

一二次融合成套环网箱测试系统 校准方法的研究

燕 琦 任雪玲 袁 博 韩 兴
(甘肃电器科学研究院)

摘要：一二次融合成套环网箱测试系统，主要用于一二次融合成套环网箱及柱上开关设备的自动化检测，它直接影响一二次成套环网箱的检测质量，而一二次融合成套环网箱测试系统因其组成比较复杂，这对它的校准带来很大困难，所以它的量值溯源一直是一个难题。本文对一二次融合成套环网箱测试系统的校准方法进行研究，尤其是对一次端、二次端、谐波等的校准进行仔细分析，确定所使用的标准器，通过多次的校准数据，对其不确定度进行分析，保障了一二次融合成套环网箱测试系统校准的质量。

关键词：计量学；一二次融合成套环网箱测试系统；谐波；不确定度

1 一二次融合成套环网箱测试系统功能及其测试参数

在 10kV 的配电系统环网系统中，环网箱已经是很常见的终端变电设备^[1]，主要测试参数包括一次端主要电压、电流互感器的一次线电压、一次相电流、一次零序电压、一次零序电流的比值准确度和相位误差。

综合切换装置工作模式设置为一次检测，一次功率源输出经一次信号驱动器得到一次侧电压、电流输出，连接至开关输入，功率源控制器控制电压电流功放输出大功率信号，通过自升压、自升流标准互感器^[2]将输出到开关的信号提升至额定电压电流，同时连接至多通道标准表进行测量对比。

二次端主要检测二次线电压、二次相电流、二次零序电压、二次零序电流、有功功率、无功功率的准确度。

一二次融合成套环网箱测试系统的工作原理如图 1 所示，一二次校准时需要同时对一次端、二次端的参

数分别进行校准。

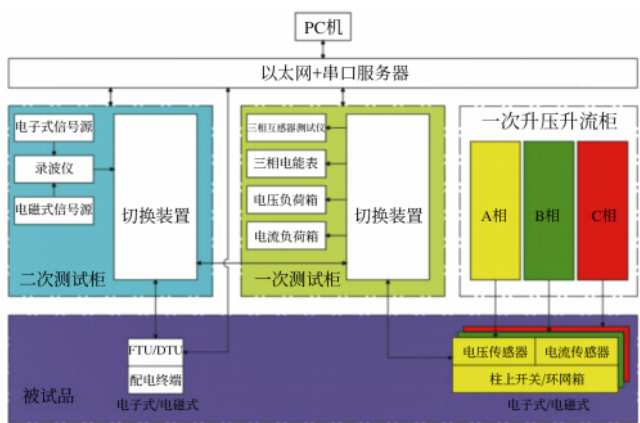


图 1 一二次融合成套环网箱测试系统工作原理图

2 一次端校准

一次端一般工频电压为 10kV，电流为 600A，校准电压基本误差采用如图 2 所示的直接比较法进行校准^[3]。标准器使用标准分压器或者电压互感器和数字

多用表组成的系统，一二次融合成套环网箱测试系统的一次端标准系统同时读数，按照客户需求在量程范围内均匀选择 5~8 个校准点，标准测量系统测出实际高压值 U_s ，被校准测量系统测出高压值 U_x ，利用式

(1) 计算出被校测量系统的基本误差，校准电流时将一二次融合成套环网箱测试系统一次端进行短接，工频电流传感器串联接入一次端回路中，按照客户需求在量程范围内均匀选择 5~8 个校准点，在示波器中采集对应的波形^[4]，通过测量计算得到实际电流值 I_s ，同时读取一二次融合成套环网箱测试系统一次端电流读数 I_x ，以此计算出被校一二次融合成套环网箱测试系统一次端电流和实际电流值之间的误差，一二次融合成套环网箱测试系统一次端电流基本误差表达式为式 (2)：

$$r_U = \frac{U_x - U_s}{U_s} \times 100\% \quad (1)$$

$$r_I = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (2)$$

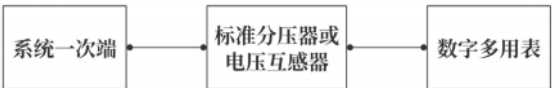


图2 直接比较法

校准的一台一二次融合成套环网箱测试系统的一次端数据如表 1 所示，ABC 三相可同时进行校准，在此表中只给出 A 相的数据。

表 1 一次端数据

一、电压校准			
相别	示值/V	标准值/V	误差 (%)
A	100.1	100.1	0.00
	200.3	200.4	-0.05
	示值/kV	标准值/kV	误差 (%)
	0.983	0.983	0.00
	2.998	3.000	-0.07
	5.002	5.005	-0.06
	5.999	6.002	-0.05
	8.017	8.023	-0.07
	10.02	10.02	0.00

二、电流校准			
相别	示值/A	标准值/A	误差 (%)
A	100.00	100.05	-0.05
	200.00	200.08	-0.04
	300.00	299.95	0.02
	400.00	399.88	0.03
	500.00	499.82	0.04
	600.00	598.12	0.31

3 二次端校准

二次端校准时交直流电压^[5]、交直流电流、功率校准方法和常规的源表的方法一样，不再进行阐述，对谐波电压和谐波电流做了重点校准，校准谐波电压时^[6]，在一二次融合成套环网箱测试系统二次端电压量程内选择 3~5 个点作为电压基波^[7]，基波电压的频率一般情况选择 50Hz，特殊用户可根据需要选择其他频率作为基波电压频率。谐波次数可以在 2~60 次之间选择，其中 3、5、7、11 次谐波必选，不同次数的谐波要分别进行试验。被校准一二次融合成套环网箱测试系统一般是三相，应对每一相分别进行校准，校准点可参考单相。按照图 3 连接功率分析仪和一二次融合成套环网箱测试系统二次采集端，设置被校二次端电压源输出基波电压值 U_{nx} ，同时设置被校二次端电压源输出 h 次谐波电压值 U_{hx} （或者 h 次谐波含有率值 HRU_h ），记录功率分析仪所读基波电压值 U_{ns} 及 h 次谐波电压值 U_{hs} （或谐波含有率值 HRU_{hs} ）。被二次端电压源单个谐波电压误差^[8]按照式 (3) 计算，或者也可按照谐波含有率误差计算，谐波电流的校准点选择可参考谐波电压，基波频率为 50Hz^[9]，按照图 3 连接功率分析仪和谐波功率源，设置被校二次端电压源输出基波电流值 I_{nx} ，同时设置被校二次端电压源输出 h 次谐波电流值 I_{hx} （或者 h 次谐波含有率值 HRI_h ），记录功率分析仪所读基波电流值 I_{ns} 及 h 次谐波电流值 I_{hs} （或谐波含有率值 HRI_{hs} ）。被校二次端电压源单个谐波电流误差按照式 (4) 计算，或者也

可按照谐波含有率误差计算：

$$r_{U_{hm}} = \frac{U_{hx} - U_{hs}}{U_{hs}} \times 100\%$$
 (3)

$$r_{I_{hm}} = \frac{I_{hx} - I_{hs}}{I_{hs}} \times 100\%$$
 (4)

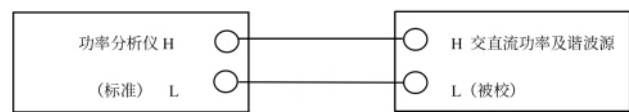


图 3 功率分析仪和谐波功率源连接图

校准的一台一二次融合成套环网箱测试系统的一次端的数据如表 2 所示，ABC 三相可同时进行校准，在此表中只给出 A 相的数据。

表 2 一次端数据

电压谐波					
相别	谐波次数	谐波含量	设定值 /V	测量谐波 电压值/V	标准谐波 电压值/V
A	3	20%	100	20.03	20.00
		50%		49.99	49.99
		100%		99.98	99.95
	5	20%	100	19.99	19.99
		50%		49.92	49.90
		100%		99.82	99.77
	7	20%	100	19.96	19.96
		50%		49.88	49.84
		100%		99.97	99.64
	9	20%	100	19.94	20.01
		50%		49.67	49.72
		100%		99.50	99.40
测量结果的不确定度： $U=7.0\times10^{-4}$ ($k=2$)					
电流谐波					
相别	谐波次数	谐波含量	设定值 /A	测量谐波 电流值/A	标准谐波 电流值/A
A	3	20%	5	1.004	1.007
		50%		2.503	2.501
		100%		5.000	5.007
	5	20%	5	1.003	1.003
		50%		2.498	2.501
		100%		5.002	5.003
	7	20%	5	1.001	1.002
		50%		2.499	2.501
		100%		4.983	5.001
	9	20%	5	1.005	1.004
		50%		2.488	2.491
		100%		4.977	4.983

4 结束语

本次研究的方法对一二次融合成套环网箱测试系统的组成原理和校准方法做了相应的介绍，可以对其一次端和二次端都进行准确的测量校准，解决一二次融合成套环网箱测试系统溯源难的问题，为系统的校准提供保障。

参考文献

[1] 张亮. 中国电器工业节能低碳技术联盟：中国电器工业节能低碳示范产品培育工作 [J]. 电器工业，2014（5）：34.

[2] 刘朝辉，倪健，戴胜，等. 一种数字式一二次融合环网箱成套系统：CN113013993A[P]. 2021-06-22.

[3] JJF（机械）1044—2020 工频高电压测量系统校准规范 [S]. 北京：中国标准出版社，2020.

[4] JJF（机械）1028—2019 工频暂态电流测量系统校准规范 [S]. 北京：中国标准出版社，2020.

[5] JJF1687—2017 多功能标准源校准规范 [S]. 北京：中国标准出版社，2017.

[6] 杜瀚霖. 电能质量测试分析仪校准方法研究 [J]. 中国计量，2023（7）：96-98.

[7] 宋汶泰，祁霄鹏，杨维满，等. 电网电压不平衡条件下并网逆变器的改进控制 [J]. 燕山大学学报，2020，44（5）：471-476，486.

[8] 张静，赵庆生，王旭平，等. 基于扩展 DFT 的谐波检测算法的研究 [J]. 现代电子技术，2017，40（21）：175-179.

[9] 刘清蝉，李腾斌，钟尧，等. 低压电流互感器校准回路电流谐波提取与叠加研究 [J]. 传感器与微系统，2024，43（6）：20-23.

（收稿日期：2024-09-10）