

[智能变电站]

基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断方法

文/国电南瑞科技股份有限公司 韩建波

目前的智能变电站继电保护设备故障诊断方法普遍存在诊断效率低、误差大等问题，不利于智能变电站的稳定运行。为解决以上问题，研究了一种新的基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断方法，该方法在维护智能变电站的稳定运行方面发挥了巨大作用。

继电保护设备的稳定工作是确保智能变电站持续运行的基础，当智能变电站异常工作时，继电保护设备能够及时发出故障警报，并采取跳闸命令隔离故障区域，实行安全保护。当继电保护设备本身出现故障时，不仅易产生误报等现象，还容易导致设备拒动作，给智能变电站的安全运行带来威胁。本文以特征参数为基础，通过设定特征参数，提取采集数据的特征信息并进行数据识别，最大限度地保证故障信息的完整性，针对继电保护设备的保护故障和隐形故障具有较高的识别能力。且经过对比实验验证，基于特征参数的故障诊断方法具有较高的诊断效率和准确率，能够促进智能变电站的进一步发展。

故障诊断模型的构建

在进行智能变电站继电保护设备故障检测的过程中，设备的运行电流、保护动作距离、设备的起跳时间和穿越频率等参数变量均可用于表示继电保护设备运行中监测故障信号的具体特征，根据以上参数变量具有的特征，构建对应的基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断模型，设定特征参数，检测继电保护设备的运行信息，提取离散型故障信号，经过统一化信息处理和参数识别后，实

现继电保护设备的故障识别。基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断模型如图1所示。

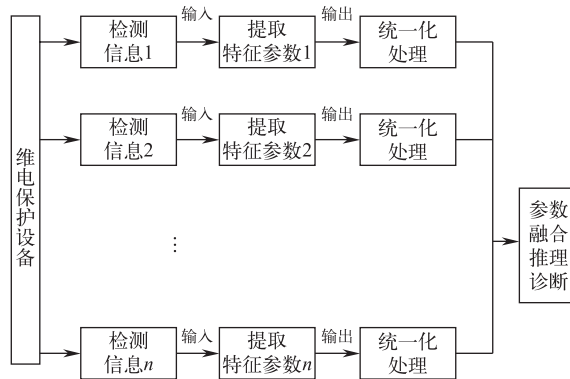


图1 故障诊断模型

1. 特征参数的设定

分形常被应用于表述各种设备几率的复杂波形以及传统计量工具难以描述的非线性行为，因此，分形维数常被应用于设备的故障诊断领域。应用领域不同，分形维数的定义也存在差异。分形维数的本质是以某种尺度对特征变量进行度量，分形维数则表示度量结果与度量尺度的某种比值，借助相似性原理洞察隐藏在海量数据间的混乱数据。本文采用分形维数中的信息维数和关联维数作为主特征参数。

(1) 信息维数

当采用边长为 X 的格子覆盖继电保护装置的运行网路时,设故障信号落入第 i 个矩形格子的概率为 $P_i(X)$,则此时继电保护装置的状态准确度至 X 量级所需的信息量定义为熵 $I(X)$, $I(X)$ 的计算方式如下

$$I(X) = -\sum_{i=1}^m P_i(X) \ln P_i(X) \quad (1)$$

式中, m 为矩形格子的总数量。

式(1)可表示为采集的继电保护装置运行数据的一个故障信号覆盖在第 i 个单元格中所传递的平均信息。则在该故障诊断模型中,信息维数的定义可表示为

$$d_{\text{inf}} = -\lim_{X \rightarrow 0} \frac{\log I(X)}{\log(X)} \quad (2)$$

(2) 关联维数

与信息维数相近,关联维数同样建立在故障信号落入各边长为 X 的单元格的概率 P 的基础上,以某一单元格为核心,不断向周围单元格交换采集信息,从而建立数据关联网路,采用关联维数作为特征参数的优势在于,能够根据一个故障信号寻找出与其关联的其他故障信号。关联维数的定义如下

$$d_{\text{cor}} = -\lim_{X \rightarrow 0} \frac{1}{\log X} \log \left(\sum_{r=1}^m P^2 \right) \quad (3)$$

式中, r 为关联维数定义系数。

以上公式反映了采集的继电保护装置运行数据集中故障点间距离接近程度的概率,也反映了故障点间彼此的关联程度。

2. 离散型故障信号的提取

根据以上特征参数,对继电保护装置的实时运行数据进行采集,将采集数据生成样本集,提取故障参数。由于单一的故障参数无法作为直接判定设备故障的因素,因此需将该故障参数进行离散化处理,自定义继电保护装置中故障参数离散化时的状态为 x ,则故障参数 j 的取值范围为 $1 \sim n$, n 表示采集样本集中的样本数量,离散型故障信号的有效值可用以下公式计算

$$h = \left(\frac{\sum_{j=1}^N x_j^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

式中, h 为信号的有效值; x_j 为该故障点电流的流经状态; N 为多个电流中信号点的个数。

利用式(4)可直接根据所计算离散型故障信号的有效值来判断信号流通的强度,验证该离散型故障信号的有效性。结合继电保护装置的电流强度计算,提取故障信号的电流极值特征,电流极值的计算公式如下

$$h_j = \frac{\sum_{j=1}^U |x_j|}{N} \quad (5)$$

式中, h_j 为故障点电流强度的特征参数信息; U 为故障点的电流强度极值状态。

对 x_j 进行绝对值处理的目的在于,忽略电流流经方向对计算结果的影响,从而更精确地实现离散型故障信号的提取。

3. 基于特征参数的故障识别

在离散型故障信号的提取的基础上,针对采集到的电流相量,利用傅里叶算法展开分析,确认继电保护设备的运行电流是否满足正常启动的需求,通过判断继电保护设备的动态特性是否正常来识别设备是否发生故障。

实际对继电保护设备进行识别时,可以根据设备采集的保护定值和保护原理完成故障准确识别与判断。具体来讲,就是可以对互感器模拟量进行滤波处理和逻辑判断。通过定值比较,如果发现逻辑与定值整定不合理,则可判断继电保护设备是否出现故障。其中,对传感器模拟量进行滤波处理的目的是除去信号间的噪声干扰,提升故障识别的准确度。

智能变电站继电保护设备的故障诊断

在对故障信号的初步识别结果的基础上,结合继电保护设备结构进一步判断继电保护设备的故障类型,实现高准确度的故障诊断,智能变电站继电保护设备结构如图2所示。

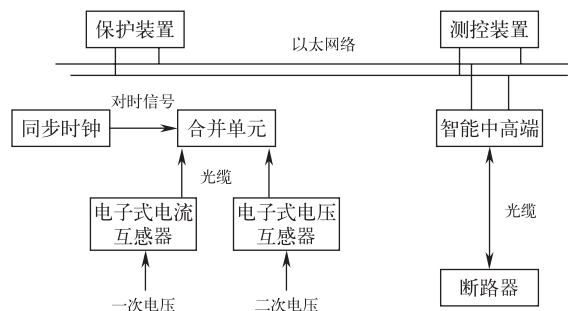


图2 智能变电站继电保护设备结构

故障诊断的本质是利用动作距离、启跳时间和穿越频率对故障所在区域、相邻区域和较远区域的继电保护装置动作展开分析,确认各参数值是否满足正常运行需求。如果未能达到要求,说明区域存在保护故障。

1. 基于动作距离分析的保护故障诊断

保护故障存在于继电保护装置的主保护装置和后备保护装置,是造成继电保护装置无法进行保护动作的关键原因。当智能变电站继电保护设备运行时,若设备发生保护故障,将发出跳闸指令,相邻后备保护装置动作。

假设继电保护设备处于正常工作状态,各项参数无异常变化,设主保护设备的启动距离为 D_1 ,动作距离为 D_2 ,在系统能够维持正常运行状态时,动作距离呈现出下述规律:

1) 当继电保护设备的主保护装置满足 $D_1>0$ 、 $D_2>0$,且后备保护装置也满足以上距离关系时,同时发送跳闸指令。

2) 若在相邻位置的继电保护装置上,如果主保护装置距离电源较近,在主保护装置 $D_1>0$ 、 $D_2<0$ 情况下,后备保护装置的动作距离大于零,因此能够提供后备保护;如果主保护装置距离电源较远,且存在主保护装置 $D_1<0$ 、 $D_2<0$,后备保护装置动作距离小于零的情况时,继电保护装置不会发生保护动作。

基于以上动作距离规律,当采集的运动距离参数信息违反以上规律时,可认定该故障为保护故障,通过总结故障规律,可以判断故障是发生在主保护装置还是后备保护装置上,结合运动距离参数的采集来源锁定故障位置,便于故障的清除。

2. 基于穿越频率分析的隐性故障诊断

相较于保护故障,隐性故障多发生于继电保护装置的电路单端。隐性故障的诊断存在特征参数不明显、诊断误差大以及故障定位困难等特点。智能变电站继电保护设备隐性故障示意图如图3所示。

图3中,在简易母线的保护下,1和2保护存在重叠,由于继电保护装置需要对保护本体和支路元件同时进行保护动作,保护重叠则容易引发误动作。当间隔1线路位置发生线路故障F时,由于参数变量变化明显,出线保护和站域保护将会停止保护动作。但是如果1线路保护装置存在隐性故障,由于参数变量不明显,设备无法识别故障状态,将导致

站域无法闭锁,且无法正常动作,随之引发变电站运行事故。

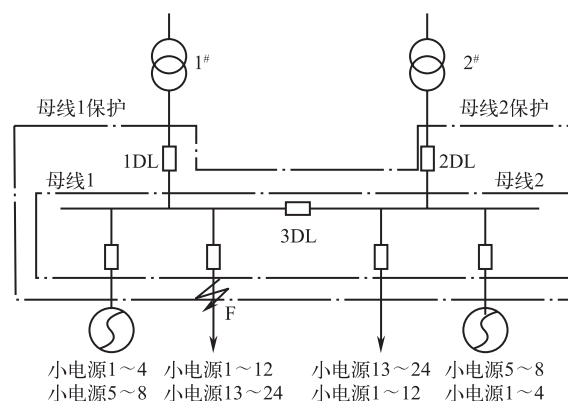


图3 智能变电站继电保护设备隐性故障示意图

根据继电保护设备元件间的冗余关系,可以引入穿越频率进行隐性故障提前诊断。相较于其他参数变量,穿越频率的变化特征明显且易采集,从灵敏度上看,要满足继电保护装置的正常工作,其运行电路的穿越频率应大于1。当穿越频率由1以上数值逐渐变为1以下数值时,预示该穿越频率变化区域与故障区域较近,可通过区间穿越频率监测来实现隐性故障的诊断。

实验研究

为验证本文研究的基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断方法的有效性,进行了对比实验,设计了模拟继电保护设备来模拟设备故障,用于对比本文研究的故障诊断方法和传统基于信息融合的智能变电站继电保护设备故障诊断方法的故障诊断效果。模拟继电保护设备的运行电路如图4所示。

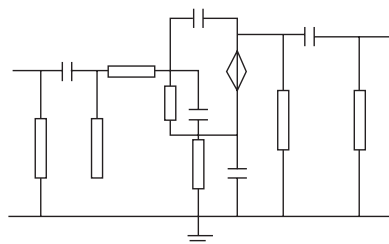


图4 模拟继电保护设备的运行电路图

实验开始时,首先初始化模拟继电保护设备参数,在统一的实验环境下,严格按照实验步骤进行实验操作,在模拟继电保护设备中设置50处故障,

故障类型的位置随机,采用传统的基于信息融合的故障诊断方法进行故障诊断,然后采用本文研究的基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断方法进行同样的实验步骤,设置传统基于信息融合的故障诊断方法为对照组。模拟继电保护设备的参数见下表。

表 模拟继电保护设备的参数

项目	参数
输出准确度	0.5级
最大负载电压/V	20
谐波次数	1~2
基波频率范围/Hz	20~1 000
电流输出/A	0~10
相电压输出功率/V·A	70
开关量输入/路	7

按照上述设计实验步骤进行实验操作,实时监控两种故障诊断方法的故障诊断过程,得到诊断效率对比结果,如图5所示。

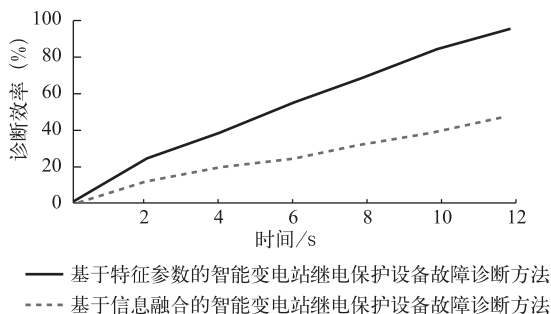


图5 诊断效率对比图

从图5可以看出,针对模拟的设备故障,本文研究的诊断方法的耗时约为12 s,诊断效率约为4.16/s;而基于信息融合的诊断方法的耗时约为46 s,诊断效率约为1.08/s。由此可以得出结论:本文研究的故障诊断方法的诊断效率明显高于基于信息融合的诊断方法的诊断效率。原因在于,基于信息融合的诊断方法需对采集的全部数据进行融合处理,数据处理量巨大,降低了诊断效率。而本文研究的基于特征参数的诊断方法通过设定特征参数,只对设定的信息参数进行分析,针对提前故障信号进行处理和计算,极大地减少了数据处理量,提升了诊断效率。

为进一步验证两种诊断方法的诊断准确率,采用标准的神经网络模拟两种诊断方法的诊断过程,随机更换模拟继电保护设备内的故障数量和位置,

在短时间内实现多次故障诊断,统计诊断结果,得到的继电保护设备故障诊断误差如图6所示。

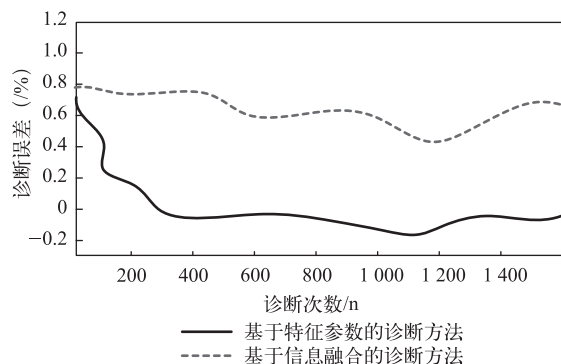


图6 继电保护设备故障诊断误差

从图6可以看出,本文研究的基于特征参数的诊断方法的误差率约为0.2%,准确率约为99.8%;而基于信息融合的诊断方法的误差率约为0.8%,准确率约为99%。造成这种差异的原因在于,基于信息融合的诊断方法针对设备的隐性故障识别准确率较低,信息融合规则不够完善,易忽略隐藏信息的融合。而本文研究的基于特征参数的诊断方法,结合运动距离分析和穿越频率分析,诊断继电保护设备的保护故障和隐性故障,针对参量变化不明显的隐性故障仍具有较高的诊断准确率,提升了整体的诊断性能。

综上所述,本文研究的基于特征参数的智能变电站继电保护设备故障诊断方法较传统的基于信息融合的诊断技术实用性能更高,可靠性更强,更适用于未来电力行业的发展。

结束语

综上所述,为保证智能变电站的稳定运行,针对继电保护设备的故障诊断刻不容缓。运用特征参数对继电保护设备的保护故障和隐性故障进行判断和分析,在故障诊断模型的故障识别基础上,利用动作距离、穿越频率等量化指标对设备的运行状态进行评估,确认其是否满足正常运行规律,能够准确判断设备存在的故障,并通过区域参数提取判断故障的发生位置,继而为故障的修复运行提供便利。从实验分析结果来看,采取该方法能够快速对发生故障的继电保护设备进行准确诊断,具有较高的实用性和可靠性。EA

(收稿日期:2021-06-15)