

JJF(沪)

上海市地方计量校准规范

JJF(沪) 62-2021

直流电流比较仪校准规范

Calibration Specification for DC Current Comparator

2021-1-4 发布

2021-6-1 实施

上海市市场监督管理局

发布

直流电流比较仪 校准规范

Calibration Specification for
DC Current Comparator

JJF (沪) 62-2021

归口单位：上海市市场监督管理局
主要起草单位：上海市计量测试技术研究院
参加起草单位：国网上海市电力公司电力科学研究院
上海兰斯汀仪表研究所

/

本规范委托上海市计量测试技术研究院负责解释

本规范主要起草人：

周力任（上海市计量测试技术研究院）

潘 洋（上海市计量测试技术研究院）

朱 力（上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

冯 建（上海市计量测试技术研究院）

韩志强（上海市计量测试技术研究院）

陈文中（国网上海市电力公司电力科学研究院）

朱庆发（上海兰斯汀仪表研究所）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 直流电流比较仪.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 直流电流比例及误差.....	2
5.2 准确度等级.....	2
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	6
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 直流电流比较仪测量不确定度评定示例.....	8
附录 B 校准原始记录格式.....	10
附录 C 校准证书内页格式.....	11

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，相关术语及测量不确定度评定遵循 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》两个文件。

本规范为首次制定。

直流电流比较仪校准规范

1 范围

本规范适用于直流电流比较仪的校准，也适用于具有直流电流比例模拟量变换功能的计量器具的校准。

本规范不适用于具有直流电流比例数字量变换功能的计量器具的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1087-2002 直流大电流测量过程控制

GB/T 26216.2-2010 高压直流输电系统直流电流测量装置 第2部分：电磁式直流电流测量装置

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

本规范引用文件中界定的术语和定义适用于本规范。

3.1 直流电流比较仪 DC current comparator

基于磁势自平衡原理将一次电流按额定比值变换成二次电流的仪器。

4 概述

直流电流比较仪由磁调制器和解调电路构成，如图1所示，广泛用于直流电流比例或直流电流的测量。

其工作原理是通过调制解调技术将一次电流转换成二次电流，形成一个闭环控制的反馈随动系统，让直流电流比较仪工作在“零磁通”状态。当二次电流产生的磁势抵消一次电流产生的磁势时，一次电流与二次电流的比例反比于其绕组的匝数比，从而实现高准确度的直流电流比例变换。

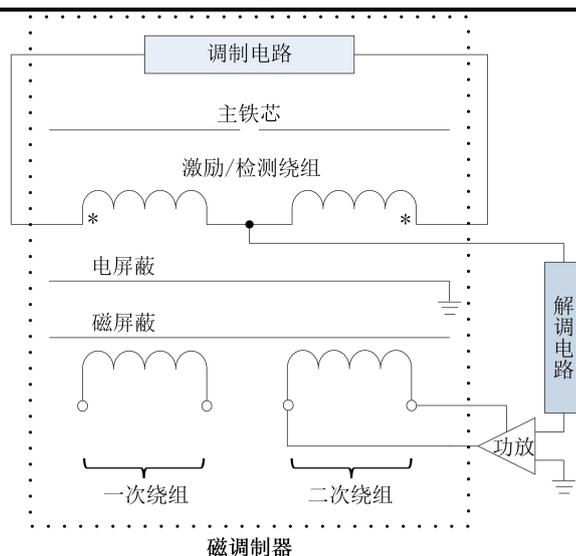


图 1 直流电流比较仪结构原理图

5 计量特性

5.1 直流电流比例及误差

直流电流比较仪每一测量点的实际电流比例用公式(1)计算:

$$k_a = \frac{k_s \times I_2}{I_2 + \Delta I} \quad (1)$$

式中:

k_a —被校直流电流比较仪的实际电流比例;

k_s —直流电流比例标准的电流比例值;

I_2 —直流电流比例标准的二次电流值, 单位 A;

ΔI —被校直流电流比较仪二次电流相对于直流电流比例标准二次电流的差值, 单位 A。

直流电流比较仪每一测量点的比例误差用公式(2)计算:

$$f = \frac{k_r - k_a}{k_a} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

f —直流电流比例误差;

k_r —被校直流电流比较仪的额定电流比例。

5.2 准确度等级

直流电流比较仪各准确度等级所对应的最大允许误差见表 1。

表 1 准确度等级与最大允许误差对照表

准确度等级	最大允许误差
0.00001 级	$\pm 0.00001\%$
0.00002 级	$\pm 0.00002\%$
0.00005 级	$\pm 0.00005\%$
0.0001 级	$\pm 0.0001\%$
0.0002 级	$\pm 0.0002\%$
0.0005 级	$\pm 0.0005\%$
.....

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ；

6.1.2 相对湿度：不大于 80 %；

6.1.3 供电电源：电压 $(220\pm 11)\text{V}$ 、频率 $(50\pm 0.5)\text{Hz}$ ；

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流电流比例标准

直流电流比例标准与被校直流电流比较仪额定电流比例相同，其实际比例最大允许误差绝对值不大于被校直流电流比较仪最大允许误差绝对值的 1/5。

6.2.2 差值电流测量仪

由差值电流测量仪引入的测量误差，应不大于被校直流电流比较仪最大允许误差的 1/10。

6.2.3 直流电流源

直流电流源的示值误差应小于 $\pm 1\%$ ，纹波系数应小于 1%，5 分钟内稳定度应优于 $\pm 1 \times 10^{-4}$ ，其电流调节装置应能保证输出电流由接近零值平稳地上升至被校直流电流比较仪额定电流的 100%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目

序号	校准项目	校准方法条款
1	直流电流比例误差	7.2

7.2 校准方法

校准线路的接线应符合以下规定：直流电流比例标准一次绕组的极性端和被校直流电流比较仪一次绕组的极性端对接，直流电流比例标准二次绕组的极性端和被校直流电流比较仪二次绕组的极性端对接；被校直流电流比较仪二次电流流出端与差值电流测量仪“+”端相连，直流电流比例标准二次电流流出端与差值电流测量仪“-”端相连，从而测得被校直流电流比较仪二次电流相对于直流电流比例标准二次电流的差值电流。

7.2.1 自校法

当直流电流比较仪额定一次电流和额定二次电流相等时，可采用自校法，即以一次电流为标准校准二次电流。自校线路如图 2 所示。图中， L_1 、 L_2 为直流电流比较仪一次绕组的对应端子，其中 L_1 为极性端； K_1 、 K_2 为直流电流比较仪二次绕组的对应端子，其中 K_1 为极性端。

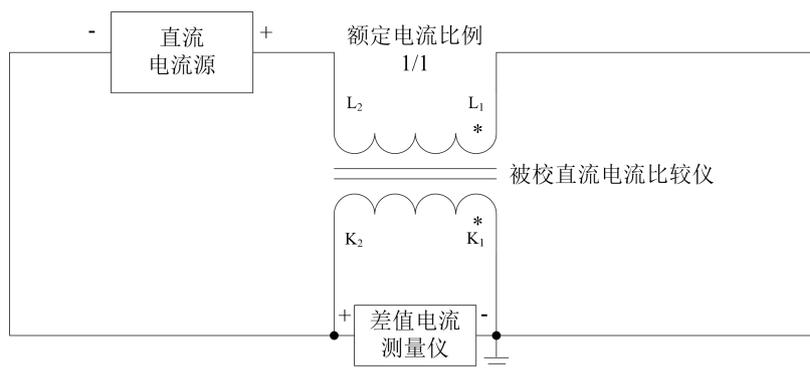


图 2 直流电流比较仪自校线路

7.2.2 对校法

当直流电流比例标准的额定电流比例与被校直流电流比较仪的额定电流比例相同时，可采用对校法。对校线路如图 3 所示。

7.2.3 级联对校法

当直流电流比例标准的额定电流比例（假设为 $n/1$ ）与被校直流电流比较仪的额定电流比例（假设为 $m/1$ ）不同时，可采用级联一台额定电流比例为 m/n 的直流电流比例标准进行校准。级联对校线路如图 4 所示。

采用级联线路校准时，应满足以下条件：

- a) 直流电流比例标准的一次电流不小于被校直流电流比较仪的一次电流；

b) 下一级直流电流比例标准作为上一级直流电流比例标准的负荷, 应满足其额定负荷的要求;

c) 级联后直流电流比例标准的实际比例误差绝对值不大于被校直流电流比较仪比例误差限值绝对值的 1/5。

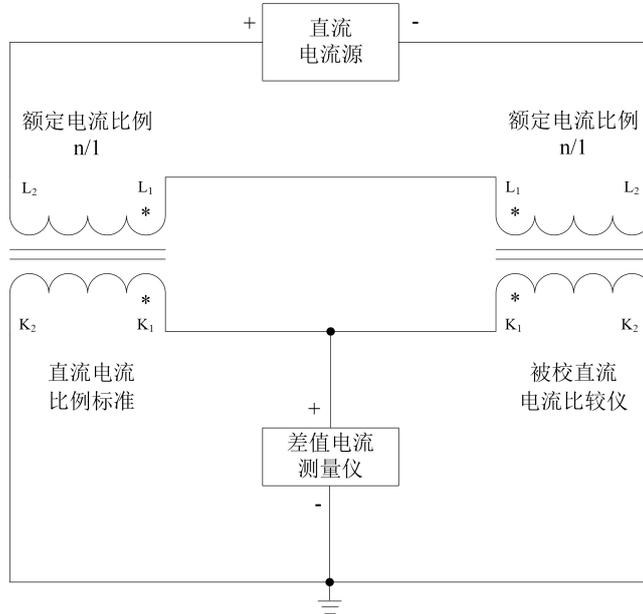


图 3 直流电流比较仪对校线路

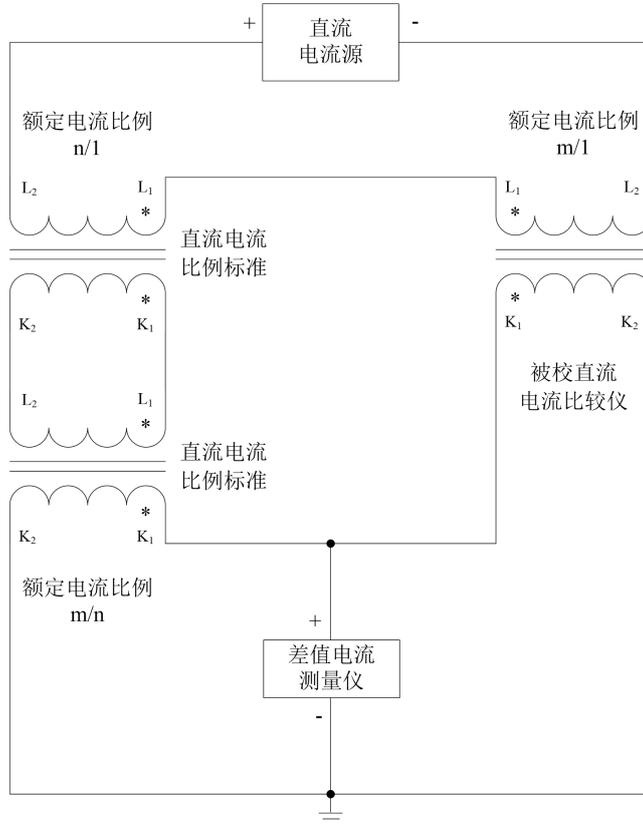


图 4 直流电流比较仪级联对校线路

7.2.4 校准程序

平稳升电流至被校直流电流比较仪额定一次电流的 10%、20%、40%、60%、80%、100%，稳定后记录直流电流比例标准二次电流和差值电流的各点读数；平稳降电流至被校直流电流比较仪额定一次电流的 80%、60%、40%、20%、10%，稳定后记录直流电流比例标准二次电流和差值电流的各点读数，取上升和下降的算术平均数作为最终测量结果。一般情况下，在直流电流正方向开展校准，也可根据实际需求，增加反方向的校准。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明；
- q) 校准证书发布的日期。

测量不确定度评定示例见附录 A，校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

直流电流比较仪测量不确定度评定示例

A.1 直流电流比例测量不确定度评定

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对直流电流比例进行测量不确定度评定。

A.2 测量模型

$$k_a = \frac{k_s \times I_2}{I_2 + \Delta I} \quad (\text{A.1})$$

式中：

k_a —被校直流电流比较仪的实际电流比例；

k_s —直流电流比例标准的电流比例值；

I_2 —直流电流比例标准的二次电流值，单位 A；

ΔI —被校直流电流比较仪二次电流相对于直流电流比例标准二次电流的差值，单位 A；

A.3 测量不确定度的来源分析与评定

A.3.1 测量不确定度主要来源

以直流电流比例 1000A/1A 的额定电流点为例进行评定，不确定度来源主要有以下几项：

- (1) 由测量重复性引入的不确定度 u_A ，采用 A 类方法评定；
- (2) 由直流电流比例标准引入的不确定度分量 u_{B1} ，采用 B 类方法评定；
- (3) 由差值电流测量引入的不确定度分量 u_{B2} ，采用 B 类方法评定；
- (4) 由二次电流测量引入的不确定度分量 u_{B3} ，采用 B 类方法评定。

A.3.2 测量重复性引入的不确定度评定

测量结果及不确定度评定见表 A.1。

表 A.1 测量结果及不确定度评定

测量次数	$\Delta I/I_2$ ($\mu\text{A}/\text{A}$)	实际比例	测量次数	$\Delta I/I_2$ ($\mu\text{A}/\text{A}$)	实际比例
1	1.2	999.9988	6	1.7	999.9983
2	1.0	999.9990	7	1.2	999.9988
3	1.0	999.9990	8	1.2	999.9988
4	1.8	999.9982	9	1.6	999.9984
5	1.2	999.9988	10	1.9	999.9981
10 次测量平均值			999.99862		
相对标准不确定度			1.1×10^{-7}		

A.3.3 由直流电流比例标准引入的不确定度分量 u_{B1}

直流电流比例标准的准确度等级为 1×10^{-6} 级，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此 $u_{B1} = 5.8 \times 10^{-7}$ 。

A.3.4 由差值电流测量引入的不确定度分量 u_{B2}

差值电流测量仪的技术指标为： $\pm(10^{-5} \times \text{读数} + 7 \times 10^{-6} \times \text{量程})$ ，差值电流小于 $2\mu\text{A}$ ，量程为 $10\mu\text{A}$ 档，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此 $u_{B2}=5.2 \times 10^{-11}\text{A}$ 。

A.3.5 由二次电流测量引入的不确定度分量 u_{B3}

二次电流测量的技术指标为： $\pm(10^{-4} \times \text{读数} + 10^{-5} \times \text{量程})$ ，二次电流为 1A ，量程为 1A 档，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此 $u_{B3}=6.4 \times 10^{-5}\text{A}$ 。

A.4 标准不确定度的合成

灵敏系数如下：

$$c_1 = \frac{\partial k_a}{\partial k_s} = \frac{I_2}{I_2 + \Delta I} \approx 1$$

$$c_2 = \frac{\partial k_a}{\partial \Delta I} = -\frac{k_s \times I_2}{(I_2 + \Delta I)^2} = -999.998 / \text{A}$$

$$c_3 = \frac{\partial k_a}{\partial I_2} = \frac{k_s \times \Delta I}{(I_2 + \Delta I)^2} = 0.001999992 / \text{A}$$

根据以上分析，可列出标准不确定度分量表，如表 A.2 所示，各分量间相互独立。

表 A.2 不确定度分量及合成表

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数	相对标准不确定度
直流电流比例标准	5.8×10^{-7}	1	5.8×10^{-7}
差值电流测量	$5.2 \times 10^{-11}\text{A}$	-999.998/A	5.2×10^{-8}
二次电流测量	$6.4 \times 10^{-5}\text{A}$	0.001999992/A	1.3×10^{-7}
测量重复性			1.1×10^{-7}
合成相对标准不确定度 u_c			6.1×10^{-7}

A.5 相对扩展不确定度计算

取包含概率为 95%，包含因子 $k=2$ ，则直流电流比例测量结果的相对扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}} = k \times u_c = 2 \times 6.1 \times 10^{-7} = 1.3 \times 10^{-6} \quad (k=2)$$

附录 B

校准原始记录格式

被校仪器基本信息							
委托单位				地址			
仪器名称				型号/规格			
生产厂家				出厂编号			
测量范围				准确度等级			
校准时使用的标准器							
名称				型号/规格			
溯源证书				有效期至			
不确定度或准确度等级 或最大允许误差				测量范围			
校准依据				校准地点			
环境温度				相对湿度			
校准结果							
额定电流 比例	测量结果	额定电流百分值					
		10	20	40	60	80	100
	上升值 (二次电流)						
	下降值 (二次电流)						
	平均值 (二次电流)						
	上升值 (差值电流)						
	下降值 (差值电流)						
	平均值 (差值电流)						
	实际电流 比例						
	不确定度 ($k=2$)						

校准员：

核验员：

校准日期：

附录 C

校准证书内页格式

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明:				
校准环境条件及地点:				
温 度		地 点		
相对湿度		其 他		
校准所依据的技术文件 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	检定/校准 证书编号	证书有效期至

注:

1. XXXXX仅对加盖“XXXXX校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

第 X 页 共 X 页

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

额定电流比例	额定电流百分值	实际电流比例	不确定度($k=2$)
	10		
	20		
	40		
	60		
	80		
	100		
	10		
	20		
	40		
	60		
	80		
	100		

校准不确定度的评定和表述均符合JJF 1059.1的要求。

敬告:

1. 被校准仪器修理后, 应立即进行校准。
2. 在使用过程中, 如对被校准仪器的技术指标产生怀疑, 请重新校准。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页