

基于 GPRS 技术的配电线路故障自动定位系统

唐述宏¹, 季 涛^{1,2}, 宋红梅¹

(1. 潍坊学院 信息与控制工程系, 山东 潍坊 261061;

2. 山东大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250061)

摘要: 为解决小电流接地系统线路故障,尤其是单相接地故障的自动定位问题,提出一种实现配电线路短路故障和单相接地故障快速自动定位的新方法。该方法通过检测过流现象判断相间短路故障,通过在中性点投入中电阻增加接地故障电流有功分量的方法实现单相接地故障的检测。故障检测信息通过通用分组无线业务(GPRS)无线通信网络上报至自动定位系统主站,主站自动定位分析软件根据各节点上报的故障检测信息,可以定位出故障所在区段。

关键词: 小电流接地系统; 故障定位; 故障指示器; GPRS 技术

中图分类号: TM 713 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-6047(2006)08-0059-04

由于线路的相间短路故障,同时出现过电流,一般可通过检测线路电流突变量判断出故障发生。但是,单相接地故障由于故障电流微弱,电弧不稳定,使得定位其故障点成为难题^[1],且单相接地故障是发生几率最高的故障类型^[2],所以单相接地故障点的准确、快速定位对于提高供电可靠性至关重要。

对于故障点的检测,文献[3]给出了利用故障指示器检测相间短路故障的故障启动条件,文献[4]介绍了根据故障电流幅值大于正常情况电流幅值的现象,实现电缆线路故障定位的故障指示器。

本文通过检测过流现象判断线路是否出现相间故障,通过在中性点投入中电阻的方法,实现单相接地故障的检测。利用户外线路上悬挂的故障指示器检测相间短路故障及单相接地故障信息,故障指示器信息通过通用分组无线业务(GPRS)无线通信网络将故障信息送至监控中心故障定位服务器,实现线路故障的快速自动定位。

1 系统结构功能

系统结构示意图如图 1 所示,整个系统由故障指示器检测节点、GPRS 无线通信网络和故障自动定位系统主站组成。

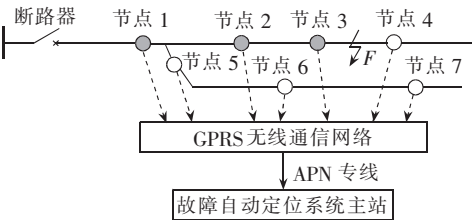


图 1 系统工作原理图

Fig.1 The working principle

1.1 故障指示器检测节点

故障指示器检测节点能检测相间短路和单相接地故障,根据线路具体结构确定故障指示器检测节点位置。故障指示器检测节点结构示意图,见图 2。

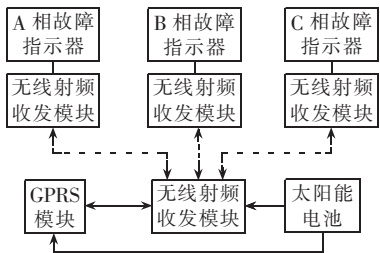


图 2 故障指示器检测节点结构示意图

Fig.2 The structure of fault detector

故障指示器检测节点由故障指示器、无线射频收/发模块及无线 GPRS 通信单元组成。发生故障时,各故障指示器将检测到的故障信息通过无线射频模块发送到无线 GPRS 通信单元,通信单元接收到故障信息后,通过无线 GPRS 模块将故障信息送至监控中心定位系统服务器。

1.2 GPRS 无线通信系统

GPRS 是一种基于全球移动通信系统(GSM)系统的无线分组交换技术^[5-8],提供端到端的、广域的无线 IP 连接。以“分组”形式传送资料到用户手上。使用 GPRS 后,数据实现分组发送和接收,用户就可以总是在线且按流量计费,降低了通信费用。

如图 1 所示,中心采用接入点名称 APN(Access Point Name)专线,所有故障指示器检测节点都采用内网固定 IP 的组网方式实现网络数据传输。该方案客户中心通过一条 APN 专线接入移动公司 GPRS 网络,双方互联路由器之间采用私有固定 IP 地址广域连接,在网关支持节点(GGSN)与移动公司互联路由器之间采用通用路由封装 GRE(Generic Routing

Encapsulation) 隧道。为客户分配专用的 APN, 给所有监控点及中心分配移动内部固定 IP。移动终端和服务平台之间采用端到端加密, 避免信息在整个传输过程中可能的泄漏。双方采用防火墙隔离, 并在防火墙上进行 IP 地址和端口过滤。该方案实时性、安全性和稳定性都是比较理想的。

1.3 故障自动定位系统主站

如图 3 所示, 监控中心主要由路由器、监控服务器和故障定位分析软件组成。故障指示器检测节点上报的故障信息经 APN 专线送至监控中心, 经过路由器送至监控中心定位主站。主站结合各节点上报信息, 故障自动定位分析软件就可以自动定位出故障区段。



图 3 故障自动定位系统主站示意图

Fig.3 Control center of auto fault locating system

2 系统工作原理

首先, 对各个检测节点统一编码其地址信息, 各检测节点上报的故障信息包含其地址编码信息。图 1 中, 当线路 F 点发生故障时, 故障点 F 上游的各检测节点检测到故障信息, 而 F 下游和其他分支线路的检测节点均检测不到故障信息。故障自动定位系统服务器根据获取的各检测节点的报警信息通过矩阵算法就可确定出故障发生在节点 3 和节点 4 之间, 从而定位出故障所在区段。

3 故障检测原理

3.1 理论分析

对于线路的相间短路故障, 常伴随出现过流现象, 一般比较容易检测。利用故障指示器检测相间短路故障的故障启动条件为: 突增电流应大于允许的过负荷电流, 而小于线路末端短路的电流, 同时, 还必须具备继电保护装置动作最短或最长时间电流突降为零。配电网单相接地故障是发生几率最高的故障类型。虽然规程规定单相接地故障发生后系统可继续运行 2 h, 但由于单相接地故障可能会进一步发展为 2 点或多点故障, 从而引起跳闸停电事故, 所以, 配电网故障定位主要是解决单相接地故障的准确定位难题。下面分析利用在系统中性点投入中电阻的方法(中电阻法)实现单相接地故障检测的工作原理。

单相接地故障检测原理如图 4 所示, 系统正常工作时, 真空接触器 KM 处于断开位置, 并联电阻 R_p 不投入系统, 中性点经消弧线圈接地。对于瞬时故障, 由于消弧线圈的灭弧作用, 系统可自动恢复正常; 对于永久性接地, 在经过一定延时后, 按一定规律投/切并联电阻(可投入 3 次, 每隔 2 s 投入 1 次, 每次投入 1 s 后自动断开)。并联电阻投入后, 将产生阻性电流, 该电流主要流经故障线路故障相的故障点与母线间, 且按并联电阻的投/切规律变化, 当

检测到该规律的电流时, 故障指示器报警。

消弧线圈并联电阻示意图见图 4。

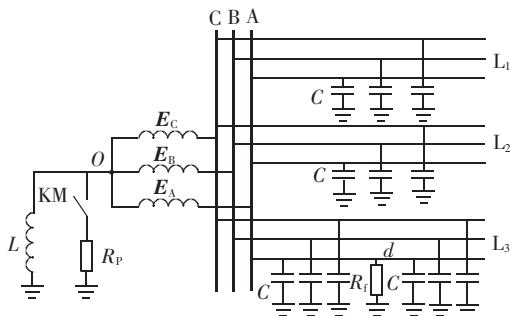


图 4 中性点经消弧线圈并联电阻接地示意图

Fig.4 The neutral point grounding via arc suppression coil and parallel resistance

图中, E_A 、 E_B 、 E_C 分别为系统三相电压, L 为消弧线圈, R_p 为中性点并联电阻。假设 L_3 的 A 相接地, 则中性点对地电压 U_0 为

$$U_0 = -\frac{E_A Y_A + E_B Y_B + E_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} \quad (1)$$

$$U_0 = \frac{-E_A}{1 + R_f \left(\frac{1}{R_p} + j3\omega C + \frac{1}{j\omega L} \right)} \quad (2)$$

通过 R_p 的阻性电流为

$$I_p = \frac{U_0}{R_p} = \frac{-E_A}{R_p + R_f + R_p R_f \left(j3\omega C + \frac{1}{j\omega L} \right)} \quad (3)$$

I_p 变化规律如图 5 所示。

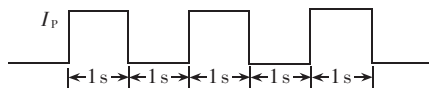


图 5 阻性电流 I_p 变化示意图

Fig.5 Variation of resistive current I_p

3.2 并联电阻值选择

并联电阻的作用是抑制过电压和为接地故障检测提供阻性电流, 本文主要根据后者选择并联电阻阻值, 选择的原则是: 在不产生较大故障电流的前提下, 提供足够灵敏信息, 以实现在一定的接地过渡电阻范围内准确选择故障线路和故障点。

对于 10 kV 配电网, 其最高运行电压为 12 kV, 发生金属性单相接地时中性点位移电压为 6.9 kV, 并联电阻取 150 Ω 就能满足要求, 此时将产生约 45 A 的阻性电流。

3.3 消弧线圈选择

消弧线圈可根据电网电容电流大小选不同方案。

a. 对于电容电流为 10~100 A 的配电网, 可根据规划的最大电容电流值选择消弧线圈的容量和可调范围。

b. 对于电容电流小于 10 A 的配电网, 消弧线圈宜采用 10 A 和 15 A 两级可调的简易形式。电网电容电流小于 5 A 时, 消弧线圈工作在 10 A 档; 电容电流为 5~10 A 时, 消弧线圈工作在 15 A 档。

对于电容电流大于 100 A 的配电网, 宜采用可调消弧线圈加固定电抗 2 部分组合的模式, 固定电

抗的大小可根据电网的基础运行方式(即基本不变化的电网运行规模)确定。

4 监控中心故障自动定位方法

根据各检测节点上报的故障信息,利用故障定位矩阵算法就可以自动定位出故障点^[9-10]。其基本原理是:首先依据配电网的结构构造一个反映馈线网络拓扑结构的网络描述矩阵 D 。当馈线发生故障时,检测到故障信息的故障指示器将所检测信息上报给监控中心,监控中心据此故障信息生成一个故障信息矩阵 G ,通过 D 和 G 的运算得到一个故障判断矩阵 P ,根据 P 就可以准确地判断和隔离故障区段。

4.1 网络描述矩阵

将馈线上的断路器、故障指示器和联络开关(图 6 中节点 5)当作节点并编号,假设共有 N 个节点,则可构造一个 $N \times N$ 方阵。若第 i 个节点和第 j 个节点之间存在一条馈线,则位于第 i 行第 j 列的元素均置 1,并称这 2 个节点为相邻节点;反之,将不存在馈线的节点所对应的元素置 0。这样构成的方阵就称为网络描述矩阵,用 D 表示,它反映了馈线的网络拓扑结构。简单的馈线网络示意图如图 6 所示。

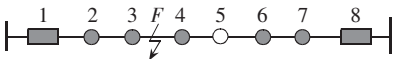


图 6 简单馈线网络示意图
Fig.6 Sketch diagram of a simple feeder network

在图 6 中 F 为故障点,由图可知,当所示点发生故障时,节点 1、2 和 3 处将会检测到故障信息,而节点 4 处检测不到故障信息,从而可定位故障点在 3、4 之间。其描述矩阵 D 为

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4.2 故障信息矩阵

故障信息矩阵 M 也是 $N \times N$ 方阵,它是根据故障时各节点上报的相应检测点是否检测到故障信息构造的。具体的定义方式为:如果第 i 个节点检测到故障信息,则故障信息矩阵的第 i 行第 i 列的元素置 0;反之则第 i 行第 i 列的元素置 1,故障信息矩阵的其他元素均置 0。也即故障信息反映在矩阵 M 的对角线上。

图 3 所示网络相应的故障信息矩阵为

$$M = \text{diag}[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1] \quad (5)$$

4.3 故障判断矩阵

网络描述矩阵 D 和故障信息矩阵 M 相乘后得到矩阵 J' ,规格化后就得到了故障判断矩阵 J ,即

$$J = g(D \cdot M) = g(J') \quad (6)$$

式中 $g(\cdot)$ 代表规格化运算。

格式化运算具体操作如下:

若 D 中的元素 d_{mj} 、 d_{nj} 、 K 、 d_{kj} 为 1,并且 M 中 $M_{jj}=1$ 时,需要对 J' 中第 j 行和第 j 列的元素规格化处理,若 g_{mm} 、 g_{nn} 、 K 、 g_{kk} 中至少有 2 个为 0,则将 J' 中第 j 行和第 j 列的元素全置 0;若上述条件不满足,则 J' 中相应的元素值不变。

利用故障判断矩阵 J 就可以判断出故障所在区段:若 J 中的元素 $J_{ij} \text{ XOR } J_{ji} = 1$,则馈线上第 i 节点和第 j 节点之间的区段有故障,故障隔离时应断开第 i 节点开关和第 j 节点开关,XOR 表示异或。

图 6 所示馈线网络的故障判断矩阵为

$$J = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据故障判断原则,由上述故障判断矩阵可以很容易的判断出在 3、4 节点之间发生了故障。

对于树状馈线网络,故障区段显然位于从电源到末梢方向第一个未检测到故障的节点和最后一个检测到故障的节点之间。根据网络描述矩阵和故障信息矩阵的定义及故障判断矩阵的得出方式,如果一条馈线段的一个节点检测到故障而另一个节点未检测到故障,则在故障判断矩阵中这 2 个节点对应的 2 个元素必然相同。为此,在根据故障判断矩阵判断故障区段时,必须采用异或算法。由此可见,故障定位矩阵算法不仅适用于简单馈线网络,也适用于结构复杂的树状馈线网络。

5 结论

通过本文的分析以及论证,可以得到以下结论:

- a. 小电流接地系统线路故障(尤其是单相接地故障)的快速、准确定位,对于提高供电可靠性具有重要意义;
- b. 利用线路装设的故障指示器实现线路故障自动定位,可以迅速判断出故障所在的区段,大大减少了查找故障时间;
- c. 通过在中性点投入中电阻,人为增加单相接地故障电流的方法检测单相接地故障,具有重要的现实意义及广泛的市场应用前景;
- d. 利用无线 GPRS 通信技术实现故障数据的上报,简化了工程施工,并且稳定可靠。

参考文献:

[1] 季涛,孙同景,薛永端,等. 配电网故障定位技术现状与展望[J]. 继电器,2005,33(24):32-37.

- JI Tao,SUN Tong-jing,XUE Yong-duan,et al. Current status and development of fault location technique for distribution network[J]. Relay,2005,33(24):32-37.
- [2] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,1994.
- [3] 祝兆丰,杜美如. CFI 线路故障指示器功能及其应用[J]. 天津电力技术,2004(4):44-46.
- ZHU Zhao-feng,DU Mei-ru. CFI fault circuit indicator and its application[J]. Tianjin Electric Power Technology,2004(4):44-46.
- [4] 冯文胜. 电缆故障指示器的应用[J]. 广东电力,2002,15(5):66-68.
- FENG Wen-sheng. Application of fault circuit indicator[J]. Guangdong Electric Power,2002,15(5):66-68.
- [5] (Bud)BATES R J. 通用分组无线业务(GPRS)技术与应用[M]. 朱洪波,译. 北京:人民邮电出版社,2004.
- [6] 吕捷. GPRS 技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社,2001.
- [7] 雷学丽,杨锡运,徐大平. 基于 GPRS 技术的集中式自动抄表系统[J]. 电力自动化设备,2004,24(8):76-78.
- LEI Xue-li,YANG Xi-yun,XU Da-ping. Automatic meter reading system based on GPRS technology[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(8):76-78.
- [8] 刘锋,潘永湘,毛芳仁. 基于 GPRS 配电网自动化通信系统终端的设计与工程实现[J]. 电力自动化设备,2005,25(1):54-62.
- LIU Feng,PAN Yong-xiang,MAO Fang-ren. Design and im-

- plementation of communication system terminal based on GPRS technology for distribution network automation[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(1):54-62.
- [9] 刘健,倪建立,杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化,1999,23(1):31-33.
- LIU Jian,NI Jian-li,DU Yu. A unified matrix algorithm for fault section detection and isolation in distribution system[J]. Automation of Electric Power Systems,1999,23(1):31-33.
- [10] 张钊. 配电网故障定位的通用矩阵算法[J]. 电力自动化设备,2005,25(5):40-43.
- ZHANG Zhao. General matrix algorithm for distribution system fault locating[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(5):40-43.

(责任编辑:汪仅珍)

作者简介:

唐述宏(1966-),男,山东潍坊人,副教授,主要研究方向为电力系统自动化(E-mail:tshhemail@tom.com);

季涛(1975-),男,山东潍坊人,博士研究生,主要研究方向为配电网故障定位及配电自动化(E-mail:jitsdu@126.com);

宋红梅(1968-),女,山东莱州人,硕士,从事机电一体化方面的研究工作。

Auto fault locating system for distribution feeders based on GPRS technique

TANG Shu-hong¹,JI Tao^{1,2},SONG Hong-mei¹
(1.Weifang University,Weifang 261061,China;
2.Shandong University,ji'nan 250061,China)

Abstract: An auto fault locating method is proposed for the feeder fault of small current grounding system,especially for the single-phase grounding fault. It detects the inter-phase short-circuit fault by checking the excess current,while the single-phase grounding fault by checking the fault current increment through the shunt resistance at system neutral point. The fault information is sent to the control center through the GPRS(General Packet Radio Service) communication network,based on which the fault location analysis software running in the master station locates faulty segment.

Key words: small current grounding system; fault locating; fault detector; GPRS technique