

10 kV线路故障指示器单相接地故障检测原理分析

智能配电网的建设推动了线路故障指示器的快速发展，因其安装、调试的便捷性和故障检测的实用性得到了大量应用。但由于设备厂家产品质量参差不齐，造成故障指示器对单相接地故障检测的准确率总体不高，究其原因主要是由于常规检测原理移植到配电网线路后均有一定的局限性，因此通过对行业内多种常用判据进行分析比较，得出基于中电阻可变负荷法检测接地故障准确率最高的结论。

朱建宝/南通供电公司通州供电营业部 刘建平/北京圣照普惠科技有限公司



朱建宝/高级工程师

21世纪电力工业面临的巨大挑战主要来源于三方面：一是全球气候变暖问题日益严重，电力工业节能减排任务艰巨；二是生产及客户用电的安全压力；三是必须能够以合理的成本被市场接受的经济压力。为合理调整能源结构和提高能源利用效率，各国根据本国的能源资源和电力工业发展特点，基本形成了以“智能电网”为核心内容的各自特色的电网发展模式^[1, 2]。

国内智能电网建设模式主要以两大电网公司为主导，其中国家电网公司于2010年3月颁布了《配电自动化试点建设与改造技术原则》，明确指出配电自动化建设应在全面评估实施区域的供电可靠性指标、配电网架特点和配电设备及自动化系统现状的基础上，制定合理的供电可靠性规划目标，因地因网制宜、分阶段开展。提供了五种建设模式：简易型、实用型、标准型、集成型和智能型^[3]。

其中简易型和实用型配电网自动化建设模式均可以采用“一遥”、“二遥”故障指示器来实现，因其安装调试

的便捷性、故障检测的实用性以及成本的优势得到大量应用。但是从配电网自动化试点运行效果统计来看并不理想，究其原因主要是由于故障指示器对于接地故障的原理判断有一定局限性，因此对行业内指示器单相接地故障判据进行分析，并得出基于中电阻可变负荷法检测接地故障准确率最高的重要结论。

目前国内指示器单相接地故障检测原理应用现状

国内外中压配电网广泛采用小电流接地运行方式，主要是中性点不接地和经消弧线圈接地方式^[4]。发生单相接地故障是由于故障电流小、接地电弧不稳定等原因造成的，故障检测（包括选线和定位）非常困难。

小电流故障定位方法按照定位所利用的信号方式不同，可分为主动式和被动式两大类^[5]。主动式方法是在故障发生后主动地向系统注入特定信号，根据相应的定位原理确定故障位置，主动法需要外加信号注入设备，投资较高；被动式方法则是被动地利用线路故障前后线路本身电压、电流信号特征的变化设计定位判据，确定故障位置。

目前常规线路故障指示器检测接地故障的原理主要采用被动式方法，带通信功能的故障指示器有采用被动式方法的，也有采用主动式方法的，并且不同厂家主动式方法或者被动式方法也各不相同。

关键词/Keywords

故障指示器 ·
单相接地 ·
可变负荷法 ·

故障指示器被动式检测原理

故障指示器被动式检测原理基本还是沿用小电流接地系统单相接地选线的原理，将其判据移植到指示器中。下面对常用的几种被动式检测原理进行分析说明。

(1) 5次谐波法

原理说明：对线路电流的5次谐波进行采样，当5次谐波突变增大，同时系统电压突变下降时，则判断为发生接地。

不足之处：接地后系统本身5次谐波分量极小，方向不明显且可能检测不到，导致拒动作；因平时负荷电流5次谐波分量大，如电动机等感性负荷的起停动作、过负荷变压器的饱和铁心及晶闸管等非线性负荷都会产生5次谐波污染，导致负荷侧指示器误动作。

(2) 电容电流法

原理说明：对电容电流进行采样，如果电容电流突变值超过设定的动作电流值，则判断为接地。

不足之处：在结构复杂的电网中，由于运行方式的变化和环网的分流作用等，采用检测电容电流进行接地判断的故障指示器得不到足够的动作电流，直接影响其灵敏性，从而造成拒动作。

(3) 首半波法

原理说明：比较接地瞬间电容电流首半波与接地瞬间电压首半波的相位，当采样接地瞬间的电容电流突变且大于一定数值时，与接地瞬间的电压首半波同相，同时导线对地电压降低，则判断线路发生接地。

不足之处：接地故障需发生在相电压接近最大值瞬间方可有效，如果接地故障发生在电压的零点附近，其值很小，造成了判据死区的存在。

(4) 零序电流法

原理说明：检测零序电流值，当超过设定值时，判断为接地故障。

不足之处：一是受指示器采样准确度的影响；二是在中性点经消弧线圈接地系统中，指示器采集接地点零序电流的幅值和相位受消弧线圈的补偿度影响。

通过上述原理分析比较，被动式检测原理依赖于发生单相接地故障前后配电网参数的变化。鉴于小电流接地系统的自身特点，当发生单相接地故障时，所产生的故障信号本身较弱，并且受到电磁干扰和谐波污染的影响，导致获得的信号失真，同时受指示器磁导回路采样准确度的制约，这些都直接影响了故障指示器对接地故障判断的准确性。由于配电网拓扑结构的复杂性和运行方式变化的多变性，将常规被动式检测原理直接应用到指示器中，导致了运行单位对该类设备运行效果的质疑^[6]。

故障指示器主动式检测原理

信号注入法是唯一不受系统运行方式、拓扑结构、中性点接地方式以及故障随机因素等影响的故障检测方法，它不需要给故障指示器设定门槛值，而是在发生单相接地故障后主动发送信号检测单相接地故障。

采用信号输入法的单相故障指示器需要在变电站安装产生特殊信号的信号源，由信号源和故障指示器组成故障定位系统。目前，国内信号源的工作原理主要分为三类：一是中电阻可变负荷信号注入源；二是异频（高次谐波）信号注入源；三是不平衡电流信号注入源。

1. 中电阻可变负荷信号注入源

中电阻可变负荷信号注入源工作原理为信号源通过检测零序电压和三相电压的变化情况，判别系统是否发生接地故障并且确定接地相。在接地故障发生后延时动态投入阻性负荷，瞬时改变线路负荷电流特征，阻性负荷投入的时间、次数和投入间隔按特定规律控制，进而在故障线路的故障相上形成具有特定规律的电流波动信号，故障指示器通过检测这一特定的负荷电流变化信号来识别接地故障^[7]。中电阻可变负荷法判断接地故障原理如图1所示。

优点：①信号源注入的信号是工频信号，不会在系统中产生谐波污染。②动态投入的阻性负荷所产生的波动信号可进行人为控制，使其信号具有特殊性和唯一性，不易同系统固有信号混

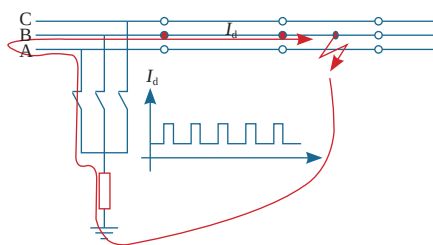


图1 中电阻可变负荷法判断接地故障原理

涌，使故障指示器或其他终端设备检测接地故障的准确率更高。③工频信号容易被线路上的各种智能终端设备（如FTU、DTU）识别和准确采样，这样可以使信号注入检测接地故障的方法得到更广泛的推广和应用。④在接地故障发生时，投入阻性负荷有助于消除系统谐振。

缺点：接地故障属于高阻接地时，信号源注入的信号强度降低，故障判断的准确性也可能降低。但一般系统中的高阻接地不会维持很长时间，在经过一定的放电时间后，多数高阻接地故障会演变成600 Ω以下的低阻接地。

2. 异频（高次谐波）信号注入源

异频（高次谐波）信号注入源的工作原理为在系统发生故障后，信号源向系统中注入高频信号，故障线路上的指示器通过检测这一特定频率的信号来判别接地故障。

优点：①信号注入设备控制简单。②由于信号特征主要依靠频率来进行分辨，因此对信号注入的幅值大小要求不高。

缺点：①信号源投入使用后会变成一个谐波源，对其他智能设备具有一定的干扰和影响。②当注入信号的频率选择过低时，容易同系统中常见的一些高频谐波信号混淆，使检测信号误动作；当注入信号频率过高时，信号容易通过非故障线路释放掉，导致非故障线路误动作或故障线路末端拒动作。③当接地故障属于高阻接地时，信号源注入的信号强度降低，故障判断的准确性也可能降低。

3. 不平衡电流信号注入源

不平衡电流信号注入源的工作原理为在系统发生故障后，信号源向系统中注入不平衡电流信号，即在检测回路中串接一只单向导通的高压二

极管，使得在线路上叠加一个半波信号，故障线路上的指示器通过检测这半波信号来判别接地故障。不平衡电流信号判断接地故障原理如图2所示。

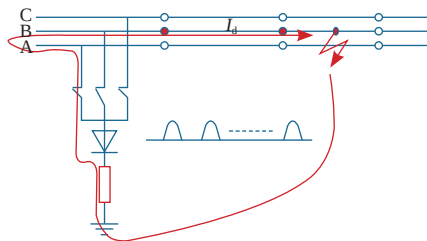


图2 不平衡电流信号判断接地故障原理

优点：注入半波信号比非信号注入法容易捕捉接地故障的暂态信号。

缺点：①当接地故障属于高阻接地时，信号源注入的信号强度降低，故障判断的准确性降低。②由于注入信号为半波信号，使得电流波形产生畸变，对系统具有一定的谐波干扰。③当系统负荷中带有其他半波整流的用电设备时，所产生的电流信号容易同信号源注入的信号混淆，引起指示器误动作。

4. 几种信号注入方法的比较

通过以上分析，中电阻可变负荷注入电流源法由于注入信号为工频脉冲信号，对系统运行无任何不良影响，同时注入信号强度、脉冲宽度和间隔时间均可人为设定，因此运行可靠性更高，是目前中性点非有效性接地系统中，实现在线准确定位接地故障点最有效方法，该方法具有可靠性高、投资省、易推广以及对系统运行无负面影响的优点。因此，中电阻可变负荷法应作为故障指示器接地判据的首选。

中电阻可变负荷法检测接地原理的功能验证

为验证中电阻可变负荷法检测原理的有效性，在河南郑州某110 kV变电站137开裂线进行实际接地试验验证，该变电站10 kV母线中性点为不接地方式，试验点选择于灌溉变压器上侧，试验步骤如下：

1) 将变压器的令克拉开，将其熔丝换成80 A的熔丝。

2) 将变压器A相通过高压电缆接到高压接触器 (S_1) 的一端, 将高压接触器的另一端接地。

3) 合上令克。

4) 接通接触器电源25 s, 断开接触器开关, 然后观察相应的故障指示器动作情况及信息上报情况。

5) 断开令克。

6) 断开高压接触器 (S_1) 及接地装置的接线, 137开梨线的灌溉变压器恢复正常运行。

经过三次实验, 信号源按照设定逻辑可靠动作, 指示器动作无误。中电阻可变负荷法接地实验录波如图3所示。

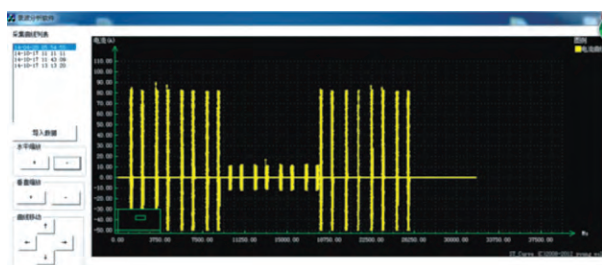


图3 中电阻可变负荷法接地实验录波

结束语

小电流接地系统单相接地故障的检测属于世界难题, 10 kV配电网线路由于运行方式、环境和接地类型的不同造成准确查找和定位故障点更加困难。因此线路故障指示器单相接地故障的判断并不是将变电站内接地选线原理进行简单的判断移植, 而是需要根据配电网运行特点选择合理检测方式, 从而为配电网运维提供有效的检测手

段。从现有技术分析, 故障指示器结合中电阻可变负荷柜进行接地故障检测可靠性相对更高。

因此在配电网自动化改造过程中, 对于配电网线路供电等级为B、C和D类的供电区域采用带通信的故障指示器来实现二遥监测功能, 为避免故障指示器出现误动作而影响使用效果, 建议选择“有源”方式的故障指示器, 即接地故障判断采用中电阻可变负荷法原理的指示器。

参考文献

- [1] 谢开, 刘永奇, 朱洽中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41 (6): 19-22.
- [2] 姚建国, 严胜, 杨胜春, 等. 中国特色智能调度的实践与展望[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (17): 16-22.
- [3] 国家电网公司. 配电自动化试点建设与改造技术原则[S]. 2010.
- [4] 李润先. 中压电网系统接地实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [5] 马士聪, 高厚磊, 徐丙垠, 等. 配电网故障定位技术综述[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (11): 119-124.
- [6] 袁钦成, 王天华, 贺春霞. 配电线路故障自动定位系统的研究与实施[C]. 中国供电国际会议论文集, 2000.
- [7] 袁钦成. 配电系统故障处理自动化技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

(收稿日期: 2014-11-24) EA

(上接第92页)

结束语

Profibus PA网络经过改进后效果显著, 降低了Profibus PA设备的故障维修难度, 缩短了设备的维修时间, Profibus PA设备故障的排除时间由2 h/次左右缩短到约30 min/次, 劳动量降为原来的1/6, Profibus PA网络系统更加便于维护, 生产进度和产品质量进一步得到保障。

参考文献

- [1] 廖常初. 西门子工业通信网络组态编程与故障诊断[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 王永华. 现场总线技术及应用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [3] 廖常初. S7-300/400应用教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

(收稿日期: 2014-06-13) EA