

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 148—2023

电能表现场校验仪校准规范

Calibration Specification for Electric Energy Meter Field
Calibrator

2023-01-09发布

2023-03-01实施

安徽省市场监督管理局 发布

电能表现场校验仪校准规范

Calibration Specification for
Electric Energy Meter Field Calibrator

JJF (皖) 148—2023

归口单位：安徽省电磁计量技术委员会

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

本规范委托安徽省电磁计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人:

郑万红 (安徽省计量科学研究院)

王 亮 (安徽省计量科学研究院)

刘 菲 (安徽省计量科学研究院)

郑四顺 (安徽省计量科学研究院)

郭 军 (安徽省计量科学研究院)

参加起草人:

周伟伟 (安徽省计量科学研究院)

王 海 (安徽省计量科学研究院)

许 杰 (安徽省计量科学研究院)

目 录

引 言	III
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语	1
4 概述	2
5 计量特性	3
5.1 示值误差	3
5.2 电能测量的重复性	3
6 校准条件	4
6.1 环境条件及其他	4
6.2 测量标准及辅助设备	4
7 校准项目和校准方法	6
7.1 校准项目	6
7.2 校准方法	7
8 校准结果表达	19
9 复校时间间隔	19
附录 A 测量不确定度评定示例	20
附录 B 校准原始记录格式	28
附录 C 校准证书内页格式	31
附录 D 电能表现场校验仪各参数示值误差表达式	34

引 言

本规范依据国家计量技术规范 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》编制。

本规范参考 JJG 1085 《标准电能表》和 JJF 1491 《数字式交流电参数测量仪》制定，增加钳表校准、谐波电压、谐波电流和谐波功率的校准内容。

本规范为首次发布。

电能表现场校验仪校准规范

1 范围

本规范适用于交流0.02级及以下，频率45Hz~65Hz，具有交流电能、电压、电流、有功功率、频率、相位、功率因数、谐波电压、谐波电流、谐波功率测量功能的单、三相电能表现场校验仪（以下简称“校验仪”）或有上述全部或部分参数测量功能的电能表现场校验装置等的校准。

本规范适用校准范围：电能：0~600V，0~100A；电压：0~1000V；电流（直接）：0~100A；电流（钳表）：0~100A；有功功率：0~600V、0~100A；频率：45 Hz~65 Hz；相位（或功率因数）：（0°~360°）（-1~1）；谐波电压：0~302V，0~50次；谐波电流：0~24A，0~50次；谐波功率：谐波电压0~302V，谐波电流0~24A，0~50次。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

JJG1085 标准电能表检定规程

JJF 1491 数字式交流电参数测量仪校准规范

GB/T 19862 电能质量监测设备通用要求

GB/T 32507-2016 电能质量 术语

DL/T 1028-2006 电能质量测试分析仪检定规程

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用该规范；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

3.1 基波（分量） fundamental（component）

周期量经傅里叶级数展开后工频对应的正弦波分量。

3.2 谐波 (分量) harmonic (component)

对非正弦周期量进行傅里叶级数分解, 得到的频率为基波整数倍次的正弦分量。

3.3 谐波次数 harmonic order

谐波频率与基波频率的整数比。

3.4 谐波含量 (电压或电流) harmonic content (for voltage or current)

从一周期交变量中减去基波分量后得到的谐波总量。

4 概述

电能表现场校验仪是一种可实现不断电、不拆电能表, 在电能表运行状态下对单、三相电能表进行电能误差测量, 同时可以测量与电能表运行相关的电压、电流、功率、频率、相位、谐波等参数的检测设备。校验仪一般由电压采样模块、电流采样模块、光电脉冲采集模块、数据转化与处理模块、显示输出模块等组成, 被测电压、电流通过电压、电流采样模块转变成小信号送到数据转化与处理模块, 光电脉冲采集模块采集的被测电能表的脉冲信号也送到数据转化与处理模块, 通过处理、计算等得到测量数据, 存储或送显示输出模块输出显示。

电能表现场校验仪原理框图见图1。

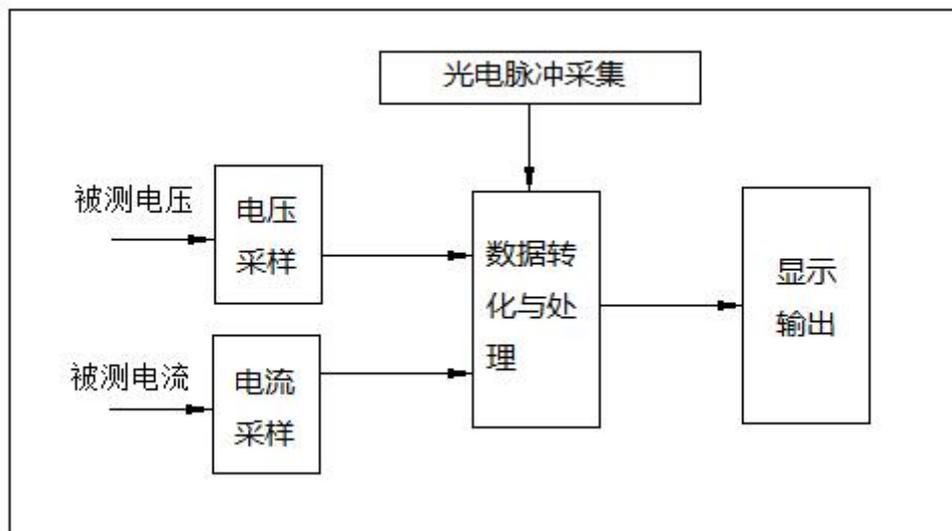


图1 电能表现场校验仪原理框图

5 计量特性

5.1 示值误差

校验仪的交流电能、交流电压、交流电流、交流钳形电流、有功功率、频率、相位、功率因数、谐波电压、谐波电流、谐波功率的示值误差按附录D 计算，测量范围和准确度等级或最大允许误差见表1。

表 1 测量范围和准确度等级或最大允许误差

参数	测量范围	准确度等级或最大允许误差
交流电能（直接方式）	0~600V, 0~100A	0.02 级及以下
交流电能（钳表方式）		0.1 级及以下
交流电压	0~1000V	±0.02% 及以下
交流电流（直接方式）	0~100A	±0.02% 及以下
交流电流（钳表方式）		±0.1% 及以下
有功功率（直接方式）	0~600V, 0~100A	±0.02% 及以下
有功功率（钳表方式）		±0.1% 及以下
频率	45 Hz~65 Hz	±0.02% 及以下
相位（功率因数）	0°~360° (-1~1)	±0.01° 及以下
谐波电压	0~302V, 0~50次	A级、S级
谐波电流	0~24A, 0~50次	A级、S级
谐波功率	0~302V, 0~24A, 0~50次	A级、S级
注： 1 功率因数最大允许误差换算成电角度。 2 以上指标不是用于合格性判别，仅供参考。		

5.2 电能测量的重复性

电能表现场校验仪在参比电压、参比频率下，对每个电能测量点做不少于6次测量时，按各测量结果计算的实验标准差（%）应不超过表2 的规定。

表 2 校验仪电能测量结果的实验标准差

功率因数 $\cos\varphi$	负载电流	电能测量结果的实验标准差/%			
		0.02 级	0.05 级	0.1 级	0.2 级
1.0; 0.5 (L)	$0.5I_b \sim I_b$	0.002	0.005	0.01	0.02
注: I_b ——基本电流，即确定电能特性的电流值。					

6 校准条件

6.1 环境条件及其他

校准电能表现场校验仪的电能参数时，校准条件及其偏差允许值见表3；校准其它参数时，校准条件要求见表4。

表3 电能参数校准条件及其允许偏差

影响量	参比值	0.02 级	0.05 级	0.1 级	0.2 级
		标准值允许偏差			
环境温度	参比温度	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
电压	参比电压	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$
频率	参比频率	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$
波形	正弦波电压和电流	波形失真度不大于/ %			
		0.5	0.5	0.5	1
参比频率的外部磁感应强度	磁感应强度为零*	不大于 $25\mu\text{T}$			
环境湿度	50%RH	$\pm 15\% \text{ RH}$	$\pm 15\% \text{ RH}$	$\pm 15\% \text{ RH}$	$\pm 20\% \text{ RH}$
功率因数	规定值	± 0.01			
工作位置	制造商规定位置	按制造商规定			

注：* 在测试位置无仪表和接线时的磁感应强度。

表4 除电能外，其它参数校准条件要求

校准条件项目	要 求
供电电源	电压 $(220\pm 22)\text{ V}$ ，频率 $(50\pm 0.5)\text{ Hz}$
环境温度	$(20\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$
相对湿度	$(55\pm 20)\%$

6.2 测量标准及辅助设备

6.2.1 校准时所需的标准器及配套设备见表5。

表 5 标准器及配套设备

序号	校准参数	校准方法	所用标准器及配套设备
1	交流电能	标准表法	电能校验装置 (含标准电能表)
2	交流电压	标准源法	交流电压标准源
		标准表法	交流电源、标准交流电压表
3	交流电流	标准源法	交流电流标准源
		标准表法	交流电源、标准交流电流表
4	有功功率	标准源法	交流功率标准源
		标准表法	交流功率电源、标准交流功率表
5	频率	标准源法	频率标准源
		标准表法	交流电源、标准频率表
6	相位 (功率因数)	标准源法	交流标准源
		标准表法	交流电源、标准相位表
7	谐波电压	标准源法	谐波电压标准源
8	谐波电流	标准源法	谐波电流标准源
9	谐波功率	标准源法	谐波功率标准源

6.2.2 电能校验装置的电能误差及其实验标准差不超过表6和表7的规定,其他标准装置的扩展不确定度应小于被测校验仪允许误差绝对值的1/3,分辨力应小于被测校验仪允许误差的1/5。标准装置的功能和测量范围应覆盖被测校验仪的功能和测量范围。

表 6 电能校验装置允许的测量误差

被测校验仪电能准确度等级		0.02级	0.05级	0.1级	0.2级
电能校验装置准确度等级		0.01级	0.01级	0.03级	0.05级
功率因数		允许的测量误差/%			
单相和平衡负载时 $\cos\varphi^*$	1.0	± 0.01	± 0.01	± 0.03	± 0.05
	0.5 (L)	± 0.01	± 0.01	± 0.04	± 0.07
	0.5 (C)	± 0.015	± 0.015	± 0.05	± 0.1
	特殊要求时0.25 (L)	-	-	-	± 0.2
不平衡负载时 $\cos\theta^*$	1.0	± 0.01	± 0.01	± 0.04	± 0.06
	0.5 (L)	± 0.015	± 0.015	± 0.05	± 0.08

注：功率因数角 φ 是指星形负载支路相电压与相电流间的相位差，功率因数角 θ 是指加在有电流那一组元件上的电压和电流间的相位差。

表 7 电能校验装置允许的试验标准差

功率因数 $\cos\varphi$	电能校验装置各等级实验标准差 / %		
	0.01级	0.03级	0.05级
1.0	0.0020	0.003	0.005
0.5(L)	0.0025	0.004	0.007

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 8

表 8 校准项目

序号	校准项目	校准方法条款
1	外观及通电检查	7.2.1
2	交流电能示值误差	7.2.2
3	交流电压示值误差	7.2.3
4	交流电流示值误差	7.2.4
5	有功功率示值误差	7.2.5
6	频率示值误差	7.2.6
7	相位（功率因数）示值误差	7.2.7
8	谐波电压示值误差	7.2.8
9	谐波电流示值误差	7.2.9
10	谐波功率示值误差	7.2.10

7.2 校准方法

7.2.1 外观及通电检查

外观检查内容包括：

a) 产品名称、型号、出厂编号、制造厂名、各接线端子标识等信息应清晰、正确、完整；

b) 校验仪外壳、接线端钮无松动或损坏现象；

c) 钳形电流钳（如果配置）钳口接触良好；

通电检查内容包括：

a) 液晶显示或数码显示无缺少笔画、断码、黑屏等现象；

b) 各指示灯工作正常；

c) 各开关和按键功能正常。

7.2.2 交流电能示值误差

7.2.2.1 钳表连接要求

校验仪的电流连接方式通常有两种，即直接方式和钳表方式。钳表连接时应注意：

a) 电流钳钳口接触面清洁，并能紧密接触；

b) 将被测导线置于电流钳钳口近似几何中心位置或标志位置；

c) 校准时, 除被测导线外, 其他载流导线与被校表之间的距离应大于0.5m (包括被测导线弯曲部分);

d) 电流钳接入时注意同名端;

e) 三相校验仪的电流钳应按标识分别接入相应相别, 不能混用。

7.2.2.2 交流电能示值误差

电能误差校准使用标准表法, 即将标准电能表与被测校验仪同时测定的电能值相比较, 以确定被测校验仪的电能相对误差。

电能误差校准时, 电流连接方式分直接和钳表连接, 如果需要, 这两种连接方式下的电能误差应分别校准。

校准单相或三相四线电能误差时, 电能校验装置设置为单相或三相四线输出方式, 校验仪设置为单相或三相四线测量方式, 电流直接时, 按图2 连接, 电流钳表连接时, 按图3连接。

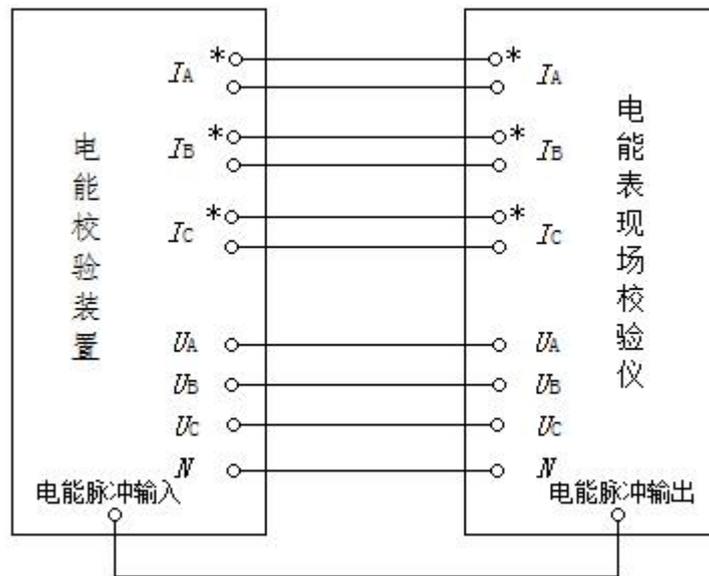


图2 电能误差三相四线校准示意图 (电流直接方式)

注: 图中“*”号端为同名端; 单相校准时, 电能表检验装置只连接其中一相。

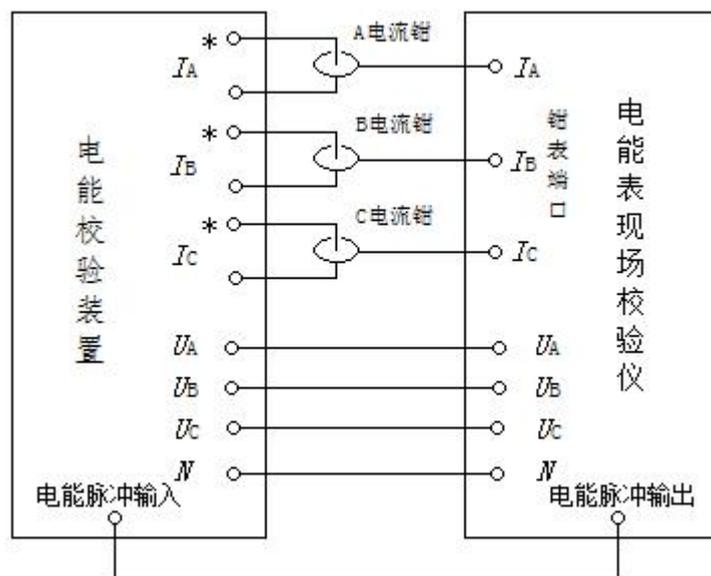


图3 电能误差三相四线校准示意图（电流钳表方式）

校准三相三线电能误差时，电能表校验装置设置为三相三线输出方式，校验仪设置为三相三线测量方式，电流直接时，按图4连接，电流钳表连接时，按图5连接。

若校验仪说明书中接线有特殊要求，按说明书连接。如要求三相三线测量时将电压 U_B 端与N端短接。

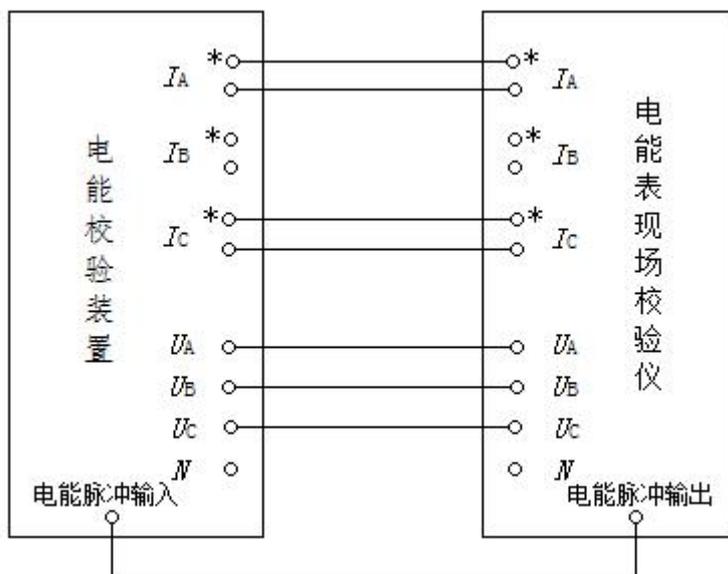


图4 电能误差三相三线校准示意图（电流直接方式）

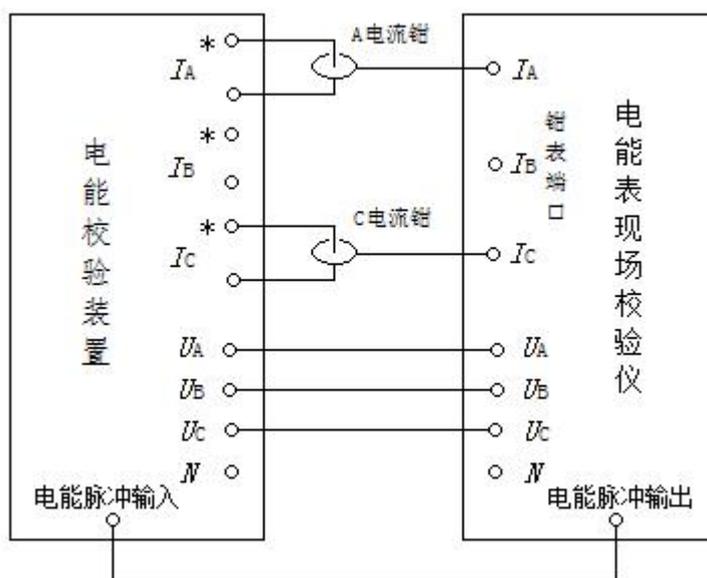


图5 电能误差三相三线校准示意图（电流钳表方式）

电能校准需要调定的负载点见表9和表10。在每一负载下，至少做2次测量，取其平均值作为测量结果。

表9 单相和三相平衡负载时应调定的负载

量程	功率因数	负载电流
基本量程	1.0	$(0.01 I_b)$, $0.05 I_b$, $0.1 I_b$, $0.5 I_b$, I_b , I_{max}
	0.5 (L)	$(0.02 I_b)$, $0.1 I_b$, $0.2 I_b$, $0.5 I_b$, I_b , I_{max}
	0.8 (C)	$(0.02 I_b)$, $0.1 I_b$, $0.2 I_b$, $0.5 I_b$, I_b , I_{max}
	0.5 (C) ; 0.25 (L)	$0.5 I_b$, I_b
其余量程	1.0	$0.5 I_b$, I_b
	0.5 (L)	$0.5 I_b$, I_b

注：

- I_b ——基本电流，即确定电能特性的电流值； I_{max} ——额定最大电流值；
- I_b 与每一电压值的组合均按基本量程校准；
- 括号内的负载点可按实际需要选取；
- 在用户有需要时，在0.5 (C)和0.25 (L)条件下校准；
- 当校验仪说明书中对更低负载点有要求时，应增加对更低负载点的校准；
- 可根据用户需求，增加其他负载点的校准。

表 10 三相不平衡负载时应调定的负载

功率因数	负载电流
1.0	$(0.1 I_b), I_b, (I_{\max})$
0.5 (L)	$(0.2 I_b), I_b, (I_{\max})$

7.2.2.2 确定电能测量标准偏差估计值

在参比电压、参比频率和 I_b 电流下，对功率因数1和0.5 (L) 两个负载点分别做不少于6次的相对误差测量，然后按公式(1)计算标准偏差估计值 s (%)。

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\gamma_i - \bar{\gamma})^2} \quad (1)$$

式中：

n ——对每个负载点重复性测量的次数， $n \geq 6$ ；

γ_i ——第 i 次测量得出的相对误差，%；

$\bar{\gamma}$ ——各次测量得出的相对误差平均值，%，即

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n}{n}$$

7.2.3 交流电压示值误差

7.2.3.1 校准点的选取原则

校准点按如下原则选取：

a) 校准点的选择应覆盖所有量程并兼顾各量程之间的覆盖性及量程内的均匀性，同时应参考被测校验仪使用说明书中对校准点的建议；

b) 可根据实际情况或用户的要求选取校准点；

c) 通常选取50Hz作为校准频率点（频率参数校准除外）；

d) 基本量程选取3~5个校准点；

e) 非基本量程选取2~3个校准点；

f) 在被校准量程内应覆盖量程值的10%点和量程值（接近量程值）点。

7.2.3.2 校准方法和接线图

a) 标准源法

按图6电压部分连接，三相时可以使用三相标准源同时校准三相电压。被测校验仪选择合适的量程，根据校准点设定标准源的输出值，记录被测校验仪的示值。被测校

验仪的示值误差按公式 (2) 计算, 相对示值误差按公式 (3) 计算:

$$\Delta = Z_x - Z_n \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{Z_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

Δ ——示值误差;

γ ——相对示值误差;

Z_x ——被测校验仪的示值;

Z_n ——标准源的输出值。

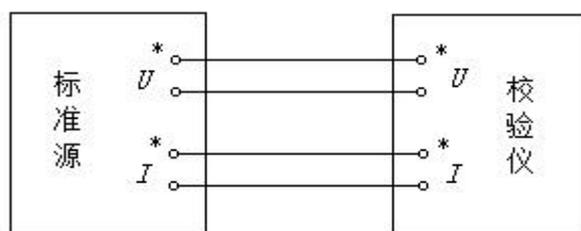


图 6 标准源法示意图

b) 标准表法

按图7 电压部分连接, 三相时可以使用三相标准表同时校准三相电压。被测校验仪选择合适的量程, 调节多功能电源的输出值使标准表的示值为校准点, 记录被测校验仪的示值。设标准表的示值为 Z_n , 被测校验仪的示值为 Z_x , 被测校验仪的示值误差按公式 (2) 计算, 相对示值误差按公式 (3) 计算。

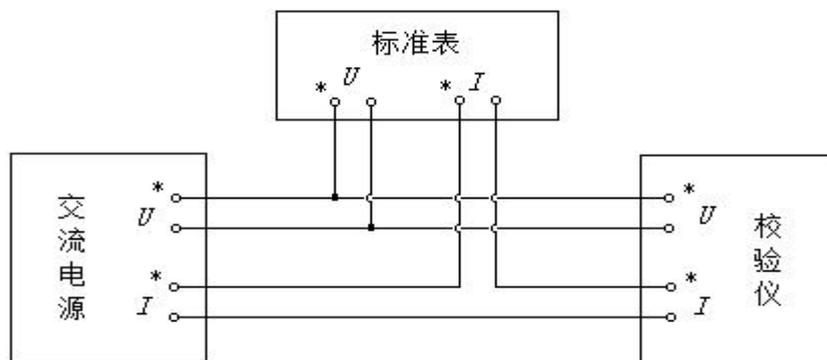


图 7 标准表法示意图

7.2.4 交流电流示值误差

7.2.4.1 直接方式电流误差的校准

校准点选取见7.2.3.1。

标准源法按图6 电流部分连接；标准表法按图7电流部分连接。三相时可以使用三相标准源或三相标准表同时校准三相电流。操作方法和示值误差计算见7.2.3.2。

7.2.4.2 钳表方式电流误差的校准

电流钳的连接要求见7.2.2.1，校准点选取见7.2.3.1。

标准源法按图8 连接，标准表法按图9 连接。操作方法和示值误差计算见7.2.3.2。

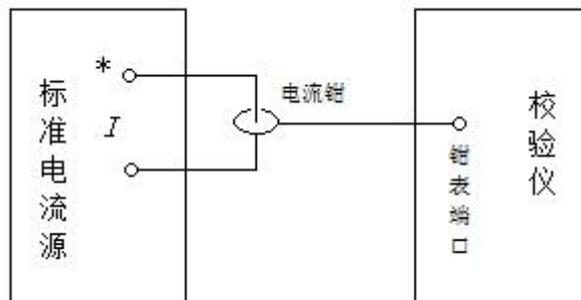


图8 标准源法钳形电流校准示意图

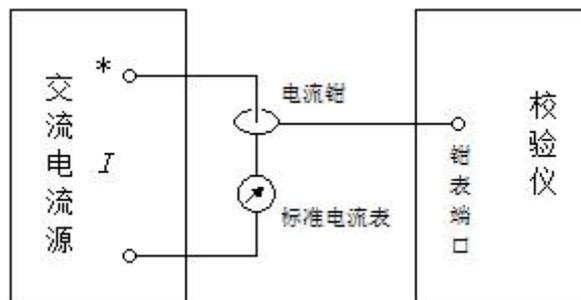


图9 标准表法钳形电流校准示意图

7.2.5 有功功率示值误差

7.2.5.1 校准点的选取

校准点按如下原则选取：

- a) 校准点选取见7.2.3.1；
- b) 电压选择常用点或附近整数点（60V、100V、200V、220V或380V等）作为基本量程；

- c) 功率因数选择1.0、0.5L (感性)、0.5C (容性) 3个值, 其中0.5L、0.5C的功率因数时, 仅在电流量程的某一个点进行校准;
- d) 对于具有三相四线分元功率测量功能的校验仪, 每个分元功率均需校准;
- e) 利用钳表测量电流进而测得的功率也需校准, 电流钳接入见7.2.2.1。

7.2.5.2 连接与误差计算

校准单相或三相四线功率时, 源设置为单相或三相四线输出方式, 校验仪设置为单相或三相四线测量方式, 标准源法按图10 连接, 标准表法按图11 连接;

校准三相三线功率误差时, 源设置为三相三线输出方式, 校验仪设置为三相三线测量方式, 标准源法按图12 连接, 标准表法按图13 连接。若校验仪说明书中接线有特殊要求, 按说明书连接, 如要求三相三线测量时将电压 U_B 端与N 端短接。

操作方法和示值误差计算见7.2.3.2。

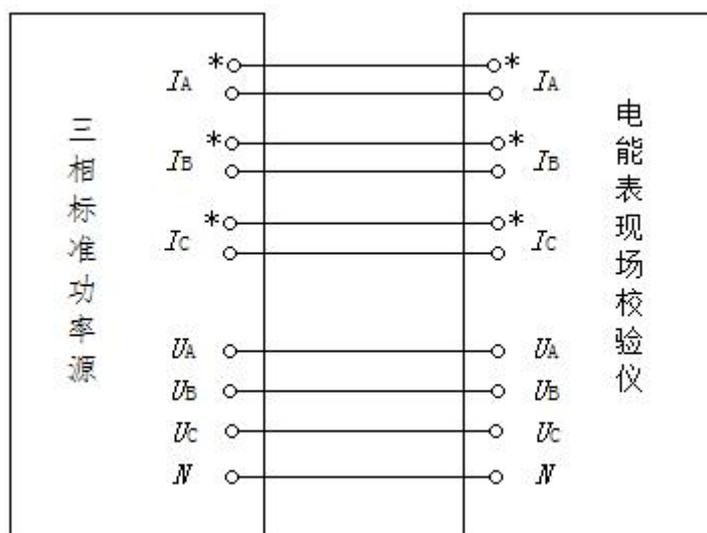


图 10 功率三相四线标准源法校准示意图

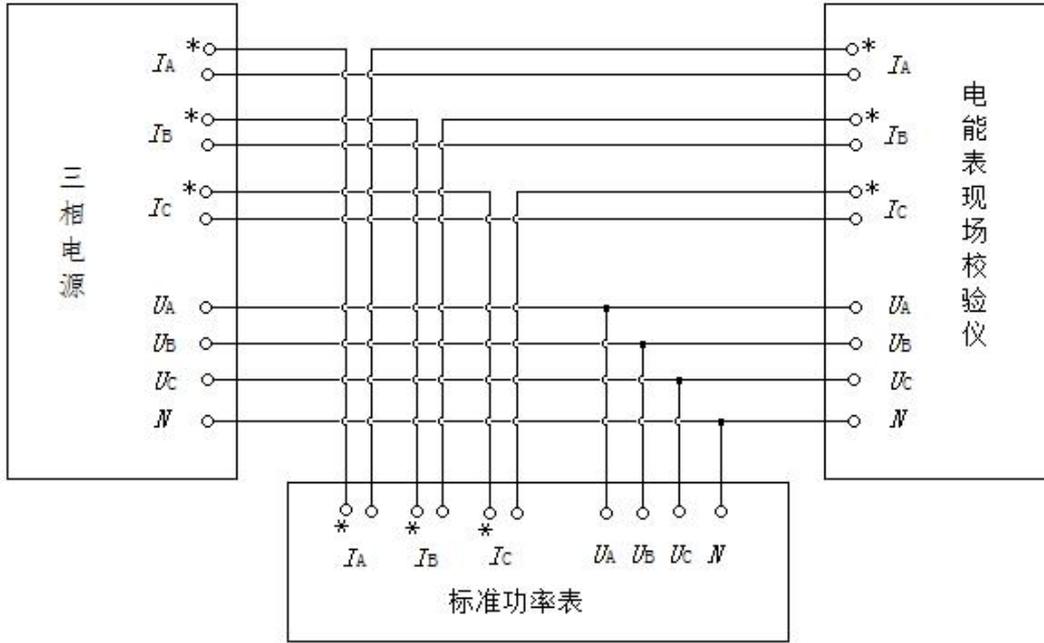


图 11 功率三相四线标准表法校准示意图

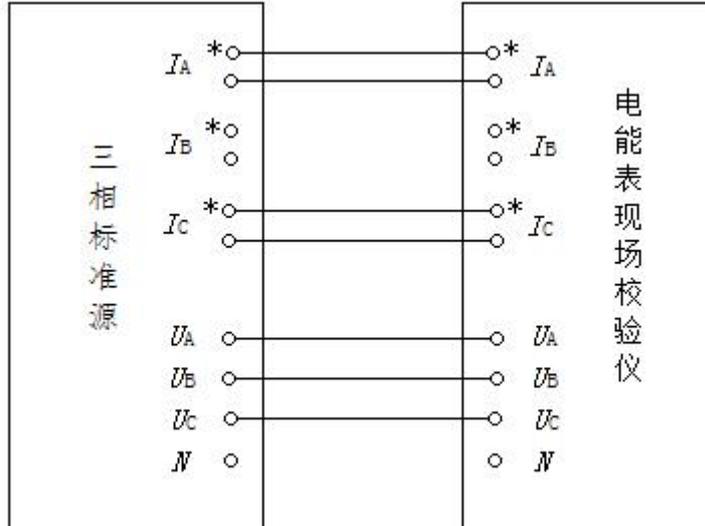


图 12 功率三相三线标准源法校准示意图

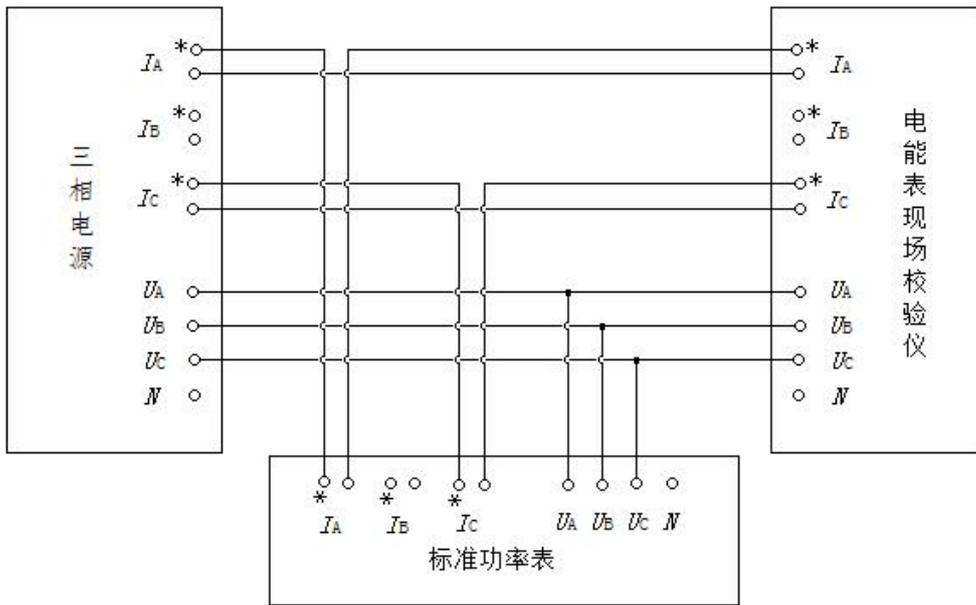


图 13 功率三相三线标准表法校准示意图

7.2.6 频率示值误差

校准时，电压选择常用点，在频率测量范围内均匀选取3~5个频率校准点。

标准源法按图6 电压部分连接；标准表法按图7 电压部分连接。操作方法和示值误差计算见7.2.3.2。

7.2.7 相位（功率因数）示值误差

通常在频率50Hz下校准，电压、电流选择常用点。相位通常选取 0° 、 30° 、 60° 、 300° 、 330° 等校准点；功率因数通常选取1.0、0.8L、0.5L、0.5C、0.8C等校准点。

标准源法按图6 连接；标准表法按图7 连接。操作方法见7.2.3.2，示值误差按公式(2)计算。

7.2.8 谐波电压示值误差

7.2.8.1 校准点选取

校准点按如下原则选取：

- a) 选择被测校验仪的常用电压或用户给定的电压值作为基波电压值，基波电压频率一般选择50Hz，特殊用户可根据需要选择其他频率作为基波电压频率；
- b) 整数次谐波电压含有率及谐波次数参见表11；

表 11 整数次谐波电压校准点

等级	谐波电压含有率%	谐波次数
A	1	在2~50次之间选择不少于15个谐波次数，其中2、3、5、7、50次必校。
	0.5, 8	在2~50次之间选择不少于7个谐波次数，其中2、3、5、7次必校。
S	3	在2~50次之间选择不少于15个谐波次数，其中2、3、5、7、50次必校。
	1, 8	在2~50次之间选择不少于7个谐波次数，其中2、3、5、7次必校。

c) 每次注入一种谐波成分；

d) 多通道校验仪每个通道均应校准。

7.2.8.2 操作与误差计算

按图14 电压部分连接，被测校验仪选择到谐波电压测量，根据校准点设定谐波标准源的输出值，记录被测校验仪的示值。示值误差计算见附录D.5。

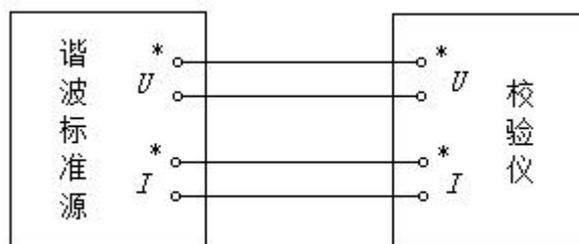


图 14 标准表法谐波校准示意图

7.2.9 谐波电流示值误差

7.2.9.1 校准点选取

校准点按如下原则选取：

a) 选择被测校验仪的常用电流或用户给定的电流值作为基波电流值，基波电流频率一般选择50Hz，特殊用户可根据需要选择其他频率作为基波电流频率；

b) 整数次谐波电流含有率及谐波次数参见表 12；

表 12 整数次谐波电流校准点

等级	谐波电流含有率%	谐波次数
A	3	在2~50次之间选择不少于15个谐波次数，其中2、3、5、7、50次必校。
	1, 20	在2~50次之间选择不少于7个谐波次数，其中2、3、5、7次必校。
S	10	在2~50次之间选择不少于15个谐波次数，其中2、3、5、7、50次必校。
	3, 20	在2~50次之间选择不少于7个谐波次数，其中2、3、5、7次必校。

c) 每次注入一种谐波成分；

d) 多通道校验仪每个通道均应校准。

7.2.9.2 操作与误差计算

按图14 电流部分连接，被测校验仪选择到谐波电流测量，根据校准点设定谐波标准源的输出值，记录被测校验仪的示值。示值误差计算见附录D.5。

7.2.10 谐波功率示值误差

7.2.10.1 校准点选取

校准点按如下原则选取：

a) 选取被测校验仪的常用电压、电流值或按用户给定的电压、电流值作为基波功率值，基波功率因数为1，基波频率一般选择50Hz，特殊用户可根据需要选择其他频率作为基波频率。

b) 谐波电压、谐波电流含有率及谐波次数参照表13，谐波功率因数为1。

c) 同时注入同频成分的谐波电压和谐波电流；

d) 谐波电压与基波电压同向；

e) 每次注入单一频率的谐波功率；

f) 多通道校验仪每个通道均应校准。

表 13 谐波有功功率校准点

谐波电压含有率%	谐波电流含有率%	谐波次数
10	40	2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 19, 25
20	40	3, 5, 7
40	40	3, 5, 7

7.2.10.2 操作与误差计算

按图14连接,被测校验仪选择到谐波功率测量,根据校准点设定谐波标准源的输出值,记录被测校验仪的示值。示值误差计算见附录D.6。

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;
- 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) 进行校准的日期;
- g) 对校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- i) 校准环境的描述,物品状态的描述;
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- k) 被校对象的描述和明确标识;
- l) 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;
- 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说明;
- p) 未经实验室书面批准,不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录B,校准证书内页格式见附录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

测量不确定度评定示例

测量不确定度评定示例除电能采用标准表法，其余参数均采用标准源法，即标准源输出标准值，读取被测校验仪的示值，计算得到被测校验仪的示值误差。

下面给出了电能、功率、谐波电压、谐波功率的测量不确定度的评定示例，电压、电流、相位、功率因数的不确定度评定可参照功率的评定方法，谐波电流的不确定度评定可参照谐波电压的评定方法。采用标准表法校准时，不确定度评定方法可参考文中示例。

A.1 电能 测量不确定度评定

A.1.1 概述

环境温度：20.5℃；相对湿度：56%；

测量标准：电能表校验装置；

被测对象：电能表现场校验仪；

测量方法：电能误差校准使用标准表法，即将电能表检验装置中的标准电能表与被测校验仪同时测定的电能值相比较，电能表检验装置计算并显示被测校验仪的电能相对误差。

A.1.2 数学模型

$$\gamma = \gamma_n \quad (\text{A.1})$$

式中：

γ ——被测校验仪的电能误差值，%；

γ_n ——电能表校验装置显示的电能误差值，%。

A.1.3 标准不确定度评定

A.1.3.1 标准不确定度 u_A 的评定(A类)

选取电能准确度等级为0.05级的电能表现场校验仪，对三相四线3×220/380V，3×5A， $\cos\varphi=1.0$ 测量点，在重复性条件下连续独立测量10次，每个点测量2次，取平均值，10次测量的平均值数据如表A.1。

表A.1 被测校验仪的电能误差 ($x_i/\%$)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
显示值	0.0373	0.0380	0.0363	0.0369	0.0364	0.0382	0.0370	0.0365	0.0369	0.0370	0.0371

由于在测量时, 读取2次测量值的平均值作为测量结果, 则可得测量结果的标准不确定度 u_A :

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{2(n-1)}} = 0.00045 \%$$

A.1.3.2 标准不确定度 u_B 的评定 (B类)

A.1.3.2.1 由电能表校验装置引入的标准不确定度分量 u_{B1}

电能表检验装置的准确度等级0.01级, 在测量点的最大允许误差为 $\pm 0.01 \%$, 半宽为 0.01% , 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{B1} = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.00577\%$$

A.1.3.2.2 数据修约引入的不确定度分量 u_{B2}

测量结果按照 0.005% 间距修约, 半宽为 0.0025% , 服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{B2} = \frac{0.025\%}{\sqrt{3}} = 0.00144 \%$$

A.1.3.2.3 由温度、频率、功率的稳定性等因素引入的不确定度分量为微小分量, 可忽略。

以上各项不相关, B类不确定度合成得:

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = 0.00595 \%$$

A.1.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表A.2

表A.2 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	标准不确定度分量 $u_i/\%$
u_A	被测校验仪的测量重复性	正态	1	0.00045 %
u_{B1}	电能表校验装置的最大允许误差	均匀	1	0.00577 %
u_{B2}	数据修约	均匀	1	0.00144 %

合成不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.006\%$$

A.1.5 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c$ ，取 $k=2$ ，则三相四线 $3 \times 220/380V$ ， $3 \times 5A$ ， $\cos\varphi=1.0$ 测量点电能误差的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times u_c = 0.012\% , k=2。$$

A.2 交流功率 测量不确定度评定

A.2.1 概述

环境温度: $20.5\text{ }^\circ\text{C}$; 相对湿度: 56% ;

测量标准: 功率标准源;

被测对象: 电能表现场校验仪;

测量方法: 采用标准源法, 用标准源输出功率标准值 Z_n , 读取被测校验仪功率显示值 Z_x , 计算被测校验仪功率的示值误差 Δ 。

A.2.2 数学模型

$$\Delta = Z_x - Z_n \quad (\text{A.2})$$

式中:

Δ ——示值误差, W ;

Z_x ——被测校验仪的功率示值, W ;

Z_n ——标准源输出功率标准值, W 。

A.2.3 标准不确定度评定

A.2.3.1 标准不确定度 u_A 的评定(A类)

选取功率准确度等级为0.05级的电能表现场校验仪, 对三相四线 $3 \times 220/380V$, $3 \times 5A$, $\cos\varphi=1.0$ 测量点A相1100W, 在重复性条件下连续独立测量10次, 数据如表A.3。

表A.3 被测校验仪的功率示值 (x_i /W)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
显示值	1100.53	1100.51	1100.52	1100.51	1100.52	1100.51	1100.50	1100.51	1100.53	1100.51	1100.51 5

则可得单次测量结果的标准不确定度 u_A :

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0.0097 \text{ W}$$

A.2.3.2 标准不确定度 u_B 的评定 (B类)

A.2.3.2.1 由标准源引入的标准不确定度分量 u_{B1}

标准源在测量点的最大允许误差为 $\pm (0.0236\% \times \text{读数})$ ，半宽为 $0.0236\% \times \text{读数}$ ，服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_{B1} = \frac{0.0236\% \times 1100 \text{ W}}{\sqrt{3}} = 0.150 \text{ W}$$

A.2.3.2.2 由温度、频率、功率的稳定性等因素引入的不确定度分量为微小分量，可忽略。

A.2.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表A.4

表A.4 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	标准不确定度分量 u_i / W
u_A	被测校验仪的测量重复性	正态	1	0.0097
u_{B1}	标准源的最大允许误差	均匀	1	0.150

合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = 0.150 \text{ W}$$

A.2.5 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c$ ，取 $k=2$ ，则三相四线 $3 \times 220/380\text{V}$ ， $3 \times 5\text{A}$ ， $\cos\varphi=1.0$ 测量点A相1100W 的扩展不确定度为：

$$U = 2 \times u_c = 0.3 \text{ W} , k=2 ; \text{ 或}$$

$$U_{\text{rel}} = \frac{U}{1100\text{W}} \times 100\% = 0.03\% , k=2 .$$

A.3 谐波电压 测量不确定度评定

A.3.1 概述

环境温度：20.5℃；相对湿度：56%；

测量标准：谐波电压标准源；

被测对象：电能表现场校验仪；

测量方法：采用标准源法，设置基波频率为50Hz，用谐波电压标准源输出基波电压 U_N ，第 h 次谐波电压标准值 U_{hN} ，读取被测校验仪第 h 次谐波电压显示值 U_{hx} ，计算被测校验仪谐波的示值误差 Δ 。

A.3.2 数学模型

$$\Delta = U_{hx} - U_{hN} \quad (\text{A.3})$$

式中：

Δ ——示值误差，V；

U_{hx} ——被测校验仪第 h 次谐波电压示值，V；

U_{hN} ——标准源输出第 h 次谐波电压标准值，V。

A.3.3 标准不确定度评定

A.3.3.1 标准不确定度 u_A 的评定(A类)

选取谐波准确度等级为A级的电能表现场校验仪，在基波电压200V，基波频率50Hz，3次谐波含有率为1%的测量点，在重复性条件下连续独立测量10次，被校表谐波显示为谐波含有率，数据如表A.5。

表A.5 被测校验仪的3次谐波示值 ($x_i / \%$)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
显示值	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.997

则可得单次测量结果的标准不确定度 u_A ：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \times 200\text{V} = 0.00483\% \times 200\text{V} = 9.7\text{ mV}$$

A.3.3.2 标准不确定度 u_B 的评定 (B类)

A.3.3.2.1 由标准源引入的标准不确定度分量 u_{BU}

谐波标准源在测量点的最大允许误差为 $\pm (0.0122\% \text{ output} + 12\text{ mV})$ ，服从均匀分

布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{BU} = (0.0122\% \times 2 \text{ V} + 12 \text{ mV}) / \sqrt{3} = 7.07 \text{ mV}$$

A.3.3.2.2 由标准源的稳定性等因素引入的不确定度分量为微小分量, 可忽略。

A.3.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表A.6

表A.6 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	标准不确定度分量 u_i / mV
u_A	被测校验仪的测量重复性	正态	1	9.7
u_{BU}	谐波标准源的最大允许误差	均匀	1	7.07

合成不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{BU}^2} = 12.0 \text{ mV}$$

A.3.5 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c$, 取 $k=2$, 则基波电压200V, 基波频率50Hz, 3次谐波含有率为1%的测量点的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times u_c = 0.024 \text{ V}, k=2。$$

A.4 谐波功率示值误差的测量结果不确定度评定

A.4.1 概述

环境温度: 20.5℃; 相对湿度: 56%;

测量标准: 谐波电压标准源;

被测对象: 电能表现场校验仪;

测量方法: 采用标准源法, 设置基波频率为50Hz, 用谐波标准源输出基波电压 U_N , 基波电流 I_N , 基波功率因数 $\cos\varphi=1$, 第 h 次谐波电压 U_{hN} 和谐波电流 I_{hN} , 谐波功率因数 $\cos\varphi=1$, 则计算可得谐波功率标准值 P_{hN} , 读取被测校验仪谐波功率显示值 P_{hx} , 计算被测校验仪谐波的示值误差 Δ 。

A.4.2 数学模型

$$\Delta = P_{hx} - P_{hN} \quad (\text{A.4})$$

式中:

Δ ——示值误差, W;

P_{hx} ——被测校验仪第 h 次谐波功率示值, W;

P_{hN} ——标准源输出第 h 次谐波功率标准值，W。

A.4.3 标准不确定度评定

A.4.3.1 标准不确定度 u_A 的评定(A类)

选取谐波准确度等级为A级的电能表现场校验仪，在基波频率 $f=50\text{Hz}$ ，基波电压 $U_N=200\text{V}$ ，基波电流 $I_N=50\text{A}$ ，基波功率因数 $\cos\varphi=1$ ；3次谐波电压含有率为10%，3次谐波电流含有率为40%，谐波功率因数 $\cos\varphi=1$ ，谐波功率400W的测量点，在重复性条件下连续独立测量10次，数据如表A.7。

表A.7 被测校验仪的3次谐波功率示值 (x_i/W)

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{x}
显示值	400.1	400.5	400.7	400.5	400.7	400.7	400.7	400.1	400.7	400.7	400.54

则可得单次测量结果的标准不确定度 u_A ：

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = 0.246 \text{ W}$$

A.4.3.2 标准不确定度 u_B 的评定 (B类)

A.4.3.2.1 由标准源引入的标准不确定度分量 u_{BP}

因为

$$P_{hN} = U_{hN} \times I_{hN} \times \cos\varphi \quad (\text{A.5})$$

式中：

P_{hN} ——标准源输出第 h 次谐波功率标准值；

U_{hN} ——标准源输出第 h 次谐波电压标准值；

I_{hN} ——标准源输出第 h 次谐波电流标准值；

φ ——第 h 次谐波电压、第 h 次谐波电流之间的相位角， $\cos\varphi=1$ 。

由公式 (A.5) 可以看出由标准源引入的标准不确定度分量 u_{BP} 由谐波电压和谐波电流的不确定度合成。

设第 h 次谐波电压 U_{hN} 的相对不确定度为 u_{BUrel} ；第 h 次谐波电流 I_{hN} 的相对不确定度为 u_{BIrel} ；第 h 次谐波功率的的相对不确定度为 u_{BPrel} 。

谐波标准源技术指标第 h 次谐波电压 U_{hN} 的最大允许误差为 $\pm (0.0122\% \text{ output} + 12\text{mV})$ ，第 h 次谐波电流 I_{hN} 的最大允许误差为 $\pm (0.0265\% \text{ output} + 2800\mu\text{A})$ ，服

从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则

$$u_{\text{BIrel}} = \frac{0.0122\% \times 20\text{V} + 12\text{mV}}{\sqrt{3} \times 20\text{V}} \times 100\% = 0.0417\%$$

$$u_{\text{BIrel}} = \frac{0.0265\% \times 20\text{A} + 2800\mu\text{A}}{\sqrt{3} \times 20\text{A}} \times 100\% = 0.0234\%$$

$$u_{\text{BPrel}} = \sqrt{u_{\text{BUrel}}^2 + u_{\text{BIrel}}^2} = 0.0478\%$$

$$u_{\text{BP}} = u_{\text{BPrel}} \times P_{hN} = 0.0478\% \times 400 = 0.191 \text{ W}$$

A.4.3.2.2 由标准源的稳定性等因素引入的不确定度分量为微小分量, 可忽略。

A.4.4 合成标准不确定度

标准不确定度汇总见表A.8

表A.8 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	标准不确定度分量 u_i / W
u_A	被测校验仪的测量重复性	正态	1	0.246
u_{BP}	谐波标准源的最大允许误差	均匀	1	0.191

合成不确定度:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{\text{BP}}^2} = 0.31 \text{ W}$$

A.4.5 扩展不确定度

$U = k \cdot u_c$, 取 $k=2$, 则基波频率 $f=50\text{Hz}$, 基波电压 $U=200\text{V}$, 基波电流 $I=50\text{A}$, 基波功率因数 $\cos\varphi=1$; 3次谐波电压含有率为10%, 3次谐波电流含有率为40%, 谐波功率因数 $\cos\varphi=1$, 谐波功率400W 测量点的扩展不确定度为:

$$U = 2 \times u_c = 0.7 \text{ W}, \quad k=2。$$

附录 B

校准原始记录格式

电能表现场校验仪校准原始记录

证书编号: xxxx—xxx

共 页 第 页

委托方: _____ 委托方地址: _____

仪器名称: _____ 制造单位: _____

规格型号: _____ 器具编号: _____ 准确度: _____

被校仪器状态 (完好“√”): _____ 校准前: _____ 校准后: _____

校准依据: _____ 环境条件: 温度: _____ °C 相对湿度: _____ %

标准器名称	规格型号	准确度等级/不确定度/最大允许误差	出厂编号	有效期	备注

1、外观及通电检查:

2、交流电能:

① 单相或三相平衡负载:

量程	相别	输入			相对误差 (%)			测量结果不确定度
		电压	电流	cosφ	第一次	第二次	平均值	
	ABC							
	AC							

②三相不平衡负载:

量程	相别	输入			相对误差 (%)			测量结果 不确定度
		电压	电流	cosφ	第一次	第二次	平均值	
	A							
	B							
	C							

3、交流电压、交流电流（直接或钳表连接）、频率、相位、功率因数:

功能	量程	标准值	显示值	测量结果不确定度

4、交流功率:

量程	设定值			标准值	显示值	测量结果不确 定度
	电压	电流	cosφ			

5、谐波电压、谐波电流：

基波电压（或电流）：		基波频率：			
谐波次数	谐波含有率（%）	谐波标准值	显示值		
			L1	L2	L3

测量结果不确定度：

6、谐波功率：

基波电压： 基波功率因数 $\cos\varphi = 1$		基波电流： 谐波功率因数 $\cos\varphi = 1$		基波频率：		
谐波次数	谐波电压含有率（%）	谐波电流含有率（%）	谐波功率标准值	显示值		
				L1	L2	L3

测量结果不确定度：

校准地点：_____ 校准日期：_____年_____月_____日

校准员：_____ 核验员：_____

附录C

校准证书内页格式

证书编号 ××××—×××

共 页 第 页

本次校准所使用的主要计量标准器具					
名称	型号/规格	编号	有效期至	证书编号	准确度等级/不确定度/ 最大允许误差
校准地点及环境条件:					
地点:					
环境温度: °C 相对湿度: %RH 其它:					
校准所依据的技术文件(代号、名称):					
注:					
1. ×××××仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。					
2. 本证书提供的校准结果仅对本次所校计量器具有效。					
3. 未经实验室书面批准,不得部分复印证书。					

校准证书内页格式 (校准结果)

证书编号 ××××—×××

共 页 第 页

1、外观及通电检查：

2、交流电能：

(1) 三相平衡负载：

量 程	相 别	输 入	相对误差 (%)	测量结果 不确定度

(2) 三相不平衡负载：

量 程	输 入	相对误差 (%)			测量结果 不确定度
		A相	B相	C相	

3、交流电压、交流电流（直接或钳表连接）、频率、相位、功率因数：

量 程	标准值	显示值	测量结果不确定度

4、交流功率：

量 程	设定值			标准值	显示值	测量结果 不确定度
	电压	电流	cosφ			

校准证书内页格式 (校准结果)

证书编号 ××××—×××

共 页 第 页

5、谐波电压、谐波电流：

基波电压 (或电流)：		基波频率：			
谐波次数	谐波含有率 (%)	谐波标准值	显示值		
			L1	L2	L3

测量结果不确定度：

6、谐波功率：

基波电压：		基波电流：		基波频率：		
基波功率因数 $\cos\varphi = 1$		谐波功率因数 $\cos\varphi = 1$				
谐波次数	谐波电压含有率 (%)	谐波电流含有率 (%)	谐波功率标准值	显示值		
				L1	L2	L3

测量结果不确定度：

附录D

电能表现场校验仪各参数示值误差表达式

D.1 交流电能的相对误差可用公式 (D.1) 表示:

$$\gamma = \frac{W_X - W_N}{W_N} \times 100\% \quad (\text{D.1})$$

式中:

γ ——电能相对误差;

W_X ——校验仪电能值;

W_N ——标准电能表电能值。

D.2 交流电压、交流电流、交流钳形电流、有功功率的示值误差可用公式 (D.2) 或公式 (D.3) 表示:

$$\Delta = \pm (a\%X_x + b\%X_m) \quad (\text{D.2})$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_x} = \pm (a\% + b\% \frac{X_m}{X_x}) \quad (\text{D.3})$$

式中:

X_x ——校验仪的读数值;

X_m ——校验仪的满度值;

a ——与读数值有关的误差系数;

b ——与满度值有关的误差系数;

Δ ——校验仪的绝对误差;

γ ——校验仪的相对误差。

a 和 b 一般应满足公式 (D.4) 关系:

$$a \geq 4b \quad (\text{D.4})$$

校验仪的准确度等级指数采用 $(a+b)$ 表示。

D.3 频率的示值误差可用公式 (D.5) 或公式 (D.6) 表示:

$$\Delta_f = f_x - f_N \quad (\text{D.5})$$

$$\gamma_f = \frac{f_x - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (\text{D.6})$$

式中:

Δ_f —— 频率示值误差;

γ_f —— 相对示值误差;

f_x —— 校验仪的频率示值;

f_N —— 对应频率参考值 (标准值)。

D.4 相位的示值误差用公式 (D.7) 表示, 功率因数的示值误差用公式 (D.8) 表示。

$$\Delta_\varphi = \varphi_x - \varphi_N \quad (\text{D.7})$$

$$\Delta_{PF} = PF_x - PF_N \quad (\text{D.8})$$

式中:

Δ_φ —— 相位示值误差;

φ_x —— 校验仪的相位示值;

φ_N —— 对应相位参考值 (标准值);

Δ_{PF} —— 功率因数示值误差;

PF_x —— 校验仪的功率因数示值;

PF_N —— 对应功率因数参考值 (标准值)。

D.5 谐波电压和谐波电流误差计算公式及最大允许误差见表D.1。

表 D.1 谐波误差计算公式及最大允许误差

参数	A级		S级		误差计算公式
	条件	最大允许误差	条件	最大允许误差	
电压	$U_{hN} \geq 1\% U_N$	$\pm 5\%$	$U_{hN} \geq 3\% U_N$	$\pm 5\%$	$\frac{U_h - U_{hN}}{U_{hN}} \times 100\%$
	$U_{hN} < 1\% U_N$	$\pm 0.05\%$	$U_{hN} < 3\% U_N$	$\pm 0.15\%$	$\frac{U_h - U_{hN}}{U_N} \times 100\%$
电流	$I_{hN} \geq 3\% I_N$	$\pm 5\%$	$I_{hN} \geq 10\% I_N$	$\pm 5\%$	$\frac{I_h - I_{hN}}{I_{hN}} \times 100\%$
	$I_{hN} < 3\% I_N$	$\pm 0.15\%$	$I_{hN} < 10\% I_N$	$\pm 0.50\%$	$\frac{I_h - I_{hN}}{I_N} \times 100\%$

注:

1. U_N 为基波电压, I_N 为基波电流;
2. U_h 为校验仪第 h 次谐波电压示值, U_{hN} 为第 h 次谐波电压标准值;
3. I_h 为校验仪第 h 次谐波电流示值, I_{hN} 为第 h 次谐波电流标准值;
4. A级符合GB/T 17626.30-2012中A级准确度测量方法, 用于要求精确测量电能质量指标参数的场合; S级符合GB/T17626.30-2012中S级准确度测量方法, 用于对电能质量常规测试及调查统计、排除故障等场合。

D.6 谐波功率误差计算公式及最大允许误差见表 D.2。

表 D.2 谐波功率误差计算公式及最大允许误差

参数	A级、S级		误差计算公式
	条件	最大允许误差	
谐波有功功率	$P_h \geq 150W$	$\pm 1\% P_N$	$P_h - P_{hN}$
	$P_h < 150W$	$\pm 1.5W$	

注: P_N 为基波功率, P_h 为校验仪第 h 次谐波功率示值, P_{hN} 为第 h 次谐波功率标准值。