

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

交流电子负载校准规范

Calibration Specification for AC Electronic Load

(草稿)

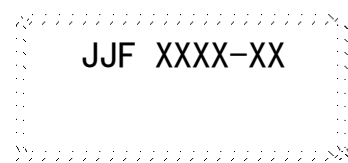
××××—××—××发布

××××—××—××实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

JJF X X X X - X X X X

交流电子负载校准规范
Calibration Specification for
AC Electronic Load



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

参加起草单位：山东省计量科学研究院

安徽省计量科学研究院

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

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释。

本规范主要起草人：

XXX (XXXX 研究所)

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

参加起草人：

XXX (XXX)

XXX (XXX)

目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 交流电子负载.....	1
3.2 有功功率.....	错误! 未定义书签。
3.3 视在功率.....	错误! 未定义书签。
3.4 功率因数.....	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.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 测量标准及其他设备.....	3
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.....	11
8.1 校准证书.....	11
8.2 数据修约.....	12
9 复校时间间隔.....	12
附录 A 交流电子负载校准不确定度评定示例.....	13
附录 B 校准原始记录格式.....	18
附录 C 校准证书内页格式.....	21

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》编制。JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》及 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

交流电子负载校准规范

1 范围

本规范适用于能量耗散型交流电子负载的校准，对于能量回馈型负载的能耗功能部分可参照本规范校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1587—2016 数字多用表校准规范

GB/T 2900.1—2008 电工术语 基本术语

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 术语和计量单位

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或回馈电网的一种电子电路装置。

3.2 功率因数 power factor

在周期状态下，有功功率的绝对值与视在功率的比值。

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，其结构原理图如图 1 所示。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的值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。交流电子负载按功能分为能量耗散型交流电子负载和能量回馈交流电子负载；按相数分单相交流电子负载和三相交流电子负载。

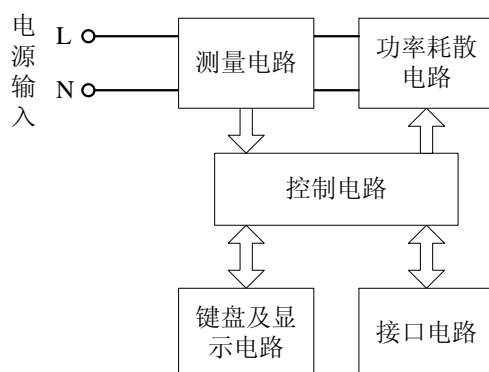


图 1 交流电子负载原理框图

5 计量特性

5.1 交流电压

测量范围：(1~500) V，频率范围：(40~1000) 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：(40~1000) Hz；
最大允许误差：±(0.1%~5%)。

5.3 恒定电流

设定范围：(0.1~100) A，频率范围：(40~1000) Hz；
最大允许误差：±(0.1%~5%)。

5.4 交流电阻

测量范围：0.1 Ω~5 kΩ，频率范围：(40~1000) Hz；
最大允许误差：±(0.2%~5%)。

5.5 恒定电阻

设定范围：0.1 Ω~5 kΩ，频率范围：(40~1000) 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：(40~1000) Hz；
最大允许误差：±(0.2%~5%)。

5.7 恒定功率

设定范围：1 W~30 kW，频率范围：(40~1000) 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：(40~1000) Hz；最大允许误差：±(0.005~0.05)。

注：具体计量特性参照被校交流电子负载的技术要求，以上要求不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

- a) 环境温度: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- b) 相对湿度: 20%~80%;
- c) 供电电源: 电压 $(220 \pm 22) \text{ V}$, 频率 $(50 \pm 0.5) \text{ Hz}$;
- 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

标准设备的测量范围应覆盖被校交流电子负载的测量范围。由校准装置所引起的扩展不确定度 ($k=2$) 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。

a) 标准交流电压表

测量范围: $(1 \sim 500) \text{ V}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 1\%)$ 。

b) 标准交流电流表

测量范围: $(0.1 \sim 100) \text{ A}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.02\% \sim 1\%)$ 。

c) 交流分流器

交流电流测量范围: $(0.1 \sim 100) \text{ A}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$; 交直流电流差: 0.01%~0.5%。

d) 交流电流比例标准

测量范围: $(0.1 \sim 100) \text{ A}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 比值的最大允许误差: $\pm (0.01\% \sim 0.5\%)$ 。

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。

e) 交流功率测量标准

交流电压测量范围: $(1 \sim 500) \text{ V}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.02\% \sim 1\%)$;

交流电流测量范围: $(0.1 \sim 100) \text{ A}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.02\% \sim 1\%)$;

交流功率测量范围: $1 \text{ W} \sim 30 \text{ kW}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.05\% \sim 1\%)$;

功率因数测量范围: $0 \sim 1$, 最大允许误差: $\pm (0.1\% \sim 1\%)$ 。

f) 标准交流电压源

输出电压范围: $(1 \sim 500) \text{ V}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$, 最大允许误差: $\pm (0.02\% \sim 1\%)$ 。

g) 交流稳压电源

输出电压范围: $(1 \sim 500) \text{ V}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$;

输出电流范围: $(0.1 \sim 100) \text{ A}$, $(40 \sim 1000) \text{ Hz}$;

短期稳定性: $(0.01\% \sim 0.5\%) / \text{min}$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

交流电子负载校准项目见表 1。

表 1 交流电子负载校准项目一览表

序号	项目名称	计量特性的条款	校准方法的条款
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和按键灵活可靠，显示屏无显示缺陷。

c) 预热

在规定的环境条件下，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 2~3 个频率点，一般应包含 50Hz，建议在 50Hz、400Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

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

7.2.2.2 标准表法

a) 按图 2 接线。若被校交流电子负载有远端采样，即四端输入，分别将高 Hi、低输入端 Lo 和采样端 S_{Hi} 、 S_{Lo} 短接。

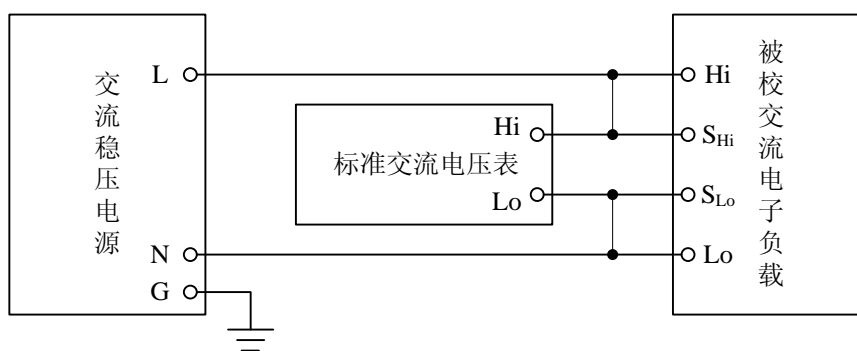


图2 标准表法校准接线图

- 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 V_0 和被校交流电子负载交流电压的示值 V_x 。
- d) 按公式（1）计算被校交流电子负载交流电压的示值误差 ΔV_x 。

$$\Delta V_x = V_x - V_0 \quad (1)$$

式中：

ΔV_x ——被校交流电子负载交流电压的示值误差，V；

V_x ——被校交流电子负载交流电压的示值，V；

V_0 ——交流电压的标准值，V。

7.2.2.3 标准源法

- a) 按图3接线。需注意标准交流电压源的带载能力，若被校交流电子负载电压采样端和输入端若可分开，可只连接其电压采样端。

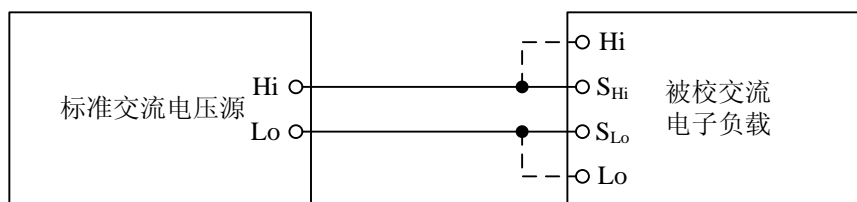


图3 标准源法校准接线图

- 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 V_0 和被校交流电子负载的交流电压示值 V_x 。
- d) 按公式（1）计算被校交流电子负载交流电压的示值误差 ΔV_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 2~3 个频率点，一般应包含 50Hz，建议在 50Hz、400Hz、频率下限点和频率上限点中优先选取。

b) 在 50Hz 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（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与交流稳压电源输出端的零线（中线）端中间。

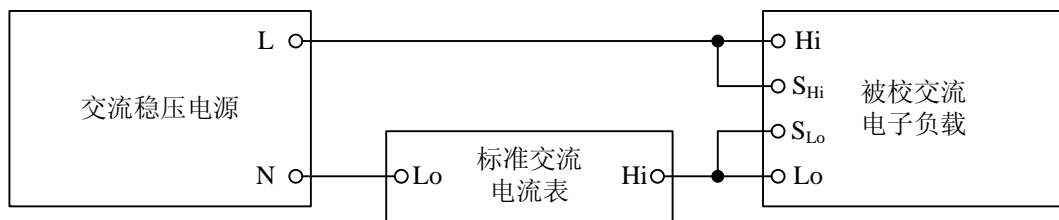


图 4 直接比较法校准接线图

b) 置被校交流电子负载为恒流模式，并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，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。

d) 启动交流稳压电源输出，置被校交流电子负载于加载状态，待负载电流稳定后记录标准交流电流表的交流电流标准值 I_0 、被校交流电子负载恒定电流设置值 I_s 和被校交流电子负载交流电流示值 I_x 。

e) 按公式 (2) 计算被校交流电子负载交流电流的示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载恒定电流的设置值误差 ΔI_s 。

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

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

式中：

ΔI_x ——被校交流电子负载交流电流示值误差，A；

ΔI_s ——被校交流电子负载恒定电流设置值误差，A；

I_x ——被校交流电子负载交流电流示值，A；

I_s ——被校交流电子负载恒定电流设置值，A；

I_0 ——交流电流标准值，A。

7.2.3.3 分流器法

a) 按图 5 接线。

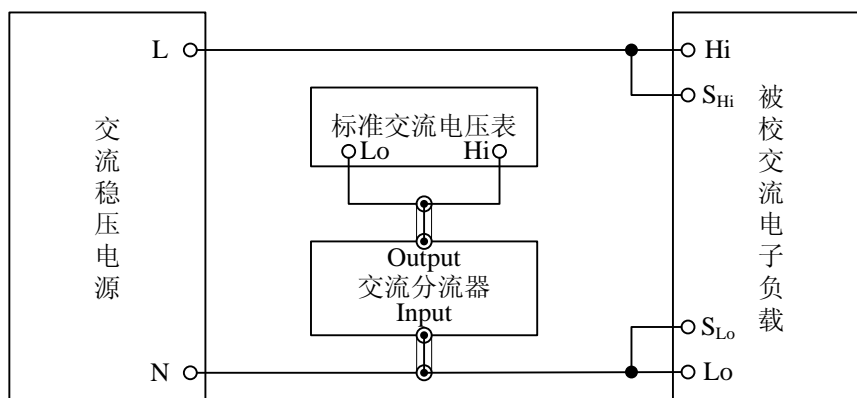


图 5 分流器法校准接线图

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

c) 根据交流分流器的电阻值 R_0 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。

e) 启动交流稳压电源输出，置被校交流电子负载于加载状态，待负载电流稳定后，记录标准交流电压表的测量值 V_1 、交流分流器的电阻值 R_0 、被校交流电子负载交流电流的设置值 I_s 和示值 I_x 。

f) 按公式 (4) 计算交流电流的标准值 I_0 ，按公式 (2) 计算被校交流电子负载交流电流的示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载恒定电流的设置值误差 ΔI_s 。

$$I_0 = \frac{V_1}{R_0} \quad (4)$$

式中：

V_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。

b) 置被校交流电子负载为恒流模式，并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比例系数 K 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，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。

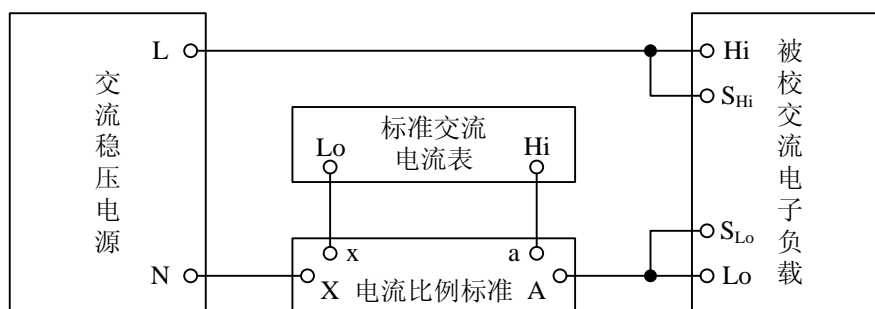


图 6 电流比例标准法校准接线图

e) 启动交流稳压电源输出，置被校交流电子负载于加载状态，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 、被校交流电子负载交流电流的设置值 I_s 和示值 I_x 。

f) 按公式 (5) 计算交流电流的标准值 I_0 ，按公式 (2) 计算被校交流电子负载交流电流的示值误差 ΔI_x ，按公式 (3) 计算被校交流电子负载恒定电流的设置值误差 ΔI_s 。

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

式中：

K ——交流电流比例标准比例系数，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

在频率 50 Hz 下，选取 3~5 个校准点，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。

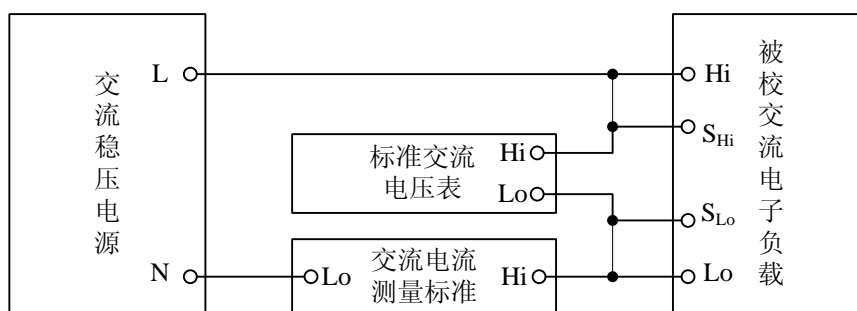


图 7 交流（恒定）电阻/交流（恒定）功率校准接线图

b) 置被校交流电子负载为恒阻模式，并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、交流分流器或交流电流比例标准。

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，置被校交流电子负载于加载状态。

e) 待输出稳定后，记录交流电压标准值 V_0 、交流电流标准值 I_0 和被校交流电子负载交流电阻的示值 R_x 和恒定电阻的设置值 R_s 。

f) 按公式(6)计算被校交流电子负载交流电阻的示值误差 ΔR_x ，按公式(7)计算被校交流电子负载恒定电阻的设置值误差 ΔR_s 。

$$\Delta R_x = R_x - \frac{V_0}{I_0} \quad (6)$$

$$\Delta R_s = R_s - \frac{V_0}{I_0} \quad (7)$$

式中：

ΔR_x ——被校交流电子负载交流电阻的示值误差， Ω ；

ΔR_s ——被校交流电子负载恒定电阻的设置值误差， Ω ；

R_x ——被校交流电子负载的交流电阻示值， 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2~3个频率点，一般应包含50Hz，建议在50Hz、400Hz、低频率点和高频率点中优先选取。

b) 每个频率点下选取不少于5个校准点，至少包含表2所列校准点。

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
400 Hz	115V	1	10% P_N 、50% P_N 、100% P_N
		0.5L、0.5C	50% P_N

注： P_N ——交流电子负载的额定功率。

7.2.5.2 直接测量法

a) 按图8接线。

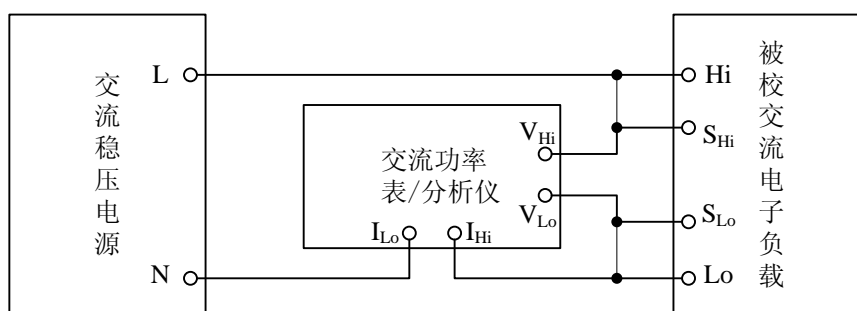


图8 交流（恒定）功率/功率因数校准接线图

- b) 置被校交流电子负载为恒功率模式，并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，置被校交流电子负载于加载状态。
- d) 待输出稳定后，记录交流功率表/分析仪的交流功率测量值 P_0 、被校交流电子负载交流功率的示值 P_x 和恒定功率的设置值 P_s 。
- e) 按公式（8）计算被校交流电子负载交流功率的示值误差 ΔP_x ，按公式（9）计算被校交流电子负载恒定功率的设置值误差 ΔP_s 。

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

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

式中：

ΔP_x ——被校交流电子负载交流功率的示值误差，W；

ΔP_s ——被校交流电子负载恒定功率的设置值误差，W；

P_x ——被校交流电子负载交流功率的示值，W；

P_s ——被校交流电子负载恒定功率的设置值，W；

P_0 ——交流功率表/分析仪的交流功率测量值，W。

7.2.6 功率因数

7.2.6.1 校准点选取

- a) 选取 2~3 个频率点，一般应包含 50Hz，建议在 50Hz、400Hz、低频率点和高频率点中优先选取。
- b) 每个频率点下至少 5 个校准点，至少应包含表 3 所列的校准点。

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_{\max}	1
		50% P_{\max}	0.5L、0.5C
		10% P_{\max}	0.8L、0.8C
400 Hz	115 V	100% P_{\max}	1
		50% P_{\max}	0.5L、0.5C
		10% P_{\max}	0.8L、0.8C

注： P_{\max} ——在校准点选定的交流电压下，交流电子负载的最大功率。

7.2.6.2 校准步骤：

- a) 按图 8 接线。
- b) 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，置被校交流电子负载于加载状态，待输出稳定后，记录交流功率表/分析仪测得的功率因数标准值 λ_0 和被校交流电子负载功率因数设置值 λ_s 。
- e) 按公式（11）计算被校交流电子负载功率因数的设置值误差 $\Delta\lambda_s$ 。

$$\Delta\lambda_s = \lambda_s - \lambda_0 \quad (11)$$

式中：

$\Delta\lambda_s$ ——被校交流电子负载功率因数的设置值误差；

λ_s ——被校交流电子负载功率因数的设置值；

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) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 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。

8.2 数据修约

被校交流电子负载的校准数据都应该先计算，后修约。数据修约应采用四舍五入及偶数法则进行，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。被校交流电子负载修理或调整后应及时校准。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 交流电子负载校准不确定度评定示例

A.1 引言

本规范附录给出交流电子负载校准项目中交流功率、功率因数这两项典型参数的不确定度评定示例。

A.2 交流功率校准结果的测量不确定度评定

A.2.1 被测量描述

以交流电子负载作为被校对象，以功率分析仪作为功率测量标准，采用直接测量方法，对交流功率1000W（电压通道100 V，电流通道1 A，功率因数1，频率50Hz）校准点进行校准。100W交流功率校准点的示值误差 ΔP_x 为输出量，被交流电子负载示值 P_x 和校功率分析仪功率标准值 P_0 为输入量。

A.2.2 测量模型

交流功率示值误差的测量模型可用（A.1）式表示。

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

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。

因各输入量不相关，则其测量不确定度传播可用（A.2）式表示。

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

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 $u(P_0)$ 的主要来源如下：

功率分析仪交流功率最大允许误差引入的不确定度 $u(P_0)$ ；

A.2.3.2 $u(P_x)$ 的主要来源如下：

- 1) 被校交流电子负载交流功率示值分辨力引入的不确定度 $u_1(P_x)$ ；
- 2) 被校交流电子负载交流功率测量重复性引入的不确定度 $u_2(P_x)$ 。

注： $u_1(P_x)$ 和 $u_2(P_x)$ 相差较大时， $u(P_x)$ 的主要来源仅取 $u_1(P_x)$ 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 功率分析仪最大允许误差引入的不确定度 $u(P_0)$

从功率分析仪说明书中知，输出电压100V、电流1A、功率因数1时交流功率的最大允许误差为 $\pm(0.05\%RD+0.05\%FS)$ ，设均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则功率分析仪最大允许误差引入的不确定度：

$$u(P_0) = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 100}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ (W)}$$

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

校准交流功率100W（电压100V、电流1A、功率因数1）时，被校功率分析仪交流功率示值分辨力为0.1W。由此引入的测量不确定度按B类评定，设概率分布为均匀分布，被校交流电子负载交流功率示值分辨力引入的不确定度：

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

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

连续重复测量10次，得到一系列重复测量结果，见表A.1。用贝塞尔公式按A类评定被校交流电子负载交流功率测量重复性引入的不确定度。

表 A.1 交流功率测量重复性测量数据

第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5
测量结果 (W)	99.7	99.7	99.7	99.8	99.7
第 <i>i</i> 次测量	6	7	8	9	10
测量结果 (W)	99.7	99.8	99.7	99.7	99.7

用单次测量值作为校准结果时：

$$u_2(P_x) = s(P_x) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{10} (P_{x_i} - \bar{P}_x)^2} = 0.042 \text{ (W)}$$

A.2.5 标准不确定度分量一览表

表 A.2 电流通道电流直接输入单相交流功率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	分布	<i>k</i> 值	相对标准不确定度	灵敏系数
$u(P_0)$	功率分析仪交流功率年允许误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.058W	-1
$u_1(P_x)$	被校电子负载交流功率测量分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.029W	1
$u_2(P_x)$	被校电子负载交流功率测量重复性	A	正态	1	0.042W	1

A.2.6 合成标准不确定度

测量重复性和分辨力取较大者， $u(P_0)$ 和 $u_2(P_x)$ 不相关，则合成标准不确定度 u_c ：

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

A.2.7 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则扩展不确定度

$$U = ku_c = 2 \times 0.072 \approx 0.15 \text{ (W)} \quad (k=2)$$

A.2.8 测量不确定度的最后陈述

用直接比较法对某被校交流电子负载交流功率100W校准点（交流电压100V，交流电流1A，功率因数1，频率50Hz）进行校准，校准结果交流功率示值误差的测量不确定度为 $U = 0.15\text{W}$ ($k=2$)。

A.3 功率因数示值误差校准结果的测量不确定度评定

A.3.1 被测量描述

以交流电子负载作为被校对象，以功率分析仪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（电压通道100 V，电流通道1 A，频率50Hz）校准点进行校准。功率因数校准点的示值误差 $\Delta\lambda$ 为输出量，被校交流电子负载示值 λ_x 和功率分析仪的功率因数标准值 λ_0 为输入量。

A.3.2 测量模型

功率因数示值误差的测量模型可用（A.3）式表示。

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

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。

因各输入量不相关，则其测量不确定度传播可用（A.4）式表示。

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

式中，灵敏系数为：

$$c(\lambda_x) = 1 \quad c(\lambda_0) = -\sin\frac{\pi}{3} = -0.866$$

A.3.3 标准不确定度来源

A.3.3.1 $u(\lambda_0)$ 的主要来源如下：

功率分析仪功率因数年允许误差引入的不确定度 $u(\lambda_0)$ ；

A.3.3.2 $u(\lambda_x)$ 的主要来源如下：

- 1) 被校交流电子负载功率因数示值分辨力引入的不确定度 $u_1(\lambda_x)$ ；
- 2) 被校交流电子负载功率因数测量重复性引入的不确定度 $u_2(\lambda_x)$ 。

注： $u_1(\lambda_x)$ 和 $u_2(\lambda_x)$ 相差较大时， $u(\lambda_x)$ 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 功率分析仪功率因数最大允许误差引入的不确定度 $u(\lambda_0)$

从功率分析仪说明书中知，输出电压100V、电流1A、电压电流之间的相位差为 $\frac{\pi}{3}$ 时，相位差的最大允许误差为 $\pm 0.005^\circ$ ，设均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则功率分析仪最大允许误差引入的不确定度：

$$u(\varphi_s) = \frac{0.005^\circ \times \frac{\pi}{180^\circ}}{\sqrt{3}} = 0.00005(\text{rad})$$

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

校准功率因数0.5（电压100V、电流1A）时，被校交流电子负载功率因数示值分辨力为0.001。由此引入的测量不确定度按B类评定，设概率分布为均匀分布，被校交流电子负载功率因数示值分辨力引入的不确定度：

$$u_1(\lambda_x) = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.00029$$

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

连续重复测量10次，得到一系列重复测量结果，见表A.3。用贝塞尔公式按A类评定被校交流电子负载功率因数测量重复性引入的不确定度。

表 A.3 功率因数重复性测量数据

第 <i>i</i> 次测量	1	2	3	4	5
测量结果	0.4998	0.4997	0.4998	0.4999	0.4998
第 <i>i</i> 次测量	6	7	8	9	10
测量结果	0.4998	0.4999	0.4997	0.4998	0.4999

用单次测量值作为校准结果时：

$$u_2(\lambda_x) = s(\lambda_x) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{10} (\lambda_{xi} - \bar{\lambda}_x)^2} = 0.000074$$

A.3.5 标准不确定度分量一览表

表 A.5 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	分布	k值	相对标准不确定度	灵敏系数
$u(\varphi_s)$	标准交流功率源交流功率年允许误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.00005	0.866
$u_1(\lambda_x)$	被校功率分析仪交流功率测量分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.00029	1
$u_2(\lambda_x)$	功率因数测量重复性	A	正态	1	0.000074	1

A.3.6 合成标准不确定度

$u_1(\lambda_x)$ 和 $u_2(\lambda_x)$ 取其较大者， $u(\varphi_s)$ 和 $u_1(\lambda_x)$ 不相关，则合成标准不确定度 u_c ：

$$u_c(\Delta\lambda) = \sqrt{(\sin\varphi)^2 \times u^2(\varphi_s) + u_1^2(\lambda_x)} = \sqrt{(\sin\frac{\pi}{3})^2 \times u^2(\varphi_s) + u_1^2(\lambda_x)} = 0.0003$$

A.3.7 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度 U ：

$$U = ku_c = 2 \times 0.0003 = 0.0006 \quad (k=2)$$

A.3.8 测量不确定度的最后陈述

用直接测量法对交流电子负载功率因数校准点0.5（交流电压100V，交流电流1A，频率50Hz）进行校准，校准结果功率因数示值误差的测量不确定度为 $U=0.0006$ （ $k=2$ ）。

附录 B 校准原始记录格式

交流电子负载校准原始记录格式

共 X 页, 第 X 页

证书编号: _____ 记录编号: _____
 客户名称: _____ 客户地址: _____
 型号规格: _____ 出厂编号: _____
 制造厂名: _____ 校准依据: _____
 环境条件: 温度: _____℃ 相对湿度: _____% 校准地点: _____
 校准日期: _____年____月____日 建议复校时间: _____年____月____日
 校准员: _____ 核验员: _____

主要标准器

序号	标准器名称	型号规格	编号	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书编号	有效期至

1 交流电压

1.1 交流电压测量值示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

2 交流电流和恒定电流

2.1 交流电流示值误差

2.1.1 标准表法

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

2.1.2 分流器法

量程	示值	分流器阻值	交流电压表标准值	标准值	示值误差	测量不确定度

交流电子负载校准原始记录格式

共 X 页, 第 X 页

证书编号 _____

记录编号 _____

2.1.3 电流比例标准法

量程	示值	电流比例系数	交流电流表标准值	标准值	示值误差	测量不确定度

2.2 恒定电流设置值误差

2.2.1 标准表法

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

2.2.2 分流器法

量程	示值	分流器阻值	交流电压表标准值	标准值	设置值误差	测量不确定度

2.2.3 电流比例标准法

量程	示值	电流比例系数	交流电流表标准值	标准值	设置值误差	测量不确定度

3 交流电阻和恒定电阻

3.1 交流电阻示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

3.2 恒定电阻设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

交流电子负载校准原始记录格式

共 X 页, 第 X 页

证书编号 _____

记录编号 _____

4 交流功率和恒定功率

4.1 交流功率示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

4.2 恒定功率设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

5 功率因数

5.1 功率因数设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明				
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	不确定度或准确度等级或最大允许误差	检定/校准证书编号	证书有效期至

注:

1. XXXXX 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

1 交流电压

1.1 交流电压测量值示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

2 交流电流和恒定电流

2.1 交流电流示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

2.2 恒定电流设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

3 交流电阻和恒定电阻

3.1 交流电阻示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

3.2 恒定电阻设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

4 交流功率和恒定功率

4.1 交流功率示值误差

量程	示值	标准值	示值误差	测量不确定度

4.2 恒定功率设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

5 功率因数

5.1 功率因数设置值误差

量程	设置值	标准值	设置值误差	测量不确定度

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1—2012 的要求。

敬告：

1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。
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. 根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下 12个月校准一次。

校准员：_____

核验员：_____