

一起 220 kV CVT 额定输出容量校核异常的处理分析

丁涛¹, 杨雷¹, 王献军¹, 华隽², 郑可¹, 彭小平¹

(1. 国网河南省电力公司营销服务中心, 郑州 450051; 2. 国网河南省电力公司, 郑州 450018)

摘要: 针对发现的一起 220 kV 电容式电压互感器(CVT)额定输出容量 30 VA 与设计值 50 VA 不一致的问题,介绍了问题发生情况及产生原因。基于 CVT 的误差理论,得出准确度和温升指标与 CVT 的额定输出容量强相关的结论,并通过准确度试验、型式试验两者相结合来校核 CVT 额定输出容量。逐台进行了准确度试验,对 30 VA 规格的 CVT 按照 50 VA 开展了产品型式试验,重点关注温升、准确度试验,试验结果表明:30 VA 规格的 CVT 符合 50 VA 额定输出容量的要求。最后更新了 CVT 铭牌的额定输出容量参数,投运后运行正常。本文为 CVT 额定容量校核提供了一种解决方法。
关键词: 电容式电压互感器; 额定输出容量; 负载误差; 准确度; 温升

Treatment and Analysis on Abnormality of Rated Output Capacity Check of 220 kV CVT

DING Tao¹, YANG Lei¹, WANG Xianjun¹, HUA Juan², ZHENG Ke¹, PENG Xiaoping¹

(1. State Grid Henan Electric Power Company Marketing Service Center, Zhengzhou 450051, China;

2. State Grid Henan Electric Power Company, Zhengzhou 450018, China)

Abstract: In view of such issues that the rated output capacity of 30 VA of 220 kV capacitor voltage transformer (CVT) is not consistent with the design value of 50 VA, the generation and reason of the problem are introduced. Based on the error theory of the CVT, it is concluded that the accuracy and temperature rise index are strongly related to the rated output capacity of CVT, and the rated output capacity of CVT is checked through the combination of accuracy test and type test. The accuracy test is performed on the CVT one by one, and the product type test of 30 VA CVT is performed in accordance with 50 VA, with temperature rise and accuracy test in particular. The test results show that the 30 VA CVT meets the requirements of 50 VA rated output capacity. Finally, the rated output capacity parameters of the CVT nameplate are updated, and the operation is normal after the operation. This provides a solution for the rated capacity check of the CVT.

Keywords: capacitor voltage transformer; rated output capacity; load error; accuracy; temperature rise

0 引言

电容式电压互感器(capacitor voltage transformer, CVT)是由电容分压器和电磁单元组成的具有独特结构的一种电气设备,主要用于电网的测量和保护。它具有优良的性价比,在 110 kV 及以上电压等级的电力系统有广泛的应用^[1-3]。

在现场运行中发现的主要故障是:电容分压器中电容单元局部击穿、二次电压异常^[4-11],CVT 电磁单元出现铁磁谐振现象、电磁单元内元件故障或绝缘性能下降^[12-17],CVT 电容单元安装错误导致计量误差不合格^[18],但鲜有发现二次绕组额定输出值校

核的问题。本文介绍了某变电站发现的 CVT 额定输出容量值与设计不一致的问题,分析了准确度和温升试验相结合的容量校核方法,并进行试验验证,提出了处理措施,合理地解决了该问题。

1 问题介绍

某新建 500 kV 变电站 220 kV 侧母线 CVT 共 12 台,型号为 TYD220/ $\sqrt{3}$ -0.01H,设计主要技术参数见表 1。根据国家电网技术标准电压互感器技术监督导则的 5.5.3.2 条要求^[9]:“现场验收阶段电压互感器技术监督应监督设备供货单与供货合同及实物一致性等”的要求,2023 年 3 月 4 日发现

到货 CVT 的额定输出容量为 30 VA/30 VA/30 VA/30 VA 与设计要求的 50 VA/50 VA/50 VA/50 VA 不一致。由于该项目是年度度夏重点工程,要求必须在 6 月 30 日投入运行,全部让厂家更换成订货要求规格的新产品,制造工期来不及,而厂家保证到货设备的材质及生产工艺、技术指标均能满足 50 VA 的要求。因此,CVT 的额定输出容量校核,这样一个罕见的问题就提出来了。

表1 220 kV CVT 铭牌主要技术参数
Table 1 Main technical parameters on nameplate of 220 kV CVT

TYD220/√3 -0.01H 电容式电压互感器				
设备最高电压	252 kV	额定一次电压		220/√3 kV
温度类别	-25/45 ℃	中压变压器额定电压		9.8 kV
额定电压因数	1.2U _{pr} ,连续;1.5U _{pr} ,30 s			
二次绕组	1a1n	2a2n	3a3n	dadn
额定二次电压/V	100/√3	100/√3	100/√3	100
准确级	0.2	0.5(3P)	0.5(3P)	3P
额定负荷/VA	50	50	50	50
最大热极限输出/VA	500	500	—	—

2 额定输出容量问题原因分析

设备招标技术规范书二次额定输出容量为 30 VA/30 VA/30 VA/30 VA,后来在参数确认环节参数变更为 50 VA/50 VA/50 VA/50 VA,其它参数没变。由于厂家内部未及时传递变更,提供错误信息,造成到货设备铭牌信息与要求不符。

从测量准确度的角度来考虑,二次绕组额定容量 50 VA 的准确度合格,若做为 30 VA 的来用,准确度一定也合格。反之,若二次绕组额定容量设计的就是 30 VA,而实际做 50 VA 的来应用,准确度不一定能满足要求。不管是厂家疏忽致使铭牌信息错误,还是参数设计上有冗余,电气设备投运前都要进行严格质量把关。

3 解决方法分析

电力变压器的容量可以通过空载、负载及温升试验进行测量^[20-25],而互感器是一个特种的变压器,其用途及铁心与电力变压器有本质不同,因此不能借鉴变压器的容量测试方法^[26-28]。

电压互感器主要功能是为了实现有一定准确度的电压测量,通常额定输出容量不超过 100 VA。容量 $S=U\times I$,二次绕组的电压是固定值 57.7 V 或 100 V,耐受电压与绕组绝缘有关系,承受电流与二次绕组的截面积、温升相关,通常电压绕组的电流

较小。CVT 误差包括空载误差和负载误差两部分,空载误差与电容分压比和中间变压器的励磁容量有关,与二次绕组的额定输出容量无关,负载误差如式(1)、(2)所示,与额定容量值成正比例关系^[29]。

$$f_L = \frac{\Delta U_L}{U_N} \times 100\% = \frac{-(R S_N \cos \varphi + X S_N \sin \varphi)}{U_N^2} \times 100\%$$
(1)

$$\delta_L \approx \tan \delta_L = \frac{(R S_N \sin \varphi - X S_N \cos \varphi)}{U_N^2} \times 34.4(^{\circ})$$
(2)

式中: f_L 为负载比值差; δ_L 为负载相位差; S_N 为额定输出容量; $\cos \varphi$ 为负载的功率因数; R 、 X 为回路电阻、电抗(包括电容分压器等效电阻、补偿电抗器、中间变压器一次绕组及二次绕组对应的电阻及电抗); U_N 为额定中间电压。

从以上公式也可以看出,在保证准确度的前提下,影响 CVT 输出容量的参数主要有额定电容量、额定中间电压、绕组回路的阻抗、绕组匝电势^[30]。具体到某一规格的 CVT,这些参数在设计阶段就已确定,在额定输出容量的某一个范围,可以满足准确度技术要求。

另外,CVT 的额定容量关系到设备运行的温升。电压互感器长期工作时的温升是指在 1.2U_n下的测量结果,其性能和工作特点决定了铁心磁密、绕组导线的电流密度均不高,总的发热量不大,因此二次绕组一般规定了热极限输出。对电压互感器而言,还要求在系统发生接地故障时,在规定的过电压倍数下和允许持续时间内,各部位温升不应超过允许值^[31]。绕组温升可以通过电阻的变化来算出,公式为

$$\Delta \theta = \frac{R_0}{R_{\theta_1}} \times (t + \theta_1) - (t + \theta_2)$$
(3)

式中: $\Delta \theta$ 为绕组平均温升; R_0 、 R_{θ_1} 为断电瞬间绕组热态电阻值,温度为 θ_1 时冷态电阻值; θ_1 、 θ_2 为绕组冷态温度、温升试验后期确定温升的环境温度; t 为导体温度系数的倒数,铜为 235。

综合以上分析,决定采用准确度试验和温升试验来校核 CVT 的额定输出容量。首先委托第三方在现场逐台开展 CVT 二次各绕组的准确度试验。因现场不具备温升试验条件,决定开展 50 VA 规格的 CVT 型式试验。准确度试验合格、型式试验通过,就认为可满足 50 VA 的技术要求。

4 试验及处理措施

4.1 准确度试验

试验依据^[32-33]:1)GB/T 20840.5—2013 互感器第

5 部分:电容式电压互感器的补充技术要求;2)JJG 1189.4—2022 测量用互感器 第4 部分:电力电压互感器检定规程。试验方法:测差比较法;误差测量接线图见图 1,对 CVT 的计量绕组、测量(保护)绕组、剩余绕组分别做误差。

图中:VT₀为标准电压互感器;CVT_x为被检电压互感器;Y₁,Y₂,Y₃为电压负荷箱。

表 2 是其中 1 台 CVT 的误差数据,对其余的 CVT 也进行了准确度试验。数据表明,在额定频率 50 Hz、室温下,二次绕组准确度等级满足 0.2/0.5 (3P)/0.5(3P)/3P 级要求。

4.2 型式试验

依据 GB/T 20840.5—7.2 型式试验的要求,这里主要关注温升试验和准确度试验情况。

4.2.1 温升试验

试验方法:试验在单独的电磁单元上进行,温

升试验接线图见图 2。

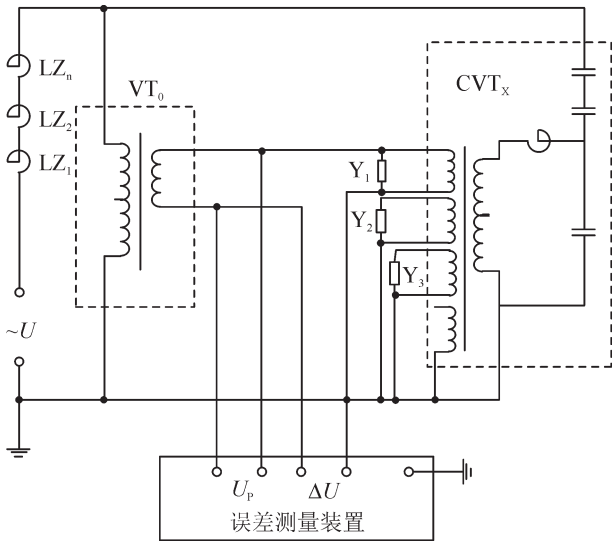


图1 CVT 误差测量接线图
Fig. 1 Wiring diagram for CVT error measurement

表 2 CVT 各绕组的误差测试数据
Table 2 Error test data of each winding of CVT

二次 绕组	准确 级	误差	额定电压百分数/%				二次负荷 (cosφ=0.8)			
			80	100	120	—	1a1n	2a2n	3a3n	dadn
1a1n	0.2	比值差 %	-0.175	-0.180	-0.182	—	50	50	50	0
		相位差 ′	8.55	9.23	8.98	—	2.5	0	0	0
		比值差 %	0.006	0.004	0.004	—	50	50	50	0
		相位差 ′	0.853	0.180	0.520	—	0	2.5	0	0
2a2n	0.5	比值差 %	-0.06	-0.06	-0.06	—	50	50	50	0
		相位差 ′	12.5	12.1	11.8	—	0	2.5	0	0
		比值差 %	0.112	0.109	0.108	—	50	50	50	0
		相位差 ′	2.54	2.28	2.11	—	0	2.5	0	0
2a2n	3P		2	5	100	150	50	50	50	0/50
		比值差 %	0.16	0.06	-0.06	-0.04	50	50	50	0/50
		相位差 ′	35.7	28.2	16.4	12.1	0	2.5	0	0
		比值差 %	0.32	0.2	0.109	0.109	0	2.5	0	0
3a3n	0.5	相位差 ′	18.4	12	2.28	1.95	50	50	50	0
			80	100	120	—	0	0	2.5	0
		比值差 %	-0.05	-0.06	-0.06	—	50	50	50	0
		相位差 ′	16.7	16.6	16.4	—	0	0	2.5	0
3a3n	3P	比值差 %	0.114	0.112	0.110	—	50	50	50	0/50
		相位差 ′	4.23	3.88	3.68	—	0	0	2.5	0
			2	5	100	150	50	50	50	0/50
		比值差 %	0.16	0.03	0.05	-0.06	50	50	50	0/50
dadn	3P	相位差 ′	38.5	29.9	21.1	15.9	0	0	2.5	0
		比值差 %	0.24	0.12	0.112	0.102	50	50	50	0/50
		相位差 ′	23.3	10.6	3.88	2.68	0	0	2.5	0
			2	5	100	150	50	50	50	0/50
dadn	3P	比值差 %	0.42	0.40	0.33	0.25	50	50	50	0/50
		相位差 ′	37.1	28.8	26.6	24.8	0	0	0	0/2.5
		比值差 %	0.89	0.63	0.49	0.34	0	0	0	0/2.5
		相位差 ′	20.13	14.5	12.26	10.82	0	0	0	0/2.5

注:0/50 表示 2%、5%、100% 3 个测试点带载 0 VA,150% 测试点带载 50 VA;0/2.5 含义类似。

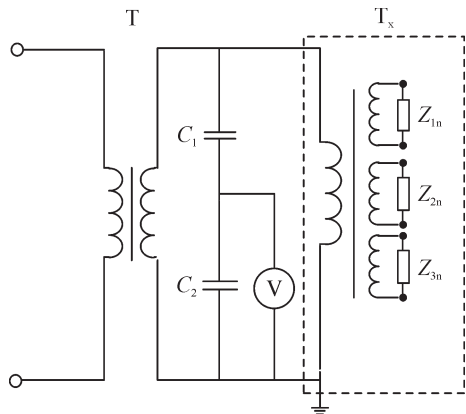


图2 温升试验接线图
Fig. 2 Wiring diagram for temperature rise test

图中:T为试验变压器; C_1 、 C_2 、V为工频电压测量系统; T_x 为被试品; Z_{1n} 、 Z_{2n} 、 Z_{3n} 为试验负荷

绕组平均温度采用电阻法测量,顶层油温采用温度计测量。按照表3二次4个绕组所带的试验负荷,先后进行4次温升试验。该CVT的温度类型是 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}/45\text{ }^{\circ}\text{C}$,比国标的温度类型 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}/40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的上限高 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$,油浸式的互感器绕组、顶层油的温升限值分别是 $60\text{ }^{\circ}\text{C}/50\text{ }^{\circ}\text{C}$,所以这里的温升限值分别是 $55\text{ }^{\circ}\text{C}/45\text{ }^{\circ}\text{C}$, $1.5U_n$ 时的绕组温升在常规温升限值加 10 K 。

表3 温升试验负荷 Table 3 Temperature rise test load						
试验时施加 的一次电压	各绕组所带负荷/VA				温升限值/K	
	1a1n	2a2n	3a3n	dadn	绕组	油顶层
$1.0U_n$	500	0	0	0	55	45
$1.0U_n$	0	500	0	0	55	45
$1.2U_n$	50	50	50	0	55	45
$1.5U_n/30\text{ s}$	50	50	50	50	65	—

试验在单独的电磁单元上进行,测得各部位的温升值见表4所示,绕组和油顶层温升满足要求。

表4 温升试验结果 Table 4 Result of temperature rise test							
绕组温 升电压	AN/ K	1a1n K	2a2n K	3a3n K	dadn K	油顶 层/K	环境温 度/ $^{\circ}\text{C}$
$1.0U_n$	9	9	8	—	—	5	18
$1.2U_n$	5	5	4	5	—	2	18
$1.5U_n$	6	6	5	6	5	—	18

4.2.2 准确度试验

准确度试验一共3次:第1次(初试)、第3次(复测)按例行试验要求做,第2次按型式试验的要求做。

4.2.2.1 准确度例行试验

在额定频率和环境温度下,二次绕组准确度等级满足 $0.2/0.5(3P)/0.5(3P)/3P$ 级要求。根据GB/T

20840.5—7.3.7条款,CVT测量绕组只做 $100\%U_n$ 、保护绕组只做 $5\%U_n$ 、 $150\%U_n$ 测量点的误差,方法同4.1节。

4.2.2.2 准确度型式试验

依据GB/T 20840.5—7.2.6条款的要求,室温下的额定频率的准确度试验:测量绕组、保护绕组分别需要在 $80\%U_n$ 、 $100\%U_n$ 、 $120\%U_n$ 及 $2\%U_n$ 、 $5\%U_n$ 、 $100\%U_n$ 、 $150\%U_n$ 的测试点,频率 $f=50\text{ Hz}$ 情况下,二次负荷在上、下限时的误差;极限温度下的额定频率上下限的准确度试验^[34]:分别在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下、在 $80\%U_n$ 、 $100\%U_n$ 、 $120\%U_n$ 电压下、在 49.5 Hz 、 50.0 Hz 、 50.5 Hz 频率下,二次负荷在上、下限负荷时的误差,用公式(4)表示

$$e = \varepsilon + j\delta = F(U, f, t)$$
 (4)

式中: e 为误差; ε 、 δ 为比值差、相位差; U 为测试电压; f 为频率; t 为温度。

由于数据较多,这里不再罗列。试验结论:在额定频率、室温及上下极限温度条件下,二次绕组准确度等级满足 $0.2/0.5(3P)/0.5(3P)/3P$ 级要求。

4.3 处理措施

经过对CVT的4个二次绕组的现场准确度试验及该规格产品的型式试验,证明了这批额定输出容量 30 VA 的CVT能满足 50 VA 的技术要求。最后更新了额定输出容量的参数,更换了该批CVT设备的铭牌。这12只 220 kV CVT已在现场安装到位,6月27日变电站投入运行,连续运行数日后台监控的电压一切正常,到此终于解决了一起 220 kV CVT额定输出容量校核问题。

5 结语

本文针对一起变电站建设过程中发现的 220 kV CVT额定输出容量与设计不一致问题,提出了CVT额定输出容量校核的办法,并通过准确度和温升试验校核,证明了原额定输出容量 30 VA 的CVT满足 50 VA 的应用要求,及时解决了CVT容量配置与设计不一致的问题。为CVT容量校核提供了一种合理的解决方案,供应用借鉴。

参考文献

[1] 夏君宇,吴奇松,赵国庆,等. 补偿电抗器对电容式电压互感器误差的影响[J]. 变压器,2022,59(2): 44-46.
XIA Junyu, WU Qisong, ZHAO Guoqing, et al. Pinfluence of compensation reactor on error of capacitive voltage transformer[J]. Transformer, 2022, 59(2): 44-46.
[2] 杨昊,汪洋,刘炬,等. 电容式电压互感器绝缘击穿故障处理及防范措施[J]. 东北电力技术,2022,43(6): 19-32.

- YANG Hao, WANG Yang, LIU Ju, et al. Fault treatment and precautionary measure of capacitor voltage transformer insulation breakdown[J]. Northeast Electric Power Technology, 2022, 43(6): 19-32.
- [3] 杜林, 陈斌, 陈贤顺, 等. 内绝缘参量对电容式电压互感器计量精度的影响分析[J]. 电网技术, 2016, 40(12): 3958-3965.
- DU Lin, CHEN Bin, CHEN Xianshun, et al. Measurement errors of capacitor voltage transformer with different internal insulation parameters[J]. Power System Technology, 2016, 40(12): 3958-3965.
- [4] 王俊娜, 谢励耘, 李晟元, 等. 220 kV 电容式电压互感器常见缺陷综述[J]. 变压器, 2022, 59(12): 73-75.
- WANG Junna, XIE Liyun, LI Shengyuan, et al. Summary of common defects of 220 kV capacitive voltage transformer[J]. Transformer, 2022, 59(12): 73-75.
- [5] 李继承. 互感器故障分析与综合诊断分析技术的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2018.
- [6] 李良书, 韩彦华, 李晋, 等. 电容式电压互感器典型故障案例分析[J]. 变压器, 2020, 57(9): 72-76.
- LI Liangshu, HAN Yanhua, LI Jin, et al. Typical fault case analysis of capacitor voltage transformer[J]. Transformer, 2020, 57(9): 72-76.
- [7] 刘可, 王轩. 计及全电路分布参数影响的CVT频率特性分析及传递系数修正策略[J]. 电器与能效管理技术, 2020(7): 8-15.
- LIU Ke, WANG Xuan. Analysis of CVT frequency characteristics and transfer coefficient correction strategy considering whole circuit distribution parameters[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2020(7): 8-15.
- [8] 李威, 胡润阁, 刘亚林, 等. 500 kV CVT电压异常分析与处理[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(3): 74-78.
- LI Wei, HU Runge, LIU Yalin, et al. Analysis and treatment on abnormal voltage issue of 500 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(3): 74-78.
- [9] 徐鹏, 殷鑑, 沈亚春, 等. 一起220 kV CVT二次电压异常事件调查[J]. 电力电容器与无功补偿, 2021, 42(5): 94-99.
- XU Peng, YIN Jian, SHEN Yachun, et al. Investigation of abnormal secondary voltage of 220 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2021, 42(5): 94-99.
- [10] 童涛, 徐碧川, 袁思凡, 等. 一起电容式电压互感器二次电压异常事故分析[J]. 电瓷避雷器, 2022(2): 98-104.
- TONG Tao, XU Bichuan, YUAN Sifan, et al. A CVT secondary voltage abnormal accident[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(2): 98-104.
- [11] 刘松美. CVT异常分析及设计优化[J]. 电力电容器与无功补偿, 2022, 43(6): 50-54.
- LIU Songmei. Abnormal analysis and design improvement of CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2022, 43(6): 50-54.
- [12] 杨家硕, 胡岩, 王佳琪. 110 kV 变电站的铁磁谐振分析与抑制[J]. 变压器, 2022, 59(2): 19-23.
- YANG Jia-suo, HU Yan, WANG Jiaqi. Ferromagnetic resonance analysis and suppression of 110 kV substation[J]. Transformer, 2022, 59(2): 19-23.
- [13] 顾用地, 李显鹏, 董新丰, 等. 一起500 kV 电容式电压互感器的故障处理及原因分析[J]. 电气工程学报, 2018, 13(12): 24-30.
- GU Yongde, LI Xianpeng, DONG Xinfeng, et al. Treatment and analysis of 500 kV capacitor voltage transformer fault[J]. Journal of Electrical Engineering, 2018, 13(12): 24-30.
- [14] 李山, 金铭, 杨定乾, 等. 某智能变电站220 kV CVT分频谐振分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2016, 37(5): 93-97.
- LI Shan, JIN Ming, YANG Dingqian, et al. Frequency resonance analysis for 220 kV CVT at certain intelligent substation[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2016, 37(5): 93-97.
- [15] 王谦, 陆宇航, 刘勇, 等. 110 kV 电容式电压互感器波形异常及影响因素分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2017, 29(11): 138-142.
- WANG Qian, LU Yuhang, LIU Yong, et al. Analysis of waveform distortion and related influencing factors for 110 kV capacitor voltage transformer[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2017, 29(11): 138-142.
- [16] 刘继平, 魏菊芳, 郝晓光, 等. 一起220 kV CVT二次电压波形畸变的故障分析[J]. 电力电容器与无功补偿, 2020, 41(2): 70-73.
- LIU Jiping, WEI Jufang, XI Xiaoguang, et al. Fault analysis on secondary voltage waveform distribution of 220 kV CVT[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2020, 41(2): 70-73.
- [17] 刘隰蒲, 王俊娜, 乐佳琪. 220 kV 电容式电压互感器发热故障分析及预防措施[J]. 变压器, 2021, 58(9): 81-83.
- LIU Xipu, WANG Junna, YUE Jiaqi. Fault analysis and preventive measures of 220 kV capacitive voltage transformer[J]. Transformer, 2021, 58(9): 81-83.
- [18] 丁涛, 陈卓娅, 刘忠, 等. 一起500 kV 电容式电压互感器电压异常的分析处理[J]. 电力电容器与无功补偿, 2010, 31(2): 52-55.
- DING Tao, CHEN Zhuoya, LIU Zhong, et al. Analysis and treatment of voltage abnormality in a 500 kV capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2010, 31(2): 52-55.
- [19] 电压互感器技术监督导则: Q/GDW 11081—2013[S]. 2013.
- Technology supervision guide for voltage transformer: Q/GDW 11081—2013[S]. 2013.

- [20]杨定乾,段昊,张勇,等.换流变压器连同换流器组的介质损耗与电容量试验方法研究[J].变压器,2022,59(1):54-59.
YANG Dingqian, DUAN Hao, ZHANG Yong, et al. Study on test method of dielectric loss and capacitance of converter transformer connect with converter[J]. Transformer, 2022, 59(1): 54-59.
- [21]唐志国,李阳.基于改进无参尺度空间经验小波变换的变压器高频电流局放噪声抑制研究[J].高压电器,2023,60(1):144-153.
TANG Zhiguo, LI Yang. Research on partial discharge noise suppression of transformer based on improved parameterless scale space empirical wavelet transform[J]. High Voltage Apparatus, 2023, 60(1): 144-153.
- [22]蒋凌峰,杨鑫,吴文锋,等.10 kV架空线路和配电变压器绝缘水平差异的调节方法[J].电瓷避雷器,2022(2):20-30.
JIANG Lingfeng, YANG Xin, WU Wenfeng, et al. Adjustment method for the difference of insulation level between 10 kV overhead line and distribution transformer[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(2): 20-30.
- [23]行武,郭晓,王哲,等.适用于新能源并网变压器匝间故障识别的新判据[J].电力工程技术,2022,41(5):219-226.
XING Wu, GUO Xiao, WANG Zhe, et al. A new criterion for inter-turn short-circuit fault recognition for new energy grid-connected transformer[J]. Electric Power Engineering Technology, 2022, 41(5): 219-226.
- [24]蔡文方,聂玲,应光耀,等.振动分析法在变压器故障诊断及隐患治理中的应用[J].浙江电力,2022,41(2):53-59.
CAI Wenfang, NIE Lin, YING Guangyao, et al. Application of vibration analysis in transformer fault diagnosis and hidden peril management[J]. Zhejiang Electric Power, 2022, 41(2): 53-59.
- [25]沙伟燕,李秀广,何宁辉,等.基于油色谱时频域信息和残差注意网络的变压器故障诊断方法[J].电网与清洁能源,2022,38(1):66-75.
SHA Weiyan, LI Xiuguang, HE Ninghui, et al. Transformer fault diagnosis method based on oil chromatogram time-frequency domain information and residual attention network[J]. Power System and Clean Energy, 2022, 38(1): 66-75.
- [26]王中,李振华,成俊杰,等.Rogowski线圈电流互感器故障的早期诊断研究[J].高压电器,2023,59(2):162-168.
WANG Zhong, LI Zhenhua, CHENG Junjie, et al. Research on early diagnosis of fault of current transformer with Rogowski coil [J]. High Voltage Apparatus, 2023, 59(2): 162-168.
- [27]王强,达建朴,刘民慧,等.特高压直流互感器大挠度绝缘子弹性支撑设计及研究[J].电瓷避雷器,2022(2):197-204.
WANG Qiang, DA Jianpu, LIU Minhui, et al. Design and research on flexible support for large deflection insulator of UHV DC transformer[J]. Insulators and Surge Arresters, 2022(2): 197-204.
- [28]周英姿,贾峰,季慧玉.高精度测量用铁心电流互感器的设计与仿真[J].电器与能效管理技术,2022(1):47-50.
ZHOU Yingzi, JIA Feng, JI Huiyu. Design and simulation of iron core current transformer for high precision measurement[J]. Electrical & Energy Management Technology, 2022(1): 47-50.
- [29]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.
- [30]吴宇凡,郭晓风,信建伟,等.影响CVT输出容量的因素探讨[J].电力电容器与无功补偿,2019,40(2):68-72.
WU Yufan, GUO Xiaofeng, XIN Jianwei, et al. Discussion on factors influencing output capacity of capacitor voltage transformer[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2019, 40(2): 68-72.
- [31]凌子恕.高压互感器技术手册[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [32]互感器 第5部分:电容式电压互感器的补充技术要求:GB/T 20840.5—2013 [S]. 2013.
Instrument transformers Part 5: Additional requirements for capacitor voltage transformers: GB/T 20840.5—2013 [S]. 2013.
- [33]测量用互感器 第4部分:电力电压互感器检定规程:JJG 1189.4—2022 [S]. 2023.
Verification regulation of instrument transformers Part 4: Voltage transformers in power system: JJG 1189.4—2022 [S]. 2023.
- [34]杜林,李永森,贺鹏,等.环境温度对CVT计量误差的影响[J].电力自动化设备,2020,40(6):204-209.
DU Lin, LI Yongsen, HE Peng, et al. Influence of ambient temperature on CVT's measurement error[J]. Electric Power Automation Equipment, 2020, 40(6): 204-209.

作者简介:

丁涛(1975—),男,正高级工程师,研究方向为电力互感器测量技术、型式试验及研究工作。E-mail:499929116@qq.com。

杨雷(1979—),女,高级工程师,研究方向为电能计量技术。

王献军(1974—),男,高级工程师,研究方向为电能计量技术。

华隽(1983—),男,高级工程师,研究方向为电能计量管理。

郑可(1986—),男,工程师,研究方向为电能计量现场校验。

彭小平(1976—),女,高级工程师,研究方向为电能计量技术。