

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2016.09.025

输电线路微风振动在线监测装置计量标准器的研制

卢冰¹, 张军¹, 王昊², 梁星³, 甘德刚⁴, 龚奕宇⁴, 龚金龙⁵

(1. 中国电力科学研究院, 武汉 430074; 2. 中国计量科学研究院电磁所, 北京 100013;
3. 国网重庆市电力公司电力科学研究院, 重庆 404100; 4. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 成都 610000;
5. 国网浙江省电力公司电力科学研究院, 杭州 310000)

摘要: 为了提高输电线路微风振动在线监测装置测量数据的准确性和可靠性,文中设计了一种输电线路微风振动在线监测装置的计量标准器。首先研制了振动源,可以输出一个标准的振动激励(频率输出范围为 0~200 Hz,振幅输出范围为 0~1.5 mm);然后设计了一个标准接口,使输电线路微风振动在线监测装置可以有效测量到振动源输出的激励。经过振动标准装置的测试,计量标准器达到设计要求,可以实现对输电线路微风振动在线监测装置的整体校准。

关键词: 输电线路; 微风振动; 计量标准器; 校准

Development of Online Monitoring Reference Devices for Transmission Line Aeolian Vibration

LU Bing¹, ZHANG Jun¹, WANG Hao², LIANG Xing³,
GAN Degang⁴, GONG Yiyu⁴, GONG Jinlong⁵

(1. China Electric Power Research Institute, Wuhan 430074, China; 2. Division of Electricity and Magnetics Metrology, China National Institute of Metrology, Beijing 100013, China; 3. Electric Power Research Institute, State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 404100, China; 4. Electric Power Research Institute, State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610000, China; 5. Electric Power Research Institute, State Grid Zhejiang Electric Power Company, Hangzhou 310000, China)

Abstract: In order to improve the accuracy and the reliability of the measurement data of transmission line aeolian vibration online monitoring devices, a reference device is designed in this paper. Firstly, a vibration source is developed to generate the standard vibration (frequency output range: 0~200 Hz, amplitude output range: 0~1.5 mm). Secondly, a test interface is designed so that the output of the vibration source can be effectively measured by the transmission line aeolian vibration online monitoring device. The reference device has been tested with the higher level vibration reference calibrator. The test result indicates that the reference device reaches to the design requirements and can calibrate the whole of the transmission line aeolian vibration online monitoring device.

Key words: transmission line; aeolian vibration; reference device; calibration

0 引言

输电线路在线监测技术的研究越来越多的受到电力运行部门的重视^[1-4]。当输电线受到微风吹拂时,会产生周期性振动,如果不采取防振措施,有可

能导致导线疲劳断股,严重影响线路安全^[5-8]。目前,电力生产部分一般采用微风振动在线监测装置对输电线振动情况进行实时测量和监控,从而选择合适的防振措施^[9-12]。但是现阶段输电线路微风振动在线监测装置的对导线振动情况测量结果的可靠性还无法得到有效保证。原因在于,目前针对微风振动在线监测装置的校准主要是面向其振动采集单元即振动

收稿日期:2016-02-21; 修回日期:2016-04-23

基金项目:国家电网公司科技项目。

Project Supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China.

传感器进行,而不能够直接对整个微风振动在线监测装置进行校准^[13-21]。针对目前输电线路微风振动在线监测装置校准工作的现状,亟需提出一套完善的方法对输电线路微风振动在线监测装置进行整体的检测。文中设计了一种输电线路微风振动在线监测装置的计量标准器,可以根据输电线路微风振动在线监测装置的工作原理和安装方式,实现了对输电线路微风振动在线监测装置的频率和振幅测量功能整体的校准。

1 计量标准器的主要功能及技术参数

1.1 计量标准器的主要功能

输电线路微风振动在线监测装置的频率测量范围为0~150 Hz,振幅测量范围为1.3 mm(p-p),最大允许误差为10%。该计量标准器能输出稳定的标准振动激励,可以全面覆盖输电线路微风振动在线监测装置的测量范围,同时提供相应的测试安装接口,能对输电线路微风振动在线监测装置的频率、振幅测量功能进行有效的校准。

1.2 计量标准器的主要技术参数

根据输电线路微风振动在线监测装置的测量范围及最大允许误差,该计量标准器的设计技术参数为:频率输出范围为0~200 Hz,频率输出允许误差为 $(\pm 3\% \text{读数} + 5 \text{ Hz})$;振幅输出范围为1.5 mm(p-p),振幅输出最大允许误差为 $(\pm 3\% \text{读数} + 0.05 \text{ mm})$ 。

2 计量标准器的工作原理和使用方法

2.1 工作原理

计量标准器的原理图见图1。图1中:计量标准器由上位机和下位机组成。上位机软件包括振动激励目标参数(频率、振幅)的设置界面、测振传感器参数的设置界面和振动激励控制界面组成,主要用于设置振动激励的频率和振幅的目标值、传感器的参数值及其他控制参数。下位机主要由激振模块、测振模块和测试接口组成。激振模块主要包括振动源、振动控制单元、功率放大单元等组件组成,主要用于提供一个标准的振动激励。测振模块由标准传感器、信号放大器、数字电压表组成,主要用于测量振动源所输出振动激励的频率、振幅参数作为标准值。测试接口由模拟导线及底座组成,模拟导线经底座与振动台底座相连,主要用于提供微风振动在线监测装置的安装接口。为了减小测量误差,测试接口的各个组件采用刚性连接。

2.2 使用方法

在计量标准器上安装微风振动在线监测装置



图1 计量标准器的原理图

Fig. 1 Standard device principle diagram

后,通过上位机界面可以设定相应的参数,将各种设置和控制数据下发到计量标准器下位机。通过该界面,可以设置振动激励的频率和振幅目标值、标准传感器的灵敏度、振动激励的类型和运行时间等。其流程见图2。

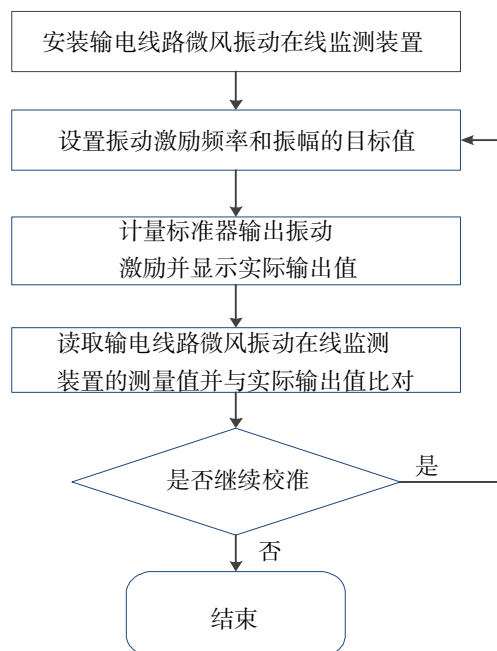


图2 控制流程图

Fig. 2 Control flow chart

3 计量标准器的核心模块介绍

3.1 激振模块

激振模块相当于一个标准振动系统,原理见图3。图3中:标准振动系统是一个在工作过程中能够自

动发出一个振动激励的闭环控制系统, 主要硬件包括: 振动台体、功率放大单元、振动控制单元和冷却单元。其工作原理是: 振动控制单元中的信号发生组件产生一个正弦信号, 由功率放大单元放大后驱动振动台产生标准的振动信号。振动控制单元中的数字频率计接收信号发生单元发出的正弦信号, 并测量出该信号的频率作为频率标准值。

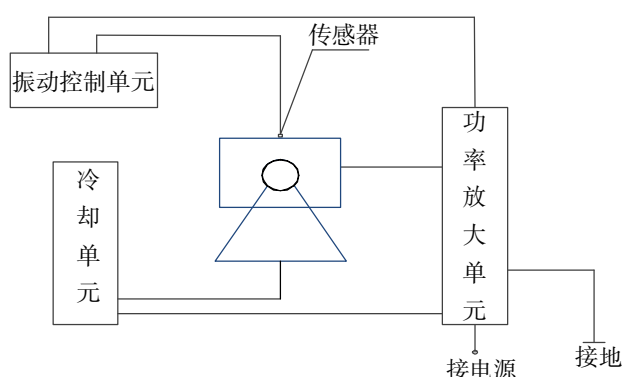


图3 激振模块的原理图

Fig. 3 Vibration motivation module principle diagram

振动台由台面、台体、励磁线圈、驱动线圈及底座组成, 结构见图4。其工作原理是, 振动台内的励磁线圈与直流电源相连, 通电后在环状气隙里产生一个磁通量; 振动台的台面和驱动线圈, 悬挂在振动台的环行气隙里, 当交流电流通过驱动线圈时, 驱动线圈的绕组上会产生一个电磁力, 使得台面产生向上和向下的往复移动。振动台的振幅由振动控制单元发出的驱动信号的强度、频率以及振动台面的负荷决定。

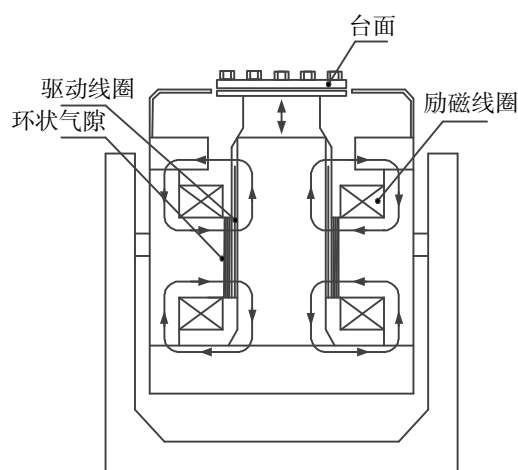


图4 振动台的结构图

Fig. 4 Vibration table structure diagram

功率放大单元提供振动台励磁线圈所需的励磁电流、功率模块使用的电源, 主要由功率放大组件、逻辑组件及保护电路等部件组成。功率放大单元采用数字式设计, 具有高效率、模块化的特点。功率放

大单元与匹配的振动台和振动控制单元构成一个试验系统后, 能够连续有效驱动振动台产生振动激励。功率放大单元采用了脉宽调制技术(PWM), 能够对输入电流进行有效放大。通过调制高频信号并将开关频率滤波后, 能输出光滑的正弦波形。

振动控制单元是整个标准振动系统的关键部件, 其主要作用是和信号发生组件、数字频率计及各个通信接口进行控制交互。通过上位机界面输入控制参量, 按要求实现信号的输出, 完成传感器输出信号的采集、处理等功能。

振动控制单元内置软件系统可以协调激振模块内各个硬件进行控制信号的输入和输出, 并以此驱动振动台产生激励, 最后采集和处理传感器的输出信号, 从而实现对试品的校准, 其主要功能见图5。

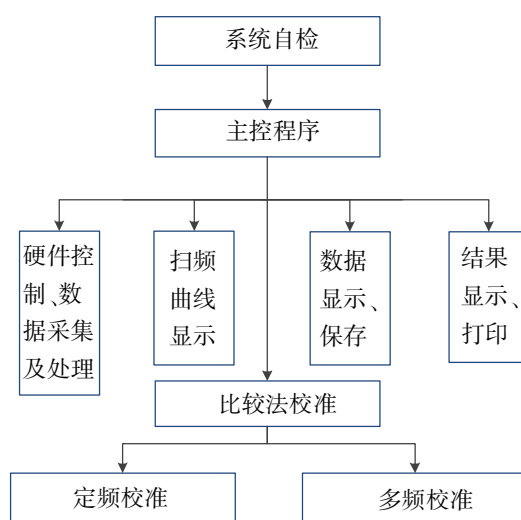


图5 软件功能的示意图

Fig. 5 Software function diagram

图5中: 系统自检是对系统中各个硬件的功能和物理连接进行检查, 以保证校准过程能够安全、稳定、可靠的进行。主控程序主要进行控制相应的硬件进行不同模式的信号发生、频率计数、数据采集及处理等功能, 并将测量结果返回人机交互界面进行显示、保存及打印。

3.2 测振模块

测振模块由标准传感器、信号放大器、数字电压表组成, 主要用于测量振动台输出激励的振幅, 作为振幅标准值。标准传感器安装在振动台面上, 可以把振动台输出的振动激励转化为电信号。该电信号经过放大器放大后, 由数字电压表测量其值, 经过进一步计算即可得到振动台输出的振幅标准值。

3.3 测试接口

测试接口由模拟导线及底座组成, 模拟导线经底座与振动台底座相连, 采用刚性连接。进行校准

时,输电线路微风振动在线监测装置安装在模拟导线上,传感器探头接触在振动台面上,见图6。标准传感器中心和试品传感器探头以振动台面中心对称放置。针对无探头的试品,可以直接安装在振动台面上的刚性模拟导线上。

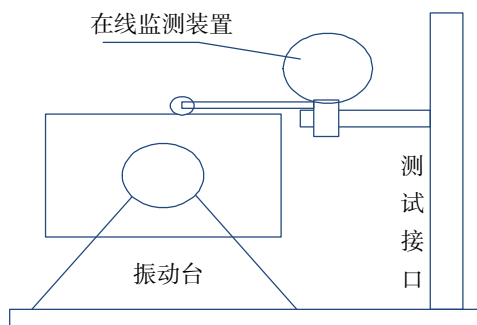


图6 测试接口的原理图

Fig. 6 Test interface principle diagram

4 试验数据

文中研制的计量标准器的振幅和频率测量功能,均在国家法定计量检定机构进行过校准,部分校准数据见表1。

表1 计量标准装置的频率/振幅校准数据

Table 1 Frequency/amplitude calibration data of the standard device

频率			振幅		
标准	测量	示值	标准	测量	示值
值/Hz	值/Hz	误差/%	值/mm	值/mm	误差/%
5.0	5.0	0	0.001	0.001	0.0
10.0	10.0	0	0.010	0.010	0.0
20.0	20.0	0	0.069	0.070	1.4
30.0	30.0	0	0.156	0.157	0.6
40.0	40.0	0	0.313	0.313	0.0
60.0	60.0	0	0.468	0.470	0.4
80.0	80.0	0	0.625	0.626	0.1
160.0	160.0	0	0.781	0.783	0.3
240.0	240.0	0	—	—	—

从表1可以看出,该标准装置的性能满足设计要求。

文中研制的计量标准器可以针对市面上的输电线路微风振动在线监测装置开展有效地校准工作。现选取西安某厂家的输电线路微风振动在线监测装置的频率和振幅试验数据,见表2。

从试验数据上可以看出,该计量标准器可以有效开展相关的校准工作。

5 结语

为了提高输电线路微风振动在线监测装置测量数据的准确性和可靠性,文中设计了一种输电线路微风振动在线监测装置的计量标准器,实现了输电

表2 在线监测装置的频率/振幅校准数据

Table 2 Frequency/amplitude calibration data of the on-line monitoring device

频率			振幅		
标准	试品	示值	标准	试品	示值
示值/Hz	示值/Hz	误差/%	示值/mm	示值/mm	误差/%
5.0	5.0	0.00	0.213	0.205	-3.76
10.0	10.0	0.00	0.424	0.406	-4.25
30.0	30.0	0.00	0.615	0.581	-5.53
40.0	40.6	1.50	0.827	0.782	-5.44
70.0	71.0	1.43	1.056	0.973	-7.86
100.0	102.0	2.00	1.268	1.197	-5.60
150.0	148.0	-1.33	—	—	—

线路微风振动在线监测装置的整体校准,解决了现有校准工作中的局限。

该计量标准器可以为输电线路微风振动在线监测装置的采购提供参考依据,也可以作为判断产品合格与否的标准用于微风振动在线监测装置的验收;该计量标准器还可作为输电线路微风振动在线监测装置生产厂家生产过程中的质量控制参考标准,对促使在输电线路监测装置向标准化、规范化方向发展有积极推动作用。

参考文献:

- [1] 刘珂宏,刘亚东,盛戈皞,等.基于输电线路全工况信息的风险评估方法[J].高压电器,2016,52(3):23-28.
LIU Kehong, LIU Yadong, SHENG Gehao, et al. All conditions information based risk assessment method for transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(3): 23-28.
- [2] 王孔森,孙旭日,盛戈皞,等.架空输电线路导线弧垂在线监测误差分析及方法比较[J].高压电器,2014,50(4):27-34.
WANG Kongsen, SUN Xuri, SHENG Gehao, et al. Error comparison among three on-line monitoring methods of conductor sag of overhead transmission line[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(4): 27-34.
- [3] 吕丽丽.高压输电线路状态在线监测研究[D].武汉:华中科技大学,2013.
LYU Lili. Research on state online monitoring for high-voltage transmission lines[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [4] 邹木春.架空输电导线微风振动传感结构设计及仿真分析[D].广州:华南理工大学,2013.
ZOU Muchun. The design and simulation analysis of aeolian vibration sensing structure for overhead transmission line[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [5] 王立.微气象条件下输电线路导、地线微风振动的成因判断及对策研究[J].中国电机(技术版),2014(4):1-3.

- WANG Li. Research on transmission line guide, the breeze of ground vibration causes and countermeasures under micro weather conditions[J]. China Electric Power (Technology Edition), 2014(4):1-3.
- [6] 赵美云, 赵新泽, 付志成. 微风振动下架空导线接触特性有限元分析[J]. 机械强度, 2015, 37(6):1113-1118.
- ZHAO Meiyun, ZHAO Xinze, FU Zhicheng. Finite element analysis of contact characteristic of overhead conductor in aeolian vibration[J]. Journal of Mechanical Strength, 2015, 37(6):1113-1118.
- [7] 赵美云, 刘正林, 赵新泽. 电气化铁路输电导线线股接触区磨损特性[J]. 交通运输工程学报, 2013, 13(5): 121-126.
- ZHAO Meiyun, LIU Zhenglin, ZHAO Xinze. Wear characteristics of contact area among transmission conductor strands of electrified railway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2013, 13(5): 121-126.
- [8] 秦力, 李军阔, 付强. 输电线路钢芯铝绞线股线力学特性研究[J]. 水电能源科学, 2013, 31(5): 194-197.
- QIN Li, LI Junkuo, FU Qiang. Research on aluminum conductor steel-reinforced mechanical characteristics of transmission lines[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(5): 194-197.
- [9] 邓斌. 基于传递矩阵的分裂导线微风振动特性分析方法及应用[D]. 北京:华北电力大学, 2015.
- DENG Bin. Analysis method and application of the Aeolian vibration characteristics of the bundle conductor based on transfer matrix[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015.
- [10] 赵隆, 黄新波, 朱永灿. 基于FBG的输电线路微风振动在线监测方法[J]. 中国电力, 2015, 48(3):27-31.
- ZHAO Long, HUANG Xinbo, ZHU Yongcan. Research on online monitoring method of aeolian vibration on transmission lines based on FBG[J]. Electric Power, 2015, 48(3):27-31.
- [11] 黄新波, 赵隆, 舒佳. 输电线路导线微风振动在线监测技术[J]. 高电压技术, 2012, 38(8): 1863-1870.
- HUANG Xinbo, ZHAO Long, SHU Jia. On monitoring conductor aeolian vibration transmission lines[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(8): 1863-1870.
- [12] 万军, 范春菊, 胡炎. 微风振动预警在输电线路在线监测系统中的应用[J]. 水电能源科学, 2012, 30(7): 169-172.
- WAN Jun, FAN Chunju, HU Yan. Application of aeolian vibration early-warning in online monitoring system of transmission lines[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(7): 169-172.
- [13] JJG 676—2000 工作测振仪检定规程[S]. 2000.
- JJG 676—2000 Verification regulation of working measuring vibration instruments[S]. 2000.
- [14] 于梅. 0.1 Hz~KHz 直线振动幅值和相位国家计量基准系统的研究[J]. 振动与冲击, 2007, 26(7):54-58.
- YU Mei. Recent development of study on primary standards for measuring magnitude and phase of translational vibration in frequency domain[J]. Journal of Vibration and Shock, 2007, 26(7):54-58.
- [15] 韩洋, 曾吾, 张珂珠. 随机振动校准加速度计方法研究[J]. 计测技术, 2007, 27(1):7-10.
- HAN Yang, ZENG Wu, ZHANG Kezhu. Research of accelerometer calibration method with random vibration excitation[J]. Metrology & Measurement Technology, 2007, 27(1):7-10.
- [16] 孙桥, 王建林, 胡红波. 低g值碰撞式冲击加速度计量标准装置研究与建立[J]. 振动与冲击, 2015, 34(10):179-183.
- SUN Qiao, WANG Jianlin, HU Hongbo. Development of a low-g shock standard device based on rigid body collision for shock acceleration calibration[J]. Journal of Vibration and Shock, 2015, 34(10):179-183.
- [17] 张文瑞, 张丕状, 翟子雄. 一种基于六姿态模型的加速度计校准方法研究[J]. 传感器与微系统, 2016, 35(3):37-19.
- ZHANG Wenrui, ZHANG Pizhuang, ZHAI Zixiong. Research on an accelerometer calibration method based on six-posture model[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2016, 35(3):37-19.
- [18] 董雪明, 何懿才, 关伟. 加速度计校准技术综述[J]. 计测技术, 2014, 34(4):5-9.
- DONG Xueming, HE Yicai, GUAN Wei. Review of linear accelerometer calibration techniques[J]. Metrology & Measurement Technology, 2014, 34(4):5-9.
- [19] 匙庆磊. 低频标准振动台系统和振动校准技术研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所, 2014.
- CHI Qinglei. A study of low-frequency standard vibration table systems and vibration calibration technology[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration Harbin·China, 2014.
- [20] 余天莉. 超低频振动校准系统的研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所, 2012.
- SHE Tianli. Study on ultralow frequency standard vibration metrology system[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration Harbin·China, 2012.
- [21] 王春宇. 超低频标准振动台相关设计理论及运动控制技术的研究[D]. 杭州:浙江大学, 2013.
- WANG Chunyu. Research on Research on related design theory and motion control technology for ultralow frequency standard vibrators[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- 卢冰(1983—), 男, 工程师, 硕士, 研究方向为计量与测试技术。
- 张军(1979—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为计量与测试技术。
- 王昊(1967—), 女, 高级工程师, 本科, 研究方向为电磁计量及高电压技术。
- 梁星(1989—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为高压计量、电能计量。