

智能配网自动化技术研究

寸 凯

(云南电网公司临沧供电局, 云南 临沧 677000)

摘 要: 对智能配网自动化系统的内容、功能和整体结构进行了说明, 并从近年来各地区配电网的实际运行情况出发, 分析和总结影响配电网安全运行的主要因素, 研究和论证配电网发展领域实现自动化的重要组成部分——用户分界开关成套设备, 并对设备中采用的“看门狗”技术进行了详细的介绍及应用描述, 针对如何在现有配电网基础上完善配电网管理模式和管理手段的问题, 提出了从根本上提高配电网科学化管理水平的全面解决方案。

关键词: 智能配网 10kV 馈电保护 用户分界负荷开关成套设备

中图分类号: TM76 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-7345 (2012) 05-0005-04

1 配电网支线自动化现状

随着国民经济的高速发展, 在配电网(城网和农网)建设的过程中, 10kV 配电线路主网不断改良安全运行率趋于稳定, 但各用户支线入口处大量使用着户外柱上开关和隔离开关, 它们一般均为手动操作, 主要用于正常分、合线路负荷电流和隔离电源等作用, 不具有自动隔离用户侧事故的功能, 伴随近年来新用户的不断增多, 线路结构越加复杂给故障排查带来更大的困难, 绝大多数配电线路 T 接多条支线或与多台变压器呈放射状辐射; 线路短的只有几十米, 长的穿山越岭长达十几千米, 支线环节多为全线架空或局部电缆与架空混合线路; 出于临时用电需要有的架空线路临时带有电缆用户、架设临时箱变等, 支线末端用户配电变压器严重老化等现象; 从而出现单一用户侧的事故(主要指单相接地故障), 尤其当线路故障点难以确定, 延误了事故处理, 造成故障扩大, 进一步发展为相间短路, 给配电网主网的安全运行带来隐患, 造成继电保护越级掉闸的情况时有发生, 继而造成主网全线停电, 影响同一线路的其他用户也被迫停电, 引起供电系统和用户以及用户与用户之间的责任纠纷, 继而配电网的薄弱环节日益凸显。

与国外先进国家相比, 我国配电网整体供电能力和可靠性水平偏低, 管理手段相对落后; 配

电自动化系统覆盖范围不到 9%, 远远低于先进国家水平; 由于技术不成熟、网架结构调整频繁、运行维护力量不足等原因, 配电自动化实用化水平较低, 部分装置处于闲置状态; 配电侧、用户侧通信信息网络仍处在研究摸索阶段, 数据传输通道存在明显不足; 部分地区城市配电变压器经济运行水平不高, 配网节能降耗技术应用不足; 农村配电网负荷分散、点多面广、运行环境差、发展不平衡、用电需求差异明显, 关键技术研发应用投入不足。

在我国中小城市配电网中性点接地方式, 一般为不接地系统或经消弧线圈接地系统, 而在大、中城市, 架空线路与电缆线路混合, 通常存在几种接地方式并存。我国现行 35kV 及以下配电网对中性点不接地系统而言, 单相接地故障允许 2 小时带故障运行已延续几十年。从而国内在没有意识到接地故障给电网运行带来隐患的同时, 相比国外对配电网单相接地故障的研究起步较晚, 当今我国各地区发展极不平衡, 配电网的结构与布局日趋复杂, 近年来随着我国城市建设和线路扩容及美化需要, 全国大中城市配电网已由架空线路转为地缆线路, 综合对地容性电流越来越大, 通过各地区配电网结构特点的分析, 采用监测零序电流的技术更为适合我国多种配电方案。

2 配电网中性点接地方式的分析

收稿日期: 2012-01-23

2.1 中性点不接地方式

可以通过安装在分界负荷开关装置中的零序 CT (ZCT) 检出零序电流, 根据该零序电流的大小来判断故障发生在负荷侧还是电源侧。

接地故障发生在负荷侧如图 1 所示:

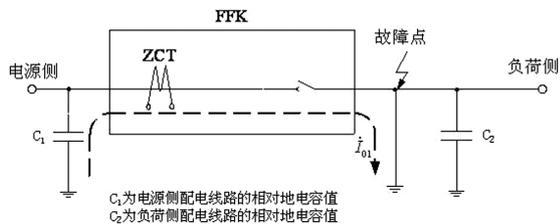


图 1 负荷侧接地故障

ZCT 检出的零序电流为 I_{01} 。

$$I_{01} = 3\omega U_0 C_1 \text{ 安培}$$

$$U_0 = \frac{10}{\sqrt{3}} \times 10^3 \text{ 伏 } U_0 \text{—一相电压, 单位为伏}$$

C_1 ——电源侧相对地电容值, 单位为法拉 C_1 为电源侧线路中包含的架空线和电缆的相对地电容值的总和。

I_{01} 可由架空线和电缆的长度进行估算。架空线正常运行时的相电容电流约为 0.02A/km; 交联聚乙烯电缆为 0.8-1A/km, 油浸纸绝缘电缆为 1.2-1.5A/km, 对电缆估算取值可取平均值 1A/km。

$$I_{01} = 3 \times (0.02l_1 + 1 \times l_2)$$

l_1 —电源侧配网所含的架空线总长度, km (配网所含范围为变电站 10 千伏所在母线的全部配线)

l_2 —电源侧配网所含的电缆总长度, km

这个电流应能使 FFK 的零序保护动作。

接地故障发生在电源侧如图 2 所示。

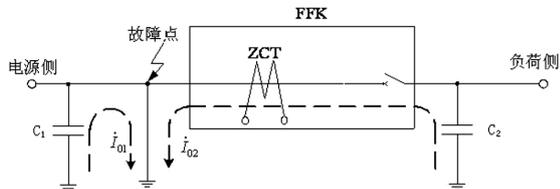


图 2 电源侧接地故障

ZCT 检出的零序电流为 I_{02} 。

$$I_{02} = 3\omega U_0 C_2 \text{ 安培}$$

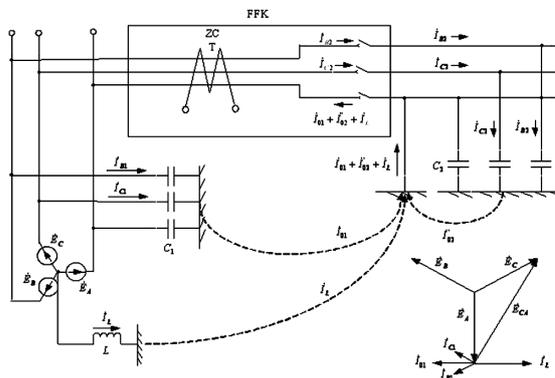
C_2 —负荷侧相对地电容值, 法拉 C_2 为负荷侧线路中包含的架空线和电缆的相对地电容的总和。

$$I_{02} = 3 \times (0.02l'_1 + 1 \times l'_2) \text{ A}$$

l'_1 —负荷侧线路所含的架空线总长度, km

l'_2 —负荷侧线路所含的电缆总长度, km

这个电流应不能使智能负荷分界开关的零序电流动作。



2.2 中性点经消弧线圈接地方式

图 3 负荷侧单相接地时的电路图及矢量图

接地故障发生在负荷侧

ZCT 检出的零序电流为 I'_{01} 。

$$I'_{01} = I_{01} - I_L$$

I_L —消弧线圈补偿电流的有效值, 单位 A

可以看出, I'_{01} 为经消弧线圈补偿后流经接地点的电流残值。当消弧线圈为过补偿方式时, $I_L > I_{01}$, I'_{01} 和 $I_L > i_{01}$, I'_{01} 和 I_{01} 反向, I'_{01} 落后于零序电压 90° 。当消弧线圈欠补偿运行时, $I_L < I_{01}$, I'_{01} 和 $I_L < I_{01}$, I'_{01} 和 I_{01} 同向, I'_{01} 领先于零序电压 90° 。

由矢量图可知:

$$\dot{I}_{01} = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1}, \dot{I}_{02} = \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{C2}$$

$$I_{01} = I_B \cos 30^\circ + I_C \cos 30^\circ$$

$$= 2\sqrt{3} U_0 \omega C_1 \cos 30^\circ = 3\omega U_0 C_1$$

$$\text{同理, } I'_{02} = 3\omega U_0 C_2$$

由于 I'_{01} 的方向随补偿方式而改变, 因此, 在消弧线圈接地方式下, 不能采用方向零序保护来提高保护动作的灵敏度。

这个电流应使智能负荷分界开关的零序保护动作。

接地故障发生在电源侧

ZCT 检出的零序电流仍为 I_{02} , 消弧线圈补偿电流 I_L 不流过 ZCT, 即 $I'_{02} = I_{02}$ 。

有的消弧线圈系统增加如下判据:

对带有消弧线圈的系统, 在接地故障发生时, 消弧线圈会将一个电感电流 (补偿电流) 叠加在

故障点流过的电容电流上，使故障点的电容电流被补偿，测得的零序电流 I_{jd} 可能是容性电流（欠补偿），也可能是感性电流（过补偿），一般按规定应为感性电流，因此接地线路的基波零序电流方向和未接地线路的基波零序电流方向相同，无法以基波零序电流方向来判断出接地线路。用零序电流里 5 次谐波分量的大小和方向来判断接地线路，如上所述也不理想。而新判据为：判断故障（零序）基波电流的有功分量和有功功率的大小，可以准确的找出接地故障线路。

1) 以基波零序电压 U_0 为基准（实轴），将基波零序电流 I_0 分为：

有功分量 $I_a = I_0 \cos \phi$ ， I_a 与 U_0 同相。

无功分量 $I_r = I_0 \sin \phi$ ， I_r 与 U_0 垂直。

2) 按下式算出有功功率值：

$$P_a = 1/T \int_0^T U_0(t) \cdot I_0(t) \cdot dt$$

式中 T 为积分周期。

3) 按下述原则判定接地线路：

对接地线路： $|P_a| \geq P_{ozd}$

未接地线路： $|P_a| < 0.2 - 0.3 \cdot P_{ozd}$

$$P_{ozd} = 0.5 \cdot P_{qa}$$

P_{qa} 为消弧线圈的有功功率损耗。

本判据之所以准确，是因为在出现接地故障时，未接地线路的零序电流为电容电流，其相位超前零序电压 90 度，没有有功功率。而接地线路的零序电流为感性电流，因为消弧线圈有有功功率损耗，再加上接地点电弧的有功功率损耗，所以一定有有功功率，并且可以满足 $|P_a| \geq P_{ozd}$ 的要求。

上述判据简单明确、判断速度快，并且不受零序电压和零序电流接线极性的影响，使用方便。通过数百次动模试验证明，不但选择性好，动作正确率 100%，而且对每条被测线路都可独立判断出它是否出现接地故障，可以不需要对全部线路的采集量进行比较，因而使接地检测（选线）装置既可以做成集中式的微机式接地检测（选线）装置，又可以做成分布式的接地检测（选线）装置或在微机式线路保护里用此判据加上接地检测（选线）功能。

2.3 中性点经低电阻接地方式

包括接地故障发生在负荷侧和接地故障发生在电源侧两种情况。

2.3.1 接地故障发生在负荷侧

ZCT 检测出的零序电流为 I''_{01} ，该电流的大小主要由接地电阻值决定，类似于中性点直接接地系统中的单相接地短路电流，可用序网的方法进行分析和计算，单相接地时的复合序网如图 4 所示。

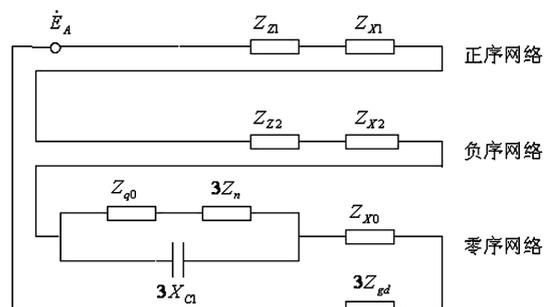


图 4 中性点经低电阻接地系统中
单相接地故障复合序网图

Z_{Z1} 、 Z_{Z2} 分别为系统等值正序、负序阻抗
 Z_{X1} 、 Z_{X2} 、 Z_{X0} 分别为故障线路的正序、负序、零序阻抗

Z_{q0} 为接地变压器零序阻抗

X_{c1} 为除故障线路外的零序容抗

Z_n 为中性点接地电阻

Z_{gd} 为故障点接地阻抗

当 $Z_n = 10\Omega$ 时，在金属性单相接地故障状况下， I''_{01} 的数值应在 400 ~ 450A 之间。左安门 220 千伏变电站现场试验测得值为 410 ~ 430A，首端和末端故障测得的单相接地短路电流值基本相等（相差 10A 左右）。

2.3.2 接地故障发生在电源侧

ZCT 检出的零序电流值仍为 I_{02} 或略小，即 $I''_{02} = I_{02}$ 。

据统计国内以中性点经 10Ω 电阻接地系统应用较多为例，一般纯金属性接地故障电流在 300A ~ 500A，用户界内单相接地时，零序电流互感器检出的是所有的接地电流 I_{02} ，而在用户界外发生单相接地故障时产生的接地电流，零序电流互感器检出的零序电流为 I_{01} 。

通过对三种接地方式的界内和界外产生的接地电流分析，在变电站接地选线装置不能满足快速查找接地故障点的条件下，研究如何监测毫安级零序电流的手段，采集该零序电流的大小来判断故障所发生的区域，通过切断该区域单相接地故障电流，从而明确事故分段点，减小停电范围。

3 技术应用

在配电网自动化技术应用中,如果能够将各种自动控制系统分别以模块化的形式独立开发,以微电子的方式嵌入到集成电路中,借助现代计算机网络和通信技术的智能化完美融合,通过检测零序电流大小进行对比,从而实现故障的判断,并能满足多种中性点接地方式,是研究支线保护技术的关键。

近年来,具有支线保护功能的柱上用户分界负荷开关,在国内主要大中城市已投入运行,通过近几年的运行数据分析,该产品在智能配电自动化领域取得初步成效,但由于分界负荷开关不具备开断短路电流的能力,在处理相间短路故障时,必须依靠变电站出线保护跳闸配合,用户分界负荷开关在无压无流的条件下保护分闸,造成10kV母线短时掉电的问题。因此,分界负荷开关在全国各地区的普及存在一定的局限性。

ZW20A-12K型户外分界开关设备由ZW20A-12K开关本体与YC-001分界开关控制器组成,具备故障电流检测功能,保护控制功能和通讯功能,适用于10kV架空线路,可实现自动切除单相接地故障和自动切除相间短路故障。安装点适用于10kV配电线路用户进户线的责任分界点处,也可以适用于符合要求的分支线T接处。

4 智能配电设备特点

1) 自动切除支线接地故障:支线用户或线路末端用户发生接地故障时,智能分界开关自动分闸,变电站及馈线上的其他用户感受不到故障的发生。

2) 自动隔离线路短路(过流)故障:支线用户或线路末端用户过流故障时,智能分界开关在变电站出线保护跳闸后立即自动分闸。变电站重合后,故障线路的分界开关处于分闸状态,故障线路被自动隔离,馈线上的其他用户迅速恢复供电。

3) 快速定位故障责任:支线用户或线路末端用户的智能分界开关保护动作后,仅责任用户停电,用户主动报送故障信息后,电力部门可迅速到场排

查;如智能分界开关增配通讯模块,则自动将信息报送电力管理中心,避免了电力部门与用户及用户与用户之间的责任纠纷问题。

4) 监测用户线路负荷:智能分界开关可增配有无线或无线通信附件,将监测数据传送到调度管理中心,实现对用户负荷的远方实时数据监控,满足智能电网需求。

5) 应用范围广:适应大多数配电网系统(中性点不接地、中性点经小电阻接地或中性点经消弧线圈接地),可用于10kV及6kV电压系统,适用于630A电流以下的所有用户。

6) 使用寿命长:真空灭弧方式,弹簧操作机构,可频繁关合操作,具有15年免维护能力。

5 结束语

文中首先对现有配电网保护技术进行了分析及研究,通过高精度三相一体化零序电流互感器监测零序电流为判断故障,使其行之有效地对配电网的监视和控制。在今后配电网发展的历史过程中,在国家智能电网规划的背景下,配电系统必将获得迅速大规模的发展,分界开关作为配电系统的重要组成部分,也将会我国的智能配电网发挥更大的作用。

参考文献

[1] 刘志刚,刘凤芹,王金凤.分界负荷开关在配电线路中的应用[J].农村电气化,2009年第9期.

[2] 杨绍军.基于智能开关设备的配电网线路自动化技术[J].电力设备,2007年12月第八卷第12期.

[3] ZW20A-12K智能用户分界开关一体化说明书[R].江苏宜源诺成电气有限公司

[4] FZW28(SOG)方向性责任分界真空负荷开关使用手册[R].西安前进电器实业有限公司

作者简介:

寸凯(1974~),男,从事科技信息化管理工作。邮箱:439444526@qq.com.