

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

串联高压谐振试验装置
校准规范

Calibration Specification for High Voltage Series Resonance Test Device

（报批稿）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

串联高压谐振试验装置校准 规范

Calibration Specification for High Voltage Series
Resonance Test Device

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：广电计量检测集团股份有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要参加起草人：

潘 乔（广电计量检测集团股份有限公司）

韦家辉（广电计量检测集团股份有限公司）

陈新运 广电计量（合肥）有限公司

江贤志（广电计量检测集团股份有限公司）

参加起草人：

钟 攀（广电计量检测集团股份有限公司）

李文兴（广电计量检测集团股份有限公司）

方涌东（广东胜宇电缆实业有限公司）

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 输出电压	2
5.2 输出电压短期稳定度	2
5.3 输出电压总谐波失真度	2
5.4 输出频率	2
5.5 品质因数	2
6 校准条件	2
6.1 环境条件	2
6.2 测量标准及其它设备	3
7 校准方法	3
7.1 外观及工作正常性检查	3
7.2 输出电压	3
7.3 输出电压短期稳定度	4
7.4 输出电压总谐波失真度	4
7.5 输出频率	5
7.6 品质因数	6
8 校准结果	6
9 复校时间间隔	7
附录 A	8
原始记录格式	8
附录 B	10
校准证书内页格式	10
附录 C	12
测量不确定度评定示例	12

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。

串联高压谐振试验装置校准规范

1 范围

本规范主要适用于电压 10kV~400kV、试验频率在 30Hz~300Hz 范围内的串联高压谐振试验装置的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 16927.2-2013 高电压试验技术 第 2 部分：测量系统

DL/T 849.6-2016 电力设备专用测试仪器通用技术条件 第 6 部分：高压谐振试验装置

注：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 谐振电容器 resonant capacitor

用于同试品（负载）电感产生谐振，以获得高电压或大电流的电容器。

[来源：DL/T 849.6-2016，术语和定义 3.5]

3.2 励磁变压器 exciting transformer

用于给电感、电容谐振系统提供激励能量的变压器。

[来源：DL/T 849.6-2016，术语和定义 3.7]

3.3 品质因数（Q）（试验装置的） quality factor (of a testing device)

试品（负载）所获得的无功功率与励磁变压器输出有功功率之比值。

对于串联谐振回路，可用试品（负载）两端的电压与励磁变压器的输出电压之比值表达。

[来源：DL/T 849.6-2016，术语和定义 3.9]

4 概述

串联高压谐振试验装置通常由变频电源、励磁变压器、谐振电抗器、谐振电容器和高压测量系统组成。通过调节变频电源的频率或改变回路的电容、电感，使试验回

路发生谐振,从而获得试验所需高电压。该装置主要应用于大容量、高电压电容性电力设备的交流耐压及预防性试验,可满足各电压等级的电力试验技术要求。结构示意图见图 1。

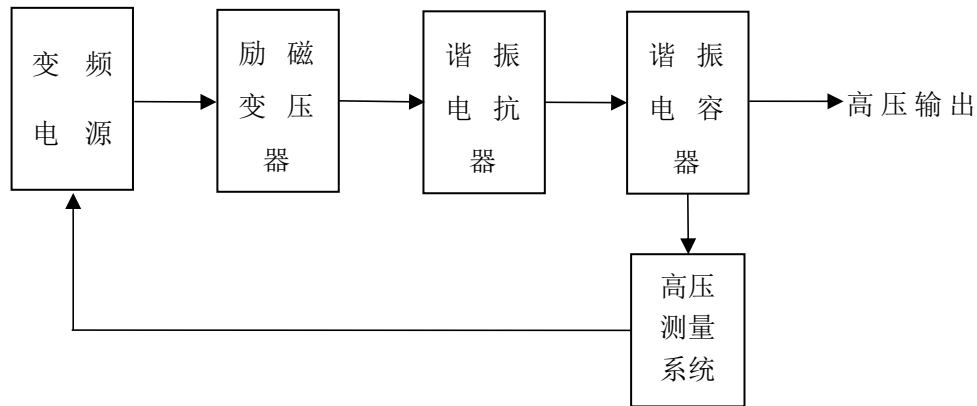


图 1 串联高压谐振试验装置结构示意图

5 计量特性

5.1 输出电压

电压范围: 10 kV ~ 400 kV, 最大允许误差: $\pm 3.0\%$ 。

5.2 输出电压短期稳定度

在 10 min 内, 输出电压短期稳定度 $\leq 1.0\%$ 。

5.3 输出电压总谐波失真度

失真度范围: (0.05% ~ 3%)

5.4 输出频率

调频式输出频率范围: 30Hz ~ 300Hz, 最大允许误差: $\pm 0.5\%$;

调感式和调容式输出频率: 50Hz 或 60Hz, 最大允许误差: $\pm 0.5\%$ 。

5.5 品质因数

工作频率下, 品质因数: 15~80。

注: 以上范围及指标不适用于合格性判定, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度: (20 $\pm$ 5) $^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.2 相对湿度: $\leq 80\%$ 。

6.1.3 供电电源: 电压: (220 $\pm$ 22) V 或 (380 $\pm$ 38) V, 频率: (50 $\pm$ 0.5) Hz, 总谐

波失真度： $\leq 5\%$ 。

6.1.4 其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其它设备

6.2.1 交流标准分压器

交流标准分压器测量范围：10kV～400kV（30～300）Hz，最大允许误差： $\pm 0.5\%$ ；

6.2.2 数字高压表

交流电压测量范围：0.1kV～20kV（30～300）Hz，最大允许误差： $\pm 1.0\%$ 。

6.2.3 数字多用表

交流电压测量范围：1V～750V（30～300）Hz，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ ；

频率测量范围：10Hz～1kHz，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.4 失真度仪

输入信号频率测量范围：30Hz～1kHz，总谐波失真测量范围：0.03%～30%，

相对最大允许误差： $\pm (5\% \sim 10\%)$ 。

7 校准方法

7.1 外观及工作正常性检查

被校串联高压谐振试验装置外观应完好，标识清晰完整，各部件开关操作正常，高压测试端口牢固，无影响正常工作的机械损伤。

变频电源控制箱及励磁变压器等测试设备金属外壳均应有明显的接地端子。接地端子及接地线必须满足设备安全与人身安全要求，检查结果记录于附录A表A.1中。

7.2 输出电压

7.2.1 接线如图2所示，接通试验装置供电电源，试验装置电压指示应处于零位。

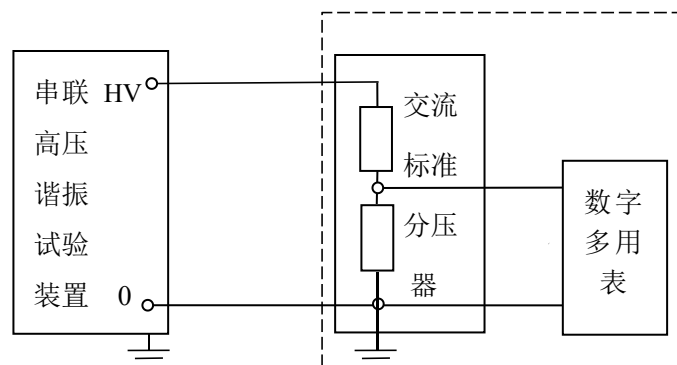


图2 串联高压谐振试验装置电压校准示意图

7.2.2 启动被校试验装置，将其试验回路调整至谐振状态。

7.2.3 在额定输出电压量程范围内均匀选取不少于 4 个点，校准点应包含额定输出电压的 10%和 100%。读取交流标准分压器低臂端输出电压测量值。

7.2.4 按公式 (1) 计算输出电压示值误差，记录于附录 A 表 A.2 中。

$$\delta_U = U_x - kU_0 \quad (1)$$

式中：

δ_U —— 试验装置输出电压示值误差，kV；

U_x —— 被校试验装置电压显示值，kV；

U_0 —— 交流标准分压器低臂端输出电压测量值，kV；

k —— 交流标准分压分压比值。

7.3 输出电压短期稳定度

7.3.1 接线如图 2 所示。启动被校试验装置，在谐振回路中调节被校试验装置输出电压至额定电压 50%，在 10min 内分别记录交流标准分压器测得最大值与最小值。

7.3.2 按公式 (2) 计算输出电压短期稳定度，并记录于附录 A 表 A.3 中。

$$\delta = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{\bar{U}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ —— 试验装置输出电压短期稳定度，%；

$U_{\max}$ —— 标准分压器在 10min 内测得电压最大示值，kV；

$U_{\min}$ —— 标准分压器在 10min 内测得电压最小示值，kV；

$\bar{U}$ —— 标准分压器在 10min 内测得电压平均值，kV。

7.4 输出电压总谐波失真度

7.4.1 接线如图 3 所示。

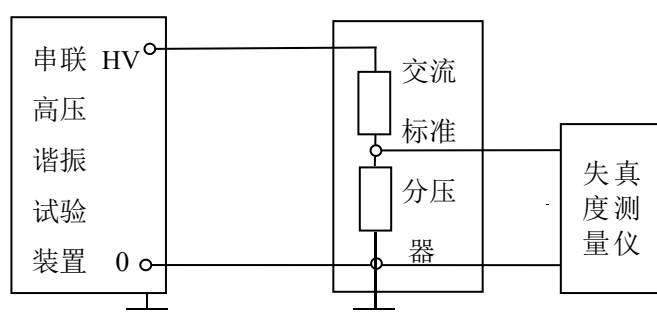


图3 串联高压谐振试验装置电压总谐波失真度校准示意图

7.4.2 启动被校试验装置，在谐振回路中调节被校试验装置输出电压不小于额定电压50%。

7.4.3 串联高压谐振试验装置为调频式时，在最低工作频率点、**谐振**频率点和最高工作频率点下分别用失真度测量仪进行测量，读取各频率点下失真度测量值，其最大值作为输出电压总谐波失真度测量值；

7.4.4 串联高压谐振试验装置为调容、调感式时，在工作频率点下用失真度测量仪进行测量，读取该频率点失真度测量值作为输出电压总谐波失真度测量值，并记录于附录A表A.4中。

7.5 输出频率

7.5.1 接线如图4所示。

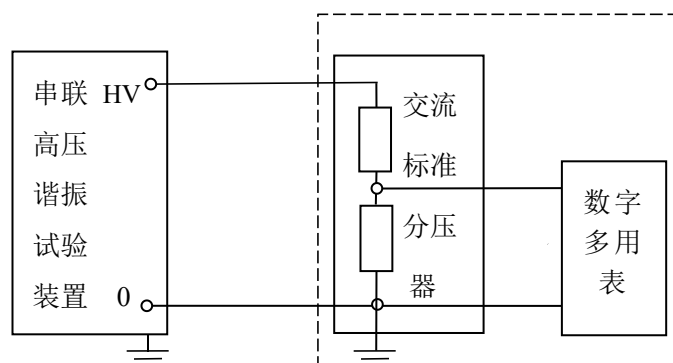


图4 串联高压谐振试验装置输出频率校准示意图

7.5.2 启动被校试验装置，在谐振回路中调节输出稳定电压。

7.5.3 串联高压谐振试验装置为调频式时，**改变变频电源输出频率，读取数字多用表的频率实测值**作为输出频率测量值；串联高压谐振试验装置为调容、调感式时，读取被校装置工作频率作为输出频率测量值。

7.5.4 按公式（3）计算输出频率示值误差，并记录于附录A表A.4中。

$$\delta_f = f_x - f_0 \quad (3)$$

式中：

δ_f ——输出频率示值误差，Hz；

f_x ——被校试验装置频率显示值，Hz；

f_0 ——数字多用表频率实测值，Hz。

7.6 品质因数

7.6.1 接线如图 5 所示。

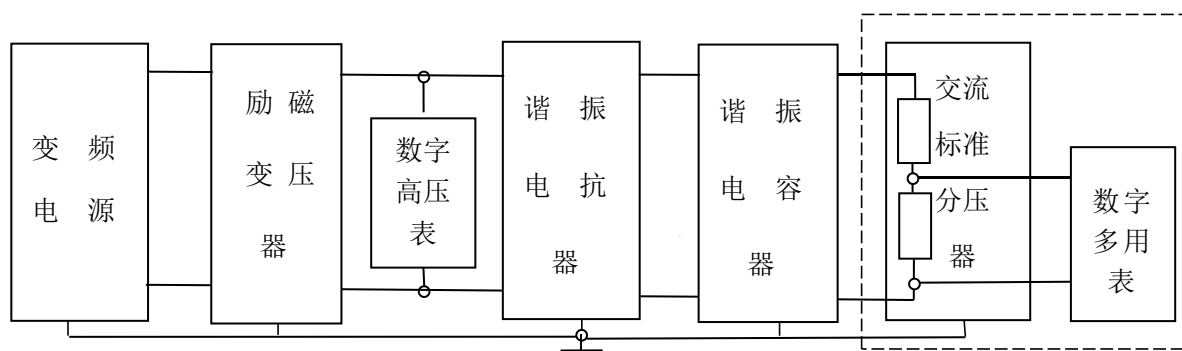


图 5 串联高压谐振试验装置品质因数校准示意图

7.6.2 启动被校试验装置，将试验回路调整至谐振状态，调节被校试验装置输出电压达到额定电压 50%，读取励磁变压器低压输出端电压测量值与交流标准分压器低臂端电压测量值，

7.6.3 按公式（4）计算出试验装置品质因数实测值，并记录于附录 A 表 A.4 中。

$$Q = \frac{kU_0}{U_x} \quad (4)$$

式中：

Q ——试验装置品质因数实测值；

U_0 ——交流标准分压器低臂端电压测量值，kV；

U_x ——励磁变压器低压输出端电压测量值，kV；

k ——交流标准分压器分压比值。

8 校准结果

校准结果应在校准证书上反映。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) 被校准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说明；
- 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决定的，因此，送校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

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查及工作正常性检查	

A.2 输出电压

表 A.2 输出电压

谐振频率:			标准分压器分压比值:	
量程	显示值/kV	实测值/kV	示值误差/kV	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.3 输出电压短期稳定度

表 A.3 输出电压短期稳定度

输出电压平均值/kV	输出电压最大值/kV	输出电压最小值/kV	短期稳定度 (%)	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.4 输出电压总谐波失真度

表 A.4 输出电压总谐波失真度

输出电压/kV	频率/Hz	谐波失真度	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.5 输出频率

表 A. 5 输出频率

输出电压/kV	显示值/Hz	实测值/Hz	示值误差/Hz	扩展不确定度 U ($k=2$)

A.6 品质因数

表 A. 6 品质因数

输出电压/kV	励磁变压器测量值/kV	交流高压测量装置测量值/kV	品质因数	扩展不确定度 U ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查及工作正常性检查	

B.2 输出电压

表 B.2 输出电压

谐振频率:			标准分压器分压比值:	
量程	显示值/kV	实测值/kV	示值误差/kV	扩展不确定度 U ($k=2$)

B.3 输出电压短期稳定度

表 B.3 输出电压短期稳定度

输出电压平均值/kV	输出电压最大值/kV	输出电压最小值/kV	短期稳定度 (%)	扩展不确定度 U ($k=2$)

B.4 输出电压总谐波失真度

表 B.4 输出电压总谐波失真度

输出电压/kV	频率/Hz	谐波失真度 (%)	扩展不确定度 U ($k=2$)

B.5 输出频率

表 B. 5 输出频率

输出电压/kV	显示值/Hz	实测值/Hz	示值误差/Hz	扩展不确定度 U ($k=2$)

B.6 品质因数

表 B. 6 品质因数

输出电压/kV	励磁变压器测量值/kV	交流高压测量装置测量值/kV	品质因数	扩展不确定度 U ($k=2$)

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 输出电压结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

采用标准表法。使用交流标准分压器（分压比 $k=1000$ ）和数字多用表组成的高压测量装置作为测量标准，在规定的条件下对串联高压谐振试验装置输电电压进行校准。测量模型为：

$$\Delta U = U_x - kU_0 \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔU —— 试验装置输出电压示值误差；

U_x —— 被校试验装置电压显示值，kV；

U_0 —— 交流标准分压器低臂端输出电压测量值，kV；

k —— 交流标准分压器分压比值。

C.1.2 合成标准不确定度计算公式

不确定度来源主要有数字多用表测量误差、交流标准分压器分压比误差、测量重复性引入的不确定度分量。其合成标准不确定度计算公式如下：

$$u_c^2(\Delta U) = c_1^2 u(U_0)^2 + c_2^2 u(k)^2 + c_3^2 u(U_x)^2 \quad (\text{C.2})$$

式中：

$$\text{灵敏系数: } c_1 = \frac{\partial \Delta U}{\partial U_0} = -k; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta U}{\partial k} = -U_0; \quad c_3 = \frac{\partial \Delta U}{\partial U_x} = 1$$

C.1.3 标准不确定度评定

设校准点为 $U_x=100.0\text{kV}$ ，标准分压器分压比 $k=1000$ ，数字多用表测得 $U_0=0.1000\text{ kV}$

C.1.3.1 数字多用表测量误差引入的不确定度分量 u_{rel}

根据数字多用表技术指标，其测量电压 100V 时，最大允许误差为： $\pm 0.1\%$ ，按均

匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$, 则数字多用表引入的相对不确定度分量 $u_{1\text{rel}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$

灵敏系数: $c_1 = -k = -1000$ 。

C.1.3.2 交流标准分压器分压比 k 误差引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

根据交流标准分压器技术指标, 其最大允许误差为: $\pm 0.5\%$, 按均匀分布, 取 $k=\sqrt{3}$,

则交流标准分压器分压比引入的相对不确定度分量 $u_{2\text{rel}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$

C.1.3.3 测量重复性引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$

在规定测量条件下, 调节被校试验装置达到谐振状态并输出试验电压为 100kV, 对被校试验装置试验电压进行 10 次重复性测量, 结果如下表(kV):

表 C.1 输出电压重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	100.22	100.26	100.23	100.20	100.21
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	100.13	100.19	100.23	100.32	100.17
平均值 $\bar{x}_n$	100.22		标准差	0.06	

则测量重复性引入的相对不确定度分量: $u_{3\text{rel}} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(10-1)}} = 0.06\%$ 。

C.1.4 合成标准不确定度

C.1.4.1 主要不确定度汇总表

主要不确定度分量汇总见表 C.2

表 C.2 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	不确定度分量	k_i	相对标准不确定度
数字多用表误差, u_1	0.058%	$\sqrt{3}$	0.058%
交流标准分压器误差, u_2	0.29%	$\sqrt{3}$	0.29%
测量重复性, u_3	0.06%	1	0.06%

C.1.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，相对合成标准不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{c_1^2 u_{1\text{rel}}^2 + c_2^2 u_{2\text{rel}}^2 + c_3^2 u_{3\text{rel}}^2} = 0.31\%$$

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则输出电压相对扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = k u_c = 2 \times 0.31\% = 0.7\%$ 。

C.2 输出电压总谐波不确定度评定

C.2.1 测量模型

采用标准表法。用失真度测定仪在规定测量条件下对被校试验装置输出电压失真度进行测量。测量模型为：

$$D_0 = D_x \quad (\text{C.3})$$

式中：

D_0 ——被校试验装置失真度，

D_x ——失真度测量仪实测值。

C.2.2 合成标准不确定度计算公式

不确定度来源主要有：失真度测量仪测量误差、失真度测量仪测量分辨力、测量重复性引入的不确定度分量等。其合成标准不确定度计算公式如下：

$$u^2(D_0) = c_i^2 u^2(D_x) \quad (\text{C.4})$$

式中：灵敏系数： $c_1 = \frac{\partial D_0}{\partial D_x} = 1$

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 失真度测量仪测量误差引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

根据失真度测量仪技术指标，其测量最大允许误差为： $\pm 0.5\text{dB}$ ，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则失真度测量仪引入的相对不确定度分量： $u_{1\text{rel}} = \frac{6.0\%}{\sqrt{3}} = 3.49\%$

C.2.3.2 失真度测量仪测量分辨力引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$

失真度测量仪测量分辨为 0.001，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则失真度测量仪分辨力引入的不确定度分量： $u_{2\text{rel}} = \frac{\delta}{2\sqrt{3}} = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 2.9 \times 10^{-4}$ ，

C.2.3.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$

在输出电压为 100kV 下, 对其电压总谐波失真进行 10 次重复性测量, 结果如下表(%):

表 C.3 电压总谐波失真度重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	0.147	0.141	0.143	0.152	0.148
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	0.144	0.150	0.148	0.142	0.146
平均值 $\bar{x}_n$	0.1461		标准差	0.0035	

则测量重复性引入的不确定度分量: $u_3 = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(10-1)}} = 0.0035\%$

相对不确定度分量: $u_{3\text{rel}} = \frac{0.0035\%}{0.1461\%} = 2.4\%$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差, 因此由分辨力引入的不确定度分量 u_2 和测量重复性引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$ 取大者。

C.2.4 合成标准不确定度

C.2.4.1 主要不确定度汇总表

主要不确定度分量汇总见表 C.4

表 C.4 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	不确定度分量	k_i	相对标准不确定度
失真度测量仪测量误差, $u_{1\text{rel}}$	6.0%	$\sqrt{3}$	3.49%
失真度测量仪测量分辨率, $u_{2\text{rel}}$	0.0005%	$\sqrt{3}$	0.00029% (舍去)
测量重复性, $u_{3\text{rel}}$	2.4%	1	2.4%

C.2.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关, 相对合成标准不确定度为:

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{c_1^2 u_{1\text{rel}}^2 + c_3^2 u_{3\text{rel}}^2} = 4.3\%$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则总谐波失真相对扩展不确定度为: $U_{\text{rel}} = k u_{\text{crel}} = 4.3\% \times 2 = 8.6\%$ 。

C.3 输出频率结果不确定度评定

C.3.1 测量模型

采用标准表法。用数字多用表在规定测量条件下对被校试验装置输出频率进行测量。测量模型为：

$$\delta_f = f_x - f_0 \quad (\text{C.5})$$

式中：

δ_f ——输出频率示值误差；

f_x ——被校试验装置频率显示值；

f_0 ——数字多用表实测值。

C.3.2 合成标准不确定度计算公式

不确定度来源主要有：数字多用表测量误差、数字多用表测量分辨力、测量重复性引入的不确定度分量等。其合成标准不确定度计算公式如下：

$$u_c^2(\Delta f) = c_1^2 u^2(f_x) + c_2^2 u^2(f_0) \quad (\text{C.6})$$

式中：

$$\text{灵敏系数： } c_1 = \frac{\partial \Delta f}{\partial f_x} = 1; \quad c_2 = \frac{\partial \Delta f}{\partial f_0} = -1。$$

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 数字多用表误差引入的不确定度分量 u_1

根据数字多用表技术指标，其测量输出频率 50Hz 时，最大允许误差为：±0.1%，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则标数字多用表测量引入的相对不确定度分量：

$$u_1 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ Hz} = 0.029 \text{ Hz}$$

C.3.3.2 数字多用表分辨率引入的不确定度分量 u_2

数字多用表测量频率分辨率为 0.01Hz，按均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则数字多用表分辨力引入的相对不确定度分量： $u_2 = \frac{0.01}{2\sqrt{3}} \text{ Hz} = 0.0029 \text{ Hz}$

C.3.3.3 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_3

被校试验装置输出额定电压 100kV，频率 150Hz 条件下，使用频率计进行 10 次重复性测量，结果如下表(Hz):

表 C.5 频率重复性测量结果

测量序号	1	2	3	4	5
测量结果	149.97	149.98	149.97	149.99	149.98
测量序号	6	7	8	9	10
测量结果	149.96	149.98	149.99	149.98	149.96
平均值 $\bar{x}_n$	149.98		标准差 s	0.011	

$$\text{则测量重复性引入的相对不确定度分量: } u_3 = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{(10-1)}} = 0.011\text{Hz}$$

由于测量重复性包含了人员读数时因分辨力引入的误差，因此由分辨力引入的不确定度分量 u_2 和测量重复性引入的不确定度分量 u_3 取大者。

C.3.4 合成标准不确定度

C.3.4.1 主要不确定度汇总表

主要不确定度分量汇总见表 C.6

表 C.6 主要不确定度汇总表

不确定度来源(u_i)	不确定度分量	k_i	相对标准不确定度
数字多用表测量误差, u_1	0.05Hz	$\sqrt{3}$	0.029Hz
数字多用表测量分辨率, u_2	0.05Hz	$2\sqrt{3}$	0.0029Hz (舍去)
测量重复性, u_3	0.011	1	0.011Hz

C.3.4.2 合成不确定度计算

以上各项不确定度分量相互独立不相关，合成相对标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2} = 0.031\text{Hz}$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则输出频率扩展不确定度为： $U_{\text{rel}} = k u_c = 0.031\text{Hz} \times 2 = 0.062\text{Hz}$ 。