

行波折、反射系数的实时计算方法

张言苍¹, 董杏丽²

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 西安交通大学, 陕西 西安, 710049)

摘要: 输电线路的接线形式会对行波保护的動作特性造成影响。为此实时得到输电线路的接线方式, 是保证行波保护正确、可靠动作的前提条件。在对行波传播特性研究的基础上, 提出了基于小波变换的实时行波折、反射系数的计算方法。折、反射系数的计算使得输电线路的结构不再是未知, 从而为保护原理的应用和提高行波保护的自适应性奠定基础。

关键词: 行波; 折、反射系数; 小波变换

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2004)18-0010-03

0 引言

输电线路发生故障时, 会产生由故障点向线路两端传播的行波。基于故障行波的各种保护原理由于具有超高速动作特性备受关注。目前提出的基于行波的保护原理包括行波极性比较式、幅值比较式方向保护, 测距式行波距离保护, 波阻抗方向继电器, 行波差动保护, 无通信全线速动行波保护等等^[1-8]。

然而行波在传播的过程中, 经常会遇到一条分布参数的长线和波阻抗不同的另外一条分布参数的长线或与集中元件的集中阻抗相连接的情况。不同波阻抗的连接点称为结点。当行波到达结点时将发生能量的重新分配过程, 即会在结点上发生折射和反射。行波的折、反射现象会使行波在节点处的特征发生变化, 对行波保护影响很大^[9]。例如, 行波极性比较式方向保护在母线上只有一条出线时可能出现不正确动作^[3]。各种行波保护原理虽然对折、反射系数不同的各种输电线路进行分析, 针对不同接线方式提出相应的辅助措施^[3-5, 7]。然而输电线路的接线方式并非固定不变, 因此如何将这些原理和相应的辅助措施应用到实际保护中, 是一个非常值得研究的问题。

本文在对行波传播特性研究的基础上, 提出了实时的行波折、反射系数的计算方法。行波折、反射系数的计算使得输电线路的结构不再是未知, 这将为保护原理的应用和提高行波保护的自适应性奠定基础。

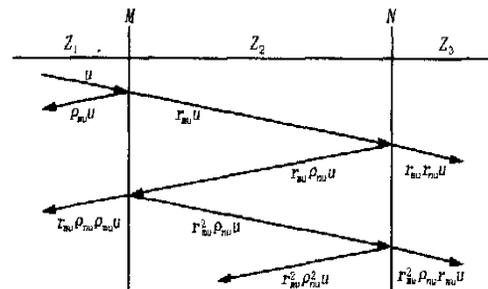
1 基本原理

图1为输电线路发生故障时电压行波 u 在系统中的传播情况。

若各线路波阻抗一定, 则

$$\begin{aligned} m_{uu} &= \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}, & m_{uu} &= \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} \\ n_{uu} &= \frac{2Z_3}{Z_3 + Z_2}, & n_{uu} &= \frac{Z_3 - Z_2}{Z_2 + Z_3} \end{aligned} \quad (1)$$

其中: m_{uu} 、 n_{uu} 为电压行波在 M 点的折、反射系数, r_{uu} 、 r_{uu} 为 N 点的折、反射系数。



注: M 、 N 为母线 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 为各线路的波阻抗

图1 行波的折射和反射

Fig.1 Reflection and refraction of travelling wave

折、反射是行波本身的性质, 折、反射系数的计算有助于更深入地了解行波在给定系统中的分布和特点。然而实际线路中母线上所连的出线数是不固定的, 即上述 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 不能给定, 那么如何实时计算行波的折、反射系数呢? 图2所示为线路上 F 点发生故障时, 行波由 F 点向 M 母线传播的示意图。

若规定母线流向线路的方向为电流正方向, 则 M 侧保护检测到的电压、电流行波分别为 $u = u_f + u_b$, $i = i_f + i_b$, 并且 $u_f = m_{uu}u_b$, $i_f = m_{ii}i_b$, 其中 m_{uu} 、 m_{ii} 分别为行波由 FM 向 MP 传播时 M 点的电压、电流的反射系数。因此有

$$m_{uu} = u_f / u_b, \quad m_{ii} = i_f / i_b \quad (2)$$

为方便论述, 首先给出方向行波的有关定义。

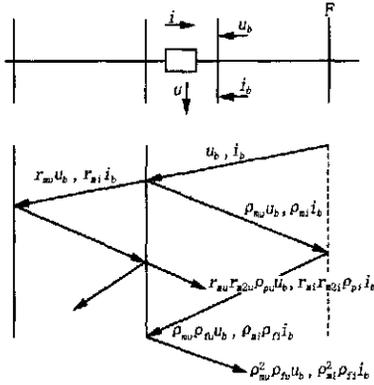


图2 行波折、反射计算的示意图

Fig.2 Reflection and refraction calculation of travelling wave

正方向行波 S_1 和反方向行波 S_2 可以分别定义为

$$S_1 = u + Z_c i \quad (3)$$

$$S_2 = u - Z_c i$$

将式(2)和式(1)代入方向行波的定义式可得

$$S_1 = u_f + i_f Z_c = 2 u_f \quad (4)$$

$$S_2 = u_b - i_b Z_c = 2 u_b$$

结合式(2)可得 m_u 、 m_i 的计算公式:

$$m_u = S_1 / S_2, \quad m_i = - S_1 / S_2 \quad (5)$$

由于折、反射系数之间满足 $m_u + m_i = 1$, 因此 m_u 、 m_i 可由下式得到

$$m_u = 1 + S_1 / S_2, \quad m_i = 1 - S_1 / S_2 \quad (6)$$

式中: m_u 、 m_i 分别为行波由 FM 向 MP 传播时 M 点的电压、电流的折射系数。

折、反射系数的实时计算意味着输电线路的结构不再是未知,这将为提高行波保护的实时性和自适应性创造有利条件。

2 利用小波变换实现折、反射系数的计算

由奇异性检测理论可知,小波变换结果反应信号在对应位置的变化率,小波变换的模极大值说明信号在该点具有最大的变化率。因此小波变换模极大值点与信号的突变点是一一对应的,不仅如此,模极大值的大小与信号突变量大小成正比,模极大值的正负与信号的极性一致。

文献[8]说明,由三次中心 B 样条函数的一阶导数确定的小波函数(称为三次中心 B 样条小波函数)是理想的实现信号奇异性检测的小波函数,因此本文用三次中心 B 样条小波函数分析和提取行波信号中的故障信息。小波变换由如下所示的 Mallat 算法实现^[8,10]。

$$\begin{cases} S_2^j f(n) = \sum_k h_k S_2^{j-1} f(n - 2^{j-1} k) \\ W_2^j f(n) = \sum_k g_k S_2^{j-1} f(n - 2^{j-1} k) \end{cases} \quad j \in [1, J] \quad (5)$$

式中: $S_2^j f(n)$ 为小波变换结果的逼近分量; $W_2^j f(n)$ 为变换结果的小波分量。

由于小波变换模极大值与行波大小成正比,因此利用小波变换模极大值结果可直接求得行波在母线处的折、反射系数。令初始正、反向行波的小波变换模极大值分别为 MS_1 、 MS_2 , 则根据式(5)和(6), 得到

$$m_u = \frac{MS_1}{MS_2}, \quad m_i = - \frac{MS_1}{MS_2} \quad (7)$$

$$m_u = 1 + \frac{MS_1}{MS_2}, \quad m_i = 1 - \frac{MS_1}{MS_2}$$

式(7)即为行波折、反射系数的实用计算公式。

3 结论

本文给出了行波折、反射系数的计算方法,并利用小波变换加以实现。该方法简单易行,因而可以为行波保护提供输电线路的结构实时信息。这将为提高行波保护的实时性和自适应性创造有利条件。

参考文献:

- [1] 葛耀中(GE Yao-zhong). 新型继电保护与故障测距原理与技术(Theory and Techniques of New Types of Protective Relaying and Fault Location) [M]. 西安:西安交通大学出版社(Xi an:Xi an Jiaotong University Press), 1996.
- [2] Takagi T, Baba J, Uemura K, et al. Fault Protection Based on Travelling Wave Theory, Part I: Theory[A]. IEEE PES Summer Meeting. 1977. 1-7.
- [3] 董杏丽,董新洲,张言苍,等(DONG Xing-li, DONG Xin-zhou, ZHANG Yan-cang, et al). 基于小波变换的行波极性比较式方向保护原理研究(Directional Protective Relay Based on Polarity Comparison of Travelling Wave by Using Wavelet Transform) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(14): 11-15.
- [4] 董新洲,葛耀中,贺家李(DONG Xin-zhou, GE Yao-zhong, HE Jia-li). 波阻抗方向继电器的基本原理(Basic Principle of Surge Impedance Relay) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(9): 15-18.
- [5] 董杏丽,葛耀中,董新洲,等(DONG Xing-li, GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou, et al). 基于小波变换的行波幅值比较式方向保护(Directional Protective Relaying

- Based on Amplitude Comparison of Travelling Wave by Using Wavelet Transform) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2000, 24 (17): 11-15.
- [6] 董杏丽, 葛耀中, 董新洲 (DONG Xing-li, GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou). 基于小波变换的无通道全线速动行波保护 (No Channel and High-speed Protection Based on Traveling Waves by Using Wavelet Transform) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2001, 25 (10): 15-18.
- [7] 葛耀中, 董新洲, 董杏丽 (GE Yao-zhong, DONG Xin-zhou, DONG Xing-li). 测距式行波距离保护的研究 (一) ——理论与实现技术 (Travelling Wave-based Distance Protection with Fault Location, Part One—Theory and Technology) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26 (6): 34-40.
- [8] 董新洲 (DONG Xin-zhou). 小波理论应用于输电线路行波故障测距研究 (博士学位论文) (Study of Wavelet Theory Applied in Fault Location of Transmission Line Based on Travelling Waves, Doctoral Dissertation) [D]. 西安交通大学 (Xi'an: Xi'an Jiaotong University), 1996.
- [9] 谢广润 (XIE Guang-run). 电力系统过电压 (Over-voltage of Electric Power System) [M]. 北京: 水利电力出版社 (Beijing: Hydraulic and Electric Power Press), 1985.
- [10] Mallat S, Hwang. Singularity Detection and Processing with Wavelets [J]. IEEE Trans on Information Theory, 1992, 38 (2): 617-643.

收稿日期: 2004-01-17; 修回日期: 2004-03-02

作者简介:

张言苍 (1970 -) , 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护、变电站设备自动控制与监测的研究; E-mail: zyc@sac-china.com

董杏丽 (1975 -) , 女, 博士, 研究方向为行波保护、小波分析的应用。

A new method of calculating reflective and refractive coefficients of travelling wave on real-time

ZHANG Yan-cang¹, DONG Xing-li²

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Jiangsu 210003, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The operation character of travelling wave protection will be influenced by the pattern of transmission line connection. So how to get the connection pattern on real-time is the basis of ensuring the correct and reliable operation of travelling wave. Based on the research of travelling wave characteristics, a new method of calculating reflective and refractive coefficients is put forward, which can be used to recognize the connection pattern of transmission line. This will improve the adaption of relay based on travelling waves.

Key words: travelling wave; reflective and refractive coefficients; wavelet transform

建立全国统一的绿色电力市场 形成风电发展常态机制

业内专家呼吁,我国应借鉴国外有益的发展经验,尽快建立一个全国统一管理的绿色电力市场,把与风力发展有关的建设和经营政策、措施纳入绿色电力市场运行制度,形成风电发展的常态机制。

风电是最佳的清洁能源,其优越性为国内外所公认。我国东南沿海及附近岛屿以及“三北”(东北、华北、西北)地区风能资源丰富,内陆个别地区和海上的风能资源也非常丰富。经初步估算,我国可开发和利用的陆上风能储量有 2.53 亿 kW, 海上有 7.5 亿 kW, 共计约 10 亿 kW。然而,由于政策和技术上存在许多障碍,我国风电产业化、商品化程度低,风电供应成本不具备与常规能源产品进行竞争的能力,风力资源没有得到大规模的开发利用,风电发展缓慢。

在日前召开的电力工业“十一五”规划重大问题研究研讨会上,中国电力企业联合会秘书长王永干说,风力发电是我国电力工业编制“十一五”规划时需要重点研究的问题,“十一五”期间我国有必要构建风电发展的常态机制,这个机制包括以下四个部分:

一、配额制。以五年计划的风电建设总量作为绿色电力市场的交易总量进行分区域配售,绿色电力的购买者为区域内的大型工商企业用户和配电企业。

二、基金制。以国家发展和改革委员会为主,建立风电基金管理委员会,负责运作和管理该项基金。

三、项目招投标制。风电项目的建设和经营管理实行业主投标制,纳入市场运行机制。

四、特许经营制。对风电项目的经营实行特许经营制,凡国家对风电采取的特殊政策和措施均纳入项目的特别许可之中。