

# JJF(沪)

## 上海市地方计量校准规范

JJF(沪) 61-2021

---

### 电子式互感器校验仪校准规范

Calibration Specification of Electronic Transformers Test Set

2021-1-4 发布

2021-6-1 实施

---

上海市市场监督管理局发布

# 电子式互感器校验仪 校准规范

Calibration Specification of  
Electronic Transformers Test Set

JJF(沪) 61-2021

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：上海交通大学  
国网上海市电力公司电力科学研究院

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：**

潘 洋（上海市计量测试技术研究院）

周力任（上海市计量测试技术研究院）

冯 建（上海市计量测试技术研究院）

**参加起草人：**

徐 真（上海交通大学）

陈文中（国网上海市电力公司电力科学研究院）

来 磊（上海市计量测试技术研究院）

詹国钟（上海市计量测试技术研究院）

# 目录

目录.....	I
引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 绝对延时.....	1
3.2 采样值报文离散度.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 误差限值.....	2
5.2 负荷容量.....	3
5.3 对时误差.....	3
5.4 帧离散度测试.....	3
5.5 升降变差.....	3
5.6 测量重复性.....	3
5.7 百分表.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 标准器及配套设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 校准项目.....	5
7.2 校准方法.....	5
7.2.1 电压通道基本误差.....	5
7.2.2 电流通道基本误差.....	6
7.2.3 校准点选取.....	6
7.2.4 负荷容量.....	6
7.2.5 对时误差.....	6
7.2.6 帧离散度测试.....	7
7.2.7 升降误差、测量重复性和百分表.....	7

---

8	校准结果表达.....	8
9	复校时间间隔.....	8
附录 A	电子式互感器校验仪测量不确定度评定示例.....	10
附录 B	校准原始记录格式.....	15
附录 C	校准证书内页格式.....	18

# 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。

本规范为首次发布。

# 电子式互感器校验仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于工作频率为 50Hz, 采用秒脉冲、IRIG-B 以及 IEC-61588 报文作为同步信号的数字量输入式交流电子式互感器校验仪的校准, 其数字帧报文应符合 IEC61850-9-2 或 IEC61850-9-2LE 协议, 准确度等级为 0.02 级或 0.05 级。

本规范不适用于采用绝对延时以及模拟小信号输入的电子式互感器校验仪的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF1264-2010 互感器负荷箱

GB/T 20840.7 互感器第 7 部分: 电子式电压互感器

GB/T 20840.8 互感器第 8 部分: 电子式电流互感器

GB/T 20840.9-2017 互感器第 9 部分: 互感器的数字接口

GB/T 25931-2010 网络测量和控制系统的精确时钟同步协议

DL/T 860.92-2016 电力自动化通信网络和系统第 9-2 部分: 特定通信服务映射(SCSM)  
-基于 ISO/IEC8802-3 的采样值

DL/T 1394-2014 电子式电流、电压互感器校验仪技术条件

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

GB/T 20840.7、GB/T 20840.8 以及 GB/T 20840.9 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 绝对延时 **absolute delay time**

电子式互感器一次端子某一电流、电压值出现瞬时与该量值对应的数字数据集合在合并单元输出的起始瞬时的时间差(用额定频率表示为相位差)。

### 3.2 采样值报文离散度 **deviation of sampled value data delivery time**

协议数据帧报文到达电子式互感器校验仪的时间间隔与相应协议报文额定值差值绝

对值的最大值。

## 4 概述

电子式互感器校验仪是一种测量工频电压（或电流）数字量比值误差和相位误差的仪器。通常电子式互感器校验仪是由参考输入通道（模拟量），被测输入通道（数字量）、同步输入或输出通道等单元组成。当校验仪的参考模拟通道施加参考信号，被测通道输入待测数字量信号后，校验仪采样参考通道信号同时解码被测数字信号，通过算法计算出被测和标准信号的基波幅值和相位并显示二者的比值误差和相位误差。

校验仪的测量示值的比值误差用百分数（%）表示，相位误差用分（'）表示。

根据测量原理不同，电子式互感器校验仪可分为同步法和绝对延时法两种工作模式。同步法中被测电子式互感器校验仪可具有接收或发出同步信号的功能，比较同步时间间隔内所采集的模拟量和数字量。而绝对延时无需同步信号，校验仪自动补偿来自数字帧对应字节所标注的绝对延时计算被测信号的相位误差。

## 5 计量特性

### 5.1 误差限

标准测量系统采样（或输出）的基波有效值为  $A_1$ ，基波初相角为  $\varphi_1$ ；被测电子式互感器校验仪测量得到的基波有效值为  $A_2$ ，基波初相角为  $\varphi_2$ ，则电子式互感器校验仪的比值误差可以用公式(1)计算：

$$f = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

电子式互感器校验仪的相位误差可以用公式(2)计算：

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (2)$$

电子式互感器校验仪的准确度等级分为 0.02 级、0.05 级。

电子式互感器校验仪的电压通道基本误差，应小于表 1 中规定的误差限值。

表 1 电压通道的误差限值

准确度等级	比值误差 (%)			相位误差 (')		
	额定电压百分比 (%)			额定电压百分比 (%)		
	80	100	120	80	100	120
0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±0.6	±0.6	±0.6
0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±2	±2	±2



电子式互感器校验仪的电流通道基本误差，应小于表 2 中规定的误差限值。

表 2 电流通道的误差限值

准确度等级	比值误差 (%)					相位误差 (′)				
	额定电流百分比 (%)					额定电流百分比 (%)				
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0.02	±0.04	±0.02	±0.02	±0.02	±0.02	±1.2	±0.6	±0.6	±0.6	±0.6
0.05	±0.1	±0.05	±0.05	±0.05	±0.05	±4	±2	±2	±2	±2

注：120%额定一次电流下所规定的比值误差限值，应保持到额定扩大一次电流。

电子式互感器校验仪实际误差曲线不能超过表 1 或表 2 所列限值连线所形成的折线范围。

## 5.2 负荷容量

参考电流、电压输入回路的功率因数应在 0.8~1 之间，电流回路额定容量应不大于 5VA，电压回路额定容量不大于 0.2VA。

## 5.3 对时误差

校验仪应能接收 1PPS、IRIG—B(DC)或 GB/T 25931(IEC61588)协议对时信号，校验仪正常情况下对时误差最大允许误差绝对值不大于 300ns。

## 5.4 帧离散度测试

校验仪采样值报文帧离散度测试误差应不大于 3μs。

## 5.5 升降变差

校验仪在实验室校准环境条件下，各个误差点的升降变差应不大于其误差限值绝对值的 1/3。

## 5.6 测量重复性

10 次测量均值的实验标准偏差应不大于校验仪误差限值的 1/3。

## 5.7 百分表

用于指示参考电流和参考电压大小的百分表，示值误差绝对值应小于 1%。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境条件要求如下：

- a) 环境温度：(20±5)℃；
- b) 相对湿度：不大于 80%；
- c) 供电电源：电压 (220±11)V、频率 (50±0.5)Hz；
- d) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

## 6.2 标准器及配套设备

### a) 工频数字比例电源

用于提供参考模拟信号和叠加差值后的输入信号。

工频比例电源输出的参考电流范围 0.05A~6A，参考电压范围 20V~120V；

输出比值误差范围：(0.001~10)%、相位误差范围：(0.001~500)′；

准确度等级不低于 0.2 级。

### b) I/V 转换器

将输入电流信号转换为适用于标准采样系统对应量程的电压信号，其额定电流为 5A，最大电流 6A，I/V 转换器的测量不确定度不大于  $2 \times 10^{-5}$  ( $k=2$ )。

### c) 感应分压器

将输入电压信号转换为适用于标准采样系统对应量程的电压信号，其额定电压不小于 120V，准确度等级不低于 0.001 级。

### d) 采样系统

标准采样系统将输入信号按规定协议转换后同步输入给校验仪的被测通道。其最大允许误差绝对值不大于  $2 \times 10^{-5}$ 。

### e) 互感器负荷箱测试仪

测量校验仪电压通道和电流通道负荷容量，最大允许误差绝对值不大于 0.5%。

### f) 同步时钟测试仪

用于对被测电子式互感器校验仪的对时功能进行测量，其输出延时可调，对时准确度 100ns。可以设置用被测校验仪输出同步信号移相输出，或同时输出两路给被测校验仪。

### g) 帧特性测试仪

用于对电子式互感器校验仪的帧离散度测试功能进行校验。可调节报文的离散度和输出传输延时。离散度分辨率优于 200ns。

### h) 同步触发装置

接受外触发同步信号或发出同步信号,提供标准采样系统的时间同步基准,其中光 PPS 与电 PPS 的同步误差不大于 50ns。

#### i) 光电以太网转换器

用于将来自计算机网口发出的电以太网数据转换成光以太网数据供电子式互感器校验仪进行数据处理。

以上各项功能还可通过电子式互感器校验仪整体校验装置实现。校验装置或分立部件进行校准时其测量不确定度应不大于被测校验仪误差限值绝对值的 1/3。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目见表 3。

表 3 校准项目

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	电压通道基本误差	5.1	7.2.1/7.2.3
2	电流通道基本误差	5.1	7.2.2/7.2.3
3	负荷容量	5.2	7.2.4
4	对时误差	5.3	7.2.5
5	帧离散度测试	5.4	7.2.6
6	升降变差	5.5	7.2.7
7	测量重复性	5.6	7.2.7
8	百分表	5.7	7.2.7

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 电压通道基本误差

用工频比例电源的电压功能输出两路模拟信号 $\Delta U/U$ ,参考电压  $U$  通道直接输入给电子式互感器校验仪的标准输入通道,参考电压叠加差压信号 $(U+\Delta U)$ 后经感应分压器降压后接入标准采样系统。标准变比根据被测电子式互感器校验仪的变比设置进行相应置位,电子式互感器校验仪通过同步信号与标准采样系统进行同步,同时将采样系统的同步采样数据组包后按规定协议经电以太网-光纤转换后输入给校验仪的被测通道,校验仪测量标准和被测得到比值误差和相位误差,测量结果为 10 次测量的均值。校准接线如图 1 所示。

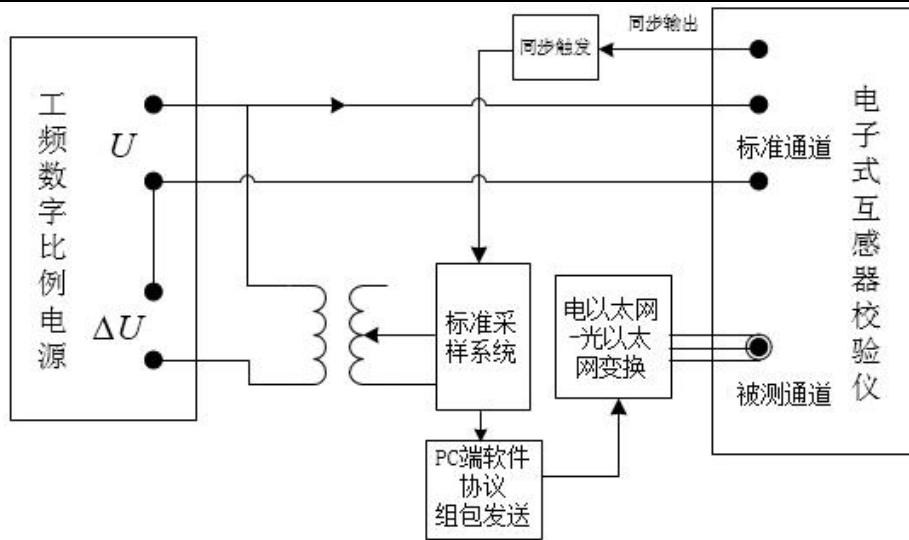


图1 电子式互感器校验仪电压通道基本误差校准接线图

按(1)式和(2)式计算比值误差和相位误差。

### 7.2.2 电流通道基本误差

用工频数字比例电源的电流功能输出两路模拟信号 $\Delta I/I$ ，参考电流 $I$ 通道直接输入给电子式互感器校验仪的标准输入通道，参考电流叠加差流信号 $(I+\Delta I)$ 后经 $I/V$ 转换输出后接标准采样系统。标准变比根据被测电子式互感器校验仪的变比设置进行相应置位，电子式互感器校验仪通过同步信号与标准采样系统进行同步，同时将采样系统的同步采样数据组包后按规定协议经电以太网-光纤转换后输入给校验仪的被测通道，校验仪分别测量标准和被测得到比值误差和相位误差，测量结果为10次测量的均值。校准接线如图2所示。

比值误差和相位误差的计算公式如(1)和(2)所示。

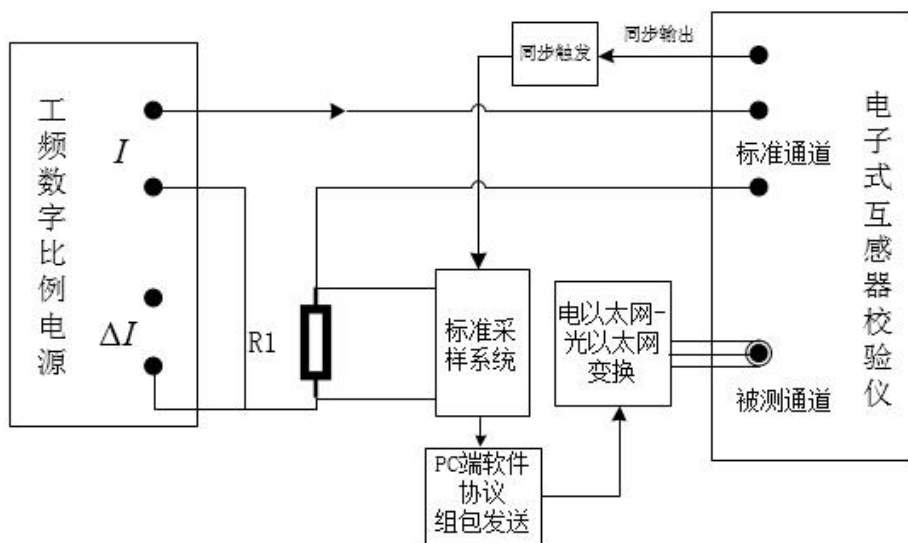


图2 电子式互感器校验仪电流通道基本误差校准接线图

### 7.2.3 校准点选取

根据被校校验仪的量程选取测量点，额定量程的百分数应按表 1 和表 2 的误差限值点要求进行选取；工频比例电源的误差设定范围为比值误差： $-0.5\% \sim +0.5\%$ ，相位误差： $-90' \sim +90'$ 。每个额定量程百分数下的校准点应包含零位点，并在零位左右对称选取。

### 7.2.4 负荷容量

按 JJF1264-2010《互感器负荷箱》校准规范的要求分别对校验仪的电流通道和电压通道分别进行校准，阻抗接线采用四端接线，导纳校准采用二端接线，分别得到电流通道和电压通道的负荷容量和功率因数，校准结果应满足本规范 5.2 的技术要求。

### 7.2.5 对时误差

校准接线如图 3 所示。

a) 对时误差通过校验仪输出的 1PPS(Pulse-Per-Second)信号与同步时钟测试仪的 1PPS 信号比较获得；

校验仪输出 1PPS 信号，同步时钟测试仪接收校验仪输出的 1PPS 信号，以接收到的 PPS 信号为参考信号，输出延时可调的 PPS 信号，校验仪测量自身输出的 PPS 信号和接收到的时间测试仪输出的 PPS 信号有效沿之间的时间差的绝对值 $\Delta t$ ，连续测量 10 分钟，这段时间内测得的 $\Delta t$ 的最大值即为最终测试结果。

b) 校验仪能同步输入对时，同时能测试对时误差；

需要同步时钟测试仪输出两路时延可调的 PPS，校验仪接受 2 路 PPS 信号有效沿之间的时间差的绝对值 $\Delta t$ ，连续测量 10 分钟，这段时间内测得的 $\Delta t$ 的最大值即为最终测试结果。

校准结果应满足本规范 5.3 的技术要求。

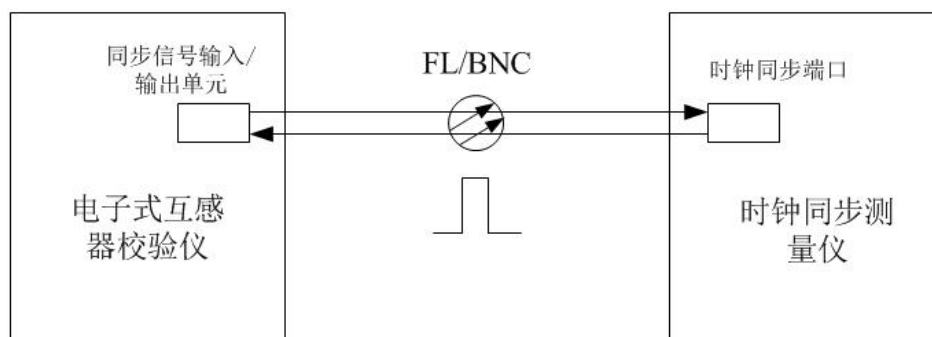


图 3 电子式互感器校验仪对时误差校准接线图

### 7.2.6 帧离散度测试

同步输出模式，校验仪帧离散度校准的接线如图 4 所示。

- 帧特性测试仪报文输出至校验仪，同时帧特性测试仪的时钟与校验仪时钟同步；
- 设置帧特性测试仪对应报文输出，设定帧特性测试仪输出报文时间间隔；
- 校验仪连续测试 10min，测得的最大值即为最终测试结果。

校准结果应满足本规范 5.4 的技术要求。

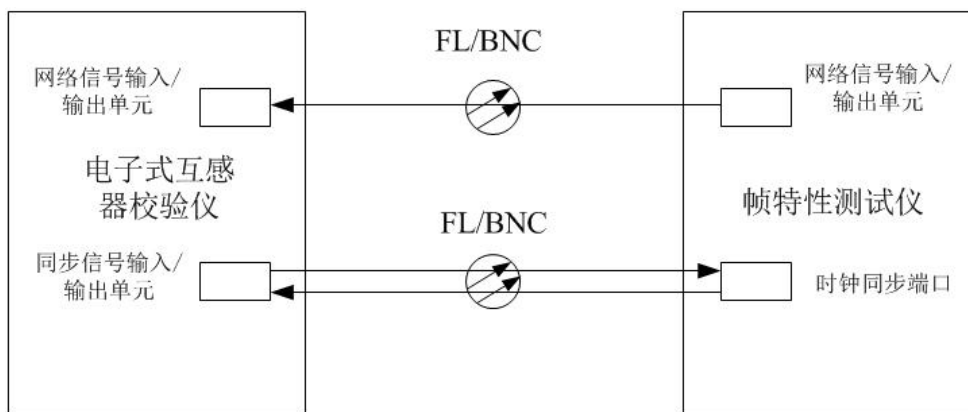


图 4 电子式互感器校验仪帧离散度校准接线图

### 7.2.7 升降变差、测量重复性与百分表

升降变差、测量重复性与百分表的校准和基本误差的测量同时完成，测量结果为 10 次测量的平均值，升降变差的测量同时也体现了被测校验仪的短期稳定性。比较标准装置额定电压百分数测量结果与校验仪的显示的百分数。校准结果应满足本规范 5.5-5.7 的技术要求。

## 8 校准结果表达

校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- 标题，如“校准证书”；
- 实验室名称和地址；
- 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- 客户的名称和地址；
- 被校对象的描述和明确标识；
- 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说明；
- 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

## 电子式互感器校验仪测量不确定度评定示例

## A.1 电压通道测量不确定度评定

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对电压通道进行测量结果的不确定度评定。

## A.1.1 测量模型

假定标准测量系统采样得到的基波有效值为  $A_1$ ，基波初相角为  $\varphi_1$ ；被测电子式互感器校验仪测量得到的基波有效值为  $A_2$ ，基波初相角为  $\varphi_2$ ，则电子式互感器校验仪的比值误差由公式(1)计算：

$$f = \frac{A_2 - A_1}{A_1} \times 100\% \quad (1)$$

电子式互感器校验仪的相位误差可由公式(2)计算：

$$\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 \quad (2)$$

## A.1.2 测量不确定度主要来源

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) 由采样系统年稳定性引入的不确定度  $u_{B1}$ ，采用 B 类方法评定；
- (3) 由采样系统量化误差引入的不确定度  $u_{B2}$ ，采用 B 类方法评定；
- (4) 由采样系统触发抖动引入的不确定度  $u_{B3}$ ，采用 B 类方法评定；
- (5) 由采样系统响应时间引入的不确定度  $u_{B4}$ ，采用 B 类方法评定；
- (6) 由采样系统带宽引入的不确定度  $u_{B5}$ ，采用 B 类方法评定；
- (7) 由采样系统积分时间引入的不确定度  $u_{B6}$ ，采用 B 类方法评定；
- (8) 由感应分压器引入的不确定度  $u_{B7}$ ，采用 B 类方法评定；
- (9) 由工频比例电源引入的不确定度  $u_{B8}$ ，采用 B 类方法评定；

## A.1.3 测量重复性引入的不确定度评定

重复性测量结果见表 A.1。

表 A.1 重复性测量结果评定

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	
比值差 ( $f\%$ )	0.207	0.200	0.197	0.207	0.206	0.202	0.192	0.200	0.205	0.195	0.2011	
相位差 ( $\delta'$ )	7.93	8.21	8.22	7.80	8.13	7.96	8.15	7.81	8.10	8.36	8.067	
Std( $f\%$ )	0.005259				10次平均 A 类分量				0.0016630			
Std( $\delta'$ )	0.1854				10次平均 A 类分量				0.0586			

A.1.4 由采样系统年稳定性引入的不确定度  $u_{B1}$ 

采样系统由上一级计量标准校准后，其年稳定性为  $4 \times 10^{-6}$ 。上一级计量标准的不确定度为  $5 \times 10^{-7}$ ，因此采样系统年稳定性给幅值测量引入的不确定度  $u_{B1} = 4 \times 10^{-6}$ 。



A.1.5 由采样系统量化误差引入的不确定度  $u_{B2}$ 

为了减小噪声对测量结果的影响, 测量时设定采样系统的积分时间为  $1.8\mu\text{s}$ 。此时采样系统的 AD 位数为 18 位。设其量程为  $D$ , AD 的分辨率为  $q$ , 对于电压测量  $D=10\text{V}$ 。则  $q = \frac{2D}{2^{18}}$ , 量化误差在  $[-q/2, q/2]$

上均匀分布, AD 的最大量化误差为  $|e_{\max}| = \frac{q}{2}$ 。而量化误差的方差:

$$\sigma_e^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (e - \bar{e})^2 p(e) de = \int_{-q/2}^{q/2} e^2 \frac{1}{q} de = \frac{q^2}{12}$$

因此  $\sigma_e = \frac{q}{2\sqrt{3}} = \frac{D}{2^{18}\sqrt{3}}$ 。

对于电压测量 A/D 的量化误差为  $\sigma_e = \frac{10}{2^{18}\sqrt{3}} = 2.2 \times 10^{-5}$ 。在额定电压 100% 点处的电压为  $6\text{V}$ , 则

$$u_{B2} = 2.2 \times 10^{-5} / \sqrt{2} = 2.6 \times 10^{-6}。$$

A.1.6 由采样系统触发抖动引入的不确定度  $u_{B3}$ 

当同步触发采样系统进行采样时, 虽然是等间隔采样, 但采样系统响应时间的抖动会导致采样点产生幅值误差, 采样系统的使用说明书给出的触发抖动为  $43\text{ns}$ , 设被测信号为:  $u = D \sin \omega t$ , 则

$\frac{du}{dt} = D\omega \cos \omega t$ , 由此产生的幅值误差为:

$$e_j = \frac{du}{dt} \times \Delta t = D\omega \times \Delta t \times \cos \omega t \leq D\omega \Delta t$$

则幅值误差的不确定度为:  $u_{B3} = \frac{10 \times 2 \times \pi \times 50 \times 43 \times 10^{-9}}{6 \times \sqrt{2} \times 2 \times \sqrt{3}} = 4.6 \times 10^{-6}$

A.1.7 由采样系统响应时间引入的不确定度  $u_{B4}$ 

采样系统外触发响应时间引入的不确定度为  $43\text{ns}$ , 对应  $50\text{Hz}$  下相位不确定度小于  $u_{B4} = 1.4 \times 10^{-5} \text{rad}$

A.1.8 由采样系统带宽引入的不确定度  $u_{B5}$ 

计算  $3\text{dB}$  带宽的频带不确定度小于  $5\text{kHz}$ , 由此引入的相位不确定度小于  $u_{B5} = 1 \times 10^{-5} \text{rad}$ 。

A.1.9 由采样系统积分时间引入的不确定度  $u_{B6}$ 

$50\text{Hz}$  下  $1.8\mu\text{s}$  积分时间带来的幅值衰减为:

$$\frac{\sin \frac{k\omega\Delta T}{2}}{\frac{k\omega\Delta T}{2}} = \frac{\sin 100\pi \times 1.8 \times 10^{-6}}{100\pi \times 1.8 \times 10^{-6}} = 0.999998355$$

其相对误差为  $u_{B6} = 1.75 \times 10^{-8}$ 。

采样系统的时基准确度为  $0.01\%$ , 则  $50\text{Hz}$  下  $1.8\mu\text{s}$  积分时间带来的相位不确定度为:

$$u_{B6} = \frac{\omega\Delta T}{2} \times 0.01\% = 50\pi \times 1.8 \times 10^{-6} \times 0.01\% = 2.8 \times 10^{-8} \text{rad}$$

A.1.10 由感应分压器引入的不确定度  $u_{B7}$ 

在电子式电压互感器校准时, 用 7 位感应分压器置位  $0.1039230$ , 此时根据上一级计量机构出具的校准证书表明, 该变比的比值误差为  $2 \times 10^{-6}$ , 相位误差为  $5 \times 10^{-6}$ , 则由感应分压器引入的测量不确定度为:

$$\text{比值误差: } u_{B7} = \frac{2 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 1.2 \times 10^{-6};$$

$$\text{相位误差: } u_{B7} = \frac{5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-6}$$

#### A.1.11 由工频比例电源引入的不确定度 $u_{B8}$

工频标准数字比例电源的准确度等级为 0.2 级, 当其输出的比值误差为 0.2%, 角差为 10' 时, 则由比例电源引入的不确定度为:

$$\text{比值误差: } u_{B8} = 0.2\% \times 0.2\% = 4 \times 10^{-6};$$

$$\text{相位误差: } u_{B8} = 10' \times 0.2\% = 0.02' = 5.8 \times 10^{-6} \text{rad}$$

#### A.1.12 标准不确定度的合成

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

$$\text{比值误差: } u_c = 1.9 \times 10^{-5}$$

$$\text{相位误差: } u_c = 2.5 \times 10^{-5} \text{rad}$$

表 A.2 不确定度分量表

不确定度来源	$f$	$\delta(\text{rad})$
测量重复性	$1.7 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
采样系统年稳定性	$4 \times 10^{-6}$	/
采样系统量化误差	$2.6 \times 10^{-6}$	/
采样系统触发动作	$4.6 \times 10^{-6}$	/
采样系统响应时间	/	$1.4 \times 10^{-5}$
采样系统带宽	/	$1 \times 10^{-5}$
采样系统积分时间	$1.8 \times 10^{-8}$	$2.8 \times 10^{-8}$
感应分压器	$1.2 \times 10^{-6}$	$2.9 \times 10^{-6}$
工频比例电源	$4 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$

#### A.1.13 扩展不确定度计算

取包含概率为 95%, 包含因子  $k=2$ , 所以扩展不确定度:

$$\text{比值误差: } U = k \times u_c = 2 \times 1.9 \times 10^{-5} = 4 \times 10^{-5}$$

$$\text{相位误差: } U = k \times u_c = 2 \times 2.5 \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-5} \text{rad}$$

#### A.2 电流通道测量不确定度评定

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法, 对电流通道进行测量结果的不确定度评定。

##### A.2.1 测量模型

同 A.1.1。

##### A.2.2 测量不确定度主要来源

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) 由采样系统年稳定性引入的不确定度  $u_{B1}$ , 采用 B 类方法评定;
- (3) 由采样系统量化误差引入的不确定度  $u_{B2}$ , 采用 B 类方法评定;
- (4) 由采样系统触发抖动引入的不确定度  $u_{B3}$ , 采用 B 类方法评定;
- (5) 由采样系统响应时间引入的不确定度  $u_{B4}$ , 采用 B 类方法评定;
- (6) 由采样系统带宽引入的不确定度  $u_{B5}$ , 采用 B 类方法评定;
- (7) 由采样系统积分时间引入的不确定度  $u_{B6}$ , 采用 B 类方法评定;
- (8) 由 I/V 转换误差引入的不确定度  $u_{B7}$ , 采用 B 类方法评定;
- (9) 由工频比例电源引入的不确定度  $u_{B8}$ , 采用 B 类方法评定;

### A.2.3 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.3。

表 A.3 测量结果及不确定度评定

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	
比值差 ( $f\%$ )	0.209	0.215	0.211	0.215	0.208	0.211	0.214	0.214	0.213	0.208	0.2118	
相位差 ( $\delta$ )	8.69	8.25	8.17	8.51	8.39	8.16	8.17	8.33	8.30	8.10	8.307	
Std( $f\%$ )	0.002780887				10 次平均 A 类分量				0.000879394			
Std( $\delta$ )	0.182759709				10 次平均 A 类分量				0.057793694			

### A.2.4 由采样系统年稳定性引入的不确定度 $u_{B1}$

同 A.1.4。

### A.2.5 由采样系统量化误差引入的不确定度 $u_{B2}$

同 A.1.5。

### A.2.6 由采样系统触发抖动引入的不确定度 $u_{B3}$

同 A.1.6。

### A.2.7 由采样系统响应时间引入的不确定度 $u_{B4}$

同 A.1.7。

### A.2.8 由采样系统带宽引入的不确定度 $u_{B5}$

同 A.1.8。

### A.2.9 由采样系统积分时间引入的不确定度 $u_{B6}$

同 A.1.9。

### A.2.10 由 I/V 转换误差引入的不确定度 $u_{B7}$

根据上一级计量机构出具的证书表明该 I/V 转换装置在 50Hz 下的角差优于  $1 \times 10^{-6}$ 。电阻值在直流下标定的数值为  $0.120001 \Omega$ 。

则转换误差引入的不确定度分量为:

比值误差:  $u_{B7} = 2 \times 10^{-5}$ ; 相位误差:  $u_{B7} = 2 \times 10^{-5} \text{rad}$ 。

A.2.11 由工频比例电源引入的不确定度  $u_{B8}$ 

同 A.1.11。

## A.2.12 标准不确定度的合成

根据以上分析,可列出标准不确定度分量表,如表 A.4 所示。由于各分量间相互独立,则合成标准不确定度为:

比值误差:  $u_c=2.4\times 10^{-5}$

相位误差:  $u_c=3.2\times 10^{-5}\text{rad}$

表 A.4 不确定度分量表

不确定度来源	$f$	$\delta(\text{rad})$
测量重复性	$8.8\times 10^{-6}$	$1.7\times 10^{-5}$
采样系统年稳定性	$4\times 10^{-6}$	/
采样系统量化误差	$2.6\times 10^{-6}$	/
采样系统触发动抖	$4.6\times 10^{-6}$	/
采样系统响应时间	/	$1.4\times 10^{-5}$
采样系统带宽	/	$1\times 10^{-5}$
采样系统积分时间	$1.8\times 10^{-8}$	$2.8\times 10^{-8}$
I/V 转换误差	$2\times 10^{-5}$	$2\times 10^{-5}$
工频比例电源	$4\times 10^{-6}$	$5.8\times 10^{-6}$

## A.2.13 扩展不确定度计算

取包含概率为 95%, 包含因子  $k=2$ , 所以扩展不确定度:

比值误差:  $U=k\times u_c=2\times 2.4\times 10^{-5}=4.8\times 10^{-5}$

相位误差:  $U=k\times u_c=2\times 3.2\times 10^{-5}=6.4\times 10^{-5}\text{rad}$

## 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				
一. 电压通道基本误差				
额定电压值:				
项目及误差			额定电压百分比	
示值	比值差 (%)	上升		
		下降		
		平均		
	相位差 (°)	上升		
		下降		
		平均		
实际值	比值差 (%)	上升		
		下降		
		平均		
	相位差 (°)	上升		
		下降		
		平均		
不确定度 ( $k=2$ )	比值差 (%)			
不确定度 ( $k=2$ )	相位差 (°)			

二. 电流通道基本误差											
额定电流值:											
项目及误差			额定电流百分比								
示值	比值差 (%)	上升									
		下降									
		平均									
	相位差 (°)	上升									
		下降									
		平均									
实际值	比值差 (%)	上升									
		下降									
		平均									
	相位差 (°)	上升									
		下降									
		平均									
不确定度 ( $k=2$ )		比值差 (%)									
不确定度 ( $k=2$ )		相位差 (°)									
三. 负荷容量											
测量点	有功分量	不确定度 ( $k=2$ )	无功分量	不确定度 ( $k=2$ )	负荷						
四. 对时误差											
PPS信号有效沿之间的时间差的绝对值 $\Delta t_{\max}$				不确定度 ( $k=2$ )							
五. 帧离散度测试											
校验仪采样值报文的离散度 $\Delta t_{\max}$				不确定度 ( $k=2$ )							
六. 升降变差											
升降变差最大值				不确定度 ( $k=2$ )							
比值误差		相位误差		比值误差		相位误差					
七. 测量重复性											
次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
比值差											
相位差											
比值差的实验标准偏差											
相位差的实验标准偏差											

八. 百分表			
标准值	示值	不确定度 ( $k=2$ )	相对误差

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	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



## 校准结果

一. 电压通道基本误差					
额定电压值:					
项目及误差		额定电压百分比			
示值	比值差 (%)				
	相位差 (')				
实际值	比值差 (%)				
	相位差 (')				
不确定度 ( $k=2$ )	比值差 (%)				
不确定度 ( $k=2$ )	相位差 (')				
二. 电流通道基本误差					
额定电流值:					
项目及误差		额定电流百分比			
示值	比值差 (%)				
	相位差 (')				
实际值	比值差 (%)				
	相位差 (')				
不确定度 ( $k=2$ )	比值差 (%)				
不确定度 ( $k=2$ )	相位差 (')				
三. 负荷容量					
测量点	有功分量	不确定度 ( $k=2$ )	无功分量	不确定度 ( $k=2$ )	负荷
四. 对时误差					
PPS信号有效沿之间的时间差的绝对值 $\Delta t_{\max}$			不确定度 ( $k=2$ )		
五. 帧离散度测试					
校验仪采样值报文的离散度 $\Delta t_{\max}$			不确定度 ( $k=2$ )		
六. 升降变差					
升降变差最大值			不确定度 ( $k=2$ )		
比值误差	相位误差		比值误差	相位误差	

七. 测量重复性			
比值差的实验标准偏差			
相位差的实验标准偏差			
八. 百分表			
标准值	示值	不确定度 ( $k=2$ )	相对误差
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。			