

无级调感技术在特高压变压器局放试验中的应用研究

蔺超¹, 刘阳²

(1. 国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103;

2. 国网徐州供电公司, 江苏 徐州 221000)

摘要:局放试验作为变压器现场交接试验的一种,是考核变压器最严厉的方法之一,可以有效检测其内部是否存在缺陷故障。特高压变压器的现场局部放电试验中,在计算分析被试变压器的容性无功及感性补偿的基础上,首次提出了基于大容量可调电抗器的无级调感技术以及感性无功实时监测方法,可调电抗器可以平滑的调节电抗值从而改变感性补偿,感性补偿实时监测方法可实时反映试验中的补偿状态,保障试验高效安全进行。

关键词:特高压变压器;局放试验;调感

中图分类号: TM411

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)04-0113-06

0 引言

建设特高压电网,实现电能长距离传输,可有效协调我国能源分布和经济发展之间的关系,优化资源配置。特高压变压器是特高压电网的核心设备之一,根据国家电网交接试验等规范要求,特高压变压现场安装结束后需进行绕组连同套管的感应耐压带局部放电测量试验^[1-6]。

目前,特高压变压器现场局部放电试验装置主要有变频谐振装置和中频发电机组两种^[7-11]。(1)高压大功率变频谐振装置。用串联谐振变频装置进行局放试验时,在谐振条件下电源供给串联谐振回路有功损耗,故电源输入容量很小,只需被试品电容容量的 $1/Q$ (Q 为无功容量)。与电动发电机组中频电源装置相比,变频感应试验成套设备具有容量大、干扰水平低、体积小、质量轻、没有旋转机组、运行维护简便等优点,目前在500 kV及以下交流变压器现场局放试验中应用较多。缺点是电子元件较多,制造工艺等存在隐患,可靠性还有待提高。(2)中频发电机组试验装置,即用大功率电动机拖动一台中频发电机,获得中频交流电源(频率为125 Hz, 200 Hz或250 Hz等)。采用中频电源对高压大容量变压器进行局放试验时,需用电抗器补偿被试变压器的容性无功功率,以避免发电机组出现自励磁。而特高压、超大容量变压器局放试验需要的发电机组输出容量、电抗器补偿更大。中频发电机组的优点主要在可通过改变发电机组励磁回路励磁变阻器的阻值,使发电机输出平滑可调的电压,使

用可靠性较高。其缺点是:频率固定,需要依靠外配调节电抗器的方式进行补偿。

本文在大型中频发电机试验系统中,首次提出基于可调电抗器的无级调感技术感性补偿实时监测方法,可以实时、动态进行无功补偿,保障了试验的安全性,提高了试验效率。

1 基于可调电抗器的无级调感技术

由于中频发电机系统输出容量大,运行情况可靠,在特高压变压器现场局放试验时得到了广泛的应用^[12-16],但其频率固定,在现场进行局放试验时需对感性无功的补偿进行调节^[17,18]。

当铁心电抗器的线圈中通过交流电流时,它就产生两部分磁通,如图1所示。一部分是主磁通 Φ_m ,沿铁心磁路(铁心饼、饼间气隙、铁轭)闭合,与全部线匝相交链;另一部分是漏磁通 Φ_l ,主要沿空气(或油)闭合。图2是这种电抗器的等效电路。在等效电路中,主磁通所对应的电抗称为主电抗,而漏磁通所对应的电抗称为漏电抗,铁心电抗器的电抗为主电抗于漏电抗之和。

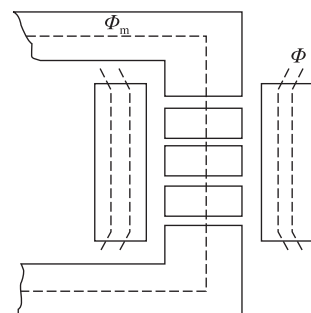


图1 铁心电抗器的磁通及磁势

Fig.1 Magnetic flux and magnetic potential of core reactor

收稿日期:2017-02-04;修回日期:2017-03-01

基金项目:国家电网公司科技项目(特高压交流用电抗器、变压器、互感器现场交接试验技术深化研究)

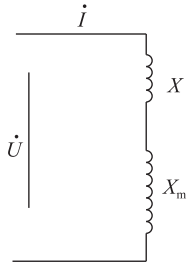


图2 铁心电抗器的等效回路

Fig.2 Equivalent circuit of core reactor

铁心电抗器的主电抗:

$$X_m = \omega L_m \quad (1)$$

式中: L_m 为主磁路对应的电感, 即主电感(H); ω 为角频率。

$$L_m = W^2 A_m \quad (2)$$

式中: W 为电抗器的总匝数; A_m 为主磁路的磁导。为了较准确计算主磁导 A_m , 首先研究主磁道磁力线的分布, 如图3所示。

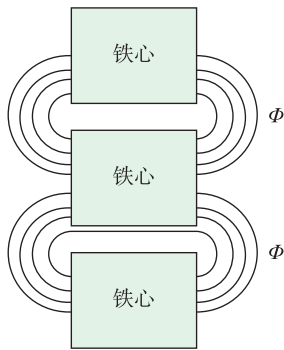


图3 气隙处磁力线分布

Fig.3 Air gap magnetic field distribution diagram

主磁通的磁力线可分为两部分, 第一部分是穿过铁心饼下气隙面积的磁力线, 假定它们都是垂直射入(或射出)铁心饼截面, 分布是均匀的, 这一部分磁路对应的磁导记为 A_{m1} ; 第二部分是除了第一部分之外的主磁通的磁力线, 它们是由边缘效应产生的, 其路径近似为半圆, 这一部分磁路对应的磁导为 A_{m2} , 则:

$$A_m = A_{m1} + A_{m2} \quad (3)$$

铁心饼下空气隙对应的磁导按下式计算:

$$A_{m1} = \mu_r \mu_0 (A_\delta / \delta) \quad (4)$$

式中: δ 为铁心饼间气隙长度(m); μ_r 为相对磁导率; μ_0 为磁常数; A_δ 为铁心饼截面的截面积(m^2)。

$$A_\delta = A_i / K_{dp} \quad (5)$$

式中: A_i 为铁心柱净截面积(m^2); K_{dp} 为铁心碟片系数。

假定对应边缘效应的那一部分磁通从一个铁心饼沿半圆路径到达另一个铁心饼, 那么该路径长

度为 πx 。对于铁心横截面圆周上单位长度, 边缘效应磁通所穿过的面积可表示为 $l dx$, 则该磁路的磁导可表示为:

$$A_{m2} = \mu_r \mu_0 \int_{\sigma/2}^{(4+\sigma)/2} l dx / \pi x = (\mu_r \mu_0 / \pi) \ln(h + \sigma) / \sigma \quad (6)$$

设由于边缘效应, 铁心柱向外扩大的等效宽度为 ε , 则 A_{m2} 还可以表示为:

$$A_{m2} = \mu_r \mu_0 (l \varepsilon) / \delta \quad (7)$$

式(6)与(7)相等, 于是得到:

$$\varepsilon = (\delta / \pi) \ln(h + \delta) / \delta \quad (8)$$

式中: ε 的单位为 m。对于平行叠片铁心, 边缘效应产生的气隙向外扩大的等效面积为:

$$A_{\sigma 2} = 2 \varepsilon (b_m + \Delta_m + 2e) \quad (9)$$

式中: b_m 为铁心柱最大片宽(m); Δ_m 为铁心柱最大厚度(m)。

$$A_{m2} = \mu_r \mu_0 (A_{\delta 2} / \delta) \quad (10)$$

由式(4)、(5)、(10)得到:

$$A_m = A_{m1} + A_{m2} = \mu_r \mu_0 (A_{\delta 1} + A_{\delta 2}) = \mu_r \mu_0 A_\delta \quad (11)$$

式中等效导磁面积为:

$$A_\delta = A_{\delta 1} + A_{\delta 2} \quad (12)$$

当铁心电抗器有 N 个气隙时, 其主电感为:

$$L_m = W^2 \mu_r \mu_0 (A_\delta / N \delta) \quad (13)$$

其主电抗为:

$$X_m = 2 \pi f W^2 \mu_r \mu_0 (A_\delta / N \delta) \quad (14)$$

考虑到 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$, 则有:

$$X_m = 8x^2 f W^2 \mu_r (A_\delta / N \delta) \times 10^{-7} \quad (15)$$

由此可见, 通过改变铁心饼间气隙长度可以有效地改变电抗器的电抗值 X_m , 从而改变感性补偿容量。

2 感性补偿实时监测方法

为避免中频发电机组发生自励磁以及满足局放试验对补偿容量的需求, 需并入电抗器补偿被试品的容性分量, 使升压变压器的出线端呈感性。然而, 补偿太多, 无疑将增加升压变的负担, 补偿少, 将导致发电机自励磁, 直接威胁被试品的安全。针对上述问题, 提出一种新的对补偿量能直观而且便于现场应用的新方法。

在进行局部放电试验时, 用霍尔电流传送器监测电抗器的补偿电流(如图4所示的 CT_1 、 CT_2), 可实时显示补偿电流值。此外, 在中间变压器的低压测量端装有指针式功率因数表(如图4所示的 Q_1 、 Q_2), 从中间变压器 T_1 、 T_2 高压侧的接地电流取电流

信号,从 T_1 、 T_2 低压侧取电压测量信号,功率因数表可对试验机组补偿整体状况进行测量。励磁变及电抗器各侧电流向量图如图 5 所示。

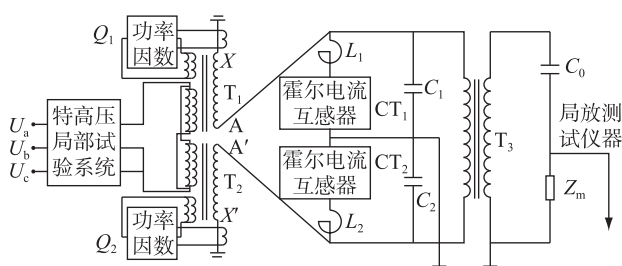
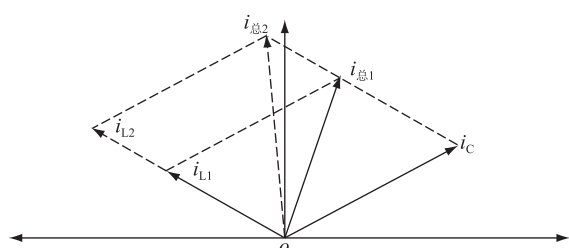


图 4 感性补偿监测 CT 布置

Fig.4 Inductive compensation monitoring arrangement



i_c 为被试变压器低压侧电流; i_{L1} 为补偿电抗器电流;
 i_{L2} 为补偿电抗器电流; $i_{总1}$ 为中间变压器容感性电流;
 $i_{总2}$ 为中间变压器偏感性电流

图 5 各侧电流的向量

Fig.5 Current vector diagram of each side

试验电源频率 200 Hz, 被试变压器呈容性负载。通过中间变压器高压电流与补偿电抗器电流可得到被试变压器电流,随着试验电压的逐步升高,可看到被试变压器的负载特性有无变化并记录,也可测量 4 倍频时被试变压器的空载损耗,通过中间变压器高压电流与补偿电抗器电流可准确测量过补偿电流。被试变压器低压侧的试验电压为 U_d , 则输入电流为 $I_d = S/U_d = 1/U_d \sqrt{P^2 + Q^2}$, 感性电流 $I_g = U_d/X_L = U_d/2\pi fL$ 。根据感性补偿实时监测设计, I_d 及 I_g 大小均由监测 CT 进行读数。定义补偿系数 $\alpha = (I_g - I_d)/I_d \times 100\%$, 补偿系统一般不宜过大, 过分补偿会造成发电机出力小, 电流过大, 通常以 10% 至 15% 为宜。

3 现场局放试验验证

以 ± 800 kV 特高压换流变现场局放为例, 对感性无功调节及补偿监测系统进行了试验验证。

3.1 ± 800 kV 特高压换流变压器参数

± 800 kV 特高压换流站换流变压器根据阀侧的联结方式不同, 可分别为角型 (Y- Δ 型) 和星型 (Y-Y 型) 换流变压器, 具体参数如表 1 所示。对于两种联结方式的换流变压器, 虽然额定容量相同, 但由

于阀侧电压不同, 造成内部绕组电容、电场分布均差异较大, 因此现场局放的试验接线、补偿方式均有不同。

表 1 换流变基础参数

Table1 Basic parameters of converter transformer		
项目	Y-Y 型换流变	Y- Δ 型换流变
额定电压/kV	$505/\sqrt{3} (+25, -3) \times 1.25\%/160.7/\sqrt{3}$ kV	$505/\sqrt{3} (+25, -3) \times 1.25\%/160.7$ kV
额定容量/(MV·A)	340.8 MVA	340.8 MVA
接线组别	Y-Y	Y- Δ
有载调压分接范围	$(+25, -3) \times 1.25\%$	$(+25, -3) \times 1.25\%$

3.2 ± 800 kV 特高压换流变压器补偿容量计算

3.2.1 有功功率计算

有功损耗计算以被试变压器的空载损耗为依据, 并按各铁心段分别计算, 将空载损耗按铁心段数平均, 三柱式铁心共分 7 段 (3 柱和 4 段铁轭), 每段损耗为总损耗的 1/7。试验时各段铁心损耗, 取决于磁通密度和频率, 即:

$$P_q = (f_n/f_1)^m \times (B_1/B_n)^n \times P_0 \quad (16)$$

式中: f_1 , f_n 为基频和倍频电压频率; B_1 , B_n 为与额定电压和倍频对应的磁通密度; P_q , P_0 为每段铁心的试验损耗和空载损耗; m , n 为与硅钢片性能有关的系数, 冷轧钢取 $m=1.6$, $n=1.9$, 热轧钢取 $m=1.3$, $n=1.8$ 。由于 $B_1/B_n = U_1/U_n \cdot f_1/f_n$, 得全磁通时各段铁心损耗为:

$$P_q = (f_n/f_1)^m (f_1/f_n) \cdot U_1/U_n^n \cdot P_0 \quad (17)$$

在电源频率 $f=200$ Hz, $K=1.5 \times 1100/1050=1.57$ 情况下, 有功损耗 P 为:

$$P = (K \times f_n/f_s)^{1.9} \times (f_n/f_s)^{1.6} \times P_0 \quad (18)$$

经计算, 该变压器在 $1.5U_m/\sqrt{3}$ 电压时的有功损耗约为 280 kW, 加上中间变和补偿电抗器的有功损耗 (50 kW 左右), 再考虑 10% 的裕度, 则发电机组的有功输出不应小于 360 kW, 本次试验使用 500 kW/1000 kV·A 的中频发电机组, 能够满足试验要求。

3.2.2 容性无功计算

试验电压沿变压器绕组轴向高度成线性关系。假定高、低压绕组之间和绕组对地电容沿绕组高度均匀分布, 变压器绕组对地电容效应可由绕组两端的集中电容所等值, 绕组容性功率 Q 为:

$$Q = \omega C_{Line_E} U_{Line}^2/2 + \omega C_{valve_E} U_{Valvem}^2/2 + \omega C_{Line_valve} (U_{Line} - U_{Valvem})^2/2 \quad (19)$$

式中: ω 为试验电压角频率等于 $2\pi f$; C_{Line_E} 为网侧绕组对地电容, pF; C_{Line_valve} 为网侧阀侧绕组间电容, pF; C_{valve_E} 为阀侧绕组对地电容, pF; U_{Line} 为绕组网

侧电压, kV; U_{Valvem} 为绕组阀侧电压, kV。

对 Y 型换流变非对称加压, 根据式(19)计算, Q 为 1072.5 kV·A。

对 Δ 型换流变采用对称加压, 有:

$$Q = \omega C_{\text{Line_E}} U_{\text{Linem}}^2 / 2 + \omega C_{\text{valve_E}} U_{\text{Valvem}}^2 / 8 + \omega C_{\text{Line_valve}} (U_{\text{Line}} - U_{\text{Valvem}})^2 / 2 \quad (20)$$

经计算 Q 为 1574 kV·A。

3.3 可调电抗器参数选择

根据容性无功计算结果, 单台容量需大于 1200 kV·A, 同时考虑过补偿度在 10% 至 30%, 容量范围应在 1300~2000 kV·A。对 ± 800 kV 换流变施加 1.5 倍预加电压时, 阀侧电压为 151.5 kV, ± 500 kV 换流变 1.5 倍预加电压时, 阀侧电压为 190.8 kV (以政平换流变为例), 为同时兼顾 ± 500 kV 换流变及特高压现场应用, 选择额定电压为 200 kV。具体参数如表 2 所示。

表 2 可调电抗器参数设置

项目	参数	项目	参数
额定电压/kV	200	冷却方式	ONAN
额定容量/(kV·A)	2000	波形畸变率/%	≤ 1
额定电流调节范围/A	1.5~10	电抗值调节范围/k Ω	13.33~133.3
额定电感调节范围/H	10~100		

3.4 试验接线

试验采用 200 Hz 倍频电源加压, 阀侧绕组单端加压励磁, 网侧绕组中性点接地的标准接线方式, 分相进行。试验接线如图 6 所示。

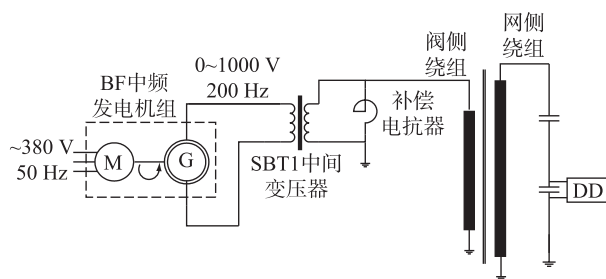


图 6 加压接线方式

Fig.6 Wiring of pressurization

在不大于 $U_2/3$ 的电压下接通电源; 上升到 $1.1 U_m/\sqrt{3}$, 保持 5 min; 上升到 $1.3 U_m/\sqrt{3}$, 保持 5 min; 上升到 $1.5 U_m/\sqrt{3}$, 保持 30 s; 降低到 $1.3 U_m/\sqrt{3}$, 保持 60 min 测量局部放电; 降低到 $1.1 U_m/\sqrt{3}$, 保持 5 min。在施加试验电压期间, 监测局部放电量。

系统最高运行电压 U_m 为 550 kV; 激发电压 $U_1 = 1.5 U_m/\sqrt{3} = 476$ kV; 试验电压 $U_2 = 1.3 U_m/\sqrt{3} = 413$ kV。

3.5 试验过程

调整可调电抗器, 使气隙到最大, 从而感性补偿容量最大, 保证感性电流大于容性电流。为使得倍频电源发电机的电流最小化, 不断地调整气隙, 调节感性补偿容量, 使感性容量过补偿达 10% 左右, 因为可调电抗器在励磁变出口电压与被试变压器的电压相同, 因此仅需监测电流, 即可计算出补偿情况。

电抗器调节过程中电压电流如表 3 所示。从表中可以看出, 不断调整气隙来改变电抗器的电抗值, 从而改变感性补偿容量, 调整感性过补偿的程度, 从而使发电机工作在最佳状态。最终调整到电抗值为 13.6 H。施加电压及局放量如表 4 所示。

表 3 电抗器调节过程中电流值

Table 3 Current value during reactor regulation

试验电压/kV	感性电流/A	容性电流/A	补偿度/%
50	1.2	0.82	146
100	1.87	1.42	131
150	2.73	2.20	124
200	3.61	3.04	119
300	5.38	4.89	110

注: 试验电压为折算到高压侧电压。

表 4 试验过程中各侧电压电流值

Table 4 Voltage and current value of each side during the test

电压倍数	阀侧电压/kV	网侧电压/kV	发电机电压/V	发电机电流/A
1.3	131.4	413	600	295
1.5	151.5	476	750	328

4 结语

大容量、高电压可调电抗器在特高压换流变局放试验中首次应用, 具有现场接线简单、无需串并联组装、试验准备工作量小、节省人力物力、背景局放量小、试验安全、方便快捷等特点, 高效优质地完成换流变特殊性试验, 既验证了特高压换流变的优良性能, 又验证了新试验方法的可行性。同时缩短了换流变安装试验周期, 加快了特高压直流输电技术推广应用的步伐, 也为特高压直流电网的安全运行提供了安全保障。

参考文献:

- [1] 董宝华, 何平. 油浸式电力变压器的局部放电测量试验[J]. 变压器, 2008, 45(8): 33-37.
DONG Baohua, HE Ping. Partial discharge test of oil-immersed power transformer[J]. Transformer, 2008, 45(8): 33-37.
- [2] 吴鹏, 田猛, 陆云才, 等. 锦-苏特高压直流对江苏电网

- 变压器直流偏磁的影响[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(1): 5-8.
- WU Peng, TIAN Meng, LU Yuncai, et al. Impacts of Jinsu HVDC project on transformer DC magnetic bias in Jiangsu Power Grid[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(1): 5-8.
- [3] 谢毓城. 电力变压器手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- XIE Yucheng. Power transformer handbook [M]. Beijing: China Machine Press, 2003.
- [4] 陈乔夫, 李湘生. 互感器电抗器的理论与计算[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1992.
- CHEN Qiaofu, LI Xiangsheng. Theory and calculation of transformer reactor [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1992.
- [5] 于森, 朱孟周, 陈光, 等. 1000 kV 特高压变压器快速试验系统设计[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(6): 22-25.
- YU Miao, ZHU Mengzhou, CHEN Guang, et al. Design of 1000 kV UHV transformer rapid testing system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(6): 22-25.
- [6] 吴鹏. 特高压电抗器局部放电试验方法探索[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4): 20-23.
- WU Peng. Partial discharge testing scheme for extra high voltage shunt reactor[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4): 20-23.
- [7] OKABE S, UETA G, WADA H, et al. Partial discharge-induced degradation characteristics of insulating structure constituting oil-immersed power transformers [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2010, 17(5): 1649-1656.
- [8] ALVAREZ F, GARNACHO F, ORTEGO J, et al. Application of HFCT and UHF sensors in on-line partial discharge measurements for insulation diagnosis of high voltage equipment [J]. Sensors, 2015, 15(4): 7360-7387.
- [9] BACEGA W R, BACEGA F, TATIZAWA H, et al. Detection and location of partial discharges in a 460 kV-66.7 MV · A reactor at field using antenna [C] // T & D Conference and Exposition 2014 IEEE PES. IEEE, 2014: 1-5.
- [10] 孙勇, 朱建新. 换流变压器套管爆炸事故原因分析[J]. 南方电网技术, 2008, 2(5): 82-83.
- SUN Yong, ZHU Jianxin. Cause analysis of an explosive accident of converter transformer bushing[J]. Southern Power System Technology, 2008, 2(5): 82-83.
- [11] 赵璐, 项旭杨, 姚红伟. 常接地结构的高压套管末屏接地故障原因分析[J]. 华东电力, 2014, 42(8): 1586-1588.
- ZHAO Lu, XIANG Xuyang, YAO Hongwei. Cause analysis for the HV transformer bushing tap grounding fault[J]. East China Electric Power, 2014, 42(8): 1586-1588.
- [12] 周海洋, 李辉, 严璋. 改进中性点测量法的变压器套管在线监测[J]. 高电压技术, 2002, 28(5): 35-37.
- ZHOU Haiyang, LI Hui, YAN Zhang. On-line monitoring of transformer bushings by advanced measuring method at neutral point[J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(5): 35-37.
- [13] BOTELHO M P G, GOMES T B, NAZARE F V B, et al. A novel monitoring method for condensive bushings [C] // Proceedings of Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). Minneapolis USA, 2013: 1266-1271.
- [14] 张显聪, 徐洋, 王勇, 等. 电容式套管局部放电的末屏地线 UHF 传感[J]. 高压电器, 2016, 52(2): 62-67.
- ZHANG Xiancong, XU Yang, WANG Yong, et al. UHF sensing of partial discharge in condenser type bushing from end shield grounding tap [J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(2): 62-67.
- [15] 肖天为, 张强, 印海洋, 等. 特高频方法用于套管局部放电检测的可行性研究[J]. 电网技术, 2015, 39(6): 1719-1724.
- XIAO Tianwei, ZHANG Qiang, YIN Haiyang, et al. Experimental research on partial discharge location for bushings using UHF method [J]. Power System Technology, 2015, 39(6): 1719-1724.
- [16] 国家电网公司运维检修部. 变压器类设备典型故障案例汇编(2006—2010)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012: 94-111.
- Operation and Maintenance Department of the State Grid. Typical faults cases of transformer equipments [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2012: 94-111.
- [17] 郑书生, 李成榕, 何梦. 变压器局部放电复数域牛顿迭代网格搜索定位方法[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(9): 155-161.
- ZHENG Shusheng, LI Chengrong, HE Meng. A novel method of Newton iteration in complex field and lattice search for locating partial discharges in transformers [J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(9): 155-161.
- [18] 侯慧娟, 盛戈峰, 孙旭日, 等. 变电站多局部放电源分离的选择双谱算法[J]. 电网技术, 2014, 38(5): 1379-1384.
- HOU Huijuan, SHENG Gehao, SUN Xuri, et al. A selected bi-spectrum based separation algorithm for multi-PD sources in substation [J]. Power System Technology, 2014, 38(5): 1379-1384.

作者简介:



蔚超

蔚超(1984—),男,山东莱芜人,高级工程师,从事变压器状态评价及诊断技术研究工作(E-mail:15105168905@163.com);

刘阳(1984—),男,江苏徐州人,工程师,从事变压器故障诊断技术研究工作。

Partial Discharge Experiment of UHV Transformer Based on Stepless Adjustment Technology

WEI Chao¹, LIU Yang²

- (1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China;
2. State Grid Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221000, China)

Abstract: As the most severe assessment method in transformer field handover tests, partial discharge test can effectively detect insulation faults inside transformer. In UHV transformer field partial discharge test, based on calculation and analysis of capacitive and inductive power, large capacity stepless adjustable reactor sense technology and inductive reactive power real-time monitoring method are presented for the first time. Adjustable reactor can smoothly adjust the reactance value to change inductive compensation state compensation, and reactive power real-time monitoring method can reflect the real-time test and ensure the efficiency and safety of the test.

Key words: converter transformer; partial discharge test; adjustable reactor

(编辑 刘晓燕)

(上接第 107 页)

A Fast Monitoring Method for Optical Fibre Communication Link Based on Physical Layer

DING Li, CHEN Jiansong, YUAN Tao

(Nanjing Nari-relays Electric Co., Ltd, Nanjing 211102, China)

Abstract: According to the application of optical fibre communication network in smart substation, this paper analyzes the status and existing problems of the monitoring of GOOSE network link. Based on the electric characteristics of the physical layer and the analysis of the optical receiving power, a fast monitoring method for optical fibre communication link is proposed, and a detailed blocking scheme is given through simplified bus protection case. This method can detect the abnormal link quickly and give the preventive measures in time, which can solve the problem of slow blocking when the communication link is abnormal and improve the reliability of protection.

Key words: smart substation; communication link; GOOSE; physical layer

(编辑 徐林菊)