

基于新型LVQB型电流互感器的CVT在线校验方法研究

邵明鑫^{1,2}, 王晓琪^{1,2}, 吴细秀³, 周 纯³, 汪本进^{1,2}, 杜 砚^{1,2}

(1. 中国电力科学研究院, 武汉 430074; 2. 国网高压电气设备运行性能评估实验室, 武汉 430074;

3. 武汉理工大学, 武汉 430074)

摘要: 目前CVT误差校验的主要方法为离线校验法,存在着校验工作量庞大以及校验结果偏离CVT在线状态下的实际值等问题。笔者提出了一种利用在运容性设备协助CVT进行在线校验误差的新方法。在变电站中大量使用的LVQB型电流互感器结构基础上,设计改造使其具备高压标准电容器功能,通过在其末屏接地线处串入低压标准电容器和电子分压器组成标准电容分压器,即可实现对CVT误差的在线校验。这种新型在线校验方法规避了在变电站在线直接投切标准电容分压器的风险,同时在完成对站内CVT的校验工作之后,恢复LVQB型电流互感器的正常接地,不影响LVQB型电流互感器的正常工作。随着该方法的大量应用,CVT的在线误差校验将取代繁琐的离线校验,同时也为下一步电力设备的在线检修奠定了基础。

关键词: 电容式电压互感器; LVQB型电流互感器; 在线校验; 高压标准电容器; 标准电容分压器

Investigate on On-line Calibrating Method for CVT by Using a New LVQB Type Current Transformer

SHAO Mingxin^{1,2}, WANG Xiaoqi^{1,2}, WU Xixiu³, ZHOU Chun³, WANG Benjin^{1,2}, DU Yan^{1,2}

(1. China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China; 2. SGCC Key Laboratory of High Voltage Equipment Operating Performance Evaluation Technology, Wuhan 430074, China; 3. Wuhan University of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Off-line calibration is the main method for CVT error checking, which causes a lot of problems such as huge workload and the results deviate from the actual value of the CVT on-line running error. So a kind of new on-line calibration method is proposed in the paper with the help of running capacitive equipment. Based on the common structure of LVQB type current transformer, some changes are done to realize the function of high voltage standard capacitor. By untying the ground wire of reconstructed LVQB type current transformer and series connecting a low-voltage standard capacitor and a voltage divider, a standard capacitor voltage divider can be set up to become an on-line standard device so as to make the on-line calibration of CVT available. The new method avoids the risk of switching the standard capacitor voltage divider directly. When the error calibration work is finished, the ground wire is recovered so the LVQB type current transformer is an ordinary current transformer. With the applications of this method, the on-line error calibrating method will replace the traditional off-line method and provide the basis for on-line maintenance of electrical equipment.

Key words: capacitor voltage transformer; LVQB type current transformer; on-line error calibrating; high voltage standard capacitor; standard capacitor voltage transformer

0 引言

近年来,随着社会经济的发展,中国电力行业

得到了迅速发展,电力系统电压等级不断提高,发电量、用电量剧增,同时随着电力体制改革的推进电能计量的准确性和公正性引起了社会的高度关注^[1-3]。电容式电压互感器(capacitor voltage transformer,

收稿日期:2016-01-09; 修回日期:2016-02-23

基金项目:国家电网公司科技项目。

Project Supported by Science and Technology Program of SGCC.

CVT)是高压计能装置的重要组成部分,高压计量的误差很大程度上与互感器的比例变换部分误差有关。在运行过程中,CVT的电容变化、绝缘老化都会影响其准确性,造成一定的误差,因此需定期对互感器进行校验,判断其是否符合准确度等级要求。

CVT误差校验常规方法是离线校验。离线校验是将需要校验的互感器在离线状态下与标准的电压互感器进行比对校验。数十年来,互感器制造厂、电力系统检测机构都采用电磁式标准电压互感器作为主要检测设备,离线校验可以准确获得CVT的误差特性,但是随着电压等级的提高,电磁式标准电压互感器的制造难度较大,检测成本相对较高^[4-10],并且离线检测拆接线复杂、且耗时费工(工作量大、周期长),有的线路中使用的互感器根本无法停电检测。

目前,中国CVT的误差检测多在离线状态下定期进行预防性检修,但是设备的实际状态可能完全不必做任何维修仍然能继续长时期运行,也有可能没有到检修期就会发生故障^[11-13]。由此可见,离线校验可以反应其误差状态,但不能实时反应设备的运行状态,因此,开展在线校验十分必要。在线校验可以在现场不停电的情况下对CVT进行在线校验,能更合理更真实地反应CVT在实际运行情况下的真实表现,同时也可以缩短CVT的检测周期。在线校验存在的问题是在不停电的情况下进行校验,对校验系统的接线提出了很大的挑战,为解决该问题,笔者提出一种新的校验方法,即利用在运容性设备将其改造成标准电容,解决在线校验接线难的问题,从而使在线校验成为可能。

1 CVT在线校验方法

传统的CVT误差校验方法一般在离线状态下进行,校验用的标准电压互感器为专用设备。但对于CVT的在线校验,在电网在运设备中线上无现成的专用标准电压互感器可选择和使用。借鉴离线方法,在线校验的标准器可选择电磁式电压互感器或电容分压器。

1.1 投切标准电磁式电压互感器

投切标准电磁式电压互感器的校验原理图见图1,采用标准电磁式电压互感器,校验时一次电压相同,二次电压取差值进行误差分析。电磁式标准电压互感器具有精度高、稳定性好等诸多优点,因而在电力系统中得到广泛应用,但这种方法存在的问题是:标准电压互感器在设计时未考虑系统的过电压情况,没有足够大的一次绕组交流阻抗,如接

入系统容易引起较高的系统过电压,极易引起绕组间的匝间击穿,对标准器以及电网的安全运行构成极大威胁。此外,电磁式电压互感器属于感性设备,接入后有可能引起不同设备间的谐振、出现较高的谐振过电压,损坏电力设备。因此,电磁式标准电压互感器从原理上不适合直接投运至新系统中进行校验。

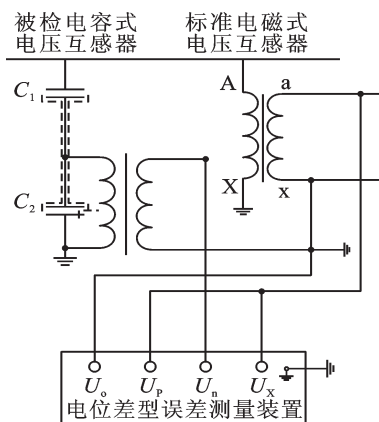


图1 投切标准电磁式电压互感器

Fig. 1 Switching standards electromagnetic potential voltage transformer

1.2 投切标准电容分压器

投切标准电容分压器的校验原理图见图2, CVT的误差来源主要是CVT的电容分压器,该部分由于绝缘老化以及运行环境等问题,其电容值会发生变化,从而影响CVT的变比,因此可以利用标准电容分压器对CVT的电容分压部分进行在线校验。

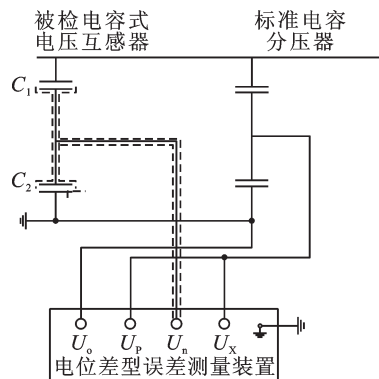


图2 投切标准电容分压器

Fig. 2 Switching standards capacitive voltage divider

标准电容分压器的可靠性较高,由于其高压臂电容量在pF级,接入系统后的阻抗极高,只会引起系统内较小的电压波动,这一点在带电作业实际操作中已得到验证^[14],同时由于其电容量小、暂态过程短,对设备电气绝缘的威胁小。标准电容分压器是容性设备,接入系统不会引起铁磁谐振问题。因此利用标准电容分压器进行校验是很好的选择。

对在运CVT进行误差在线校验的前提是不能

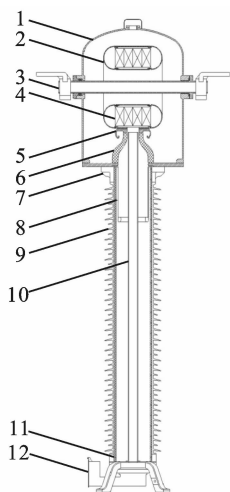
给电网的运行安全带来风险,然而标准电容器进行投切时会产生过电压,引起电网短时波动,进而威胁到电网的安全。为避免该种情况的发生,考虑到部分变电站中存在气体绝缘电流互感器 (LVQB 型电流互感器),该种结构的电流互感器是典型的容性设备,且为倒立式,其结构特征与标准电容器十分相似,可将其改造成标准电容器,从而实现 CVT 的在线校验。

因此,文中提出的新型在线校验方法为:在常规 LVQB 型电流互感器结构基础上,设计并实现其高压标准电容器的功能,同时解开其末屏接地线串联一个低压标准电容器和可调电子分压器,组成电容分压器,通过可调电子分压器将电容分压器的比值调节到设定的变比对 CVT 进行在线校验。采用这种方式获得的电压标准器不存在新设备的投切过程,减小了带电校验中对电网安全的影响。

2 基于 LVQB 型电流互感器的标准电容分压器的设计及实现

2.1 LVQB 型电流互感器

LVQB 型电流互感器内部结构图见图 3, 为倒立式结构,采用 SF₆ 气体绝缘。



- 1—外壳; 2—二次线圈屏蔽罩; 3—一次导电杆;
4—二次线圈; 5—二次线圈屏蔽罩安装法兰;
6—盆式绝缘子; 7—绝缘子上法兰; 8—支撑绝缘子;
9—空心绝缘子; 10—二次引线管; 11—基座;
12—二次引线盒。

图 3 LVQB 型倒立式气式电流互感器内部结构图

Fig. 3 LVQB type inverted air current transformer internal structure

由图 3 并结合电场分析结果可知,当 LVQB 电流互感器运行时,一次导电杆为高电位,二次绕组及其屏蔽罩处于低电位,一次绕组沿二次绕组中心穿过,之间构成非常均匀的同轴圆柱电场。这一结

构特点符合正立式标准电容器的特点,同时内部所充的 SF₆ 是目前电力设备一种常用的介质气体,因此由该结构改造造成的高压电容具有介损小、电容值稳定的特点,可以作为高压标准电容器^[15-18]。

2.2 标准电容分压器的实现

2.2.1 高压标准电容器的设计及实现

当 LVQB 型电流互感器运行时,其处于高电位的一次导电杆和处于低电位的二次线圈屏蔽罩之间存在分布式电容,为提高所形成的高压标准电容的稳定性,对其二次线圈屏蔽罩进行改造。将原本为一个整体的二次线圈屏蔽罩分为独立的内屏和外屏,内屏和外屏之间采用聚四氟乙烯绝缘垫隔离,且内屏和外屏均通过各自独立的引线接地,使之从结构上与改造前的二次线圈屏蔽罩一致,从电气上使内屏与外屏绝缘。

高压电容在一次母线与二次线圈屏蔽罩内屏之间形成,二次屏蔽罩的外屏接地可以屏蔽外界电场对内部高压电容的影响。LVQB 型倒立式电流互感器的一次导电杆与二次屏蔽罩的结构见图 4。

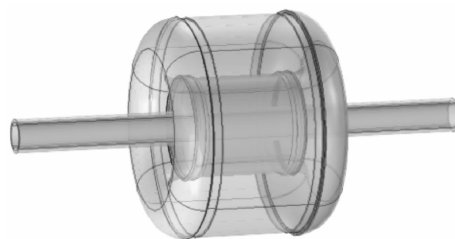


图 4 一次导电杆与二次线圈屏蔽罩

Fig. 4 A conductive rod and the secondary coil shield

LVQB 型气体绝缘电流互感器一次导电杆与二次线圈屏蔽罩改造剖视图见图 5。当 LVQB 型电流互感器需要作为高压标准电容器时,二次屏蔽罩的外屏引线接地,此时一次母线与二次屏蔽罩的内屏之间的分布式电容形成一个高压电容,所形成的电容值相对稳定,可以将其当作高压标准电容使用。一次母线导电杆与二次线圈屏蔽罩内屏之间形成了一个介质为 SF₆ 的同轴圆柱电容 C₁₁,其结构见图 6,当 LVQB 型电流互感器作为常规电流互感器使用时,内屏外屏的引线均可可靠接地,此时其作为电流互感器正常工作^[19-20]。

2.2.2 高压标准电容器的计算

LVQB 型电流互感器所形成的电容为 SF₆ 介质的同轴圆柱电容^[21-22],结构见图 7。

该电容的电容值的计算式为

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r L}{\ln(R_2/R_1)} \quad (1)$$

式(1)中,ε₀ 为介电常数;ε_r 为相对介电常数;L

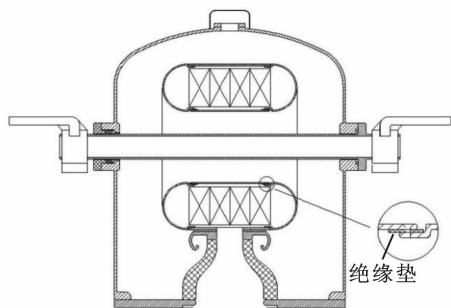


图5 二次绕组屏蔽罩内筒与外筒绝缘改造图

Fig. 5 Secondary winding shield inner tube and the outer tube insulation transformation diagram

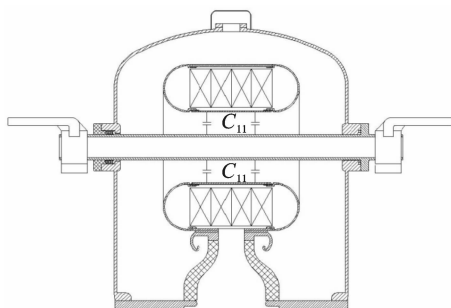


图6 高压电容形成方案

Fig. 6 High voltage capacitor forming program

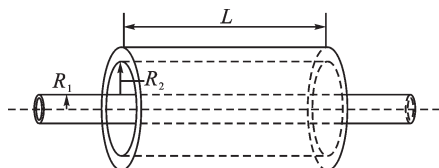


图7 同轴圆柱电容示意图

Fig. 7 Coaxial cylindrical capacitance schematic

为同轴外圆柱的长度; R_1 为同轴外圆柱的半径; R_2 为同轴内圆柱的半径。

220 kV 等级的 LVQB 型倒立式电流互感器的实际参数见表 1, 其中 SF_6 相对介电常数的物理条件为 20 °C, 0.1 MPa, LVQB 型电流互感器内部的气压一般为 0.4~0.6 MPa, 但是因为气压对介电常数的影响很微小, 可忽略不计, 故在计算中, 使用 20 °C, 0.1 MPa 时的介电常数。

表 1 LVQB 型电流互感器参数值

Table 1 LVQB current transformer parameter values

一次导杆半径/mm	二次屏蔽罩内径/mm	二次屏蔽罩筒长度/mm	SF_6 相对介电常数
48	135	293	1.002 1

将表 1 中的各参数值代入式(1)中, 可求得: $C_{11}=15.79 \text{ pF}$ 。

即 LVQB 型电流互感器一次母线与二线线圈屏蔽罩内屏之间所形成的电容为 15.79 pF。

2.2.3 标准电容分压器的设计及实现

在 LVQB 型电流互感器的结构基础上设计及实现其高压标准电容功能之后, 解开其末屏接地线接入低压标准电容器和可调电子分压器, 即将 LVQB 型电流互感器改造成电容分压器^[23]。新型电容分压器其结构原理图见图 8。

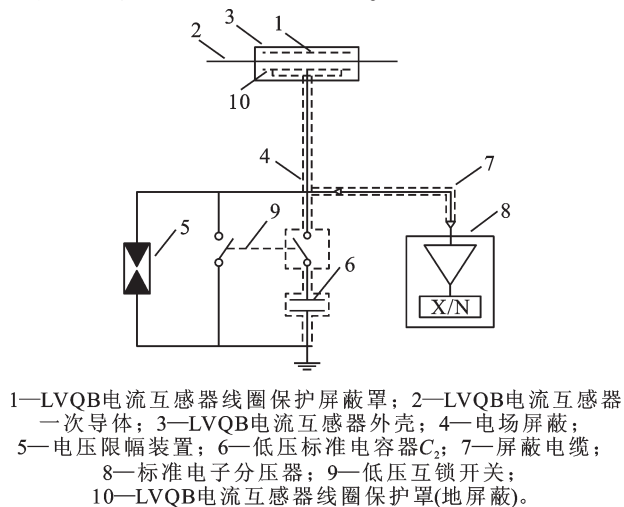


图8 新型电容分压器结构原理图

Fig. 8 New capacitive divider structure diagram

为减小外界电场对电容分压部分的影响, 二次线圈保护罩的外屏接地屏蔽外界杂散电容对内屏形成的电容的影响, 同时采用同轴电缆减小外界环境因素对电容的影响。图 8 中电压限幅装置是为了防止系统中出现的暂态过电压等对设备的绝缘造成破坏, 图 8 中电子分压器, 其作用是将新型电容分压器的比值进行调节达到理想的分压比, 使其达到预先设定的准确度等级。

互锁开关是防止高压侧的开关闭合失败时, 系统带电运行产生的悬浮电位, 保护装置的安全, 当互锁开关打到右侧时, LVQB 型电流互感器作为高压标准电容器使用。当完成校验后, 互锁开关打到左侧, 此时外接的低压标准电容器不工作, LVQB 型倒立式电流互感器正常工作。

图 8 中低压标准电容器以及电子分压器部分等安装在 LVQB 型电流互感器的底座部分, 不改变其原有外形。

根据前文的计算 220 kV 的 LVQB 型电流互感器改造之后产生的电容 C_1 约为 16 pF, 标准电压互感器一次电压为 $220/\sqrt{3} \text{ kV}$, 二次输出电压为 $100/\sqrt{3} \text{ V}$, 根据电容分压器电压比例关系

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad (2)$$

可以计算出需要的低压电容的电容值为

$$C_2 = U_1 C_1 / U_2 = 17.6 \text{ nF} \quad (3)$$

即低压标准电容 C_2 选为 18 nF。

根据国标规定,用于校验的标准应高于被检电压互感器 2 个等级,变电站中的电压互感器准确度等级为 0.2 级,那么新型标准电压互感器的准确度等级不低于 0.05 级。调节电子分压器将新型标准电容分压器的误差控制在 0.05 级误差限制之内,完成新型标准电容分压器的改造。

3 基于 LVQB 型电流互感器的在线校验方法

新型标准电容分压器制作完成之后,需要进行标定,完成标定后,即可对站内的电容式电压互感器进行在线误差校验。校验过程为:

1) 新型标准电容分压器的标定。新型标准电容分压器具有良好的线性度,可以选择低电压等级的外施试验电源以及标准电压互感器对新型电容分压器进行标定。标定的原理图见图 9。

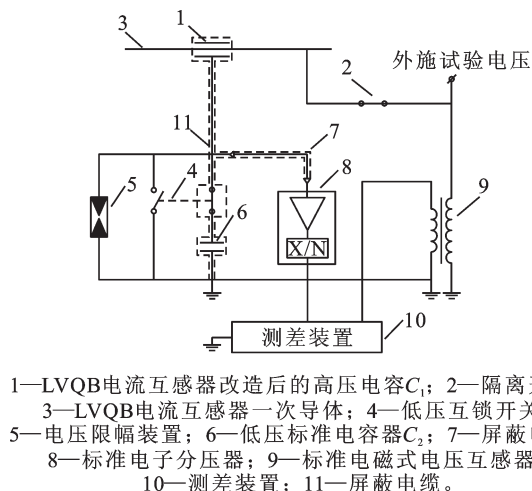


图 9 新型电容分压器误差校验原理图

Fig. 9 The new voltage transformer error checking diagram

高压侧通过隔离开关接入外施的试验电压,保证标准电磁式电压互感器与新型电容分压器的一次电压一致,新型标准电容分压器二次侧的高压端通过电子分压器与测差装置连接,图 9 中 9 为标准电磁式电压互感器作为标准源,此时低压互锁开关打到右侧,改造完成的电流互感器作为高压标准电容器工作,通过调节电子分压器对改造的新型标准电容分压器进行误差调整,使其达到预先设定的准确度等级。

2) 电压互感器的在线校验。新型电容分压器经短时间离线校验之后,如满足预先设定的准确度等级,即可对变电站内的 CVT 进行误差校验,校验原理图见图 10。

图 10 中相同数字标号的含义同图 9。为保护系

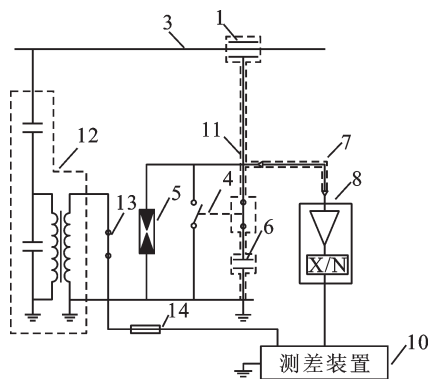


图 10 变电站内电压互感器的误差在线校验原理图

Fig. 10 The online error checking diagram of substation's voltage transformer

统的安全运行,站内电压互感器与测差装置之间需要连接快速熔断器,防止站内的电压互感器二次侧出现短路时对系统的安全运行产生影响。图 10 中:12 为变电站内被试电压互感器;13 为试验开关;14 为快速熔断器,此时互锁开关打到右侧,LVQB 型电流互感器作为高压标准电容器工作,被测电压互感器与新型的标准电容分压器的高压均为线路母线的电压,其二次电压均与测差装置相连,通过二次电压的差值进行比较完成对站内 CVT 的在线校验,得到 CVT 在运行过程中的误差特性。

3) LVQB 型电流互感器的正常运行。新型标准电容分压器完成对站内的电压互感器在线误差校验之后,由于低压标准电容等设备的投切是在低压端进行,可以在不停电的情况下将低压标准电容器退出运行。当完成在线校验之后,将互锁开关打到左侧,此时低压标准电容器不工作,同时将 LVQB 型电流互感器接地部分正常接地之后,其作为电流互感器正常工作。LVQB 型电流互感器正常工作的原理图见图 11,图 11 中相同数字标号的含义同图 10。

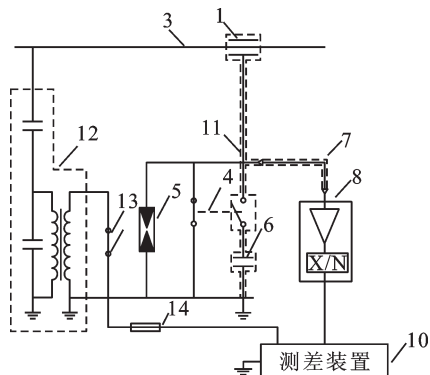


图 11 LVQB 型电流互感器的正常工作原理图

Fig. 11 Normal operating principle of LVQB type current transformer

4 结论

1) 鉴于目前 CVT 误差校验的现状,文中提出了

一种利用在运容性设备(LVQB型电流互感器)改造为标准电容器的CVT在线校验方法,该方法规避了常规方法在高压端投切标准器的绝缘风险,同时在完成对站内CVT的在线校验之后,将相应接地部分可靠接地之后,不影响LVQB型电流互感器的正常工作。

2)将220 kV等级的LVQB型电流互感器改造为标准电容器后,改造后的标准电容器高压端是同轴圆柱结构,其电容量大小约为15.79 pF,在改造后的LVQB型电流互感器的铭牌上注明,所选低压标准电容为18 nF。

3)该方法采用的标准源是外在的标准源,其本身具有很好的标准参照性,同时利用系统本身的容性设备进行改造,可以实现对CVT的误差在线校验。

4)电力系统一次设备状态检修是电网发展的必然趋势,也是降低运行成本、减少设备事故概率的手段。该方法为下一步电压互感器的在线监测奠定了基础,将进行进一步的应用研究。

参考文献:

- [1] 凌子恕. 高压互感器技术手册[M]. 北京:中国电力出版社,2005:10-66.
LING Zishu. High voltage transformer technical manual[M]. Beijing:China Electric Power Press,2005:10-66.
- [2] 赵修民. 电压互感器[M]. 太原:山西科学教育出版社1987:17-80.
ZHAO Xiumin. Voltage transformer[M]. Taiyuan: Shanxi Science Education Press,1987:17-80.
- [3] 王晓琪. 电力互感器[M]. 北京:中国电力出版社,2014:23-66.
WANG Xiaoqi. Electric power transformer[M]. Beijing: China Electric Power Press,2014:23-66.
- [4] 殷培峰. 电容式电压互感器的误差原因及解决办法[J]. 电气开关,2008(1):53-55.
YIN Peifeng. The cause and solution of the error of the capacitor voltage transformer[J]. Electric Switchgear,2008,13(1):53-55.
- [5] 刘振波. 220 kV 电容式电压互感器计量误差的现场检测[J]. 东北电力技术,2007(3):22-24.
LIU Zhenbo. Field detection on calculation error of 220 kV capacitor voltage transformer[J]. Northeast Electric Power Technology,2007(3):22-24.
- [6] 舒开旗,叶利,史萍. 电容式电压互感器的误差测试[J]. 湖北电力,2003,27(6):27-30.
SHU Kaiqi, YE Li, SHI Ping. Testing the error of CVT[J]. Hubei Electric Power,2003,27(6):27-30.
- [7] KOJOVIC L, KENZUNOVIC M, FROMEN W. A new method for the CVT performance analysis using field measurements, signal processing and EMTP modeling[J]. IEEE Trans. on Power Delivery,1994,9(4):1907-1915.
- [8] 王乐仁,杜汉玉,陈文中. 电压互感器“低校高”法的发展与应用[J]. 高电压技术,2002,28(8):38-42.
WANG Leren, DU Hanyu, CHEN Wenzhong. Development of error characteristics simulation on voltage transformer[J]. High Voltage Engineering,2002,28(8):38-42.
- [9] LUCAS J R, MCLAREN P G, KEERT H W, et al. Improved simulation models for current and voltage transformers in relay studies[J]. IEEE Trans. on Power Delivery,1992,7(1):152-159.
- [10] 余春雨,王晓琪,盛国钊. CVT现场校准的误差来源与分析[J]. 电力电容器,2000,21(3):27-31.
YU Chunyu, WANG Xiaoqi, SHENG Guozhao. Error source and analysis on CVT worksite calibration[J]. Power Capacitors,2000,21(3):27-31.
- [11] 王珏昕,曹凤田,王乐仁. 非传统互感器的原理与性能分析[J]. 吉林电力,2010,38(1):8-12.
WANG Juexin, CAO Fengtian, WANG Leren. Theory and performance analysis of un-traditional transformer[J]. Jilin Electric Power,2010,38(1):8-12.
- [12] 孟祥甫,刘于超,李振东. 电容式电压互感器现场校验方法改进探讨[J]. 电测与仪表,2010,47(z1):16-19.
MENG Xiangfu, LIU Yuchao, LI Zhendong. Discussion the improvement of field calibration of capacitor voltage transformer[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2010,47(z1):16-19.
- [13] 王德忠,王季梅. 电容式电压互感器误差频率特性的研究[J]. 高电压技术,2001,27(2):66-68.
WANG Dezhong, WANG Jimei. The study of error characteristic changing with frequency for the capacitor voltage transformer[J]. High Voltage Engineering,2001,27(2):66-68.
- [14] 林静,胡红,郭飞. 变电站投切电容器组过电压研究[J]. 四川电力技术,2010,33(5):11-15.
LIN Jing, HU Hong, GUO Fei. Overvoltage research when switching capacitor bank in substation[J]. Sichuan Electric Power Technology,2010,33(5):11-15.
- [15] 黎斌. 国产LVQB-550型SF₆电流互感器运行可靠性分析[J]. 高压电器,2005,41(1):41-44.
LI Bin. Analysis of reliability of LVQB-550 type SF₆ current transformer[J]. High Voltage Apparatus,2005,41(1):41-44.
- [16] DJOKIC B, SO E. Phase measurement of distorted periodic signals based on nonsynchronous digital filtering[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2001,50(4):864-867.
- [17] KEZUNOVIC M, FROMEN C W, NILSSON S L. Digital models of coupling capacitor voltage transformers for protective relay transient studies[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1992,7(4):1927-1935.

- [18] BRANDOLINI A, FAIFER M, OTTOBONI R. A simple method for the calibration of traditional and electronic measurement current and voltage transformers[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(5): 1345-1353.
- [19] 肖耀荣, 高祖绵. 互感器原理与设计基础[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2003: 45-64.
- XIAO Yaorong, GAO Zumian. Principles and design basis of transformers[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2003: 45-64.
- [20] SO E, ARSENEAU R, BENNETT D, et al. A Current-comparator-based system for calibrating high-voltage current transformers under actual operating conditions[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2011, 60(7): 2449-2454.
- [21] 王 勤, 周 峰, 姜春阳, 等. 正立式压缩气体标准电容器的研制[J]. 高电压技术, 2013, 39(6): 1509-1514.
- WANG Qin, ZHOU Feng, JIANG Chunyang, et al. Development of an upright-type compressed-gas standard capacitor[J]. High Voltage Engineering, 2013, 39(6): 1509-1514.
- [22] 郭天兴. 1 000 K 标准电容器的电容稳定性能研究[J]. 电力电容器, 2000, 21(6): 12-18.
- GUO Tianxing. Research on the capacitance stabilization of 1 000 kV standard capacitor[J]. Power Capacitor, 2000, 21(6): 12-18.
- [23] 何 建, 余 睿, 杨漪俊. 电容式电压互感器常见故障及监测[J]. 电力电容器与无功补偿, 2009, 30(5): 38-42.
- HE Jian, YU Rui, YANG Yijun. The common faults and its monitoring of CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2009, 30(5): 38-42.

邵明鑫(1989—), 男, 硕士, 研究方向为电气设备状态监测与故障诊断、互感器的设计等方面的研究。

《高压电器》2016 年第 8 期广告单位

彩色广告

封一: 西安高压电器研究院有限责任公司

封二: 莱茵技术(上海)有限公司

封三: 陕西斯瑞工业有限责任公司

封四: 常州市盈能电气有限公司

前插 1: 珠海思创电气有限公司

前插 2: 江苏常新密封材料有限公司

前插 3: 西安华伟电力电子技术有限责任公司

前插 4: 温岭市雅博输送设备有限公司

前插 5: 陕西迪吉康电气有限责任公司

前插 6: 宁波天安(集团)股份有限公司

前插 7: 常州帕斯菲克自动化技术股份有限公司

前插 8: 南京因泰莱电器股份有限公司

前插 9: 上海乐研电气科技有限公司

前插 10: 湖北武高电力新技术有限公司

前插 11: 攀时(上海)高性能材料有限公司

前插 12: 北京研华兴业电子科技有限公司