



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2236—2025

交流电子负载校准规范

Calibration Specification for AC Electronic Loads

2025-03-27 发布

2025-09-27 实施

国家市场监督管理总局 发布

交流电子负载校准规范

Calibration Specification for

AC Electronic Loads

JJF 2236—2025

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：北京东方计量测试研究所

安徽省计量科学研究院

参加起草单位：山东省计量科学研究院

北京航天计量测试技术研究所

广东电网有限责任公司计量中心

内蒙古自治区计量测试研究院

本规范主要起草人：

王乾娟（北京东方计量测试研究所）

孙 智（北京东方计量测试研究所）

赵永涛（安徽省计量科学研究所）

参加起草人：

王伟钊（山东省计量科学研究所）

温世仁（北京航天计量测试技术研究所）

化振谦（广东电网有限责任公司计量中心）

贾 多（内蒙古自治区计量测试研究所）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 交流电压	(2)
5.2 交流电流	(2)
5.3 恒定电流	(2)
5.4 交流电阻	(2)
5.5 恒定电阻	(2)
5.6 交流功率	(2)
5.7 恒定功率	(2)
5.8 功率因数	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(10)
8.1 校准证书	(10)
8.2 数据修约	(11)
9 复校时间间隔	(11)
附录 A 交流功率、功率因数测量不确定度评定示例	(12)
附录 B 校准原始记录格式	(17)
附录 C 校准证书内页格式	(20)

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文件。

本规范为首次发布。

交流电子负载校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 10 Hz~1 kHz 的交流电子负载的校准，也适用于交直流一体式电子负载中交流电子负载部分的校准。

本规范不适用于电动汽车充电桩检定装置中交流负载的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1491 数字式交流电参数测量仪校准规范

JJF 1587 数字多用表校准规范

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 术语

3.1 交流电子负载 AC electronic load

由电子功率器件组成，能吸收交流电能，用于模拟用电设备的不同用电状态，并将吸收的交流电能耗散的一种电子电路装置。

4 概述

交流电子负载通过内部控制电路控制电子功率器件的功耗，吸收并耗散被测交流电源的电能，起到负载的作用。交流电子负载一般具有恒定电流、恒定电阻和恒定功率工作模式，还可以通过改变功率因数和峰值因数模拟各种用电设备的状态，同时具有交流电压、交流电流、交流功率、交流电阻、功率因数等测量功能。交流电子负载主要由控制电路、测量电路、功率耗散电路、显示电路及接口电路等组成，其结构原理框图如图 1 所示。

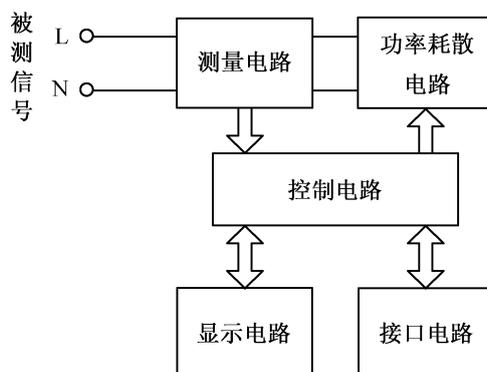


图 1 交流电子负载结构原理框图

5 计量特性

5.1 交流电压

测量范围：(1~500) V；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.1%~5%)。

5.2 交流电流

测量范围：(0.1~100) A；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.1%~5%)。

5.3 恒定电流

设置范围：(0.1~100) A；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.1%~5%)。

5.4 交流电阻

测量范围：0.1 Ω ~5 k Ω ；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.2%~5%)。

5.5 恒定电阻

设置范围：0.1 Ω ~5 k Ω ；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.2%~5%)。

5.6 交流功率

测量范围：1 W~30 kW；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.2%~5%)。

5.7 恒定功率

设置范围：1 W~30 kW；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.2%~5%)。

5.8 功率因数

测量范围：0~1；频率范围：(10~1 000) Hz。

最大允许误差：± (0.5%~5%)。

注：具体计量特性参照被校交流电子负载的技术要求，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

a) 环境温度：(20±5)℃；

b) 相对湿度：20%~80%；

c) 供电电源：电压(220±22) V，频率(50±0.5) Hz；

d) 周围无影响正常工作的电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

校准装置的测量范围应覆盖被校交流电子负载的测量范围。校准装置的扩展不确定度($k=2$)应不大于被校交流电子负载各参数最大允许误差绝对值的三分之一。

6.2.1 标准交流电压表

测量范围：10 mV~500 V，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.02%~1%)。

6.2.2 标准交流电流表

测量范围：(0.1~100) A，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.02%~1%)。

6.2.3 交流分流器

交流电流测量范围：(0.1~100) A，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.01%~0.5%)。

6.2.4 交流电流比例标准

测量范围：(0.1~100) A，(10~1 000) Hz；比值的最大允许误差：± (0.01%~0.5%)。

交流电流比例标准一般指标准电流互感器、交流电流比较仪和交流电流传感器等。

6.2.5 标准交流功率表

a) 交流电压

测量范围：10 mV~500 V，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.02%~1%)。

b) 交流电流

测量范围：(0.1~100) A，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.02%~1%)。

c) 交流功率

测量范围：1 W~30 kW，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.05%~1%)。

d) 功率因数

测量范围：0~1；最大允许误差：± (0.1%~1%)。

6.2.6 标准交流电压源

输出电压范围：10 mV~500 V，(10~1 000) Hz；最大允许误差：± (0.02%~1%)。

6.2.7 交流稳压电源

输出电压范围：(1~500) V，(10~1 000) Hz；

输出电流范围：(0.1~100) A，(10~1 000) Hz；

短期稳定性：(0.01%~0.5%) /min。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目	计量特性条款	校准方法条款
1	交流电压	5.1	7.2.2
2	交流电流	5.2	7.2.3
3	恒定电流	5.3	7.2.3
4	交流电阻	5.4	7.2.4
5	恒定电阻	5.5	7.2.4
6	交流功率	5.6	7.2.5
7	恒定功率	5.7	7.2.5
8	功率因数	5.8	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

a) 外观检查

被校交流电子负载的名称、型号、制造厂名或商标、出厂编号，供电电源和输入端的电压、频率及功率等信息应齐全；外壳、端钮、开关、按键、通信端口和调节旋钮应无影响校准和使用安全的松动、损伤、脱落。

b) 工作正常性检查

通电后，各种调节旋钮灵活、按键功能正常，显示屏无显示缺陷。

c) 预热

在规定的条件下，测量标准和被校交流电子负载按各自的说明书和实际工作需要预热；无要求时，开机预热时间不小于 30 min。

7.2.2 交流电压

7.2.2.1 校准点选取

a) 参照被校交流电子负载使用说明书中交流电压技术指标中的频率范围，选取 3~5 个频率点，一般应包含 50 Hz，建议在 50 Hz、400 Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 在 50 Hz 频率点，选取 2~3 个电压校准点，建议包含 110 V/115 V、220 V；在其他频率点，可只选取量程上限值或接近量程上限值点。

7.2.2.2 标准表法

a) 按图 2 接线。被校交流电子负载输入端和采样端分开的，校准时需分别将高输入端（Hi）和采样端（S_{Hi}）、低输入端（Lo）和采样端（S_{Lo}）短接。

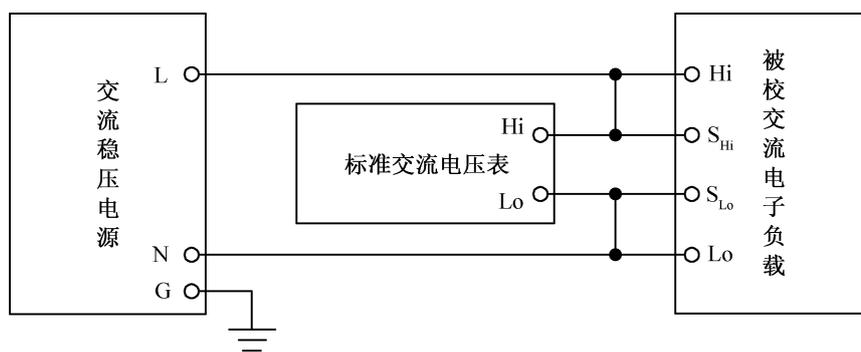


图 2 标准表法校准接线图

b) 被校交流电子负载置空载，启用交流电压测量模式。

c) 按校准点设置交流稳压电源的输出电压值及频率值；启动交流稳压电源输出，待输出稳定后记录标准交流电压表测得的交流电压标准值 U_0 和被校交流电子负载的交流电压示值 U_x 。

d) 按公式 (1) 计算被校交流电子负载的交流电压示值误差 ΔU_x 。

$$\Delta U_x = U_x - U_0 \quad (1)$$

式中：

ΔU_x ——被校交流电子负载的交流电压示值误差，V；

U_x ——被校交流电子负载的交流电压示值，V；

U_0 ——交流电压标准值，V。

7.2.2.3 标准源法

a) 按图 3 接线。被校交流电子负载电压采样端和输入端分开的，校准时可只连接标准交流电压源输出端和被校交流电子负载电压采样端。

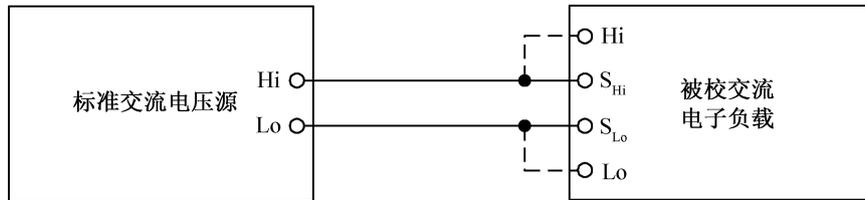


图 3 标准源法校准接线图

b) 被校交流电子负载置空载，启用交流电压测量模式。

c) 按校准点设置标准交流电压源的输出电压值及频率值；启动交流稳压电源输出，待稳定后记录标准交流电压源输出的交流电压标准值 U_0 和被校交流电子负载的交流电压示值 U_x 。

d) 按公式 (1) 计算被校交流电子负载的交流电压示值误差 ΔU_x 。

7.2.3 交流电流和恒定电流

7.2.3.1 校准点选取

a) 参照被校交流电子负载使用说明书中交流电流技术指标中的频率范围，选取 3~5 个频率点，一般应包含 50 Hz，建议在 50 Hz、400 Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 在 50 Hz 频率点，选取 2~3 个电流校准点，应包含量程的中间点和接近量程上下限点；在其他频率点，可只选取量程上限值或接近量程上限值点。

7.2.3.2 标准表法

a) 按图 4 接线。交流电流表接在被校交流电子负载输入端的低端 (Lo) 与交流稳压电源输出端的零线 (中线) 端 (N) 之间。

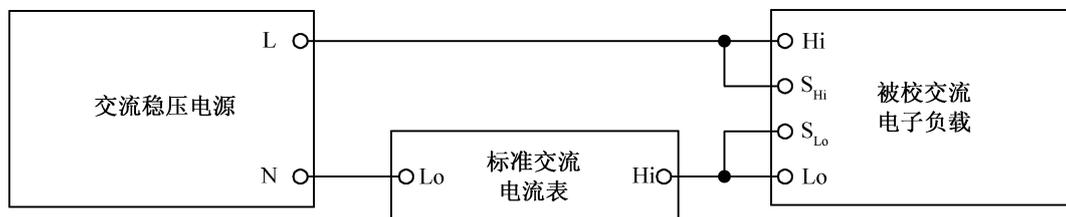


图 4 标准表法校准接线图

b) 设置被校交流电子负载为恒流模式，按校准点设置恒定电流值，并启用交流电流测量模式。

c) 按校准点设置交流稳压电源的输出，交流稳压电源的输出电压值应大于被校交流电子负载的最低工作电压，且不大于被校交流电子负载额定功率对应的电压最大允许值；交流稳压电源的电流设置限值应大于被校交流电子负载的额定电流值。

d) 启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态，待负载电流稳定

后记录标准交流电流表的读数 I_0 、被校交流电子负载的恒定电流设置值 I_s 和交流电流示值 I_x 。

e) 按公式 (2) 计算被校交流电子负载的交流电流示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载的恒定电流设置值误差 ΔI_s 。

$$\Delta I_x = I_x - I_0 \quad (2)$$

式中：

ΔI_x ——被校交流电子负载的交流电流示值误差，A；

I_x ——被校交流电子负载的交流电流示值，A；

I_0 ——交流电流标准值，A。

$$\Delta I_s = I_s - I_0 \quad (3)$$

式中：

ΔI_s ——被校交流电子负载的恒定电流设置值误差，A；

I_s ——被校交流电子负载的恒定电流设置值，A。

7.2.3.3 分流器法

a) 按图 5 接线。

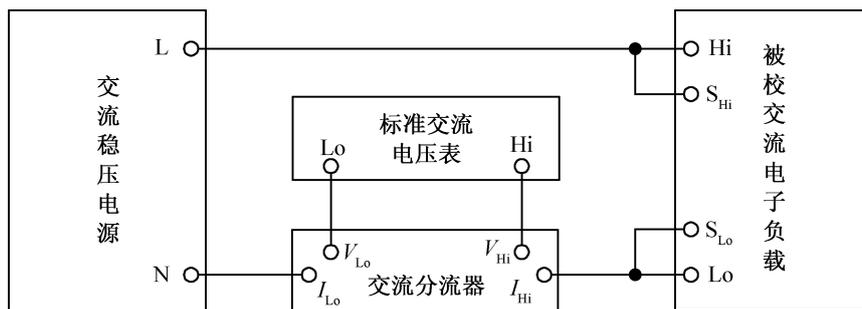


图 5 分流器法校准接线图

b) 设置被校交流电子负载为恒流模式，按校准点设置恒定电流值，并启用交流电流测量模式。

c) 根据交流分流器的输出电压范围选择合适的标准交流电压表的量程。

d) 按校准点设置交流稳压电源的输出，输出电压值应大于被校交流电子负载的最低工作电压，且不大于额定功率对应的电压最大允许值，电流限值大于被校交流电子负载的额定电流值。

e) 启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态，待负载电流稳定后，记录标准交流电压表的测量值 U_1 、交流分流器的电阻值 R_0 、被校交流电子负载的交流电流设置值 I_s 和示值 I_x 。

f) 按公式 (2) 计算被校交流电子负载的交流电流示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载的恒定电流设置值误差 ΔI_s ，按公式 (4) 计算交流电流的标准值 I_0 。

$$I_0 = \frac{U_1}{R_0} \quad (4)$$

式中：

U_1 ——标准交流电压表的测量值，V；

R_0 ——交流分流器的电阻值， Ω 。

7.2.3.4 电流比例标准法

a) 按图 6 接线。

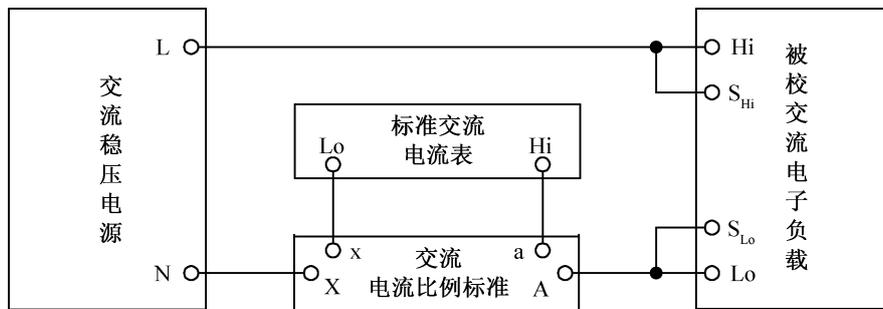


图 6 电流比例标准法校准接线图

b) 设置被校交流电子负载为恒流模式，按校准点设置恒定电流值，并启用交流电流测量模式。

c) 根据交流电流比例标准的输出电流选择合适的标准交流电流表的量程。

d) 按校准点设置交流稳压电源的输出，交流稳压电源的输出电压值应大于被校交流电子负载的最低工作电压，且不大于被校交流电子负载额定功率对应的电压最大允许值。

e) 启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态，待负载电流稳定后，记录标准交流电流表的测量值 I_1 、交流电流比例标准的比例系数 K 、被校交流电子负载的交流电流设置值 I_s 和示值 I_x 。

f) 按公式 (2) 计算被校交流电子负载的交流电流示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载的恒定电流设置值误差 ΔI_s ，按公式 (5) 计算交流电流的标准值 I_0 。

$$I_0 = KI_1 \quad (5)$$

式中：

K ——交流电流比例标准的比例系数，A/A；

I_1 ——标准交流电流表的测量值，A。

7.2.4 交流电阻和恒定电阻

7.2.4.1 校准点选取

a) 选取 2~3 个频率点，一般应包含 50 Hz，建议在 50 Hz、400 Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 在校准频率下，选取 2~3 个电阻校准点，建议取 1、2、5 倍的 10 的整数次幂点，应根据被校电子负载的最低工作电压、最大额定功率和最小电流准确度选择合适的校准点。

7.2.4.2 校准步骤

a) 按图 7 接线。

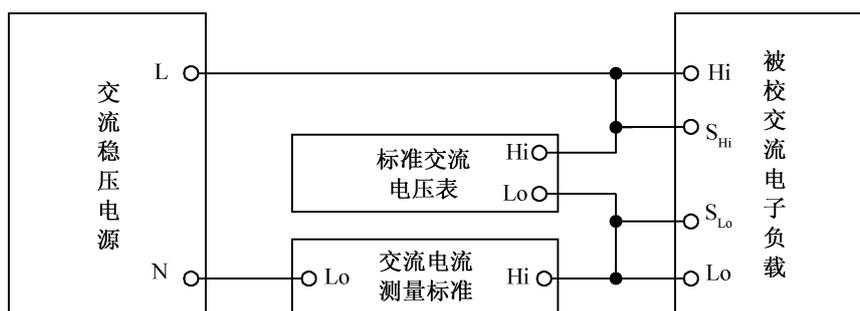


图7 交流（恒定）电阻校准接线图

b) 设置被校交流电子负载为恒阻模式，按校准点设置恒定电阻值，并启用交流电阻测量模式。

c) 交流电流测量标准可选标准交流电流表、交流分流器和标准交流电压表、交流电流比例标准和标准交流电流表。

d) 根据校准点设置交流稳压电源的输出，启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态。

e) 待输出稳定后，记录交流电压标准值 U_0 、交流电流标准值 I_0 和被校交流电子负载的交流电阻示值 R_x 和恒定电阻设置值 R_s 。

f) 按公式 (6) 计算被校交流电子负载的交流电阻示值误差 ΔR_x ，按公式 (7) 计算被校交流电子负载的恒定电阻设置值误差 ΔR_s 。

$$\Delta R_x = R_x - \frac{U_0}{I_0} \quad (6)$$

式中：

ΔR_x ——被校交流电子负载的交流电阻示值误差， Ω ；

R_x ——被校交流电子负载的交流电阻示值， Ω 。

$$\Delta R_s = R_s - \frac{U_0}{I_0} \quad (7)$$

式中：

ΔR_s ——被校交流电子负载的恒定电阻设置值误差， Ω ；

R_s ——被校交流电子负载的恒定电阻设置值， Ω 。

7.2.5 交流功率和恒定功率

7.2.5.1 校准点选取

a) 选取 3~5 个频率点，一般应包含 50 Hz，建议在 50 Hz、400 Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 每个频率点下选取不少于 5 个功率校准点，建议选取的校准点见表 2。

表 2 交流功率和恒定功率校准点

频率	交流电压	功率因数	交流功率
50 Hz	220 V	1	$10\%P_N$ 、 $50\%P_N$ 、 $100\%P_N$
		0.5L、0.5C	$50\%P_N$

表 2 (续)

频率	交流电压	功率因数	交流功率
400 Hz	110 V/115 V	1	10% P_N 、50% P_N 、100% P_N
		0.5L、0.5C	50% P_N

P_N ——交流电子负载的额定功率。

7.2.5.2 校准步骤

a) 按图 8 接线。

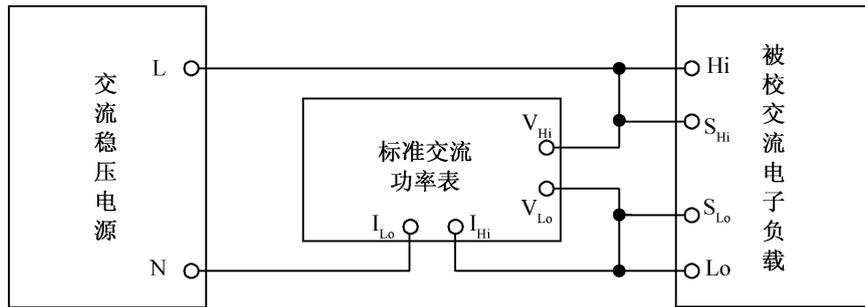


图 8 交流（恒定）功率/功率因数校准接线图

b) 设置被校交流电子负载为恒功率模式，按校准点设置恒定功率值和功率因数，并启用交流功率测量模式。

c) 根据校准点设置交流稳压电源输出，启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态。

d) 待输出稳定后，记录标准交流功率表的交流功率测量值 P_0 、被校交流电子负载的交流功率示值 P_x 和恒定功率设置值 P_s 。e) 按公式 (8) 计算被校交流电子负载的交流功率示值误差 ΔP_x ，按公式 (9) 计算被校交流电子负载的恒定功率设置值误差 ΔP_s 。

$$\Delta P_x = P_x - P_0 \quad (8)$$

式中：

 ΔP_x ——被校交流电子负载的交流功率示值误差，W； P_x ——被校交流电子负载的交流功率示值，W； P_0 ——交流功率表的交流功率测量值，W。

$$\Delta P_s = P_s - P_0 \quad (9)$$

式中：

 ΔP_s ——被校交流电子负载的恒定功率设置值误差，W； P_s ——被校交流电子负载的恒定功率设置值，W。

7.2.6 功率因数

7.2.6.1 校准点选取

a) 选取 3~5 个频率点，一般应包含 50 Hz，建议在 50 Hz、400 Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 每个频率点下选取 5 个校准点，建议选取的校准点见表 3。

表3 功率因数校准点

频率	交流电压	交流功率	功率因数
50 Hz	220 V	100% P_N	1
		50% P_N	0.5L、0.5C
		10% P_N	0.8L、0.8C
400 Hz	110 V/115 V	100% P_N	1
		50% P_N	0.5L、0.5C
		10% P_N	0.8L、0.8C

P_N ——交流电子负载的额定功率。

7.2.6.2 校准步骤

- a) 按图 8 接线。
- b) 设置被校交流电子负载为恒功率模式，并按校准点设置功率因数和恒定功率。
- c) 按校准点设置交流稳压电源的输出电压值和频率。
- d) 启动交流稳压电源输出，设置被校交流电子负载为加载状态，待输出稳定后，记录标准交流功率表测得的功率因数标准值 λ_0 和被校交流电子负载的功率因数设置值 λ_s 。
- e) 按公式 (10) 计算被校交流电子负载功率因数的设置值误差 $\Delta\lambda_s$ 。

$$\Delta\lambda_s = \lambda_s - \lambda_0 \quad (10)$$

式中：

$\Delta\lambda_s$ ——被校交流电子负载的功率因数设置值误差；

λ_s ——被校交流电子负载的功率因数设置值；

λ_0 ——功率因数标准值。

8 校准结果表达

8.1 校准证书

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或应用有关时，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 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

8.2 数据修约

被校交流电子负载的校准数据应该先计算后修约。数据修约应遵循四舍五入及偶数法则，末位数修约到被校交流电子负载最大允许误差绝对值的 1/10 位。

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

交流功率、功率因数测量不确定度评定示例

A.1 概述

本附录给出交流电子负载校准项目中交流功率、功率因数两项典型参数的测量不确定度评定示例。

A.2 交流功率校准结果的测量不确定度评定

A.2.1 概述

以交流电子负载作为被校对象，以标准交流功率表作为功率测量标准，采用标准表法，对交流功率 100 W（电压 100 V、电流 1 A、功率因数 1、频率 50 Hz）校准点进行校准。

A.2.2 测量模型

交流功率示值误差的测量模型可用式（A.1）表示。

$$\Delta P_x = P_x - P_0 \quad (\text{A.1})$$

式中：

ΔP_x ——被校交流电子负载交流功率示值误差，W；

P_x ——被校交流电子负载交流功率示值，W；

P_0 ——交流功率标准值，W。

当各输入量的不确定度不相关时，则其测量不确定度传播公式可用式（A.2）表示。

$$u_c^2(\Delta P_x) = c^2(P_x) \times u^2(P_x) + c^2(P_0) \times u^2(P_0) \quad (\text{A.2})$$

式中，灵敏系数为

$$c(P_x) = 1, \quad c(P_0) = -1$$

A.2.3 标准不确定度来源

A.2.3.1 $u(P_0)$ 的主要来源为标准交流功率表交流功率最大允许误差引入的标准不确定度。

A.2.3.2 $u(P_x)$ 的主要来源如下：

a) 被校交流电子负载交流功率示值分辨力引入的标准不确定 $u_1(P_x)$ ；

b) 被校交流电子负载交流功率测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(P_x)$ 。

注： $u(P_x)$ 仅取 $u_1(P_x)$ 和 $u_2(P_x)$ 中的较大值。

A.2.4 标准不确定度评定

A.2.4.1 标准交流功率表最大允许误差引入的标准不确定度 $u(P_0)$

从标准交流功率表说明书中知，输出电压 100 V、电流 1 A、功率因数 1 时交流功率的最大允许误差为 $\pm (0.05\%RD + 0.05\%FS)$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准交流功率表最大允许误差引入的标准不确定度为

$$u(P_0) = \frac{100 \times 0.05\% + 100 \times 0.05\%}{\sqrt{3}} \text{W} \approx 0.058 \text{ W}$$

A.2.4.2 被校交流电子负载交流功率示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(P_x)$

校准交流功率 100 W（电压 100 V、电流 1 A、功率因数 1）时，被校标准交流功率表交流功率示值分辨力为 0.1 W。由此引入的测量不确定度按 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，被校交流电子负载交流功率示值分辨力引入的标准不确定度为

$$u_1(P_x) = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} \text{W} \approx 0.029 \text{ W}$$

A.2.4.3 被校交流电子负载交流功率测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(P_x)$

测量重复性引入的标准不确定度，按 A 类评定，用贝塞尔公式计算实验标准偏差，连续 10 次重复测量数据见表 A.1。

表 A.1 交流功率测量重复性测量数据

第 i 次测量	测得值/W
1	99.7
2	99.7
3	99.7
4	99.8
5	99.7
6	99.7
7	99.8
8	99.7
9	99.7
10	99.7

根据表 A.1 中的数据，计算交流功率重复测量的实验标准偏差为

$$s(P_x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (P_{xi} - \bar{P}_x)^2} = 0.042 \text{ W}$$

校准时取单次测得值作为校准结果，故测量重复性引入的标准不确定度为

$$u_2(P_x) = s(P_x) = 0.042 \text{ W}$$

A.2.5 不确定度分量一览表

表 A.2 交流功率示值误差校准结果不确定度分量一览表

标准不确定度	不确定度来源	评定方法	概率分布	k 值	标准不确定度	灵敏系数
$u(P_0)$	标准交流功率表交流功率的年允许误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.058W	-1
$u_1(P_x)$	被校交流电子负载交流功率的分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.029W	1
$u_2(P_x)$	被校交流电子负载交流功率的测量重复性	A	正态		0.042W	1

A.2.6 合成标准不确定度

考虑到被校交流电子负载的交流功率的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中的较小值舍去， $u(P_0)$ 和 $u_2(P_x)$ 不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u^2(P_0) + u_2^2(P_x)} = 0.072 \text{ W}$$

A.2.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku_c = 2 \times 0.072 \text{ W} \approx 0.2 \text{ W}$$

A.3 功率因数校准结果的测量不确定度评定

A.3.1 概述

以交流电子负载作为被校对象，以标准交流功率表作为功率因数测量标准，采用直接测量方法，对功率因数 0.5（电压 100 V、电流 1 A、频率 50 Hz）校准点进行校准。

A.3.2 测量模型

功率因数示值误差的测量模型可用式（A.3）表示。

$$\Delta\lambda = \lambda_x - \lambda_0 \quad (\text{A.3})$$

式中：

$\Delta\lambda$ ——被校交流电子负载功率因数示值误差；

λ_x ——被校交流电子负载功率因数示值；

λ_0 ——功率因数标准值。

当各输入量的不确定度不相关时，则其测量不确定度传播可用式（A.4）表示。

$$u_c^2(\Delta\lambda) = c^2(\lambda_x) \times u^2(\lambda_x) + c^2(\lambda_0) \times u^2(\lambda_0) \quad (\text{A.4})$$

式中，灵敏系数为

$$c(\lambda_x) = 1, \quad c(\lambda_0) = -1$$

A.3.3 标准不确定度来源

A.3.3.1 $u(\lambda_0)$ 的主要来源为标准交流功率表功率因数的最大允许误差引入的标准不确定度。

A.3.3.2 $u(\lambda_x)$ 的主要来源如下：

a) 被校交流电子负载功率因数示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(\lambda_x)$ ；

b) 被校交流电子负载功率因数测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(\lambda_x)$ 。

注： $u(\lambda_x)$ 的主要来源仅考虑取 $u_1(\lambda_x)$ 和 $u_2(\lambda_x)$ 中的较大值。

A.3.4 标准不确定度评定

A.3.4.1 标准交流功率表功率因数的最大允许误差引入的标准不确定度 $u(\lambda_0)$

从标准交流功率表说明书中知，功率因数的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准交流功率表功率因数的最大允许误差引入的标准不确定度为

$$u(\lambda_0) = \frac{0.5 \times 0.1\%}{\sqrt{3}} \approx 0.00029$$

A.3.4.2 被校交流电子负载功率因数示值分辨力引入的标准不确定度 $u_1(\lambda_x)$

校准功率因数 0.5（电压 100 V、电流 1 A、频率 50 Hz）时，被校交流电子负载功率因数示值分辨力为 0.0001，则其区间半宽度为 $a = 0.00005$ 。由此引入的标准不

确定度按 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，被校交流电子负载功率因数示值分辨力引入的标准不确定度为

$$u_1(\lambda_x) = \frac{0.000\ 05}{\sqrt{3}} \approx 0.000\ 029$$

A.3.4.3 被校交流电子负载功率因数测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(\lambda_x)$

测量重复性引入的标准不确定度，用贝塞尔公式计算实验标准偏差，连续 10 次重复测量数据见表 A.3。

表 A.3 功率因数重复性测量数据

第 i 次测量	测得值
1	0.499 8
2	0.499 7
3	0.499 8
4	0.499 9
5	0.499 8
6	0.499 8
7	0.499 9
8	0.499 7
9	0.499 8
10	0.499 9

根据表 A.3 中的数据，计算功率因数重复测量的实验标准偏差为

$$s(\lambda_x) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{10} (\lambda_{xi} - \bar{\lambda}_x)^2} = 0.000\ 074$$

校准时取单次测得值作为校准结果，故测量重复性引入的标准不确定度为

$$u_2(\lambda_x) = s(\lambda_x) = 0.000\ 074$$

A.3.5 不确定度分量一览表

不确定度分量一览表见表 A.4。

表 A.4 功率因数示值误差校准结果不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	概率分布	k	标准不确定度	灵敏系数
$u(\lambda_0)$	标准交流功率表功率因数的最大允许误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.000 29	-1
$u_1(\lambda_x)$	被校交流电子负载功率因数的分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.000 029	1
$u_2(\lambda_x)$	被校交流电子负载功率因数的测量重复性	A	正态		0.000 074	1

A.3.6 合成标准不确定度

考虑到被校交流电子负载的功率因数的重复性和分辨力存在重复，在合成标准不确定度时将二者中的较小值舍去， $u(\lambda_0)$ 和 $u_2(\lambda_x)$ 不相关，则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u^2(\lambda_0) + u_{\frac{2}{2}}^2(\lambda_x)} \approx 0.0003$$

A.3.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = ku_c \approx 0.0006$$

附录 B

校准原始记录格式

交流电子负载校准原始记录

证书编号：

送校仪器信息：				
委托单号		送校单位		
名 称		制造单位		
型号/规格		出厂编号		
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

交流电子负载校准原始记录

证书编号：

校准结果记录

1. 外观检查
2. 工作正常性检查
3. 交流电压

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4. 交流电流

4.1 标准表法

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4.2 分流器法

量程	频率	示值	分流器阻值	交流电压表读数	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4.3 电流比例标准法

量程	频率	示值	电流比例系数	交流电流表读数	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

5. 恒定电流

5.1 标准表法

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

5.2 分流器法

量程	频率	设置值	分流器阻值	交流电压表读数	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

交流电子负载校准原始记录

证书编号：

校准结果记录

5.3 电流比例标准法

量程	频率	设置值	电流比例系数	交流电流表读数	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

6. 交流电阻

量程	频率	示值	标准电压值	标准电流值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

7. 恒定电阻

量程	频率	设置值	标准电压值	标准电流值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

8. 交流功率

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

9. 恒定功率

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

10. 功率因数

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

校准员：

核验员：

校准日期：

年 月 日

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 ××××××-××××

<校准机构授权说明> 校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。 校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第×页 共×页

证书编号 ××××××-××××

校准结果

1. 交流电压

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

2. 交流电流

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

3. 恒定电流

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

4. 交流电阻

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

5. 恒定电阻

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

6. 交流功率

量程	频率	示值	标准值	示值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

证书编号 ××××××-××××

校准结果

7. 恒定功率

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

8. 功率因数

量程	频率	设置值	标准值	设置值误差	扩展不确定度 ($k=2$)

说明：

根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下_____个月校准一次。

声明：

1. 仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员：

核验员：

第×页 共×页