

DOI: 10.7667/PSPC170308

适应于集群风电送出线的参数识别时域距离保护研究

侯俊杰, 樊艳芳, 王一波

(新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830047)

摘要: 为解决传统工频距离保护原理在集群风电送出线发生单相经高阻接地故障时的适应性问题, 提出适应于集群风电送出线的参数识别距离保护原理。该原理将时域零序故障分量网络中的故障点后等效为阻感模型, 将时域零序故障分量网络与时域全量网络相结合, 建立基于参数识别的时域故障测距公式。其中包含过渡电阻和故障距离等4个待识别量, 通过引入最小二乘法对待识别量进行求解, 进一步得到故障距离, 实现保护动作。仿真结果表明, 该原理较适应于集群风电中长距离送出线, 并且在送出线发生单相经高阻接地故障时, 保护能够准确动作。

关键词: 风电集群; 高阻接地; 距离保护; 参数识别

Research on time domain distance protection based on parameter identification for cluster wind power outgoing line

HOU Junjie, FAN Yanfang, WANG Yibo

(School of Electrical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830047, China)

Abstract: In order to solve the traditional power frequency based distance protection's adaptability problem that exists in dealing with cluster wind power outgoing line single-phase to ground faults via a high resistance, a principle of time domain distance protection based on parameter identification for cluster wind power outgoing line is proposed. By placing the zero-sequence fault component network behind fault point equivalent to a resistance inductance model, and combining the time domain zero-sequence fault component network with time domain full-parameter network, a time domain fault location equation based on parameter identification is built. It has four quantities to be identified such as transition resistance, fault distance, etc. The protection device will act according to the fault location calculated by solving the proposed equation with the least squares method. Simulation results show that, the proposed principle is suitable for cluster wind power long distance outgoing line, and can operate accurately under cluster wind power outgoing line single-phase to ground faults via a high resistance.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51467019).

Key words: cluster wind power; ground faults via a high resistance; distance protection; parameter identification

0 引言

随着风电事业的发展, 风机装机容量不断增加, 风电在电源中所占比重也在不断扩大, 其故障特征较常规能源有着较大的区别^[1-2]。常规能源线路的传统保护原理应用于风电系统时, 适应性存在问题。

其中, 传统工频距离保护因可靠性高被广泛用于常规能源线路。但由于风电侧高次谐波、系统正

负序阻抗不等和频率偏移等故障特性, 应用于大规模风电系统时适应性存在问题, 可能造成保护不正确动作的风险^[3-6]。并且考虑到集群风电送出线电压等级较高, 发生单相接地故障可能伴随着过渡电阻的产生, 而传统工频保护原理耐受过渡电阻能力不高, 距离 I 段区内可能发生拒动现象, 保护性能进一步受到影响^[7-8]。

目前, 针对距离保护存在的问题, 国内外学者已经做了一定的研究, 文献[9-12]从风电场自身故障特性及低电压穿越控制策略的角度出发, 讨论了工频原理距离保护在风电系统的适应性问题。其中风

基金项目: 国家自然科学基金项目(51467019); 新疆维吾尔自治区研究生科研创新项目(XJGR12017017)

电系统低电压穿越控制策略的变化,使得风电侧系统正负序阻抗随着风机运行特性和控制策略的变化而发生改变,而工频变化量距离保护因与风电侧系统阻抗直接相关,可能因风电机组运行方式变化而造成保护不正确动作。另外由于风电侧频率偏移和高次谐波等故障特性,使得工频量距离保护因傅式算法提取工频量信息而受到影响,保护适应性存在问题。上述原理从工频保护原理出发,受风电系统故障特性的影响,适应性存在问题,并且未充分考虑送出线发生单相接地故障时过渡电阻带来的影响。为此不少学者提出了自适应距离保护原理,文献[13]提出了一种抗过渡电阻的新型自适应距离保护方案,但该原理未充分考虑集群风电故障特征的复杂性,应用于风电系统时,其适应性需要进一步研究。

近些年,国内外学者提出利用电网络理论,利用参数识别的方法获取故障网络中所需要的电气量信息并构成保护判据,该原理不受系统运行方式变化及过渡电阻和系统振荡的影响,保护性能优越于传统距离保护原理^[14]。其中文献[15]利用参数识别的思想提出了具有3个待识别量的抗高阻接地时域距离保护算法,该原理通过将故障点后网络等效为一个电感的思想,列写故障测距方程,并利用最小二乘法,对方程组进行求解。但该原理将故障点后等效为电感却忽略了电阻参数,由于线路中电抗值远大于电阻值,故在短距离线路中该原理的误差较小、测距精度高;但当线路较长时,若仍忽略电阻参数,将存在原理上的误差,其测距精度会受到影响。

文中首先对文献[15]提出的基于参数识别思想的抗高阻接地时域距离保护在集群风电送出线的适应性进行研究。并且在上述原理的基础上,提出适应于风电送出线的参数识别时域距离保护原理。该原理将故障点后的网络等效为电阻、电感,并将时域零序故障分量网络与时域全量网络结合,组成包含过渡电阻、故障距离等4个待识别量的参数识别时域方程测距公式,利用最小二乘法对方程进行求解,得到故障距离,实现保护动作。结合新疆某地区集群风电算例对工频量距离保护以及上述两种参数识别原理的距离保护进行仿真验证。

1 基于参数识别的抗高阻接地时域距离保护在集群风电的适应性分析

为适应于集群风电送出线的故障特性,同时解决传统工频保护原理在发生单相经高阻接地故障时耐过渡电阻能力不高的问题,提出将参数识别距

离保护原理应用于集群风电送出线。首先结合文献[15]对基于参数识别的抗高阻接地时域距离保护在集群风电送出线的适应性进行分析。

1.1 基于参数识别的抗高阻接地时域距离保护

该原理利用零序故障分量网络与全量网络结合的思想,将零序网络故障点以后的电路等效为一个电感,推导出具有3个待识别量的参数识别抗高阻接地时域距离保护方程,通过对待识别量的求解,得到故障距离,并形成相应的保护动作判据。

以集群风电送出线发生a相经过渡电阻接地故障为例,如图1所示。

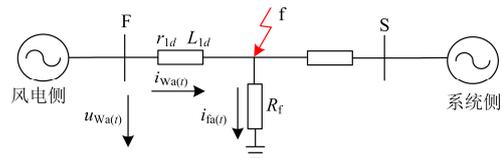


图1 故障等效图

Fig. 1 Fault equivalent diagram

图1中, $u_{wa}(t)$ 、 $i_{wa}(t)$ 为风电侧保护安装处故障相电压、电流的瞬时值; r_{1d} 、 L_{1d} 分别为风电侧故障线路的电阻、电感值; $i_{fa}(t)$ 为流过过渡电阻的电流的瞬时值; R_f 为过渡电阻。以上电压、电流信息全部为时域全量信息。

由图1可得式(1)。

$$u_{wa}(t) = (i_{wa}(t) + K_R 3i_{w0}(t))r_{1d} + (i_{wa}(t) + K_L 3i_{w0}(t))L_{1d} + I_{fa}(t)R_f \quad (1)$$

式中, K_R 和 K_L 分别表示零序电阻、电感的补偿系数,其中 $K_R = (r_0 - r_1)/3r_1$, $K_L = (L_0 - L_1)/3L_1$, r_0 、 r_1 、 L_0 、 L_1 分别为线路单位长度的正、零序电阻、电感值。

由于文献[15]忽略了时域零序故障分量网络故障点之后的电阻值,将故障点后等效为电感,则图1对应的时域零序故障分量网络如图2所示。

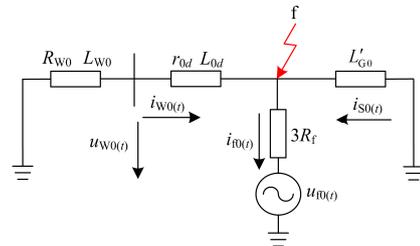


图2 时域零序分量网络等效图

Fig. 2 Zero sequence equivalent network in time domain diagram

图2中: R_{w0} 、 L_{w0} 分别为风电侧系统的零序电阻、电感值, R'_{w0} 、 L'_{w0} 分别为风电侧等效的零序电

阻、电感值,其中 $R'_{w0} = R_{w0} + R_0 d$, $L'_{w0} = L_{w0} + L_0 d$; L'_{G0} 为故障点之后的等效的电感值, $L'_{G0} = L_{G0} + L_0(p-d)$, 其中, L_{G0} 为故障点后系统的电感值, p 为送出线全长; $i_{w0}(t)$ 、 $i_{s0}(t)$ 分别为两侧的零序电流值的瞬时值。

由图 2 可知, 流过渡电阻的电流 $i_{fa}(t)$ 可用式(2)表示。

$$i_{fa}(t) = 3(i_{w0}(t) + i_{s0}(t)) = 3(i_{w0}(t) \frac{R'_{w0} + L'_{w0} + L'_{G0}}{L'_{G0}}) \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)可得保护方程为

$$\frac{du_{wa}(t)}{dt} = x_1 \left[\frac{d(i_{wa}(t) + K_R 3i_{w0}(t))}{dt} r_1 + \frac{d^2(i_{wa}(t) + K_L 3i_{w0}(t))}{dt^2} L_1 \right] + x_2 i_{w0}(t) + x_3 \frac{di_{w0}(t)}{dt} \quad (3)$$

式中, x_1 、 x_2 、 x_3 分别为测距方程(式(3))中的三个系数, 并且与 3 个待识别量 d 、 L'_{G0} 、 R_f 对应, 对应关系可用式(4)进行表示。

$$\begin{cases} d = x_1 \\ L'_{G0} = \frac{x_3}{x_2} R'_{w0} - L'_{w0} \\ R_f = \frac{x_2 L'_{G0}}{3R'_{w0}} \end{cases} \quad (4)$$

然后将式(3)进行离散化处理, 由于方程中需要求解三个系数(x_1 、 x_2 、 x_3), 并且只要满足方程组个数大于未知数个数就可以对方程(3)进行求解, 故利用最小二乘法在一定数据窗长度内就可以满足对该保护方程的求解要求。通过对故障距离 d (即 x_1) 的求解, 得到保护安装处到故障点的测量阻抗值, 通过与整定阻抗值的比较, 实现故障区域的判别并进行保护动作。

该算法可能存在一定的计算误差, 包括离散化过程中使用差分形式代替微分形式引入的计算误差、不考虑线路分布电容引入的误差。针对第一种由差分代替微分引入的计算误差可以通过增大采样率降低计算误差。当采样频率大于或等于 1000 Hz 时, 所引入的计算误差小于 1%, 并且随着采样频率的增大, 误差将进一步缩小。当输电线路距离小于 80 km 时属于短距离输电线路, 分布电容含量低, 可以直接利用集中参数线路模型来表示, 而忽略分布电容带来的误差影响; 当输电长度大于 80 km 而小于 250 km 时, 属于中长距离输电线路, 需要考虑分布电容的影响, 但分布电容含量不高, 只需要利用低通滤波器预先滤除电压、电流中由分布电容

产生的高频分量就可以基本消除误差影响。

1.2 在集群风电送出线的适应性分析

由式(3)可知, 参数识别抗高阻接地时域方程距离保护因提取保护安装处电压、电流的时域信息 ($u_{wa}(t)$ 、 $i_{wa}(t)$) 并不涉及频域量, 故在原理上不受风电侧频率偏移、高次谐波的影响, 克服了工频量距离保护在集群风电送出线中因傅式算法需提取工频量信息的局限性。并且在式(3)中, 由于已知的电气量信息全部来自于线路, 与背侧系统运行方式无关, 故不受风机控制策略及风电侧系统运行方式变化的影响。

由图 1、图 2 可知, 通过引入零序故障分量网络与时域全量网络, 构成参数识别抗高阻接地时域距离保护, 在原理上降低了传统工频变化量距离保护因风电侧系统正负序阻抗不稳定而造成的保护不正确动作的风险。

如式(3)、式(4)可知, 利用最小二乘法在一定的数据长度内, 对式(3)中的四个待识别量进行求解的过程中, 该算法区别于传统工频距离保护原理, 不需要整周波数据窗长度, 只需要在故障期内选取任意一段数据长度实现保护动作响应, 所需数据窗较短, 保护响应速度快。

结合上述分析可知, 该原理克服了传统工频原理距离保护在风电系统中的局限性; 并且将过渡电阻作为待识别量进行求解, 考虑了送出线发生经高阻接地故障时的情况。但该原理将故障点后的网络等效为电感却忽略了电阻参数, 由于线路中电抗值远大于电阻值, 故在短距离送出线中, 该原理误差较小、测距精度高, 当送出线距离较长时, 故障点后的电阻参数将无法忽略, 可能带来算法的原理性误差, 测距精度在一定程度上将受到影响。应用于集群风电送出线时, 保护适应性可能存在问题。

2 基于参数识别的集群风电送出线时域距离保护

在文献[15]原理的基础上, 对该原理提出的将故障点后的电路等效为一个电感的思想进行改进, 添加等效电阻, 得到较完整的风电系统时域零序分量故障网络, 并将该时域零序故障分量网络与时域全量网络进行组合, 推导出含故障距离和过渡电阻等 4 个待识别量的故障距离时域方程, 利用最小二乘法对方程进行求解, 得到故障距离, 并实现保护动作。

2.1 集群风电送出线参数识别时域距离保护测距公式的建立

图 3 为集群风电接入系统的时域全量网络, 在

单相系统模型下, 以发生 a 相接地故障为例。

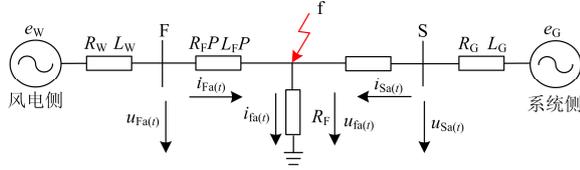


图 3 时域全量网络等效图

Fig. 3 Time domain full-parameter equivalent network

图 3 中: FS 为风电侧与系统侧相连的送出线; R_w 、 L_w 、 R_g 、 L_g 分别为风电侧与系统侧的系统电阻、电感值; $R_f P$ 、 $L_f P$ 分别为风电侧线路的电阻、电感值, 其中 P 为故障距离; $u_{Fa}(t)$ 、 $i_{Fa}(t)$ 、 $u_{Sa}(t)$ 、 $i_{Sa}(t)$ 分别为风电侧保护安装处的 a 相测量电压、电流; $i_{fa}(t)$ 、 $u_{fa}(t)$ 为流过过渡电阻的电流、电压。以上信息全部为保护安装处提取的时域全量信息。

采用时域零序故障分量网络, 将故障点后等效为电阻和电感, 则图 3 等效的时域零序故障分量网络, 如图 4 所示。

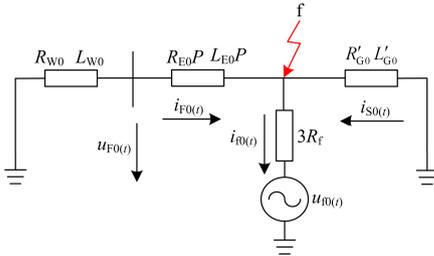


图 4 时域零序分量网络等效图

Fig. 4 Zero sequence equivalent network in time domain diagram

图 4 中: R_{w0} 、 L_{w0} 、 R'_{g0} 、 L'_{g0} 分别为风电侧系统和故障点后等效网络的零序电阻电感值; $R_{f0}P$ 、 $L_{f0}P$ 分别为风电侧线路的零序电阻、电感值, 其中 P 为故障距离; $u_{F0}(t)$ 、 $i_{F0}(t)$ 分别为风电侧保护安装处的零序电压、电流; $i_{f0}(t)$ 、 $u_{f0}(t)$ 为流过过渡电阻的零序电流、电压; $i_{S0}(t)$ 为故障点后系统侧流过的零序电流。以上电压、电流全部为保护安装处提取的时域信息。

由图 3、图 4 可知, 流过过渡电阻的电流 i_{fa} 可用式(5)、式(6)表示。

$$i_{fa}(t) = i_{Fa}(t) + i_{Sa}(t) = i_{F0}(t) + i_{S0}(t) \quad (5)$$

$$i_{fa}(t) = \frac{u_{fa}(t)}{R_f} \quad (6)$$

则故障点后流过系统侧的零序分量电流为

$$i_{S0}(t) = \frac{u_{fa}(t)}{R_f} - i_{F0}(t) \quad (7)$$

由图 4 可知, 在时域零序故障分量网络中, 由

故障点到两侧系统的电压相等可得:

$$i_{S0}(t)R'_{G0} + \frac{di_{S0}(t)}{dt}L'_{G0} = i_{F0}(t)(R_{W0} + R_{F0}P) + \frac{di_{F0}(t)}{dt}(L_{W0} + L_{F0}P) \quad (8)$$

将式(7)代入式(8)中, 消除故障点后流过系统侧的零序分量电流 $i_{S0}(t)$, 并对方程进行调整, 使风电侧流过的零序电流 $i_{F0}(t)$ 统一移至等式右侧, 可得:

$$u_{fa}(t)R'_{G0} + \frac{du_{fa}(t)}{dt}L'_{G0} = i_{F0}(t)(R_{W0} + R_{F0}P + R'_{G0})R_f + \frac{di_{F0}(t)}{dt}(L_{W0} + L_{F0}P + L'_{G0})R_f \quad (9)$$

由图 3 可知, 故障点 f 电压为

$$u_{fa}(t) = u_{Fa}(t) - i_{Fa}(t)R_f P - \frac{di_{Fa}(t)}{dt}L_f P \quad (10)$$

将式(10)代入式(9)中, 消除故障点电压 $u_{fa}(t)$, 则基于参数识别集群风电送出线距离保护测距公式为

$$u_{fa}(t) = x_1 \left[(i_{Fa}(t) + K_R 3i_{F0}(t))R_f + \frac{d(i_{Fa}(t) + K_L 3i_{F0}(t))}{dt}L_f \right] + x_2 \left[\frac{d(i_{Fa}(t) + K_R 3i_{F0}(t))}{dt}R_f + \frac{d^2(i_{Fa}(t) + K_L 3i_{F0}(t))}{dt^2}L_f \right] + x_3 di_{F0}(t) + x_4 \frac{di_{F0}(t)}{dt} + x_5 \frac{du_{Fa}(t)}{dt} \quad (11)$$

式中, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 分别为测距方程(式(11))中的 5 个系数, 并且与 4 个待识别量 p 、 R'_{G0} 、 L'_{G0} 、 R_f 对应, 其对应关系可用式(12)进行表示。

$$\begin{cases} p = x_1 \\ R'_{G0} = \frac{x_3(L_{W0} + L_{F0}P) - x_4(R_{W0} + R_{F0}P)}{x_4 + x_3x_5} \\ L'_{G0} = -x_5R'_{G0} \\ R_f = \frac{x_3R'_{G0}}{6(R_{W0} + R_{F0}P + R'_{G0})} + \frac{x_4R'_{G0}}{6(L_{W0} + L_{F0}P + L'_{G0})} \end{cases} \quad (12)$$

2.2 保护判据的构建及保护性能分析

选取一定长度的数据窗, 利用最小二乘法对基于参数识别集群风电送出线距离保护测距公式中的系数 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 进行求解。其中通过 x_1 可得故障距离 p 。并计算出保护安装处到故障点的阻抗值 Z_{ad} 。基于时域方程模型误差修正的距离保护动作判据为

$$Z_{ad} < Z_{set} \quad (13)$$

式中, Z_{set} 为保护安装处整定阻抗值。

通过对修正后的阻抗值和整定阻抗值做比较,

可以得出：当修正后的阻抗值小于整定值时，判定为区内故障，保护动作；反之判定为区外故障，保护不动作。

基于参数识别思想的集群风电送出线时域距离保护原理，在原理上继承了参数识别抗高阻接地时域方程距离保护的优点，即不受风电侧故障特性的影响，不受过渡电阻的影响，并且所需数据窗较短，保护动作响应速度快；同时在该原理的基础上，将故障点后的电路等效为电阻和电感，在原理上克服了参数识别抗高阻接地时域方程距离保护因忽略故障点后的等效电阻所带来的原理误差。并且考虑了过渡电阻的影响，在原理上较适应于集群风电送出线。

3 仿真算例分析

验证工频量距离保护性能及两种参数识别原理的保护性能及测距精度，文中基于新疆某地区双馈风电集群送出线实际网架结构(如图 5)及参数数据，利用 PSCAD 软件构建了集群风电场电磁暂态仿真模型，得到系统故障仿真数据，并运用 Matlab 软件对数据进行处理，实现保护算法。

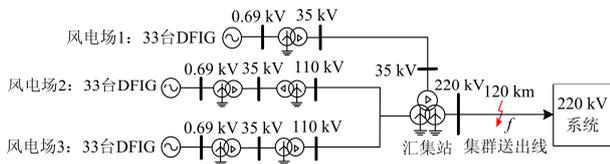


图 5 双馈集群风电汇集接入系统图

Fig. 5 Cluster of DFIG farms connected to grid

仿真系统参数如下，双馈风电集群MHGD汇集站送出线电压等级为220 kV，双馈机组处于欠同步状态($s=0.8$)。双馈集群汇集站主变额定容量500 MW，额定电压38.5/121/230 kV，电压百分比 $U_{k12}(\%)=8$ ， $U_{k23}(\%)=15$ ， $U_{k13}(\%)=24$ ，送出线长度为120 km，单位正序线路电阻、电感、电容分别为 $0.052 \Omega/\text{km}$ 、 $1.080 \text{ mH}/\text{km}$ 、 $0.013 \mu\text{F}/\text{km}$ ；常规电源的正、零序系统阻抗分别为 $2.41+j54.38 \Omega$ 、 $1.2+j17.6 \Omega$ ；单位零序线路电阻、电感、电容分别为 $0.29 \Omega/\text{km}$ 、 $2.7 \text{ mH}/\text{km}$ 、 $0.009 \mu\text{F}/\text{km}$ 。

3.1 基于工频量距离保护在集群风电送出线的适应性分析

对工频量距离保护在该地区集群风电送出线的适应性进行仿真分析，由于该原理未考虑过渡电阻的影响，故本文只以发生a相经 10Ω 接地故障为例，距离保护整定值I段范围按照全长的85%，故障在距离I段50% (51 km)处及105% (107 km)处，在4 s发生，持续时间为0.3 s。保护采用20 ms的数据窗，仿真采样率为4 kHz，并使用截止频率为300 Hz的

低通滤波器进行滤波，采用方向阻抗继电器，在故障发生后的0.04 s判断保护动作情况，仿真结果如图6所示。

由图6、表1可以得出，基于工频量距离保护在发生区内故障时，测量阻抗值不稳定，可能发生距离I段区内拒动现象，并且抗过渡电阻能力较弱。发生区外故障时，保护不动作。综上分析可知，基于工频量原理的距离保护应用于风电系统时，适应性存在问题。

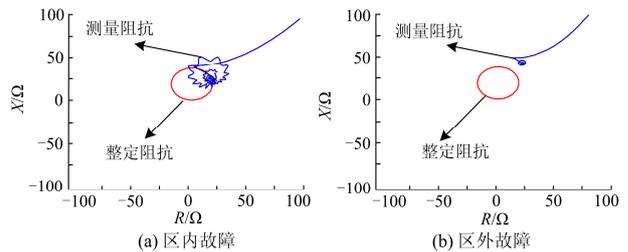


图 6 工频量距离保护动作结果

Fig. 6 Power frequency distance protection action results

表 1 工频量距离保护动作结果

Table 1 Power frequency distance protection action results

故障位置	测量阻抗特征	保护动作结果
区内	圆外-圆内-圆外	不稳定
区外	圆外	不动作

3.2 基于参数识别思想的两种距离保护动作情况的仿真对比

对文献[15]提及的参数识别经高阻接地距离保护及本文提出的集群风电送出线参数识别时域距离保护在该地区集群风电送出线的适应性进行对比仿真分析，以发生a相经 100Ω 接地故障为例，距离保护整定值I段范围按照全长的85%，故障在距离I段50% (51 km)处及105% (107 km)处，在4 s发生，持续时间为0.3 s。保护均采用10 ms的数据窗，仿真采样率为4 kHz，并使用截止频率为300 Hz的低通滤波器进行滤波，采用方向阻抗继电器，在故障发生后的0.01 s判断保护动作情况，仿真结果如图7、图8所示。为分析方便，用参数识别方法1代替文献[15]提及的参数识别经高阻接地距离保护；用参数识别方法2代替本文所提的参数识别集群风电送出线时域距离保护。并且为量化测量距离与实际距离的偏差程度，本文定义偏差率 D ， $D=(\text{测量距离}-\text{实际距离})/\text{实际距离}$ 。

将两种保护原理的故障测量距离及保护动作情况汇总至表2。

由表2可知，当送出线距离I段50%处(51 km)发生a相经高阻接地故障时，参数识别方法1的故

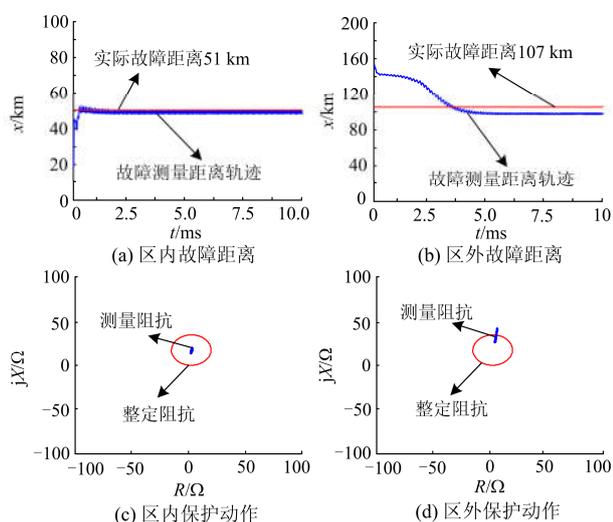


图 7 参数识别方法 1 的保护动作结果

Fig. 7 Protection action results of parameter identification method 1

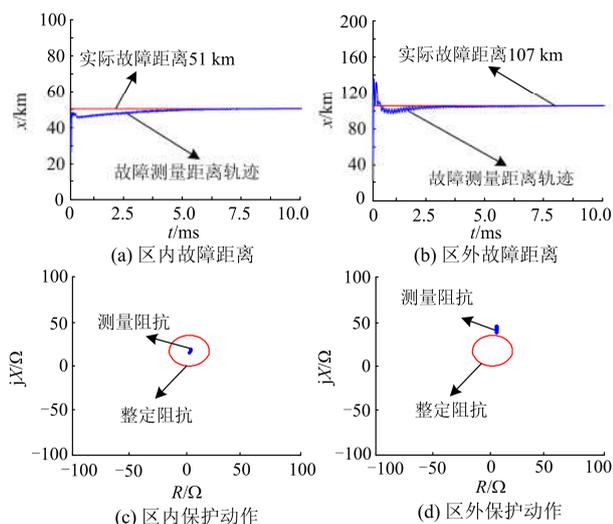


图 8 参数识别方法 2 的保护动作结果

Fig. 8 Protection action results of parameter identification method 2

表 2 集群风电距离 I 段保护动作结果

Table 2 Cluster wind power distance I protection action result

测距及动作结果	50%处	105%处	50%处	105%处
	测距	测距	保护动作	保护动作
参数识别方法1	50.2 km	99.4 km	区内正确动作	区外误动作
参数识别方法2	50.4 km	106.3 km	区内正确动作	区外不动作

障测量距离为 50.2 km, 较真实故障距离的偏差率为-1.5%, 保护正确动作; 本文提出的参数识别方法 2 的故障测量距离为 50.4 km, 较真实故障距离有-1.2%的偏差率, 误差较小, 并且保护亦能正确动作。

当送出线距离 I 段 105%处(107 km)发生 a 相经高阻接地故障时, 参数识别方法 1 的测距偏差率为-7%, 比实际故障距离略短, 保护出现区外误动现象。本文提出的参数识别方法 2 的保护原理的故障测距出现-0.65%的测距偏差率, 测距精度较高, 保护正确不动作。

由上述分析可知: 参数识别方法 1 在中短距离送出线具有较强的抗过渡电阻性能, 但当故障距离较长时, 保护易出现误动现象; 本文提出的参数识别方法 2 的保护原理在送出线距离 I 段区内及区外发生经高阻接地故障时, 保护均能正确动作, 且测距精度较高, 并且具有较强的抗过渡电阻性能, 较参数识别方法 1 在中长距离送出线中同样适用。

3.3 基于参数识别思想的两种距离保护在集群风电送出线的测距精度仿真对比

工况与仿真参数同 3.2 节所示, 为进一步仿真对比两种保护原理的测距精度, 以故障发生在距风电侧 40 km、50 km、60 km、70 km、80 km、90 km、100 km、110 km 处为例, 对两种保护原理在集群风电送出线的测距精度进行仿真对比, 如表 3 所示。

表 3 集群风电送出线故障测距精度对比

Table 3 Accuracy comparison of clusters wind power outgoing line fault location

测量距离及偏差率/km	parameter identification			
	方法1的测量距离/km	方法1的测距偏差率/%	方法2的测量距离/km	方法2的测距偏差率/%
40	42.5	6.25	39.6	-1.00
50	49.1	-1.80	49.5	-1.00
60	58.4	-2.67	59.6	-0.67
70	67.7	-3.29	69.7	-0.43
80	76.6	-4.25	79.4	-0.75
90	83.2	-9.56	89.3	-0.78
100	89.5	-10.50	99.5	-0.50
110	97.2	-11.64	109.2	-0.73

由表 3 可知, 参数识别方法 1 的测距精度随着故障距离的增加而降低, 并且当故障距离大于 50 km 时, 该方法的测量距离小于真实故障距离, 并且误差较大。当故障发生在集群风电送出线距离 I 段区外时, 极易发生距离 I 段区外误动现象, 使该原理的保护性能受到影响。由此可以看出参数识别方法 1 较适用于短距离送出线, 并且具有较强的抗过渡电阻性能。但随着故障距离的增长, 保护不正确动作的风险会增大。

本文所提的参数识别方法 2 的保护原理在送出线发生单相经高阻接地故障时, 故障测量距离较真实值略小, 但相比于参数识别方法 1 测距精度较高,

保护在距离 I 段区内外均能正确动作。该原理不但具有抗过渡电阻性能, 并且克服了参数识别方法 1 在中长距离送出线中测距精度较差的缺点, 有效地避免了在距离 I 段区外保护误动的现象。

4 结论

通过对上述两种保护原理在双馈集群送出线的适应性分析, 可得以下结论:

1) 基于工频量距离保护原理, 在发生距离 I 段区内故障时, 存在测量阻抗不稳定的现象, 易造成距离 I 段保护拒动现象, 并且抗过渡电阻性能较弱, 应用于风电接入系统时存在一定的适应性问题。

2) 基于参数识别的抗高阻接地距离保护原理将零序网络故障点后等效为一个电感, 忽略了等效电阻, 并将此时域零序故障分量网络与时域全量网络进行组合, 增加了过渡电阻的待识别量。在集群风电短距离送出线中, 抗过渡电阻性能较为理想, 且测距精度较高。但该原理在中长距离送出线中, 测距精度较差, 测量距离较真实值偏小。在送出线距离 I 段区外发生单相经高阻接地故障时, 易发生区外误动现象, 适应性存在问题。

3) 基于参数识别的集群风电送出线时域距离保护原理继承了参数识别抗高阻接地距离保护的优点, 将故障点后等效为电阻和电感, 在原理上克服了参数识别抗高阻接地距离保护因忽略故障点后的电阻而带来的原理上的误差。不但适用于短距离送出线, 在集群风电中长距离送出线中同样适用。

参考文献

- [1] 杨增力, 孔祥平, 王力军, 等. 适用于双馈风电场联络线的距离保护方案[J]. 电工技术学报, 2016, 31(24): 252-260.
YANG Zengli, KONG Xiangping, WANG Lijun, et al. Distance protection scheme for interconnection line of doubly-fed induction generator based wind farm[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(24): 252-260.
- [2] 肖繁, 张哲, 尹项根, 等. 含双馈风电机组的电力系统故障计算方法研究[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 14-23.
XIAO Fan, ZHANG Zhe, YIN Xianggen, et al. The fault calculation method of power systems including doubly-fed induction generators[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(1): 14-23.
- [3] 李松林, 欧阳金鑫. 计及双馈机组影响的同步发电机短路电流特征研究[J]. 电网与清洁能源, 2017, 33(2): 124-129, 136.
LI Songlin, OUYANG Jinxin. Research on characteristics of short-circuit current of synchronous generator considering doubly-fed induction generator[J]. Power System and Clean Energy, 2017, 33(2): 124-129, 136.
- [4] 卜强生, 高磊, 宋亮亮, 等. 风电场短路电压电流频率不一致对距离保护及测试的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(8): 21-27.
BU Qiangsheng, GAO Lei, SONG Liangliang, et al. Short circuit current and voltage frequency inconsistency in wind farm and its effect on distance protection and relay protection test[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(8): 21-27.
- [5] ZHONG Xian, FAN Yanfang, CHEN Weiwei, et al. Study on LVRT coordinate control strategy of DFIG when considering non-rotor side crowbar protection[J]. Journal of Computational Information Systems, 2015, 11(18): 6747-6757.
- [6] 滕予非, 行武, 张宏图, 等. 风力发电系统短路故障特征分析及对保护的影响[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(19): 29-36.
TENG Yufei, XING Wu, ZHANG Hongtu, et al. Analysis of characteristics of short circuit fault of wind power system and the impact on the protection[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(19): 29-36.
- [7] 张保会, 王进, 原博, 等. 风电接入对继电保护的影响(六)—风电场送出线路距离保护影响分析[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(6): 1-6.
ZHANG Baohui, WANG Jin, YUAN Bo, et al. Impact of wind farm integration on relay protection (6): analysis of distance protection for wind farm outgoing transmission line[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(6): 1-6.
- [8] 钟显, 樊艳芳, 王一波. 双馈集群汇集站主变及送出线路继电保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 47-54.
ZHONG Xian, FAN Yanfang, WANG Yibo. Research of transformer and outgoing line protection of collection station where cluster of double-fed wind farms put in[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 47-54.
- [9] 杨欢红, 李庆博, 寇柯, 等. 双馈风电场的频率特性对距离保护的影响[J]. 高压电器, 2016, 52(9): 116-120.
YANG Huanhong, LI Qingbo, KOU Ke, et al. Impact of frequency characteristics in wind farms based on doubly-fed induction generators wind farm on distance protection[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(9): 116-120.
- [10] 陈伟伟, 李凤婷, 张玉, 等. 风电 T 接双电源系统对距

- 离保护的影响分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(7): 108-114.
- CHEN Weiwei, LI Fengting, ZHANG Yu, et al. Impact of wind farm on distance protection for T-connected to the dual power system[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(7): 108-114.
- [11] 毕天姝, 李彦宾, 马丽红, 等. 风场及其送出线保护配置与整定研究[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 45-50.
- BI Tianshu, LI Yanbin, MA Lihong, et al. Configuration and setting of relay protection for wind farm and its outgoing line[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 45-50.
- [12] 徐岩, 林旭涛, 赵亮, 等. 大型风电场对工频故障分量距离保护影响的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(10): 118-125.
- XU Yan, LIN Xutao, ZHAO Liang, et al. Research on impact of large wind farms on distance relay using power fault component[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(10): 118-125.
- [13] 马静, 王卓, 李文可, 等. 一种抗过渡电阻的新型自适应距离保护方案[J]. 电力系统自动化, 2015, 39(18): 114-121.
- MA Jing, WANG Zhuo, LI Wenke, et al. A new adaptive distance protection scheme against transition resistance[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(18): 114-121.
- [14] 索南加乐, 康小宁, 宋国兵, 等. 基于参数识别的继电保护原理初探[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(1): 14-20.
- SUONAN Jiale, KANG Xiaoning, SONG Guobing, et al. Survey on relay protection using parameter identification[J]. Proceedings of the CSU-EPSCA, 2007, 19(1): 14-20.
- [15] 索南加乐, 王增超, 张健康, 等. 基于参数识别的高阻抗接地距离保护算法[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(31): 173-178.
- SUONAN Jiale, WANG Zengchao, ZHANG Jiankang, et al. Grounding distance protection algorithm for long transmission line based on parameter identification[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(31): 173-178.
-
- 收稿日期: 2017-03-06; 修回日期: 2017-05-17
- 作者简介:
- 侯俊杰(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为可再生能源并网技术与电力系统继电保护; E-mail: 826686025@qq.com
- 樊艳芳(1971—), 女, 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为新能源并网技术、电力系统保护与控制。E-mail: 410849062@qq.com
- (编辑 葛艳娜)