

中华人民共和国工业和信息化部 发布

**20XX—XX—XX实施**

**2022—XX—XX发布**

**中低压电器试验系统校准规范**

（报批稿）

**Calibration Specifications for Medium and Low Voltage**

**Electrical Apparatus Test System**

JJF（机械）1088—2022

**中华人民共和国工业和信息化部**

**机械计量技术规范**

**中低压电器试验装置校准规范**

Calibration specification for

Medium and Low Voltage Electrical

Apparatus Test System

**JJF (机械)1088—2022**

****

归 口 单 位：中国机械工业联合会

负责起草单位：上海电器科学研究所（集团）有限公司

机械工业第十五计量测试中心站

上海电科智能装备科技有限公司

本规范委托全国机械汽车专业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

丁礼人（上海电器科学研究所（集团）有限公司）

参加起草人：

沈 骞（机械工业第十五计量测试中心站）

江德原（机械工业第十五计量测试中心站）

潘小慧（机械工业第十五计量测试中心站）

陈 勤（上海电器科学研究所（集团）有限公司）

安 平（上海电科智能装备科技有限公司）

**目 录**

[引 言 II](#_Toc12401)

[1 范围 1](#_Toc26494)

[2 引用文件 1](#_Toc15805)

[3 术语和计量单位 2](#_Toc13435)

[4 概述 4](#_Toc24769)

[5 计量特性 4](#_Toc29597)

[5.1 外观及性能要求 4](#_Toc22637)

[5.2主要计量特性 5](#_Toc25727)

[6 校准条件 6](#_Toc6326)

[6.1 环境条件 6](#_Toc6908)

[6.2测量标准及其他设备 6](#_Toc32474)

[7 校准项目和校准方法 8](#_Toc31972)

[7.1 校准项目 8](#_Toc2248)

[7.2 校准方法 8](#_Toc2624)

[7.2.1外观检查 8](#_Toc12508)

[7.2.2试验电流示值误差校准 8](#_Toc11436)

[7.2.3 试验电压示值误差校准 12](#_Toc22597)

[7.2.4 试验时间示值误差校准 12](#_Toc28307)

[7.2.5 功率因数示值误差校准 14](#_Toc15822)

[7.2.6 纹波与噪声 17](#_Toc16728)

[7.2.7 短期稳定性 17](#_Toc11250)

[7.2.8 失真度 19](#_Toc29102)

[7.2.9 电压线性度试验 20](#_Toc8270)

[8 校准结果表达 20](#_Toc9124)

[9 复校时间间隔 20](#_Toc32757)

[附 录 A 22](#_Toc15415)

[附 录 B 24](#_Toc18238)

[附 录 C 27](#_Toc3185)

[附 录 D 59](#_Toc22770)

引 言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》等编制。

本规范为首次发布。

中低压电器试验装置校准规范

1 范围

本规范仅适用于中低压电器试验系统试验性能的校准。其可以是单通道或多通道的系统，也可以是同时具备瞬态及稳态试验能力的系统。无论其安装的显示仪器（表）是数字显示亦或者是模拟显示，本校准规范皆适用。

2 引用文件

JJF 1001 《通用计量术语及定义》

JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》

JJF 1597-2016《直流稳定电源校准规范》

JJF（军工）85-2015《交流稳压电源稳态特性校准规范》

JJF（军工）70-2015《交流标准电流源校准规范》

GB 14048.1-2012《低压开关设备和控制设备 第1部分：总则》

GB/T 14048.2-2020《低压开关设备和控制设备 第2部分：断路器》

GB/T 10963.1-2020《电气附件 家用及类似场所用过电流保护断路器 第1部分：用于交流的断路器》

GB/T 10963.2-2020《电气附件 家用及类似场所用过电流保护断路器 第2部分：用于交流和直流的断路器》

GB/T 10963.3-2016《电气附件 家用及类似场所用过电流保护断路器 第3部分：用于直流的断路器》

IECEE OD-5014:2019《Instrument Accuracy Limits》

GB 1984-2014《高压交流断路器》

GB 1985-2014《高压交流隔离开关和接地开关》

GB 3804-2017《3.6kV~40.5kV高压交流负荷开关》

GB 3906-2020《3.6kV~40.5kV交流金属封闭开关设备和控制设备》

GB/T 11022-2020《高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求》

GB/T 16927.1-2011《高电压试验技术 第1部分：一般定义及试验要求》

GB/T 16927.2-2013《高电压试验技术 第2部分：测量系统》

GB/T 27025-2019《检测和校准实验室能力的通用要求》

CNAS-CL01-G003《测量不确定度的要求》

凡是注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

3 术语和计量单位

3.1 延时动作

被试电器或电器部件能在试验电路参数达到动作值或接到动作指令、信号起经过一定的时间间隔才执行工作的行为。

3.2 瞬时动作

被试电器或电器部件在试验电路参数达到动作值或接到动作指令、信号后，立即执行工作的行为。没有任何故意延时的动作。

3.3 试验电流

3.3.1 动作电流

当电流大于或等于此值时，被试电器或电器部件能动作的电流值，此电流值可以按动作时间的长短分为延时动作电流及瞬时动作电流。

3.3.2 电流整定值

与电器或电器部件的动作特性有关，且用来确定电器动作的主电流电流值。

3.3.3 额定瞬时短路电流整定值

使电器或电器部件在无任何人为延时的情况下，进行瞬时动作的电流额定值。

3.3.4 预期电流

当电器或电器部分被一个阻抗可以忽略不计的导体替代时，电路中可能流过的电流。

3.3.5 预期峰值电流

当电器或电器部分被一个阻抗可以忽略不计的导体替代时，在电路接通后瞬态期间的预期电流峰值。

3.3.6 谐波电流

谐波电流就是将非正弦周期电流函数按傅里叶级数展开时，其频率为原周期电流频率整数倍的各正弦分量的统称。频率等于原周期电流频率*n*倍的谐波电流称为*n*次谐波电流。

3.4 试验电压

3.4.1 外施电压

在接通电流前，加在电器或电器部分电极两端间的电压，对于多级电器或电器部件即指其端子间的相对相电压。

3.5 试验时间

3.5.1 通电时间

电器或电器部件（亦可被一个阻抗忽略不计的导体替代）在被试过程中，通过动作电流（或预期电流）的时间，此动作时间可以按时间的长短分为瞬时时间及延时时间。

3.5.2 时间常数

通常认为在一阶惯性系统施加直流阶跃输入后达到63.2%稳态值的时间为时间常数，在本规范中适用的对象即为预期直流电流上升到0.63倍最大峰值电流时的时间。

3.6 焦耳积分（I2t）

电流在给定时间内的积分 I2t=。

3.7 功率因数

功率因数是指交流电路有功功率对视在功率的比值，电器或者电器部件在一定电压和视在功率下，该值越高能耗损失越少。

3.8 峰值系数

波形的峰值与其均方根之比，例如正弦波型的峰值系数为。

3.9 纹波与噪声

在全部影响量和控制量均保持恒定时，在规定的带宽范围内，一个直流输出量对其平均值的周期与随机偏差。纹波与噪声又称周期与随机偏差。

3.10 稳定性

在其他条件保持不变的情况下，规定时间间隔内输出量的最大变化。

3.11 波形失真

波形失真又称非线性失真、非线性畸变，一般指2至39次谐波的总含量与基波含量的比值，失真度通常用百分数或分贝数表示。

3.12 线性度

试验系统的实测值与理想值之间的偏差比，主要用作表述试验系统能否能与理想系统保持一致的度量。

4 概述

中低压电器行业中，各种开关和控制设备的特性试验系统，以往大多采用分部式的校验方法进行校验，即对电流互感器、计时器、峰值电流表、电压表以及采样设备等进行分别校验。本校准规范主要适用于中低压电器试验系统的整体校准。本校准规范所提出的校准方法和技术指标，符合各中低压电器标准的要求。

中低压电器试验系统是用作测量中低压电器保护特性的装置，在给开关电器施加一定的动作电流时（一般是额定电流的若干倍），电器经过一段延时之后，会自动切断电流回路，称之为延时动作特性。如果施加的动作电流远远高于额定电流值，则开关电器会立即切断电流回路，这称之为瞬时特性。试验系统就是在主回路可以施加动作电流，同时可以对电流和动作时间进行测量的试验装置。它的主要计量特性就是由电流采集及显示模块组成的电流检测电路和由计时器组成的动作时间测量回路。

对中低压电器试验系统进行整体校准就是对其主回路电流测量的准确度和通电时间测量的准确度进行校准。

在延时特性测量时，由于通电时间较长，一般都在1min以上。因此，可以用一般电流检测仪表进行校准，延时动作时间也较长，使用常规的时间测量仪表就可以进行校准。

在瞬动动作特性测量时，一般动作仅持续0.1s或更高短的时间就切断试验回路，这是由于试验回路及被试样品的功率容量有限，在数kA的状态下只能短时间通电，否则试验系统或被试样品就会烧毁。由此，就必须采取瞬时电流记录的方式进行校准。

对中低压电器试验系统进行整体校准时，除校准电流测量准确度与时间测量准确度外，有时还需校准电压测量准确度与功率因数测量准确度及试验系统原本的功能特性。

本校准规范主要适用于各类中低压电器试验系统性能的整体校准。

5 计量特性

5.1 外观及性能要求

5.1.1 试验系统应有明确的标记。包括名称、型号、规格、出厂编号、制造单位等。

5.1.2 试验系统外表应完好无损，不允许有影响安全使用的缺陷。

5.2主要计量特性

5.2.1 试验电流

试验电流设定范围：1mA~240kA（DC~20kHz）；

试验电流示值最大允许误差：±1.5%（1mA~5A）（DC~60Hz）；

±2.5%（1mA~5A）（＞60Hz~5kHz）；

±3.5%（1mA~5A）（＞5kHz~20kHz）；

±2.5%（＞5A~240kA）/（DC~5kHz）；

±3.5%（＞5A~240kA）/（＞5kHz~20kHz）；

注：具备波形合成功能的试验系统，试验电流由二个幅值相等但极性相反的半波构成，

每个电流半波的导通时间≤21%周期，峰值系数≥2.1；

试验电流的谐波成分至少为基波分量的如下比例：

三次谐波＞60%、五次谐波＞14%、七次谐波＞7%、二十一次谐波＞1%。

5.2.2 试验电压

试验电压设定范围：0.01V～40.5kV（DC~20kHz）；

试验电压示值最大允许误差：±1.5%（0.01~1000）V（DC~1kHz）；

±2%（0.01~1000）V（＞1kHz~5kHz）；

±3%（0.01~1000）V（＞5kHz~20kHz）；

±3%（＞1000）V（DC~20kHz）。

5.2.3 试验时间

5.2.3.1 试验电流通电时间设定范围：10ms~28d；

试验电流通电时间示值最大允许误差：±5%（10ms~200ms）；±10ms（＞200ms~1s）；±1%（＞1s~28d）；

5.2.3.2 试验电流时间常数范围：1ms~20ms；

试验电流时间常数示值最大允许误差：±5%（1ms~10ms）；±3%（＞10ms~20ms）。

5.2.4 功率因数

功率因数设定范围：0.001~1（50Hz/60Hz）；

功率因数示值最大允许误差：±0.05（50Hz/60Hz）。

5.2.5 纹波与噪声

设置或调节试验系统至额定工作状态，当试验系统电源稳定工作后，纹波系数应不大于其最大允许误差的1/3。

5.2.6 稳定性

短期稳定性：当试验系统电源稳定工作时，在其规定的时间间隔条件下或30分钟内其误差的变化，应不大于其最大允许误差的1/3。

长期稳定性：试验系统误差的年变化量应不大于其最大允许误差的1/3。

5.2.7 波形失真

设置或调节试验系统（具备波形合成功能的试验系统，需关闭谐波电流输出功能）至额定工作状态，当试验系统电源稳定工作后，其失真度应不大于5%。

5.2.8 线性度

应在试验系统规定的测量范围内进行校准，计算被校试验系统测量范围内最大和最小值之间误差的变化，应不超过试验系统规定的最大允许误差。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1环境温度：（20±10）℃；湿度：≤80%RH。

6.1.2供电电源：电压220V±10%，频率（50±0.5）Hz。

6.1.3试验系统周围无明显的电磁干扰及机械振动，并具备良好的接地。

6.1.4试验系统周围无腐蚀性及易燃、易爆气体。

6.2测量标准及其他设备

6.2.1 数字多用表

测量范围：电压：0.01V～1000V/（DC~20kHz）；电流：1mA~20A（DC~20kHz）

最大允许误差应优于±0.5%，当使用真有效值测量功能时带宽不低于20MHz。

6.2.2 电流互感器/传感器：

测量范围：电流：1mA~240kA（DC~20kHz）

最大允许误差应优于±0.2级。

注：当电流传感器为罗氏线圈时，后端积分器的误差包含在最大允许误差内。

6.2.3 分流器：

测量范围：电流：1mA~240kA（DC~20kHz）

最大允许误差应优于±0.2%读数，响应时间需足够短，判断方法见附录A。

6.2.4 电压互感器/传感器：

测量范围：电压：1kV～12kV（DC~20kHz）

最大允许误差应优于±0.5级。

6.2.5 数字毫秒计

测量范围：时间：1ms~28d

最大允许误差优于±0.5％读数。

6.2.6 瞬态数据记录仪

测量范围：电压：0.01V～100V/（DC~20kHz）；时间：1ms~1s

瞬态数据记录仪用作动态信号的记录，直流电压测量误差优于±0.1%FS，交流电压测量误差测量误差优于±0.1%FS（0～300）kHz，采样速率应优于3MS/s。

6.2.7 隔离放大器

测量范围：电压：（0.01～2500）V/（DC~20kHz）

隔离放大器的作用是将试验电压转换成相对比较低的电压信号，且使前后级隔离，以便使用数字多用表等设备进行测量，最大允许误差应优于±0.5%FS。

6.2.8 数字示波器

测量范围：垂直偏转系数：500μV/div~10V/div；扫描时间系数：0.5ns/div~500s/div

垂直增益最大允许误差优于±5%，带宽不低于20MHz。

6.2.9 宽频电压差分探头

测量范围：电压：（0.01~6000）V：

最大允许误差优于±5%，带宽不低于20MHz。

6.2.10 数字功率计

测量范围：电压：0.01V～1000V（DC~20kHz）；电流：1mA~50A（DC~20kHz）；

功率因数：0.001~1（50Hz/60Hz）

最大允许误差应优于±0.3%。

6.2.11 交直流数字高压表

测量范围：电压：100V～50kV（DC~65Hz）

最大允许误差应优于±1.0%。

6.2.12 失真度测量仪（表）

测量范围：电压：（0.01～400）V/（DC~20kHz）

最大允许误差应优于试验系统最大允许误差的1/3。

注：由于测量设备能力的提升与进步，可以根据实际情况选择更适用的设备替换上述设备做为标准设备。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

中低压电器试验系统的校准项目见表1。

表1 中低压电器试验系统的校准项目一览表

| 序号 | 校准项目 | 计量特性的条款 | 校准方法的条款 |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 外观及性能检查 | 5.1 | 7.2.1 |
| 2 | 试验电流 | 5.2.1 | 7.2.2 |
| 3 | 试验电压 | 5.2.2 | 7.2.3 |
| 4 | 试验时间 | 5.2.3 | 7.2.4 |
| 5 | 功率因数 | 5.2.4 | 7.2.5 |
| 6 | 纹波与噪声 | 5.2.5 | 7.2.6 |
| 7 | 短期稳定性 | 5.2.6 | 7.2.7 |
| 8 | 波形失真 | 5.2.7 | 7.2.8 |
| 9 | 电压线性度 | 5.2.8 | 7.2.9 |

7.2 校准方法

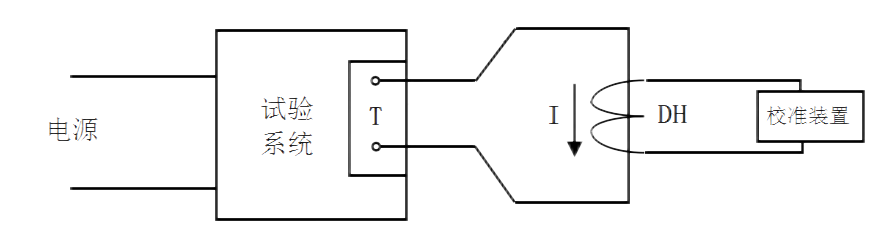
7.2.1外观检查

使用观察法对试验系统进行外观检查，检查结果应符合条款5.1的要求。

7.2.2试验电流示值误差校准

7.2.2.1 延时动作电流示值误差校准

7.2.2.1.1 延时动作电流示值误差校准，按图1接线。



T—电流输出端；I试验电流方向；DH—电流互感器/传感器或分流器

图1 延时试验电流示值误差校准接线图

7.2.2.1.2 将被检试验系统接通电源，进入正常操作流程，待试验电流稳定后，分别读取试验系统输出电流显示值和校准装置的电流或电压值，根据电流互感器/传感器变比或分流器的电阻值折算成电流实际值。在每个电流量程内，按电流大小均匀分布取3～5个测试点。

7.2.2.1.3 分别记录试验系统在各档量程内测试点的电流显示值读数与实际值的读数。按下式（1）计算该档各测试点的电流示值误差*S*n，其结果应当符合条款5.2.1的要求。

 （1）

式中：*Sn*—电流示值误差；

*In*—校准装置测量值经折算后的电流实际值；

*I*示—试验系统输出电流的显示值。

7.2.2.1.4 对多工位的延时动作特性试验系统（试验系统）根据实际情况对每工位的电流参数进行校准，并计算出相应的误差。

7.2.2.2 瞬时动作电流（低压试验系统）示值误差校准

7.2.2.2.1 瞬时动作电流（低压试验系统）示值误差校准，按图1接线，由于瞬时动作试验的特殊性，因试验电流峰值系数无法确定等原因，故通常将瞬时动作峰值电流作为校准对象，见图2。

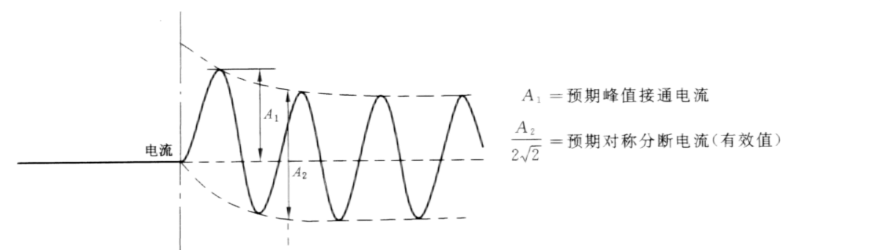


图2 瞬时动作电流（低压试验系统）电流示意图

7.2.2.2.2 将被检试验系统接通电源，进入正常操作流程，分别读取试验系统输出峰值电流显示值和校准装置峰值电流或峰值电压值，然后根据电流互感器/传感器变比或分流器的电阻值折算成峰值电流值。在每个峰值电流量程内，按峰值电流大小均匀分布，分别取3～5个测试点。

7.2.2.2.3 分别记录试验系统在各档量程内测试点的峰值电流显示值与校准装置的峰值电流折算值，按下式（2）计算该档各测试点的电流示值误差*S*n，应符合条款5.2.1的要求。

 （2）

式中：*Sn*—峰值电流示值误差；

*In*—校准装置测量值经折算后的峰值电流值；

*I*示—峰值电流指示值。

7.2.2.3 瞬时动作电流（中压试验系统）示值误差校准

7.2.2.3.1 瞬时动作电流（中压试验系统）示值误差校准，按图1接线，与低压试验系统类似的原因，故通常将瞬时动作峰值电流作为校准对象。

7.2.2.3.2 接通被校试验系统电源，进入正常操作流程，分别读取试验系统输出峰值电流显示值和校准装置峰值电流或峰值电压值，然后根据电流互感器/传感器变比或分流器的电阻值折算成峰值电流值。在每个峰值电流量程内，按峰值电流大小均匀分布，分别取3～5个测试点。

7.2.2.3.3 分别记录试验系统在各档量程内测试点的峰值电流显示值与校准装置的峰值电流折算值，按下式（3）计算该档各测试点的电流示值误差*Sn*，应符合条款5.2.1的要求。

 （3）

式中： *Sn*—峰值电流示值误差；

*In*—校准装置测量值经折算后的峰值电流值；

*I*示—峰值电流指示值。

7.2.2.3.4 当中压试验系统的试验电流的零线对正常零线产生了非常明显偏移，见图3，且又没有适当的数字设备进行计算，应当使用下式（4）来确定设备的瞬时动作电流示值，与校准装置的实际电流有效值做比较，默认峰值系数为1.414。将试验电流输出的总时间分成10等份，并在这些垂直线上测量电流交流分量的有效值，这些值用Z0Z1…Z10表示，这里Z=X/，X是电流交流分量的峰值，即在时间t内瞬时动作峰值电流的等效有效值为：

 （4）

由CC′表示的电流直流分量并没有记入

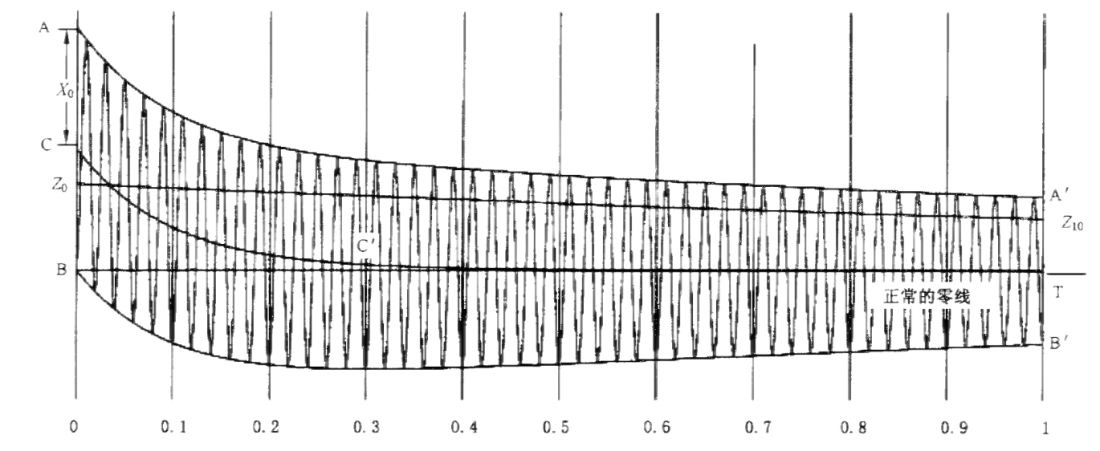


图3 瞬时动作峰值电流的等效有效值示意图

说明：AA′、BB′——电流波的包络线；

CC′——在任一瞬时动作电流的零线对正常零线的偏移。

7.2.2.4 谐波电流（低压试验系统）示值误差校准

7.2.2.4.1 谐波电流（低压试验系统）示值误差校准，按图1进行校准接线，

7.2.2.4.2 将被检试验系统接通电源，进入正常谐波电流输出操作流程，读取校准装置上显示的的换算电压值或谐波电流值，在每个试验电流量程内，按试验电流大小均匀分布，分别取3～5个测试点。按5.3.1的要求分别读取不同次数的谐波电流值。

7.2.2.4.3 分别记录校准装置上显示的的换算电压值或谐波电流值，按下式（5）计算不同次数的谐波含量示值误差*S*n，其结果应符合条款5.2.1的要求。

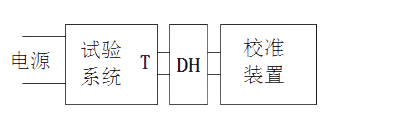
（*k*=3、5、7、21） （5）

式中：*I*基—基波电流实际值；

*I*谐*k*—谐波波电流实际值（*k*=3、5、7、21）。

7.2.3 试验电压示值误差校准

7.2.3.1 试验电压示值误差校准，按图4的方式接线，如校准装置的测量范围能够覆盖试验电压的输出范围，电压输出端T无需使用电压互感器/传感器或隔离放大器降低高压测电压用于测量。



T—电压输出端；DH—电压互感器/传感器或隔离放大器

图4 试验电压示值误差校准接线图

7.2.3.2 接通被校试验系统电源，进入正常操作流程，待试验电压稳定后，分别读取试验系统电压显示值和校准装置电压显示（折算）值。

7.2.3.3 分别记录被校试验系统在各档量程内测试点的电压显示值与校准装置显示（折算）值。按下式（6）计算该档量程各测试点的电压示值误差*Sn*，其结果应当符合条款5.2.2的要求。

 （6）

式中：*Sn*—电压示值误差；

*Un*—校准装置显示（折算）值；

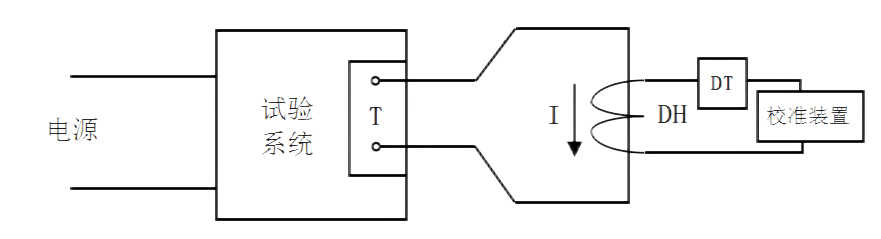
*U*示—被校试验系统电压显示值。

注：当使用电压互感器/传感器或隔离放大器对试验系统的试验电压进行误差校准时，需将其变比系数与校验装置的显示值精选折算得到试验电压实际值。

7.2.4 试验时间示值误差校准

7.2.4.1 试验电流延时动作时间示值误差校准

7.2.4.1.1 试验电流延时动作时间示值误差校准，按图5接线。



T—电流输出端；I试验电流方向；DH—电流互感器/传感器或分流器；DT数字毫秒计；

图5 延时动作时间示值误差校准接线图

7.2.4.1.2 至少取二个校准点，分别在1s~10min及（10~20）min范围内各选取一个点。

7.2.4.1.3 接通试验电源，调节试验电流到设定值，然后切断试验电流，再突加试验电流同步计时。当数字毫秒计完成记录预设延时动作时间后，切断试验电流，记录延时动作时间示值。当动作时间小于等于2分钟，需连续记录3次，计算三者的平均值，将其做为校准结果。试验电流延时动作时间示值误差*ST*，按下式（7）计算，其结果应能满足条款5.2.3的要求。动作时间的时长由被校试验系统的预设时间范围决定，一般为1s~20min。

 （7）

式中：*ST*—试验电流延时动作时间示值误差；

*Tn*—数字毫秒计记录的动作时间示值；

*T*示—被校试验系统动作时间示值。

7.2.4.1.4 对多工位的中低压电器试验系统，根据实际情况对每工位的试验电流延时动作时间参数进行校准，并计算出其相对应的误差。

7.2.4.2 试验电流瞬时动作时间示值误差校准

7.2.4.2.1 试验电流瞬动动作时间示值误差校准，按图1接线。通过校准装置中瞬态数据记录仪采集的试验电流波形，计算得到瞬时动作时间的实际值。

7.2.4.2.2 至少取二个校准点，分别在（10~200）ms及（＞200ms～1s）范围内各选取一点，每个校准点连续测试3次。计算误差时，取三次读数中偏差最大者。

7.2.4.2.3 在校准瞬时动作电流的状态下，分别记录试验系统的瞬时动作时间示值和校准装置所测得的瞬时动作时间，按下式（8）计算该校准点的试验电流瞬时动作时间示值误差*ST*。其结果应符合条款5.2.3的要求。

 （8）

式中：*ST*—试验电流瞬时动作时间示值误差；

*Tn*—校准装置记录的动作时间示值；

*T*示—被校试验系统动作时间示值。

7.2.4.3 试验电流时间常数示值误差校准

7.2.4.3.1 试验电流时间常数示值误差校准，按图1接线。通过校准装置中瞬态数据记录仪采集的试验电流波形，计算得到时间常数的实际值（即试验电流上升到0.63倍最大峰值电流时的时间值），如图6所示。

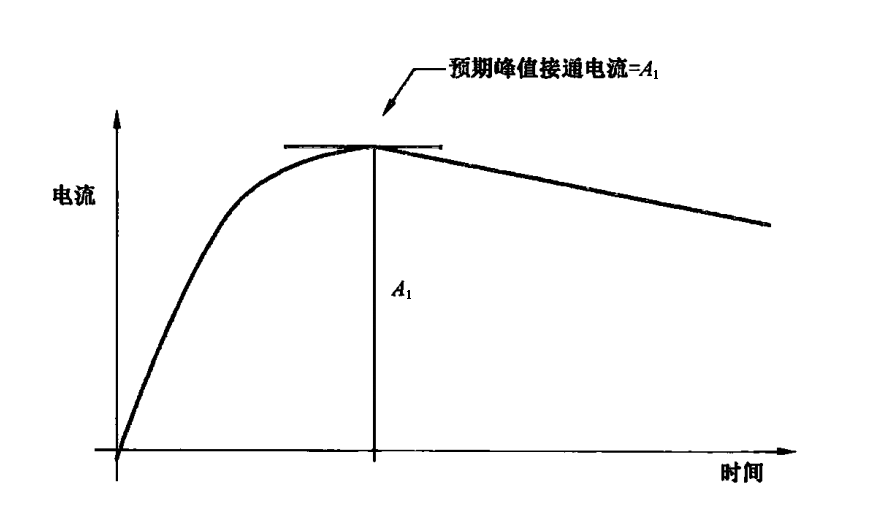


图6 试验电流时间常数计算示意图

7.2.4.3.2按试验系统的出厂设定确定校准点，故时间常数一般为固定值，校准点的选择一般在≤4ms或≤15ms的范围内选取，连续测量3次，取3次读数中偏差最大者。

7.2.4.3.3在校准瞬时动作电流的状态下，分别记录试验系统的时间常数示值和校准装置所测得的时间常数，按下式（9）计算该校准点的试验电流时间常数示值误差*ST*。其结果应符合条款5.2.3的要求。

 （9）

式中：*ST*—试验电流时间常数示值误差；

*Tn*—校准装置记录的时间常数示值；

*T*示—被校试验系统时间常数示值。

7.2.5 功率因数示值误差校准

7.2.5.1 功率源法

7.2.5.1.1对具备短延时动作模式或稳态模式的被校试验系统，按图6接线进行功率因数示值误差校准，若被校试验系统采取电压采集的方式进行取样，音频功率电源及数字功率计需选取电流适配的电压采集端口。

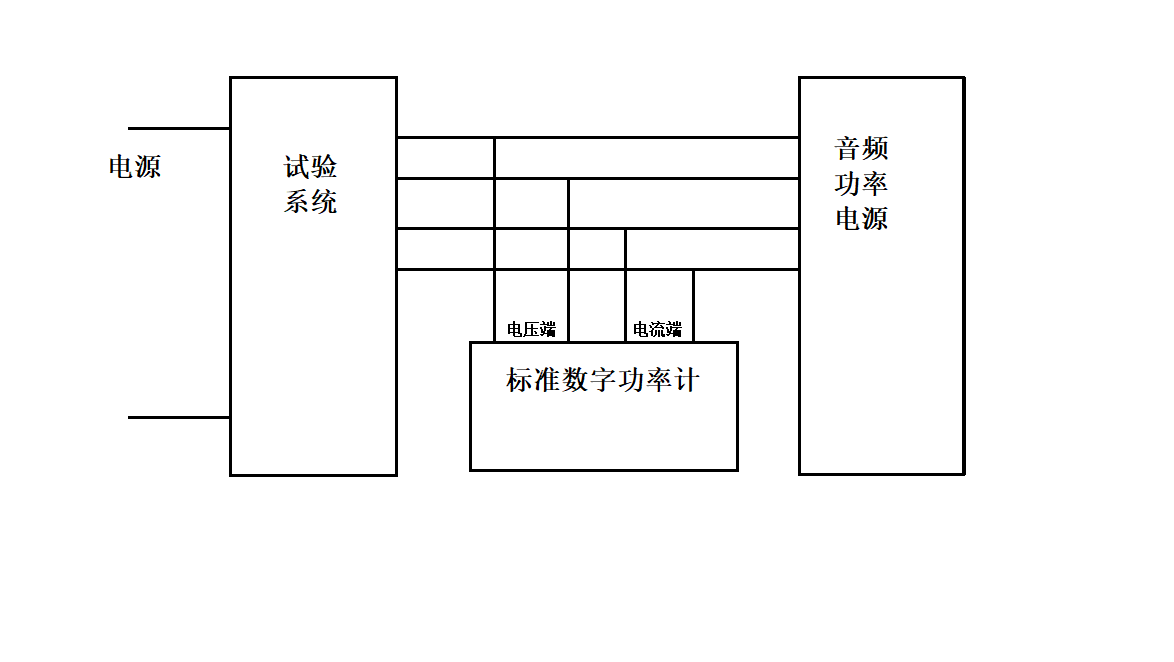


图7 功率因数标准源法接线示意图

7.2.5.1.2将被校试验系统接通电源，进入正常操作流程，分别将数字功率计及音频功率电源接入试验系统采集端口，同时音频功率电源选择合适的输出端口，对被试系统进行输出；

7.2.5.1.3待被校试验系统读数稳定后，分别读取并记录试验系统功率因数显示值和数字功率计测量的功率因数实际值。按下式（10）计算该档各测试点的功率因数示值误差*Sn*，其结果应当符合条款5.3.4的要求。

 （10）

式中：*Sn*—功率因数示值误差。

*λn*—数字功率计功率因数显示值。

*λ*示—被校试验系统功率因数显示值。

7.2.5.2 标准功率因数表法

7.2.5.2.1 当被校试验系统动作时间过短或标准功率源输出量程无法满足被校试验系统时，采取标准功率因数表法，按图8接线进行功率因数示值误差校准。

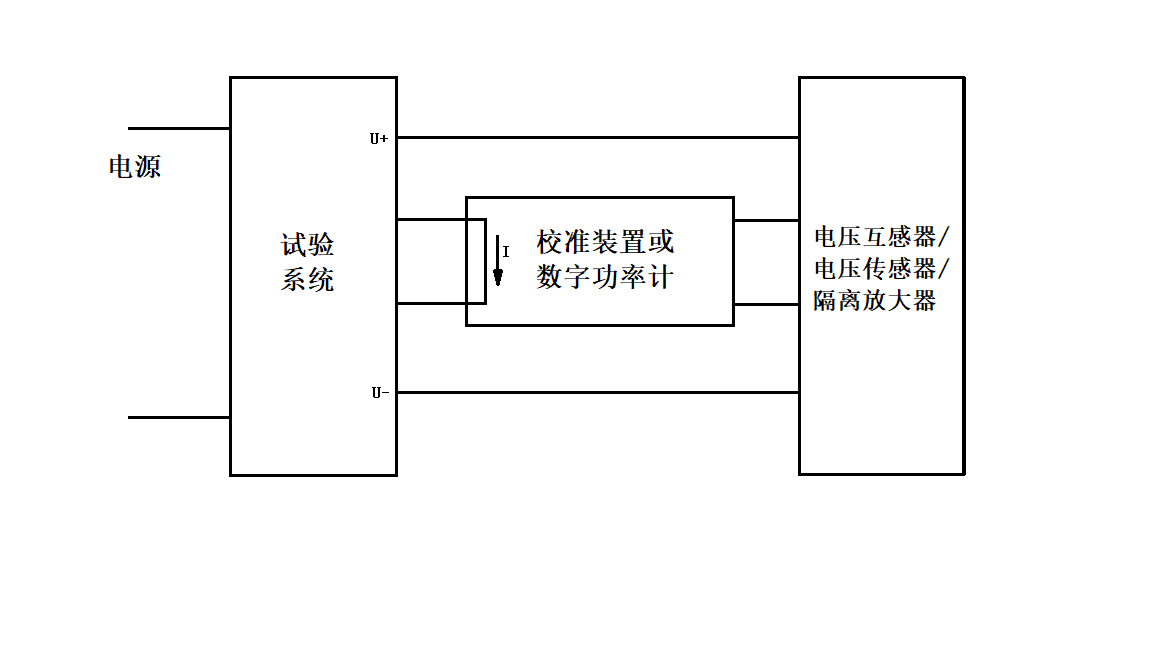


图8 功率因数标准表法接线示意图

7.2.5.2.2将被校试验系统接通电源，进入正常操作流程，通过将高电压变换成校准装置或数字功率计能采集的低电压信号（若试验系统的电压输出值在校准装置或数字功率计的测量范围内，可以不使用电压互感/传感器及隔离放大器），同时记录方向一致的电流信号（若试验系统的电流输出值在校准装置或数字功率计的测量范围内，可以不适用电流互感/传感器或分流器），当数字功率计无法计算出功率因数实际值时，一般通过电流与电压之间的时间差计算出功率因数实际值，具体时间差的选取，如图9所示；

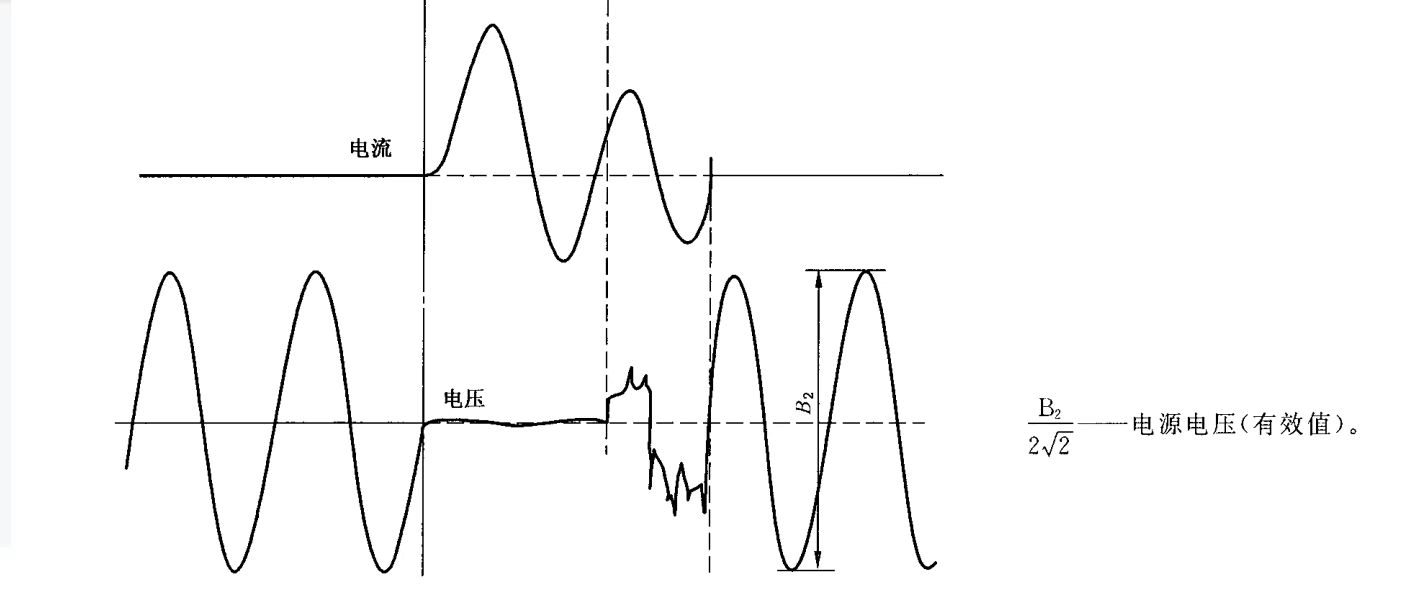


图9 功率因数波形计算选取示意图

7.2.5.2.3待被校试验系统显示出实测功率因数后，记录试验系统功率因数显示值和校准装置计算出的功率因数实际值。按下式（11）计算该试验系统的功率因数示值误差*Sn*，其结果应当符合条款5.3.4的要求。

 （11）

式中：*Sn*—功率因数示值误差。

*λn*—数字功率计功率因数显示值。

*λ*示—被校试验系统功率因数显示值。

7.2.6 纹波与噪声

7.2.6.1 纹波及噪声的校准，按图10接线，且确保所有测试设备采用同一电源插座。

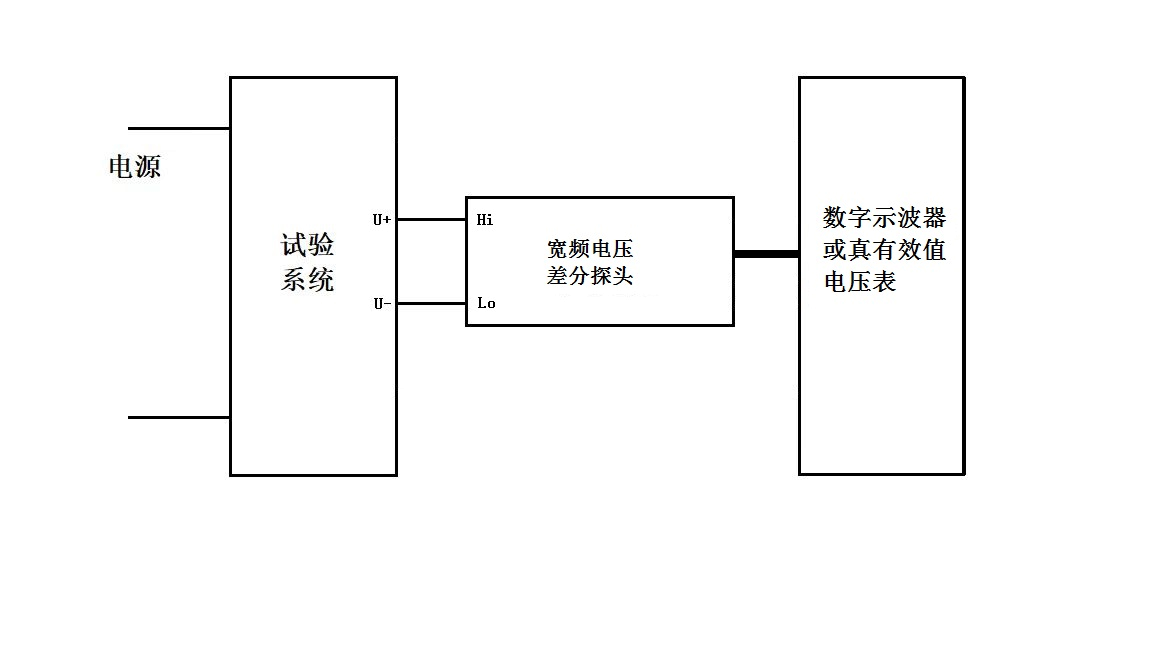


图10 纹波与噪声校准接线示意图

7.2.6.2 设置或调节被校试验系统的直流输出，使被校试验系统的直流电压输出达到稳定的工作状态。

7.2.6.3 输出稳定后，记录数字示波器（此时数字示波器的带宽需更改为低通20MHz，输入阻抗1MΩ，且处于交流耦合的状态，同时需根据试验系统的输出电压更改差分探头的分压器系数）或真有效值电压表测得的电压值*U′*，若试验系统的输出电压在数字示波器或真有效值电压表的电压测量范围内，可以不适用宽频电压差分探头，直接适用数字示波器或真有效值电压表测量。

7.2.6.4 按下式（12）计算该试验系统纹波或噪声值*Un*，其结果应当符合条款5.3.5的要求。

*Un=KU′* （12）

式中：*Un*—被校试验系统电压输出纹波与噪声的测量值。

*U′*—数字示波器或真有效值电压表测得的电压值。

*K*—宽频电压差分探头的分压比系数（未使用差分探头时*K*等于1）。

7.2.7 短期稳定性

7.2.7.1 输出电压短期稳定性

7.2.7.1.1 按图4进行校准接线。

7.2.7.1.2 设置或调节被校试验系统的输出电压*U*，使被校试验系统的输出电压达到稳定的工作状态。

7.2.7.1.3 当输出电压稳定后，在被校试验系统可实施的输出时间间隔内，按一定的记录间隔记录数字多用表的测量值*U*i，并从所有的测量值*U*i中选取最大值*U*max和最小值*U*min。

7.2.7.1.4 按下式（13）计算该试验系统输出电压的短期稳定性*S*ev，其结果应当符合条款5.3.6的要求。

 （13）

式中：*S*ev—被校试验系统输出电压短期稳定性。

*U*max—规定的时间间隔内数字多用表测得的电压最大值。

*U*min—规定的时间间隔内数字多用表测得的电压最小值。

*U*—被校试验系统输出电压的设定值。

7.2.7.2 输出电流短期稳定性

7.2.7.2.1 按图1接线，若试验系统的电流输出值在数字多用表的测量范围内，可不使用电流互感/传感器或分流器。

7.2.7.2.2 设置或调节被校试验系统的输出电流*I*，使被校试验系统的输出电流达到稳定的工作状态。

7.2.7.2.3 当输出电流稳定后，在被校试验系统可实施的输出时间间隔内，按一定的记录间隔记录校准装置（或数字多用表）的测量值*I*i，并从所有的测量值*I*i中选取最大值*I*max和最小值*I*min。

7.2.7.2.4 按下式（14）计算该试验系统输出电压的短期稳定性*S*ev，其结果应当符合条款5.3.6的要求。

 （14）

式中：*S*ev—被校试验系统输出电流短期稳定性。

*I*max—规定的时间间隔内数字多用表测得的电流最大值。

*I*min—规定的时间间隔内数字多用表测得的电流最小值。

*I*—被校试验系统输出电流的设定值。

7.2.8 失真度

由于中压或更高电压等级的电器试验系统，基本为配套用电线路，输出电压波形失真的影响因素相对较少，故本规范仅对低压电器试验系统的失真度校准方法进行说明。

7.2.8.1输出电压失真度

7.2.8.1.1 按图5进行校准接线。

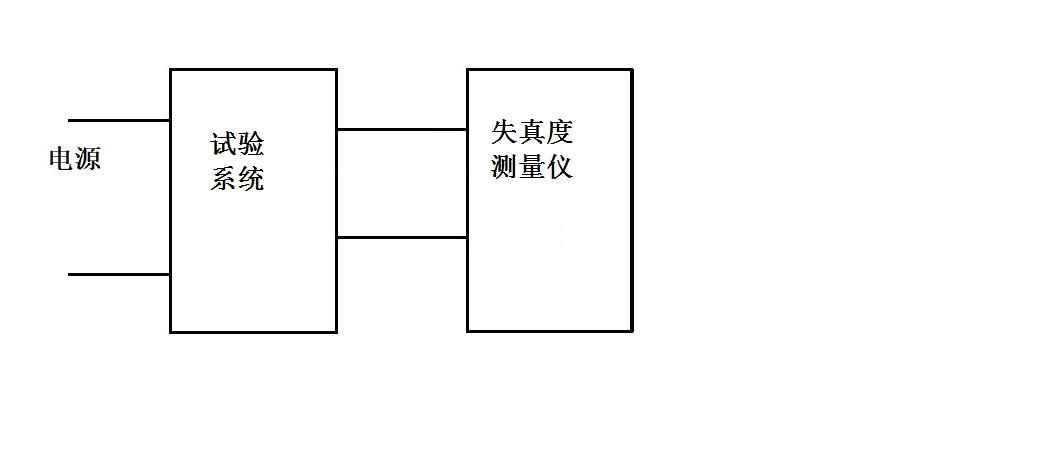


图11 输出电压失真度校准接线示意图

7.2.8.1.2 设置或调节被校试验系统的输出电压，使被校低压电器试验系统的输出电压达到稳定的工作状态。

7.2.8.1.3 当输出电压稳定后，读取此时失真度测量仪*r*的读数*r*0，即为被校低压电器试验系统输出电压的波形失真。

7.2.8.2 输出电流失真度

7.2.8.2.1 按图12接线，*Rs*为试验系统输出电流的取样电阻，若试验系统的电流输出值在失真度测量仪的测量范围内，可不使用取样电阻进行测量。

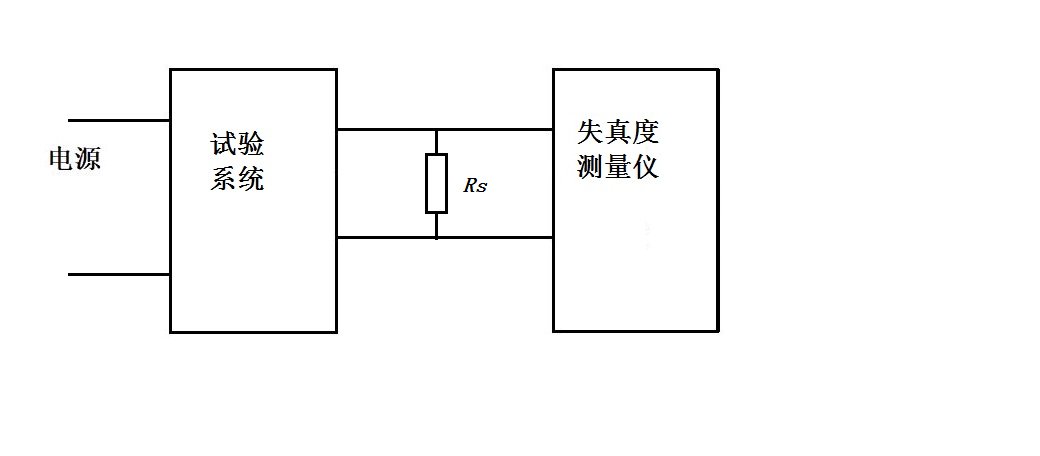


图12 输出电流失真度校准接线示意图

7.2.8.2.2 设置或调节被校试验系统的输出电流*I*，使被校试验系统的输出电流达到稳定的工作状态。

7.2.8.2.3 当输出电流稳定后，读取此时失真度测量仪*r*的读数*r*0，即为被校低压电器试验系统输出电流的波形失真。

7.2.9 电压线性度试验

由于被校中压电器试验系统输出电压范围相对较高，经常超过常规电压互感器配合数字多用表的测量范围，应尽量进行输出电压线性度试验，主要针对拥有测量绕组的变压器组成的试验系统进行电压线性度试验

7.2.9.1 当变压器处于空载的条件下，按图13所示进行接线，

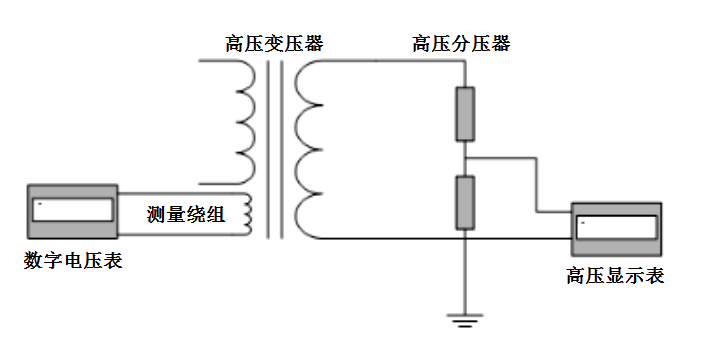


图13 线性度试验校准接线示意图

7.2.9.2 当被校试验系统输出高电压，校准装置测得电压U2，用数字电压表测量试验变压器测量绕组的输出电压*U*1，均匀选取4个以上的测量点，并记录每一测量点的*U*2与*U*1，计算出*U*2与*U*1的比值*R*g（*R*g=*U*2/*U*1）)，根据公式（15）计算出*R*g平均比值*R*：

 （15）

7.2.9.3 当整个测量范围内的*R*g与*R*的相对变化量满足被校试验系统的允许误差，则其线性度满足要求。当然使用该方法得到不满足要求的线性度，并不一定意味着系统非线性，在这种情况下可选择其他合适的试验方法确定其线性度线性度。

8 校准结果表达

经校准的位移传感器，出具校准证书或校准报告，报告内容详见附录D。

9 复校时间间隔

校准时间间隔由委托方根据使用的环境和频度决定，但为了保证满足相应的技术指标，建议复校时间间隔不超过1年。修理或调整后，应经校准才能使用。如试验系统经过连续2个周期3次校准后，最后一次的校准结果与前2次校准结果中的任何一次做比较，其误差变化不大于其误差限值的1/3，送校单位可根据实际使用情况自主决定延长复校时间间隔。

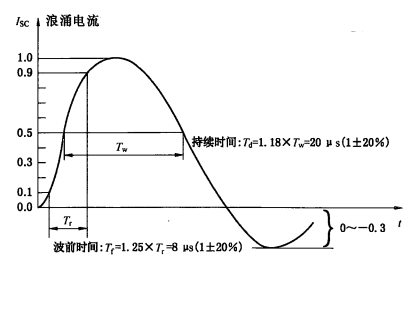
附 录 A

（资料性）

分流器电流响应时间试验

A.1试验目的

试验的目的是判断分流器的电流响应时间是否满足要求，分流器的电流响应时间应该足够高，以减少时间采集时引入的不确定度影响。对用于校准大电流动作时间的分流器，在常规溯源中基本采取的是阻值校准，且很难做到额定电流状态下的阻值校准，因为很难避免分流器大电流（长时间或多次阻值校准）的自热效应对阻值的影响，故本试验选用相对能量较小的浪涌电流（见图A.1）作为验证分流器电流响应时间的工具，由于浪涌电流的8μs波前时间相对于所需要测量的时间值足够短，当分流器测量到的波前时间约接近8μs，则时间的校准越准确，从而通过试验可以确定分流器的电流响应时间对时间测量的影响量是多少。



图A.1 浪涌电流波形示意图

A.2试验步骤

分流器电流响应时间试验的步骤如下

a）使浪涌电流发生器进入正常工作状态。

b）将被校分流器短接入浪涌电流发生器的输出端，并设定浪涌电流输出值，尽量选用与分流器额定电流一致的浪涌电流值。

c）输出浪涌电流，。截取整个波前时间的80%用作时间的计算，如图A.1所示。

d）保持浪涌电流不变，进行3次测量，计算出平均值，并记录波前时间*t*，计算出其与8μs的差值，即。

A.3试验结论

如果过被试分流器的波前时间差值结果需优于被校中低压电器试验系统时间允许误差的1/5，则分流器电流响应时间满足要求，分流器正负极性需各做一次，去偏差大者作为结果。对同类型或结构原理相同的分流器，不必每次都进行电流响应时间试验。

附 录 B

（资料性）

参考格式

中低压电器试验系统校准记录参考格式

委托单位： 地址：

收样日期： 校准日期：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 仪器名称 |  | | | | 证书编号 |  |
| 制造厂 |  | 型号规格 |  | | 出厂编号 |  |
| 标准器名称 |  | 标准器编号 |  | | 证书有效期 |  |
| 测量范围 |  | 不确定度（或准确度  等级或最大允许误差 | |  | | |
| 校准依据 |  | 温度 |  | | 湿度 |  |

1.外观及性能检查：

2.延时动作时间：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 显示值（s） | 实际值（s） | | | |
| 1 | 2 | 3 | 平均值 |
|  |  |  |  |  |

3.瞬时动作时间：

|  |  |
| --- | --- |
| 显示值（ms） | 实际值（ms） |
|  |  |

4.时间常数：

|  |  |
| --- | --- |
| 显示值（ms） | 实际值（ms） |
|  |  |
|  |  |

5.电压：（□交流，□直流）（50Hz）

|  |  |
| --- | --- |
| 显示值（V） | 实际值（V） |
|  |  |
|  |  |

6.试验电流：（□延时，□瞬时）/（□直流，□交流）/（□峰值，□有效值）（50Hz）：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 显示值（A） | 实际值 | | |
| 变 比 | 读 数 | 电流值（A） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

7.功率因数：（□电压，□电流）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 测试条件 | | 指示值 | 实际值 |
| 电流值 | 电压值 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

8.纹波与噪声：（□电压，□电流）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 设定值 | 交流分量 | |
| 有效值 | 峰-峰值 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

9.短期稳定性：（□电压，□电流）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试条件（ min） | | 实测值 |
| 电流设定值 | 电压设定值 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

10.失真度：（□电压，□电流）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测试条件 | | 实测值 |
| 电流值 | 电压值 |
|  |  |  |
|  |  |  |

11.线性度试验：（□直流，□交流）（50Hz）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 低压侧测量值U1 | 实际值U2 | U2/U1 | 非线性偏差（%） |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 平均值 | |  | / |
| 非线性最大偏差 | | / |  |

校准 年 月 日 核验 年 月 日

附 录 C

（资料性）

不确定度的评定实例

**一 试验系统电流示值误差测量结果的不确定度评定**

**（一）试验系统延时动作电流示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度：（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：数字多用表交直流电压电流最大允许误差：±0.2%读数，

电流互感器等级：0.2级，分流器最大允许误差：±0.2%读数。

C.1.4 被测对象：电流示值误差为±2.5%的中低压电器试验系统。

C.1.5 测量方法：将电流互感/传感器或分流器串接入被校试验系统的试品回路中，电流互感/传感器或分流器的次级接数字多用表，调节试验系统的输出电流，读取试验系统输出电流的指示值，记录通过数字多用表读数折算的实际值，将试验系统的指示值与实际值相减，其差值即为试验系统的电流示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测试，可以直接使用本不确定度的评定方法。

**C.2 数学模型**

Δ*I*=*IX*-*IN*

式中：Δ*I*—试验系统电流示值误差。

*IX*—试验系统电流示值。

*IN*—数字多用表电流实测值。

**C.3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，被校试验系统电流示值误差的不确定度取决于输入量*IX*、*IN*的不确定度。

C.3.1 标准不确定度*u*(*IX*)的评定

被校试验系统电流示值*IX*的标准不确定度*u*(*IX*)来源于被校试验系统的测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，选择600A量程600A/50Hz这一点电流值，在相同重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（A） | 600.0 | 600.4 | 600.2 | 600.0 | 600.8 | 601.5 | 601.2 | 600.8 | 602.6 | 600.7 |

平均值：=600.8A

单次实验标准差：*s*1==0.796A

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对600A/50Hz这一点电流值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得2组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(A) | 602.7 | 601.8 | 601.7 | 602.6 | 601.2 | 601.6 | 602.6 | 601.1 | 601.4 | 602.0 |
| 示值(A) | 602.4 | 603.2 | 603.5 | 603.3 | 601.6 | 601.6 | 602.0 | 602.2 | 603.3 | 601.9 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  si | *s*1：0.796A |
| *s*2：0.592A |
| *s*3：0.726A |

合并样本标准差：

=0.710A

则当试验电流为600A/50Hz时，*u*(*IX*)=0.710A

与上述相同方法，取一台中低压电器试验系统，选择10kA/DC这一点电流值，在相同重复条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.4。

表C.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（kA） | 9.985 | 9.973 | 9.963 | 9.969 | 9.974 | 9.978 | 9.973 | 9.967 | 9.964 | 9.973 |

平均值：=9.9730kA

单次实验标准差：*s*1==7.63A

由于直流电流重复性相对优于交流，

则当试验电流为10kA/DC时，*u*(*IX*)=7.63A

C.3.2 标准不确定度*u*(*IN*)的评定

当试验电流为600A/50Hz时，由电流互感器和数字多用表组成的校准装置的不确定度来源，主要是由电流互感器和数字多用表误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到电流互感器与数字多用表的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

电流互感器在600A测试点的误差*e1*=±(0.2%×600)A=±1.2(A)

数字多用表在600A测试点的误差*e2*=±(0.2%×600)A=±1.2(A)

则=±1.697A

区间半宽度α=1.697A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*= 。

则当试验电流为600A/50Hz时，*u*(*IN*)==0.980A

当试验电流为10kA/DC时，由电流互感器和数字多用表组成的校准装置的不确定度来源，主要是由分流器和数字多用表误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到分流器与数字多用表的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

分流器在10kA测试点的误差*e1*=±(0.2%×10)kA=±20(A)

数字多用表在600A测试点的误差*e2*=±(0.2%×10)kA=±20(A)

则=±28.28A

区间半宽度α=28.28A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*= 。

则当试验电流为10kA/DC时，*u*(*IN*)==16.3A

**C.4 合成标准不确定度的评定**

C.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*I*=*IX*-*IN*

灵敏系数 *c*1=∂Δ*I*/∂*IX* =1

*c*2=∂Δ*I*/∂*IN* =-1

C.4.2 合成标准不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(*IX*)延时测试台测量重复性 | 0.710A（600A/50Hz） | 1 | 0.710A |
| 7.63A（10kA/DC） | 1 | 7.63A |
| *u*(*IN*)校准装置误差 | 0.980A（600A/50Hz） | -1 | 0.980A |
| 16.3A（10kA/DC） | -1 | 16.3A |

C.4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电流为600A/50Hz时：

**=**1.21A

当试验电流为10kA/DC时

**=**18.0A

**C.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子*k*=2 ，

当试验电流为600A/50Hz时：扩展不确定度*U*=1.21A×2=2.42A≈2.4A

当试验电流为10kA/DC时：扩展不确定度*U*=18.0A×2=36A≈40A

**C.6 不确定度报告**

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量600A/50H时，*U*=2.4A ，*k*=2

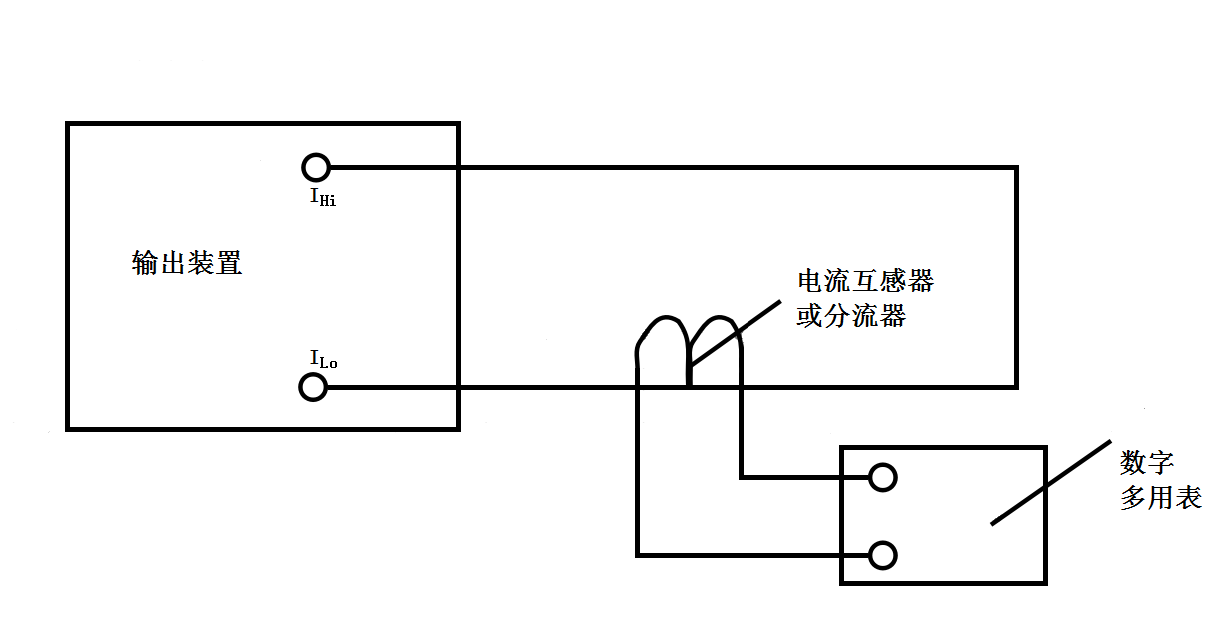
换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=4×10-3 *k*=2

测量10kA/DC时，*U*=40A ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=4×10-3 *k*=2

**C.7 校准测量能力**

从上述结果得出，当被校试验系统足够稳定时，即能得到试验系统延时动作电流的校准测量能力，为了保证备件对象能足够稳定，各种电网的干扰不影响评定的结果。故选取一套稳定的输出装置按图C.1电路接线，选取变比为5A/5A的电流互感器及数字多用表组成校准装置进行测量。接通电源，输出标准5A电流作为延时动作电流显示值，读取数字多用表的电流读取值，两者相减，其差值即为试验系统延时动作电流示值误差。



图C.1 延时动作电流校准测量能力电路图

C.7.1 标准不确定度*u*(IX)的评定

被校试验系统电流示值*IX*的标准不确定度*u*(*IX*)主要来源于模拟的输出装置测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，按图C.1电路进行试验，在5A/50Hz电流这一点，相同重复性条件下，连续独立测量10次，获得一组测量列，见表C.6。

表C.6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（A） | 5.001 | 5.001 | 5.000 | 5.000 | 5.001 | 5.000 | 5.002 | 5.001 | 5.001 | 5.001 |

平均值：=5.0008A

单次实验标准差：*s*1==6.32×10-4A

则当试验电流为5A/50Hz时，*u*(*IX*)=6.32×10-4A

C.7.2 标准不确定度*u*(IN)的评定

当试验电流为5A/50Hz时，标准不确定度分量*u*(IN)主要来源是由电流互感器和数字多用表误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到电流互感器与数字多用表的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

电流互感器在5A/50Hz测试点的误差*e1*=±(0.2%×5)A=±0.01A

数字多用表在5A/50Hz测试点的误差*e2*=±(0.2%×5)A=±0.01A

则=±0.014A

区间半宽度α=0.014A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电流为5A/50Hz时，*u*(*IN*)==8.17×10-3A

C.7.3 合成标准不确定度的评定

C.7.3.1 合成标准不确定度汇总表

表C.7 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(*IX*)延时测试台测量重复性 | 6.32×10-4A | 1 | 6.32×10-4A |
| *u*(*IN*)校准装置误差 | 8.17×10-3A | -1 | 8.17×10-3A |

C.7.3.2 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电流为5A/50Hz时：

**=**8.19×10-3A

C.7.4 扩展不确定度的评定

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=2×8.19A×10-3≈1.6×10-2A

C.7.5 不确定度报告

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量5A/50Hz时，*U*=1.6×10-2A ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=3.2×10-3 *k*=2

C.7.6 校准测量能力

从上述结果看，当被校试验系统的测量重复性相对于标准装置的不确定度足够小时，其对被测对象的测量结果影响可以忽略不计，因此以上评定结果*U*rel=3.2×10-3（*k*=2），可作为延时动作电流示值误差的校准测量能力。

**（二）试验系统瞬时动作电流示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度：（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：中低压试验系统校准装置最大允许误差：±(0.2％读数+0.05％满度)，

电流互感器等级：0.2级，低感分流器最大允许误差：±0.2%读数。

C.1.4 被测对象：电流示值误差为±2.5%的中低压电器试验系统。

C.1.5 测量方法：将电流互感器或低感分流器的一次端接入被校试验系统的试品回路中，电流互感器或低感分流器的二次端接试验系统校准装置，接通电源，调节试验电流后，首先切断主回路电流，然后再次突加主回路电流，保证通电时间＜1s，读出被校实验系统的电流示值和试验系统校准装置电流读数，根据电流互感器或分流器的一二次端之间的变比，换算成试验电流实际值，可同时记录动作时间示值。

由于试品回路中试验电流的波动，每次输出电流的同时，设定点的数值都在变化，应通过数据补插的方法，归划到试验电流设定时的对应电流。

将被校试验系统的试验电流示值减去试验系统校准装置的试验电流实际值，其差值就是被试试验系统的瞬时动作电流示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测试，可以直接使用本不确定度的评定方法。

**C.2 数学模型**

Δ*I*=*IX*-*IN*

式中：Δ*I*—试验系统电流示值误差。

*IX*—试验系统电流示值。

*IN*—试验系统校准装置电流实测值。

**C.3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，被校试验系统电流示值误差的不确定度取决于输入量*IX*、*IN*的不确定度。

C.3.1 标准不确定度*u*(*IX*)的评定

被校试验系统电流示值*IX*的标准不确定度*u*(*IX*)来源于被校试验系统的测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，选择2000A量程2000A/50Hz电流这一点，在相同重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（A） | 1994 | 2011 | 1998 | 2002 | 1993 | 2002 | 2003 | 2007 | 2010 | 2009 |

平均值：=2003A

单次实验标准差：*s*1==6.44A

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再另选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对2000A/50Hz这一点电流值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得另2组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(A) | 1998 | 1988 | 1996 | 1989 | 2004 | 1997 | 1990 | 2006 | 1996 | 1995 |
| 示值(A) | 1987 | 1997 | 1988 | 1980 | 1996 | 1987 | 1996 | 1995 | 1998 | 1996 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  si | *s*1：6.44A |
| *s*2：5.95A |
| *s*3：6.04A |

合并样本标准差：

=6.15A

则当试验电流为2000A/50Hz时，*u*(*IX*)=6.15A

与上述相同方法，取一台中低压电器试验系统，选择240kA/DC这一点电流值，在相同重复条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.4。

表C.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（kA） | 241.0 | 240.2 | 241.2 | 240.6 | 241.8 | 241.2 | 242.0 | 239.8 | 241.4 | 240.4 |

平均值：=240.96kA

单次实验标准差：*s*1==704A

由于直流电流重复性相对优于交流，则当试验电流为240kA/DC时，*u*(*IX*)=704A

C.3.2 标准不确定度*u*(*IN*)的评定

当试验电流为2000A/50Hz时，*I*N的不确定度来源主要是由电流互感器和试验系统校准装置的误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到电流互感器和试验系统校验装置的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

电流互感器在2000A/50Hz测试点的误差：e1=±0.2％×2000A=±4A

DZJ-1校验装置在2000A/50Hz测试点的误差：

e2=±（0.2％×2000A+0.05％×2400A）=±5.2A

则=±6.56A

区间半宽度α=6.56A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电流为2000A/DC时，*u*(*IN*)==3.79A

当试验电流为240kA/DC时，*I*N不确定度来源主要是由低感分流器和试验系统校准装置的误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到低感分流器和试验系统校准装置的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

低感分流器在240kA/DC测试点的误差：*e1*=±(0.2%×240)kA=±480A

试验系统校准装置在240kA测试点的误差：

*e2*=±(0.2%×240kA+0.05%×240kA)=±600A

则=±768A

区间半宽度α=768A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电流为240kA/DC时，*u*(*IN*)==443A

**C.4 合成标准不确定度的评定**

C.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*I*=*IX*-*IN*

灵敏系数 *c*1=∂Δ*I*/∂*IX* =1

*c*2=∂Δ*I*/∂*IN* =-1

C.4.2 合成标准不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(*IX*)延时测试台测量重复性 | 6.15A（2000A/50Hz） | 1 | 6.15A |
| 704A（240kA/DC） | 1 | 704A |
| *u*(*IN*)校准装置误差 | 3.79（2000A/50Hz） | -1 | 3.79A |
| 443A（240kA/DC） | -1 | 443A |

C.4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电流为2000A/50Hz时：

**=**7.22A

当试验电流为10kA/DC时

**=**832A

**C.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子*k*=2 ，

当试验电流为2000A/50Hz时：扩展不确定度*U*=7.22A×2≈15A

当试验电流为10kA/DC时：扩展不确定度*U*=832A×2≈1.7kA

**C.6 不确定度报告**

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量2000A/50H时，*U*=15A ，*k*=2

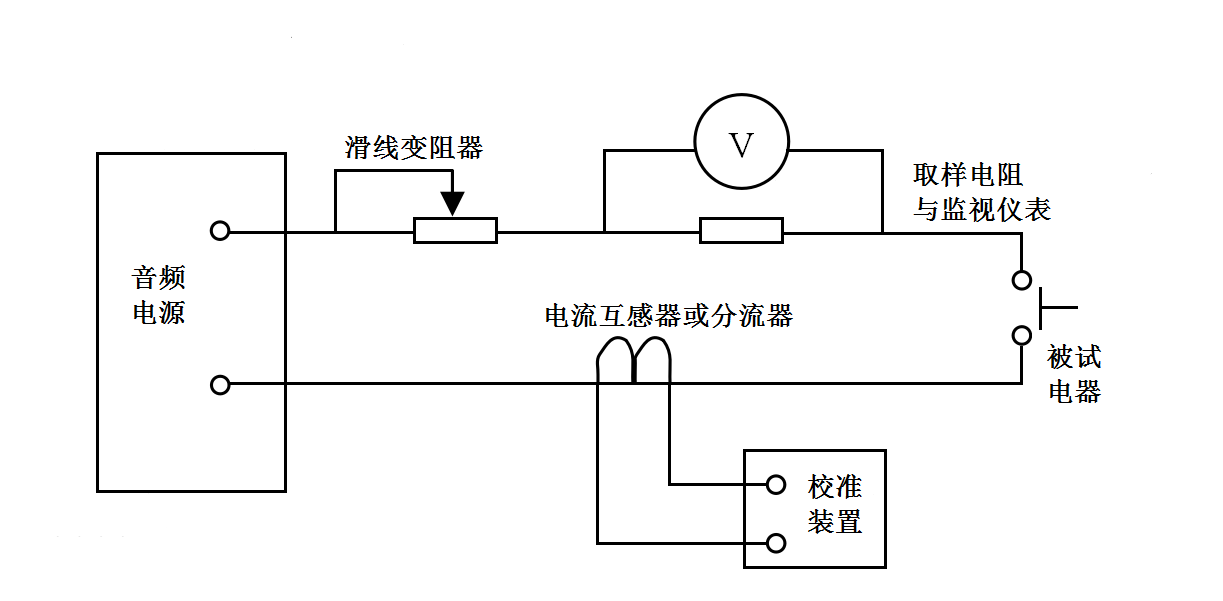
换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=8×10-3 *k*=2

测量240kA/DC时，*U*=1.7kA ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=8×10-3 *k*=2

**C.7 校准测量能力**

从上述结果得出，当被校试验系统足够稳定时，即能得到试验系统延时动作电流的校准测量能力，为了保证备件对象能足够稳定，各种电网的干扰不影响评定的结果。故选取一套稳定的输出装置，按图C.1电路接线，选取变比为5A/5A的电流互感器，量程为14V/6A的音频电流源，接通校准装置中各仪器电源，调节瞬时动作试验电流至5A，切断输出装置的回路电流，按下被试电器启动按钮，读出校准装置上瞬时动作的电压读数，再折算成瞬时动作试验电流值。将瞬时动作试验电流示值与校准装置瞬时动作试验电流值相减，其差值即为输出装置的瞬时动作电流示值误差。。



图C.1 瞬时动作电流校准测量能力电路图

C.7.1 标准不确定度*u*(IX)的评定

被校试验系统电流示值*IX*的标准不确定度*u*(*IX*)主要来源于模拟瞬时动作试验电流的输出装置测量重复性，采用A类方法进行评定。按图C.1的模拟电路进行试验，在5A/50Hz电流这一点，相同重复性条件下，连续独立测量10次，获得一组测量列，见表1。

表1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（A） | 4.9982 | 4.9999 | 4.9996 | 4.9998 | 4.9990 | 4.9956 | 4.9956 | 4.9957 | 4.9951 | 4.9953 |

平均值：=4.9974A

单次实验标准差：*s*1==2.07×10-3A

则当试验电流为5A/50Hz时，*u*(*IX*)=2.07×10-4A

C.7.2 标准不确定度*u*(IN)的评定

当试验电流为5A/50Hz时，标准不确定度分量*u*(IN)主要来源是由电流互感器和校准装置误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到电流互感器与校准装置的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

电流互感器在5A/50Hz测试点的误差*e1*=±(0.2%×5)A=±0.01A

校准装置在5A/50Hz测试点的误差*e2*=±(0.2%×5A+0.2%×6A)=±0.013A

则=±0.0164A

区间半宽度α=0.0164A，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电流为5A/50Hz时，*u*(*IN*)==9.47×10-3A

C.7.3 合成标准不确定度的评定

C.7.3.1 合成标准不确定度汇总表

表4 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(*IX*)延时测试台测量重复性 | 2.07×10-4A | 1 | 2.07×10-4A |
| *u*(*IN*)校准装置误差 | 9.47×10-3A | -1 | 9.47×10-3A |

C.7.3.2 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电流为5A/50Hz时：

**=**9.67×10-3A

C.7.4 扩展不确定度的评定

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=2×9.47A×10-3≈1.9×10-2A

C.7.5 不确定度报告

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量5A/50Hz时，*U*=1.9×10-2A ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=3.8×10-3 *k*=2

C.7.6 校准测量能力

从上述结果看，当被校试验系统的测量重复性相对于标准装置的不确定度足够小时，其对被测对象的测量结果影响可忽略不计，因此以上评定结果*U*rel=3.8×10-3（*k*=2），可作为瞬时动作电流示值误差的校准测量能力。

**二 试验系统电压示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度：（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：按测量范围的不同测量装置的准确度也不同，如下所示：

数字功率计交流电压（0.01~1000）V最大允许误差：±（0.1%读数+0.05%量程），

数字多用表直流电压最大允许误差：±（0.005%读数+0.035%量程），

高压分压器（4000：1）（＞1000~12000）V交流电压最大允许误差：±0.05%读数，

交直流数显高压表（＞12~200）kV交直流电压最大允许误差：±0.5%读数

C.1.4 被测对象：稳定输出电压的中低压电器试验系统。

C.1.5 测量方法：将电压测量装置并接在被校试验系统的试品回路中，调节试验系统的输出电压，读取试验系统输出电压的指示值，记录通过电压测量装置的实际值，将试验系统的指示值与实际值相减，其差值即为试验系统的电流示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测试，可以直接使用本不确定度的评定方法。

**C.2 数学模型**

Δ*U*=*UX*-*UN*

式中：Δ*U*—试验系统电压示值误差。

*UX*—试验系统电压示值。

*UN*—电压测量装置电压实测值。

**C.3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，被校试验系统电压示值误差的不确定度取决于输入量*UX*、*UN*的不确定度。

C.3.1 标准不确定度*u*(*UX*)的评定

被校试验系统电压示值*UX*的标准不确定度*u*(*UX*)来源于被校试验系统的测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，选择1000V/50Hz这一点电压值，在相同重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（V） | 997.5 | 997.3 | 997.6 | 997.9 | 997.7 | 997.6 | 997.5 | 997.8 | 997.4 | 998.5 |

平均值：=997.7V

单次实验标准差：*s*1==0.3393V

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对1000V/50Hz这一点电压值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得2组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(V) | 996.2 | 995.9 | 996.4 | 996.6 | 996.6 | 996.5 | 996.1 | 996.7 | 996.1 | 997.2 |
| 示值(V) | 997.6 | 997.4 | 997.7 | 998.3 | 997.9 | 998.0 | 997.6 | 998.4 | 998.7 | 998.9 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  *si* | *s*1：0.3393V |
| *s*2：0.3373V |
| *s*3：0.5061V |

合并样本标准差：

=0.402V

则当试验电压为1000V/50Hz时，*u*(*UX*)=0.402V

与上述相同方法，选取一台中低压电器试验系统，选择10kV/50Hz这一点电压值，在相同重复条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.4。

表C.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（kV） | 9.977 | 9.975 | 9.981 | 9.972 | 9.973 | 9.977 | 9.983 | 9.972 | 9.984 | 9.975 |

平均值：=9.977kV

单次实验标准差：*s*1==4.41V

再选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对10kV/50Hz这一点电压值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得2组测量列，见表C.5。

表C.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(kV) | 9.961 | 9.957 | 9.963 | 9.968 | 9.965 | 9.957 | 9.9599.961 | 9.961 | 9.966 | 9.964 |
| 示值(kV) | 9.975 | 9.977 | 9.981 | 9.979 | 9.983 | 9.988 | 9.979 | 9.983 | 9.985 | 9.979 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.6。

表C.6 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  *si* | *s*1：4.41V |
| *s*2：3.76V |
| *s*3：3.90V |

合并样本标准差：

=4.03V

则当试验电压为10kV/50Hz时，*u*(*UX*)=4.03V

与上述相同方法，选取一台中低压电器试验系统，选择30kV/DC这一点电压值，在相同重复条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.4。

表C.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（kV） | 30.12 | 30.24 | 30.12 | 30.20 | 30.25 | 30.15 | 30.24 | 30.20 | 30.15 | 30.20 |

平均值：=30.187kV

单次实验标准差：*s*1==0.0492kV

则当试验电压为30kV/DC时，*u*(*UX*)=0.0492kV

C.3.2 标准不确定度*u*(*IN*)的评定

当试验电压为1000V/50Hz时，由数字功率计作为校准装置主要部件，其不确定度来源主要是由数字功率计的误差引起，采用B类方法进行评定。考虑到数字功率计的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

在1000V/50Hz测试点的误差*e1*=±(0.1%×1000V+0.05%×1000V)=±1.5V

区间半宽度α=1.5V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电压为1000V/50Hz时，*u*(*UN*)==0.866A

当试验电压为10kV/50Hz时，由数字功率计与高压分压其作为校准装置主要部件，其不确定度来源主要是由数字功率计和高压分压器误差引起的，采用B类方法进行评定。考虑到数字功率计和高压分压器的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

数字功率计（通过内置变比变换）在10kV/50Hz测试点的误差

*e1*=±(0.1%×10000V+0.05%×10000V)=±15V

高压分压器在10kV/50Hz测试点的误差*e2*=±0.05%×10000V=±5V

则=±15.8V

区间半宽度α=15.8V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电压为10kV/50Hz时，*u*(*UN*)==9.12V

当试验电压为30kV/DC时，由数字高压电压表作为校准装置主要部件，其不确定度来源主要是由数字高压电压表误差引起的，采用B类方法进行评定。考虑到数字高压电压表的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

数字高压电压表在30kV/DC测试点的误差*e1*=±(0.5%×30kV)=±0.15kV

区间半宽度α=0.15V，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验电压为30kV/DC时，*u*(*UN*)==0.0866kV

**C.4 合成标准不确定度的评定**

C.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*U*=*UX*-*UN*

灵敏系数 *c*1=∂Δ*U*/∂*UX* =1

*c*2=∂Δ*U*/∂*UN* =-1

C.4.2 合成标准不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(*UX*)延时测试台测量重复性 | 0.402V（1000V/50Hz） | 1 | 0.402V |
| 4.03V（10kV/50Hz） | 1 | 4.03V |
| 0.0492kV（30kV/DC） | 1 | 0.0492kV |
| *u*(*IN*)校准装置误差 | 0.866V（1000V/50Hz） | -1 | 0.866V |
| 9.12V（10kV/50Hz） | -1 | 9.12V |
| 0.0866kV（30kV/DC） | -1 | 0.0866kV |

C.4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电压为1000V/50Hz时：

**=**0.955V

当试验电流为10kA/50Hz时

**=**9.97V

当试验电流为30kA/DC时

**=**0.100kV

**C.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子*k*=2 ，

当试验电流为1000V/50Hz时：扩展不确定度*U*=0.955V×2=1.91V≈2.0V

当试验电流为10kV/50Hz时：扩展不确定度*U*=9.97V×2=19.9V≈20V

当试验电流为30kV/DC时：扩展不确定度*U*=0.100kV×2=0.20kV

**C.6 不确定度报告**

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量1000A/50Hz时，*U*=2.0V ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=4×10-3 *k*=2

测量10kA/50Hz时，*U*=20V ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=2×10-3 *k*=2

测量30kV/DC时，*U*=0.20V ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=7×10-3 *k*=2

**C.7 校准测量能力**

从上述试验电压示值误差测量结果的不确定评定来看，当被校试验系统足够稳定时，由被校系统测量重复性引起的不确定度分量在总不确定度评定中占比较小，因此上述测量结果的测量不确定度作为中低压试验系统试验电压的校准能力，即

当试验电压为1000V/50Hz时，*U*rel=2×10-3 *k*=2

当试验电压为10kV/50Hz时，*U*rel=2×10-3 *k*=2

当试验电压为30kV/DC时，*U*rel=7×10-3 *k*=2

**三 试验系统时间示值误差测量结果的不确定度评定**

**（一）试验系统延时动作时间示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度：（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：数字毫秒计最大允许误差：±(0.2％读数+2ms)。

C.1.4 被测对象：试验电流延时动作时间（＞1s）示值误差为±1.0%的试验系统。

C.1.5 测量方法：将数字毫秒计串入电流互感器/传感器的次级回路中，调节试验系统的试验电流，使电流互感器的次级电流在2～4A范围内，时间继电器设定值为3分钟，当时间继电器达到预定值时，切断试验电流，记录试验系统的延时动作时间和数字毫秒计的时间记录值，将试验系统的延时动作时间指示值与数字毫秒计的时间实际值相减，其差值就是试验系统的延时动作时间误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测试，可以直接使用本不确定度的评定方法。

**C.2 数学模型**

Δ*T*=*TX*-*TN*

式中：Δ*T*—试验系统电流延时动作时间示值误差。

*TX*—试验系统电流延时动作时间示值。

*TN*—试验系统校准装置延时动作时间实测值。

**C.3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，被校试验系统延时动作时间示值误差的不确定度取决于输入量*TX*、*TN*的不确定度。

C.3.1 标准不确定度*u*(*TX*)的评定

被校试验系统电流示值*TX*的标准不确定度*u*(*TX*)来源于被校试验系统的测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，选择3分钟这一点，此时校准用电流互感器/传感器的次级电流一般在3A左右，在相同重复性条件下，连续独立测量10次获得一组测量值，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（s） | 179.6 | 179.7 | 179.6 | 179.7 | 179.8 | 179.9 | 179.8 | 179.7 | 179.6 | 179.9 |

平均值：=179.7s

单次实验标准差：*s*1==0.105s

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再另选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对3分钟这一点时间值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得另2组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(s) | 179.7 | 179.8 | 179.6 | 179.7 | 179.6 | 179.9 | 179.6 | 179.8 | 179.7 | 179.8 |
| 示值(s) | 179.6 | 179.8 | 179.7 | 179.8 | 179.9 | 179.6 | 179.7 | 179.8 | 179.6 | 179.6 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  si | *s*1：0.105s |
| *s*2：0.105s |
| *s*3：0.110s |

合并样本标准差：

=0.107s

则*u*(*TX*)=*sp*=0.107s

C.3.2 标准不确定度*u*(*TN*)的评定

当试验系统的延时动作时间为3分钟时，TN的不确定度来源主要是由数字毫秒计误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到试验电流变化及延时动作时间读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下，所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

数字毫秒计在3分钟测试点的误差：e1=±0.2％×180s+2ms=±0.362s

区间半宽度α=0.362s，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验的延时动作时间为3分钟时，*u*(*TN*)==0.209s

**C.4 合成标准不确定度的评定**

C.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*T*=*TX*-*TN*

灵敏系数 *c*1=∂Δ*T*/∂*TX* =1

*c*2=∂Δ*T*/∂*TN* =-1

C.4.2 合成标准不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(TX)测试台测量重复性 | 0.107s | 1 | 0.107s |
| *u*(TN)数字毫秒计误差 | 0.209 | -1 | 0.209s |

C.4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量TX与TN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

**=**0.236s

**C.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子*k*=2 ，

当试验系统的延时动作时间为3分钟时：扩展不确定度*U*=0.236s×2≈0.47s

**C.6 不确定度报告**

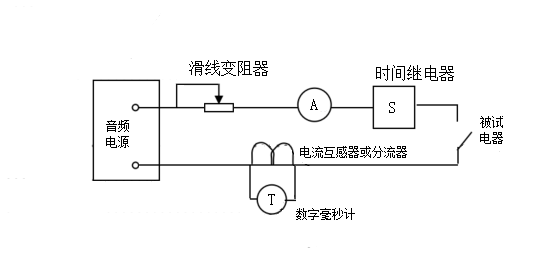
试验系统的延时动作时间（＞1s）示值误差的扩展不确定度：

测量点为3分钟时，*U*=0.37s ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=3×10-3 *k*=2

**C.7 校准测量能力**

从上述结果得出，当被校试验系统足够稳定时，即能得到试验系统延时动作电流的校准测量能力，为了保证被校对象能足够稳定，各种电网的干扰不影响评定的结果，采用5A/5A的电流互感器变比，而延时电流由YS-37音频电源提供。按图C.1模拟电路图接线，其中电流互感器量程为5A/5A，音频电流源量程为14V/6A，接通各仪器电源，调节试验电流为2.5A，切断主回路电流，时间继电器设定为180s。按启动按钮，读取数字毫秒计的延时动作时间记录值，将时间继电器的设定值（显示值）与数字毫秒计延时动作时间记录值相减，其差值即为试验系统延时动作时间示值误差。



图C.1 延时动作时间校准测量能力示意图

C.7.1 标准不确定度*u*(TX)的评定

被校试验系统延时动作时间示值*TX*的标准不确定度*u*(T*X*)主要来源于模拟延时动作时间的输出装置测量重复性，采用A类方法进行评定。按图C.1的模拟电路进行试验，在时间为3分钟这一点，相同重复性条件下，连续独立测量10次，获得一组测量列，见表1。

表1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（s） | 180.1 | 180.2 | 180.2 | 180.1 | 180.1 | 180.1 | 180.2 | 180.2 | 180.1 | 180.1 |

平均值：=180s

单次实验标准差：*s*1==0.0667s

则*u*(*TX*)=*s*1=0.0667s

C.7.2 标准不确定度*u*(TN)的评定

当试验系统的延时动作时间为3分钟时，标准不确定度分量*u*(TN)主要来源是由数字毫秒计误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到数字毫秒计的稳定性、温度变化及读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

数字毫秒计在3分钟测试点的误差*e1*=±(0.2%×180s+2ms)=±0.362s

区间半宽度α=0.362s，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验系统的延时动作时间为3分钟时，*u*(*TN*)==0.209s

C.7.3 合成标准不确定度的评定

C.7.3.1 合成标准不确定度汇总表

表4 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(TX)测试台测量重复性 | 0.0667s | 1 | 0.0667s |
| *u*(TN)数字毫秒计误差 | 0.209s | -1 | 0.209s |

C.7.3.2 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

**=**0.219s

C.7.4 扩展不确定度的评定

取包含因子*k*=2，

当试验系统的延时动作时间为3分钟时：扩展不确定度*U*=0.219s×2≈0.44s

C.7.5 不确定度报告

试验系统延时动作电流示值误差的扩展不确定度：

测量3分钟时，*U*=0.44s ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=2.4×10-3 *k*=2

C.7.6 校准测量能力

从上述结果看，当被校试验系统的测量重复性相对于标准装置的不确定度足够小时，其对被测对象的测量结果影响可忽略不计，因此以上评定结果*U*rel=2.4×10-3（*k*=2），可作为延时动作时间（＞1s）示值误差的校准测量能力.

**（二）试验系统瞬时动作时间示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度：（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：校准装置瞬时动作时间最大允许误差：±(0.1％读数+1ms)。

C.1.4 被测对象：试验电流动作时间（200ms~999ms）示值误差为±10ms的试验系统。

C.1.5 测量方法：与瞬时动作电流的校准方法一致，在测试瞬时动作电流的同时，记录瞬时动作时间。由于回路电压的起伏，每次测试的数值都在变化，应通过数据补插的方法，归划到标准值为800ms的试验点。被校试验系统的时间示值减去校准装置的瞬时动作时间示值，即为被校试验系统的瞬时动作时间示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测试，可以直接使用本不确定度的评定方法。

**C.2 数学模型**

Δ*T*=*TX*-*TN*

式中：Δ*T*—试验系统电流瞬时动作时间示值误差。

*TX*—试验系统电流瞬时动作时间示值。

*TN*—试验系统校准装置瞬时动作时间实测值。

**C.3 标准不确定度的评定**

根据数学模型，被校试验系统瞬时时动作时间示值误差的不确定度取决于输入量*TX*、*TN*的不确定度。

C.3.1 标准不确定度*u*(*TX*)的评定

被校试验系统电流示值*TX*的标准不确定度*u*(*TX*)来源于被校试验系统的测量重复性，采用A类方法进行评定。取一台试验系统，选择800ms这一点，在相同重复性条件下，连续独立测量10次，获得一组测量值，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值（ms） | 799.3 | 799.5 | 799.7 | 799.4 | 799.8 | 799.6 | 799.4 | 799.5 | 798.5 | 799.7 |

平均值：=799.4ms

单次实验标准差：*s*1==0.366ms

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再另选取二台相同等级、型号规格的试验系统，每台对3分钟这一点时间值，分别在相同重复性条件下，进行10次独立测量，再次获得另2组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值(ms) | 799.6 | 799.6 | 799.5 | 799.4 | 800.6 | 799.5 | 799.9 | 799.4 | 799.4 | 799.5 |
| 示值(ms) | 799.5 | 799.8 | 799.4 | 799.5 | 800.3 | 799.3 | 799.1 | 799.1 | 799.4 | 799.4 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 3组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  si | *s*1：0.366ms |
| *s*2：0.369ms |
| *s*3：0.347ms |

合并样本标准差：=0.361ms

则*u*(*TX*)=*sp*=0.361ms

C.3.2 标准不确定度*u*(*TN*)的评定

当试验系统的瞬时动作时间为800ms时，TN的不确定度来源主要是由校准装置误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到试验电流变化及瞬时动作时间读数分辨率所引起的不确定度已包括在重复性条件下，所得到的测量列的分散性中，故在此不另外分析。

校准装置在800ms测试点的误差：e1=±（0.1％×800ms+1ms=）±1.8ms

区间半宽度α=1.8ms，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=。

则当试验的瞬时动作时间为800ms时，*u*(*TN*)==1.04ms

**C.4 合成标准不确定度的评定**

C.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ*T*=*TX*-*TN*

灵敏系数 *c*1=∂Δ*T*/∂*TX* =1

*c*2=∂Δ*T*/∂*TN* =-1

C.4.2 合成标准不确定度汇总表见表C.5。

表C.5 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(TX)测试台测量重复性 | 0.361ms | 1 | 0.361ms |
| *u*(TN)校准装置误差 | 1.04ms | -1 | 1.04ms |

C.4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量TX与TN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

**=**1.10ms

**C.5 扩展不确定度的评定**

取包含因子*k*=2 ，

当试验系统的瞬时动作时间为800ms时：扩展不确定度*U*=1.10ms×2≈2.2ms

**C.6 不确定度报告**

试验系统的瞬时时动作时间（200ms~999ms）示值误差的扩展不确定度：

测量点为800ms时，*U*=2.2ms ，*k*=2

换算成相对扩展不确定度为：*U*rel=2.8×10-3≈3×10-3 *k*=2

**C.7 校准测量能力**

从上述结果看，由于条件限制，即无法找到更稳定的测试对象时，以上评定结果*U*rel=2.8×10-3（*k*=2），可作为试验系统瞬时动作时间示值误差的校准测量能力。

**四 试验系统功率因数示值误差测量结果的不确定度评定**

**C.1 概述**

C.1.1 测量依据：JJFZ（机械）010-2020《中低压电器试验系统校准规范》。

C.1.2 测量环境条件：环境温度为（20±10）℃，相对湿度≤80％。

C.1.3 测量标准：数字功率计，功率因数的最大允许误差为：±（0.1％读数+0.05%量程）。

C.1.4 测量对象：一套稳定的低压电器试验系统。

C.1.5 测量方法：选用一台相位可调的音频功率电源输出的交流电压和交流电流同时输入被校试验系统和数字功率计，从被校试验系统和数字功率计上读取功率因数示值，被校试验系统显示的功率因数减去数字功率计的功率因数示值，即为被校试验系统的功率因数示值误差。

C.1.6 评定结果的使用：符合上述条件的测量，可直接使用本不确定度的评定方法。

**2 数学模型**

Δλ=λX-λN

式中：Δλ—功率因数示值误差。

λX—被校试验系统功率因数示值。

λN—数字功率计功率因数示值。

**3 标准不确定度的评定**

3.1 标准不确定度*u*(λX)的评定

试验系统功率因数标准不确定度*u*(λX)的来源主要由被校试验系统的测量不重复引起的。采用A类方法进行评定。在功率因数为0.400这一点上，在重复条件下，连续独立测量10次，获得一组测量列，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.388 | 0.402 | 0.399 | 0.401 | 0.387 | 0.389 | 0.386 | 0.400 | 0.389 | 0.401 |

平均值：=0.394；

单次实验标准差：*s*1==0.006844

为避免由于试验系统工作原理的不同，影响测量重复性的评定结果，再另选二台被校试验系统，在相同的温湿度重复性条件下，再独立测量获得另二组测量列，见表C.2。

表C.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.391 | 0.389 | 0.397 | 0.388 | 0.401 | 0.397 | 0.402 | 0.389 | 0.403 | 0.402 |
| 示值 | 0.402 | 0.396 | 0.399 | 0.386 | 0.403 | 0.390 | 0.386 | 0.400 | 0.389 | 0.398 |

每组测量列按上述方法计算得到单次测试的标准方差见表C.3。

表C.3 三组实验标准差计算结果

|  |  |
| --- | --- |
| 实验标准差  *s*i | *s*1：0.006844 |
| *s*2：0.006100 |
| *s*3：0.006557 |

合并样本标准差：=0.006508V

则当功率因数为0.400时，*u*(*λ*X)=0.006508

3.2 标准不确定度*u*(λN)的评定

*u*(*λ*N)的不确定度来源主要是由数字功率计测量误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到数字功率计的稳定性、温度变化及分辨率所引起的不确定度，已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另作分析。

在功率因数为0.400的测试点误差：*e1*=±（0.1％读数+0.05%量程）=±0.0009，

区间半宽度α=0.0009，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则当功率因数为0.400时，*u*(*λN*)==0.00052

**4 合成标准不确定度的评定**

4.1 灵敏系数

数学模型 Δλ=λX-λN

灵敏系数 c1=∂Δλ/∂λX=1；c2=∂Δλ/∂λN=-1

4.2 合成标准不确定度汇总表

表4 标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | ci | ∣ci∣*u*(xi) |
| *u*(λX)测量重复性 | 0.006508 | 1 | 0.006508 |
| *u*(λN)校验装置误差 | 0.00052 | -1 | 0.00052 |

4.3 合成标准不确定度*u*c(Δ)的估算

输入量λX与λN彼此独立不相关，所以合成标准不确定度按下式得到：

****

**=**0.00652

**5 扩展不确定度评定**

取包含因子*k*=2 ，

当功率因数为0.400时，扩展不确定度*U*=2×0.00652≈0.014

**6 不确定度的报告**

测量电压240V，电流7A时的功率因数，*U*=0.014，*k*=2。

**C.7 校准测量能力**

从上述结果得出，当被校试验系统足够稳定时，即能得到试验系统延时动作电流的校准测量能力，为了保证备件对象能足够稳定，各种电网的干扰不影响评定的结果。故选取一套稳定的输出装置同时输入被校试验系统和数字功率计，从被校试验系统和数字功率计上读取功率因数示值，被校试验系统显示的功率因数减去数字功率计的功率因数示值，即为被校试验系统的功率因数示值误差。

C.7.1 标准不确定度*u*(λX)的评定

试验系统功率因数标准不确定度*u*(λX)的来源主要由被校试验系统的测量不重复引起的。采用A类方法进行评定。在功率因数为0.980这一点上，在重复条件下，连续独立测量10次，获得一组测量列，见表C.1。

表C.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 示值 | 0.388 | 0.402 | 0.399 | 0.401 | 0.387 | 0.389 | 0.386 | 0.400 | 0.389 | 0.401 |

平均值：=0.394；

单次实验标准差：*s*==0.006844

即，*u*(λ*X*)=*s*=2.07×10-4A

C.7.2 标准不确定度*u*(*λ*N)的评定

*u*(*λ*N)的不确定度来源主要是由数字功率计测量误差引起的不确定度，采用B类方法进行评定。考虑到数字功率计的稳定性、温度变化及分辨率所引起的不确定度，已包括在重复性条件下所得到的测量列的分散性中，故在此不另作分析。

在功率因数为0.980的测试点误差：*e*=±（0.1％读数+0.05%量程）=±0.0015，

区间半宽度α=0.0015，在区间内可以认为均匀分布，包含因子*k*=，

则当功率因数为0.980时，*u*(*λN*)==0.00087

C.7.3 合成标准不确定度的评定

C.7.3.1 合成标准不确定度汇总表

表4 合成标准不确定度汇总表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 不确定度来源 | 标准不确定度 | *ci* | *u*(*xi*) |
| *u*(λX)测量重复性 | 0.001411 | 1 | 0.001418 |
| *u*(λN)校验装置误差 | 0.00087 | -1 | 0.00087 |

C.7.3.2 合成标准不确定度*u*c(Δ）的估算

输入量IX与IN彼此独立不相关，所合成标准不确定度按下式得到：

****

当试验电流为5A/50Hz时：

**=**0.00166

C.7.4 扩展不确定度的评定

取包含因子*k*=2，扩展不确定度*U*=2×0.00166≈0.0033

C.7.5 不确定度报告

试验系统功率因数示值误差的扩展不确定度：

测量电压240V，电流7A时的功率因数，*U*=0.004 ，*k*=2

C.7.6 校准测量能力

从上述结果看，由于条件限制，无法找到更稳定的测试对象时，以上评定结果*U*=0.004（*k*=2），可作为试验系统功率因数示值误差的校准测量能力。

附 录 D

（资料性）

校准证书或校准报告内容

校准证书或校准报告的内容要包括以下项目:

1. 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
2. 实验室名称和地址；
3. 进行校准的地点（如不在实验室内进行校准）；
4. 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页的标识；
5. 送校单位的名称和地址；
6. 被校对象的描述和明确标识；
7. 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性的应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
8. 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对抽样程序进行说明；
9. 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
10. 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
11. 校准环境的描述；
12. 校准结果及测量不确定度的说明；
13. 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
14. 校准结果仅对被校对象有效的声明；
15. 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。