

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-201X

调制度测量仪校准规范

Calibration Specification for Modulation Meters

(征求意见稿)

201X-XX-XX 发布

201X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

调制度测量仪
校准规范

JJF XXXX—××××

Calibration Specification for Modulation Meters

归口单位：全国无线电计量技术委员会

起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

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：

*** （工业和信息化部电子第五研究所）

目 录

引 言.....	VI
1 范围.....	1
2 概述.....	1
3 计量特性.....	1
3.1 调频频偏.....	1
3.2 调幅度.....	2 ²⁺
3.3 调相相移.....	2
3.4 剩余调频.....	2
3.5 剩余调幅.....	2
3.6 剩余调相.....	2
3.7 调频测量时的调幅抑制.....	2
3.8 调幅测量时的调频抑制.....	3 ^{3±}
3.9 调相测量时的调幅抑制.....	3
3.10 调频测量时的解调输出失真.....	3
3.11 调幅测量时的解调输出失真.....	3
3.12 调相测量时的解调输出失真.....	3
4 校准条件.....	3
4.1 环境条件.....	3
4.2 测量标准及其他设备.....	3
5 校准项目和校准方法.....	5
5.1 校准项目.....	5
5.2 外观及工作正常性检查.....	5
5.3 调频频偏.....	5
5.4 调幅度.....	7
5.5 调相相移.....	9
5.6 剩余调频.....	10
5.7 剩余调幅.....	12 ¹²⁺

5.8 剩余调相.....	13
5.9 调频测量时的调幅抑制.....	14
5.10 调幅测量时的调频抑制.....	15
5.11 调相测量时的调幅抑制.....	16
5.12 调频测量时的解调输出失真.....	17
5.13 调幅测量时的解调输出失真.....	18 <u>1847</u>
5.14 调相测量时的解调输出失真.....	18
6 校准结果.....	18
7 复校时间间隔.....	19
附录 A 校准记录格式.....	20
附录 B 校准证书内页格式.....	28 <u>2827</u>
附录 C 测量不确定度评定示例.....	36 <u>3635</u>
附录 D 贝塞尔函数零值法调频频偏.....	43 <u>4342</u>

引 言

本规范依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》编写，相关术语及不确定度评定遵循 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》两个文件。

本规范是对 JJF 1111-2003《调制度测量仪校准规范》的修订版本，相对原规范，本规范修订的内容如下：

- 1) 将载波频率测量范围从 0.15MHz~1300MHz 扩展为 0.05MHz~50GHz；
- 2) 将调频频偏测量中：调制频率测量范围从 0.02kHz~200kHz 扩展为 0.01kHz~5MHz，频偏最大允许误差从±3%调整为±（1.5%~3%）；
- 3) 将调幅度测量中：调制频率测量范围从 0.02kHz~200kHz 扩展为 0.01kHz~5MHz，调幅度测量范围从 0.1%~99%扩展为 0.01%~100%，调幅度最大允许误差从±3%调整为±（1.5%~2%）；
- 4) 将调相相移测量中：调制频率测量范围从 0.02kHz~200kHz 扩展为 0.01kHz~5MHz，相移测量范围从 0.01rad~400rad 扩展为 0.01rad~1000rad，调相相移最大允许误差从±6%调整为±3%；
- 5) 将剩余调频的最大允许范围从<3Hz（有效值）（0.15MHz≤ f_c <1300MHz）调整为<1.5Hz（有效值）（100kHz≤ f_c <9GHz）、<3Hz（有效值）（9GHz≤ f_c <18GHz）、<6Hz（有效值）（18GHz≤ f_c <26.5GHz）、<12Hz（有效值）（26.5GHz≤ f_c ≤50GHz）；
- 6) 将剩余调幅的最大允许范围从<0.03%（有效值）（0.15MHz≤ f_c <1300MHz）调整为<0.01%（rms）（0.05MHz≤ f_c <50GHz）；
- 7) 调幅测量时的解调输出失真的最大允许范围从<0.1%调整为<0.3%；
- 8) 调相测量时的解调输出失真的最大允许范围从<0.1%调整为<0.3%；

本规范历次版本发布情况：

JJF 1111-2003。

调制度测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于调制度测量仪的校准。

2 概述

调制度测量仪是用来测量射频已调信号的调制参数的。调制参数包括调频信号的最大频率偏移（简称频偏），调幅信号的调制深度（简称调幅度）和调相信号的最大相位偏移（简称相移）以及调制失真等。常见的调制度测量仪由五部分组成：高频放大与衰减，本振与混频，中频放大，检波（鉴频，包络检波等）和显示，如图 1 所示。由于检波方式不同，测量结果有不同表示。常见有峰值，有效值和平均值三种。在正弦波调制时，峰值是有效值的 $\sqrt{2}$ 倍，有效值是平均值的 $\frac{\pi\sqrt{2}}{4}$ 倍。常用检波方式为峰值，测量结果也表示为峰值。在剩余调频（或调幅，或调相）测量中，一般使用有效值检波和有效值表示。

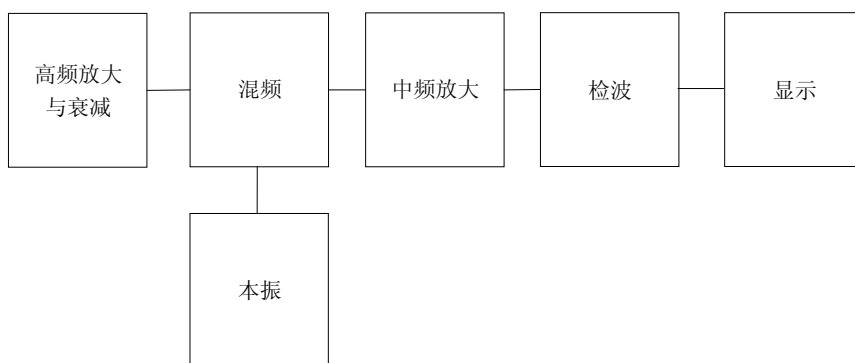


图 1

3 计量特性

3.1 调频频偏

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~5MHz

调频频偏测量范围：0.01kHz~400kHz

调频频偏测量最大允许误差： $\pm(1.5\% \sim 3\%)$

3.2 调幅度

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~5MHz

调幅度测量范围：0.01%~100%

调幅度测量最大允许误差： $\pm(1.5\% \sim 2\%)$

3.3 调相相移

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~5MHz

调相相移测量范围： $(0.01 \sim 1000)$ rad

调相相移测量最大允许误差： $\pm 3\%$

3.4 剩余调频

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波： $(0.05 \sim 3)$ kHz

剩余调频： <1.5 Hz（有效值） $(100\text{kHz} \leq \text{载波频率} < 9\text{GHz})$

<3 Hz（有效值） $(9\text{GHz} \leq \text{载波频率} < 18\text{GHz})$

<6 Hz（有效值） $(18\text{GHz} \leq \text{载波频率} < 26.5\text{GHz})$

<12 Hz（有效值） $(26.5\text{GHz} \leq \text{载波频率} \leq 50\text{GHz})$

3.5 剩余调幅

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波： $(0.05 \sim 3)$ kHz

剩余调幅： $<0.01\%$ （有效值）

3.6 剩余调相

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波： $(0.05 \sim 3)$ kHz

剩余调相： <0.02 rad（有效值）

3.7 调频测量时的调幅抑制

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波： $(0.05 \sim 3)$ kHz

调幅抑制： <20 Hz（峰峰值） $(\Delta f = 50\text{kHz})$

3.8 调幅测量时的调频抑制

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波：(0.05~3) kHz

调频抑制：<0.2% (峰峰值) ($\Delta f=50\text{kHz}$)

3.9 调相测量时的调幅抑制

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

低频滤波：(0.05~3) kHz

调频抑制：<0.03rad (峰峰值) ($\Delta f=50\text{kHz}$)

3.10 调频测量时的解调输出失真

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~200kHz

解调输出失真：<0.1%

3.11 调幅测量时的解调输出失真

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~200kHz

解调输出失真：<0.3%

3.12 调相测量时的解调输出失真

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.01kHz~200kHz

解调输出失真：<0.3%

注：以上技术指标不作合格性判别，仅供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度：(23±5)°C

4.1.2 相对湿度：≤80%

4.1.3 供电电压：(220±1)V、(50±1)Hz

4.1.4 周围无影响校准系统正常工作的电磁干扰和机械振动

4.2 测量标准及其他设备

4.2.1 标准调制信号发生器

载波频率范围：0.05MHz~50GHz

调制频率范围：0.02kHz~5MHz

调频频偏范围：(0~400) kHz

调频频偏扩展不确定度：1% ($k=2$)

调幅度：(0.01~100) %

调幅度扩展不确定度：0.3%~1.5% ($k=2$)

调相相移：(0.01~1000) rad

调相相移测量最大允许误差：±1%

4.2.2 信号发生器（带外调制输入）

频率范围：0.05MHz~50GHz

输出幅度：-120dBm~20dBm

调制频偏：(0~400)kHz

调幅度：(0.01~100)%

4.2.3 频谱分析仪

频率范围：10Hz~50GHz

分辨带宽：1Hz~10MHz

边带噪声电平：<-80dBc/Hz(偏离中心频率 100Hz~1MHz)

平均噪声电平：<-100dBm/Hz

显示刻度最大允许误差：±0.1dB/10dB，90dB 时累计小于 0.6dB

4.2.4 低频信号发生器

频率范围：1Hz~10MHz

电压范围：10mV~10V

电压最大允许误差：±0.05%

失真度：≤0.05%

4.2.5 失真分析仪

频率范围：10Hz~200kHz

失真度范围：0.01%~30%

失真度最大允许误差：±(1dB~2dB)

输入电压范围：50mV~100V

4.2.6 衰减器

频率范围：0.05MHz~50GHz

衰减量：0dB~60dB

衰减不确定度：0.01dB~0.10dB ($k=2$)

4.2.7 功率分配器

频率范围：0.05MHz~50GHz

驻波比： ≤ 1.5

5 校准项目和校准方法

5.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 校准项目表

序号	校准项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	调频频偏
3	调幅度
4	调相相移
5	剩余调频
6	剩余调幅
7	剩余调相
8	调频测量时的调幅抑制
9	调幅测量时的调频抑制
10	调相测量时的调幅抑制
11	调频测量时的解调输出失真
12	调幅测量时的解调输出失真
13	调相测量时的解调输出失真

5.2 外观及工作正常性检查

- a) 被校调制度测量仪应无影响电气性能的机械损伤，其开关、按键、接口等应可靠，旋钮应牢固且调节正常。
- b) 被校调制度测量仪通电开机后，应能工作正常、显示清晰，并按其技术说明书要求完成自检。
- c) 进行后续校准时，被校调制度测量仪应先按技术说明书要求完成预热。

5.3 调频频偏

5.3.1 标准调制源法

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

a) 仪器连接如图 1 所示。标准调制信号发生器输出端接入到被校调制度测量仪输入端口，且要阻抗匹配。



图 1 标准调制度源-调频频偏校准的连接示意图

- b) 按附录 A 表 A.2 “载波频率”、“调制频率”、“调频频偏”栏目中要求分别设置标准调制信号发生器的输出频率、调制频率、频率频偏，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。
- c) 被校调制度测量仪设置为频偏测量功能，选择“正峰值（P+）+负峰值（P-）”检波器，并选择合适的滤波带宽；读取调频频偏值，记录于附录 A 表 A.2 中。
- d) 被调制度测量仪的调频频偏的示值误差按式（1）计算：

$$\Delta FM_S = FM_{1S} - FM_{2S} \quad (1)$$

式中： ΔFM_S —调频频偏的示值误差，Hz；

FM_{1S} —被校调制度测量仪的指示值，Hz；

FM_{2S} —标准调制信号发生器的设定值（标准值），Hz。

e) 按照附录 A 表 A.2 取点，重复本规范第 5.3.1 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.2 中。

5.3.2 贝塞尔函数零值法

a) 仪器连接如图 3 所示。

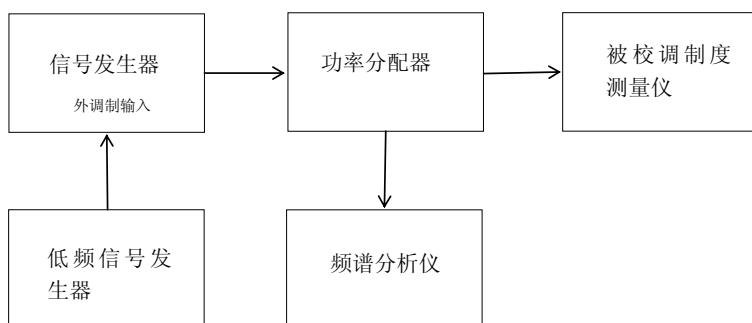


图2 贝塞尔函数-调频频偏校准的连接示意图

- b) 按附录 A 表 A.2 “载波频率”一栏中要求设置信号发生器的输出频率，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。
- c) 设置频谱分析仪的中心频率与信号发生器的输出频率一致，调节分辨力带宽、频谱宽度、参考电平，使其波形显示清晰，光标标记载波频率和幅度，作为参考值，按下相对光标键。
- d) 根据校准的调制频率，设置低频信号发生器的频率（按附录 D 表 D.2 中调制信号频率），且幅度调整为最小值。
- e) 调节低频信号发生器的输出幅度，是频谱分析仪上的谱线幅度减小，直到 k 次（ k 为零点序号， k 值选择参考附录 D 表 D.2）值相对光标幅度小于 60dB 以上（或比参考值小 60dB 以上）。
- f) 被校调制度测量仪设置为频偏测量功能，选择“正峰值（P+）+负峰值（P-）”检波器，并选择合适的滤波带宽（参考附录 D 表 D.2），读取调频频偏值，记录于附录 A 表 A.2 中。
- g) 被调制度测量仪的调频频偏的示值误差按式（2）计算：

$$\Delta FM_B = FM_{1B} - FM_{2B} \quad (2)$$

式中：

ΔFM_B —调频频偏的示值误差，Hz；

FM_{1B} —被校调制度测量仪的指示值，Hz；

FM_{2B} —频谱分析仪的计算值（标准值），Hz。

- f) 按照附录 A 表 A.2 取点，重复本规范第 5.3.2 条中 a)~g) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.2 中。

5.4 调幅度

5.4.1 标准调制源法

- a) 仪器连接如图 1 所示。标准调制信号发生器输出端接入到被校调制度测量仪输入端口，且要阻抗匹配。
- b) 按附录 A 表 A.3 “载波频率”、“调制频率”、“调幅度”栏目中要求设置标准调制信号发生器的输出频率、调制频率、调幅度，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪指标要求的其他值）。
- c) 被校调制度测量仪设置为调幅度测量功能，选择“正峰值（P+）+负峰值（P-）”检波器，并选择合适的滤波带宽；读取调幅度值，记录于附录 A 表 A.3 中。
- d) 被调制度测量仪的调幅度的示值误差按式（3）计算：

$$\Delta AM = AM_1 - AM_2 \quad (3)$$

式中：

ΔAM —调幅度的示值误差，%；

AM_1 —被校调制度测量仪的指示值，%；

AM_2 —标准调制信号发生器的设定值（标准值），%。

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

- e) 按照附录 A 表 A.3 取点，重复本规范第 5.4.1 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.3 中。

5.4.2 衰减法

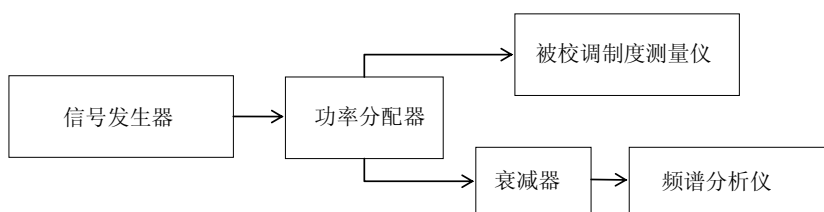


图 3 衰减法-调幅度校准的连接示意图

- a) 仪器连接如图所示。
- b) 设置衰减器的衰减值为 0。按附录 A 表 A.3 “载波频率”、“调制频率”、“调幅度”栏目中要求设置标准调制信号发生器的输出频率、调制频率、调幅度，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪指标要求的其他值），再根据公式（4）计算出衰减量 A_i ，

$$A_i = 20 \times \log(m_a/2) \quad (4)$$

式中： A_i —衰减量，dB；

m_a —信号发生器的设定值的调幅度，%。

c) 根据计算出的衰减量 A_i ，调整衰减器的衰减量为 A_i ，并读取频谱分析仪载波幅度的变化量 A_1 。

d) 衰减器的衰减量置为 0dB，调整信号发生器的调幅度，读取频谱分析仪的载波幅度和上下边频幅度的差值 A_2 ，使得 $A_2=A_1$ 。

$$A_2 = \frac{1}{2}(A_{up} - A_{low}) - A_c \quad (5)$$

式中：

A_c —载波幅度，dB；

A_{up} —上边频幅度，dB；

A_{low} —下边频幅度，dB。

e) 被校调制度测量仪设置为调幅度测量功能，选择“正峰值(P+) + 负峰值(P-)”检波器，并选择合适的滤波带宽；读取调幅度值，记录于附录 A 表 A.3 中。

按照附录 A 表 A.3 取点，重复本规范第 5.4.2 条中 a)~e) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.3 中。

5.5 调相相移

5.5.1 标准调制源法

a) 仪器连接如图 1 所示。标准调制信号发生器输出端接入到被校调制度测量仪输入端口，且要阻抗匹配。

b) 按附录 A 表 A.4 “载波频率”、“调制频率”、“调相相移”栏目中要求设置标准调制信号发生器的输出频率、调制频率、调相相移，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。

c) 被校调制度测量仪设置为调相相移测量功能，选择“正峰值(P+) + 负峰值(P-)”检波器，并选择合适的滤波带宽；读取调相相移值，记录于附录 A 表 A.4 中。

d) 被调制度测量仪的调相相移的示值误差按式 (6) 计算：

$$\Delta PM_S = PM_{1S} - PM_{2S} \quad (6)$$

式中：

ΔPM_S —调相相移的示值误差，rad；

PM_{1S} —被校调制度测量仪的指示值，rad；

PM_{2B} —标准调制信号发生器的设定值（标准值），rad。

e) 按照附录 A 表 A.4 取点，重复本规范第 5.5.1 条中 a)~d)的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.4 中。

5.5.2 贝塞尔函数零值法

a) 按本规范第 5.3.2 条的 a)~e)操作。

b) 被校调制度测量仪设置为调相相移测量功能，选择“正峰值 (P+) + 负峰值 (P-)”检波器，并选择合适的滤波带宽（参考附录 D 表 D.2），读取调相相移值，记录于附录 A 表 A.4 中。

c) 被调制度测量仪的调相相移的示值误差按式 (7) 计算：

$$\Delta PM_B = PM_{1B} - PM_{2B} \quad (7)$$

式中：

ΔPM_B —调频频偏的示值误差，rad；

PM_{1B} —被校调制度测量仪的指示值，rad；

PM_{2B} —频谱分析仪的计算值（标准值），rad。

d) 按照附录 A 表 A.4 取点，重复本规范第 5.5.2 条中 a)~c)的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.4 中。

5.6 剩余调频

5.6.1 方法一间接测量法

a) 仪器连接如图 4 所示。

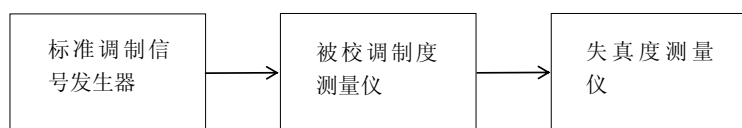


图 4 剩余调频校准的连接示意图

b) 被校调制度测量仪设置为调频频偏测量功能，选择规定的滤波带宽。

c) 按附录 A 表 A.5.1 “载波频率”一栏中要求设置标准调制信号发生器的输出频率，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

d) 置标准调制信号发生器为频偏状态，调制频率为 1kHz，调整频偏值，使被校调制度测量仪在最低量程指到满度 Δf_{F1} ，用失真度测量仪的电压表测量解调输出电压 U_{F1} 。然后改用无调制载波信号，再测量解调输出电压 U_{N1} 。

e) 被调制度测量仪的剩余调频的示值按式 (8) 计算：

$$\Delta f_{N1} = \frac{U_{N1}}{U_{F1}} \times \Delta f_{F1} \quad (8)$$

式中：

Δf_{N1} —剩余调频的示值，Hz；

U_{N1} —无调制信号解调后输出的电压值，mV；

U_{F1} —有调制信号解调后输出的电压值，mV；

Δf_{F1} —被校准仪器在最低量程的满度值，Hz。

若剩余调频以信噪比 (dB) 形式给出时，按式 (9) 计算剩余调频 R_{sf} 。

$$R_{sf} = 20 \log \left(\frac{U_{N1}}{U_{R1}} \right) \quad (9)$$

式中：

R_{sf} —剩余调频的示值，dB；

U_{N1} —无调制信号解调后输出的电压值，mV；

U_{R1} —规定参考频偏下解调后输出的电压值 (值的大小可查阅被校仪器说明书)，mV。

注：被校调制度测量仪没有解调输出时，可在最低量程测量无调制载波信号，直接读取频偏值，即为剩余调频 Δf_{N2} 。若剩余调频以信噪比 (dB) 形式给出时，按式 (10) 计算剩余调频 R_{sf} 。

$$R_{sf} = 20 \log \left(\frac{\Delta f_{N2}}{\Delta f_R} \right) \quad (10)$$

式中：

R_{sf} —剩余调频的示值，dB；

Δf_{N2} —无调制信号的频偏值，Hz；

Δf_R —规定参考频偏值 (可查阅被校仪器说明书)，Hz。

f) 按照附录 A 表 A.5.1 取点，重复本规范第 5.6.1 条中 a)~e) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.5.1 中。

5.6.2 方法二直接测量法

a) 仪器连接如图 1 所示。

b) 设置被校调制度测量仪为频偏状态，检波器选择有效值检波 (RMS)，低通滤波器 3kHz，

高通滤波器 300 Hz。

c) 读取被校调制度测量仪的频偏值，数据记录于附录 A 表 A.5.2 中。

5.7 剩余调幅

5.7.1 方法一间接测量法

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 被校调制度测量仪设置为调幅度测量功能，选择规定的滤波带宽。

c) 按附录 A 表 A.6.1 “载波频率”一栏中要求设置标准调制信号发生器的输出频率，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。

d) 置标准调制信号发生器为调幅状态，调制频率为 1kHz，调整调幅值，使被校调制度测量仪在最低量程指到满度 M_{F1} ，用失真度测量仪的电压表测量解调输出电压 U_{F2} 。然后改用无调制载波信号，再测量解调输出电压 U_{N2} 。

e) 被调制度测量仪的剩余调幅的示值按式 (11) 计算：

$$M_{N1} = \frac{U_{N2}}{U_{F2}} \times M_{F1} \quad (11)$$

式中：

M_{N1} —剩余调幅的示值，%；

U_{N2} —无调制信号解调后输出的电压值，mV；

U_{F2} —有调制信号解调后输出的电压值，mV；

M_{F1} —被校准仪器在最低量程的满度值，%。

若剩余调幅以信噪比（dB）形式给出时，按式 (12) 计算剩余调幅 R_{sm} 。

$$R_{sm} = 20 \log \left(\frac{U_{N2}}{U_{R2}} \right) \quad (12)$$

式中：

R_{sm} —剩余调幅的示值，dB；

U_{N2} —无调制信号解调后输出的电压值，mV；

U_{R2} —规定参考频偏下解调后输出的电压值（值的大小可查阅被校仪器说明书），mV。

注：被校调制度测量仪没有解调输出时，可在最低量程测量无调制载波信号，直接读取调幅度值，即为剩余调幅 M_{N2} 。若剩余调幅以信噪比（dB）形式给出时，按式 (13) 计算剩余调幅 R_{sm} 。

$$R_{sm} = 20 \log \left(\frac{M_{N2}}{M_R} \right) \quad (13)$$

式中：

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

R_{sm} —剩余调幅的示值，dB；

M_{N2} —无调制信号的调幅度值，%；

M_R —规定参考调幅度值（可查阅被校仪器说明书），%。

f)按照附录 A 表 A.6.1 取点，重复本规范第 5.7.1 条中 a)~e)的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.6.1 中。

5.7.2 方法二直接测量法

a) 仪器连接如图 1 所示。

b) 设置被校调制度测量仪为调幅状态，检波器选择有效值检波(RMS)，低通滤波器 3kHz，高通滤波器 300 Hz。

c) 读取被校调制度测量仪的调幅值，数据记录于附录 A 表 A.6.2 中。

5.8 剩余调相

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 被校调制度测量仪设置为调相相移测量功能，选择规定的滤波带宽。

c) 按附录 A 表 A.7 “载波频率”一栏中要求设置标准调制信号发生器的输出频率，输出电平设置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）。

d) 置标准调制信号发生器为调相状态，调制频率为 1kHz，调整调相相移值，使被校调制度测量仪在最低量程指到满度 P_{F1} ，用失真度测量仪的电压表测量解调输出电压 U_{F3} 。然后改用无调制载波信号，再测量解调输出电压 U_{N3} 。

e) 被调制度测量仪的剩余调相的示值按式（14）计算：

$$\Delta P_{N1} = \frac{U_{N3}}{U_{F3}} \times \Delta P_{F1} \quad (14)$$

式中：

ΔP_{N1} —剩余调相的示值，rad；

U_{N3} —无调制信号解调后输出的电压值，mV；

U_{F3} —有调制信号解调后输出的电压值，mV；

ΔP_{F1} —被校准仪器在最低量程的满度值，rad。

若剩余调相以信噪比（dB）形式给出时，按式（15）计算剩余调频 R_{sm} 。

$$R_{sp} = 20 \log \left(\frac{U_{N3}}{U_R} \right) \quad (15)$$

式中：

R_{sp} —剩余调相的示值，dB；

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

U_{N3} —无调制信号解调后输出的电压值, mV;

U_R —规定参考相移下解调后输出的电压值 (值的大小可查阅被校仪器说明书), mV。

注: 被校调制度测量仪没有解调输出时, 可在最低量程测量无调制载波信号, 直接读取调相相移值, 即为剩余调相 P_N 。若剩余调幅以信噪比 (dB) 形式给出时, 按式 (16) 计算剩余调相 R_{sp} 。

$$R_{sp} = 20 \log \left(\frac{\Delta P_{N2}}{\Delta P_R} \right) \quad (16)$$

式中:

R_{sp} —剩余调相的示值, dB;

ΔP_{N2} —无调制信号的调相相移值, rad;

ΔP_R —规定参考调相相移值 (可查阅被校仪器说明书), rad。

f) 按照附录 A 表 A.7 取点, 重复本规范第 5.8.1 条中 a)~e) 的步骤操作, 数据记录于附录 A 表 A.7 中。

5.9 调频测量时的调幅抑制

5.9.1 方法一间接测量法

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 参照本规范第 5.6.1 条的步骤操作。在调频信号下测出 Δf_{F1} , U_{F1} , Δf_{N1} 。然后改用调幅度为 50% (或指标要求的其他值) 的调幅信号, 用失真度测量仪的电压挡测量被校调制度测量仪解调输出的电压 U_{AMR} 。按式 (17) 计算调频测量时的调幅抑制 Δf_{AMR} 。

$$\Delta f_{AMR} = \frac{U_{ARM}}{U_{F1}} \times \Delta f_{F1} - \Delta f_{N1} \quad (17)$$

式中:

Δf_{AMR} —调频测量时的调幅抑制, Hz;

U_{AMR} —调幅度为 50% (或指标要求的其他值) 的调幅信号解调后输出的电压值, mV;

U_{F1} —设定的调频信号解调后输出的电压值, mV;

Δf_{F1} —被校准仪器在最低量程的满度值, Hz;

Δf_{N1} —剩余调频值, Hz。

c) 被校调制度测量仪没有解调输出时, 有两种方法测量调频测量时的调幅抑制 Δf_{AMR} 。

方法 1: 在最低量程测量 50% 调幅波信号, 直接读频偏值 $\Delta f'_{AMR}$ 。按式 (18) 计算调频测量时的调幅抑制 Δf_{AMR} 。

$$\Delta f_{AMR} = \Delta f'_{AMR} - \Delta f_{N1} \quad (18)$$

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

方法 2：在指标规定量程满度值附近（如 90%）测量调频信号的频偏 Δf ，然后在调频的基础上加上 50% 的幅度调制，被校调制度测量仪读出第二个频偏值 $\Delta f'$ ，按式（19）计算调频测量时的调幅抑制 Δf_{AMR} 。

$$\Delta f_{AMR} = \Delta f' - \Delta f \quad (19)$$

d) 按照附录 A 表 A.8.1 取点，重复本规范第 5.9.1 条中 a)~c) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.8.1 中。

6.9.2 方法二直接测量法

a) 仪器连接如图 1 所示。

b) 标准调制信号发生器输出频率按附录 A 表 A.8“载波频率”一栏设置、输出电平置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）、调制频率置为 1kHz、调幅度置为 50%。

c) 设置被校调制度测量仪为频偏状态，选择“正峰值（P+）+负峰值（P-）”检波器，低通滤波器 3kHz，高通滤波器 300Hz。

d) 读取被校调制度测量仪的频偏值，数据记录于附录 A 表 A.8.2 中。

5.10 调幅测量时的调频抑制

5.10.1 方法一间接测量法

a) 仪器连接如图 4 所示。

b) 参照本规范第 5.9.1 条的步骤操作。被校调制度测量仪设为调幅测量状态，标准调制信号发生器设为调幅状态；再按附录 A 表 A.9.1 校准点要求设置仪器的其他参数，标准调制信号的频偏按式（20）（或指标规定值）设置。

$$\Delta f = m_m \times f \times 50\% \quad (20)$$

式中：

Δf —欲设定的标准调制信号发生器的频偏值；

m_m —标准调制信号发生器的最大调频系数；

f —调制信号发生器的载频频率。

c) 把校准得到的结果记录于附录 A 表 A.9.1 中，然后按式（21）计算调幅测量时的调频抑制 M_{FMR} 。

$$M_{FMR} = \frac{U_{FRM}}{U_F} \times M_F - M_N \quad (21)$$

式中：

M_{FMR} —调幅测量时的调频抑制，%；

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

U_{FMR} —调频频偏为 Δf 的调频信号解调后输出的电压值，mV；

U_F —设定的调幅信号解调后输出的电压值，mV；

M_F —被校准仪器在最低量程的满度值，%；

M_N —剩余调幅值，%。

d) 被校调制度测量仪没有解调输出时，有两种方法测量调幅测量时的调频抑制 M_{FMR} 。

方法 1:

在最低量程测量由式 (20) 决定频偏值 Δf 的调频波信号，直读调幅度值 M'_{FMR} 。按式 (22) 计算调幅测量时的调频抑制 M_{FMR} 。

$$M_{FMR} = M'_{FMR} - M_N \quad (22)$$

方法 2:

在指标规定量程满度值附近（如 90%）测量调幅信号的调幅度 M ，然后在调幅的基础上加上调频（按式 (22) 设定频偏值），被校调制度仪读出第二个调幅度值 M' ，按式 (23) 计算。

$$M_{FMR} = M' - M \quad (23)$$

e) 按照附录 A 表 A.9.1 取点，重复本规范第 5.10.1 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.9.1 中。

5.10.2 方法二直接测量法

a) 仪器连接如图 1 所示。

b) 标准调制信号发生器输出频率按附录 A 表 A.9.2 “载波频率”一栏设置、输出电平置为 0dBm（或被校调制度测量仪技术说明书要求的其他值）、调制频率置为 1kHz、调频频偏置为 50kHz。

c) 设置被校调制度测量仪为调幅状态，选择“正峰值 (P+) + 负峰值 (P-)”检波器，低通滤波器 3kHz，高通滤波器 300Hz。

d) 读取被校调制度测量仪的调幅值，数据记录于附录 A 表 A.9.2 中。

5.11 调相测量时的调幅抑制

5.11.1 方法一间接测量法

a) 仪器连接如图 3 所示。

b) 参照本规范第 5.9.1 条的步骤操作。被校调制度测量仪设为调相测量状态，标准调制信号发生器设为调相状态；再按附录 A 表 A.10 校准点要求设置仪器的其他参数，把校

带格式的：段落间距段前：0.5 行，
段后：0.5 行

准得到的结果记

录

于附录A表A.10中，然后按式（24）计算调相测量时的调幅抑制 ΔP_{AMR} 。

$$\Delta P_{AMR} = \frac{U_{ARM}}{U_F} \times \Delta P_F - \Delta P_N \quad (24)$$

式中：

ΔP_{AMR} —调相测量时的调幅抑制，rad；

U_{ARM} —调幅度为50%（或指标要求的其他值）的调幅信号解调后输出的电压值，mV；

U_F —设定的调相信号解调后输出的电压值，mV；

ΔM_F —被校准仪器在最低量程的满度值，rad；

ΔM_N —剩余调相值，rad。

c) 被校调制度测量仪没有解调输出时，有两种方法测量调相测量时的调幅抑制 ΔP_{AMR} 。

方法1：在最低量程测量50%调幅波信号，直读相移值 $\Delta P'_{AMR}$ 。按式（25）计算调相测量时的调幅抑制 ΔP_{AMR} 。

带格式的：段落间距段前：0.5行，段后：0.5行

$$\Delta P_{AMR} = \Delta P'_{AMR} - \Delta P_N \quad (25)$$

方法2：在指标规定量程满度值附近（如90%）测量调相信号的相移值 ΔP ，然后在调相的基础上加上50%的幅度调制，被校调制度测量仪读出第二个相移值 $\Delta P'$ ，按式（26）计算。

$$\Delta P_{AMR} = \Delta P' - \Delta P \quad (26)$$

d) 按照附录A表A.10.1取点，重复本规范第5.11.1条中a)~c)的步骤操作，数据记录于附录A表A.10.1中。

5.11.2 方法二直接测量法

a) 参照本规范第5.9.1条的步骤操作，数据记录于附录A表A.10.2中。

5.12 调频测量时的解调输出失真

a) 仪器连接如图4所示。

带格式的：段落间距段前：0.5行，段后：0.5行

b) 标准调制信号发生器的输出电平设置为0dBm（或被校调制度测量仪指标要求的其他值）；置调频频偏为被校调制度测量仪频偏测量最低量程的50%（或指标规定值），载频频率和调制频率按附录A表A.11设置。

c) 设置被校调制度测量仪为频偏测量状态，选择规定的解调带宽；

d) 用失真度测量仪测量解调输出信号的失真度，记录于附录A表A.11中；对于无解调信号

输出，但具有测量调制失真功能的调制度测量仪，可直接测量调频信号的调制失真，作为被校调制度仪调频测量时的解调输出失真。

e) 按照附录 A 表 A.11 取点，重复本规范第 5.12 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.11 中。

5.13 调幅测量时的解调输出失真

a) 仪器连接如图 4 所示。

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

b) 标准调制信号发生器的输出电平设置为 0dBm(或被校调制度测量仪指标要求的其他值)；置调幅度为被校调制度测量仪调幅测量最低量程的 50% (或指标规定值)，载频频率和调制频率按附录 A 表 A.12 设置。

c) 设置被校调制度测量仪为调幅测量状态，选择规定的解调带宽；

d) 用失真度测量仪测量解调输出信号的失真度，记录于附录 A 表 A.12 中；对于无解调信号输出，但具有测量调制失真功能的调制度测量仪，可直接测量调频信号的调制失真，作为被校调制度仪调幅测量时的解调输出失真。

e) 按照附录 A 表 A.12 取点，重复本规范第 5.13 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.12 中。

5.14 调相测量时的解调输出失真

a) 仪器连接如图 4 所示。

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

b) 标准调制信号发生器的输出电平设置为 0dBm(或被校调制度测量仪指标要求的其他值)；置调相相移为被校调制度测量仪调相测量最低量程的 50% (或指标规定值)，载频频率和调制频率按附录 A 表 A.13 设置。

c) 设置被校调制度测量仪为调相测量状态，选择规定的解调带宽；

d) 用失真度测量仪测量解调输出信号的失真度，记录于附录 A 表 A.13 中；对于无解调信号输出，但具有测量调制失真功能的调制度测量仪，可直接测量调频信号的调制失真，作为被校调制度仪调相测量时的解调输出失真。

e) 按照附录 A 表 A.13 取点，重复本规范第 5.14 条中 a)~d) 的步骤操作，数据记录于附录 A 表 A.13 中。

6 校准结果

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包含以下信息：

- (a) 标题，如“校准证书”或“校准报告”；
- (b) 实验室名称和地址；
- (c) 如果不在实验室内进行校准时，需说明进行校准的地点；
- (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) 送校单位的名称和地址；
- (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及应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- (h) 如果与校准结果的有效性及应用有关时，应对抽样程序进行说明；
- (i) 对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) 校准证书及校准报告签发人的签名、等效标识，以及签发日期；
- (n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- (o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

经校准的调制度测量仪，发给校准证书或校准报告，加盖校准印章。

原始记录格式参见附录 A，校准证书内页格式参见附录 B，校准结果不确定度评定实例参见附录 C。

7 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，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。

复校时间间隔建议为 12 个月。

附录 A 校准记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

外观检查：正常 不正常 工作正常性检查：正常 不正常

A.2 调频频偏

表 A.2 调频频偏

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/kHz	标准值/kHz	指示值/kHz	误差/kHz
1	1	10	1		
			5		
			10		

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.3 调幅度

表 A.3 调幅度

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	标准值/%	指示值/%	误差/%
1	1	10	1		
			5		
			10		

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.3 调幅度 (续)

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	标准值/%	指示值/%	误差/%

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

A.4 调相相移

表 A.4 调相相移

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/rad	标准值/rad	指示值/rad	误差/rad
1	1	10	1		
			5		
			10		

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

A.5 剩余调频

表 A.5.1 剩余调频（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出 电压 U_F/V	满量程频 偏 $\Delta f_F/Hz$	剩余调频 输出电压 U_N/V	剩余调频 $\Delta f_N/Hz$
1	300~3000	+				
		-				

- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.5.2 剩余调频（直接测量法）

被校示值/Hz

- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.6 剩余调幅

表 A.6.1 剩余调幅（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出 电压 U_F/V	满量程调 幅度 $M_F/%$	剩余调幅 输出电压 U_N/V	剩余调幅 $M_N/%$
1	300~3000	+				
		-				

- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行
- 带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.6.2 剩余调幅（直接测量法）

被校示值/%

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.7 剩余调相

表 A.7 剩余调相

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调相 $\Delta P_T/rad$	剩余调相输出电压 U_N/V	剩余调幅 $\Delta P_N/rad$
1	300~3000	+				
		-				

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.8 调频测量时的调幅抑制

表 A.8.1 调频测量时的调幅抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程频偏 $\Delta f_F/Hz$	剩余调频输出电压 U_N/V	调幅抑制输出电压 U_{AMR}/V	调频抑制 $\Delta f_{AMR}/Hz$
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.8.2 调频测量时的调幅抑制（直接测量法）

被校示值/Hz

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.9 调幅测量时的调频抑制

表 A.9.1 调幅测量时的调频抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调幅度 $M_F/\%$	剩余调幅输出电压 U_N/V	调频抑制输出电压 U_{FMR}/V	调幅抑制 $M_{FMR}/\%$
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.9.2 调幅测量时的调频抑制（直接测量法）

被校示值/%

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.10 调相测量时的调幅抑制

表 A.10.1 调相测量时的调幅抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调相 $\Delta P_F/rad$	剩余调相输出电压 U_N/V	调幅抑制输出电压 U_{AMR}/V	调相抑制 $\Delta P_{AMR}/rad$
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 A.10.2 调相测量时的调幅抑制（直接测量法）

被校示值/Hz

A.11 调频测量时的解调输出失真

表 A.11 调频测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/kHz	+/-	信号频偏值 $\Delta f/kHz$	解调失真 /%
1	1	10	+	5	
			-	5	
			+	15	
			-	15	

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.12 调幅测量时的解调输出失真

表 A.12 调幅测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	+/-	信号调幅度 $M/\%$	解调失真 /%
1	1	10	+	5	
			-	5	
			+	15	
			-	15	

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

A.13 调相测量时的解调输出失真

表 A.13 调相测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	+/-	信号相移值 $\Delta P/\text{rad}$	解调失真 /%
1	1	10	+	5	
			-	5	
			+	15	
			-	15	

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

附录 B 校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

外观检查：正常 不正常 工作正常性检查：正常 不正常

B.2 调频频偏

表 B.2 调频频偏

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/kHz	标准值/kHz	指示值/kHz	误差/kHz	U/Hz
1	1	10	1			
			5			
			10			

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.3 调幅度

表 B.3 调幅度

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	标准值/%	指示值/%	误差/%	U/%
1	1	10	1			
			5			
			10			

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.3 调幅度 (续)

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	标准值/%	指示值/%	误差/%	U/%

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

B.4 调相相移

表 B.4 调相相移

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/rad	标准值/rad	指示值/rad	误差/rad	U/rad
1	1	10	1			
			5			
			10			

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

B.5 剩余调频

表 B.5.1 剩余调频（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程频偏 $\Delta f_F/Hz$	剩余调频输出电压 U_N/V	剩余调频 $\Delta f_N/Hz$	U/Hz
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.5.2 剩余调频（直接测量法）

被校示值/Hz	U/Hz

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.6 剩余调幅

表 B.6.1 剩余调幅（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调幅度 $M_F/%$	剩余调幅输出电压 U_N/V	剩余调幅 $M_N/%$	$U/%$
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.6.2 剩余调幅（直接测量法）

被校示值/%	$U/\%$

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.7 剩余调相

表 B.7 剩余调相

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调相 $\Delta P_F/rad$	剩余调相输出电压 U_N/V	剩余调幅 $\Delta P_N/rad$	U/rad
1	300~3000	+					
		-					

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.8 调频测量时的调幅抑制

表 B.8.1 调频测量时的调幅抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程频偏 $\Delta f_f/Hz$	剩余调频输出电压 U_N/V	调幅抑制输出电压 U_{AMR}/V	调频抑制 $\Delta f_{AMR}/Hz$	U/Hz
1	300~3000	+						
		-						

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.8.2 调频测量时的调幅抑制（直接测量法）

被校示值/Hz	U/Hz

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.9 调幅测量时的调频抑制

表 B.9.1 调幅测量时的调频抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调幅度 $M_F/\%$	剩余调幅输出电压 U_N/V	调频抑制输出电压 U_{FMR}/V	调幅抑制 $M_{FMR}/\%$	$U/\%$
1	300~3000	+						
		-						

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.9.2 调幅测量时的调频抑制（直接测量法）

被校示值/%	$U/\%$

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.10 调相测量时的调幅抑制

表 B.10.1 调相测量时的调幅抑制（间接测量法）

载波频率 /MHz	滤波带宽 /Hz	+/-	满量程输出电压 U_F/V	满量程调相 $\Delta P_F/rad$	剩余调相输出电压 U_N/V	调幅抑制输出电压 U_{AMR}/V	调相抑制 $\Delta P_{AMR}/rad$	U/rad
1	300~3000	+						
		-						

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

表 B.10.2 调相测量时的调幅抑制（直接测量法）

被校示值/Hz	U/Hz

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.11 调频测量时的解调输出失真

表 B.11 调频测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/kHz	+/-	信号频偏值 Δf /kHz	解调失真 /%	U /%
1	1	10	+	5		
			-	5		
			+	15		
			-	15		

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.12 调幅测量时的解调输出失真

表 B.12 调幅测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	+/-	信号调幅度 M /%	解调失真 /%	U /%
1	1	10	+	5		
			-	5		
			+	15		
			-	15		

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

B.13 调相测量时的解调输出失真

表 B.13 调相测量时的解调输出失真

载波频率/MHz	调制频率/kHz	量程/%	+/-	信号相移值 $\Delta P/\text{rad}$	解调失真 /%	$U/\%$
1	1	10	+	5		
			-	5		
			+	15		
			-	15		

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

附录 C 测量不确定度评定示例

C.1 调频频偏校准的测量不确定度评定(贝塞尔函数零值法)

带格式的: 段落间距段前: 0.5 行, 段后: 0.5 行

C.1.1 测量模型

$$y = m_F \times f_m \quad (\text{C.1})$$

式中, y ——被校调制度测量仪调频频偏值, Hz

m_F ——调频指数, Hz

f_m ——调制信号频率, Hz

灵敏系数不确定度传播律, 调频频偏的相对合成标准不确定度可表示为:

$$u_c(y) = \frac{u_c(y)}{y} = \sqrt{\left(\frac{c_1 u'(f_m)}{f_m}\right)^2 + \left(\frac{c_2 u'(m_F)}{m_F}\right)^2} = \sqrt{(c_1 u(f_m))^2 + (c_2 u(m_F))^2}$$

式中, $u(f_m)$ ——输入量调制信号频率 f_m 的相对不确定度;

$u(m_F)$ ——输入量调频指数 m_F 的相对不确定度;

c_1 、 c_2 ——输入量 f_m 和 m_F 的灵敏系数。

其中, 灵敏系数为: $c_1=1$ 、 $c_2=2$

C.1.2 不确定度来源:

- 1) 调制信号频率引入的相对标准不确定度;
- 2) 调频指数引入的相对标准不确定度;
- 3) 测量重复性引入的相对标准不确定度。

C.1.3 计算各分量标准不确定度

C.1.3.1 调制信号频率引入的相对标准不确定度分量

调制信号由低频信号发生器提供, 根据上级校准证书, 频率准确度为 1×10^{-9} , 按均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则标准不确定度分量为:

$$u_{(f_m)} = 1 \times 10^{-9} / \sqrt{3} = 6 \times 10^{-10}$$

C.1.3.2 调频指数引入的相对标准不确定度分量

调频指数 m_F 引入的不确定度包括理论取值引入的不确定度和零点确认引入的不确定度, 零点确认又包括频谱分析仪载波压缩近 0 点、调制信号幅度不稳、调频失真、剩余调幅等主要影响量。

- 1) 调频指数的理论取值引入的不确定度

调频指数 m_F 理论取值到小数点后四位，第四位由四舍五入得到，即半区间宽度为 0.00005，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的相对标准不确定分量：

$$u_{1(m_F)} = \left(\frac{0.00005}{2.4048}\right)/\sqrt{3} = 1.2 \times 10^{-5}$$

2) 频谱分析仪载波压缩对调频指数零点确认引入的不确定度

频谱分析仪要求当载波分量幅度压低-60dB 以下时能清晰分辨频谱，根据载波幅度压低值与根次决定的误差表，可知半区间宽度为 0.08011%，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的相对标准不确定度分量：

$$u_{2(m_F)} = 0.08011\%/\sqrt{3} = 4.7 \times 10^{-4}$$

3) 调幅信号不稳定对调频指数零点确认引入的不确定度

调幅信号由低频信号发生器提供，低频信号发生器幅度稳定性要求不大于 0.05%，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的相对标准不确定度分量：

$$u_{3(m_F)} = 0.05\%/\sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-4}$$

4) 调频失真对调频指数零点确认引入的不确定度

调幅调频测试源的调频失真为 0.025%，根据参考文献，按反正弦分布，包含因子为 $\sqrt{2}$ ，引入的相对标准不确定度分量：

$$u_{4(m_F)} = 0.0025\%/\sqrt{3} = 1.8 \times 10^{-4}$$

5) 剩余调幅对调频指数零点确认引入的不确定度

调幅调频测试源的剩余调幅为 0.01%，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的相对标准不确定度分量：

$$u_{5(m_F)} = 0.01\%/\sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-5}$$

各测量不确定度分量不相关，因此调频指数引入的相对标准不确定度为：

$$u_{(m_F)} = \sqrt{u_1^2(m_F) + u_2^2(m_F) + u_3^2(m_F) + u_4^2(m_F) + u_5^2(m_F)} = 5.9 \times 10^{-4}$$

C.1.3.3 测量重复性引入的不确定

测量重复性引入的标准不确定度分量用多次测量的实验标准差评估，在校准点为 6kHz 进行重复性试验，重复测量 10 次，则标准不确定度分量为：

表 C.1 测量重复性考核数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值	6.998	6.997	6.998	6.996	6.998	6.997	6.998	6.997	6.996	6.997

/kHz									
实验标准差 $s=7.9 \times 10^{-4}$									

则相对不确定度 $u_3=1.2 \times 10^{-4}$

C.1.4 标准不确定度一览表(见表 C.2)

表 C.2 标准不确定度一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	标准不确定度分量
调制信号频率引入的标准不确定度分量	$u(f_m)$	B 类	6×10^{-10}
调频指数引入的标准不确定度分量	$u(m_F)$	B 类	5.9×10^{-4}
重复性引入的标准不确定度分量	u_3	A 类	2.2×10^{-4}

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

C.1.5 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：

$$u_c = \sqrt{u^2(f_m) + u^2(m_F) + u_3^2} = 0.1\%$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U = k \times u_c = 0.2\%$

C.2 调频频偏校准的测量不确定度评定(标准调制源法)

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

C.2.1 测量模型

$$y = \Delta f_x - \Delta f_0 \tag{C.2}$$

式中， y ——被校调制度测量仪的调频频偏测量误差，Hz

Δf_x ——被校调制度测量仪的读数值，Hz

Δf_0 ——调制信号发生器的调频频偏值，Hz

灵敏系数为

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial \Delta f_x} = 1, c_2 = \frac{\partial y}{\partial \Delta f_0} = -1$$

C.2.2 不确定度来源：

- 1) 调制信号发生器引入的标准不确定度分量；
- 2) 测量重复性引入的标准不确定度分量。

C.2.3 计算各分量标准不确定度

C.2.3.1 调制信号发生器引入的标准不确定度分量

由上级校准证书给出的扩展不确定度 $U_i=0.2\%(k=2)$ ，设置调频频偏量为 6kHz 时，由此引入的相对标准不确定度分量为：

$$u(\Delta f_0) = 0.2\% \times 6\text{kHz}/2 = 0.006\text{kHz}$$

C.2.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性引入的标准不确定度分量用多次测量的实验标准差评估，在校准点为 6kHz 进行重复性试验，重复测量 10 次，则标准不确定度分量为：

表 C.3 测量重复性考核数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 /kHz	6.998	6.997	6.998	6.996	6.998	6.997	6.998	6.997	6.996	6.997
实验标准差 $s=7.9 \times 10^{-4}$										

$$u(\Delta f_x)=s=0.0008\text{kHz}$$

C.2.4 标准不确定度一览表(见表 C.4)

表 C.4 标准不确定度一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	标准不确定度分量
调制信号发生器引入的标准不确定度分量	$u(\Delta f_x)$	B 类	0.004kHz
测量重复性引入的标准不确定度分量	$u(\Delta f_0)$	A 类	0.0008kHz

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

C.2.5 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：

$$u_c = \sqrt{u^2(\Delta f_x) + u^2(\Delta f_0)} = 0.006\text{kHz}$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U = k \times u_c = 2u_c = 0.012\text{kHz}$

C.3 调幅度校准的测量不确定度评定

C.3.1 测量模型

$$y = \Delta AM_x - \Delta AM_0 \quad (C.3)$$

式中， y ——被校调制度测量仪的调幅度测量误差，%

ΔAM_x ——被校调制度测量仪的读数值，%

ΔAM_0 ——调制信号发生器的调频频偏值，%

灵敏系数为

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial \Delta AM_x} = 1, c_2 = \frac{\partial y}{\partial \Delta AM_0} = -1$$

C.3.2 不确定度来源：

- 1) 调制信号发生器引入的标准不确定度分量；
- 2) 测量重复性引入的标准不确定度分量。

C.3.3 计算各分量标准不确定度

C.3.3.1 调制信号发生器引入的标准不确定度分量

由上级校准证书给出的扩展不确定度 $U_1=0.5\%(k=2)$ ，设置调幅度为 30%时，由此引入的相对标准不确定度分量为：

$$u(\Delta AM_0) = 0.5\% \times 30\% / 2 = 0.075\%$$

C.3.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性引入的标准不确定度分量用多次测量的实验标准差评估，在校准点为 30% 进行重复性试验，重复测量 10 次，则标准不确定度分量为：

表 C.5 测量重复性考核数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 /%	29.99	29.98	29.97	29.98	29.98	29.97	29.97	29.98	29.98	29.99
实验标准差 $s=0.0073$										

$$u(\Delta AM_x) = s = 0.0073$$

C.3.4 标准不确定度一览表(见表 C.6)

表 C.6 标准不确定度一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	标准不确定度分量
调制信号发生器引入的标准不确定度分量	$u(\Delta AM_x)$	B 类	0.075%
测量重复性引入的标准不确定度分量	$u(\Delta AM_0)$	A 类	0.0073%

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

C.3.5 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：

$$u_c = \sqrt{u^2(\Delta AM_x) + u^2(\Delta AM_0)} = 0.075\%$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U = k \times u_c = 2u_c = 0.15\%$

C.4 解调失真校准的测量不确定度评定

带格式的：段落间距段前：0.5 行，段后：0.5 行

C.4.1 测量模型

$$y = D \tag{C.4}$$

式中， y ——被校调制度测量仪的解调失真，%

D ——失真分析仪的失真读数值，%

灵敏系数为

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial D} = 1$$

C.4.2 不确定度来源：

- 1) 失真分析仪失真度测量引入的标准不确定度分量；
- 2) 测量重复性引入的标准不确定度分量。

C.4.3 计算各分量标准不确定度

C.4.3.1 失真分析仪失真测量引入的标准不确定度分量

- 1) 失真分析仪测量失真引入的不确定度

根据技术说明书给出失真度指标为 $\pm 1\text{dB}$ ，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的标准不确定度分量为：

$$u_{1(D)} = 1\text{dB}/\sqrt{3} = 0.58\text{dB} = 0.02\%$$

- 2) 失真度分析仪残余失真引入的不确定度

根据技术说明书给出残余失真度指标为 0.032% ，按均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，引入的标准不确定度分量为：

$$u_{2(D)} = 0.032\%/\sqrt{3} = 0.019\%$$

C.4.3.2 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性引入的标准不确定度分量用多次测量的实验标准差评估，在校准点为 10kHz 进行重复性试验，重复测量 10 次，则标准不确定度分量为：

表 C.7 测量重复性考核数据

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量值 /%	0.164	0.165	0.165	0.164	0.166	0.165	0.166	0.165	0.165	0.165
实验标准差 $s=0.00067$										

$$u_3=s=0.00067\%$$

C.4.4 标准不确定度一览表(见表 C.8)

表 C.8 标准不确定度一览表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	标准不确定度分量
失真分析仪测量失真引入的标准不确定度分量	$u_{1(D)}$	B 类	0.02%
失真度分析仪残余失真引入的标准不确定度分量	$u_{2(D)}$	B 类	0.019%
测量重复性引入的标准不确定度分量	u_3	A 类	0.00067%

C.4.5 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：

$$u_c = \sqrt{u_{1(D)}^2 + u_{2(D)}^2 + u_3^2} = 0.028\%$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 $U = k \times u_c = 2u_c = 0.056\%$

附录 D 贝塞尔函数零值法调频频偏

D.1 调频信号的表达式

$$u(t) = U \cos[\omega_0 t + m_f \sin(\Omega t)] \quad (\text{D.1})$$

式中, ω_0 ——载波信号频率

Ω ——调制频率

m_f ——调频指数

将(D.1)式展开, 其表达式为

$$u(t) = U \{ J_0(m_f) \cos \omega_0 t + J_1(m_f) [\cos(\omega_0 + \Omega) t - \cos(\omega_0 - \Omega) t] + J_2(m_f) [\cos(\omega_0 + 2\Omega) t + \cos(\omega_0 - 2\Omega) t] + J_3(m_f) [\cos(\omega_0 + 3\Omega) t - \cos(\omega_0 - 3\Omega) t] + \dots \} \quad (\text{D.2})$$

式中, $J_n(m_f)$ ——贝塞尔函数

从(D.2)式可以看出, 调频信号频谱包含了很多个边频分量, 边频分量的幅度值由贝塞尔函数 $J_n(m_f)$ 决定, 即取决于实际调制指数 m_f :

$$J_n(m_f) = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{1}{k!(n+k)!} \left(\frac{m_f}{2}\right)^{2k+n} \quad (\text{D.3})$$

式中, n ——边带数, n 为 0 是载波, n 为 1 是第一边频,

m_f ——调制指数

k ——1、2、3、.....

利用调频指数与调制频偏之间的关系得到:

$$\Delta f_m = m_f \times f_m \quad (\text{D.4})$$

式中, Δf_m ——调制频偏

m_f ——调制指数

f_m ——调制频率

D.2 调频信号的特点

根据公式 (D.2), 对于某些 m_f 值, 载频或边频振幅为 0, 这一特点可以用于调制频偏测量, 此方法称为贝塞尔函数零值法。

D1. 零阶贝塞尔函数 $J_0(m_f)$ 零值点

零根次	调频指数 m_F	零根次	调频指数 m_F
1	2.4048	11	33.7758
2	5.5201	12	36.9186
3	8.6537	13	40.0584
4	11.7915	14	43.1998
5	14.9309	15	46.3412
6	18.0711	16	49.4800

7	21.2116	17	52.6216
8	24.3530	18	55.7632
9	27.4935	19	58.9048
10	30.6346	20	62.0464

再根据公式 (D.4) 与表 (D1) 得出的表 (D2) 贝塞尔函数零值法调制频偏与调制频率关系表。

D2. 贝塞尔函数零值法调频频偏与调制频率关系表

调制频偏/kHz	调制信号频率/kHz	零点序号	滤波器/kHz
4	1.6663	1	3
10	4.1583	1	15
40	7.2462	2	15
100	8.4806	4	关
200	13.3950	5	关
300	16.6011	5	关
400	26.7900	5	关
.....

例如：采用贝塞尔函数零值法校准调频频偏时，校准的调制频率为 1kHz 时，设置低频信号发生器的频率为 1.6663kHz、且幅度调整为最小值；被校调制度测量仪滤波器调到 3kHz。调节低频信号发生器的输出幅度，是频谱分析仪上的谱线幅度减小，直到 1 次的幅度值相对初始光标幅度小于 60dB 以上，则记录此时调频频偏的数值。