

[配网自动化]

故障指示器在配网中的应用

文/云南省电网公司丽江供电公司 何 炳

结合近几年国内配网自动化现状，分析了故障指示器在配电网系统中的应用，详细的阐述了故障指示器的动作原理以及其在故障定位系统中的应用，并且结合近几年实际运行的经验，总结了故障定位应用于配网中的优势，对今后国内配网自动化的规划以及建设具有指导意义。

随着电力在普通人民生活中越来越占据重要位置的同时，电力用户对电能质量以及服务方面的要求也在逐步提高。在实际电网运行中，不可避免地会产生线路故障，而线路故障的排除是否迅速，是考量供电服务质量的一个重要标准，同时，也会影响线路供电稳定性。配网自动化的提出旨在极大地提高供电稳定性，缩短故障排除时间，这是配电网发展到一个新阶段的标志进。以故障指示器作为核心原件的故障定位系统是其中之一，其应用的研究也是至关重要。

当故障发生时，变电站馈线保护首先会跳闸动作，在配网自动化概念之前，供电部门主要是依靠人工巡线排查故障点，排除故障需要很长时间，导致长时间停电，不但耗费大量人工，也影响国民的正常生产生活。随着指示器技术发展和通信技术在电力系统中的广泛应用，基于故障指示器与信息中心配电管理软件的故障定位系统的推广弥补了上述故障查询以及响应的不足。

故障指示器定位原理

故障定位原理是基于故障指示器技术的一种先进的定位系统，借助安装于各分支处的故障指示器作为故障信号检测装置，故障指示器在确定故障后会指示故障，运行人员只要按照故障指示状态下的故障指示器所构成的故障路

线就能找到故障点，故障点之后的故障指示器不会指示故障。如图1所示，当线路F点发生相间短路故障时，由变电站出口到故障点F之间会流过较大的短路电流，故障指示器FI1、FI2、FI3检测到该故障电流特征后自动翻盘报警指示，而未检测到故障特征的故障指示器FI4、FI5、FI6、FI7保持原始状态没有报警。所以，根据故障指示器定位的原理，检测到故障点发生在FI3与FI4、FI7之间。

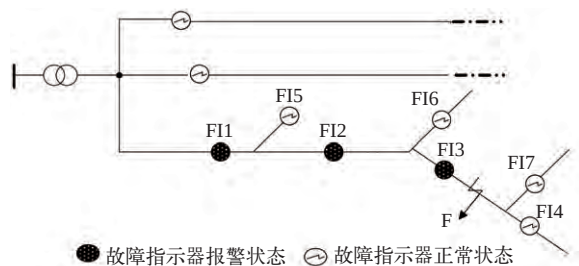


图1 故障指示器的定位原理

故障指示器在配电网的应用

由于配网的自动化程度提高，故障定位逐步成为配网系统中不可或缺的一个辅助系统，而故障定位中最核心的技术在于故障指示器，故障指示器运行是否可靠，直接关系到故障定位的准确率，所以故障指示器的应用已经成为电网系统中的普遍需求。故障指示器在配网中的应用也正在被广大电力运行人员所关注。

1. 故障指示器的原理

一般当配电线路发生故障时，线路电流一般会从运行电流突增到故障电流；因为上级断路器的电流保护装置驱动断路器跳闸或熔断器的熔丝熔断，所以故障电流只会维持很短一段时间；当线路停电时，电流、电压下降为零。根据上述故障特征，检测短路瞬间电流的突变情况及保护动作停电事件等电流的变化，确定短路故障。融合了微机保护原理，故障指示器与一次开关间的配合更加紧密，报警可靠性得以提高。短路故障判据采用自适应方式，无需任何现场设置，能够适应线路负荷的多变特点，使用方便。

随着指示器技术的不断发展，单纯短路型故障指示器已经不能满足市场需求。所以，除了短路故障检测功能，故障指示器还应具备接地故障检测功能。对于单相接地故障，根据接地检测原理，以发生接地时的线路特征信号为依据确定接地故障。在中性点不接地系统中，单相接地故障的检测使用的是智能中电阻法（信号源法），即在变电站内中性点与地之间安装一个特殊的信号发生装置～信号源。当配网线路发生单相接地故障时，信号源通过判断三相电压的变化而确定故障相并且自动在几十秒内短时按不同脉宽投入大小不同的动态阻性负载，这样在变电站和现场接地点线路之间就会产生叠加在负载电流上的特殊编码的零序电流信号，故障指示器检测到该电流信号后发出故障信号。

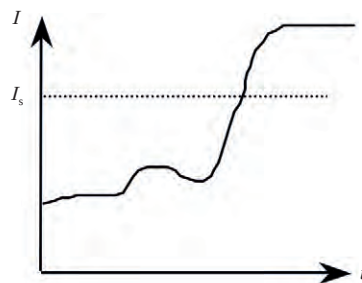
对于双电源或多电源闭环供电线路（比如大功率可再生能源、分布式电源并入电网），存在多个电源向故障点供给一定量的故障电流可能性，故障点后的指示器因对侧电源提供短路电流，满足短路故障特征，从而引起故障点后指示器误动的现象。故障指示器基于线路发生故障时的电流故障特征和功率方向判断，当故障指示器检测到短路电流特征并且与设定的功率方向相同，则认为线路发生了故障；而故障点后指示器因为功率方向反相，则不会进行故障报警，实现双电源供电系统的故障定位。

2. 故障指示器的关键技术

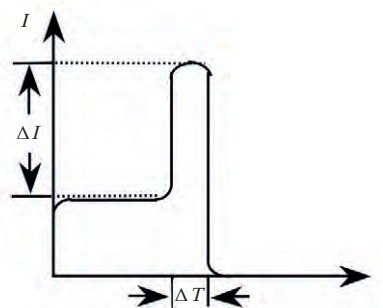
故障指示器具有以下关键技术点：

(1) 智能判据。应用了基于电流突变率的故障指示器检测原理。故障指示器的判据脱离了对电流大小的依赖，采用自适应原理，根据

负荷变化，如图2b所示，捕获故障电流突变增量，提高了智能化程度，同时大大减少了误动的可能性。



(a) 过电流型



(b) 自适应型

图2 故障指示器的判据原理

(2) 自动复位。对于永久性故障，恢复供电后指示器可及时自动复位，避免混淆2次故障点；对于瞬间故障，重合闸重合成功后指示器按设定时间自动复位，无需人工干预，即可给查找故障隐患留下充足的时间。

(3) 实时监测和故障预警功能。故障指示器同时具备了负荷电流测量、温度测量、无线自组网通信等功能。

(4) 功率方向判定。对于双电源闭环供电线路，可以结合功率方向判定，实现双电源系统供电系统的故障点可靠定位。

(5) 利用很小的卡线结构，实现大范围电流测量，解决磁路饱和以及测量精度的矛盾问题。

(6) 解决相邻相和相邻线路的电场感应对本线路的短路功率方向的测量影响问题，这一技术使得故障指示器能够在同杆并架的系统中使用，扩大了使用范围。

(7) 线路取电技术，通过线路电流对内部超级电容充电，从而摆脱了对电池的绝对依赖，运行可靠性得以提高。

3. 故障指示器在故障定位系统的应用

架空线路故障定位系统的基本配置如图3所示，

图中FI为带通信的故障指示器；ST为通信终端，将故障指示器发送的信息转发给智能电网的中心站。

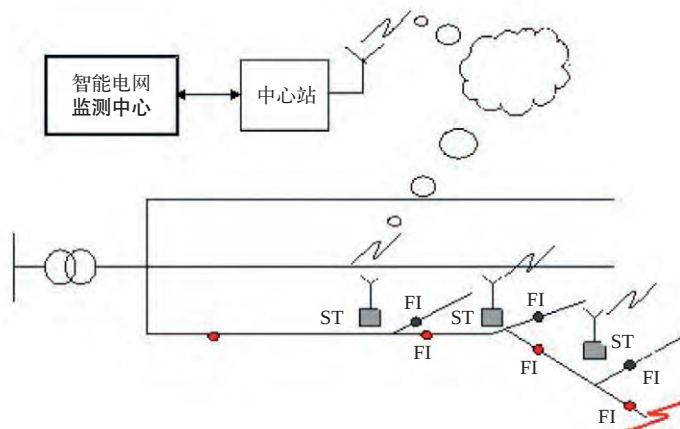


图3 架空型故障定位系统

通常，故障指示器为了实现低功耗设计，降低了架空型故障指示器的通信功率。因此，对于结构复杂的配电网络，需要设置较多的通信终端，造成投资成本的提高。为了打破故障指示器通信距离的局限，扩大通信范围，减少通信终端的数量，提高定位速度，新型故障指示器的应用中加入无线自组网技术。

线路发生故障后，故障指示器通过智能判断不仅可以本地报警，而且可以通过自组织形式构成小型无线网络，并通过多跳路由方式将各节点指示器的数据传输到汇聚节点，并转发给自愈控制智能终端，在智能终端内实现故障的定位，定位结果再通过自愈控制智能终端进行远程传输来实现故障的远程精确定位指示。对于结构复杂的

配电网络，这种无线自组网技术不仅降低了成本，而且故障定位优势更为明显。

双电源供电系统中，故障指示器在智能判断的基础上配合功率方向，如图4所示，规定电流流向为正方向，故障指示器同步采样线路负荷的电流、电压后，进行数据处理计算出功率方向。当故障指示器检测到线路故障特征后，判断测量的功率方向与规定的线路正方向的关系。若与规定正方向同向时，认为线路故障，指示器给出报警指示；而未检测到故障特征或功率方向与正方向反向的故障指示器保持原始状态没有报警，实现了带方向的故障定位，为故障指示器在智能电网建设中开辟了新的应用途径。

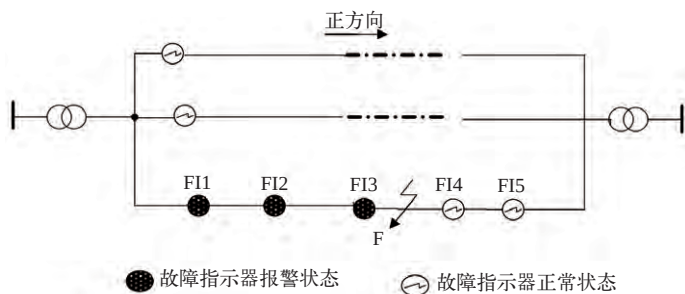


图4 双电源供电系统故障定位

结束语

随着电力市场的逐步放开，供电可靠性的要求会进一步提高，这就要求电力运行部门对故障处理环节要格外重视。结合近几年故障定位的应用，新型的自组网故障定位系统在提高电力系统运行可靠性方面起到了很大的作用。结合我国配电网结构以及发展方向，智能化的定位系统将成为未来配电系统自动化的一个重要角色，在体现

其故障定位速度优势的同时，对系统运行的经济性和可靠性方面也显示出了明显的优势，作为其中重要的元件，故障指示器的技术也逐步趋于成熟和稳定，相信在未来的配电网络建设中会得到更加广泛的应用，也会在今后配电系统运行以及升级中发挥越来越重要的作用。EA

（收稿日期：2015.07.31）

（编辑：白文亭）