

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

## 5G 同步相量对时和定位测量装置 校准规范

Calibration Specification for 5G Synchronous Phasor  
Timing and Positioning Measuring Devices  
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 5G 同步相量对时和定位测 量装置校准规范

Calibration Specification for 5G  
Synchronous Phasor Timing and  
Positioning Measuring Devices

JJF XXXX-XXXX

归口单位：全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

北京鼎诚鸿安科技发展有限公司

国网北京市电力公司电力科学研究院

本规范主要起草人：

参与起草人：

# 目 录

引 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 概述 .....	1
5 计量特性 .....	2
6 校准条件 .....	3
7 校准项目及方法 .....	4
8 校准结果表达 .....	7
9 建议校准周期 .....	7
附录 A 含有 1 至 25 次谐波的参考正弦波 .....	8
附录 B 5G 同步相量定时和定位测量装置校准原始记录格式 .....	9
附录 C 5G 同步相量定时和定位测量装置校准证书内页格式（第 2 页） .....	12
附录 D 5G 同步相量定时和定位测量装置校准证书内页格式（第 3 页） .....	13
附录 E 不确定度评定 .....	16

# 引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范采用了JJG 1200-2023《全球导航卫星系统（GNSS）接收机（测地型和导航型）》、JJF 1403-2013《全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范》、JJF 2071-2023《便携式智能定位计时终端校准规范》、GB/T 26862-2011《电力系统同步相量测量装置检测规范》相关术语定义和部分技术内容。

本规范包含了对5G同步相量对时和定位测量装置的计量要求和具体校准项目，计量特性主要包括同步时间误差、守时性能（失星10h）、定位偏差、电参数。

本规范是首次制定。

# 5G 同步相量对时和定位测量装置校准规范

## 1 范围

本规范适用于基于5G通信的具有对时和定位功能的电力系统同步相量测量装置（以下简称装置）的校准。

## 2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJG 1200-2023 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（测地型和导航型）

JJF 1403-2013 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

JJF 2071-2023 便携式智能定位计时终端校准规范

GB/T 26862-2011 电力系统同步相量测量装置检测规范

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 术语和定义

### 3.1 同步相量测量装置 phasor measurement unit

利用全球导航卫星系统（GNSS）秒脉冲作为同步时钟构成的相量测量单元。可用于电力系统的动态监测、系统保护、系统分析和预测等领域，是保障电网安全运行的重要设备。

### 3.2 对时 timing

基于全球导航卫星系统（GNSS）授时功能，接收信号完成解算、测量、时间修正，并输出标准时间信息、时标信息。

## 4 概述

5G 同步相量对时和定位测量装置通过全球导航卫星系统（GNSS）实现自主定位和计时，利用秒脉冲作为同步时钟构成的相量测量单元，对输配网线路中电压、电流幅值、相位、时延等电参数进行实时监测。装置通常由 GNSS 模块、5G 通信模

块、FPGA、电压电流采样模块、电源模块、CPU 以及辅助测量电路组成。

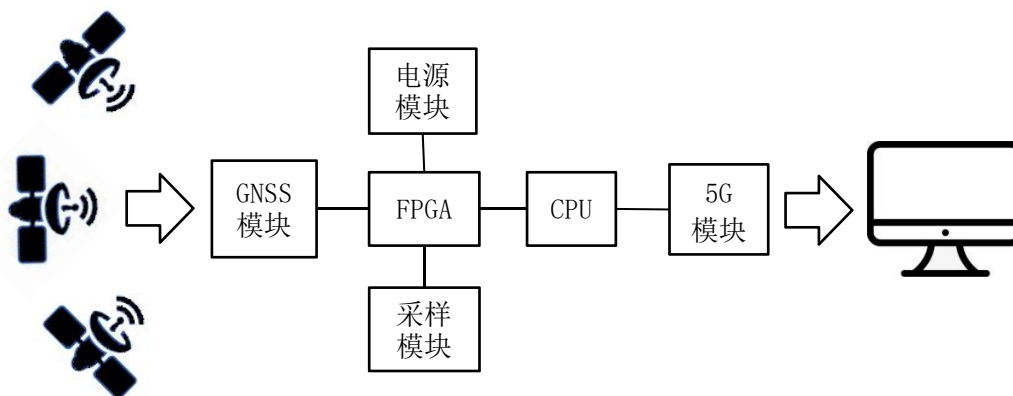


图 4-1 5G 同步相量对时和定位测量装置构成示意图

## 5 计量特性

### 5.1 一般特性

- (1) 外观：没有影响正常运行和读数的机械损伤、故障和异常现象。
- (2) 功能性：按照基波频率为 50Hz，装置可正确记录并分辨不低于 25 次谐波。

### 5.2 时间特性

- (1) 同步时间误差：不大于 200ns；
- (2) 守时性能（失星 10h）：失去同步时钟信号 10 小时内守时误差不大于 55  $\mu$ s；

### 5.3 定位偏差

定位偏差：不大于 10m。

### 5.4 电参数

#### (1) 电压幅值、电流幅值

电压幅值、电流幅值测量范围分别为  $0.1U_n \sim 2.0U_n$ （ $U_n$ 指 PT 二次额定电压）、 $0.1I_n \sim 2.0I_n$ （ $I_n$ 指 CT 二次额定电流），最大允许误差  $\pm 0.2\%$ ；

#### (2) 电压相角、电流相角

电压相角：测量范围  $0.1U_n \leq U < 0.5U_n$ ，最大允许误差  $\pm 0.5^\circ$ ；测量范围  $0.5U_n \leq U < 1.2U_n$ ，最大允许误差  $\pm 0.2^\circ$ ；测量范围  $1.2U_n \leq U < 2U_n$ ，最大允许误差  $\pm 0.5^\circ$ 。

电流相角：测量范围  $0.1I_n \leq I < 0.2I_n$ ，最大允许误差  $\pm 1^\circ$ ；测量范围  $0.2I_n \leq I < 0.5I_n$ ，最大允许误差  $\pm 0.5^\circ$ ；测量范围  $0.5I_n \leq I < 2I_n$ ，最大允许误差  $\pm 0.5^\circ$ 。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

- (1) 环境温度： $20^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ ，温度变化应不超过  $\pm 2^\circ\text{C}$ 。
- (2) 相对湿度： $\leq 80\%$ 。
- (3) 电源电压： $(198 \sim 242)\text{V}$ ，电源频率： $(50 \pm 2)\text{Hz}$ 。
- (4) 周围无影响仪器正常工作的干扰、机械振动及其他影响量。

### 6.2 校准用设备（测量标准及其他设备）

校准用设备对应功能的最大允许误差绝对值应不大于被校装置相应功能最大允许误差绝对值的  $1/3$ 。

#### (1) GNSS 驯服铷钟

UTC 偏差：优于  $1\mu\text{s}/\text{d}$ 。

#### (2) GNSS 信号模拟器

支持模拟 GNSS 卫星导航信号；

信号功率：输出范围  $(-140 \sim -50)\text{dBm}$ （带内功率），绝对误差应优于  $\pm 2\text{dB}$ ；

伪距精度：小于  $100\text{mm}$ 。

#### (3) 时间频率源

输出  $5\text{MHz}/10\text{MHz}$ 、 $1\text{PPS}$  信号。 $5\text{MHz}/10\text{MHz}$  信号频率准确度优于  $5 \times 10^{-11}$ ，稳定度优于  $5 \times 10^{-12}/\text{s}$ ； $1\text{PPS}$  信号不确定度优于  $40\text{ns}$  ( $k=2$ )。

#### (4) 时间间隔测量装置

测量范围应为  $1\text{ns} \sim 1000\text{s}$ ，测量不确定度优于  $2\text{ns}$  ( $k=2$ )。

#### (5) 标准功率源

能够输出三相电压、电流、功率和功率因数；

电压范围： $50\text{mV} \sim 1000\text{V}$ ，最大允许误差  $\pm 0.05\%$ ；

电流范围： $10\text{mA} \sim 50\text{A}$ ，最大允许误差  $\pm 0.05\%$ ；

输出相位范围： $0^\circ \sim 360^\circ$ ，最大允许误差  $\pm 0.03^\circ$ 。

#### (6) 信号发生器



频率范围：0.2Hz～2MHz；

输出波形：正弦波、三角波、方波、TTL 脉波。

## 7 校准项目及方法

### 7.1 校准项目

5G 同步相量对时和定位测量装置校准项目见表 1。

表 1 校准项目

序号	校准项目	条款
1	外观检查	7.2.1
2	功能性检查	7.2.2
3	同步时间误差	7.3.1
4	守时性能	7.3.2
5	定位偏差	7.4
6	电压幅值、电流幅值	7.5.1
7	电压相角、电流相角	7.5.2

### 7.2 一般特性

#### 7.2.1 外观

用目测的方法检查测量装置的外观和结构。被校测量装置不应有影响正常运行和读数的机械损伤、故障和异常现象。

#### 7.2.2 功能性检查

用信号发生器输出含有 1 至 25 次谐波的正弦波，检查被测装置是否能正确记录 1 至 25 次谐波，含有 1 至 25 次谐波的正弦波可参考附录 A。

### 7.3 时间特性

仪器连接如图 7-1。

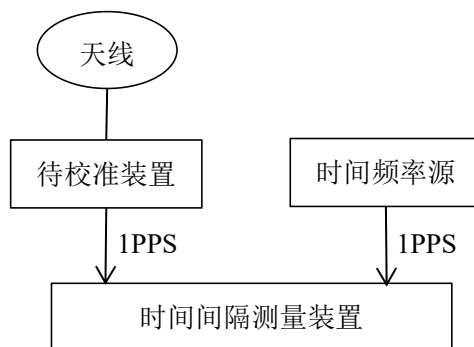


图 7-1 同步时间误差校准示意图

### 7.3.1 同步时间误差

由时间间隔测量装置测量得到被校准装置与时间频率源 1PPS 5h 的时差数据（采样间隔 1s），计算平均值，取绝对值作为同步时间误差。

### 7.3.2 守时性能（失星 10h）

关闭被校准装置接收同步时钟信号功能，由时间间隔测量装置测量得到被校准装置 1PPS 与参考时间频率源 10h 的时差数据（采样间隔 1s），作为守时性能指标。

## 7.4 定位偏差

仪器连接如图 7-2。

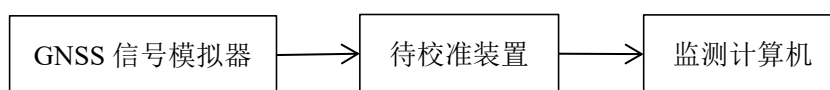


图 7-2 定位偏差校准示意图

采用模拟器法，校准步骤如下：

（1）打开 GNSS 信号模拟器定位偏差校准场景（此场景为静态场景，可见卫星为 6 颗，几何精度因子为 2.5，卫星均匀分布在天顶上空，信号功率置为-120dBm 或者按厂家接口电平指标），仿真时间大于 8h，模仪器开始仿真，记录仿真标准位置值  $(x_0, y_0, z_0)$ ；

（2）打开待校准装置，记录定位信息  $(x, y, z)$ （采样间隔按装置操作手册，如手册无规定可设为 30s），正常定位 8h 后，停止记录，计算装置的定位偏差  $\delta_p$ ，计算公式如下：

$$\delta_p = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2} \quad (1)$$

注： $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$  为装置测量值的算术平均值。

（该部分参照 JJF 1403-2013 《全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范》7.2.6 定位偏差和精密度）

## 7.5 电参数

将装置的电流测量回路串联在标准功率源电流输出回路，将装置的电压测量回路并联在标准功率源电压输出回路，采用标准功率源直接测量法确定测量误差，仪器连接示意图如图 7-3 所示。

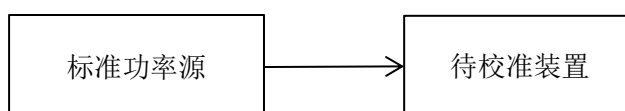


图 7-3 电参数测量校准示意图

## 7.5.1 电压幅值、电流幅值

## a) 零漂检查

在装置各测量回路不加任何激励量时(交流电压回路短路、交流电流回路开路),启动装置并对各相电压、电流测量值分别进行记录。各相电压回路的零漂值应小于 0.05V, 各相电流回路的零漂值应小于 0.05A。

## b) 交流电压幅值测量误差

将装置三相电压回路加入频率 50Hz、无谐波分量、对称三相测试信号, 在  $0.1U_n \sim 2.0U_n$  范围内选取不少于 3 个常用试验点进行电压幅值测量, 记录装置输出的三相电压幅值并计算测量误差。电压幅值测量误差的计算公式为:

$$\text{电压幅值测量误差} = \left| \frac{\text{幅值测量值} - \text{实际幅值}}{\text{电压基准值}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

注:相电压幅值的基准值为 1.2 倍的额定电压值, 即 70V。

## c) 交流电流幅值测量误差

将装置三相电流回路加入频率 50Hz、无谐波分量、对称三相测试信号, 在  $0.1I_n \sim 2.0I_n$  范围内选取不少于 3 个常用试验点进行电流幅值测量, 记录装置输出的三相电流幅值并计算测量误差。电流幅值测量误差的计算公式为:

$$\text{电流幅值测量误差} = \left| \frac{\text{幅值测量值} - \text{实际幅值}}{\text{电流基准值}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

注:相电流幅值的基准值为 1.2 倍的额定电流值, 即 1.2A (额定 1A) 或 6A (额定 5A)。

(该部分参照 GB/T 26862-2011《电力系统同步相量测量装置检测规范》 3.3 同步相量测量装置的功能及性能试验)

## 7.5.2 电压相角、电流相角

将装置三相电压和电流回路加入频率 50Hz、无谐波分量、对称三相测试信号。电压相位误差测量时, 分别在  $0.1U_n \leq U < 0.5U_n$ 、 $0.5U_n \leq U < 1.2U_n$ 、 $1.2U_n \leq U < 2U_n$  范围内选取 1 个试验点, 测量三相电压相位值并计算测量误差。电流相位误差测试应在额定电压测试条件下进行, 分别在  $0.1I_n \leq I < 0.2I_n$ 、 $0.2I_n \leq I < 0.5I_n$ 、 $0.5I_n \leq I < 2I_n$  范围内各选取 1 个试验点, 测量三相电流相位值并计算测量误差。电压相角、电流相角测量误差的计算公式为:

$$\text{电压相角、电流相角测量误差} = \text{相角测量值} - \text{实际相角} \quad (4)$$

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

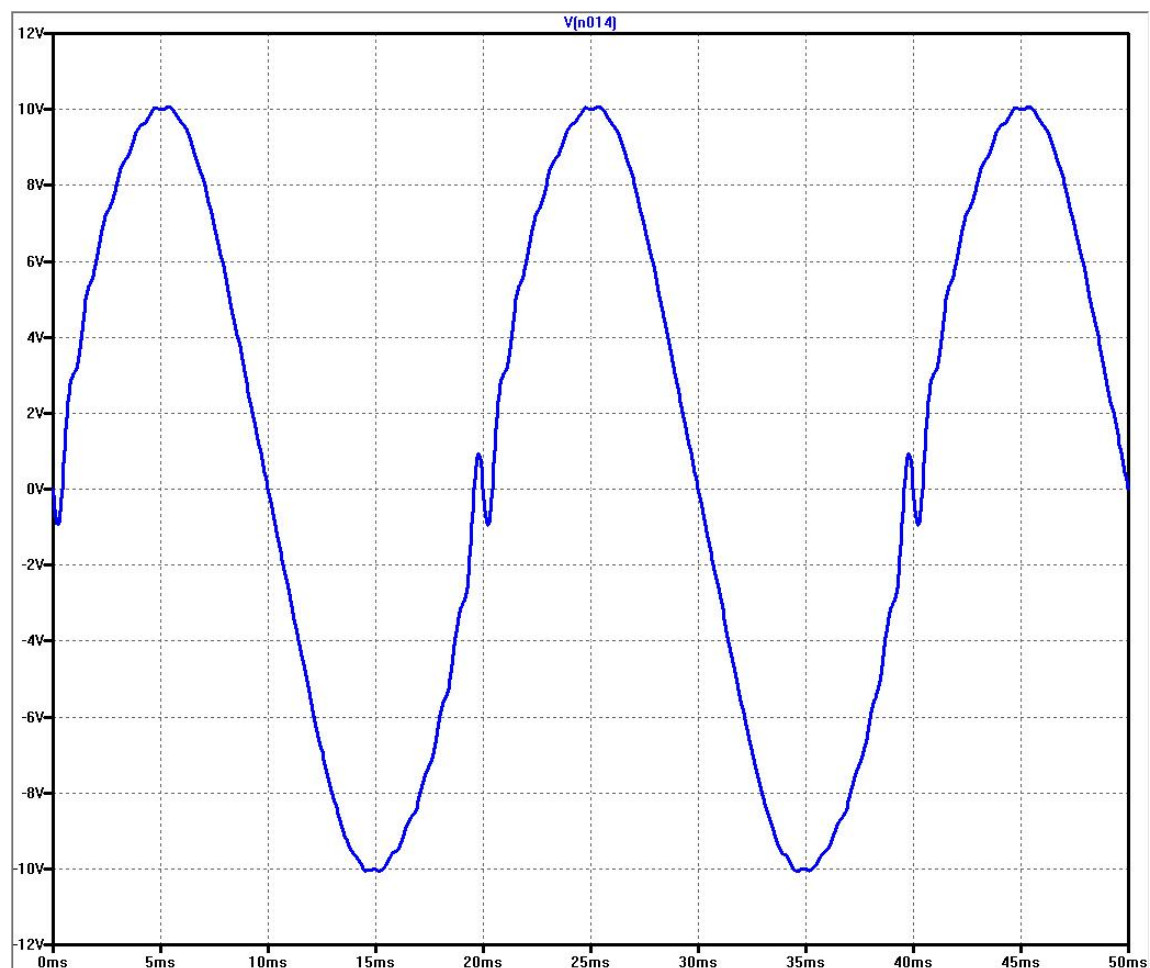
- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m)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

## 9 建议校准周期

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐不超过 12 个月。

## 附录 A 含有 1 至 25 次谐波的参考正弦波

如图为含有 1-25 次谐波的电压信号波形，基波幅值为 10V，1-25 次谐波含有率均为 1%。



## 附录 B 5G 同步相量对时和定位测量装置校准原始记录格式

## 5G 同步相量对时和定位测量装置校准原始记录

校准证书编号：\_\_\_\_\_ 校准日期：\_\_\_\_\_

委托方名称：\_\_\_\_\_

委托方地址：\_\_\_\_\_

仪器名称：\_\_\_\_\_ 型号/规格：\_\_\_\_\_ 出厂编号：\_\_\_\_\_

生产厂商：\_\_\_\_\_

所依据的技术文件(代号、名称)：\_\_\_\_\_

温度：\_\_\_\_\_℃ 相对湿度：\_\_\_\_\_ % 校准地点：\_\_\_\_\_

校准员：\_\_\_\_\_ 核验员：\_\_\_\_\_

校准使用的计量标准器具：

名称：\_\_\_\_\_ 型号：\_\_\_\_\_ 出厂编号：\_\_\_\_\_

测量范围：\_\_\_\_\_ 测量不确定度/准确度等级/最大允许误差：\_\_\_\_\_

标准器具证书号：\_\_\_\_\_ 标准器具有效期：\_\_\_\_\_

校准项目：

1.外观检查：

2.功能性检查：

3.时间特性：

3.1 同步时间误差

测量时间点数：

同步时间误差：

3.2 守时性能（失星 10h）

失去同步时钟信号 10h 装置的守时误差：

失去同步时钟信号 10h 装置的相角测量误差：

4.定位偏差

仿真标准位置值（ $x_0$ ， $y_0$ ， $z_0$ ）：

测量次数	测量值	定位偏差（m）


## 5.电参数

### 5.1 零漂

	A	B	C
电压 (V)			
电流 (A)			

### 5.2 电压幅值测量误差

序号	试验点	实际值 (V)	测量值 (V)	误差 (%)
1	A			
	B			
	C			
2	A			
	B			
	C			
3	A			
	B			
	C			
4	A			
	B			
	C			
5	A			
	B			
	C			
6	A			
	B			
	C			
7	A			
	B			
	C			

### 5.3 电流幅值测量误差

序号	试验点	实际值 (A)	测量值 (A)	误差 (%)
1	A			
	B			
	C			
2	A			
	B			

		C			
3		A			
		B			
		C			
4		A			
		B			
		C			
5		A			
		B			
		C			
6		A			
		B			
		C			
7		A			
		B			
		C			

#### 5.4 电压电流相角测量误差

	量程	试验点	实际值(°)	测量值(°)	误差(°)
电压	$0.1U_n \leq U < 0.5U_n$	AB			
		BC			
		CA			
	$0.5U_n \leq U < 1.2U_n$	AB			
		BC			
		CA			
	$1.2U_n \leq U < 2U_n$	AB			
		BC			
		CA			
电流	$0.1I_n \leq I < 0.2I_n$	AB			
		BC			
		CA			
	$0.2I_n \leq I < 0.5I_n$	AB			
		BC			
		CA			
	$0.5I_n \leq I < 2I_n$	AB			
		BC			
		CA			



## 附录 C 5G 同步相量对时和定位测量装置校准证书内页格式（第 2 页）

证书编号××××××-××××

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		
校准使用的计量（基）标准装置				
名    称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
校准使用的标准器				
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	有效期至

第 × 页 共 × 页

## 附录 D 5G 同步相量对时和定位测量装置校准证书内页格式（第 3 页）

证书编号××××××-××××××

## 校准结果

## 1.外观检查:

## 2.功能性检查:

## 3.时间特性:

## 3.1 同步时间误差

测量时间点数:

同步时间误差:

## 3.2 守时性能（失星 10h）

失去同步时钟信号 10h 装置的守时误差:

失去同步时钟信号 10h 装置的相角测量误差:

## 4.定位偏差

仿真标准位置值（ $x_0$ ， $y_0$ ， $z_0$ ）:

测量次数	测量值	定位偏差（m）

## 5.电参数

## 5.1 零漂

	A	B	C
电压（V）			
电流（A）			

## 5.2 电压幅值测量误差

序号	试验点	实际值（V）	测量值（V）	误差（%）
1	A			
	B			

		C			
2		A			
		B			
		C			
3		A			
		B			
		C			
4		A			
		B			
		C			
5		A			
		B			
		C			
6		A			
		B			
		C			
7		A			
		B			
		C			

## 5.3 电流幅值测量误差

序号	试验点	实际值 (A)	测量值 (A)	误差 (%)
1		A		
		B		
		C		
2		A		
		B		
		C		
3		A		
		B		
		C		
4		A		
		B		
		C		
5		A		
		B		
		C		
6		A		
		B		
		C		
7		A		
		B		
		C		

## 5.4 电压电流相角测量误差

	量程	试验点	实际值(°)	测量值(°)	误差(°)
电压	$0.1U_n \leq U < 0.5U_n$	AB			
		BC			
		CA			

	$0.5U_n \leq U < 1.2U_n$	AB				
		BC				
		CA				
	$1.2U_n \leq U < 2U_n$	AB				
		BC				
		CA				
电流	$0.1I_n \leq I < 0.2I_n$	AB				
		BC				
		CA				
	$0.2I_n \leq I < 0.5I_n$	AB				
		BC				
		CA				
	$0.5I_n \leq I < 2I_n$	AB				
		BC				
		CA				

## 附录 E 不确定度评定

5G 同步相量对时和定位测量装置（以下简称装置）的校准结果分为同步时间误差和守时性能校准结果、定位偏差校准结果、电压幅值校准结果、电流幅值校准结果、电压电流相角校准结果。

### 一、同步时间误差和守时性能

#### 1、测量方法

通过时间间隔测量装置测量被校准装置与时间频率源 1PPS 的时差。

#### 2、数学模型

$$\Delta = t_x - t_n$$

式中：

$t_x$  —— 被校装置 1PPS 的到达时间，ns；

$t_n$  —— 时间频率源 1PPS 的到达时间，ns。

#### 3、不确定度评定

同步时间误差校准的不确定度可以按以下公式计算：

$$u(\Delta) = \sqrt{u^2(t_x) + u^2(t_n)}$$

式中， $u(t_x)$ 、 $u(t_n)$ 分别为  $t_x$  和  $t_n$  的标准不确定度，其主要来源相同，如表 1 所示。

表 1  $t_x$  和  $t_n$  不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
时间频率源的不确定度	B	20ns			20ns
时间间隔测量装置	B	1ns			1ns
测量重复性	A				

参考以上主要不确定度来源和同步时间误差和稳定度校准结果：同步时间误差 22ns；稳定度 4ns，最终单次测量同步时间误差的合成不确定度为 21ns，扩展不确定度为 42ns（ $k=2$ ）。

守时性能（失星 10h）测量不确定度来源与同步时间误差测量相同，评估方法相同，故不确定度结果相同。

## 二、定位偏差

### 1、测量方法

利用卫星导航模拟器法对定位偏差进行校准，并对定位偏差测量结果的不确定度进行评定。

### 2、数学模型

$$\delta_p = \sqrt{(\bar{x} - x_0)^2 + (\bar{y} - y_0)^2 + (\bar{z} - z_0)^2}$$

式中：

$\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$  —— 被校装置测量坐标值的算术平均值，m；

$x_0$ 、 $y_0$ 、 $z_0$  —— 仿真标准位置值，m。

### 3、不确定度评定

$\bar{x}$ 、 $x_0$ 、 $\bar{y}$ 、 $y_0$ 、 $\bar{z}$ 、 $z_0$  不确定度主要来源相同，如表 2 所示。

表 2  $\bar{x}$ 、 $x_0$ 、 $\bar{y}$ 、 $y_0$ 、 $\bar{z}$ 、 $z_0$  不确定度来源

不确定度来源	类型	值	分布	因子	标准不确定度
模拟器伪距精度 $u_1$	B	0.06m	/	2	0.03m
由通道间误差引起的模拟器伪距不确定度 $u_2$	B	0.1m	均匀	$\sqrt{3}$	0.03m
待检装置显示分辨力 $u_3$	B	1m	均匀	$\sqrt{3}$	0.29m
测量重复性 $u_4$	A				

经过对装置的定位偏差校准，确定由测量重复性引入的不确定度分量为 0.1m。参考以上主要不确定度来源，并估计各不确定度分量之间无相关性，因此确定合成不确定度  $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.4\text{m}$ ，扩展不确定度为 1m ( $k=2$ )。

## 三、电压幅值测量

### 1、测量方法

利用 6100A 功率标准源作为标准器，采用直接测量法，对 5G 同步相量对时和定位测量装置电压测量 57.7V 点进行校准，对电压示值误差测量结果的不确定度进行评定。

## 2、数学模型

$$\Delta = U_x - U_n$$

式中：

$U_x$  —— 被校装置电压测量值，V；

$U_n$  —— 标准源输出电压值，V；

## 3、不确定度评定

本文以电压 57.7V 为例进行分析。由测量模型可知，示值误差的不确定度是由  $U_x$ 、 $U_n$  引入。

### 3.1 被校装置引起的不确定度分量 $u(U_x)$ ：

a) 被校装置分辨力引起的标准不确定度  $u_1(U_x)$

测量电压 57.7V，被校装置的分辨力为 0.0001 V，按均匀分布，包含因子  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(U_x) = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} \approx 0.00003(\text{V})$$

b) 被校装置重复性引起的标准不确定度  $u_2(U_x)$

在相同条件下，重复测量 10 次，数据如下：

单位：V

测量次数	1	2	3	4	5
测量值	57.7567	57.6813	57.6899	57.7521	57.6813
测量次数	6	7	8	9	10
测量值	57.6927	57.7190	57.6870	57.7045	57.7196

$$\text{单次测量的标准差 } s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10-1}} \approx 0.02648(\text{V})$$

$$u_2(U_x) = s(x_i) \approx 0.02648(\text{V})$$

被校装置读数的重复性和分辨力存在重复，且分辨力引起的不确定度分量远远小于重复性引起的不确定度分量，故舍去分辨力引起的不确定度分量。

$$u(U_x) = 0.02648(\text{V})$$

### 3.2 标准源引起的标准不确定度 $u(U_n)$

标准源电压输出 57.7V, 频率 50Hz 时, 输出的准确度为  $\pm(120 \times 10^{-6} \text{输出} + 8.8 \text{mV})$ , 在此区间按均匀分布, 包含因子  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u(U_n) = \frac{57.7 \times 0.012\% + 0.0088}{\sqrt{3}} \approx 0.00908(\text{V})$$

### 4 合成不确定度 $u_c(\Delta)$

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.0265^2 + 0.0091^2} \\ \approx 0.0280(\text{V})$$

### 5 扩展不确定度

取置信概率  $P=95\%$ , 包含因子  $k=2$ , 则扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.0280 = 0.0560(\text{V});$$

$$U_{\text{rel}} = 0.097\%$$

## 四、电流幅值测量

### 1、测量方法

利用 6100A 功率标准源作为标准器, 采用直接测量法, 对 5G 同步相量对时和定位测量装置电流测量 5A 点进行校准, 对电流示值误差测量结果的不确定度进行评定。

### 2、数学模型

$$\Delta = I_x - I_n$$

式中:

$I_x$  —— 被校 5G 同步相量对时和定位测量装置电流测量值, A;

$I_n$  —— 标准源输出电流值, A;

### 3、不确定度评定

本文以电压 5A 为例进行分析。由测量模型可知, 示值误差的不确定度是由  $I_x$ 、 $I_n$  引入。

#### 3.1 被校装置引起的不确定度分量 $u(I_x)$ :

a) 被校装置分辨力引起的标准不确定度  $u_1(I_x)$

测量电流 5A, 被校装置的分辨力为 0.0001A, 按均匀分布, 包含因子  $k=\sqrt{3}$ ,



则：

$$u_1(I_x) = \frac{0.0001}{2\sqrt{3}} \approx 0.00003(\text{A})$$

b) 被校装置重复性引起的标准不确定度  $u_2(I_x)$

等精度独立测量十次，数据如下：

单位：A

测量次数	1	2	3	4	5
测量值	4.9991	5.0017	5.0030	5.0021	5.0019
测量次数	6	7	8	9	10
测量值	4.9985	5.0009	5.0015	5.0013	4.9988

$$\text{单次测量的标准差 } s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10-1}} \approx 0.00154(\text{A})$$

$$u_2(I_x) = s(x_i) \approx 0.00154(\text{A})$$

被校装置引起的标准不确定度取分辨力和重复性引起的标准不确定度中较大的即：

$$u(I_x) = 0.00154(\text{A})$$

### 3.2 标准源引起的标准不确定度 $u(I_n)$

标准源电压输出 5A, 频率 50Hz 时, 输出的准确度为  $\pm(139 \times 10^{-6} \text{ 输出} + 0.12 \text{mA})$ , 在此区间接均匀分布, 包含因子  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u(I_n) = \frac{5 \times 0.014\% + 0.00012}{\sqrt{3}} \approx 0.00047(\text{A})$$

### 4、合成不确定度 $u_c(\Delta)$

$$u_c(\Delta) = \sqrt{0.00154^2 + 0.00047^2} \approx 0.00161(\text{A})$$

### 5、扩展不确定度

取置信概率  $P=95\%$ , 包含因子  $k=2$ , 则扩展不确定度为:

$$U = 2 \times 0.00161 = 0.00322(\text{A});$$

$$U_{\text{rel}} = 0.064\%$$

## 五、相角测量

### 1、测量方法

利用 6100A 功率标准源作为标准器，采用直接测量法，对 5G 同步相量对时和定位测量装置相位测量进行校准，并对校准结果的不确定度进行评定。

### 2、数学模型

$$\Delta = \varphi_x - \varphi_0$$

式中：

$\varphi_x$  —— 被校 5G 同步相量对时和定位测量装置相位测量值，度；

$\varphi_0$  —— 标准源输出相位值，度；

### 3、不确定度评定

选定电压 57.7V，电流 5A，频率 50Hz。

表 3 相位测量结果不确定度分量一览表

不确定度因素	估计值	不确定度分量 $u$	概率分布
标准源输出准确度	120°	0.002°	均匀
被校装置分辨力	0.001°	0.0003°	均匀
$u_c(\Delta)$	120°	0.002°	均匀
$U(k=2)$		0.004°	

———以下空白———

