

A Fault Location Study on Double-Circuit Transmission Lines on the Same Tower

Gang Wang¹, Lijing Jia²

¹Anyang Power Supply Corporation, Anyang

²China University of Mining and Technology, Xuzhou

Email: wgang2008@163.com

Received: Mar. 7th, 2013; revised: Mar. 10th, 2013; accepted: Apr. 5th, 2013

Copyright © 2013 Gang Wang, Lijing Jia. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Double circuit transmission lines on the same tower is the effective method to solve the occupied land which was erected by the transmission lines, across houses and so on, which caused the contradiction between the urban planning and construction and the lives of the residents. However, in the event of a failure, the main outstanding issue is how to locate the fault more accurately in the case of the effect of the same tower double circuit transmission lines of magnetic coupling on the measured data. The principle of the method is based on S transformation to utilize the energy of the fault phase current signal and the corresponding average voltage to detect and locate the fault of the same tower transmission line. A phase to earth fault as an example is researched in this paper and then the modeling and simulation through the application PSCAD is conducted. Further, the effectiveness of the proposed method is verified, meanwhile, it will lay a foundation for researching on the more towers of transmission line fault.

Keywords: Electric Power System; Double-Circuit Transmission Lines; Fault Location

同塔双回输电线路接地故障点定位方法研究

王 刚¹, 贾立敬²

¹安阳供电公司, 安阳

²中国矿业大学, 徐州

Email: wgang2008@163.com

收稿日期: 2013 年 3 月 7 日; 修回日期: 2013 年 3 月 10 日; 录用日期: 2013 年 4 月 5 日

摘 要: 同塔双回输电线路是解决输电线路架设占用土地、跨越民房等引起的与城镇规划建设、居民生活之间的矛盾的有效方法, 可是, 一旦发生故障, 如何更加精确的定位故障位置是其主要的突出问题。本文正是基于此, 并考虑同塔双回输电线路的磁偶对所测数据的影响, 介绍了一种不受磁偶影响就可以对故障点进行精确定位的方法, 即基于 S 变换利用故障相电流信号的能量与对应的电压平均值来对同塔双回输电线路故障进行检测与定位的方法。并以 A 相接地故障为例进行了研究和分析, 最后通过应用 PSCAD 软件进行建模和仿真, 进一步验证了该方法的有效性, 也为后续研究同塔多回输电线路的故障奠定了基础。

关键词: 电力系统; 同塔双回输电线路; 故障定位

1. 引言

随着经济社会的快速发展, 我国对电力的需求不断增大, 电力供需形势紧张, 电力缺口逐步扩大。为

缓解这一问题, 除了采用就地增加电力供应方式外, 还应加快电网建设, 完善电网构架, 提供供电可靠性。然而输电线路架设占用土地、跨越民房等引起的与城

镇规划建设、居民生活之间的矛盾日益突出。从现有现状考虑,解决这一问题较为有效的手段是采用同塔多回架设输电线路。同塔多回线路,所需出线走廊窄,能够充分利用有限的走廊资源,占用土地面积较少,具有建设速度快,周期短,输送能力强,节省投资等优势而被广泛应用^[1]。

同塔多回输电线路中可以是几个不同的电压等级同时传输也可以是单一的电压等级进行输送电,无论那种情况,多回路之间的静电感应和电磁感应增强,都可能造成传统的继电保护装置误动和拒动,使得线路复合故障的几率增加,由此引起的电气、机械性故障、跨回路故障都能诱发大面积的停电,其损失不可估量^[2]。为此有必要对同塔多回输电线路进行故障检测和诊断。目前采用最多的架设方式是同塔双回输电线路,不失问题研究的一般性,本文针对同塔双回输电线路进行研究。

近年来,在输电线路的故障定位与测距方面已经取得了一定的成就,故障情况的判别主要是通过距离保护和电流行波的方法来判断的^[1-3],如:利用暂态电流来对输电线路故障进行测距,应用了小波变换模极大值的波形比较法给出了行波测距的新算法。文献[4]在引入参考点与故障点相匹配的思想基础上构建了一新的测距函数,并利用该测距函数相位特性可实现对 $N(N \geq 2)$ 端输电线路和同杆双回线进行故障定位,但是该函数构建的过程复杂,不利于应用和推广。

文献[5]针对直流输电线路两端连接有平波电抗器,具有明显的边界特征,提出了一种高压直流输电线路距离保护时域算法。但是该方法必须建立在分布参数模型基础上,通过保护安装处的电压、电流量,计算得到线路末端的电压、电流量,再应用微分方程算法计算出故障距离,其计算过程相对复杂。为了消除因线路参数变化对故障测距精度的影响,文献[6]采用最小二乘法对线路参数进行预先估计,并在此基础上提出一种基于参数估计的同杆双回线路故障测距新算法,但是该方法不具有普遍应用性。

基于上述存在的问题,本文提出了将 S 变换应用于输电线路的故障检测的方法,从能量变化的角度来对电力系统中的同塔双回输电线路进行故障检测和测距,考虑了并行传输线路中因为线路的磁偶对信号采集的影响。利用 PSCAD 软件对其中 A 相接地故障

的情况进行仿真,验证了该方法的可靠性和可行性。

2. S 变换的基本原理

S 变换是由 Stockwell 学着于 1996 年提出的,是一种可逆的局部时频分析方法,该变换是对连续小波变换和短时傅立叶变换两者的结合与提升。在 S 变换中,窗函数是一个可随频率变化而伸缩的高斯函数,它可以像短时傅里叶变换一样得到局部的时频信息,如果利用长宽可变的时间窗进行解析,又可以像小波变换一样具有不同的频率分辨率^[7,8]。如果将窗函数推广为任意可变形状的一般函数(并不仅限于高斯函数)甚至是复数窗^[9]。这时得到的 S 变换称为广义 S 变换。

将任意属于实数域上平方可积空间 $L^2(R)$ 的信号 $h(t)$ 在小波基下进行展开,得到如下表达式(1),为了得到连续小波变换的相位信息,修正小波基的相位并乘上一个相位因子就可得到如表达式(2)所示的 S 变换。

$$W(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t)w(t-\tau, f) dt \quad (1)$$

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \left\{ \frac{|f|}{\alpha\sqrt{2\pi}} \right\} \exp\left(\frac{-f^2(\tau-t)^2}{2\alpha^2}\right) \exp(-2\pi ift) dt \quad (2)$$

其中, f 代表频率, t 代表时间是用来控制时间轴上高斯窗位置的参数, i 是虚数单位, α 是伸缩因子,为了分析的方便,通常要求 $0.2 \leq \alpha \leq 1$ 。

为了提高其适用性和灵活性,我们引入两个调节因子: λ 和 p , 表达式(2)改写为

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(t) \left\{ \frac{|\lambda||f|^p}{\alpha\sqrt{2\pi}} \right\} \exp\left(\frac{-\lambda^2 f^{2p}(\tau-t)^2}{2\alpha^2}\right) \exp(-2\pi ift) dt \quad (3)$$

当 p 确定后,如果 $|\lambda| > 1$, 时窗宽度会随频率呈反比变化的速度加快,反之就会减慢。由小波变换的尺度变化性质知,压缩时域时窗函数相当于对其频域的拉伸,反之亦然。再根据 Heisenberg 不等式,存在时间分辨率和频率分辨率的不相容性,为了获得较好的时间分辨率,要选择时间窗较窄的窗函数,但此时不能获得很高的频率分辨率;若选择频率窗较窄的窗函数,其时间窗就较宽,达不到很好的时间分辨率,

即二者是相互矛盾的^[2]。因此可以根据实际的需要合理的选择 λ 和 p 。又已知 $\int_{-\infty}^{+\infty} S(\tau, f) d\tau = H(f)$ 是成立的, 其中 $H(f)$ 是信号 $h(t)$ 的傅立叶变换。通过对连续的信号进行采样可以得到离散的 S 变换, 其形式如下:

$$S(j, n) = \sum_{m=0}^{N-1} H(m+n) \exp\left(\frac{-2\pi^2 m^2 \alpha^2}{n^2}\right) \exp(i2\pi mj) \quad (4)$$

j 和 n 分别代表采样时刻和步长, 取值范围是 $j = 1, \dots, N-1, n = 0, \dots, N-1$

$$H(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \exp(-i2\pi nk) \quad (5)$$

其中 $n = 0, \dots, N-1$, (3)式中的 $H(m+n)$ 是通过公式(4)来估计出来的, 特定采样时刻的 S 变换为 $S(j, n_1) = H(j, n_1) \exp(j\psi(j, n_1))$, 所以其最大值为 $\max(S(j, n_1)) = \max(H(j, n_1))$, 这里的

$$\psi(j, n_1) = a \tan\left\{\frac{\text{imag}(S(j, n_1))}{\text{real}(S(j, n_1))}\right\}。由此从 S 变换中得到信号的能量为:$$

$$E = \left\{ \text{abs}(S(j, n_1)) \right\}^2 \quad (6)$$

由上述分析可看出: S 变换不仅可以用于故障的确定而且可以得到电流和电压信号的幅值和相位等关系, 本文采用电流信号计算所得到的能量与对应的电压平均值做比来确定故障位置。

3. 仿真和分析

3.1. 仿真模型及其相关参数

仿真模型是以模拟两个变电站之间经过长度为 150 km 的同塔双回输电线路连接的其中一回线路上发生单相故障(以 A 相为例)为原型建立的, 仿真模型如图 1 所示。系统电压为 220 kV, 频率为 50 Hz, 每条输电线路的零序阻抗为 $45 + j171.4\Omega$, 正序阻抗为 $5.2 + j63.5\Omega$, 两个变电站的电源阻抗分别为 $2.2 + j24.8\Omega$ (变电站 A)和 $1.2 + j13.5\Omega$ (变电站 B)。故障模拟: 分别模拟距变电站 A 28 km, 54 km, 95 km 和 124 km 处发生 A 相故障。该仿真模型在软件设置时, 考虑了线路发生故障时, 故障处的磁耦对所测数据的影响。

3.2. A 相发生单相接地故障时的电压和电流波形

通过对两条输电线路的零序电流的情况就可以初步判定故障发生输电线路 1 还是输电线路 2 上。对于故障发生的位置的判定采用是本文所应用的 S 变换的基本原理来实现的。图 2~5 为断路器#1 处记录的距变电站 A 28 km, 54 km, 95 km 和 124 km 处发生 A 相接地故障的电压和电流波形。利用本文所讨论的方法绘出能量比与距首端距离的关系曲线, 如图 6 所示。

依据图 6 可得到对应于能量比分别为 10.86(28 km), 20.98(54 km), 36.36(95 km), 45.60(124 km), 应用本文的方法得到的距变电站 A 首端的距离分别为 27.82 km, 53.61 km, 94.41 km, 123.2 km。通过如上数据可知, 最大的相对误差为 0.7%, 与比目前的测距方法相比较, 提高了定位的精度。

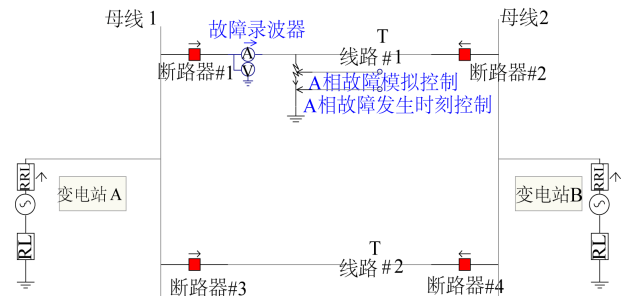


Figure 1. Simulation model
图 1. 仿真模型

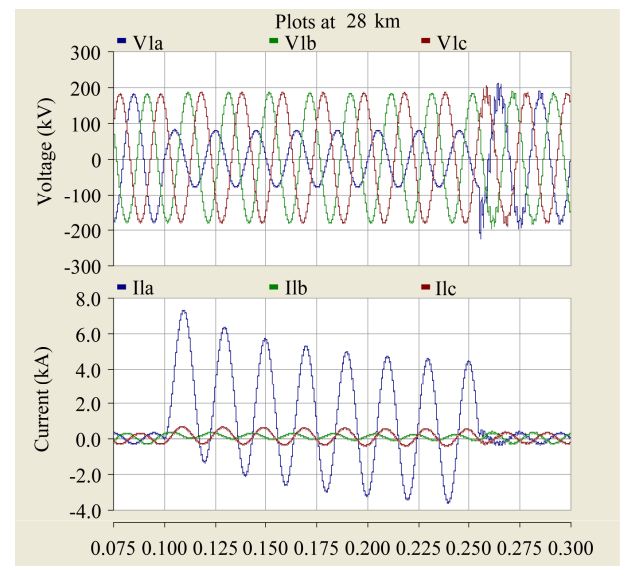


Figure 2. The substation A 28 km A phase voltage, current curve
图 2. 距变电站 A 28 km 处 A 相的电压、电流波形

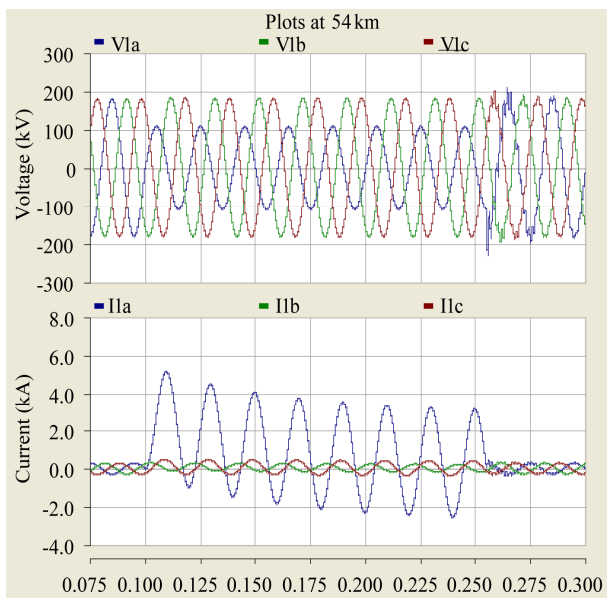


Figure 3. The substation A 54 km A phase voltage, current curve
图 3. 距变电站 A 54 km 处 A 相的电压、电流波形

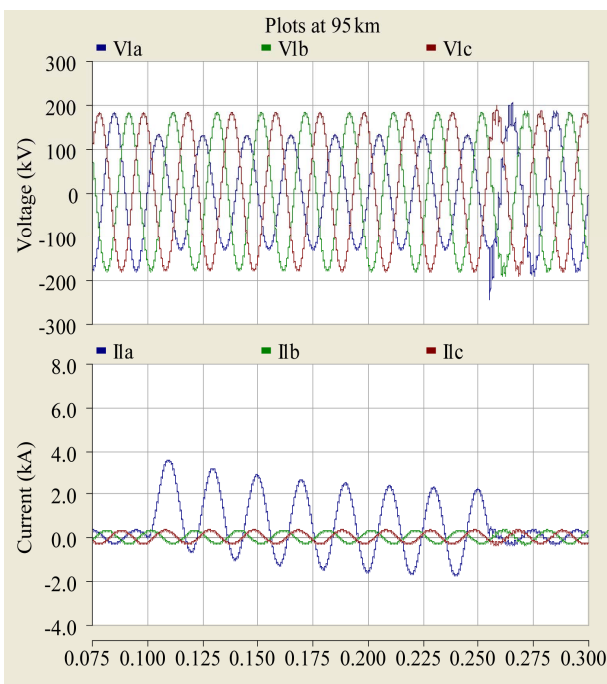


Figure 4. The substation A 95 km A phase voltage, current curve
图 4. 距变电站 A 95 km 处 A 相的电压、电流波形

4. 结论

基于 S 变换理论和实际的运行参数,建立了线路的仿真模型,并利用 S 变换可以消除磁偶对同塔双回输电线路故障检测和测距的影响,依据所得到的电流和电压波形和数据,从能量变化的角度进行分析和研

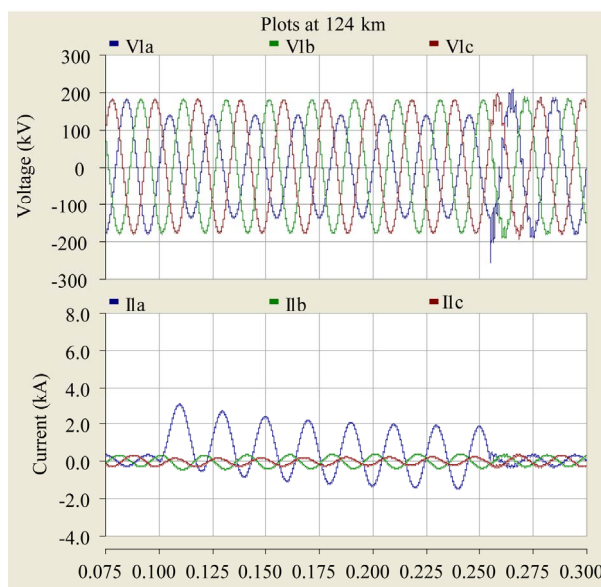


Figure 5. The substation A 124 km A phase voltage, current curve
图 5. 距变电站 A 124 km 处 A 相的电压、电流波形

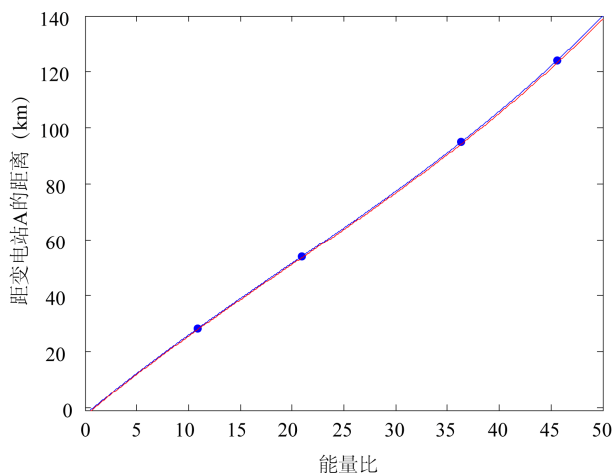


Figure 6. The energy ratio and the relationship curve
图 6. 能量比与距首端距离的关系曲线图

究,并给出了能量比与距首端距离的关系曲线。结果表明该方法能够判断对故障位置进行更加精确的定位。

参考文献 (References)

- [1] 张嘉, 葛荣良. 同塔多回输电技术特点及其应用分析[J]. 华东电力, 2005, 33(7): 23-26.
- [2] 王刚, 张建文, 胡希文, 卓自明. 基于 S 变换的并行输电线路接地故障点定位方法[C], 2008.
- [3] 林军. 超高压同杆双回线多重故障的计算[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(13): 89-93.
- [4] 林富洪. 基于分布参数模型线路保护及故障测距[D]. 华北电力大学, 2010.

- [5] 索南加乐, 侯卓, 宋国兵, 张健康. 基于分布参数模型的高压直流输电线路距离保护[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(8): 12-15.
- [6] 陈霖, 梁志坚, 谭建成. 基于参数估计的同杆双回单线故障测距[J]. 电气开关, 2011, 49(2): 22-24.
- [7] C. R. Pinnegar, L. Mansinha. The S-transform with windows of arbitrary and varying shape. Geophysics, 2003, 68(1): 381-385.
- [8] C. R. Pinnegar, L. Mansinha. Time-local fourier analysis with a scalable, phase-modulated analyzing function: The S-transform with a complex window. Signal Processing, 2004, 84(7): 1167-1176.
- [9] 陈学华, 贺振华. 改进的 S 变换及在地震信号处理中的应用[J]. 数据采集与处理, 2005, 20(4): 449-453.