

基于配电自动化的小电流系统自愈技术研究

大电流接地系统发生单相接地时故障特征明显,故障容易识别,故障线路可迅速跳开,借助配电自动化系统实现故障隔离与非故障区间恢复供电;小电流接地系统发生单相接地时故障电流小,故障线路以及故障区间判断是难点问题。本文通过分析小电流接地系统单相接地故障判断存在的问题,结合配电自动化技术,提出了基于集中型馈线自动化的小电流接地系统故障快速诊断处理方案,可有效解决小电流接地系统的单相接地故障处理问题,大幅降低人工巡查强度,大大提高供电可靠性。

吕立平 马光耀 谷君 许冲冲 刘漫雨/国网北京市电力公司电力科学研究院



吕立平/工程师

关键词/Keywords

小电流 ·
配电自动化 ·
自愈 ·
高可靠 ·

0 引言

大城市郊区及大部分城市多采用小电流接地系统,当线路发生单相接地故障时,可带故障运行 2 h。据统计,10 kV 架空线路的单相接地故障占故障总数的 60%以上,需要及时判断处理,否则易于发展成相间故障;此外随着城市对供电可靠性要求的提高,快速定位故障显得十分迫切。电网的“自愈”能力作为保证电网可靠的关键功能,可在无需或仅需少量人为干预的情况下,利用先进的监控手段对运行状态进行连续的在线自我评估,并采取预防性的控制手段,即时发现、快速诊断、快速调整或快速隔离。配电自动化是实现自愈的重要手段,未来几年国家将加强对配电网尤其是配电自动化方面投资,提升供电可靠性。如何借助不断发展的配电自动化技术,实现小电流接地系统单相故障定位是研究的重点方向。本文考虑了配

电网现场运行情况,针对小电流接地系统,提出了基于集中型馈线自动化的小电流接地系统故障快速诊断处理方案。

1 单相接地故障判断现状

1.1 线路分布特点

小电流接地系统,线路多为架空或架混线路,线路规模大、平均供电距离长。

1) 与小电阻接地相比,采用小电流接地方式的混网线路条数多,线路规模大。

以北京市电力公司为例,现运 10 kV 混网线路总长度约为 27 922 km,其中采用小电流接地系统的线路总长度 20 537 km,占比 74%。

2) 采用小电流接地方式的混网线路平均长度是小电阻接地方式的几倍。

以北京市电力公司为例,小电流接地系统线路平均长度 15.9 km,为小电阻接地系统线路平均长度的 2.4 倍。

3) 采用小电流接地方式的混网线路每段平均长度是小电阻接地方式的 2 倍左右。

1.2 故障处理

1) 保护配置及故障处理方式如表 1 所示,小电流接地系统单相故障处理主要依靠人工。

2) 故障区间不易查找,处理时间长。

架空线路分支较多,线路较长、运行方式复杂,以及部分架空线路多处于山区、交通不便等因素,给故障巡线带来很大的难度;故障点隐蔽不

表 1 一般馈线保护配置及故障处理情况

序号	接地方式	保护配置情况	处理方式
1	小电阻接地	过流 I 段 0.3 s 过流 II 段 1 s	保护快跳闸，配电自动化自动隔离故障，转供负荷
2	小电流接地	变电站母线 6 s 后零序电压报警	单相接地，线路带电运行 2 h，小电流选线装置告警或人工试拉选线，现场巡线查找故障段及故障点

易查找，常见避雷器损坏、绝缘子击穿造成单相接地故障，如图 1 所示。

3) 小电流选线装置应用成效不明显。
选线装置对于金属性和低阻性接地的选线准确率高于 90%，但对于高阻性接地、不同线路两点同相接地的选线效果相对较差。
往往由于缺乏运维，选线装置内部积灰、风扇、主板损坏、缺少备品备件，5 年左右装置陆续停止使用，其成效未成有效发挥。

2 自愈方案

鉴于小电流选线装置专业运维与使用交叉，未有效发挥其选线作用，且不易与自动化结合，本方案利用特定频带内，电容性质的正负，实现故障选线。变电站出站配置选线开关，用于判断故障线路，并与分段、联络开关配合实现故障区

间判断，同时利用配电自动化，展示故障区间以及恢复非故障区间供电。建成后故障判断系统及设备运维易于管理，便于应用。

2.1 故障选线

2.1.1 选线原理

小电流接地系统零序电流分布图如图 2 所示，零序电流的参考方向以母线流向线路为正。



图 1 避雷器、绝缘子遭雷击造成故障

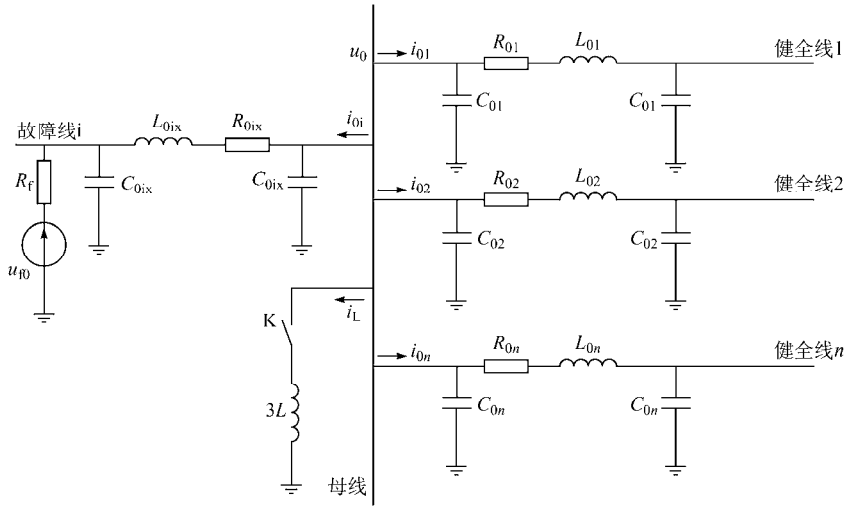


图 2 小电流系统零序电流分布图

当发生接地故障时：

1) 全网出现零序电压，当零序电压超过整定值时启动。

2) 零序电流仍是由母线流向线路，通过故障点返回。

3) 在前 2 个周波零序电流由线路流向母线，与健全线路方向相反。因此利用线路的零序电压、零序电流计算出该线路在特定频带下前 2 个周波电容参数的正负极性，可判断该线路是否为故障线路。因全网暂态零序电流比较大，识别接

地选线方法准确性较高。

2.1.2 对一次设备要求

在 10 kV 馈线首端第一台开关处安装具有健全线路模型识别单相接地故障功能的选线开关，用于实现本条馈线线路的接地故障选线，如图 3 所示。其中，CB 为带时限保护和一次重合闸功能的馈线出线断路器；FS1 为具有接地故障选线功能的智能分段负荷开关（选线开关）；FS2~FS5/LS 为具有选段功能的智能分段负荷开关/联络开关；PS1~PS3 为用户分界负荷开关。

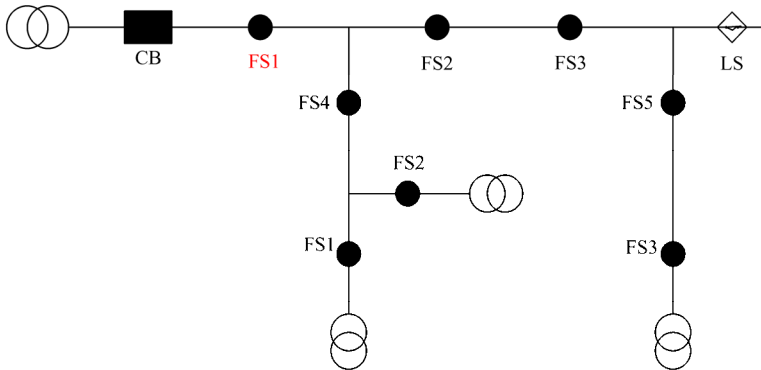


图 3 选线开关的配置

选线开关（利用现有模式及设备）的改造方案：

1) 馈线线路新配置选线开关，可充分利用原有一次设备，在原有负荷开关基础上，加装外置零序 PT 和具有故障选线功能的二遥分段动作型配电终端，通过负荷开关的接地保护跳闸进行选线。

表 2 选线开关成套设备配置表

开关类型	原有东芝技术的 VSP5 型负荷开关 内置三相 CT、内置 EVT（增量新建时配置）
终端类型	具备接地选线功能的二遥分段动作型馈线终端 支持电压型和集中型 FA 配置超级电容，支持掉电运行 5 min
PT 类型	外置三相五柱式 PT（存量改造时配置）+ 单 PT
通信配置	无线或光纤通信

2) 考虑到外置零序 PT 成本造价较高，馈线线路新配置的选线开关也可对原负荷开关改造利用，通过在负荷开关内置 EVT 电压传感器，

取代外置零序 PT，与具有故障选线功能的二遥分段动作型馈线终端配套使用时，同样可以进行馈线线路选线。

2.2 故障选段

小电流接地方式下的配电线路，通过选线开关选出故障线路后，可以借助馈线自动化技术手段，快速实现单相接地故障的定位和隔离。主要介绍三种选段方法。

2.2.1 零序电压突变量选段方案

在原有 VSP5 型负荷开关基础上加装外置零序 PT，或者直接选用带内置 EVT 电压传感器的负荷开关，配置基于零序电压-时间逻辑的二遥分段动作型馈线终端，实现就地智能馈线自动化。故障隔离过程如下。

(1) 单相接地故障

- 1) 变电站接地告警，选线开关接地保护跳闸，选出故障线路；
- 2) 线路分段开关因线路失电而分闸；
- 3) 选线开关一次重合，分段开关依据零序电压-时间逻辑隔离故障点；
- 4) 主站遥控联络开关合闸，恢复供电。

- (2) 相间短路故障
- 1) 变电站 CB 保护跳闸，分段开关因线路失电而分闸；
 - 2) CB 延时重合，分段开关依据电压-时间逻辑隔离故障点；
 - 3) 主站遥控 CB 和联络开关合闸，恢复供电。

2.2.2 主站判断接地标志遥控选段方案

如图 3、图 4 所示，在变电站出线断路器 CB 及各个分段开关处，安装具有健全线路模型识别单相接地故障检测功能的智能配电终端，配电主站根据各配电终端检出的接地故障标志，进行综合分析判断，定位隔离故障。故障隔离过程如下。

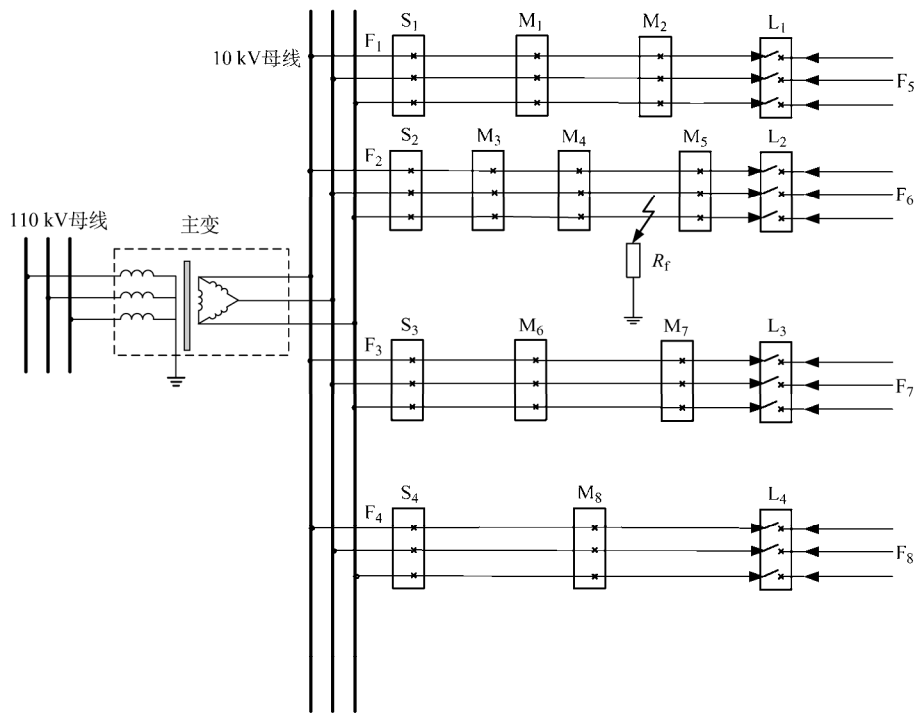


图 4 单相接地故障区段定位示例配电网

- (1) 单相接地故障
- 1) 智能配电终端基于本地采集的电压、电流，直接判断出接地故障是否发生在其负荷侧，若在负荷侧，则接地故障检测信号置 1，否则置 0，并上送配电主站；
 - 2) 配电主站在收集配电终端上报的接地故障信息后，对故障区段进行综合判断。
- (2) 相间短路故障
- 1) 变电站保护跳闸，线路失电；
 - 2) 通过 EMS 转发变电站馈线故障信息后启动馈线自动化功能，再利用智能配电终端上传主站故障终端判断故障区间，时间故障区间隔离与非故障区间负荷转供。

2.2.3 无线通信智能分布式选段方案

在原有 VSP5 型负荷开关基础上加装外置零序 PT，或者直接选用带内置 EVT 电压传感器的

VSP5 型负荷开关，配置基于无线通信的智能分布式配电终端，直接对接地故障进行选段、定位和隔离，实现接地馈线自动化。故障隔离过程如下。

- (1) 单相接地故障
- 1) 配电终端采集的电压、电流，直接判断出接地故障发生在电源侧还是负荷侧，若在负荷侧，则将接地故障检测信号置 1，否则置 0；
 - 2) 配电终端通过对等通信收集各关联终端的接地故障标志，对故障区段进行定位；
 - 3) 故障定位后，由故障点两端的分段负荷开关分闸，隔离故障。
- (2) 相间短路故障
- 1) 变电站保护跳闸，线路失电；
 - 2) 配电终端通过无线网络相互通信，定位故障区域，实现故障隔离；

3) 变电站重合恢复供电。

2.3 故障判断方案对比

判断方案, 有适合在现有开关现状基础的改造, 有适合新建情况下的, 三种方案对比如表 3 所示。

本文讨论的小电流接地系统单相接地故障

表 3 接地故障判断方案对比表

	改造方案	新建方案	新建方案
方案内容	零序电压突变量选段	主站判断接地标志遥控选段	无线通信智能分布式选段
开关类型	VSP5 型负荷开关	VSP5 型负荷开关 或电流型开关	VSP5 型负荷开关, 或电流型开关
PT 配置	负荷开关内置 EVT 电压传感器 (增量新建时配置) 或外置三相五柱式 PT (存量改造时配置) +单 PT		
终端配置	分段动作型馈线终端 (失压判据、 接地故障判据)	三遥配电终端 (接地故障判据)	智能配电终端 (接地故障判据)
通信配置	无线或光纤通信	光纤通信	无线或光纤通信
保护配置	无需配置保护定值	无需配置保护定值	零序保护 15 s (躲开看门狗零序 延时定值 10 s)
接地 故障选段	选线开关选出故障线路后, 分段开 关关合过程中检出零序电压突变 时, 跳开故障前端开关隔离故障点	主站在收集齐各配电终端上报的 单相接地故障标志后, 综合判断 分析、遥控开关分闸隔离故障点	配电终端对等通信收集齐关联 终端单相接地故障标志后, 就地 判断分析, 跳开开关隔离故障点

3 结束语

小电流接地系统单相接地故障判断是世界性难题, 若想得到比较好的解决, 有技术方面的问题, 也有管理方面的问题。本文在技术上采用利用零序电流暂态信息在特定频带下电容参数的极性判断故障线路, 选线成功率较高。利用选线开关实现选线的方法, 更符合管理使用需求。针对现有开关现状及新建情况, 提出了不同的实施方案, 方案适应性较好。本文提出的故障判断方案, 借助配电自动化, 实现故障区间判断、展示, 以及非故障区间恢复供电。目前方案已在北京地区试点应用。方案也对进一步推进配电自动化建设成效发挥具有重要意义。

参考文献

[1] 贾清泉, 刘连光, 杨以涵, 等. 应用小波检测故障突变特性实现配电网小电流故障选线保护[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21

(10): 78-82.
[2] 董旭柱, 黄邵远, 陈柔伊, 等. 智能配电网自愈控制技术[J]. 电力系统自动化, 2012, 36 (18): 17-21.
[3] 顾欣欣, 姜宁, 季侃, 等. 配电网自愈控制技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 113-123.
[4] 于士斌, 徐兵, 张玉侠, 等. 智能配电网自愈控制技术综述[J]. 电力系统及其自动化学报, 2013, 25 (5): 65-70.
[5] 刘健, 赵树仁, 张小庆, 等. 配电网故障处理关键技术[J]. 电力系统自动化, 2010, 34 (24): 87-93.

作者简介

吕立平 (1983-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事配电网自动化、继电保护等技术研究。

(收稿日期: 2015-12-10) EA
(编辑: 朱金凤)