

交直流高压分压器自动校准系统研究

针对目前交直流高压分压器校准过程中,由于人工读取试验数据导致的效率低、误差大等问题,设计研发了一套交直流高压分压器自动校准系统。对系统的组成与功能进行了介绍,分析了系统的特点与优势,并通过试验验证了系统的有效性,实现了交直流高压分压器校准试验数据的自动读取与处理。该系统的应用将进一步提高交直流高压分压器校准效率和准确度奠定坚实的基础。

姜宁 任稳柱/西安高压电器研究院有限责任公司

0 引言

交直流高压分压器是目前高压电气系统中测量电压参数的重要设备,对保证高压电气系统安全稳定运行具有重要的作用。随着高压分压器在发电厂、变电站、高压电器设备制造厂和高电压试验室等领域的广泛应用,相关国家及行业标准中对高压分压器的计量检定也提出了相应的要求。一般情况下,新制造、使用中和修理后的高压分压器都需要在一定的校准周期内到法定的计量单位进行校准,获得校准证书后才能继续使用。

对于计量检定部门,逐年增多的高压分压器的计量任务对计量检定部门的试验效率和试验准确度提出了更高的要求。然而,传统的高压分压器校准试验方法在试验过程控制、读取数据、记录数据以及处理数据方面主要依靠试验人员来完成,试验效率相对较低,且由于人工记录数据容易造成一定程度上的误差,从而影响对分压器分压比的计算。因此,设计研发一套交直流高压分压器自动校准系统是十分必要的,具有极其

深远的意义。

本文利用现有试验设备和试验方法,根据交直流高压分压器的试验特点,进行了自动检测系统硬件的设计搭建、数据采集处理软件的编写,并能够自动打印试验原始记录,实现了交直流高压分压器的自动校准。

1 高压分压器工作原理及传统校准方法

1.1 交直流高压分压器工作原理

高压分压器由承受高电压的高压阻抗臂 Z_1 和产生二次电压的低压阻抗臂 Z_2 串联组成,如图1所示。把一次高压 U_1 转换成便于用低压仪器、仪表测量的二次电压 U_2 ,且 U_1 和 U_2 之间存在一个比例关系。比例常数 k 称为分压器的分压比,即

$$k = \frac{U_1}{U_2} \quad (1)$$

式中, U_1 和 U_2 为一次电压和二次电压有效值(或峰值)。

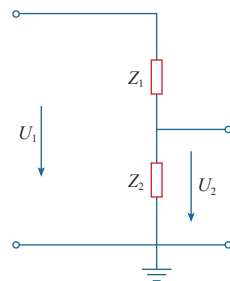


图1 高压分压器原理图

1.2 传统校准方法

目前传统高压分压器的校准系统主要由高压试验电源、标准高压分压器和数字多用表等设备组成,试验时标准分



姜宁/工程师

关键词/Keywords

高压分压器·
校准系统·
自动校准·

压器与被校分压器的高压侧均接至试验系统高压电源, 低压侧分别接至各自回路的数字多用表, 高压分压器均需可靠接地。

依据JJG 496—1996《工频高压分压器》、JJG 1007—2005《直流高压分压器检定规程》的要求, 针对高压分压器的工作原理, 在日常的高压分压器校准试验中, 一般采用电压比法, 具体可描述为采用标准交流(直流)高压分压器和数字多用表组成的标准测量系统测量高压侧实际值 U_1 , 采用另一台数字多用表测量被校高压分压器二次输出电压 U_2 , 计算被校分压器的分压比 $k=U_1/U_2$ 。

利用电压比法进行试验时, 依次将一次电压升至规定的各检测电压值节点, 并通过人工读取的方式来记录两台数字多用表显示的电压值, 各试验电压值点都检测记录完成后, 将电源电压降至0 V, 并切断试验电源, 对所记录的试验数据进行处理, 计算出被试高压分压器在各电压值节点的分压比及平均分压比, 出具试验报告。

1.3 校准中存在的问题

电压比法进行高压分压器的校准能够满足高压分压器检定规程的要求, 也是一种相对方便快捷的试验方法。但是在实际的校准试验工作中, 一些实际存在的问题也会造成试验误差的增大和试验效率的降低。主要表现在以下两点。

1) 试验数据由试验人员读取两台数字多用表示值得到, 与标准分压器连接的数字多用表可读取 T_1 时刻标准分压器二次电压 U_1' , 从而根据标准分压器的分压比 k_1 计算出被试分压器一次电压 U_1 。与被校分压器连接的数字多用表可读取 T_2 时刻被试高压分压器二次电压 U_2 , 由于试验人员很难在同一时刻读取到两台数字表的电压数据, 数字多用表的显示值又是随着高压侧电源电压波动而时刻变化的, T_2 时刻所读取的二次电压 U_2 所对应的实际一次电压 U 与 T_1 时刻所读取的一次电压 U_1 实际上存在着一个 ΔU 的误差, 这样就会造成被试分压器的分压比在计算时存在一个绝对值为 $|\Delta U/U_2|$ 的误差。

2) 试验完全通过试验人员进行升压、读取数据和处理数据, 在每个测量点上都需要停止升压, 待电压趋于稳定后进行数据的读取, 试验后还需要对每一组数据进行计算得到分压比, 这样一来就降低了试验的效率。

在校准试验过程中, 试验数据的准确性和试验效率是各个试验室都非常重视的关键点, 因此有必要通过试验系统的升级来解决类似问题。

2 自动校准系统

为了更加准确高效地完成交直流高压分压器的校准试验, 设计了交直流高压分压器自动校准系统。该系统包括两部分: 硬件子系统和软件子系统。

2.1 硬件子系统

根据功能划分, 硬件子系统可以分为三个部分: ①一次系统电源模块, 包括调压器、试验变压器及试验控制台等; ②试验数据测量采集模块, 包括标准高压分压器、数字多用表等; ③数据处理报告系统模块, 包括计算机、打印机等。硬件子系统组成如图2所示。

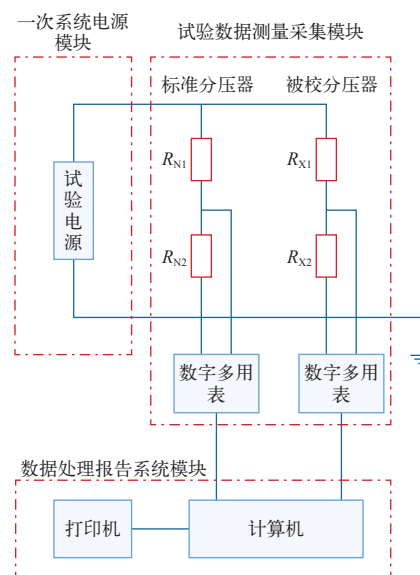


图2 硬件子系统组成

硬件子系统各部分组成及功能。

1) 一次系统电源模块。一次系统的试验电源由调压器、试验变压器及试验控制台等组成, 为

标准分压器及被试分压器提供一次电压,通过试验控制台进行升、降试验电压。

2) 试验数据测量采集模块。一次电压测量主要由标准分压器来完成,数据的采集由数字多用表来完成,两台数字多用表分别采集标准分压器和被试分压器的二次电压信号,通过RS 232串口与计算机连接。

3) 数据处理报告系统模块。本模块由工控机与打印机组成,通过计算机串口与数字多用表进行通信,记录采集到的数据并进行处理,自动计算各采集节点的分压比,并能够通过打印机出具试验原始记录及试验报告。

2.2 软件子系统

为了有效解决传统校准方法存在的问题,专门设计研发了一套自动校准软件系统,该软件系统实现了试验数据的自动读取、试验结果的自动计算等功能,极大地提高了校准试验的效率和试验结果的准确性。

由美国国家仪器(NI)公司研制开发的LabVIEW2012是目前一款主流的开发工具,带有功能强大的驱动程序库,因此采用其作为本自动校准软件的前端开发工具。本校准试验数据量相对较小,Microsoft公司所研发的小型数据库软件Access 2007,完全可以满足本校准系统的数据存储要求,同时可以有效地控制软件体积和开发成本,因此选择其作为后台数据存储工具,软件界面如图3所示。

本软件系统操作界面简洁直观,试验人员经



图3 自动校准系统软件界面

简单培训后即可准确操作,软件功能也十分丰富且具有针对性,可以很好地完成交直流高压分压器的校准试验。主要功能如下。

1) 软件带有仪表自检功能,校准前可点击软件界面上的“仪表自检”按钮,软件会通过RS 232串口与数字多用表进行通信,以确认所连接数字多用表的状态。

2) 软件有自动采集和手动采集两种模式。手动采集模式下,可在升压过程中任意时刻手动点击“点击采集”按钮采集试验数据;自动采集模式下,校准前输入被校分压器额定电压,系统会自动在0 V至额定电压 U_1 的升压过程中每隔 $U_1/10$ 采集一次数据,共采集10次。

3) 无论选择手动采集还是自动采集模式,在每个数据采集点,系统会在该点自动采集5组电压数据,并计算5组数据的平均值,以减少电源波动而引起的误差。

4) 校准前在软件界面输入标准分压器分压比,系统会自动根据每个节点与标准分压器连接的数字多用表采集到的二次电压与标准分压比相乘得到一次电压。并用该一次电压与被试分压器二次电压相除得到该节点被校分压器的分压比。试验结束后,系统还会计算各节点分压比的平均值。

5) 软件能够直观地显示出试验数据,试验人员可以对试验原始记录进行保存和打印。

通过软件系统功能的介绍可以看出,自动校准系统所实现的以上功能很好地解决了传统校准方法所存在的问题。

“自动采集”模式时,在调压器升压的过程中,数采软件会在预设采集点自动采集数据并计算该采集点的分压比,因此在升压过程中无须在每个采集点停顿下来记录数据,而是直接将试验电压从0 V匀速升至额定试验电压即可,从而极大地提高了试验效率。通过实际测试,试验时间可由原来的30~40 min降低至10~15 min。

另外本软件系统所采集的两台数字多用表的每组数据均是在同一时间点采集,不同于人工读取数据时先后不同时间点读取两台数字多用表的数据,从而可以避免由于电源电压波动而产生的误差。

3 自动校准系统实测

通过对自动校准系统软硬件的介绍可以看出，该系统在理论上完全能够解决传统校准方法所存在的问题，为了验证本自动校准系统的实用性，特对不同电压等级高压分压器进行了多次校准试验。现选择其中一次较为典型的试验结果进行分析，试验所用的被校交流高压分压器额定电压为100 kV，每间隔10 kV读取一次数据，试验现场如图4所示。



图4 校准试验现场

利用本文所设计的自动校准系统对该高压分压器进行试验，在连接好试验设备，设置好试验参数后，试验人员将试验电压稳定地升至额定电压，然后将电源电压降至0 V，并切断试验电源试验结束。自动校准系统在升压过程中会在预定电压值节点同步记录试验数据，并对每个节点的分压比进行计算，最后计算平均分压比，试验数据如下表所示。

表 自动校准系统试验数据

交流示值/V	一次电压实际值/kV	分压比	平均分压比k	方差
10.05	10.22	1 016.9	1 016.2	1.348
20.16	20.47	1 015.4		
30.25	30.71	1 014.9		
40.49	41.09	1 014.8		
50.57	51.34	1 015.2		
60.68	61.65	1 016.0		
70.49	71.70	1 017.1		
80.82	82.11	1 015.9		
91.05	92.62	1 017.2		
100.97	102.85	1 018.6		

从上表的试验结果中可以看出，自动校准系

统所测得的各节点分压比线性度明显优于传统校准方法。平均分压比与各节点的分压比都十分接近，对于平均分压比为1 016.2的被校分压器，其方差仅为1.348，也证明了该自动校准系统的稳定性，因此利用该系统所得到的平均分压比可以很好地体现被校分压器在各个电压节点上的分压比情况，整个校准试验的试验过程顺畅快捷，极大地提高了试验效率。

4 结束语

针对目前试验室对交直流高压分压器校准试验中所存在的问题，本文介绍了一种能够提高交直流高压分压器校准试验效率、减小校准试验误差的自动校准系统，详细地介绍了系统硬件组成结构，并开发了相应的自动校准软件，通过实际的试验验证了系统的有效性。系统在原有试验设备的基础上进行硬件的添加，投入成本较小，且可极大地提高试验效率、试验准确性，因此具有良好的应用前景。

参考文献

[1] JJG 496—1996 工频高压分压器 [S]. 北京：中国计量出版社，1996.

[2] JJG 1007—2005 直流高压分压器检定规程 [S]. 北京：中国计量出版社，2005.

[3] 任稳柱，袁渊，杨忠州，等. 电子式互感器稳态误差校验技术的研究 [J]. 高压电器，2011 (4)：64-68.

[4] 刘星. 直流高电压电阻分压器的设计与实现 [J]. 计测技术，2008 (1)：17-19.

[5] 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 (6)：76-79.

[6] 章述汉，周一飞，李登云，等. ±800 kV换流站直流电压互感器现场校准试验 [J]. 高电压技术，2011 (9)：2119-2125.

[7] 李前. 高压直流电压计量标准和现场量值传递方法的研究 [D]. 武汉：华中科技大学，2012.

(收稿日期：2015-09-09) EA