

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1805—2020

相位微跃器校准规范

Calibration Specification for Frequency and Phase
Offset Generators

2020-01-17 发布

2020-04-17 实施

国家市场监督管理总局 发布

相位微跃器校准规范

Calibration Specification for Frequency
and Phase Offset Generators

JJF 1805—2020

归口单位：全国时间频率计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：北京无线电计量测试技术研究所

上海市计量测试技术研究院

本规范委托全国时间频率计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

杨志强（中国计量科学研究院）

张爱敏（中国计量科学研究院）

梁 坤（中国计量科学研究院）

参加起草人：

杨 军（北京无线电计量测试技术研究所）

董 莲（上海市计量测试技术研究院）

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)
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	(4)
6.1 校准项目	(4)
6.2 校准方法	(4)
7 校准结果表达	(10)
8 复校时间间隔	(10)
附录 A 原始记录格式	(11)
附录 B 校准证书 (内页) 格式	(17)
附录 C 校准不确定度评定示例	(21)

引 言

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

本规范为首次发布。

相位微跃器校准规范

1 范围

本规范适用于输入频率为 5 MHz、10 MHz、100 MHz 的相位微跃器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

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 概述

相位微跃器是一种对输入频率信号 f_0 进行锁定，在一定范围内对其进行调整并输出时间频率信号的设备。工作时将本地的晶体振荡器锁定于外部输入频率信号 f_0 ，同时将精密调整量 Δf 施加于环路中，产生调整后的时间和频率信号。经过调整后的频率信号通过分频产生本地 1PPS 信号，外部 1PPS 信号可将本地输出 1PPS 进行初始同步，通过调整频率信号的相位，达到精密调整 1PPS 相位的目的。相位微跃器工作原理如图 1 所示。

相位微跃器广泛应用于时间频率控制、守时、卫星导航及计量等领域。

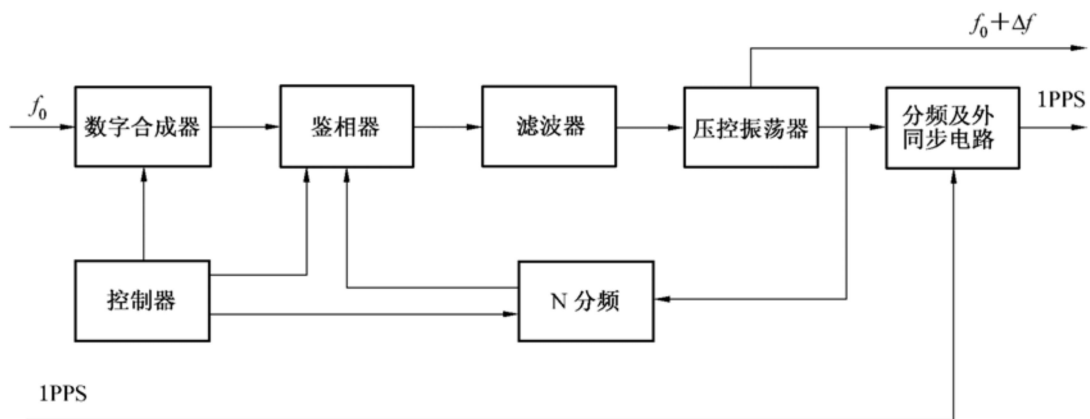


图 1 相位微跃器工作原理图

4 计量特性

4.1 输入功率范围：(7~15) dBm。

4.2 输出功率：(10~17) dBm。

4.3 谐波失真： ≤ -40 dBc。

4.4 非谐波失真： ≤ -70 dBc。

4.5 隔离度： ≤ -80 dB。

4.6 附加相位噪声：

频偏	频率		
	5 MHz	10 MHz	100 MHz
1 Hz	≤ -100 dBc/Hz	≤ -94 dBc/Hz	≤ -74 dBc/Hz
10 Hz	≤ -120 dBc/Hz	≤ -114 dBc/Hz	≤ -84 dBc/Hz
100 Hz	≤ -140 dBc/Hz	≤ -134 dBc/Hz	≤ -114 dBc/Hz
1 kHz	≤ -150 dBc/Hz	≤ -144 dBc/Hz	≤ -124 dBc/Hz
10 kHz	≤ -155 dBc/Hz	≤ -149 dBc/Hz	≤ -129 dBc/Hz

4.7 附加频率稳定度：

$\Delta f = 0$	$\Delta f = 1 \times 10^{-12}$
$\leq 5 \times 10^{-13} / \text{s}$	$\leq 5 \times 10^{-13} / \text{s}$
$\leq 5 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$	$\leq 5 \times 10^{-14} / 10 \text{ s}$
$\leq 5 \times 10^{-15} / 100 \text{ s}$	$\leq 5 \times 10^{-14} / 100 \text{ s}$

4.8 1PPS 输出：

幅度 (50 Ω)： ≥ 2 V；

上升时间： ≤ 10 ns；

脉冲宽度： ≥ 800 ns；

抖动： ≤ 1 ns (RMS)。

4.9 1PPS 同步偏差： ± 200 ns。

4.10 时间调整范围： $-2\ 000$ ns $\sim 2\ 000$ ns。

4.11 相对频率偏差调整范围： $-2 \times 10^{-7} \sim 2 \times 10^{-7}$ 。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

实验室环境温度： $(20 \sim 25)^\circ\text{C}$ 且温度变化不超过 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，相对湿度： $\leq 80\%$ ；

电源电压： (220 ± 22) V；电源频率： (50 ± 1) Hz；

无影响仪器正常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 标准时间频率源

输出频率：5 MHz、10 MHz、100 MHz；

输出功率： $(7 \sim 15)$ dBm；

频率稳定度： $< 1 \times 10^{-13} / \text{s}$ ；

相位噪声：

频偏	频率		
	5 MHz	10 MHz	100 MHz
1 Hz	≤ -110 dBc/Hz	≤ -104 dBc/Hz	≤ -84 dBc/Hz
10 Hz	≤ -130 dBc/Hz	≤ -124 dBc/Hz	≤ -94 dBc/Hz
100 Hz	≤ -150 dBc/Hz	≤ -144 dBc/Hz	≤ -124 dBc/Hz
1 kHz	≤ -160 dBc/Hz	≤ -154 dBc/Hz	≤ -134 dBc/Hz
10 kHz	≤ -165 dBc/Hz	≤ -159 dBc/Hz	≤ -139 dBc/Hz

谐波失真： ≤ -50 dBc；

1PPS 输出：脉冲宽度 ≥ 800 ns；

脉冲幅度符合 TTL 电平。

5.2.2 功率计

频率范围：(0.1~200) MHz；

功率范围：(-20~+20) dBm；

最大允许误差： ± 0.1 dB。

5.2.3 频谱分析仪

频率范围：(0.1~500) MHz；

幅度动态范围： > 80 dB；

最大允许误差： ± 1 dB。

5.2.4 频标比对器

频率范围：5 MHz，10 MHz，100 MHz。

比对不确定度： $\leq 1 \times 10^{-13}$ /s；

$\leq 1 \times 10^{-14}$ /10 s；

$\leq 1 \times 10^{-15}$ /100 s。

5.2.5 相位噪声测量系统

频率范围：(1~100) MHz。

本底噪声： ≤ -110 dBc/Hz (1 Hz 频偏)；

≤ -130 dBc/Hz (10 Hz 频偏)；

≤ -150 dBc/Hz (100 Hz 频偏)；

≤ -160 dBc/Hz (1 kHz 频偏)；

≤ -165 dBc/Hz (10 kHz 频偏)。

5.2.6 数字示波器

频率范围： ≥ 200 MHz；

采样率： ≥ 10 GSa/s；

抖动： ≤ 500 fs；

幅度测量误差： $\leq 1\%$ ；

上升时间测量误差： ± 200 ps。

5.2.7 时间间隔计数器

频率测量范围： $(1\sim 200)$ MHz；

时间间隔测量范围： $1\text{ ns}\sim 1\,000\text{ s}$ ；

最大允许误差： $\pm 1\text{ ns}$ 。

5.2.8 功分器

频率范围： $\text{DC}\sim 200\text{ MHz}$ 。

5.2.9 信号发生器

频率范围： $(1\sim 200)$ MHz；

功率范围： $(0\sim 20)$ dBm；

最大允许误差： $\pm 0.1\text{ dB}$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	校准项目
1	工作正常性检查
2	输入功率范围
3	输出功率
4	谐波失真
5	非谐波失真
6	隔离度
7	附加相位噪声
8	附加频率稳定度
9	1PPS 输出
10	1PPS 同步偏差
11	时间调整范围
12	相对频率偏差调整范围

6.2 校准方法

所有设备按规定时间预热。

6.2.1 工作正常性检查

仪器连接如图 2 所示。

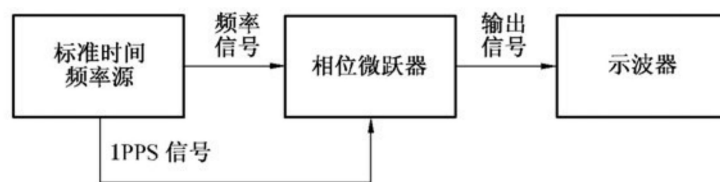


图 2 输入和输出信号功能检查示意图

检查步骤如下：

- (1) 标准频率源输出信号接入相位微跃器频率信号输入端，信号幅度满足被校设备锁定要求；
- (2) 分别连接相位微跃器各个输出端至示波器，检查锁定后输出信号是否正常；同步外部秒脉冲信号是否成功。

6.2.2 输入功率范围

仪器连接如图 3 所示。

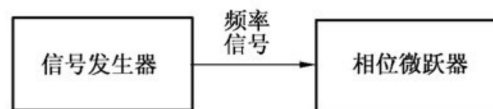


图 3 输入功率范围校准示意图

校准步骤如下：

- (1) 设定信号发生器的输出信号频率符合被校设备要求；
- (2) 分别设定信号发生器的输出信号功率为被校设备的标称最大、最小输入功率，检查被校设备是否能够锁定，记录测量结果。

6.2.3 输出功率

仪器连接如图 4 所示。

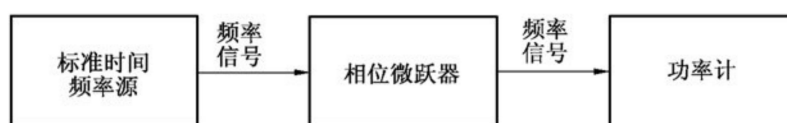


图 4 输出功率校准示意图

校准步骤如下：

- (1) 设定标准时间频率源输出频率信号幅度满足被校设备锁定要求。
- (2) 功率计分别连接相位微跃器的各个频率信号输出端，测量 10 次，计算平均值作为输出功率，并记录测量结果。

6.2.4 谐波失真

仪器连接如图 5 所示。

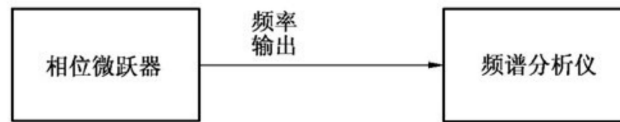


图 5 谐波失真校准示意图

校准步骤如下：

(1) 频谱分析仪分别连接相位微跃器各个频率输出端，设置频谱分析仪 RBW 为 1 kHz，测量基波、二次谐波及三次谐波的功率电平，测量 10 次，计算平均值；

(2) 谐波失真为二次、三次谐波中功率较高的功率值与基波功率的差值，按公式 (1) 计算谐波失真：

$$P_H = \max(P_2, P_3) - P_1 \quad (1)$$

式中：

P_2 ——二次谐波功率，dBm；

P_3 ——三次谐波功率，dBm；

P_1 ——基波功率，dBm；

P_H ——谐波失真，dBc。

其中 $\max$ 为取最大值函数。

6.2.5 非谐波失真

仪器连接同图 5 所示，校准步骤如下：

(1) 频谱分析仪分别连接相位微跃器各个频率输出端，设置频谱分析仪 RBW 为 1 kHz，测量起始频率为 1 MHz，终止频率为 $5f_c$ (f_c 表示相位微跃器输出信号频率标称值，单位为 MHz)；

(2) 找到离 f_c 频点 10 kHz 以外的非谐波功率最大值，测量 10 次，计算平均值；

(3) 按公式 (2) 计算非谐波失真：

$$P_N = P_{Nm} - P_1 \quad (2)$$

式中：

P_{Nm} ——离 f_c 频点 10 kHz 以外的非谐波功率最大值，dBm；

P_N ——非谐波失真，dBc。

6.2.6 隔离度

仪器连接如图 6 所示。

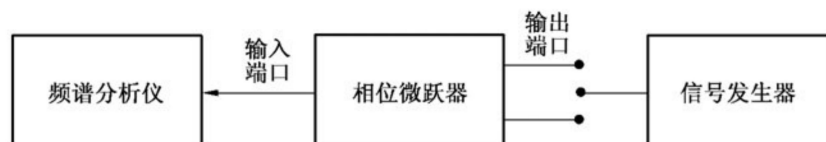


图 6 隔离度校准示意图

校准步骤如下：

(1) 设定信号发生器输出信号频率为 $(f_c - 0.1)$ MHz (f_c 表示相位微跃器输出

信号频率标称值，单位为 MHz)；输出功率满足锁定要求（一般设为 10 dBm），将信号发生器的输出信号接入相位微跃器的一个频率信号输出端；

(2) 频谱分析仪分别连接相位微跃器的其他输出端及输入端，测量端口输出的 $(f_c - 0.1)$ MHz 信号的功率电平，测量 10 次，计算平均值；

(3) 按公式 (3) 计算隔离度：

$$I = \max(P_{1m}) - P_g \quad (3)$$

式中：

P_g ——信号发生器输出功率，dBm；

P_{1m} ——相位微跃器输入口及其他输出口输出的 $(f_c - 0.1)$ MHz 信号的功率，dBm；

I ——隔离度，dB。

6.2.7 附加相位噪声

仪器连接如图 7 所示。

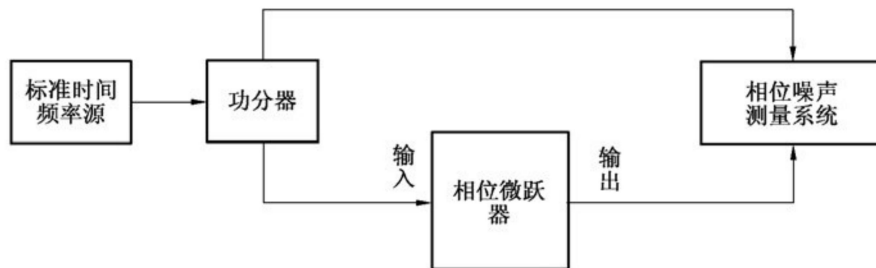


图 7 附加相位噪声校准示意图

校准步骤如下：

(1) 相位微跃器锁定外部参考信号后，设置频率偏置 $\Delta f = 0$ ，利用相位噪声测量系统对相位微跃器附加相位噪声进行测量；

(2) 分别记录频偏 1 Hz、10 Hz、100 Hz、1 kHz、10 kHz 处的相位噪声 $\mathcal{L}(f)$ 。

6.2.8 附加频率稳定度

仪器连接如图 8 所示。

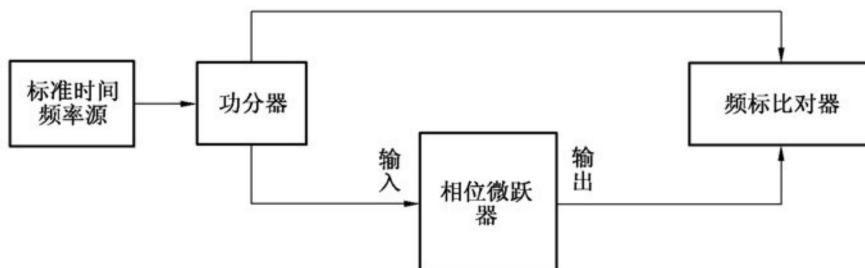


图 8 附加频率稳定度校准示意图

校准步骤如下：

(1) 相位微跃器锁定外部参考信号后，分别设置频率偏置 $\Delta f = 0$ 和 $\Delta f = 1 \times 10^{-12}$ ，利用频标比对器分别测量 $\Delta f = 0$ 和 $\Delta f = 1 \times 10^{-12}$ 时的频率稳定度，取样时间为

1 s (测量次数 ≥ 100), 10 s (测量次数 ≥ 50), 100 s (测量次数 ≥ 30);

(2) 记录测量结果。

6.2.9 1PPS 输出

仪器连接如图 9 所示。

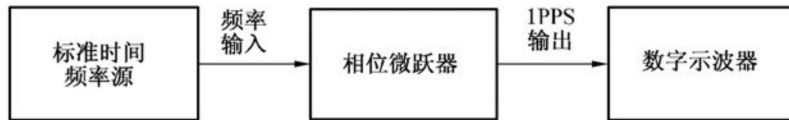


图 9 1PPS 输出校准示意图

校准步骤如下：

(1) 相位微跃器锁定外部参考信号后，合理设置数字示波器的相关参数，测量被校设备的 1PPS 输出信号的幅度、上升时间、脉冲宽度和抖动；

(2) 测量 10 次，取平均值；记录测量结果。

6.2.10 1PPS 同步偏差

仪器连接如图 10 所示。

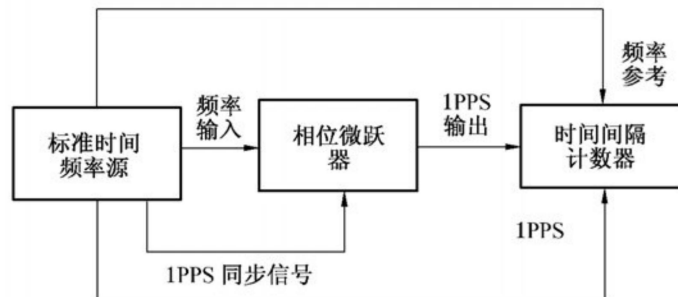


图 10 1PPS 同步偏差校准示意图

校准步骤如下：

(1) 标准时间频率源同时输出频率信号和 1PPS 信号至被校设备；待被校设备锁定外部参考信号，设置频率偏置 $\Delta f = 0$ 。

(2) 设置被校设备进行同步，被校设备显示同步成功后，利用时间间隔计数器测量被校设备与标准时间频率源的 1PPS 输出信号之间的时差作为同步偏差；

(3) 测量 10 次，取平均值；记录测量结果。

6.2.11 时间调整范围

仪器连接如图 11 所示。

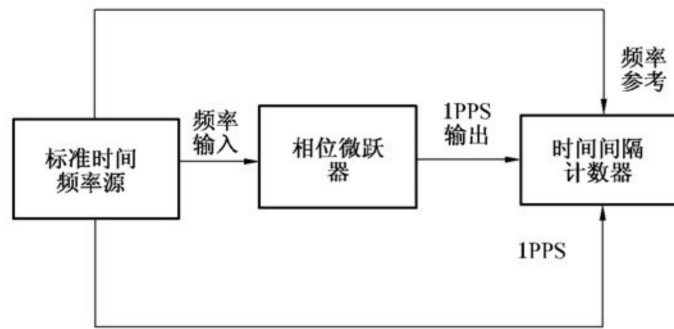


图 11 时间调整范围校准示意图

校准步骤如下：

(1) 相位微跃器锁定后，设置时间偏置 $\Delta t = 0$ ；标准时间频率源的 1PPS 信号输出连接到时间间隔计数器作为开门信号，相位微跃器的 1PPS 输出端口连接到时间间隔计数器作为关门信号，测量并记录两个秒信号的时间间隔作为 Δt_1 。

(2) 参考被校设备参数，设定相位微跃器的时间调整间隔为其最大时间调整范围，调整完成后，时间间隔计数器测量并记录时间间隔作为 $\Delta t_{2\max}$ ，计算 $(\Delta t_{2\max} - \Delta t_1)$ 作为最大时间调整范围。

(3) 参考被校设备参数，设定相位微跃器的时间调整间隔为其最小时间调整范围，调整完成后，时间间隔计数器测量并记录时间间隔作为 $\Delta t_{2\min}$ ，计算 $(\Delta t_{2\min} - \Delta t_1)$ 作为最小时间调整范围。

(4) 设定被校设备的时间调整间隔为 ± 10 ns，调整完成后，时间间隔计数器第三次测量并记录时间间隔作为 Δt_3 ，计算 $(\Delta t_3 - \Delta t_1)$ ，测量 10 次，取平均值；记录测量结果验证被校设备的时间调整能力。

6.2.12 相对频率偏差调整范围

仪器连接如图 12 所示。

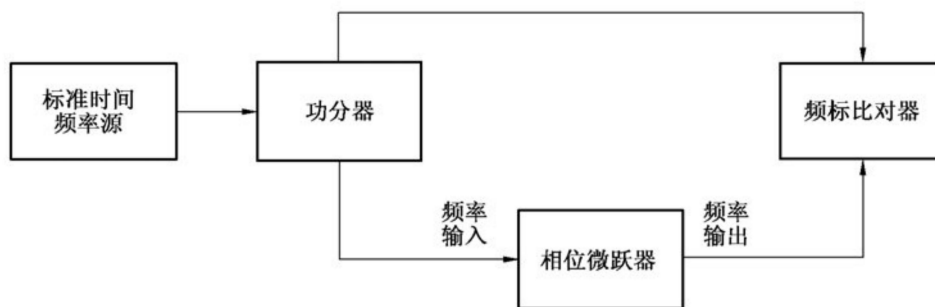


图 12 频率调整范围校准示意图

校准步骤如下：

(1) 相位微跃器锁定后，分别设定相位微跃器的频率调整量为其最大与最小可调值，使用频标比对器测量相位微跃器的输出频率信号与参考频率信号的频偏，记录测量结果。

(2) 设定被校设备的频率调整量为 $\pm 1 \times 10^{-13}$ ，频率调整完成后，使用频标比对器

测量被校设备的输出频率信号与参考频率信号的频偏（取样组数 ≥ 100 ），记录测量结果验证被校设备的频率调整能力。

7 校准结果表达

由校准方出具校准证书。校准证书至少包含以下信息：

- a) 标题，如“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) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校对象描述和明确标识；
- 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和标示，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用的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) 对校准规范的偏离说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标示；
- 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，不得部分复印证书的声明。

8 复校时间间隔

建议 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，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

校准地点	
校准时间	
校准仪器	
被校设备	
校准人员	
校准项目	☐ 工作正常性检查 ☐ 输出功率 ☐ 输入功率范围 ☐ 谐波失真 ☐ 非谐波失真 ☐ 隔离度 ☐ 附加相位噪声 ☐ 附加频率稳定度 ☐ 1PPS 输出 ☐ 1PPS 同步偏差 ☐ 时间调整范围 ☐ 相对频率偏差调整范围

A.1 工作正常性检查

是否能够锁定外部频率信号：

输出端口	输入频率/MHz	输出是否正常
1		
2		
⋮		

A.2 输入功率范围

被测设备标称最大输入功率：

测量次数	最小输入功率值/dBm	最大输入功率值/dBm
1		
2		
⋮		

A.3 输出功率

输出端口 1:

测量次数	输出功率实测值/dBm	不确定度 $U(k=2)$ /dB
1		
2		
⋮		

输出端口 2:

测量次数	输出功率实测值/dBm	不确定度 $U(k=2)$ /dB
1		
2		
⋮		

A.4 谐波失真

输入频率:

输出端口 1:

测量次数	基波功率 dBm	谐波最大功率 dBm	谐波失真 dBc	不确定度 $U(k=2)$ dB
1				
2				
⋮				

输出端口 2:

测量次数	基波功率 dBm	谐波最大功率 dBm	谐波失真 dBc	不确定度 $U(k=2)$ dB
1				
2				
⋮				

A.5 非谐波失真

输入频率:

输出端口 1:

测量次数	基波功率 dBm	非谐波最大功率 dBm	非谐波失真 dBc	不确定度 $U(k=2)$ dB
1				
2				
⋮				

输出端口 2:

测量次数	基波功率 dBm	非谐波最大功率 dBm	非谐波失真 dBc	不确定度 $U(k=2)$ dB
1				
2				
⋮				

A.6 隔离度

输入频率:

输出端口 1:

测量次数	输出功率 dBm	隔离度 dB	不确定度 $U(k=2)$ dB
1			
2			
⋮			

输出端口 2:

测量次数	输出功率 dBm	隔离度 dB	不确定度 $U(k=2)$ dB
1			
2			
⋮			

输入端口:

测量次数	输出功率 dBm	隔离度 dB	不确定度 $U(k=2)$ dB
1			
2			
⋮			

A.7 附加相位噪声

输入频率:

输出端口 1:

测量次数	相位噪声/ (dBc/Hz)				
	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz

不确定度 U ($k=2$):

输出端口 2:

测量次数	相位噪声/ (dBc/Hz)				
	1 Hz	10 Hz	100 Hz	1 kHz	10 kHz

不确定度 U ($k=2$):

A.8 附加频率稳定度

$\Delta f=0$:

采样间隔	频率稳定度 σ_y (1 s)	不确定度 U ($k=2$)
1 s		
10 s		
100 s		

$\Delta f=1 \times 10^{-12}$:

采样间隔	频率稳定度 σ_y (1 s)	不确定度 U ($k=2$)
1 s		
10 s		
100 s		

A.9 1PPS 输出

幅度 (50 Ω):

测量次数	幅度/V		不确定度 U ($k=2$) V
	通道 1	通道 2	
1			
2			
$\vdots$			

上升时间:

测量次数	上升时间/ns		不确定度 U ($k=2$) ns
	通道 1	通道 2	
1			
2			
$\vdots$			

抖动：

测量次数	抖动/ns		不确定度 $U(k=2)$ ns
	通道 1	通道 2	
1			
2			
⋮			

A.10 1PPS 同步偏差

测量次数	同步后测量值/ns	不确定度 $U(k=2)$ ns
1		
2		
⋮		

A.11 时间调整范围

时间调整：

时间微跃 设定值	时间间隔测量值/ns			不确定度 $U(k=2)$ ns
	调整前	调整后	差值	
10 ns				
-10 ns				

时间调整范围：

时间调整范围 设定值	时间间隔测量值/ns			不确定度 $U(k=2)$ ns
	调整前	调整后	差值	

A.12 频率调整范围

频率调整：

频率调整 设定值	频偏测量值			不确定度 $U(k=2)$
	调整前	调整后	差值	
1×10^{-13}				
-1×10^{-13}				

频率调整范围：

频率调整范围 设定值	频偏测量值			不确定度 U ($k=2$)
	调整前	调整后	差值	

附录 B

校准证书（内页）格式

B.1 工作正常性检查

输出端口	输出是否正常

B.2 输入功率范围

输出端口	最小输入功率/dBm	最大输入功率/dBm	不确定度 $U(k=2)$ /dB

B.3 输出功率

输出端口	输出功率/dBm	不确定度 $U(k=2)$ /dB

B.4 谐波失真

输出端口	谐波失真/dBc		不确定度 $U(k=2)$ /dB

B.5 非谐波失真

输出端口	非谐波失真/dBc	不确定度 $U(k=2)$ /dB

B.6 隔离度

参考端口	输出端口	隔离度/dB	不确定度 $U(k=2)$ /dB
参考端口	输入端口	隔离度/dB	不确定度 $U(k=2)$ /dB

B.7 附加相位噪声

频率输出端口 1:

频率偏置 Hz	相位噪声 dBc/Hz	不确定度 $U(k=2)$ dB
1		
10		
100		
1 000		
10 000		

频率输出端口 2:

频率偏置/Hz	相位噪声/ (dBc/Hz)	扩展不确定度 $U(k=2)$ /dB
1		
10		
100		
1 000		
10 000		
⋮		

B.8 附加频率稳定度

频率输出端口 1:

取样时间 τ (s)	频率稳定度 $\sigma_y(\tau)$	不确定度 $U(k=2)$
1 s		
10 s		
100 s		

频率输出端口 2:

取样时间 τ (s)	频率稳定度 $\sigma_y(\tau)$	不确定度 U ($k=2$)
1 s		
10 s		
100 s		
⋮		

B.9 1PPS 输出

幅度 (50 Ω):

幅度/V		不确定度 U ($k=2$) V
通道 1	通道 2	

上升时间:

上升时间/ns		不确定度 U ($k=2$) ns
通道 1	通道 2	

抖动:

抖动/ns		不确定度 U ($k=2$) ns
通道 1	通道 2	

脉冲宽度:

脉冲宽度/ns		不确定度 U ($k=2$) ns
通道 1	通道 2	

B.10 1PPS 同步偏差

通道	同步输入误差/ns	不确定度 U ($k=2$) ns
1		
2		
3		

B.11 时间调整范围

输出端口	相位调整范围	相位调整	不确定度 U ($k=2$)

B.12 频率调整范围

输出端口	频率调整范围	频率调整	不确定度 U ($k=2$)

附录 C

校准不确定度评定示例

由于相位微跃器的输出端口功能一致，故只选取其中一个为例进行不确定度分析。

C.1 输出功率

以 1 端口为例，输出频率 5 MHz，使用功率计为 Agilent 公司的 8481D，测量输出功率见表 C.1（本示例以 10 次测量为例）。

表 C.1 输出功率测量值

测量序号	输出功率/dBm
1	13.52
2	13.52
3	13.52
4	13.52
5	13.52
6	13.52
7	13.52
8	13.52
9	13.52
10	13.52

不确定度来源如表 C.2 所示，各项分量互不相关。

表 C.2 功率测量不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
重复性误差 u_1	A 类	0.00 dB	无	1	0.00 dB
功率计测量最大允许误差 u_2	B 类	0.10 dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.06 dB
功率计分辨力 u_3	B 类	0.01 dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.006 dB

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.06$ dB；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.12$ dB ($k=2$)。

C.2 谐波失真

谐波失真为二次、三次谐波中功率较高的功率值与基波功率的差值，按公式 (C.1) 计算谐波失真：

$$P_H = \max(P_2, P_3) - P_1 \quad (\text{C.1})$$

式中： P_2 为二次谐波功率，dBm； P_3 为三次谐波功率，dBm； P_1 为基波功率，

dBm; P_H 为谐波失真, dBc。

其中 $\max()$ 为取最大值函数。

以 1 端口为例, 基波功率 $P_1 = 13.17$ dBm; $\max(P_2, P_3)$ 见表 C.3 (本示例以 10 次测量为例)。

表 C.3 谐波测量值

测量序号	最大谐波功率 $\max(P_2, P_3)$ /dBm
1	-31.15
2	-31.17
3	-31.22
4	-31.18
5	-31.20
6	-30.39
7	-31.26
8	-31.23
9	-31.25
10	-31.19

不确定度来源见表 C.4, 各项分量互不相关。

表 C.4 谐波失真不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
频谱分析仪测量最大允许误差 u_1	B 类	0.30 dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.17 dB
测量重复性误差 u_2	A 类	0.08 dB	无	1	0.08 dB

输出 1 端口的谐波失真为: $P_H = \max(P_2, P_3) - P_1 = -44.29$ dBc;

合成标准不确定度: $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.19$ dB;

扩展不确定度 $U = 2u_c = 0.38$ dB ($k=2$)。

C.3 非谐波失真

按公式 (C.2) 计算非谐波失真:

$$P_N = P_{Nm} - P_1 \quad (\text{C.2})$$

式中: P_1 为基波功率, dBm; P_{Nm} 为离 f_c 频点 10 kHz 以外的非谐波功率最大值, dBm; P_N 为非谐波失真, dBc。

以 1 端口为例, 基波 $P_1 = 13.17$ dBm, 频谱分析仪 RBW 设定为 1 kHz, P_{Nm} 见表 C.5 (本示例以 10 次测量为例)。

表 C.5 非谐波测量值

测量序号	离 f_c 频点 10 kHz 以外的非谐波功率最大值 P_{Nm} /dBm
1	−95.19
2	−94.65
3	−94.98
4	−94.87
5	−94.79
6	−94.89
7	−95.26
8	−95.11
9	−94.97
10	−94.76

不确定度来源见表 C.6，各项分量互不相关。

表 C.6 非谐波失真不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
频谱分析仪测量最大允许误差 u_1	B 类	0.30 dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.17 dB
测量重复性误差 u_2	A 类	0.06 dB	无	1	0.06 dB

注：严格意义上频率源的输出幅度的波动会引入不确定度，但是频率源充分预热后功率输出相对稳定，在短时间测量中不会对结果产生影响。这里省略这一项。

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.18 \text{ dB}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.36 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.4 隔离度

按公式 (C.3) 计算隔离度：

$$I = \max\{P_{1m}\} - P_i \quad (\text{C.3})$$

式中： P_i 为信号发生器输出功率，dBm； P_{1m} 为相位微跃器输入口及该放大器其他输出口输出功率，dBm； I 为隔离度，dB。

以输出 1 端口为例，输入频率 4.9 MHz，输入功率 $P_i = 12.32 \text{ dBm}$ ，测量输入端口（反向隔离度）、输出端口 2（通道间隔离度）的输出信号功率。以反向隔离度 10 次测量为例，测量值 P_{1m} 见表 C.7。

表 C.7 隔离度测量值

测量序号	输入端口输出功率 P_{1m}/dBm
1	-63.51
2	-63.66
3	-63.19
4	-63.31
5	-63.15
6	-63.37
7	-63.61
8	-63.93
9	-63.68
10	-63.11

不确定度来源见表 C.8，各项分量互不相关。

表 C.8 隔离度不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
频谱分析仪测量最大允许误差 u_1	B 类	0.30 dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.17 dB
测量重复性误差 u_2	A 类	0.14 dB	无	1	0.14 dB

注：严格意义上频率源的输出幅度的波动会引入不确定度，但是频率源充分预热后功率输出相对稳定，在短时间测量中不会对结果产生影响。这里省略这一项。

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.22 \text{ dB}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.44 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.5 附加相位噪声

以输出端口 1 为例，相位噪声测量结果见表 C.9。

表 C.9 相位噪声测量值

频率偏置/Hz	相位噪声/ (dBc/Hz)
1	-123.0
10	-149.1
100	-159.9
1 000	-169.1
10 000	-170.9

不确定度来源见表 C.10。

表 C.10 相位噪声不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
相位噪声测量系统 最大允许误差	B 类	2.00 dB	正态分布	2	1.00 dB

合成标准不确定度： $u_c = 1.0 \text{ dB}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 2.0 \text{ dB}$ ($k=2$)。

C.6 附加频率稳定度

以输出端口 1 为例，使用相位噪声分析仪 5 120 A 测量 1 s 频率稳定度，读取测量值： $\sigma_y(1 \text{ s}) = 1.1 \times 10^{-13}$ ，取样组数为 100。

不确定度来源如表 C.11 所示。

表 C.11 频率稳定度不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
频标比对器测量最大允许误差 u_1	B 类	3×10^{-15}	均匀分布	$\sqrt{3}$	2×10^{-15}
有限次测量 u_2	A 类	1×10^{-14}	无	1	1×10^{-14}

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 1 \times 10^{-14}$ ；

扩展不确定度 $U = 2u_c = 2 \times 10^{-14}$ ($k=2$)。

C.7 1PPS 输出

以相位微跃器的秒输出端口 1 为例，使用泰克示波器 DPO71604 测量秒输出信号，实际测量值见表 C.12（本示例以幅度 10 次测量为例）。

表 C.12 1PPS 输出幅度测量值

测量序号	幅度测量值/V
1	2.60
2	2.59
3	2.60
4	2.58
5	2.60
6	2.60
7	2.57
8	2.56
9	2.58
10	2.60

不确定度来源见表 C.13，各项分量互不相关。

C.13 1PPS 输出幅度测量不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
示波器测量最大允许误差 u_1	B 类	0.1 V	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.06 V
测量重复性 u_2	A 类	0.01 V	无	1	0.01 V

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.06 \text{ V}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.12 \text{ V}$ ($k=2$)。

C.8 1PPS 同步偏差

以相位微跃器的秒输出端口 1 为例，使用时间间隔计数器 SR620 测量秒输出信号，实际测量值如表 C.14（本示例以 10 次测量为例）。

表 C.14 1PPS 同步偏差测量值

测量序号	测量值/ns
1	-67.9
2	-67.8
3	-67.9
4	-67.9
5	-67.8
6	-67.9
7	-67.9
8	-67.9
9	-67.9
10	-67.8

不确定度来源见表 C.15，各项分量互不相关。

表 C.15 1PPS 同步输入测量不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
时间间隔计数器测量最大允许误差 u_1	B 类	0.5 ns	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.28 ns
测量重复性 u_2	A 类	0.02 ns	无	1	0.02 ns

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.28 \text{ ns}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.56 \text{ ns}$ ($k=2$)。

C.9 时间调整范围

以相位微跃器的秒输出端口 1 为例，输入频率 5 MHz，使用时间间隔计数器 SR620 测量秒输出信号，设定时间调整值为 10 ns，实际测量值如表 C.16（本示例以

10 次测量为例)。

表 C.16 时间调整测量值

测量序号	实际测量值/ns
1	10.1
2	10.0
3	9.9
4	10.1
5	10.0
6	10.1
7	10.0
8	10.1
9	9.9
10	10.1

不确定度来源见表 C.17，各项分量互不相关。

表 C.17 时间调整准确度测量不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
时间间隔计数器测量 最大允许误差 u_1	B 类	0.5 ns	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.28 ns
测量重复性 u_2	A 类	0.03 ns	无	1	0.03 ns

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 0.29 \text{ ns}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 0.58 \text{ ns}$ ($k=2$)。

C.10 相对频率偏差调整范围

以相位微跃器的频率输出端口 1 为例，使用 5 120 A 测量输出信号，设定相位微跃器的频移值为 1×10^{-13} 。频移实际测量值 1×10^{-13} ，取样组数 100。

不确定度来源如表 C.18 所示。

表 C.18 频率调整准确度不确定度来源

不确定度来源	评定方法	值	分布	包含因子	标准不确定度
频标比对器 u_1	B 类	3×10^{-15}	均匀分布	$\sqrt{3}$	2×10^{-15}
有限次测量 u_2	A 类	1×10^{-14}	无	1	1×10^{-14}

合成标准不确定度： $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 1.0 \times 10^{-14}$ ；

扩展不确定度： $U = 2u_c = 2.0 \times 10^{-14}$ 。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
相 位 微 跃 器 校 准 规 范

JJF 1805—2020

国家市场监督管理总局发布

*

中 国 标 准 出 版 社 出 版 发 行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: www.spc.org.cn

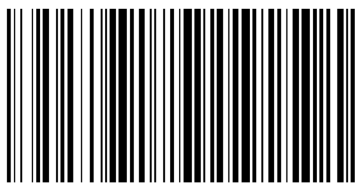
服务热线: 400-168-0010

2020 年 8 月第一版

*

书号: 155066 · J-3711

版权专有 侵权必究



JJF 1805—2020