工频谐波测量仪器校准规范

1 范围

本规范适用于工频谐波测量仪器（包括谐波分析仪和标准谐波功率源）的校准。这类仪器工作在实验室条件下，基波频率在 45 Hz 至 65 Hz 范围内，具有谐波电压、谐波电流和谐波功率的测量功能，或者它们中的一部分功能。

对标准功率表、标准电能表的谐波测量功能的校准，可参照本规范。

本规范不适用于谐间波的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1245.3—2010 安装式电能表型式评价大纲 特殊要求 静止式有功电能表（0.2S、0.5S、1 和 2 级）

GB/T 17215.302—2013 交流电测量设备 特殊要求 第 2 部分：静止式谐波有功电能表

GB/T 17215.321—2008 交流电测量设备 特殊要求 第 21 部分：静止式有功电能表（1 级和 2 级）

OIML R 46 Edition 2012 (E)：有功电能表（Active Electrical Energy Meters）

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

3.1 谐波［分量］ harmonic (component)

周期量的傅立叶级数中次数为大于 1 的整数的分量。

注：

1 本规范中，直流［分量］看作次数为 0 的谐波。

2 谐波电压、谐波电流及其形成的谐波功率等相关量的公式表达见附录 A。

3 改写 GB/T 17215.302—2013，定义 3.4。

3.2 谐波绝对误差 harmonic absolute error

谐波测量仪器测量的谐波示值与参考值（由测量标准装置提供的同次谐波示值）之间的差。以 V，mV，μV（谐波电压）；A，mA，μA（谐波电流）；或 W，mW，μW（谐波功率）表示。

3.3 谐波相对误差 harmonic relative error

谐波绝对误差与参考值的比。以 mV/V，μV/V（谐波电压）；mA/A，μA/A（谐波电流）；或 mW/W，μW/W（谐波功率）表示，也可以用百分数表示。

3.4 谐波引用误差 harmonic fiducial error

电压、电流的谐波绝对误差与基波参考值的比。以 mV/V，μV/V（谐波电压）；mA/A，μA/A（谐波电流），也可以用百分数表示。

功率的谐波绝对误差与基波视在功率参考值的比。以 mW/VA，μW/VA 表示，也可以以百分数表示。

注：谐波本身很小或为零的时候，用“谐波引用误差”表示比较方便。

3.5 谐波含有率误差 harmonic ratio error

谐波含有率示值与相应参考值之间的差。以百分数表示。

4 概述

工频谐波测量仪器包括谐波分析仪和标准谐波功率源。适用于基波频率为 45 Hz 至 65 Hz 的非正弦周期信号的分析。

谐波分析仪是测量仪表，测量非正弦周期信号，分析给出基波和各次谐波的参数（幅值、有效值、相角差等）。在规定条件下，所分析的结果符合仪器本身具有的准确度要求（或准确度等级，或最大允许误差，下同）。一般采用采样和傅立叶变换原理。

标准谐波功率源是能稳定输出非正弦周期信号的设备，可以设定各次谐波的参数（幅值、有效值、相角差等）。在规定条件下，提供的各次谐波的参数符合该信号源本身具有的准确度要求。

5 计量特性

5.1 基波的频率、电压、电流、功率

试验信号中只含有基波分量，测量频率、电压、电流、功率。基波的频率、各量程电压、电流和功率的测量结果应满足确定的准确度要求。

准确度要求由送检单位确定，所确定的准确度一般不优于生产厂商在技术说明书中的规定（下同）。

注：本试验应反映被校仪器与“谐波”有关的特性。被校仪器是谐波分析仪的，应在“谐波测量”功能（或类似功能）下进行试验；被校仪器是标准谐波源的，应在“谐波模式”（或类似模式）下进行试验（下同）。

5.2 基波和单个谐波组合的电压、电流

试验信号为基波分量和一个谐波分量的组合，测量电压、电流中基波和谐波分量。各量程电压、电流的基波和谐波的测量结果均应满足确定的准确度要求。

5.3 基波和单个谐波组合的功率

试验信号为基波分量和一个谐波分量的组合，测量功率的基波和谐波分量。各量程的基波有功功率和谐波有功功率的测量结果均应满足确定的准确度要求。

5.4 综合波形的电压、电流、功率

试验信号为基波分量和多个谐波分量的组合，测量电压、电流、功率的基波和各次谐波分量。各量程的电压、电流和功率（如总有功功率）的测量结果均应满足确定的准确度要求。

5.5 空置谐波电压、电流

试验信号中含有基波分量和少数谐波分量，其余均置零值。这些置零值的谐波简称空置谐波。测量电压、电流的各次谐波分量，包括空置谐波。空置谐波的测量结果应满足确定的准确度要求。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境条件及其要求如下：

1）环境温度：(20±2)℃；

2）相对湿度：50％±15％；

3）供电电源：(220±22) V，(50±1) Hz；

4）外部磁感应强度：不大于 0.05 mT。

6.2 测量标准及其他设备

工频谐波测量标准一般有两类，分析仪类和功率源类。

6.2.1 标准器及配套设备

6.2.1.1 分析仪类测量标准所需的标准器及配套设备如下：

1）标准谐波分析仪；

2）谐波功率源；

3）其他必要的设备。

这类测量标准可以校准谐波分析仪和标准谐波功率源，见附录 B.1 和 B.2。

6.2.1.2 功率源类测量标准所需的标准器及配套设备如下：

1）标准谐波功率源；

2）其他必要的设备。

这类测量标准可以校准谐波分析仪，见附录 B.3。

6.2.2 标准器的计量溯源性

校准所使用的测量标准器应经过上级计量技术机构校准，能够溯源到国家最高测量标准。开展校准时其校准证书应在有效期内。

分析仪类测量标准中的标准谐波分析应经过上级计量技术机构校准，谐波功率源应定期进行稳定性考核。在组建标准装置之初，应通过自行实验，或者整体送上级技术机构做首次校准，在确证装置整体指标的同时，获得谐波功率源的稳定性参数；并以此作为依据，利用装置本身的标准谐波分析仪，定期测量功率源的稳定性，衡量是否符合要求。

标准装置应在规定的环境条件下开展校准试验。

6.2.3 标准器的准确度要求

标准装置的扩展不确定度应为被校仪器相关准确度要求绝对值的 1/3。

被校仪器准确度要求为 0.01％的，标准装置的扩展不确定度可放宽为被校仪器的 1/2。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表3。

表1 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款	每次进行	可选择
1	外观及通电检查	7.2.1	√	
2	基波的频率、电压、电流、功率测量	7.2.2	√	
3	基波与单个谐波组合的电压、电流测量	7.2.3	√	
4	基波与单个谐波组合的功率测量	7.2.4	√	
5	综合波形的电压、电流、功率测量	7.2.5		√
6	空置谐波电压、电流检查	7.2.6		√

7.2 校准方法

7.2.1 外观及通电检查

目测仪器外观，检查有无影响正常工作的机械损伤，有无缺少正常工作所需的附件。

通电，检查显示是否清楚、正确，基本功能是否能正常操作。

7.2.2 校准前的准备

a）试验信号测量范围选择

试验信号中谐波的最高次数不超过由生产厂商提供的最高次数。一般可以有21、31、41，或50、60等。

电压试验信号的最大值（或有效值）应在生产厂商提供的电压量程的限度以内。电压量程以有效值表示，可以有60 V、100 V、220 V。一般不超过500 V。

电流试验信号的最大值（或有效值）应在生产厂商提供的电流量程的限度以内。电流量程以有效值表示，可以有0.5 A、1 A、5 A、10 A等，一般不超过100 A。

试验信号的谐波含有率一般在1％～40％范围内选择。

b）接线

按附录B的要求，将被校仪器与标准设备相连接。

c）预热

被校仪器按生产厂商准确度要求预热。

d）同步

被校仪器如有同步触发功能的，要与标准装置中相关仪器的相应接口相连接，并启动这个功能。

e）测量时间选择

测量结果应通过多次测量平均得到，每次的测量时间应覆盖多个周期。测量时间和测量次数的选择应满足校准扩展不确定度的要求。

7.2.3 基波的频率、电压、电流、功率测量

7.2.3.1 此项试验的信号仅由基波组成。

7.2.3.2 选择有代表性的电压点，在被校仪器说明书规定的范围内，选择并测量两个不同的基波频率。

7.2.3.3 电压、电流的试验点应覆盖所有的量程。

7.2.3.4 功率试验中功率因数的选择，应包含 1，0.5（L），0.8（C）。

7.2.3.5 被校仪器是三相的，以单相形式分别进行试验（下同）。

7.2.3.6 被校仪器是谐波分析仪的，上述试验信号由谐波功率源提供，输入至被校谐波分析仪和标准谐波分析仪（附录 B.1），标准谐波分析仪给出参考值。或者试验信号由标准谐波功率源提供，输入至被校谐波分析仪（附录 B.3），标准谐波功率源给出参考值。由被校谐波分析仪的示值与参考值计算相应的误差。

被校仪器是标准谐波功率源的，上述试验信号由该功率源提供，输入至标准谐波分析仪（附录 B.2），标准谐波分析仪给出参考值。由被校标准谐波功率源的示值与参考值计算相应的误差。

例如被校仪器的绝对误差可以计算为：

$$\Delta C = C - C_0 \tag{1}$$

式中：

ΔC ——被校仪器的绝对误差；

C ——被校仪器的示值；

C_0 ——标准仪器提供的参考值。

7.2.4 基波与单个谐波组合的电压、电流测量

7.2.4.1 此项试验的试验信号由基波和一个谐波信号组成。不同次数的谐波分别试验。

7.2.4.2 试验的谐波次数，一般低阶（如第 2 至第 10 次）应被选取，其他选择有代表性的谐波次数进行试验（如每 10 个谐波中选取 1 或 2 个次数），最高的两个次数应被选取（例如当最高谐波次数是 50 时，选取第 49、50 次）。直流可选。

7.2.4.3 试验信号中的基波与谐波的初相角可设置为零。

7.2.4.4 试验点应包含所有的量程。

7.2.4.5 对主要量程，可等间隔地选取若干试验点进行线性测量。主要量程的线性测量中，谐波次数允许适当减少。

7.2.4.6 按 7.2.3.6 的要求，进行试验并计算相应校准结果。

7.2.5 基波与单个谐波组合的功率测量

7.2.5.1 由基波与一个谐波组成的试验信号，建议采用但不限于由 GB/T 17215.321—2008 规定的下列波形。

电压和电流信号均由基波和 5 次谐波组成，电压 5 次谐波含有率为 10%，电流 5 次谐波含有率为 40%，基波的功率因数和 5 次谐波的功率因数均为 1。

7.2.5.2 按 7.2.3.6 的要求，进行试验并计算相应校准结果。

7.2.6 综合波形的电压、电流、功率测量

7.2.6.1 此项试验的试验信号由基波和多个谐波组成，试验一般包括电压、电流和功

率测量。建议采用但不限于由 OIML R 46 Edition 2012（E）建议的下列波形。

a）平顶波

电压、电流试验信号的基波和谐波组成如表 2 所示。电流平顶波波形如图 1 所示。

此试验信号可用于电压、电流和功率的基波和各次谐波分量的测量，也用于电压和电流总谐波畸变率（THD）的测量。参考值由标准装置给出，不得仅从表 2 中的数据导出。

表 2　平顶波

谐波次数	电流谐波含有率设定值/%	电流初相角	电压谐波含有率设定值/%	电压初相角
1	100	0°	100.0	0°
3	30	0°	3.8	180°
5	18	0°	2.4	180°
7	14	0°	1.7	180°
11	9	0°	1.0	180°
13	5	0°	0.8	180°

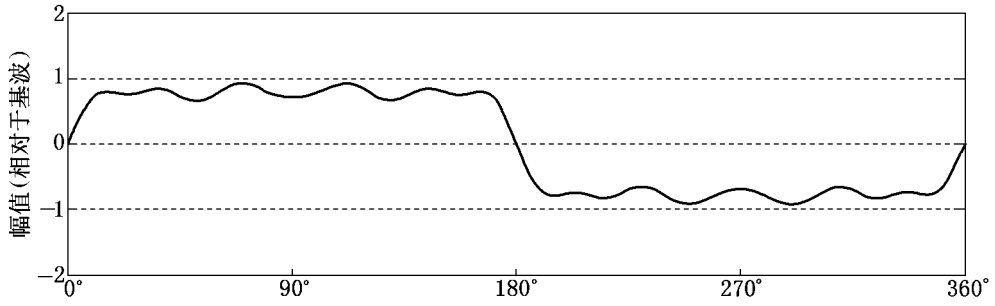


图 1　电流平顶波

b）尖顶波

电压、电流试验信号的基波和谐波组成如表 3 所示。电流尖顶波波形如图 2 所示。

此试验信号可用于电压、电流和功率的基波和各次谐波分量的测量，也用于电压和电流总谐波畸变率（THD）的测量。参考值由标准装置给出，不得仅从表 3 中的数据导出。

表 3　尖顶波

谐波次数	电流谐波含有率设定值/%	电流初相角	电压谐波含有率设定值/%	电压初相角
1	100	0°	100.0	0°
3	30	180°	3.8	0°
5	18	0°	2.4	180°
7	14	180°	1.7	0°
11	9	180°	1.0	0°
13	5	0°	0.8	180°

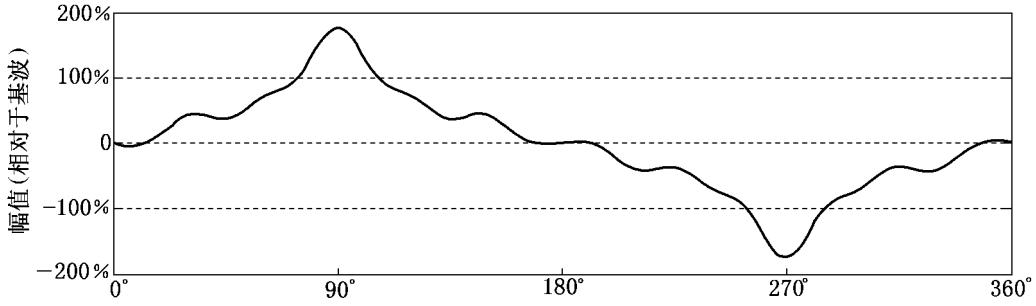


图 2　电流尖顶波

7.2.6.2　按 7.2.3.6 的要求，进行试验并计算相应校准结果。

7.2.7　空置谐波电压、电流检查

7.2.7.1　此项试验的非正弦周期信号建议采用但不限于由 GB/T 17215.321—2008 规定的下列波形。

试验信号由基波和 5 次谐波组成。分别进行电压和电流试验。

电压 5 次谐波含有率 10％，电流 5 次谐波含有率 40％。

测量直流、基波、2 次、3 次、4 次、5 次、6 次的结果。

其中直流、2 次、3 次、4 次、6 次是空置谐波。

注：

1　本校准项目可与 7.2.4 结合进行。

2　为了检查被校仪器可能存在的其他问题，建议在本试验中查看直至最高次数的所有谐波的测量结果。

7.2.7.2　按 7.2.3.6 的要求，进行试验并计算相应校准结果。

8　校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反应，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（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）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声明；

p）未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 C，校准证书（报告）内页格式见附录 D。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 12 个月。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

谐波电压、谐波电流的公式表达

A.1　谐波电压［分量］harmonic voltage（component）

U_h

由（A.1）式表示的非正弦周期电压 u：

$$u = U_0 + \sqrt{2}U_1\sin(2\pi ft + \alpha_1) + \sum_{h=2}^{H}\sqrt{2}U_h\sin(2\pi hft + \alpha_h) \qquad (A.1)$$

式中：

第 1 项 U_0 是直流电压分量；

第 2 项为基波电压分量；

U_1 ——基波电压的有效值；

f ——基波电压的频率；

α_1 ——当时间 $t=0$ 时，基波电压的相角，称为基波初相角；

第 3 项是谐波电压分量的和；

U_h ——第 h 次谐波电压分量的有效值；

α_h ——当时间 $t=0$ 时，第 h 次谐波电压的相角，称为谐波初相角；

H ——考虑的最高谐波次数；

直流电压分量一般看作为 $h=0$ 时的谐波。

A.2　谐波电流［分量］harmonic current（component）

I_h

由（A2）式表示的非正弦周期电流 i：

$$i = I_0 + \sqrt{2}I_1\sin(2\pi ft + \beta_1) + \sum_{h=2}^{H}\sqrt{2}I_h\sin(2\pi hft + \beta_h) \qquad (A.2)$$

式中：

第 1 项 I_0 是直流电流分量；

第 2 项为基波电流分量；

I_1——基波电流的有效值；

f ——基波电流的频率；

β_1——当时间 $t=0$ 时，基波电流的相角，称为基波初相角；

第 3 项是谐波电流分量；

I_h——第 h 次谐波电流的有效值；

β_h——当时间 $t=0$ 时，第 h 次谐波电流的相角，称为谐波初相角；

H——考虑的最高谐波次数；

直流电流分量一般看作为 $h=0$ 时的谐波。

A.3　基波有功功率 fundamental active power

P_1

基波的有功功率由（A3）式定义：

$$P_1=U_1 I_1\cos(\alpha_1-\beta_1) \tag{A.3}$$

注：基波视在功率 S_1 定义为

$$S_1=U_1 I_1 \tag{A.4}$$

A.4 第 h 次谐波有功功率 h^{th}order harmonic active power

P_h

第 h（$h\neq0$，$h\neq1$）次谐波有功功率由（A5）式定义：

$$P_h=U_h I_h\cos(\alpha_h-\beta_h) \tag{A.5}$$

A.5 总有功功率 total active power

P

总有功功率由（A6）式定义：

$$P=P_1+P_0+\sum_{h=2}^{H}P_h \tag{A.6}$$

式中：

$$P_0=U_0 I_0 \tag{A.7}$$

P_0——直流功率。

A.6 谐波含有率 harmonic ratio（HR）

[GB/T 14549—93 术语 3.7]

第 h 次谐波电压含有率由（A8）式定义：

$$\mathrm{HRU}_h=\frac{U_h}{U_1} \tag{A.8}$$

第 h 次谐波电流含有率由（A9）式定义：

$$\mathrm{HRU}_I=\frac{I_h}{I_1} \tag{A.9}$$

A.7 总谐波畸变率 total harmonic distortion（THD）

总谐波电压畸变率 THD_U 由（A10）式定义：

$$\mathrm{THD}_U=\frac{U_H}{U_1} \tag{A.10}$$

式中：

$$U_H=\sqrt{U_0^2+\sum_{h=2}^{H}U_h^2} \tag{A.11}$$

总谐波电流畸变率 THD_I 由（A12）式定义：

$$\mathrm{THD}_I=\frac{I_H}{I_1} \tag{A.12}$$

式中：

$$I_H=\sqrt{I_0^2+\sum_{h=2}^{H}I_h^2} \tag{A.13}$$

附录 B

测量标准及其与被校仪器的接线

B.1 分析仪类测量标准校准谐波分析仪

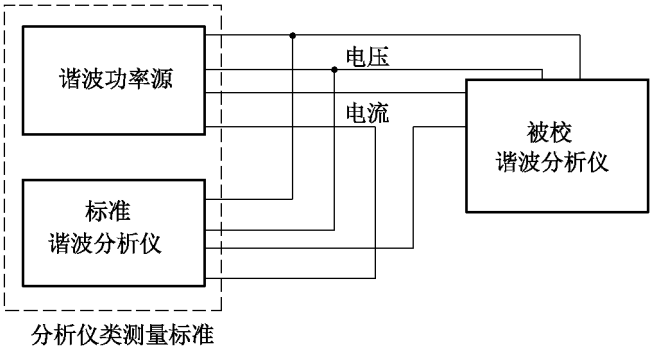


图 B.1 分析仪类测量标准校准谐波分析仪接线示意图

B.2 分析仪类测量标准校准标准谐波功率源

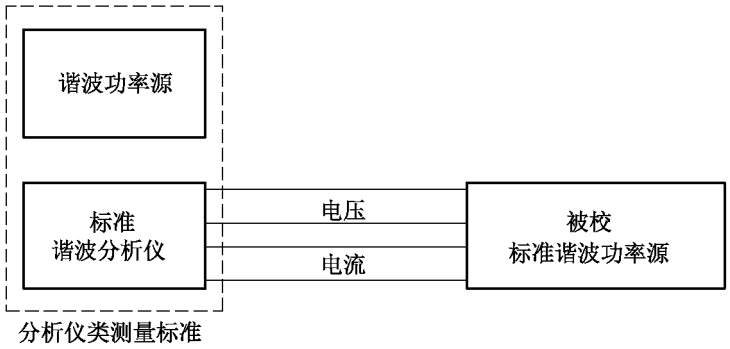


图 B.2 分析仪类测量标准校准标准谐波功率源接线示意图

B.3 功率源类测量标准校准谐波分析仪



图 B.3 功率源类测量标准校准谐波分析仪接线示意图

附录 C

校准原始记录格式

工频谐波测量仪器校准原始记录

校准证书编号：_____校准日期：_____
送检单位名称：_____
送检单位地址：_____
仪器名称：_____型号/规格：_____出厂编号：_____
生产厂商：_____准确度等级：_____
所依据的技术文件（代号、名称）：_____
温度：____℃ 相对湿度：____% 检定地点：_____
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：_____
准确度等级：_____计量标准证书号：_____有效期至：_____

一、外观及通电检查：

二、基波的频率、电压、电流、功率测量

1. 频率

被校仪器	试验信号		参考值/Hz	被测值/Hz	相对误差/%
电压量程/V	电压/V	频率/Hz			

2. 电压（频率：　　Hz）

被校仪器	试验信号	参考值/V	被测值/V	相对误差/%
电压量程/V	电压/V			

3. 电流（频率：　　Hz）

被校仪器	试验信号	参考值/Hz	被测值/Hz	相对误差/%
电流量程/A	电流/A			

4. 功率（频率：　　Hz）

被校仪器		试验信号			参考值 W	被测值 W	相对误差 %
电压量程 V	电流量程 A	电压 V	电流 A	功率因数 $\cos\phi$			
				1.0			
				0.5 L			
				0.8 C			

三、基波与单个谐波组合的电压、电流测量

1. 电压

被校仪器	试验信号				参考值	被测值	误差	
量程 V	基波频率 Hz	基波电压 V	谐波次数	谐波含有率/%	V 或%[a]	V 或%[a]	结果 %	性质[b]
			1	100				
			h					

[a] 基波和谐波的参考值和被测值都可以是以 V 为单位的电压值；也可以谐波是以%为单位的含有率值，此时基波必须是以 V 为单位的电压值。

[b] 基波应为相对误差，谐波可以是含有率误差，也可以是相对误差（引用误差）。

2. 电流

被校仪器	试验信号				参考值	被测值	误差	
量程 A	基波频率 Hz	基波电流 A	谐波次数	谐波含有率/%	A 或%[a]	A 或%[a]	结果 %	性质[b]
			1	100				
			h					

[a] 基波和谐波的参考值和被测值都可以是以 A 为单位的电流值；也可以谐波是以%为单位的含有率值，此时基波必须是以 A 为单位的电流值。

[b] 基波应为相对误差，谐波可以是含有率误差，也可以是相对误差（引用误差）。

四、基波与单个谐波组合的功率测量（基波频率：　　Hz）

被校仪器		试验信号					参考值 W 或 %[a]	被测值 W 或 %[a]	误差	
电压量程 V	电流量程 A	基波电压 V	基波电流 A	谐波次数	电压谐波含有率 %	电流谐波含有率 %			结果（%）	性质[b]
				1	100	100				
				5	10	40				

[a] 基波和谐波的参考值和被测值都可以是以 W 为单位的功率值；也可以谐波是以%为单位的含有率值，此时基波必须是以 W 为单位的功率值。

[b] 基波应为相对误差，谐波可以是含有率误差，也可以是相对误差（引用误差）。

五、综合波形的电压、电流、功率测量

1. 平顶波

（1）电压（基波频率：　　Hz）

被校仪器	试验信号			参考值	被测值	误差	
电压量程 V	基波电压 V	谐波次数	谐波含有率 %	V 或%[a]	V 或%[a]	结果%	性质[b]
		1	100.0				
		3	3.8				
		5	2.4				
		7	1.7				
		11	1.0				
		13	0.8				
		THD	4.973				

[a] 基波参考值和被测值都是以 V 为单位的电压值；谐波是以%为单位的含有率值。

[b] 基波为相对误差，谐波是含有率误差。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/746211243113010034