

小波分析在电力系统继电保护中的应用

杜松怀

(中国农业大学电气信息学院)

摘要 简述了小波分析的基本原理, 介绍了小波分析技术在变压器、输电线路、暂态行波测距、自动重合闸、信号滤波、接地故障检测和故障启动算法方面的应用, 指出小波分析在电力系统继电保护中的应用具有十分广阔的前景。

关键词 电力系统; 继电保护; 小波分析

中图分类号 TM 77

Applications of Wavelet Analysis in the Field of Relay Protection

Du Songhuai

(College of Electricity and Information, CAU)

Abstract The theory of wavelet analysis is briefly introduced. The application of wavelet analysis in the fields of transformer, transmission line, distance measuring with transient waves, recloser, signal filtering, and earthing-fault detection are also presented. The wide foreground exists in the use of wavelet analysis.

Key words power systems; relay protection; wavelet analysis

近年来, 随着计算机科学和数学理论的发展, 继电保护领域出现了许多崭新的思想和技术路线, 小波分析技术、自适应技术、人工智能技术、模糊技术、专家系统等被广泛应用于电力系统继电保护, 并取得了令人鼓舞的成果。

本文仅介绍小波分析在电力系统继电保护中的应用。

1 小波分析在继电保护中的应用

1.1 小波分析的基本概念

小波分析是一种新的数学分析方法, 它吸取了现代分析学中诸如泛函分析、数值分析、调和分析、Fourier 分析、样条分析等众多分支的精华, 是继 Fourier 分析之后纯粹数学和应用数学的完美结合^[1]。小波分析的思想最早来源于信号分析领域。长期以来, 无论是数学界还是信号分析界都在不断寻求一种能将纯时域和纯频域二者结合的分析方法, 因此出现了时域局部化分析的思想, 即同时提供一个信号的时域和频域的局部化信息。这种方法就是小波分析。

小波分析的实质是对信号进行小波变换, 小波变换可理解为, 把一个离散信号用一组具有不同尺度和不同位置的小波函数加以表示。通常, 称这些小波函数为基小波。小波是一个振荡

收稿日期: 2000-07-05

杜松怀, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)60 信箱, 100083

波形,最多持续几个周期。给定的小波具有确定的位置和尺度,特别适合表达不连续性的或奇异的信号或图像。小波的种类很多,目前发现的有正交小波、单正交小波、双正交小波和小波包等,今后还会不断发现新的实用性的小波。

由于具有完美的理论和实用价值,小波分析受到了人们的青睐,在电力系统中的应用得到了广泛的关注。这些应用包括^[2]: 线路和元件保护、线路故障定位、电力设备状态监视和故障诊断、谐波分析、暂态稳定分析、动态安全分析、神经网络和专家系统、抗电磁干扰、负荷预测和高压直流输电系统。

1.2 小波分析在变压器继电保护中的应用

电力系统中对暂态信号的处理传统上均采用 Fourier 分析法。随着研究的深入, Fourier 分析法已无法满足描述信号突变部分的要求,而小波分析法则为处理非平稳、突发的奇异性信号提供了有效的途径。

电力变压器是电力系统中的重要设备,若发生故障将会对供电的可靠性和整个系统的正常运行带来严重的影响。变压器保护的关键问题仍然是如何鉴别励磁涌流和短路电流。鉴别励磁涌流的方法有多种,都有各自的优缺点。近年来,国内外学者又提出了不少鉴别励磁涌流的新原理,如磁通特性鉴别法、等值电路参数鉴别法等,但这些原理均需对变压器某些参数作人为假设,其前景取决于进一步的理论突破。目前,工程上应用较多的仍然是二次谐波制动原理和波形间断角原理。从近期的一些报导看出,这2种原理在某些情况下(如现代超高压、大容量变压器)有一定的局限性。

文献[3,4]将小波变换应用于变压器保护,鉴别变压器的励磁涌流,拓宽了小波分析在电力系统继电保护领域中的应用。文献[5]对不同绕组的变压器进行仿真,选用二次中心B样条小波对仿真所得的变压器的差动电流进行分析,然后利用小波分解确定的小波系数构成判据,鉴别励磁涌流和内部故障电流。最后得出结论:1)变压器空载合闸时可靠不动;2)变压器发生内部出口短路或空载合闸于内部故障时能可靠动作;3)变压器空载合闸于匝间短路(短路匝数2.5%以上)时能可靠动作;4)小波判据可以减少反向电流对保护的影响,且受线路电容电流的影响较小。同时也指出,小波判据需要较高的采样率,对保护装置的硬件要求较高,若进行高尺度分解会使数据窗和计算量增大。可见,小波分析用于变压器保护的研究仍有许多工作要做。

1.3 小波分析在输电线路继电保护中的应用

20世纪70年代研制的行波保护,在当时被认为是继电保护技术的一个突破,然而,由于未能从理论上解决其快速性与可靠性之间的矛盾,导致动作速度很快的行波保护发挥不了应有的作用,这也是人们利用稳态故障分量实现继电保护的一个主要原因。小波分析的出现,为快速可靠地检出暂态行波提供了有力的工具。随着国内对小波分析用于行波测距研究的深入,在积累一定经验的条件下,将小波分析用于行波保护必定会有所作为。

在输电线路的距离保护中,振荡闭锁是技术难度最大的一个环节,而其难点又在于正确判别系统振荡与短路,多年来人们一直梦寐以求想完美加以解决,但又显得无能为力。我国目前应用的距离保护,其振荡闭锁的原理是,当发生短路出现负序电流或正序电流突变量时,短时开放保护(100~200ms),随后对保护实行闭锁。这种方法虽然可以防止保护装置在系统振荡过程中出现误动作,但在保护闭锁期间如果再发生系统短路,保护装置将不会动作。因此,近几年来国内对小波分析用于振荡闭锁产生了浓厚的兴趣,并做了大量的研究。文献[6]在这方面

做了尝试, 提出了一种小波变换识别振荡与故障的算法。仿真结果表明, 基于小波分析的算法可以明确区分电力系统的振荡与短路故障(包括振荡中发生的短路故障)。今后若在实用性方面再有所突破, 无疑是电力系统安全运行的一大福音。

1.4 小波分析在暂态行波测距中的应用

利用故障暂态行波进行测距是当前国内外的重要研究课题, 其中的关键是如何正确检测出暂态行波中的故障信息。线路发生故障后产生的暂态行波是一个突变的、具有奇异性的信号, 而且有较严重的干扰。无论是单纯的频域分析法(如 Fourier 分析法), 还是单纯的时域分析法(如相关法), 都无法精确描述暂态行波信号。

实际上, 当电力系统发生故障时, 其暂态行波分量不仅是距离的函数, 也是频率的函数。对于这样的问题, 可考虑使用小波分析的方法予以解决^[7]。从理论上说, 小波分析方法应该能够识别暂态行波在故障测距中所需的故障点的反射波, 并有效剥离噪声信号, 进而测算出故障点的位置。

文献[8]得出的结论是: 1) 基于小波变换的模极大值的波形比较方法可以消除相邻母线反射波的影响; 2) 利用电流行波进行故障测距是可行的。另据报道, 小波测距的精度已达 100m 左右。由此可以看出, 小波测距具有良好的发展前景。

1.5 小波分析在自动重合闸中的应用

自动重合闸是提高供电可靠性、保证电力系统安全稳定运行的有效措施。文献[9]将小波分析应用于输电线路的自动重合闸, 为鉴别输电线路的瞬时性故障与永久性故障, 做出了有益的尝试。分析表明, 它是一种很有前途的方法。

1.6 小波分析在信号滤波中的应用

滤波的目的在于求取基波及各次谐波分量的幅值和相位。对具有衰减直流分量及各次谐波分量的暂态短路信号, Fourier 变换无法准确算出某时刻的幅值和相位; 当发生振荡时, 系统频率不能维持不变, 而是呈现为时间的函数, 此时用 Fourier 变换也会遇到困难。

文献[10]提出了一种基于小波变换进行谐波检测与滤波的方法, 它克服了传统 FFT 方法只有频域局部性, 而无时域局部性的缺点, 能够实现对谐波的实时检测。

1.7 小波分析在接地故障检测中的应用

在电网发生的故障类型中, 接地故障最多, 因此几十年来电网的接地保护广受关注。系统接地时会出现故障暂态分量, 传统的信号分析方法如 FFT、卡尔曼滤波、最小方差法和有限脉冲响应滤波法等, 使用时都有局限性。实践表明, 故障初期接地点常常伴随很大的接地电阻, 各次谐波电流分量可能很小, 用传统方法会影响选线装置的灵敏度, 不能满足工程的要求。事实上, 小电流接地系统的故障检测也是几十年来未能很好解决的问题。因此, 必须寻求适合分析非平稳的奇异性信号, 且有很强的处理微弱信号能力的信号处理方法。

文献[11, 12]把小波分析引入电网接地故障检测中。EMTP 仿真结果表明, 当发生接地故障时, 不论是线路侧故障还是母线侧故障, 小波分析的方法都能准确地加以区分, 这种方法受过渡电阻的影响较小, 能够改善高阻抗接地时继电保护装置的动作性能。

1.8 小波分析在故障启动算法方面的应用

利用小波分析能够检测突变、奇异信号的原理, 在系统发生故障的瞬间可用它检测出突变的电流信号或电压信号。文献[13]探讨了在微机保护中应用小波分析原理启动保护算法的方

法,在这方面尚有许多工作要做。

2 结束语

小波分析在电力系统继电保护中的应用有着十分广阔的前景。随着研究的深入,可能会不断地发现新的问题。如何根据不同的保护对象和不同的要求,按照系统工程的思路,定性与定量相结合,确定最佳、较佳或令人满意的小波,并正确运用这些小波实现保护的预期目的;如何发现并界定小波分析在继电保护中的非有效区域或不可行范围,从而完善并形成小波分析在继电保护领域应用的理论体系,是目前和未来一个时期内需要花费力气认真探讨的问题。

参 考 文 献

- 1 冉启文 小波分析方法及其应用 数理统计与管理, 1999, 18(1): 52~ 55
- 2 Ren Zhen, He Jianjun, Huang Wenying, et al Prospects for applications of wavelet analysis in Power Systems Journal of South China of University of Technology, 1998, 26(11): 136~ 143
- 3 张传利, 黄益庄, 马晓旭, 等 改进递归小波变换在变压器保护中的应用研究 电力系统自动化, 1999, 23(17): 20~ 23
- 4 焦邵华, 刘万顺, 刘建飞, 等 用小波理论区分变压器的励磁涌流和短路电流的新原理 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 1~ 5
- 5 操丰梅, 苏沛浦 小波变换在变压器差动保护中的应用 中国电力, 1998, 31(11): 21~ 24
- 6 蔡超豪, 李 川 利用小波变换区分振荡与短路 华北电力技术, 1999 (4): 16~ 18
- 7 董新洲, 耿中行, 葛耀中, 等 小波变换应用于电力系统故障信号分析初探 中国电机工程学报, 1997, 17(6): 421~ 424
- 8 董新洲, 葛耀中, 徐丙垠 利用暂态电流行波的输电线路故障测距研究 中国电机工程学报, 1999, 19(4): 76~ 81
- 9 蔡超豪 基于小波分析的自适应重合闸 东北电力技术, 1999(3): 19~ 21
- 10 杨 桦, 任 震, 唐卓尧 基于小波变换检测谐波的新方法 电力系统自动化, 1997, 21(10): 39~ 42
- 11 操丰梅, 苏沛浦 小波变换在配电自动化接地故障检测中的应用研究 电力系统自动化, 1999, 23(13): 33~ 36
- 12 操丰梅, 苏沛浦, 夏瑞华 小波变换在小电流接地故障检测中的应用 电力自动化设备, 1999, 19(3): 8~ 11
- 13 杨晓敏, 李红艳, 王艳丽 用小波原理构成继电保护启动元件的研究 电力自动化设备, 1999, 19(4): 11~ 13