

一种基于小波变换的电能质量特征量提取及分类的方法

吴晓朝^{1,2}, 方立新¹, 郭红霞²

(1. 63880部队, 河南 洛阳 471003; 2. 华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 提出了一种利用小波变换实现动态电能质量特征量扰动(电压上升、电压凹陷、电压中断、电压瞬变和电压缺口等)的提取以及分类方法. 利用小波变换的奇异性检测原理提取动态电能质量信号中的突变, 并进行定位, 确定信号变化的时间, 并用电压均值法确定扰动的类别, 并通过仿真表明方法的有效性. 最后讨论了本方法在DSP上的实现.

关键词: 小波变换; 电能质量; 扰动识别与分类

中图分类号: TM930 **文献标识码:** A

An approach to the extraction and classification of feature vector for power quality based on wavelet

WU Xiao-chao^{1,2}, FANG Li-xin¹, GUO Hong-xia²

(1. PLA Unit 63880, Luoyang Henan 471003, China;

2. Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China)

Abstract: An approach to the extraction and classification of feature vector for power quality based on wavelet is proposed in this paper. The disturbances include the voltage swells, sags, interruptions, transients and notches. With the singularity principle of wavelet transform, the abrupt changes in the signal of the dynamic power quality are extracted and located, and the time during signal variation is then defined. Thus, the disturbances can be classified by the voltage averaging method. The results of MATLAB simulation show its validity. Finally, the proposed method is realized on a digital signal processor(DSP).

Key words: wavelet transform; power quality; disturbance's recognition and classification

1 引言(Introduction)

近几年来, 电能质量问题引起的矛盾越来越凸现. 随着电网中非线性负载的大量增加和敏感电子设备的推广应用, 电能质量问题日益严重, 如以电力电子装置为代表的非线性负荷的使用、冲击性负荷的大量使用以及各种大型用电设备的起停等, 使电网中的谐波污染、三相电压的不对称性以及电压波动和闪变日趋严重, 而各种复杂的、精密的、对电能质量敏感的用电设备的不断普及, 对电能质量的要求也比以前高得多^[1].

电力系统中电能质量问题可分为稳态和动态两大类. 稳态电能质量问题主要包括三相电压不平衡、电压波动与闪变、电压偏移、频率偏移以及其他以波形畸变为特征的谐波、间谐波、陷波等现象; 动态电能质量问题又叫短时电能质量扰动问题(short duration power quality disturbance,

简称SDPQD), 主要包括短时电压改变以及各种暂态现象, 如电压上升(swells)、电压凹陷(sags)、电压中断(interruptions)、电压瞬变(transients)和电压缺口(notches)等. 目前人们对各种稳态电能质量问题已很熟悉, 而对于SDPQD问题却了解较少, 因此需要利用各种技术对其进行监测与分析.

由于小波变换具有时频同时局部化的特点, 因此特别适合分析电能质量中的暂态或突变信号. 本文提出一种利用小波变换实现在电能质量实信号的特征向量提取和分类方法.

2 电能质量干扰分类(Power quality's disturbance classification)

针对过去各种扰动引起电能质量问题(干扰)的提法不一, IEEE第22标准统筹委员会(电能质量)和其他国际委员会推荐如下几种术语来描述主要的电

能质量干扰^[2]: a) 电压上升: 电压或电流以有效值升至额定值的110%以上; b) 电压凹陷: 电压或电流有效值降至额定值的10%~90%; c) 电压中断: 在一相或多相线路中完全失去电压一段时间; d) 电压瞬变: 指在一定时间间隔内两个稳态量之间的变化; e) 电压缺口: 持续时间小于10 ms的周期性的电压扰动. 其中电压凹陷是近年来国际上较为关注的电能质量问题. 电力网中发生短路故障、开关操作、变压器或电容器组的投切等时, 均可引起电压凹陷. 电压凹陷易引起计算机系统紊乱、调速设备跳闸以及机电设备误操作等. 因此扰动分类的目的是根据电压信号的特征提取信息, 综合判断信号干扰属于以上何种类别, 判断的依据主要有扰动对信号幅值的影响和扰动持续的时间.

3 基于小波变换的扰动识别与分类 (Recognition and classification based on wavelet)

定义 1 设信号 $f(x)$ 的小波变换用 $Wf(x)$ 表示, s 为尺度. 若在尺度 s_0 下, 若 $\frac{\partial Wf(s_0, x)}{\partial x}$ 在 $x = x_0$ 上有一过零点, 则称点 (s_0, x_0) 是局部极值点.

如对于属于 x_0 的某一邻域内的任意点, 均有 $|Wf(s_0, x)| \leq |Wf(s_0, x_0)|$, 则称点 (s_0, x_0) 为小波变换的模极大值点. 在尺度空间 (s, x) 中所有模极大值点的连线称为模极大值线. 当尺度 s 大时, $f(x)$ 小波变换削去了信号中较小的变化, 可以检测出信号中较大的变化, 这是对小波变化中低频信号的检测. 所以, 对于不同大小的 s , 可以得到不同尺度下的奇异点, 这就是多尺度边缘检测, 相当于小波分解后对不同频带的信号进行检测.

由于扰动信号在发生时刻和恢复时刻波形中会出现一个细小的突变, 电能质量的特征向量提取的关键是要检测出信号中的突变, 即确定检测信号的奇异点, 并进行定位, 确定信号变化的时间, 为信号干扰分类作好准备. 利用小波变换来分析信号的局部奇异性, 通过信号的小波变换模极大值点在多尺度上的综合表现来表示信号的突变或暂态特征. 信号在其突变点处通常是奇异的, 而信号的奇异性往往由小波变换的模局部极大值来描述. 小波变换的模局部极大值具有平移不变性, 而白噪声小波变换的模局部极大值则随着尺度的增大而迅速衰减, 据此可区分信号突变和噪声, 消除噪声影响. 因此利用小波变换对电能质量进行分析具有良好的时频局部化特性, 通过对小波变换局部模极大值进行线性分析, 可以检测信号的奇异点, 即可检测出所对应的暂态扰动的起止时刻^[3~6].

已提出的几种SDPQD分类方法如神经网络法、曲线形状识别法、最大似然率判据法等都花费较多的时间, 不利于提高分析速度. 本文提出电压均值法实现SDPQD的识别. 从上述可知, 信号经过小

波变换可确定扰动信号的发生时刻和恢复时刻, 这两次突变的时间间隔即为扰动信号的持续时间 t_n , 通过计算 t_n 内信号有效值的平均值 $\bar{A}$, 设 A 为额定有效值, 则根据指标 t_n 和 $\xi_n = (\bar{A} - A)/A$ 可确定扰动的类型, 如图1: 其中横坐标为数据采样点.

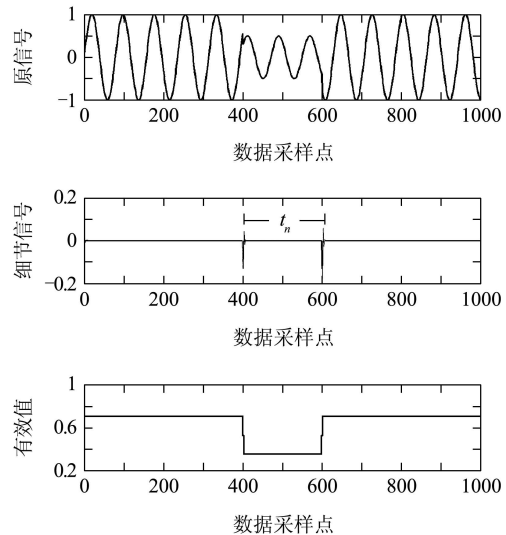
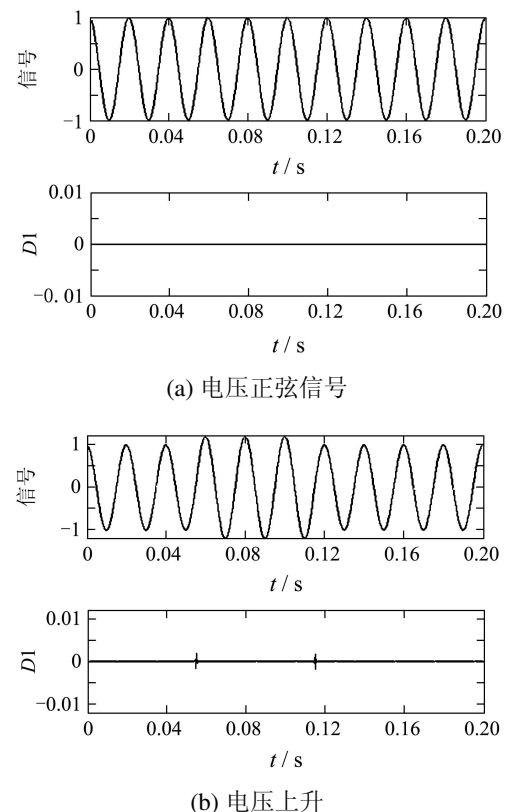


图1 信号特征向量提取与分类

Fig. 1 Signal feature vector extraction and classification

4 实例与分析 (Illustration and analyze)

采集某一风电机组的电压数据, 并取某典型干扰数据进行标准化处理后用MATLAB进行仿真, 选择小波dB4, 分析如图2所示.



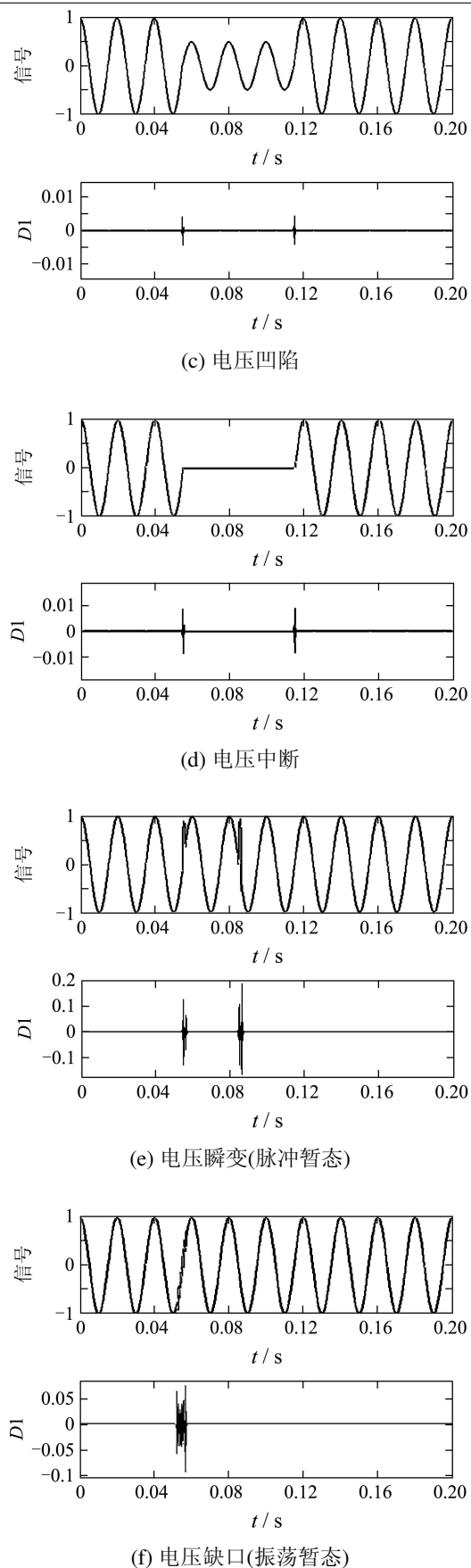


图2 SDPQD和基于小波变换的识别和分类

Fig. 2 Recognition and classification based on wavelet

如图2所示,图(a)为没有任何干扰的电压信号,所以对细节部分 $D1$ 为一条直线,由于风机电压受电网电压的制约,因此在稳态的情况下,风机输出电压谐波也非常小;其他图(b)(c)(d)和(e)都因为干扰在细节部分产生相应的突变,确定两个突变模极大值之间的时间 t_n ,同时计算电压有效值和 ξ_n ,则可确定其类型;若为振荡暂态,则两个极大突变之间会产生很多小的毛刺,如图3,而且其 t_n 小于10 ms,则可断定为振荡暂态.通过计算得出图中各自的 t_n 和 ξ_n 为:图(b): $t_n = 60$ ms和 $\xi_n = 0.2$,符合电压上升条件;图(c): $t_n = 60$ ms和 $\xi_n = -0.2$,符合电压凹陷条件;图(d): $t_n = 60$ ms和 $\xi_n = -1$,两个模极大值之间电压为0,符合电压中断条件;图(e): $\xi_n = 0$,尽管出现两个模极大值,但它们之间的电压基本不变,因此确定为电压脉冲;图(f): $t_n = 4.7$ ms,由于模极大值之间有较大的毛刺,可确定为振荡暂态.

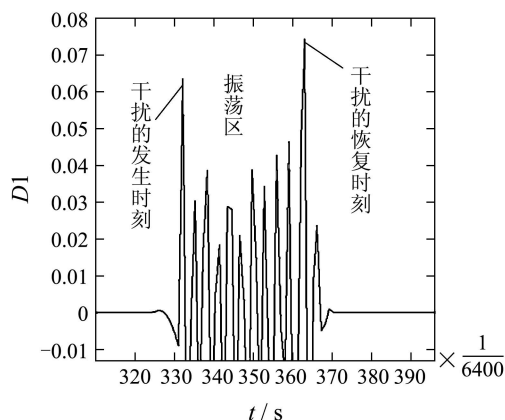


图3 放大的细节突变

Fig. 3 Amplified details in mutation

5 DSP的实现(DSP realization)

显然上述方法有实现简单、数据处理速度快等特点,信号特征向量的提取和分类很容易由DSP完成,本文选择TMS320C28X系列,利用了外置的6通道16位模/数转换器ADS8364对电压信号进行采样,采样频率为6.4 kHz,信号数据处理流程如图4所示.在外界电磁干扰严重的地区,干扰有可能将采样信号中的信息淹没,因此可根据需要在处理数据前利用数字低通滤波器尽量减少干扰信号的影响.考虑为减少数据处理量,选择小波dB4,尺度为1.

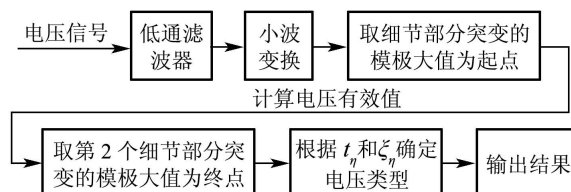


图4 信号处理流程

Fig. 4 Signal processing flow

6 总结(Conclusion)

利用基于小波变换的电压均值法实现电力信号特征向量的提取及分类,是一种可行的、简便的以及具有实用意义的方法,这在设计基于嵌入式系统的电能质量分析仪具有很好工程意义,具有一定的应用价值。

参考文献(References):

- [1] 何顺忠. 采用Meyer小波变换的电能质量扰动信号的检测与时频分析[J]. 黑龙江电力, 2004, 26(6): 454 – 457.
(HE Sunzhong. Measuring and time-frequency analysis of electric power quality disturbance signal with Meyer wavelet transform[J]. *Heilongjiang Electric Power*, 2004, 26(6): 454 – 457.)
- [2] 刘应梅, 白晓民, 张红斌, 等. 基于动态测度的电能质量扰动检测[J]. 中国电机工程学报, 2003, 10(23): 57 – 62.

(LIU Yingmei, BAI Xiaomin, ZHANG Hongbin, et al. The detection of power quality disturbance based on dynamics[J]. *Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering*, 2003, 23(10): 57 – 62.)

- [3] 杨建国. 小波分析及其工程应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005.
(YANG Jianguo. *Wavelet Analyse and Its Engineering Application*[M]. Beijing: Machine Press, 1996.)
- [4] GAOUDA A M. Power quality detection and classification using wavelet-multiresolution signal decomposition[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1998, 14(4): 1469 – 1476.
- [5] GAOUDA A M, SALAMA M M A. Application of multiresolution signal decomposition for monitoring short-duration variations in distribution systems[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2000, 15(2): 478 – 485.
- [6] ANGRISANI L, DAPONTE P. A measurement method based on the wavelet transform for power quality analysis[J]. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1998, 13(4): 990 – 998.

(上接第324页)

参考文献(References):

- [1] 刘其辉, 贺益康, 赵仁德. 变速恒频风力发电系统最大风能追踪控制[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(20): 62 – 67.
(LIU Qihui, HE Yikang, ZHAO Rende. The maximal wind-energy tracing control of avariable-speed constant-frequency wind-power generation System[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(20): 62 – 67.)
- [2] 王琦, 陈小虎, 纪延超, 等. 基于双同步坐标的无刷双馈风力发电系统的最大风能追踪控制[J]. 电网技术, 2007, 31(3): 82 – 87.
(WANG Qi, CHEN Xiaohu, JI Yanchao, et al. Maximal wind energy tracing control for brushless doubly-fed wind turbine based on dual synchronous coordinates[J]. *Power System Technology*, 2007, 31(3): 82 – 87.)
- [3] YANG J M, WU J, DONG P, et al. Passivity-based control in wind turbine for maximal energy capture[C]//*IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies*. New York: IEEE Press, 2004, 2: 800 – 803.
- [4] LIMA M L, SILVINO J L. H_{∞} Control for a variable-Speed adjustable-pitch wind energy conversion system[C]//*IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. Piscataway: IEEE Press, 1999, 2: 556 – 561.

- [5] BIANCHI F D, MANTZ R J, CHRISTIANSEN C F. Power regulation in pitch-controlled variable-speed WECS above rated wind speed[J]. *Renewable Energy*, 2004, 29(11): 1911 – 1922.
- [6] BOUKHEZZAR B, SIGERDIDJANE H. Nonlinear control of variable speed wind turbines for power regulation[C]//*Proceedings of the 2005 IEEE Conference on Control applications*. Toronto: IEEE Press, 2005: 114 – 119.
- [7] 周克敏, DOYLE J C, GLOVER K. 鲁棒与最优控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.
(ZHOU Kemin, DOYLE J C, GLOVER K. *Robust and Optimal Control*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002.)
- [8] 俞立. 鲁棒控制——线性矩阵不等式处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
(YU Li. *Robust Control—Linear Matrix Inequality*[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.)
- [9] 张先勇. 无刷双馈风力发电机的建模及控制研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2007.
(ZHANG Xianyong. *Modeling and control of wind energy conversion system with brushless doubly-fed machine*[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2007.)