

河北省地方计量技术规范

JJF(冀)210-2023

钳形数字相位伏安表校准规范

Calibration Specification for Clamp Digital Phase voltmeters

2023-02-23 发布

2023-05-01 实施

河北省市场监督管理局 发布

钳形数字相位伏安表校准规范

Calibration Specification for Clamp Digital

Phase voltmeters

JJF(冀) 210—2023

归口单位：河北省市场监督管理局

主要起草单位：河北省计量监督检测研究院

本规范委托河北省计量监督检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

贾祎冬（河北省计量监督检测研究院）

赵冬松（河北省计量监督检测研究院）

李凌云（河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：

李德亨（河北省计量监督检测研究院）

侯宗贤（河北省计量监督检测研究院）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 概述.....	(1)
4 计量特性.....	(2)
4.1 交流电压、交流电流与交流功率的示值误差.....	(2)
4.2 相位的示值误差.....	(2)
4.3 测量范围和最大允许误差.....	(3)
5 校准条件.....	(3)
5.1 环境条件.....	(3)
5.2 测量标准及其他设备.....	(3)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 校准项目	(3)
6.2 校准方法	(4)
7 校准结果表达.....	(8)
8 复校时间间隔.....	(9)
附录 A 测量结果不确定度评定示例.....	(10)
附录 B 校准原始记录格式	(14)
附录 C 校准证书内页格式	(15)

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 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF1001—2011《通用计量术语及定义》编制。

本规范在参考了 JJF 1075—2015《钳形电流表校准规范》、JJF 1491—2014《数字式交流电参数测量仪校准规范》等文件的基础上，结合国内钳形数字相位伏安表的质量控制现状制订。

本规范为首次制订。

钳形数字相位伏安表校准规范

1 范围

本规范适用于交流电压测量范围 0.1 V~600 V, 交流电流测量范围 10 mA~500 A, 相位测量范围(0~360) °, 交流功率测量范围 1 mW~300 kW, 输入信号频率范围 45 Hz~65 Hz 的钳形数字相位伏安表(以下简称相位伏安表)的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文献:

JJF1075—2015 钳形电流表校准规范

JJF1491—2014 数字式交流电参数测量仪校准规范

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 概述

钳形数字相位伏安表是专为现场测量电压、电流、功率、相位的单通道、双通道和三通道的数显测量仪表。它的特点是在不断开回路的情况下, 可以通过电压端子测量电压, 采用钳形电流传感器测量电流, 通过 A/D 转换方式和数据处理显示功率和相位。钳形数字相位伏安表的基本组成如图 1 所示。其主要功能是用来测量 $U-U$ 、 $I-I$ 及 $U-I$ 之间的相位, 判别感性、容性电流及三相电压的相序, 检测变压器的接线组别。

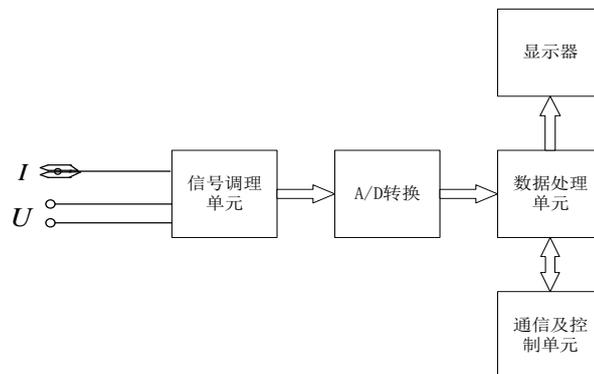


图 1 钳形数字相位伏安表基本组成框图

4 计量特性

4.1 交流电压、交流电流与交流功率的示值误差

钳形数字相位伏安表交流电压、交流电流与交流功率的示值误差可采用公式(1)~(3)中的一种进行表示,具体采用何种表示方式,应根据制造商说明书,或按客户和制造商双方达成的技术协议。

$$\Delta = \pm(a\%A_x + b\%A_m) \quad (1)$$

$$\Delta = \pm(a\%A_x + n) \quad (2)$$

$$\gamma = \pm\left(a\% + b\%\frac{A_m}{A_x}\right) \quad (3)$$

式中:

Δ_{\max} ——用绝对误差表示的最大允许误差, V、A 或 W;

γ_{\max} ——用相对误差表示的最大允许误差, %;

A_x ——被校仪器的读数值, V、A 或 W;

A_m ——被校仪器的量程值, V、A 或 W;

a ——与读数有关的误差系数;

b ——与量程有关的误差系数;

n ——以数字表示的绝对误差项, $n = b\%A_m$ 。

4.2 相位的示值误差

相位示值以绝对误差表示的示值误差公式为:

$$\Delta_{\max} = \Phi_x - \Phi_n \quad (4)$$

式中:

Δ_{\max} ——相位示值误差, °;

Φ_x ——相位伏安表相位显示值, °;

Φ_n ——标准源输出相位值, °。

4.3 测量范围和最大允许误差

相位伏安表交流电压、交流电流、交流功率和相位的测量范围和最大允许误差见表 1。

表 1 测量范围和最大允许误差

校准参数	测量范围	最大允许误差 $\pm(a+b)$
交流电压	100 mV~600 V	$\pm 0.2\%$ 及以下
交流电流	10 mA ~500 A	$\pm 0.2\%$ 及以下
交流功率	1 mW~300 kW	$\pm 0.2\%$ 及以下
相位	0 °~360 °	± 1.0 °及以下

注：由于校准不判断合格与否，故上述计量特性要求仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：(20 \pm 5) °C；

5.1.2 相对湿度：(55 \pm 20) %；

5.1.3 电源频率：(50 \pm 0.5) Hz；

5.1.4 电源电压：(220 \pm 22) V；

5.1.5 其他：无影响测量结果的振动、电磁干扰等。

5.2 测量标准及其它设备

采用标准源对相位伏安表各测量参数进行校准。

校准时由标准器、配套设备和环境条件引起的各测量参数测量扩展不确定度或最大允许误差应小于被校相位伏安表的最大允许误差绝对值的 1/3，测量范围要完全覆盖被校相位伏安表的测量范围。

校准所用标准装置在 30 s 内的稳定性和调节细度应小于被校相位伏安表相应测量参数最大允许误差绝对值的 1/10。

校准所用标准装置必须经过有效量值溯源。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

相位伏安表校准项目（见表 2）

表 2 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款
1	交流电压	6.2.3
2	交流电流	6.2.4
3	相位	6.2.5
4	交流功率	6.2.6

注：根据相位伏安表功能和用户的要求选择校准项目。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前检查

- a) 相位伏安表外观应完整无破损，标识清晰，有出厂编号、生产厂家等；
- b) 相位伏安表通电后应显示清晰，按照说明书要求进行预热并工作正常，各种开关及功能键工作正常。

6.2.2 校准接线

单相相位伏安表、双钳相位伏安表和三相相位伏安表接线图分别见图 2、图 3、图 4 和图 5。

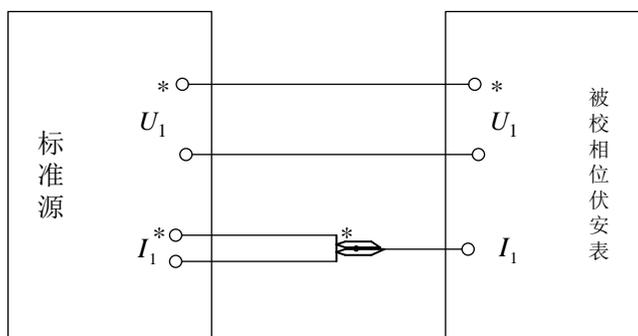


图 2 单相钳形数字相位伏安表校准接线图

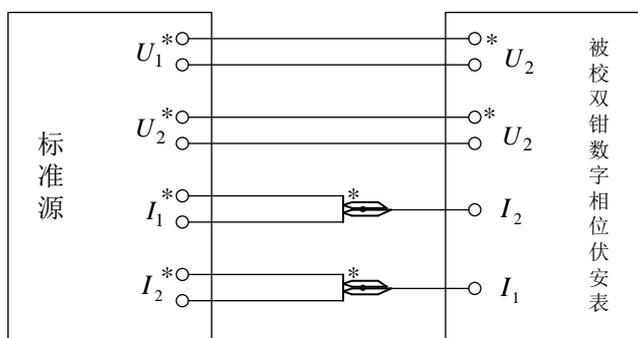


图 3 双钳数字相位伏安表校准接线图

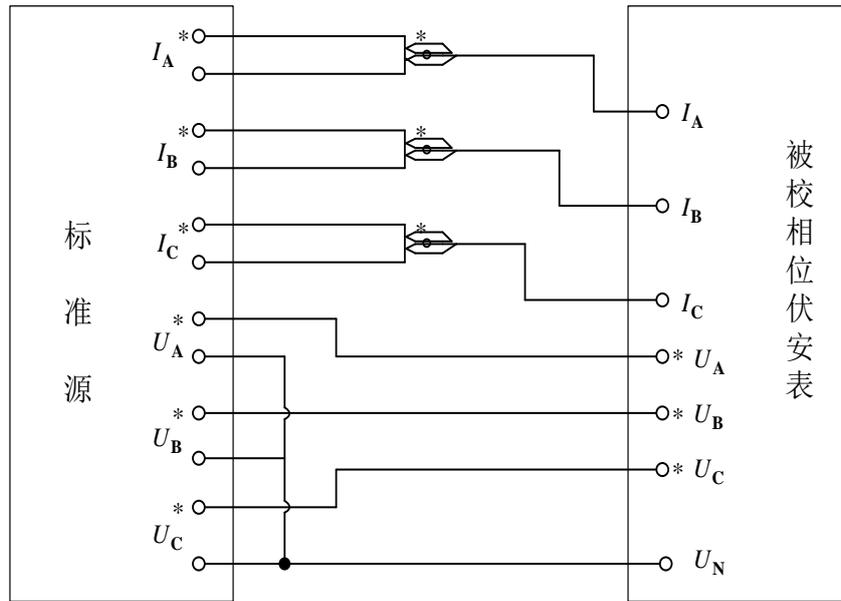


图4 钳形数字相位伏安表三相四线校准接线图

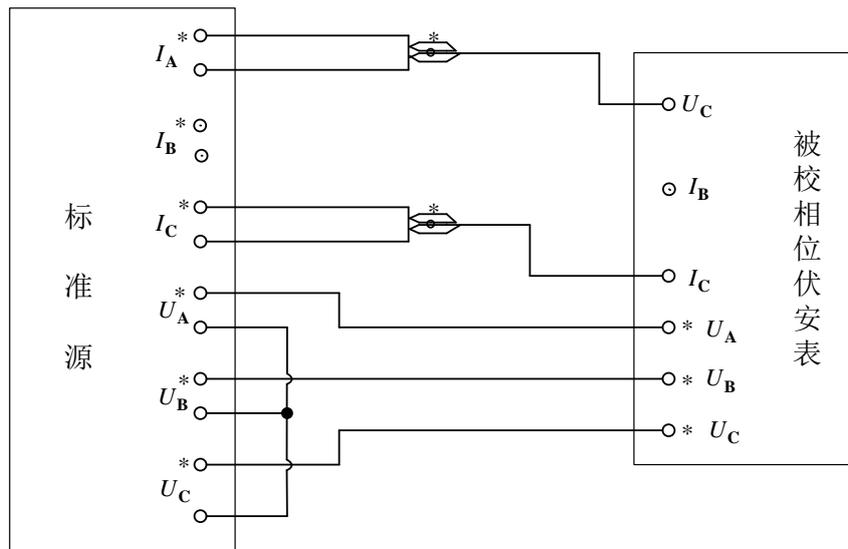


图5 钳形数字相位伏安表三相三线校准接线图

注：图中“*”为同名端。

6.2.3 校准点的选择

a) 相位伏安表的不同功能，不同量程有不同的技术指标，对多量程相位伏安表一般选取误差限最小的量程最为基本量程档，其他量程为非基本量程。

b) 有额定频率范围的相位伏安表在 50Hz 下进行校准。

c) 基本量程档，在测量范围内均匀选取 5 个校准点，非基本量程档，在测量范围内均匀选取 3 个校准点。

d)也可根据用户要求选取制定基本量程,频率和校准点。

6.2.4 交流电压

使用标准源对交流电压校准,接线方式参照 6.2.2。启动标准源输出电压,读取相位伏安表显示值及标准源输出值,在测量范围内均匀选取不少于 5 个校准点来进行电压示值误差的校准,并按公式(5)计算电压示值误差,按公式(6)计算电压相对误差。

$$\Delta = U_x - U_n \quad (5)$$

$$\text{相对误差 } \gamma \text{ 为: } \gamma = \frac{U_x - U_n}{U_n} \times 100\% \quad (6)$$

式中: Δ ——相位伏安表的示值误差, V;

γ ——相位伏安表的相对误差,%。

U_x ——相位伏安表显示值, V;

U_n ——标准源的输出实际值, V。

6.2.5 交流电流

使用标准源对交流电流校准,接线方式参照 6.2.2。将标准电流源导线置于钳口近似几何中心位置,启动标准源调节输出电流,读取相位伏安表电流显示值及标准源输出值,在测量范围内均匀选取不少于 5 个校准点来进行电流示值误差的校准,按公式(7)计算显示电流示值误差,并按公式(8)计算电流相对误差。

$$\Delta = I_x - I_n \quad (7)$$

$$\text{相对误差 } \gamma \text{ 为: } \gamma = \frac{I_x - I_n}{I_n} \times 100\% \quad (8)$$

式中: Δ ——相位伏安表的示值误差, A;

γ ——相位伏安表的相对误差, %。

I_x ——相位伏安表显示值, A;

I_n ——标准源的输出实际值, V。

对于钳形大电流（大于 100A）的校准可采用单通道等安匝法进行电流校准，校准原理如图 6。相位伏安表的放置位置，调节校准指示点等步骤同上，启动标准源调节输出电流，读取相位伏安表电流显示值及标准源输出值，则示值误差按公式(9) 计算，并按公式(10)计算电流相对误差：

$$\Delta = I_x - KI_n \quad (9)$$

$$\gamma = \frac{I_x - KI_n}{KI_n} \times 100\% \quad (10)$$

式中：

K ——标准电流的额定变比系数

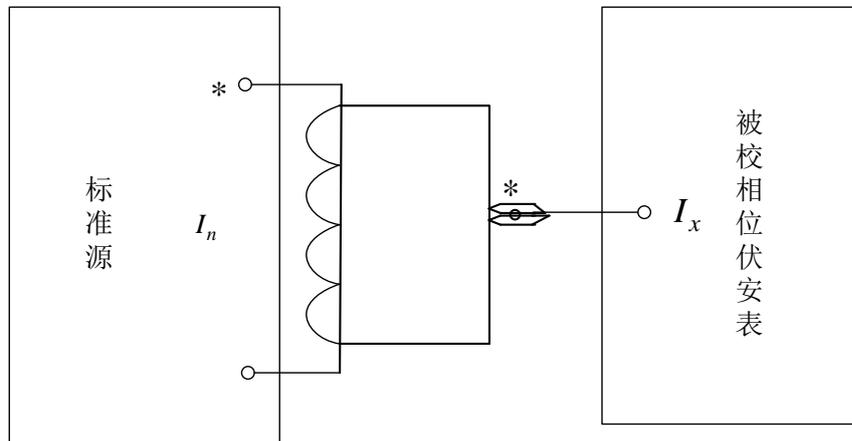


图 6 钳形大电流相位伏安表接线图

6.2.6 相位

使用标准源对相位校准，接线方式参照 6.2.2。通常选取 50 Hz 作为校准频率点，电压、电流（电流点的选取在标准源量限范围内，不采用等安匝法测电流方式接线）可以选择常用点。依次调节标准源输出 $U-U$ 、 $I-I$ 及 $U-I$ 之间的相位，并按公式(4)计算相位示值误差，推荐校准点见表 3。

表 3 相位推荐校准点

被校仪表	校准点		校准点
单钳相位伏安表	UI		0° 、 60° 、 300°
双钳相位伏安表	U_1I_2 、 I_1U_2 、 U_1U_2 、 I_1I_2		
三相相位伏安表	三相 四线	U_1I_1 、 U_2I_2 、 U_3I_3	120°
		I_1I_2 、 I_1I_3 、 I_2I_3 U_1U_2 、 U_1U_3 、 U_2U_3 、	
	三相 三线	U_{12}	30°
		U_{32}	90°
		$U_{12}I_1$	30° 、 90°
	$U_{32}I_3$	330° 、 30°	

6.2.7 交流功率

使用标准源对交流功率校准，接线方式参照 6.2.2。通常取 50 Hz 作为校准频率点，根据用户使用需要一般选取（110 V、220 V 或 380 V）作为电压校准点，在电压校准点下，电流在测量范围内均匀选取不少于 5 个校准点来进行功率示值误差的校准。功率因数选择 1.0、0.5L、0.5C，其中 0.5L、0.5C 的功率因数仅在电流量程的某一个点进行校准。读取相位伏安表功率显示值及标准源输出值，并按公式(11)计算交流功率示值误差，并按公式(12)计算交流功率相对误差。

$$\Delta = P_x - P_n \quad (11)$$

$$\text{相对误差 } \gamma \text{ 为: } \quad \gamma = \frac{P_x - P_n}{P_n} \times 100\% \quad (12)$$

式中： Δ ——相位伏安表的示值误差，W；

γ ——相位伏安表的相对误差，%。

P_x ——相位伏安表显示值，W；

P_n ——标准源的输出实际值，W。

7 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，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) 校准证书和校准报告签发人的签名、职位或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔一年。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

钳形数字相位伏安表不确定度评定示例

A.1 概述

环境条件：温度：20.2 ℃，湿度：40% RH；

测量标准：三相交直流现场校验仪 TD4530；

被校对象：钳形数字相位伏安表

测量过程：采用标准源法，将可调标准源与被校钳形相位伏安表直接连接，由可调标准源输出标准值给被检相位伏安表，在钳形相位伏安表上读得显示值，与标准源输出标准值相减，其差值即为钳形相位伏安表的示值误差。

A.1.5 评定结果的使用：符合上述条件的测量结果，一般可直接使用本不确定度的评定方法。

A.2 建立测量模型

A.2.1 测量模型

$$\Delta_1 = A_x - A_n$$

式中： Δ_1 —相位伏安表的示值误差，V、A、W 或°；

A_x —相位伏安表显示值，V、A、W 或°；

A_n —标准源的输出实际值，V、A、W 或°。

A.2.2 灵敏系数：

测量模型

$$\Delta_1 = A_x - A_n$$

$$\text{灵敏系数：} \quad C_1 = \frac{\partial \Delta_1}{\partial A_x} = 1 \quad C_2 = \frac{\partial \Delta_1}{\partial A_n} = -1$$

A.2.3 传播律：因各输入量彼此独立不相关，所以

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2(A_x) + c_2^2 u_2^2(A_n)$$

A.3 输入量的标准不确定度评定

A.3.1 输入量 A_x 的标准不确定度 $u(A_x)$ 的评定:

输入量 A_x 的标准不确定度 $u(A_x)$ 的来源主要是由被校相位伏安表的测量重复性 $u(A_{x1})$ 以及被校仪器分辨力引起的不确定度分量 $u(A_{x2})$ 。

不确定度分项 $u(A_{x1})$ 采用 A 类方法评定。选择交流电压 U_1 为 100 V，交流电流 I_1 为 1 A，相位 $U_1 I_1 60^\circ$ 校准点，在相同温湿度，各参数重复性条件下连续独立测量 10 次，测量数据见表 A.1

表 A.1 测量重复性及其引入的标准不确定度分量

测量次数 n	$U_1 100\text{ V}$ 测量结果 (单位: V)	$I_1 1\text{ A}$ 测量结果 (单位: A)	$P_1 50\text{ W}$ 测量结果 (单位: W)	$U_1 I_1 60^\circ$ 测量结果 (单位: $^\circ$)
1	100.1	1.001	50.1	60.1
2	100.0	1.000	50.0	60.2
3	100.0	1.000	50.0	60.0
4	100.1	1.001	50.1	60.0
5	100.1	1.000	50.1	60.1
6	100.0	1.000	50.1	60.2
7	100.0	1.001	50.0	60.0
8	100.1	1.000	50.1	60.0
9	100.0	1.001	50.0	60.1
10	100.0	1.000	50.0	60.1
实验标准 偏差 $s(x_i)$	0.05164	0.000516	0.05270	0.078881
$u(A_{x1})$	0.05164	0.000516	0.05270	0.078881

根据贝塞尔公式计算出实验标准偏差 s :

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}$$

由于在实际工作中取单次测量结果作为最终结果，故标准不确定度分量:

$$u(A_{x1}) = s(x_1)$$

不确定度分量 $u(A_{x2})$ 采用 B 类方法评定，相位伏安表在 100 V 校准点下的分辨力

为 0.1 V，1 A 校准点下分辨力为 0.001 A，50 W 校准点分辨力为 0.1 W，60 °校准点分辨力为 0.1 °；则相应区间半宽及不确定度分量见表 A.2，其概率分布为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u(A_{x2}) = \frac{a}{k}$$

表 A.2 分辨力引入的不确定度分量

参数	U_1 100 V 校准点 (单位: V)	I_1 1 A 校准点 (单位: A)	P_1 50 W 校准点 (单位: W)	U_1I_1 60 °校准点 (单位: °)
分辨力	0.1	0.001	0.1	0.1
区间半宽	0.05	0.0005	0.05	0.05
$u(A_{x2})$	0.0289	0.000289	0.0289	0.0289

为了避免重复，由钳形相位伏安表引入的不确定度分量 $u(A_x)$ 选择 $u(A_{x1})$ 和 $u(A_{x2})$ 两值较大者，见表 A.4

A.3.2 由标准器引入的标准不确定度 $u(A_n)$ 的评定

输入量 A_n 的不确定度来源主要是由标准源引起的不确定度，采用 B 类方法进行评定。标准源制造厂说明书给出其交流电压最大允许误差 $MPE = \pm 0.02\%$ 。测量 100 V 时 $MPE = \pm (0.02\% \times 100) V = \pm 0.02 V$ ，区间半宽为 0.02 V，交流电流 1A 最大允许误差 $MPE = \pm (0.02\% \times 1) A = \pm 0.0002 A$ ，区间半宽为 0.0002 A，相位最大允许误差 $MPE = \pm 0.1 °$ 。区间半宽为 0.1 °；其概率分布为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，标准不确定度 $u(A_n)$ 见表

A.3

$$u(A_n) = \frac{a}{k}$$

表 A.3 标准源引入的不确定度分量 $u(A_n)$

参数	U_1 100V 校准点 (单位: V)	I_1 1A 校准点 (单位: A)	P_1 50W 校准点 (单位: W)	U_1I_1 60 °校准点 (单位: °)
区间半宽 a	0.02	0.0002	0.02	0.1
$u(A_n)$	0.0115	0.000115	0.0115	0.058

A.4 标准不确定度汇总

表 A.4 标准不确定度汇总表

标准不确定度分量 $u(X_i)$	不确定度来源	$U_1 100 \text{ V}$ (单位: V)	$I_1 1 \text{ A}$ (单位: A)	$P_1 50 \text{ W}$ 校准点 (单位: W)	$U_1 I_1 60^\circ$ (单位: °)	概率分布	c_i
$u(A_{x1})$	测量重复性	0.05164	0.000516	0.05270	0.078881	正态	1
$u(A_{x2})$	分辨力	0.0289	0.0000289	0.0289	0.0289	均匀	1
$u(A_n)$	标准器	0.0115	0.000115	0.0115	0.058	均匀	-1

注: 测量重复性带来的不确定度较大, 所以选择测量重复性引入的不确定度作为被校仪器引入的不确定度分量。

A.5 合成标准不确定度的评定

由 A.2.3 条可得到

$$u_c = \sqrt{u^2(A_x) + u^2(A_n)}$$

A.6 扩展不确定度的评定

取 $k=2$, 则, $U = ku_c$, 各校准点的扩展不确定度见表 A.5。

表 A.5 扩展不确定度

校准点	合成标准不确定度 u_c	包含因子 k	扩展不确定度 U
$U_1 100 \text{ V}$	0.0529 V	2	0.1 V
$I_1 1 \text{ A}$	0.00053 A	2	0.001 A
$P_1 50 \text{ W}$	0.0529 W	2	0.1 W
$U_1 I_1 60^\circ$	0.098 °	2	0.2 °

附录 B

钳形数字相位伏安表校准原始记录格式

送校单位 信息	送校单位		地 址				
	联系人		联系电话		邮 编		
被校仪器 信息	仪器名称		制造厂商				
	型号规格		出厂编号				
标准器 信息	标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度 等级或最大允许误差		证书号	有效期至
校准信息	校准地点		校准员			核验员	
	校准日期		温 度		℃	湿 度	%RH
	校准依据						
校 准 结 果							
1、交流电压：(V)							
被检显示值		标准输出值		示值误差		不确定度	
2、交流电流：(A)							
被检显示值		标准输出值		示值误差		不确定度	
3、交流功率：(W)							
被检显示值		标准输出值		示值误差		不确定度	
4、相位：(°)							
被检显示值		标准输出值		示值误差		不确定度	

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 XXXX-XXXX

送校单位 信息	送校单位		地 址				
	联系人		联系电话		邮 编		
被校仪器 信息	仪器名称		制造厂商				
	型号规格		出厂编号				
标准器 信息	标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度 等级或最大允许误差		证书号	有效期至
校准信息	校准地点		校准员			核验员	
	校准日期		温 度		℃	湿 度	%RH
	校准依据						
校 准 结 果							
1、交流电压：(V)							
	被检显示值	标准输出值		示值误差		不确定度	
2、交流电流：(A)							
	被检显示值	标准输出值		示值误差		不确定度	
3、交流功率：(W)							
	被检显示值	标准输出值		示值误差		不确定度	
4、相位：(°)							
	被检显示值	标准输出值		示值误差		不确定度	

