

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1205—2008

谐波和闪烁分析仪校准规范

Calibration Specification for Harmonious
and Flicker Analysis System

2008-04-23 发布

2008-07-23 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

谐波和闪烁分析仪校准规范

Calibration Specification for
Harmonious and Flicker Analysis System

JJF 1205—2008

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2008 年 4 月 23 日批准，并自 2008 年 7 月 23 日起施行。

归口单位：全国无线电计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

本规范由全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

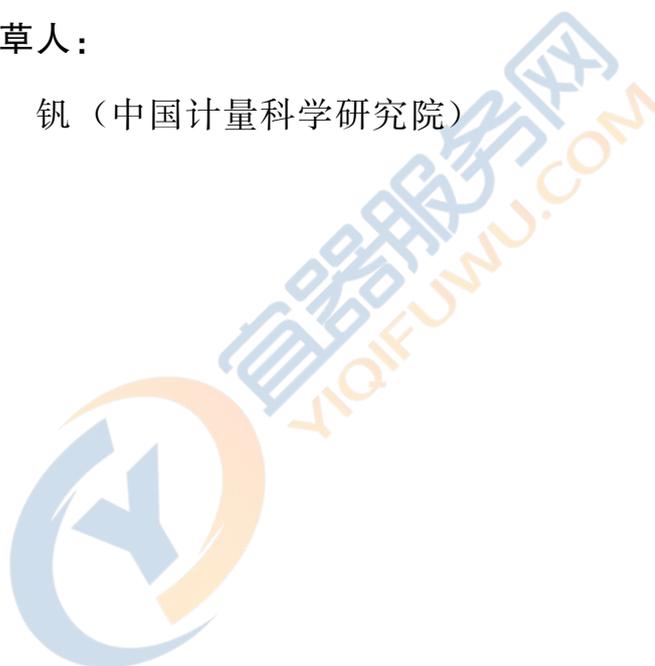
王维龙（中国计量科学研究院）

谢 鸣（中国计量科学研究院）

黄 攀（中国计量科学研究院）

参加起草人：

吴 钊（中国计量科学研究院）



目 录

1	范围	(1)
2	引用文献	(1)
3	术语和定义	(1)
4	概述	(1)
5	计量特性	(2)
6	校准条件	(2)
6.1	环境条件	(2)
6.2	校准用的主要设备	(2)
7	校准项目和校准方法	(3)
7.1	外观及工作正常性检查	(3)
7.2	电流和线性校准	(3)
7.3	电压幅度校准	(3)
7.4	电流频率响应校准	(3)
7.5	功率校准	(4)
7.6	A类谐波的校准	(4)
7.7	D类谐波的校准	(4)
7.8	瞬态谐波的校准	(4)
7.9	闪烁的校准	(5)
7.10	谐间波的校准	(6)
7.11	内置实体参考阻抗的校准	(6)
7.12	纯净电源的校准	(7)
8	校准结果表达	(8)
9	复校时间间隔	(8)
附录 A	校准记录格式	(9)
附录 B	校准证书内页内容	(15)
附录 C	不确定度评定实例	(21)

谐波和闪烁分析仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于对新制造、使用中和修理后的谐波范围不大于 40 次，满足 GB 17625.1—2003 和 GB 17625.2—2007 标准要求的谐波和闪烁分析仪的校准。

2 引用文献

GB 17625.1—2003 电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$ ）

GB 17625.2—2007 电磁兼容 限值 对额定电流不大于 16A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限制

GB/T 17626.7 电磁兼容 试验和测试技术 供电系统及所连设备的谐波、谐间波的测量和测量仪器导则

GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 谐间波 interharmonics

处于供电频率的谐波之间的那些频率分量。

3.2 闪烁 flicker

亮度或频谱分布随时间变化的光刺激所引起的不稳定的视觉效果。

3.3 短期闪烁指示值 P_{st} short-term flicker indicator

评价短时间（几分钟）内闪烁的严酷程度； $P_{st}=1$ 表示敏感性常规阈值。

3.4 长期闪烁指示值 P_{lt} long-term flicker indicator

用连续的 P_{st} 值评定长时间（几小时）内闪烁的严酷程度。

4 概述

谐波和闪烁分析仪主要用于测量 EUT（被测设备）在工作时注入到电网中的谐波含量；以及 EUT 在电网中引起的电网电压的变化及其变化频度。其原理框图如图 1 所示。

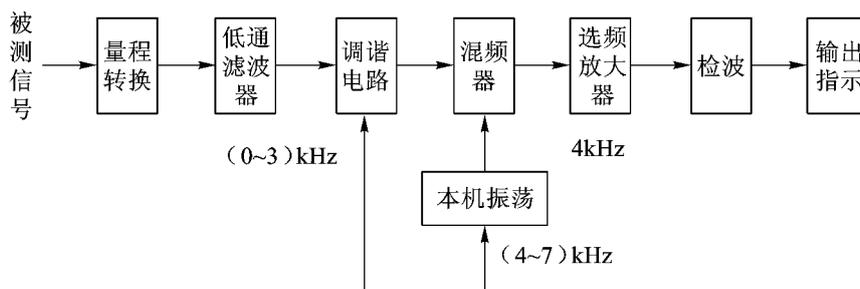


图 1 谐波和闪烁分析仪原理框图

5 计量特性

5.1 电流范围： $I \leq 16$ A，允差： $(50 \text{ mA} \sim 1 \text{ A})$ ， $\pm 0.4\%$ ； $(1 \sim 10) \text{ A}$ ， $\pm 0.3\%$ ； $(10 \sim 50) \text{ A}$ ， $\pm 0.15\%$ 。

5.2 电压幅度范围： $110 \text{ V} \sim 240 \text{ V}$ ，允差 $\pm 1\%$ 。

5.3 电流频率响应，频率对应为基波到40次谐波。

5.4 功率：功率因数分为1、 -0.5 、 $+0.5$ 三挡。

5.5 A类设备的稳态谐波电流，其中谐波次数为从2次 \sim 40次。

5.6 D类设备稳态谐波电流，其中谐波次数为从3次 \sim 39次的奇次谐波。

5.7 瞬态谐波电流，谐波信号选用三次谐波的方波调制。

5.8 短期闪烁， $P_{st}=1$ ； $P_{lt}=5$ ，允差： $\pm 5\%$ 。

5.9 谐间波

5.10 内置实体参考阻抗

单相系统的内置实体参考阻抗通常为 $(0.4 + j0.25)\Omega$ ；

有些单相系统，火线为 $(0.24 + j0.15)\Omega$ ，中线为 $(0.16 + j0.10)\Omega$ 。

允差： $\pm 2\%$

5.11 纯净电源

5.11.1 电源电压谐波含量

5.11.2 电源电压随频率稳定度

5.11.3 电源电压随负载稳定度

5.11.4 频率随负载变化稳定度

5.11.5 峰值因数、峰值相位

注：各项参数的允差指标不作为合格判别指标，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$

6.1.2 相对湿度： $\leq 60\%$

6.1.3 交流供电电源： $(220 \pm 11) \text{ V}$ ， $(50 \pm 2) \text{ Hz}$

6.1.4 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械震动

6.2 校准用的主要设备

6.2.1 电能标准源

基波电压、电流、功率： 0.01% ；

谐波电流、电压幅度： 0.003%

6.2.2 电子交流负载

基波电流、电压、功率： 0.02% ；

谐波电压电流幅值： 0.1%

6.2.3 电能表

电压测量，电流测量 0.01%；

谐波电流测量，谐波电压测量，幅度 0.05%

6.2.4 所有校准用仪器均应检定合格，应在检定有效期内，或经校准，有已知的不确定度并具溯源性。

6.2.5 所有校准用仪器均应按规定进行预热，按说明书进行操作。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 被校准谐波和闪烁分析仪系统应带有必要的附件。

7.1.2 被校准谐波和闪烁分析仪系统各部分应完好无损，无影响正常工作的机械损伤。

7.1.3 被校准谐波和闪烁分析仪系统接入校准装置后能正常工作。

7.1.4 校准系统按规定预热后进行全面自校准，可进行正常工作。

7.2 电流和线性校准

7.2.1 谐波和闪烁分析仪校准连接如图 2 所示。

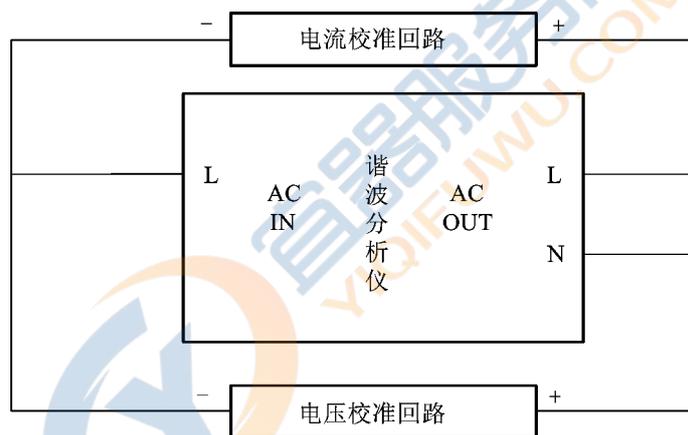


图 2 谐波和闪烁分析仪校准电路连接图

电能标准源电流回路的正极接在谐波分析仪 AC OUT 端的火线上，负极接在分析仪 AC IN 的火线上；电压回路的正极接在谐波分析仪 AC OUT 端的中线上，负极接在分析仪 AC IN 端的火线上。

7.2.2 选择谐波和闪烁分析仪“稳态谐波测试”模式，按附录 A 表 A.1 设置电能标准源电流回路的输出电流有效值，分别读取分析仪的电流指示值，记入附录 A 表 A.1。

7.3 电压幅度校准

7.3.1 如图 2 所示连接仪器。

7.3.2 选择谐波和闪烁分析仪“稳态谐波测试”模式，按附录 A 表 A.2 设置电能标准源电压回路的输出电压值，分别读取分析仪的电压指示值，记入附录 A 表 A.2。

7.4 电流频率响应校准

7.4.1 如图 2 所示连接仪器

7.4.2 电能标准源电流回路输出的电流有效值固定为 5A，频率分别设定为从基波频率 50 Hz 到 40 次谐波所对应的频率 2 kHz，具体频率设定见附录 A 表 A.3。

7.4.3 分别读取各频率点上分析仪指示的电流有效值，记入附录 A 表 A.3。

注 1：在设置上述谐波时，其他次的谐波电流和基波电流幅值为 0A。确保电能标准源输出有效值为 5A。

注 2：针对不同的需要，可以不校全部的频率分量而只校其中一部分。

7.5 功率校准

电能标准源电压回路的输出为 220 V，电流回路输出的电流有效值为 2.5A 和不同的功率因数，在不同功率因数的情况下，读取分析仪的功率有效值，记入附录 A 表 A.4。

7.6 A 类谐波的校准

7.6.1 如图 2 所示连接仪器

7.6.2 电能标准源电压回路的输出设定为 220 V，电流回路基波电流输出 2.3A，各次谐波（2 次～40 次）电流的值设定为标准中规定的限值，并设定各次谐波电流相对于基波的相角，详见附录 A 表 A.5。

7.6.3 被校分析仪选择“A 类”和“稳态谐波测试”模式，校准测试时间为 2.5 min。

7.6.4 读取分析仪各次谐波电流的值，记入附录 A 表 A.5，并与设定的谐波电流限值相比较。

注：由于 B、C 类设备谐波电流的限值与 A 类相同，不再进行校准。

7.7 D 类谐波的校准

7.7.1 如图 2 所示连接仪器

7.7.2 电能标准源总的输出电流的有效值设定为 2.5A，电压为 220 V、频率为 50 Hz，根据标准设定各奇次（3 次～39 次）谐波电流的幅值，并设定各奇次谐波与基波的相角。

7.7.3 调整标准源电流的波形，使功率因数为 0.5，输出有功功率为 300W。根据输出功率计算各次谐波的限值。

7.7.4 选择分析仪工作在“D 类”和“稳态谐波测试”模式，读取分析仪各次谐波电流的值，记入附录 A 表 A.6 并与设定的谐波电流限值相比较。

注：谐波电流的幅值和相位的这种结合所给出的波形满足标准中所定义的波形。

7.8 瞬态谐波的校准

7.8.1 如图 2 所示连接仪器。

7.8.2 电能标准源发出一个经过方波调制的三次谐波，即如图 3 所示的瞬态谐波信号。

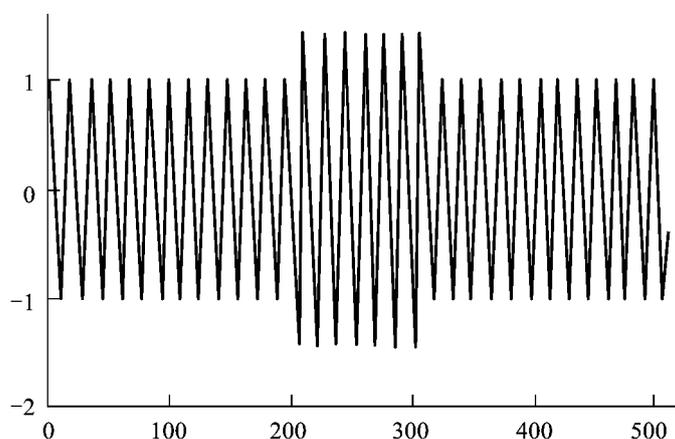


图 3 瞬态谐波信号

每一电平值的持续时间分别为 3s, 4s, 5s, 6s。

7.8.3 在电能标准源瞬态谐波设置中令三次谐波的电流幅值为 2.875A, 调制深度为 20%, 取调制方波频率分别为 0.167 Hz、0.125 Hz、0.1 Hz、0.0833 Hz 进行方波调制。分别得到重复周期分别为 3s、4s、5s、6s 时, 已调谐间波的标准输出值。

7.8.4 分析仪工作在瞬态工作模式下, 分别读出三次谐波的有效值并记入附录 A 表 A.7。

7.8.5 按式 (1) 计算分析仪 (一阶低通滤波器) 的时间常数, 判断其是否在 1.5 (1±10%)s 内之间变化。

$$\tau = -\frac{T}{\ln\left(\frac{I_L - I_{\max}}{I_{\max} - I_{\text{low}}}\right)} \quad (1)$$

式中 T ——电平持续时间, s;

I_{\max} ——充电电流的最大值, A;

I_L ——调制方波信号的高电平, A;

I_{low} ——调制方波信号低电平, A;

τ ——滤波器的时间常数, s。

注: 式 (1) 中符号的物理含义可参见图 4。

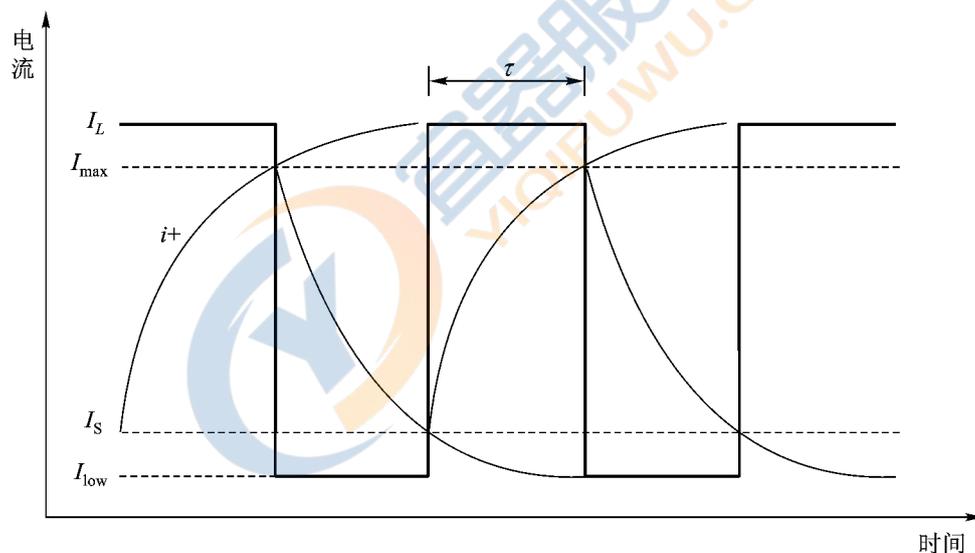


图 4 分析仪 (1.5 s 的滤波器) 的充放电波形

7.9 闪烁的校准

7.9.1 如图 2 所示连接仪器。

7.9.2 按照标准中给出的等距矩形电压变化 $P_{st}=1$ 的要求, 在标准源输出 50 Hz 电压的情况下进行方波调制, 并按附录 A 表 A.8 中所列的调制频率、每分钟电压变化的次数及调制深度分别进行设定。

7.9.3 选择谐波分析仪闪烁测试工作模式, 分别读取谐波分析仪 P_{st} 的值, 记入附录 A 表 A.8。

7.9.4 将调制深度提高 5 倍, 即 $P_{st}=5$, 其他设定不变, 重复 7.9.2 和 7.9.3 条操作, 分别读取谐波分析仪 P_{st} 的值, 记入附录 A 表 A.9。

7.10 谐间波的校准

7.10.1 如图 2 所示连接仪器。

7.10.2 将电能标准源的谐间波源 A 开启，电流幅度设为 3A，按附录 A 表 A.3 分别设定谐间波频率、谐波次数以复现谐间波标准电流值。

7.10.3 选择谐波分析仪工作在稳态谐波测试模式，分别读取各谐间波频率、分析仪的电流指示值并给出误差。

7.11 内置实体参考阻抗的校准

单相系统的内置实体参考阻抗通常为 $(0.4 + j0.25)\Omega$ ；有些单相系统，火线为 $(0.24 + j0.15)\Omega$ ，中线为 $(0.16 + j0.10)\Omega$ 。

三相系统的内置实体参考阻抗火线为 $(0.24 + j0.15)\Omega$ ，中线上为 $(0.16 + j0.10)\Omega$ 。

7.11.1 如图 5 所示连接仪器。

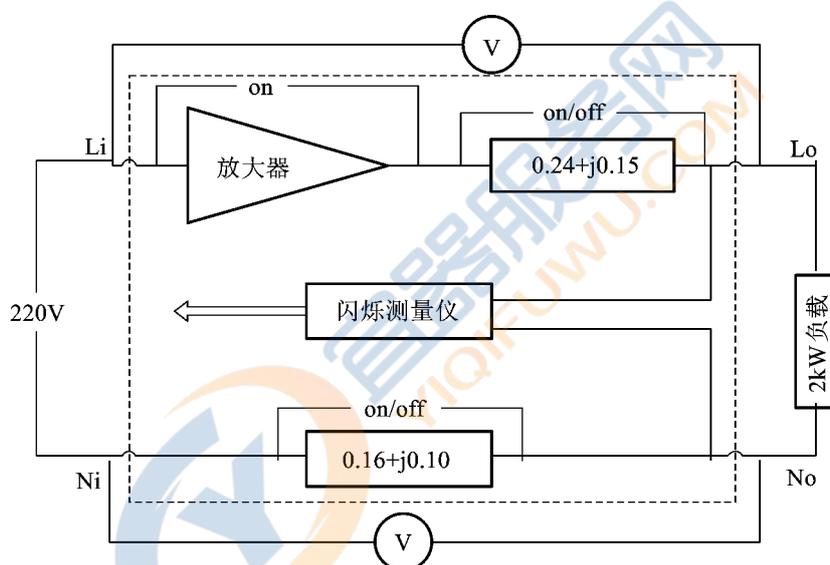


图 5 阻抗校准原理图

7.11.2 选择闪烁测试仪工作在闪烁测试模式，用电压表和电流表分别测出火线和中线上的电压和电流，电压、电流两个值相比可以计算出火线和中线上的阻抗值，其中包括导线上的阻抗值。

7.11.3 选择闪烁测试仪工作在非测试状态，再次测出火线、中线上的电压和电流，并求出火线和中线上的阻抗值。

7.11.4 在被校分析仪的闪烁和谐波两种状态下测得的两个阻抗值相减可以求得参考阻抗模值。

7.11.5 电阻的校准

7.11.5.1 如图 6 所示连接仪器。

7.11.5.2 闪烁测量仪的一端短路，另一端接高精度的欧姆表，分别测出闪烁测量仪在闪烁测试模式和非闪烁状态下的电阻值，用两值之差计算出参考电阻值与理论值 0.4Ω 进行比较。

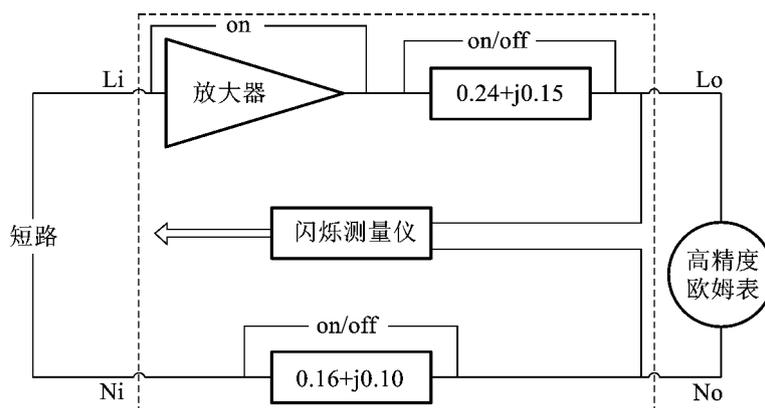


图 6 电阻校准原理图

7.12 纯净电源的校准

7.12.1 电源电压谐波含量的校准

7.12.1.1 如图 7 所示连接仪器。

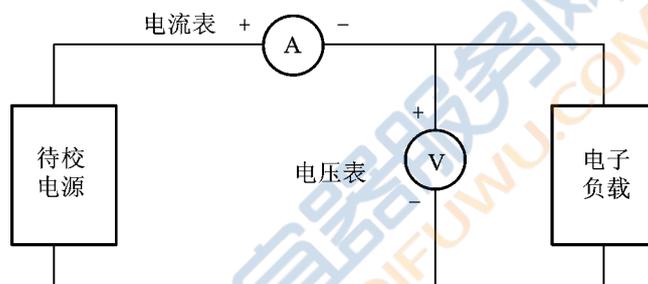


图 7 电源电压谐波含量的校准原理图

被校准电源给纯阻性电子负载供电，而电流表串联接在电路中，电压表并联接在电路中。纯净电源的校准项目包括：电压谐波含量、电压随频率的稳定度、电压随负载的稳定度、负荷功率随频率变化的稳定度以及电源总谐波失真率。

7.12.1.2 被校纯净电源电压有效值设为 220 V，交流电子负载接近电源的满载，依据标准对纯净电源电压各次谐波含量和电源总谐波失真率要求进行设定，见附录 A 表 A.11。

7.12.1.3 按附录 A 表 A.11 调整谐波次数并输出相应的电压谐波电压，分别读取谐波分析仪的示值，记入附录 A 表 A.11。

注 1：空载时的校准要求、操作步骤、记录格式与满载时一致。

注 2：校准时依据 AC 电源的额定功率来设置纯阻性线性电子负载的大小，以确保捕捉到 AC 电源性能最差的情况。只有满载和空载都满足要求时，方能说明谐波闪烁分析仪的 AC 电源符合标准的要求。

7.12.2 电源电压随频率稳定度的校准

7.12.2.1 按图 7 所示连接仪器。

7.12.2.2 电源输出电压分别设置为 220 V、110 V，在电源接近满负荷的情况下分别测量电源在 50 Hz、60 Hz 两种频率下的输出电压并记入附录 A 表 A.12。

7.12.2.3 计算电压随频率稳定度并记入附录 A 表 A.12。

7.12.3 电源电压随负载的稳定度校准

7.12.3.1 按图 7 所示连接仪器。

7.12.3.2 设置纯阻性电子负载的输出状态为恒功率模式，按附录 A 表 A.13 依次调整输出功率，分别读取相应的电压值并记入附录 A 表 A.13。

7.12.3.3 计算电压随频率稳定度。

7.12.4 频率随负载变化的稳定度校准

7.12.4.1 按图 7 所示连接仪器。

7.12.4.2 纯阻性电子负载的状态设置为恒功率模式（CP），按附录 A 表 A.14 依次调整输出功率，分别读取相应的电压值并记入附录 A 表 A.14。

7.12.4.3 计算频率随负载变化的稳定度。

7.12.5 峰值因数、峰值相位的校准

7.12.5.1 按图 7 所示连接仪器。

7.12.5.2 电子负载在 1 000 W 的功率下，测量被校电源在 50 Hz、60 Hz 的频率下的峰值因数和峰值相位。分别记入附录 A 表 A.15。

8 校准结果表达

8.1 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或报告应至少包括如下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
 - b) 实验室名称和地址；
 - c) 如果不在实验室内进行校准时，需说明进行校准的地点；
 - d) 证书和报告的惟一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
 - e) 送检单位的名称和地址；
 - 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期及应用有关时，应说明被校准对象的接收日期；
 - h) 如果与校准结果的有效性以及应用有关时，应对抽样程序进行说明；
 - i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
 - j) 本次校准所用的测量标准的溯源星级有效性说明；
 - 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) 校准证书及校准报告签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
 - n) 校准结果仅对被校准对象有效的声明；
 - o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或校准报告、加盖校准印章。
- 8.2 经校准的谐波和闪烁分析仪，应当出具校准报告或校准证书，并加盖校准印章。

9 复校时间间隔

为确保被校准仪器技术指标的准确可靠，通常情况下建议每年校准 1 次。

附录 A

校准记录格式

表 A.1 电流和线性校准

标准源电流有效值/A	分析仪示值/A	误差
16.00		
10.00		
5.00		
2.50		
1.00		
0.50		
0.20		
0.10		
0.05		

表 A.2 电压幅度校准

标准源电压值/V	(1) 校准测量值/V	(2) 校准测量值/V	误差
	空载	带载 (电流输出 1A)	
220			
110			

表 A.3 频率响应

输出电流源有效值 5A 的频率/Hz	测量值/A	输出电流源有效值 5A 的频率/Hz	测量值/A	输出电流源有效值 5A 的频率/Hz	测量值/A
50		750		1 450	
100		800		1 500	
150		850		1 550	
200		900		1 600	
250		950		1 650	
300		1 000		1 700	
350		1 050		1 750	
400		1 100		1 800	
450		1 150		1 850	
500		1 200		1 900	
550		1 250		1 950	
600		1 300		2 000	
650		1 350			
700		1 400			

表 A.4 50Hz 时的功率校准

标称电压值/V	标称电流值/A	标称功率因数	标称功率/W	测量值/W	测量误差/W
220	2.5	1	550		
220	2.5	0.5 (超前)	275		
220	2.5	0.5 (滞后)	275		

表 A.5 A 类校准

谐波次数及相角	校准测量值/A	谐波的标准幅值/A	误差/mA
2 (0)		1.085 7	
3 (180)		2.309 0	
4 (180)		0.432 2	
5 (0)		1.143 8	
6 (0)		0.301 5	
7 (180)		0.772 3	
8 (180)		0.231 1	
9 (0)		0.401 1	
10 (0)		0.184 88	
11 (180)		0.330 5	
12 (180)		0.153 65	
13 (0)		0.210 3	
14 (0)		0.131 46	
15 (180)		0.149 86	
16 (180)		0.115 42	
17 (0)		0.131 70	
18 (0)		0.102 33	
19 (180)		0.117 59	
20 (1 800)		0.092 27	
21 (0)		0.106 53	
22 (0)		0.084 30	
23 (180)		0.097 38	
24 (1 800)		0.077 20	
25 (0)		0.089 40	
26 (0)		0.071 19	

表 A.5 (续)

谐波次数及相角	校准测量值/A	谐波的标准幅值/A	误差/mA
27 (180)		0.082 32	
28 (180)		0.066 10	
29 (0)		0.077 30	
30 (10)		0.061 10	
31 (180)		0.072 29	
32 (180)		0.058 14	
33 (0)		0.067 31	
34 (0)		0.054 06	
35 (180)		0.063 38	
36 (180)		0.051 14	
37 (0)		0.060 49	
38 (0)		0.048 21	
39 (180)		0.057 85	
40 (180)		0.046 41	

表 A.6 D类测试

谐波次数及相角	谐波的标称幅值/A	谐波的校准测量值/A	误差/A
3 (180)	1.020		
5 (0)	0.570		
7 (180)	0.300		
9 (0)	0.150		
11 (180)	0.105		
13 (0)	0.089		
15 (180)	0.077		
17 (0)	0.068		
19 (180)	0.061		
21 (0)	0.055		
23 (180)	0.050		
25 (0)	0.046		
27 (180)	0.043		
29 (0)	0.040		
31 (180)	0.037		
33 (0)	0.035		
35 (180)	0.033		
37 (0)	0.031		
39 (180)	0.030		

表 A.7 瞬态谐波的校准

电平持续时间/s	最高值/A	最低值/A	仪器读数/A	计算的仪器读数/A	时间常数/s
3	3.45	2.3			
4	3.45	2.3			
5	3.45	2.3			
6	3.45	2.3			

表 A.8 50Hz 正弦载波 $P_{st}=1$ 时的测试

调制频率/Hz	电压的每分钟的变化次数	调制深度(DV/V)/(%)	P_{st} 的测量值	测量误差
0.008 3	1	2.724		
0.016 7	2	2.211		
0.058 3	7	1.459		
0.325	39	0.906		
0.917	110	0.725		
13.5	1 620	0.402		

表 A.9 50Hz 正弦载波 $P_{st}=5$ 时的测试

调制频率/Hz	电压的每分钟的变化次数	调制深度(DV/V)/(%)	P_{st} 的测量值	测量误差
0.008 3	1	13.620		
0.016 7	2	11.055		
0.058 3	7	7.295		
0.325	39	4.530		
0.917	110	3.625		
13.5	1 620	2.010		

表 A.10 谐间波测试

谐间波频率/Hz	谐波次数	I 目标值/A	I 测量值/A
205	4	3	
415	8	3	
625	12	1.5	
	13	1.5	
835	17	3	
1 045	21	3	

表 A.11 电源电压的谐波含量

谐波次数	谐波限值/(%)	谐波电压的测量值/(%)	
		满载	空载
2	≤ 0.2		
3	≤ 0.9		
4	≤ 0.2		
5	≤ 0.4		
6	≤ 0.2		
7	≤ 0.3		
8	≤ 0.2		
9	≤ 0.2		
10	≤ 0.2		
11~39 奇次	≤ 0.1		
电压的总谐波失真率	$\leq 3\%$	VTHD= %	

表 A.12 电压随频率稳定度 (满载)

电压/V	频率		标准要求的电压稳定度	测量的电压稳定度
	50 Hz	60 Hz		
220			$\pm 2.0\%$	
110				

表 A.13 电压随负载的稳定度

负荷/W	电压有效值 220V		标准电压稳定度	测量的电压稳定度
空载			$\pm 2.0\%$	
50				
500				
1 000				
1 500				
2 000				
2 500				

表 A.14 频率随负荷变化的稳定度 (电压有效值为 220V)

负载/W	频率				标准要求
	50 Hz		60 Hz		
空载					频率稳定度 ±0.5%
50					
500					
1 000					
1 500					
2 000					
2 500					

表 A.15 峰值与有效值之间的关系、峰值相位

频率/Hz	标准要求	峰值因数	标准要求	峰值相位
50	峰值因数在 1.40~1.42 之间	1.414	峰值出现在 87°~93°之间	89.28°
60		1.413		90.72°

附录 B

校准证书内页内容

表 1 电流准确度和线性校准测试

标称电流有效值/A	测量值 L_1 /A	测量值 L_2 /A	测量值 L_3 /A	校准结果的不确定度 ($k=2$)
16.000				8.35 mA
10.000				8.93 mA
5.000				10.01 mA
2.500				6.23 mA
1.000				3.79 mA
0.500				2.83 mA
0.200				1.59 mA
0.100				1.20 mA
0.050				0.35 mA

表 2 电压指示精度校准测试

电压标称值/V	校准值 L_1 /V	校准值 L_2 /V	校准值 L_3 /V	校准结果的不确定度 ($k=2$)
220				0.69 V
110				0.43 V

表 3 负载电流 5A 时的频率响应校准测试

标称有效值电流/A	频率/Hz								
	50.0	500	600	700	800	1 000	1 600	2 000	
	校准值/A								
5.0(L_1)									
5.0(L_2)									
5.0(L_3)									
校准结果的不确定度 ($k=2$)									

表 4 电源频率 50Hz 时的功率测试

标称电压有效值/V	标称电流值/A	功率因数标称值	功率标称值/W	测量值 L_1 /W	测量值 L_2 /W	测量值 L_3 /W	校准结果不确定度
220	2.5	1.0(一致)	550				
220	2.5	0.5(超前)	275				

证书编号×××—××××

校准结果

表5 稳态谐波 A 类测试（校准器电压通道输出：禁止）

谐波次数	谐波幅度标称值/A	测量值 L_1 /A	测量值 L_2 /A	测量值 L_3 /A	备注
2	1.080				
3	2.300				
4	0.430				
5	1.140				
6	0.300				
7	0.770				
8	0.230				
9	0.400				
10	0.184				
11	0.330				
12	0.153				
13	0.210				
14	0.131				
15	0.150				
16	0.115				
17	0.132				
18	0.102				
19	0.118				
20	0.092				
21	0.107				
22	0.084				
23	0.098				
24	0.077				
25	0.090				
26	0.071				
27	0.083				
28	0.066				
29	0.078				
30	0.061				
31	0.073				
32	0.058				
33	0.068				
34	0.054				
35	0.064				
36	0.051				
37	0.061				
38	0.048				
39	0.058				
40	0.046				

表 6 稳态谐波 D 类测试 (负载功率=300W)

谐波次数	谐波幅度标称值/A	测量值 L_1 /A	测量值 L_2 /A	测量值 L_3 /A	备注
3	1.020				
5	0.570				
7	0.300				
9	0.150				
11	0.105				
13	0.089				
15	0.077				
17	0.068				
19	0.061				
21	0.055				
23	0.050				
25	0.046				
27	0.043				
29	0.040				
31	0.037				
33	0.035				
35	0.033				
37	0.031				
39	0.030				

表 7 瞬态谐波的校准

电平持续 时间/s	调制方波 周期/s	仪器读数 理论值/A	校准值 L_1 /A	校准值 L_2 /A	校准值 L_3 /A	计算的 时间常数 L_1 /s	计算的 时间常数 L_2 /s	计算的时 间常数 L_3 /s	校准结果 的不确定 度($k=2$)
3	6	3.310							
4	8	3.369							
5	10	3.411							
6	12	3.429							

表 8 50Hz 正弦载波 $P_{st}=1$ 时的校准测试

方波调制频率 /Hz	电压的每分钟 的变化次数	相对电压变化 (DV/V)/(%)	$P_{st}(L_1)$ 校准值	$P_{st}(L_2)$ 校准值	$P_{st}(L_3)$ 校准值	校准结果的 不确定度($k=2$)
0.008 3	1	2.724				
0.016 7	2	2.211				
0.058 3	7	1.459				
0.325	39	0.906				
0.917	110	0.725				
13.5	1 620	0.402				

表 9 50Hz 正弦载波 $P_{st}=5$ 时的校准测试

方波调制频率 /Hz	电压的每分钟 的变化次数	相对电压变化 (DV/V)/(%)	$P_{st}(L_1)$ 测量值	$P_{st}(L_1)$ 测量值	$P_{st}(L_1)$ 测量值	校准结果的 不确定度($k=2$)
0.008 3	1	13.620				
0.016 7	2	11.055				
0.058 3	7	7.295				
0.325	39	4.530				
0.917	110	3.625				
13.5	1 620	2.010				

表 10 谐波测试

谐波频率/Hz	谐波次数	I 目标值/A	I 测量值/A	校准结果的不确定度($k=2$)
205	4	3		
415	8	3		
625	12	1.5		
	13	1.5		
835	17	3		
1 045	21	3		

表 11-a AC 电源（带载时）电压谐波含量测试

谐波次数	测量值 $L_1/(\%)$	测量值 $L_2/(\%)$	测量值 $L_3/(\%)$	限值/(\%)	校准结果的不确定度 ($k=2$)
2				≤ 0.2	
3				≤ 0.9	
4				≤ 0.2	
5				≤ 0.4	
6				≤ 0.2	
7				≤ 0.3	
8				≤ 0.2	
9				≤ 0.2	
10				≤ 0.2	
11~40 奇次				≤ 0.1	
总谐波失真率				≤ 3	

表 11-b AC 电源（空载时）电压谐波含量测试

谐波次数	校准值 $L_1/(\%)$	校准值 $L_2/(\%)$	校准值 $L_3/(\%)$	限值/(\%)
2				≤ 0.2
3				≤ 0.9
4				≤ 0.2
5				≤ 0.4
6				≤ 0.2
7				≤ 0.3
8				≤ 0.2
9				≤ 0.2
10				≤ 0.2
11~39 奇次				≤ 0.1
总谐波失真率				≤ 3

表 12 电压随频率稳定度

电压/V	频率				标准要求的 电压稳定度	测量的电压 稳定度
	50 Hz		60 Hz			
	Pw3000	ACload	Pw3000	ACload		
220					$\pm 2.0\%$	
110						

表 13 电压稳定度（负载变化）测试

负荷/W	标称电压有效值/V	电压测量值 L_1 /V	电压测量值 L_2 /V	电压测量值 L_3 /V
空载	220			
50				
500				
1 000				
1 500				
2 000				
2 500				

表 14 频率稳定度（负载变化）测试，标称电压有效值=220V

负载/W	电源频率 /Hz	测量值 L_1 /V	测量值 L_2 /V	测量值 L_3 /V	电源频率 /Hz	测量值 L_1 /V	测量值 L_2 /V	测量值 L_3 /V
空载	50.0				60.0			
50								
500								
1 000								
1 500								
2 000								
2 500								

校准结果不确定度的描述

扩展不确定度：结果见校准结果表不确定度栏（ $k=2$ ）

敬告：

1. 仪器修理后，请立即进行校准。
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。
3. 为确保被校准仪器技术指标的准确可靠，通常情况下建议每年校准一次。

附录 C

不确定度评定实例

本附录将对谐波和闪烁分析仪的校准结果进行不确定度评定。根据各个校准项目的不同，分别讨论不确定度的评定计算方法。

实验中采用的谐波闪烁分析仪为 EM TEST 公司 DPA 500 型单相分析仪。

C.1 电流和线性校准

校准条件：谐波闪烁测试系统运行在“稳态谐波测试”的模式之下。电源电压的有效值为 220V，频率 50Hz，波形为正弦波，失真小于 0.1%，电压与电流存在固定的相位关系。

C.1.1 测量不确定度的分析

根据实际的校准环境，在电流准确度和线性测量中影响总的测量结果的不确定度来源主要有以下几个因素：

- 1) 电能标准源引入的不确定度，作为 B 类不确定度。
- 2) 由连接线引入的不确定度，作为 B 类不确定度。
- 3) 由于电流重复测量引入的校准结果的不确定度分量，作为 A 类不确定度。
- 4) 由环境温、湿度变化引入的不确定度，作为 B 类不确定度。

C.1.1.1 电能标准源引入的不确定度

现举例说明 FLUCK6100A 引入的不确定度的计算方法，电流标称值为 16A 的情况：

由 6100A 技术手册查得当电流回路输出为 16A 的情况下，仪器在 1 年之内的精度为 189×10^{-6} ，修正值为 $720 \mu\text{A}$ ，所以计算出 6100A 在发出 16A 电流时引入的不确定度为：

$$u(16\text{A}) = 189 + \frac{720 \times 10^{-6}}{16} \times 10^6 = 234 \times 10^{-6}$$

所以引入的最大误差的区间半宽为：

$$a(16\text{A}) = 234 \times 10^{-6} \times 16 \times 10^3 = 3.744 \text{ mA}$$

由于 6100A 给出的包含因子为 $k=2$ ，所以标准不确定度为：

$$u_1(16\text{A}) = a(16\text{A})/2 = 3.744/2 = 1.872 \text{ mA}$$

其他标称电流值的标准不确定度计算和以上相似，在下表列出：

表 C.1 电能标准源引入的电流不确定度

电流标称值 A	6100A 一年内的精度		仪器引入误差的区间半宽		标准不确定度 u_1/mA
	(10^{-6})	(μA)	(10^{-6})	(mA)	
16	189	720	234	3.744	1.872
10	189	720	261	2.61	1.305

表 C.1 (续)

电流标称值 A	6100A 一年内的精度		仪器引入误差的区间半宽		标准不确定度 u_1/mA
	(10^{-6})	(μA)	(10^{-6})	(mA)	
5	164	240	212	1.06	0.53
2.5	130	120	178	0.445	0.222 5
1	130	48	178	0.178	0.089
0.5	130	24	178	0.089	0.044 5
0.2	130	6	160	0.032	0.016
0.1	139	12	259	0.025 9	0.012 95
0.05	139	6	259	0.013	0.006 475

C.1.1.2 由于电流重复测量引入的 A 类不确定度

此项不确定度的评定是由于各种随机因素的影响使读数不重复引入的不确定度。分析如下：

设定 FLUCK 的电流输出为 16A，此时，由分析仪读数，测量 10 次其值分别为：16.015，16.022，16.02，16.02，16.017，16.016，16.024，16.014，16.02，16.018，平均值为

$$I = \frac{\sum i_i}{n} = \frac{\sum i_i}{10} = 16.017\ 84\text{A}$$

由贝塞尔公式求得单次测量标准差 $s(i_i)$ 为：

$$s(i_i) = \sqrt{\frac{\sum (i_i - I)^2}{n-1}} = 3.735\ 713\ 5 \times 10^{-3}\text{A} = 3.735\ 713\ 5\ \text{mA}$$

其余情况的计算结果，如下表所示。本次评定以单次测量标准差为标准不确定度分量。

表 C.2 由于电流重复测量引入的 A 类不确定度

电流标称值/A	平均值/A	单次测量标准差 $u_2 = s(i_i)/\text{mA}$	平均值的标准 不确定度 u/mA
16	16.017	3.735	1.181 3
10	10.011 7	4.270 050 7	1.350 308 606
5	5.003 1	4.976 612	1.573 742 885
2.5	2.505 1	3.107 339	0.982 626 865
1	1.002 6	1.897 366 6	0.6
0.5	0.501 7	1.418 136 5	0.448 454 135
0.2	0.201 32	0.796 938 6	0.252 014 109
0.1	0.101 32	0.601 479 7	0.190 204 568
0.05	0.051 277	0.176 764 1	0.055 897 724

C. 1. 1. 3 由连接线引入的不确定度

考虑连接线上的损耗的影响，由于工作频率处于工频并且引线很短，引线的电感很小，电阻也很小，由此引线上的电压降很小。由连接线引入的不确定度可以忽略不计，所以 $u_3=0$ 。

C. 1. 1. 4 由环境温湿度变化引入的不确定度

作为 B 类不确定度。在实验室条件下，可以满足标准源和被校仪器使用条件，由环境温湿度引起的标准源的不确定度可以忽略不计。 $u_4=0$ 。

C. 1. 2 电流校准结果的合成标准不确定度和系统扩展不确定度

下面合成标准不确定度，例如电流为 16A 的情况：

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = \sqrt{(1.872)^2 + (3.735)^2 + 0^2 + 0^2} = 4.178 \text{ mA}$$

又由于包含因子 $k=2$ ，所以系统扩展不确定度为：

$$U = k \times u = 2 \times 4.178 = 8.356 \text{ mA}$$

表 C. 3 电流校准结果的合成标准不确定度和系统扩展不确定度

电流标称值/A	B 类 u_1 /mA	A 类 u_2 /mA	u_3 u_4	合成标准不确定度 u /mA	合成不确定度 u /mA	系统扩展不确定度 U /mA
16	1.872	1.181	0		4.178	8.356
10	1.305	1.350	0		4.465	8.930
5	0.53	1.573	0		5.004	10.009
2.5	0.222	0.982	0		3.115 2	6.230 5
1	0.089	0.6	0		1.899 4	3.798 9
0.5	0.044	0.448	0		1.418 8	2.837 6
0.2	0.016	0.252	0		0.797 0	1.594 1
0.1	0.012	0.190	0		0.601 6	1.203 2
0.05	0.006	0.055	0		0.176 8	0.353 7

C. 2 电压指示校准

校准条件：校准测试系统工作在“稳态谐波测试”模式下。频率 50 Hz，波形为正弦波。

C. 2. 1 测量不确定度的分析

根据实际的校准环境，在电压指示测量中影响总的测量结果的不确定度来源主要有以下几个因素：

- 1) FLUCK6100A 引入的不确定度，作为 B 类不确定度。
- 2) 由连接线引入的不确定度，作为 B 类不确定度。
- 3) 由于电压重复测量引入的校准结果的不确定度分量，作为 A 类不确定度。
- 4) 由环境温度、湿度变化引入的不确定度，作为 B 类不确定度。

C. 2. 1. 1 FLUCK6100A 引入的不确定度

由 6100A 型技术手册查得当电压回路输出为 220 V 的情况下, 仪器在一年之内的精度为 112 ppm^①, 修正值为 8.8 mV, 所以计算出 6 100A 在发出 220 V 电压时引入的不确定度为:

$$u(220V) = 112 + \frac{8.8 \times 10^{-3}}{220} \times 10^6 = 152 \text{ ppm}$$

所以引入的最大误差的区间半宽为:

$$a(220V) = 152 \times 10^{-6} \times 220 = 0.0334 \text{ V}$$

由于 6100A 给出的包含因子为 $k=2$, 所以标准不确定度为:

$$u(220V) = a(220V)/2 = 0.0334/2 = 0.01672 \text{ V}$$

其他标称电压值的标准不确定度计算和以上相似, 在表 C.4 中列出:

表 C.4 FLUCK6100A 引入的电压测量的不确定度

电压标称值/V	6100A 一年内的精度		仪器的不确定度		标准不确定度/V
	ppm	mV	ppm	V	
220	112	8.8	152	0.033	0.016
110	112	4.4	152	0.016	0.008

C.2.1.2 由于电压重复测量引入的 A 类不确定度

此项不确定度的评定是由于各种随机因素的影响使读数不重复引入的不确定度。

表 C.5 由于电压重复测量引入的 A 类不确定度

电压称值/V	平均值/V	单次测量标准差 $s(i_i)$ /V	平均值的标准不确定度 u_2 /V
110	109.911	0.348	0.110
220	220.046	0.215	0.068

C.2.1.3 由连接线引入的不确定度

由连接线引入的不确定度可以忽略不计, 所以 $u_3=0$ 。

C.2.1.4 由环境温湿度变化引入的不确定度, 作为 B 类不确定度

在实验室条件下, 可以满足标准源和被校仪器使用条件, 由环境温湿度引起的标准源的不确定度可以忽略不计, 所以 $u_4=0$ 。

C.2.2 系统合成标准不确定度和系统扩展不确定度

和前一项相同, 合成标准不确定度和系统扩展不确定度如表 C.6 所示。

表 C.6 系统合成标准不确定度和系统扩展不确定度

电压标称值/V	B 类 u_1 /V	A 类 u_2 /V	u_3 u_4	合成不确定度 u /V	系统扩展不确定度 U /V
110	0.016	0.348	0	0.348	0.696
220	0.008	0.215	0	0.215	0.431

① 1 ppm = 1×10^{-6}