

智能化断路器机械特性在线监测关键设计

陈建平, 胡占强, 苏晓东

(西安森源开关技术研究所有限公司, 西安 710077)

摘要: 智能化断路器是智能化变电站的重要组成部分, 针对户内 12 kV(VS₁) 真空断路器的机械特性的在线监测关键技术、设计方法进行了论述。叙述了在线监测与离线测试相比在设计中的难点及区别。重点对在线监测中角位移传感器和直线位移传感器的使用进行了分析及实验设计, 认为角位移传感器理论试验可以满足测试要求, 但是对于部件的机械加工及安装要求比较高; 直线位移传感器由于直接安装到动静触头的运动方向上, 最能够直接反映断路器的行程—时间特性。因此测试的精度及一致性很好, 可以满足工业批量生产。并对刚分、刚合点的电流通断取样法、辅助开关的通断取样法、振动传感器取样法 3 种取样方法进行了详细阐述及实验设计验证。最后确认振动传感器取样法最能满足实际的使用要求。

关键词: 机械特性; 在线监测; 角位移传感器; 直线位移传感器; 振动传感器; 刚分; 刚合

中图分类号: TM56 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1609(2014)04-0108-05

Key Technology Design to On-line Monitoring of Mechanical Characteristics for Intelligent Vacuum Circuit Breaker

CHEN Jianping, HU Zhanqiang, SU Xiaodong

(Xi'an Senyuan Switch Technology Research Institute Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: Intelligent circuit breaker is an importance part of intelligent substation. This paper introduce the on-line monitoring key technology, design method for mechanical characteristics of indoor 12 kV(VS₁) vacuum circuit breaker, and introduce difficulty and difference in design for on-line monitoring and off-line test. Keystone analysis and experiment design on the application of the angle sensor and beeline sensor use in on-line monitoring, and it is considered that the theoretical test of angle sensor can meet the test requirements, but for machining parts and installation requirements are relatively high. Due to the beeline sensor is mounted directly to the direction of movement of the movable contact, can most directly reflect the circuit breaker travel/time characteristic. So the test precision and consistency are good, which can meet the industrial mass production. The quantity produced as the result of one operation satisfy industry manufacture. Sampling method of current close-open and auxiliary switch close-open and vibration sensor expatiate for moment-open and moment-close. The results show that, vibration sensor meet the requirements of use.

Key words: mechanical characteristics; on-line monitoring; angle sensor; beeline sensor; vibration sensor; moment-open; moment-close

0 引言

目前国内都采用离线例行试验及操作对断路器进行定期检修, 这种有计划的预防性检修盲目性大, 并且需要停电, 对居民及厂矿企业影响比较大^[1-5]。频繁的操作及拆卸反而会影响断路器的可靠性。随

着国家对坚强智能电网的要求, 需要及时了解开关设备的运行状态, 掌握其运行状态的变化规律及趋势, 将开关设备的定期检修变为状态检修是电力系统的发展方向。

1 机械特性在线监测的关键技术及设计

以往离线式的机械特性测量方法主要采用50 mm

收稿日期: 2013-10-22; 修回日期: 2013-11-26

直线位移传感器来测量断路器的行程,采集三相真空灭弧室中分、合信号来获取刚分、刚合点的信号,以便计算断路器机械特性的各种参数。在线测量与离线测量的差别,主要安装的传感器在断路器内部,不能影响断路器原有的结构以及机械特性和绝缘特性,这就要求传感器的体积不能太大,另外离线测量时刚分、刚合点的获取很方便,只要检测断路器的通断即可^[6-11]。在线监测时由于三相真空灭弧室加 12 kV 的高压,因此刚分、刚合点的获取也是一个难点。

根据 NB/T XXXX-200X“3.6 kV~40.5 kV 智能交流金属封闭开关设备和控制设备”中提出的断路器状态监测的测量参数有:①分闸数据,包括开距、超程、分闸时间、刚分速度、分闸速度、分闸线圈电流;②合闸数据,包括全行程、合闸时间、合闸速度、合闸线圈电流^[12-19]。

文中采用了 2 种位移传感器进行了位移—行程的设计,并对 2 种设计方法进行了比对,对刚分、刚合点的获取以及分、合闸线圈电流的采样进行了叙述。

2 角位移传感器的设计方法

由于断路器的原始结构不能够改变,因此只能选装体积较小,可以安装到断路器内部的位移传感器,角位移传感器从体积和安装方式来说,是一个不错的选择方案^[20-21]。角位移传感器的外形图见图 1。



图 1 角位移传感器

Fig. 1 Diagram of angle sensor

角位移传感器在 VS₁ 断路器上的安装见图 2。



图 2 角位移传感器在 VS₁ 断路器上的安装示意图

Fig. 2 Setting diagram of angle sensor in VS₁ circuit breaker

角位移传感器安装到断路器的主轴上,测得断

路器主轴的分合闸角位移—时间曲线,即可得到动触头直线—时间特性。断路器绝缘拉杆和主轴与动触头的直线运动关系,可以在 VS₁ 断路器的机械设计中推导而来,见图 3。

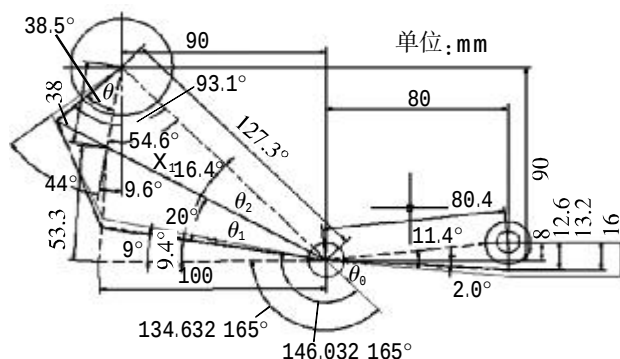


图 3 VS₁ 机构运动示意图

Fig. 3 Schematic diagram of VS₁ machine movement

设计计算公式为:

$$h=(54.6+i)\pi/180; \quad (1)$$

$$a=127.28-38\cosh; \quad (2)$$

$$b=-38\sinh; \quad (3)$$

$$c=(a^2+b^2+10\,000-53.3^2)/200; \quad (4)$$

$$L_1=2a\arctan[(b+\sqrt{a^2+b^2-c^2})/(a-c)]; \quad (5)$$

$$d=180L_1/\pi; \quad (6)$$

$$L_2=d-134.632\,165; \quad (7)$$

$$k=L_2\pi/180; \quad (8)$$

$$L_3=160.8\sin(k/2). \quad (9)$$

式(1)-(9)是以分闸位做为基准,主轴旋转角度通过公式计算对应行程。 i 为输入的角度; L_3 为得到对应的行程,mm;其余参数为计算的中间变量。

由于软件在机械特性的采样处理过程中,实时性要求很高,因此在实际的算法上采用事先根据公式算好,将角度与直线行程的对应关系固化到程序存储器中,根据查表的方法来得到动触头的直线位移量。

实际测试结果与断路器机械特性的原始数据基本吻合,测试参数的精度取决与采样点数、机械加工部件的一致性、角位移传感器与断路器装配的一致性。

3 直线位移传感器的设计方法

实际上传统的机械特性测试仪就是用直线位移传感器来测试机械特性参数的。直线位移传感器安装在断路器动静触头的运动方向上,最能够直接反映断路器的行程—时间特性。由于 VS₁ 开关的空间限制,因此需要采用体积较小,可以安装到断路器中的传感器,VS₁ 断路器本身的全行程大约在 14 mm 左右,因此选用行程为 20 mm 的直线位移传感器,减

小了体积,也满足了测量的要求。

直线位移传感器的外形图见图4。



图4 直线位移传感器

Fig. 4 Diagram of beeline sensor

直线位移传感器在 VS_1 上的安装见图5。



图5 直线位移传感器在 VS_1 断路器上的安装示意图

Fig. 5 Setting diagram of beeline sensor in VS_1 circuit breaker

在分、合闸测试过程中,采样点选为 5 000, 采样周期选为 40 μ s, 一个分、合闸过程采样时间为 5 000 $\times$ 40=200 ms, 满足 VS_1 断路器运动时间要求。

4 刚分、刚合信号的获取方法

按标准上的定义:分闸速度为 ABC 中第一个相分开开始计时,运动了设定距离后,与相应时间的比值;合闸速度为 ABC 中第一个相合上的时刻所在的位置,减去刚合之前运行的行程(设定值),与这段行程相应时间的比值。因此刚分、刚合点的获取对机械特性的测试至关重要,机械特性参数的测试对分、合点的准确判断要求很高。在设计时,共采用了 3 种设计方案来获取刚分、刚合点:

1) 采用判断主回路的电流通断来获取刚分、刚合点。经过实验,存在的问题有,主回路的三相交流电是过零回路,因此不好判断线路的通断,尤其刚分、刚合时在主回路上将产生非 50 Hz 的谐波电流,破坏刚分、刚合点的采样;如果将电流整流成直流来判断,线路的滞后性较大,对机械特性参数的计算误差很大。

2) 采用辅助开关的通断来获取刚分、刚合点。辅

助开关的通断误差与辅助开关的安装位置有很大关系,如果辅助开关一次安装到位,随着开关长期运行,辅助开关也有可能跑位。参考文[2]描述采用辅助开关来获取触头的通断信号,存在上述问题。

3) 采用振动传感器来获取刚分、刚合点。振动传感器在无振动时,输出波形见图6。

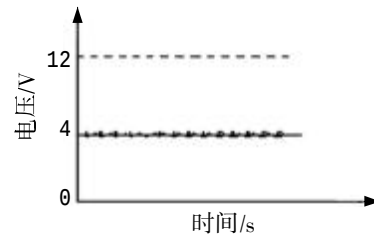


图6 无振动时输出波形

Fig. 6 Diagram of no vibration export wave

从图6可以看出,无振动时,输出为一条直线,无信号输出。振动传感器在有振动时,输出波形见图7。

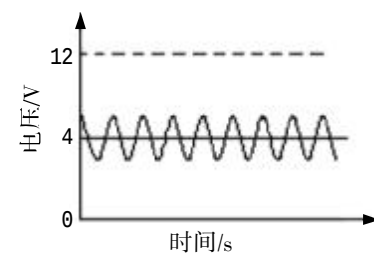


图7 有振动时输出波形

Fig. 7 Diagram of vibration export wave

从图7可以看出,有振动时,输出为交流电压信号。随振动频率和振幅大小输出相对应的频率和振幅波形的交变电压信号。

4.1 刚合点信号获取方法

为了确定振动信号最大时就是刚合点的对应关系,在同一台 12 kV 断路器上安装振动传感器和传统的离线测量刚合点信号的方法,做了 100 次的合闸动作,发现振动传感器最大振幅输出信号与传统离线测量刚合点信号完全吻合,最大误差在时间轴上相差 52 μ s,满足机械特性参数测量要求,测量波形见图8。

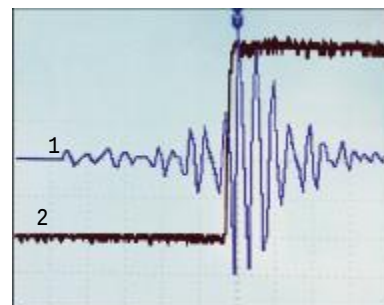


图8 刚合振动输出波形

Fig. 8 Moment-close diagram of vibration export wave

图 8 中: 横轴为时间, ms; 纵轴为电压, V。曲线 1 为振动传感器输出波形, 曲线 2 为传统离线测量刚合点信号。

4.2 刚分点信号获取方法

经过实验, 刚分点信号用振动传感器难以鉴别, 文中采取了一种自适应算法, 准确地获取了刚分点信号。实际上在断路器分闸和合闸的长度位移轴上, 刚分、刚合点应该是同一个。在断路器做分闸时, 嵌入式处理器只采集长度位移值和时间值, 一个分闸动作位移与时间采集完成后, 根据刚合点在长度位移轴上的位置, 由软件来确定在分闸动作位移—时间上刚分点的位置, 知道了位置就知道了对应刚分点的位置的时间, 即找到了刚分点。

5 脱扣电磁铁分、合闸线圈电流的采样

分合闸线圈的电流大小包含了断路器的重要信息, 从分析脱扣电磁铁线圈电流的变化可以诊断出断路器机械故障的趋势, 并可以判断脱扣电磁铁线圈是否断线。分合闸线圈电流的采样可以采用同一个穿芯小互感器, 互感器变比为 5 A/2.5 mA, 由软件可知此时是分闸电流还是合闸电流。实际测量的脱扣线圈电流峰值约为 1 A 左右。

分合闸线圈采样电路见图 9。

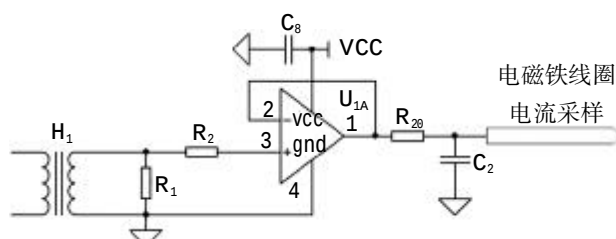


图 9 分合闸线圈电流采样电路

Fig. 9 Sampling circuit diagram of open-close winding current

分闸线圈电流波形见图 10。

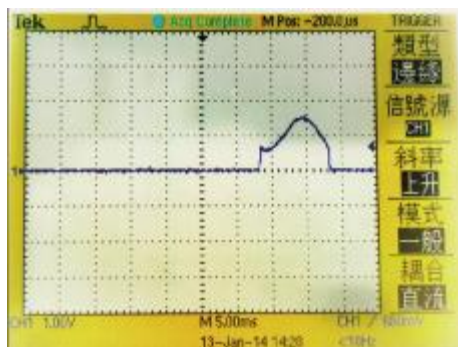


图 10 分闸线圈电流波形

Fig. 10 Wave diagram of open winding current

图 10 中: 横轴为时间, ms; 纵轴为电压, V。

合闸线圈电流波形见图 11。

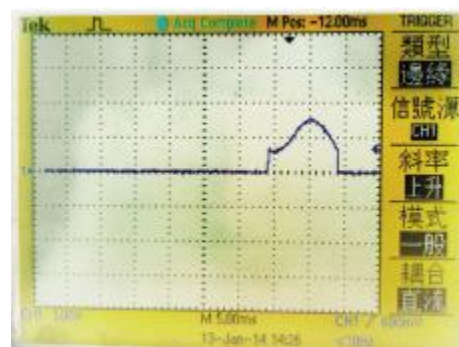


图 11 合闸线圈电流波形

Fig. 11 Wave diagram of close winding current

图 11 中: 横轴为时间, ms; 纵轴为电压, V。

6 结语

文中对户内 12 kV (VS₄) 真空断路器的机械特性在线监测的关键技术进行了详细的叙述, 并对 2 种位移传感器的使用进行了实验测试, 认为角位移传感器理论试验可以满足测试要求, 但是对于部件的机械加工及安装要求比较高, 因此对于工业化的生产不适宜。直线位移传感器由于直接安装到动静触头的运动方向上, 最能够直接反映断路器的行程—时间特性。因此测试的精度及一致性很好, 可以满足工业批量生产。刚分、刚合点的获取方法也是在线监测的一个难点, 国内相关的文章都没有详细阐述, 文中对 3 种获取方案进行了叙述, 并对前 2 种方案的缺点进行了说明, 最后通过实验的方法, 确定了第 3 种方案的实用性, 采用刚分、刚合点的自适应算法, 解决了在线监测的技术难点, 实际上只要获取了一个点(刚分或刚合), 另一个点就可以推算出来。文章对角位移及直线位移 2 种传感器及 3 种刚分、刚合点的获取方法方案都进行了实验验证, 对行业上使用有很大的借鉴及参考意义。

参考文献:

- [1] 林 莘. 现代高压技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
LIN Xin. Technology of high-voltage electrical apparatus [M]. Beijing: Beijing China Machine Press, 2011.
- [2] 杨壮壮, 徐建源, 李 斌, 等. 高压真空断路器机械状态监测系统研制[J]. 高压电器, 2013, 49(8): 26-34.
YANG Zhuangzhuang, XU Jianyuan, LI Bin, et al. Design of monitoring system for mechanical status of high voltage vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(8): 26-34.
- [3] 张永奎, 赵智忠, 冯 旭, 等. 基于分合闸线圈电流信号的高压断路器机械故障诊断[J]. 高压电器, 2013, 49(2): 37-42.

- ZHANG Yongkui, ZHAO Zhizhong, FENG Xu, et al. Mechanical fault diagnosis of high voltage circuit breaker based on opening/closing coil current parameters[J]. High Voltage Apparatus, 2013, 49(2): 37-42.
- [4] 常 广, 张振乾, 王 毅. 高压断路器机械故障振动诊断综述[J]. 高压电器, 2011, 47(8): 85-90.
- CHANG Guang, ZHANG Zhenqian, WANG Yi. Review on mechanical fault diagnosis of high-voltage circuit breakers based on vibration diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(8): 85-90.
- [5] 王小华, 苏 彪, 荣命哲, 等. 中压开关柜在线监测装置的研制[J]. 高压电器, 2009, 45(3): 52-55.
- WANG Xiaohua, SU Biao, RONG Mingzhe, et al. Development of on-line monitoring system of medium voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2009, 45(3): 52-55.
- [6] 郭 江, 刘亚锦, 邹积岩. 面向优化检修的真空断路器状态监测与诊断[J]. 高压电器, 2007, 43(6): 454-456.
- GUO Jiang, LIU Yajin, ZOU Jiyan. Optimal maintenance oriented condition monitoring and diagnosis of vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(6): 454-456.
- [7] 孟永鹏, 贾申利, 荣命哲. 真空断路器机械特性的在线监测方法[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 31-34.
- MENG Yongpeng, JIA Shengli, RONG Mingzhe. On-line monitoring method for mechanical characteristics of vacuum circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2006, 42(1): 31-34.
- [8] 关永刚, 黄瑜珑, 钱家骊. 基于振动信号的高压断路器机械故障诊断[J]. 高电压技术, 2000, 26(3): 66-68.
- GUAN Yonggang, HUANG Yulong, QIAN Jiali. An overview on mechanical failure diagnosis technique for high voltage circuit breaker based on vibration signal[J]. High Voltage Engineering, 2000, 26(3): 66-68.
- [9] 孟永鹏, 贾申利, 荣命哲. 短时能量分析法在断路器机械监测中的应用[J]. 西安交通大学学报, 2004, 38(12): 1301-1305.
- MENG Yongpeng, JIA Shengli, RONG Mingzhe. Application of short-time energy analysis on condition monitoring of circuit breaker[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2004, 38(12): 1301-1305.
- [10] 李 娟. 高压断路器在线监测信号的小波处理方法[J]. 北京机械工业学院学报, 2007, 22(1): 19-22.
- LI Juan. New signal process scheme based on wavelet for online monitoring of high voltage circuit breaker[J]. Journal of Beijing Institute of machinery, 2007, 22(1): 19-22.
- [11] 孙来军, 胡晓光, 纪延超. 一种基于振动信号的高压断路器故障诊断新方法[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(6): 157-161.
- SUN Laijun, HU Xiaoguang, JI Yanchao. A new method of fault diagnosis for high voltage circuit breaker based on vibration signal[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(6): 157-161.
- [12] 杨 武, 荣命哲, 陈德桂, 等. 高压断路器操作震动信号处理的一种新方法[J]. 电工电能新技术, 2002, 21(3): 57-61.
- YANG Wu, RONG Mingzhe, CHEN Degui, et al. A new method of high-voltage circuit breaker's vibration signal processing[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2002, 21(3): 57-61.
- [13] 胡晓光, 王建颢, 刘桂芝, 等. 基于振动信号高压断路器故障诊断的仿真研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2001, 33(4): 530-533.
- HU Xiaoguang, WANG Jianze, LIU Guizhi, et al. Fault diagnosis in high voltage breakers by vibration signal[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2001, 33(4): 530-533.
- [14] 郎福成, 徐建源, 林 莘. 真空断路器机械特性的在线监测[J]. 东北电力技术, 2005(1): 12-15.
- LANG Fucheng, XU Jianyuan, LIN Xin. On-line monitoring or mechanic characteristic for vacuum breaker[J]. North-east Electric Power Technology, 2005(1): 12-15.
- [15] 易 慧, 尹项根, 郑 浩, 等. 基于 DSP 的高压断路器综合在线监测装置[J]. 高压电器, 2007, 43(1): 35-39.
- YI Hui, YIN Xianggen, ZHENG Hao, et al. On-line monitoring device for high voltage circuit breaker based on DSP[J]. High Voltage Apparatus, 2007, 43(1): 35-39.
- [16] 陈保伦, 文亚宁. 断路器弹簧操动机构介绍[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 75-80.
- CHEN Baolun, WEN Yaning. Introduction of spring operation mechanism for CB[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 75-80.
- [17] 刘金川. 比例测量原理的电容角位移传感器的研究及其应用[D]. 天津: 天津大学, 2004.
- LIU Jinchuan. The study and application of ratio metric measurement principle capacitive angular displacement sensor[D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.
- [18] 李 美, 王小华, 苏海博, 等. 中压开关柜状态监测装置电磁兼容性能研究[J]. 高压电器, 2011, 47(4): 69-73.
- LI Mei, WANG Xiaohua, SU Haibo, et al. Research of electromagnetic compatibility of condition on-line monitoring device for medium voltage switchgear[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(4): 69-73.
- [19] 赵 洋, 刘汉宇, 曾庆军. 基于机械振动信号的高压真空断路器故障诊断研究[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 46-51.
- ZHAO Yang, LIU Hanyu, ZENG Qingjun. Study on fault diagnosis of high voltage vacuum circuit breaker based on mechanical vibration signal[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2): 46-51.

(下转第 119 页)

- [8] 刘刚,唐军,张鸣.根据雷电定位数据对输电线路雷击跳闸率计算方法修正的探讨[J]. 电瓷避雷器,2011(12):95-103.
LIU Gang,TANG Jun,ZHANG Ming.Discussion on correction of transmission line lightning trip-out rate based on lightning location data[J]. Insulators and Surge Arresters, 2011(12):95-103.
- [9] 张利庭.雷电对配电安全运行的影响及防范研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
ZHANG Liting.Research of impact and prevention of lightning on distribution networks security operation [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [10] 区伟潮.10 kV 配电用避雷器故障分析[J]. 高电压技术,2006,32(7):127-128.
OU Weichao.Accident analysis of 10 kV distribution arrester[J]. High Voltage Engineering, 2006,32(7):127-128.
- [11] 罗大强,许志荣,唐军,等.根据历史跳闸记录对 10 kV 配电线路防雷现状和问题的分析[J]. 电瓷避雷器,2012(2):95-103.
LUO Daqiang,XU Zhirong,TANG Jun,et al.Analysis of 10 kV distribution line lightning protection situation and problems based on historical records of the trip-out status [J]. Insulators and Surge Arresters,2012(2):95-103.
- [12] 彭发东,彭向阳,熊易,等.广东电网 10 kV 配网避雷器运行状态分析与评估[J]. 高压电器,2011,47(12):56-61.
PENG Dongfa,PENG Xiangyang,XIONG Yi,et al.Run-ning status analysis and assessment of 10 kV arresters in Guangdong Power Grid [J]. High Voltage Apparatus, 2011,47(12):56-61.
- [13] 彭向阳,王保山,彭发东,等.整只配网用避雷器大电流耐受能力试验研究[J]. 高电压技术,2011,37(10):2443-2449.
PENG Xiangyang,WANG Baoshan, PENG Fadong,et al. Test research on high current withstand capability of surge arrester used in distribution power system[J]. High Voltage Engineering, 2011,37(10):2443-2449.
- [14] 郭洁,刘良璧,朱跃.雷电冲击下金属氧化物避雷器动作负荷研究[J]. 高电压技术,2009,35(12):18-20.
GUO Jie,LIU Liangbi,ZHU Yue.Operation duty of metal oxide surge arresters at lightning surge[J]. High Voltage Engineering, 2009,35(12):18-20.
- [15] 童雪芳,王海涛,陈家宏,等.雷电定位系统地闪密度分布图与雷击故障相关性分析[J]. 高电压技术,2008,34(12):2924-2929.
TONG Xuefang,WANG Haitao,CHEN Jiahong,et al. Analysis of correlation between cloud-to-ground flash density map using LLS and lightning flashover[J]. High Voltage Engineering, 2008,34(12):2924-2929.
- [16] 王希,王顺超.10 kV 配电线路的雷电感过电压特性[J]. 高电压技术,2011,37(3):599-605.
WANG Xi,WANG Shunchao.Characteristics of lightning induced overvoltage of 10 kV distribution lines[J]. High Voltage Engineering, 2011,37(3):599-605.
- [17] 向真,杜亚松,邢恩靖,等.配网自动化建设对供电可靠性影响[J]. 电网与清洁能源,2012,28(10):20-24.
XIANG Zhen,DU Yasong,XING Enjing,et al.Influence of distribution automation construction on the power supply reliability[J]. Power System and Clean Energy, 2012,28(10):20-24.
- [18] 朱时阳,邓雨荣.输电基于改进电气几何模型的输电线路雷电屏蔽性能研究[J]. 高压电器,2008,44(1):56-58.
ZHU Shiyang,DENG Yurong.Research on shielding lightning performance of electric transmission line with the improved EGM[J]. High Voltage Apparatus, 2008,44(1):56-58.
- [19] 陆小花.架空配电线路感应雷过电压计算与防护的研究[D]. 南京:河海大学,2007.
LU Xiaohua.Research of calculation and prevention of lightning induced over voltages on overhead distribution lines[D]. Nanjing: Henan University, 2007.
- [20] 吴桂芳.500 kV 莞城变电站雷电侵入波过电压的数值计算[D]. 武汉:武汉大学,2002.
WU Guifang.Numerical calculation of lightning inrush overvoltage of 500 kV Wancheng Substation[D]. WuHan: Wuhan University,2002.
- [21] ISHII M, KAWAMURA T, KOUNO T, et al.Multistory transmission tower model for lighting surge analysis [J]. IEEE Trans. on PD, 1991,6(3):1327-1335.

谭俊源(1970—),男,高级工程师,主要研究方向为配电网运行管理、配网防雷、电力设施被盗防护、智能电网。

(上接第 112 页)

- [20] 钟家喜,李保全,李亚红.高压断路器机械状态与监测技术的探索与实践[J]. 高压电器,2011,47(2):53-60.
ZHONG Jiayi,LI Baoquan,LI Yahong.Exploration and practices of mechanical state diagnosis and monitoring techniques for high voltage circuit breaker [J]. High Voltage Apparatus, 2011,47(2):53-60.
 - [21] 于莉莉.高压断路器的在线监测与诊断系统[D]. 山东:山东大学,2005.
YU Lili.Online monitoring and diagnosis system of high voltage circuit breaker [D]. Shandong:Shandong University, 2005.
- 陈建平(1963—),男,副总工程师,主要从事智能电网及电力智能控制装置的研制。