

DOI: 10.7667/PSPC151584

考虑 DG 接入位置和容量的配电网保护综合改进方案

黄大为, 潘波

(东北电力大学电气工程学院, 吉林 吉林 132000)

摘要: 为了解决分布式电源(distributed generations, DG)接入配电网后引起的传统配电网继电保护拒动、误动、灵敏度降低等问题, 提出一种适应 DG 大量接入配电网的改进保护方案。从 DG 接入位置和容量角度, 分析接入母线和馈线对传统配电网三段式电流保护和反时限过电流保护的影响, 并计算传统配电网三段式电流保护允许接入容量。通过配置低电压加速反时限过电流保护, 以及加装少量方向元件对传统配电网继电保护进行改进来满足含大量 DG 的配电网保护要求。利用 PSCAD/EMTDC 对含 DG 的 10 kV 配电系统进行了仿真分析, 仿真结果表明, 该改进方法能够满足不同容量的 DG 接入配电网保护要求, 具有很好经济性和实用性, 符合我国当前配电网发展现状。

关键词: 分布式电源; 配电网; 接入位置; 三段式电流保护; 低电压加速反时限过电流保护

Improved methods of distribution network protection scheme considering connection locations and capacity of DG

HUANG Dawei, PAN Bo

(School of Electrical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132000, China)

Abstract: When distributed generations are connected into distribution network, it will bring about many problems in traditional distribution network, such as protective relays refusing to operate, mal-operation, de-sensitivity, etc. Therefore, an improved protection scheme adapt to mass DG access to distribution network is put forward. From the perspective of DG connecting location and capacity, the impact of connected bus and feeder on traditional three-stage current protection and inverse-time over-current protection is analyzed, and the allowed accessing capacity of three-stage current protection is calculated. Verse-time over-current protection based on low voltage acceleration and a few directional components are configured to meet the protection requirements of the distribution network with mass DG. A 10 kV distribution system with DG is simulated and analyzed by PSCAD/EMTDC. Simulation results show that the improved method can meet protection requirements of distribution network with different capacity DG access, has good economy and practicality, and confirms to the development status of current distribution network.

Key words: DG; distribution network; connection location; three-section current protection; UAITOC

0 引言

传统配电网主要是以单电源供电的辐射状网络为主, 采用的继电保护以三段式电流保护^[1]为主。DG 接入后配电网变成了多电源供电的有源网络, 当系统发生故障时, 短路电流大小、方向等都会发生变化, 因此传统单纯基于故障电流大小而动作的三段式电流保护已经不能满足 DG 大量接入^[2]。

DG 种类多样, 按照并网方式可以分为两类^[3]:

一类是变压器直接并网的电机型 DG; 一类是通过逆变器并网的 DG 简称逆变型 DG(inverter interfaced distributed generation, IIDG)。在故障分析时, 电机型 DG 故障电流特性类似于同步电机可以等效成电压源和电抗串联的形式^[3]; IIDG 故障电流取决于控制方式可以等效成电流源^[4-7], 其最大故障电流一般为额定电流 1.2 倍^[8]。

现有的含 DG 配电网保护主要可以分为两类: 第一类对传统配电网保护的改进, 第二类利用发达通讯网络实现配电网保护信息交换的智能保护。文献[9-11]根据 DG 容量大小、接入位置, 以及电网运

行状态, 对保护整定值在线实时进行整定, 但是没有考虑 DG 故障时的电流特性; 文献[12]在 DG 上游线路两侧分别配置带方向的三段式电流保护, 由于风电、光伏等利用可再生能源发电的 DG 具有波动性, 保护整定难度增加, 降低了保护的可靠性; 文献[13]通过比较线路两端故障分量电流方向, 判断故障发生位置, 但该方法线路两端需要配置通讯装置。文献[14-15]提出了一种基于通讯的区域保护方案, 把配电网划分成多个区域, 通过比较流过保护正序电流分量的方向, 判断故障位置; 文献[16]提出了一种基于 SDH 的 EOS 板卡通信技术的区域保护方案。文献[17]利用配电网自动化 SCADA 系统的通讯功能和各 Agent 之间的协作能力, 提出了含 DG 配电网自适应保护方案, 该方案需要对全网保护实时同步采样, 通信信息量大, 投资成本较高。相对于智能保护, 从经济性和实用性角度考虑, 对传统配电网保护进行改进更能适应我国当前配电网发展现状。

本文以 DG 接入配电网位置和容量为切入点, 分析 DG 接入对三段式电流保护和反时限过电流保护(inverse-time overcurrent protection, ITOC)的影响。计算了满足三段式电流保护要求 DG 最大允许接入容量的此基础上, 提出了含 DG 配电网继电保护综合改进方案。

1 DG 接入对配电网保护影响分析

我国配电网保护主要以三段式电流保护为主, 部分采用反时限过电流保护^[18-19], 本文按 DG 接入母线和馈线两种情况, 分析 DG 对配电网三段式电流保护和反时限过电流保护的影响。

1.1 DG 对三段式电流保护影响

DG 例如风电、光伏等可再生能源发电具有很大的随机性。图 1 为 DG 接入配电网母线的情况, 本文以保护 K2 为例对其电流 I、II 和 III 段保护影响进行分析。DG 接入后缩短了保护 K2 保护范围, 有可能造成保护 K2 的 I 段不能满足最小保护范围要求, 一般为被保护线路全长的 15%~20%。保护 K2 电流 I 段满足最小保护范围约束如式(1)。

$$I_{K2set}^I \leq I_{K2f}^I \quad (1)$$

式中: I_{K2set}^I 为 DG 接入后保护 K2 电流 I 段整定值; I_{K2f}^I 为保护所要求的最小保护范围处发生短路, 保护 K2 可能流过的最小电流, 即系统以最小方式运行, DG 输出故障电流最小, 最小保护范围处发生两相短路故障, 流过保护 K2 的故障电流。

DG 接入后保护 K2 灵敏度会降低, 可能造成保

护 K2 的 II 段灵敏度不满足保护灵敏度要求, 一般 $k_{sen} \geq 1.3 \sim 1.5$ 。保护 K2 电流 II 段灵敏度约束如式(2)。

$$k_{sen} = \frac{I_{K2f}^{II}}{I_{K2set2}^{II}} \geq K \quad (2)$$

式中: I_{K2set2}^{II} 为 DG 接入后保护 K2 电流 II 段整定值; I_{K2f}^{II} 为线路 L2 末端发生短路, 保护 K2 可能流过的最小电流, 即系统以最小方式运行, DG1 输出故障电流最小, DG2 输出故障电流最大时, 线路 L2 末端发生两相短路故障; K 为保护 K2 电流 II 段保护灵敏度要求的最小值。

保护 III 段是按照可能流过的最大负荷电流进行整定的, 因此 DG 接入母线对馈线保护影响不大。

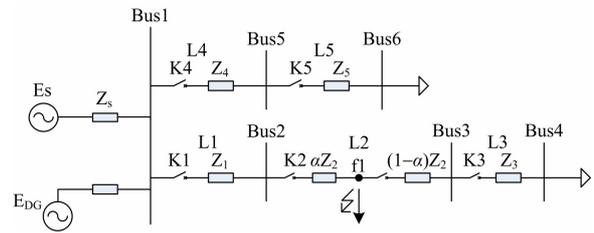


图 1 DG 接入母线的配电网系统

Fig. 1 Distribution system with DG access to bus

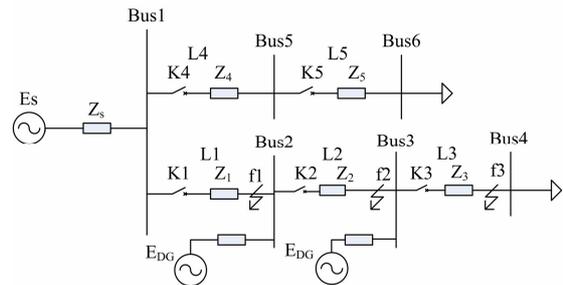


图 2 DG 接入馈线

Fig. 2 Distribution system with DG access to feeder

图中 K1~K5 为配电网保护, $Z_1 \sim Z_5$ 为线路 L1~L5 线路阻抗。

图 2 为 DG 接入配电网馈线的情况, DG 接入馈线最大不同在于 DG 上游发生故障时, 存在的逆向潮流可能造成上游保护电流 III 段误动作。图 2 保护 K2 电流 III 段不误动作约束如式(3)。

$$I_{K2set}^{III} \geq I_{K2}^{III} \quad (3)$$

式中: I_{K2set}^{III} 为 DG 接入后保护 K2 电流 III 段整定值; I_{K2}^{III} 为可能的最大逆向潮流, 即 DG2 输出功率最大, K2 上游发生故障时, 流过保护 K2 的电流值。

1.2 DG 对反时限过电流保护影响

以图 2 为例进行分析, DG 接入配电网后反时限过电流保护存在的问题主要有以下几点:

(1) 两个 DG 中游 L2 或 DG 下游 L3 发生短路

故障时, DG 会对保护 K1 故障电流有分流作用, 若 DG 容量较大可能造成保护 K1 动作延时过长。

(2) DG 下游 L3 发生故障时, DG1 对保护 K2 故障电流有助增作用, DG2 对保护 K2 故障电流有分流作用, 且故障点距离 DG2 接入点越远分流作用越明显, 因此保护 K2 故障电流改变大小不能确定, 当 DG 容量较大时可能造成 K2 和 K3 保护配合失效。

(3) 两个 DG 下游 L3 发生故障时, 两个 DG 都会对保护 K3 故障电流有助增作用, 若保护 K3 动作时限低于保护 K3 的固有动作时限, 可能导致保护 K3 和 K1、K2 配合失效。

2 含 DG 的配电网保护改进方案

当 DG 接入容量较小时, 对配电网三段式电流保护进行重新整定即可满足配电网保护要求。当 DG 容量较大时, 通过对 ITOC 进行改进和配置方向元件满足配电网保护要求。

当 DG 接入母线容量大于下游保护电流 I 或 II 段最大允许接入容量时, 可以采用 UAITOC 解决三段式电流保护容量限制和反时限过电流保护动作时间过长的问题。当系统以最小方式运行且 DG 输出功率最小, 线路发生相间短路时, 流过保护的电流最小, 有可能保护延时时间过长, 不能满足保护速动性要求, 这种情况下保护安装处故障电压也较小, 且保护安装处距离故障点越近, 电压跌落越明显, 所以本文在反时限特性曲线的基础上乘以故障相电压标幺值 u , 这样就解决了因 DG 输出功率减小, 故障电流减小, 保护延时过长的问题。含随机性 DG 配电线路故障时电流变化较大, 且需要与上下级保护配合, 应该采用反时限特性曲率较大的曲线^[20], 所以本文采用曲线形状为 1 的反时限特性曲线。低电压加速反时限特性曲线数学模型如下。

$$t = \frac{t_p u}{\left(I / I_p\right)^1 - 1} \quad (4)$$

$$I_p = \frac{K_{rel}^{III} K_{ss}}{K_{re}} I_{L_max} \quad (5)$$

式中: I_{L_max} 为正常运行时最大负荷电流; K_{rel}^{III} 为可靠系数; K_{ss} 为启动系数, 数值大于 1, 应由网络具体接线和负荷性质确定; K_{re} 为电流继电器返回系数。

图 3 取 $t_p = 0.14$; 启动电流 I_p 为最大负荷电流的 1.47 倍; u 分别取 0.9、0.7、0.5、0.3; 横坐标 I 为故障电流值, 纵坐标为保护动作时间 t 。DG 输出功

率越小, 故障时流过保护的电流就越小, 此时保护安装处电压跌落越大, UAITOC 能够自适应 DG 容量的变化, 即 DG 输出功率越小, 低电压加速反时限特性曲率越大, 从而缩短了保护动作时间。因此 UAITOC 能够解决电流 I 或 II 段最大允许接入容量限制和 ITOC 保护动作延时问题。

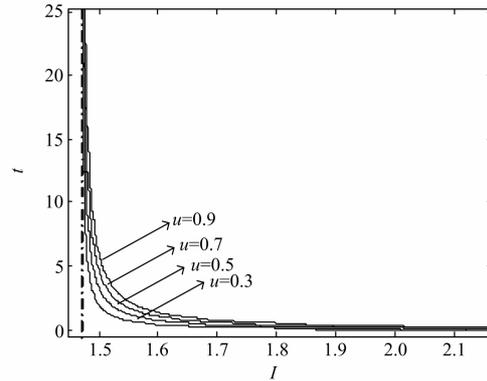


图 3 低电压反时限过电流保护曲线

Fig. 3 Curve of low voltage acceleration inverse-time over current protection

DG 接入馈线时以图 4 为例进行分析, 接入点上游 L1 和中游 L2 线路相当于两端供电网络, 所以线路两端都需要配置保护, 当 DG 接入容量小于上游保护 K1 电流 III 段保护允许接入容量时, DG 对上游电流 I 段和 II 段保护影响不大, 且没有超出电流 III 段保护允许接入容量, 原先的三段式电流保护就能满足继电保护要求, 线路对侧保护可以采用联动的动作方式, 即靠近电网侧保护 K1 动作则线路对侧保护 K5 同时动作, 这样就能隔离故障。当 DG 接入容量大于上游保护 K1 电流 III 段允许接入最大容量时, 上游靠近电网侧保护 K1 加装方向元件, 只有电流由电网侧流向下游馈线时保护才启动, 线路对侧保护 K5 也是和电网侧保护联动方式动作, 从而隔离故障线路。

若 DG1 的接入容量小于保护 K2 电流 I、II 最大允许接入容量, 且 DG2 接入容量小于保护 K2 电流 III 段最大允许接入容量时, 只需要对 K2 三段式电流保护重新整定即可。若 DG1 的接入容量大于保护 K2 电流 I、II 段最大允许接入容量, 且 DG2 接入容量小于保护 K2 电流 III 段最大允许接入容量时, 保护 K2 则采用 UAITOC, 同时保护 K2 配置电流 III 段保护与之配合使用。若 DG1 的接入容量小于保护 K2 电流 I、II 最大允许接入容量, 且 DG2 接入容量大于保护 K2 电流 III 段最大允许接入容量时, 需要对保护 K2 三段式电流保护重新整定和配置方向元件。若 DG1 的接入容量大于保护 K2 电流 I、II

段最大允许接入容量, 且 DG2 接入容量大于保护 K2 电流 III 段最大允许接入容量时, 需要对 K2 配置带方向的 UAITOC 和电流 III 段保护。对侧保护 K6 动作特性同 K5。

接入点下游保护类似于 DG 接入母线情况, DG 接入容量小于保护 K3 和 K4 电流 I、II 段最大允许接入容量时, 对保护进行重新整定就可以满足保护要求。DG 接入容量大于保护 K3 和 K4 电流 I、II 段最大允许接入容量时采用 UAITOC, 保护 K3 和保护 K2 存在保护配合失效的问题, 可以通过在保护 K3 除配置电流 III 段保护来解决。

图 4 为 DG1 的接入容量小于保护 K2 电流 I、II 最大允许接入容量, DG2 接入容量大于保护 K2 电流 III 段最大允许接入容量, DG1 和 DG2 接入容量大于保护 K3 和 K4 电流 I、II 段最大允许接入容量。保护 K1 采用原有的三段式电流保护, 保护 K2 采用三段式电流保护重新整定和配置方向元件, 保护 K3 和 K4 配置 UAITOC 电流 III 段保护。

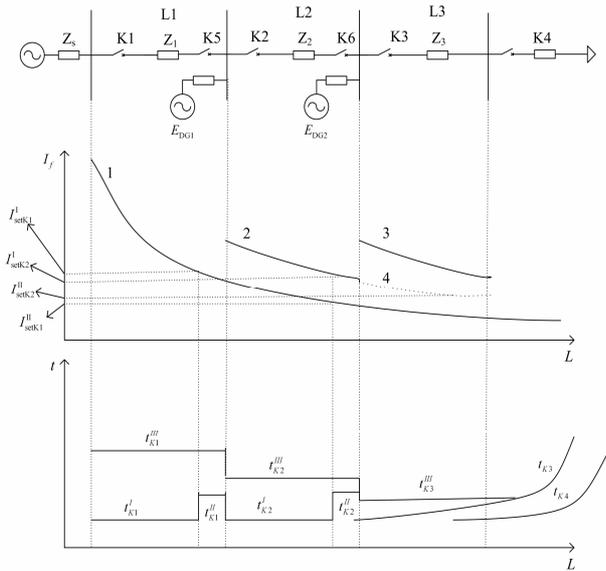


图 4 阶段式电流保护的配合和实际动作时间示意图

Fig. 4 Schematic of coordination of stage current protection and actual operation time

不同容量 DG 接入母线和馈线综合改进方法如表 1 所示。

3 保护方案仿真验证

图 5 为某市 10 kV 中性点不接地配电网, 系统容量为 200 MVA, 额定电压为 10 kV, 最大运行方式电源等效阻抗为 0.5 Ω, 最小运行方式电源等效阻抗为 0.8 Ω。线路为架空线路, 线路参数为

表 1 保护综合改进方法

Table 1 Comprehensive improved method of protection

DG 接入 母线	小于馈线保护电流 I、II 段允许接入容量	重新整定配电网保护整定值	
	大于馈线保护电流 I、II 段允许接入容量	采用 UAITOC 和电流 III 段配合保护	
DG 接入 馈线	小于保护 K _i 电流 III 段下游最大允许接入容量	小于保护 K _i 电流 I、II 段上游保护允许接入容量	对保护 K _i 三段式电流保护重新整定
		大于保护 K _i 电流 I、II 段上游保护允许接入容量	保护 K _i 采用 UAITOC 和电流 III 段配合保护
	大于保护 K _i 上游保护电流 III 最大允许接入容量	小于馈线保护 K _i 电流 I、II 段允许接入容量	保护 K _i 配置带方向的三段式电流保护
		大于下游保护 K _i 电流 I、II 段允许接入容量	保护 K _i 配置带方向 UAITOC 电流 III 段配合保护

$x_1=0.342\Omega/\text{km}$, $r_1=0.33\ \Omega/\text{km}$, 每段线路长度均为 2 km。每条母线接有额定容量为 2 MVA, 功率因数为 0.85 的负荷, DG 模型采用随机的 IIDG, 其输出最大故障电流为额定电路 1.2 倍, 最小为零。利用 PSCAD/EMTDC 仿真软件对提出的保护方案进行仿真验证。

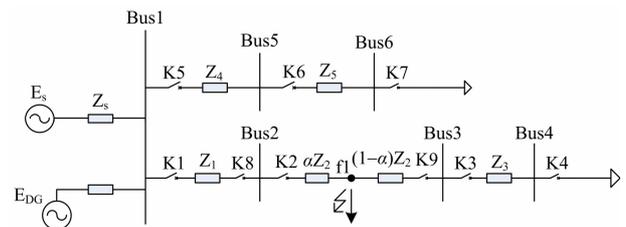


图 5 DG 接入母线配电系统

Fig. 5 Distribution system with DG access to bus

根据上文分析 IIDG 接入后对保护 K1 和 K5 的 I、II 段整定值影响最大且相同, 对电流 III 段保护没有影响, 表 2 为 Bus1 母线接入容量分别为: 0、3、4.21、6 MW 的 IIDG 时, 保护 K1 电流 I 段整定值, 其中电流 I 段可靠系数为 1.2, 电流 II 段可靠配合系数为 1.1。

表 2 保护 K1 整定值

Table 2 Setting values of protection K1

IIDG 容量	0.00 MW	3.00 MW	4.21 MW	6.00 MW
I 段整定值	5.16 kA	5.41 kA	5.51 kA	5.66 kA
II 段整定值	3.35 kA	3.60 kA	3.70 kA	3.85 kA

图 6(a)为系统以最小方式运行, 且 IIDG 输出功率为 0 时, 线路 Z₁ 距离 Bus1 母线 15% 处; 图 6(b)

线路 Z_1 末端发生两相短路故障流过保护 K1 电流波形图, 其中 K1 配置 UAITOC。

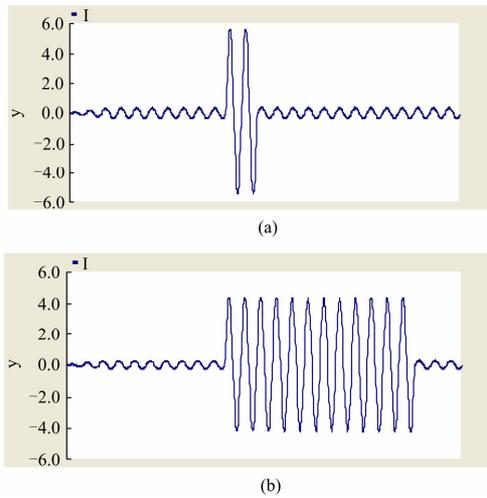


图 6 保护 K1 仿真波形图

Fig. 6 Simulation waveform of protection K1

由图 6(a)当 IIDG 接入容量为 4.21MW 时, 流过保护 K1 的故障电流为 5.50 kA, 若采用的电流 I 段保护, 则故障电流小于整定值导致拒动, 采用本文 UAITOC 则能正确动作。由图 6(b)知故障电流为 3.3 kA, 若采用电流 II 段保护, 则不能满足保护线路全长, 采用本文的 UAITOC 则能正确动作。

表 3 为保护 K1 按照 Bus1 母线处接有 6 MW 的 IIDG 时进行整定。系统以最小方式运行, 且 IIDG 源输出功率为 0 时, 线路 Z_1 距离 Bus1 母线 15% 处和线路 Z_1 末端发生两相短路故障分别采用 ITOC 和 UAITOC 动作情况。

表 3 保护 K1 动作情况

Table 3 Protection K1 operation situation

占线路百分比/%	相电压标么值	故障电流/kA	ITOC 动作时间/s	UAITOC 动作时间/s
15	0.078	5.50	0.45	0.035 1
100	0.41	4.30	0.60	0.246 0

由表 3 可知采用本文所提出的 UAITOC 不仅能够正确切除故障。而且动作时间明显比常规反时限过电流保护动作时间短。

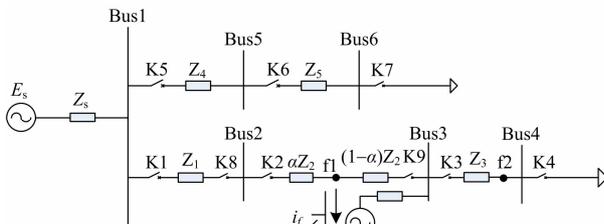


图 7 DG 接入馈线配电系统

Fig. 7 Distribution system with DG access to feeder

图 7 各参数同图 5。根据上文可知 DG 对保护 K3 和 K4 影响类似, 配置的保护也基本相同, 仿真结果也表明相同, 这里就不再赘述。其中保护 K1 和 K2 电流 III 段整定值分别为: 0.52 kA 和 0.34 kA。DG 接入后引起的逆向潮流可能造成上游保护 K1 和 K2 电流 III 段误动作, 表 4 为 DG 容量分别是 0、3、6、9 MW 时, 线路 Z_1 首段故障时流过保护 K1 和 K2 的故障电流

表 4 保护 K1、K2 故障电流

Table 4 Fault current of protection K1、K2

IIDG 容量	0.00 MW	3.35 MW	6.00 MW	9.00 MW
K1	0.003	0.36	0.63	0.95
K2	0.001	0.35	0.60	0.91

由表 4 可知当 DG 容量大于 3.35 MW 时会引起保护 K2 电流 III 段误动作。当 DG 容量大于上游保护电流 III 段最大允许接入容量时, 采用本文提出的在保护 K1 和 K2 出配置方向元件, 可以避免保护误动作。

4 结论

本文分析了 DG 接入母线和馈线对传统配电网三段式电流保护和反时限过电流保护影响, 并计算满足配电网保护三段式电流保护约束的最大允许接入容量。根据我国配电网发展现状, 从经济性和实用性角度, 在传统配电网继电保护基础上, 提出了含 DG 配电网保护综合改进方案。通过对改进方案分析可知传统三段式电流保护母线允许接入容量大于馈线允许接入容量; DG 接入母线相对于接入馈线对原有的保护改动少, 且不需要额外增加方向元件经济性更好, 实用性更强, 因此, 从继电保护的角度来看 DG 更适合接入母线。方案适用于多个不同容量 DG 接入配电网情况, 根据 DG 接入位置和容量确定不同的保护方式, 从而解决了传统配电网三段式电流保护 DG 渗透率低的问题。通过算例分析验证了方案的有效性。

参考文献

- [1] 王江海, 邵能灵, 宋凯, 等. 考虑继电保护动作的分布式电源在配电网中的准入容量研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(22): 37-43.
WANG Jianghai, TAI Nengling, SONG Kai, et al. Penetration level permission of for DG in distributed network considering relay protection[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(22): 37-43.
- [2] 张勇. 分布式发电对电网继电保护的影响综述[J]. 电

- 力系统及其自动化报, 2010, 22(2): 145-151.
- ZHANG Yong. Review of impact of distributed generation on distribution system protection[J]. Proceedings of the CSU-EPSA: 145-151.
- [3] 姚致清, 张茜, 刘喜梅. 基于 PSCAD/EMTDC 的三相光伏并网发电系统仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(17): 76-81.
- YAO Zhiqing, ZHANG Qian, LIU Ximei. Research on simulation of a three-phase grid-connected photovoltaic generation system based on PSCAD/EMTDC[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(17): 76-81.
- [4] 毕天姝, 刘素梅, 薛安成, 等. 逆变型新能源电源故障暂态特性分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(13): 165-171.
- BI Tianshu, LIU Sumei, XUE Ancheng, et al. Fault characteristics of inverter-interfaced renewable energy sources[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(13): 165-171.
- [5] 方景辉, 温镇. 分布式光伏就地自适应电压控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(23): 49-55.
- FANG Jinghui, WEN Zhen. Research on local adaptive voltage control strategy based on distributed PV[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(23): 49-55.
- [6] 王久和, 慕小斌, 张百乐, 等. 光伏并网逆变器最大功率传输控制研究[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 49-56.
- WANG Jiuhe, MU Xiaobin, ZHANG Baile, et al. Research on maximum power transfer control of photovoltaic grid connected inverters[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(6): 49-56.
- [7] 孟建辉, 王毅, 石新春, 等. 基于虚拟同步发电机的分布式逆变电源控制策略及参数分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(12): 1-10.
- MENG Jianhui, WANG Yi, SHI Xinchun, et al. Control strategy and parameter analysis of distributed inverters based on VSG[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(12): 1-10.
- [8] 郭文明, 牟龙华. 考虑灵活控制策略及电流限幅的逆变型分布式电源故障模型[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(24): 6359-6367.
- GUO Wenming, MU Longhua. Fault model of inverter-based distributed generator considering flexible control strategy and current limitation[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(24): 6359-6367.
- [9] 余琼, 余胜, 李晓晖. 含分布式电源的配网自适应保护方案[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 110-115.
- YU Qiong, YU Sheng, LI Xiaohui. An adaptive protection scheme for meshed distribution system with DG[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 110-115.
- [10] 孙景钉, 李永丽, 李盛伟, 等. 含逆变型分布式电源配电网自适应电流速断保护[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 71-76.
- SUN Jingliao, LI Yongli, LI Shengwei, et al. Study on adaptive current instantaneous trip protection scheme for distribution network with inverter interfaced DG[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(14): 71-76.
- [11] 邓超平, 唐志军, 张曦, 等. 一种新型的微网自适应过流保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 38-43.
- DENG Chaoping, TANG Zhijun, ZHANG Xi, et al. A novel adaptive overcurrent protection method for microgrid[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(4): 38-43.
- [12] 陈璐璐. 含分布式电源的配电网保护方案设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2014.
- CHEN Lulu. Research on protection of distribution network with distributed generation[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.
- [13] TATCHO P, LI Hui, JIANG Yu, et al. A novel hierarchical section protection based on the solid state transformer for the future renewable electric energy delivery and management (FREEDM) system[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2013, 4(2): 1096-1104.
- [14] 唐志军, 邹贵彬, 高厚磊, 等. 含分布式电源的智能配电网保护控制方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(8): 9-14.
- TANG Zhijun, ZOU Guibin, GAO Houlei, et al. Protection and control scheme for smart distribution grid with distributed resource[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(8): 9-14.
- [15] 肖伟栋, 夏明超, 唐念. 考虑多 DG 接入的配电网区域保护新方案[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 103-109.
- XIAO Weidong, XIA Mingchao, TANG Nian. A new regional protection scheme for distribution network considering the introduction of multi-DGs[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 103-109.
- [16] 杨贵, 孙磊, 李力, 等. 区域保护与控制系统网络拓扑方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 49-55.
- YANG Gui, SUN Lei, LI Li, et al. Research on regional protection and control system network topology[J].

- Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 49-55.
- [17] 蒲天骄, 刘克文, 李焯, 等. 基于多代理系统的主动配电网自治协同控制及其仿真[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(8): 1864-1874.
- PU Tianjiao, LIU Kewen, LI Ye, et al. Multi-agent system based simulation verification for autonomy-cooperative optimization control on active distribution network[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(8): 1864-1874.
- [18] 李永丽, 金强, 李博通, 等. 低电压加速反时限过电流保护在微电网中的应用[J]. 天津大学学报, 2011, 44(11): 955-960.
- LI Yongli, JIN Qiang, LI Botong, et al. Application of inverse-time overcurrent protection based on low voltage acceleration in micro-grid[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(11): 955-960.
- [19] 马钊, 周孝信, 尚宇炜, 等. 未来配电系统形态及发展趋势[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(6): 1289-1298.
- MA Zhao, ZHOU Xiaoxin, SHANG Yuwei, et al. Form and development trend of future distribution system[J]. Proceedings of the CSEE, 2015, 35(6): 1289-1298.
- [20] 严琪, 肖万芳. 反时限电流保护整定计算相关问题研究[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(7): 77-80.
- YAN Qi, XIAO Wanfang. Setting coordination of inverse-time over-current relays[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(7): 77-80.
-
- 收稿日期: 2015-07-31; 修回日期: 2016-01-25
- 作者简介:
- 黄大为(1976-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力系统运行与控制、电力系统经济调度和发电企业决策;
E-mail: hdw76@163.com
- 潘波(1988-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为配电网继电保护与新能源并网。
- (编辑 张爱琴)