

城市电网故障诊断系统

胡扬宇¹, 李然², 杨宛辉¹, 史述红¹, 杨育霞¹

(1. 郑州大学电气工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省南阳电力技工学校, 河南 南阳 4730001)

摘要: 建立在综合自动化基础上的无人值班变电站的控制中心是城网发展的必然趋势, 这些控制中心已为值班人员提供了对系统监视、管理和控制的手段。利用控制中心 SCADA 系统的资源, 开发故障诊断系统, 为值班人员提供故障诊断, 对保证系统安全运行, 提高供电可靠性具有实际意义。本文分析了电网故障时所表现出的故障征兆信息, 提出了依据开关和保护动作信息以及部分电气量的诊断故障的方法, 该方法不局限于具体电力系统结构, 具有较好的通用性。

关键词: 变电站; 控制中心; 故障诊断

中图分类号: **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)12-0028-04

1 引言

变电站自动化和无人值班^[1]是当今电网调度自动化领域的热门课题, 其发展势头正方兴未艾。应该说, 变电站综合自动化与变电站无人值班之间并没有直接的联系, 但是由于变电站自动化技术的发展提供了变电站无人值班的先进手段, 使得当今的无人值班变电站能够建立在高可靠性、高技术水平的的基础上。变电站自动化是在计算机技术和网络通信技术的基础上发展起来的。随着微电子技术、计算机技术和通信技术的发展, 变电站自动化技术也迅速发展起来。

无人值班变电站的信息送往控制中心, 目前无人值班变电站的控制中心一般有两种方式。一是集控中心方式, 它又有专用集控中心以及控制中心设立在地区调度两种方式; 另一种是母子站方式: 即控制中心设立在高一级的变电站(如 220 kV 变电站), 用于集中控制它所送电的几个下一级站(如 110 kV 变电站)。无论采用那种方式, 无人值班变电站以及它们的控制中心, 都是现代城市电网发展的必然趋势。已建立的无人值班变电站的控制中心大部分配置了先进的自动化系统, 从变电站 RTU 采集的数据经过处理后传输到控制中心, 为值班人员提供了正常和故障时对系统监视、管理和控制的手段。但是故障发生后, 值班人员还需要凭经验分析这些纷沓而至的报警信息, 判断故障性质以及故障地点, 而后再进行处理。无疑, 故障处理的正确性和速度受值班人员素质制约, 而且也增加了运行人员的负担。

所以, 如何充分利用 SCADA 系统采集的数据资源, 使之自动处理故障报警信息、判断故障位置, 为值班人员提供故障诊断, 对保证系统安全运行提高供电可靠性是一个非常意义的研究课题。

2 故障诊断系统概述

故障诊断过程就是从被诊断系统的某些检测量中得到故障征兆信息, 经过对这些故障征兆信息的分析处理, 判断故障源位置。众所周知, 电力系统发生故障后, 由于故障点的存在将引起电压降低、电流增加等电气量变化, 这些电气量将作用于继电保护装置并引起相应断路器跳闸以切除故障源。所以, 实际运行的电网故障时表现出的故障征兆信息可分为三层^[2]: 故障状态中的电气量信息; 由电气量变化引起的保护动作信息; 由保护动作而引发的相应开关动作信息。目前, 采用先进的微机保护装置可以得到部分故障状态下的电气量信息。从原理上讲, 只要有完备的电气故障量信息, 就可以比较准确地判断出故障位置。然而从工程实际出发, 由于电力系统是分布大系统, 要在故障时从全电网各处测取完整的电气故障量并实时送到集控中心, 目前尚不具备这个条件。而且, 即便是取得了部分电气量信息, 根据离线保护整定计算的结果来确定故障点也是非常复杂的。与此相反在控制中心则可以得到比较完整的实时开关动作信息和保护动作信息。

鉴于故障征兆信息具有分层性的特点, 以及控制中心目前所能收集到的信息, 本文提出了一种依据开关和保护动作信息进行故障诊断, 利用所取得的故障状态下的部分电气量进一步校验的故障诊断方法, 这种方法具有较好的适应性, 而且不依赖于具

攻关项目: 河南省科委科技攻关项目资助(项目编号: 001140120)

体电力系统的特征结构,易于实现系统的通用化。

3 基于开关动作信息的诊断

基于开关动作信息进行诊断的任务是利用开关动作信息和网络拓扑分析^[3]快速识别出故障区域,将故障诊断范围缩小至故障区域内,以提高故障诊断的效率。

当电力系统发生故障以后,最终故障元件将被切除从而被隔离到一个孤立无源连通区域中,就是多重故障在故障切除后也会形成一个或几个无源的区域。显然,故障元件就包含在这些无源区域内。因此,故障诊断前首要任务是根据电网拓扑结构,利用实时开关跳闸信息确定孤立无源连通网络,然后在这些停电区域内诊断出故障区域。通过实时网络接线分析,将整个电力系统划分为一个个连通子系统,这些连通子系统包括以下几种情况:含源区域——包含有电源的区域;正常停运区域——故障发生前就停运的区域;被波及区域——因上一级元件故障被切除,而导致停电的区域;故障区域包含有故障元件的区域。这就需要进一步搜索,并根据故障前后开关变位信息,最终排除前三种情况,将诊断范围缩小至故障区域内。利用开关动作信息与网络拓扑结构分析的方法实现故障区域快速识别的步骤如下:根据变位开关的信息进行判断,如果故障前后区域内没有变位开关,则可以判定该区域为正常停运区域;在剩余的连通子系统中遍历每一电源点,排除含源区域,得到因故障切除形成的各个孤立无源子系统;利用保护动作信息以及保护、开关及其相互间关联关系,确定相邻上一级元件故障所波及的停电区域。

在利用开关动作信息诊断时有几个问题需要考虑:

(1) 实时开关变位信息的预处理

根据保护、重合闸、备自投的动作原理,事故后动作的开关可能会有一次至三次的变位。为正确判定每次变位信息的正确含义或判定信息的误报漏报,可以利用开关状态信息、保护自动装置信息以及遥测值等对开关变位信息进行预处理,以获得正确的变位开关信息。

(2) 开关的方向性判断

保护范围是一个保护动作后确定故障元件的必要因素。但在不同运行方式下某些保护的 protection 范围可能会有变化,例如对于分段开关上的电流保护,它是随着网络中的潮流流向不同而改变的。因此,故

障诊断需要区分这些开关上的潮流方向,以便在下一步基于保护信息的诊断中正确确定它动作后的保护范围。这便是所谓开关“方向性”判断的意义。本文利用深度优先法对网络进行搜索,定义这些开关的方向性。

(3) 虚拟开关的设立

受系统通道等因素的影响,SCADA 系统采集的遥信量只能保证断路器动作信息的完整性,而刀闸信息往往不全,对于断路器的状态,遥信信息也只能区分其分、合状态。而在进行网络拓扑分析以及事故后的恢复时,需要完整的开关量信息。为此,引入虚拟开关以解决这一矛盾。

在根据系统上主接线图建立的面向用户运行环境界面上,含有系统中全部开关元件。这些元件的断路器以及可以转发遥信信息的刀闸状态,一般由实际转发的遥信量提供。而将那些不能实时转发信息的开关或不能用一般遥信量解释的开关状态设立为虚拟开关。虚拟开关的状态对用户有权限地开放,以便手动设置它们的状态,例如其为合闸、分闸或是检修状态等。虚拟开关的设立,为系统提供了完整的开关量信息。

(4) 基于保护动作信息的开关动作校验

由于控制中心所属的变电站比较多,会出现保护跳闸时伴随有手动跳闸的可能。对此可以利用保护信息对开关变位信息进行校验,剔除不合适的开关变位信息。例如:当某一个 110 kV 子站发生故障时,产生在保护动作下的开关变位信息,而与此同时在另一 110 kV 子站中有手动开关变位信息,显然此时形成的无源子系统中后者不是故障区域。但是,SCADA 系统已经完整地把采集到的开关变位信号以遥信或 SOE 的方式传送给集控中心。为鉴别出这种情况下的正确故障区域,利用有无保护信号及其保护范围进行逆向推理就可以剔除手动变位开关,正确判别故障区域。

4 基于保护动作信息的诊断

基于保护动作信息的诊断是在上述开关动作信息诊断的基础上进行的,它完成故障元件或故障范围的判断。当故障区域内发生多重故障或有开关、保护拒动时,保护将越级动作使切除面积扩大,但是故障元件必定在这个或这几个区域内。那么可利用保护动作信息,使诊断的故障范围进一步缩小。

本文对于保护信息表示方法,分为确定性保护(保护范围唯一)和不确定性保护(保护范围不唯一)

两类。对于某一保护装置 X , 定义 $F(X)$ 表示保护 X 的保护范围。 X_c 表示保护 X 为确定性保护; X_u 表示保护 X 为不确定性保护。 A_c 表示故障元件集, A_u 为可能故障元件集。设故障时共有 m 个确定性保护动作, n 个不确定性保护动作。根据保护配合原理, 按照如下判断规则进行保护范围取舍, 以确定出故障元件集和可能故障元件集:

(1) 当确定性保护动作时, 其保护范围内的唯一元件一定为故障元件, 应将此元件存入故障元件集 A_c 中。如某线路零序 I 段保护动作, 则可判断该线路为故障元件。

(2) 当两个确定性保护对应的故障元件有相同的部分, 它们所对应的故障元件肯定是同一个, 且一定为故障元件, 应将此元件存入故障元件集 A_c 中。如某主变差动保护和重瓦斯保护同时动作, 这两个保护的保护区都对应着该主变, 可以判断该主变为故障元件。

(3) 当发生多重故障 (即多个地点同时发生故障) 时, 且均为确定性保护动作, 虽然不同故障地点的保护所对应的保护区并不相交, 但它们都是故障元件。故应将所有确定性保护对应保护区所含元件取并集, 并将该并集存入故障元件集 A_c 中。

(4) 当不确定性保护对应的保护区与故障元件集相交时, 保留相交元件作为故障元件集 A_c 中的元素。考虑到有可能发生多重故障, 为了给运行人员提供更加完善的信息, 将其余未相交的元件存入可能故障元件集 A_u 中。如某线路零序 I 段和零序 II 段同时动作, 零序 I 段保护属于确定性保护, 对应的保护区就是该线路, 按照前面的规则已存入故障元件集中; 而零序 II 段保护对应的保护区除了该线路, 还包括与线路相连的母线, 属于不确定性保护。因此它与故障元件集相交的元件 (该线路) 仍保留在故障元件集, 而将相连的母线存入可能故障元件集 A_u 中。

(5) 对于其它所有与故障元件集中元素不相交的不确定性保护对应的保护区, 将其并入可能故障元件集 A_u 中去。

按照上述规则存入故障元件集 A_c 中的元素, 一定是故障元件。而存入可能故障元件集 A_u 中的元素数量可能会很多, 这是由于为了保存更完善的信息, 不至于漏掉任何可用信息造成的。但是众多的可能故障元件会给运行人员的判断造成一定的干扰。为此引入故障可信度^[5]的概念, 即系统发生故

障时, 某元件故障的概率。在可能故障元件集中, 每一个元件都属于一个或几个不确定性保护的保护区。取该元件属于所动作的不确定性保护的保护区数目, 作为元件的故障可信度。将可能故障元件按照故障可信度从大到小的顺序进行排列, 使诊断结果一目了然, 便于运行人员能够根据诊断结果判断实际发生故障的元件。

5 基于可以采集到故障状态下电气信息的进一步故障诊断

通过上述基于开关量动作信息与基于保护动作信息的故障诊断, 已将故障元件或可能故障元件作了比较准确地定位。将微机保护提供的故障状态下某些电气量信息 (如: 距离保护动作后的测距值、零序保护动作的零序电流值、主变复合电压闭锁过流保护动作后的电压与电流值等), 与数据库中的相关信息, 以及相应故障点故障时的短路实时计算^[6-9]结果进行分析, 可以对故障诊断结果定位, 尤其是对不确定性保护有着更好地确定作用。例如:

(1) 基于 110 kV 线路微机保护报文的进一步故障诊断

如距离保护动作时可以得到测距值, 此时若为确定性保护, 毫无疑问故障元件就为本线路。当有保护拒动情况发生时, 将越级至上一级保护动作, 即是不确定性保护动作。首先, 根据系统实时地运行方式及动作保护的保护区, 从关系数据库中获得该保护区内投运线路的长度参数, 再根据获得的测距值, 通过相应的专家系统的逻辑推理就可以确定故障位置是在本线路还是下一级线路。

又如零序保护动作时可以得到零序电流值, 此时若为确定性保护, 同样故障元件就是本线路。当为不确定性保护动作时, 根据该保护的保护区和对 110 kV 零序网络进行实时短路计算获得零序短路电流值, 通过相应的专家系统的逻辑推理就可以确定故障点位置是在本线路还是在下一级线路。

(2) 基于元件保护报文的进一步故障诊断

微机保护的元件保护动作后可以上传故障时的电压、电流值。例如, 在获得主变复合电压闭锁过流保护动作并采集到电压、电流值的基础上, 根据该保护的保护区和系统当前运行方式进行实时短路计算, 计算出相应点的短路电压、电流值, 通过专家系统的逻辑推理就可以确定故障元件是母线还是出线等。

6 结束语

本文在分析电网故障时所表现出的三层故障征兆信息特点后,提出了一种依据开关、保护动作信息和部分故障状态下电气信息的诊断故障方法,取得了一些有意义的研究成果。研究成果已在某市 110 kV 无人值班变电站控制中心投入试运行,该方法不依赖于具体电力系统的特征结构,具有较好的通用性。

参考文献:

- [1] 黄益庄. 变电站综合自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 段振国,高曙,杨以涵,等. 一种电网故障智能诊断求解模型的研究[J]. 中国电机工程学报,1997,17(6):399-402.
- [3] 史述红,杨宛辉,等. 城市 110 kV 电网故障元件的快速识别[J]. 电网技术,2001,25(6):37-40.
- [4] 殷人昆,陶永雷,等. 数据结构[M]. 清华大学出版社,

1999,7.

- [5] 张学军,刘小冰,等. 基于正反向推理的电力系统故障诊断[J]. 电力系统自动化,1998,22(5):30-32.
- [6] 陈亚明. 电力系统计算程序及其实现[M]. 北京:水利电力出版社,1995.
- [7] 陈衍. 电力系统稳态分析[M]. 北京:水利电力出版社,1984.
- [8] 李光琦. 电力系统暂态分析[M]. 北京:水利电力出版社,1984.
- [9] 西安交通大学,等. 电力系统计算[M]. 北京:水利电力出版社,1978.

收稿日期: 2002-09-20

作者简介:

胡扬宇(1978-),男,硕士研究生,从事电力系统监视与控制的研究;

李然(1970-),女,讲师,从事电力系统继电保护与自动化的研究;

杨宛辉(1943-),女,教授,从事电力系统监视与控制的研究。

Fault diagnosis system in urban power network

HU Yang-yu¹, LI Ran², YANG Wan-hui¹, SHI Shu-hong¹, YANG Yu-xia¹

(1. School of Electric Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China;

2. Power Technology School of Nanyang, Nanyang 4730001, China)

Abstract: The development of urban power networks results in unmanned substations; control centers obtaining information from the integrated automation systems have been widely used to control these substations, and also to provide operators with a series of means for the monitoring, management and control of power systems. Based on the information provided by the SCADA system, a fault diagnosis system becomes much useful for improving the security and reliability of system operation. With the fault symptoms analyzed in this paper, an approach for power system fault diagnosis is presented by using information of switch, relay actions, as well as some electric qualities. This approach is not limited to a particular system, and can be generally employed.

Key words: power substation; control center; fault diagnosis

IEC 第 66 届年会暨 TC95 会议在北京召开

第 66 届国际电工委员会(IEC)大会 2002 年 10 月 22 日~11 月 1 日在北京召开。本届大会的主题是“标准化和合格评定在国际贸易中的作用”。来自 63 个国家的 1800 余位 IEC 官员和专家代表出席了此次大会。

本届 IEC 大会 TC95 年会于 10 月 23 日至 24 日召开,来自 8 个国家的 15 名代表参加了会议。此次会议由 TC95 主席 Mr. Bertil Svensson,秘书 Mr. Pierre Bertrand 主持。全国量度继电器和保护设备标准化技术委员会主任委员姚致清(中国代表团团长),秘书长刘文,秘书胡玉荣代表 TC95 中国国家委员会参加了此次会议。

本次会议主要听取了 TC95 自从上届年会以来各工作组的工作报告,对 7 项标准草案进行了认真讨论并对其进行表决;同时确定了未来几年对 IEC TC95 60255 系列标准进行全面修订的计划。随着工业环境、市场需求的变化,以及用户对产品性能的更高要求,促使电力系统保护领域的技术与通信及微处理技术等联系起来,因此,TC95 应更加密切与 TC57(电力系统控制和相关通信技术委员会)和 TC77(电磁兼容技术委员会)的联系,以适应整个国际工业技术的发展。

此次会议,中国申请参加了三个 TC95 工作组:

(1) EMC 标准维护工作组;(2) IECV(国际电术语)第 447 章修订工作组;(3) 功能标准维护工作组。

许昌继电器研究所作为 IEC TC95 国内归口单位,多年来一直坚持参加国际 IEC TC95 会议,对 IEC 先进标准进行跟踪、学习、潜心研究,逐步把国际标准转化为国家标准,并计划把 GB/T7261 向 IEC 提交议案,把我国的标准上升为国际标准,为中国电力系统保护行业的发展做出更大的贡献。

全国量度继电器和保护设备
标准化技术委员会秘书处