

北京市地方计量技术规范

JJF (京) XXXX—XXXX

电能质量分析仪校准规范

Calibration Specification for Power Quality Analyzer

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

北京市市场监督管理局 发布

电能质量分析仪校准规范

Calibration Specification for

Power Quality Analyzer

JJF(京) xx—xxxx

归口单位：北京市市场监督管理局

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：

本规程委托 XXX 负责解释

目 录

引 言.....	IV
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	3
5 计量性能.....	3
6 校准条件.....	4
6.1 环境条件.....	4
6.2 校准用标准设备.....	4
7 校准项目和校准方法.....	5
7.1 外观及工作正常性检查.....	5
7.2 电压校准.....	6
7.3 电流校准.....	7
7.4 功率校准.....	9
7.5 频率校准.....	10
7.6 功率因数校准.....	11
7.7 谐波校准.....	12
7.8 三相相位校准.....	13
7.9 三相不平衡度校准.....	15
7.10 闪变校准.....	16
8 校准结果表达.....	18
9 复校时间间隔.....	18
附录 A.....	19
附录 B.....	22
附录 C.....	23
附录 D.....	25

引 言

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》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF(京) 43—2011《电能质量分析仪校准规范》的修订。与 JJF(京) 43—2011 相比,除编辑性修改外,有关技术部分的变化主要如下:

- 增加了部分引用文件。
- 增加和修改了部分术语。
- 修改了概述。
- 修改了计量性能。
- 修改了校准用标准设备。
- 增加了三相相位校准方法。

电能质量分析仪校准规范

1 范围

本规范适用于新生产和使用中的电能质量分析仪、多功能测量仪器的电能质量分析功能、与电能质量相关的测试分析类仪器的校准。

2 引用文件

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡度

GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 17626.30 电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法

GB/T 19862 电能质量监测设备通用要求

GB/T 30137 电能质量 电压暂升、电压暂降与短时中断

GB/T 32507-2024 电能质量 术语

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语

3.1 基波分量 fundamental component

周期信号经傅里叶分解后，基波频率对应的正弦波分量。

3.2 基波频率 fundamental frequency

一个周期信号所包含的基准频率，为信号周期的倒数。

3.3 谐波分量 harmonic component

对非正弦周期量进行傅里叶分解，得到频率为基波频率整数倍的正弦分量的方均根值。

3.4 谐波频率 harmonic frequency

基波频率整数倍的频率。

3.5 谐波次数 harmonic order

谐波频率与基波频率的整数比。

3.5 间谐波分量 interharmonic component

频率在两个连续谐波频率之间的频谱分量。

3.6 间谐波频率 interharmonic frequency

基波频率的非整数倍频率。

3.7 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所得到的谐波总量。

3.8 谐波含有率 harmonic ratio (HR)

周期信号中含有的某次谐波分量的方均根值与基波分量的方均根值之比(用百分数表示)。

3.9 不平衡度 Unbalance Factor

三相电力系统中三相电压或电流不平衡的程度(用电压、电流基波的负序分量或零序分量与正序分量方均根值百分比表示)。

3.10 正序分量 positive-sequence component

将不平衡的三相系统的电压或电流按对称分量法分解后,其正序对称系统中的分量。

3.11 负序分量 negative-sequence component

将不平衡的三相系统的电压或电流按对称分量法分解后,其负序对称系统中的分量。

3.12 零序分量 zero-sequence component

将不平衡的三相系统的电压或电流按对称分量法分解后,其零序对称系统中的分量。

3.13 闪变 flicker

用灯光照度不稳定造成的视感变化表征电压波动的现象。

3.14 短时间闪变值 short-term flicker severity (P_{st})

衡量短时间(若干分钟)内闪变强弱的一个统计量值。 $P_{st}=1$ 为闪变引起视感刺激性的通常限值。(短时间闪变值的基本记录周期为 10min)

3.15 长时间闪变值 long-term flicker severity(P_{lt})

由短时间闪变值 P_{st} 推算出,反映长时间(若干小时)闪变强弱的量值。(长时间闪变值的基本记录周期为 2h)

3.16 电压变动频度 rate of occurrence of voltage changes

单位时间内电压变动的次数(电压由大到小或由小到大各算一次变动)。不同方向的若干次变动,如间隔时间小于 30ms,则算一次变动。

4 概述

电能质量分析仪（以下简称分析仪）是通过对引入的电压、电流信号进行分析处理，实现电能质量指标监测的专用装置。可测量电压、电流、功率、频率、功率因数、（间）谐波电压、（间）谐波电流、谐波功率、闪变、骤升骤降和三相不平衡度等参数。按电源相数可分为单相电能质量分析仪和三相电能质量分析仪，按电流接线方式可分为直连式和钳式。分析仪对引入的电压、电流进行采样，对信号作傅立叶分解，得到基波和包括直流成分在内的各次谐波的幅值和相角值。

5 计量性能

分析仪分为 A 级和 S 级，其相应参数的最大允许误差见表 1。

表 1 电能质量分析仪计量性能指标

被校参数	最大允许误差	
	A 级	S 级
电压	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$
电流	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.5\%$
功率	$\pm 0.1\%FS$	$\pm 0.5\%FS$
频率	$\pm 0.01Hz$	$\pm 0.05Hz$
功率因数	± 0.001	± 0.01
（间）谐波电压、（间）谐波电流	见表 2	
谐波功率	见表 3	
三相相位	$\pm 0.5^\circ$	$\pm 1^\circ$
三相电压不平衡度	$\pm 0.15\%$	$\pm 0.2\%$
三相电流不平衡度	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$
闪变	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$

表2 (间)谐波电压、(间)谐波电流计量性能指标

等级	被校参数	条件	最大允许误差
A 级	（间）谐波电压	$U_{hN} \geq 1\%U_N$	$\pm 5\%U_{hN}$
		$U_{hN} < 1\%U_N$	$\pm 0.05\%U_N$
	（间）谐波电流	$I_{hN} \geq 3\%I_N$	$\pm 5\%I_{hN}$
		$I_{hN} < 3\%I_N$	$\pm 0.15\%I_N$
S 级	（间）谐波电压	$U_{hN} \geq 3\%U_N$	$\pm 5\%U_{hN}$
		$U_{hN} < 3\%U_N$	$\pm 0.15\%U_N$
	（间）谐波电流	$I_{hN} \geq 10\%I_N$	$\pm 5\%I_{hN}$
		$I_{hN} < 10\%I_N$	$\pm 0.5\%I_N$

注：1.表中 U_N 为基波电压标称值， I_N 为基波电流标称值；

2. U_{hN} 为第 h 次（间）谐波电压标称值， I_{hN} 为第 h 次（间）谐波电流标称值。.

表3 谐波功率计量性能指标

等级	被校参数	条件	最大允许误差
A 级	谐波功率	$P_{hN} \geq 150W$	$\pm 1\%P_N$
		$P_{hN} < 150W$	$\pm 1.5W$
注：表中 P_N 为基波功率标称值， P_{hN} 为谐波功率标称值。.			

注：以上计量特性要求仅供参考，不作为判定依据

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(20±2)℃。

6.1.2 相对湿度：5%~95%。

6.1.3 供电电源：电压 (220±22)V，频率 (50±1)Hz。

6.2 校准用标准设备

6.2.1 校准用标准设备见表4，可以根据被校分析仪的实际情况，选择其他满足要求的标准设备。

6.2.2 标准设备的最大允许误差绝对值（或不确定度）应优于被校分析仪最大允许误差绝对值的 1/3，分辨力应优于被校分析仪分辨力的 1/10。

6.2.3 校准三相不平衡度时的三相标准源，电压、电流幅值的最大允许误差优于 $\pm 0.05\%$ ，相位的最大允许误差优于 $\pm 0.05^\circ$ 。

6.2.4 校准用设备的幅值和相位应在被校分析仪的测量范围内，连续可调。

表 4 校准用设备一览表

被校参数	校准用设备	
	标准源法	标准表法
电压	标准电压源	电压源、标准电压表
电流	标准电流源、电流线圈	电流源、标准电流表
功率	标准功率源、电流线圈	功率源、标准功率表
频率	标准频率发生器	频率发生器、标准频率表
功率因数	标准功率源	功率源、标准功率因数表
（间）谐波电压、（间）谐波电流	标准谐波源	谐波源、标准谐波分析仪
谐波功率	标准谐波源	谐波源、标准谐波分析仪
三相相位	三相标准源	三相源，标准相位表
三相电压不平衡度、三相电流不平衡度	三相标准源	三相源，标准三相不平衡度测量仪
闪变	标准闪变发生装置	闪变发生装置、标准闪变仪

7 校准项目和校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

被校分析仪的外观应该完好，标志清晰，标注有生产厂家、型号、出厂编号等，不应有影响仪器正常工作的机械损伤和缺陷。校准所用附件和说明书等齐全。

被校分析仪通电后应正常工作，能够清晰显示所测数据。

7.2 电压校准

电压的校准主要采用以下两种校准方法：标准源法和标准表法。根据被校分析仪的准确度、量程和频率来选择校准点，一般在工频下选择不少于 5 个点进行校准，对手动切换量程的每个量程至少选择 1 个校准点。

7.2.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 1 所示

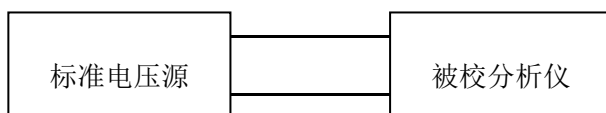


图 1 标准电压源校准电压接线图

(2) 设置被校分析仪的电压量程，调节标准电压源输出至 U_N ，被校分析仪电压显示值为 U_x ，则被校分析仪电压显示值的绝对误差 Δ 为：

$$\Delta = U_x - U_N \quad (1)$$

相对误差 γ 为：

$$\gamma = \frac{U_x - U_N}{U_N} \times 100\% \quad (2)$$

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程对每相电压分别校准，也可用三相标准电压源进行校准。

7.2.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 2 所示

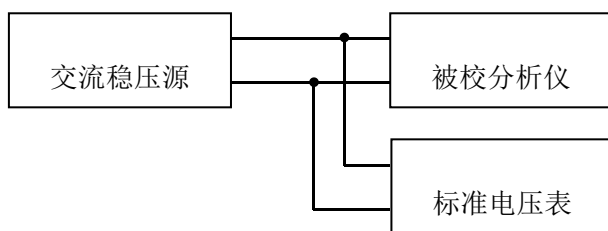


图 2 标准电压表校准电压接线图

(2) 设置被校分析仪和标准电压表的电压量程，调节交流稳压源的输出，标准电压表的显示值为 U_N ，被校分析仪显示值为 U_x ，被校分析仪电压显示值的绝对误差按(1)式计算，相对误差按(2)式计算。

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程对每相电压分别校准，也可用三相交流稳压源和标准电压表进行校准。

7.3 电流校准

分析仪的电流测量可分为直接接线测量和电流钳测量。直接接线测量电流的校准方法与电压校准方法类似，采用标准源法和标准表法两种。电流钳测量的校准方法采用等安匝法。

根据被校分析仪的准确度、量程和频率来选择校准点，一般在工频下选择不少于5个点进行校准，对手动切换量程的每个量程至少选择1个校准点。

7.3.1 标准源法

(1) 仪器接线如图3所示

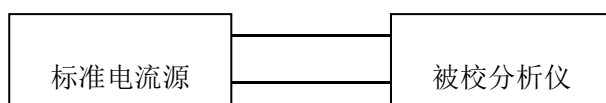


图3 标准电流源校准电流接线图

(2) 设置被校分析仪的电流量程，调节标准电流源的输出电流至 I_N ，被校分析仪电流显示值为 I_x ，则被校分析仪电流显示值的绝对误差 Δ 为：

$$\Delta = I_x - I_N \quad (3)$$

相对误差 γ 为：

$$\gamma = \frac{I_x - I_N}{I_N} \times 100\% \quad (4)$$

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程对每相电流分别校准，也可用三相电流标准源进行校准。

7.3.2 标准表法

(1) 仪器接线如图4所示

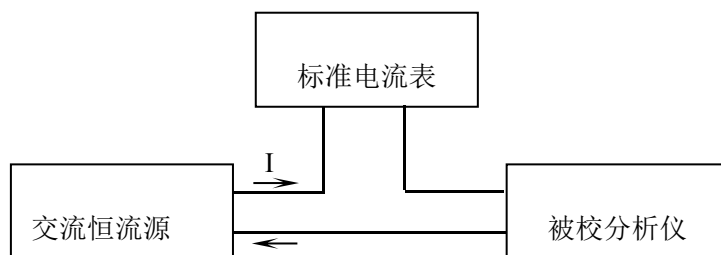


图4 标准电流表校准电流接线图

(2) 参照电压校准中的标准表法进行电流校准，被校分析仪的电流显示值的绝对误差按(3)式计算，相对误差按(4)式计算。

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程对每相电流分别校准，也可用三相交流恒流源和标准电流表进行校准。

注：1. 被校分析仪和标准表电流输入端均应浮地。

2. 对于被校分析仪 mA 级电流量程的校准，建议使用标准源法。

7.3.3 等安匝法

(1) 仪器接线如图5所示

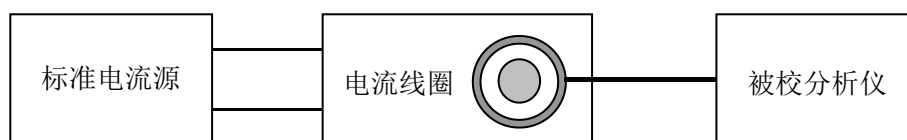


图5 等安匝法校准电流接线图

(2) 检查电流钳钳口，确保清洁干净，两端面接触良好。电流线圈要置于电流钳几何中心位置，并尽量保持与电流钳水平面垂直，测量时除电流线圈等必要的导线外，其它所有载流体要与被校分析仪保持不小于 0.5m 的距离。

(3) 设置被校分析仪的电流量程，调节标准电流源的输出为 I_n ，使 N 匝电流线圈的输出电流为 I_N ，被校分析仪显示值为 I_x ，则被校分析仪电流显示值的绝对误差 Δ 为：

$$\Delta = I_x - I_N = I_x - N \times I_n \quad (5)$$

相对误差 γ 为：

$$\gamma = \frac{I_x - I_N}{I_N} = \frac{I_x - N \times I_n}{N \times I_n} \times 100\% \quad (6)$$

(4) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程对每相电流分别校准。

7.4 功率校准

分析仪的功率校准在(45~65) Hz范围内的某一频率点下进行。通常采用调节电流的方式来达到改变功率的目的。电压选择常用点(通常选择220V或380V)作为基本量程,在电压基本量程下,电流在测量范围的10%~100%之间均匀选取不少于5个点进行功率的测量,在电压非基本量程下电流仅选择满量程点测量。功率因数选择1.0、0.5C(容性)、0.5L(感性)三个值,其中0.5C、0.5L的功率因数仅在电流量程的100%点进行校准。

7.4.1 标准源法

(1) 仪器接线如图6所示

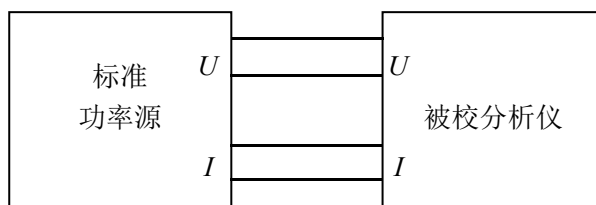


图6 标准功率源校准功率接线图

(2) 设置被校分析仪的电压和电流量程,调节标准功率源的输出电压至额定电压值 U_N ,设置功率因数 $\cos\varphi_N$,调节标准功率源的输出电流 I_N ,使输出功率为标准值 P_N ,被校分析仪的功率显示值为 P_x ,则被校分析仪功率显示值的绝对误差 Δ 为:

$$\Delta = P_x - P_N = P_x - U_N \times I_N \times \cos\varphi_N \quad (7)$$

相对误差 γ 为:

$$\gamma = \frac{P_x - P_N}{P_N} = \frac{P_x - U_N \times I_N \times \cos\varphi_N}{U_N \times I_N} \times 100\% \quad (8)$$

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程分别校准,也可用三相标准功率源校准。

7.4.2 标准表比较测量法

(1) 仪器接线如图7所示

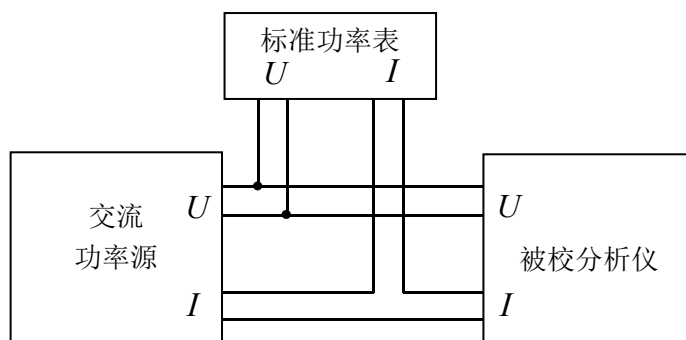


图 7 标准功率表校准功率接线图

(2) 设置被校分析仪的电压和电流量程，调节交流功率源的输出电压使标准功率表电压显示为额定电压值 U_N ，并设置功率因数使标准表显示值为 $\cos \varphi_N$ ，调节交流功率源的输出电流，使标准功率表功率显示值为 P_N ，被校分析仪功率显示值为 P_x ，则被校分析仪功率显示值的绝对误差 Δ 为：

$$\Delta = P_x - P_N \quad (9)$$

相对误差 γ 为：

$$\gamma = \frac{P_x - P_N}{P_{\text{视在}}} \times 100\% \quad (10)$$

式中： $P_{\text{视在}}$ ——标准功率值为 P_N 时的视在功率。

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程分别校准，也可用三相交流功率源和三相标准功率表校准。

7.5 频率校准

分析仪的频率校准主要采用两种校准方法：标准源法和标准表法。根据被校分析仪的测量范围来选择校准点，一般在测量范围内均匀选取不少于 5 个频率校准点。

7.5.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 8 所示

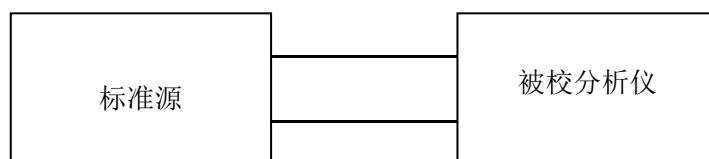


图 8 标准源校准频率接线图

(2) 设置标准源的输出频率至 f_N ，被校分析仪显示值为 f_x ，则被校分析仪频率显示值的绝对误差 Δ 为：

$$\Delta = f_x - f_N \quad (11)$$

相对误差 γ 为：

$$\gamma = \frac{f_x - f_N}{f_N} \times 100\% \quad (12)$$

7.5.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 9 所示

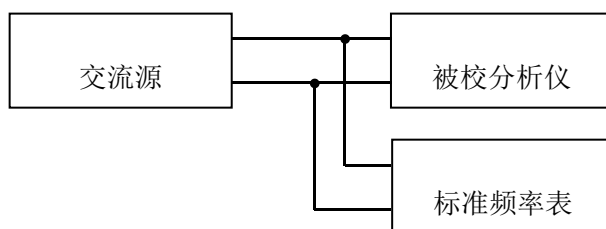


图 9 标准表校准频率接线图

(2) 参照电压校准中的标准表比较测量法进行频率校准，被校分析仪的频率示值的绝对误差按 (11) 式计算，相对误差按 (12) 式计算。

7.6 功率因数校准

分析仪的功率因数测量是对同相电压与电流之间的相位角的余弦的测量，功率因数无量纲。

功率因数校准可以在 (45~65) Hz 范围内的任意频率下进行，一般选择在 50Hz 下进行校准。

功率因数对应的相位通常选择 0° ，超前 30° ，超前 60° ， 90° ，滞后 30° ，滞后 60° 。

7.6.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 10 所示

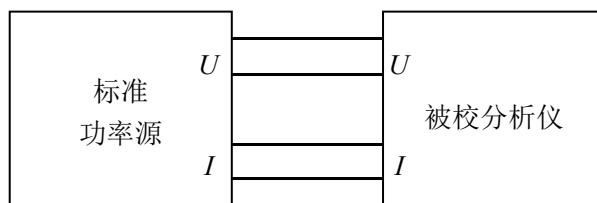


图 10 标准功率源校准功率因数接线图

(2) 设定信号频率, 调节标准功率源对电压线路施加 100%额定电压, 对电流线路施加 40%~100%的额定电流。调节标准功率源的输出相位至 φ_N , 被校分析仪显示值为 PF_x , 则被校分析仪功率因数显示值的绝对误差 Δ 为:

$$\Delta = PF_x - \cos\varphi_N \quad (13)$$

(3) 测量三相信号的相位时, 同时接好三相信号线, 并测量各相相位, 并按式 (13) 计算误差。

7.6.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 11 所示

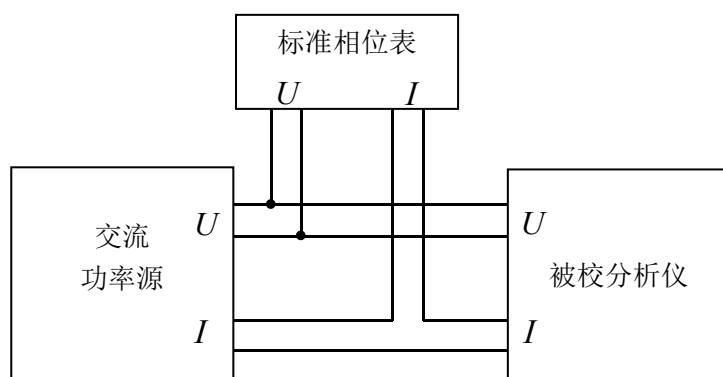


图 11 标准相位表校准功率因数接线图

(2) 设定信号频率, 调节交流功率源对电压线路施加 100%额定电压, 对电流线路施加 40%~100%的额定电流。调节交流功率源的输出相位, 使标准相位表显示为 φ_N , 被校分析仪显示值为 PF_x , 则被校分析仪相位显示值的绝对误差按式 (13) 计算。

7.7 (间) 谐波校准

分析仪的(间)谐波校准分为电压(间)谐波校准和电流(间)谐波校准, 基波频率一般选择 50Hz。(间)谐波次数可以选择 2~60 次范围内的全部或部分次数。

(间)谐波含量可以用绝对值表示, 也可以用相对值表示。选择相应电压(电流)作为基波电压值(电流值) U_N (I_N), (间)谐波含有率 h_n 的大小可以在 10%范围内选择。

7.7.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 12 所示

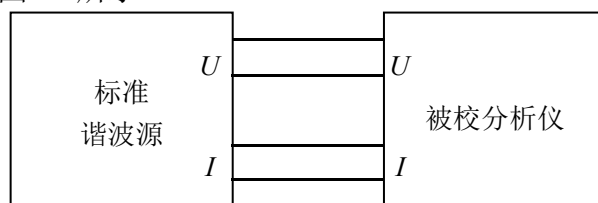


图 12 标准谐波源校准(间)谐波接线图

(2) 设置信号频率和各次(间)谐波含有率,使标准谐波源输出相应的(间)谐波值(电压值为 $U_N h_n$, 电流值为 $I_N h_n$),读取被校分析仪显示值(电压值为 $U_x h_n$, 电流值为 $I_x h_n$),则被校分析仪第 n 次电压(间)谐波显示值的误差 Δ_{U_n} 为:

$$\Delta_{U_n} = U_x h_n - U_N h_n \quad (14)$$

被校分析仪第 n 次电流(间)谐波显示值的误差 Δ_{I_n} 为:

$$\Delta_{I_n} = I_x h_n - I_N h_n \quad (15)$$

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程分别校准。

7.7.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 13 所示

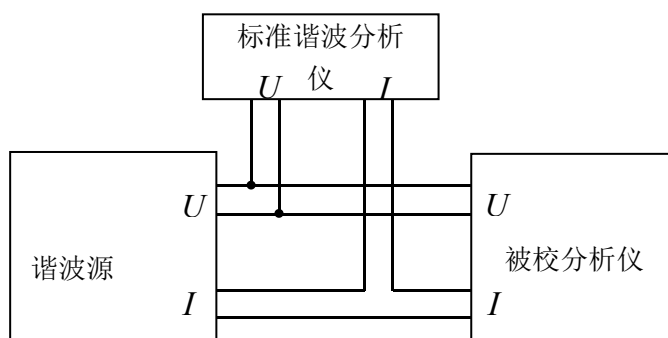


图 13 标准谐波分析仪校准（间）谐波接线图

(2) 设置信号频率,调节谐波源输出,标准谐波分析仪显示值为 $U_N h_n$ ($I_N h_n$),被校分析仪显示值为 $U_x h_n$ ($I_x h_n$),则被校分析仪第 n 次电压(电流)(间)谐波显示值的绝对误差按式(14)、(15)计算。

(3) 对于三相电能质量分析仪可按上述过程分别校准。

7.8 三相相位校准

三相相位校准可以在(45~65) Hz 范围内的任意频率下进行,一般选择在 50Hz 下进行校准。

相位通常选择 0° , 30° , 60° , 90° , 120° 。

7.8.1 标准源直接测量法

(1) 仪器接线如图 14 所示

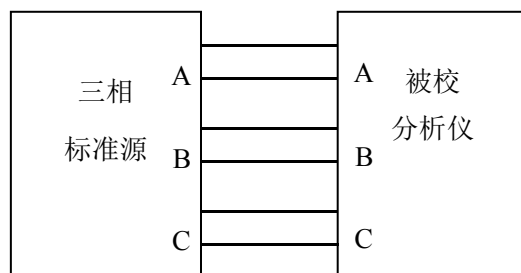


图 14 标准功率源校准三相相位接线图

(2) 设定信号频率, 调节标准功率源对电压线路施加 100%额定电压, 对电流线路施加 40%~100%的额定电流。调节标准功率源的输出相位至 φ_N , 被校分析仪显示值为 φ_x , 则被校分析仪功率因数显示值的绝对误差 Δ 为:

$$\Delta = \varphi_x - \varphi_N \quad (16)$$

7.8.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 15 所示

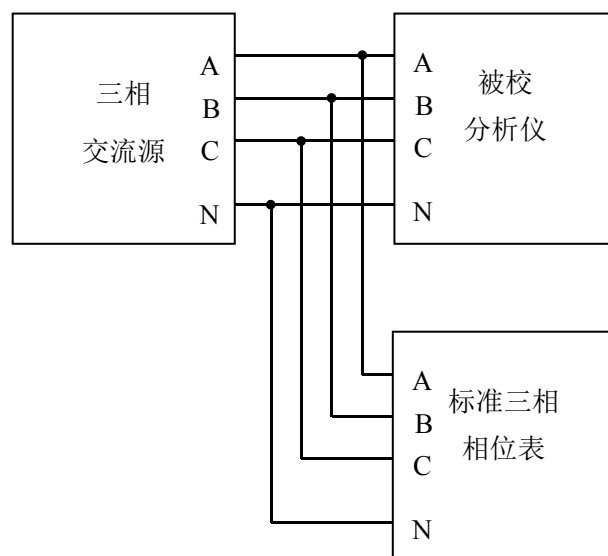


图 15 标准相位表校准三相相位接线图

(2) 设定信号频率, 调节交流功率源对电压线路施加 100%额定电压, 对电流线路施加 40%~100%的额定电流。调节交流功率源的输出相位, 使标准相位表显示为 φ_N , 被校分析仪显示值为 φ_x , 则被校分析仪相位显示值的绝对误差按式 (16) 计算。

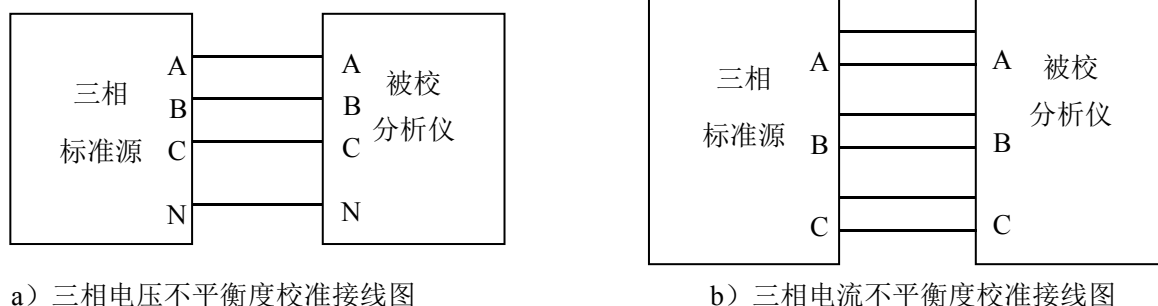
7.9 三相不平衡度校准

三相不平衡度的校准分为电压三相不平衡度和电流三相不平衡度。分析仪通常采用对称分量法（见附录 A）来分析和计算三相电路的不平衡度。本规范主要采用以下两种校准方法：标准源法和标准表法。

选择被校分析仪的电压、电流值，电压值通常选择 220V，电流值选择最大量程的 50%～70%范围内。三相电压不平衡度选择 2%和 4%、三相电流不平衡度选择 10%和 20%进行校准。

7.9.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 16 所示



a) 三相电压不平衡度校准接线图

b) 三相电流不平衡度校准接线图

图 16 三相标准源校准三相不平衡度接线图

(2) 设置被校分析仪的电压（电流）量程，调节三相标准源的输出电压（电流）幅值和各相间的相位，使其不平衡度为 ε_{U_N} ，被校分析仪显示值为 ε_{U_x} ，则被校分析仪三相电压（电流）不平衡度的示值误差 $\Delta\varepsilon_U$ ($\Delta\varepsilon_I$) 为：

$$\Delta\varepsilon_U = \varepsilon_{U_x} - \varepsilon_{U_N} \quad (17)$$

$$\Delta\varepsilon_I = \varepsilon_{I_x} - \varepsilon_{I_N} \quad (18)$$

7.9.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 17 所示

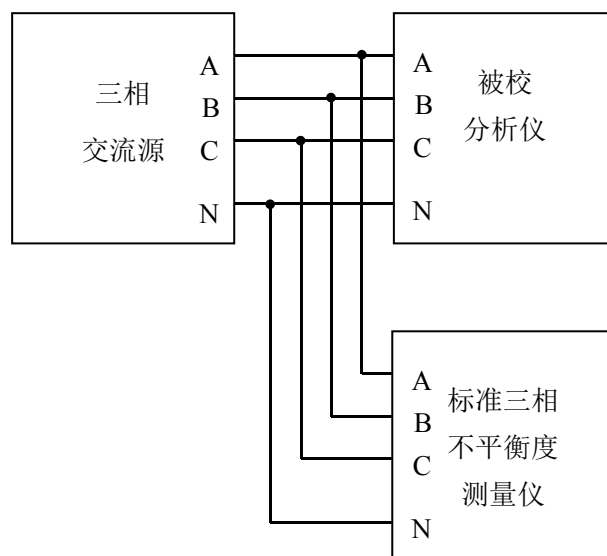


图 17 标准三相不平衡度测量仪校准三相电压不平衡度接线图

(2) 设置被校分析仪和标准三相不平衡度测量仪的电压量程，调节三相交流源的输出电压和各相电压间的相位，分别读取标准三相不平衡度测量仪的显示值 ε_{U_N} 和被校分析仪显示值 ε_{U_x} ，则被校分析仪三相电压不平衡度的示值误差按 (17) 式计算。

(3) 对于三相电流不平衡度的校准，只需把接线方式改成相应的电流接线。

7.10 闪变校准

分析仪测量闪变值时，电压值通常选取 230V (50Hz)。

标准闪变输出装置通常采用方波调制的方法来输出闪变信号，通过设置调制深度（电压变动量）和调制信号频率（变动频率）来确定短时间闪变值 P_{st} 。表 5 是 $P_{st}=1$ 时，电压变动量、变动频率和变动频度的设定值。

表 5 $P_{st}=1$ 时设定值

变动频率 (Hz)	变动频度 (次/分钟)	电压变动量 (%)
0.008333	1	2.724
0.016667	2	2.211
0.058333	7	1.459
0.325	39	0.906
0.916	110	0.725
13.5	1620	0.402
33.333	4000	2.400

$P_{st} = 3$ 时, 变动量设置为表 1 的 3 倍, 其他设置不变。

若标准闪变输出装置输出闪变值保持恒定, 并且时间达到 2h, 长时间闪变值 $P_{lt} = P_{st}$ 。

若标准闪变输出装置输出闪变发生变化, 则可按下式计算长时间闪变值:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} (P_{stj})^3} \quad (19)$$

式中: P_{stj} 为 2h 内第 j 个短时间闪变值。

7.10.1 标准源法

(1) 仪器接线如图 18 所示

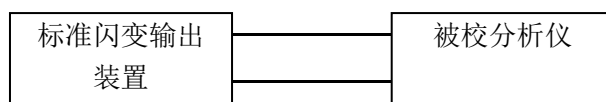


图 18 标准闪变输出装置校准闪变值接线图

(2) 设置被校分析仪的电压量程和闪变测量功能, 按照表 2 设定标准闪变输出装置的调制频率和调制深度并输出标准闪变值 P_{st_N} (P_{lt_N}), 10min 后读取被校分析仪短时间闪变值 P_{st_x} , 2h 后读取被校分析仪长时间闪变值 P_{lt_x} , 则被校分析仪短时间闪变值的相对误差 γ_s 为:

$$\gamma_s = \frac{P_{st_x} - P_{st_N}}{P_{st_N}} \times 100\% \quad (20)$$

被校分析仪长时间闪变值的相对误差 γ_l 为:

$$\gamma_l = \frac{P_{lt_x} - P_{lt_N}}{P_{lt_N}} \times 100\% \quad (21)$$

7.10.2 标准表法

(1) 仪器接线如图 19 所示

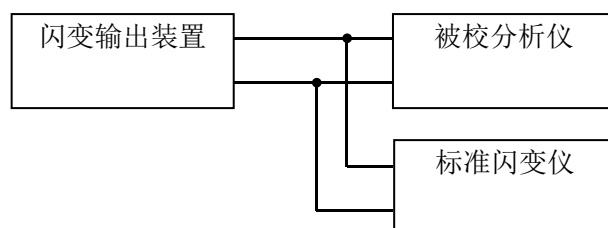


图 19 标准闪变仪校准闪变值接线图

(2) 设置被校分析仪和标准闪变仪的电压量程和闪变测量功能,按照表 2 设定闪变输出装置的调制频率和调制深度并输出,10min 后分别读取标准闪变仪短时间闪变值 P_{st_N} 和被校分析仪短时间闪变值 P_{st_x} ,2h 后分别读取标准闪变仪长时间闪变值 P_{lt_N} 和被校分析仪长时间闪变值 P_{lt_x} ,则被校分析仪短时间闪变值的相对误差和长时间闪变值的相对误差按(20)、(21)式计算。

(3) 对于多通道电能质量分析仪可按上述过程分别校准每个通道。

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) 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) 对校准规范偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期;
- 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。

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

示值误差的不确定度评定示例

A. 1 概述

A.1.1 测量方法

用标准功率源作为标准器,采用标准源法对 WT3000 电能质量分析仪(以下简称分析仪)进行校准。对交流电压示值误差测量结果的不确定度进行评定。

在实际校准中,由于在恒温 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下进行,根据产品说明书,标准功率源技术指标在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 全部符合,所以标准功率源的温度影响可忽略。被校分析仪在 $(0-40)^\circ\text{C}$ 时满足技术指标,所以温度影响也可忽略。

由导线的热电势所带来的不确定度,也可以忽略。由环境湿度,大气压力,人为因素等带来的不确定度,远远小于以下分析的不确定度分量,均予以忽略。

A.1.2 测量标准

6100A 标准功率源。

A. 2 测量模型

A.2.1 示值误差

$$\Delta_U = U_x - U_N$$

式中:

Δ_U —— 被校分析仪交流电压示值误差, V;

U_x —— 被校分析仪交流电压显示值, V;

U_N —— 交流电压标准值, V。

A. 3 不确定度来源分析

由测量模型可知,示值误差的不确定度是由 U_x 、 U_N 引入。本文以电压 220 V, 频率 50 Hz 为例进行分析。

A. 4 标准不确定度评定

A. 4. 1 被校分析仪引入的标准不确定度 $u(U_x)$

a) 被校分析仪分辨力引入的标准不确定度 $u_1(U_x)$

测量 220 V 电压,被校分析仪的分辨力为 0.01 V,按均匀分布,包含因子 $k=\sqrt{3}$,则:

$$u_1(U_x) = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} \approx 0.003(\text{V})$$

b) 被校分析仪重复性引入的标准不确定度 $u_2(U_x)$

等精度独立测量十次，数据如下：

单位：V

测量次数	1	2	3	4	5
测量值	219.99	219.98	219.98	219.99	219.98
测量次数	6	7	8	9	10
测量值	219.99	219.99	219.98	219.99	219.98

$$\text{单次测量的标准差 } s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{10 - 1}} \approx 0.006(\text{V})$$

$$u_2(U_x) = s(x_i) \approx 0.006(\text{V})$$

被校分析仪引入的标准不确定度取分辨力和重复性引入的标准不确定度中较大的即：

$$u(U_x) = 0.006(\text{V})$$

A. 4. 2 标准源引入的标准不确定度 $u(U_N)$

标准源电压输出 220 V，频率 50 Hz 时，最大允许误差为 $\pm(112 \times 10^{-6} \times \text{输出值} + 8.8 \text{ mV})$ ，

在此区间按均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(U_N) = \frac{220 \times 0.0112\% + 0.0088}{\sqrt{3}} = \frac{0.033}{\sqrt{3}} \approx 0.02(\text{V})$$

A. 5 合成不确定度 $u_c(\Delta_U)$

A. 5. 1 灵敏系数

由测量模型 $\Delta_U = U_x - U_N$ ，可求灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta_U}{\partial U_x} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial \Delta_U}{\partial U_N} = -1$$

电压示值误差测量结果不确定度分量一览表

输入量	估计值	标准不确定度	c_i	概率分布	不确定度分量
U_x	219.8 V	0.006 V	1	正态	0.006 V
U_N	220.0 V	0.02 V	-1	均匀	-0.02 V

A. 5. 2 合成标准不确定度

$$\begin{aligned}
 u_c^2(\Delta_U) &= \left[\frac{\partial \Delta_U}{\partial U_x} u(U_x) \right]^2 + \left[\frac{\partial \Delta_U}{\partial U_N} u(U_N) \right]^2 \\
 &= [c_1 u(U_x)]^2 + [c_2 u(U_N)]^2 \\
 u_c(\Delta_U) &= \sqrt{0.006^2 + 0.02^2} \\
 &\approx 0.021(\text{V})
 \end{aligned}$$

A. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U=2 \times 0.021=0.042 (\text{V});$$

$$U_{\text{rel}} \approx 0.02\%$$

附录 B

对称分量法

对称分量法是电工中分析对称系统不对称运行状态的一种基本方法，广泛应用于三相交流系统的三相不平衡度的计算。正序、负序、零序的出现是为了分析在系统电压、电流出现不对称现象时，把三相的不对称分量分解成对称分量（正、负序）及同向的零序分量。任何不对称的三相相量 A ， B ， C 都可以分解为三组相序不同的对称分量：正序分量 A_1 ， B_1 ， C_1 ；负序分量 A_2 ， B_2 ， C_2 ；零序分量 A_0 ， B_0 ， C_0 。即存在如下关系：

$$\begin{cases} A = A_1 + A_2 + A_0 \\ B = B_1 + B_2 + B_0 \\ C = C_1 + C_2 + C_0 \end{cases} \quad (22)$$

每一组对称分量之间的关系为：

$$\begin{cases} A_1 = \alpha B_1 = \alpha^2 C_1 \\ A_2 = \alpha^2 B_2 = \alpha C_2 \\ A_0 = B_0 = C_0 \end{cases} \quad (23)$$

式中： $\alpha = e^{j\left(\frac{2}{3}\right)\pi}$ ，将 (23) 代入 (22) 可得：

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \alpha^2 & \alpha & 1 \\ \alpha & \alpha^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

式中系数矩阵是非奇异的，其逆矩阵存在，所以有：

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} \quad (25)$$

用三相标准信号源输出 A ， B ， C 三相标准信号，并且三相信号的相角已知，根据 (25) 式就能计算出正序分量、负序分量和零序分量 A_1 ， A_2 ， A_0 。求出电压或电流的三相不平衡度。

附录 C

校准记录格式（推荐）

记录编号：		委托单位：			
仪器名称：		型号：			
制造厂：		出厂编号：			
环境温度：	相对湿度：	检定日期：			
检定依据：					
检定使用的标准器：					
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	设备编号	检定/校准 证书编号	有效期至

功率

量 程	被检功率参数			实际值 ()	显示值 ()			测量结 果的不 确定度
	电压	电流	$\cos\varphi$					

最大误差：

电流（电压、相位）

量 程	实际值	显示值			测量结果的 不确定度

最大误差：

(间) 谐波

(间) 谐波次数	(间) 谐波实际 值	(间) 谐波显示值		

最大误差:

测量结果的不确定度:

频率 (闪变、三相不平衡度)

功 能					测量结果的 不确定度

最大误差:

附录 D

校准证书内页格式（推荐）

功率

量 程	被检功率参数			实际值 ()	显示值 ()			测量结 果的不 确定度
	电压	电流	$\cos\varphi$					

最大误差：

电流（电压、相位）

量 程	实际值	显示值			测量结果的 不确定度

最大误差：

（间）谐波

（间）谐波次数	（间）谐波实际 值	（间）谐波显示值		

最大误差：

测量结果的不确定度：

频率（闪变、三相不平衡度）

功 能					测量结果的 不确定度

最大误差：
