

基于“S注入法”的一种故障定位新方法

王新超, 桑在中

(山东大学电力学院, 山东 济南 250061)

摘要: 依据“S注入法”选线定位原理, 导出了小电流接地故障情况下, 故障支路的等效电路、相量图, 分析了注入信号的频率应选择具有不同于系统固有信号的特征, 指出了注入的信号电流仅在接地线路接地相中流动, 不会流向系统的其它部位的特点。针对当接地相的接地电阻大、阻抗角小时, 普通阻抗法测距精度差, 提出了以倍角算法为基础的改进算法, 并给出了理论分析和实现电路。

关键词: 小电流接地系统; 微机测距; 单相接地故障; 故障定位

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2001)07-0009-03

1 引言

在我国 6kV 至 66kV 供、配电网, 均采用小电流接地系统运行方式。小电流单相接地故障在这类供、配电网中是发生机率较高的一种故障, 迅速准确地找出接地线路及故障点是多年来继电保护工作者希望达到的目标。从 30 年代至今, 国内外已研制出多种小电流接地系统单相接地选线及测距装置, 主要有利用零序电流作为单相接地选线判据、或者利用其谐波分量等, 这些方法比早期的拉路巡检法有了较大的提高, 也都取得了一定的效果。然而, 这类方法仅能应用于装有零序 CT 或三相 CT 的小电流接地系统。在我国, 这种情况不足 10%, 绝大部分的小电流接地系统仅装有两相 CT。而由山东大学电力学院桑在中教授提出的基于“S注入法”的选线定位原理, 与上述方法相比, 在理论和实用中有了较大突破。根据该原理研制出的选线和定位保护已大量生产, 目前已有数千套投入全国各地的电力系统运行, 效果良好。可以这样说, 基于“S注入法”的小电流接地保护装置已成为我国这类保护的主流装置。本文介绍一种根据这一原理用微机实现的通用型单相接地测距新方法。

2 “S注入法”的选线原理简介^[1]

“S注入法”选线原理不利用小电流接地系统单相接地故障的故障量, 而是利用单相接地时原边被短接、暂时处于不工作状态的接地相 PT 人为向系统注入一个特殊信号电流, 用寻迹原理即通过检测、跟踪该信号电流的通路来实现接地故障选线。注入信号电流的基波频率 f 位于工频 n 次谐波与 $n+1$ 次谐波之间 (n 为正整数)。原理示意图如图 1 所示。正常运行时, PT 二次电压 $U_{An} = U_{Bn} = U_{Cn} = 57.7V$,

$U_{Ln} = 0$, 主机不输出信号电流。当发生单相接地故障时(以 A 相接地为例), $U_{An} = 0V$, $U_{Bn} = U_{Cn} = U_{Ln} = 100V$, 主机根据此 PT 二次电压的变化, 可判断出 A 相接地。由于 PT 的 A 相一次绕组被短路, 使 PT 的 A 相处于不工作的“闲置”状态。主机工作原理接线如图 1 所示。此时信号发生器自动地将一内部信号电源跨接在端子 A、N 之间, 在 A 相 PT 二次绕组产生电流信号, 如图中虚线所示。由于 A 相 PT 一次绕组处于短路状态, 二次绕组中的电流必然会感应到一次, 在 PT 一次的中性接地点与接地故障点之间形成一个信号电流的通路, 如图中虚线所示。通过接于各出线端的探测器, 由辅机收集处理, 实现故障选线功能。

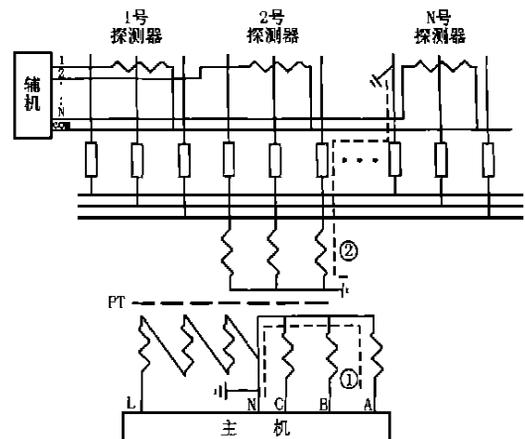


图 1 信号电流注入法工作原理图

这种利用单相接地时暂时处于“闲置”状态的 PT 接地相注入信号的方法, 无须增加任何一次设备, 也不会对运行设备产生任何不良的影响, 注入信号仅仅流向接地线路接地相, 注入效率较高, 信号发生设备与一次强电系统之间通过 PT 电磁耦合, 没有直接电的联系, 不必考虑其绝缘问题, 使控制和信号

发生设备都比较简单,装置的接线也十分方便。只要将注入信号设计为恒流源,可不受接地点过渡电阻的影响,从而保证了检测的灵敏度。注入信号频率的选择也很重要,电力系统属于高电压、大电流的强电系统,其周围的工频及 n 次谐波信号的含量丰富,强度也会比注入信号强度高得多。为了使检测器顺利地读取有用信号,其基波频率应选择在工作频率的 n 与 $n+1$ 次谐波之间。这种通过系统电压互感器注入信号的方法,是“s注入法”最主要的技术特点。

3 故障测距方法的探讨^{[2][3]}

3.1. 测距理论依据

根据“s注入法”,当小电流接地系统某相发生接地短路时,信号发生器自动地将一基频信号注入PT二次绕组。从一次侧看,注入信号只有在接地故障点支路与中性接地点之间能形成一个信号电流的通路,而非接地支路没有电流回路。理论分析证明在一定范围内,当采用交流信号注入法时,如果注入信号频率选择适当,则电源侧至故障点的电气线路可以近似简化为如图2所示电路。其中 X_L 是电源侧至故障点的感抗, R_D 是故障点对地的接地电阻。在这个等效电路当中,忽略了线路本身的电阻消耗(由于注入信号频率高于工频,实践证明完全可以忽略),即近似地认为电源侧距故障点的距离与线路电感 X 成正比。根据故障支路等效图,我们可以方便地画出其相量图见图2示。又由相量图可推知故障定位距离 L 为:

$$L(\text{距离}) = k \cdot \frac{U_m \sin}{I_m} \quad (1)$$

其中, k 代表线路单位长度的感性导纳, θ 代表电流与电压的相角差。

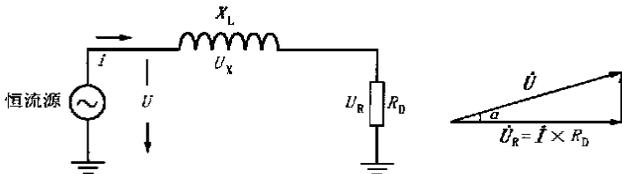


图2 故障支路等效电路

3.2. 接地电阻对测距的影响

小电流接地故障,多是由于支撑绝缘老化、积尘、受潮等因素引起的。这类故障其接地电阻由于受接地介质和环境电压等诸多因素的影响往往数值不为零,而呈现出几千欧、甚至几十千欧。当接地电阻比较大,而故障距离比较近时,由图2相量图可以

看出,电压电流的阻抗角 就变得比较小。以注入电流频率为 220Hz 为例,如果要求测量计算误差小于 500m,则算法的角度分辨率往往要达到 0.02° 以上。对于阻抗角 的计算,常用过零点检测法和离散化了的富氏算法。由于存在多种干扰,这种直接检测的方法,其 值的分辨多在 3~5°,不能满足要求。

3.3. 倍角(频)算法

基于上述的分析可以得出这样一个结论,如果要想提高故障距离的测量精度,就必须设法提高对角度的分辨率。如果加大注入电流信号的频率,提高线路感抗是可以加大 的数值,但同时也带来了分布电容的影响、信号源功率的增加、对其它设备的干扰等,上升空间不大。笔者经过多年的试验,提出了一种倍角算法。不增加注入信号频率,只是借助倍角公式来改善算法,从而达到提高相角分辨的目的。

由正弦倍角公式 $\sin 2\theta = 2(\sin \theta)(\cos \theta)$ 可以得出这样的结论,如果将 PT、CT 二次侧采集到的电压信号和电流信号分别表示为 $U_m \sin(\omega t)$ 、 $I_m \sin(\omega t + \theta)$,则其倍频算法可以表示为:

$$U_{(2)} = 2 U_m^2 \sin(\omega t + \theta) \sin[90^\circ - (\omega t + \theta)] = 2 U_m^2 \sin(\omega t + \theta) \cos(\omega t + \theta) = U_m^2 \sin(2\omega t + 2\theta) \quad (2)$$

$$U_{(4)} = 2 U_m^4 \sin(2\omega t + 2\theta) \sin[90^\circ - (2\omega t + 2\theta)] = 2 U_m^4 \sin(2\omega t + 2\theta) \cos(2\omega t + 2\theta) = U_m^4 \sin(4\omega t + 4\theta) \quad (3)$$

$$U_{(2^n)} = 2 U_m^{2^n} \sin(2^{n-1} \omega t + 2^{n-1} \theta) \sin[90^\circ - (2^{n-1} \omega t + 2^{n-1} \theta)] = 2 U_m^{2^n} \sin(2^{n-1} \omega t + 2^{n-1} \theta) \cos(2^{n-1} \omega t + 2^{n-1} \theta) = U_m^{2^n} \sin(2^n \omega t + 2^n \theta) \quad (4)$$

即将采集窗口内的电压信号前移 90° 后与原采集量逐点相乘,形成倍频量并逐点存储。由于倍频后的信号仍为正弦量,因而可以再前移 90° 后逐点相乘并存储,形成原信号的四倍频量。依次类推就可以很容易地将阻抗角提升到 2^n 倍以上。

3.4. 倍角过程中工频与其 n 次谐波的影响分析

为了使问题的分析从概念上清楚起见,我们不妨假设采集窗口内的原始数据仅由注入信号的基波分量 $A^1(x)$ 、工频分量 $A^1(0)$ 、3 次谐波分量 $A^1(3\theta)$ 、5 次谐波分量 $A^1(5\theta)$ 等分量组成的集合,记其为 $\{A^1(x), A^1(0), A^1(3\theta), A^1(5\theta)\}$ 。

低压电力线载波通信研究与应用现状

何海波, 周拥华, 吴昕, 张有兵, J. NGUIMBIS, 程时杰

(华中科技大学电力工程系, 湖北 武汉 430074)

摘要: 在分析低压电力线载波通信特征的基础上, 综述了低压电力线载波通信技术研究的发展状况, 比较了扩频通信(SSC)技术、多载波正交频分多址(OFDM)技术和传统低压载波通信技术的性能, 分析了 X-10、LonWorks、CEBus 等多种通信技术标准, 并提出了基于已有技术的低压电力载波通信网络的解决方案及试验研究, 同时, 展望了低压电力载波通信技术的发展前景并提出了有待进一步研究解决的问题。

关键词: 电力线; 载波通信; 扩频通信; 多载波正交频分多址

中图分类号: TM73; TN914.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2001)07-0012-05

1 引言

低压电力线载波通信(Power Line Communication)是指利用已有的低压配电网作为传输媒介, 实现数据传递和信息交换的一种技术^[1-2]。其诱人之处在于它利用已有的低压配电网作为信息传输的载体, 从而避免了新的通信网络的建设和投资。同时, 随着信息技术(Information Technology)的不断发展, 美、德、法等国家已提出家庭插座(Home Plug)计划, 旨在推动以电力线为传输媒介的数字化家庭(Digital Home)。可以预见, 低压电力线载波通信技术必将成为新的研究热点, 它已经引起了世界各国的广泛关注。

然而, 由于低压配电网自身固有的特点, 要在其上实现可靠、安全的数据传输是相当困难的。世界各国已就其进行了大量的研究, 如: 传统的频带传输技术, 扩频通信(SSC: Spread Spectrum Communication)技术和最近试验的多载波正交频分多址(OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing)技术。大量的研究表明, 随着通信方案的不断改进和数字信号处理技术的不断发展, 实现数据在低压电力线上

的优质传输是可能的。

本文在分析了低压电力线载波通信特点的基础上, 综述了低压电力线载波通信技术的发展研究状况, 从理论上阐述了扩频通信(SSC)技术、多载波正交频分多址(OFDM)技术和传统的低压载波通信技术的原理。同时, 综述了 X-10、LonWorks、CEBus 等多种通信技术标准, 并从应用的角度, 介绍了基于已有技术的通信网络的解决方案及其试验研究结果。最后, 作者展望了这一领域的发展前景并提出有待进一步研究解决的问题。

2 低压电力线载波通信的特点

与中、高压电力线的载波通信不同, 低压配电网由于直接面向用户, 这一固有的特点使其通信环境极其恶劣, 如: 负荷情况复杂, 噪声干扰强且具有时变性, 信号衰减大, 信道容量小等。因此, 要实现高性能的低压电力线载波通信有相当大的困难。

2.1 噪声干扰强

已有的研究表明, 噪声的大量存在是实现数据在低压电力线上优质传输的主要障碍之一。一般来说, 影响电力通信质量的噪声主要有以下3种:

研究方向为电力系统继电保护; 桑在中(1938), 男, 教授, 主要研究方向为电力系统继电保护。

A new approach of fault location based on "S injecting signal"

WANG Xir-chao, SANG Zai-zhong

(Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: According to the principle of "S injecting signal", the paper gives out the equivalent circuit and phase graph of the fault branch, analyzing that the feed current frequency to be chosen should be different from industrial frequency, pointing out the character which the feed current never passes through unfaulted branch, and only flows between the fault branch and the power system ground injection point. In view of the lower accuracy by simple impedance measurement method, the paper gives out a new improved way which is based on double angle theory, analysis of the way in theory and realized circuit

Key words: neutral indirectly grounded or ungrounded system; microprocessor based distance measurement; single phase-to-earth fault; fault location