

一种基于多信息融合的快速继电保护算法的研究与设计

继电保护可以充分地利用电网内的冗余测量信息进行故障识别,对电网故障进行快速隔离。考虑到电网在建设过程中的成本及经济效益问题,通常需要快速断路器和普通断路器配合使用,而快速断路器较普通断路器的速度快得多,这就导致断路器在串联使用时,存在时间配合问题,暴露出速动性和选择性的矛盾。基于此,提出和设计了一种基于多信息融合的快速继电保护算法,该算法根据电网结构形成故障识别编码,并利用网络中断路器速度相关参数信息,构建适应度函数和状态期望函数,解决快速断路器和普通断路器串联使用时的时间配合问题,将速动性和选择性统一,达到治理晃电等实际目的。

杨劲松 曾庆祝 梁景明 张 鹏/广东电网有限责任公司中山供电局



杨劲松/工程师

关键词/Keywords

继电保护·
多信息融合·
速动性·
选择性·
晃电·

近年来,随着一系列的新技术在继电保护领域中的应用,尤其是在智能电网的建设推动下,继电保护设备的应用水平日益提高^[1-2],特别是以数字技术为基础的数字化继电保护装置的应用,其快速、准确的性能使得继电保护系统整体性能得到极大的提升^[3]。以继电保护系统的断路器为例,在数字化技术的应用下出现了一系列快速反应的断路器,较于传统的普通断路器,这种断路器的反应时间非常迅速,对提升整个继电保护性能具有重要的意义^[4],但是随着快速断路器的引入,与普通断路器在混合使用过程中,特别是串联使用中,通常会由于与普通断路器之间的反应时差问题,导致时间配合问题,暴露出速动性和选择性的矛盾^[5],一旦在上级采用快速开关,因选择性原则,限制了速动性的目标,实际应用过程中经常产生晃电现象,导致设备受损,如何将速动性和选

择性统一,使得继电保护系统中在应用快速断路器的中有效避免晃电现象,成为了目前提升继电保护系统性能急需解决的问题^[6-7]。针对这一背景,在现代数字化断路器的应用背景下,提出和设计了一种基于多信息融合的快速继电保护算法,以解决快速断路器和普通断路器串联使用时的时间配合问题,将速动性和选择性统一,达到治理晃电等实际目的。

多信息融合概述

多信息融合主要是针对系统中需要采集多种信息或者同一种信息通过多种路径进行采集而展开的一种信息处理的新方法,随着多信息融合技术研究的进一步深入,在电子通信、电力系统、物联网和控制等专业领域得到了广泛的应用。多信息融合技术采用了类处理信息的方式,可以充分地利用系统中的多种信息对其进行分析,将在空间和时间上冗余或者互补的信息根据某种策略来进行组合,加以分析以得出被测对象的一致性解释或者描述,最终实现通过数据组合来推导出更多的系统信息,利用多种信息的组合方式和推断来提高系统的准确性和可靠性,进而消除系统判决过程中采用单一信息或者少量信息的局限性和不稳定性^[8]。

在信息融合处理过程中,通常将其分为数据层信息融合、特征层信息融合和决策层信息融合3个层次,其中数据层信息融合主要是对系统采集到的原始数

据进行融合处理,是最底层的融合。特征层信息融合主要是对采集到的数据进行特征提取,然后对相关的特征信息进行融合处理,在特征层信息融合上,其对信息进行了压缩处理,非常适合于实时性要求高的系统。决策层信息融合是一种高层次的信息融合,其主要是为检测、控制、指挥和决策提供依据,从相关问题出发利用特征层信息融合的优点进行处理,得到相应的决策^[9]。为了进一步阐述多信息融合的过程和原理,给出了多信息融合处理的基本功能模型,如图1所示。后续在设计和研究基于多信息融合的快速继电保护算法中,也将在此模型的基础上进行。

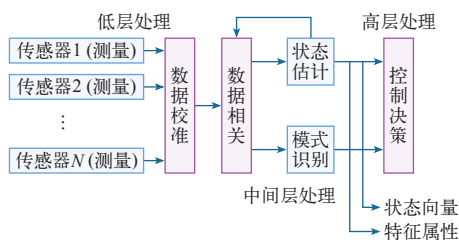


图1 多信息融合系统的功能模型结构示意图

传统后备保护方案的问题

后备保护是电力系统继电保护的一个重要组成部分。在电网快速发展和建设过程中,设备更新替换,导致了在后备保护系统中通常使用不同的断路器等继电保护装置,快速断路器和普通断路器并存成为了目前电网继电保护系统中最为常见的一个现象,特别是在后备保护中,这一现象严重地降低了后备保护系统的稳定性,后备保护的定值、时间配合的整点越来越麻烦,导致后备保护故障频发。

目前常用的后备保护系统大多是通过多段式保护的时限、动作定值和动作区间的相互配合来实现的。对于多段式后备保护来说,多个断路器的配合使用是其成功进行短路保护的关键,虽然目前可以通过在关键部位更换灵敏度更高的断路器来提高其切换性能,达到快速切换的目的,但是出于经济考虑,不可能在所有的地方全部更换快速断路器,这就导致由于断路器之间存在的响应时间差,导致整个后备保护的定值和

时限的配合相当复杂,非常容易出现时间配合问题,产生晃电现象。图2给出了一种典型的后备保护方案,图2中,断路器 $P_1 \sim P_7$ 实现整个后备保护功能,在 $P_1 \sim P_7$ 的动作上应该是逐级进行配合,并且后备保护动作的时间不超过1 s,显然在这样的后备保护系统中如果全部采用传统的断路器,取其反应时间为0.5 s, $P_1 \sim P_7$ 总共9个时间级差,这样就会导致 P_7 的动作最后会高达4.5 s,超出了时限为1 s的标准。因此,通常还需要在系统中使用灵敏度更高的断路器配合使用,但是在串联过程中,易出现时间配合问题,易产生晃电现象,给设备带来损伤。

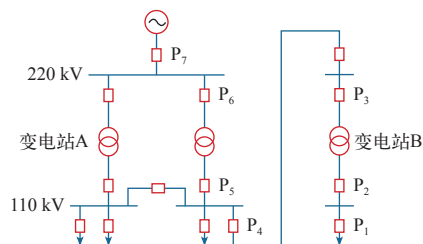


图2 典型后备保护方案

基于多信息融合的后备保护方案设计

1. 信息的选择

在后备保护系统中,基于多信息融合的继电保护信息的来源主要是通过各种传感器和数字化继电器本身提供的各种相关信息,在融合处理过程中这些信息对应于多信息融合的数据层信息、特征层信息和决策层信息。

在信息获取过程中,使用的保护信息可以从本地获取也可以从远方进行获取,对于一个具体的变电站来讲,从本地获取的可用信息主要是从变电站综合信息系统中收集来的各种母线、变压器、出线和各类断路器开关的数据,同时还包括从二次设备直接获取的信息,目前大部分二次设备都实现了数字化,通过二次设备提供相应的数据接口和通信接口就可以方便地进行信息获取。从远端获取信息的方法主要是借助于光纤通信、电力载波等方式,如电力系统的联动保护就是从远方获取信息进行联动操作,但是通过这种远端方式获取的信息非常有限,大量的数据导致时延

过大,很难满足后备保护系统的需求,给实际应用造成了极大的困难。

在研究过程中,考虑到方法实现的简洁性,采用就地获取信息的方法,最大限度地对本地已有信息资源进行挖掘,然后进行信息融合处理。

2. 多信息融合的快速继电保护系统基本结构

为了方便描述所设计的基于多信息融合的快速继电保护算法的动作原理,首先对应用该算法的多信息融合后备保护系统的基本结构进行介绍,其结构如图3所示。研究过程中,仅限于一个变电站与其所联系的输电线路;设计过程中,多信息融合处理作为系统的决策单元,该单元负责接收系统中各个设备信息传递过来的不同层次的电网信息,对这些信息进行综合处理后,判断出故障发生的位置,同时根据断路器本身的信息,在不同时刻将跳闸命令发送到相关的断路器上,实现故障隔离,其中电网信息主要包括变电站内各种已有的保护动作的中间层信息和决策层信息,如方向信息、母线差动信息和其他断路器的动作信息等,配合待控制的断路器的基本信息(主要是动作时间),确定断路器命令延时,进而保证快速断路器和普通断路器的速动性和选择性统一,防止产生晃电现象。

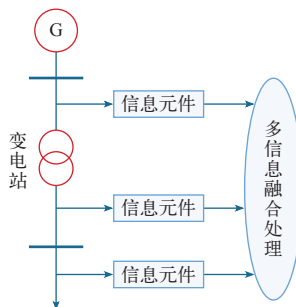


图3 多信息融合后备保护系统基本结构

同时,在设计过程中考虑本地多信息融合后备保护中传递的方向信息、母线差动保护动作信息以及断路器的基本信息作为整个算法程序执行的主要信息量,对这些信息的获取不会额外地增加算法执行的负担,多信息融合处理单元(即算法执行单元)与各断路器之间采用光纤或者高速电缆连接进行通信,实现信息融合。

3. 算法动作执行原理

通过本地多种信息融合来快速判断故障的区域,选定断路器,同时结合断路器本身的基本信息和动作信息,快速发出跳闸命令,与传统的后备保护相比,融合了多种信息数据,考虑了断路器本身的动作特点和速度,可以有效地防止线路上串联的断路器型号不匹配带来的晃电现象,造成设备损坏。

在考虑方向信息和母线保护差动信息中,根据其动作情况定义其输出值 D_i 、 RB_i ,即

$$D_i = \begin{cases} 1 & \text{正方向元件动作} \\ 0 & \text{方向元件不动作} \\ -1 & \text{反方向元件动作} \end{cases} \quad (1)$$

$$RB_i = \begin{cases} 1 & \text{母差保护动作} \\ 0 & \text{母差保护不动作} \end{cases} \quad (2)$$

研究过程中采用经典的变电站故障模型进行分析,如图4所示。对变电站任何一处故障 F ,各个信息元件均对应一组输出值 E ,并且这组输出值和故障 F 构成线性关系,即

$$F = f(E) \quad (3)$$

进一步将这种非线性关系表示为

$$F = ME \quad (4)$$

式中, M 为一个矩阵,每一行对应于一个故障位置,每一列对应参与融合的一种信息量在各个故障位置的输出。

基于上述原理和分析可以得出,在图4的故障模型中,各个故障与信息的输出关系如下表所示。

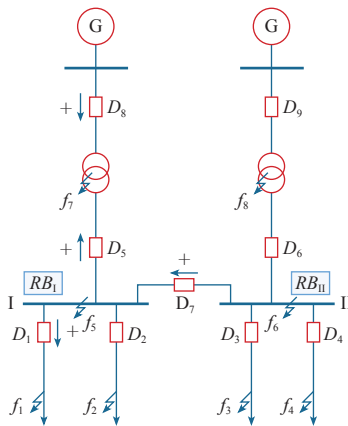


图4 变电站故障模型

表 变电站故障与信息量输出间的关系

	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	RB_I	RB_{II}
f_1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0	0
f_2	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0	0
f_3	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0
f_4	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	0	0
f_5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	0
f_6	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	0	1
f_7	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	0	0
f_8	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	0	0

进一步,只需要比较故障实时信息量的实际输出 u 与矩阵 M 之间的各行向量的范数距离,就可以实现对故障定位,这里 M 可以表示为

$$M = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

其中范数距离为

$$D(s_i, x) = \|x - s_i\|_2 = \sqrt{(x - s_i)^T (x - s_i)} \quad (5)$$

式中, s_i 为样本模式向量; x 为位置模式向量。

通过以上计算,如果 u 与 M 某行的距离最小,那么该信息量对应于该行的故障位置,如 $u_1 = (1, -1, -1, -1, -1, -1, 1, 1, 1, 0, 0)$,其与 M 的各行距离 $d_1 = (0, 4, 6, 6, 3, 5, 4, 6)$,参照图4,可以定位出故障位置为 f_1 ,这时候算法将起动执行后备保护,同时获取 f_1 故障点的断路器动作信息参数,设置延时 Δt ,立即向普通断路器发送执行命令,等待 Δt 向快速断路器发送执行命令,其中 Δt 的计算方式为

$$\Delta t = \frac{\sqrt[3]{|t_1 - t_2|}}{2} \quad (6)$$

式中, t_1 、 t_2 为同一条线串联的相邻两个断路器的动作反应时间。

结束语

继电保护系统作为保障电力系统稳定运行的关键,其实现对电网故障进行定位和快速隔离,随着电网建设的加快及电网技术的不断发展,在

电力系统继电保护系统建设过程中无法避免地使用各种不同的继电保护设备,特别是在后备保护系统中,通常需要综合考虑经济因素和后备保护系统需求,同时使用不同断路器来构建继电保护系统,这些断路器在反应时间上存在着较大的差别,非常容易导致时间配合问题,暴露出速动性和选择性的矛盾,一旦在上级采用快速开关,因选择性原则,限制了速动性的目标。针对这一问题,提出一种基于多信息融合的快速继电保护算法,综合本地多种信息融合来快速判断故障的区域,选定断路器,同时考虑了不同断路器本身的动作特点和速度,设定断路器命令延时,有效实现了断路器的速动性和选择性统一,预防执行过程中的晃电现象。

参考文献

- [1] 汪旸,尹项根,张哲,等.基于遗传信息融合技术的广域继电保护[J].电工技术学报,2010,25(8):174-179.
- [2] 李振兴,尹项根,张哲,等.基于多信息融合的广域继电保护新算法[J].电力系统自动化,2011,35(9):14-18.
- [3] 刘颖彤.基于故障元件判别的广域继电保护算法研究[D].武汉:华中科技大学,2013.
- [4] 曾祥君, Li K K, Chan W L,等.信息融合技术在电力系统故障检测中的应用探讨[J].中国电力,2003(4):12-16.
- [5] 庄伟,牟龙华.智能配电网信息物理融合保护系统的研究[J].电力系统保护与控制,2014,40(4):113-118.
- [6] 马磊.多信息继电保护研究[D].北京:华北电力大学,2012.
- [7] 田聪聪.基于故障方向信息的广域后备保护系统[D].武汉:华中科技大学,2014.
- [8] 陈琳.基于多信息融合的广域后备保护系统研究[D].广州:广东工业大学,2014.
- [9] 张阳.基于DS证据理论与互信息网络的电网故障诊断方法[D].成都:西南交通大学,2010.

(收稿日期:2015-08-10) EA