

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─2022

数字锁相放大器校准规范

Calibration Specification for Digital Lock-In Amplifiers

（报批稿）

××××-××-××发布 ××××-××-××实施

**中华人民共和国工业和信息化部** 发 布

数字锁相放大器校准规范

Calibration Specification for

Digital Lock-In Amplifiers

**JJF(电子) XXXX**─**2022**

归 口 单 位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：中国电子科技集团公司第二十研究所

中电科瑞测（西安）科技服务有限公司

参加起草单位：中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所

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：

陆 强（中国电子科技集团公司第二十研究所）

王翼航（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

刘 凯（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

参加起草人：

马 毅（中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所）

史鸿杰（中电科瑞测（西安）科技服务有限公司）

王 丽（中国电子科技集团公司第二十研究所）

范晓辉（中国电子科技集团公司第二十研究所）

目录

[引言 II](#_Toc105840419)

[1 范围 1](#_Toc105840420)

[2 术语和计量单位 1](#_Toc105840421)

[2.1 动态储备 1](#_Toc105840422)

[3 概述 1](#_Toc105840423)

[4 计量特性 1](#_Toc105840424)

[4.1 频率示值 1](#_Toc105840425)

[4.2 幅度示值 1](#_Toc105840426)

[4.3 相位示值 1](#_Toc105840427)

[4.4 输入阻抗 2](#_Toc105840428)

[4.5 内部参考源 2](#_Toc105840429)

[4.6 时间常数 2](#_Toc105840430)

[4.7 滤波器陡降 2](#_Toc105840431)

[4.8 共模抑制 2](#_Toc105840432)

[4.9 输入噪声 2](#_Toc105840433)

[4.10 输出直流电压 2](#_Toc105840434)

[4.11 直流电压示值 2](#_Toc105840435)

[4.12 动态储备 2](#_Toc105840436)

[5 校准条件 2](#_Toc105840437)

[5.1 环境条件 2](#_Toc105840438)

[5.2 校准用设备（或测量标准及其他设备） 2](#_Toc105840439)

[6 校准项目和校准方法 4](#_Toc105840440)

[6.1 校准项目 4](#_Toc105840441)

[6.2 校准方法 4](#_Toc105840442)

[7 校准结果表达 12](#_Toc105840443)

[8 复校时间间隔 13](#_Toc105840444)

[附录A 原始记录格式 14](#_Toc105840445)

[附录B 校准证书（内页）格式 17](#_Toc105840446)

[附录C 测量不确定度评定示例 20](#_Toc105840447)

引言

本规范依据JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范为首次发布。

数字锁相放大器校准规范

# 1 范围

本规范适用于工作频率范围为600MHz以下的数字锁相放大器的校准，其他频率范围的数字锁相放大器可参照执行。

# 2 术语和计量单位

2.1 动态储备 Dynamic Reserve

动态储备表征数字锁相放大器在多么强的噪声干扰下仍能提取信号。锁相放大器出现过载时，用允许输入最大不相干信号的电平与满刻度输入的相干信号电平（标称量程）的比值的对数形式表示，单位：dB。

# 3 概述

数字锁相放大器以相干检测技术为基础，利用输入信号频率和参考信号频率相关而与噪声信号频率不相关，可以从噪声中得到所测量的有用信号，广泛应用于微弱信号检测、温度检测、光电探测、生物信号探测、地质探测、量子光学、偏振测量等领域。数字锁相放大器包括信号输入通道、参考输入通道、数字相敏检波器、数字低通滤波器、输出微处理器和微控制器等。它和一般的带通放大器不同，输出信号并不是输入信号的放大，而是把交流放大并变成相应的直流信号。



图1 数字锁相放大器组成框图

# 4 计量特性

4.1 频率示值

测量范围：1mHz～600MHz，最大允许误差：±0.1%。

4.2 幅度示值

电压测量范围：2nV～1V（1mHz～600MHz），最大允许误差：±1%。

电流测量范围：10nA～1（1mHz～600MHz），最大允许误差：±1%。

4.3 相位示值

测量范围：0°～360°（1mHz～600MHz），最大允许误差：±0.01°。

4.4 输入阻抗

电压通道：50Ω、1MΩ、10MΩ+25pF、100MΩ+25pF，最大允许误差：±1% ；

电流通道：1kΩ，最大允许误差：±1%。

注：此处列举了部分常见阻抗值，不同仪器阻抗值不同，具体值以仪器说明书为准。

4.5 内部参考源

频率范围：1mHz～600MHz（具体范围以说明书为准），最大允许误差：±0.1%；

幅度输出有效值：4mV～5V（具体范围以说明书为准），最大允许误差:±0.1%。

4.6 时间常数

范围：1～30000s，最大允许误差：±0.1%。

4.7 滤波器陡降

6 dB/oct、12 dB/oct、18 dB/oct、24dB/oct。

4.8 共模抑制

≥100dB@10kHz。

4.9 输入噪声

≤ @1kHz。

4.10 输出直流电压

范围: ±（10mV～10V），最大允许误差：±(1mV+0.2%FS)。

4.11 直流电压示值

测量范围: ±（10mV～10V），最大允许误差：±(1mV+0.2%FS)。

4.12 动态储备

动态储备：不小于100dB@最小量程。

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。

# 5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度：23℃±5℃；

5.1.2 相对湿度：20%~80%；

5.1.3 电源电压及频率：220V±11V，50Hz±1Hz；

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 校准用设备（或测量标准及其他设备）

校准所用标准及设备应经过计量技术机构检定（或校准），校准时由标准器、辅助设备及环境条件引起的扩展不确定度（*k*=2）应不大于被校数字锁相放大器由最大允许误差绝对值引起的扩展不确定度的1/3。标准器的测量范围应能覆盖被校数字锁相放大器的测量范围。

5.2.1 信号发生器（2台）

频率范围: 1mHz～600MHz,最大允许误差:±0.001%；

幅度范围：10mV～1V，最大允许误差：±0.1%。

5.2.2 频率计

频率测量范围: 1mHz～600MHz，最大允许误差:±0.01%。

5.2.3 相位标准器

相位输出：0°～360°，最大允许误差:±0.003°。

频率范围：1kHz

5.2.4 LCR测量仪

电阻测量范围：1mΩ～100MΩ，最大允许误差：±0.3%。

5.2.5 示波器

上升时间：优于300ns。

5.2.6 交流电压表

频率范围：10Hz～1MHz；

测量范围：10mV～10V，最大允许误差:±0.02%。

5.2.7 功率计

频率范围：1MHz～600MHz；

功率测量范围：-35dBm～13dBm，测量不确定度:0.15dB～0.3dB。

5.2.8 直流电压表

测量范围：±（10mV～10V），最大允许误差:±0.02%。

5.2.9 标准电压源

直流电压输出：±(10mV～10V)，最大允许误差：10μV+0.1%FS。

5.2.10 50Ω终端负载

最大允许误差：±0.1%。

5.2.11 可调衰减器：

0～120dB，频率范围：1mHz～600MHz，最大允许误差：±0.2dB。

5.2.12 串联电阻

电阻值：1MΩ，100MΩ，最大允许误差：±0.1%。

# 6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

数字锁相放大器校准项目见表1。

表1 数字锁相放大器校准项目一览表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 编号 | 项目名称 | 校准方法的条款号 |
| 1 | 外观及工作正常性检查 | 6.2.1 |
| 2 | 频率示值误差 | 6.2.2 |
| 3 | 幅度示值误差 | 6.2.3 |
| 4 | 相位示值误差 | 6.2.4 |
| 5 | 输入阻抗 | 6.2.5 |
| 6 | 内部参考源 | 6.2.6 |
| 7 | 时间常数 | 6.2.7 |
| 8 | 滤波器陡降 | 6.2.8 |
| 9 | 共模抑制 | 6.2.9 |
| 10 | 输入噪声 | 6.2.10 |
| 11 | 输出直流电压 | 6.2.11 |
| 12 | 直流电压示值误差 | 6.2.12 |
| 13 | 动态储备 | 6.2.13 |

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

6.2.1.1 数字锁相放大器应有明晰的型号、生产编号、制造厂商，送校时应附有使用说明书及全部配套附件。

6.2.1.2 数字锁相放大器结构应完整并无影响正常工作及读数的机械损伤，输入输出插座应牢靠，开关、按键及旋钮应能正常工作并有明确标志。

6.2.2 频率示值误差

6.2.2.1频率示值误差采用直接测量法，按图2连接仪器。

6.2.2.2 设置信号发生器幅度为1Vrms，设置数字锁相放大器为外参考模式，正弦波模式，设置显示参考频率示值。

6.2.2.3覆盖数字锁相放大器频率范围高、中、低，均匀选取不少于5个频率点，依次设置信号发生器输出相应频率值，分别读取数字锁相放大器频率示值，并将测量结果记录于附录A表A.1中。

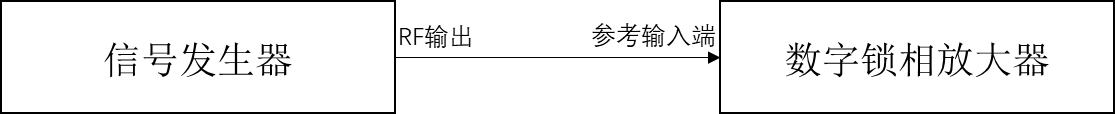


图2 频率示值误差校准连接框图

6.2.2.4 频率示值的相对误差按公式（1）计算。

（1）

式中：——频率示值相对误差；

——数字锁相放大器参考频率示值，单位Hz；

——信号发生器输出频率，单位Hz。

6.2.3 幅度示值误差

6.2.3.1电压示值误差

6.2.3.1.1 按图3连接仪器。

6.2.3.1.2设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，正弦波模式，电压单端输入模式，量程为1V，时间常数为适当值（通常设为1s）。

6.2.3.1.3 设置信号发生器频率为1kHz，设置适当的幅度和衰减器衰减量，使放大器输入幅度等于量程或大于50%量程的某值，（如1V和0dB）。

6.2.3.1.4 打开信号发生器输出，待数字锁相放大器读数稳定后，读取幅度测量值，并将测量结果记录于附录A表A.2.1中。

6.2.3.1.5覆盖数字锁相放大器频率范围高、中、低，选取不少于5个频率点，重复6.2.3.1.4步骤，记录不同频率电压示值测量结果。

6.2.3.1.6 依次设置数字锁相放大器不同量程，设置信号发生器幅度和衰减器，复6.2.3.1.3～6.2.3.1.4步骤，记录不同量程电压示值测量结果。



图3 电压示值误差校准连接框图

6.2.3.1.7 电压示值的相对误差按公式（2）计算。

（2）

式中：——电压示值相对误差；

——数字锁相放大器电压示值，单位V；

——信号发生器输出电压值，单位V；

——电压衰减倍数， 。

6.2.3.2 电流示值误差（有电流输入模式）

6.2.3.2.1 按图4连接仪器。

6.2.3.2.2设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，正弦波模式，电流输入模式，量程为1，时间常数为适当值（通常设为1s）。

6.2.3.2.3设置信号发生器幅度值为1V，频率为1kHz，串联电阻选用1MΩ。

6.2.3.2.4 信号发生器输出信号，待数字锁相放大器读数稳定后，读取电流测量值，并将测量结果记录于附录A表A.2.2中。

6.2.3.2.5 覆盖锁相放大器频率范围高、中、低，选取不少于5个频率点，重复6.2.3.2.4步骤，记录不同频率电流示值测量结果。

6.2.3.2.6 依次设置数字锁相放大器不同电流量程，设置适当的信号发生器幅度和串联电阻值，重复6.2.3.2.4步骤，记录不同量程电流示值测量结果。



图4 电流示值误差校准连接框图

6.2.3.2.7 电流示值的相对误差按公式（3）计算。

（3）

式中：——电流示值相对误差；

——数字锁相放大器电流示值，单位A；

——信号发生器输出电压值，单位V；

——串联电阻标称值，单位Ω。

6.2.4 相位示值误差

6.2.4.1按图5连接仪器，使用等长线缆将相位标准器与数字锁相放大器连接。

6.2.4.2设置数字锁相放大器为外参考模式，直流耦合，正弦波模式，显示相位示值。设置数字锁相放大器量程为适当值（通常为1V），设置滤波器时间常数为适当值（通常设为1s）。

6.2.4.3 设置相位标准器幅度值等于量程或大于50%量程的某值，频率为1kHz。

6.2.4.4 设置相位标准器相位输出值，依次设置为0°，45°，90°，180°，270°，待数字锁相放大器读数稳定后，读取相位测量值，并将测量结果记录于附录A表A.3中。

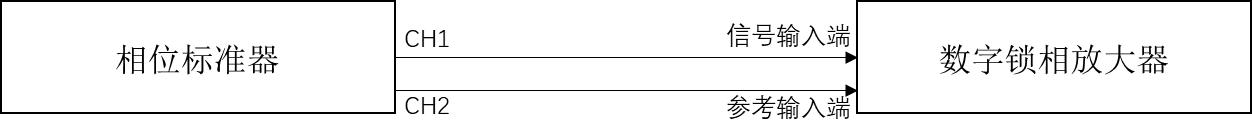


图5 相位示值误差校准连接框图

6.2.4.5 相位示值的相对误差按公式（4）计算。

（4）

式中：——相位示值相对误差；

——数字锁相放大器相位示值，单位°；

——相位标准器相位标准值，单位°。

6.2.5 输入阻抗

6.2.5.1 采用直接测量法，对LCR测量仪进行自校准，按图6连接仪器。

6.2.5.2 依次设置数字锁相放大器输入阻抗，设置LCR测量仪测试频率为1kHz，读取阻抗测量值，并将测量结果记录于附表A表A.4中。



图6 输入阻抗校准连接框图

6.2.5.3 输入阻抗的相对误差按公式（5）计算。

（5）

式中：——输入阻抗相对误差；

——数字锁相放大器输入阻抗设定值，单位Ω；

——LCR测量仪阻抗测量值，单位Ω。

6.2.6 内部参考源

6.2.6.1 内部参考源频率

6.2.6.1.1 按图7连接仪器。

6.2.6.1.2复位数字锁相放大器，设置数字锁相放大器内部参考源幅度为1V，偏置为0V；覆盖数字锁相放大器频率范围，均匀选取不少于5个频率点，设置内部参考源输出频率值，读取频率计频率测量值，并将测量结果记录于附录A表A.5中。

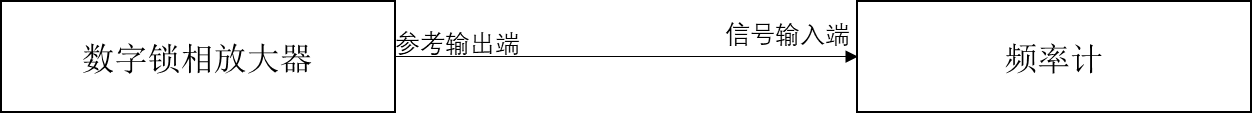


图7 内部参考频率校准连接框图

6.2.6.2 内部参考源幅度

6.2.6.2.1 按图8（a）或图8（b）连接仪器。

6.2.6.2.2复位数字锁相放大器，覆盖数字锁相放大器频率范围，均匀选取不少于5个频率点，幅度值覆盖放大器参考源幅度量程高、中、低，依次设置内部参考源输出频率和幅度值。

6.2.6.2.3 频率低于1MHz时，读取交流电压表幅度测量值，并将测量结果记录于附录A表A.6中。

6.2.6.2.4 频率高于1MHz时，读取功率计测量值，按照公式（6）计算电压测量值，并将测量结果记录于附录A表A.6中。

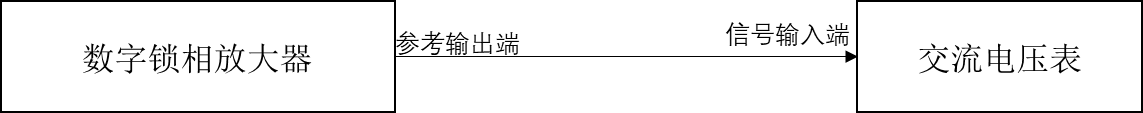


图8（a） 1MHz以下内部参考源幅度校准连接框图

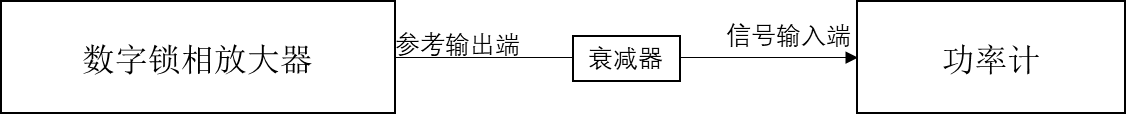


图8（b） 1MHz以上内部参考源幅度校准连接框图

（6）

式中：——电压测量值，单位V；

——功率计功率测量值，单位dBm；

——衰减器衰减值，单位dB，当不连接衰减器时，=0 dB。

6.2.7 时间常数

6.2.7.1按图9连接仪器，使用等长线缆将相位标准器与数字锁相放大器连接；数字锁相放大器输出端与示波器连接。

6.2.7.2设置数字锁相放大器为外参考模式，直流耦合，正弦波模式，量程为1V，显示为X测量值，滤波器阶数为1阶（或陡降为6dB/oct），覆盖时间常数高、中、低范围，设置时间常数值。

6.2.7.3 设置相位标准器频率为1kHz，幅度为1V（或0.5V～1V的某值）。

6.2.7.4 待数字锁相放大器读数稳定，设置相位标准器输出相位值为-90°，此时数字锁相放大器输出为0。

6.2.7.5 设置数字锁相放大器相位+90°,设置数字示波器的触发电平，单次触发模式，选择上升时间测量功能。待抓取到波形后，读取上升时间测量值，根据公式（7）计算时间常数，并将测量结果记录于附录A表A.7中。



图9 时间常数校准连接框图

（7）

式中：——时间常数，单位s；

—— 示波器上升时间测量值，单位s。

6.2.8 滤波器陡降

6.2.8.1 按图9连接仪器。

6.2.8.2设置数字锁相放大器为外参考模式，直流耦合，正弦波模式，量程为1V，显示为X测量值，滤波器阶数为1阶（或陡降为6dB/oct）,时间常数为1s。

6.2.8.3 设置相位标准器频率为1kHz，幅度为1V或0.5V～1V的某值。

6.2.8.4 待数字锁相放大器读数稳定，设置相位标准器输出相位值为-90°，此时数字锁相放大器输出为0。

6.2.8.5 设置锁相放大器相位+90°, 设置数字示波器的触发电平，单次触发模式。待抓取到波形后，通过垂直光标，测量波形从0%变化为100%的响应时间，根据公式（8）计算滤波器陡降，并将测量结果记录于附录A表A.8中。

（8）

式中：——滤波器陡降，单位dB/Oct，理论值为6、12、18、24等；

—— 计算系数，由数字锁相放大器滤波器设计特性决定，具体参照仪器说明书。一般有1阶滤波器1.3，2阶滤波器1.8，3阶滤波器2.14，4阶滤波器2.4；

——滤波器响应时间，示波器显示波形由0%变化为100%的时间，单位s。

6.2.9 共模抑制（有差模输入模式）

6.2.9.1 按图10连接仪器。

6.2.9.2复位数字锁相放大器，设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，设置参考频率为10kHz，正弦波模式，量程为1V，时间常数为1s，显示并读取幅度测量值。

6.2.9.3 设置数字锁相放大器为差模输入模式，设置量程为适当值，等待放大器读数稳定后，读取幅度测量值。

6.2.9.4 按照公示（9）计算共模抑制，并将测量结果记录于附录A表A.9中。

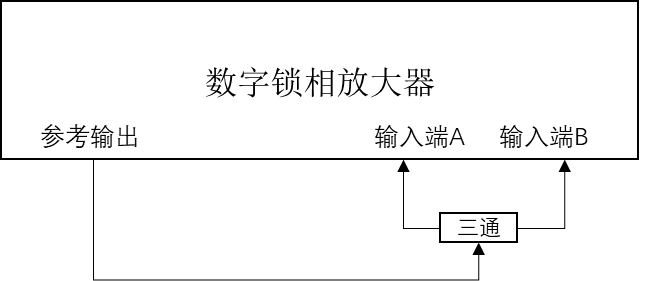


图10 共模抑制校准连接框图

（9）

式中：——共模抑制，单位dB；

——共模电压测量值，单位V；

——差模电压测量值，单位V。

6.2.10 输入噪声

6.2.10.1 按图11连接仪器。

6.2.10.2复位数字锁相放大器，设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，正弦波模式，频率为1kHz，显示幅度测量值，设置量程为适当值（通常为最小量程），设置时间常数为适当值。

6.2.10.3 等待数字锁相放大器读数稳定后，读取噪声测量值，并将测量结果记录于附录A表A.10中。

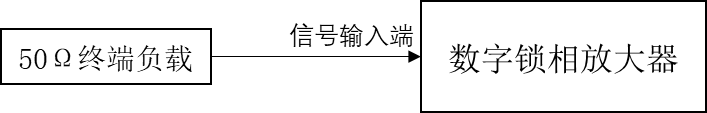


图11 输入噪声校准连接框图

6.2.11 输出直流电压

6.2.11.1 按图12连接仪器。

6.2.11.2设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，正弦波模式。设置数字锁相放大器直流输出电压值，选点至少覆盖量程高、中、低且不少于3点，读取直流电压表电压测量值。

6.2.11.3 依次连接不同输出通道进行测量，并将测量结果记录于附录A表A.11中。



图12 直流输出电压校准连接框图

6.2.12 直流电压示值误差

6.2.12.1 按图13连接仪器。

6.2.12.2设置数字锁相放大器为内参考模式，直流耦合，正弦波模式，显示直流电压值。设置标准电压源输出直流电压，选点至少覆盖放大器量程高、中、低，且不少于3点，读取锁相放大器直流电压示值。

6.2.12.3 依次连接不同直流输入通道进行测量，并将测量结果记录于附录A表A.12中。



图13 直流电压示值误差校准连接框图

6.2.12.4 直流电压示值的相对误差按公式（10）计算，计算结果记录至附录A表A.12中。

（10）

式中：——直流电压示值相对误差；

——数字锁相放大器直流电压示值，单位V；

——标准电压源电压标准值，单位V。

6.2.13 动态储备

6.2.13.1 复位锁相放大器。按图14连接仪器。

6.2.13.2设置数字锁相放大器为外参考模式，直流耦合，正弦波模式，最小量程，时间常数为1s，显示幅度示值。

6.2.13.3 设置信号发生器1频率为1kHz。设置信号发生器1幅度和衰减器为适当值，使得数字锁相放大器稳定测量且示值大于50%量程。

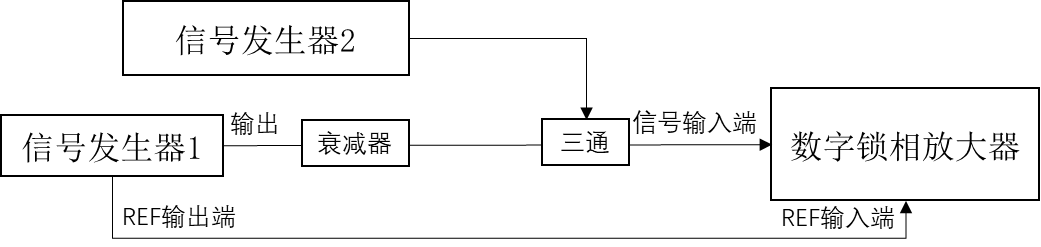


图14动态储备校准连接框图

6.2.13.4 设置信号发生器2频率与信号发生器1频率相近但不同，如1.001kHz。设置信号发生器2的幅度为的105倍。打开信号发生器2输出，逐渐调大信号发生器2输出，直至数字锁相放大器提示过载，读取信号源2信号幅度。根据公式（11）计算锁相放大器动态储备，并将测量结果记录于附录A表A.13中。

（11）

式中：——数字锁相放大器动态储备，单位 dB；

—— 信号发生器2模拟带外噪声信号幅度值，单位V；

—— 数字锁相放大器最小量程标称值，单位V。

# 7 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) 校准证书或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，不得部分复制证书的声明。

# 8 复校时间间隔

建议复校时间间隔不超过12个月。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，故送校单位可根据实际使用情况决定复校时间间隔。

# 附录A

原始记录格式

第 页 共 页

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 委托单位： | | 校准证书编号： | |
| 委托单位地址： | | 校准依据： | |
| 仪器名称： | 型号规格： | 出厂编号： | |
| 制造单位： | | 仪器状况： | |
| 校准地点： | | 环境温度： ℃ | 相对湿度： % |

外观及工作正常性检查： □正常 □不正常：

A.1 频率示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率标准值 | 频率示值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.2.1 电压示值误差

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 量程 | 电压标准值 | 电压示值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

A.2.2 电流示值误差

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 量程 | 电压标准值 | 串联电阻 | 电流示值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

A.3 相位示值误差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 相位标准值 | 相位示值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
| 1kHz |  |  |  |  |

校准人员： 核验人员： 校准日期： 年 月 日

A.4 输入阻抗

测量频率：1kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 输入阻抗设定值 | 输入阻抗测量值 | 测量不确定度 |
| 电压通道 |  |  |  |
|  |  |  |
| 电流通道 |  |  |  |

A.5 内部参考源频率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率标称值 | 频率测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.6 内部参考源幅度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 幅度标称值 | 幅度测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.7 时间常数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间常数设定值 | 时间常数测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.8 滤波器陡降

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 陡降设定值 | 陡降测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

A.9 共模抑制

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率 | 共模抑制比 | 测量不确定度 |
| 10kHz |  |  |

A.10 输入噪声

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率 | 最小量程噪声值 | 测量不确定度 |
| 1kHz |  |  |

A.11 输出直流电压

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 电压标称值 | 电压测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.12 直流电压示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 电压标准值 | 电压示值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

A.13 动态储备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 最小量程 | 动态储备 | 测量不确定度 |
|  |  |  |

校准人员： 核验人员： 校准日期： 年 月 日

# 附录B

校准证书（内页）格式

外观及工作正常性检查： □正常 □不正常：

B.1 频率示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率标准值 | 频率测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.2.1 电压示值误差

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 量程 | 电压标准值 | 电压测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

B.2.2 电流示值误差

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 量程 | 电流标准值 | 电流测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

B.3 相位示值误差

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 频率 | 相位标准值 | 相位测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
| 1kHz |  |  |  |  |

B.4 输入阻抗

测量频率：1kHz

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 输入阻抗设定值 | 输入阻抗测量值 | 测量不确定度 |
| 电压通道 |  |  |  |
|  |  |  |
| 电流通道 |  |  |  |

B.5 内部参考源频率

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率标称值 | 频率测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.6 内部参考源幅度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 幅度标称值 | 幅度测量值 | 相对误差 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.7 时间常数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间常数设定值 | 时间常数测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

B.8 滤波器陡降

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 陡降设定值 | 陡降测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |

B.9 共模抑制

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率 | 共模抑制比 | 测量不确定度 |
| 10kHz |  |  |

B.10 输入噪声

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 频率 | 最小量程噪声值 | 测量不确定度 |
| 1kHz |  |  |

B.11 输出直流电压

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 电压标称值 | 电压测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.12 直流电压示值误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 通道 | 电压标准值 | 电压测量值 | 测量不确定度 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

B.13 动态储备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 最小量程 | 动态储备 | 测量不确定度 |
|  |  |  |

# 附录C

测量不确定度评定示例

C.1 频率示值误差测量不确定度评定

C.1.1 测量方法及测量模型

以锁相放大器测量10kHz信号为例，采用标准源法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的频率示值误差；

—— 被校数字锁相放大器的频率示值；

—— 信号发生器频率输出值。

C.1.2 主要不确定度来源

C.1.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.1.2.2 被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量

C.1.2.3 信号发生器输出频率不准引入的标准不确定度分量

C.1.3 标准不确定度分量评定

C.1.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，用被校数字锁相放大器对信号发生器输出的10kHz信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：kHz)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 10.001 | 10.001 | 10.000 | 10.000 | 10.000 | 10.001 | 10.001 | 10.001 | 10.000 | 10.000 |

测量结果的平均值：=10.0005 kHz

单次测量值的实验标准偏差：

0.0005 kHz

C.1.3.2 由被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量*u*B1

被校数字锁相放大器测量10kHz频率时的分辨力0.001kHz，按均匀分布，取*k* =，由此引入的相对不确定度分量为：

*u*B1＝＝0.0003 kHz

C.1.3.3 由信号发生器输出频率不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.1Hz,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.0006 kHz

C.1.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.1所示。

表C.1 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.0005kHz |
| 2 | 放大器的分辨力*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.0003kHz |
| 3 | 信号发生器频率不准*u*B2 | 均匀 | 1 | 0.0006kHz |

根据表C.1，则合成标准不确定度为

=0.00083 kHz

C.1.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2,由此得到10kHz频率点频率示值校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.0017 kHz，*k*=2。

C.2 幅度示值误差测量不确定度评定

C.2.1 测量方法及测量模型

以锁相放大器测量100mV，10kHz信号为例，采用标准源法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的幅度示值误差；

—— 被校数字锁相放大器的幅度示值；

—— 信号发生器的输出幅度标准值。

C.2.2 主要不确定度来源

C.2.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.2.2.2 被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量

C.2.2.3 信号发生器输出幅度不准引入的标准不确定度分量

C.2.3 标准不确定度分量评定

C.2.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，用被校数字锁相放大器对信号发生器输出的100mV信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：mV)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 100.01 | 100.01 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.01 | 100.01 | 100.01 | 100.00 | 100.00 |

测量结果的平均值：=100.005 mV

单次测量值的实验标准偏差：

0.005 mV

C.2.3.2 由被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量*u*B1

被校数字锁相放大器测量100mV信号幅度时的分辨力0.01mV，按均匀分布，取*k* =，由此引入的相对不确定度分量为：

*u*B1＝＝0.003 mV

C.2.3.3 由信号发生器输出幅度不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.1mV,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.06 mV

C.2.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.2所示。

表C.2 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.005mV |
| 2 | 放大器的分辨力*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.003mV |
| 3 | 信号发生器幅度不准*u*B2 | 均匀 | 1 | 0.06mV |

根据表C.2，则合成标准不确定度为

=0.07 mV

C.2.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2,由此得到100mV点幅度示值校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.14mV，*k*=2。

C.3 电流示值误差测量不确定度评定

C.3.1 测量方法及测量模型

以锁相放大器测量1（1kHz）电流信号为例。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的电流示值误差**；**

—— 被校数字锁相放大器的电流示值；

—— 信号发生器输出电压标准值；

—— 串联电阻电阻值。

C.3.2 主要不确定度来源

C.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.3.2.2 被校数字锁相放大器测量电流不准引入的标准不确定度分量

C.3.2.3 信号发生器输出电压不准引入的标准不确定度分量

C.3.2.4 串联电阻不准引入的标准不确定度分量

C.3.3 标准不确定度分量评定

C.3.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，用被校数字锁相放大器测量1（1kHz）电流信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 1.000 | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 0.998 | 1.000 | 1.000 | 1.001 | 1.002 | 0.998 |

测量结果的平均值：=0.9994

单次测量值的实验标准偏差：

0.0013

C.3.3.2 由被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量*u*B1

被校数字锁相放大器测量1（1kHz）电流信号时的分辨力为0.001，按均匀分布，取*k* =，由此引入的相对不确定度分量为：

*u*B1＝＝0.0003

C.3.3.3 由信号发生器输出电压不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.001V,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.0006 V

C.3.3.4 由串联电阻不准引入的标准不确定度分量*u*B3

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.001MΩ,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.0006 MΩ

C.3.3.5 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.3所示。

表C.3 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.0013 |
| 2 | 放大器分辨力*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.0003 |
| 3 | 信号发生器电压不准*u*B2 | 均匀 |  | 0.0006 V |
| 4 | 串联电阻不准*u*B2 | 均匀 |  | 0.0006 MΩ |

根据表C.3，则合成标准不确定度为

=0.0016

C.3.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2,由此得到1 电流示值校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.004 ，*k*=2。

C.4 相位示值误差测量不确定度评定

C.4.1 测量方法及测量模型

以锁相放大器测量45°（1V，1kHz）相位信号为例，采用标准源法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的相位示值误差；

—— 被校数字锁相放大器的相位示值；

—— 相位标准器的相位标准值。

C.4.2 主要不确定度来源

C.4.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.4.2.2 被校数字锁相放大器测量相位不准引入的标准不确定度分量

C.4.2.3 相位标准器输出相位不准引入的标准不确定度分量

C.4.3 标准不确定度分量评定

C.4.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，用被校数字锁相放大器对相位标准器输出的45°相位信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：°)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 | 45.00 |

测量结果的平均值：=45.00 °

单次测量值的实验标准偏差：

0.00 °

C.4.3.2 由被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量*u*B1

被校数字锁相放大器测量45°信号相位时的分辨力为0.01°，按均匀分布，取*k* =，由此引入的相对不确定度分量为：

*u*B1＝＝0.003 °

C.4.3.3 由相位标准器输出相位不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.003°,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.0018 °

C.4.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.4所示。

表C.4 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.00° |
| 2 | 放大器分辨力*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.003° |
| 3 | 相位标准器相位不准*u*B2 | 均匀 | 1 | 0.0018° |

根据表C.4，则合成标准不确定度为

=0.0035 °

C.4.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2,由此得到45°点相位示值校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.007 °，*k*=2。

C.5 输入阻抗测量不确定度评定

C.5.1 测量方法及测量模型

以电压通道50Ω输入阻抗测量为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的输入阻抗误差；

—— 被校数字锁相放大器的输入阻抗值；

—— LCR测量仪电阻测量值。

C.5.2 主要不确定度来源

C.5.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.5.2.2 LCR测量仪电阻测量示值不准引入的标准不确定度分量

C.5.3 标准不确定度分量评定

C.5.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，LCR测量仪测量被校数字锁相放大器50Ω输入阻抗，独立重复测量10次,结果如下: (单位：Ω)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 50.04 | 50.02 | 50.02 | 50.04 | 50.05 | 50.02 | 50.04 | 50.04 | 50.04 | 50.04 |

测量结果的平均值：=50.035 Ω

单次测量值的实验标准偏差：

0.011 Ω

C.5.3.2 由LCR测量仪电阻示值不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.15Ω,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.087Ω

C.5.3.3 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.5所示。

表C.5 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.011Ω |
| 2 | LCR测量仪示值不准*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.087Ω |

根据表C.5，则合成标准不确定度为

=0.088 Ω

C.5.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到50Ω输入阻抗校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.18 Ω，*k*=2。

C.6 参考源频率测量不确定度评定

C.6.1 测量方法及测量模型

以测量内部参考源频率1MHz信号为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的频率输出值；

—— 频率计数器频率测量值。

C.6.2 主要不确定度来源

C.6.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.6.2.2 频率计计数不准引入的标准不确定度分量

C.6.2.3 频率计分辨力引入的标准不确定度分量

C.6.3 标准不确定度分量评定

C.6.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，频率计测量被校数字锁相放大器1MHz频率信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：MHz)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 0.999999874 | 0.999999845 | 0.999999824 | 0.999999812 | 0.999999856 | 0.999999887 | 0.999999876 | 0.999999865 | 0.999999838 | 0.9999999870 |

测量结果的平均值：=0.999999866 MHz

单次测量值的实验标准偏差：

4.9×10-2 Hz

C.6.3.2 由频率计计数不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=1×10-9,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝5.8×10-4 Hz

C.6.3.3 由频率计分辨力引入的标准不确定度分量*u*B3

按B类方法评定。频率计为10位，按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝3×10-5 Hz

C.6.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.6所示。

表C.6 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 4.9×10-2 Hz |
| 2 | 频率计计数不准*u*B1 | 均匀 | 1 | 5.8×10-4 Hz |
| 3 | 频率计分辨力*u*B2 | 均匀 | 1 | 3×10-5 Hz |

根据表C.6，则合成标准不确定度为

=0.05 Hz

C.6.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到1MHz频率信号校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.1 Hz，*k*=2。

C.7 参考源幅度测量不确定度评定

C.7.1 测量方法及测量模型

以参考源幅度信号1V，1kHz测量为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的幅度值；

—— 交流电压表电压测量值。

C.7.2 主要不确定度来源

C.7.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.7.2.2 交流电压表测量示值不准引入的标准不确定度分量

C.7.3 标准不确定度分量评定

C.7.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，交流电压表测量被校数字锁相放大器1V（1kHz）信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：V)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 1.000 | 0.998 | 1.000 | 0.997 | 0.998 | 1.000 | 0.998 | 0.998 | 0.999 | 0.998 |

测量结果的平均值：=0.9987 V

单次测量值的实验标准偏差：

0.0012 V

C.7.3.2 由数字电压表示值不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.0002V,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.00012 V

C.7.3.3 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.7所示。

表C.7 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.0012V |
| 2 | 电压示值不准*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.00012V |

根据表C.7，则合成标准不确定度为

=0.0013 V

C.7.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到参考源1V（1kHz）校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.003 V，*k*=2。

C.8 时间常数测量不确定度评定

C.8.1 测量方法及测量模型

以时间常数1测量为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： ——被校数字锁相放大器的时间常数；

——示波器上升时间测量值。

C.8.2 主要不确定度来源

C.8.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.8.2.2 示波器上升时间测量不准引入的标准不确定度分量

C.8.3 标准不确定度分量评定

C.8.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，示波器测量被校数字锁相放大器时间常数为1时响应波形上升时间，独立重复测量10次,结果如下: (单位：)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 2.22 | 2.21 | 2.23 | 2.18 | 2.20 | 2.22 | 2.24 | 2.18 | 2.20 | 2.24 |

测量结果的平均值：=2.212

单次测量值的实验标准偏差：

0.022

C.8.3.2 由示波器上升时间测量不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.02 ,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.012

C.8.3.3 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.8所示。

表C.8 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.022 |
| 2 | 上升时间测量不准*u*B1 | 均匀 |  | 0.012 |

根据表C.8，则合成标准不确定度为

=0.023

C.8.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到时间常数1校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.046 ，*k*=2。

C.9 滤波器陡降测量不确定度评定

C.9.1 测量方法及测量模型

以滤波器陡降6dB/oct（时间常数1s）测量为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器滤波器的陡降；

——示波器波形响应时间测量值。

C.9.2 主要不确定度来源

C.9.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.9.2.2 示波器波形响应时间测量不准引入的标准不确定度分量

C.9.3 标准不确定度分量评定

C.9.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，示波器测量被校数字锁相放大器滤波器陡降6dB/oct（时间常数1s）时波形响应时间，独立重复测量10次,结果如下: (单位：)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 4.61 | 4.62 | 4.61 | 4.60 | 4.61 | 4.62 | 4.61 | 4.60 | 4.61 | 4.61 |
| 陡降值 | 5.993 | 6.006 | 5.993 | 5.98 | 5.993 | 6.006 | 5.993 | 5.98 | 5.993 | 5.993 |

测量结果的平均值：=5.993 dB/oct

单次测量值的实验标准偏差：

0.0077 dB/oct

C.9.3.2 由示波器波形响应时间测量不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.02 ,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.012

C.9.3.3 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.9所示。

表C.9 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.0087 dB/oct |
| 2 | 响应时间测量不准*u*B1 | 均匀 | 1.3 | 0.012 |

根据表C.9，则合成标准不确定度为

=0.023 dB/oct

C.9.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到滤波器陡降6dB/oct（时间常数1s）校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.046 dB/oct，*k*=2。

C.10 输出直流电压测量不确定度评定

C.10.1 测量方法及测量模型

以测量锁相放大器输出10V直流电压为例，采用直接测量法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的直流电压值；

—— 直流电压表电压测量值。

C.10.2 主要不确定度来源

C.10.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.10.2.2 直流电压表测量不准引入的标准不确定度分量

C.10.3 标准不确定度分量评定

C.10.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，直流电压表测量被校数字锁相放大器10V信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：V)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 10.000 | 9.999 | 10.000 | 9.999 | 9.998 | 10.000 | 9.999 | 9.998 | 9.999 | 10.000 |

测量结果的平均值：=9.9992 V

单次测量值的实验标准偏差：

0.0008 V

C.10.3.2 由直流电压表测量不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.002V,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.0012 V

C.10.3.3 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.10所示。

表C.10 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.0008V |
| 2 | 电压表测量不准*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.0012V |

根据表C.10，则合成标准不确定度为

=0.0015 V

C.10.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2，由此得到参考源10V校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=0.003 V，*k*=2。

C.11 直流电压示值误差测量不确定度评定

C.11.1 测量方法及测量模型

以数字锁相放大器测量1V直流电压信号为例，采用标准源法。

测量模型为：

式中： —— 被校数字锁相放大器的电压示值误差；

—— 被校数字锁相放大器的电压示值；

—— 直流电压源的电压输出值。

C.11.2 主要不确定度来源

C.11.2.1 测量重复性引入的标准不确定度分量

C.11.2.2 被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量

C.11.2.3 直流电压源输出电压不准引入的标准不确定度分量

C.11.3 标准不确定度分量评定

C.11.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量*u*A

按测量不确定度的A类方法评定。相同条件下，用被校数字锁相放大器测量1V直流电压信号，独立重复测量10次,结果如下: (单位：V)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 测量值 | 1.000 | 1.001 | 1.000 | 1.001 | 1.000 | 1.001 | 1.001 | 1.001 | 1.000 | 1.000 |

测量结果的平均值：=1.0005 V

单次测量值的实验标准偏差：

0.00053 V

C.11.3.2 由被校数字锁相放大器的分辨力引入的标准不确定度分量*u*B1

被校数字锁相放大器测量1V直流电压时的分辨力为1mV，按均匀分布，取*k* =，由此引入的相对不确定度分量为：

*u*B1＝＝0.3 mV

C.11.3.3 由直流电压源输出幅度不准引入的标准不确定度分量*u*B2

按B类方法评定。取区间半宽度a=0.1mV,按均匀分布，包含因子*k* =，由此引入的标准不确定度分量为：

*u*B2＝＝0.06 mV

C.11.3.4 合成标准不确定度

测量不确定度分量汇总如表C.11所示。

表C.11 不确定度分量汇总表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 不确定度来源 | 概率分布 | 灵敏系数 | 不确定度分量 |
| 1 | 测量重复性*u*A | 正态 | 1 | 0.53mV |
| 2 | 放大器的分辨力*u*B1 | 均匀 | 1 | 0.3mV |
| 3 | 直流电压源电压不准*u*B2 | 均匀 | 1 | 0.06mV |

根据表C.11，则合成标准不确定度为

=0.62 mV

C.11.3.5 扩展不确定度

*U*rel =*k*·*u*c ,取*k*=2,由此得到100mV点幅度示值校准结果的扩展不确定度为：

*U*rel=2*u*c=1.3 mV，*k*=2。