

基于自调节小波变换的电力系统扰动信号检测

黄群古

(广电集团中山供电分公司, 广东 中山 528400)

摘要: 根据电力系统及其发生扰动故障时所具有的特点, 提出了基于自调节小波变换的电力系统扰动信号检测方法。该方法既充分利用了小波变换的优点, 又克服了在电力系统信号分析中傅里叶算法和传统小波算法的不足。此外, 在电力系统运行和保护中, 该方法具有简单、可靠等特点, 便于形成实时软件, 对于提高电力系统扰动信号检测水平和保护性能具有重要意义。

关键词: 小波变换; 电力系统; 自调节

中图分类号: TM711 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)20-0005-04

0 引言

电力系统的扰动故障信号的识别和选相, 是电力系统继电保护(微机保护)中的重要内容^[1]。为了提高保护的选择性和快速性, 在传统的微机继电保护中, 常使用有许多种算法, 如: 最大值算法、半周积分算法、导数算法、采样值算法、沃尔什函数算法和傅里叶算法, 其中占有特别重要的地位是傅里叶算法。

在傅里叶算法中, 首先计算扰动故障分量的有效值或模值, 然后通过发生扰动前后的 I_0 、 U_0 和 I_a 、 I_b 、 I_c 等进行比较, 作出对故障类型的判别, 如: 接地与否的判别、单相接地的判别、两相接地短路相别判别、三相短路判别和两相短路相别判别以及振荡闭锁判别等。这显然, 上述判别的准确性在很大程度上取决于傅里叶算法。

但是, 傅里叶算法有它固有的缺陷。一是在于时频特性方面, 傅里叶算法中所用的基函数为 $e^{-j\omega t}$ 、 $\sin(\omega t)$ 或 $\cos(\omega t)$, 这三个函数的时域支撑为 $(-\infty, +\infty)$, 而频域支撑为独立点; 二是在于对信号的敏感性方面, 傅里叶算法中对信号的各采样点值反映迟钝、不灵敏, 即当信号发生突变时或有干扰噪音侵入时, 傅里叶变换并不引起特别的注意。

基于小波变换的电力系统扰动信号分析及其故障类型识别, 已经从理论过渡到了实用阶段^[3-7]。小波变换在一定程度上克服了傅里叶变换的上述不足。小波变换不仅具有良好的时频特性, 还具有检测和捕捉扰动信号突变成分的特点。

但是, 傅里叶算法在某些场合下, 有它固有的优势, 即对于平稳的工频信号, 傅里叶变换检测比较准确, 没有小波变换的那种边缘效应。

本文提出的基于自调节小波变换的电力系统扰动信号分析方法是根据信号的特点, 充分利用了傅里叶算法和小波算法的优点, 克服了它们各自的不足, 这对于快速、可靠地检测和分析电力系统的扰动故障信号, 具有十分重要的现实应用价值和意义。

1 小波变换方法

工程中, 常用的小波变换是二进小波变换^[2], 为方便起见, 本文仅以二进小波变换作为小波变换的代表。设 $\psi(t)$ 为小波函数, 且满足稳定性条件, 若存在二常数 $0 < A < B < \infty$ 使得:

$$A \sum_{k \in \mathbb{Z}} |\psi(2^{-k}t)|^2 < B \quad a \in \mathbb{R} \quad (1)$$

则其二进小波变换的形式为:

$$W_f(2, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \overline{\psi(2^{-1}t - b)} dt = \langle f, \psi_{2, b}(t) \rangle \quad (2)$$

其中: $\psi_{2, b}(t) = \psi(2^{-1}t - b)$, b 为整数。

同样可以得出二进小波变换的逆变换形式为:

$$f(t) = \sum_{b \in \mathbb{Z}} \langle f, \psi_{2, b} \rangle \psi_{2, b}^{-1}(t) \quad (3)$$

其中: $\psi_{2, b}^{-1}(t)$ 与 $\psi_{2, b}(t)$ 互为对偶, 且满足

$$\langle \psi_{2, b}, \psi_{2, c}^{-1} \rangle = \delta_{b, c} \quad b, c \in \mathbb{Z} \quad (4)$$

可以把小波函数 $\psi(t)$ 的频窗中心变换到基频 $\omega_1 = 2\pi f_1$ (这里 f_1 为 50 Hz, 文章中所涉及的时间 t 的单位为 s)。

2 自调节小波变换方法

在电力系统发生扰动故障时, 待分析的信号除了基频信号分量外, 一般还含有各次(整次和分数次)谐波分量。这些谐波分量, 在某些场合下是有

用的,可以用来识别故障类型,或者可以用来产生某种启动方法,如保护中的二次谐波制动;但其中大部分谐波分量是有害的,它们可能造成保护的误动或拒动、增加故障识别的复杂性、干扰线路通信信号的传送、增加线路和设备的额外损耗、降低电能质量等等。

本文提出的基于自调节小波变换电力系统扰动信号检测与分析方法,是根据电力系统在正常时和扰动时的信号特征来确定对应小波变换,即用作变换的小波基函数的伸缩和平移因子(或系数)是随着信号的特征而变化的,当检测的信号发生膨胀或平移时,其对应的小波函数也做相应的膨胀或平移。

设小波函数为

$$\psi_{a,b}(t) = (a)^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (5)$$

图 1 为不同的 a 值的 Morlet 小波函数 $\psi_{a1}(t)$ 、 $\psi_{a2}(t)$ 和 $\psi_{a3}(t)$ 的图形。

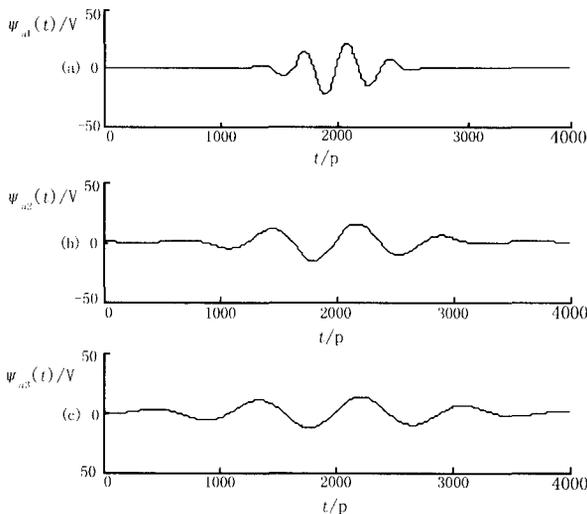


图 1 不同的 a 值的 Morlet 小波函数的特性

Fig 1 Characteristics of Morlet wavelet function with different values of coefficient a

$$W_f(a, b) = (a)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot \overline{\psi_{a,b}(t)} dt = \langle f, \psi_{a,b}(t) \rangle \quad (6)$$

其中: a, b 为自调节系数。

设电力系统中某一正常高压信号经过 PT 变换后为:

$$s(t) = A_{m0} \sin(2 f_1 (t - t_0)) \quad (7)$$

其中 $f_1 = 50 \text{ Hz}$

另可设:

$$\begin{aligned} a &= k |A_m| / |A_{m0}| \\ b &= t_0 \end{aligned} \quad (8)$$

上式 k 为与 $2 f_1$ 有关的常系数、 A_m 为实际采样信号的幅值、 A_{m0} 为系统正常时信号(扰动前的工频理想信号)的幅值。关于 A_{m0} 的确定,可以在系统非扰动时(或非故障时)的正常运行情况下,每隔一段时间,进行 2 到 3 个周波的采样(采样频率宜大于 1000),选取每个周波采样的最大值(绝对值)的平均,可作为 A_{m0} 之值。

这样,通过采样得来的数字序列:

$$s = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n) \quad (9)$$

数列 s 为长度不变的动态数组,即利用先进先出的堆栈技术, u_n 数值不断地被后来的新值 u_{n+1} 所替代,同时, u_1 被 u_2 所取代, u_2 被 u_3 所取代, ..., 如此类推。此时

$$A_m = \max\{|u_i|, 1 \leq i \leq n\} \quad (10)$$

3 实例分析

下面应用本文提出的自调节小波变换方法,对电力系统常见的 5 种扰动时的故障信号:频率减少、频率增加、突然中断、局部干扰和幅值增大,进行分析。

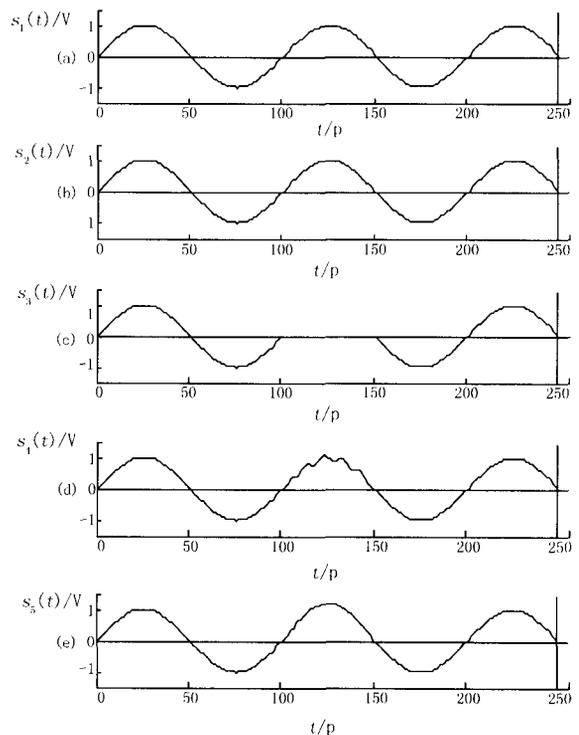


图 2 5 种故障信号的特性

Fig 2 Characteristics of 5 kinds of fault signals

1) 频率减少。设频率为 50 Hz 的工频信号 $s_1(t)$ 分别在运行到 3 个半周期和 13 个半周期时刻,信号的频率发生变化,分别变化为 -49.85 Hz,持续时间

少于 1/2 个周波。

2) 频率增加。设频率为 50 Hz 工频信号 $s_2(t)$ 分别在运行到 3 个半周期和 13 个半周期时刻, 信号的频率发生变化, 分别变化为 50.15 Hz, 持续时间少于 1/2 个周波。

3) 突然中断。设信号 $s_3(t)$ 分别在运行到 3 个周期时刻后, 突然出现中断, 信号没有输出, 持续时间少于 1/2 个周波半, 之后, 信号又恢复正常。

4) 局部干扰。设频率为 50 Hz 工频信号 $s_4(t)$ 分别在运行到 3 个半周期时刻后, 信号掺入了某个幅值为基频信号 0.1 倍、频率为基频 10 倍的干扰信号, 持续时间少于 1/2 个周波, 之后, 信号又恢复正常。

5) 幅值增大。设工频信号 $s_5(t)$ 分别在运行到 3 个半周期后, 信号幅值突然增大, 增幅为 20%, 持续时间少于 1/2 个周波, 之后, 信号又恢复正常。

上述 5 种故障信号的图形, 见图 2。

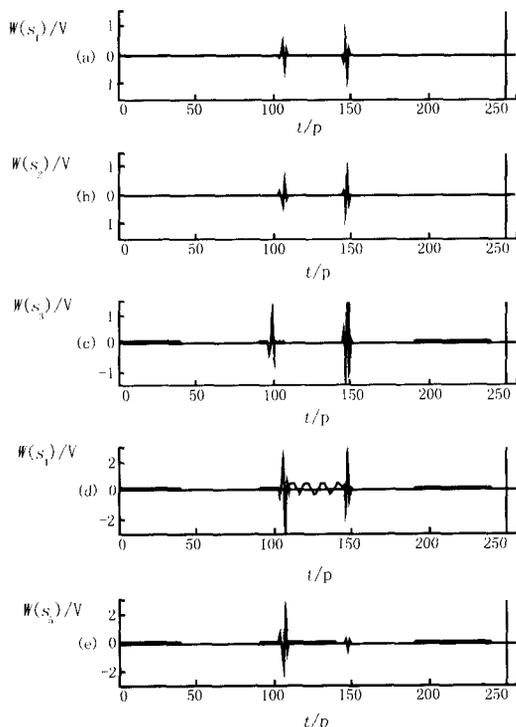


图 3 基于常规小波变换的 5 种故障信号的时域特性

Fig 3 Traits of time-domain of 5 kinds fault signals based on conventional wavelet transform

从图 2 中可以看出, 信号中除了突然中断和局部干扰两种故障外, 其余的故障成分不能明显看出。但是对这些信号施行小波变换, 就能识别这些故障成分 (见图 3、图 4)。

图 3 是对这些扰动信号施行常规的小波变换

(用 $W(s)$ 表示) 得到的图形。显然, 常规小波变换在检测扰动信号的特征时, 具有明显的优势, 它能准确地检测到信号发生扰动的开始与结束时刻, 但是常规小波变换有一个缺陷, 就是对信号的非故障成分, 失真比较大。

图 4 所显示的结果, 是利用本文提出的基于自调节小波变换 ($SW(s)$ 表示) 来对上述 5 种信号进行变换和检测。

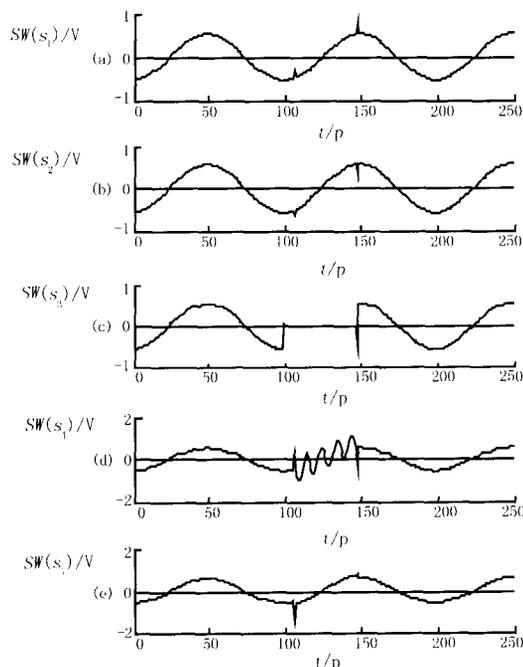


图 4 基于自调节小波变换的 5 种故障信号的时域特性

Fig 4 Traits of time-domain of 5 kinds fault signals based on self-adjusting wavelet transform

从上面图 3 和图 4 可以看出, 基于自调节小波变换的电力系统扰动信号分析与检测, 与常规小波变换比较, 除了检测到了信号发生扰动 (故障) 的起始时刻外, 还能检测扰动成分的特征以及信号的非故障成分特征。因此, 基于自调节小波变换较常规小波变换, 对于扰动信号分析有以下优点:

- 1) 能检测扰动信号的起始时刻等特征。
- 2) 能准确地检测扰动信号的扰动成分。
- 3) 除了相移外, 能成功地检测扰动信号的非故障成分。

4) 根据检测到扰动信号的突变成分的正负符号, 可以确定故障的类型, 这对于故障类型判别具有重要意义。

4 结论

本文提出的基于自调节小波变换的电力系统扰

动信号分析与检测方法,既充分利用了傅里叶变换和常规小波变换的优点,又克服了傅里叶变换和常规小波变换的某些不足,因而在电力系统扰动信号分析和检测中,是一种行之有效的方法。本文通过例证说明,若将该方法应用到电力系统微机保护的算法中,对于提高电力系统微机保护的可靠性、选择性和稳定性,确保电力系统的安全运行,具有明显的社会效益。

参考文献:

- [1] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术 [M]. 北京:水利电力出版社, 1995.
CHEN De-shu Principle and Technique of Computer Protection [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.
- [2] 崔锦泰. 小波分析导论 [M]. 程正兴, 译. 西安:西安交通大学出版社, 1992.
CU Jjin-tai An Introduction to Wavelets [M]. CHENG Zheng-xing, Trans Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 1992.
- [3] 郑健超, 陈祥训, 覃剑, 等. 验证小波变换行波故障测距法的现场试验 [J]. 电网技术, 2001, 25(3): 26-29.
ZHENG Jian-chao, CHEN Xiang-xun, TAN Jian, et al Field Short-circuit Test to Validate Travelling Wave Fault Location Using Wavelet Transform [J]. Power System Technology, 2001, 25(3): 26-29.
- [4] 陈祥训. 正交紧支复小波的生成及其在电力系统中的

应用 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(7): 83-88

CHEN Xiang-xun Complex Compactly-supported Orthogonal Wavelets and Their Applications in Power System [J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(7): 83-88

- [5] 邵能灵, 尹项根. 正交小波在发电机定子单相接地保护中的应用 [J]. 电力系统自动化, 2001, 25(1): 34-37.

TAI Neng-ling, YIN Xiang-gen Single-phase Grounded Fault Protection Schemes of Generator Stator Based on Orthogonal Wavelet [J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(1): 34-37.

- [6] Meyer Y. Wavelet Algorithms and Applications [A]. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia: 1993.

- [7] 任震, 黄群古, 黄雯莹. 两种小波变换方法及其在发电机故障信号分析中的应用 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(10): 59-63.

REN Zhen, HUANG Qun-gu, HUANG Wen-ying Two Wavelet Transform Methods and Application of Fault Signal Analysis on Generator [J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(10): 59-63.

收稿日期: 2005-02-26; 修回日期: 2005-06-05

作者简介:

黄群古 (1960 -), 男, 博士, 工程师, 主要从事电力系统规划与管理、电力系统故障信号分析与检测等工作。

E-mail: huangqungu@163.com

A disturbing signal detecting in power systems based on self-adjusting wavelet transform

HUANG Qun-gu

(Zhongshan Power Supply Branch, Guang-dian Power Grid Group Co., Ltd, Zhongshan 528400, China)

Abstract: The new method is presented according to power system characteristics when disturbing failures occur. The method makes use of the advantages of wavelet transform, and overcomes the shortage of failure analysis by using Fourier transform and some conventional wavelet transforms in power system. Besides, in operation and protection of power systems, the method is simple, stable and easy to form real-time software. It is very important to improve the level of disturbing signal detecting and the capability of microcomputer-based protection in power system.

Key words: wavelet transform; power system; self-adjusting

电力王国网站改版通告

由许昌继电器研究所主办的 "电力王国" 网站 (<http://www.dwg.net>) 于 2002 年 12 月开通。经过三年的运行和多次的改版, 电力王国已发展成为框架完善、信息丰富、功能强大的电力信息、服务、商务服务平台, 目前已有上千家企业在电力王国注册成为网站正式会员。其独特的风格、详实的内容、丰实的行业动态及技术 and 个性化的信息, 受到了业内人士的一致好评。

电力王国每日向会员提供众多的商业信息和推荐大量信用良好的资信企业, 为电力行业行业经济活动提供参考。由于独特的市场定位和深度的服务内容, 网站的日访问量已达数万余人次并且持续保持稳定的增长, 已成为商家沟通、交流、发布及获取信息的重要渠道。2006 年, "电力王国" 将更进一步, 充分利用互联网的交互性、同步性的特点, 对各种信息资源进行重整和筛选, 相信 2006 年 "电力王国" 更令人耳目一新, 为之一震。