

ICS 27.100

F 24

备案号: 28987-2010

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 356 — 2010

局部放电测量仪校准规范

Calibration specification of partial discharge measuring devices

杭州高电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 电力试验工程服务

2010-05-24 发布

2010-10-01 实施

国家能源局

发布

目 次

| | |
|---------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 概述 | 1 |
| 4 通用技术要求 | 1 |
| 5 计量性能要求 | 2 |
| 6 校准条件 | 2 |
| 7 校准项目和校准方法 | 3 |
| 8 校准结果处理 | 6 |
| 9 校准间隔 | 7 |
| 附录 A (资料性附录) 局部放电测量仪校准记录表 | 8 |
| 附录 B (资料性附录) 测量不确定度分析 | 14 |

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2005〕739 号）的安排制定的。

局部放电测量仪用于测量电气设备局部放电信号的波形和幅值，并用视在放电量的大小表示绝缘结构中微放电的强度。局部放电测量是近代发展起来的一种对绝缘损害很小的分析绝缘缺陷的先进方法，可以避免对高电压设备进行有破坏性的交流耐压试验。由于局部放电测量是高压电力设备必不可少的绝缘试验项目，因此局部放电测量仪的准确度直接影响到电气设备的绝缘可靠程度，关系到电力系统的安全运行水平。

宽带局部放电测量仪从安装在高压试验回路的耦合装置上取得信号，通过带通滤波放大取出局放信号，用示波器或计算机显示信号波形，用峰值电压测量电路或数字处理软件分析得到信号强度。局部放电测量仪的传输特性对局放信号测量结果有决定性影响，测量结果影响到电力设备的命运。为了保证测量结果的科学性和公正性，仪器的性能必须有统一的标准，这就需要由计量机构对仪器进行校准。进行校准操作要遵循一个统一的规范，这就是校准规范，按校准规范操作才能对局放仪有一个统一的客观的评价标准。除了本规范推荐的方法外，也可采用 GB/T 7354—2003 推荐的方法。

本标准的附录 A 和附录 B 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电测量标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：国网电力科学研究院、中国电力科学研究院、安徽省电力科学研究院、江苏省电力试验研究院、扬州科能电力电子设备公司。

本标准起草人：王乐仁、章述汉、聂德鑫、罗先中、李庆峰、朱琦、包玉树、陈克勤。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条 1 号，100761）。

局部放电测量仪校准规范

1 范围

本标准规定了局部放电测量仪（简称局放仪）的通用技术要求、计量性能要求、校准方法和校准结果处理等。

本标准适用于采用脉冲电流法的，频率范围 10kHz~500kHz、频宽 40kHz~400kHz 的局放仪的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 7354—2003 局部放电测量（IEC 60270:2000，IDT）

GB/T 16927.1 高压试验技术 第一部分：一般试验要求（GB/T 16927.1—1997，IEC 60060-1:1989，EQV）

3 概述

局放仪用于测量电气设备发生局部放电时的视在放电量。采用脉冲电流法的，频率范围 10kHz~500kHz、频宽 40kHz~400kHz 的局放仪由输入衰减器、带通放大器、信号处理器、输出显示器组成。为了抑制某些频段的干扰，带通放大器可以有多个可供选择的频带。局放仪的信号处理器和输出显示器可以使用模拟量，也可以使用数字量，但都要求具有局部放电电荷量、脉冲重复率的测量显示功能。

为了把局部放电脉冲电流转换为电压信号，需要使用耦合装置。耦合装置由 RC 回路或 RLC 回路（包括脉冲变压器）组成，其作用是把局部放电电流脉冲信号转变为与局放仪带宽接近的电压信号，经测量电缆送到局放仪输入端。耦合装置应与局放仪配套使用。

为了对局放仪测得的信号进行标度，必须使用放电量校准器（简称校准器）。校准器发出的电压脉冲通过小容量的校准电容器与局部放电测量回路耦合，向测量回路注入与被测信号频谱接近的电流脉冲。

4 通用技术要求

4.1 局放仪的外观应完整，接线端子和转换开关标志清晰正确。

4.2 局放仪的示波装置应有椭圆扫描方式，示波图迹线宽度应不大于 0.3mm，应有试验电压过零点或峰值点的标志。

4.3 局放仪应有包括 $1\text{pC}\sim 1\times 10^5\text{pC}$ 的量程范围。

4.4 局放仪宜有脉冲重复率测量功能。

4.5 局放仪应有高频电缆输入接口，接口应能承受 100V 雷电冲击波的过电压试验而不影响其计量性能。

4.6 局放仪的金属外壳应有专用的接地端子，它和与金属外壳连接的电路之间，应能承受 1500V，1min 工频电压试验。绝缘电阻不小于 $5\text{M}\Omega$ 。

4.7 耦合装置的器身上应有铭牌标志，应有过电压保护电路，能耐受试品损坏产生的暂态电流，其持续通流能力符合铭牌规定。

4.8 校准器的器身上应有铭牌标志，接线端子与转换开关应有功能标志，量程标度清晰正确。

5 计量性能要求

- 5.1 局放仪在通频带内的灵敏度电压应小于 $5\mu\text{V}$ 。
- 5.2 局放仪每个通频带的上、下限截止频率与标称值的偏差不应超过 $\pm 10\%$ ，通频带内不同频率信号的增益应为中心频率增益的 $70\% \sim 110\%$ 。
- 5.3 局放仪各局放量程的刻度一致性误差以及输出指示器的非线性误差均不应超过 $\pm 10\%$ 。
- 5.4 局放仪在测量与零轴对称的两个不同极性信号时，同一量程示值之差应不超过 $\pm 10\% D$ ， D 为量程满度值。
- 5.5 局放仪在测量重复频率 $25\text{Hz} \sim 1000\text{Hz}$ 的放电脉冲时，对重复频率不同的脉冲的局放量示值之差应不超过 $\pm 10\% D$ ， D 为量程满度值。
- 5.6 校准器输出电压脉冲应近似为方波或双指数波，上升时间（从波前 10% 峰值点到波前 90% 峰值点的时间）不大于 60ns ，衰减时间（从峰值的 100% 下降到 10% 的时间）大于 $100\mu\text{s}$ 。重复频率为 $45\text{Hz} \sim 2\text{kHz}$ 中的某一值或若干个可选值。输出脉冲峰值包括 $100\text{mV} \sim 5\text{V}$ 区间。输出阻抗不大于 100Ω 。脉冲电荷示值误差不超过 $\pm 5\%$ 。连续工作时， 30min 内输出电荷信号的变化不超过 $\pm 2\%$ 。
- 5.7 耦合装置应符合 GB/T 7354—2003 要求，元件参数实际值与标称值之差不应超过 $\pm 5\%$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

校准时实验室的环境条件见表 1。

表 1 校准时环境条件

| 项 目 | 参 考 值 | 允 许 偏 差 |
|------|----------------------|-------------------------|
| 空气温度 | 23°C | $\pm 5^{\circ}\text{C}$ |
| 相对湿度 | $30\% \sim 80\%$ | — |
| 电源电压 | 220V | $\pm 5\%$ |
| 电源频率 | 50Hz | $\pm 1\%$ |
| 波形失真 | 正弦波形 | $\pm 5\%$ |
| 电磁干扰 | 不大于允许误差的 $1/10$ | — |
| 机械振动 | 不可察觉 | — |

6.2 校准用设备

6.2.1 音（高）频信号发生器

频率范围应能覆盖 $25\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$ 区间，无显著的正弦波失真。内附电压表（含量程衰减器）示值误差不得大于 $\pm 2\%$ ，频率示值误差不大于 $\pm 1\%$ 。如不能满足以上要求，则应使用外附量程衰减器和电压表。

6.2.2 标准脉冲发生装置

标准脉冲发生装置的波形为方波，脉冲重复率应包括 25Hz 和 1000Hz ，极性应能正负变换，波形上升时间（从峰值的 10% 到 90% 的时间）不大于 60ns ，持续时间（从波前 90% 峰值点到波尾 10% 峰值点的时间）大于 $100\mu\text{s}$ 。输出脉冲峰值在 $10\text{mV} \sim 10\text{V}$ 区间连续可调。输出阻抗不大于 100Ω 。仪器应有配套使用的校准电容，接入校准电容后脉冲电荷示值误差不大于 2% ，并能溯源到国家标准量值。在接有 100Ω 电阻负载时，应无可察觉的波形失真。连续工作时， 30min 内输出电荷信号的变化不超出 $\pm 1\%$ 。

6.2.3 数字示波器

频宽不小于 50MHz，信号幅值测量准确度及时间标尺准确度等级均不低于 2 级。

6.2.4 频率计

测量 25Hz~2000Hz，峰值电压 0.1V~10V 的脉冲信号时，频率示值误差不大于 ±1%。

6.2.5 脉冲峰值电压表

测量 25Hz~2000Hz，峰值电压 0.1mV~10V 的脉冲信号时，峰值测量误差不大于 ±1%。

6.2.6 绝缘电阻表

额定输出电压 500V，准确度等级不低于 10 级。

6.2.7 电容测量仪（电容电桥）

量程范围 1pF~10nF，试验频率 10kHz~300kHz，准确度不低于 1 级。

6.2.8 无感电阻箱

最大电阻 1000Ω，残余电感不大于 100μH。

6.2.9 标准电容箱

由多个电容箱提供 10pF~250μF 的电容值，电容准确度等级不低于 2 级，10kHz 下的介质损耗因数不大于 0.5%。额定电压不低于 50V。

6.2.10 工频试验电源

应符合 GB/T 16927.1 要求。可输出 0~2500V 实际正弦波电压，输出容量 200VA~1000VA。指示试验电压的高压表误差不超出 ±3%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目见表 2

表 2 校准项目

| 内 容 | 新制造 | 使用中 | 修理后 |
|---------------|-----|-----|-----|
| 外观及标志检查 | + | + | + |
| 绝缘电阻测量 | + | + | + |
| 耐压试验 | + | - | + |
| 通电试验 | + | - | + |
| 截止频率测量 | + | + | + |
| 输出指示器线性度检验 | + | - | + |
| 量程刻度一致性检验 | + | - | + |
| 脉冲极性响应不对称误差检验 | + | - | + |
| 25Hz 脉冲响应误差检验 | + | - | + |
| 测量灵敏度检验 | + | + | + |
| 校准器检验 | + | + | + |
| 耦合装置检验 | + | - | + |

注：本表中标有“+”栏为必须进行的试验项目，标有“-”栏为不作要求的试验项目。

7.2 校准方法

7.2.1 外观及标志检查

用目测法检查局放仪外观是否完好，接线端子、转换开关的标志和刻度是否清晰正确。

7.2.2 绝缘电阻测量

用 500V 绝缘电阻表测量局放仪电源插座与接地端子、电源电路与信号输入电路、信号输入电路与接地端子之间的绝缘电阻（试验时电源插座相线和零线短接，电源开关接通，信号输入电路芯线和屏蔽短接），测量值均应大于 5MΩ。

7.2.3 工频耐压试验

用工频试验电源在局放仪电源电路与接地端子、电源电路与输入电路、信号输入电路与接地端子之间依次施加 1500V 工频电压 1min（试验时电源插座相线和零线短接，电源开关接通，信号输入电路芯线和屏蔽短接）。试验中应无放电与击穿发生，试验后仪器性能不受影响。

7.2.4 通电试验

局放仪按说明书通电，预热 5min 后，调节内附示波器（若有）扫描线，使椭圆迹线宽度小于 0.3mm，并显示试验电压过零点或峰值点的标志。迹线亮度及窗口（若有）调节功能应正常。

7.2.5 截止频率检测

根据局放仪技术条件，按式（1）计算每个通频带的中心频率：

$$f_c = \sqrt{f_H \cdot f_L} \quad (1)$$

式中：

f_c ——中心频率；

f_H ——上截止频率；

f_L ——下截止频率。

连接仪器输入高频电缆，用音（高）频信号发生器注入频率为 f_c 的 0.1V~1V 电压信号，调节仪器量程开关及增益调节器使局放仪产生量程满度值 70%~90% 的输出指示，记此刻度为 U_Z 。

保持信号输入幅度及仪器增益不变，降低信号发生器输出频率，至仪器输出指示刻度为 $0.707U_Z$ ，记此值为 f_1 ，并记下此区间最大输出刻度值 U_{H1} 。继续降低信号发生器的频率使仪器的指示刻度至 $0.5U_Z$ ， $0.25U_Z$ ， $0.1U_Z$ ，最低测至 10kHz，记下各测量点对应的信号频率。保持信号输入幅度及仪器增益不变，提高信号发生器输出频率，至仪器输出指示刻度为 $0.707U_Z$ ，记此值为 f_2 ，并记下此区间最大输出刻度值 U_{H2} 。继续提高信号发生器的频率，使仪器的指示刻度至 $0.5U_Z$ ， $0.25U_Z$ ， $0.1U_Z$ ，最高测至 1MHz，记下各测量点对应的信号频率。

如果测得的 U_{H1} 不大于 $1.1U_Z$ ，测得的与 $0.5U_Z$ ， $0.25U_Z$ ， $0.1U_Z$ 对应的频率，分别大于 $0.5f_1$ ， $0.25f_1$ ， $0.1f_1$ ；测得的 U_{H2} 不大于 $1.1U_Z$ ，测得的与 $0.5U_Z$ ， $0.25U_Z$ ， $0.1U_Z$ 对应的频率，分别小于 $2f_2$ ， $4f_2$ ， $10f_2$ ；则按式（2）、式（3）计算下截止频率误差 ε_{f1} 和上截止频率误差 ε_{f2} ：

$$\varepsilon_{f1} = \frac{f_1 - f_L}{f_L} \times 100\% \quad (2)$$

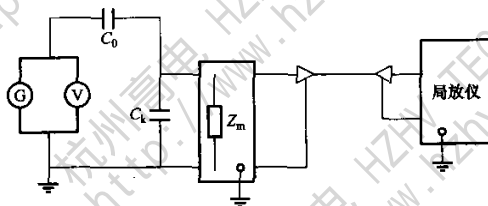
$$\varepsilon_{f2} = \frac{f_2 - f_H}{f_H} \times 100\% \quad (3)$$

对局放仪的每个通频带，均应按上述步骤逐个测量。

7.2.6 输出指示器线性度检验

推荐使用图 1 的试验电路。校准电容和耦合电容值按耦合装置参数选配。选择局放仪 30kHz~300kHz 频带（或相近频带），量程开关置 100pC 挡（或相近挡位），增益调节器置接近上限位置。标准脉冲发生装置输出 1000Hz 信号，调节信号幅度使仪器输出指示器满刻度，记下输入脉冲峰值电压 U 和指示器满度值 A ；依次降低脉冲峰值电压至 λU ， $\lambda=0.8、0.6、0.4、0.2$ ，记下输出指示器相应的示值 A_λ 。输出指示器在各测量点的非线性误差按式（4）计算：

$$\varepsilon_i = \frac{A_\lambda - \lambda A}{\lambda A} \times 100\% \quad (4)$$



G—标准脉冲信号发生装置； C_0 —校准电容；V—脉冲峰值电压表； C_k —耦合电容； Z_m —耦合装置

图1 标准脉冲发生装置器校准局放仪接线

7.2.7 量程刻度一致性检验

推荐使用图1的试验电路。选择局放仪30kHz~300kHz频带（或相近频带），量程开关置最小局放量程挡，用标准脉冲发生装置输出1000Hz脉冲信号，变动增益调节器使仪器的输出指示满度，记下脉冲峰值电压 U_1 和局放量示值 A_1 ；保持增益调节器位置不变，局放量程开关加大一档，增加脉冲峰值电压至输出指示满度，记下此电压 U_2 和局放量示值 A_2 。量程刻度一致性误差按式（5）计算：

$$\epsilon_g = \frac{\frac{A_2 - U_2}{U_2}}{\frac{A_1 - U_1}{U_1}} \times 100\% \quad (5)$$

依次选择各相邻量程并按上述方法检测量程刻度一致性误差。

7.2.8 脉冲极性响应不对称误差

推荐使用图1的试验电路。耦合电容值按耦合装置参数选配。选择局放仪30kHz~300kHz频带（或相近频带），量程开关置最小局放量程挡。标准脉冲发生装置输出1000Hz脉冲信号，变动增益调节器使仪器的输出指示满度，记下脉冲峰值电压 U_1 ；保持增益调节器位置不变，变换脉冲极性，调节脉冲峰值电压至输出指示满度，记下此电压 U_2 。脉冲极性响应不对称误差按式（6）计算：

$$\epsilon_s = \frac{U_1 - U_2}{2U_2} \times 100\% \quad (6)$$

依次选择各量程并按上述方法检测脉冲极性响应不对称误差。

7.2.9 25Hz脉冲响应误差检验

推荐使用图1的试验电路。耦合电容值按耦合装置参数选配。选择局放仪30kHz~300kHz频带（或相近频带），量程开关置100pC挡（或相近挡位），标准脉冲发生装置输出峰值电压0.1V左右的1000Hz脉冲信号，变动增益调节器使输出指示器满度，记下指示器示值 A ；然后保持仪器增益不变，降低脉冲频率至25Hz并保持脉冲峰值不变，记下指示器示值 B 。按式（7）计算仪器25Hz脉冲响应误差：

$$\epsilon_d = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad (7)$$

7.2.10 测量灵敏度检验

选择局放仪可用的最宽频带，量程开关置最小局放挡，增益调节器置中间位置，连接与仪器配用的衰减系数为1000的高频输入电缆，用音（高）频信号发生器输入等于中心频率 f_c 的正弦信号，使输出指示有明显示值。逐渐变动增益调节器至上限位置，同时降低信号幅值，至输出指示刚好能响应信号的增减（此时信噪比大致为2），取此时输入信号电压（有效值）为仪器灵敏度。

7.2.11 校准器检验

- 外观检查：校准器的外观应完好，标志清晰。
- 波形和频率检验：将数字示波器探头接到校准方波电压输出端（必要时打开机壳），接通校准器电源，用示波器记录一个完整的脉冲波形，用示波器时间标尺按5.6的规定测出上升时间和衰减时间。

校准器有多点频率输出时，应逐一检验。

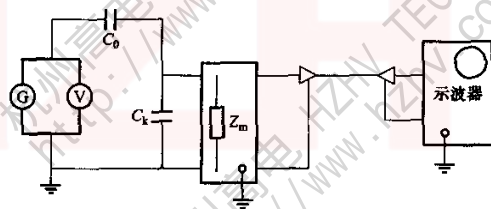
- c) 峰值电压检验：对应校准器各电压输出档，用峰值电压表或数字示波器测量输出的方波脉冲电压峰值。
- d) 校准电容检验：用电容测量仪（电容电桥）测量各校准电容的电容量。
- e) 内阻抗测量：分别置输出电压 1V 和 5V 挡，将校准器脉冲电压输出接到示波器，调节到能显示一个稳定的脉冲波形，记下此时波形幅值。将 1000Ω 无感电阻箱接到校准器脉冲电压输出端，调节电阻值使示波器显示的波形幅值降低到原来的 1/2，观察波形失真情况并记下电阻箱示值。有多个频率选择时，应选择接近并不高于 1kHz 的频率进行检验。若波形有明显失真，应作出记录并写入校准结果。

注：对于没有校准方波电压输出端子又无法打开机壳的校准器，可参照 GB/T 7354—2003 附录 A 进行校准。

7.2.12 耦合装置检验

推荐使用图 2 的试验电路，用标准脉冲发生装置输出幅值为 5V 的 1000Hz 脉冲信号，用数字示波器测量耦合装置的输出。调节耦合电容箱示值等于被检耦合装置规定的调谐电容值最大值，调节示波器增益使显示波形接近满屏幕的 80%。对于 RC 型耦合装置，测量信号波形前后沿 50% 幅值之间的时间 t_a ，计算衰减系数 $\xi = \frac{0.35ms}{t_a}$ 。对于 RLC 型耦合装置，测量振荡信号前两个波峰的幅值比 η 和时间差 $t_2 - t_1$ ，按式 (8) 计算衰减系数：

$$\xi = \frac{0.5ms \ln \eta}{t_2 - t_1} \quad (8)$$



G—标准脉冲信号发生装置； C_0 —校准电容；V—脉冲峰值电压表； C_1 —耦合电容； Z_m —耦合装置

图 2 标准脉冲发生装置器校准耦合装置接线

8 校准结果处理

8.1 校准数据处理

校准数据填入局部放电测量仪校准记录表（参见附录 A），并计算出平均值。

8.2 校准结果

校准结果应记录在校准证书或校准报告上。校准证书或报告至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- b) 承担校准任务的实验室名称和地址；
- c) 校准地点；
- 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) 申请校准单位名称及地址；
- f) 被校局放仪的主要技术参数及编号；
- g) 校准日期；
- h) 校准依据的技术规范；
- i) 校准用标准仪器设备的准确度、证书号、检定（或校准）单位和有效期限；

- j) 校准环境的描述；
- k) 按第 7 章的要求给出校准结果及测量不确定度（测量不确定度的评估参见附录 B）；
- l) 校准证书或校准报告签发人的签名及日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经承担校准任务的实验室批准，不得部分复制证书或报告的声明。

9 校准间隔

新制造和修理后的局放仪，校准间隔为一年。使用中的局放仪，如果连续两年校准的数据在统计误差之内，校准间隔可以延长到两年。

附 录 A
(资料性附录)

局部放电测量仪校准记录表

A.1 外观及标志检查

结论:

A.2 绝缘电阻测量 (500V 兆欧表)

电源对外壳及地 _____

电源对输入电路 _____

输入电路对外壳及地 _____

结论:

A.3 工频耐压试验 (1500V 交流电压)

电源对外壳及地 _____

电源对输入电路 _____

输入电路对外壳及地 _____

结论:

A.4 通电试验

结论:

A.5 校准记录表

校准记录表见表 A.1。

表 A.1 局部放电测量仪校准记录表

| 项目: 截止频率检测 | | | | |
|------------|--------------|-------------------|--------------|-------|
| 标准仪器名称 | | | | |
| 型 号 | | | | |
| 编 号 | | | | |
| 证 书 号 | | | | |
| 检定 (校准机构) | | | | |
| 有 效 期 | | | | |
| 频 带 序 号 | 1 | 中心频率 f_c kHz | | U_z |
| 标称截止频率 | f_L kHz | | f_H kHz | |

表 A.1 (续)

| 项目：截止频率检测 | | | | | | | | |
|---------------|-----------------|-----|-------------------|-----|-----------------|-----|-------|-----|
| 最大输出 | U_{H1} | | | | U_{H2} | | | |
| U/U_Z | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 |
| f kHz | | | | | | | | |
| 截止频率误差 | ϵ_{f1} | | | | ϵ_{f2} | | | |
| 频带序号 | 2 | | 中心频率 f_c kHz | | | | U_Z | |
| 标称截止频率 | f_L kHz | | | | f_H kHz | | | |
| 最大输出 | U_{H1} | | | | U_{H2} | | | |
| U/U_Z | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 |
| f kHz | | | | | | | | |
| 截止频率误差 | ϵ_{f1} | | | | ϵ_{f2} | | | |
| 频带序号 | 3 | | 中心频率 f_c kHz | | | | U_Z | |
| 标称截止频率 | f_L kHz | | | | f_H kHz | | | |
| 最大输出 | U_{H1} | | | | U_{H2} | | | |
| U/U_Z | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 |
| f kHz | | | | | | | | |
| 截止频率误差 | ϵ_{f1} | | | | ϵ_{f2} | | | |
| 频带序号 | 4 | | 中心频率 f_c kHz | | | | U_Z | |
| 标称截止频率 | f_L kHz | | | | f_H kHz | | | |
| 最大输出 | U_{H1} | | | | U_{H2} | | | |
| U/U_Z | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 | 0.707 | 0.5 | 0.25 | 0.1 |
| f kHz | | | | | | | | |
| 截止频率误差 | ϵ_{f1} | | | | ϵ_{f2} | | | |
| 项目：输出指示器线性度检验 | | | | | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | | | | | |
| 型 号 | | | | | | | | |
| 编 号 | | | | | | | | |
| 证 书 号 | | | | | | | | |
| 检定 (校准机构) | | | | | | | | |
| 有 效 期 | | | | | | | | |

表 A.1 (续)

| 项目：输出指示器线性度检验 | | | | | |
|---------------------------------|--|-------|-------|-------|-----|
| 频带序号 | 量程开关置位 | | | | |
| 输入电压比 (λ) | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 |
| 指示器示值 (A_i) | | | | | |
| 非线性度 ε_i | $\varepsilon_i = \frac{A_i - \lambda A}{\lambda A} \times 100\%$ $A = A_{1.0}$ | | | | |
| | | | | | |
| 项目：量程刻度一致性检验 | | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | | |
| 型号 | | | | | |
| 编号 | | | | | |
| 证书号 | | | | | |
| 检定(校准机构) | | | | | |
| 有效期 | | | | | |
| 频带/试验序号 | | | | | |
| 量程开关置位 | | | | | |
| 输入电压 V | U_1 | U_2 | U_1 | U_2 | |
| 输出示值 | A_1 | A_2 | A_1 | A_2 | |
| 一致性误差 ε_g | | | | | |
| 频带/试验序号 | | | | | |
| 量程开关置位 | | | | | |
| 输入电压 V | U_1 | U_2 | U_1 | U_2 | |
| 输出示值 | A_1 | A_2 | A_1 | A_2 | |
| 一致性误差 ε_g | | | | | |
| 项目：脉冲极性响应不对称误差检验 | | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | | |
| 型号 | | | | | |
| 编号 | | | | | |
| 证书号 | | | | | |
| 检定(校准机构) | | | | | |
| 有效期 | | | | | |
| 频带 | | | | | |
| 量程开关置位 | | | | | |
| 输入电压 V | U_1 | U_2 | U_1 | U_2 | |
| 脉冲极性响应 不对称误差 ε_s | | | | | |

表 A.1 (续)

| 项目：脉冲极性响应不对称误差检验 | | | | |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|
| 量程开关置位 | | | | |
| 输入电压 V | U_1 | U_2 | U_1 | U_2 |
| 脉冲极性响应 不对称误差 ϵ_s | | | | |
| 项目：25Hz 脉冲响应误差检验 | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | |
| 型 号 | | | | |
| 编 号 | | | | |
| 证 书 号 | | | | |
| 检定(校准机构) | | | | |
| 有 效 期 | | | | |
| 频 带 | 量程开关置位 | | | |
| 测量序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 输入电压 A | | | | |
| 输出指示 B | | | | |
| 响应误差 ϵ_s | | | | |
| 项目：测量灵敏度检验 | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | |
| 型 号 | | | | |
| 编 号 | | | | |
| 证 书 号 | | | | |
| 检定(校准机构) | | | | |
| 有 效 期 | | | | |
| 频 带 | 量程开关置位 | | | |
| 测 量 序 号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 输入电压 Δu | | | | |
| 项目：校准器检验 | | | | |
| 标准仪器名称 | | | | |
| 型 号 | | | | |
| 编 号 | | | | |
| 证 书 号 | | | | |
| 检定(校准机构) | | | | |
| 有 效 期 | | | | |

表 A.1 (续)

| 脉冲波形及频率试验 | | | | | | | | |
|------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|
| 试验序号 | 1 | | 2 | | 3 | | 平均值 | |
| 上升时间 | | | | | | | | |
| 衰减时间 | | | | | | | | |
| 重复频率 | | | | | | | | |
| 峰值电压试验 | | | | | | | | |
| 试验序号/档位 | 1 | | 2 | | 3 | | 平均值 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 校准电容测量 | | | | | | | | |
| 试验序号 | 1 | | 2 | | 3 | | 平均值 | |
| | C | D | C | D | C | D | C | D |
| 10pF | | | | | | | | |
| 100pF | | | | | | | | |
| 1000pF | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 内阻抗测量 | | | | | | | | |
| 输出电压 | 1 | | 2 | | 3 | | 平均值 | |
| 1V | | | | | | | | |
| 2V | | | | | | | | |
| 稳定性试验 | | | | | | | | |
| 开始输出电压 | U_1 | | | | | | $\eta = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times 100\%$ | |
| 0.5h 后输出电压 | U_2 | | | | | | | |
| 电压稳定性 | η | | | | | | | |
| 电容开始值 | C_1 | | | | | | $\xi = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100\%$ | |
| 0.5h 后电容值 | C_2 | | | | | | | |
| 电容稳定性 | ξ | | | | | | | |

表 A.1 (续)

| 项目：耦合装置检验 | | | | |
|-----------|---|---|---|-----|
| 标准仪器名称 | | | | |
| 型 号 | | | | |
| 编 号 | | | | |
| 证 书 号 | | | | |
| 检定（校准机构） | | | | |
| 有 效 期 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |
| 试品编号 | | | | |
| 试验序号 | 1 | 2 | 3 | 平均值 |
| 衰减系数 | | | | |

附录 B

(资料性附录)

测量不确定度分析

按本规范进行的各项校准操作, 所得结果的测量不确定度与使用的仪器及设备的准确度有关。在仪器设备固定使用时, 测量不确定度为定值, 不需要重复分析。本附录的作用是提供建标时的不确定度分析。在用统计方法得到标准装置的不确定度后, 校准过程的测量不确定度采用测量列的不确定度。

B.1 截止频率校准不确定度

不确定度分量包括以下内容:

- 频率测量误差。按频率示值误差 δ_f 考虑, 均匀分布, $u_1 = \delta_f / 1.7$, 认为 δ_f 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_1 = 50$ 。
- 测量的随机误差。不论输出示值是数字量还是模拟指示, 在测量某个截止频率的操作中随机读取 6 次示值, 取统计标准差作为不确定度分量 s_2 , 自由度 $\nu_2 = 5$ 。
- 输出指示线性度误差。取 $\lambda = 0.6$ 时的线性度误差 ε_l 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_3 = \varepsilon_l / 1.7$, 认为 ε_l 有 70% 的可靠性, 自由度 $\nu_3 = 5$ 。
- 截止频率测量不确定度 u_f 按式 (B.1) 综合:

$$u_f = \sqrt{u_1^2 + s_2^2 + u_3^2} \quad (\text{B.1})$$

- 截止频率测量不确定度的自由度按式 (B.2) 综合:

$$\nu_f = \frac{u_f^4}{\frac{u_1^4}{50} + \frac{s_2^4}{5} + \frac{u_3^4}{5}} \quad (\text{B.2})$$

B.2 输出指示器线性度测量不确定度

- 测量的随机误差。不论输出示值是数字量还是模拟指示, 在输入电压设定在 $\lambda = 0.2$ 的操作中进行 6 次读数并计算非线性误差, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
- 电压测量误差。取脉冲峰值电压表的测量误差 δ_u 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_u / 1.7$, 认为 δ_u 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
- 输出指示器线性度测量不确定度 u_l 按式 (B.3) 综合:

$$u_l = \sqrt{s_1^2 + 2u_2^2} \quad (\text{B.3})$$

- 输出指示器线性度测量不确定度的自由度按式 (B.4) 综合:

$$\nu_l = \frac{u_l^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{25}} \quad (\text{B.4})$$

B.3 量程刻度一致性测量不确定度

- 测量的随机误差。选择最小的两个局放量程进行 6 次测量操作并计算量程刻度不一致误差, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
- 电压测量误差。取脉冲峰值电压表的测量误差 δ_u 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_u / 1.7$, 认为 δ_u 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。

- c) 量程刻度一致性测量不确定度 u_g 按式 (B.5) 综合:

$$u_g = \sqrt{s_1^2 + 2u_2^2} \quad (\text{B.5})$$

- d) 量程刻度一致性测量不确定度的自由度按式 (B.6) 综合:

$$\nu_g = \frac{u_g^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{25}} \quad (\text{B.6})$$

B.4 脉冲极性响应不对称测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算脉冲极性响应不对称误差, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 电压测量误差。取脉冲峰值电压表的测量误差 δ_0 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_0 / 1.7$, 认为 δ_0 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 脉冲极性响应不对称测量不确定度 u_s 按式 (B.7) 综合:

$$u_s = \sqrt{s_1^2 + 2u_2^2} \quad (\text{B.7})$$

- d) 量程刻度一致性测量不确定度的自由度按式 (B.8) 综合:

$$\nu_s = \frac{u_s^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{25}} \quad (\text{B.8})$$

B.5 25Hz 脉冲响应测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算 25Hz 脉冲响应误差, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 电压测量误差。取脉冲峰值电压表的测量误差 δ_0 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_0 / 1.7$, 认为 δ_0 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 输出指示器线性度误差。取 B2 校准操作得到的输出指示器线性度误差 u_1 作为不确定度分量, 自由度为 ν_1 。
 d) 25Hz 脉冲响应测量不确定度 u_d 按式 (B.9) 综合:

$$u_d = \sqrt{s_1^2 + u_2^2 + u_1^2} \quad (\text{B.9})$$

- e) 25Hz 脉冲响应测量不确定度的自由度按式 (B.10) 综合:

$$\nu_d = \frac{u_d^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50} + \frac{u_1^4}{\nu_1}} \quad (\text{B.10})$$

B.6 灵敏度测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算脉冲极性响应不对称误差, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 电压测量误差。取音 (高) 频信号发生器输出电压示值误差 δ_0 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_0 / 1.7$, 认为 δ_0 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 灵敏度测量不确定度 u_Δ 按式 (B.11) 综合:

$$u_\Delta = \sqrt{s_1^2 + u_2^2} \quad (\text{B.11})$$

- d) 灵敏度测量不确定度的自由度按式 (B.12) 综合:

$$v_{\Delta} = \frac{u_{\delta}^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50}} \quad (\text{B.12})$$

B.7 校准器波形时间参数测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算稳定性, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 时间测量误差。取数字示波器的测量误差 δ 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta/1.7$, 认为 δ 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 波形时间参数测量不确定度按式 (B.13) 综合:

$$u_b = \sqrt{s_1^2 + 2u_2^2} \quad (\text{B.13})$$

- d) 波形时间参数测量不确定度的自由度按式 (B.14) 综合:

$$v_b = \frac{u_b^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{25}} \quad (\text{B.14})$$

B.8 校准器峰值电压测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算稳定性, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 电压测量误差。取峰值电压表或数字示波器的测量误差 δ_u 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta_u/1.7$, 认为 δ_u 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 峰值电压测量不确定度 u_j 按式 (B.15) 综合:

$$u_j = \sqrt{s_1^2 + u_2^2} \quad (\text{B.15})$$

- d) 波形时间参数测量不确定度的自由度按式 (B.16) 综合:

$$v_j = \frac{u_j^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50}} \quad (\text{B.16})$$

B.9 校准电容测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算稳定性, 取统计标准差作为不确定度分量 s_1 , 自由度 $\nu_1 = 5$ 。
 b) 电容值测量误差。取电容表或电容电桥的测量误差 δ 作为不确定度分量, 均匀分布, $u_2 = \delta/1.7$, 认为 δ 有 90% 的可靠性, 自由度 $\nu_2 = 50$ 。
 c) 电容值测量不确定度 u_c 按式 (B.17) 综合:

$$u_c = \sqrt{s_1^2 + u_2^2} \quad (\text{B.17})$$

- d) 电容值测量不确定度的自由度按式 (B.18) 综合:

$$v_c = \frac{u_c^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50}} \quad (\text{B.18})$$

B.10 校准器重复频率测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作，取统计标准差作为不确定度分量 s_1 ，自由度 $\nu_1 = 5$ 。
- b) 频率测量误差。取频率计的测量误差 δ 作为不确定度分量，均匀分布， $u_2 = \delta/1.7$ ，认为 δ 有 90% 的可靠性，自由度 $\nu_2 = 50$ 。
- c) 重复频率测量不确定度 u_v 按式 (B.19) 综合：

$$u_v = \sqrt{s_1^2 + u_2^2} \quad (\text{B.19})$$

- d) 重复频率测量不确定度的自由度按式 (B.20) 综合：

$$\nu_v = \frac{u_v^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50}} \quad (\text{B.20})$$

B.11 校准器内阻测量不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算稳定性，取统计标准差作为不确定度分量 s_1 ，自由度 $\nu_1 = 5$ 。
- b) 电阻箱误差。取电阻箱的示值误差 δ 作为不确定度分量，均匀分布， $u_2 = \delta/1.7$ ，认为 δ 有 90% 的可靠性，自由度 $\nu_2 = 50$ 。
- c) 内阻测量不确定度 u_r 按式 (B.21) 综合：

$$u_r = \sqrt{s_1^2 + u_2^2} \quad (\text{B.21})$$

- d) 内阻测量不确定度的自由度按式 (B.22) 综合：

$$\nu_r = \frac{u_r^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{50}} \quad (\text{B.22})$$

B.12 校准器稳定性检验的不确定度

按 B.8 方法进行。

B.13 耦合装置衰减系数校准不确定度

- a) 测量的随机误差。进行 6 次测量操作并计算稳定性，取统计标准差作为不确定度分量 s_1 ，自由度 $\nu_1 = 5$ 。
- b) 时间测量误差。取数字示波器的时间测量误差 δ 作为不确定度分量，均匀分布， $u_2 = \delta/1.7$ ，认为 δ 有 90% 的可靠性，自由度 $\nu_2 = 50$ 。
- c) 幅值测量误差。取数字示波器的幅值测量误差 ε 作为不确定度分量，均匀分布， $u_3 = \varepsilon/1.7$ ，认为 ε 有 90% 的可靠性，自由度 $\nu_3 = 50$ 。
- d) 衰减系数测量不确定度 u_ξ 按式 (B.23) 综合：

$$u_\xi = \sqrt{s_1^2 + 2u_2^2 + 2u_3^2} \quad (\text{B.23})$$

- e) 衰减系数测量不确定度的自由度按式 (B.24) 综合：

$$\nu_\xi = \frac{u_\xi^4}{\frac{s_1^4}{5} + \frac{u_2^4}{25} + \frac{u_3^4}{25}} \quad (\text{B.24})$$