

DOI: 10.7667/PSPC151866

一种含高渗透率分布式电源配电网自适应过电流保护方案

周宁¹, 雷响², 荆晓睿¹, 贺翔¹, 焦在滨²

(1. 国网河南省电力公司电力科学研究院, 河南 郑州 450052; 2. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 针对分布式电源接入对配电网线路电流保护的影响, 提出了一种适用于高渗透率分布式电源接入配电网的自适应过电流保护新方法。该方法利用故障分量网络, 对分布式电源背侧等效阻抗进行计算, 将其融入到配电网过电流保护整定计算中。给出了实时的主保护和后备保护的整定值, 从而构建自适应过电流保护方案。大量的仿真表明, 与传统过流保护相比, 所提出的自适应过电流保护可以解决由于分布式电源接入配电网, 过流保护的保护区范围超越等问题, 具有良好的应用前景。

关键词: 分布式电源; 自适应电流保护; 故障分量; 高渗透率; 等效阻抗

Adaptive over-current protection scheme for distribution network with high penetration rate of DG

ZHOU Ning¹, LEI Xiang², JING Xiaorui¹, HE Xiang¹, JIAO Zaibin²

(1. Henan Electric Power Company Electric Power Research Institute, Zhengzhou 450052, China;

2. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: This paper presents a new adaptive overcurrent protection for distribution network with high penetration rate of DG, on the basis of the impact of distributed generation connecting to the distribution network. According to fault component network, the equivalent impedance of DG's back side is calculated, which is integrated with distribution over current protection setting calculation. The main protection and back-up protection setting values are calculated, and the adaptive overcurrent protection scheme is constructed. Simulation results show that, compared with conventional overcurrent protection, the proposed adaptive overcurrent protection can solve the problem of protection scope overreach of overcurrent protection due to DG access to distribution network, so it has a good prospect of engineering application.

Key words: DG; adaptive overcurrent protection; fault component; high penetration rate; equivalent impedance

0 引言

随着全球能源短缺和环境污染的日益恶化, 分布式电源以其资源丰富、清洁无污染等优势得到了国家能源政策的扶持和社会的广泛关注^[1]。但高渗透率的分布式电源接入配电网将会改变电网原有的单电源、放射状结构特征, 使配电网中各支路的潮流不再是单方向的流动, 这将直接改变系统中短路电流的方向和大小, 对现有的过流保护产生了严重的影响。同时, 孤岛运行模式以及分布式电源的大量接入, 导致其故障电流的特征不明显, 使得配电网中传统的保护策略存在拒动或者误动的情况^[2]。目前采取的应对策略是, 一旦此类配电网中发生故障, 立即切除所有 DG, 以确保继电保护能够正确动作。而实际运行经验表明, 配电网中 80% 的故障都是瞬时性故障, 盲目切除 DG 将会限制 DG 的正

常运行, 削弱供电可靠性^[3-6]。因此, 研究含高渗透率分布式电源配电网的自适应电流保护方案对提高配电网运行的可靠性具有重要的意义^[7]。

国内外学者就分布式电源接入配电网的继电保护问题进行了深入的研究。文献[8]为了解决主动配电网双向潮流对电缆型配电网保护影响, 分析了 DER 接入电缆型配电网对保护带来的问题, 提出了适用于主动配电网的差动保护方案。文献[9-11]通过装设短路电流限制器来解决分布式电源对电流保护的影响。文献[12]提出了一种考虑故障严重程度和分布式电源并网情况的在线整定策略, 并以此构建过电流保护方案。文献[13]针对 DG 出力随机性导致电流保护整定困难的问题, 提出了一种保护整定值随 DG 功率输出水平、故障电流水平同进退的配电网保护策略。文献[14]将 DG 等效为注入的电流源, 利用矩阵计算各支路上短路电流分配, 来消除

DG 对保护整定值的影响。文献[15]提出了一种含分布式电源配电网的广域电流保护策略。文献[16]考虑了 DG 孤岛运行和并网运行两种运行方式,提出了一种定值切换策略,保证了继电保护的可靠性。虽然目前 DG 的渗透率不高,并且 DG 自身有一定的限制短路电流的能力,其对阶段式电流保护的影响主要表现在保护范围的扩大或缩小。但是,随着配电网中分布式电源渗透率的不断提高,阶段式电流保护也可能失去配合而发生拒动和超越情况,影响配电网的可靠运行。

本文在分析 DG 对传统保护整定与配合关系影响的基础上,提出了一种含高渗透率分布式电源配电网的自适应过流保护方案。该方法将 DG 等效为理想电压源与等效阻抗组成的戴维南电路,从而将 DG 的等效阻抗引入到阶段式电流保护整定值计算中,根据 DG 的运行情况自适应地调整阶段式电流保护的整定值。这种方法不受 DG 接入点、出力随机性以及接入容量的影响,能够保证在任何运行工况下保护均具有良好的性能。基于 PSCAD 的仿真结果表明,该方法较传统阶段式电流保护在可靠性、选择性、灵敏性等性能上均有了较大的提高,能够有效解决含高渗透率分布式电源配电网电流保护的超越与拒动问题,具有良好的应用前景。

1 高渗透率分布式电源对配电网阶段式电流保护的影响分析

通常可以将配电系统中 DG 容量与负荷容量相除得到的百分值定义为 DG 的渗透率,将故障时系统侧电源提供的短路电流与 DG 提供的短路电流相除得到的值定义为刚度比。一般认为当 DG 渗透率大于 10%,刚度比小于 20 时,就需要考虑 DG 的接入对配电网保护的影响^[17-19]。

如图 1 所示的典型配电网结构中,系统电源 S1 接于母线 A 处,向配电网辐射性供电。分布式电源 S_{DG} 接于母线 B 处。

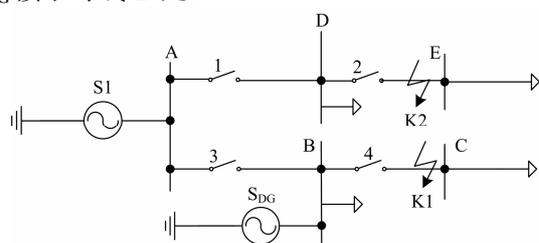


图 1 配电网网架图

Fig. 1 Skeleton of a distribution network

1.1 分布式电源接入对下游线路继电保护的影响

如图 1 所示,当线路 BC(K1 处)发生三相故障

时,系统电源 S₁ 和分布式电源 S_{DG} 都会向故障点提供短路电流,相较于没有 S_{DG} 的情况下,保护 4 所检测到的故障电流增加,即分布式电源 S_{DG} 对保护 4 起助增作用。考虑到目前配电网中分布式电源的渗透率较低,同时光伏等通过电力电子装置并网的分布式电源具有短路电流限制能力,故 DG 的助增作用有利于保护装置动作,能够提高保护 4 的灵敏性。但若分布式电源的渗透率较高,则由于 DG 的助增电流增大,有可能导致下级线路故障时,本线路保护误动,使保护失去选择性。

1.2 分布式电源接入对上游线路继电保护的影响

如图 1 所示,当线路 BC(K1 处)发生三相故障时,系统电源 S1 和分布式电源 S_{DG} 都会向故障点提供短路电流,致使线路 BC 电流增加,抬高了母线 B 的电压,从而减少了系统电源向故障点提供的短路电流,保护 3 所检测到的短路电流减少,即分布式电源 S_{DG} 对保护 3 起到了外汲作用,降低了保护 3 的灵敏度,甚至可能引起保护 3 的拒动。作为线路 BC 的后备保护,在其主保护拒动的情况下,保护 3 不能起到后备的作用。

1.3 分布式电源接入对相邻馈线电流保护的影响

如图 1 所示,当线路 DE(K2)处发生三相故障时,由于系统电源 S1 的等效电抗 Z_s 远远小于线路阻抗,这时短路电流引起的电压降落主要集中在线路 AE 上,而母线 A 处电压大致不变,此时由分布式电源 S_{DG} 提供的短路电流变得很小,对相邻馈线保护 1、2 的过流保护影响不大。

1.4 分布式电源出力波动性对继电保护的影响

如图 1 所示,对于保护 4 而言,若其电流保护按照 DG 接入后最大出力、系统最大运行方式进行整定,则当在 DG 退出运行或出力减少情况下发生故障时,保护感受到的短路电流会随着 DG 输出功率的减小而下降,从而导致保护范围缩小,保护灵敏度下降。在分布式电源渗透率高的情况下,甚至会出现保护范围缩至 0 而失效^[13]。

对于保护 3 而言,若其电流保护按照 DG 接入后最大出力、系统最大运行方式进行整定,则当在 DG 退出运行或出力减少情况下发生故障时,保护感受到的短路电流会随着 DG 输出功率的减小而增加,从而导致保护范围增加,保护灵敏度提高。在分布式电源渗透率高的情况下,甚至会出现保护范围延伸至下条线路,失去了选择性。

2 含高渗透率分布式电源接入配电网的自适应电流保护

如图 1 所示,高渗透率分布式电源接入的配电

网自适应过流保护方案首先利用戴维南等效定理，将分布式电源等效为理想电源串联等效电抗的形式，引入分布式电源背侧等效阻抗 Z_{DG} 的概念，则分布式电源的输出能力便可以通过背侧等效阻抗的大小来进行衡量。

2.1 考虑分布式电源波动性的自适应电流保护原理

以图 1 为例，将分布式电源等效背侧阻抗融入到配电网电流保护整定值计算公式中，消除了由分布式电源输出能力波动带来的整定困难问题，新的整定值计算公式如式(1)、式(2)所示。

保护 4 的 I 段电流保护^[20]为

$$I_{set4}^I = K_{rel}^I \cdot \frac{E_\varphi}{\left[(Z_s + Z_{AB}) // Z_{DG} \right] + Z_{BC}} = K_{rel}^I \cdot \frac{E_\varphi (Z_s + Z_{AB} + Z_{DG})}{(Z_s + Z_{AB}) Z_{DG} + Z_{BC} (Z_s + Z_{AB} + Z_{DG})} \quad (1)$$

其中： Z_s 为系统等效阻抗； Z_{AB} 、 Z_{BC} 为线路阻抗； E_φ 为等效电源的相电动势； K_{rel}^I 为电流 I 段可靠系数，一般取 1.2~1.3； Z_{DG} 为分布式电源背侧等效阻抗。

保护 3 的 II 段电流保护为

$$I_{set3}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} \cdot I_{set4}^I}{K_b} \quad (2)$$

其中： Z_s 为系统等效阻抗； Z_{AB} 、 Z_{BC} 为线路阻抗； I_{set4}^I 为保护 4 的电流 I 段保护整定值； K_{rel}^{II} 为电流 II 段可靠系数，一般取 1.1~1.2； Z_{DG} 为分布式电源背侧等效阻抗。 K_b 为分支系数，其值为

$$K_b = \frac{I_{B-CM}}{I_{A-BM}} = \frac{I_{A-BM} + I_{DG}}{I_{A-BM}} = 1 + \frac{I_{DG}}{I_{A-BM}} = 1 + \frac{Z_s + Z_{AB}}{Z_{DG}}$$

同传统电流保护相同，最终通过自适应电流保护计算的各保护整定值，与保护安装处测量得到的实际电流值进行比较，确定保护是否动作。其中保护动作延时与传统电流三段式的延迟时间相同。

自适应电流保护方案的流程图如图 2 所示。

通过在传统电流保护整定值公式中引入分布式电源等效背侧阻抗，便可以实时地根据分布式电源的当前接入容量，自适应地改变阶段式过电流保护的整定值，来消除由当前接入的分布式电源容量变动产生的助增电流与外汲电流对阶段式过电流保护的影响。

2.2 利用故障分量来计算不同电源容量时的等效系统阻抗

本节利用戴维南等效定理，将分布式电源等效为理想电压源与阻抗的串联，通过故障分量网络计算经戴维南等效后的等效阻抗，来衡量分布式电源的输出能力。

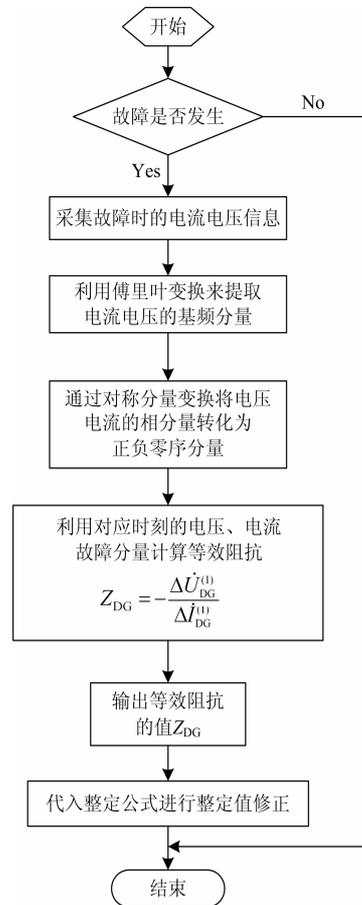


图 2 自适应过流保护流程图

Fig. 2 Flowchart of adaptive over-current protection

当图 3 所示配电网发生故障 K1 时，其等效电路为如图 4(a)所示的故障状态网络，根据叠加定理，可将其分解为图 4(c)所示的故障附加状态网络和图 4(b)所示的正常状态网络^[21]。故障状态网络和正常状态网络中的电压电流可以分别在故障后和故障前测得，而故障附加状态网络中的电压、电流可以通过上述两个网络中的电压、电流分别做差得到。

以上是针对单相网络进行的分析，在三相网络中，需要对三相电压电流进行解耦。由对称分量变换可得。

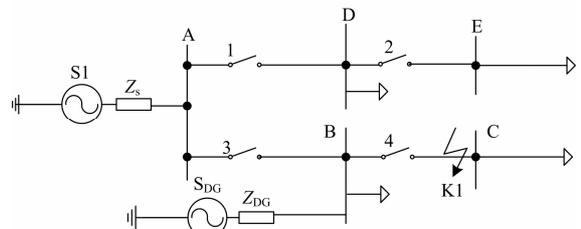


图 3 配电网网架图

Fig. 3 Skeleton of a distribution network

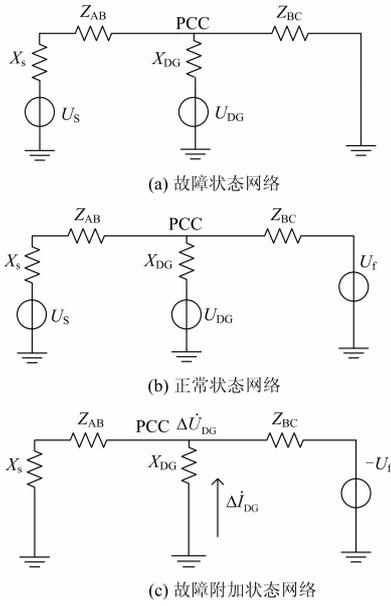


图 4 状态网络叠加分解图

Fig. 4 Superposition diagram of state network

$$\begin{bmatrix} \dot{U}_{DG}^{(1)} \\ \dot{U}_{DG}^{(2)} \\ \dot{U}_{DG}^{(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{U}_{DGa} \\ \dot{U}_{DGb} \\ \dot{U}_{DGc} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{DG}^{(1)} \\ \dot{I}_{DG}^{(2)} \\ \dot{I}_{DG}^{(0)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{DGa} \\ \dot{I}_{DGb} \\ \dot{I}_{DGc} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: $a=e^{j120^\circ}$; $a^2=e^{j240^\circ}$; 且有 $1+a+a^2=0$, $a^3=1$ 。类似于单相网络, 对正序网络故障进行分析, 也可以得到如图 5 所示的正序故障附加网络。

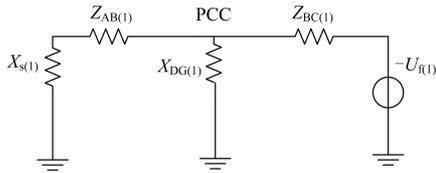


图 5 正序故障附加网络图

Fig. 5 Network of positive sequence fault component

故障分量不受负荷电流和电源电压的影响, 如图 4 所示, 利用分布式电源并网点电压故障分量正序值和电流故障分量正序值, 便可以计算出分布式电源背侧等效阻抗, 如式(5)所示。

$$Z_{DG} = -\frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}} \quad (5)$$

将式(5)代入式(1)、式(2)可得到保护 4、保护 3 自适应整定值计算公式:

$$I_{set4}^I = K_{rel}^I \cdot \frac{E_\phi \left(Z_s + Z_{AB} - \frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}} \right)}{-(Z_s + Z_{AB}) \frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}} + Z_{BC} \left(Z_s + Z_{AB} - \frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}} \right)} \quad (6)$$

$$I_{set3}^{II} = \frac{K_{rel}^{II} \cdot I_{set4}^I}{K_b} = K_{rel}^{II} \cdot \frac{-\frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}}}{Z_s + Z_{AB} - \frac{\Delta \dot{U}_{DG}^{(1)}}{\Delta \dot{I}_{DG}^{(1)}}} \cdot I_{set4}^I \quad (7)$$

式(6)和式(7)分别为最终的保护 4 的电流 I 段和保护 3 的电流 II 段整定方案。

3 仿真验证

3.1 仿真系统

本文采取如图 3 所示的典型 10.5 kV 配电网作为实验系统, 在 PSCAD 中进行了仿真, 并在 Matlab 中进行算法仿真。

系统的基准容量为 100 MVA, 基准电压为 10.5 kV, 系统电源 S1 接于母线 A, 系统等机电抗 $X_s=0.3 \Omega$ 。线路 AB、BC、CD、AD、DE 都为输电线, 长度均为 10 km, 其线路电阻 $r_1=0.138 \Omega/\text{km}$, 线路电抗 $x_1=0.369 \Omega/\text{km}$ 。母线 B、D 的负荷的额定功率为 0.95 MVA, 母线 C、E 的负荷的额定功率为 2 MVA。根据分布式电源的并网特点, 将其分为传统的旋转机型 DG 和基于逆变器接口的逆变型 DG^[22], 在仿真中也将对两者分别进行仿真验证, 其中逆变型 DG 用光伏发电模型来进行仿真。

3.2 利用故障分量测分布式电源的等效阻抗

(1) 传统的旋转机型 DG

利用 PSCAD 中的理想电源加阻抗来等效同步发电机式分布式电源, 设定参数同步机的等效电抗 $X_{DG}=0.9 \Omega$, 标幺值为 0.81 pu, 仿真测得结果如图 6 所示。

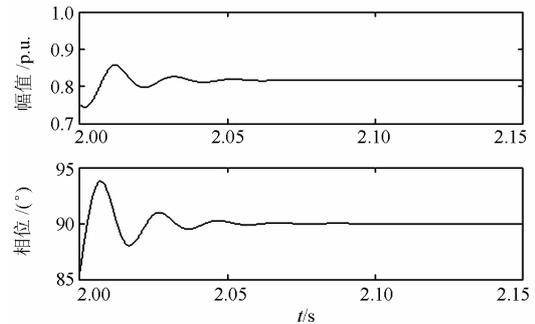


图 6 传统的旋转机型 DG 计算的等效阻抗暂态变化
Fig. 6 Equivalent impedance transient characteristic of conventional rotor DG

从图 6 中可以看出, 利用分布式电源并网点的电压故障分量正序值和电流故障分量正序值计算出来的等效阻抗与实际值相同。

(2) 逆变器接口的逆变型 DG

在 PSCAD 中利用光伏发电模型来代表逆变器接口的逆变器型 DG, 仿真测得结果图 7 所示。

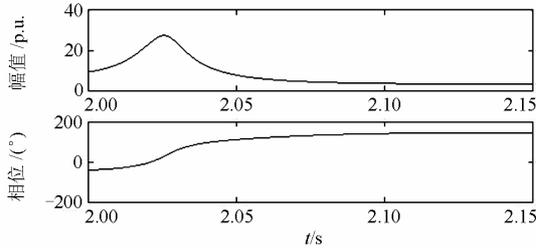


图 7 逆变型 DG 计算的等效阻抗暂态变化

Fig. 7 Equivalent impedance transient characteristic of inverter DG

从图 7 中可以看出, 逆变器型 DG 在故障发生的暂态过程中变化幅度比传统旋转机型 DG 大, 且趋于稳定的时间较长, 与保护要求的速动性冲突。下一节会针对这一问题进行仿真, 来考量自适应过流保护对于逆变器式分布式电源的适用性。

3.3 阻抗在故障暂态的变化对自适应过流保护的影响

由上节可知, 传统的旋转机型 DG 和逆变器接口的逆变型 DG 在故障暂态所表现的性能差异较大, 分别对其进行仿真验证, 考察自适应电流保护作用在传统的旋转机型 DG 和逆变器接口的逆变型 DG 时的适用性。

(1) 传统的旋转机型 DG

当发生区内故障时, 保护安装处实际测量到的故障电流与计算所得整定值随时间变化情况如图 8 所示, 可以看出在区内故障时, 保护都能够正确动作。

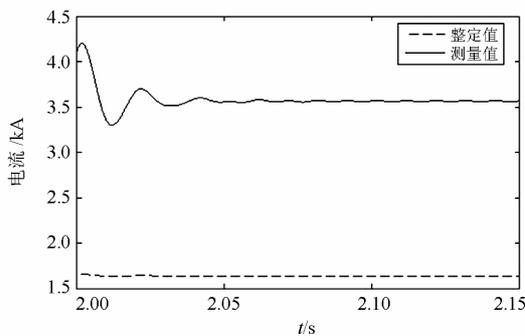


图 8 区内故障电流测量值与自适应计算整定值

Fig. 8 Adaptive set of relay and current measured after internal fault

当发生区外故障时, 实际测量到的故障电流与计算所得整定值随时间变化情况如图 9 所示, 可以看出实际值小于整定值, 保护不动作, 保证了选择性。

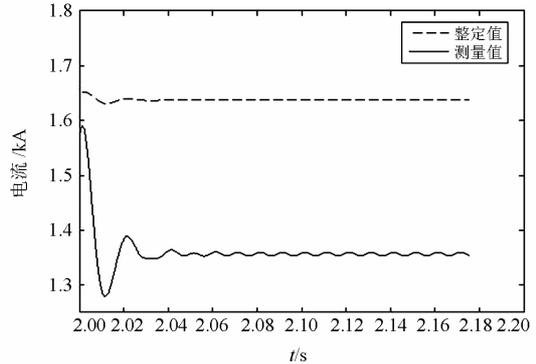


图 9 区外故障电流测量值与自适应计算整定值

Fig. 9 Adaptive set of relay and current measured after external fault

由于传统的旋转机型 DG 的暂态过程中, 通过故障分量法计算的系统背侧阻抗变化不大, 所以计算出的保护整定值的波动也不大, 说明传统的旋转机型 DG 的等效阻抗在故障暂态过程中的变化, 对自适应电流保护没有影响。

(2) 逆变器接口的逆变型 DG

采用逆变型 DG 代替旋转型 DG, 当发生区内故障时, 实际测量到的故障电流与计算所得整定值随时间变化情况如图 10 所示, 可以看出在区内故障时, 保护都能够正确动作。

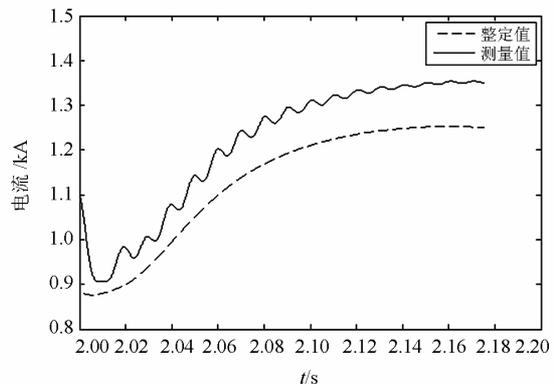


图 10 区内故障电流实际值与自适应计算整定值

Fig. 10 Adaptive set of relay and current measured after internal fault

当发生区外故障时, 实际测量到的故障电流与计算所得整定值随时间变化情况如图 11 所示, 同样可以看出实际值小于整定值, 保护不动作, 保证了选择性。

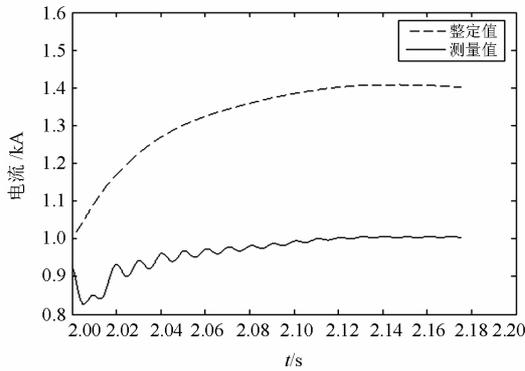


图 11 区外故障电流实际值与自适应计算整定值
Fig. 11 Adaptive set of relay and current measured after external fault

由于逆变器接口的逆变型 DG 的暂态过程, 通过故障分量法计算的系统背侧阻抗变化大, 所以计算出的保护整定值的波动也大且呈上升趋势, 仿真效果清楚地显示了保护整定值与实际值的大小关系, 说明逆变器接口的逆变型分布式电源故障暂态过程中的变化, 对本文提出的自适应电流保护方案影响不大。

3.4 自适应保护与传统过流保护的比较

(1) 分布式电源的接入对传统电流保护的影响

仿真中, 保护 1-4 的整定值按照分布式电源接入前的运行方式进行整定, 当渗透率为 33% 的分布式电源接入母线 B 处时, 仿真可得保护 4 的 I 段的范围和保护 3 的 II 段的范围, 如表 1 所示。

表 1 分布式电源接入时过流保护范围变化情况
Table 1 Protection zones of over-current relay with DG

| 是否接入分布式电源 | 保护 4 的 I 段的保护范围 | 保护 3 的 II 段的保护范围 |
|-------------|-----------------|------------------|
| 不接入 | 53% | 46% |
| 接入(渗透率 33%) | 121% | 0 |

由表 1 可得, 当渗透率为 33% 的分布式电源接入母线 B 处时, 由于分布式电源的助增作用, 使保护 4 所监测到的短路电流增加, 致使保护 4 的 I 段的范围增大, 发生了超越现象, 即故障发生在保护 4 所在线路的下一条时, 保护 4 会失去选择性的误动; 当渗透率为 33% 的分布式电源接入母线 B 处时, 由于分布式电源的外汲作用, 使保护 3 所监测到的短路电流减小, 致使保护 3 的 II 段的范围增大, 发生了失去保护范围的现象, 即故障发生在保护 3 附近时, 保护 3 也会拒动, 失去可靠性。

保护 2 的 I 段的范围和保护 1 的 II 段的范围, 在分布式电源接入前后的变化情况, 如表 2 所示。

表 2 分布式电源接入时过流保护范围变化情况
Table 2 Protection zones of over-current relay with DG

| 是否接入分布式电源 | 保护 2 的 I 段的保护范围 | 保护 1 的 II 段的保护范围 |
|-------------|-----------------|------------------|
| 不接入 | 53% | 46% |
| 接入(渗透率 50%) | 54% | 45% |

由表 2 可以看出, 当高渗透率分布式电源接入配电网时, 对相邻馈线上的保护的影响不大, 所以不需要对相邻馈线上的过流保护的整定值进行修改。

(2) 分布式电源的波动性对传统电流保护的影响

传统的过流保护是按照分布式电源的最大输出功率情况下, 即渗透率为 33% 的分布式电源按额定功率满发时, 可以计算得到按最大运行方式整定时, 保护 4 的 I 段的范围和保护 3 的 II 段的范围, 如表 3 所示。

表 3 传统过流保护按最大输出功率整定后保护范围
Table 3 Protection zones of conventional over-current relay with full-power DG

| 故障类型 | 保护 4 的 I 段的保护范围 | 保护 3 的 II 段的保护范围(下段线路) |
|------|-----------------|------------------------|
| 两相短路 | 72% | 62% |
| 三相短路 | 80% | 70% |

但是当分布式电源的输出能力发生变化时, 对保护 4 的 I 段的范围和保护 3 的 II 段的范围带来的影响如表 4 所示。

当 DG 退出运行时, 保护 4 的保护范围为 0, 即在靠近 B 母线发生三相故障时, 保护 4 也不会动作, 主保护拒动; 保护 3 的保护范围为 134%, 发生超越现象。即在靠近母线 C 母线发生三相故障时, 也会动作, 后备保护误动。而且保护范围会随着接入容量的变小而变小, 降低了可靠性。

表 4 分布式电源的输出功率发生变化时保护范围情况
Table 4 Protection zones of conventional over-current relay with full-power DG

| DG 接入容量 | 故障类型 | 保护 4 的 I 段的保护范围 | 保护 3 的 II 段的保护范围(下段线路) |
|---------|------|-----------------|------------------------|
| 渗透率 20% | 两相短路 | 60% | 52% |
| | 三相短路 | 71% | 62% |
| 渗透率 13% | 两相短路 | 50% | 43% |
| | 三相短路 | 60% | 52% |
| 退出运行 | 两相短路 | 0 | 123% |
| | 三相短路 | 0 | 134% |

(3) 自适应过流保护的整定范围

同样的在母线 B 处接入渗透率为 33% 的分布式

电源且分布式电源波动时, 利用自适应电流保护计算整定值, 各保护的保护区变化情况如表 5 所示。

表 5 自适应过流保护保护区随 DG 输出功率变化情况
Table 5 Protection zones of conventional over-current relay with fluctuate-power DG

| DG 接入容量 | 保护 4 的 I 段的保护区 | 保护 3 的 II 段的保护区 (下条线路) |
|---------|----------------|---------------------------|
| 渗透率 33% | 72% | 62% |
| 渗透率 20% | 70% | 63% |
| 渗透率 13% | 71% | 62% |

可以看出, 根据自适应公式来确定的整定值, 能确保我们保护区不会随接入分布式电源的容量的变化而变化, 确保在一个正常的范围内, 提高了可靠性。

4 结语

本文在分析DG对传统保护整定与配合关系影响的基础上, 提出了一种配电网自适应过流保护新方案。仿真验证结果表明, 该方法具有如下特点:

1) 消除了由当前接入的分布式电源容量产生的助增电流与外汲电流对阶段式过电流保护的影响, 能够自适应DG接入容量的波动, 解决了DG接入馈线的配电网保护问题。

2) 在两相短路的不利情况下, 主保护的保护区仍能达到本线路的70%, 后备保护的保护区能延伸到下级线路的60%以上。与传统电流保护相比, 主保护和后备保护的保护区不会随DG的输出功率的影响而变化, 继电保护的性不受DG波动性的影响。

3) 自适应电流保护方案不受故障类型、故障位置、故障暂态变化和分布式电源渗透率的影响, 主保护和后备保护都能正确动作, 提高了继电保护可靠性, 且保证了选择性。

参考文献

[1] 崔红芬, 汪春, 叶季蕾, 等. 多接入点分布式光伏发电系统与配电网交互影响研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 91-97.
CUI Hongfen, WANG Chun, YE Jilei, et al. Research of interaction of distributed PV system with multiple access points and distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 91-97.

[2] 周龙, 齐智平. 微电网保护研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(13): 147-154.
ZHOU Long, QI Zhiping. A review of the research on microgrid protection development[J]. Power System

Protection and Control, 2015, 43(13): 147-154.

[3] 祁欢欢, 荆平戴, 朝波, 等. 分布式电源对配电网保护的影响及保护配置分析[J]. 智能电网, 2015, 3(1): 10-11.
QI Huanhuan, JING Pingdai, CHAO Bo, et al. Impact of distributed generation upon distribution systems protection and analysis of protection configuration[J]. Smart Grid, 2015, 3(1): 10-11.

[4] 曹景亮. 分布式电源对配电网继电保护的影响研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
CAO Jingliang. Study of the impact of DG on the protection of distribution network[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008.

[5] 尚璠, 邵能灵, 刘琦, 等. 考虑分布式电源的配电网保护改进方案研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(12): 40-45.
SHANG Jin, TAI Nengling, LIU Qi, et al. New protection method for distribution network with DG[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(12): 40-45.

[6] HARON A R, MOHAMED A, SHAREEF H. Analysis and solutions of overcurrent protection issues in a microgrid[C] // 2012 IEEE International Conference on Power and Energy, 2012: 644-649.

[7] ROCKEFELLER G. Adaptive transmission relaying concepts for improved performance[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, 3(4): 1446-1458.

[8] 李瑞生. 适用主动配电网的差动保护方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(12): 104-109.
LI Ruisheng. Differential protection scheme to apply to active distribution network[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(12): 104-109.

[9] TANG G, IRAVANI M R. Application of a fault current limiter to minimize distributed generation impact on coordinated relay protection[C] // Conf Power Syst Transients, Montreal, QC.

[10] AGHELI A, ABYANEH H A, CHABANLOO R M, et al. Reducing the impact of DG in distribution networks protection using fault current limiters[C] // Proc 4th Int Power Eng Optimiz Conf, 2010: 298-303.

[11] EL-KHATTAM W, SIDHU T S. Resolving the impact of distributed renewable generation on directional overcurrent relay coordination: a case study[J]. IET Renew Power Gen, 2009, 3: 415-425.

[12] SCHAEFER N, DEGNER T, SHUSTOV A, et al. Adaptive protection system for distribution networks with distributed energy resources[C] // The 10th IET Int Conf Develop Power Syst Protect, Manchester, UK, 2010.

- [13] 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): 111-113.
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): 111-113.
- [14] 马静, 王希, 米超, 等. 含分布式电源的配电网自适应保护新方法[J]. 电网技术, 2011, 35(10): 204-208.
MA Jing, WANG Xi, MI Chao, et al. A new adaptive protection approach for distribution network containing distributed generation[J]. Power System Technology, 2011, 35(10): 204-208.
- [15] 郭路宣. 含分布式电源的配电网继电保护研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
GUO Luxuan. Research on relay protection of distribution network with DG[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [16] MAHAT P, CHEN ZHE, BAK-JENSEN B, et al. A simple adaptive overcurrent protection of distribution systems with distributed generation[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2011, 2(3): 428-437.
- [17] 陈卫民, 陈国呈, 崔开涌, 等. 分布式并网发电系统在孤岛时的运行控制[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(9): 88-91.
CHEN Weimin, CHEN Guocheng, CUI Kaiyong, et al. Islanding operation control in distribution power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 88-91.
- [18] IEEE Std 1547-2003. IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems[S].
- [19] HUANG S J, PAI F S. A new approach to islanding detection of dispersed generators with self-commutated static power converters[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(2): 500-507.
- [20] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [21] 葛耀中. 新型继电保护和故障测距的原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2007.
- [22] 孙景钉, 李永丽, 李盛伟, 等. 含分布式电源配电网保护方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(1): 81-84.
SUN Jingdiao, LI Yongli, LI Shengwei, et al. Protection scheme of distribution network with DG[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(1): 81-84.

收稿日期: 2015-10-22; 修回日期: 2015-12-21

作者简介:

周宁(1971-), 男, 硕士, 高级工程师, 常年从事配电网安全运行技术领域的工作;

雷响(1992-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护。E-mail: leixiang@stu.xjtu.edu.cn

(编辑 周金梅)