

一种集约型电器设备试验引线集成技术研究及应用

王磊, 程鹏, 杨艳, 范荣琴, 李嗣敏

(国网巢湖市供电公司, 安徽 巢湖 238000)

摘要: 针对变压器等电器设备的电气试验项目繁多、流程复杂、时间过长以及工作量大, 且无法满足大客户电力需求的现状, 研制一种引线集成装置。通过试验引线将变压器高、低压套管上的桩头引接至集成装置上, 再用试验仪器直接在引线集成装置上进行试验, 从而减少登高和改接线次数, 显著提高了配电变压器的电气试验效率。

关键词: 电气试验; 引线; 集成装置

Research and application of test lead integration technology for intensive electrical equipment

WANG Lei, CHENG Peng, YANG Yan, FAN Rongqin, LI Simin

(State Grid Chaohu Electric Power Supply Company, Chaohu 238000, China)

Abstract: In view of the fact that there are many items of transformer electrical test, complicated process, too long time, heavy workload, and unable to meet the power demand of major customers, an lead integrated device is developed. The terminal of the transformer HV and LV bushing are connected to the integrated device through the test lead, and then the test instrument is used to directly test on the integrated device. The lead integrated device can reduce the number of times of climbing and changing the wiring, and significantly improve the efficiency of the electrical test of the transformer.

Key words: electrical test; lead wire; integrated device

0 引言

在变压器等电器设备检修工作中, 往往采取“一停多用”的模式, 即施工、检修、试验和消缺等不同种类的工作一同开展, 容易出现交叉作业等问题^[1]。电气试验往往危险性高, 作业范围大, 且对天气情况和湿度也有一定的要求, 需要较长的停电时间来完成试验工作^[2]。很多用电大客户, 供电时间就是生产效益, 对变电站停送电时间和次数要求非常严苛。本文设计了一种试验引线集成装置, 通过导线将变压器高、低压套管上的桩头引接至引线集成装置上, 再用试验仪器直接在地面上完成试验工作, 从而减少登高和改接线次数, 节省试验时间, 提高工作效率。

1 引线集成装置的设计

结合现场对引线集成装置的整体设计提出了两种一级方案, 即一体化集成式和高低压分装式。一体化集成式是将高、低压套管集中等价转换至一个箱体内, 具有集中、美观的优点, 缺点是体积和重量都很大, 且高、低压会受到互相干扰; 高低压分装式是将高、低压套管分别等价转换至两个箱体中, 具有体积小, 便于携带, 高、低压无互相干扰等优点, 缺点是造价较一体化集成式高。基于以上优缺点, 一级方案采用高低压分装式。

在现场试验工作中, 需要对引线集成装置进行多次搬运。为了保证试验的准确性, 要求高低压无

互相干扰^[3]。故选择高低压分装式方案较为合理。

引线集成装置的具体构成分为三个部分,即转换部分、试验部分和辅助部分。其中,转换部分是将变压器高、低压套管的桩头等价转换至引线集成装置上,实现在地面上完成该变压器的各项试验;试验部分是试验仪器仪表与引线集成装置连接的部分;辅助部分对引线集成装置进行辅助作用。

2.1 转换部分

转换部分是能够将变压器高、低压桩头等价转换至集成装置上,由试验引线和绝缘支柱构成。

2.1.1 试验引线的选择

试验过程中,导线中耦合电容会对试验数据产生干扰,干扰过大会影响试验数据的准确性。因此,选择引线重点需要考虑引线的抗干扰力。带屏蔽层绝缘导线的内高压屏蔽层通过增加铝箔层和半导体层,保证试验不会受到大的干扰^[4]。

变压器试验项目中最容易受干扰的项目为介质损耗试验^[5],下面分别采用带屏蔽层绝缘导线和不带屏蔽层绝缘导线对一台正在运行的 35 kV 油浸式变压器进行多次介质损耗试验。介质损耗因数要求^[6]如下:① 35 kV 及以下为 1.5%;② $\tan \delta$ 值与历年数值比较不应有显著的变化(一般不大于 30%),介质损耗数据对比如图 1 所示。

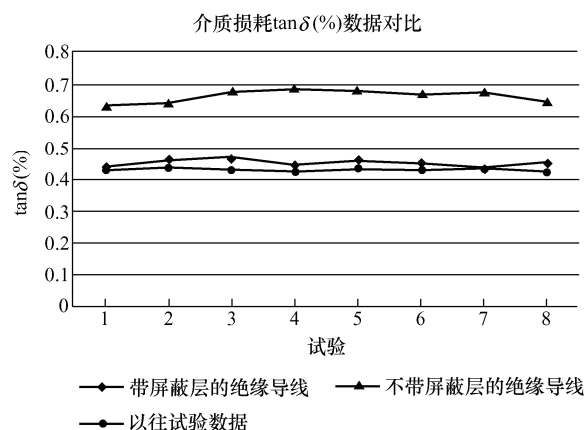


图 1 $\tan \delta$ 对比图

Fig. 1 $\tan \delta$ comparison chart

由图 1 中可以看出,试验得到数值均小于

1.5%,且都没有较显著的变化,所以均满足要求。不带屏蔽层绝缘导线的数据与以往试验数据相比差异较大,所以采用带屏蔽层绝缘导线准确性更高。

2.1.2 绝缘支柱的选择

绝缘支柱的主要作用是将引线与箱体等外界进行隔绝,同时起固定引线的作用,必须具有规定的电气强度和足够的机械强度,同时要具有外形小、重量轻等优点^[7]。下面分别采用绝缘套管和支柱绝缘子进行直流电阻试验,通过比较试验数据,选择较为合适的绝缘支柱。数据分析如图 2 所示。

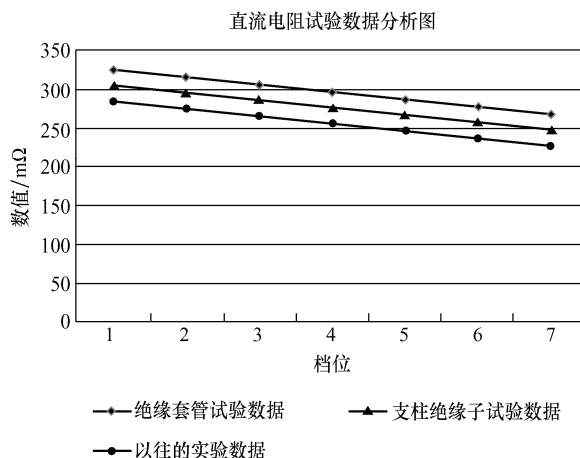


图 2 直流电阻试验数据分析图

Fig. 2 Analysis chart of DC resistance test data

由图 2 中可以看出,使用绝缘套管的数据线在最上方,与以往的试验数据相比差异比较大。因为绝缘套管有两个接触点,而支柱绝缘子只有一个接触点,对测试结果的影响比绝缘套管小,得出的数据更接近于以往实测数据。因此,选用支柱绝缘子作装置的绝缘支撑。

2.2 试验部分

试验部分是主要实现试验仪表与集成装置的连接。提出两种方法实现试验部分的作用,即直接式和接口式。直接式,即通过螺钉直接将试验导线和支持绝缘子连接;接口式,即将支柱绝缘子桩头通过引线连接至接口上,并固定在集成装置外壳上。下面对这两种方案进行多次泄漏电流测试试验^[8]。

直接式相当于试验仪器不经任何过渡直接与变压器桩头引下来的试验引线相连接,过渡点少,

过渡点对外壳和地产生的杂散电流少,理论上比接口式对于试验数据的误差影响要小得多。由于高压试验变压器对地的泄漏电流不经过微安电流表,微安电流表所指示的即为流经被试绝缘的泄漏电流,因此测量电流比较准确。因此,采用微安电流表处于高压侧的试验接线^[9]。直接式泄漏电流原理图如图3所示。

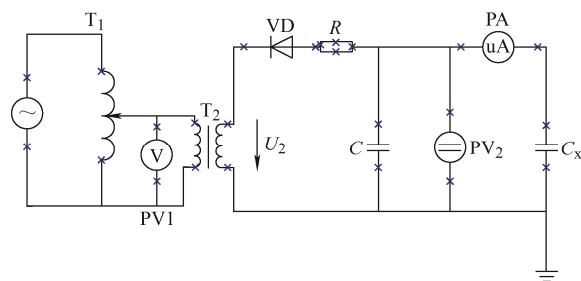


图3 直接式泄漏电流原理图

Fig. 3 Schematic diagram of direct leakage current

接口式会产生两个对地电容。如图4所示,微安表测得的泄漏电流为试品的泄漏电流加上两个对地电容的泄漏电流之和。

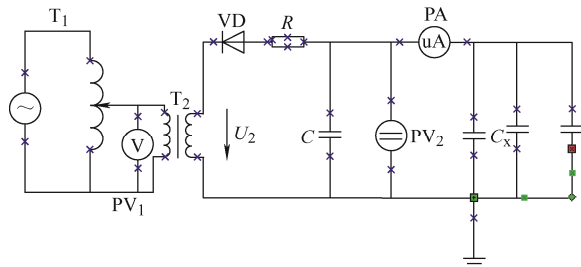


图4 接口式泄漏电流原理图

Fig. 4 Schematic diagram of interface leakage current

经过多次试验,把两种方案的测量误差进行对比,如图5所示。

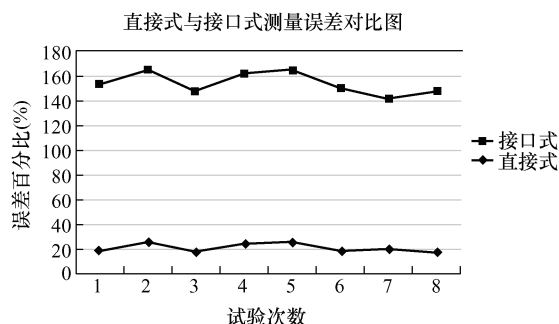


图5 测量误差对比图

Fig. 5 Comparison chart of measurement error

通过对比图可以看出,直接式的泄漏电流的误差比接口式小得多。因此,选用直接式接口方案会使试验结果较为准确。

2.3 辅助部分

辅助部分主要是集成装置的外壳接地,用以保证人身和设备的安全。那么外壳接地部分需要便于使用,连接可靠^[10]。通常采用固定式和插拔式两种方式。

固定式是通过螺钉压紧接地线,具有成本低、耐用和适应性强的特点;插拔式是将接地引线插入圆形接口,具有安装快捷、使用方便的特点,但是试验过程中接口容易松弛^[11]。所以,采用固定式的端子作为集成装置外壳接地。

综上所述,最终确定了高压试验引线集成装置的整体方案,如图6所示。

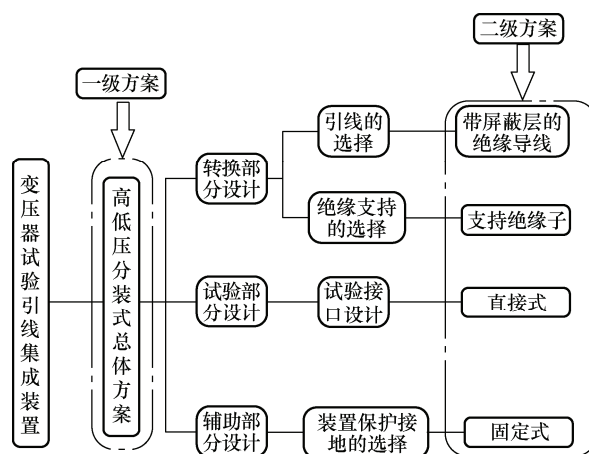


图6 试验引线集成装置整体方案

Fig. 6 Overall scheme of test lead integrated device

3 应用举例

为了验证引线集成装置的准确性,分别选择了不同变电站6台不同型号的35 kV油浸式变压器作为试验对象,采用直接进行试验和加引线集成装置进行试验^[12]。下面分别对这6台变压器做绕组绝缘电阻试验、介质损耗试验和直流电阻试验,验证引线集成装置的实用性。

3.1 绕组绝缘电阻试验

绕组绝缘电阻要求^[4]: ① 换算至同一温度

下,与前一次试验结果相比无显著变化;②吸收比>1.3或极化指数>1.5或绝缘电阻>10 GΩ。绝缘电阻试验数据对比如表1、图7所示。

表1 绝缘电阻试验数据对比 (单位: GΩ)

Tab. 1 Comparison of insulation resistance test data

变压器 序号	直接试验	加引线集成装 置试验	前一次 试验	两种试验 方法误差 (%)
1	15.23	13.99	14.7	8.5
2	11.3	11.0	11.24	2.1
3	20.23	19.59	20.9	3.1
4	65.5	53.19	65.4	18.7
5	130.1	120.4	130.7	7.5
6	76.3	62.82	80.2	17.6

注:表中数据均换算至20℃时的试验数据。

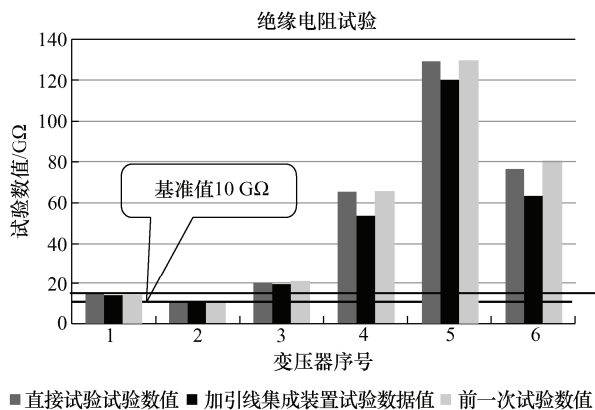


图7 绝缘电阻试验数值对比

Fig. 7 Numerical comparison chart of insulation resistance test

通过与前一次试验数据进行比较,两种方法均不低于前一次试验数据的70%,且都满足要求。两种方法试验所得的数值之间最大误差为18.7%,对于状态较好的变压器,18.7%的误差不会影响设备状态的误判,对于达到规程规定的临界状态的变压器,也可以采用多种方法鉴定变压器状态^[13]。

3.2 介质损耗试验

介质损耗因数要求^[6]:①35 kV及以下为1.5%;②tan δ值与历年数值比较不应有显著的变化(一般不大于30%)。介质损耗试验tan δ(%)数值对比如表2、图8所示。

与前一次试验的数值比较,两种方法的试验数值变化均低于30%。经过集中引线装置试验的数值虽然比直接试验和前一次试验的数值稍微大

些,但均远低于1.5%。表2中最大的误差在19.6%。对于状态较好的变压器,19.6%的误差不会影响设备状态的误判,对于达到规程规定的临界状态的变压器,也可以采用多种方法鉴定变压器状态^[14]。

表2 介质损耗试验tan δ(%)数值对比

Tab. 2 Comparison of tan δ(%) values in dielectric loss test

变压器 序号	直接试验	加引线集成装 置试验	前一次 试验	两种试验 方法误差
1	0.291	0.313	0.312	7.6%
2	0.311	0.372	0.321	19.6%
3	0.249	0.292	0.259	17.3%
4	0.304	0.356	0.294	17.1%
5	0.542	0.638	0.526	17.7%
6	0.331	0.396	0.319	19.6%

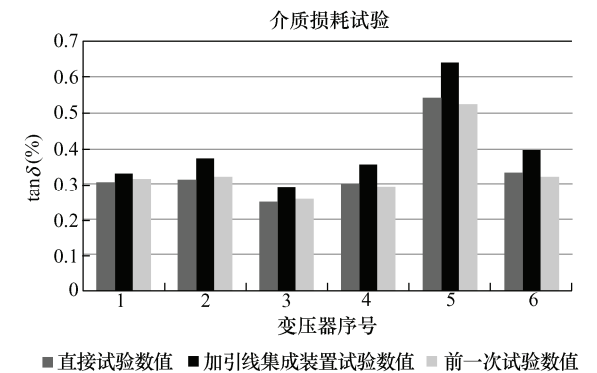


图8 介质损耗试验数值对比

Fig. 8 Numerical comparison of dielectric loss test

3.3 直流电阻试验

绕组直流电阻要求^[6]:相间互差不大于2%;同相初值差不超过±2%。

该试验以变压器1和变压器2为试验对象进行试验,试验数值如表3、表4所示,试验数值对比如图9、图10所示。

绕组直流电阻温度计算公式为

$$R_{t_2} = [(T + t_2) / (T + t_1)] \times R_{t_1}$$
 (1)

式中,R_{t2}为换算至温度为t₂时的绕组直流电阻;R_{t1}为温度为t₁时的绕组直流电阻;T为温度换算系数,铜线235,铝线225。

将数据换算同一温度下进行比对,直流电阻线间差或相间差百分数计算公式^[15]为

$$\Delta R_x = (R_{\max} - R_{\min}) / R_p$$
 (2)

式中,ΔR_x为线间差或相间差的百分数;R_{max}为三线或三相实测值最大值;R_{min}为三线或三相

实测值的最小值； R_p 为三线或三相实测值的平均值。

表 3 变压器 1 直流电阻试验数值
Tab. 3 DC resistance test value of transformer 1

变压器 1		AB	AC	BC
直接 试验	1	0.721 6	0.722 7	0.724 6
	2	0.704 6	0.705 2	0.706 0
	3	0.688 3	0.688 3	0.689 5
	4	0.671 2	0.670 9	0.669 5
	5	0.655 9	0.655 5	0.657 5
	6	0.638 6	0.639 1	0.639 3
	7	0.622 6	0.621 9	0.624 5
加引线 集成装 置试验	1	0.742 2	0.743 1	0.745 1
	2	0.724 4	0.725 5	0.726 5
	3	0.708 9	0.708 8	0.710 1
	4	0.691 5	0.691 4	0.690 0
	5	0.676 6	0.676 2	0.678 0
	6	0.659 4	0.659 6	0.659 8
	7	0.643 2	0.642 3	0.645 0

表 4 变压器 2 直流电阻试验数值
Tab. 4 DC resistance test value of transformer 2

变压器 2		AB	AC	BC
直接 试验	1	0.516 2	0.519 7	0.519 0
	2	0.504 3	0.507 4	0.506 2
	3	0.491 4	0.494 4	0.493 1
	4	0.478 3	0.481 3	0.479 1
	5	0.465 4	0.467 8	0.466 0
	6	0.454 1	0.456 3	0.455 0
	7	0.440 9	0.443 3	0.441 9
加引 线集 成装 置试 验	1	0.536 5	0.540 0	0.539 5
	2	0.524 4	0.527 6	0.526 7
	3	0.511 9	0.514 7	0.513 4
	4	0.498 4	0.501 5	0.499 6
	5	0.485 6	0.488 2	0.486 5
	6	0.474 6	0.476 2	0.475 4
	7	0.461 6	0.463 2	0.462 4

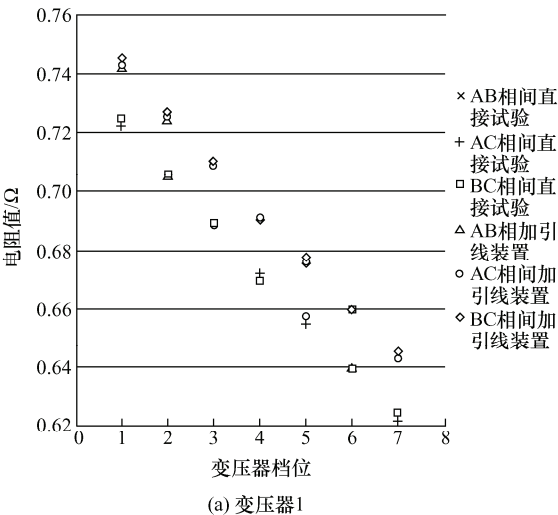
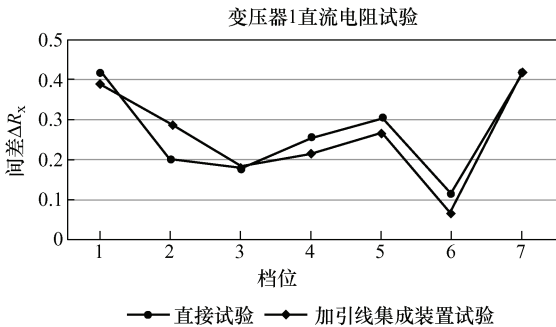


图 9 变压器 1 试验数值对比

Fig. 9 Comparison of test data of transformer 1

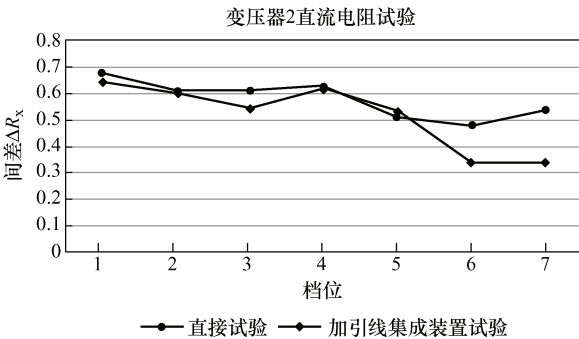


图 10 变压器 2 试验数值对比

Fig. 10 Comparison of test data of transformer 2

由图 9、图 10 可知，传统试验方法与使用集成装置后的试验方法所得数据均满足《输变电设备状态检修试验规程》的要求。将上述数据进行分析，画出散点图，如图 11 所示。

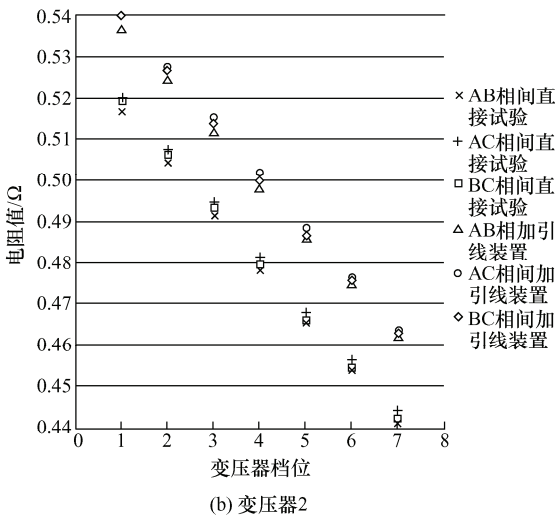


图 11 试验数值散点图

Fig. 11 Scatter plot of experimental data

由图 11 可以看出,采用集成装置的数据线比传统试验略往上移,观察变压器 1、变压器 2 的数据散点图发现,数据具有规律性,在此可以引入一个已知误差。通过对比发现,使用集成装置后的变压器直流电阻均有约 20 mΩ 增加,因此使用集成装置后引入一个 20 mΩ 已知误差,从而保证数据的准确性。

4 结束语

通过对这 6 台 35 kV 油浸式变压器的试验验证,直接试验方法与使用引线集成装置试验方法的试验数据均能正确地反映设备状态,产生的误差均在可控范围内,均能通过引入已知误差等方法消除影响,试验数据准确度可达 100%。所以,引线集成装置能够使变压器的试验减少登高和改接线次数,节省试验时间,提高工作效率。**EA**

参考文献

- [1] 肖幸禄. 变电站变压器的检修与维护研究[J]. 科学技术创新, 2020(16): 187-188.
- [2] 陈化钢. 电力设备预防性试验方法及诊断[M]. 北京: 中国水力水电出版社, 2009.
- [3] 刘睿桐. 电力变压器电气高压试验技术分析[J]. 科技创新与应用, 2020(28): 149-150.
- [4] 孙秋芹, 周志成, 赵科, 等. 变压器综合试验系统的设计与实现[J]. 江苏电机工程, 2014(3): 56-58.
- [5] 陈天翔, 王寅仲. 电气试验[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [6] 电力设备预防性试验规程: DL/T 596—2019[S].
- [7] 杨涛, 安影, 等. 252 kV GIS 用支柱绝缘子绝缘能力提升研究[J]. 电工电气, 2019(9): 46-49.
- [8] 阮友亮, 钟继, 等. 电器设备泄漏电流测试技术的研究[J]. 家电科技, 2009(17): 38-39.
- [9] 杨力, 高立超, 等. 基于低压微安表法的特高压直流换流站多柱并联避雷器直流参考电压和泄漏电流测量方法的研究[J]. 电气技术, 2018(2): 105-108.
- [10] 黄玉波. 浅析交流电气设备金属外壳接地的必要性[J]. 河南科技, 2013(9): 37.
- [11] 祝庆珩. 我国低压配电系统现行接地方式存在的若干问题及解决途径[J]. 电工技术, 1992(8): 8-12.
- [12] 徐浩桢. 35 kV 油浸式电力变压器故障诊断及检修技术探讨[J]. 中国高新技术企业, 2016(21): 75-76.
- [13] 陆文升. 变压器绕组绝缘电阻的测量结果分析[J]. 中国新技术产品, 2014(4): 135-136.
- [14] 赵尊慧, 罗思琴, 等. 变压器预防性试验中提高电容套管介质损耗因数准确度的方法[J]. 机电信息, 2017, 33(27): 50-51.
- [15] 李鹤健, 王科, 等. 变压器直流电阻变化量特性统计分析[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.

作者简介:



王磊

王磊(1965—), 男, 高级工程师, 主要从事高压电气设备试验技术研究。

程鹏(1982—), 男, 高级工程师, 主要从事高压电气设备试验技术研究。

杨艳(1989—), 女, 高级工程师, 主要从事高压电气设备试验技术研究。

范荣琴(1978—), 女, 高级工程师, 主要从事高压电气设备试验技术研究。

李嗣敏(1996—), 女, 助理工程师, 主要从事高压电气设备试验技术研究。

(收稿日期: 2021-01-20)