

一种简单的电能质量扰动信号检测方法

石敏,徐袭,吴正国

(海军工程大学电气与信息工程学院,湖北 武汉 430033)

摘要: 提出了一种简单的电能质量扰动检测方法,用于判断采集信号中是否存在电能质量扰动,作为扰动分类的前提。该方法利用当前周期的电压信号与前一个周期信号之间的差值信号来进行电压凹陷、电压凸起及暂态振荡、暂态脉冲等暂态电能质量问题检测,利用差分信号和滤波后低频和高频信号的能量比来检测稳态电能质量问题。该方法实现简单,计算量小,检测全面,可以实时、在线完成,弥补了以往采用小波或小波包变换方法复杂费时以及检测不全面的不足,也弥补了单独采用差值信号方法无法检测稳态电能质量问题的缺陷。仿真和试验结果表明了本文提出方法的可行性和有效性。

关键词: 电能质量; 扰动检测; 谐波检测; 陷波检测; 电压下陷; 暂态电能质量; 稳态电能质量

中图分类号: TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)15-0068-05

0 引言

电能质量扰动信号的检测是进行电能质量分类和评估的前提,它主要用来判断采集的电气信号中是否存在电能质量扰动,对存在扰动的信号则存储并进行详细分析。检测算法不需要进行精确地计算,要求在线、实时完成,因此其执行必须速度快且简单。

目前,电能质量扰动的检测方法主要有基于自相关的方法^[1,2]、基于小波变换或小波包变换的方法^[3-7]和时频分析方法^[8,9]等,而这些方法复杂、费时,不适合于数据的在线、实时处理。

文献[10,11]中提出采用差值信号来进行扰动的检测,这种方法适合于检测电压下陷、暂态脉冲等暂态电能质量问题,而不能检测如电压偏差、谐波、周期性陷波等稳态、周期性电能质量问题。

本文在采用差值信号检测电能质量扰动的基础上,提出一种可同时检测暂态和稳态电能质量扰动信号的方法。该方法简单、计算量小,适合于在线、实时完成。

1 检测算法

1.1 暂态电能质量问题的检测

对于暂态电能质量问题(包括电压下陷、暂态脉冲、暂态振荡、频率变动等),可根据当前周期的电压信号与前一个周期信号之间的差值信号进行检测。差值信号

$$u_d(t) = u(t) - u(t - T) \quad (1)$$

其中: T 为信号周期。

严格地讲,对任一时刻 t 如果 $u_d(t) = 0$,那么没有暂态扰动事件发生,反之则存在扰动事件。但实际信号中会产生小的波动,即使没有发生任何暂态扰动事件,差值信号也会表现出小的正弦波动。因此可将 $u_d(t)$ 与事先设定的阈值进行比较。当存在超过该阈值(一般取正常信号最大幅度的0.05倍)的点时,确定发生了暂态扰动。

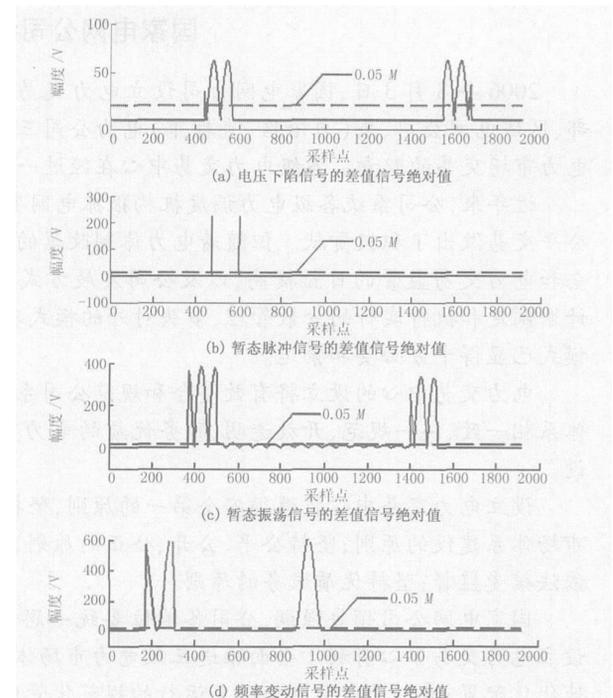


图1 暂态电能质量扰动信号的差值信号

Fig 1 Difference signal of transient power quality disturbance signal

图 1 中实线表示各种暂态电能质量扰动信号差值信号的绝对值,其中,图 1(a)为电压下陷信号,图 1(b)为暂态脉冲信号,图 1(c)为暂态脉冲信号,图 1(d)为频率变动信号。图中已假设正常信号最大幅度为 M ,虚线代表 $0.05M$ 。当信号的差值信号绝对值中存在超过 $0.05M$ 的点时,可判断信号中存在暂态扰动。从图中可看出,该方法能有效地检测出暂态电能质量扰动。

1.2 稳态电能质量问题的检测

1.2.1 电压偏差信号

根据电能质量标准,电压偏差的计算公式为:

$$\text{电压偏差}(\%) = \frac{\text{实测电压} - \text{标称系统电压}}{\text{标称系统电压}} \times 100\% \quad (2)$$

其允许值为 $\pm 10\%$,即当实测电压幅度大于正常电压信号幅度的 110% 或小于正常电压信号幅度的 90% 时,则认为待测信号中存在电压偏差。

设信号每个周期的最大绝对值组成的数组为 D ,当存在某个周期 j 使得

$$D(j) > 1.1M \text{ 或 } D(j) < 0.9M \quad (3)$$

时,则判断信号中存在电压偏差。其中, M 为正常信号最大幅度。

1.2.2 谐波信号

对于谐波信号,可采用滤波器分别滤出信号的低频和低频成分,然后通过比较两部分的能量来检测,具体步骤为:

(1)采用 9 阶 butterworth 低通滤波器滤出信号的低频成分,其截止频率为 60 Hz ,得到稳定后的信号 y_1 ,并计算 y_1 的能量 Y_1 (Y_1 为 y_1 所有分量模平方之和)。

(2)采用 9 阶 butterworth 高通滤波器滤出信号的高频成分,其截止频率为 100 Hz ,得到稳定后的信号 y_2 ,并计算 y_2 的能量 Y_2 (Y_2 为 y_2 所有分量模平方之和)。

(3)比较 Y_1 和 Y_2 。根据电能质量标准,谐波的总畸变率应小于 5% ,即信号谐波成分的能量与基波成分的能量之比应小于 $(5\%)^2 = 0.0025$ 。所以当 $Y_2 > 0.0025Y_1$ 时判断待测信号中存在谐波,否则不存在。

图 2 为谐波检测图。其中,图 2(a)为待检测的信号,图 2(b)为信号通过低通滤波稳定后得到的信号低频成分,图 2(c)为信号通过高通滤波稳定后得到的信号高频成分。经计算, $Y_2 = 4.3406 \times 10^6$, $Y_1 = 8.3328 \times 10^7$ 。由于 $Y_2 > 0.0025Y_1$,判断信

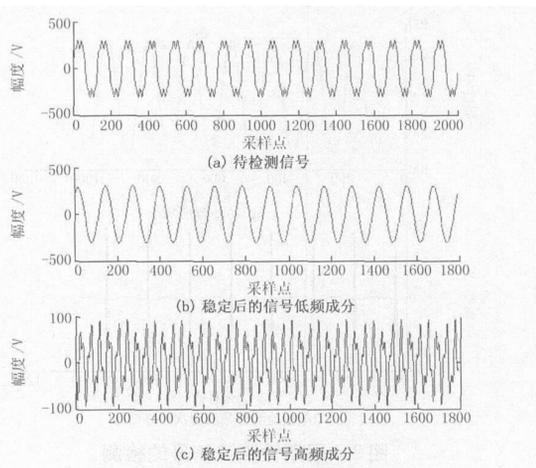


图 2 谐波检测图

Fig 2 Detection of harmonic

号中含有谐波成分。

1.2.3 周期性陷波

周期性陷波信号是一种非连续信号,它的差分信号(即信号相邻两点之间的差值)中存在模极大值点,因此可通过对信号进行差分处理,然后检测差分信号中是否存在模极大值点来判断。关于模极大值点的检测,本文采用数字判断法,即在检测时段内如某点的模值大于该时段内信号模均值的 6 倍且该点均比与它相邻的左右三个点的模值大,则认为该点为模极大值点。

对于信号 s ,它的差分信号 $diff(s)$ 定义为:

$$diff(s) = s(i) - s(i-1) \quad (4)$$

表示信号相邻两点之间的差值。为增强检测的准确度,可将原信号的差分信号再求取差分,即根据原待测信号的两次差分信号 $diff(diff(s))$ 来检测周期性陷波。

图 3 为周期性陷波信号的检测图。图 3(a)为待检测信号,图 3(b)为图 3(a)中信号经过求取两次差分信号后的结果,由于图 3(b)中存在模极大值点,可判断信号中存在陷波。

1.3 检测算法流程

对于实际的检测,可采用如图 4 所示的流程图将检测过程综合起来。

图 4 中符号的意义见式 (1) ~ (4)。

2 试验结果与比较

2.1 试验信号一

图 5(a)为采用 WFLC-V 便携式电量记录分析仪记录的 380 V 电网上的某相电压,采样率为

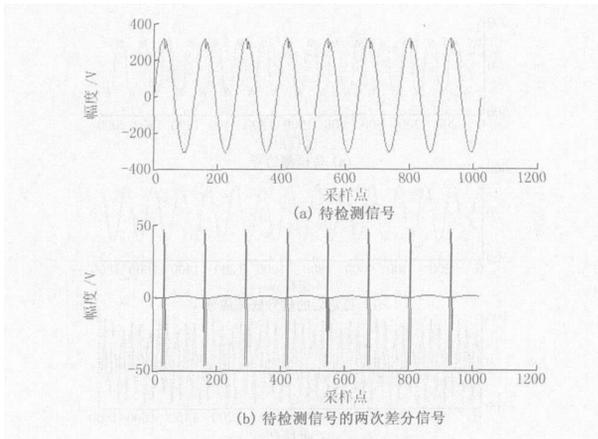


图 3 周期性陷波信号的检测

Fig 3 Detection of periodic notch signal

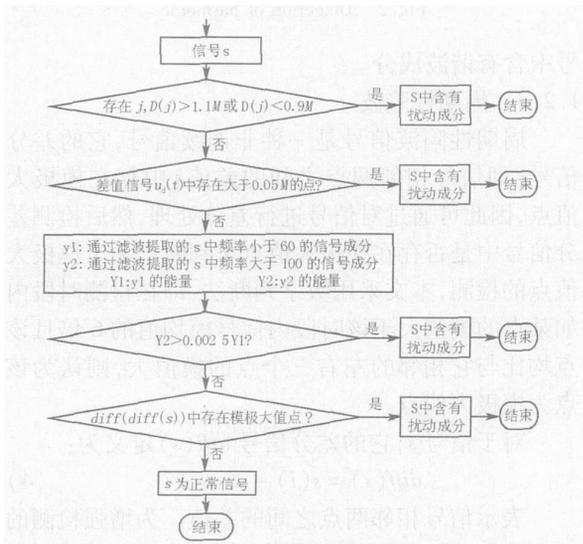


图 4 算法流程图

Fig 4 Flow chart of the proposed algorithm

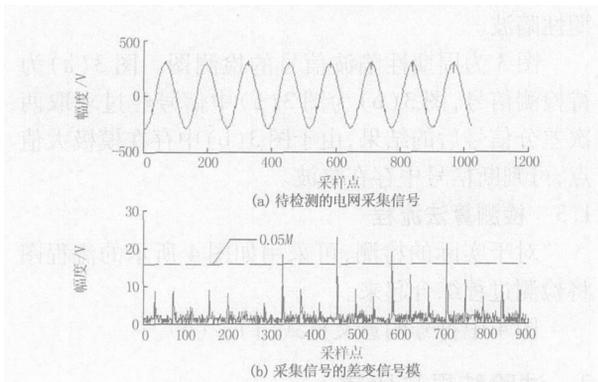


图 5 试验信号一的检测

Fig 5 Detection of test signal

6 400 Hz,每周期采样 128 点,正常信号最大幅度 M

$= 220 \times \sqrt{2}$ 。采用图 4 的算法流程图对该信号进行检测,由图 5 (b)可知,该信号的差值信号中有超过阈值 $0.05M$ 的点,因此判断该信号为扰动信号。

2.2 试验信号二

图 6 (a)为采用 WFLC-V 便携式电量记录分析仪记录的 380V 电网上的某相电压,采样率为 6400Hz,每周期采样 128 点,正常信号最大幅度 $M = 220 \times \sqrt{2}$ 。

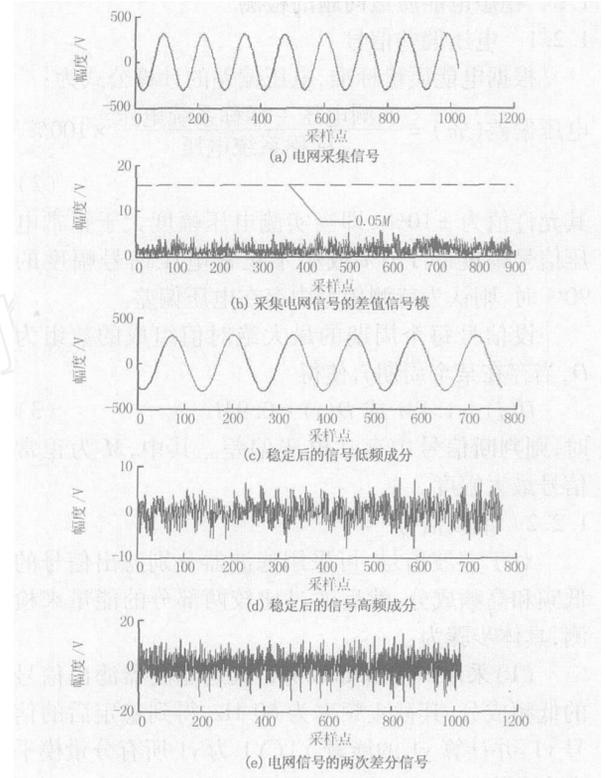


图 6 试验信号二的检测

Fig 6 Detection of test signal

对信号采用图 4 的算法流程图进行分析:各周期模的最大值均在 $0.9M$ 到 $1.1M$ 之间,由图 6 (b)可见,差值信号中没有超过 $0.05M$ 的点,图 6 (c)与图 6 (d)中,信号的高频与低频能量之比 $Y2/Y1 = 1.3570e-004 < 0.0025$,原信号中不存在谐波,由图 6 (e)可见,信号的两次差分信号中不存在模极大值。因此可判采集的信号为一正常信号。

2.3 与小波变换检测方法的比较

小波变换是目前较为流行的电能质量检测方法。图 7 是本文方法和小波变换方法检测电压下陷信号的对比图。

图 7 (a)是电压下陷信号的原始图,其采样率为

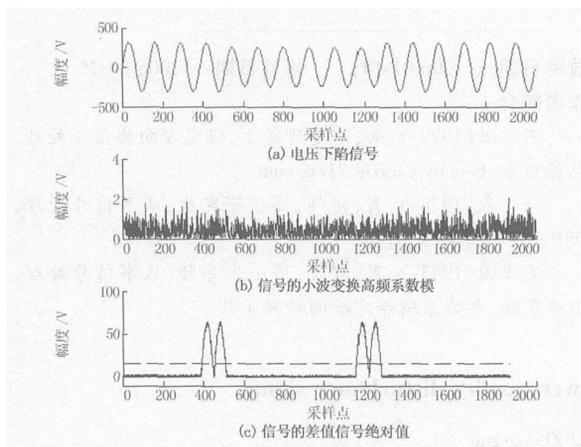


图7 采样小波变换和本文方法检测电压下陷信号

Fig 7 Detection of sag signal with wavelet transform and the method presented in the paper

6 400 Hz,信号中混有 1%的白噪声。图 7(b)为采用 db10小波对信号进行小波变换后得到的高频系数模值,由于噪声的影响,图中不存在模极大值点,此时用小波方法无法检测到电压下陷。图 7(c)为采用本文中的差值信号来检测电压下陷,从差值信号绝对值与阈值的比较结果可判断信号中存在电能质量扰动。

表 1列出了基于小波变换的检测方法和本文方法进行电能质量扰动测试时在可用性、准确性、实时性方面的比较,可见本文方法更适用于电能质量扰动信号的检测。

表 1 检测方法的比较

Tab 1 Comparison between different detection methods

	小波变换方法	本文方法
可用性	可检测暂态电能质量问题、谐波、周期性陷波,不能检测电压偏差问题	可检测暂态电能质量问题、谐波、周期性陷波、电压偏差问题
准确性	当电压变动问题发生在过零点或波峰点时会产生误判	对各种情况均不会产生误判
实时性	计算复杂,费时,不适合实时完成	计算量小、速度快,适合于在线、实时完成

3 结论

本文提出了一种能同时检测暂态电能质量扰动信号和稳态电能质量扰动信号的方法。该方法简单、计算量小,适合于在线、实时实现,为采用 DSP实现电能质量现场采集部件提供了算法依据。

参考文献:

[1] Zhang H, Liu P, Malik O P. Detection and Classification of Power Quality Disturbances in Noisy Conditions[J]. IEE Proc—Gener, Transm, and Distrib, 2003, 150(5):

567-572

- [2] 赵青春,邹力,刘沛.基于短窗自相关算法和数学形态学的电能质量扰动信号检测和定位新方法[J].电网技术,2005,29(6):6-10.
ZHAO Qing-chun, ZOU Li, LIU Pei A New Method to Detect and Location Power Quality Disturbance Signals Based on Self-correlation Algorithm of Short Data Window and Mathematical Morphology[J]. Power System Technology, 2005, 29(6): 6-10.
- [3] 胡铭,陈珩.基于小波变换模极大值的电能质量扰动检测与定位[J].电网技术,2001,25(3):12-16.
HU Ming, CHEN Heng Detection and Location of Power Quality Disturbance Using Wavelet Transform Modulus Maxima[J]. Power System Technology, 2001, 25(3): 12-16.
- [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,2002,22(10):1-6.
CHEN Xiang-xun Wavelet-based Measurements and Classification of Short Duration Power Quality Disturbances[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(10): 1-6.
- [5] 薛惠,杨仁刚.基于小波包除噪的电能质量扰动检测方法[J].中国电机工程学报,2004,24(3):85-90.
XUE Hui, YANG Ren-gang Power Quality Disturbance Detection Method Using Wavelet Package Transform Based De-noising Scheme[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(3): 85-90.
- [6] 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.
- [7] 耿云玲,何怡刚,王群,等.采用小波变换检测和定位电能质量扰动[J].继电器,2005,33(8):38-40.
GENG Yun-ling, HE Yi-gang, WANG Qun, et al Detection and Location of Power Quality Disturbances by Wavelet Transform[J]. Relay, 2005, 33(8): 38-40.
- [8] 文继峰,刘沛.一种电能质量扰动检测的新方法[J].中国电机工程学报,2002,22(12):17-20.
WEN Ji-feng, LIU Pei A New Method for Detection of Power Quality Disturbances[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(12): 17-20.
- [9] 魏磊,张伏生,耿中行,等.基于瞬时无功功率理论的电能质量扰动检测、定位与分类方法[J].电网技术,2004,28(6):53-58.
WEI Lei, ZHANG Fu-sheng, GENG Zhong-xing, et al Detection, Localization and Identification of Power Quality Disturbance Based on Instantaneous Reactive Power Theo-

- ry[J]. Power System Technology, 2004, 28(6): 53-58
- [10] Ferrero A, Salicone S An Easy VI Program to Detect Disturbances in the Supply Voltage[A]. MTC 2004. Como: 2004. 1384-1387.
- [11] 朱韬析,江道灼. 一种简单实用的电能质量扰动检测方法[J]. 继电器, 2005, 33(7): 46-49.
- ZHU Tao-xi, JIANG Dao-zhuo A Simple and Practical Method of Measuring Short Duration Power Quality Disturbances[J]. Relay, 2005, 33(7): 46-49.

收稿日期: 2006-01-14; 修回日期: 2006-04-25

作者简介:

石敏(1979-),女,博士研究生,研究方向为信号处理、电能质量; E-mail: sarax@21cn.com

徐袭(1978-),男,讲师,博士研究生,从事信号处理、DSP等方面的研究工作;

吴正国(1943-),男,教授,博士生导师,从事信号处理、小波变换、电力系统等方面的研究工作。

A simple method for detecting of power quality disturbance signal

SHIM in, XU Xi, WU Zheng-guo

(Dept of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: A simple power quality (PQ) disturbance detection method is proposed in the paper, which is used for judging whether the acquired signal contains PQ disturbance or not and is the first step to classification of PQ disturbance. By utilizing the difference between the voltage signal in present period and the signal in the previous period, the transient PQ problems such as voltage sag, voltage swell and oscillatory transient, impulsive transient can be detected and by using differential and the ratio between the low-frequency and high-frequency after filtering, the stationary PQ problem such as harmonic and periodic notching can be detected. The algorithm has the virtue of implementing simple, computing easy, all-sided detection which can be accomplished on line. It makes up for the deficiency of complexity and time-consuming and not all-sided detection by using wavelet or wavelet packet transform and the deficiency of not able to detect stationary PQ problem by only using difference signal. The results from tests and simulation show that the proposed method is feasible and effective.

Key words: power quality; disturbance detection; harmonic detection; notch detection; voltage sag; transient power quality; stationary power quality

上海安科瑞电气有限公司招聘

上海安科瑞电气有限公司座落于嘉定高新工业园区,东临沪嘉高速,交通便捷。其产品以智能电力仪表、软件为主,其它电器产品为辅,是一家集科研、生产、销售为一体的综合性电器公司。公司现有员工160人,其中大专以上学历科技人员占58.5%。公司设有专门的技术研发中心,具有了一支年轻的产品开发队伍。配备了瑞士TRANSIENT2000电磁兼容测试仪、日本爱斯佩克温湿度控制箱等先进设备,制定了系统软件、通讯协议安全可靠运行测试规范。并与复旦大学单片机中心、上海电器科学研究所低压分所组成为产学研联合体。

公司从2003年起共申请以专利为主的知识产权28项。2005年公司投入了350万元,从上海电科所引进了具有自主知识产权的ARD3系列智能型电动机保护器,该产品属于“第四代”低压电器,为公司的可持续性发展打下了基础。

公司主要产品均通过上海市计量测试技术研究院型式试验合格,并取得了上海市质量技术监督局制造计量器具许可证。企业全面通过ISO9001质量管理体系,以“严谨务实,持续改进;追求客户满意,树立安科瑞品牌”为质量方针,本着“自主创新、科技强国”的理念,与社会各界朋友真诚合作,以电力仪表为基础,逐步发展为以智能化低压电器为主体的高科技企业。

现诚聘低压配电保护研发工程师,从事低压受电保护、馈电保护、电动机保护、电容器保护软硬件研发、设计,有5年及以上工作经验的,本科及以上学历。

工作地点:上海市嘉定区;晋升方向:项目主管、项目经理、技术部副经理、技术部经理、副总及股权激励。

有意者请与公司负责人联系:

联系人:周中 手机:13301683907 电话:021-59104832-101

Email: ACREL002@vip.163.com

地址:上海市嘉定工业园区棕坊桥洪德路99号,201801