

变压器局部放电在线检测的现状与发展

张言苍¹, 张毅刚², 徐大可¹

(1. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003; 2. 上海交通大学, 上海 200030)

摘要: 对变压器局部放电在线检测方面的研究进行了阐述和分析, 根据几种不同的局部放电检测方法, 从数据的采集、干扰的产生及抑制、局放的定位和局放信号分析等几个方面进行了总结和评价。指出传统的局部放电检测测量频率低、信息量少、易受外界干扰, 而超高频测量技术也存在频带宽、检测范围有可能不包含放电特征峰等缺点, 超宽频带局部放电检测技术具有测量频率高、频带宽、信息量大等优点, 可以较全面地研究局部放电的本质特征, 从而揭示了变压器局放在线检测的发展前景和当前的研究重点。

关键词: 变压器; 局部放电; 在线检测

中图分类号: TM41; TM930

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2004)22-0070-06

0 引言^[1,2]

变压器是电力系统中的重要设备, 其可靠性直接影响电网的安全运行, 近年来变压器的检测技术已成为研究和市场的热点, 变压器局放检测是变压器检测的重要组成部分。

1 常见局部放电检测方法的优缺点^[3~7]

局部放电的测试都是以局部放电所产生的各种现象为依据, 通过能表述该现象的物理量来表征局部放电的状态。局部放电的过程, 除伴随着电荷的转移和电能的损耗之外, 还会产生声波、发光、发热以及出现新的生成物等, 所以目前出现的检测技术均是围绕着这些表征特征进行检测。

1) 脉冲电流法。在放电的高压回路中用其耦合电容 C_k 进行局部放电信号检测, 可以测定局部放电的一些基本量(如视在放电量 q), 可以显示出局部放电脉冲大小、个数与相位, 测试灵敏度相当高, 而且可用已知电荷量的脉冲注入校正定量。但脉冲电流法测试频率低、频带宽、信息量少; 易受外界干扰噪声($f < 10$ MHz)影响, 抗干扰能力差。

2) 局部放电射频检测法。由于将电流互感器直接串入未屏有开路的危险, 所以现在普遍使用罗哥夫斯基线圈型传感器从变压器、发电机、电力电缆等被检测设备的中性点或接地电缆处测取信号。其中, 罗氏线圈型根据芯棒材料的不同又分为磁性芯棒型和非磁性芯棒型。其中芯棒材料使用优质坡莫合金的 V/V 传感器可有效屏蔽外界的电磁干扰; 芯棒材料采用聚乙烯塑料制成的罗氏线圈型电流传感器, 在高频信号下的铁耗很小, 相应的线性度得到提高,

可工作在很宽的频率范围内, 测量的信号频率也可达到 30 MHz, 大大提高了局部放电测量频率。同时, 测试系统安装方便, 检测设备不改变电力系统的运行方式。随着数字滤波技术的发展, 射频检测法得到了较广泛的应用。

3) 放电能量检测法。测量每个周波中的放电电荷和消耗功率, 放电能量检测仪显示器上扫描得到的平行四边形面积对应于一个周波中的放电能量, 其垂直偏移则对应于一周波放电总量。利用该方法可直接测量局部放电的能量, 还可以测量脉冲电流法难以响应但放电消耗能量却很大的辉光放电(非脉冲型放电)或亚辉光放电(上升沿极长)。放电能量检测法缺点是: 由于测量时将介质中的各种损耗叠加, 因此难以将局部放电直接引起的损耗分离出来; 灵敏度较小。

4) 超低频局部放电测量法。是采用 0.1 Hz 试验电压研究电力设备的局部放电, 该方法一方面可大大减小试验变压器、隔离电容器等测试设备的容量, 使测试设备体积小、重量轻、价格低, 另一方面又可减轻高压试验时试样受到的损伤。缺点: 目前尚不能确切表述 0.1 Hz 试验电压与 50 Hz 试验电压的等效性。

5) 局部放电声测法。是通过测量局部放电产生的声波来检测局部放电的大小及位置。近年来, 由于声-电换能器效率的提高和电子放大技术的发展, 声测法的灵敏度有了较大的提高, 对于大电容量的试品, 其灵敏度不比电测法低; 利用声测法可以有效地测定局部放电的部位。文献[4]中介绍了利用超声传感器实现的局放采集系统设计。该系统有以下特点: 根据检测现场强干扰弱信号的特点, 将采集、

处理主机远离电力变压器,可在很大程度上减小强电磁场的干扰。同时,应将超声传感器和前置放大器设计成一体化结构,并进行良好的电磁屏蔽。前置级与采集、处理主机之间采用光缆传送信号,可避免强电磁场对传输线的干扰及其他干扰。这可大大提高设备的抗干扰能力。缺点:由于对局部放电声波的传播过程很复杂,难以进行定量。

6) 光测法。是利用局部放电过程中的发光现象进行检测,由于各种放电发出的光波长不同,比较弱小的电晕放电,所发出的光波长较短,不超过400 nm,呈紫色,大部分属于紫外线范围。对于较强的火花放电,波长可扩展到超过700 nm,呈桔红色,大部分属于可见光范围。此方法灵敏度高,可以确定局部放电的位置,抗干扰性较好。缺点是不能记录非透明装置的局部放电。

7) 红外热像法。是利用电力设备内部的局部放电产生的电热能量转换,检测局部区域的表面温度升高的变化。红外热像仪用于定性测量有其重要意义,对于复杂的绝缘结构,红外热像法需要借助于计算机进行辅助计算,可以得到一定的量化关系。缺点是:目前这种方法用于定量研究还存在困难。

8) 色谱分析法。是检测绝缘材料(主要是固体绝缘材料、液体绝缘材料)在局部放电作用下发生分解产生的各种生成物,可以通过测定这些生成物的组成与浓度,来表征局部放电的程度,已广泛用于变压器中油气分析。缺点是:气体传感器对所检测的各种气体均敏感,导致检测准确度不高。

2 干扰的产生及抑制^[8~14]

由于局放信号很弱,而现场的干扰很强,有时干扰信号比局放信号强2~3个数量级,因此如何有效地识别信号和抑制干扰,获得可靠的局放信号就成为局放在线检测中的重要课题。一般现场的干扰有以下几种:

- 1) 变电站的线路或其他邻近设备的电晕放电和内部的局部放电干扰,为脉冲型干扰信号。
- 2) 电力系统载波通讯/高频保护信号以及无线电广播的干扰,为连续型的周期性干扰信号。
- 3) 断路器,雷电及电机起停等引起的随机型脉冲干扰。
- 4) 绕组热噪声,地网噪声及测量系统的随机噪声,为随机型噪声干扰。

针对不同类型的干扰出现了不同方法的抑制措施,在实际测量中常常将其联合使用:

1) 差动平衡法 差动平衡法是根据电力设备绝缘内部局部放电脉冲电流和外部干扰信号在传感器中流动方向的差异来减少外部干扰。

2) 脉冲极性鉴别法 内部放电脉冲在试品电容和耦合电容接线中产生极性相反的脉冲电流,外来干扰脉冲在试品电容和耦合电容接线中产生极性相同的脉冲电流,这样可以抑制脉冲型干扰。

3) 模拟带通滤波器 带通滤波器是最常用的干扰抑制方法,选择适当的滤波器频带范围,可较好地抑制来自电源的干扰和连续周期性干扰。

4) 数字滤波技术 数字滤波技术是运用软件的方法来抑制干扰,和模拟滤波器相比,它具有可以任意改变其数目、中心频带和带宽的优点。目前绝缘局部放电在线检测中主要采用的算法为最小均方误差(LMS)自适应算法和递推的最小二乘法(RLS)自适应算法。

5) 小波分析 小波分析的特点不仅是具有良好的频域分析能力,而且具有优良的线性相位特性,能够在不改变信号可评估性的同时进行噪声抑制。基于小波分析的噪声抑制的理论是多分辨分析,在已知噪声频带的时候,利用它进行信号分解,抽取有关频带之后再行重建,最终实现局部放电信号的提取。目前已能利用小波分析提取微秒级局部放电信号和毫秒级声波信号。

3 局部放电的定位^[15~18]

当检测到变压器的局部放电超过允许值时,说明其内部有绝缘问题而必须进行检查,但如果事先没有确定故障的大致位置,而盲目的进行吊芯检查,就有可能找不到故障位置,并会给检修工作带来很大的困难。因此进行局部放电的定位研究有很大的实用意义。

1) 超声波定位法

a. 电声定位:一般认为局部放电脉冲相对超声脉冲是没有时延的,以电脉冲触发,测量多点超声脉冲的时延以确定超声脉冲的传播方向及时间,再求解球面方程确定放电位置。

b. 声声定位法:以最先的超声脉冲为基准,同样测量多个测量点超声脉冲的时延,求解双曲面方程得出放电源的位置。

超声波定位的关键之一是超声波等值波速的确定,由于变压器内部结构复杂,超声波在传播过程中存在透射,绕射,散射等现象,其等值波速各不相同,且难于精确计算。采用一个恒定的等值波速来计算

位置显然是不够的。一种较实用的算法是将等值波速视为变量,通过求解球面方程的方法来计算局放点的位置。随着声波传播机理的深入,又出现了顺序定位法和模式识别法。

2) 电气定位法

电气定位法又分为几何定位法和基于模型分析法。几何定位法和超声波定位类似,以电磁波到达测量点的时间来定位,又称为行波法。基于模型的分析方法在对变压器绕组进行建模的基础上,通过对局放信号的分析来进行定位,如电容分量法,频率响应法等。

目前,接近实用化的精确定位方法是超声波定位法和采用电容传输分量与数字滤波技术的电测定位法。前者操作方便,适用于变压器内不同部位的局放定位,可在不同场合使用,但定位精度不高是它的主要缺点,必须从理论上和操作技巧上加以解决。后者操作比较复杂,适用范围只限于纠结式绕组,但是定位精度较高,定位精度可以达到不大于绕组长度的2%。

4 超宽频带局放检测^[19~26]

声测法、光测法和化学检测等非电检测法,由于其抗干扰性好、受电气特性影响不大且操作方便,因而在未来的检测中将会有进一步发展。目前,文献[21]中将模式识别引入到声测法的局放识别及定位,具有较高的可行性和准确性。由文献[22]可看出,随着光纤技术及光纤传感器的发展,光测法在未来的局放检测中也将起到一定的作用,该方法作为其它方法的辅助还是有一定意义的。化学检测在变压器故障诊断(特别是在线监测)中有着极其广泛的应用,形成的模式识别系统也有了较大的发展,可实现故障的自动识别。

脉冲电流法是目前国际上唯一有标准的局部放电测量方法,其测量响应频率极限是1 MHz,可以依据椭圆示波图来分析其放电特征,包括放电相位、放电电量大小等等。

研究放电过程物理本质的超高频局放检测给我们提供了一条新的途径,可以通过检测远高于传统测量频率的局部放电信号来对电力设备进行绝缘诊断。超高频局部放电测量的前提条件是认为在所测量的频率范围内一定包含放电特征频率峰,但到目前为止尚未能给出各类典型绝缘系统及其老化过程的放电特征峰的位置和变化规律。这就需要在超宽频带的频率范围内对局部放电的本征特征进行研

究,因此超宽频带局部放电检测技术孕育而生。利用超宽频带检测技术研究电力设备的局部放电,克服了传统的脉冲电流法测量频率低和超高频测量频带窄的缺点,可以较全面地研究局部放电的本征特征,有助于推动局部放电检测理论和技术的发展、提高绝缘诊断的准确性和可靠性。据文献[23],超宽频带局放检测测量系统如图1所示,其中信号检测包括:微带耦合天线传感器 PDC 及匹配阻抗取样器 Z_0 。

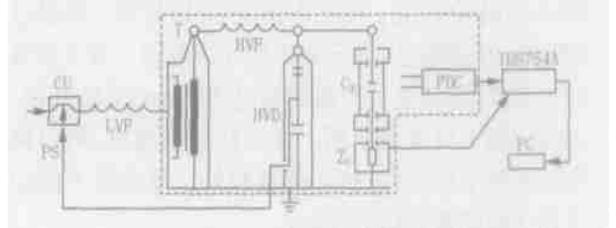


图1 超宽频带局部放电检测系统

Fig. 1 Ultra-wideband system for PD detection

目前超宽频带局放检测技术已经取得的研究成果如下。

1) 文献[24]中基于平行传输线原理设计制作了一种超宽频带传感器,其上限截止频率高达3 GHz,并运用该传感器去研究局部放电信号,表明其具有良好的使用特性,为进一步在超宽频带范围内研究局部放电奠定了基础。

2) 为了真实可靠地测量到局放信号,文献[25]中提出这需要采集系统的采样方式、实时采样率、采样时基、存储长度以及波形拟合方式间的相互配合,否则可能造成波形失真。

3) 文献[26]中研究了随机性空间电磁、连续性空间电磁、电刷放电、高压分合、计算机键盘操作、日光灯启动干扰等的超宽频带特性,提出:无论是时域波形还是频域波形,局部放电信号均有别于上述干扰信号,利用这种区别可以有针对性地采用抗干扰措施抑制干扰,这对指纹诊断和模式识别同样具有重要意义。另外,小波分析技术及分形算法也应用到了超宽频带局放检测中,起到了较好的剔除外界干扰的作用。

4) 文献[27]中利用超宽频带技术对油纸绝缘局部放电的特性进行了研究。分析了电极形状、绝缘材料类型对放电脉冲特性的影响。研究表明,油纸绝缘中的局部放电脉冲与电极的形状关系不大,但随绝缘材料的不同而不同:在一定电压范围内,放电脉冲的形状变化不大,且其峰值变化具有较强的随机性;当外施电压超过某一范围时,放电脉冲的形状将产生明显的变化,波形不再唯一,脉冲的峰值也

逐渐增大。研究结果对于利用放电脉冲波形特征进行模式识别和剔除外来干扰具有一定的理论价值和工程应用的参考意义。

综上所述,超宽频带局放检测中一些关键性问题,如:超宽频局电传感器的研制、局放测试系统、实时高速采集技术以及干扰的抑制和局放信号的提取技术等,已经得到了很好的解决。但这些成果都是在实验室中取得的,缺乏大量现场实测数据的验证。另外,典型模型下局放信号的超宽频带特征研究、超宽频局放信号的放电电量标定问题以及变压器超宽频放电指纹库的建立,是超宽频局放检测技术下一步研究的重点。

5 变压器局放检测的前景

随着电力系统的发展和电压等级的提高,局部放电已经成为电力变压器绝缘劣化的重要原因,因而局部放电的检测和评价也就成为绝缘状况检测的重要手段。而局放检测应用于判断变压器绝缘状况,首先要解决的问题是变压器是否发生局放,严重程度以及绝缘是否受损等,尽量不误判、不漏判;其次才涉及到如定位、绝缘寿命等其他问题。因此笔者认为,变压器局放检测下一步的研究工作应集中在:

1) 局放基础理论的研究

各种局部放电模型的建立,如气隙放电,尖板放电等,以及局放信号在变压器绕组中的传播模型等。只有对这些基础理论进行深入的研究,才能弄清变压器局放信号的特征表现,从而采取有效的措施抑制外界干扰,准确地判断出变压器是否发生了局放,为后续开发可靠的监测系统打下良好的基础。

2) 新型传感器的开发

随着基础理论和信号处理技术的发展,开发出高带宽,灵敏度高,线性度好,信噪比高的传感器将是局放测量系统的研究重点之一。另外,随着传感器技术的发展,许多新型的传感器也应用于局放的检测,如光传感器等,这也将推动局放检测技术的发展。

3) 放电电量标定问题

这是判断变压器发生局放严重程度及绝缘是否受损的关键所在。如何对放电电量进行标定也是目前声测法、红外热像法、超宽频法等亟待解决的难点,这就需要在现场积累大量的实测数据。这一问题的

解决必将推动声测法、红外热像法、超宽频法等在线检测中的广泛应用。

随着科技的发展,传感器技术、计算机应用以及技术信号分析技术(神经网络、指纹分析、专家系统、模糊诊断等)越来越多地应用到变压器局放在线检测中,检测的可行性、可靠性及准确性越来越高,这必将有助于变压器局放在线检测难题的圆满解决。

参考文献:

- [1] 邱昌容,王乃庆(QIU Chang-rong, WANG Nai-qing). 电工设备局部放电及其测试技术(PD and Measurement Technology of Electrical Equipment) [M]. 北京:机械工业出版社(Beijing: China Machine Press), 1994.
- [2] 董旭柱,王昌长,朱德恒(DONG Xu-zhu, WANG Chang-chang, ZHU De-heng). 电力变压器局部放电在线监测研究的现状和趋势(Actuality and Trend of PD Online Monitoring on Power Transformer) [J]. 变压器(Transformer), 1996, (1): 3-54.
- [3] 张鹏辉,于钦学,任文娥(ZHANG Peng-hui, YU Qin-xue, REN Wen-e). 局部放电在线窄带检测系统的研究(Study on PD Online Narrow-band Monitoring System) [M]. 高电压技术(High Voltage Engineering), 2000, 26(1): 24-26.
- [4] 朱滋浩(ZHU Zi-hao). 电力变压器局部放电信号采集系统设计(Design of PD Signal Sampling System on Power Transformer) [J]. 数据采集与处理(Data Sampling and Processing), 1996, 15(4): 304-307.
- [5] 黄本雄,黄沛然(HUANG Ben-xiong, HUANG Pei-ran). 高压设备绝缘在线监测电流传感器的研究(Study of CT for HV Equipment Insulating Monitoring) [J]. 华中理工大学学报(Journal of Huazhong University of Science and Technology), 1996, 24(5): 1-2.
- [6] 罗兵,孙才新(LUO Bing, SUN Cai-xin). 变压器局部放电在线监测的非磁性芯棒式电流传感器的研究(Study on Non-magnetism Mandril CT for PD Monitoring in Power Transformer) [J]. 电工技术学报(Transactions of China Electrotechnical Society), 1995, 4: 30-34.
- [7] 马卫平,董旭柱(MA Wei-ping, DONG Xu-zhu). 大型变压器局部放电在线监测系统研究(Study on PD Monitoring System in Big Power Transformer) [J]. 中国电力(Electric Power), 2000, 33(4): 35-37.
- [8] 王昌长,王忠东(WANG Chang-chang, WANG Zhong-dong). 局部放电在线监测中的抗干扰技术(Technology of Anti-jamming in PD Monitoring) [J]. 清华大学学报(自然科学版)(Journal of Tsinghua University, Natural Science), 1995, 35(4): 69-74.
- [9] 郭俊峰,孙才新(GUO Jun-feng, SUN Cai-xin). 局部放电信号的分层式综合处理技术(Technology of Delamination

- Colligated Processing for PD Signal) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 1999, 25(2): 40-43.
- [10] 张士宝,董旭柱 (ZHANG Shi-bao, DONG Xu-zhu). 局部放电监测中现场干扰的分析与抑制 (Analysis and Restraining for Interference On-site in PD Monitoring) [J]. 清华大学学报 (自然科学版) (Journal of Tsinghua University, Natural Science), 1997, 37(8): 107-110.
- [11] 贾逸梅,粟富珩 (JIA Yi-mei, SU Fu-heng). 在线监测变压器局部放电中的干扰及抗干扰电路 (The Interference and Anti-jamming Circuit in Transformer PD Monitoring System) [J]. 武汉水利电力大学学报 (Journal of Wuhan Water Conservancy and Electric University), 1995, 28(5): 532-535.
- [12] 高宁,朱德恒,谈克雄 (GAO Ning, ZHU De-heng, TAN Ke-xiong). 变压器局部放电在线监测信号中的电磁干扰及抑制 (The EMS Interference and Restraining in Transformer PD Monitoring System) [J]. 电工电能新技术 (New Technolony of Electrician Power), 1999, (4): 23-27.
- [13] 陈艳,周力行 (CHEN Yan, ZHOU Li-xing). 变压器局部放电在线监测中软件抗干扰技术 (Software Restraining Technology in Transformer PD Monitoring System) [J]. 华北电力技术 (North China Electric Power), 2000, (4): 25-28.
- [14] 徐淑珍,秦松林 (XU Shu-zhen, QING Song-lin). 变压器局部放电在线监测中实用抗干扰技术 (Practicality Restraining Technology in Transformer PD Monitoring Systems) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(21): 49-51.
- [15] 孙才新,罗兵 (SUN Cai-xin, LUO Bing). 变压器局部放电电源的电-声和声-声定位法及其评判的研究 (Study of Transformer PD Source Location Method and Judge) [J]. 电工技术学报 (Transactions of China Electrotechnical Society), 1997, 12(5): 49-52.
- [16] Kawasaki Z, Li Jian-min. Localization of Partial Discharges Using Time Difference of Arrival of Radiation Fields Properties and Applications of Dielectric Materials[A]. Proceedings of the 3rd International Conference. 1991. 910-914.
- [17] Akbari A, Werle P, Borsi H, et al. Transfer Function based Partial Discharge Localization in Power Transformers: a Feasibility Study[J]. Electrical Insulation Magazine, IEEE, 2002, 18(5): 22-32.
- [18] Taizawa H, Burani G F. Analysis and Location of Partial Discharges in Power Transformers by Means of Electrical Methods[A]. IEEE Conference, 2001.
- [19] 李福祺,姜磊 (LI Fu-qi, JIANG Lei). 新型固定式变压器放电在线监测系统 (A New Type of Fixed PD Monitoring System for Transformer) [J]. 清华大学学报 (自然科学版) (Journal of Tsinghua University, Natural Science), 1999, 39(7): 5-8.
- [20] 龙庆华,金惠生 (LONG Qing-hua, JIN Hui-sheng). 电力变压器局部放电检测技术及设备的现状与展望 (Actuality and Trend of PD Online Monitoring Technology and Equipment on Power Transformer) [J]. 华南师范大学学报 (自然科学版) (Journal of Southeast China Normal University, Natural Science), 1997, (4): 93-100.
- [21] Lu Y, Tan X, Hu X. PD Detection and Localization by Acoustic — Measurements in an Oil-filled Transformer Science [J]. IEE Proceedings Measurement and Technology, 2000, 147(2): 81-85.
- [22] Kemp I J. Partial Discharge Plant monitoring Technology: Present and Future Developments[J]. IEE Proc Science Measurement Technology, 1995, 142(1): 4210.
- [23] 陈小林,蒋雁,等 (CHEN Xiao-lin, JIANG Yan, et al). 两种超宽带局部放电检测技术对比研究 (Contrastive Study on Two Kinds of Ultra-wideband Techniques of PD Detection) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 2001, 27(1): 6-8.
- [24] 成永红,李伟,等 (CHENG Yong-hong, LI Wei, et al). 超宽带局部放电传感器的研究 (Sensor Study of Ultra-wideband Techniques of PD Detection) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 1998, 24(1): 9-11.
- [25] 成永红,谢恒堃,等 (CHENG Yong-hong, XIE Heng-kun, et al). 超宽带局部放电检测中实时采样技术的研究 (Study of Realtime Sampling Techniques in Ultra-wideband PD Detection) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 1998, 24(3): 10-12.
- [26] 成永红,李伟,等 (CHENG Yong-hong, LI Wei, et al). 典型干扰的超宽带指纹特性的研究 (Study of Finger Mark Character of Representative Interference in Ultra-wideband PD Detection) [J]. 高电压技术 (High Voltage Engineering), 1998, 24(2): 7-9.

收稿日期: 2004-03-05; 修回日期: 2004-05-21

作者简介:

张言苍 (1970 -), 男, 硕士, 工程师, 从事电力系统继电保护、变电站设备自动控制与检测的研究; E-mail: zyc@sac-china.com

张毅刚 (1970 -), 男, 博士, 从事小波在电力系统中的应用的研究;

徐大可 (1973 -), 男, 博士, 从事电力设备在线检测的研究和应用。

Present status and development of PD online monitoring system in power transformer

ZHANG Yancang¹, ZHANG Yir-gang², XU Da-ke¹

(1. Guodian Nanjing Automation Co., Ltd., Nanjing 210003, China; 2. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The research on PD online monitoring system in power transformer is expounded. Several PD detecting methods are evaluated by studying data acquiring, noise rejection, PD localization and data analysis. It points out that, traditional PD detection methods have some disadvantages, such as low measured frequency band, less obtained information and easily interfered from background. Ultrahigh frequency detection also has several disadvantages such as narrow measured band, and losing some characteristic peaks of discharge. Comparing with traditional and ultra-high frequency of PD detection, ultrawideband detecting technique with high measured frequency and wide detected band is helpful to obtain much more information. The characteristics of PD can be studied in the range of ultrawideband in detail. As a result, its prospect and some present research objects are summarized.

Key words: transformer; PD (partial discharge); online monitoring

(上接第 53 页 continued from page 53)

VSC 仍然有一些问题有待解决(如: 阀电压、电流承载能力较低等), 但随着电力电子技术的进一步发展, IGBT 等具有自关断能力的元件的额定容量将不断提高, 性能将不断改进, 价格将不断降低。因此, SVC Light 作为一种新型的无功功率补偿器, 具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] Grunbaum R. SVC Light: a Power Means for Dynamic Voltage and Power Quality Control in Industry and Distribution [J]. Eighth International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives, 2001, 475:404-409.
- [2] 马林, 俞晓荣, 等 (MA Lin, YU Xiaorong, et al). 电压源型 AC/DC 换流器的运行机理和特性分析 (Operational Mechanism and Characteristics Analysis of Voltage Source AC/DC Converters) [J]. 继电器 (Relay), 2002, 30(10):47-50.
- [3] 王凤川 (WANG Fengchuan). 电压源换流器式轻型高压直流输电 (Light HVDC Based on Voltage Sourced Converters) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 1999, 23(4):74-76.
- [4] 束洪春, 王晶, 等 (SHU Hongchun, WANG Jing, et al). VSC 的 FACTS 元件对动态电能质量的影响 (Study on

Impacts on VSC-based HVDC Upon Dynamic Power Quality)

[J]. 华北电力大学学报 (Journal of North China Electric Power University), 2003, 30(3):1-8.

- [5] Grunbaum R. Enhancing of Power Quality and Availability in Distribution System by Means of Voltage Source Converters [A]. 16th International Conference and Exhibiton on IEE. 2001. 2:18-12.
- [6] 高师湃, 等 (GAO Shi-pai, et al). 闪变测试系统研究 (Study on Voltage Flicker Measurement Systems) [J]. 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), 2002, 22(5):22-25.
- [7] Larsson T, Grunbaum R. SVC Light: A Utility's Aid to Restructuring Its Grid [J]. Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE. 2000. 4:2577-2581.

收稿日期: 2004-03-18; 修回日期: 2004-05-21

作者简介:

李晓华 (1974 -), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统无功补偿和电压无功优化; E-mail: lixiaohua96@126.com

厉吉文 (1962 -), 男, 教授, 博士生导师, 从事电力系统无功补偿和电压无功优化方面的研究工作;

阎振坤 (1979 -), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统无功补偿和电压无功优化。

A novel low harmonic static reactive power compensator

LI Xiaohua, LI Jiwen, YAN Zhenkun, LU Hongtao

(School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

Abstract: The paper describes a new product on the market: SVC Light, which is a reactive power compensator based on the VSC and PWM technology. The performance of SVC Light superior to other available applications is: compensating reactive power quickly and exactly almost without producing harmonics, which can keep power system voltage steady, and mitigate voltage flickering.

Key words: VSC; IGBT; SVC Light; flicker