

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

抖动校准仪校准规范

Calibration Specification of Wow Flutter Calibrator

(征求意见稿)

×××—××—××发布 ××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

抖动校准仪校准规范

Calibration Specification of Wow Flutter Calibrator

JJF XXXX-20XX

归口单位：全国无线电计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

广东省计量科学研究院

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：

吴昭春（中国计量科学研究院）

陈益胜（广东省计量科学研究院）

高鸿莹（中国计量科学研究院）

参加起草人：李博（中国计量科学研究院）

张楠（广东省计量科学研究院）

目录

引言.....	IV
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和计量单位.....	1
3.1 抖动 flutter.....	1
3.2 晃动 wow.....	1
3.3 抖晃 wow and flutter.....	1
3.4 抖晃率定义 wow and flutter rate.....	1
4 概述.....	2
5 计量特性.....	2
5.1 抖晃率.....	2
5.2 载波信号.....	2
5.3 调频信号.....	2
5.4 频偏值.....	2
5.5 输出电压.....	2
5.6 脉冲调制宽度.....	3
5.7 调幅信号.....	3
6 校准条件.....	3
6.1 环境条件.....	3
6.2 校准用设备.....	3
6.2.1 频谱分析仪.....	3
6.2.2 频率计.....	3
6.2.3 倍频器单元.....	3
6.2.4 交流电压表.....	3
6.2.5 抖晃仪.....	4
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 校准项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	9
9 复校时间间隔.....	10
附录 A 原始记录内页格式.....	11
A.1 外观及工作正常性检查.....	11
A.2 抖晃率.....	11
A.3 频偏值的校准.....	12
A.4 脉冲宽度的校准.....	12
A.5 调制频率的校准.....	12
A.6 中心频率的校准.....	13
A.7 输出电压的校准.....	13
A.8 调制信号谐波失真的校准.....	13
A.9 调幅度的校准.....	13
A.10 剩余抖晃的校准.....	13

附录 B 校准证书内页格式	14
B.1 抖晃率	14
B.2 频偏值的校准	14
B.3 脉冲宽度的校准	15
B.4 中心频率的校准	15
B.5 调制频率的校准	15
B.6 输出电压的校准	16
B.7 调制信号谐波失真的校准	16
B.8 调幅度的校准	16
B.9 剩余抖晃的校准	16
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例	17
C.1 抖晃率测量的不确定度分析	17
C.2 测量模型	17
C.3 不确定度来源:	17
C.4 计算各分量标准不确定度	17
C.5 被校抖晃率校仪测量重复性引入的标准不确定度	18
C.6 合成标准不确定度	18
C.7 扩展不确定度	19
附录 D 抖晃率校准原理概述	20

引言

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》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范参考了 GB/T 9029-2011 录放音设备抖晃测量方法、JJF1683-2017 抖晃仪校准规范和 IEC 60386 Method of measurement of speed fluctuations in sound recording and reproducing equipment。

本规范为首次发布。

抖晃校准仪校准规范

1 范围

本规范适用于中心频率为 3000Hz 和 3150Hz 的抖晃校准仪的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 9029-2011 录放音设备抖晃测量方法；

IEC 60386 Method of measurement of speed fluctuations in sound recording and reproducing equipment；

DIN IEC 386-1995 Messverfahren fuer Geschwindigkeits-schwankungen bei Tonaufzeichnungs-und -wiedergabegeraeten

JJF1683-2017 抖晃仪校准规范。

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 术语和计量单位

3.1 抖动 flutter

在记录或重放过程中，由于记录载体的不规则运动所引起的调制频率在 10 Hz 以上的对信号的寄生调频现象。

3.2 晃动 wow

在记录或重放过程中，由于记录载体的不规则运动所引起的调制频率从 0.1 Hz~10 Hz 的对信号的寄生调频现象。

3.3 抖晃 wow and flutter

由记录载体的速度的较快变化引起记录信号的寄生调频现象。抖晃包括抖动和晃动。

3.4 抖晃率定义 wow and flutter rate

抖晃校准仪输出信号是一个调频信号。

抖晃率W的定义为

$$W = \frac{\Delta f}{f} \times 100\% = \frac{\beta \times f_m}{f} \times 100\%$$

式中：

Δf ——频偏;

f ——载频;

β ——调频波的调制指数

f_m ——调制频率

4 概述

抖晃校准仪是具有调频信号特性的信号发生器，抖晃校准仪主要由函数发生器、精密衰减器、压控振荡器、滤波电路、显示电路、输出信号调节及测量电路等部分组成。

主要用于生产企业及检测机构，对抖晃仪校准仪的抖晃率、频偏值、脉冲宽度、调制频率及输出电压等技术指标测试、性能评价等。

5 计量特性

5.1 抖晃率

抖晃值范围：0.001%~3.999%。

最大允许误差±1% (对于 3%的抖晃率)。

剩余抖晃 < 0.001%

5.2 载波信号

频率：3000Hz, 3150Hz。

最大允许误差：±0.1Hz。

5.3 调频信号

调制频率范围：0.1Hz~1kHz 。

频率响应：±0.1 dB。

最大允许误差：±0.0001Hz。

谐波失真≤-56dB

5.4 频偏值

范围：0.001%~3%。

最大允许误差±1%。

5.5 输出电压

电压范围：0.1 mV~2 V（有效值，空载）。

最大允许误差：±3%。

5.6 脉冲调制宽度

脉冲宽度：100ms，60ms，30ms，10ms。

最大允许误差：±0.1%。

重复频率：1 Hz，最大允许误差:±1%。

5.7 调幅信号

调制频率：4Hz±1%。

调制度：30%。

调制波形：方波。

最大允许误差：±3%。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(23±5) °C；

相对湿度：≤80 %；

电源电压及频率：(220±11) V，(50±1) Hz；

其他：周围无影响校准工作正常进行的电磁干扰及机械振动。

6.2 校准用设备

6.2.1 频谱分析仪

频率范围：3Hz~25kHz；

分辨带宽：≤1Hz；

动态范围：≥70dB；

噪声电平：≤-120dBV。

6.2.2 频率计

频率范围：0.1Hz~50kHz；

时间间隔范围：1ms~1s；

频率最大允许误差：±1×10⁻⁶~±1×10⁻⁹。

6.2.3 倍频器单元

倍频次数：基波，3次，5次，7次谐波；

基波频率：3000Hz，3150Hz；

基波抑制：>40dB。

6.2.4 交流电压表

电压范围：0~10V；
最大允许误差:±0.5%。

6.2.5 抖晃仪

频率：3000Hz, 3150Hz；
输入电压范围：1mV~10V；
抖晃率范围：(0~3) %；
抖晃率准确度为：±5%。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	抖晃率
3	频偏值
4	脉冲宽度
5	调制频率
6	中心频率
7	输出电压
8	调制信号谐波失真
9	调幅调制度
10	剩余抖晃

7.2 校准方法

7.2.1 外观及工作正常性检查

被校抖晃仪应无影响正常工作的机械损伤，按键开关及表头机械调零等功能正常。通电以后，指示灯、表头均应显示正常。被校仪器通电开机后，应能自动完成自检，有自校功能的应先完成自校。外观及工作正常性检查结果记录在附录 A 的 A.1 条中。

7.2.2 抖晃率

连接抖晃校准仪输出端至倍频器单元，倍频器单元输出至频谱仪输入端（见图 1），并

按照说明书要求时间预热。

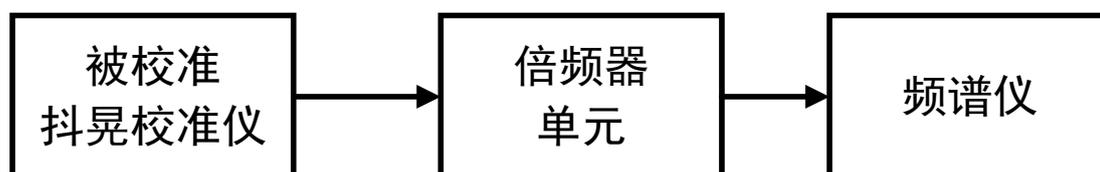


图 1 抖晃率校准连接图

7.2.2.1 DIN 标准制式

7.2.2.1.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率： $f_0=3150$ Hz；

输出电压：2 V，抖晃率：0%；

调制波形：正弦，调制频率： $f_m=4$ Hz；

调幅键：断开。

7.2.2.1.2 频谱分析仪工作状态的设置

中心频率： $f_0=3150$ Hz；

分辨带宽： ≤ 1 Hz；

扫频宽度：25 Hz (2.5 Hz/div)；

垂直刻度 (SCALE)：10 dB/div；

根据信号输出情况选取合适参数电平。

7.2.2.1.3 抖晃校准仪的抖晃率按照附录 A.2.1 顺序设置，微调调制信号频率，直到频谱仪上载频谱线幅值为最小，记下此时的 f_m (调制频率)。

7.2.2.1.4 根据各点对应的 W_0 和 f_m 用下式计算出实际抖晃率值。

$$W = W_0 f_m / 4 \text{ Hz} \dots \dots \dots (1)$$

式中 W_0 为理论值 (见附录 D)。

并把结果填入附录 A.2.1 中。

7.2.2.1.5 重复 7.2.2.1.3 至 7.2.2.1.4 步骤。

7.2.2.2 JIS 标准制式

抖晃校准仪工作状态的设置：标准制式设置为“JIS”，中心频率置为 3000 Hz，其余与 7.2.2.1.1 款相同，频谱分析仪中心频率置为 3000 Hz，其余与 7.2.2.1.2 款相同

除附录使用 A.2.2 外，其余与 7.2.2.1.3、7.2.1.4、7.2.2.1.5 款相同。

7.2.3 1 频偏值

连接抖晃校准仪输出端至频率计输入端 (见图 2)。

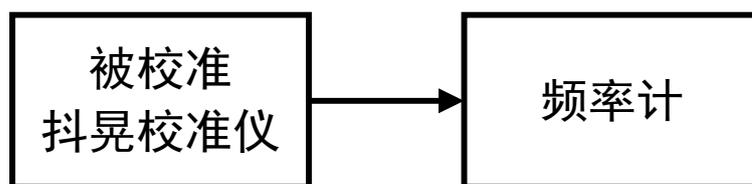


图 2 频率/周期校准连接图

7.2.3.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率： $f_0=3150$ Hz；

输出电压：1 V，抖晃率：0%；

调制波形：频偏，调制频率： $f_m=4$ Hz；

调幅键：断开。

7.2.3.2 频率计工作状态的设置

工作方式：频率测量；

闸门时间：1s。

7.2.3.3 抖晃校准仪的抖晃率按照附录 A.3 顺序设置，“POL”按键为“+%”，用频率计记下频率读数，并用下式计算出实际频偏值

$$D = f_n / f_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中 $f_0=3150$ Hz， f_n 为各次测得频率值。

将计算结果填入附录 A.3 中相应的列表中。

7.2.3.4 除将“POL”按键为“-%”状态外，重复 7.2.3.3 项。

7.2.3.5 重复 7.2.3.3 至 7.2.3.4 步骤。

7.2.4 脉冲宽度

连接抖晃校准仪的调制信号输出端至频率计输入端（见图 2）。

7.2.4.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率： $f_0=3150$ Hz

调制波形：脉冲调制 100 ms，60 ms，30 ms，10 ms；

抖晃率：1%。

7.2.4.2 频率计工作状态的设置

工作方式：脉冲宽度测量；

闸门时间：1s。

7.2.4.3 依次设置脉冲宽度为 100ms，60ms，30ms，10ms，用频率计测量脉冲宽度并填入附录 A.4 中。

7.2.5 调制频率

连接抖晃校准仪的调制信号输出端至频率计输入端（见图 2）。

7.2.5.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率 3150 Hz；

调制波形：方波，抖晃率：1%。

7.2.5.2 频率计工作状态的设置

工作方式：周期测量；

设置合适闸门时间，其余状态无关。

7.2.5.3 抖晃校准仪的调制频率按照附录 A.5 顺序设置。

7.2.5.4 测出调制频率的周期数 T_n ，并按下式计算出调制频率 f_m

$$f_m = 1/T_n \dots\dots\dots (3)$$

7.2.5.5 将计算结果填入附录 A.5 中。

7.2.5.6 重复 7.2.5.3 至 7.2.5.5 步骤。

7.2.6 中心频率

连接抖晃校准仪输出端至频率计输入端（见图 2）。

7.2.6.1 抖晃校准仪工作状态的设置

输出电压：1 V，抖晃率：0%。

7.2.6.2 频率计工作状态的设置

工作方式：频率测量；

闸门时间：1s。

7.2.6.3 制式依次设置为标准制式 DIN，中心频率 3150 Hz，标准制式 JIS，中心频率 3000Hz；

7.2.6.4 用频率计依次测量的中心频率 f_0 并填入附录 A.6 中。

7.2.7 输出电压

连接抖晃校准仪的输出端至数字电压表输入端（见图 3）。

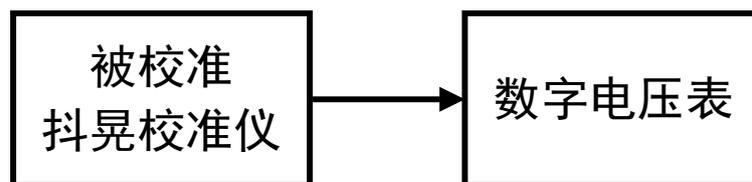


图 3 电压校准连接方框图

7.2.7.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率： $f_0=3150$ Hz

抖晃率：0%，调制波形：正弦，

调制频率： $f_m=4$ Hz，调幅键：断开。

7.2.7.2 数字电压表工作状态的设置

测量方式：交流电压测量；

量程：自动。

7.2.7.3 抖晃校准仪的输出电压值按照附录 A.7 顺序设置；

7.2.7.4 用数字电压表测量输出电压值，并填入附录 A.7 中。

7.2.7.5 重复 7.2.7.3 至 7.2.7.4 步骤。

7.2.8 调制信号谐波失真

连接抖晃校准仪输出端至频谱仪输入端（见图 4）。

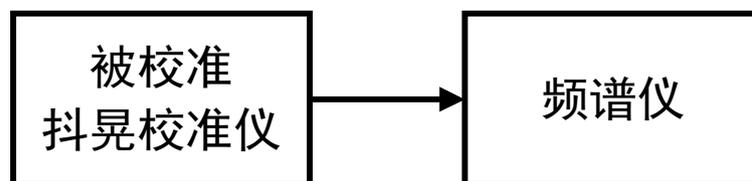


图 4 调制信号谐波失真校准连接图

7.2.8.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率 $f_0=3150$ Hz

输出电压：1 V，抖晃率 0%；

调制波形：正弦，调制频率： $f_m=4$ Hz

调幅键：断开。

7.2.8.2 频谱分析仪工作状态的设置

扫频范围：0~25kHz；

分辨带宽：1kHz；

垂直刻度（SCALE）：10dB/div；

根据信号输出情况选取合适参数电平。

7.2.8.3 用频谱仪测出 f_0 信号 3，5，7 次谐波相对值，将其中最大的填入附录 A.8 中。

7.2.9 调幅调制度

7.2.9.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式：DIN，中心频率 $f_0=3150$ Hz；

输出电压：1 V，抖晃率 0%；

调制频率： $f_m=4$ Hz，调幅键：打开。

7.2.9.2 频谱分析仪工作状态的设置

中心频率 3150 Hz；

分辨带宽：1kHz；

扫频宽度：2kHz；

显示刻度：线性（LIN）；

扫描时间：1s

根据信号输出情况选取合适参数电平。

7.2.9.3 用频谱仪测出调幅信号基频上下边带的功率幅度 P_{\max} ， P_{\min} 。

$$m = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

P_{max} , P_{min} ——基频上下边带的功率幅度最大值及最小值;

m ——调制度系数。

7.2.9.4 通过公式 4 即可测出信号的调制度 m , 将其填入附录 A.9 中。

7.2.10 剩余抖晃

连接抖晃校准仪输出端至抖晃仪输入端 (见图 5)。

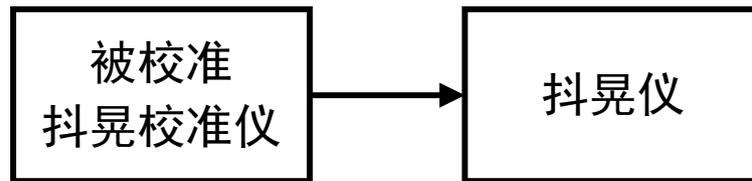


图 5 剩余抖晃连接方框图

7.2.10.1 抖晃校准仪工作状态的设置

标准制式: DIN, 中心频率: $f_0=3150$ Hz;

输出电压: 1 V, 抖晃率: 0%;

调制波形: 正弦, 调制频率: $f_m=4$ Hz;

调幅键: 断开。

7.2.10.2 抖晃仪工作状态的设置

输入范围: 5 mV~10 V, 工作方式: 不加权;

标准制式: DIN, 抖晃率量程: 0.01%。

7.2.10.3 将抖晃仪的测量值, 填入附录 A.10 中。

8 校准结果表达

射频传导抗扰度耦合/去耦网络校准后, 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。

9 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

外观及工作正常性检查：正常 不正常

A.2 抖晃率

A.2.1 DIN制式抖晃率

标称值 (%)	实测值 (%)	不确定度
2.295		
1.896		
1.497		
1.099		
0.701		
0.305		
0.102		
0.061		
0.044		

A.2.2 JIS制式抖晃率

标称值 (%)	实测值 (%)	不确定度
2.000		
1.408		
1.112		
0.816		
0.520		
0.227		
0.076		
0.045		
0.032		

A.3 频偏值的校准

标称值 (+, -) (%)	实测值		不确定度
	+	-	
3.000			
2.000			
1.000			
0.700			
0.300			
0.200			
0.100			
0.070			
0.030			

A.4 脉冲宽度的校准

标称值 (ms)	实测值 (ms)	不确定度
100		
60		
30		
10		

A.5 调制频率的校准

标称值 (Hz)	实测值 (Hz)	不确定度
0.200		
0.400		
1.000		
2.000		
6.000		
8.000		
10.00		
20.00		
60.00		
100.0		

200.0		
-------	--	--

A.6中心频率的校准

标称值 (Hz)	实测值 (Hz)	不确定度
3150.0		
3000.0		

A.7输出电压的校准

标称值 (mV)	实测值 (V)	不确定度
2000		
1000		
100		
10		
5		
1		

A.8调制信号谐波失真的校准

标称值 (dBc)	实测值 (dBc)	不确定度

A.9调幅度的校准

调制度	实测值 (%)	不确定度
30%		

A.10剩余抖晃的校准

实测值 (%)	不确定度

附录 B

校准证书内页格式

B.1 抖晃率

B.1.1 DIN 制式抖晃率

标称值	实测值	不确定度
2.295		
1.896		
1.497		
1.099		
0.701		
0.305		
0.102		
0.061		
0.044		

B.1.2 JIS制式抖晃率

标称值	实测值	不确定度
2.000		
1.408		
1.112		
0.816		
0.520		
0.227		
0.076		
0.045		
0.032		

B.2 频偏值的校准

标称值 (+, -) (%)	实测值		不确定度
	+(%)	- (%)	
3.000			
2.000			

1.000			
0.700			
0.300			
0.200			
0.100			
0.070			
0.030			

B.3 脉冲宽度的校准

标称值 (ms)	实测值 (ms)	不确定度
100		
60		
30		
10		

B.4 中心频率的校准

标称值 (Hz)	实测值 (Hz)	不确定度
3150.0		
3000.0		

B.5 调制频率的校准

标称值 (Hz)	实测值 (Hz)	不确定度
0.200		
0.400		
1.000		
2.000		
6.000		
8.000		
10.00		
20.00		
60.00		
100.0		

200.0		
-------	--	--

B.6 输出电压的校准

标称值 (mV)	实测值 (V)	不确定度
2000		
1000		
100		
10		
5		
1		

B.7 调制信号谐波失真的校准

实测值 (dBc)	不确定度

B.8 调幅度的校准

调制度	实测值 (%)	不确定度
30%		

B.9 剩余抖晃的校准

实测值 (%)	不确定度

附录 C

主要项目校准不确定度评定示例

C.1 抖晃率测量的不确定度分析

校准方法：抖晃率校准采用贝塞尔函数零值法原理，它实际上是一个自然标准，本身并不存在误差，它的不确定度来源主要是频谱仪的噪声电平、边带混淆，以及被检抖晃校准仪的分辨率，调频失真及寄生调幅。

C.2 测量模型

$$W = \frac{\beta f_m}{f} \quad (\text{C.1})$$

从式 (D.1) 可推得

$$\frac{dW}{W} = \frac{d\beta}{\beta} + \frac{df_m}{f_m} - \frac{df}{f} \quad (\text{C.2})$$

$$\frac{dW}{W} = \frac{d\beta t}{\beta} + \frac{d\beta m}{\beta} + \frac{df_m}{f_m} - \frac{df}{f} \quad (\text{C.3})$$

式中： $\frac{d\beta t}{\beta}$ 项是零阶贝塞尔函数根值位数引入的误差。

$\frac{d\beta m}{\beta}$ 项是用零阶贝塞尔函数根值法测量时 β 引入的误差。

$\frac{df_m}{f_m}$ 项是测量调制频率时引入的误差。

$\frac{df}{f}$ 项是测量载频时引入的误差。

C.3 不确定度来源：

- a) 贝塞尔函数根值位数引入的标准不确定度分量 u_1 ；
- b) 零阶贝塞尔函数根值法测量时 β 引入的标准不确定度分量 u_2 ；
- c) 测量调制频率引入的标准不确定度分量 u_3 ；
- d) 测量载频引入的标准不确定度分量 u_4 ；

C.4 计算各分量标准不确定度

$\frac{d\beta t}{\beta}$ 项误差可通过增加取值位数来减小， $\frac{df_m}{f_m}$ 项及 $\frac{df}{f}$ 项采用的频率计优于 10^{-6} ，因此三项误差均可忽略不计。

所以，测量 W 的误差就是测量 β 的误差

$$\frac{dW}{W} = \frac{d\beta}{\beta} \quad (\text{C.4})$$

C.5 被校抖晃率校仪测量重复性引入的标准不确定度

测量结果的重复性引入的标准不确定度通过多次重复测量进行 A 类评定, 多次重复测量结果如表 1 所示:

表 1 抖晃率测量值 $W=2.283$ 点重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值/ W	2.2951	2.2953	2.2948	2.2949	2.2948	2.2953	2.295	2.2951	2.2947	2.2953

计算出抖晃率测量的实验标准差:

$$S(W) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (W_i - \bar{W}_0)^2}{n-1}} = 0.00023$$

校准时取单次测量结果, 故测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u_5(W) = s(W) = 0.00023$$

相对标准不确定度为:

$$u_{rel5}(W) = 0.010\%$$

β 的不确定度分量汇总表见表 1, 其中 $u_1 \sim u_5$ 分析过程不在此详述, 请详参考相关文献。

表 2 不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度 (%)
u_1	噪声引起的分辨贝塞尔函数零值不准引入的分量 $_1$	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.018
u_2	频谱仪带宽不够窄而产生的边带混淆引入的分量 $_2$	B	均匀	$\sqrt{3}$	0
u_3	被测抖晃校准仪分辨率误差引入的分量 $_3$	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.013
u_4	调频信号失真引入的分量 $_4$	B	均匀	$\sqrt{3}$	0
u_5	寄生调幅引入的分量 $_5$	B	均匀	$\sqrt{3}$	0
u_6	被校抖晃率校仪测量重复性引入	A	正态	1	0.010

C.6 合成标准不确定度

设各标准不确定度分量间不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{(u_1)^2 + (u_3)^2 + (u_6)^2} \quad (\text{C.5})$$

$$u_c = 0.024\%$$

C.7 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则校准的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times u_c = 2 \times 0.024\%$$

$$\approx 0.05\%$$

附录 D

抖晃率校准原理概述

对抖晃校准仪进行校准，是采用贝塞尔函数零值法来进行的。因为调频波中它的基波谱线的幅值是调频指数 m 的函数，并且遵从贝塞尔函数的变化规律，抖晃校准仪输出信号是一个调频信号，因此，时域表达式为：

$$u(t) = A \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_m t)$$

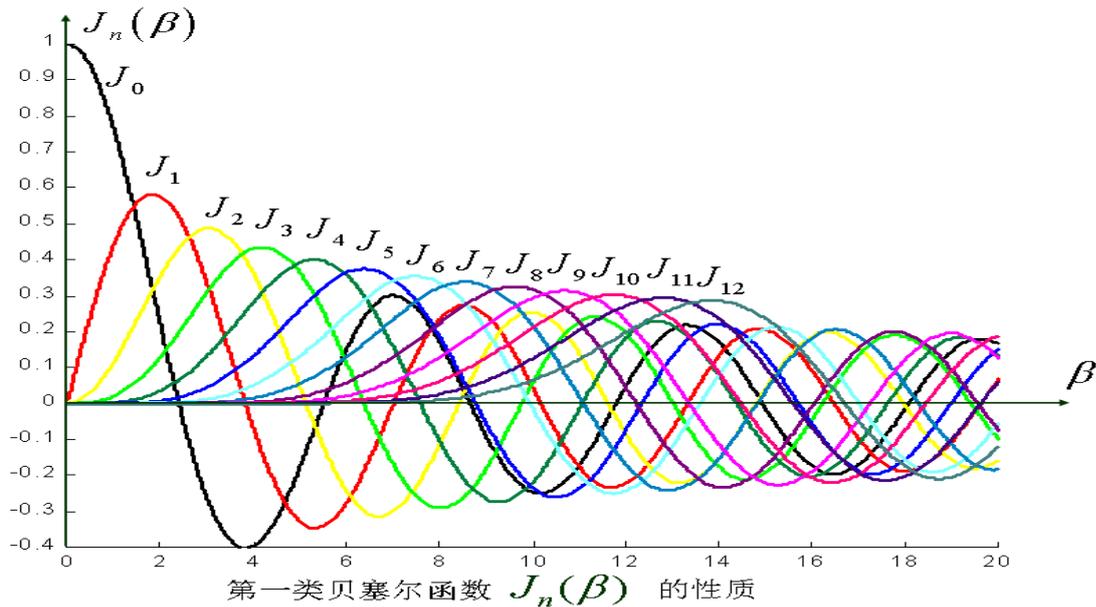
$$u(t) = A \cos \omega_c t \cos(\beta \sin \omega_m t) - A \sin \omega_c t \sin(\beta \sin \omega_m t)$$

$$\cos(\beta \sin \omega_m t) = J_0(\beta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n}(\beta) \cos 2n\omega_m t$$

$$\sin(\beta \sin \omega_m t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_{2n-1}(\beta) \sin(2n-1)\omega_m t$$

$$J_n(\beta) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m \left(\frac{1}{2}\beta\right)^{n+2m}}{m!(n+m)!}$$

式中： ω_c 为载频角频率， ω_m 为调制波角频率， β 为调制指数， A 为调频信号振幅， $J_0(\beta)$ 是零阶第一类贝塞尔函数， $J_n(\beta)$ 是以 β 为变量的 n 阶第一类贝塞尔函数



在幅值变化的各个零点位置其调频指数 β 的值可以精确给出，从而计算出此时的频偏，再计算出各点的抖晃理论值。计算方法如下：

根据抖晃率定义：

$$W\% = \frac{\Delta f}{f} \times 100\% \quad (D.1)$$

式中， Δf — 频偏

f — 载频

根据调频原理可知

$$\Delta f = \beta \times f_m \quad (D.2)$$

式中, β — 调频波的调制指数

f_m — 调制频率

由此, 可以得到

$$W \times 100\% = \frac{\beta f_m}{f} \times 100\% \quad (D.3)$$

由上式可知, 为了要测准 W , 只需测准 β 、 f_m 和 f 即可。 f_m 和 f 用频率计即可测准, 关键是如何把 β 测准。

零阶第一类贝塞尔函数零点的理论抖晃率值计算结果如下表:

表 D.1 DIN 制: 零点的调制度与抖晃率

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=3150\text{Hz}$

m	$W_0\%$	阶数及根数
18.0711	2.2947	零阶第 6 根值
14.9309	1.8960	零阶第 5 根值
11.7915	1.4973	零阶第 4 根值
8.6537	1.0989	零阶第 3 根值
5.5201	0.70097	零阶第 2 根值
2.4048	0.30537	零阶第 1 根值

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=9450\text{Hz}$ (3150Hz 载波三次谐波)

m	$W_0\%$	阶数及根数
2.4048	0.10179	零阶第 1 根值

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=15750\text{Hz}$ (3150Hz 载波五次谐波)

m	$W_0\%$	阶数及根数
2.4048	0.061074	零阶第 1 根值

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=22050\text{Hz}$ (3150Hz 载波七次谐波)

m	$W_0\%$	阶数及根数
2.4048	0.043624	零阶第 1 根值

表 D.2 JIS 制: 零点的调制度与抖晃率

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=3000\text{Hz}$

m	W_0	阶数及根数
21.2116	1.9998	零阶第 6 根
14.9309	1.4077	零阶第 5 根
11.7915	1.1117	零阶第 4 根
8.6534	0.81588	零阶第 3 根
5.5201	0.52044	零阶第 2 根

2.4048	0.22673	零阶第 1 根
--------	---------	---------

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=9000\text{Hz}$ (3000Hz 载波三次谐波)

m	W_0	阶数及根数
2.4048	0.075576	零阶第 1 根值

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=15000\text{Hz}$ (3000Hz 载波五次谐波)

m	W_0	阶数及根数
2.4048	0.045345	零阶第 1 根值

$f_m=4\text{Hz}$, $f_0=21000\text{Hz}$ (3000Hz 载波七次谐波)

m	W_0	阶数及根数
2.4048	0.032389	零阶第 1 根值