

基于极化去极化的高压套管介电特性研究

杜清全¹, 蔡 钢², 黄晓峰¹, 刘 涛², 吴广宁¹, 刘 曦²

(1. 西南交通大学电气工程学院, 成都 610031; 2. 四川电力科学研究院, 成都 610072)

摘要: 笔者针对温度对套管的时域介电响应特性进行了研究。采用IEEE中对套管模型的测量数据, 分析计算了极化去极化电流曲线(polarization and depolarization current, PDC)的介质响应函数。最后利用电荷差的(charge difference method, CDM)方法分析了测量数据并同常规测量计算进行对比, 认为在测量3 000 s后就可以对直流电导率进行评价分析, 对提高现场试验效率有很大的帮助。

关键词: 套管; PDC; CDM; 平均电导率

中图分类号: TM85

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2014)07-0038-06

Analysis on Dielectric Property of HV Bushing Using Polarization and Depolarization Current Method

DU Qingquan¹, CAI Gang², HUANG Xiaofeng¹, LIU Tao², WU Guangning¹, LIU Xi²

(1. School of Electric Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: The time domain dielectric response characteristics of HV bushing is analyzed at different temperature. The time domain dielectric response function of HV bushing is calculated by using the measured data of bushing in the IEEE model. The measured data are analyzed by using the charge difference method(CDM), and the result is compared with the one from conventional measurement and calculation. PDC test indicates that DC conductivity of HV bushing can be evaluated after 3 000 seconds of measurement.

Key words: bushing; polarization and depolarization current; charge difference method; average conductivity

0 引言

变压器故障会导致整个电力系统的故障, 其安全运行的可靠性至关重要。随着电力系统容量的扩充, 伴随变压器老化的高压套管将承受更大的热应力和负载。安全可靠的高压套管成为电网稳定运行的关键因素^[1]。

由于现场条件和信号取样困难, 目前套管检测的许多传统绝缘状态检测方法都很难采用 (除如介损、局部放电检测等以外)^[2-5], 而局部放电检测不能对绝缘状态进行评估 (如水分和老化)。因此开展套管的新型无损检测技术研究显得十分必要和迫切。文[6]利用 PDC 方法测量分析了不同微水对油浸纸(OIP)套管的影响, 同时国外也有很多关于 PDC 测量

套管的报道^[7-9], 文[10-12]利用 PDC 对油纸绝缘系统进行了大量研究, 利用其所建的 X-Y 模型可以分析计算出油和纸的电导率。文[9]测量了套管模型不同铝箔层短路后的时域和频域图谱, 测量了热刺激极化去极化电流, 利用 Debye 模型拟合分析了测量数据^[13]。国内目前少有利用介电响应测量分析计算套管的报道, 仅武汉大学的周悦^[14]和华中科技大学的臧春艳^[2]等人建立了套管频域下等效电路图。文[15-18]利用 labview 和静电计开发了一套简易的 PDC 测量工具并和瑞士生产的 PDC-ANALYSER-1MOD 进行对比分析, 达到预期技术要求。文[19]利用测量和仿真的极化去极化电流建立变压器扩展 Debye 模型。综上所述, 国内少有针对性针对套管介电响应的研究, 利用极化去极化方法研究的更是鲜有报道。

套管负载的增加伴随着温度的升高, 现场环境的改变也会影响套管的温度, 而温度对于介电响应

测量的影响尤为显著,因此应该首先确立温度和套管介电响应的关系。同时一般 PDC 都需要长时间的测量,对于极化 10 000 s 和去极化 10 000 s 的时间,现场条件很难满足,而且测量效率很低,因此很有必要在原来的基础上进行改进。

笔者通过分析计算不同温度下的极化去极化电流介质响应函数,计算分析了直流电导率和温度的关系。利用 CDM 方法分析了套管模型的极化电荷差,极化电荷差的斜率和平均电导率呈正比关系,认为在 3 000 s 附近极化电荷差的斜率基本稳定,可以对平均电导率进行分析计算,对于优化现场测量时间有重要意义。

1 CDM 理论依据

在绝缘介质两端施加直流电压 $U(t)$,介质中的电荷和偶极子会在电场的作用下产生位移,流过介质材料的电流可以表示为

$$i(t) = C_0 \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} U(t) + C_0 \varepsilon_\infty \frac{dU(t)}{dt} + C_0 \frac{d}{dt} \int_0^t f(t-\tau) U(\tau) d\tau. \quad (1)$$

式(1)中: C_0 是几何电容; $U(t)$ 是充电电压; σ_0 是复合介质材料在直流下的电导率; ε_0 为真空介电常数; $f(t)$ 为电介质响应函数。

PDC 简化的扩展 Debye 模型测量原理图见图 1。在开关导向 1 时测量极化电流 i_p ,开关导向 2 时测量去极化电流 i_d 。极化去极化电流表达结果如下:

$$i_{\text{pol}}(t) = C_0 U_c \left[\frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} + f(t) \right] (0 < t < t_c); \quad (2)$$

$$i_{\text{depol}}(t) = C_0 U_c [f(t) - f(t+t_c)] (t \geq t_c). \quad (3)$$

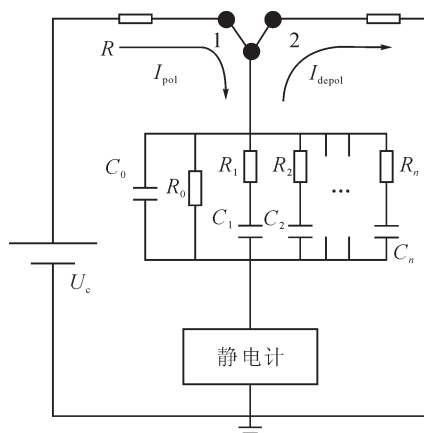


图 1 测量原理图

Fig. 1 Principles of test arrangement for PDC measuring technique

实际测量的时候,试验通常会受到测量时间和噪声的影响,利用 CDM 方法可以较好地抑制这些影响因素,其原理如下:

$$q_{\text{pol}}(t_i) = \sum [i_{\text{pol}}(t_i) \times t_i]; \quad (4)$$

$$q_{\text{depol}}(t_i) = \sum [i_{\text{depol}}(t_i) \times t_i]; \quad (5)$$

$$q_p(t_i) - q_d(t_i) = \sum [i_p(t_i) \times t_i - i_d(t_i) \times t_i]. \quad (6)$$

式(4)–(6)中: q_p 代表极化电量(充电电荷总量); q_d 去极化电量(存储电荷); $q_p - q_d$ 代表极化电荷差(没有存储的电量)。

对于建立的扩展 Debye 模型,表达式(4)–(6)可以写成如下表达:

$$q_{\text{pol}}(t) = U \sum_j C_j (1 - e^{-t/\tau_j}) + \frac{U}{R_\infty} \cdot t; \quad (7)$$

$$q_{\text{depol}}(t+t_c) = U \sum_j C_j (1 - e^{-t_c/\tau_j}) (1 - e^{-t/\tau_j}); \quad (8)$$

$$q_p - q_d = U \sum_j C_j \cdot e^{-t_c/\tau_j} (1 - e^{-t/\tau_j}) + \frac{U}{R_\infty} \cdot t. \quad (9)$$

2 实验数据

实验参考的数据来源于文[13]对套管模型进行的实测数据。下面简要介绍一下实验过程。

2.1 实验过程

在实验室制备套管油纸电容心子,套管电容心子的本质是由一系列的铝箔分层电容构成的,结构见图 2。整个电容心子是在特定的位置上插入铝箔,将模型放置在气压小于 100 Pa,温度在 105 ℃环境中 48 h。再放入环氧树脂瓶中,最后浸渍矿物油。实验中采用的绝缘纸是由魏德曼公司制作的厚 0.125 mm,击穿电压为 8.5 kV 的菱形纸。利用卡尔费修对套管模型进行微水的测量,控制不同温度下的微水含量,控制在 3%。通过安装在电脑中的 Labview 控制采集数据,导入 MATLAB 里对数据进行分析处理。

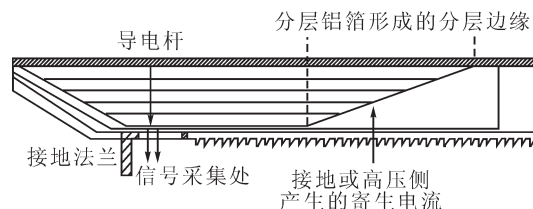


图 2 套管结构

Fig. 2 Structure of bushing

实验通过安装在环氧树脂筒中的 Pt100 温度传感器,对温度进行监控。测量得到了不同温度(65、42、31、25 ℃)下的极化去极化电流曲线。

2.2 PDC 测试结果

测量得到不同温度下的极化去极化电流曲线,见图 3、4。

介质的自发极化和温度有相关性,温度的改变都会引起偶极距的变化。对于像蓖麻油、橡胶、酚醛树脂和纤维素等常用的极性绝缘材料来说,在电

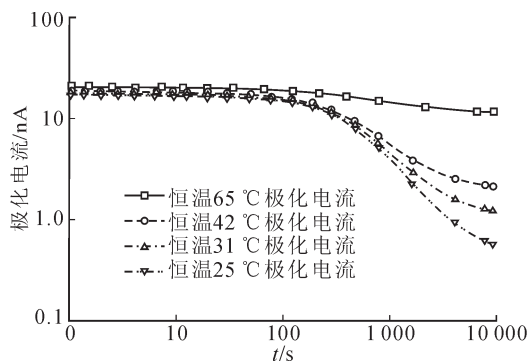


图3 不同温度下的极化电流

Fig. 3 Polarization current curves of model at different temperatures

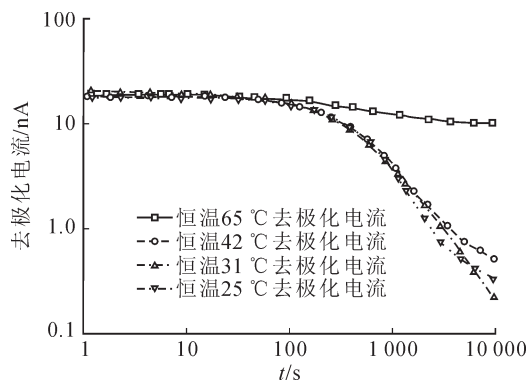


图4 不同温度下的去极化电流

Fig. 4 Depolarization current curves of model at different temperatures

场作用下,原来杂乱分布的极性分子顺电场方向定向排列,因而显示出极性,所以这种极化常被称为转向极化。极性液体和固体介质在温度过低时,由于分子间联系紧密,难以转向,所以极性液体和固体介质的极化在低温下先随温度的升高而增加,以后当热运动变得强烈时,又随温度上升而减小。从图3、4可以看出,PDC电流总体随着系统温度的增加而增加。

3 实验结果分析

3.1 PDC 电流变化特性

油和纤维材料的响应函数满足如下关系^[20]

$$f(t) = \frac{A}{\left(\frac{t}{t_0}\right)^n + \left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (10)$$

式(10)中: $A > 0$; $m > n > 0$; $m > 1$ 。

对于长时间测量有 $f(t+t_0) \approx 0$, 将式(10)分别带入式(2)和式(3),可以得到表达式(11)、(12),结合测量电流曲线对其中的参数进行拟合,参数拟合结果见表1、2。

$$i_{\text{pol}} = i_{\infty} + \frac{B}{\left(\frac{t}{t_0}\right)^n + \left(\frac{t}{t_0}\right)^m}; \quad (11)$$

$$i_{\text{depol}} = \frac{K}{\left(\frac{t}{t_0}\right)^n + \left(\frac{t}{t_0}\right)^m} \quad (12)$$

表1 不同温度下极化电流 i_{∞} 和测量时间的拟合参数

温度/°C	i_{∞}	B	t_0	N	m
65	10.800 0	9.376	583.5	0.000 31	1.001
42	1.979 0	15.010	453.8	0.017 01	1.485
31	1.057 0	15.110	458.1	0.017 11	1.521
25	0.439 7	15.230	462.1	0.016 70	1.566

表2 不同温度下去极化电流和测量时间的拟合参数

温度/°C	K	t_0	n	m
65	19.25	561.5	2.023×10^{-10}	0.372 4
42	17.45	397.1	6.210×10^{-7}	1.269 0
31	16.53	404.6	0.029 93	1.348 0
25	15.93	448.2	0.012 58	1.514 0

温度和电阻有如下关系^[21]

$$R(T) = R_0 \cdot e^{\frac{E_a}{kT}} \quad (13)$$

式(13)中: k 是玻尔兹曼常数; E_a 为活化能; T 是绝对温度。极化电流中的 i_{∞} 表征了长时间测量的稳态电流,其大小和电导率成正比。拟合极化电流 i_{∞} ,拟合优度在0.982 1。去极化电流曲线在高温的时候不满足 $m > 1$ 的条件。去极化曲线相对于极化电流曲线来说,其变化基本都是由介质内部的极化现象造成,介质中的绝缘状态信息都承载在去极化电流曲线中。当试样两端施加电场之后,电介质中的偶极子随着电场方向偏转,同时在不同绝缘材料的界面处出现了界面极化现象。由于温度升高提高了试品内载流子的迁移率,一方面提高了油纸绝缘的电导率,另一方面提高了油纸界面极化的响应速度,同时也可能加剧了油纸绝缘界面两侧介电特性的不均匀程度,从而提高了其界面极化的强度所造成。但是纸板内的界面极化情况如何,仅根据极化电流曲线难以判断^[22-23]。结合极化去极化电流可以减小实验中的误差,其平均电导率的计算方法^[11]为

$$\sigma_r \approx \frac{\varepsilon}{C_0 U_0} [i_p(t) - i_d(t)] \quad (14)$$

利用式(14)对极化去极化电流进行处理得到电流差的曲线见图5。

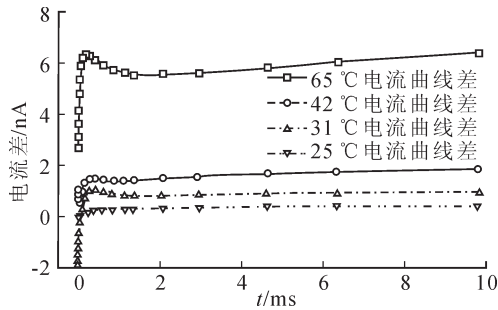


图 5 不同温度下的电流差曲线

Fig. 5 Currents difference at different temperatures

电流在最末端值和平均电导率满足正比关系, 由于 $\varepsilon/(U_0 C_0)$ 为常数, 假定其为 1, 则电流差值就是电导率值。对不同时间段电流差取值得到表 3 的拟合参数。

表 3 不同温度下不同时间点电流差值

Tab. 3 Current values at different temperatures and time

参数		不同温度下电流差/nA			
		65 ℃	42 ℃	31 ℃	25 ℃
时间/s	1 000	5.60	1.39	0.812	0.309
	2 000	5.53	1.49	0.802	0.338
	3 000	5.60	1.58	0.839	0.362
	4 500	5.82	1.70	0.898	0.390
	6 500	6.00	1.76	0.936	0.404
	10 000	6.39	1.84	0.978	0.418
最大误差/%		13.46	24.45	18.00	26.01
3 000 s 误差/%		12.36	14.10	14.00	13.40
最小误差/%		6.10	4.34	4.29	3.34

选择 10 000 s 时候的测量数据为基准, 得到各个时间点的测量误差, 并用式(13)拟合 10 000 s 时的电导率, 拟合优度在 0.998, 项系数为 2.827×10^8 , 指数系数为 -5 953。

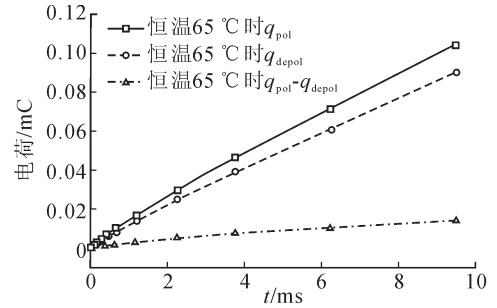
根据以上分析可知, 对于长时间的测量, 利用电流差可以很好预测不同温度下平均电导率的变化趋势。

3.2 应用 CDM 对数据进行处理

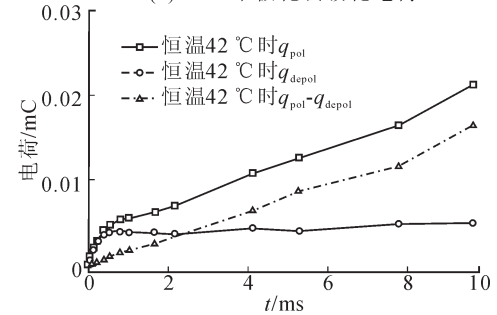
利用短时间测量的极化去极化电流差计算电导率误差常在 10% 左右, 不利于实验的开展和数据分析, 效率很低。利用 CDM 方法分析的实验数据能很好地弥补上述缺点具体分析如下。

由于试验测量的时候会受到噪声和环境等因素的影响, 利用式(9)可以有效地抑制不良因素对计算分析的影响, 其中斜率 U/R_∞ 正比于长时测量的直流电导率。对各个温度下的极化和去极化电荷量计算得到见图 6、7。

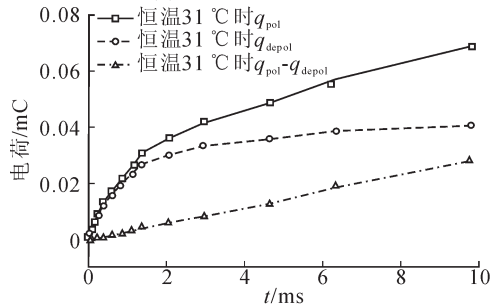
由图 7 可知极化电荷差在 3 000 s 的时候斜率



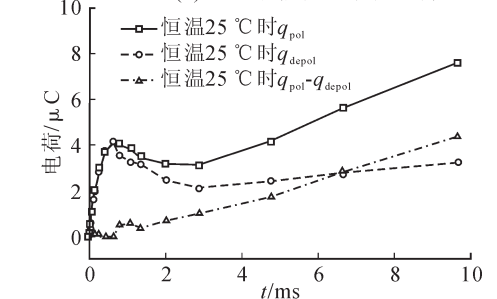
(a) 65 °C 下极化去级化电荷



(b) 42 °C 下极化去级化电荷



(c) 31 °C 下极化去级化电荷



(d) 25 °C 下极化去级化电荷

图 6 不同温度下极化去极化电荷

Fig. 6 Polarization and depolarization charges at different temperatures

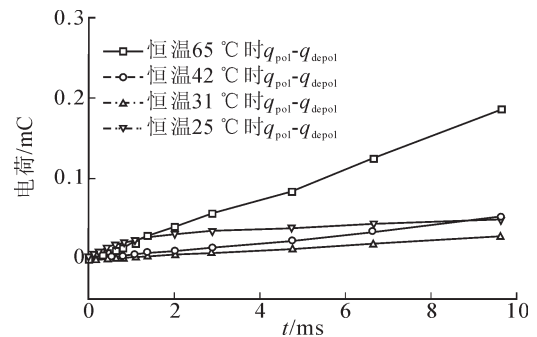


图 7 不同温度的极化电荷差

Fig. 7 Charges difference at different temperatures

就基本稳定,取不同温度下3 000 s的斜率见表4。对不同温度的斜率结合式(13)拟合参数,拟合优度在0.98。具体系数为项系数为 5.687×10^8 ,指数系数-5 823。利用3.1节中的假设可知,极化电荷差的斜率就是长时测量的电导率,以10 000 s测量的极化去极化电流差为基准,得到不同温度下试验误差见表4。结合表3、4可以看出,在利用PDC预测平均电导率时,CDM能缩短测量时间,提高测量精度,对现场试验有很大的帮助。

表4 不同温度极化电荷差的斜率

Tab. 4 The gradient of charges difference at different temperatures

参数	数值			
温度/ $^{\circ}\text{C}$	65	42	31	25
斜率	5.910	1.680	0.893	0.436
基准	6.390	1.840	0.978	0.418
3 000 s 误差/%	7.500	8.700	8.690	4.300

4 结论

1)笔者依据魁北克大学 I. Fofana 教授对套管模型进行的PDC测量数据进行分析,得到了不同温度下套管模型极化去极化电流的介电响应拟合参数。

2)利用极化去极化电流同温度和电阻关系式进行分析,发现套管模型中平均电导率的对数和温度的导数呈线性关系。

3)利用CDM方法分析了套管模型的极化电荷差。得出极化电荷差的斜率和平均电导率呈正比关系,且在3 000 s附近极化电荷差的斜率基本稳定,可以用于对平均电导率进行分析计算,对于优化现场测量时间有重要意义。

参考文献:

- [1] 任晓红,王伟,郑健康,等. 500 kV 变压器套管典型故障及分析[J]. 高电压技术,2008,34(11):2513-2516.
REN Xiaohong, WANG Wei, ZHENG Jiankang, et al. The analysis of 500 kV transformer's bushing typical fault[J]. High Voltage Engineering, 2008, 34(11): 2513-2516.
- [2] 麦汉源,聂德鑫,臧春艳,等. 基于频率响应分析法的高压套管绝缘检测仿真分析[J]. 高电压技术,2011,37(12):3045-3052.
MAI Hanyuan, NIE Dexin, ZANG Chunyan, et al. Simulation analysis of high voltage bushing insulation status detection using frequency response analysis method[J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(12): 3045-3052.
- [3] 张国稳,祁光胜. 主变压器高压套管将军帽缺陷分析及处理[J]. 电网与清洁能源,2012,28(4):98-101.
ZHANG Guowen, QI Guangsheng. Analysis and treatment of defects on the main transformer HV bushing coupler[J]. Power System and Clean Energy, 2012, 28(4): 98-101.
- [4] 刘云鹏,律方成,李成榕,等. 基于电容分压的电力变压器套管绝缘在线检测的研究[J]. 高压电器,2004,40(2):121-123.
LIU Yunpeng, LYU Fangcheng, LI Chengrong, et al. On-line monitoring transformer's bushing insulation based on its tap capacitive divider[J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(2): 121-123.
- [5] 沈煜,罗维. 变压器套管末屏对现场局部放电测量影响的实例与分析[J]. 高压电器,2009,45(3):157-159.
SHEN Yu, LUO Wei. Case analysis of the influences of bushing tap on on-site PD test for transformers[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 157-159.
- [6] KUCHLER A, HUELLMANDEL F, BOEHM K, et al. Condition assessment of aged transformer bushing insulations [C]//CIGRE. Paris, France: [s.n.], 2006: 1-10.
- [7] BREITENBAUCH B, KÜCHLER A, LEIBFRIED T, et al. Insulation diagnosis by polarization and depolarisation current measurements [C]//Proceedings of the 13th International Symposium on High Voltage Engineering (ISH). Delft, The Netherlands: [s.n.], 2003: 25-29.
- [8] BHUMIWATS. Insulation condition assessment of transformer bushings by means of polarisation/depolarisation current analysis [C]//IEEE Symp. on El. Insulation. Indianapolis: IEEE, 2004: 500-503.
- [9] WANKOWICZ J, BIELECKI J, SZROT M, et al. HV bushing failure in service, diagnostics and modeling of oil-type bushings [C]//Cigre Plenary Session. Paris: [s.n.], 2010: 22-27.
- [10] SAHA T K, PURKAIT P. Investigations of temperature effects on the dielectric response measurements of transformer oil-paper insulation system [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008(23): 252-260.
- [11] SAHA T K. Optimal time selection for the polarisation and depolarisation current measurement for power transformer insulation diagnosis [C]//Power Engineering Society General Meeting. [S.l.]: IEEE, 2007: 1-7.
- [12] BOUAICHA A, FOFANA I. Dielectric spectroscopy techniques as quality control tool: a feasibility study [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2009, 25(1): 6-14.
- [13] FOFANA I, HEMMATJOU H. Effect of thermal transient on the polarization and depolarization current measurements of oil-paper insulation [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2011(18): 513-520.
- [14] 周悦,朱建新. 高压油纸套管的频率响应测量与分析[J]. 高电压技术,2006,32(11):163-164.
ZHOU Yue, ZHU Jianxin. Response analysis of frequency of high voltage oil-impregnated paper condenser bushing [J].

- High Voltage Engineering, 2006, 32(11):163-164.
- [15] 刘晓亮, 任 捷, 陈 安, 等. 换流变压器阀侧用 ± 204 kV/2 800 A 高压直流套管的研究[J]. 电瓷避雷器, 2012(3):1-5.
LIU Xiaoliang, REN Jie, CHEN An, et al. Research on ± 204 kV/2 800 A HVDC bushing for valve side of converter transformer[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(3):1-5.
- [16] 侯建峰, 蔡水利, 张 涛. 一种新型高压电容套管内置式在线监测装置的应用[J]. 电瓷避雷器, 2012(5):22-25.
HOU Jianfeng, CAI Shuili, ZHANG Tao. Study on a built-in type on-line monitoring devices of high voltage capacitance bushings[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(5):22-25.
- [17] 魏建林, 王世强, 许 昊, 等. LabVIEW 编程实现油纸绝缘评估的极化去极化电流测试[J]. 高电压技术, 2010, 36(11):2645-2650.
WEI Jianlin, WANG Shiqiang, XU Hao, et al. Achievement of polarization and depolarization current tests for condition estimation of oil-paper insulation using LabVIEW[J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(11):2645-2650.
- [18] 孙 强, 黄宗君, 韩绍周, 等. 一起 800 kV 高压套管绝缘故障的原因分析[J]. 电网与清洁能源, 2010, 26(3):12-15.
SUN Qiang, HUANG Zongjun, HAN Shaozhou, et al. Analysis on an insulation accident of 800 kV high voltage bush[J]. Power System and Clean Energy, 2010, 26(3):12-15.
- [19] 李军浩, 胡泉伟, 吴 磊, 等. 极化/去极化电流测试技术的仿真研究[J]. 陕西电力, 2011, 4(4):1-5.
LI Junhao, HU Quanwei, WU Lei, et al. Simulation study of polarization and depolarization current measurements[J]. Shanxi Electric Power, 2011, 4(4):1-5.
- [20] MUHAMAD N A, PHUNG B T, BLACKBURN T R, et al. Polarization and depolarization current(PDC)tests on biodegradable and mineral transformer oils at different moisture levels[C]//Power Engineering Conference. Australasia University:[s.n.], 2009:1-6.
- [21] SETAYESHMEHR A, FOFANA I. Dielectric spectroscopic measurements on transformer oil-paper insulation under controlled laboratory conditions[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2008, 15(4):1100-1111.
- [22] 田 杰, 段绍辉, 许 昊, 等. 温度及老化状态对油纸绝缘时域介电响应特性影响的实验研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(z1):69-75.
TIAN Jie, DUAN Shaohui, XU Hao, et al. Experimental research on effects of temperature and aging state on time domain dielectric response characteristics of oil-impregnated pressboard insulation[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(z1):69-75.
- [23] 孟庆大, 杨敏祥, 毛 婷. 一起 500 kV 高压套管油位低缺陷的分析与处理[J]. 电瓷避雷器, 2013(1):12-16.
MENG Qingda, YANG Minxiang, MAO Ting. Analysis and treatment of low oil level defect of a 500 kV high voltage bushing[J]. Insulators and Surge Arresters, 2013(1):12-16.

杜清全(1989—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电气设备在线检测与故障诊断。

吴广宁(1969—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事高电压与绝缘技术方面的教学和科研工作。

(上接第 37 页)

- ZHANG Yongbin, YUAN Haiwen. A control device for synchronized switch based on DSP and vacuum circuit-breakers with magnetic drive[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(1):116-119.
- [15] 张华赢, 杨兰均, 李良书, 等. 投切电容器组专用真空断路器性能研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32(3):38-44.
ZHANG Huaying, YANG Lanjun, LI Liangshu, et al. Study on the performance of special vacuum breaker for switching capacitor banks[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2011, 32(3):38-44.
- 苏宗海(1987—), 男, 硕士研究生, 研究方向为电器及智能控制、电力电子技术。

能控制、电力电子技术。

- 韩爱芝(1966—), 女, 教高, 研究方向为电力系统自动化。
- 武建文(1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为真空开关电弧理论及应用、电器及智能控制、电力系统配电自动化、电力电子技术。
- 刘守明(1963—), 男, 高工, 研究方向为电力系统自动化。
- 张之昊(1987—), 男, 博士研究生, 研究方向为电器及智能控制、电力电子技术。
- 张保卫(1963—), 男, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。
- 史宏伟(1972—), 男, 助理工程师, 研究方向为电力系统自动化。
- 李松涛(1978—), 男, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。
- 何新华(1972—), 男, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!