓扑结构示意图

Fig. 1 Typical topological structure of microgrid

1.2 自适应保护应具备的功能分析

1) 主网侧 F1 点故障。微网通过联络变压器与主网相连, 变压器通常配置纵联电流差动主保护和过电流后备保护。当 F1 点故障时, CB0 应瞬时动

作, CB1 根据 CB0 的硬件闭锁功能在检测到 CB0 动作后随之快速跳闸。为避免 CB1 动作失灵, 可采用方向性的自适应过流保护或低压、低频保护加以解决。同时, CB1 还作为主网(10 kV 侧)保护拒绝动作时的后备保护。

2) 微网内部 F2 点故障。由于微网存在并网和孤岛两种运行模式, 下面分别分析。并网模式下故障时, 保护 2.2 和 3.1 都应动作将故障区段隔离。若 2.2 不能正常动作, 作为 2.2 后备保护的 2.1 则延时跳闸。但是 2.1 可能出现灵敏性问题, 因为部分支路 DG 的助增电流作用可能使得 2.1 检测到的故障电流值偏小, 甚至出现因 DG 容量过大造成 2.1 检测到的故障电流值低于整定值的情况, 以致后备保护失效。鉴于此, 采用自适应的电流保护方案以解决上述问题。

孤岛模式下故障时, 无论是微网的全孤岛运行还是微网内部的区域孤岛运行, 故障电流只有额定电流的 2 倍左右。微网独特的内部结构决定了内部潮流的双向性, 传统保护的选择性原则在微网中可能无法实现^[17]。对此, 加装方向元件是一种有效的解决办法。另外, 微网面临传统电流保护整定值过高的问题。所以, 设计一种能实时调整定值的自适应保护方案迫在眉睫。

3) 用户终端侧的故障, 如 F3 点。并网和孤岛模式下 F3 点故障时, 保护 2.4 均能检测到故障电流, 而且并网时的短路电流值很大, 足以满足保护定值的要求。但孤岛下的 DG 受电力电子器件过流能力的限制, 故障时不能提供足够大的短路电流, 因此, 亟需一种能实时调整保护定值的新式保护方案来应对故障电流的“多态性”。根据熔断器的工作原理, 其反时限特性的保护机制使得并网模式下的故障瞬时切除, 而孤岛模式下逆变器提供的故障电流也足以使得熔断器在故障发生后的几个周期内动作, 所以熔断器作为负荷保护的后备保护不存在选择性和灵敏性问题。

通过分析两种运行模式下三种不同位置的故障可知, 保护系统必须具备很高的灵敏度和选择性才能正确反应各种故障。尤其针对那些带有逆变器接口的 DG, 因为两种模式下的短路电流差异很大, 这种故障电流的“多态性”势必需要一种自适应性保护方法加以应对。本文提出的这种新型自适应保护方法充分利用了系统内多点信息的交互反馈, 通过实时检测系统的运行模式和各 DG 的工作状态, 继而在线调整定值以优化系统的工作性能, 准确定位故障区段以便及时隔离。

2 微网自适应保护原理与实现

2.1 微网自适应保护方案

微网自适应保护是建立在光纤通信和现代自动控制技术的基础上,主要包括:微网中央保护单元、安装于各断路器处的就地保护单元和基于光纤的通信设施以及标准化的通信协议。

图2是集中式自适应保护系统通信图,其中虚线代表通信光纤。图2中,微网中央保护单元是整个通信系统的中枢,它负责信息收集、分析、处理、反馈、下发指令等功能,而每个就地单元负责采集本地电气量信息和断路器位置信息。中央保护单元是主控制器,就地单元是从控制。中央单元内含专门的自适应元件以便实时更新保护定值。故障发生时,每个就地单元都将故障信息上传至中央单元。中央单元整合分析诸如电压降落、电流值大小、方向性判别等上传信息,以便精确定位故障位置,以防保护误动。中央保护单元通过比较实测电流和相应馈线保护的各段整定值大小关系,对相应就地单元发出动作指令。

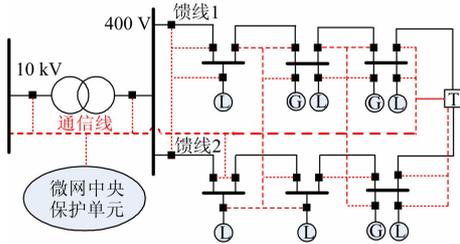


图2 集中式自适应保护系统通信图

Fig. 2 Centralized adaptive protection system

2.2 自适应保护算法

自适应保护实质上是一个反馈的控制系统,在文献[18-19]的基础上,结合本文微网结构图给出如下算法过程。

2.2.1 自适应电流速断保护

传统电流保护速断定值是按最大运行方式下,躲开下一条馈线出口三相短路时流过保护的电流整定。实际上,短路电流的大小与系统运行方式、短路类型和短路点在线路上的位置有关。设在线路 αZ_1 处短路,则短路电流 I_f 为

$$I_f = \left| \frac{K_d \dot{E}}{Z_s + \alpha Z_1} \right| \quad (1)$$

式中: K_d 为故障类型系数,三相短路时取1,两相短路时取 $\sqrt{3}/2$; \dot{E} 为系统等效电源的电势; Z_s 为保护安装处到系统等效电源之间的阻抗; α 为比例

系数, $0 \leq \alpha \leq 1$; Z_1 为被保护馈线的阻抗。

因为式(1)中含有系统等效阻抗 Z_s ,保护整定值受 Z_s 变化的影响,所以发生故障时,自适应保护应根据系统阻抗计算保护区末端的三相短路电流。但是当系统发生两相短路时,实际保护范围将缩小。因此,当发生故障时,应首先判定出故障类型,若为三相短路,则按保护区末端三相短路电流整定,若为两相短路,则按保护区末端两相短路电流值来整定,由此可大大提高保护的灵敏度。自适应保护的判据为

$$I_m \geq I'_{set} = \left| \frac{K_d \dot{E}}{Z_s + \alpha Z_1} \right| \quad (2)$$

式中: I_m 为保护实测电流; I'_{set} 为保护装置实时计算出的速断定值。

自适应速断保护的实现流程如图3所示。中央保护单元利用全网信息以判断系统运行模式,若并网运行,则通过分析馈线电压、电流的实时采样值计算出系统阻抗,然后计算各就地保护单元处的速断电流定值,通过将实测电流与整定值比较即可做出保护动作与否的判别。若微网孤岛运行,则中央保护单元直接计算孤岛运行时各就地保护单元的速断电流定值,通过比较实测电流与整定值大小关系,做出保护动作与否的判别。

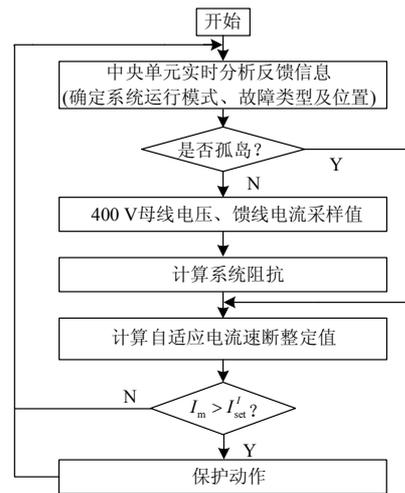


图3 自适应电流速断保护流程图

Fig. 3 Flowchart of adaptive instantaneous over-current protection

2.2.2 自适应限时电流速断保护

自适应限时电流速断保护整定公式为

$$I_{set}^{II} = K_{rel} I_{set}^I \quad (3)$$

$$t_2^{II} = t_1^I + \Delta t \quad (4)$$

式中: I_{set}^I 和 t_1^I 分别为下一条线路的自适应电流速断

保护定值和整定时限; I_{set}^{II} 和 t_2^{II} 分别为本线路自适应限时电流速断保护定值和整定时限; Δt 为保证选择性而设定的延时, 取 0.05 s。

该段保护的实现需要中央保护单元在求出速断电流定值的同时给出限时速断定值。在预定时间内当保护 I 段拒动, 而实测电流值超过 II 段定值时根据中央单元的指令, 由保护 II 段切除故障。

2.2.3 自适应时限过流保护

自适应时限过流保护整定值如式(5)所示。

$$I_{set}^{III} = \left| \frac{K_{ss} K_{rel} I_1}{K_{re}} \right| \quad (5)$$

式中: I_{set}^{III} 为本线路自适应过流保护电流整定值; K_{re} 为继电器返回系数; K_{ss} 为自启动系数; K_{rel} 为可靠系数; I_1 为线路实际负荷。

该段保护的实现需要中央保护单元在求出速断电流和限时速断电流定值的同时, 给出自适应过流保护整定值。当预定时间内保护 I 段和 II 段不动作时, 根据中央单元的指令, 由三段保护切除相应故障。

与传统保护相比, 微网自适应电流保护要首先识别微网运行模式, 并据此实时调整定值以应对不同类型的故障。该保护原理的优点是始终保证对被保护馈线进行保护, 避免因故障类型、系统运行方式等造成的保护范围缩减甚至无保护范围问题。

2.3 微网自适应保护的動作时限整定

2.3.1 并网模式下自适应保护的时限整定

如图 1 所示, 在正常运行时, 联络开关 T 断开, 馈线 1 和 2 独立运行。若 F4 点发生故障, 在 F4 上游的各 CB 均能检测到很大的短路电流, 根据传统电流保护的整定分析, 馈线 1 的各断路器时限整定情况如表 1 所示, 表中 1 代表闭合, 0 代表断开。

表 1 传统保护的動作时限

Table 1 Operation time limit of the traditional protection

馈线 1 断路器	状态	时间/s	馈线 2 断路器	状态	时间/s
CB1	1	0.3			
CB2	1	0.2	CB3	1	0.2
CB1.1	1	0.2	CB4.1	1	0.2
CB1.2	1	0.15	CB4.2	1	0.15
CB2.1	1	0.15	CB5.1	1	0.15
CB2.2	1	0.1	CB5.2	1	0.1
CB3.1	1	0.1	CB6.1	1	0.1
CB3.2	0	0.05	CB6.2	0	0.05

由表 1 可知, 传统的时限动作方案存在弊端, 其一, 保护未安装方向元件无法应对微网内部双向潮流的特性, 从而造成保护的选择性原则失效; 其

二, CB3.2 和 CB6.2 的优先动作不符合保护切除故障的速动性要求; 其三, CB2.1 的定值整定过高, 而 DG 提供的短路电流值较低, 不足以启动保护。

对此, 所提的自适应方向过流保护对时限定值进行了调整, 尤其合理地优化了时限配合。表 2 是针对 F4 点故障时的自适应保护动作时限。由表 2 可知, 这种动作时限既保证了故障的快速切除又保障了非故障区的正常供电。

联络开关闭合后, 微网内部一旦再次故障, 就需要重新调整定值和动作时限, 以正确定位故障位置。如图 4 所示, 当 F4 故障后断路器 1.2 和 2.1 断开, 且联络开关闭合后微网内又出现 F2 点故障, 表 3 给出了调整后的动作时限定值。

表 2 自适应保护的動作时限

Table 2 Operation time limit of the adaptive protection

馈线 1 断路器	状态	时间/s	馈线 2 断路器	状态	时间/s
CB1	1	0.3			
CB2	1	0.1	CB3	1	0.25
CB1.1	1	0.1	CB4.1	1	0.25
CB1.2	1	0.05	CB4.2	1	0.2
CB2.1	1	0.05	CB5.1	1	0.2
CB2.2	1	0.1	CB5.2	1	0.15
CB3.1	1	0.1	CB6.1	1	0.15
CB3.2	1	0.1	CB6.2	1	0.1

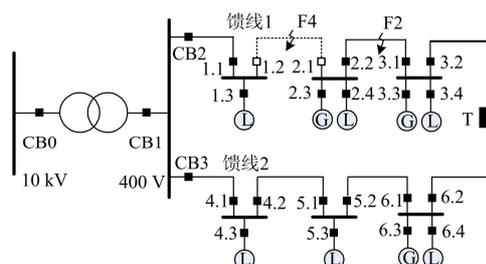


图 4 双重故障下微网示意图

Fig. 4 Microgrid of the double faults

表 3 双重故障时的動作时限

Table 3 Operation time for double faults

馈线 1 断路器	状态	时间/s	馈线 2 断路器	状态	时间/s
CB1	1	0.3			
CB2	1	0.2	CB3	1	0.25
CB1.1	1	0.2	CB4.1	1	0.25
CB1.2	0	0.15	CB4.2	1	0.2
CB2.1	0	0.15	CB5.1	1	0.2
CB2.2	1	0.05	CB5.2	1	0.15
CB3.1	1	0.05	CB6.1	1	0.15
CB3.2	1	0.1	CB6.2	1	0.1

由表 3 可知, 微网故障重构后, 中央保护单元

重新调整的动作时限定值表保证了再次故障时保护的快速性。

微网独特的内部结构决定了潮流的双向性和故障电流的双向性，故障电流的顺、逆时针流向决定了保护整定方案的双向备选。如图 1，以微网正常运行时 T 闭合，而 F4 突然故障为例，给出双向方案的动作时限。

2.3.2 孤岛模式下自适应保护的时限

孤岛模式下的故障电流存在双向可能性，此时的故障电流值约为额定电流的 2 倍。根据孤岛区域内多点信息的反馈，尤其是 DG 运行状态、故障电流大小和方向、电压降落情况来实时调整定值是保证敏感负荷正常供电的重要一环。如图 5 所示，G2 的助增电流使得 CB3.2 和 CB6.2 的故障电流偏小，甚至低于保护定值，而且故障点附近电压降落幅值很大。为避免出现保护误动和拒动现象，可依据临近 CB 的故障电流方向性来确定故障点大致位置，以表 4 中提到的顺时针方向为正方向，根据流经

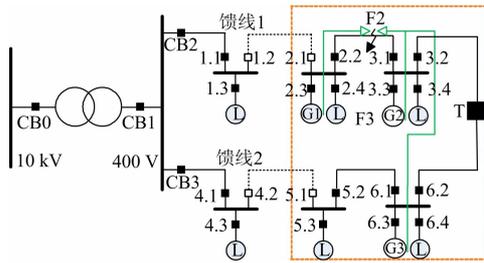


图 5 孤岛模式下故障示意图

Fig. 5 Schematic of the fault in islanded mode

表 4 双向方案的动作时限定值

Table 4 Operation time of the bidirectional case

断路器	状态	从上至下 (顺时针)/s	从下至上 (逆时针)/s
CB1	1	0.75	
CB2	1	0.55	0.05
CB1.1	1	0.55	0.05
CB1.2	0	0.4	0.1
CB2.1	0	0.4	0.1
CB2.2	1	0.3	0.15
CB3.1	1	0.3	0.15
CB3.2	1	0.2	0.2
CB6.2	1	0.2	0.2
CB6.1	1	0.15	0.3
CB5.2	1	0.15	0.3
CB5.1	1	0.1	0.4
CB4.2	1	0.1	0.4
CB4.1	1	0.05	0.55
CB3	1	0.05	0.55

注：表中动作时限考虑了 DG 容量、方向性等因素综合确定

CB2.2 和 CB3.1 的故障电流方向相反这一事实，定位出故障点 F4。

综上，要实现微网自适应过流保护需满足以下要求：①在线监测微网运行模式的变化，主要通过 CB 信息和负荷电流信息反馈；②在线监测微网 DG 的数量、类型以及状态，从而为自适应保护的整定值调整提供依据，因为同步发电机提供的短路电流和逆变型电源贡献的短路电流大小差距明显；③在线检测方向元件信息以及电压、电流故障分量信息来确定故障类型，通过 CB 和负荷电流信息确定故障位置。

另外，并网模式下 DG 的投退及负荷的投切可能造成潮流由微网侧流向系统侧，这一点不会影响保护系统的正常工作，因为中央保护单元及通信系统的实时监测调整以及保护的方向定值设置可满足其正常工作的要求。

3 结论

微网保护系统的正常工作受到很多因素影响，传统的电流保护无法保障微网的安全运行。文中提出的自适应过流保护通过实时检测各点信息、调整保护定值和优化动作时限反应不同的故障情况，完成对故障的快速准确隔离。这种基于光纤通信和自动控制技术的新型保护具有显著的优越性，而且信息通道建立在未来智能配电网的框架基础之上，在节省投资成本的同时，实现了效益最大化。尤其适用于供电要求较高以及清洁发电资源丰富的地区和行业，但随着智能化程度的深入，此种保护方案必将在常规供电区迎来发展空间。

参考文献

[1] 肖宏飞, 刘士荣, 郑凌蔚, 等. 微型电网技术研究初探[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(8): 114-119.
XIAO Hongfei, LIU Shirong, ZHENG Lingwei, et al. A preliminary research on microgrid technology[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(8): 114-119.

[2] 周卫, 张尧, 夏成军, 等. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(3): 1-5.
ZHOU Wei, ZHANG Xiao, XIA Chengjun, et al. Effect of distributed generation on relay protection of distributed system[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 1-5.

[3] 陈新, 姬秋华, 刘飞. 基于微网主从结构的平滑切换控制策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 163-169.
CHEN Xin, JI Qiuhua, LIU Fei. Smooth transferring control method of microgrids based on master-slave configuration[J]. Transactions of China Electrotechnical

- Society, 2014, 29(2): 163-169.
- [4] 殷志锋, 张元敏, 张振波, 等. 一种光伏并网逆变器孤岛检测新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(22): 117-121.
YIN Zhifeng, ZHANG Yuanmin, ZHANG Zhenbo, et al. A new method for islanding detection of grid-connected photovoltaic inverter[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(22): 117-121.
- [5] 姜世公, 李琰, 王卫. 一种微网系统孤岛运行条件下的能量管理策略[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 130-134.
JIANG Shigong, LI Yan, WANG Wei. A novel power management strategy for microgrid on islanding mode[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 130-134.
- [6] LASSETER R H. Microgrids[C] // IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2002: 305-308.
- [7] 王成山, 武震, 李鹏. 微电网管技术研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 1-8.
WANG Chengshan, WU Zhen, LI Peng. Research on key technologies of microgrid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 1-8.
- [8] DEWADASA M, MAJUMDER R, GHOSH A, et al. Control and protection of a microgrid with converter interfaced micro sources[C] // Third International Conference on Power Systems, Brisbane, Australia, December 27-29, 2009: 1-6.
- [9] SORTOMME E, MAPES G J, FOSTER B A, et al. Fault analysis and protection of a microgrid[C] // 40th North American Power Symposium, Calgary, AB, Canada, September 28-30, 2008: 1-6.
- [10] SORTOMME E, VENKATA S S, MITRA J. Microgrid protection using communication-assisted digital relays[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(4): 2789-2790.
- [11] NIKKHAJOEI H, LASSETER R H. Microgrid protection[C] // IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, June 24-28, 2007: 1-6.
- [12] 黄伟, 雷金勇, 夏翔, 等. 分布式电源对配电网相间短路保护的影响[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(1): 93-97.
HUANG Wei, LEI Jinyong, XIA Xiang, et al. Influence of distributed generation on phase-to-phase short circuit protection in distribution network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(1): 93-97.
- [13] 庞建业, 夏晓宾, 房牧. 分布式发电对配电网继电保护的影响[J]. 继电器, 2007, 35(11): 5-8.
PANG Jianye, XIA Xiaobin, FANG Mu. Impact of distributed generation to relay protection of distribution system[J]. Relay, 2007, 35(11): 5-8.
- [14] 王希舟, 陈鑫, 罗龙, 等. 分布式发电与配电网保护协调性研究[J]. 继电器, 2006, 34(3): 15-19.
WANG Xizhou, CHEN Xin, LUO Long, et al. Research on the coordination of distributed generation and distribution system protection[J]. Relay, 2006, 34(3): 15-19.
- [15] 林霞, 陆于平, 王联合. 分布式发电条件下的新型电流保护方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 32(20): 50-56.
LIN Xia, LU Yuping, WANG Lianhe. New current protection scheme considering distributed generation impact[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 32(20): 50-56.
- [16] 鲁宗相, 王彩霞, 闵勇, 等. 微电网研究综述[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.
- [17] 赵上林, 吴在军, 胡敏强, 等. 关于分布式发电保护与微网保护的思考[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(1): 73-77.
ZHAO Shanglin, WU Zaijun, HU Minqiang, et al. Thought about protection of distributed generation and microgrid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(1): 73-77.
- [18] 胡雯, 孙云莲, 张巍. 基于改进的自适应遗传算法的智能配电网重构研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(23): 85-90.
HU Wen, SUN Yunlian, ZHANG Wei. Reconfiguration of smart distribution using improved adaptive genetic algorithm[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(23): 85-90.
- [19] 沈静, 方春恩, 梁鸣华, 等. 基于正弦信号固有特征的故障选相研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(19): 87-94.
SHEN Jing, FANG Chunen, LIANG Minghua, et al. Study of fault-type identification using inherent characteristics of the sinusoidal signal[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(19): 87-94.

收稿日期: 2014-05-08; 修回日期: 2014-11-01

作者简介:

邓超平(1971-), 男, 博士, 研究方向为继电保护及自动化. E-mail: dengchp@sina.com

(编辑 葛艳娜)