

一种简单实用的电能质量扰动检测方法

朱韬析,江道灼

(浙江大学电气工程学院,浙江 杭州 310027)

摘要:提出了一种简单实用的电能质量扰动检测方法:首先对原始信号做差分处理,通过监测差变信号中的突变起始点,检测是否有扰动出现;接着分三种情况检测扰动的持续时间;然后在存在扰动的区域内应用快速傅里叶算法计算扰动幅度。各种扰动信号的仿真结果表明,该方法快速、准确,有较高的实用价值。

关键词:电能质量; 时域; 工频周期; 傅里叶算法

中图分类号: TM764 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)07-0046-04

0 引言

大功率电力电子开关设备的大量应用使得电网中的电能质量问题日益严重,而广大用户对电能质量的要求却越来越高,因此建立电能质量监测系统,对电能质量扰动进行检测就显得十分必要^[1,2]。

参考 IEC 标准,从电磁现象及其相互作用和影响的角度考虑,电能质量扰动主要包括电压中断、电压跌落、电压升高、暂态冲击和暂态振荡等^[3]。

从实用角度考虑,电能质量监测系统应该具有侦测电能质量扰动、确定扰动持续时间以及计算扰动幅值大小的功能,且应该尽可能的实时、准确。近年来,国内外科研人员提出了许多采用小波技术检测电能质量扰动问题的方法,但总的来说,这些方法都不够完善,不仅费时,而且容易出现误判^[4]。实际上直接在时域确定电能质量扰动的开始时刻与持续时间要比在小波域快得多,但这种方法的难点在于:在确定扰动结束时刻时,需要分别对扰动信号的持续时间小于、等于和大于 1 个工频周期三种情况进行处理。

傅里叶变换是电能质量问题分析中一种非常重要的方法,但是傅里叶变换是在整个时域内积分,因此如果对存在暂态扰动的电能信号直接使用傅里叶变换,往往会出现丢失时变信息的情况。而采用小波变换计算幅值时,需要进行许多尺度上的小波变换运算,这将消耗相当长的时间,不利于实时检测。

本文针对上述问题提出了一种简单实用的电能质量扰动检测方法:首先对原始信号做差分处理,通过监测差变信号中的突变起始点,检测是否有扰动出现并确定扰动起始时刻,接着分析扰动的持续时间并检出其小于、等于或大于 1 个工频周期的结束时刻,然后在存在扰动的区域内应用快速傅里叶算

法计算扰动幅值大小。

1 扰动开始时刻和持续时间的确定

近年来发展起来的小波变换(WT)^[5,6],具有时-频局部化特性,对分析暂态、突变信号比较有效^[7],因此国内外许多科研人员都利用离散小波变换(DWT - discrete wavelet transform)进行各种电能质量分析^[8,9]。但目前电力系统中普遍采用的小波,包括各种 Daubechies 小波(D1 - D45)与 Daubeches - Cohen - Feauveau 双正交小波,都不能正确确定有谐波存在时发生在工频相位 0 或附近的电能质量扰动的起止时刻^[4,10]。为此文献 [4] 提出了根据差变信号在时域测量扰动开始、结束时刻的方法,即对原始信号做差分处理,每得到原始信号的一个新的采样值,就能立即得到对应的差变信号新值,通过监测差变信号中的突变起始点,从而迅速确定是否有扰动出现。但是文献 [4] 仅仅提到,需要分扰动持续时间大于或小于 1 个工频周期两种情况确定扰动的持续时间,而没有给出相应的算法。

假设某原始信号中存在三种扰动信号,其持续时间分别小于、等于、大于 1 个工频周期,对原始信号做差分处理后得到差分信号图象如图 1 所示。由图 1 可以看出,当扰动持续时间不同时,差分信号的性质是不一样的;另一方面,实际检测中也不可能只是简单地根据差变信号的曲线进行判断,因此必须设计一定的算法以获得扰动的结束时刻。为解决这个问题,提出如下简单实用的扰动检测算法:

设待分析的信号为 $y(t)$, 其受扰动的开始、结束时刻对应的采样点分别为 j_1, j_2 ; 信号采样周期为 N , 得到的采样信号序列为 $Y(i) (i=1, 2, \dots, n)$, 其差变信号 $d(i)$ 定义为

$$d(i) = Y(i) - Y(i - N), (i = N + 1, N + 2, \dots, N + n) \quad (1)$$

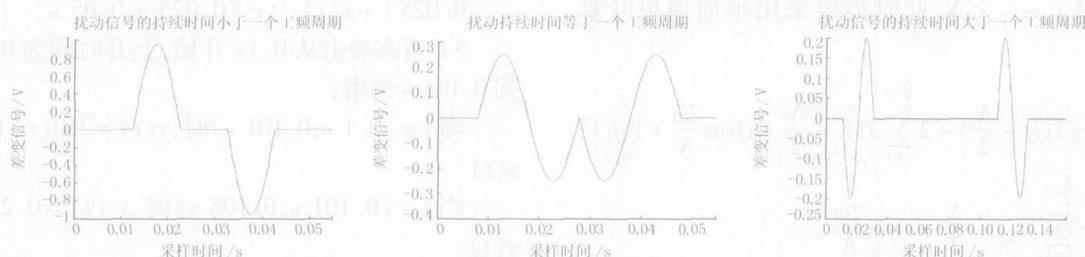


图 1 扰动持续时间小于、等于、大于 1 个工频周期时的差变信号

Fig 1 Differential signals when disturbance time is more than, equal to and less than one frequency period

同时假定扰动起始、结束时刻的差变信号误差判据分别为 e_1 、 e_2 (e_1 表示信号发生突变; e_2 应足够小, 表示信号已恢复到正常状态), 它们都是可以根据需要进行整定的正数。

为了便于分析, 做如下设定:

(1) 假设信号 $y(t)$ 在采样之前已经过简单的消噪处理;

(2) 根据电力系统中的实际情况, 假设前一工频周期和后一工频周期的信号频率没有大的变化。

1.1 电压变动(中断、升高、跌落)开始、结束时刻的检测方法

第一步: 从 $i=N+1$ 开始检测 $d(i)$, 搜索到的第一个满足式(2)的点, 即为扰动的开始时刻对应的采样点 j_1 。

$$|d(i)| > e_1 \quad (2)$$

第二步: 检测差变信号 $d(i)$ ($i=j_1+1, j_1+2, \dots$), 在 $[j_1+1, j_1+N-1]$ 区间内依次进行考察, 如果发现一个点满足式(3), 则该点即为扰动信号的结束时刻; 如果搜索不到满足条件的点, 则进入第三步。

$$|d(i)| > e_1, |d(i+1)| < e_2, |d(i+2)| < e_2 \quad (3)$$

采用三个判据的目的是为了消除扰动信号与正常信号在某一特殊点正好相等时的干扰。

第三步: 考察 $d(j_1+N)$, 如果 $d(j_1+N)$ 满足式(4), 则 j_1+N 即为扰动信号的结束时刻; 否则进入第四步。

$$|d(j_1+N-1)| > e_1, |d(j_1+N)| < e_2, |d(j_1+N+1)| > e_1 \quad (4)$$

第四步: 从 $d(j_1+N+1)$ 开始, 按照第一步对 $d(i)$ ($i=j_1+N+1, j_1+N+2, \dots$) 开始搜索, 搜索到的满足式(2)的点即为扰动信号的结束时刻。

1.2 暂态冲击开始、结束时刻及其上升时间的检测方法

暂态冲击开始、结束时刻的检测方法与电压变动开始、结束时刻的检测方法基本一样。

定义暂态脉冲上升时间为: 从冲击开始到冲击到达峰值的时间, 其计算方法如下。

假设按上述方法已经测得暂态冲击的开始和结束时刻分别为 j_1, j_2 , 对差分信号 $d(i)$ ($j_1 \leq i \leq j_2$) 做差分处理, 得到二阶差分信号 $sd(i)$:

$$sd(i) = d(i+1) - d(i), i \in [j_1, j_2 - 1] \quad (5)$$

对 $sd(i)$ 从 $i=j_1+1$ 开始, 搜索到的第一个满足式(6)的点 g 即为冲击上升结束的时刻, $(g-j_1) \times T/N$ (T 为工频周期) 即为暂态冲击的上升时间。

$$|sd(i) - sd(i-1)| < e_2, i \in [j_1+1, j_2-1] \quad (6)$$

1.3 暂态振荡开始、结束时刻的检测方法

暂态振荡的开始、结束时刻的检测方法的前三步与电压变动检测方法的前三步一样。

如果第一步检测到有暂态振荡发生, 同时第二步及第三步检测均失败, 即扰动的持续时间大于 1 个工频周期, 此时, 需要从 $d(j_1+N+1)$ 开始搜索, 直到检测到第一个满足式(3)的点。不妨设该点为 k , 则暂态振荡的结束时刻为 $(k-N)$ 。

2 幅度的测定

2.1 电压扰动信号幅度的测定

如果测得扰动信号的开始时间和结束时间, 然后在扰动信号的某个周期内应用快速傅里叶算法, 就能计算得到扰动信号的幅度。

假设电压扰动信号的开始时刻和结束时刻已由上述方法测得为 j_1, j_2 , 如果 $j_2 - j_1 \geq N$, 则用全波傅里叶算法^[11], 计算扰动信号的幅值 A :

$$\begin{cases} A_c = \frac{1}{N} [Y(j_2 - N) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} Y(j_2 - N + i) \cos \frac{2ip}{N} + Y(j_2)] \\ A_s = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^{N-1} Y(j_2 - N + i) \sin \frac{2ip}{N} \\ A = \sqrt{A_c^2 + A_s^2} \end{cases} \quad (7)$$

如果 $j - \hat{j} < N$, 此时需要采用半周傅里叶算法^[11]:

$$\begin{cases} A_c = \frac{2}{N} [Y(\hat{j} - \frac{N}{2}) + 2 \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} Y(\hat{j} - \frac{N}{2} + i) \cos \frac{2i\pi}{N} + Y(\hat{j})] \\ A_s = \frac{4}{N} \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}-1} Y(\hat{j} - \frac{N}{2} + i) \sin \frac{2i\pi}{N} \\ A = \sqrt{A_c^2 + A_s^2} \end{cases} \quad (8)$$

2.2 暂态振荡幅度的确定

在这里定义暂态振荡的幅度为: 振荡信号的最大值。

由于振荡信号通常在第一个周期内达到最大值, 所以检测差变信号 $d(i)$ ($i = \hat{j}, \hat{j} + 1, \dots, \hat{j} - 1$), 搜索到的第一个满足式 (9) 的点 k 对应的 $|d(k)|$ 即为暂态振荡的幅值。

$$|d(i)| > |d(i-1)| \text{ 且 } |d(i)| > |d(i+1)|, i \in [\hat{j}, \hat{j}] \quad (9)$$

2.3 暂态冲击信号的峰值

在这里定义暂态冲击信号的峰值为: 冲击信号的最大值。

假设按 1.2 所述检测到的冲击信号上升结束时刻为 k , 由冲击信号经过上升时间后达到峰值可知, $|d(k+1)|$ 即为暂态冲击信号的峰值。

3 仿真结果

3.1 仿真信号

为了避免仿真信号占用过多篇幅, 假设各种扰动信号在 $0 \sim 1$ s 中相继出现, 信号 $y(t)$ 为:

1) 正常时的信号: $y(t) = x(t) = \sin(100t) + 0.05 \sin(300t), t \in [0, 1]$ s

2) 暂态振荡从第 0.025 s 开始, 0.025 s 后结束:

$$y(t) = 0.25e^{[-200(t-0.025)]} \sin[1000(t - 0.025) + x(t)], t \in [0.025, 0.05]$$

3) 暂态冲击从 0.1 s 开始, 上升时间为 0.001 s, 到 0.105 s 结束:

当 $t \in [0.1, 0.101]$ s 时, $y(t) = 250(t - 0.1) + x(t)$

当 $t \in [0.101, 0.105]$ s 时, $y(t) = 0.25 + x(t)$

4) 电压中断从 0.2 s 开始, 持续时间为 0.01 s:

$$y(t) = 0.05 \sin(100t), t \in [0.2, 0.21]$$

5) 电压跌落从 0.5 s 开始, 持续时间为 0.02 s:

$$y(t) = 0.75 \sin(100t), t \in [0.5, 0.502]$$

6) 电压升高从 0.8 s 开始, 持续时间为 0.1 s:

$$y(t) = 1.2 \sin(100t), t \in [0.8, 0.9]$$

3.2 扰动信号的开始时刻和持续时间的检测

取采样周期为 12.8 kHz, 并按照式 (1) 求差变信号 $d(n)$, 所得到的 $y(n)$ 和 $d(n)$ 如图 2 所示。

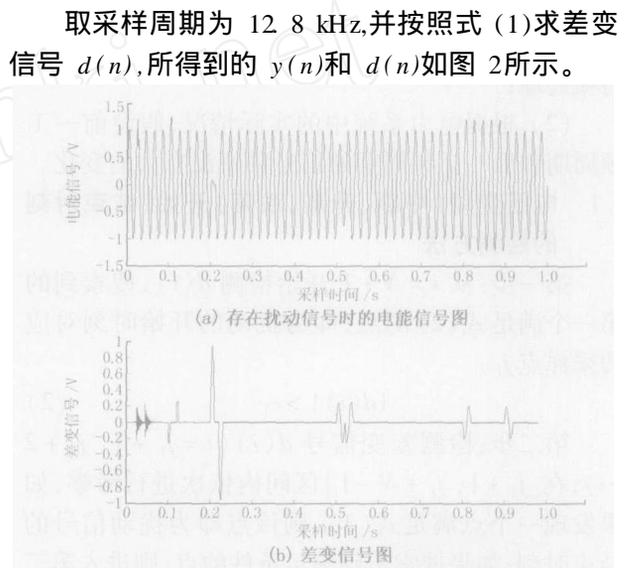


图 2 原始信号 $y(n)$ 和差变信号 $d(n)$

Fig 2 Original signal $y(n)$ and differential signal $d(n)$

根据文中所述的方法, 可以检测到各个扰动信号的开始时间、持续时间和幅值如表 1。

表 1 综合仿真结果

Tab 1 Results of comprehensive simulation

类型	开始时间			持续时间			幅度 / p.u.	
	设定时间 / s	测得的起始采样点	测量时间 / s	设定时间 / s	测得的持续采样点数	测量时间 / s	设定值	测量值
暂态振荡	0.025	320	0.025	0.025	318	0.0248	0.25	0.249 9
暂态冲击	0.1	1 281	0.100 1	0.005	62	0.004 8	0.25	0.253 9
电压中断	0.2	2 560	0.2	0.01	127	0.009 9	0.05	0.050 2
电压跌落	0.5	6 403	0.500 2	0.02	256	0.02	0.75	0.750 1
电压升高	0.8	10 244	0.800 3	0.1	1 280	0.1	1.2	1.208 9

4 结论

本文在时域内检测扰动的开始和持续时间, 每

得到原始信号的一个新的采样值, 就能立即得到对应的差变信号的新值, 然后根据检测算法比较、判断, 可以立刻检测到是否有扰动出现并判断扰动的

结束时间,然后在存在扰动的区域内,由快速傅里叶算法,能迅速计算出扰动的幅度。仿真结果表明,这种方法能快速、准确地判断扰动,计算幅值;同时,这种方法易于程序实现,在电网电能质量的实时监测中有很高的实用价值。

参考文献:

- [1] Barros J, Cando D, Durana L. A Laboratory for Power Quality Analysis[J]. International Journal of Electrical Engineering Education, 2001, 38(3): 210-222
- [2] Dugan R C, Megrangan M F, Benty H W. Electrical Power System Quality [M]. New York: McGraw-Hill, 1996
- [3] 李天云,陈晓东,赵为红,等. 几种短时电能质量扰动分类和检测的双小波分析法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(22): 26-30.
LI Tian-yun, CHEN Xiao-dong, ZHAO Wei-hong, et al Double Wavelets Measurements and Classification of Short Duration Power Quality Disturbances[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22): 26-30
- [4] 陈祥训. 采用小波技术的几种电能质量扰动的测量与分类方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 10(22): 1-6.
CHEN Xiang-xun Wavelet-based Measurements and Classification of Short Duration Power Quality Disturbances[J]. Proceeding of the CSEE, 2002, 10(22): 1-6
- [5] Daubechies I Ten Lectures on Wavelets[A]. SIAM Mathematical Analysis Philadelphia (Pennsylvania): 1992
- [6] 秦前清,杨宗凯. 实用小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 1994.
Q N Qian-qing, YANG Zong-kai Applied Wavelet Analysis[M]. Xi an: Xidian University Press, 1994
- [7] 崔锦泰. 小波分析导论[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1995.
CU I Jin-tai The Principle of Wavelet Analysis[M]. Xi an: Xi an Jiaotong University Press, 1995
- [8] Gaouda A M, Salama M M A, Sultan M R. Power Quality Detection and Classification Using Wavelets-multi-resolution Signal Decomposition[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(4): 1469-1476
- [9] Littler T B, Morrow D D J. Wavelets for the Analysis and Compression of Power System Disturbances [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1999, 14(2): 358-364
- [10] Santoso S, Powers E J, et al Power Quality Disturbance Waveform Recognition Using Wavelet-based Neural Classifier, Part : Theoretical Foundation; Part : Application[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2000, 15(1): 222-235
- [11] 朱声石,等. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1995. 118-121.
ZHU Sheng-shi, et al Principle and Technology of Protective Relaying in High-voltage Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995. 118-121.

收稿日期: 2004-07-16; 修回日期: 2004-08-28

作者简介:

朱韬析(1980-),男,硕士研究生,从事负荷预测、电能质量检测的研究工作; E-mail: taoxi_zhu@hotmail.com

江道灼(1960-),男,教授,电力系统及其自动化专业;主要从事 HVDC微机控制技术、FACTS及其应用技术、配电网自动化等方面的科研。

A simple and practical method of measuring short duration power quality disturbances

ZHU Tao-xi, JIANG Dao-zhuo

(School of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: A simple and practical method of measuring duration power quality disturbances is introduced. A differential signal is formed firstly for detecting the beginning time of the disturbance; then ending time when the lasting time is more than, equal to and less than one primitive period are located respectively; at last, the range of the disturbance is calculated through Fourier transform. Simulation results of various disturbance signals demonstrate the proposed method is fast, accurate and useful.

Key words: power quality; time domain; primitive period; Fourier transform

(上接第 25 页 continued from page 25)

Abstract: A new scheme used in single-phase adaptive reclosure is proposed. This scheme based on complex wavelet analysis can distinguish the transient faults and permanent faults on EHV transmission lines. After faults occur, different kinds of faults have different percentages of voltage harmonic signals which can be measured on busbar. By analyzing the characteristics of the voltage harmonic signals, this paper employs the unique algorithm based on wavelet's phase and amplitude to distinguish the fault types. This scheme works before the extinction of the arc, and it ensures to reclose in the ideal time. The results of simulation verify its correctness and practicability.

Key words: single-phase adaptive reclosure; temporary fault; permanent fault; secondary arc; complex wavelet analysis