

特快速暂态过电压光学测量系统的设计

邱进^{1,2}, 阮江军¹, 吴士普², 毛安澜², 徐思恩², 王玲², 张峰³

(1. 武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072; 2. 中国电力科学研究院, 湖北 武汉 430074;

3. 南瑞航天(北京)电气控制技术有限公司, 北京 100085)

摘要: 提出一种应用 Pockles 效应的特快速暂态过电压(VFTO)光学测量方法。通过光学敏感头感应一次 VFTO 信号, 并将电压的变化信息通过光缆传输至电气单元进行解析, 最终得到实际电压。该传感器采用光学测量方式, 具有可靠性高、抗干扰能力强、测量精度高、测量频带宽的优点。设计制作的新型光学传感器的低频截止频率低于 10 Hz, 高频截止频率高于 1 GHz。对隔离开关操作所引发的 VFTO 进行了测量试验, 通过同步触发装置同时采集两侧安装的光学传感头和电容式传感头信号, 对比验证了 VFTO 光学测量方法的可行性。试验结果表明: 光学测量方式与电容式测量方式均反映了刀闸分合闸的过程, 2 种方式的分合闸持续时间测量结果吻合较好; 电容式测量方式测得的 VFTO 振荡幅度明显小于光学方式的测量结果, 光学测量方式在高频段性能要优于电容式测量方式。

关键词: 特快速暂态过电压; 气体绝缘开关设备; 光学传感器; 光学测量; 频带; 电容式测量

中图分类号: TM 835

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2017.02.031

0 引言

特快速暂态过电压 VFTO (Very Fast Transient Over-voltage) 是超/特高压气体绝缘开关设备 GIS (Gas Insulated Switchgear) 设计和运行中十分关心的问题, VFTO 信号具有幅值高、陡度大、频率高的特点^[1-7], 会引起 GIS 主回路的对地故障, 还会造成相邻设备的绝缘损坏。电力设备的电压等级越高, 其绝缘裕度就会越低, VFTO 造成危害的可能性也会越大^[8-14]。由于 VFTO 仿真模型还不完善, 难以给出准确的计算结果, 因此需要进行 VFTO 测量。

近年来, 很多研究机构都对 GIS 内部 VFTO 测量技术进行了研究^[15-22], 主要有微积分法和电容分压法。西安交通大学采用在盆式绝缘子表面加装测量电极, 再通过微积分电路的方法测量引出信号。该方法测量安装方便, 对现场运行没有影响, 但是要求盆式绝缘子无金属屏蔽, 因此应用受到限制。电容分压窗口式传感器法^[23]是在 GIS 手窗位置预先安装感应电极, 与 GIS 高压导杆之间构成一个杂散电容, 同时与 GIS 接地外壳构成一个电容, 实现电容分压。现有的窗口式传感器法采用绝缘膜或集中参数电容制作低压臂电容, 其中绝缘膜很薄, 使传感器的制作过程对手工艺的依赖性很大, 且温度和湿度的变化会对传感器的性能造成影响; 采用集中参数电容器制作低压臂电容的方式虽然在一定程度上提高了系统稳定性, 但由于其采用电容分压的原理,

测量带宽受限。

针对上述电容式传感器存在的问题, 本文提出了一种应用 Pockles 效应的 VFTO 光学测量传感器, 该传感器采用光学测量的方式, 综合利用了光纤传感技术和先进的光电子生产、控制技术, 很好地克服了其他原理传感器的缺点。本文对传感器的带宽、性能进行了试验分析, 验证了光学方式测量 VFTO 的可行性。

1 传感器设计

1.1 传感器原理

VFTO 光学测量技术的原理是依据 Pockels 效应, Pockels 效应是指某些晶体材料在外加电场作用下, 其折射率随外加电场发生变化的一种现象, 亦称为线性电光效应^[24]。利用偏振光在外电场的作用下经过 Pockels 晶体时, 其偏振角度将发生变化的原理, 通过光学元件, 将相位变化转化为光强的变化, 从而实现待测场强值与光强值的对应。

Pockels 效应原理如图 1 所示, 发光二极管 LED 通过光纤与光纤准直器的输入端连接, 光纤准直器将入射光转变为平行光, 通过起偏器形成线偏振光, 再经 1/4 波片分解为 2 束振动方向相互垂直、相差为 90° 的线偏振光并入射到 BGO 晶体上, 经过 BGO 晶体产生由高压电场引起的相差, 最后将 BGO 晶体的 2 路出射光通过检偏器由相位变化转化成光强变化, 再分别通过第二光纤准直器、第三光纤准直器经光纤传输至二次光学元件中。其中发光二极管 LED 为高辐射率小型密封的带尾纤光纤中心波长为 850 nm、频谱宽度小于 70 μm 的红外光; 红外光的中心

收稿日期: 2015-11-17; 修回日期: 2016-10-21

基金项目: 国家电网公司科技项目 (GY71-14-080)

Project supported by the Science and Technology Program of SGCC (GY71-14-080)

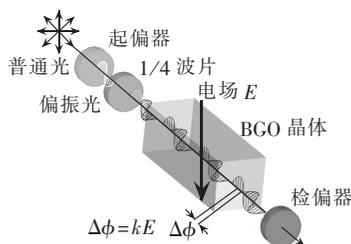


图 1 Pockels 效应原理图

Fig.1 Schematic diagram of Pockels effect

波长变化不超过 2 nm, 温度变化不超过 5 ℃。本传感单元使用的 BGO 晶体的透光区为 $0.37 \mu\text{m} \times 0.37 \mu\text{m}$, 厚度 $0.63 \mu\text{m}$, 传感单元安装方向为晶体方向与导体方向平行, 即采用横向调制方式。

依据上述 Pockels 效应原理制作的 VFTO 光学测量传感器结构如图 2 所示, 光学电压传感头放置在探头表面的中心位置, 光学电压传感头所粘接的光纤依次通过探头、探头支撑、光纤气密引出装置、光纤保护盒至电气单元。高压母线与光学电压传感头或探头的高度可以通过调节探头支撑的高度来进行灵活调整, 达到调节传感器灵敏度的目的。

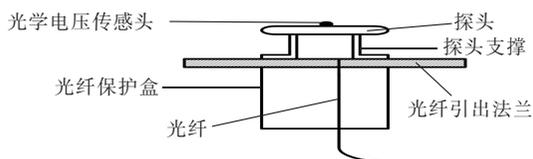


图 2 VFTO 光学测量传感器结构图

Fig.2 Structure of optical VFTO sensor

由于设计的传感器通过 GIS 手孔嵌入安装测量 VFTO 信号, 需考虑传感器气密性问题。VFTO 光学测量传感器剖面图如图 3 所示。光纤气密引出装置主要包括金属化光纤、金属管、密封圈、光纤引出法兰和光纤穿孔孔。光纤引出法兰的中心设有通孔, 光纤引出法兰与探头支撑连接端的端面四周设有一圈环绕探头支撑且与光纤引出法兰同轴的环状凹槽, 光纤引出法兰可承受 20 个大气压。光纤为尾纤经过金属化封装后形成的金属化光纤; 金属化光纤外部套有金属管, 金属化光纤与金属管之间通过金属焊料焊接在一起, 金属管穿过光纤引出法兰中心的通孔将金属化光纤引出; 通孔与金属管之间的空隙采用 353ND 双组酚环氧树脂灌封胶固化, 使得 353ND 双组酚环氧树脂完全填充在光纤穿孔孔的空

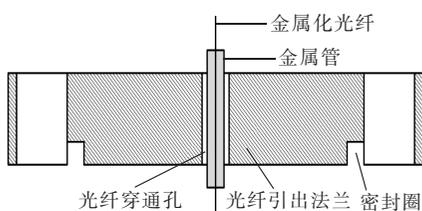


图 3 VFTO 光学测量传感器剖面图

Fig.3 Section of optical VFTO sensor

隙。光纤气密引出装置的光纤引出方法采用了光纤金属化封装技术, 该技术避免了因 GIS 腔体与外界环境存在的气压差所造成的光纤引出端气体泄漏, 确保了 GIS 系统的抗压强度和绝缘性能。高压母线与光学电压传感头之间无需任何骨架支撑, 设计结构简单, 消除了附属支撑物引起的局部放电现象及绝缘耐电压问题。

1.2 高压一次侧结构设计

VFTO 光学测量仪将采用嵌入式安装方式, 实现光学电压传感头对 GIS 中的 VFTO 的测量, 高压一次侧结构设计如图 4 所示。光学电压传感头采用前述设计方案, 对光缆输出接口和安装方向有特殊要求。光缆输出接口采用插拔式光缆接头, 光缆为四芯光缆, 接头为普通防水接头。传感单元安装方向保证晶体方向与导体方向平行。电气单元主要包括光源驱动电路、宽带光探测器和供电电源, 其中宽带光探测器的对外接口转接至机箱壳体上, 供电电源为光源和光探测器提供电能。电气单元与传感单元通过 3 根传输光纤连接, 其中上行光纤(由电气单元输出至传感单元)输出普通光, 下行光纤(由传感单元输入至电气单元)输出两者之间存在的相位差、偏振方向互成 90° 的调整光。考虑现场复杂的电磁环境对传感头及光纤信号传输影响较小, 抗电磁干扰方面主要是将电气单元整体置于屏蔽箱中, 并采用蓄电池逆变供电。

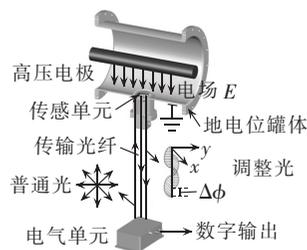


图 4 VFTO 光学测量传感器高压一次侧结构设计

Fig.4 Structural design of high-voltage side of optical VFTO sensor

VFTO 光学测量系统由光学电压传感头、电气单元组成, 光学电压传感头安装在一次侧, 电气单元位于二次侧, 电气单元中包含光电解调模块, 用于数据输出。VFTO 光学测量系统技术参数如表 1 所示。

表 1 VFTO 光学测量系统技术参数

Table 1 Technical parameters of optical VFTO measuring system

参数	典型值	参数	典型值
-3 dB 带宽 / GHz	>0.5	数据采集精度 / 位	12
输出信号上升时间 / ns	0.3	采样率(可选) / (GS·s ⁻¹)	1.8
光缆长度 / m	20	工作供电电压 / V	220
测量准确度 / 级	3		(交流)

1.3 VFTO 光学测量系统测试方案

VFTO 光学测量传感器的光学传感部分是基于

Pockels 效应光学测量原理的,电气单元中的光接收模块负责接收光信号,并将电信号以模拟或数字电压信号的形式输出,模拟信号可直接输出至高速示波器,如图 5 所示。采用该方案需要考虑示波器的供电和接地问题。

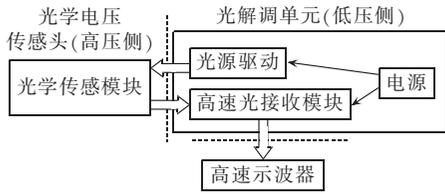


图 5 高速示波器数据采集方案

Fig.5 Scheme of data acquisition by high-speed oscilloscope

为了便于对 VFTO 的测量数据进行分析,可进一步将模拟信号转换成数字信号,然后进行存储、显示和分析。其系统方案如图 6 所示。

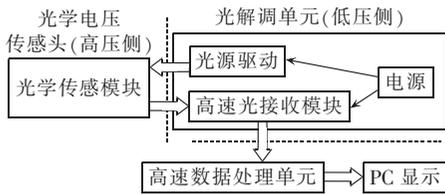


图 6 高速数据存储、分析、显示方案

Fig.6 Storage, analysis and display scheme for high-speed data

其中,数字采集部分可以采用 12 位超高速 1.8 GS/s PCI 数据采集卡,其安装在工控机内,有专用的数据采集分析软件(LabVIEW 平台),可对数据进行采集、处理和分析。

1.4 系统安装

为了充分了解 VFTO 在 GIS 中的传播分布特性,为 VFTO 仿真建模提供依据,在国网特高压交流试验基地 330 kV GIS 试验平台上进行了 VFTO 测量试验,安装示意图如图 7 所示。测量系统通过同步触发装置触发示波器记录同一时刻对侧安装的 VFTO 光学测量传感器和电容式 VFTO 测量传感器测量的 VFTO 信号。触发装置外接天线检测隔离开关分合过程中产生的电磁波,并将其转化成能触发示波器的电平信号。

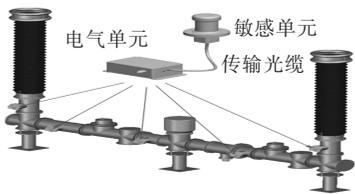


图 7 光学电压传感头在 VFTO 试验平台中的安装

Fig.7 Optical voltage sensing head installed on VFTO test platform

2 VFTO 光学测量系统验证测试

2.1 光路测试

光路测试系统连接图如图 8 所示,光源为整个光路系统提供光信号,信号源产生的 0~2.5 GHz 单频正弦信号施加于光学电压传感头之上,通过安捷伦光口示波器接收调制之后的光信号。

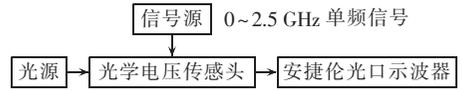


图 8 光路测试系统连接图

Fig.8 Connection diagram of optical path test system

在上述试验条件下,施加 1 GHz、峰值 10 V 的信号源,得到的光路响应如图 9 所示。经过光口示波器内的光电转换,测量得到输出信号的频率为 1 GHz、峰值为 10mV,波形完整清晰。因此,可以判断本光路系统的带宽可以达到 1 GHz 以上。

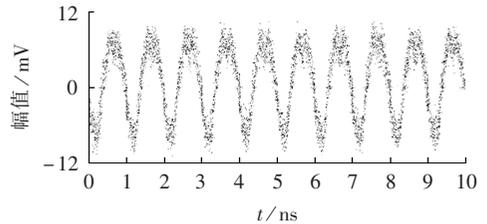


图 9 1 GHz 信号源下的光路响应

Fig.9 Response of optical path to 1 GHz signal source

2.2 实验室环境下低频性能测试

在实验室条件下对 VFTO 光学测量系统的高速探测器进行如下测试:如图 10 所示,安捷伦信号发生器产生 1 Hz~20 MHz、10 V 的单频电压信号,施加在 VFTO 光学电压传感头上,再由电气单元进行光电解调转换,输出至高速采集卡(采集卡安装于电脑主机),经上位机软件显示数据波形及其有效值,模拟对高频电压信号的测量。根据测试结果绘制高速探测器从 1 Hz~20 MHz 的频率响应曲线如图 11 所示。



图 10 低频性能测试系统连接图

Fig.10 Connection diagram of low-frequency performance test system

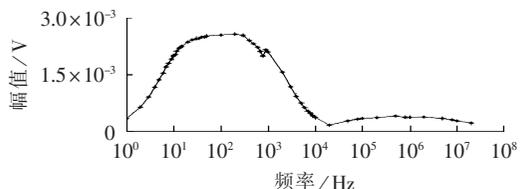


图 11 光学传感器低频响应曲线(1 Hz~20 MHz)

Fig.11 Low-frequency response curve of optical sensor(1 Hz~20 MHz)

由上述结果可以看到,在 1 Hz~10 kHz 频率范围内,可拟合探测器响应曲线如下:

$$\begin{cases} u=p_1x^2+p_2x+p_3 \\ p_1=-0.0006163 \\ p_2=0.002496 \\ p_3=6.173\times 10^{-5} \\ x=\lg f \end{cases}$$

其中, u 为探测器输出幅值; f 为输入信号的频率。

在 10 kHz~20 MHz 频率范围内,探测器增益比较稳定,可用直线来代替。

对于上述试验的结果,输出信号幅值的数量级在 10^{-4} ~ 10^{-3} V 之间,光学传感元件所在位置的电场强度为 2 V/mm。实际应用中,预计被测信号的幅值将达到 1~2 kV,此时相应的电场强度为 400 V/mm。所以测量得到的信号幅值也会放大 200 倍,达到数百 mV 数量级,信号可以通过示波器很容易观察到,测量结果的信噪比可以得到极大改善。通过探测器增益曲线就可以反算出实际电压值。

2.3 实验室环境下高频性能测试

实验条件下 VFTO 光学传感器高频信号的频率响应曲线如图 12 所示,高频信号的频率响应增益如表 2 所示。

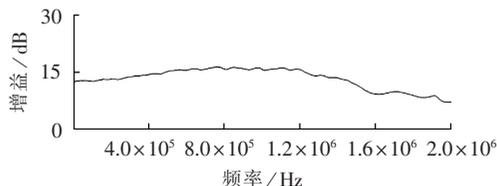


图 12 光学传感器高频响应曲线

Fig.12 High-frequency response curve of optical sensor

表 2 光学传感器高频响应增益

Table 2 High-frequency response gains of optical sensor

序号	频率/Hz	增益/dB	序号	频率/Hz	增益/dB
1	50	12.752	6	9.56916×10^5	15.871
2	1.5403×10^5	13.016	7	1.195×10^6	15.700
3	3.3691×10^5	13.932	8	1.391×10^6	13.515
4	5.6097×10^5	15.513	9	1.541×10^6	10.366
5	7.7298×10^5	16.295			

由图 12 及表 2 的结果可看出,高速探测器在 154.03 MHz~1.4 GHz 的频率范围内,电压信号的最大增益为 16.295 dB(对应的频率为 772.98 MHz),最小增益为 13.016 dB(对应的频率为 154.03 MHz),因此该高速探测器的 -3 dB 带宽约为 1.4 GHz。

3 性能试验与分析

基于光学测量的原理可知,温度、湿度和振动对测量传感器的影响微乎其微。为研究所设计的测量系统的实际性能,在 GIS 试验平台上对侧安装 VFTO

光学电压传感头和电容式 VFTO 传感头。

对隔离开关进行多次分合试验产生 VFTO 信号,通过同步触发装置同时测量 2 种传感器的实测波形,如图 13、14 所示。

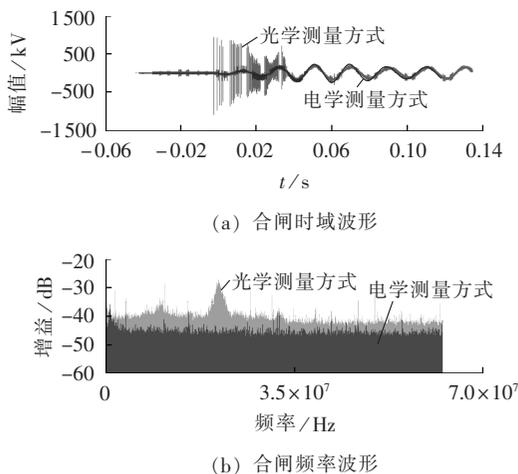


图 13 2 种测量方式合闸过程测量结果对比图
Fig.13 Comparison of measurements between two measuring methods for close operation

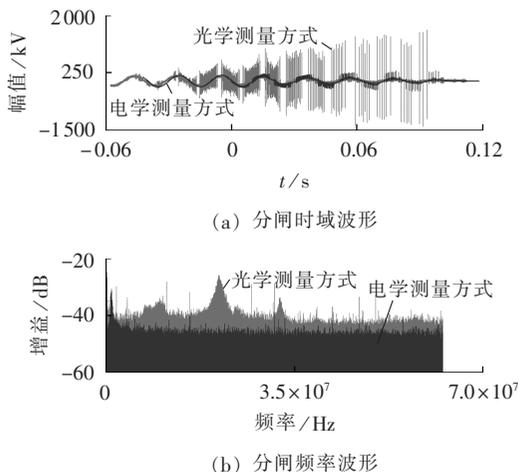


图 14 2 种测量方式分闸过程测量结果对比图
Fig.14 Comparison of measurements between two measuring methods for open operation

由图 13、14 可见,光学测量方式与电学测量方式均反映了刀闸分合闸的过程,2 种方式的分合闸持续时间测量结果吻合较好。

对比图中的时域波形可以看出,电容式测量 VFTO 的方式测得的 VFTO 振荡幅值明显小于光学方式的测量结果。

在同等测试带宽条件下,可以看出,光学测量方式 VFTO 的频谱不仅能涵盖电学测量 VFTO 的频谱范围,且具有更高的频谱分辨率,同时光学测量方式的频谱范围更广。分析其原因,电学测量方式采用的是电容测量,电容的带宽限制导致其高频响应较差,高频分量的衰减导致在时域内的 VFTO 振荡幅值减小。

4 结论

本文提出了一种基于无源光学测量方法的 VFTO 光学测量传感器,不需要电容分压,直接通过零电位电场测量实现高频 VFTO 测量,具有优异的高带宽测量性能,且与一次 GIS 组合安装方便,同时又具有安全、可靠、抗干扰、非介入式测量的特点。试验结果表明:采用光学方式对 GIS 中存在的 VFTO 信号进行测量是一种可行的方式。经过 VFTO 光学测量传感器的性能测试验证,该系统具有足够的测量带宽,能够实现宽频域 VFTO 波形测量。由高频高压信号源引起的测量标定问题后续还需要开展进一步研究。

参考文献:

- [1] MURASE H, OHSHIMA I, AOYAGI H, et al. Measurement of transient voltages induced by disconnect switch operation [J]. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1985, 104(1): 157-165.
- [2] MEPELINK J, DIEDERICH K, FESER K, et al. Very fast transients in GIS [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, 4(1): 223-233.
- [3] 岳功昌, 刘卫东, 陈维江. 气体绝缘开关设备中特快速瞬态过电压的全过程测量方法 [J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(31): 18-27.
YUE Gongchang, LIU Weidong, CHEN Weijiang. Measurement methods of very fast transient overvoltage in gas insulated switchgear with complete process [J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(31): 18-27.
- [4] 周浩, 李济沅, 王东举, 等. ± 800 kV 特高压直流输电线路单极接地故障过电压产生机理及影响因素 [J]. 电力自动化设备, 2016, 36(4): 1-6.
ZHOU Hao, LI Jiyuan, WANG Dongju, et al. Overvoltage generation mechanism during single-pole grounding fault of ± 800 kV UHVDC transmission lines and its influencing factors [J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(4): 1-6.
- [5] 郭洁, 刘振, 赵丹丹, 等. 750 kV GIS 中运行方式对快速暂态过电压的影响 [J]. 电网技术, 2008, 32(增刊 2): 233-235.
GUO Jie, LIU Zhen, ZHAO Dandan, et al. Influence of operation modes to very fast transient voltage in 750 kV GIS [J]. Power System Technology, 2008, 32(Supplement 2): 233-235.
- [6] 尹晓芳, 于力, 刘广维. 封闭式组合电器隔离开关产生的过电压 [J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(7): 111-114.
YIN Xiaofang, YU Li, LIU Guangwei. Overvoltage from gas insulated switchgear disconnecter [J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 111-114.
- [7] 史保壮, 李智敏, 张文元, 等. 超高压 GIS 中快速暂态过电压造成危害的原因分析 [J]. 电网技术, 1998, 22(1): 1-3.
SHI Baozhuang, LI Zhimin, ZHANG Wenyuan, et al. Analysis of the reason why VFTO may endanger GIS above 300 kV [J]. Power System Technology, 1998, 22(1): 1-3.
- [8] 邵冲, 杨钰, 王赞基. GIS 开关电弧建模及其对 VFTO 波形的影响 [J]. 电网技术, 2010, 34(7): 200-205.
SHAO Chong, YANG Yu, WANG Zanji. Modeling of GIS switching arc and its effect on VFTO waveforms [J]. Power System Technology, 2010, 34(7): 200-205.
- [9] 邓军, 肖遥, 楚金伟, 等. ± 800 kV 广广特高压直流线路合成电场仿真计算与测试分析 [J]. 电力自动化设备, 2015, 35(2): 125-132.
DENG Jun, XIAO Yao, CHU Jinwei, et al. Simulative calculation and measurement analysis of total electric field for ± 800 kV Yunnan-Guangzhou UHVDC transmission lines [J]. Electric Power Automation Equipment, 2015, 35(2): 125-132.
- [10] 卢铁兵, 崔翔. 变电站空载母线波过程的数值分析 [J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 39-42.
LU Tiebing, CUI Xiang. Numerical analysis of wave processes for buses without load in substations using FDTD [J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(6): 39-42.
- [11] 林萃, 李爽, 徐建源, 等. 考虑 GIS 外壳传输特性的 VFTO 计算模型 [J]. 电网技术, 2010, 34(11): 203-207.
LIN Xin, LI Shuang, XU Jianyuan, et al. Calculation model of VFTO considering transmitting characteristics of GIS enclosure [J]. Power System Technology, 2010, 34(11): 203-207.
- [12] 马国明, 李成榕, 全江涛, 等. 采用套管传感器测量变压器线端快速暂态过电压的方法 [J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(33): 122-128.
MA Guoming, LI Chengrong, QUAN Jiangtao, et al. Measurement of VFTO on transformer entrance with transformer bushing sensor [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(33): 122-128.
- [13] 项祖涛, 刘卫东, 钱家骊, 等. 磁环抑制 GIS 中特快速暂态过电压的模拟试验和仿真 [J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(19): 101-105.
XIANG Zutao, LIU Weidong, QIAN Jiali, et al. Simulation test and computation of suppressing very fast transient overvoltage in GIS by magnetic rings [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(19): 101-105.
- [14] POVH D, SCHMITT H, VALCKER O, et al. Modelling and analysis guidelines for very fast transients [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1996, 11(4): 2028-2035.
- [15] OSMOKROVI P, PETKOVI D, MARKOVI O. Measuring probe for fast transients monitoring in gas insulated substation [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1997, 47(1): 36-44.
- [16] KUMAR V V, THOMAS J. Capacitive sensor for the measurement of VFTO in GIS [C] // Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering. London, UK: IEEE, 1999: 156-159.
- [17] 史保壮, 张文元, 邱毓昌. 测量气体绝缘变电站中快速暂态过电压的微分积分方法 [J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(5): 59-61, 29.
SHI Baozhuang, ZHANG Wenyuan, QIU Yuchang. Differentiating/integrating system for the measurement of very fast transient overvoltages in GIS [J]. Proceedings of the CSEE, 1999, 19(5): 59-61, 29.
- [18] 欧阳佳, 刘金亮, 田亮, 等. 纳秒级不同脉宽的信号对电容分压器的影响 [J]. 高电压技术, 2004, 30(12): 42-44.
OUYANG Jia, LIU Jinliang, TIAN Liang, et al. Influence of different input signals with nanosecond pulsewidth on capacitive voltage divider [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(12): 42-44.
- [19] 卫兵, 傅贞, 王玉娟, 等. 脉冲功率装置中电容分压器的设计 and 应用 [J]. 高电压技术, 2007, 33(12): 39-43.
WEI Bing, FU Zhen, WANG Yujuan, et al. Design and per-

- formance of capacitive divider for high-voltage pulse measurement [J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(12): 39-43.
- [20] SEEGER M, BEHRMANN G, CORIC B, et al. Application of electrical field sensors in GIS for measuring high voltage signals over the frequency range 10 Hz to 100 MHz [C] // Eleventh International Symposium on High Voltage Engineering, London, UK; IEEE, 1999: 292-296.
- [21] 任稳柱, 冯建华, 葛震, 等. 800 kV 标准冲击电压测量系统及其不确定度的评定 [J]. 计量学报, 2008, 29(2): 153-158.
REN Wenzhu, FENG Jianhua, GE Zhen, et al. 800 kV standard impulse voltage measuring system and the uncertainty of evaluation [J]. Acta Metrologica Sinica, 2008, 29(2): 153-158.
- [22] 冯慈璋. 电磁场 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 1988: 139-142.
- [23] 岳功昌, 刘卫东, 陈维江, 等. 特高压气体绝缘组合开关设备中特快速瞬态过电压测量系统的标定 [J]. 高电压技术, 2012, 38(2): 342-349.
YUE Gongchang, LIU Weidong, CHEN Weijiang, et al. Calibration of very fast transient overvoltage measurement system for ultra high voltage gas insulated switchgear [J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(2): 342-349.
- [24] KANOI M, TAKAHASHI G, SATO T, et al. Optical voltage and current measurement system for electric power system [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1986, 1(1): 91-97.

作者简介:



邱进

邱进(1981—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: qiujin@epri.sgcc.com.cn);

阮江军(1968—),男,浙江绍兴人,教授,博士研究生导师,博士,研究方向为高压与绝缘技术、电工理论与新技术;

吴士普(1978—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: wushipu@epri.sgcc.com.cn);

毛安澜(1981—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: maoanlan@epri.sgcc.com.cn);

徐思恩(1981—),男,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: xusien@epri.sgcc.com.cn);

王玲(1983—),女,湖北武汉人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: wangling@epri.sgcc.com.cn);

张峰(1981—),男,北京人,高级工程师,硕士,主要从事高压电器方面的研究工作(E-mail: zhifeng@163.com)。

Design of optical VFTO measuring system

QIU Jin^{1,2}, RUAN Jiangjun¹, WU Shipu², MAO Anlan², XU Sien², WANG Ling², ZHANG Feng³

(1. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China;

3. NAE(Beijing) Electric Control Technology Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: An optical method of VFTO (Very Fast Transient Over-voltage) measuring based on Pockels effect is proposed. The primary signals of VFTO is acquired by the optical sensing head and transmitted via optical cable to the electric cells, where they are analyzed for obtaining the actual voltage. The optical sensor has high reliability, strong anti-interference ability, high measurement accuracy and wide frequency band. The low cut-off frequency of the designed optical sensor is lower than 10 Hz and its high cut-off frequency is higher than 1 GHz. A test system is applied to measure the VFTO generated by isolator operation, which collects the signals synchronously acquired by both optical sensor and capacitor-type sensor. Comparison of the measured waveforms verifies the feasibility of the designed optical measuring method of VFTO. The test results show that, both the capacitance measurement method and the optical measurement method reflect the process of breaker close/open operation; the close/open operation durations measured by both methods match well; the VFTO oscillation amplitude measured by capacitance measurement method is obviously smaller than that of optical measurement method; and the measuring performance of optical measurement method in high-frequency band is better than that of capacitance measurement method.

Key words: very fast transient over-voltage; gas insulated switchgear; optical sensor; optical measuring; frequency band; capacitance measurement