电网技术 2011, 35(10) 194-198 DOI: ISSN: 1000-3673 CN: 11-2410/TM

高电压技术

基于信号子空间转换与快速子空间测向算法的局部放电超声阵列信号测向方法

谢庆，李宁远，律方成，程述一，李燕青，张丽君

电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室(华北电力大学), 河北省 保定市 071003

摘要：

提出一种基于信号子空间转换法(signal subspace transform，SST)与快速子空间测向算法(fast subspace estimation of DOA ，FDOA)的局放超声阵列信号高精度测向新方法。首先利用SST算法对局放超声阵列信号进行聚焦处理，使得原始信号的宽频空域信息被最大限度地保留，从而实现宽带信号方位信息的累积。然后采用FDOA对聚焦后的窄带信号进行波达方向估计，FDOA无需特征分解，无需估计整个协方差矩阵，可提高运算速度，且具有更高的测向精度。在此基础之上，应用医学宽频超声信号和4′4超声阵列传感器模型，进行局放超声阵列信号测向仿真研究，仿真结果表明，测向误差小于2°，验证了该方法的正确性。

关键词： 局部放电 超声阵列传感器 宽带阵列信号 信号子空间转换法 测向 快速子空间测向算法

An Orientation Method for Ultrasonic Array Signals of Partials Discharge Based on Signal Subspace Transform and Fast Subspace Estimation of Direction of Arrival

XIE Qing, LI Ningyuan, LÜ Fangcheng, CHENG Shuyi, LI Yanqing, ZHANG Lijun

Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control(North China Electric Power University), Ministry of Education, Baoding 071003, Heibei Province, China

Abstract:

A new high-precision method to orient the ultrasonic array signals of partial discharge in power transformer, which is based on the combination of signal subspace transform (SST) with fast subspace estimation of direction-of-arrival (FDOA), is proposed. Firstly, the SST algorithm is used to focus the ultrasonic array signals of PD to reserve broadband spatial information of original signals to greatest extent to cumulate the position information of broadband signals; then FDOA is used to estimate the direction-of-arrival (DOA) of focused narrowband signals to speed up the calculation because FDOA need not eigen-decomposition, so only sub-matrix is to be estimated but not the whole covariance matrix, and a higher precision of orientation can be achieved. On this basis, the simulative research on orientation of ultrasonic array signals of partial discharge is carried out by ultrasonic wideband signals often used in medical supersonics and 4×4 plane ultrasonic array sensor model. Simulation results show that the orientation error is less than 2°, thus the correctness of the proposed method is verified.

Keywords: partial discharge (PD) ultrasonic phased array wideband array signal signal subspace transform (SST) direction-of-arrival (DOA) fast subspace estimation of DOA (FDOA)

收稿日期 2010-11-11 **修回日期** 2010-11-30 **网络版发布日期** 2011-10-12

DOI:

基金项目:

中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(09MG09)；河北省自然科学基金项目(E2010001703)。

通讯作者: 谢庆

作者简介:

作者Email: xq_ncepu@126.com

参考文献：

[1] 高文胜，王猛，谈克雄，等．油纸绝缘中局部放电的典型波形及其频谱特性[J]．中国电机工程学报，2002，22(2)：1-5． Gao Wensheng，Wang Meng，Tan Kexiong，et al．Typical pulse shape and frequency characteristic of the PD signal in oil-paper insulation[J]．Proceedings of the CSEE，2002，22(2)：1-5(in Chinese)． [2] 淡文刚，陈祥训，郑健超．油中局部放电脉冲波形的测量与特性分析[J]．电网技术，2000，24(6)：37-40． Dan Wengang，Chen Xiangxun，Zheng Jianchao．Measurement and analysis of pulse

current of partial discharge in oil[J]. Power System Technology，2000，24(6)：37-40(in Chinese). [3] 王忠东，桂峻峰，谈克雄，等. 局部放电脉冲在单绕组变压器中传播过程的仿真分析[J]. 电网技术，2003，27(4)：39-42. Wang Zhongdong，Gui Junfeng，Tan Kexiong，et al. Simulation analysis on propagation of partial discharge pulses in single-winding transformer[J]. Power System Technology，2003，27(4)：39-42(in Chinese). [4] 李剑，王小维，金卓睿，等. 变压器局部放电超高频信号多尺度网格维数的提取与识别[J]. 电网技术，2010，34(2)：159-163. Li Jian，Wang Xiaowei，Jin Zhuorui，et al. Multi-scale grid dimension extraction and recognition of ultra-high frequency signals of transformer partial discharge[J]. Power System Technology，2010，34(2)：159-163(in Chinese). [5] 程汪刘，郭跃霞，王静，等. 快速傅里叶变换和广义形态滤波器在抑制局部放电窄带干扰中的应用[J]. 电网技术，2008，32(10)：94-97. Cheng Wangliu，Guo Yuexia，Wang Jing，et al. Application of fast Fourier transform and generalized morphological filter in suppression of narrow-band interference in partial discharge signal [J]. Power System Technology，2008，32(10)：94-97(in Chinese). [6] 唐炬，宋胜利，李剑，等. 局部放电信号在变压器绕组中传播特性研究[J]. 中国电机工程学报，2002，22(10)：92-95. Tang Ju，Song Shengli，Li Jian，et al. Propagation characteristics of partial discharge pulses in transformer windings[J]. Proceedings of the CSEE，2002，22(10)：92-95(in Chinese). [7] 孙才新，罗兵，顾乐观，等. 变压器局部放电源的电-声和声-声定位法及其评断的研究[J]. 电工技术学报，1997，12(5)：49-52. Sun Caixin，Luo Bing，Gu Leguan，et al. Research on locating partial discharge sources in transformer with electric-supersonic method and supersonic method and evaluation on each[J]. Transactions of China Electrotechnical Society，1997，12(5)：49-52(in Chinese). [8] 桂峻峰，高文胜，谈克雄. 变压器绕组局部放电脉冲响应的相关分析及电气定位[J]. 清华大学学报：自然科学版，2003，43(3)：304-306. Gui Junfeng，Gao Wensheng，Tan Kexiong. Correlation of partial discharge pulse signals in transformer windings to locate discharge locations[J]. Journal of Tsinghua University：Science and Technology ，2003，43(3)：304-306(in Chinese). [9] 王乾，杨立新. 变压器油电气性能的影响因素分析[J]. 电力建设，2008，29(8)：22-24. Wang Qian，Yang Lixin. Analysis of factors affecting transformer oil electric performances[J]. Electric Power Construction，2008，29(8)：22-24(in Chinese). [10] 王国利，郝艳捧，袁鹏，等. 变压器局部放电超高频检测中的混频技术研究[J]. 中国电机工程学报，2004，24(10)：115-120. Wang Guoli，Hao Yanpeng，Yuan Peng，et al. Application of frequency mixing technique to ultra-high-frequency PD detection for transformers[J]. Proceedings of the CSEE，2004，24(10)：115-120(in Chinese). [11] Mangeret R，Farenc J，Ai B，et al. Optical detection of partial discharges using fluorescent fiber[J]. IEEE Trans on Electrical Insulation，1991，26(4)：783-789. [12] Yongchang Zhu，Takada T，Inoue Y，et al. Dynamic observation of needle-plane surface-discharge using the electro-optical Pockels effect[J]. IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation，1996，3(3)：460-468. [13] Judd M D，Pryor B M，Kelly S C. et al. Transformer monitoring using the UHF technique [C]//IEE Conference on High Voltage Engineering. London：IEEE，1999：362-365. [14] Judd M D，Farish O. Power transformer monitoring using UHF sensors：installation and testing[C]//Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. Anaheim，CA USA：IEEE，2000：373-376. [15] Judd M D，Cleary G P. Power transformer monitoring using UHF sensors：site trials [C]//Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation. Boston，MA USA：IEEE，2002：145-149. [16] 唐志国，李成榕，黄兴泉，等. 基于辐射电磁波检测的电力变压器局部放电定位研究[J]. 中国电机工程学报，2006，26(3)：17-21. Tang Zhiguo，Li Chengrong，Huang Xingquan，et al. Study of partial discharge location in power transformer based on the detection of electromagnetic waves [J]. Proceedings of the CSEE，2006，26(3)：17-21(in Chinese). [17] 罗勇芬，李彦明，刘丽春. 变压器局部放电的超声波和射频联合检测技术的现状和发展[J]. 变压器，2003，40(12)：28-31. Luo Yongfen，Li Yanming，Liu Lichun. Trend and situation of compound detection technique of radio frequency and ultrasound for transformer partial discharge[J]. Transformer，2003，40(12)：28-31(in Chinese). [18] 罗日成，李卫国，李成榕. 基于阵列信号处理的变压器内局部放电源多目标定位方法[J]. 电网技术，2006，30(1)：65-69. Luo Richeng，Li Weiguo，Li Chengrong. A multi-target method to locate internal partial discharge sources with in transformer based on array signal processing [J]. Power System Technology，2006，30(1)：65-69(in Chinese) [19] 罗日成，李卫国，李成榕. 变压器局部放电多目标无源定位中去除测向交叉定位虚假点的快速算法[J]. 电网技术，2005，29(19)：27-32. Luo Richeng，Li Weiguo，Li Chengrong. A high-speed algorithm to remove mendacious points of direction-finding cross-localization in multi-target passive localization of partial discharge source within power transformer[J]. Power System Technology，2005，29(19)：27-32(in Chinese). [20] 谢庆，李燕青，律方成，等. 超声相控阵与宽带阵列信号处理相结合的油中局部放电定位方法[J]. 中国电机工程学报，2009，29(28)：13-17. Xie Qing，Li Yangqing，Lü Fangcheng，et al. A method for PD location in oil combining ultrasonic phased array with wideband array signal processing[J]. Proceedings of the CSEE，2009，29(28)：13-17(in Chinese). [21] Stoica P，Soderstorm T. Statistical analysis of MUSIC and subspace rotation estimator[J]. IEEE Trans on Signal Processing，1991，39(8)：1836-1847. [22] Hung H ，Kaveh M. Focusing matrices for coherent signal-subspace processing[J]. IEEE Trans on Acoustics，Speech and Signal Processing，1988，36(8)：1272-1281. [23] 余继周，陈定昌. 一种DOA估计的快速子空间算法[J]. 现代电子技术，2005(28)：90-92. Yu Jizhou，Chen Dingchang. A fast subspace algorithm for DOA Estimation[J]. Modern ElectronicTech，2005(28)：90-92(in Chinese). [24] 马洪，杨琳琳，黎英云. 二维快速子空间DOA估计算法[J]. 华中科技大学学报，2008，36(4)：20-23. Ma Hong，Yang Linlin，Li Yingyun. A fast subspace algorithm for two-dimensional DOA estimation[J].

HUST Journal，2008，36(4)：20-23(in Chinese)． [25] 李燕青．超声波法检测电力变压器局部放电的研究[D]．保定：华北电力大学，2004． [26] 刘云鹏，律方成，李成榕，等．基于多导体传输线模型的单相变压器绕组中放电的距离函数法定位[J]．电工技术学报，2006，21(1)：115-120． Liu Yunpeng，Lü Fangcheng，Li Chengrong，et al．Distance function locating partial discharge in single phase transformer winding based on MTL model[J]．Transactions of China Electro Technical Society，，2006，21(1)：115-120(in Chinese)． [27] 谢庆．基于空间谱估计的变压器局放超声阵列定位方法研究[D]．北京：华北电力大学，2010．

本刊中的类似文章

1．李军浩 司文荣 黎大健 杨景刚 李彦明 .L型及T型气体绝缘开关模型中电磁波传播特性的仿真研究[J]. 电网技术, 2008,32(19): 93-97

2．陆宇航 杜伯学 朱晓辉 .基于匹配滤波法的超高频局部放电信号检测[J]. 电网技术, 2008,32(17): 84-89

3．吴 烽|郭靖源|章开煊|万国强.运行中变压器的状态评估[J]. 电网技术, 2007,31(Supp): 115-117

4．崔在玉|江昌元|朴基俊|安景槁.预防气体绝缘开关装置故障的超高频局部放电在线实时监控系统[J]. 电网技术, 2007,31(7): 51-54

5．罗日成，李卫国，李成榕.基于阵列信号处理的变压器内局部放电源多目标定位方法[J]. 电网技术, 2006,30(1): 65-69

6．黄兴泉，康书英，李泓志.GIS局部放电超高频检测法有关问题的仿真研究[J]. 电网技术, 2006,30(7): 37-40

7．梁帅伟|廖瑞金|杨丽君|解 兵.油纸绝缘老化的超宽频带局部放电信号时频域特性逐步判别分析[J]. 电网技术, 2007,31(22): 38-43

8．杜伯学，魏国忠.基于小波与分形理论的电力设备局部放电类型识别[J]. 电网技术, 2006,30(13): 76-80

9．李天云|杨 梅|周喜超|程思勇.基于小波变换和数学形态学的局部放电信号分析方法[J]. 电网技术, 2007,31(6): 56-60

10．李 剑，孙才新，杨 雳，杨 洋，唐 炬 .局部放电在线监测中小波阈值去噪法的最优阈值自适应选择[J]. 电网技术, 2006,30(8): 25-30

11．李云阁|冯玉昌|张祥全|韩绍周|王 煊|万荣兴|宋朝晖.750 kV变压器现场工频感应耐压和局部放电试验[J]. 电网技术, 2007,31(10): 64-68

12．胡晓岑 贺虎 连建华 张永春 秦旭岗.1 000 kV变压器带局部放电测量的长时感应耐压现场试验[J]. 电网技术, 2009,33(10): 41-45

13．张晓星 冯波 张锦斌 唐炬 刘王挺.氯化镍掺杂的碳纳米管对SF6放电分解产物的气敏响应[J]. 电网技术, 2011,35(10): 189-193
