



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX—20XX

荧光灯高频测试源校准规范

Calibration Specification for Fluorescent Lamp High Frequency Test

Source

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

荧光灯高频测试源校准规范

Calibration Specification for Fluorescent
Lamp High Frequency Test Source

JJF(电子) XXXX—20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参加起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

杭州远方光电信息股份有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：

许泳彬（工业和信息化部电子第五研究所）

吴凤绸（工业和信息化部电子第五研究所）

邓晓千（工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：

邓志勇（工业和信息化部电子第五研究所）

季军（杭州远方光电信息股份有限公司）

张芳芳（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

目录

1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
3.1 灯电压	1
3.3 预热电流	1
4 概述	1
5 计量特性	2
5.1 源电压	2
5.2 灯电压	2
5.3 输出电流	2
5.4 频率	2
5.5 功率	2
5.6 预热电流	3
5.7 预热时间	3
5.8 高频基准镇流器阻抗	3
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	4
7.1 校准项目	4
7.2 校准方法	5
8 校准结果表达	13
9 复校时间间隔	13
附录 A 原始记录格式	14
附录 B 校准证书内页格式	17
附录 C 测量不确定度评定示例	20

引言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次在国内发布。

荧光灯高频测试源校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 20kHz~100kHz 的荧光灯高频测试源的校准，具有相同原理的测试源可参考使用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 10682-2010 双端荧光灯性能要求

GB/T 17262-2011 单端荧光灯性能要求

GB/T 15144-2020 管形荧光灯用交流和/或直流电子控制装置性能要求

JJF(电子) 0005-2015 电子镇流器性能测试仪校准规范

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 术语和计量单位

3.1 灯电压 lamp voltage

灯管两端的电压，单位为 V。

[来源：JJF(电子) 0005-2015，2.1]

3.2 预热电流 pre-heat current

流过灯丝，用于给灯丝加热的电流，单位为 A。

[来源：JJF(电子) 0005-2015，2.3]

4 概述

荧光灯高频测试源是用于荧光灯品质测试的专用仪器，主要用于测试灯管电压、灯管电流、灯管功率等电参数，其主要由高频电源、高频基准镇流器、精密测量单元、灯丝预热单元、输出单元、控制单元及按键显示模块等组成。测试源通过配置相应的高频基准镇流器，为被测灯管提供高频电测量信号，启动测试后先对灯管预热，然后进行启动特性和电性能测试。

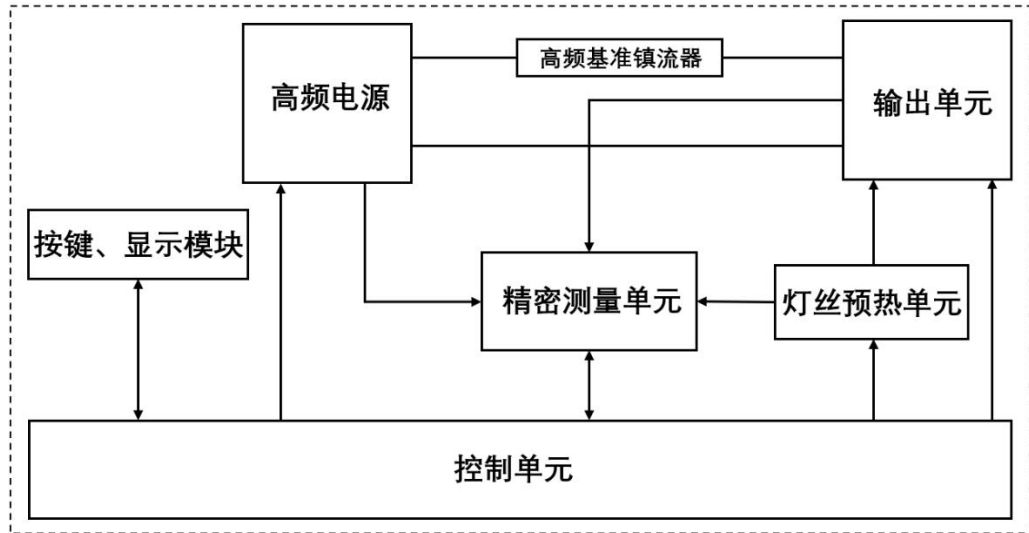


图 1 荧光灯高频测试源结构框图

5 计量特性

5.1 源电压

输出范围：1V~1000V（20kHz~100kHz）；

最大允许误差：±（0.2%~3%）；

稳定度：（0.02%~0.5%）/30min；

失真度：不大于 10%。

5.2 灯电压

测量范围：1V~1000V（20kHz~100kHz）；

最大允许误差：±(0.2%~3%)。

5.3 输出电流

输出范围：10mA~600mA（20kHz~100kHz）；

最大允许误差：±(0.2%~3%)。

5.4 频率

输出范围：20kHz~100kHz；

最大允许误差：±(0.02%~0.5%)。

5.5 功率

输出范围：0.1W~600W（20kHz~100kHz）；

最大允许误差：±(0.5%~6%)。

5.6 预热电流

输出范围：10mA~2A (20kHz~100kHz)；

最大允许误差：±(0.2%~10%)。

5.7 预热时间

设定范围：0.1s~10s；

最大允许误差：±(1%~5%)。

5.8 高频基准镇流器阻抗

阻抗范围：100Ω~2500Ω (20kHz~100kHz)；

校准电流范围：10mA~600mA (20kHz~100kHz)；

最大允许误差：±(0.2%~3%)。

注：因不同被校设备的性能指标各不相同，具体的计量特性应以被校设备生产厂家的技术手册及该设备的具体选件配置为参考。以上计量特性不用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：23℃±5℃；

6.1.2 相对湿度：≤80%；

6.1.3 供电电源：(220±11) V，(50±1) Hz；

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动，并具有良好的接地。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 功率分析仪

交流电压测量范围：1V~1000V；

最大允许误差：±(0.05%~1%)。

交流电流测量范围：(0.01~2) A；

最大允许误差：±(0.05%~1%)。

交流功率测量范围：(0.01~1000) W；

最大允许误差：±(0.1%~2%)。

频率：10Hz~100kHz；

最大允许误差： $\pm(0.002\%\sim 0.2\%)$ 。

失真度测量范围： $0.01\%\sim 10\%$ ；

最大允许误差： $\pm(5\%\sim 20\%)$ 。

6.2.2 数字示波器

水平灵敏度： $1\text{ns}/\text{div}\sim 10\text{s}/\text{div}$ ；

时基最大允许误差： $\pm 0.1\%$ ；

带宽 $\geq 100\text{MHz}$ 。

6.2.3 主回路可调阻性负载

额定功率范围： $0.1\text{W}\sim 1\text{kW}$ ；

阻值范围： $100\Omega\sim 2\text{k}\Omega$ 。

6.2.4 预热回路可调阻性负载

额定功率范围： $0.1\text{W}\sim 40\text{W}$ ；

阻值范围： $10\Omega\sim 2\text{k}\Omega$ 。

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	校准方法条款
1	源电压示值误差	7.2.2
2	源电压稳定度	7.2.3
3	源电压失真度	7.2.4
4	灯电压示值误差	7.2.5
5	输出电流示值误差	7.2.6
6	频率示值误差	7.2.7
7	功率示值误差	7.2.8
8	预热电流示值误差	7.2.9
9	预热时间示值误差	7.2.10
10	高频基准镇流器阻抗示值误差	7.2.11

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

- 被校荧光灯高频测试源（以下简称被校测试源）的外形结构应完好，不应有影响计量特性和操作安全的外观缺陷；
- 被校测试源的产品名称、制造厂家、仪器型号和编号等均应有明确标识；
- 供电电压和频率等应有保证正确使用的必要标识；
- 被校测试源源电压输出功能、灯电压测量功能、电流输出功能、频率测量功能、功率测量功能、预热电流功能、预热时间功能与高频基准镇流器应可正常工作；
- 应按照被校测试源使用说明书的要求和规定进行预热。

检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

7.2.2 源电压示值误差

频率点的选取可参照被校测试源使用说明书中源电压的技术指标，选取 3~5 个频率点，并兼顾低频率点和高频率点。建议在 20kHz、25kHz、42.5kHz、45kHz、50kHz、60kHz、100kHz 中优先选取。在 25kHz 频率点，每个源电压量程选择 2~3 个校准点，在其他频率点，可只选取量程值（接近量程值）点。也可根据用户实际应用需求选择其他校准点。

按图 2 所示连接仪器，根据校准点，被校测试源设置相应的交流电压输出，分别读取被校测试源的源电压示值 V_x 和功率分析仪的示值 V_s ，并记录于附录 A 的表 A.2 中，源电压示值误差按式（1）计算，并记录于附录 A 的表 A.2 中。

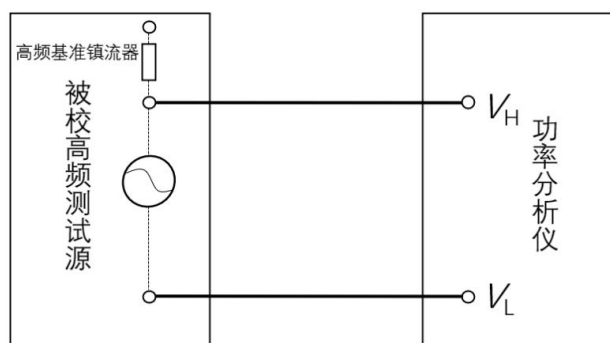


图 2 源电压示值误差校准连接示意图

$$\Delta V = V_x - V_s \quad (1)$$

源电压相对误差按公式（2）计算

$$\gamma_V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% = \frac{V_x - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

ΔV —被校测试源的源电压示值误差, V;

γ_V —被校测试源的源电压相对误差, %;

V_x —被校测试源的源电压示值, V;

V_s —功率分析仪的示值, V。

7.2.3 源电压稳定度

选取一个频率点, 建议在 25kHz、50kHz、100kHz 中优先选取。

按图 3 所示接线, 被校测试源的源电压设置为其说明书规定的在额定功率下可长时间持续输出的最大电压输出, 调节主回路可调阻性负载, 使其消耗功率接近被校测试源额定功率, 在周围环境条件不变和输出不作任何调整的情况下保持 30min, 或被校测试源说明书规定的时间内, 等间隔读取数值不少于 6 次, 并记录于附录 A 的表 A.3 中, 计算平均值 $\bar{V}$, 从所有实测值中选取最大值 $V_{\max}$ 和最小值 $V_{\min}$, 源电压的稳定度按公式 (3) 计算, 并记录于附录 A 的表 A.3 中。

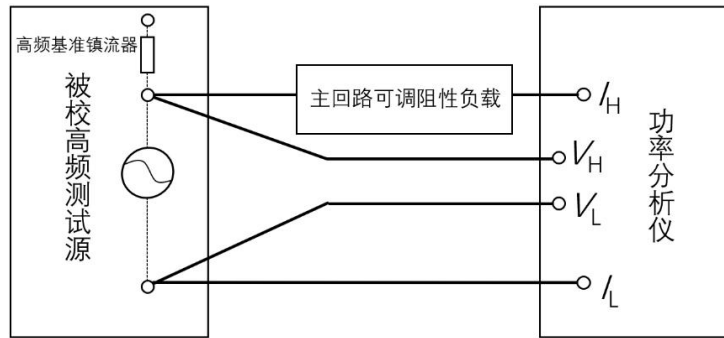


图 3 源电压稳定度校准连接示意图

$$S_{ev} = \left| \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\bar{V}} \right| \times 100\% \quad (3)$$

式中:

S_{ev} —被校测试源源电压的稳定度, %;

$\bar{V}$ —被校测试源源电压实测值的平均值, V;

$V_{\max}$ —被校测试源源电压实测值的最大值, V;

$V_{\min}$ —被校测试源源电压实测值的最小值, V。

7.2.4 源电压失真度

校准点的选取，在额定电压下，选取 3~5 个频率点，应包括频率范围的下限点和上限点，建议在 20kHz、25kHz、42.5kHz、45kHz、50kHz、60kHz、100kHz 中优先选取，或根据用户实际应用需求选择其他校准点。

按图 3 所示连接仪器，调节主回路可调阻性负载，使回路中消耗功率接近被校测试源额定功率，读取功率分析仪失真度示值 D_s ，并记录于附录 A 的表 A.4 中。

7.2.5 灯电压示值误差

参照源电压示值误差的校准点选取。

选择被校测试源自带的最大额定功率高频基准镇流器，按图 4 所示接线，根据校准点，设置被校测试源输出相应频率下的源电压，分别读取被校测试源的灯电压示值 V_x 和功率分析仪的示值 V_s ，并记录于附录 A 的表 A.5 中，灯电压示值误差按公式 (4) 计算，并记录于附录 A 的表 A.5 中。

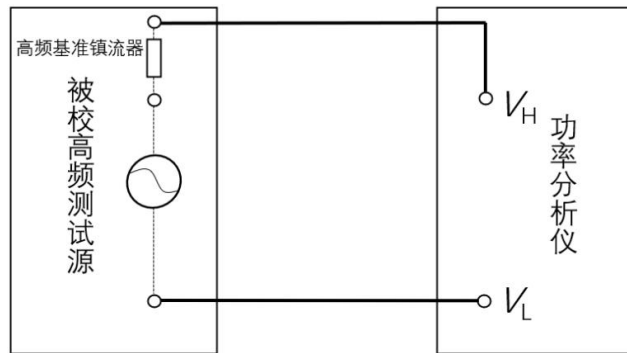


图 4 灯电压示值误差校准连接示意图

$$\Delta V = V_x - V_s \quad (4)$$

灯电压相对误差按公式 (5) 计算。

$$\gamma_V = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% = \frac{V_x - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

ΔV —被校测试源的灯电压示值误差，V；

γ_V —被校测试源的灯电压相对误差，%；

V_x —被校测试源的灯电压示值，V；

V_s —功率分析仪的示值，V。

7.2.6 输出电流示值误差

频率点的选取可参照被校测试源使用说明书中输出电流的技术指标, 选取 3~5 个频率点, 并兼顾低频率点和高频率点。建议在 20kHz、25kHz、42.5kHz、45kHz、50kHz、60kHz、100kHz 中优先选取。在 25kHz 频率点, 每个输出电流量程选择 2~3 个校准点, 在其他频率点, 可只选取量程值 (接近量程值) 点。也可根据用户实际应用需求选择其他校准点。

按图 5 所示连接仪器, 选择被校测试源自带的最大额定功率高频基准镇流器, 设置被校测试源相应频率下的满量程电流输出, 通过调节源电压大小使输出电流到达相应校准点值, 分别读取被校测试源的输出电流示值 I_x 和功率分析仪的示值 I_s , 并记录于附录 A 的表 A.6 中, 按公式 (6) 计算输出电流示值误差, 并记录于附录 A 的表 A.6 中。

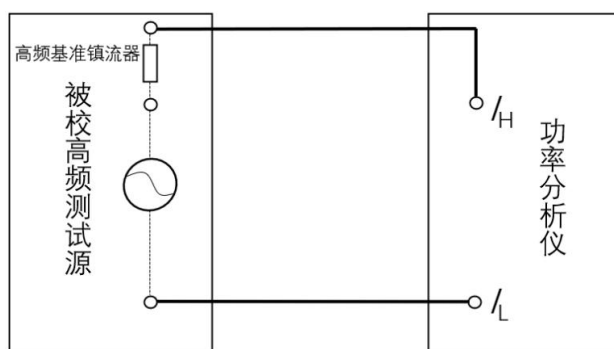


图 5 输出电流示值误差校准连接示意图

$$\Delta I = I_x - I_s \quad (6)$$

输出电流相对误差按公式 (7) 计算。

$$\gamma_I = \frac{\Delta I}{I_s} \times 100\% = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (7)$$

式中:

ΔI —被校测试源输出电流示值误差, A;

γ_I —被校测试源的输出电流相对误差, %;

I_x —被校测试源的输出电流示值, A;

I_s —功率分析仪的示值, A。

7.2.7 频率示值误差

选取 3~5 个校准点, 应包括频率范围的下限点和上限点, 建议在 20kHz、25kHz、42.5kHz、45kHz、50kHz、60kHz、100kHz 中优先选取, 或根据用户实际应用需求选择

其他校准点。

按图 4 所示连接仪器，根据校准点，被校测试源设置为额定电压下相应的频率输出，分别读取被校测试源的频率示值 f_x 和功率分析仪的示值 f_s ，并记录于附录 A 的表 A.7 中，按公式 (8) 计算频率测量示值误差，并记录于附录 A 的表 A.7 中。

$$\Delta f = f_x - f_s \quad (8)$$

频率相对误差按公式 (9) 计算。

$$\gamma_f = \frac{\Delta f}{f_s} \times 100\% = \frac{f_x - f_s}{f_s} \times 100\% \quad (9)$$

式中：

Δf —被校测试源的频率示值误差，Hz；

γ_f —被校测试源的频率相对误差，%；

f_x —被校测试源的频率示值，Hz；

f_s —功率分析仪的示值，Hz。

7.2.8 功率示值误差

频率点的选取可参照被校测试源使用说明书中功率的技术指标，选取 1~3 个频率点，建议在 25kHz、42.5kHz、45kHz、50kHz、60kHz、100kHz 中优先选取。在 25kHz 频率点，在功率测量范围内均匀选取 3 个校准点，在其他频率点，可只选取额定功率值（接近额定功率值）点，也可根据用户实际应用需求选择其他校准点。

按图 6 所示连接仪器，调节主回路可调阻性负载或电压值，使其消耗功率接近校准点值，读取此时测试源功率表显示的功率值 P_x 和功率分析仪显示的功率值 P_s ，并记录于附录 A 的表 A.8 中，按公式 (10) 计算功率测量示值误差，并记录于附录 A 的表 A.8 中。

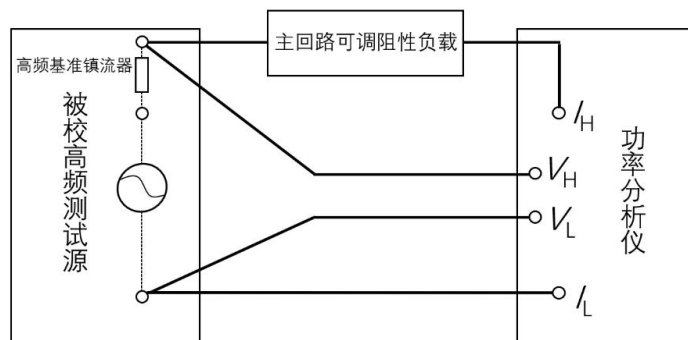


图 6 功率示值误差校准连接示意图

$$\Delta P = P_x - P_s \quad (10)$$

功率相对误差按公式 (11) 计算。

$$\gamma_P = \frac{\Delta P}{P_s} \times 100\% = \frac{P_x - P_s}{P_s} \times 100\% \quad (11)$$

式中：

ΔP —被校测试源的功率示值误差，W；

γ_P —被校测试源的功率相对误差，%；

P_x —被校测试源的功率示值，W；

P_s —功率分析仪的示值，W。

7.2.9 预热电流示值误差

参照输出电流示值误差的校准点选取。

按图 7 所示连接仪器，预热回路可调阻性负载调至阻值最大状态，设置相应的预热电流校准点，启动后，逐渐减小预热回路可调阻性负载阻值使预热电流达到相应的校准点值，稳定后，分别读取被校预热电流示值 I_x 和功率分析仪的示值 I_s ，并记录于附录 A 的表 A.9 中，按公式 (12) 计算预热电流示值误差，并记录于附录 A 的表 A.9 中。

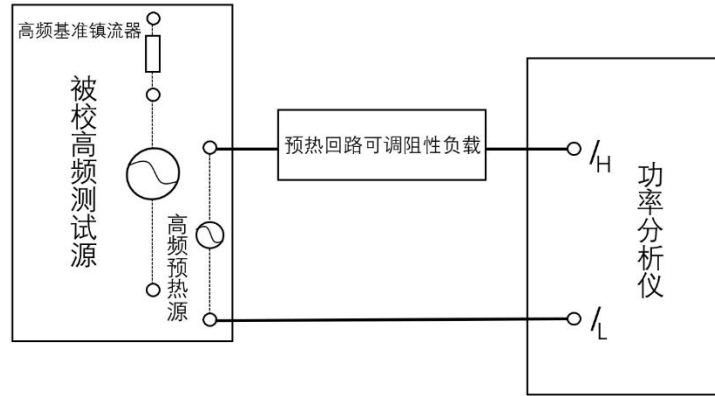


图 7 预热电流示值误差校准连接示意图

$$\Delta I = I_x - I_s \quad (12)$$

预热电流相对误差按公式 (13) 计算。

$$\gamma_I = \frac{\Delta I}{I_s} \times 100\% = \frac{I_x - I_s}{I_s} \times 100\% \quad (13)$$

式中：

ΔI —被校测试源预热电流示值误差, A;

γ_I —被校测试源的预热电流相对误差, %;

I_x —被校测试源的预热电流示值, A;

I_s —功率分析仪的示值, A。

7.2.10 预热时间示值误差

应在 10%~100%量程范围内均匀选取 3 个校准点。

按图 8 所示连接仪器, 首先按 7.2.9 方法将被校测试源预热电流调至接近额定值, 根据校准点, 设置相应的预热时间 T_x , 启动输出, 直至预热源输出停止, 通过数字示波器光标测量预热时间 T_s , 即测量预热回路可调阻性负载两端电压第一个正弦波的起始处至最后一个正弦波的截止处之间的时间间隔, 并记录于附录 A 的表 A.10 中, 按公式 (14) 计算预热时间示值误差, 并记录于附录 A 的表 A.10 中。

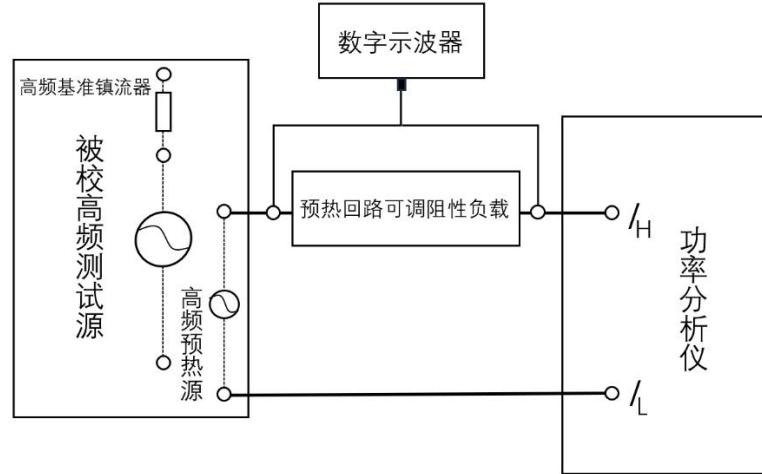


图 8 预热时间示值误差校准连接示意图

$$\Delta T = T_x - T_s \quad (14)$$

预热时间相对误差按公式 (15) 计算。

$$\gamma_T = \frac{\Delta T}{T_s} \times 100\% = \frac{T_x - T_s}{T_s} \times 100\% \quad (15)$$

式中:

ΔT —被校测试源预热时间示值误差, s;

γ_T —被校测试源的预热时间相对误差, %;

T_x —被校测试源的预热时间示值, s;

T_s —数字示波器预热时间测试值, s。

7.2.11 高频基准镇流器阻抗示值误差

按图 9 所示连接仪器，调节高频测试源输出频率至高频基准镇流器说明书规定的额定频率值，调节高频测试源输出电压，使高频测试源输出电流达到高频基准镇流器说明书规定的标称校准电流值，稳定预热约 5min 后微调高频测试源输出电压，使功率分析仪显示的电流值与标称校准电流值一致，读取实际测得的电压值 V_s 和电流值 I_s ，并记录于附录 A 的表 A.11 中，则实测阻抗按公式（16）计算，按公式（17）计算高频基准镇流器阻抗示值误差，并记录于附录 A 的表 A.11 中。

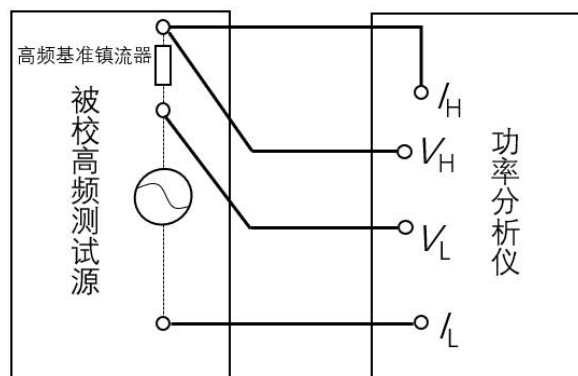


图 9 高频基准镇流器阻抗校准连接示意图

$$Z = \frac{V_s}{I_s} \quad (16)$$

式中：

Z —被校高频基准镇流器的实测阻抗， Ω ；

V_s —功率分析仪的电压示值，V；

I_s —功率分析仪的电流示值，A。

$$\Delta Z = Z_0 - Z \quad (17)$$

高频基准镇流器阻抗相对误差按公式（18）计算。

$$\gamma_Z = \frac{\Delta Z}{Z} \times 100\% = \frac{Z_0 - Z}{Z} \times 100\% \quad (18)$$

式中：

ΔZ —被校高频基准镇流器阻抗示值误差， Ω ；

γ_Z —被校高频基准镇流器阻抗相对误差，%；

Z_0 —被校高频基准镇流器的标称阻抗， Ω ；

Z —被校高频基准镇流器的实测阻抗， Ω 。

8 校准结果表达

校准完成后的仪表应出具校准证书。校准证书应至少包含以下信息：

- 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），每页和总页数的标识；
- 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) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、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，不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，送校的单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

原始记录格式

一 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

外观检查：	合格 ☐	不合格 ☐
工作正常性检查：	合格 ☐	不合格 ☐

二 源电压示值误差

表 A.2 源电压示值误差

量程/V	频率/kHz	示值/V	标准值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)/V$

三 源电压稳定度

表 A.3 源电压稳定度

频率/kHz	记录时间 间隔/min	电压值/V	稳定度/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

四 源电压失真度

表 A.4 源电压失真度

功率/W	频率/kHz	实测值/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

五 灯电压示值误差

表 A.5 灯电压示值误差

量程/V	频率/kHz	示值/V	标准值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)/V$

六 输出电流示值误差

表 A.6 输出电流示值误差

量程/mA	频率/kHz	示值/mA	标准值/mA	示值误差/mA	测量不确定度 $U(k=2)/mA$

七 频率示值误差

表 A.7 频率示值误差

示值/kHz	标准值/kHz	示值误差/kHz	测量不确定度 $U(k=2)/kHz$

八 功率示值误差

表 A.8 功率示值误差

量程/W	频率/kHz	示值/W	标准值/W	示值误差/W	测量不确定度 $U(k=2)/W$

九 预热电流示值误差

表 A.9 预热电流示值误差

量程/A	频率/kHz	示值/A	标准值/A	示值误差/A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

十 预热时间示值误差

表 A.10 预热时间示值误差

量程/s	示值/s	标准值/s	示值误差/s	测量不确定度 $U(k=2)/s$

十一 高频基准镇流器阻抗示值误差

表 A.11 高频基准镇流器阻抗示值误差

额定功率：_____，校准电流：_____，额定电压：_____，额定频率：_____

标称值		标准值			示值误差 / Ω	测量不确定度 $U(k=2)/$ Ω
校准电流 /A	阻抗 / Ω	电压 /V	电流 /A	阻抗 / Ω		

附录 B

校准证书内页格式

一 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

外观检查:	合格 ☐	不合格 ☐
工作正常性检查:	合格 ☐	不合格 ☐

二 源电压示值误差

表 B.2 源电压示值误差

量程/V	频率/kHz	示值/V	标准值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)/V$

三 源电压稳定度

表 B.3 源电压稳定度

频率/kHz	电压值/V	稳定度/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

四 源电压失真度

表 B.4 源电压失真度

功率/W	频率/kHz	实测值/%	测量不确定度 $U(k=2)/\%$

五 灯电压示值误差

表 B.5 灯电压示值误差

量程/V	频率/kHz	示值/V	标准值/V	示值误差/V	测量不确定度 $U(k=2)/V$

六 输出电流示值误差

表 B.6 输出电流示值误差

量程/mA	频率/kHz	示值/mA	标准值/mA	示值误差/mA	测量不确定度 $U(k=2)/mA$

七 频率示值误差

表 B.7 频率示值误差

示值/kHz	标准值/kHz	示值误差/kHz	测量不确定度 $U(k=2)/kHz$

八 功率示值误差

表 B.8 功率示值误差

量程/W	频率/kHz	示值/W	标准值/W	示值误差/W	测量不确定度 $U(k=2)/W$

九 预热电流示值误差

表 B.9 预热电流示值误差

量程/A	频率/kHz	示值/A	标准值/A	示值误差/A	测量不确定度 $U(k=2)/A$

十 预热时间示值误差

表 B.10 预热时间示值误差

量程/s	示值/s	标准值/s	示值误差/s	测量不确定度 $U(k=2)/s$

十一 高频基准镇流器阻抗示值误差

表 B.11 高频基准镇流器阻抗示值误差

额定功率：_____，校准电流：_____，额定电压：_____，额定频率：_____

标称值/ Ω	标准值/ Ω	示值误差/ Ω	测量不确定度 $U(k=2)/\Omega$

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 源电压示值误差测量不确定度评定

C.1.1 测量方法

按规范中 7.2.2 校准，采用直接测量法。

C.1.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = V_x - V_s$$

式中：

Δ —被校测试源电压示值误差，V；

V_x —被校测试源电压示值，V；

V_s —功率分析仪的示值，V。

C.1.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(V_x) + c_2^2 u^2(V_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = -1$ ，则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(V_x) + u^2(V_s)}$ 。

C.1.4 主要不确定度来源

- 功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$ ；
- 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(V_x)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(V_x)$ 。

C.1.5 标准不确定度评定

C.1.5.1 功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

功率分析仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，交流电压 100V/25kHz 的最大允许误差为 $\pm 0.05V$ ，则区间半宽度为 0.05V，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(V_s) = \frac{0.05V}{\sqrt{3}} = 0.029V$$

C.1.5.2 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(V_x)$

被校测试源的分辨力为 0.1V，则区间半宽度为 0.05V，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(V_x) = \frac{0.05V}{\sqrt{3}} = 0.029V$$

C.1.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(V_x)$

在重复性条件下，用功率分析仪对被校测试源进行重复测量 10 次，测得数据如下表 1：

表 1 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (V)	100.1	100.0	100.1	100.1	100.1
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (V)	100.1	100.1	100.1	100.0	100.1

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 100.08V$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.04V$$

则： $u_2(V_x) = s(x_i) = 0.04V$ 。

C.1.6 标准不确定度一览表

表 2 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(V_s)$	功率分析仪不准确引入	均匀	B	-1	0.029V
$u_1(V_x)$	被校测试源分辨力不足	均匀	B	1	0.029V
$u_2(V_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.04V

C.1.7 合成标准不确定度

考虑到被校测试源的重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(V_s) + u_2^2(V_x)} = \sqrt{(0.029V)^2 + (0.04V)^2} \approx 0.05V$$

C.1.8 扩展不确定度

取 $k = 2$ ，则源电压 100V 测量点校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.05V = 0.1V, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{rel} = 0.1\%$ ， $k = 2$ 。

C.2 源电压失真度测量不确定度评定

C.2.1 测量方法

按规范中 7.2.4 校准，采用直接测量法。

C.2.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = \gamma$$

式中：

Δ —被校测试源源电压失真度实测值，%；

γ —功率分析仪实测值，%。

C.2.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = u(\gamma)$$

C.2.4 主要不确定度来源

- 功率分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u_1(\gamma_s)$ ；
- 功率分析仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_2(\gamma_s)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_3(\gamma_s)$ 。

C.2.5 标准不确定度评定

C.2.5.1 功率分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u_1(\gamma_s)$

功率分析仪经计量机构量值传递合格，其在测量 1% 时的最大允许误差为 $\pm 20\% \times$

1% $\pm$ 0.2%，区间半宽度为 0.2%，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(\gamma_s) = \frac{0.2\%}{\sqrt{3}} = 0.12\%$$

C.2.5.2 功率分析仪分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_2(\gamma_s)$

功率分析仪的分辨力为 0.01%，则区间半宽度为 0.005%，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(\gamma_s) = \frac{0.005\%}{\sqrt{3}} = 0.0029\%$$

C.2.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_3(\gamma_s)$

在重复性条件下，用功率分析仪对被校测试源电压失真度进行重复测量 10 次，测得数据如下表 3：

表 3 测得数据记录表

次数	1	2	3	4	5
测得值 (%)	1.01	1.04	1.02	1.03	1.02
次数	6	7	8	9	10
测得值 (%)	1.01	1.02	1.03	1.02	1.00

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.02\%$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.012\%$$

则： $u_3(\gamma_s) = s(x_i) = 0.012\%$ 。

C.2.6 标准不确定度一览表

表 4 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u_1(\gamma_s)$	功率分析仪测量不准确	均匀	B	1	0.12%
$u_2(\gamma_s)$	功率分析仪分辨力不足	均匀	B	1	0.0029%
$u_3(\gamma_s)$	测量重复性	正态	A	1	0.012%

C.2.7 合成标准不确定度

考虑到重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，为避免重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(\gamma_s) + u_3^2(\gamma_s)} = \sqrt{(0.12\%)^2 + (0.012\%)^2} = 0.12\%$$

C.2.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则源电压失真度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.12\% \approx 0.24\%, \quad k = 2$$

C.3 输出电流示值误差测量不确定度评定

C.3.1 测量方法

按规范中 7.2.6 校准，采用标准表法直接测量。

C.3.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = I_x - I_s$$

式中：

Δ —被校测试源输出电流示值误差，A；

I_x —被校测试源的输出电流示值，A；

I_s —功率分析仪的示值，A。

C.3.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(I_x) + c_2^2 u^2(I_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_s} = -1$ ，则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(I_x) + u^2(I_s)}$ 。

C.3.4 主要不确定度来源

a. 功率分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$ ；

b. 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$ ；

c. 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$ 。

C.3.5 标准不确定度评定

C.3.5.1 功率分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$

功率分析仪经上级计量机构量值传递合格, 根据说明书技术指标, 测量交流电流 100mA/25kHz 的最大允许误差为 $\pm 0.094\text{mA}$, 则区间半宽度为 0.094mA, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u(I_s) = \frac{0.094\text{mA}}{\sqrt{3}} = 0.054\text{mA}$$

C.3.5.2 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(I_x)$

被校测试源的分辨力为 0.1mA, 则区间半宽度为 0.05mA, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_1(I_x) = \frac{0.05\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.029\text{mA}$$

C.3.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(I_x)$

在重复性条件下, 用功率分析仪对被校测试源进行重复测量 10 次, 测得数据如下表 5:

表 5 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (mA)	99.9	99.8	99.9	99.9	99.9
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (mA)	99.8	99.9	99.9	99.9	99.8

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 99.87\text{mA}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.049\text{mA}$$

$$\text{则: } u_2(I_x) = s(x_i) = 0.049\text{mA}。$$

C.3.6 标准不确定度一览表

表 6 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(I_s)$	功率分析仪测量不准确引入	均匀	B	-1	0.054mA
$u_1(I_x)$	被校测试源分辨力不足	均匀	B	1	0.029mA
$u_2(I_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.049mA

C.3.7 合成标准不确定度

考虑到测量重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(I_s) + u_2^2(I_x)} = \sqrt{(0.054\text{mA})^2 + (0.049\text{mA})^2} = 0.073\text{mA}$$

C.3.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则输出电流 100mA/25kHz 校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.073\text{mA} = 0.15\text{mA}, \quad k=2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 0.15\%$ ， $k=2$ 。

C.4 频率示值误差测量不确定度评定

C.4.1 测量方法

按规范中 7.2.7 校准，采用功率分析仪直接测量。

C.4.2 测量模型

在标准条件下，忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响，有：

$$\Delta = f_x - f_s$$

式中：

Δf —被校测试源频率示值误差，Hz；

f_x —被校测试源的频率示值，Hz；

f_s —功率分析仪的示值，Hz。

C.4.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(f_x) + c_2^2 u^2(f_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial f_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial f_s} = -1$ ， 则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(f_x) + u^2(f_s)}$ 。

C.4.4 主要不确定度来源

- 功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(f_s)$ ；
- 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(f_x)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(f_x)$ 。

C.4.5 标准不确定度评定

C.4.5.1 功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(f_s)$

功率分析仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，测量频率 25kHz 的最大允许误差为 $\pm 0.0025\text{kHz}$ ，则区间半宽度为 0.0025kHz，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(f_s) = \frac{0.0025\text{kHz}}{\sqrt{3}} = 0.0015\text{kHz}$$

C.4.5.2 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(f_x)$

被校测试源的分辨力为 0.01kHz，则区间半宽度为 0.005kHz，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(f_x) = \frac{0.005\text{kHz}}{\sqrt{3}} = 0.0029\text{kHz}$$

C.4.5.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_2(f_x)$

在重复性条件下，用功率分析仪对被校测试源进行重复测量 10 次，测得数据如下表 7：

表 7 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (kHz)	25.00	25.00	25.01	25.00	25.01
次数 (x_i)	6	7	8	9	10

测得值 (kHz)	25.00	25.00	25.01	25.00	25.00
--------------	-------	-------	-------	-------	-------

测量结果的平均值: $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 25.003 \text{ kHz}$

单次测量值的实验标准偏差: $s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.0049 \text{ kHz}$

则: $u_2(f_x) = s(x_i) = 0.0049 \text{ kHz}$ 。

C.4.6 标准不确定度一览表

表 8 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(f_s)$	功率分析仪不准确引入	均匀	B	-1	0.0015 kHz
$u_1(f_x)$	被校测试源分辨力不足	均匀	B	1	0.0029 kHz
$u_2(f_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.0049 kHz

C.4.7 合成标准不确定度

考虑到被校测试源的重复性和分辨力为同种影响量且相互影响, 存在重复, 在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去, 则:

$$u_c = \sqrt{u^2(f_s) + u_2^2(f_x)} = \sqrt{(0.0015 \text{ kHz})^2 + (0.0049 \text{ kHz})^2} \approx 0.0052 \text{ kHz}$$

C.4.8 扩展不确定度

取 $k = 2$, 则频率 25 kHz 测量点校准结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.0052 \text{ kHz} = 0.011 \text{ kHz}, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.044\%$, $k = 2$ 。

C.5 功率示值误差测量不确定度评定

C.5.1 测量方法

按规范中 7.2.8 校准, 采用标准功率表法。

C.5.2 测量模型

在标准条件下, 忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响, 有:

$$\Delta = P_x - P_s$$

式中：

Δ —被校测试源功率示值误差，W；

P_x —被校测试源的功率示值，W；

P_s —功率分析仪的示值，W。

C.5.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关，对上式求偏导，则不确定度传播律为：

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(P_x) + c_2^2 u^2(P_s)}$$

式中灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial P_x} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial P_s} = -1$ ，则： $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(P_x) + u^2(P_s)}$ 。

C.5.4 主要不确定度来源

- 标准功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(P_s)$ ；
- 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(P_x)$ ；
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(P_x)$ 。

C.5.5 标准不确定度评定

C.5.5.1 标准功率分析仪不准确引入的标准不确定度分量 $u(P_s)$

标准功率分析仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，交流功率 50W/25kHz 的最大允许误差为 $\pm 0.12\text{W}$ ，则区间半宽度为 0.12W，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_s) = \frac{0.12\text{W}}{\sqrt{3}} = 0.07\text{W}$$

C.5.5.2 被校测试源分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_1(P_x)$

被校测试源的分辨力为 0.1W，则区间半宽度为 0.05W，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(P_x) = \frac{0.05\text{W}}{\sqrt{3}} = 0.029\text{W}$$

C.5.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u_2(P_x)$

在重复性条件下，用标准功率分析仪对被校测试源进行重复测量 10 次，测得数据如下表 9：

表 9 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (W)	50.1	50.1	50.0	50.0	50.0
次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (W)	50.1	50.0	50.0	50.0	50.0

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 50.03 \text{ W}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.048 \text{ W}$$

$$\text{则: } u_2(P_x) = s(x_i) = 0.048 \text{ W}。$$

C.5.6 标准不确定度一览表

表 10 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(P_s)$	标准功率分析仪不准确引入	均匀	B	-1	0.07W
$u_1(P_x)$	被校测试源分辨力不足	均匀	B	1	0.029W
$u_2(P_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.048W

C.5.7 合成标准不确定度

考虑到被校测试源的重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，存在重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u^2(P_s) + u_2^2(P_x)} = \sqrt{(0.07\text{W})^2 + (0.048\text{W})^2} \approx 0.085 \text{ W}$$

C.5.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则功率 50W 测量点校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.085 \text{ W} = 0.17 \text{ W}, \quad k=2$$

换算至相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = 0.34\%$ ， $k=2$ 。

C.6 预热时间示值误差测量不确定度评定

C.6.1 测量方法

按规范中 7.2.10 校准, 采用数字示波器对预热时间进行测量。

C.6.2 测量模型:

在标准条件下, 忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响, 有:

$$\Delta = T_x - T_s$$

式中:

Δ —被测试源的预热时间设定值的绝对误差, s;

T_x —被校测试源的预热时间设定值, s;

T_s —数字示波器读取的测试源预热时间, s。

C.6.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关, 对上式求偏导, 则不确定度传播律为:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(T_x) + c_2^2 u^2(T_s)}$$

式中灵敏系数: $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_x} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial T_s} = -1$, 则: $u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(T_x) + u^2(T_s)}$

C.6.4 主要不确定度来源

- 数字示波器测量不准确引入的标准不确定度分量 $u_1(T_s)$;
- 数字示波器分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_2(T_s)$;
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(T_x)$ 。

C.6.5 标准不确定度评定

C.6.5.1 数字示波器测量不准确引入的标准不确定度分量 $u_1(T_s)$

数字示波器经计量机构量值传递合格, 根据说明书技术指标, 时间间隔测量最大允许误差为 $\pm 0.1\%$, 测量时间 1s 的最大允许误差为 $\pm 1\text{ms}$, 则区间半宽度为 1ms, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_1(T_s) = \frac{1\text{ms}}{\sqrt{3}} = 0.59\text{ms}$$

C.6.5.2 数字示波器分辨力不足引入的标准不确定度分量 $u_2(T_s)$

数字示波器的分辨力为 1ms，则区间半宽度为 0.5ms，认为服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(T_s) = \frac{0.5\text{ms}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{ms}$$

C.6.5.3 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(T_x)$

在重复性条件下，用数字示波器对被校测试源的预热时间进行重复测量 10 次，测得数据如下表 11：

表 11 测得数据记录表

次数	1	2	3	4	5
测得值 (s)	1.002	1.004	1.003	1.005	1.003
次数	6	7	8	9	10
测得值 (s)	1.004	1.006	1.004	1.003	1.003

$$\text{测量结果的平均值: } \bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 1.004\text{s}$$

$$\text{单次测量值的实验标准偏差: } s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 1.2\text{ms}$$

则： $u(T_x) = s(x_i) = 1.2\text{ms}$ 。

C.6.6 标准不确定度一览表

表 12 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u_1(T_s)$	数字示波器测量不准确	均匀	B	-1	0.59ms
$u_2(T_s)$	数字示波器分辨力不足	均匀	B	-1	0.29ms
$u(T_x)$	测量重复性	正态	A	1	1.2ms

C.6.7 合成标准不确定度

考虑到重复性和分辨力为同种影响量且相互影响，为避免重复，在合成标准不确定度时将两者中的较小者舍去，则：

$$u_c = \sqrt{u_1^2(T_s) + u^2(T_x)} = \sqrt{(0.59\text{ms})^2 + (1.2\text{ms})^2} = 1.4\text{ms}$$

C.6.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则预热时间 1s 校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 1.4 \text{ms} = 2.8 \text{ms}, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = 0.28\%$, $k = 2$ 。

C.7 高频基准镇流器阻抗示值误差测量不确定度评定

C.7.1 测量方法

按规范中 7.2.11 校准, 采用功率分析仪测量高频基准镇流器的电压和电流计算阻抗。

C.7.2. 测量模型

在标准条件下, 忽略温度、湿度、磁场等环境因素的影响, 有:

$$\Delta Z = Z_0 - \frac{V_s}{I_s}$$

式中:

ΔZ —被校高频基准镇流器阻抗示值误差, Ω ;

Z_0 —被校高频基准镇流器的标称阻抗, Ω ;

V_s —功率分析仪的电压示值, V;

I_s —功率分析仪的电流示值, A。

C.7.3 不确定度传播律

由于各输入量互不相关, 对上式求偏导, 则不确定度传播律为:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{c_1^2 u^2(Z_0) + c_2^2 u^2(V_s) + c_3^2 u^2(I_s)}$$

式中灵敏系数: $c_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial Z_0} = 1$, $c_2 = \frac{\partial \Delta}{\partial V_s} = -\frac{1}{I_s}$, $c_3 = \frac{\partial \Delta}{\partial I_s} = \frac{V_s}{I_s^2}$, 则:

$$u_c(\Delta) = \sqrt{u^2(Z_0) + \frac{1}{I_s^2} \times u^2(V_s) + \left(\frac{V_s}{I_s^2}\right)^2 \times u^2(I_s)}。$$

C.7.4 主要不确定度来源

- 功率分析仪电压测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$;
- 功率分析仪电压测量输入阻抗引入的标准不确定度分量 $u(Z_i)$;
- 功率分析仪电流测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$;
- 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(Z_x)$ 。

C.7.5 标准不确定度评定

C.7.5.1 功率分析仪电压测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_s)$

校准的高频基准镇流器标称阻抗为 250Ω ，标称校准电流为 0.3A ，额定频率为 25kHz ，则高频基准镇流器上的压降为 75V ，功率分析仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，交流电压 $75\text{V}/25\text{kHz}$ 的最大允许误差为 $\pm 0.10375\text{V}$ ，则区间半宽度为 0.10375V ，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(V_s) = \frac{0.10375\text{V}}{\sqrt{3}} = 0.060\text{V}$$

C.7.5.2 功率分析仪电压测量输入阻抗引入的标准不确定度分量 $u(Z_i)$

测量时采用电流表外接方式，功率分析仪的电压表与被校高频基准镇流器并联，功率分析仪测得的电流为流过功率分析仪电压传感器的电流与流过被校高频基准镇流器的电流之和，电压传感器的输入阻抗不小于 $1\text{M}\Omega$ ，被校高频基准镇流器的电压电流比为 250Ω ，则输入阻抗导致的测量偏差为 0.0625Ω ，区间半宽度为 0.03125Ω ，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(Z_i) = \frac{0.03125\Omega}{\sqrt{3}} = 0.018\Omega$$

C.7.5.3 功率分析仪电流测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(I_s)$

功率分析仪经上级计量机构量值传递合格，根据说明书技术指标，交流电流 $0.3\text{A}/25\text{kHz}$ 的最大允许误差为 $\pm 0.000425\text{A}$ ，则区间半宽度为 0.000425A ，认为服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(I_s) = \frac{0.000425\text{A}}{\sqrt{3}} = 0.00025\text{A}$$

C.7.5.4 测量重复性引入的标准不确定分量 $u(Z_x)$

在重复性条件下，用功率分析仪和高频测试源对被校高频基准镇流器进行重复测量 10 次，测得数据如下表 13：

表 13 测得数据记录表

次数 (x_i)	1	2	3	4	5
测得值 (Ω)	249.876	249.885	249.875	249.911	249.890

次数 (x_i)	6	7	8	9	10
测得值 (Ω)	249.856	249.851	249.868	249.877	249.859

测量结果的平均值: $\bar{x} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i = 249.875 \Omega$

单次测量值的实验标准偏差: $s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.018 \Omega$

取单次测量值作为测量结果, 则: $u_2(Z_x) = s(x_i) = 0.018 \Omega$ 。

C.7.6 标准不确定度一览表

表 14 标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	概率分布	评定方法	灵敏系数	标准不确定度
$u(V_s)$	功率分析仪电压测量不准确	均匀	B	$-3.333 A^{-1}$	0.060V
$u(Z_i)$	功率分析仪电压测量输入阻抗引入	均匀	B	-1	0.018 Ω
$u(I_s)$	功率分析仪电流测量不准确	均匀	B	$833.33 V \cdot A^{-2}$	0.00025A
$u(Z_x)$	测量重复性	正态	A	1	0.018 Ω

C.7.7 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{(-3.333 A^{-1})^2 + 0.060^2 + (833.33 V \cdot A^{-2})^2 (0.00025)^2 + (0.018 \Omega)^2} \approx 0.29 \Omega$$

C.7.8 扩展不确定度

取 $k = 2$, 则阻抗为 250 Ω 的高频基准镇流器校准结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.29 \Omega = 0.58 \Omega, \quad k = 2$$

换算至相对扩展不确定度为: $U_{rel} = 0.24\%$, $k = 2$ 。