

高压电流互感器运行状态检测新技术及应用

谢剑锋¹ 闫 军² 卢 旻¹

(1. 国网淮安供电公司 淮安 223002; 2. 西安佳源技术贸易发展有限责任公司 西安 710068)

摘要: 依据差分法的原理,以及电容型高压电流互感器设备主绝缘的结构,结合在电网运行中的网络等效模型,通过两个同类运行设备带电测量值,即相关的3个参量:2台同相位、同型号电容型高压电流互感器末屏地线漏电流、和上述2台设备末屏地线之间的电压测量值,由2次不同时期电压测量值的变化量,判断是否有故障设备,并通过现场实测验证,给出了使用差分方式,对电容型高压电流互感器设备主绝缘电容量带电检测新技术、缺陷诊断新方法,该测量原理和方法,具有检测灵敏度高,抗干扰能力强,使用方便等特点,是开展电容型变电设备运行状态检测工作又一新方法。

关键词: 电流互感器;状态检测;差分法;预防性试验

中图分类号: TM452.3 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470.4017

New technology and application of high voltage current transformer running state

Xie Jiangfeng¹ Yan Jun² Lu Min¹(1. State Grid Huaian Power Supply Company Huaian, Jiangsu 223002, China;
2. Xi'an Jiayuan Technology Trade Development Co. Ltd., Xi'an 710068, China)

Abstract: According to the principle of differential method, the main insulation structure of the capacitor voltage current transformer, the network equivalent model, through two similar operating devices are measured values, which are related to three parameters: the two phase, the same phase, the voltage measurement of the terminal screen of the same phase, the type of capacitive voltage current transformer, and the voltage measurement between the devices, and the end of the two devices, the voltage measurements, judging whether there is fault equipment, judging whether there is fault equipment, judging whether there is fault equipment, judging whether or not, judging whether there is fault equipment, judging from the two different periods, judging whether there is fault equipment, judging from the voltage measurement, and the use of differential mode, the method of measuring the capacitance type high voltage transformer equipment. Easy to use, and so on, is to carry out the operation of capacitive type substation equipment operation state detection work and a new method.

Keywords: current transformer; state detection; method of difference; preventive trial

1 引言

在电网运行中,电流互感器是重要设备之一,及时掌握其设备运行状态,对于整个电网安全运行具有重要意义,现阶段对其运行状态的检测主要有预试方式、在线监测、带电检测^[1],这些方法,在电网设备状态检测中起着较大作用。但在工程实际中,由于在线监测、带电检测,均在设备运行状态下进行,检测设备的抗干扰能力,获取测量信号的方法,测试设备的精度,均对电流互感器的状态检测的结果影

响较大,对地工频漏电流较小,导致测量误差较大^[2],使得带电检测工作无法进行或无法得到真实测值。

在110~750 kV电网中使用的电容型高压设备,主要有电容型高压电流互感器、电容型高压套管等设备,其高压端与高压输电线相连,其末电屏通过导线与电网地线相接,在高压端与末电屏之间存在一个等效电容量为 C_x 的电容参量,其值因电压等级、设备型号和设备质量情况不同而不同(出场时,产品铭牌上都写有这个电容值);对此类设备电容值 C_x 的检测,是判断设备是否正常的重要参数,现在工

程上常用的检测方法主要有两种。1) 电流测量法^[3]: 在电容型高压器件的末电屏接地回路中, 串接一个交流电流表, 根据公式 $I = \omega C_x U$ 来测量 C_x , 上式中, I 是电流表读数, $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Hz, U 是高压输电线的相电压 (对于 110 kV 电网 $U = 63.5$ kV), 此方法的优点是可以在线测量, 但测量精度低, 抗干扰能力差。2) 对于运行中的电流互感器等电容型电力设备的带电监测, 大都采用数字化的测量方法^[4], 该方法主要分为: ① 过零点时差法; ② 零点电压比较法; ③ 正弦波参数法; ④ 积分法。

关于电容型高压设备带电检测、在线监测的信号测量和处理技术, 有使用多路高速数据采集技术^[5]; 多速率采集处理技术^[6]; 用 CPLD 和单片机的系统设计的周期信号高速采集技术^[7]; 以及, 以 8 位高速、低功耗微控制器 STC12C5A60S2 为硬件控制核心, 以 LabVIEW 2012 为上位机软件开发平台的多路数据采集系统^[8], 这些新技术已广泛应用在电网设备的设备带电检测、在线监测中。关于电容型高压设备运行状态评价, 有基于虚拟仪器的高压套管介损在线检测^[9]、基波分量提取的高压电容型设备绝缘的在线监测技术^[10]、基于 DSP 的总线式结构的电容型高压设备绝缘在线监测技术^[11], 以及二次综合比较法的电容型设备在线监测故障分析技术^[12]、电容型高压设备带电检测、在线监测装置的抗干扰技术^[13], 和近年来在高压电气设备绝缘在线监测方面国内的专利技术^[14]。

近年来, 有研究单位使用差分法的原理, 结合电网设备运行设备的网络等效模型, 研究绝缘状态带电检测、缺陷诊断技术, 测量位置选择在接地端的接地线上, 通过两个同类运行设备带电测值, 相关的 3 个参量: 2 台同相位、同型号电容型变电设备末屏地线漏电流 (I_1 、 I_2)、和上述 2 台设备末屏地线之间的 V 值, 由两次测量中的电压变化 ΔV 判断是否有故障设备, 如有, 再由 2 次测量中的 I_1 、 I_2 分别计算出 ΔC , 可准确判断故障元件, 通过原理性的现场带电测试, 完善该带电检测专利技术, 对其设备的运行状态进行在线评估, 为设备的状态检修提供依据。

2 电容型电流互感器结构

电容型电流互感器主要指油渍纸绝缘的传统电流互感器, 也包括我国特有的聚四氟乙烯缠绕绝缘的电流互感器。主绝缘为电容型的设备, 其绝缘为电容均压结构^[15], 如图 1 所示。

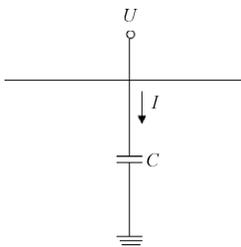


图 1 电容型设备主绝缘等效电路

其中: U 为设备运行对地的电压; I 为末屏地线上的电流; C 为互感器主绝缘电容量, 其电容量计算式: $C_x = I_x / \omega U_x$ 其中: I_x 为被测电流; U_x 为被测设备对地的运行电压。

3 差分法带电检测电容型电流互感器主绝缘电容量等效原理

3.1 差分法简述

差分法是在比较 2 个分数大小时, 用直除法或者化同法等其他速算方式难以解决时可以采取的一种速算方式。其形式为 2 个分数作比较时, 若其中一个分数的分子与分母都比另外一个分数的分子与分母分别仅大一点, 这时候使用直除法、化同法经常很难比较出大小关系, 而使用“差分法”却可以很好地解决这样的问题, 差分法本身是一种精算法而非估算法, 得出来的大小关系是精确的关系而非粗略的关系, 差分法与微分法源于同一种思想。其定义为: 满足适用形式的 2 个分数中, 定义分子与分母都比较大的分数叫“大分数”, 分子与分母都比较小的分数叫“小分数”, 而这 2 个分数的分子、分母分别的差所得到的新的分数定义为差分数。使用此数学概念, 结合电网设备运行的网络等效模型, 设计的带电检测设备, 即可带电检测其设备的运行状态, 又可对微信号进行准确检测。从而填补了在带电检测中的微信号不能准确检测的不足。

使用差分法的原理制作的电气设备绝缘状态带电检测仪可弥补此不足, 此方法相当有效。

3.2 两型号、同相位电容型高压设备运行原理

依据电网变电设备中两型号、同相位电容型高压设备运行原理, 如图 2 所示。

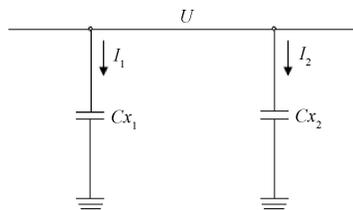


图 2 两型号、同相位电容型高压设备运行原理

3.3 差分法带电检测电容型电流互感器主绝缘电容量接线原理

在图 3 中, 通过 2 个同类运行设备带电测值, 相关的 3 个参量: 2 台同相位、同型号电容型变电设备末屏地线漏电流 (I_1 、 I_2)、和上述两台设备末屏地线之间的 V 值, 由两次测量中的电压变化 ΔV 判断是否有故障设备, 如有, 再由两次测量中的 I_1 、 I_2 分别计算出 ΔC , 可准确判断故障元件。其中: I_x 为被测电流; U 为被测设备对地的运行电压。电流取样方式: 在被测 CT 末屏接地线取 1 mΩ 样阻, 按材质、截面等效取出取样长度, 其两端为测量端, 进行测量, 通过测量 1 mΩ 样阻两端的电压, 计算出电流值。相电压的获取: 通过与被测电流互感器同母线、同相位的电压互感器二次

输出端,获取所需相电压。

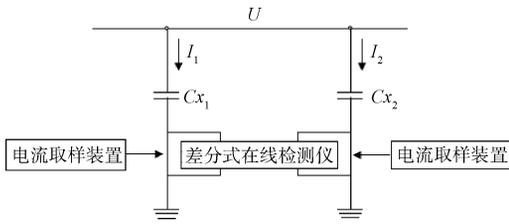


图3 差分法带电检测接线原理

3.4 电容型高压设备差分式带电检测装置

电容型高压设备差分式带电检测装置结构如图4所示。

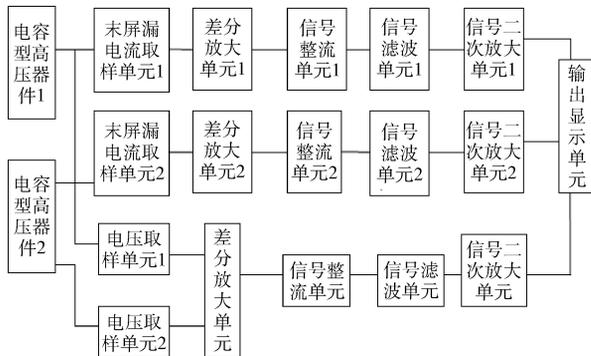


图4 差分式带电检测装置结构

该装置由两路交流电流测量回路,一路交流电压测量回路和输出显示单元组成。其中:交流电流测量回路,由在电容型高压设备(如:电容型高压电流互感器、高压套管)的末屏地线上获取电流信号的末屏电流取样单元,经差分放大单元进行信号放大、信号整流滤波单元进行信号整流滤波,再放大后输出;交流电压测量回路,由电压取样单元分别取得两路电容型高压器件的末屏端相应点的电压,经差分放大单元进行信号放大、信号整流滤波单元进行信号整流滤波,再放大后输出到显示单元;输出显示单元,由工业单片机和一块液晶屏组成。电容型电流互感器末屏电流测量原理如图5所示。

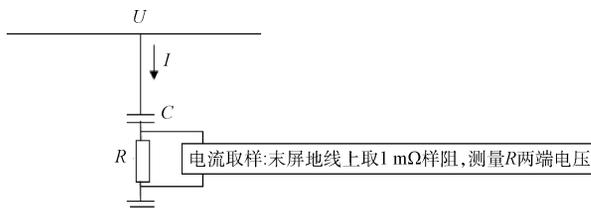


图5 电容型电流互感器末屏电流测量原理

图5中 I 为被测电流; U 为被测设备对地的运行电压。电流取样方式:在被测电容型电流互感器末屏接地线取 R 为 $1\text{ m}\Omega$ 的样阻,在现场测试中,可按材质的电阻率、截面、长度等效得出。

2台同型号、同运行电压的电容型高压电流互感器末屏电压测量原理如图6所示。

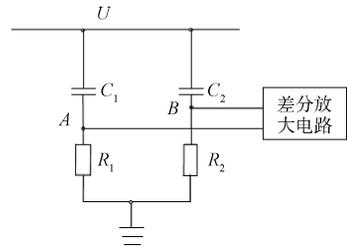


图6 两台同型号设备末屏电压测量原理

图6中, U 为同母线设备对地运行电压, C_1 、 C_2 为2台电容型电流互感器主绝缘电容量, R_1 、 R_2 为2台电容型电流互感器末屏接地线电阻,A、B两点分别为2台电容型电流互感器末屏地线引出端,取A和B两处的电压,经过差分放大单元、整流滤波单元、再经信号二次放大单元后输出到显示单元,由此测出AB间电压值。

3.5 应用事例

某供电公司于2014年10月和2015年9月,分别对所属2组电流互感器共6台;分别选择同相位的设备,在设备末屏地线进行了漏电流、主绝缘电容量带电测试,所用仪器为JCCY差分式电容型变电设备绝缘带电测量仪;按该仪器的技术要求,测量点分别选择在被测电容型电流互感器末屏接地线处。

3.5.1 现场测量接线

1)被测电流互感器末屏地线检测漏电流信号获取,如图7所示。



图7 CT漏电流信号获取

2)差分法带电检测2台电容型电流互感器现场测量,如图8所示。



图8 现场测量

3.5.2 现场测值情况

差分法带电检测 110 kV 电流互感器绝缘情况测值如表 1 所示。测试时间为 2014 年 10 月。

表 1 记录表 1

序号	编号	$U_{\phi}/$ kV	$I_x/$ mA	$V_x/$ mV	$C_X/$ pF
1	1-1	66.3	16.5	55.1	796
	1-2	66.3	17.1	55.1	822
2	2-1	66.2	16.7	87.8	805
	2-2	66.2	17.5	87.8	847
3	3-1	66.3	19.9	13.9	886
	3-2	66.3	18.3	13.9	880

差分法带电检测 110 kV 电流互感器绝缘情况测值如表 2 所示,记录时间为 2015 年 9 月。

表 2 记录表 2

序号	编号	$U_{\phi}/$ kV	$I_x/$ mA	$V_x/$ mV	$C_X/$ pF
1	1-1	66.2	16.7	58.2	803
	1-2	66.2	17.3		831
2	2-1	66.1	16.7	138.6	805
	2-2	66.1	19.5		871
3	3-1	66.7	18.7	9.3	894
	3-2	66.7	18.6		890

注:以上电容量计算为: $C_X = I_X / \omega U_X$;其中 U_{ϕ} 为运行相电压; V_x 、 I_x 为带电检测设备显示值

3.5.3 测试分析

两次采用比较法带电测试值如表 3 所示。

表 3 2 次采用比较法带电测值比较

测试时间	表 1 和 2 中序号	1	2	3
2014 年 10 月	V_{x1}/mV	55.1	87.8	13.9
	$\Delta C_X/pF$	26	42	6
2015 年 9 月	V_{x2}/mV	58.2	138.6	9.3
	$\Delta C_X/pF$	28	66	4
2 次测量	$\Delta V_x/mV$	3.1	50.8	-2

注: ΔC_X 为两同相位、同型号设备电容差值, $\Delta V_x = V_{x2} - V_{x1}$

排除两次测量的环境温度的差异,由表 3 可直观的得到测点编号为 2-1 和 2-2 的 CT 设备变化较大,在结合 2014 年 10 月和 2015 年 9 月 2 次测值,测点编号为 2-2,CT 设备主绝缘对地漏电流增大 2 mA,用差分法检测的 $\Delta V_x = 50.8$ mV,测试灵敏度明显提高。

3.4.4 用预防性试验测值比较

2014 年和 2015 年,测点编号为 2-2;预防性试验电容量(反接法)测值分别为 839 pF 和 858 pF,电容量变化增大 19 pF,差分法测量诊断情况与预试电容量测值变化趋势一致。

4 结 论

使用差分方式,对电容型高压电流互感器设备主绝缘电容量带电检测新技术、缺陷诊断新方法,该测量原理和方法,具有检测灵敏度高,抗干扰能力强,使用方便等特点,是开展电容型变电设备运行状态检测工作又一新方法。

使用差分方式,对电容型变电设备主绝缘电容量带电检测,可对电容型变电设备,如电容型电流互感器、高压套管等设备运行状态进行快速综合性评价,可降低预试人员现场测试的安全隐患、提高检测的效率,降低了设备检测成本。

参考文献

- [1] 陈玥名. 电力电流互感器检测试验方法研究[J]. 东北电力技术,2009,30(9):15-17.
- [2] 薛军. 电容型电流互感器绝缘状态诊断的探讨[J]. 电气时代,2012(6):96-96.
- [3] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断技术[M]. 北京:水利水电出版社,2009:230-230.
- [4] 朱德恒. 电气设备状态监测与故障诊断技术[M]. 北京:中国电力出版社,2009:183-185.
- [5] 吴量. 高速率采集处理技术[J]. 电子测量技术,2006,29(3):85-86.
- [6] 张杰,胡世,安龙子,等. 多速率数据采集与处理系统的设计与实现[J]. 电子测量与仪器学报,2009,23(z1):138-141.
- [7] 刘能. 一种新的周期信号的高速数据采集方法研究[J]. 仪器仪表学报,2007,28(4):765-768.
- [8] 黄敏. 电容型电流互感器现场高压测介损试验方法探讨[J]. 上海电力,2008(4):406-409.
- [9] 杨文斌. 基于虚拟仪器的变压器介质损耗因数在线检测的研究[J]. 绝缘材料,2007,40(6):64-66.
- [10] 许褪海. 高压电容型设备绝缘的在线监测[J]. 自动化技术与应用,2007(5):66-68.
- [11] 党瑞荣. 电容型高压设备绝缘在线监测系统的设计[J]. 电测与仪表,2008,45(4):22-24.
- [12] 汪晓明. 二次综合比较法在电容型设备监测中的应

用[J]. 高压电器, 2006, 42(4): 271-273.

- [13] 张丽. 电力系统测控装置的抗干扰技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(7): 69-70.
- [14] 朱伟. 高压电气设备绝缘在线监测技术专利分析[J]. 中国发明与专利, 2012(1): 50-52.
- [15] 邹清泉. 电容型电气设备末屏故障原因分析与处

理[J]. 湖南电力, 2012, 32(4): 56-59.

作者简介

谢剑锋, 高级工程师, 主要研究方向为变电设备性能试验, 故障诊断等研究。

E-mail: xjiayuan@126.com

是德科技扩充 PXI、AXIe 仪器和参考解决方案阵容， 同时推出跨厂商校准服务

全面性的服务协助工程师以更低成本开发、部署和维护测试系统

新闻要点:

- 新 PXIe VXT 和 SMU 为 PA 和 FEM 测试应用提供卓越的测量速度和精度
- 新 PXIe Gen 3 机箱、IO 元器件和外部电脑选件，为数据流传输、多通道、多机箱系统提供市面上最宽的系统带宽
- 为台式、PXI 和 AXIe 仪器增加一站式校准服务，提供多厂商支持

2016 年 7 月 20 日，北京——是德科技公司(NYSE: KEYS)日前宣布，其高性能 PXI 和 AXIe 仪器和参考解决方案阵容也已扩充。这些仪器和解决方案广泛用于各种应用，包括 5G、PA/FEM 和数字互连测试，以提高测试速度、提升精度并缩小整体尺寸。是德科技致力通过 PXI 和 AXIe 仪器提供业界首屈一指的射频、微波和数字测量专业技术，这些新产品是其中一部分。参考解决方案利用现有的最佳仪器，包括台式仪器、模块化仪器或二者的组合，为 5G、电子战威胁仿真和数字互连测试等关键应用提供经过验证的硬件和软件测试配置。

M9019A PXIe Gen 3 18 插槽机箱、控制器、I/O 元器件和外部电脑选件提供了目前市场上最高的系统带宽。全新系列 PXIe 系统元器件提供比典型的 Gen 2 机箱至少大一倍的系统带宽，而外置电脑选件则摆脱了封闭式 PXIe 系统对电脑选择的限制。

利用是德科技的开放式 Gen 3 平台，客户可以选用最适合的外置电脑或控制器来满足自身需求。例如，需要对电脑进行优化，用以捕获并回放大数据流的 5G 或电子战应用；或是需要大型、多通道、多机箱 PXIe 测试系统的 MIMO 应用。

4 插槽 M9421A PXIe 矢量收发信机(VXT)和 M9111A PXIe 高速电源/测量单元(SMU)可提高测试吞吐量，缩小测试系统的整体尺寸，适用于新一代 PA/FEM

的生产测试和设计验证。新 PXIe VXT 和 SMU 将作为是德科技射频 PA/FEM 表征和测试参考解决方案的一部分。

VXT 覆盖 60 MHz 到 6 GHz 的频率范围，调制和分析带宽高达 160 MHz，支持 FPGA 加速测量，并配有功能强大的软件以支持模拟解调、噪声系数和众多移动通讯和无线连通性制式。而新的 SMU 只需不到 1 毫秒，便可变更电压、让波形趋稳，并且准确测量微安培级(mA)的电流。这比上一代独立式 Keysight SMU 的速度提高了 20 倍，其体积也大大缩小。

全新数字互连测试参考解决方案是世界上最快的电缆测试仪，配备 PXI VNA，可执行高达 26.5 GHz 的 32 端口全交叉 S 参数校准。PLTS 软件通过方便的生产测试界面提供完整的域分析。

是德科技今日还宣布，其业界领先的一站式校准服务进一步扩大，将非是德科技出品的设备也覆盖在内，更充分地实现公司支持完整测试系统的承诺。

是德科技的一站式校准服务，可确保来自其它厂商的测试资产以及电气、物理、尺寸和光学设备保持持续稳定的精度和可用性。这有助于工程师以更低成本开发、部署和维护测试系统。

当今的测试系统往往整合了来自多家厂商的不同形式的仪器。这包括在越来越多的 PXI 和 AXIe 仪器与传统台式仪器一起使用。这些仪器通常部署在复杂的解决方案中，需要现场安装、维护和修理。越来越多的客户希望其来自多家厂商的系统能够得到优质的服务，是德科技的一站式校准服务满足了他们的要求，现在覆盖 100,000 多种产品，包括来自是德科技之外其他厂商的台式仪器、PXI 和 AXIe 仪器。

是德科技以业界领先的校准技术、核心模块交换策略以及标准三年保修，提供快速的维修周转时间，可最大限度延长系统的正常运行时间，降低总体拥有成本。