



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF2123—2024

锁相放大器校准规范

Calibration Specification for Lock-in Amplifiers

2024-06-14发布

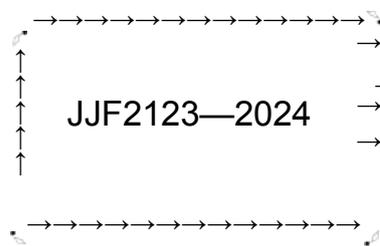
2024-12-14实施

国家市场监督管理总局 发布

锁相放大器校准规范

Calibration Specification for

Lock-in Amplifiers



归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国电子科技集团公司第十研究所

参加起草单位：中国测试技术研究院

重庆市计量质量检测研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

张靖悉（中国电子科技集团公司第十研究所）

胡 勇（中国电子科技集团公司第十研究所）

潘 柳（中国电子科技集团公司第十研究所）

参加起草人：

何 山（中国测试技术研究院）

祝贵军（重庆市计量质量检测研究院）

于晨阳（中国电子科技集团公司第十研究所）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(1)
4.1 时基输出频率	(1)
4.2 内部参考源输出频率	(1)
4.3 内部参考源输出幅度	(2)
4.4 共模抑制比	(2)
4.5 幅度测量	(2)
4.6 相位测量	(2)
4.7 直流输出电压	(2)
4.8 直流电压测量	(2)
4.9 输入噪声	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(3)
6.1 外观及工作正常性检查	(4)
6.2 时基输出频率	(4)
6.3 内部参考源输出频率	(4)
6.4 内部参考源输出幅度	(4)
6.5 共模抑制比	(5)
6.6 幅度测量	(6)
6.7 相位测量	(8)
6.8 直流输出电压	(9)

6.9 直流电压测量	(9)
6.10 输入噪声	(10)
7 校准结果表达	(10)
8 复校时间间隔	(11)
附录 A 原始记录内页格式	(12)
附录 B 校准证书内页格式	(15)
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例	(18)

引 言

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》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

锁相放大器校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围在 600 MHz 以下的锁相放大器的校准。I/Q 解调放大器也可参考。

2 引用文件

本规范无引用文件。

3 概述

锁相放大器用于检测微弱交流信号，为了避免噪声对测量的影响，采用的核心技术是相敏检测技术，利用与待测信号有相同频率和固定相位关系的参考信号作为基准，滤掉与其频率不同的噪声，从而分析检测出有用信号成分。锁相放大器由信号通道模块、参考通道模块和相敏检测模块组成。参考通道模块为相敏检测器提供作为基准的参考信号，参考信号可采用外部源也可用内部源，一般默认为内部源。锁相放大器一般还具备辅助输入输出通道，用于直流输出和直流测量。原理图如图 1 所示。

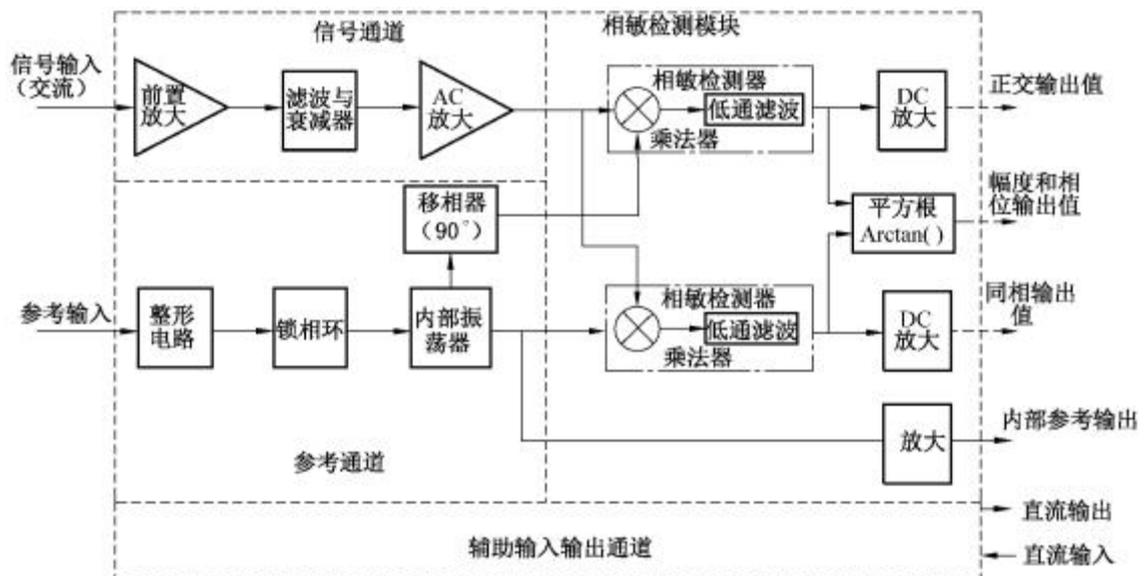


图 1 锁相放大器构成原理图

4 计量特性

4.1 时基输出频率

最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

4.2 内部参考源输出频率

频率范围：1 mHz~ 600 MHz;

最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-6}$ 。

4.3 内部参考源输出幅度

幅度范围：10 mV~10V（有效值）。

最大允许误差：

$\pm 1\%$ ($10\text{ Hz} \leq f \leq 500\text{ kHz}$)；

$\pm 2\%$ ($500\text{ kHz} < f \leq 4\text{ MHz}$)；

$\pm 5\%$ ($4\text{ MHz} < f \leq 100\text{ MHz}$)；

$\pm 10\%$ ($100\text{ MHz} < f \leq 600\text{ MHz}$)。

4.4 共模抑制比

$\geq 90\text{ dB}$ (100 Hz)。

(适用于具备差分输入的锁相放大器)

4.5 幅度测量

频率范围：10 Hz~600 MHz。

测量范围：10 mV~1 V（有效值）。

最大允许误差： $\pm 1\%$ ($10\text{ Hz} \leq f \leq 200\text{ kHz}$)；

$\pm 2\%$ ($200\text{ kHz} < f \leq 4\text{ MHz}$)；

$\pm 5\%$ ($4\text{ MHz} < f \leq 100\text{ MHz}$)；

$\pm 10\%$ ($100\text{ MHz} < f \leq 600\text{ MHz}$)。

4.6 相位测量

频率范围：10 Hz~100 kHz；

测量范围： $-180^\circ \sim 180^\circ$ ；

最大允许误差： $\pm 1^\circ$ 。

4.7 直流输出电压

电压范围： $-10\text{ V} \sim +10\text{ V}$ ；

最大允许误差： $\pm(0.1\% \times \text{设置值} + 0.02\text{ V})$ 。

4.8 直流电压测量

测量范围： $-10\text{ V} \sim +10\text{ V}$ ；

最大允许误差： $\pm(0.1\% \times \text{读数} + 0.02\text{ V})$ 。

4.9 输入噪声

$\leq 10\text{ nV} \sqrt{\text{Hz}^{-1}}$

注：以上技术指标不作符合性判别，仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度： (23 ± 5) °C。

5.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ 。

5.1.3 电源电压及频率： (220 ± 11) V, (50 ± 1) Hz。

5.1.4 周围无影响正常校准工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 交流电压表

频率范围：10 Hz~4 MHz;

量程范围：10 mV~10V;

最大允许误差： $\pm(0.3\% \sim 0.8\%)$ 。

5.2.2 直流电压表

量程范围：10 mV~10V;

最大允许误差： $\pm(0.01\% \times \text{读数} + 1 \text{ mV})$ 。

5.2.3 功率计

频率范围：100kHz~600 MHz;

功率测量范围：-30 dBm~20 dBm;

绝对功率测量最大允许误差： $\pm 0.09 \text{ dB}$ 。

5.2.4 衰减器

频率范围：100kHz~600 MHz;

衰减范围：0 dB~40 dB;

不确定度： 0.04 dB ($k=2$)。

5.2.5 频率计

频率范围：1 mHz~600 MHz;

频率测量最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-8}$ 。

5.2.6 正弦波发生器 (2台)

频率范围：10 Hz~600 MHz;

频率最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-6}$;

幅度范围：10 mV~1 V;

幅度最大允许误差： $\pm 2\%$ 。

5.2.7 多功能校准源

交流电压频率范围：10 Hz~1 MHz;

交流电压范围：10 mV~10V;

交流电压最大允许误差： $\pm(0.3\% \sim 0.8\%)$;

直流电压范围：-10V~+10V;

直流电压最大允许误差： $\pm(0.01\% \times \text{设置值} + 0.001 \text{ V})$ 。

5.2.8 标准相位源

频率范围：10 Hz~100kHz;

测量范围： $0^\circ \sim 360^\circ$;

最大允许误差： $\pm 0.3^\circ$ 。

5.2.9 功分器

频率范围：DC~ 600 MHz;

通道一致性： ≤ 0.1 dB。

5.2.10 50 Ω 负载。

6 校准项目和校准方法

校准项目如表 1所示。

表 1 校准项目表

序号	校准项目
1	时基输出频率
2	内部参考源输出频率
3	内部参考源输出幅度
4	共模抑制比 (适用于具备差分输入的锁相放大器)
5	幅度测量
6	相位测量
7	直流输出电压
8	直流电压测量
9	输入噪声

6.1 外观及工作正常性检查

被校锁相放大器的开关、旋钮、按键等应能够正常工作。仪器不应有影响电气性能的机械损伤。将检查结果记录在附录 A 的 A.1 中。

6.2 时基输出频率

6.2.1 按图 2 连接仪器。



图 2 时基输出频率校准连接示意图

6.2.2 使用频率计连续测量频率值 3 次，取其算术平均值的绝对值作为频率测量值，记录于附录 A 的 A.2 中。

6.3 内部参考源输出频率

6.3.1 按图 3 连接仪器。



图 3 内部参考源输出频率校准连接示意图

6.3.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器内部参考源输出幅度 1 V 左右，偏置为 0 V，分别设置锁相放大器内部参考源输出频率为高、中、低 3 个频点，每个频点用频率计连续测量频率值 3 次，取其算术平均值的绝对值作为频率测量值，记录于附录 A 的 A.3 中。

6.4 内部参考源输出幅度

6.4.1 适用于频率为 10 Hz~4 MHz的内部参考源输出幅度校准。

6.4.1.1 按图 4连接仪器，如果内部参考源输出幅度是差分输出，则连接“+”输出端至交流电压表。



图 4 10 Hz~4 MHz内部参考源输出幅度校准连接示意图

6.4.1.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器内部参考源输出幅度的偏置为 0 V。

6.4.1.3 设置锁相放大器内部参考输出的幅度值和频率值，幅度和频率的选点覆盖高、中、低，读取交流电压表测量值，记入附录 A 的 A.4.1 中。

6.4.2 适用于频率为 4 MHz~600 MHz的内部参考源输出幅度校准。

6.4.2.1 按图 5连接仪器，当被测信号幅度较大时，根据功率计量程范围，接入衰减。



图 5 4 MHz~600 MHz内部参考源输出幅度校准连接示意图

6.4.2.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器内部参考源输出幅度的偏置为 0 V。

6.4.2.3 设置锁相放大器内部参考源输出幅度的幅度值和频率值，幅度和频率的选点

覆盖高、中、低，读取功率计测量值 P_0 ，衰减器衰减量为 A （不接衰减器测量时 $A=0$ ），则功率测量值 $P = P_0 + A$ ，再按公式（1）换算为电压有效值 y ，记入附录 A 的 A.4.2 中。

$$y = \sqrt{10^{P/10} \times 0.05} \quad (1)$$

y ——输出幅度的电压有效值，V；

P ——输出幅度的功率测量值，dBm。

6.5 共模抑制比

6.5.1 按图 6 (a) 连接仪器，将内部参考信号的“正”接入“信号输入+”，“地”接入“信号输入-”端，电缆等长。

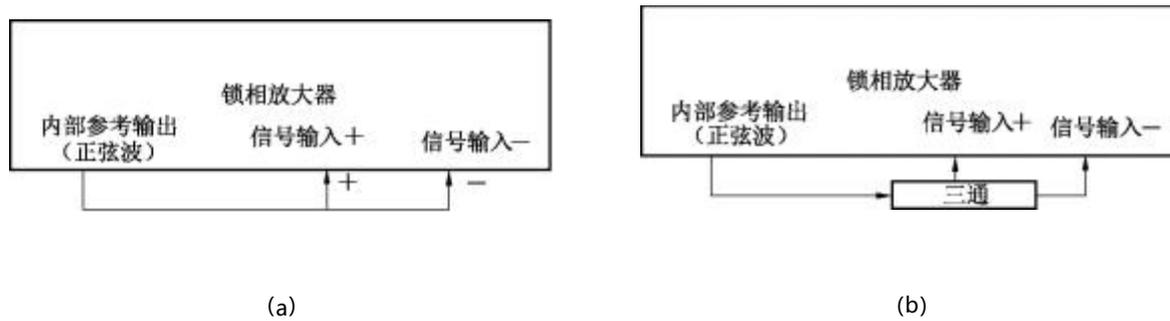


图 6 共模抑制比较准连接示意图

6.5.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器内部参考源输出幅度为 1 V，频率根据锁相放大器共模抑制比指标进行设置（一般建议 100 Hz 或 1 kHz）。

6.5.3 设置锁相放大器的输入耦合为直流耦合，输入为“电压”，参考源为内部参考，输入模式为差分模式，内部参考源输出幅度的直流偏置为 0 V，显示设置为幅度测量。调整输入量程为 1 V，使幅度测量值稳定有显示，等待测量值稳定后，读取差模电压测量值 V_d ，记入附录 A 的 A.5 中。

6.5.4 按图 6 (b) 连接仪器，连接到“信号输入+”和“信号输入-”端的电缆等长。

6.5.5 调整输入量程为适当值，使幅度测量值稳定有显示，等待测量值稳定后，读取共模电压测量值 V_c ，按公式 (2) 计算出共模抑制比 CMRR，记入附录 A 的 A.5 中。

$$\text{CMRR} = 20\lg(V_d/V_c) \quad (2)$$

式中：

CMRR — 共模抑制比，dB；

V_c — 共模电压测量值，V；

6.6 幅度测量

6.6.1 适用于具备波形为正弦波、幅度和频率范围满足要求的内部参考源输出幅度的锁相放大器。

6.6.1.1 频率小于或等于 4 MHz 幅度测量按图 7 (a) 连接仪器，频率大于 4 MHz 幅度测量按图 7 (b) 连接仪器。



(a) 频率小于或等于 4 MHz



(b) 频率大于 4 MHz

图 7 幅度测量校准连接示意图

6.6.1.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器的输入耦合为直流耦合，参考源为内部参考，内部参考源输出幅度的偏置为 0 V，显示幅度测量值。

6.6.1.3 设置锁相放大器的频率和输入量程，设置滤波器时间常数为适当值，设置锁相放大器内部参考源输出幅度（建议幅度值等于输入量程，如果不能达到，至少要为输入量程的 30%以上）。等待测量值稳定后，读取锁相放大器幅度测量值 V_x ，读取交流

电压表或功率计的测量值作为幅度标称值 V_N ，按公式 (3) 计算幅度测量示值误差 Δ ，记入附录 A 的 A.6 中。

$$\Delta = V_X - V_N \quad (3)$$

式中：

Δ ——幅度测量示值误差，V；

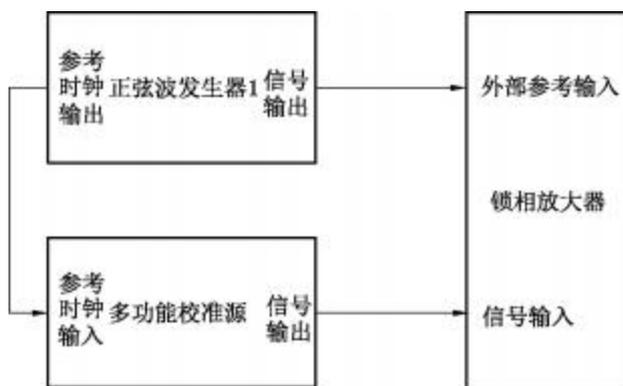
V_X ——幅度测量值，V；

V_N ——幅度标称值，V。

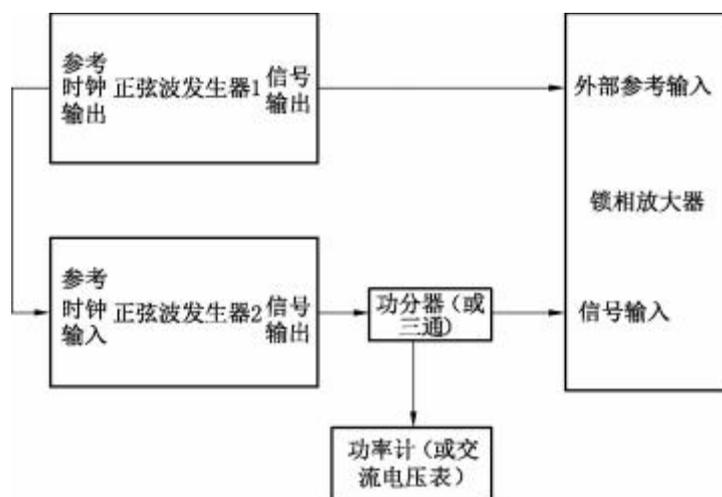
6.6.1.4 改变锁相放大器的频率和输入量程，输入量程和频率选择覆盖高、中、低，重复步骤 6.6.1.3。

6.6.2 适用于内部参考源输出幅度波形不为正弦波或正弦波幅度和频率范围不满足要求的锁相放大器。

6.6.2.1 频率小于或等于 1 MHz 幅度测量按图 8 (a) 连接仪器；频率大于 1 MHz 幅度测量按图 8 (b) 连接仪器。当频率大于 4 MHz 时，使用功分器和功率计；当频率小于或等于 4 MHz，使用三通代替功分器，使用交流电压表代替功率计。根据锁相放大器外部参考输入电平要求的范围，设置正弦波发生器 1 的电平为一个适当值。



(a) 频率小于或等于 1 MHz



(b) 频率大于 1 MHz

图 8 幅度测量校准连接示意图

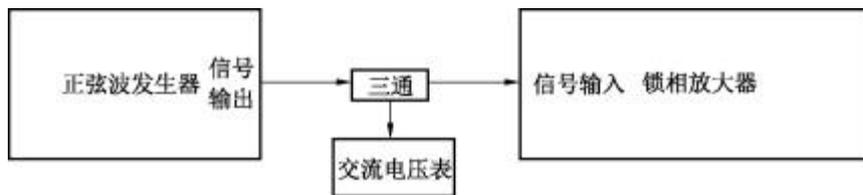
6.6.2.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器的输入耦合为直流耦合，参考源为外部参考，显示幅度测量值。

6.6.2.3 设置正弦波发生器 1 和正弦波发生器 2 或多功能校准源的频率，频率设为相同值。设置锁相放大器的输入量程，设置滤波器时间常数为适当值，根据锁相放大器量程设置多功能校准源或正弦波发生器 2 的输出电平（建议使幅度值等于输入量程，如果不能达到，至少要为输入量程的 30% 以上）。打开正弦波发生器 1 和正弦波发生器 2 或多功能校准源的输出，等待测量值稳定后，读取锁相放大器幅度测量值 V_x ，读取多功能校准源设置值或功率计或交流电压表的测量值作为幅度标称值 V_N ，按公式 (3) 计算幅度测量示值误差 Δ ，记入附录 A 的 A.6 中。

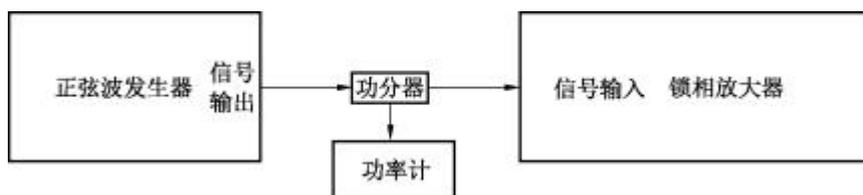
6.6.2.4 改变锁相放大器输入量程，改变正弦波发生器 1 和正弦波发生器 2 或多功能校准源频率，选点覆盖高、中、低，重复步骤 6.6.2.3。

6.6.3 适用于具备自触发功能的锁相放大器。

6.6.3.1 频率小于或等于 4 MHz 幅度测量按图 9 (a) 连接仪器，频率大于 4 MHz 幅度测量按图 9 (b) 连接仪器。复位锁相放大器，设置锁相放大器的输入耦合为直流耦合，输入阻抗为 50 Ω ，参考源为外部参考，显示幅度测量值，输入通道选择为“信号输入”。



(a) 频率小于或等于 4 MHz



(b) 频率大于 4 MHz

图 9 幅度测量校准连接示意图

6.6.3.2 设置正弦波发生器的频率。设置锁相放大器的输入量程，设置信号发生器的输出电平（建议使幅度值等于输入量程，如果不能达到，至少要为输入量程的 30% 以上）。打开正弦波发生器的输出，等待测量值稳定后，读取锁相放大器幅度测量值 V_x ，读取交流电压表或功率计的测量值作为幅度标称值 V_N ，按公式 (3) 计算幅度测量示值误差 Δ ，记入附录 A 的 A.6 中。

6.6.3.3 改变正弦波发生器的频率和锁相放大器输入量程，输入量程和频率选择覆盖高、中、低，重复步骤 6.6.3.2。

6.7 相位测量

6.7.1 仪表连接如图 10所示，标准相位源输出到锁相放大器输入用等长电缆连接。

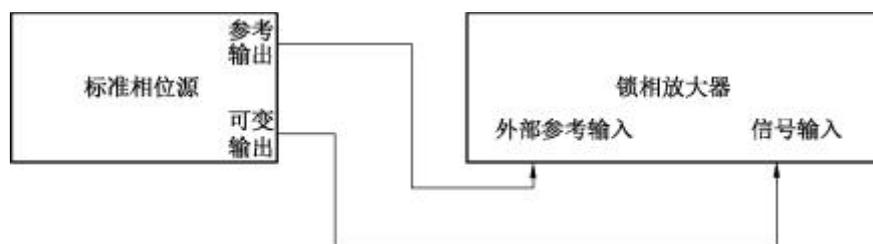


图 10 相位测量校准连接示意图

6.7.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器为直流耦合，参考源为外部参考，设置滤波器时间常数为适当值，显示相位测量值。根据锁相放大器外部参考输入幅度要求，设置标准相位源参考输出幅度为适当值。设置标准相位源可变输出幅度为适当值，并设置锁相放大器适当的输入量程。

6.7.3 设置标准相位源频率。设置参考输出和可变输出相位均为 0° ，打开标准相位源输出。等待锁相放大器测量值稳定后，读取相位测量值 θ_0 ，记入附录 A 的 A.7 中。

6.7.4 设置可变相位输出相位为 45° ，等待锁相放大器测量值稳定后，读取相位测量值 θ_1 ，将此时可变相位输出设置的相位值作为相位标称值记入附录 A 的 A.7 中，

6.7.5 按式 (4) 计算 $\theta_1 - \theta_0$ 的值作为相位测量值 Φ 记入附录 A 的 A.7 中。

$$\Phi = \theta_1 - \theta_0 \quad (4)$$

式中：

Φ — 相位测量值，($^\circ$)；

θ_0 — 标准相位源输出 0° 相位时，锁相放大器相位测量读数值，($^\circ$)；

6.7.6 改变可变相位输出相位值，步进建议 90° ，选点覆盖 4 个象限。重复步骤 6.7.4、6.7.5。

6.7.7 改变标准相位源频率，在 10 Hz~ 100 kHz 频率范围内，选择高、中、低点，重复步骤 6.7.3~ 6.7.6。

6.8 直流输出电压

6.8.1 仪表连接如图 11 所示，使用 50Ω 终端负载，连接至信号输入端口。

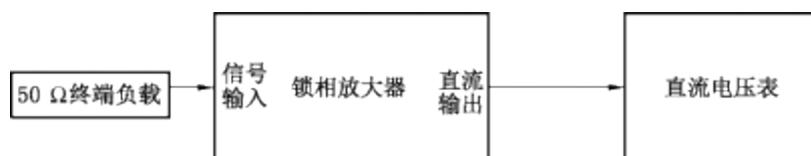


图 11 直流输出电压校准连接示意图

6.8.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器的参考源为内部参考。设置锁相放大器直流输出电压值（如果测量模拟直流输出，设置偏置值，单位为百分比；如果测量数字直流输出，设置电压值，单位为 V），电压选点覆盖为高、中、低点，读取直流电压表测量值，记录于附录 A 的 A.8 中。

6.9 直流电压测量

6.9.1 仪表连接如图 12 所示，使用 $50\ \Omega$ 终端负载，连接至信号输入端口。

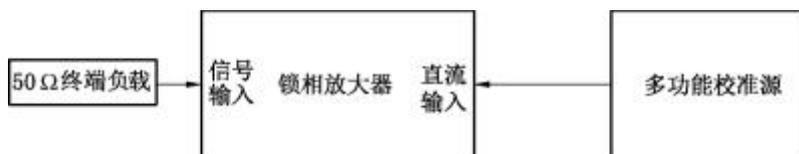


图 12 直流电压测量校准连接示意图

6.9.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器的参考源为内部参考。设置锁相放大器的测量显示通道为被测直流输入通道。

6.9.3 设置多功能校准源输出直流电压为 D_N ，电压输出值分别覆盖高、中、低，等待锁相放大器读数稳定后，读取直流电压测量值 D_x ，按公式 (5) 计算直流电压测量示值误差 Δ ，记入附录 A 的 A.9 中。

$$\Delta = D_x - D_N \quad (5)$$

式中：

Δ ——直流电压测量示值误差，V；

D_x ——直流电压测量值，V；

D_N ——直流电压标称值，V。

6.10 输入噪声

6.10.1 仪表连接如图 13所示，使用 50 Ω 终端负载，连接至信号输入端口。



图 13 输入噪声校准连接示意图

6.10.2 复位锁相放大器，设置锁相放大器的参考源为内部参考，根据被测锁相放大器的指标，设置合适的内部参考频率和锁相放大器灵敏度。如果有“低噪声”模式，选择“低噪声”模式。

6.10.3 设置锁相放大器显示噪声测量值。等待锁相放大器读数稳定后，读取显示测量值，记录于附录 A 的 A.10 中。

7 校准结果表达

锁相放大器校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- 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) 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) 校准证书及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说明；
- 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

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

附录 A

原始记录内页格式

A.1 外观及工作正常性检查 _____

A.2 时基输出频率

标称值	实测值

A.3 内部参考源输出频率

内部参考源输出幅度频率设置值	频率实测值

A.4 内部参考源输出幅度

A.4.1 方法一

频率	幅度设置值	幅度测量值

A.4.2 方法二

频率	幅度设置值	标准衰减量 A	功率计测量值 P_0	幅度测量值

A.5 共模抑制比

频率	差模电压测量值	共模电压测量值	共模抑制比测量值

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/288033067125006110>