

Design and Development of an Automatic Calibration System for Digital High Voltmeter

Yongqin Wang¹, Lu Zhang¹, Jiahui He¹, Lang Luo², Haitao Zhao², Qian Wang²

¹State Grid Hubei Electric Power Research Institute, Wuhan Hubei

²State Grid Hubei Maintenance Company, Wuhan Hubei

Email: 13507160151@163.com

Received: Nov. 20th, 2015; accepted: Dec. 8th, 2015; published: Dec. 14th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

An automatic calibration system is designed to make calibration for AC high voltage divider (30 - 300 Hz). The maximum output of the automatic calibration system is 200 kV. The distortion of the high voltage is less than 1% and the frequency error is less than 0.01 Hz. The readings error of the automatic calibration system is Level 0.1. The voltage and its frequency are very stable. The whole calibration procedure is automatic. The application of the automatic calibration system can increase the quality control of high voltage system calibration in the laboratory and decrease the uncertainty of measurement result.

Keywords

Wide-Frequency Stable-Voltage Power Source, AC High-Voltage Divider, Auto-Calibration System

数字高压表自动化校准系统设计与开发

王永勤¹, 张露¹, 贺家慧¹, 罗浪², 赵海涛², 王骞²

¹国网湖北省电力公司电力科学研究院, 湖北 武汉

²国网湖北检修公司, 湖北 武汉

Email: 13507160151@163.com

收稿日期: 2015年11月20日; 录用日期: 2015年12月8日; 发布日期: 2015年12月14日

摘要

本文提出一种自动化校准系统用于高压交流分压器(30~300 Hz)等高压计量仪器的自动化检测。装置的输出电压为0~200 kV,波形畸变率低于1%,并且输出正弦电压波动值小于0.1级,频率误差小于0.01 Hz。自动化校准系统输出高压电源幅值和频率非常稳定,且整个检测和校准过程全自动。实际应用表明该交流分压器自动化校准系统可以大大提高分压器等高压计量设备校准过程的准确性,降低检测结果的不确定度。

关键词

宽频高稳电源, 高压交流分压器, 自动化校准系统

1. 概述

数字高压表是用于测量频率范围在 30 Hz~300 Hz 内的交流和直流高电压的测量仪器[1],由高压分压器、传输电缆和低压数字表构成。其中对工频高压分压器、串联谐振系统宽频分压器等在进行计量校准时需要在其高压侧施加高压,然后读取其表计读数并与标准分压器的读数进行对比[2]-[7]。由于高压工频分压器、串联谐振系统的分压器都是容性负载,当高压数值较高时对其进行校验时所需的电源容量非常大,因此通常是使用市电经过升压后直接加在被检测分压器和标准分压器上,将两个读数进行对比以获得检测数据,此过程中存在几个问题和缺陷会导致校准过程受到很大的限制[8]-[12]:

市电本身存在较大波动,导致标准分压器的读数不断变化,无法得到准确的示值。当被校准分压器标称精度较高(0.5%或更高)时,无法进行精确计量;市电本身存在较大的波形畸变,使阻容式分压器的变比产生误差,导致分压器的校准结果失真;市电的频率是固定的 50 Hz,当需要对串联谐振系统进行校准时,则无法对分压器在不同频率下的读数进行比对。

2. 频率可变的自动化校准系统

针对高压交流分压器检测过程中存在的问题和缺陷,本文设计一套频率可变的自动化校准系统,对工频分压器、串联谐振宽频分压器等进行计量校准。校准时只需要输入待检测的目标电压值,装置自动控制电压输出至目标电压并记录此时的标准分压器读数。用户只需要输入被检测高压计量设备的读数即可。整个试验完成后装置自动生成格式规范的校准报告。

高压交流分压器自动化校准系统原理图如图 1 所示,系统包括宽频高稳电源、中频高压变压器、宽频高精度分压器、操作控制台。三相交流电源通过变宽频高稳电源后产生频率可调(30~300 Hz)的 0~400 V 单相交流电压至中频高压变压器。宽频高稳电源的输出电压幅值由试验控制台通过 RS232 通信口进行控制,在整个升压过程中,操作控制台不断采集宽频分压器的低压臂信号,与设定的目标电压值比较后,将差值作为控制信号实现对宽频稳压电源的控制信号对输出高压值进行调整。操作控制台的软件系统通过监测输出高压、宽频高稳电源的输出电压和输出电流,从而对整个系统的运行状态进行监控,并根据这些电压电流信号的幅值检测系统是否发生了异常故障,一旦发现异常立刻切断整个装置的高压供电系统。

3. 自动化校准系统的硬件设计

3.1. 宽频高稳电源

自动化校准系统的宽频高稳电源原理为:三相电源经过桥式整流变成直流电压源为功率放大模块进

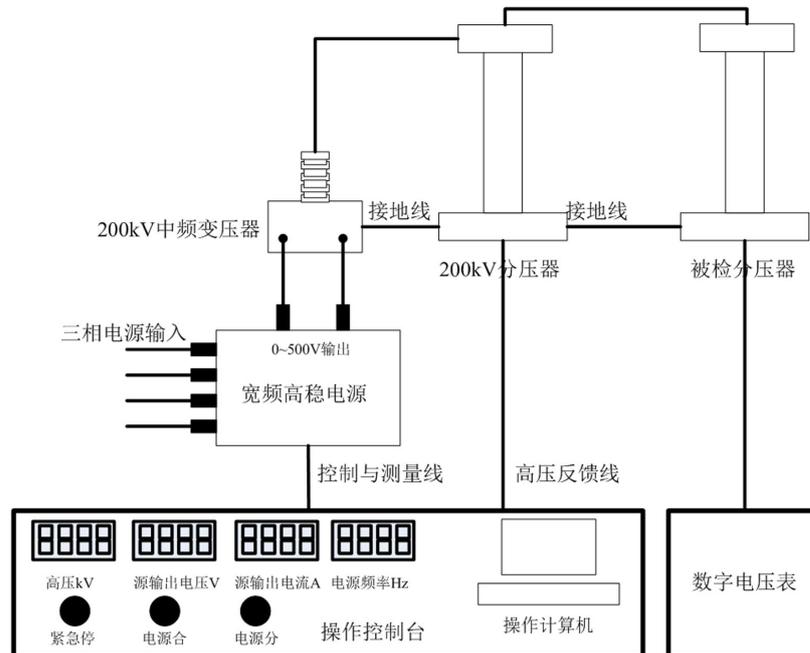


Figure 1. Illustration of the automatic calibration system for ac voltage dividers
图 1. 交流高压分压器自动化校准系统原理图

行供电，功率放大模块由标准信号发生器产生标准正弦波进行控制，正弦电压信号通过功率放大模块放大后输出至滤波器滤波，然后对外进行供电。

宽频高稳电源的控制信号来自远程控制工控机，工控机通过 RS232 发送命令调整标准信号发生器的输出频率和幅值，从改变宽频高稳电源的输出电压频率和幅值。电源内设温度保护与过流保护，一现电流过载或者温度过高时启动保护并发送命令至远程控制工控机。宽频高稳电源的输出功率为 20 kVA。输出电压通过隔离变压器输出时引出 2 个抽头，两个抽头对应的最高输出电压分别为 220 V 和 400 V。

3.2. 中频升压变压器

中频升压变压器输入电压 0~400 V，输出电压 0~200 kV，输入输出电压的频率为 30~300 Hz，为了保证中频升压器在 30 Hz 下也能达到最高输出电压不饱和，中频升压器比同样电压等级和容量的工频变压器的铁芯容量要高 1.67 倍以上。为了提高整套系统的可靠性和安全性，中频升压器的铁芯在整个使用过程中通过一个单独的宽频交流电压表监视高压输出值。中频升压变压器的内部绝缘材料使用 SF₆ 气体进行绝缘，以保证获得足够的绝缘强度。

3.3. 宽频标准分压器

自动化校准系统的宽频标准分压器其高压臂电容量为 100 pF，介损值小于 0.00001，为了保证其电容量的稳定，高精度宽频分压器的高压电容内部充 SF₆ 气体作为绝缘材料，在高精度宽频分压器的低压臂安装 4 个 1 μF 的云母电容。

3.4. 操作控制台

自动化校准系统的操作控制台由工控机、数据采集电路和电源控制开关等组成，采用交流接触器控制变频交流稳压电源的输入电源，一旦控制软件检测到系统异常时，立刻自动断开变频交流稳压电源的三相供电电源以保护系统。试验控制台的工控机通过 RS232 端口向宽频高稳电源发送电压调整命令，控

制高频高稳电源的输出电压值，并且通过数据采集系统不断采集并监视宽频高稳电源的输出电压、输出电流和校准系统的输出电压值。

4. 自动化校准系统的软件设计与控制流程

自动化校准系统在运行时，首先将需要检测的电压点依次按照上升过程和下降过程设置在控制软件中。控制软件通过宽频高精度分压器采集装置输出高压值，当实际输出电压和目标电压误差在 0.1 kV 范围内时，保持输出电压稳定。校准过程中控制软件不断监测系统是否短路、过载或谐振。当中频变压器的输入电流峰值突然大于宽频高稳电源最大输出电流的 1.414 倍时，认为试品发生击穿，立刻切断宽频高稳电源的三相供电回路。

图 2 为校验流程图，以对 200 kV 工频分压器校准为例，首先设置目标电压值，设置上升及下降点

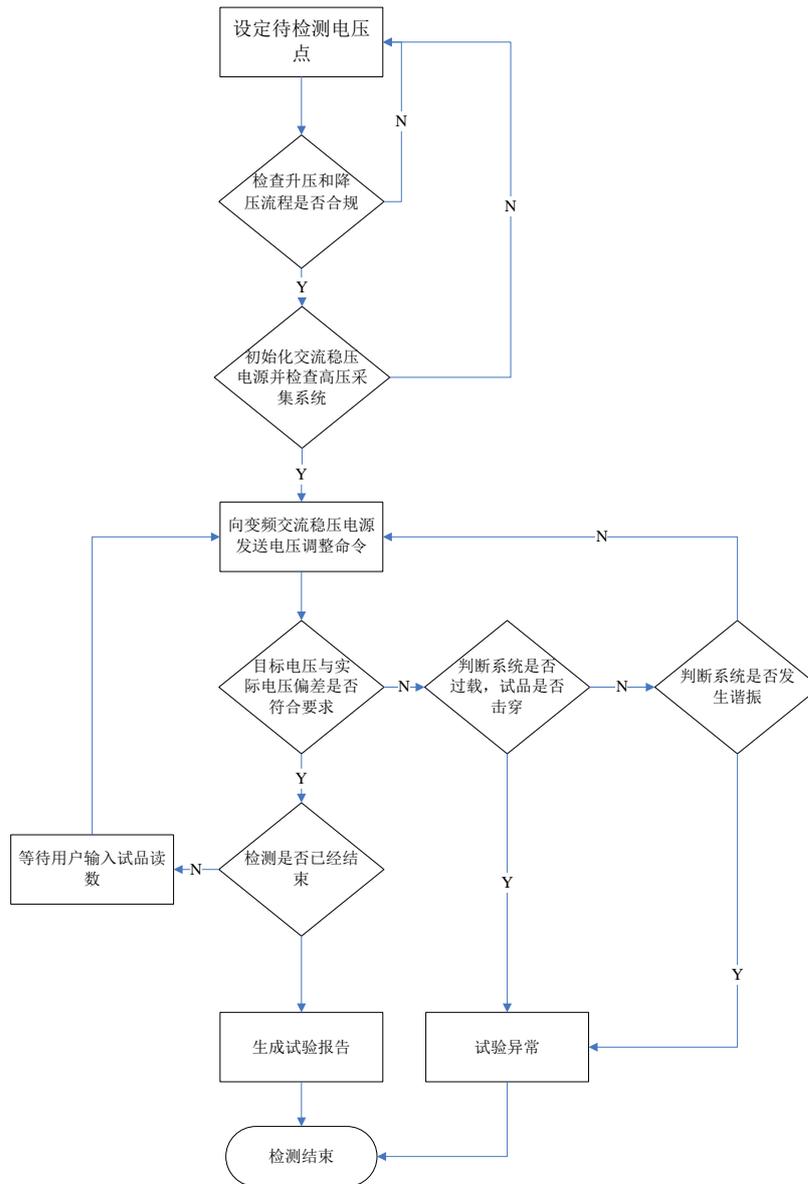


Figure 2. Flow chart of the control system
图 2. 控制系统软件流程图

Table 1. Measurement and calibrat result

表 1. 计量校准结果

频率(Hz)	自动化校准系统读数(kV)	国家高压计量中心标准分压器读数(kV)	国家高压计量中心波形畸变检测仪
30	50.00	50.02	0.92%
30	200.0	200.09	0.80%
50	50.00	50.01	0.91%
50	200.0	200.07	0.79%
150	50.00	50.05	0.95%
150	200.0	200.10	0.85%
200	50.00	50.07	0.97%
200	200.0	200.12	0.86%

20 kV, 40 kV...180 kV, 200 kV, 频率 50 Hz。试验启动后从零开始升压, 达到 20 kV 时保持, 待用户记录试品的读数后自动升压至下个测试点, 依次完成所有电压点的校准。

5. 对本系统计量校准

本文的交流分压器自动化校准系统在中国电科院高压计量中心进行了溯源计量校准认证, 如表 1 所示, 在与高压计量中心的标准分压器比对过程中, 选取 30 Hz、50 Hz、150 Hz、200 Hz 等频率进行校验, 交流分压器自动化校准系统输出高电压值稳定性好, 波动幅度小于 0.02 kV, 波形畸变率小于 1%。

6. 结论

本文提出一种自动化校准系统的装置与方法, 用于对高压交流分压器(30~300 Hz)等高压计量仪器的自动化检测方案: 高稳定的 0~200 kV 高压至被检测试品, 且输出电压可预设; 电压波形畸变率低于 1%, 电压波动值小于 0.02 kV, 频率误差小于 0.01Hz。

自动化校准系统输出高压电源幅值和频率非常稳定, 避免频率变化和波形畸变对阻容性分压器的测量读数产生影响。整个检测和校准过程全自动, 可以避免手动调压或者机械调压过程产生人为操作失误。实际应用表明设备校准过程的准确性, 降低校准结果的不确定度。

参考文献 (References)

- [1] 中华人民共和国电力行业标准. 数字高压表检定规程[S]. 2006, DL/T.
- [2] 张永辉, 常安碧, 甘延青, 等. 一种同轴高压电容分压器的设计[J]. 高电压技术, 2003, 35(1): 37-38+41.
- [3] 陈炜峰, 蒋全兴. 一种电阻脉冲分压器的研制[J]. 高电压技术, 2006, 36(7): 76-78+119.
- [4] 高景明, 刘永贵, 杨建华. 一种电容补偿型高压电容分压器的设计[J]. 高电压技术, 2007, 36(6): 76-79.
- [5] 卫兵, 傅贞, 王玉娟, 等. 脉冲功率装置中电容分压器的设计 and 应用[J]. 高电压技术, 2007, 36(12): 39-43.
- [6] 刘轩东, 李登云, 孙凤举, 等. 用于纳秒脉冲高压测量的同轴型电容分压器[J]. 高压电器, 2008, 36(1): 32-33+36.
- [7] 行鹏, 苏春强, 林国生, 等. 冲击电阻分压器响应特性的研究[J]. 高压电器, 2011, 36(10): 26-30+34.
- [8] 李登云, 李前, 李鹤, 等. 1000 kV 直流电阻标准分压器的电场仿真计算和分析[J]. 高电压技术, 2012, 36(11): 2875-2880.
- [9] 龙兆芝, 刘少波, 李文婷, 等. 冲击电压分压器线性度试验研究[J]. 高电压技术, 2012, 36(8): 2015-2022.
- [10] 田世杰. 脉冲高压同轴电容分压器的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 华北电力大学, 2012.

- [11] 王雅丽, 毛晓惠, 邵葵, 等. HL-2A 型受控核聚变装置高压电源用脉冲分压器的设计[J]. 高电压技术, 2012, 41(4): 971-977.
- [12] 袁渊, 任稳柱, 李平, 等. ± 1200 kV 标准直流分压器设计及测量不确定度评定[J]. 高压电器, 2013, 41(5): 12-17+20.