

温度对典型光学电压互感器误差特性影响的研究

陈刚, 陈铭明, 徐敏锐, 赵双双

(江苏省电力公司电力科学研究院 国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏南京 211103)

摘要: 光学电压互感器容易受到温度影响, 其误差特性是实际工程应用关注的焦点。文中首先介绍了几种典型原理的光学电压互感器, 建立了光学电压互感器试验平台及试验方案, 并针对已经实用化的2种原理的光学电压互感器开展了温度影响试验, 提出了电容分压原理的光学电压互感器温度性能较好的观点。

关键词: 光学电压互感器; 误差特性; 温度

中图分类号: TM451

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)06-0065-03

随着国网公司智能变电站建设工作的展开^[1], 光学电压互感器已在智能变电站逐步得到应用, 如2011年4月18日安徽桓谭110 kV智能变电站投运在世界首次应用110 kV全光学电压互感器, 我省已经投运的常熟南智能变电站也采用了光学电压互感器。光学电压互感器误差特性和传统的电磁或电容式电压互感器有很大区别, 同时目前光学电压互感器的实现原理上有多种, 其误差特性易受温度影响, 而目前对于光学电压互感器的测量性能研究分析工作大都停留在理论分析和试验室测试上, 其在工程应用中的试验与分析评价方法还很缺乏, 迫切需要进行试验检测分析来论证研究分析的结果, 并解决光学电压互感器运行中的技术指标稳定性等问题。

1 光学电压互感器原理研究

光学电压互感器按照原理不同可分为电容分压原理、Pockels电光效应、Kerr效应等。

1.1 电容分压原理

基于电容分压原理的光学电压互感器主要由电容分压器、电子处理电路和光纤等组成, 原理框图如图1所示。其测量过程如下: 被测高压信号由电容分压器从电网取出, 信号经放大、滤波、A/D转换及电光转换, 以数字光信号的形式送至合并单元, 合并单元首先由电光转换器PIN将光信号转换成电信号, 将串行信号变成并行信号, 并按IEC 61850标准打包将测量结果输出给计量和微机保护设备。

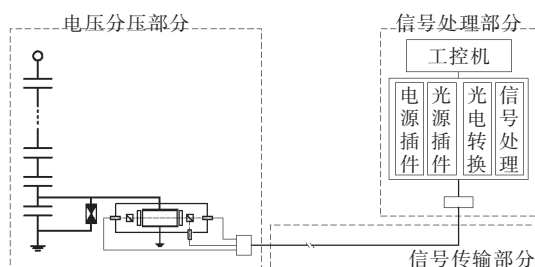


图1 电容分压原理的光学电压互感器

光学电压互感器置于室外运行, 当环境温度变化时, 其电容器的电容量也会发生变化, 从而会对分压比产生影响^[2]。

1.2 Pockels 效应

1893年德国物理学家F.Pockels首先发现电光效应。所谓Pockels电光效应是指某些透明的光学介质在外电场作用下, 其折射率线性地随外加电场而变化。Pockels效应又称线性电光效应。其原理如图2所示。

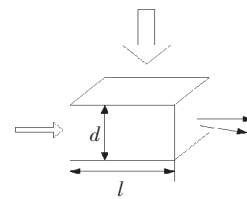


图2 Pockels电光效应原理

若晶体在通光方向长为 l , 则出射的两束光之间的相位差为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_{x_1} - n_{x_2}) l = \frac{\pi}{\lambda} \cdot n_0^3 \gamma_{41} E l \quad (1)$$

或用电压表示为:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot n_0^3 \gamma_{41} \cdot \frac{l}{d} V = \pi \frac{V}{V_\pi} \quad (2)$$

其中:

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{41}} \cdot \left(\frac{d}{l}\right) \quad (3)$$

式(1—3)中: V_π 为使二束光产生 π 相差所需的外加电压, 称半波电压; V 为外加电压; V 为施加电压方向的晶体厚度。

由BGO电光晶体构成的光纤电压传感器如图3所示。它由光纤、准直透镜、起偏器、检偏器、1/4玻片、电光晶体和耦合透镜通过光学胶(如紫外光学胶或A+B光学胶)黏接而成, 因不同材料具有不同温度系数, 当温度在较大范围($-40 \sim +70^\circ\text{C}$)变化时, 各元件的收缩或膨胀变形不一致, 从而引起光路系统中光的耦合效率发生变化, 导致输出光功率的波动, 则导致测量误差^[3]。

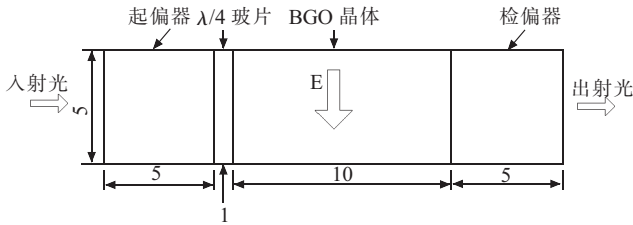


图3 光纤电压传感器结构示意图

1.3 Kerr 效应

1875年苏格兰物理学家 J.Kerr 发现某些本来是各向同性的介质在外加电场的作用下变成各向异性的介质,从而产生双折射,这种效应就是 Kerr 效应。实验表明,Kerr 效应中外电场的方向相当于介质在外电场作用下所转变成的各向异性晶体的光轴。当光的振动方向与外电场方向一致时,介质的折射率为 n_e , 相互垂直时,射率为 n_o , 外加电场强度为 E , 则:

$$n_o - n_e = K\lambda E^2 \quad (4)$$

式(4)中: λ 为光在真空中的波长; K 为一个常数,称为克尔常数。

通过对折射率引起的相位差的测量来间接测量外加电压。由于折射率之差与外加电场强度的平方成正比,Kerr 效应又称为二次电光效应。Kerr 效应较 Pockels 效应相比要微弱得多,且具有非线性性,因此在实际传感器中应用不多。

2 误差特性试验研究

2.1 试验系统搭建

因为针对各种光学电压互感器的误差特性,需要构建一套能够对光学电压互感器提供一次大电压和二次输出接收与检测的设备系统^[4]。试验系统如图4所示。系统接入工频单相 220 V 电源给升压系统,通过升压系统产生的一次电压 U_1 同时作用于标准电压互感器和光学电压互感器,由标准互感器差生二次电压 U_2 , 输出到高精度模拟量采集板卡(采样频率不低于 50 kHz),ADC 在同步模块 1pps 的控制下,每秒触发一次采集,得到标准源电压值 U_{ref} ; U_1 作用于 OVT 上,由 OVT 感应采集实时电压数据,通过光纤传输到 MU,由 MU 整理后将采集量通过 IEC 61850-9-1, IEC 61850-9-2 或 FT3 传输到光纤收发器,再由 FPGA 数字量接收装置接收。

2.2 试验方案

数字量输出光学电压互感器采用外部同步校验时的接线如图5所示。当采用外部同步方式校验数字量输出光学电压互感器时,如果光学电压互感器校验仪没有同步信号输出功能时,可采用外部同步信号来同步。测量误差时,标准互感器和光学互感器一次极性应同方向,标准互感器二次正极性接入。

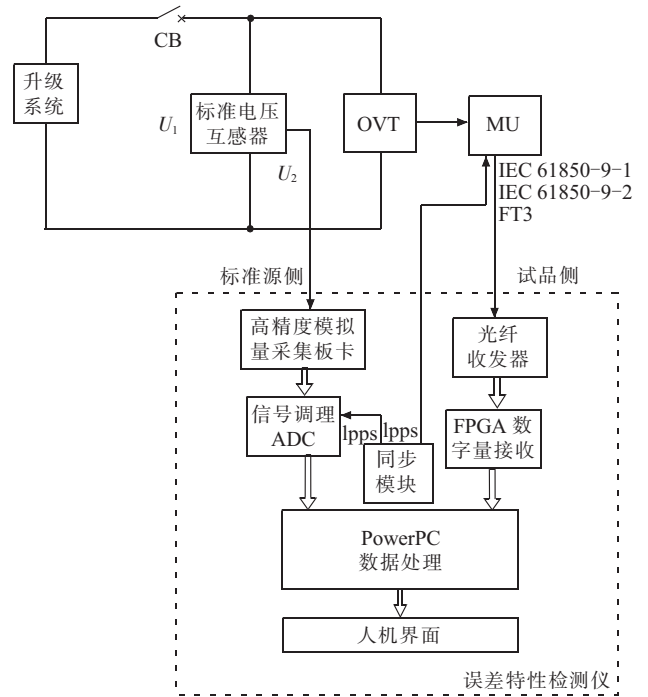
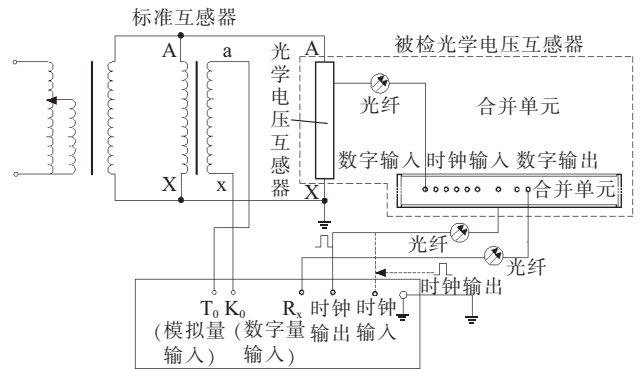


图4 光学电压互感器误差试验系统



- A, X 为电压互感器一次的对应端子;
- B, a, x 为电压互感器二次的对应端子;
- C, T₀, K₀ 为电子式互感器校验仪上的标准器接口;
- D, T_x, K_x 为电子式互感器校验仪上的被试品模拟量接口

图5 数字量输出光学电压互感器校验接线图(外部同步方式)

3 试验过程及结果分析

3.1 电容分压原理光学电压互感器温度影响试验

电容分压原理的光学电压互感器比差随温度变化曲线如图6所示。电容分压原理的光学电压互感器角差随温度变化曲线如图7所示。

在图6、图7中,左坐标轴表示温度,右坐标轴表示比差或角差,横坐标表示测量时刻。从图6、图7可看出,当温度从-40℃变化至70℃时,该互感器比差从-0.12%变化至-0.06%,角差从6'变化至1',符合0.2级互感器误差要求。

3.2 Pockel 效应原理的光学电压互感器试验

对 Pockel 效应原理的光学电压互感器试验结果如图8、图9所示。当温度从-40℃变化到70℃,光学

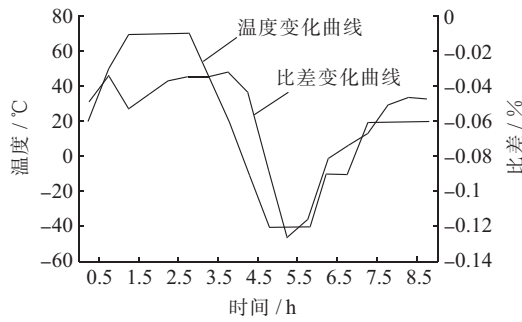


图6 电容分压原理的光学电压互感器比差随温度变化曲线

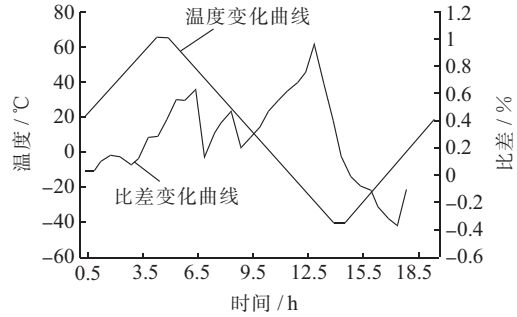


图8 Pockels 效应光学电压互感器比差随温度变化曲线

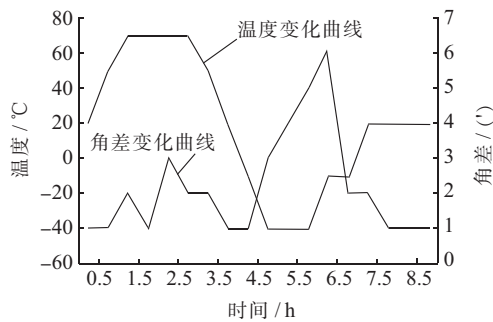


图7 电容分压原理的光学电压互感器角差随温度变化曲线

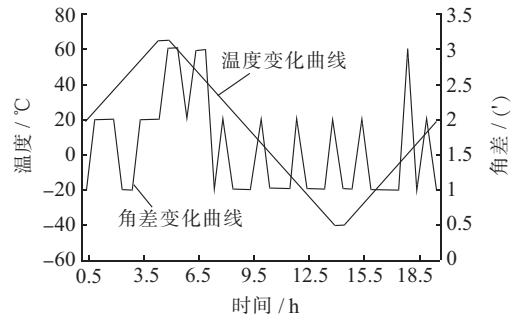


图9 Pockels 效应光学电压互感器角差随温度变化曲线

电压互感器比差从 0.95% 变化到 0.08%，角差在 3' 至 1' 之间变动，按照 0.2 级互感器误差要求，比差已经严重超差。为评估 Pockel 效应原理的光学电压互感器温度性能，在 -40 °C 变化到 70 °C 同时测试了另外 2 台相同原理同一厂家的光学电压互感器，3 台光学电压互感器平均比差变化 1.4%，角差变化 3'，难以满足要求。

4 结束语

分析了光学电压互感器原理，建立了光学电压互感器误差试验系统并对 2 种实用化的光学电压互感器开展了温度影响下的误差对比试验。实验结果表明，温度对 Pockels 光学电压误差影响较大，而电容分压原理的电子式电压互感器温度特性较好。

参考文献：

[1] 陈铭明,卢树峰,包玉树,等. 光学电压互感器实时误差分析系

统的设计[J]. 江苏电机工程,2013,32(2):47-48.

[2] 王红星. 电容分压型光学电压互感器研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学电气工程及其自动化学院,2010.

[3] 李开成,孙健,何昊. 光学电压互感器的误差及误差抑制方法研究[J]. 电测与仪表,2013,50(11):1-3.

[4] 李开成,李振兴,易杨. 电子式互感器校验系统的研究[J]. 电测与仪表,2009,46(12):43-47.

作者简介：

陈刚(1984),男,湖北黄梅人,工程师,从事电能计量方面的研究工作；

陈铭明(1986),男,江苏南通人,工程师,从事电能计量方面的研究工作；

徐敏锐(1976),男,江苏涟水人,高级工程师,从事电能计量方面的研究工作；

赵双双(1986),女,江苏徐州人,工程师,从事电能计量方面的研究工作。

Research on the Effect of Temperature on Typical Optical Voltage Transformer Error Characteristics

CHEN Gang, CHEN Mingming, XU Minrui, ZHAO Shuangshuang
(Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute

State Grid Laboratory of Electric Energy Measurement, Nanjing 211103, China)

Abstract: Optical voltage transformer is susceptible to temperature. Therefore, the error characteristic of optical voltage transformer has been attracting many attentions. This paper introduced several typical optical voltage transformer, established the test platform and programs for optical voltage transformers. Temperature impact tests have been carried out for two kinds of optical voltage transformers which are used in practice. Based on the tests, we found that optical voltage transformer based on capacitive voltage divider principle performances better in terms of temperature impacts.

Key words: optical voltage transformer; error characteristics; temperature