

计及波浪能并网的弱区域配电网 继电保护方案研究

吴祝李¹, 禹鹏¹, 羊冠宝¹, 陈彬¹, 陈玉峰²

(1. 海南电网有限责任公司三沙供电局, 海南 三沙 573100;

2. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100142)

摘要:为解决波浪能发电单元接入给配电网继电保护带来的误动、拒动问题。本文提出采用分区纵联差动保护配合自适应过流保护的继电保护改进方案。在分析波浪能发电特点的基础上建立波浪能发电模型,并分析其在配电网不同位置并网后给配电网继电保护动作的可靠性和选择性带来的影响;接着分析含波浪能发电的配电网故障计算方式,分析不同故障下波浪能发电的处理方案;然后提出采用保护范围系数取代传统三段式保护的可靠系数的自适应电流保护方案,实现配电网保护整定值根据故障点位置实时调整,并提出基于波浪能不同接入点的配电网分区纵差保护方案,形成基于分区纵差配合自适应过流保护的继电保护方案,最后通过实例仿真验证,表明该方案能够实现波浪能在配电网不同位置并网的配电网继电保护准确动作。

关键词:波浪能;配电网;分区;纵差保护;保护范围系数;自适应过流保护

文章编号:2096-4633(2019)08-0046-07 **中图分类号:**TM77 **文献标志码:**B

随着临海地区对海洋能的大力开发,波浪能发电得到了大力发展^[1-3],但是大量分布式电源改变了传统的配电网架^[4],给传统的配电网继电保护带来了一定的影响。因此,研究含波浪能发电的主动配电网继电保护方案对保证配电网稳定运行具有十分重要的意义。

目前,国内外针对主动配电网的新型继电保护方案研究已经较为成熟,大量应用于主动配电网的继电保护方案被提出来,其中效果最为显著的方案是部分学者提出的采用超导限流装置来削弱分布式电源的助增电流^[5-7],但该类投资较大,在实际工程中难以广泛应用。文献[8-9]提出采用方向型继电器进行主动配电网的保护,但是该类方案对通信可靠性要求较高,对于复杂区域的配电网应用效果较差,保护可能失效且新型方向型继电器的投资同样较大。考虑到经济性,自适应保护方案和纵差保护方案是较为有效的主动配电网故障保护方案^[10-12];文献[13-14]提出“充分式”电流幅值差动保护思想。综合利用多类电流幅值信息构造基于电流幅值的自适应差动保护方案,有效解决复杂配电网的保护难题。文献[15]采用故障信息的电流相角差进行故障动作判断,保证了系统保护的可靠动作。综

合以上,虽然针对主动配电网的保护研究较多,但是多数方案的经济性较差且在实际工程中应用价值较小,难以满足愈发复杂的主动配电网的发展要求,且针对波浪能接入的主动配电网继电保护方案研究基本没有,因此需要对此进行进一步研究。

本文针对含波浪能并网的配电网继电保护方案展开研究。首先建立波浪能发电模型,然后分析波浪能并网对保护的影响;然后讨论含波浪能的配电网故障计算,接着提出综合分区纵差和自适应过流保护相结合的继电保护改进方案,并进行仿真验证。

1 含波浪能发电的配电网故障分析

1.1 波浪能发电模型分析

波浪能发电(WPG)是采用海洋的波浪进行电能转换的发电方式,是我国临海区域较为常见的清洁发电方式之一。通常,针对海浪能的功率假设为正弦进行求取:

$$P = HT(\text{kW/m}) \quad (1)$$

式中: P 为每米波浪能的功率; H 为波高; T 为波周期。

目前,波浪能发电方式分为三种:振荡型、机械

型、水流型。其中我国应用较广技术比较成熟的方式为振荡型波浪能发电。其基本原理为:首先采用某种装置(振荡)将波浪能聚集起来,然后采用机械传动的方式将波浪能转换为机械能,在通过电机将

$$\begin{cases} F_n = C_v \frac{\rho g \pi H R}{k} \frac{\cosh(kh_1)}{\cosh(kh)} J_1(kR) \cos(\omega t + \varphi) \\ T_n = F_n \times r \end{cases} \quad (2)$$

式中: F_n 表示单个振荡型波浪采集装置采集到的波浪能; C_v 为该采集装置的转换系数; ρ 为海洋水的密度; H 为波高; R 为该采集装置的半径(假设该装置为圆柱形); k 为波数; h 为波浪的峰谷高度; h_1 为某个时刻下该装置离波浪底部的高度; $J_1(kR)$ 为一阶贝塞尔函数; ω 为波浪的频率; φ 为正弦波浪的初始相位角初; T_n 为波浪采集装置的力矩; r 为波浪转换离合器的半径。

在采集到波浪能之后,需要采用传动装置将波浪能转换为机械能,考虑到波浪的波动评率不高,产生的旋转扭矩较大,本文采用刚性轴模型进行波浪能到机械能的转换,其计算方程式如下^[16]:

$$\begin{cases} k_s^6 T_\omega - NT_r = [J_\omega + N(J_r + J_f)](N \frac{d\omega_R}{dt}) \\ T_\omega = T_1 + T_2 + \dots + T_n \end{cases} \quad (3)$$

式中: k_s^6 为传动系统的转换效率,通常取值 0.9 ~ 0.95, 6 表示采用 6 组齿轮; N 为传动装置的传动比; T_ω 为该装置的总输入转矩,其值为振荡采集装置产生的全部力矩的叠加; T_r 为传动装置的输出转矩; J_ω 、 J_r 、 J_f 分别为输入轴、输出轴和转换轴的转动惯量; ω_R 为输出轴转动角速度。

然后采用永磁发电机进行发电计算,采用二阶状态模型表示^[16]:

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_d} v_d - \frac{R_s}{L_d} i_d + \frac{L_q}{L_d} P_e \omega_e i_q \\ \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_q} v_q - \frac{R_s}{L_q} i_q + \frac{L_d}{L_q} P_e \omega_e i_d - \frac{\varphi P_e \omega_e}{L_q} \\ T_e = 1.5 p_e [\varphi i_q + (L_d - L_q) i_d i_q] \\ T_e = -T_r \quad \omega_e = \omega_g \end{cases} \quad (4)$$

式中: v_d 、 i_d 、 L_d 、 v_q 、 i_q 、 L_q 分别为 d、q 轴上的电压电流和电感; R_s 为定子线圈绕组的电阻; ω_e 为发电机转子的转动角速度; T_e 为发电机电磁转矩; p_e 为发电机极对数; φ 为发电机定子处的磁通量幅值。

机械能转换为电能,实现发电。本文研究振荡型波浪能发电模型进行分析,首先假设振荡浮子为圆柱形,采用后 Froude-Krylov 理论进行单个振荡浮子在垂向上的波浪力:

1.2 波浪能并网对配网保护的影响

本小节将分析波浪能分布式接入配电网给传统配电网三段式继电保护带来的影响。如图 1 所示为接入分布式波浪能的配电网模型。

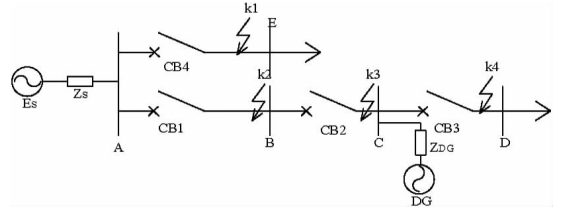


图 1 含波浪能发电的双馈线配电网模型

Fig. 1 Double feeder distribution network model with wave energy generation

如图 1,电源电压为 E_s , 电源等效阻抗为 Z_s , 线路 AB、BC、CD、AE 阻抗分别为 $Z_1 \sim Z_4$ 。CB1 ~ CB4 配置了电流三段式保护。分布式波浪能(DG)分支接入配电网,接入电压为 E_{DG} , 其等效阻抗为 Z_{DG} 。根据上述模型利用叠加定理讨论 DG 接入对配电网继电保护三段式电流保护的影响可以得出以下结论:

(1) 若故障发生在波浪能接入点下游,即 CD 段,针对 CB1、CB2 而言,波浪能提供反向助增电流,导致流过 CB1、CB2 的短路电流变小,使得 CB1、CB2 的动作能力下降,甚至拒动;另一方面,流经 CB3 的短路电流较波浪能未接入时要大, CB3 的保护范围会增大,有可能会误动;

(2) 若一旦故障发生在波浪能接入点上游,即 BC 段,若波浪能 DG 容量较小,流经 CB1 的短路电流几乎不受影响, CB1 能够可靠动作,但是波浪能 DG 会使故障点电弧重燃,影响重合闸的动作;若波浪能容量超过一定阈值,其提供的反向短路电流将会“中和”一部分电源提供的短路电流,使得 CB1 感受到的短路电流变小,出现保护拒动。

(3) 若故障发生在相邻馈线,即 AE 段故障,电源和波浪能 DG 共同作用于故障点,使得流过 CB4 的短路电流增加,扩大了其保护范围。另一方面,

CB1、CB2 感受到波浪能 DG 提供的反向故障电流,因其不具备方向判断能力,故存在误动的可能。

(4)同时,分布式波浪能接入必然会带来重合闸装置的非同期合闸问题,即假设 k2 发生故障时,保护 CB1 跳闸切除故障,但是由于波浪能 DG 的存在,其提供的故障电流会导致故障点存在持续电弧,进而导致重合闸装置非同期合闸,给电网带来不利的影响。

2 含波浪能发电的配电网故障计算

前文已经分析了波浪能并网对配电网继电保护方案的影响,下面分析含波浪能发电的配电网故障计算方法。

2.1 配电网故障计算的原理

主动配电网发生故障后,会形成正负零三序网

$$\begin{cases} I_{p(s)} = I_{F(s)} = -I_{T(s)} \\ U_{p(s)} = U_{p(s)}^{(0)} + U_{p(s)}^{(F)} = U_{p(s)}^{(0)} + U_{F(s)}^{(F)} - U_{T(s)}^{(F)} \end{cases} \quad s = 0, 1, 2 \quad (5)$$

式中: $I_{p(s)}$ 、 $U_{p(s)}$ 为故障情况下各序网的故障口电压和电流值; $I_{F(s)}^{(F)}$ 、 $I_{T(s)}^{(F)}$ 、 $U_{F(s)}^{(F)}$ 、 $U_{T(s)}^{(F)}$ 各序网络故障口节点电流电压的故障分量; $U_{p(s)}^{(0)}$ 为各序网络故障口开口电压。

因此,故障情况下各序网络的节点电压电流计算方式可以表示为:

$$\begin{cases} U_{(s)} = Z_{(s)} I_{(s)} \\ I_{(s)} = I_{(s)}^{(0)} + I_{(s)}^{(F)} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $U_{(s)}$ 、 $I_{(s)}$ 分别为节点电压电流列向量; $Z_{(s)}$ 为网络故障下的阻抗矩阵; $I_{(s)}^{(0)}$ 、 $I_{(s)}^{(F)}$ 为系统正常运行时的节点注入电流和系统故障后的故障电流分量。

因此,针对配电网保护安装处的故障电流计算公式为:

$$I_f = \frac{U_i - U_j}{Z_{ij}} \quad (7)$$

式中: U_i 、 U_j 为保护安装支线两段的电压值; Z_{ij} 为支线 i-j 的阻抗值。

2.2 含分布式波浪能配电网故障计算

对于接入分布式波浪能的配电网而言,当电网侧发生短路故障时,波浪能提供的助增电流会使得故障电流复杂变换。因此,在故障计算时必须考虑波浪能接入带来的影响,本文采用的处理如下:在前

网,本小节以图 2 所示为故障主动配电网的正序网络图进行故障原理分析。

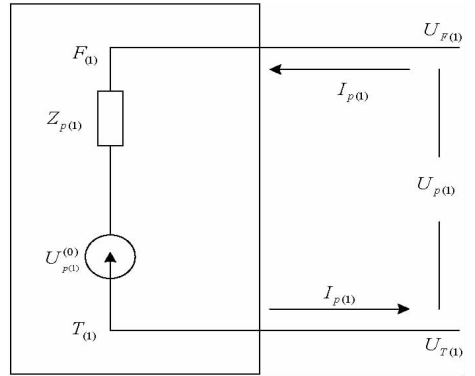


图 2 故障情况下正序网络图

Fig. 2 Positive sequence network diagram in case of fault

配电网发生故障时的故障电流和电压之间的关系为:

文波浪能发电模型的基础上,正常运行时,将其等效为电压源进行主动配电网的潮流计算;而故障情况下,首先计算其输出的故障电流,如其值超过其正常运行时提供电流的 20% 且并网点电压高于额定电压的 20% 时,将其等效为恒流源;否则将其退出运行。

3 基于分区纵差和自适应过流保护方案

考虑到分布式波浪能接入导致传统配网变为多端供电网络,继而带来的配电网故障保护误动、拒动问题。本文采用纵差保护配合自适应过流保护的方案进行继电保护方案改进。

3.1 自适应过流保护方案

考虑到波浪能接入对配电网故障电流的影响,对传统三段式电流保护进行自适应改进。首先,传统的 I 段电流整定计算式为:

$$I_{set}^I = \frac{K_k K_d E}{Z_s + Z_L} \quad (8)$$

式中: E 为故障系统电压值; Z_s 、 Z_L 分别为系统最小运行方式下的电源侧阻抗和线路阻抗; K_k 为可靠系数,一般取 1.2; K_d 为故障类型,可取 1(三相短路)或者(两相短路)。

对 I 段整定值进行自适应计算,改进后的整定公式为:

$$I_{set}^I = \frac{K_d U_m}{\alpha Z_L} \quad (9)$$

式中: U_m 为故障时测量点的电压; α 为保护范围系数,通常取 0.8。

同样采用自适应计算的方式进行 II 段整定计算:

$$I_{set}^{II} = \frac{K_d U_m}{Z_{AB} + \alpha Z_{BC}} \quad (10)$$

式中: Z_{AB} 、 Z_{BC} 分别线路 AB、BC 段阻抗值。

因此,构成线路两段保护相互配合示意图如图 3 所示,对 CB1 保护而言,其 II 段保护的不会超过线路 BC 段的 80%,其配合示例为:假设 k1 处故障, CB2 保护 I 段和 CB1 保护 II 段同时动作,由于 CB1 保护 II 段相较于 CB2 保护 I 段保护动作存在一个 0.5 s 的延时,因此 CB2 保护 I 段保护动作。

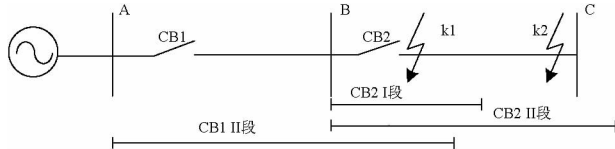


图3 自适应 I、II 段保护配合图

Fig. 3 Coordination diagram of adaptive I and II segment protection

该保护方案采用保护范围系数取代传统计算方式中的可靠动作系数,实现整定值随着故障点的不同而实时的调整,更好的实现了波浪能接入后整定动作电流的计算,保证了保护动作的选择性。

3.2 分区纵差保护方案

纵联差动保护通过对比故障线路两端的故障电气量而进行故障保护动作的保护方式^[17]。该保护方案能够实现故障线路全线故障的瞬时动作,具有绝对的选择性,是针对复杂配电网较好的保护方式。本小节分析基于分区的纵差保护在含波浪能发电的中配电网中的应用。

根据波浪能接入点位置不同以及波浪能接入数目不同分别予以讨论。分析如下。

3.2.1 在母线处接入 DG

如图 4 为单波浪能接在母线 C 上。首先以波浪能接入母线为界,将 AE 线路分区 AC 和 CE 两个区域,AC 为波浪能接入的上游区域,CE 为波浪能接入的下游区域。针对上游区域 AC 而言,为了实现该区域类全线故障的保护动作,需要在 BC 线路末端增设保护装置 CB8,然后与保护装置 CB1 构成 AE 区域的纵差保护,该区域内任何位置发生故障

保护装置都能迅速动作实现故障的切除;同时在保护装置 CB1 和 CB2 上设置方向性过流 III 段保护作为后备保护,并保证相邻线路发生故障时不会误动作。针对下游区域 CE 为一个单端电源辐射状网络,只需要采用传统的三段式故障电流保护即可,考虑到分布式波浪能接入,在 CB3 和 CB4 处采用自适应过流保护构成线路 CE 段保护,并在 CB3 处增设前加速重合闸方式。对于相邻馈线路段 AG,与 CE 段段相似,采用自适应过流保护构成保护,并在 CB5 安装前加速重合闸方式。

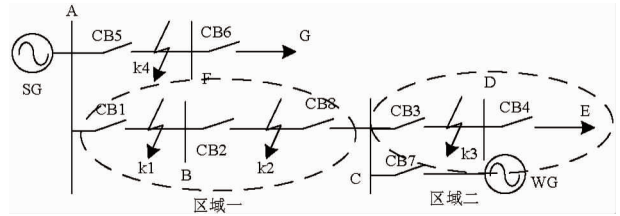


图4 单波浪能接入母线 C 时的保护改进方案

Fig. 4 Protection improvement scheme for single wave connecting to bus C

分析不同下的线路重合闸,当 AC 段发生故障时, CB1 和 CB8 同时动作切除故障,由于 CB1 和 CB8 都具有重合闸功能,若系统故障为瞬时故障,则保护装置 CB1 进行一次重合闸成功, CB8 进行重合闸,恢复线路正常运行;而若故障为永久性故障, CB1 重合闸一次失败, CB8 不再进行重合闸;因此,保护装置 CB8 应具备检同期功能。其余线路的重合闸功能不变。

而若在多个母线处都加入分布式波浪能,其网络结构图如图 5 所示。

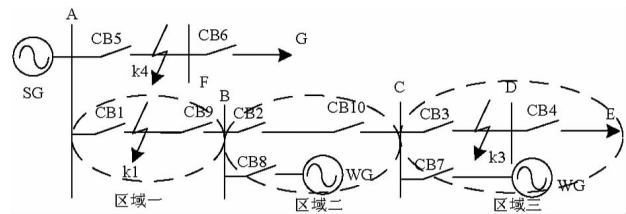


图5 多波浪能接入配电系统时的保护改进方案

Fig. 5 Protection improvement scheme for multi-wave energy connecting to power distribution system

如图 5,在母线 B、C 上分别接入一个波浪能发电站,因此线路 AE 被分为三个区域,分为为区域一 AB 段、区域二 BC 段和区域三 CE 段,其中区域一和区域二为双端供电馈线段,需要采用纵差保护,即分别在 AB、BC 线路末端增设保护装置与其首端的保护装置构成纵联差动保护,并采用过电流三段保护

为后备保护, CB9 和 CB10 的重合闸功能应具备检同期功能,其余路段的保护设定和重合闸设定与单电源接入情况下的保护设置相同。

3.2.2 DG 不接在在母线上

若分布式波浪能不接在母线上,如图 6 所示为波浪能发电装置接在线路 BC 中点 E 时的状况。此时首先在波浪能接入点量测分别装设保护装置 CB8 和 CB9,其中 CB8 和 CB1 构成保护接入前馈线段的纵差保护,同时采用过电流 III 段保护为后备保护, CB8 具有检同期重合闸功能, CB9 和 CB3 采用自适应电流三段保护构成区域二的保护。

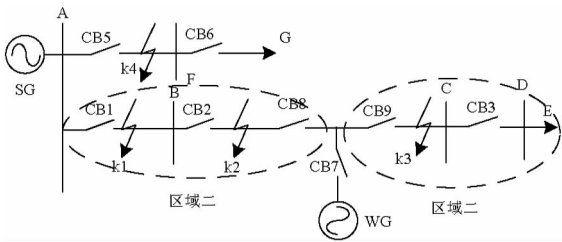


图 6 波浪能电源接在线路 BC 中点时的保护方案

Fig. 6 Protection scheme of wave energy power supply connected to BC neutral point of circuit

4 算例分析

由于以上只是从理论上进行分析,并没有实例支撑,下面本文对含波浪能并网的配电网模型进行 MATLAB Simulink 仿真,针对含分布式波浪能的主动配电网网络(图 4)搭建的仿真模型(见附件 1),该网络的相关数据见附件 2。假设该系统为 10 kV 配电网络,其基准功率为 10 MVA,且馈线 AC、AF 为架空线,馈线 CE 为电缆线路。由于在母线 C 处接入了分布式电源,则对馈线 AC 段采用纵差保护为主保护,过电流 III 段保护为后备保护;其余线路段采用自适应三段式电流保护。

首先,将波浪能不接入配电系统进行最大负荷电流仿真计算,并根据自适应三段式过电流保护的计算方式计算各段线路的自适应保护整定值如表 1 所示。然后为了验证不同故障时,线路保护的动作情况,分别假设馈线 AB、BC、CD、DE 末端发生母线 B、C、D、E 处的两相短路故障,得到各个电路段的短路故障电流如表 2 所示;同时,考虑到 DG 接入容量对故障电流的影响,分别假设波浪能 DG 接入容量为 5 MVA 和 10 MVA 情况下的故障电流同样如表 2 所示。

表 1 自适应保护整定值(kA)

Tab. 1 Setting value of adaptive protection(kA)

保护编号	最大负荷电流	I 段整定值	II 段整定值	III 段整定值
CB1	0.805	2.614	1.987	1.127
CB2	0.537	1.755	1.324	0.752
CB3	0.332	1.436	1.022	0.465
CB4	0.156	3.036	2.286	0.219
CB5	0.635	3.741	2.786	0.889

表 2 波浪能接入后流过各保护的短路电流(kA)

Tab. 2 Short-circuit current flowing through each protection after wave energy connected(kA)

容量	保护编号	母线 B	母线 C	母线 D	母线 E
5 MVA	CB1	2.231	1.405	0.987	0.953
5 MVA	CB2	0.511	1.279	0.945	0.801
5 MVA	CB3	0.050	0.005	1.264	0.932
5 MVA	CB4	0.005	0.001	0.002	0.867
10 MVA	CB1	2.283	1.398	0.937	0.883
10 MVA	CB2	1.023	1.302	0.883	0.756
10 MVA	CB3	0.089	0.014	1.425	0.979
10 MVA	CB4	0.013	0.008	0.005	0.901

对比分析表 1 中的保护动作整定值和表 2 中的故障后线路短路电流值,首先若故障发生在区域一,即 AC 段,由于该段区域采用纵差保护,线路故障将会实时全线路段切除,波浪能的容量变化时,保护装置仍然能够准确动作;而针对区域二内发生故障时,自适应保护装置同样能够保证各段保护装置在 DG 接入容量不同情况下的准确动作,迅速的切除故障,波浪能容量增加时,自适应 I 段保护和 II 段保护之间的配合不会失效;同时,由于保护 1 和保护 7 都配置了带方向的定时限过流保护,如果相邻的馈线发生故障也不会发生误动作。因此,采用本文所提出的分区纵差保护与自适应三段式电流相配合的继电保护方案能够准确可靠的实现含分布式波浪能的保护。

5 总结

本文针对含有波浪能并网的配电网继电保护

方案展开研究^[18-19],提出一种基于分区纵差保护和自适应电流保护相配合的继电保护方案,其特点在于:

(1)自适应保护采用保护范围系数替代可靠系数进行整定值计算,能够根据故障的不同位置实时调整保护动作整定值,实现各种情况下的故障的可靠切除;

(2)分区纵差保护通过分区进行电气量比较切除故障,能够实现故障的瞬时切除;

(3)通过采用分区纵差保护和自适应过电流保护相配合的方案实现了含波浪能并网的配网故障的保护,保证系统可靠稳定运行。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] J IRVIN, QIN LEI, SHUITAO YANG, et al. Control for grid-connected and intentional islanding operations of distributed power generation [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 58(01): 147-157.
- [3] 洪岳,潘剑飞,刘云,等.直驱波浪能发电系统综述[J].中国电机工程学报,2019,39(07):1886-1900.
HONG Yue, PAN Jianfei, LIU Yun, et al. A review on linear generator based on wave energy conversion systems [J]. Proceedings of the CSEE, 2019, 39(07): 1886-1900.
- [4] 吴海涛,王世祥.柔性直流智能配电网的保护配置与动作策略研究[J].电力大数据,2018,21(02):74-80.
WU Haitao, WANG Shixiang. Analysis of protection configuration and action strategy on flexible DC transmission and distribution network in megalopolis [J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(02): 74-80.
- [5] A S NOGHABI, H R MASHHADI, J SADEH. Optimal coordination of directional overcurrent relays considering different network topologies using interval linear programming [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2010, 25(03): 1348-1354.
- [6] HE HW, CHEN L, YIN T. Application of a SFCL for fault ride-through capability enhancement of DG in a microgrid system and relay protection coordination [J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2016, 26(07): 1558-1566.
- [7] 陈妍君.电阻型超导限流器和10 kV配电网继电保护相配合的仿真分析[J].河南师范大学学报(自然科学版),2016,44(05):53-59.
CHEN Yanjun. Simulation of co-ordination of resistive-type superconducting fault current limiter and relay protection in 10 kV distribution network [J]. Journal of Henan Normal University (natural science edition), 2016, 44(05): 53-59.
- [8] 刘健,张小庆,张志华.继电保护配合提高配电自动化故障处理性能[J].电力系统保护与控制,2015,43(22):10-16.
LIU Jian, ZHANG Xiaoqing, ZHANG Zhihua. Improving the performance of fault location and restoration based on relay protection for distribution grids [J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 10-16.
- [9] 陈晓龙,李永丽,孙景钊.基于状态量信息的含分布式电源配电网保护新方案[J].电力自动化设备,2018,38(12):135-139+154.
CHEN Xiaolong, LI Yongli, SUN Jingliao. Novel protection scheme based on status information for distribution network with DGs [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(12): 135-139+154.
- [10] 马静,刘静.基于故障稳态分量的含DG配电网自适应方向电流保护方案[J].电力自动化设备,2018,38(01):1-9.
MA Jing, LIU Jing. Adaptive directional current protection scheme based on steady state component in distribution network with DG [J]. Electric Power Automation Equipment, 2018, 38(01): 1-9.
- [11] 陈晓龙,李永丽,谭会征,等.含逆变型分布式电源的配电网自适应正序电流速断保护[J].电力系统自动化,2015,39(09):107-112.
CHEN Xiaolong, LI Yongli, TAN Huizheng, et al. An adaptive instantaneous trip protection based on positive-sequence current for distribution network with IBDG [J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(09): 107-112 (in Chinese).
- [12] 范钰蓉,张沛超,方陈.辐射型主动配电网的自适应方向保护方案[J].电力系统保护与控制,2017,45(18):150-155.
FAN Yurong, ZHANG Peichao, FANG Chen. Adaptive directional protection scheme for radial active distribution network [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(18): 150-155.
- [13] 许轩,陆于平.含DG配电网电流幅值差异化保护方案[J].电工技术学报,2015,30(18):164-140.
XU Xuan, LU Yuping. Current amplitude differential protection for distribution system with DG [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2015, 30(18): 164-140.
- [14] 朱妍,陆于平.含DG配网充分式优选制综合电流幅值差动保护[J].中国电机工程学报,2018,38:68-73.
ZHU Xi, LU Yuping. Sufficient optimized comprehensive current amplitude differential protection for distribution network with distributed generation [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38: 68-73.
- [15] 高亮,郎陈杰,夏能弘.分布式电源并网条件下配电网继电保护方案设计[J].电力系统保护与控制,2017,45(18):143-149.
GAO Liang, LANG Chenjie, XIA Nenghong. Design of relay protection scheme of distribution network with DG [J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(18): 143-149.

[16] 张家明,黎明,张帅,等. 100kW 组合型振荡浮子式波浪发电装置能量转换系统研究[J]. 太阳能学报,2017,38(12):3355-3362.
ZHANG Jiaming, NI Ming, ZHANG Shuai, et al. Energy conversion system research of 100kW combined oscillating float wave power plant [J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2017, 38(12):3355-3362.

[17] 常成,熊炜,袁旭峰,等. 主动配电网智能控制终端自适应保护整定研究[J]. 电测与仪表,2017,54(22):35-41.
CHANG Cheng, XIONG Wei, YUAN Xufeng, et al. Research on adaptive protection setting of intelligent control terminal in active distribution network [J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2017, 54(22):35-41.

[18] 胡荣兴,荆朝霞,肖江. 考虑负荷响应的海岛微电网优化配置[J]. 广东电力,2016,29(12):32-38.
HU Rongxing, JING Zhaoxia, XIAO Jiang. Optimized configuration

for island micro-grid considering demand response [J]. Guangdong Electric Power, 2016, 29(12):32-38.

[19] 孙景钉,杨建华,李琦,等. 融合配电自动化技术的海岛微电网控制策略研究及实现[J]浙江电力. 2017,36(10):68-71.
SUN Jingdiao, YANG Jianhua, LI Qi, et al. Research and realization of island microgrid control strategy integrated with distribution automation technology [J]. Zhejiang Electric Power, 2017, 36(10):68-71.

收稿日期:2019-06-12

作者简介:



吴祝李(1971),男,本科,工程师,主要从事分布式配电网故障研究方面的工作。

(本文责任编辑:范斌)

Research on relay protection scheme of distribution network for weak area with wave energy integration

WU Zhuli¹, QI Peng¹, YANG Guanbao¹, CHEN Bin¹, CHEN Yufeng¹

(1. Sansha Power Supply Bureau of Hainan Power Grid Co., Ltd., Sansha 573100 Hainan, China;
2, Beijing Sifang Jibao Automation Co., Ltd., Beijing 100142, China)

Abstract: In order to solve the problem of misoperation and refusal of relay protection caused by the access of the wave energy generating unit to the distribution network. This paper proposes a relay protection improvement scheme using partitioned longitudinal differential protection and adaptive overcurrent protection. Based on the characteristics of power generation, the wave energy generation model is established, and the impact on the reliability and selectivity of the relay protection action after the grid connection at different locations in the distribution network is analyzed. Then the fault calculation method of distribution network with wave energy generation is analyzed, and the treatment schemes of wave energy generation under different faults are analyzed. Then an adaptive current protection scheme is proposed to replace the reliability coefficient of the traditional three-stage protection by using the protection range coefficient, which realizes the real-time adjustment of the protection setting value according to the location of the fault point, and a zonal longitudinal differential protection scheme for distribution network based on different wave energy access points is proposed. A relay protection scheme based on zonal longitudinal difference and adaptive overcurrent protection is formed. The simulation results show that the scheme can realize the accurate action of the relay protection of the distribution network with wave energy connected at different locations in the distribution network.

Key words: wave energy; distribution network; partition; differential protection; protection range factor; adaptive overcurrent protection