

基于改进的 S 注入法的新型树状配电网故障检测装置

马 佳¹, 余文辉², 车伟扬², 徐 垦¹, 程时杰¹

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 广东省高州供电局, 广东 高州 525200)

摘要:介绍一种基于注入法原理进行低压树状配电网接地故障定位的新装置。装置由恒流信号电源和信号检测装置两部分组成。在恒流信号电源部分控制系统的设计中采用了闭环 PID 直流反馈控制和引入了非线性环节,因此能在负载大范围波动的情况下保持注入电流频率恒定和幅值恒定,可靠性高。信号检测部分采用了编码、高阶滤波等技术。该装置工作可靠、灵敏度高、抗干扰性强、携带方便且操作容易,能广泛适用于复杂树状配电网的故障检测。

关键词:树状配电网; 注入法; 故障定位

中图分类号: TM72 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2002)10-0051-04

1 前言

在我国,6~35 kV 配电网大都采用小电流接地系统方式运行,即变压器中性点不直接接地系统方式运行。在这种小电流接地的配电网中,特别是在分支繁多、接线复杂的树状配电网中,单相接地是发生率较高的一种故障。发生单相接地故障后,由于故障电流小于负荷电流,三相线电压仍保持对称关系,非故障相对负荷的供电没有影响,系统能够继续运行。但是单相接地故障却可能引发更为严重的两相接地短路故障或三相接地短路故障,威胁到供电的安全性和可靠性,应予迅速查找并排除。

迅速准确地查找出故障接地点是电力工作者多年来一直追求的目标。传统的人工巡线目测法费时耗力。30 年代德国人提出用零序电流作为单相接地选线定位判据,但它仅适合电缆出线装有零序电流互感器和架空出线装有三相电流互感器的情况。80 年代前期苏联提出向线路注入正弦信号,寻找谐振频率,计算线路感抗进行故障定位的方法,但其定位易受分布电容的影响。文献[1~2]提出了一种用软件算法实现树状配电网短路识别和定位的方法,然而,由于其数据采集复杂、对网络拓扑结构适应性不强,距实际应用仍有一定距离。文献[3~4]提出了 S 注入法,通过向接地故障相注入信号电流,并检测跟踪该信号电流的回路来实现故障定位。本文研制出了一种基于改进的 S 注入法的线路接地故障检测装置,它能够有效地解决小电流接地系统中的单相接地故障定位问题,使故障定位的精度和可靠性都得到了大大的提高。

2 S 注入法原理

S 注入法的原理如图 1 所示。正常运行时, $U_{AN} = U_{BN} = U_{CN} = U_{相}$ 。当发生接地故障时(以 A 相短路为例), $U_{AN} = 0 V, U_{BN} = U_{CN} = 0 V$ 。根据相电压的变化判断出故障相为 A 相,并向 A 相线路注入信号电流。此电流仅沿 A 相线路流动并经接地点 F 入地,并在接地支路沿线产生特定频率的交变电磁场。因此,可通过检测跟踪此交变电磁场来确定接地故障点 F。S 注入法尤其适合在复杂树状配电网的故障定位中使用。图 2 所示复杂树状配电网,当在分支二处发生短路故障时,由于注入信号仅在分支 2 上流过,因此,只要在分支附近对注入信号跟踪并辅以方向选择,即可判断出接地线路。



图 1 S 注入法原理

Fig. 1 S injection method



图 2 复杂树状配电网故障定位图

Fig. 2 Fault localization of complex tree form distribution networks

在 S 注入法的基础上,本文提出了一种改进的 S 注入法,对原 S 注入法的注入信号和检测装置进行了改进。实践证明根据改进的 S 注入法实现的新型树状配电网故障定位装置接线简单,效率高,且由

于其定位装置具有方向选择性,故能够有效地解决复杂多分支树状配电网的故障定位问题。

3 故障检测装置构成

基于改进的 S 注入法的树状配电网故障检测装置由恒频恒流信号电源和信号检测装置两部分组成。信号电源的功能是产生并发送恒定频率和幅值的注入信号电流 S。如图 3 示,高精度正弦信号发生器产生的正弦信号,经编码、功率放大、升压后送入电网。电源装置中的闭环直流 PID 控制器能实现负荷剧烈变动情况下注入信号电流恒频恒流的功能。

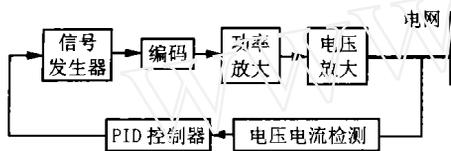


图 3 恒流信号电源组成

Fig. 3 Configuration of the constant current source

信号检测装置组成原理如图 4 所示。高精度的信号探测器将接地线路上的注入信号所产生的磁场接收耦合下来后,经选频放大,用带通滤波器将有用信号从谐波噪声中提取出来并整流,再经 A/D 采样进单片机进行解码判断处理,最后用液晶或指示灯显示结果。以上步骤在故障检测的过程中以一个固定的周期反复执行,直到检测到故障位置为止。

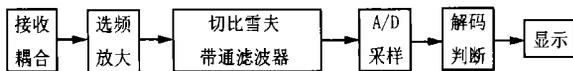


图 4 信号检测装置组成图

Fig. 4 Configuration of the signal detector

以下将就故障探测装置研制过程中的几个关键问题进行详细说明。

4 恒流信号源设计

为防止配电网中工频电流及谐波电流的干扰,对恒流信号电源的频率稳定性要求很高。因此信号电源采用了高精度的正弦波发生器及其外围接口电路,该电路对于输出频率能够精确调节,保证了恒定频率的正弦信号波形输出。

小电流接地系统接地故障中过渡电阻阻值变化范围很大,信号源必须在电源的负载能力范围内保持输出电流幅值不受故障过渡电阻的影响。利用 Matlab 中的仿真工具 Simulink 对恒流信号电源的控制器进行了仿真分析与参数整定。控制系统的结构框图如图 5 所示。TA 采集到的注入信号电流值,通过滤波整流环节形成一直流反馈信号,该信号与电流整定值进行比较,所得差值通过 PID 调节器后对信号发生器产生的正弦信号幅值进行调制,再经电压放大及功率放大后注入电网。

在信号电源控制器的参数整定中,为了使得仿真模型更加接近实际系统,利用了 Simulink 中的非线性元件模块 Nonlinear 中的 Saturation, DeadZone 和 Coulomb & Viscous Friction 三种非线性元件来分别模拟实际系统中的饱和及死区等非线性因素。利用 Simulink 对控制系统进行了仿真,图 6 给出了在 0.10 s 处负载从 50 阶跃变化到 100 k 时恒流信号源的响应曲线,从图中可以看出在负载大幅度变化时信号电源能在很短的时间内恢复到恒定幅值电流波形输出。根据此时仿真计算得出的控制器参数设计并实现了实际的恒流信号电源。经现场实验证明它确实能在负载剧烈变动的情况下保持恒频恒流信号电流输出。

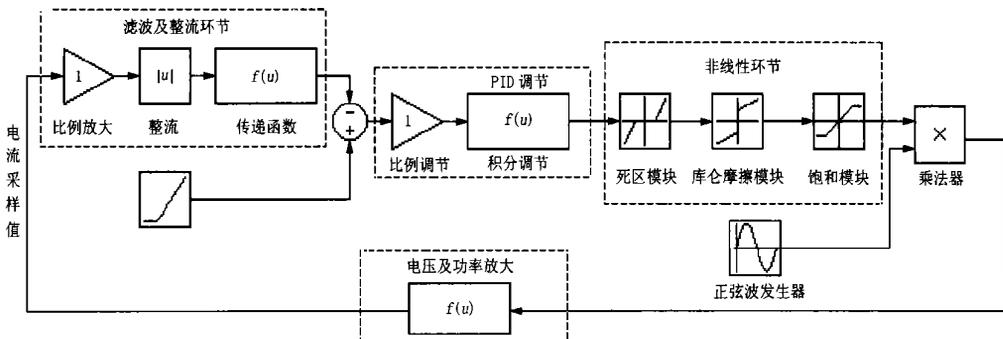


图 5 恒流信号电源控制系统框图

Fig. 5 Block diagram of the control system of the constant current source

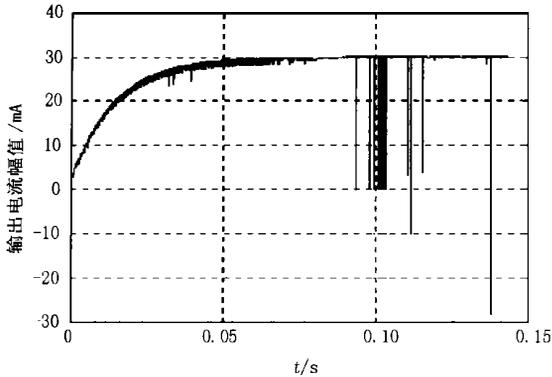


图 6 信号电源仿真输出波形

Fig. 6 Simulation results of the output current

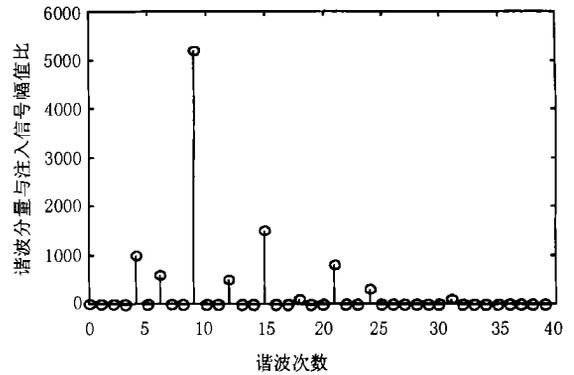


图 7 实验室条件下谐波噪声幅值

Fig. 7 The amplitude of the harmonics under lab condition

5 选频原理及编码机制的应用

在配电网故障定位的实际使用中,信号探测装置不可避免要受到工频电流和谐波电流产生的电磁场以及各种复杂的空间杂散电磁场的干扰,因此恰当地选择注入信号频率和增强信号检测装置的抗干扰能力是故障检测装置设计中的关键问题。

为避免电力线中谐波电流产生磁场的干扰,注入信号电流的频率必须位于工频相邻两次谐波频率之间。同时,为减小高频电流产生的磁场干扰和分布电容的影响,注入信号电流的频率亦不能太高,综合考虑各种因素本装置选择的注入交流电流频率 $f_0 = 225 \text{ Hz}$ 。

为了设计适当的滤波器,必须对线路周围空间中各种电磁场与信号电流产生电磁场的相对大小关系有较全面的了解。在实验室条件下,对包括注入信号电流产生的电磁场在内的空间电磁场进行了模拟和测量。对测量信号进行 FFT 变换可得到各次谐波噪声幅值与注入信号的幅值比。图 7 给出了一组典型的实验结果,从图中可以看出最接近注入频率的 4 次谐波分量 (200 Hz) 与注入信号 (225 Hz) 幅值之比在 1000 数量级上,因此检测装置的选频带通滤波器必须具有 60 dB 的衰减。同时为满足高灵敏度要求,在 $f_0 \pm 3 \text{ Hz}$ 内衰减必须小于 3 dB。根据此要求设计的切比雪夫滤波器的频率特性如图 8 所示。

在现场运行中,除了谐波及高频电流干扰外,还有其他如电力电子器件、配电网沿线机动车辆产生的电火花等诸多非谐波噪声干扰。这些非谐波噪声遍布在包含注入信号频率的各个频段上,是使用滤波器无法消除的。为了减小注入频率上的非谐波噪声的干扰,装置在恒流信号源中采用了对注入信号进行数字化开关断续加密的编码机制,并在信号检

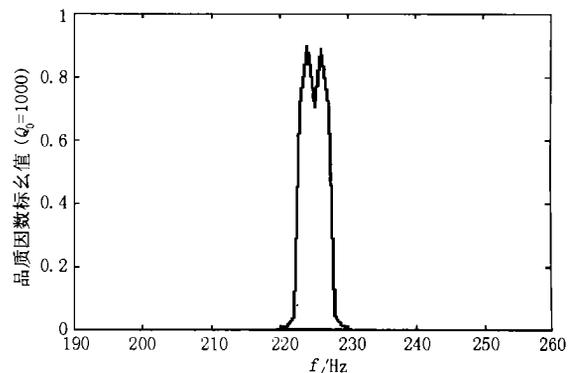


图 8 切比雪夫滤波器的频率特征

Fig. 8 Frequency characteristics of the Chebyshev filter

测部分相应进行解码判断。当注入频率上的非谐波噪声不很强时,通过解码可以将注入信号从中识别和提取出来,从而定位接地点;而当注入频率上的非谐波噪声很强,以至不能从中提取出有效的注入信号时,则可通过解码将这种非谐波噪声与线路周围的有效信号区分开,从而消除误判断。实践证明编码机制的引入大大提高了装置的可靠性。

6 装置的实际使用情况

本装置在实验室和工业现场中均进行过大量的实验,实验结果表明本装置具有很好的故障探测和定位效果,在距架空线垂直距离 10 m 的范围内,可以探测到注入信号,从而精确定位到故障点。

由于本装置抗噪能力强,可靠性高,而且接线简单,操作方便,小巧易于携带,因此很适合在分支繁多,接线复杂,沿线地理条件多变的农村配电网中使用。目前已经在广东省高州供电局下辖配电网中推广使用。

7 结论

(1) 注入法是一种解决低压树状配电网故障定位问题的行之有效的方法。与传统定位方法相比,它具有明显的优势,能广泛适用于树状配电网,且定位准确、通用性好、接线简单、不受分布电容的影响,大大提高了故障定位效率;

(2) 恒流信号电源控制器设计中采用闭环直流反馈 PID 控制并引入非线性环节使信号电源在负荷大范围变化的条件下仍能保持恒流恒频输出;

(3) 信号探测装置中切比雪夫滤波器和故障探测装置中编码机制的使用增强了装置的抗噪能力和灵敏度。探测器体积小重量轻,方便携带;

(4) 故障检测装置既能在停电的方式下运行也可以在带电的情况下进行检测定位,能避免停电检测带来的不便。

参考文献:

[1] 韩凤玲,许承斌,柳焯. 树型分支电网短路点特征识别

和定位[J]. 中国电机工程学报,1997,17(6):25-31.

- [2] 韩凤玲,许承斌,柳焯. 树型分支电网单相对地短路真伪故障辨析[J]. 电力系统自动化,1998,22(8):42-47.
- [3] 王慧,范正林,桑在中.“S注入法”与选线定位[J]. 电力自动化设备,1999,19(3):35-39.
- [4] 桑在中,张慧芬,等. 用注入法实现小电流接地系统单相接地选线保护[J]. 电力系统自动化,1996,20(2):11-13.
- [5] 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计——Matlab 语言及应用[M]. 清华大学出版社,1996.

收稿日期: 2002-04-11

作者简介:

马佳(1976-),女,硕士研究生,主要研究方向为电力系统控制及 FACTS 应用;

余文辉(1968-),男,硕士研究生,工程师,主要从事电力系统自动化方面的研究和技术管理工作;

程时杰(1945-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析与控制、人工智能在电力系统中的应用。

A novel fault localizer of tree form distribution networks based on an improved S injection method

MA Jia¹, YU Wen-hui², CHE Wei-yang², XU Ken¹, CHENG Shi-jie¹

(1. Dept. of Electrical Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Gaozhou Electrical Company of Guangdong Province, Gaozhou 525200, China)

Abstract: Based on an improved S injection method, a novel fault localizer for tree form distribution networks is developed. The localizer is composed of two parts: a constant current constant-frequency signal source and a signal detector. The signal source with a close loop DC feedback and a PID controller is able to keep a constant current output under different load conditions which enables the developed system suitable for a very wide range of grounding impedance. Coding and high rank filtering technologies are introduced into the designing of both the signal source and the signal detector. The localizer is high sensitive, portable, and has a strong anti-noise ability and adaptability to various distribution networks. The effectiveness of the developed system has been verified by practical uses.

Key words: injection method; tree form distribution network; fault localization

(上接第 36 页)

Research on transmission of fault recorder file based on lossy compression method and the selection of file transfer protocol

ZHAO Yuan

(The Electrical Engineering Department of ChongQing University, ChongQing 400044, China)

Abstract: Through public telephone network the transmission of fault information in power system which is produced by Fault Recorder is researched. The message sink coding and channel coding in the transmission process is analyzed. Based on this analysis, a kind of compression algorithm which has loss and can control the distortion quantitatively is brought forward in message sink coding. Moreover, the transmission efficiency of some kinds of file transfer protocol are compared in channel coding. Through the compression and the selection of file transfer protocol, the time in transmission of data file produced by fault recorder is shorten greatly.

Key words: message sink coding; channel coding; data compression; FTP