JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1173—2007

测量接收机校准规范

Calibration Specification of Measuring Receivers

2007－02－28 发布　　2007－05－28 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

测量接收机校准规范

Calibration Specification of Measuring Receivers

JJF 1173—2007

本规范经国家质量监督检验检疫总局 2007 年 2 月 28 日批准，并自 2007 年 5 月 28 日起施行。

归 口 单 位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国航天科工集团二院二〇三所

参加起草单位：中国计量科学研究院

本规范由全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

贾耀宗（中国航天科工集团二院二〇三所）

武卫平（中国航天科工集团二院二〇三所）

李文意（中国航天科工集团二院二〇三所）

参加起草人：

卞　昕（中国计量科学研究院）

目　　录

1　范围……（1）
2　引用文献……（1）
3　概述……（1）
4　计量特性……（1）
4.1　频率……（1）
4.2　功率……（1）
4.3　调谐电平……（1）
4.4　调频……（1）
4.5　调相……（2）
4.6　调幅……（2）
5　校准条件……（2）
5.1　环境条件……（2）
5.2　校准用设备……（2）
6　校准项目和校准方法……（4）
6.1　正常性检查……（4）
6.2　功率校准……（4）
6.3　频率范围校准……（5）
6.4　调谐电平的校准……（5）
6.5　调频校准……（6）
6.6　调相校准……（10）
6.7　调幅校准……（12）
7　校准结果表达……（14）
8　复校时间间隔……（14）
附录A　校准记录格式 ……（15）
附录B　测量结果不确定度评定 ……（20）

测量接收机校准规范

1 范围

本规范适用于新制造、新购置、使用中和修理后的150kHz～26.5GHz频率范围测量接收机的校准。

2 引用文献

JJF 1071—2000《国家计量校准规范编写规则》

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

3 概述

测量接收机是用来测量微弱信号的仪器，基于用途不同，可以有多种类型的测量接收机。从广义上讲，频谱分析仪、调制度分析仪、场强测量仪、干扰测量仪、时域反射计、网络分析仪等等都属于测量接收机范畴。本规范所涉及的测量接收机，主要用于信号发生器和衰减器的测量校准。

测量接收机具有频率、功率、调谐电平（衰减）、调幅度、频偏、相偏、调制频率及解调失真等技术参数的测量功能。

本规范对上述计量特性（技术指标）进行校准，并给出测量结果及其不确定度。

目前使用中的测量接收机有HP8902A、HP8902S、N5530S和FSMR等型号。不同型号集成情况不一样、频率范围以及性能指标也有差别，但测量原理与测量方法基本一致，因此，为了校准测量的可操作性，本规范将以HP8902A为主进行编制，其他型号的测量接收机的校准可参照相关的条款进行。

4 计量特性

4.1 频率

频率范围：150kHz～26.5GHz；

频率准确度：1×10^{-6}。

4.2 功率

功率范围：30dBm～－20dBm；

最大允许误差：±(0.01～0.02)dB。

4.3 调谐电平

电平范围：0dBm～－127dBm；

最大允许误差：±(0.01～0.5)dB。

4.4 调频

载频范围：150kHz～26.5GHz；

调制频率范围：20Hz～200kHz；

频偏测量范围：0Hz～400kHz；

频偏量最大允许误差：±(读数的1%+1个字)；

解调失真：小于0.1%，(总谐波失真)；

调幅抑制：小于20Hz（调幅度为50%，调制频率在400Hz或1kHz，带宽50Hz～3kHz)；

剩余调频：小于8Hz（有效值，带宽50Hz～3kHz)。

4.5 调相

载频范围：150kHz～26.5GHz；

调制频率：200Hz～20kHz；

相偏测量范围：0rad～400rad；

相偏量最大允许误差：±(读数的3%+1个字)；

解调失真：小于0.1%，(总谐波失真)；

调幅抑制：小于0.03rad（有效值，调幅度为50%，带宽50Hz～3kHz，调制频率1kHz)。

4.6 调幅

载频范围：150kHz～26.5GHz；

调制频率：20Hz～100kHz；

调幅度测量范围：5%～99%；

调幅度最大允许误差：±(读数的1%+1个字)；

平坦度：±(读数的0.3%+1个字)；

解调失真：小于0.3%（调幅度不大于50%，总谐波失真)，

小于0.6%（调幅度不大于95%，总谐波失真)；

调频抑制：小于0.2%（带宽50Hz～3kHz)；

剩余调幅：小于0.01%（有效值，带宽50Hz～3kHz)。

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：不大于80%；

5.1.3 供电电压：(220±10)V，(50±1)Hz；

5.1.4 周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

5.2 校准用设备

校准所用设备必须经过法定计量技术机构检定合格并在有效期内，或经注册校准实验室的校准，并在用户规定的建议复校时间间隔内。

5.2.1 功率标准及功率计

频率范围：150kHz～26.5GHz；

功率测量范围：－50dBm～＋20dBm；

功率最大允许误差：±0.01dB。

5.2.2 标准衰减器

频率范围：DC～26.5GHz；

衰减量程范围：0dB～70dB 或更高（能实现 1dB 步进和 10dB 步进）；

电压驻波比：小于 1.15；

隔离衰减器：衰减量不小于 10dB、电压驻波比小于 1.05，数量 2 只。

建议：标准衰减器在接受校准时两端带隔离衰减器，这样在用于调谐电平校准时，原则上可忽略由失配引起的测量不确定度。

5.2.3 信号发生器 2 台（其中一台有外调制功能）

频率范围：150kHz～26.5GHz；

频率最大允许误差：1×10^{-7}；

输出功率：不小于 −20dBm；

剩余调频：不大于 4Hz（有效值，带宽为 50Hz～3kHz）；

剩余调幅：不大于 0.01%；

频偏量：10Hz～500kHz；

调频失真：小于 0.025%（总谐波失真）；

调频频响：小于 0.1%（带宽 20Hz～200kHz）。

5.2.4 频谱分析仪

频率范围：30Hz～26.5GHz；

频率老化率：1×10^{-7}/年；

频率跨度：100Hz～1MHz；

分辨带宽（−3dB）：1Hz～1MHz；

边带噪声：不大于 −75dBc/Hz（偏离中心频率 100Hz～100kHz）；

平均噪声电平：不大于 −90dBm（带宽 1Hz）；

显示刻度准确度：0.1dB/10dB，到 90dB 累计不大于 0.6dB；

扫描时间：10ms～2s。

5.2.5 低频信号发生器

频率范围：10Hz～500kHz；

频率老化率：1×10^{-6}/d（参考频率点）；

频率分辨率：10^{-7}～10^{-8} ±2 个字；

输出幅度：不小于 10V（峰-峰值）；

幅度分辨率：0.1%；

失真度：不大于 −70dBc（总谐波失真，频率范围 10Hz～200kHz）；

幅度稳定度：0.5%/30min。

5.2.6 频率计数器

频率范围：1Hz～1MHz；

频率老化率：7×10^{-8}/d；

分辨率：1Hz。

5.2.7 数字电压表

频率范围：20Hz～500kHz；

量程：0V～20V；

最大允许误差：±0.05%。

5.2.8 失真仪

频率范围：20Hz～100kHz；

失真度范围：0.001%～100%；

最大允许误差：±1dB；

输入电压范围：50mV～300V。

5.2.9 标准调幅器

频率范围：100kHz～1.3GHz；

调幅度：5%～99%；

调幅度最大允许误差：0.5%；

调制频率：20Hz～100kHz；

伴随调频：不大于4Hz（有效值，带宽为50Hz～3kHz）；

剩余调幅：不大于0.05%（有效值，带宽为50Hz～3kHz）。

5.2.10 同轴开关

频率范围：DC～26.5GHz；

隔离度：不小于80dB；

重复性：优于0.01%。

6 校准项目和校准方法

6.1 正常性检查

6.1.1 外观及附件

被校准的测量接收机的外观应完好，无影响正常工作的机械损伤，输入输出接头内外导体无变形和损坏。附件及使用说明书应齐全。

6.1.2 工作正常性

被校测量接收机通电后应正常工作，并按规定时间预热，按说明书完成自校。

6.2 功率校准

6.2.1 功率敏感器校准因子

采用传递标准法，它是由一个高方向性的单定向耦合器或功分器和一个高精度的功率计组成的装置，与信号发生器组成一个负反馈的稳幅系统。该标准装置中的标准功率座是经过上一级标准量值传递得到的，并确定出该系统的校准系数 K_c，然后用于校准被检功率敏感器。

6.2.1.1 按图1连接仪器，并根据仪器说明，对所需预热仪器进行通电加热；

6.2.1.2 将信号发生器的输出频率设置成所需的测量频率，并且其输出幅度设置为被校功率指示器所能正常显示的值；

6.2.1.3 读取标准功率指示器的示值 P_{bc} 和主臂上被检功率指示器的示值 P_{bu}；

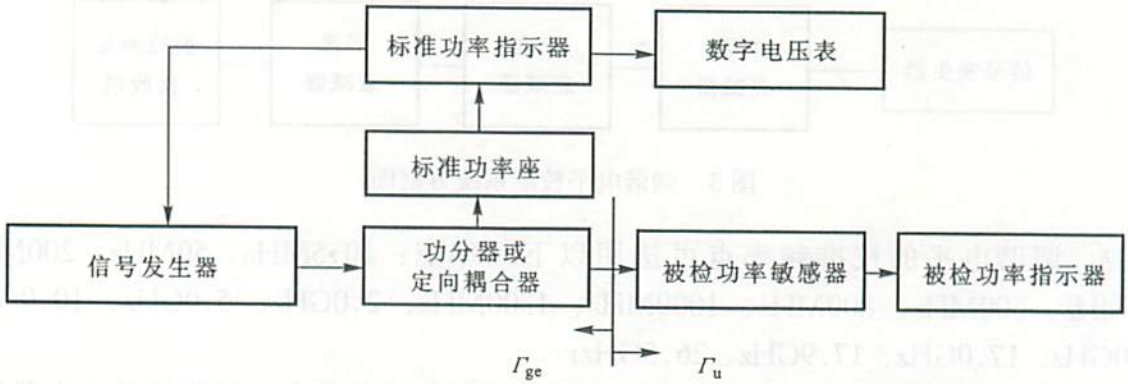

图 1　传递标准法的校准因子校准框图

6.2.1.4　按公式（1）计算被检功率敏感器的校准因子 K_u：

$$K_u = K_c \times \frac{P_{bu}}{P_{bc}} \times |1 - \Gamma_{ge}\Gamma_u|^2 \qquad (1)$$

式中：K_u——被检功率敏感器的校准因子；

K_c——传递标准功率系统的校准因子；

P_{bc}——标准功率指示器的功率指示值，mW；

P_{bu}——被检功率指示器的功率指示值，mW；

$|1 - \Gamma_{ge}\Gamma_u|^2$——作为失配项处理，计算时视为 1。

将计算结果记录于附录 A 表 A.1。

6.2.2　0dBm 参考电平校准

6.2.2.1　按图 2 连接仪器设备；

图 2　参考电平校准

6.2.2.2　读取标准功率计示值 P，记入附录 A 表 A.2。

6.3　频率范围校准

6.3.1　按图 3 连接设备；

6.3.2　设置测量接收机分别为两端点频率 f_{rL} 和 f_{rH}，调整信号发生器频率，使接收机显示稳定，将信号发生器显示频率值 f_{sL} 和 f_{sH} 记入附录 A 表 A.3 并按公式（2）计算频率误差：

$$\delta_f = \frac{f_r - f_s}{f_s} \qquad (2)$$

式中：δ_f——频率误差；

f_r——测量接收机端点频率；

f_s——信号发生器显示频率。

6.4　调谐电平的校准

6.4.1　按图 3 连接校准设备，信号发生器、标准衰减器、被校测量接收机应可靠接地；

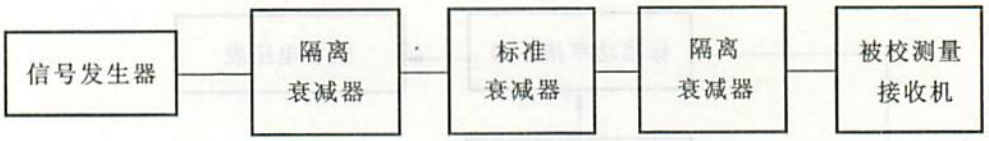

图 3　调谐电平校准系统方框图

6.4.2　调谐电平的校准频率点可选用以下频率点：10.5MHz、50MHz、200MHz、400MHz、600MHz、800MHz、1000MHz、1300MHz、2.0GHz、5.0GHz、10.0GHz、15.0GHz、17.0GHz、17.9GHz、26.5GHz；

6.4.3　将标准衰减器置于 0dB，测量接收机置于频率测量状态。调节信号发生器输出幅度和频率，使测量接收机正确显示频率。将测量接收机置于调谐电平测量状态，调整信号发生器输出幅度，使测量接收机示值在 0dBm 左右。保持信号发生器输出幅度不变，按附录 A 表 A.3 改变标准衰减器的衰减值，将测量接收机的读数和标准衰减器的读数记入附录 A 表 A.3；

6.4.4　将标准衰减器重新置于 0dB，调整信号发生器输出幅度，测量接收机的调谐电平置于 −60dBm，使测量接收机显示稳定，然后按附录 A 中表 A.3 要求设置测量接收机调谐电平，并相应地改变标准衰减器的衰减值，且微调信号发生器幅度使被校测量接收机再次显示稳定，测到 −127dBm。重复测量次数不少于 3 次，数据记录于附录 A 表 A.3；

6.4.5　调谐电平的校准误差 δ_A 应按公式（3）、公式（4）计算：

0dBm～ −60dBm 时：

$$\delta_A = A_x - A_{ref} - A_0 \tag{3}$$

−60dBm～ −127dBm 时：

$$\delta'_A = (A_x - A_{ref}) - (A_0 + 60\text{dB})$$

$$\delta_A = \delta'_A + \delta_{A60} \tag{4}$$

式中：δ_A——调谐电平的校准误差，dB；

A_x——被校测量接收机示值，dBm；

A_{ref}——被校测量接收机在 0dBm 时示值，dBm；

A_0——标准衰减器的衰减增量，dB；

注：经校准的标准衰减器，以上公式中的 A_0 应用校准值代入。

δ'_A——调谐电平 −60dBm 以下时的校准误差；

δ_{A60}——标准衰减器 60dB 时的误差。

6.5　调频校准

6.5.1　频偏量

测量接收机频偏（相偏）量的校准有贝塞尔函数零值法和标准调制源法。

6.5.1.1　贝塞尔函数零值法，按图 4 连接校准设备；

6.5.1.2　将被校测量接收机置于频偏测量（FM）状态，选择正峰值（Peak +）检波器；

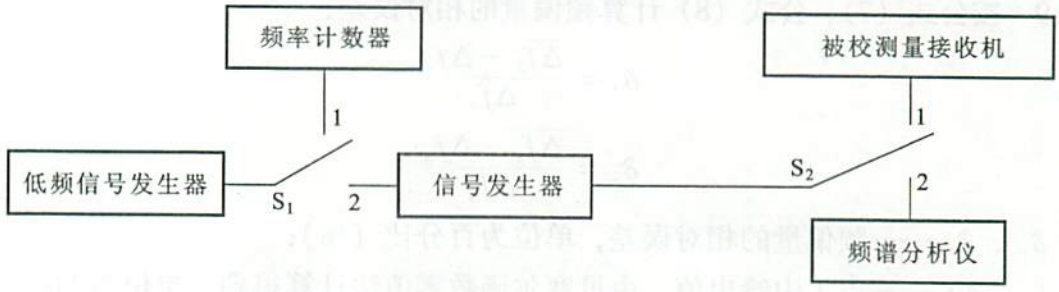

图 4　贝塞尔函数零值法

6.5.1.3　将开关 S_1 置于“1”位置，按表 1 设定的频偏量，调节低频信号发生器的频率，使频率计数器准确显示设定的调制信号的频率；

6.5.1.4　开关 S_1 置于“2”位置，开关 S_2 置于“1”位置，调节信号发生器的输出载频和幅度满足被校测量接收机的要求（如 HP8902A 要求载频 12.5MHz 或 100MHz，幅度在 -20dBm～-25dBm 内），被校测量接收机的低通滤波器按表 1 中相应的“LP”设置；

6.5.1.5　开关 S_2 置于“2”位，调节频谱分析仪，使信号谱线清晰，用光标标记载波频率和载波幅度值，作为参考值，按下光标“Δ”键，开关 S_1 置于“2”位，调节低频信号发生器的输出幅度，使载波谱线幅度减小，直到第 k 次（k 为零点序号）比参考值下降不小于 60dB；

6.5.1.6　开关 S_2 置于“1”位，在被校测量接收机的频偏测量（FM）正峰值(Peak+)和负峰值（Peak-）状态，分别读出显示值记为 Δf_i 和 Δf_j，重复步骤 6.5.1.3～6.5.1.6 不少于 3 次，并记录于附录 A 表 A.4 中；

表 1　被校测量接收机低通滤波器设置及标准频偏量值关系

f_m/kHz	1.6633	4.1583	7.2462	11.7915	11.0674	22.1348
零点序号 k	1	1	2	4	5	5
LP/kHz	3	15	15	off	off	off
Δf_s/kHz	4	10	40	100	200	400
U_m/mV（峰-峰值）	317	792.5	3170	991.5	1983	3966

6.5.1.7　按表 1 所列其余调制频率 f_m 值及零点数，重复步骤 6.5.1.2～6.5.1.6；

6.5.1.8　按公式（5）、公式（6）计算各频率点的频偏量的平均值：

$$\overline{\Delta f_i} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta f_i \tag{5}$$

$$\overline{\Delta f_j} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\Delta f_j \tag{6}$$

式中：$\overline{\Delta f_i}$——n 次测量平均值，kHz；

Δf_i——为第 i 次测量值，kHz；

$\overline{\Delta f_j}$——n 次测量平均值，kHz；

Δf_j——为第 j 次测量值，kHz。

6.5.1.9 按公式（7）、公式（8）计算频偏量的相对误差：

$$\delta_+ = \frac{\overline{\Delta f_i} - \Delta f_s}{\Delta f_s} \tag{7}$$

$$\delta_- = \frac{\overline{\Delta f_j} - \Delta f_s}{\Delta f_s} \tag{8}$$

式中：δ_+，δ_-——频偏量的相对误差，单位为百分比（%）；

Δf_s——表 1 中给出值，由贝塞尔函数零值法计算得到，单位为 Hz。

6.5.1.10 标准调频源法按图 5 连接设备；

注：该方法主要依赖于稳定性和重复性都很好的低频信号源和调频信号源，组成标准调频源，并经上级计量技术机构（或注册的校准实验室）用贝塞尔函数零值法定标，给出频偏量与调制信号幅度 U_m 值（表 1）的一一对应关系，并利用该关系，实现被校测量接收机频偏的校准。表 1 给出的 U_m 值是本系统中用的 33120A 型低频信号源之值，仅供参考。

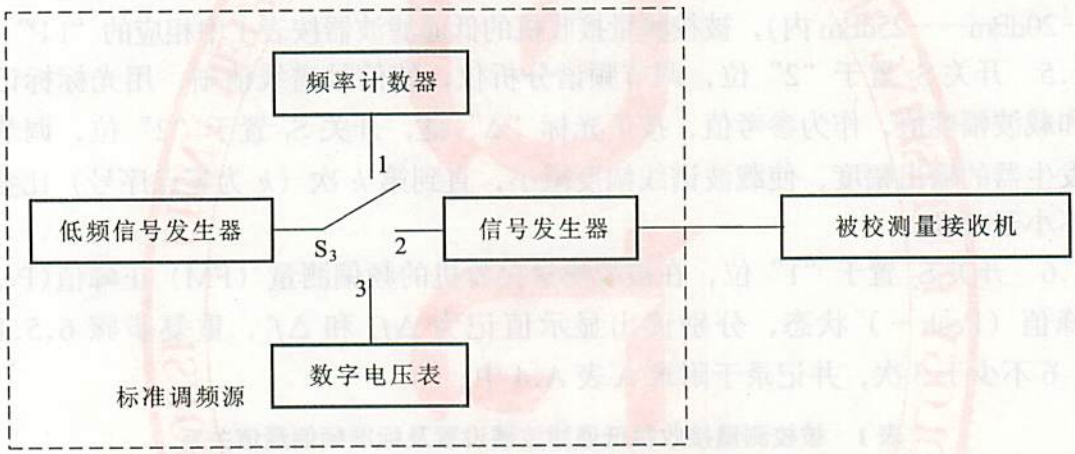

图 5 标准调频源测量频偏和调频解调频响

6.5.1.11 将被校测量接收机置于频偏测量（FM）状态，选择正峰值（Peak +）检波器；

6.5.1.12 按表 1 中标准频偏量 Δf_s，调制频率 f_m 及定标后的低频信号源的幅度 U_m 值，依次设置低频信号源的频率和幅度，并用频率计及电压表精确测量，每设置一组数，在被校测量接收机的频偏测量 FM 正峰值（P +）和负峰值（P −）状态，分别读出 Δf_i 和 Δf_j，重复测量不少于 3 次，并记录于附录 A 表 A.4；

6.5.1.13 按公式（5）、（6）和（7）、（8）分别计算平均值 $\overline{\Delta f_i}$、$\overline{\Delta f_j}$ 和相对误差 δ_+、δ_-。

6.5.2 调频解调频响

调频解调频响是指在一个固定的频偏量时，调制频率与调制电压的关系。

6.5.2.1 按图 5 连接校准设备；

6.5.2.2 将被校测量接收机置于调频测量（FM）状态，选择正峰值（Peak +）检波器；

6.5.2.3 调节低频信号发生器的输出频率为被校测量接收机自校源的调制频率（如 HP8902A 为 10kHz），开关 S_3 置“2”，根据附录 A 表 A.6 设定的频偏要求，调节低频

信号发生器的输出电压，使被校测量接收机显示相应的频偏 Δf（如 40kHz）。开关 S_3 置“3”，测量低频信号发生器的电压幅度 U_m，记入附录 A 表 A.5。

6.5.2.4 按附录 A 表 A.5 依次改变低频信号发生器频率，重复步骤 6.5.2.3，使被校测量接收机每次都显示规定的频偏 Δf，开关 S_3 置“3”位，测量对应的低频信号发生器的输出电压幅度 U_{mf}，记入附录 A 表 A.6；

6.5.2.5 同步骤 6.5.2.3～6.5.2.4，仅使接收机显示频偏 Δf 为负值（如 −40kHz），完成负频偏时频响的测量；

6.5.2.6 按公式（9）计算频响值，并记入附录 A 表 A.6：

$$e_F = \frac{U_{mf} - U_m}{U_m} \times 100\% \tag{9}$$

式中：e_F——相对误差，%；

U_{mf}——调制频率为其他值时的电压值，mV；

U_m——调制频率为自校源频率值时的电压值，mV。

6.5.2.7 重复步骤 6.5.2.3～6.5.2.5，不少于 3 次，记入附录 A 表 A.6；

6.5.2.8 按公式（10）计算每个频率点的平均值$\overline{e_F}$，δ_+ 或 δ_- 和$\overline{e_F}$的代数和。

$$\overline{e_F} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{F_i} \tag{10}$$

注：如果被校测量接收机在某些载频和调制频率范围内需要改换中频频率及中频滤波器时，可按照具体要求参照上述方法校准。

6.5.3 调频解调失真

调频信号经过理想的解调器应输出纯净低频信号，由于调频解调器不完善而产生低频信号的高次谐波称为解调失真。

6.5.3.1 按图 6 连接校准设备，其中失真仪与被校测量接收机的解调输出端直接相连；

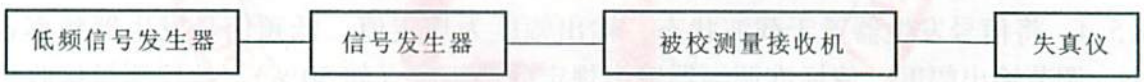

图 6 调频解调失真

6.5.3.2 将被校测量接收机置于频偏测量（FM）状态；

6.5.3.3 将被校测量接收机和失真仪上所有滤波器关掉，按规定设置调制频率 f_m 和频偏量 Δf（如 100kHz），测出相应的失真值 r，重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.7。

注：如果被校测量接收机在某些载频和调制频率范围内需要改换中频滤波器时，可按照具体要求校准。

6.5.4 剩余调频

给被校接收机输入一个纯净的载波信号，由于被校接收机调频解调器不完善而有一定指示，称为剩余调频。

6.5.4.1 按图 7 连接校准设备；

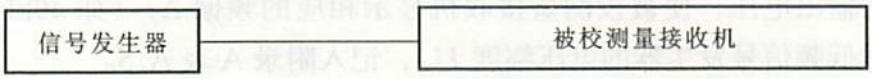

图 7　剩余调频

6.5.4.2　测量接收机置于频偏测量（FM）状态；

6.5.4.3　按被校测量接收机说明书规定设定带宽和信号发生器的频率（如 HP8902A 的 HP 为 50Hz，LP 为 3kHz，载频为 560MHz），在被校测量接收机上读出剩余频偏量，重复测量至少 3 次，记入附录 A 表 A.8，取平均值，此值减去信号发生器的剩余频偏量即为被校测量接收机的剩余调频。

6.5.5　调幅抑制

用标准调幅源产生一个标准调幅信号，被校测量接收机频偏 FM 测量状态，应无指示，以确定其调频解调器对调幅信号的抑制能力。

6.5.5.1　按图 8 连接校准设备；

图 8　调幅度及调幅抑制

6.5.5.2　将被校测量接收机置于频偏测量（FM）状态；

6.5.5.3　按说明书要求设置被校测量接收机的滤波器，选择正峰值（Peak+）检波器；

6.5.5.4　将信号发生器置于载波状态，输出幅度为规定值，低频信号发生器频率置于 1kHz，调节输出幅度，使标准调幅器输出规定的调幅度（如 50%），被校测量接收机置于频偏测量，读出频偏量，重复测量不少于 3 次，并记入附录 A 表 A.9，取平均值，用该值减去 6.5.4 中所测的剩余调频，即为调幅抑制。

6.6　调相校准

6.6.1　相偏量

用标准调频源法产生标准频偏，换算成标准相偏，用以校准测量接收机相偏。

6.6.1.1　按图 5 连接标准调频源和校准设备；

6.6.1.2　将被校测量接收机置于调频测量（FM）状态；

6.6.1.3　按被校测量接收机说明书要求设置滤波器；

6.6.1.4　调节信号发生器载频为给定值（如 HP8902A 为 100MHz），将被校测量接收机置于测频率功能，并测出频率值；

6.6.1.5　将被校测量接收机置于频偏测量（FM）状态，检波器置于平均值（AVG）状态；

表 2　低频信号发生器输出频率设置

f_m/Hz	Δf/kHz	平均 ϕ_{Mi}/rad
200	50	250.0
1000	250	250.0
20000	250	12.5
20000	4	0.200
…	…	…
…	…	…

6.6.1.6　将开关 S_1 置“1”位置，调节低频信号发生器的输出频率 f_m 为表 2 所示值，再将开关 S_1 置“2”位置，调节低频信号发生器输出幅度，使被校测量接收机显示如表 2 所示的对应的频偏量 Δf。每读出一个频偏量值 Δf_i，按下相偏测量（ϕ_M）功能键，读出对应的相偏量 ϕ_{Mi}，每个调制频率点重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.10；

6.6.1.7　按公式（11）计算每个频率点的平均相偏值 $\overline{\phi}_M$：

$$\overline{\phi}_M = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\phi_{Mi} \tag{11}$$

式中：n——测量次数（$n \geqslant 3$）；

$\overline{\phi}_M$——平均相偏值，rad；

ϕ_{Mi}——第 i 次测量的相偏值，rad。

6.6.1.8　按公式（12）计算标准相偏值：

$$\phi_{M_0} = \frac{\Delta f}{f_m} \tag{12}$$

式中：ϕ_{M_0}——标准相偏值，rad；

Δf——在被校测量接收机上读出的频偏量，Hz；

f_m——调制频率，Hz。

6.6.1.9　按公式（13）计算相偏的相对误差：

$$\delta_\phi = \frac{\overline{\phi}_M - \phi_{M_0}}{\phi_{M_0}} \tag{13}$$

式中：δ_ϕ——相偏量的相对误差。

注：如果被校测量接收机在某些载频和调制频率范围内需要改换中频频率及中频滤波器时，可按照具体要求参照上述方法校准。

6.6.2　相偏解调失真

6.6.2.1　按图 6 连接设备，其中失真仪与被校测量接收机的解调输出端直接相连；

6.6.2.2　设置被校测量接收机为相偏测量 ϕ_M 状态，选择正峰值（Peak+）检波器；

6.6.2.3　将被校测量接收机和失真仪上所有滤波器关闭，按规定设置调制频率 f_m 和相偏量（如 400rad），在失真仪上测出相应的失真值 r，重复测量不少于 3 次，记入附

录 A 表 A.11。

注：如果被校测量接收机在某些载频和调制频率范围内需要改换中频滤波器时，可按照具体要求校准。

6.7 调幅校准

6.7.1 调幅度

调幅度的校准是用标准调幅源法。标准调幅源法是用一种环形调制器作标准调幅器，把调幅度的测量转化为直流电压和低频电压的测量，以二者之比表示调幅度。

6.7.1.1 按图 8 连接校准设备；

6.7.1.2 将被校测量接收机置于调幅度测量（AM）状态，选择正峰值（Peak+）检波器；

6.7.1.3 根据标准调幅器的要求，调节信号发生器的输出频率 f_c 和功率 P_A（如用 AM95 型标准调幅器时，信号发生器的输出频率 f_c 为 12.5MHz，100MHz，200MHz 时输出功率分别为 9dBm，6dBm，5dBm）；

6.7.1.4 设置低频信号发生器的输出频率为 1kHz，调节其幅度使标准调幅器显示规定值（如 AM95 规定为 0.04463V），测量低频信号发生器的幅度 U_m，并记入附录 A 表 A.12；

6.7.1.5 在标准调幅器上按下定度键，标准调幅器显示 100%；

6.7.1.6 根据需要选择标准调幅度值 M_A（如附录 A 表 A.12 所示），按公式（14）计算对应的调制电压值：

$$U_X = \frac{U_m}{M_{A0}} \times M_A \tag{14}$$

式中：U_X——所需的调幅度值对应的低频电压幅度值，V；

U_m——标准调幅器定度时的低频电压幅度，V；

M_{A0}——标准调幅器定度值；

M_A——所需的标准调幅度值。

6.7.1.7 按计算出的调制电压 U_X 值，分别设置低频信号发生器的输出幅度，按被校测量接收机说明书要求设置滤波器。在被校测量接收机上分别选择正峰值（Peak+）和负峰值（Peak−）检波器，读出相应的调幅度正值 M_i 和调幅度负值 M_j，重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.12；

6.7.1.8 按公式（15）和（16）分别计算平均值而 $\overline{M_{A+}}$、$\overline{M_{A-}}$：

$$\overline{M_{A+}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} M_i \tag{15}$$

$$\overline{M_{A-}} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} M_j \tag{16}$$

6.7.1.9 按公式（17）和（18）分别计算调幅度值的相对误差：

$$\delta_{AM+} = \frac{\overline{M_{A+}} - M_A}{M_A} \times 100\% \tag{17}$$

$$\delta_{AM-} = \frac{\overline{M_{A-}} - M_A}{M_A} \times 100\% \tag{18}$$

式中：$\overline{M_{A+}}$、$\overline{M_{A-}}$——被校测量接收机 n 次读数的平均值（$n \geqslant 3$）；

δ_{AM+}、δ_{AM-}——调幅度的相对误差。

6.7.2 调幅解调频响

调幅解调频响是保持被校测量接收机调幅度示值不变，调制频率变化与调制电压变化的对应关系。

6.7.2.1 按图 8 连接校准设备；

6.7.2.2 将被校测量接收机置于调幅度测量（AM）状态，选择正峰值（Peak+）检波器；

6.7.2.3 将低频信号发生器频率 f_m 设置为被校测量接收机自校源的调制频率（如 HP8902A 为 10kHz），调节其输出幅度，使被校测量接收机示值为设定的调幅度 M_A，测量对应的低频电压值 U_m，记入附录 A 表 A.13；

6.7.2.4 按附录 A 表 A.13 设置低频信号发生器频率。保持低频信号发生器输出幅度不变，测量对应的低频电压值 U_X，每个频率点重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.13；

6.7.2.5 按公式（19）计算平均值：

$$\overline{U_X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} U_{Xi} \tag{19}$$

6.7.2.6 按公式（20）计算相对误差：

$$\delta_{AM} = \frac{\overline{U_X} - U_m}{U_m} \times 100\% \tag{20}$$

式中：δ_{AM}——调幅解调频响相对误差；

$\overline{U_X}$——各对应频率点的低频电压多次测量的平均值，V；

U_m——调制频率为 10kHz 时的低频电压值，V。

注：如果被校测量接收机在某些载频和调制频率范围内需要改换中频频率及中频滤波器时，可按照具体要求参照上述方法校准。

6.7.3 调幅解调失真

6.7.3.1 按图 6 连接校准设备；

6.7.3.2 被校测量接收机置于调幅度测量（AM）状态，选择正峰值（Peak+）检波器；

6.7.3.3 被校测量接收机和失真仪上的滤波器全部关闭，按附录 A 表 A.14 设置低频信号发生器频率。调节低频信号发生器幅度，使被校测量接收机调幅度示值为规定调幅度（如 50%或 95%），在失真仪上读出对应的失真度，重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.14。

6.7.4 剩余调幅的校准

6.7.4.1 按图 6 连接校准设备；

6.7.4.2 将被校测量接收机置于调幅度测量（AM）状态；

6.7.4.3 按被校测量接收机技术指标选择校准频率点。将信号发生器频率设置为选定频率，输出幅度－20dBm～－25dBm 中的任意一个值；

6.7.4.4 按被校测量接收机技术指标要求设置滤波器和检波器（如 HP8902A，高通滤波器置于“50Hz”，低通滤波器置于“3kHz”，检波器置为 RMS），读出被校测量接收机调幅度示值，重复测量不少于 3 次，取平均值，记入附录 A 表 A.15。

6.7.5 调频抑制

由标准调频源产生调频信号，用被校测量接收机的测调幅度的功能直接测量，以确定调幅解调器对调频信号的抑制能力。

6.7.5.1 按图 5 连接校准设备；

6.7.5.2 将被校测量接收机置于调幅度测量（AM）状态，选择正峰值（Peak＋）检波器；

6.7.5.3 将开关 S_3 置“2”，信号发生器频率设置为被校测量接收机要求值（HP8902A 为 12.5MHz），低频信号发生器频率为 1kHz。按说明书要求设置被校测量接收机的滤波器（如 HP8902A，高通滤波器置于“50Hz”，低通滤波器置于“3kHz”），按下频偏测量（FM）键，调节低频信号发生器幅度，使被校测量接收机读数为规定频偏值；

6.7.5.4 在被校测量接收机上按下调幅度测量（AM）键，读出调幅度值，重复测量不少于 3 次，记入附录 A 表 A.16，取平均值即为调频抑制。

7 校准结果表达

经校准后的仪器应出具校准证书。证书应包含足够信息，如委托单位，被校准仪器的名称、型号、制造商、编号，校准日期，校准地点，校准单位，校准人，测量结果及测量不确定度等。如委托单位要求，可给出符合性的结论。

8 复校时间间隔

用户根据使用情况自行决定。建议复校时间间隔为 1 年，供参考。

CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE

附录 A

校准记录格式

表 A.1 功率校准

射频频率/GHz	标称值/(%)	校准值/(%)	误差/(%)

表 A.2 频率测量

f_r	150kHz	…	26.5GHz
f_s		…	
δ_f		…	

表 A.3 调谐电平测量

频率	接收信号电平/dBm	测量值			平均	A_0/dB	δ_A/dB
		1	2	3			
10.5MHz	0						
	−10						
	−20						
	−30						
	−40						
	−50						
	−60						
	−60						
	−70						
	−80						
	−90						
	−100						
	−110						
	−120						
	−127						
	−130						
…	0						
…	−10						
…	…						
…	…						
…	…						

表 A.4　频偏量测量

载　波	频偏量/kHz	测　量　值			$\overline{\Delta f_i}$ $(\overline{\Delta f_j})$	$\delta_+(\delta_-)$/(%)
		1	2	3		
12.5MHz	4					
	−4					
	10					
	−10					
	40					
	−40					
	100					
	−100					
	…					
	…					
…	…					
	…					

表 A.5　调频解调频响的低频信号发生器电压 U_m

Δf/kHz	40	−40	400	−400	…	…
f_m/kHz	7.2462	7.2462	22.1348	22.1348	…	…
U_m/mV						

表 A.6　调频解调频响测量

频偏量	调制频率	测　量　值/V			平均/V	$\overline{e_F}$/(%)
		1	2	3		
40kHz	30Hz					
−40kHz	30Hz					
40kHz	60Hz					
−40kHz	60Hz					
40kHz	15kHz					
−40kHz	15kHz					
40kHz	50kHz					
−40kHz	50kHz					
40kHz	100kHz					
−40kHz	100kHz					
40kHz	200kHz					
−40kHz	200kHz					
…	…					
…	…					
…	…					
…	…					

表 A.7　调频解调失真测量

调制频率	测　量　值/(%)			平均/(%)
	1	2	3	
20Hz				
60Hz				
400Hz				
1kHz				
…				
…				

表 A.8　剩余调频测量

测量次数	1	2	3	平　均
测量值/kHz				

表 A.9　调幅抑制测量

测量次数	1	2	3	平　均
测量值				

表 A.10　相偏量测量

调制频率/Hz	测　量　值/rad			平均/rad	δ_ϕ
	1	2	3		
200					
1000					
20000					
…					
…					

表 A.11　调相解调失真测量

调制频率	测　量　值/(%)			平均/(%)
	1	2	3	
20Hz				
60Hz				
400Hz				
1kHz				
…				
…				

表 A.12　调幅度测量

U_M =

载波频率	调幅度/(%)	测量值/(%)			平均值(%)	δ_{AM+} (δ_{AM-})/(%)
		1	2	3		
10.5MHz	6					
	−6					
	10					
	−10					
	20					
	−20					
	30					
	−30					
	40					
	−40					
	…					
	…					
…	…					
	…					
	…					

表 A.13　调幅解调频响

调幅度 m_A	调制频率	测量值/V			平均/V	Δ_{AM}/(%)
		1	2	3		
40%	200Hz					
−40%	200Hz					
40%	400Hz					
−40%	400Hz					
40%	10kHz					
−40%	10kHz					
…	…					
…	…					
…	…					

表 A.14　调幅解调失真

调幅度	调制频率/Hz	测量值/(%)			平均/(%)
		1	2	3	
50%	20				
	60				
	1k				
	10k				
	…				
	…				
…	…				

表 A.15　剩余调幅测量记录表

测量次数	1	2	3	平　均
测量值				

表 A.16　调频抑制测量记录表

频　偏	测量值			平　均
	1	2	3	
50kHz				
…				

附录 B

测量结果不确定度评定

B1　调谐电平测量的不确定度评定

B1.1　测量方法的确定

用信号发生器产生一个需要的信号，其幅度由标准衰减器定标，作为标准值送入测量接收机，同时被检测量接收机测量这个信号，得到的测量结果和标准值比较。

图 B1　测量接收机调谐电平测量框图

B1.2　数学模型

$$\delta_A = A_x - A_0$$

式中：A_x——测量接收机读数值；

A_0——标准衰减器给出的标准衰减值。

B1.3　不确定度的来源

B1.3.1　$u(A_x)$ 的来源

a) 测量接收机读数分辨力引入的不确定度 $u_{11}(A_x)$

b) 测量接收机读数变化引入的不确定度 $u_{12}(A_x)$

B1.3.2　$u(A_0)$ 的来源

a) 标准衰减器测量引入的不确定度 $u_{21}(A_0)$

b) 标准衰减器受环境影响造成时间不准引入的不确定度 $u_{22}(A_0)$

B1.4　标准不确定度评定

B1.4.1　测量接收机显示分辨力引入的不确定度 u_1

a) $u_{11}(A_x)$ 的评定

被测测量接收机的显示分辨力为 0.01dB（0.12%），置信半区间 $a_5 = \frac{1}{2} \times 0.12\% = 0.06\%$。按均匀分布，$k_p = \sqrt{3}$，由此引入的不确定度分量：

$$u_{11}(A_x) = \frac{0.06\%}{\sqrt{3}} = 0.035\%$$

自由度：$\nu_{11} \to \infty$（认为不可靠度为 0）

b) $u_{12}(A_x)$ 的评定

被测测量接收机的电路参数的不稳定引起的变化，当被测测量接收机的电路参数的不稳定引起的变化由重复性确定，选择功率信号 0dBm，衰减 40dB，连续测量 10 次，

得到的结果如下表：

测量次数	调谐电平 A_x
1	39.96dB
2	39.96dB
3	39.97dB
4	39.97dB
5	39.97dB
6	39.98dB
7	39.98dB
8	39.97dB
9	39.96dB
10	39.97dB
$\overline{A_x}$	39.969dB
$s(A_x)$	0.00738dB

由重复性的测量值 A 类评定被测测量接收机电路参数变化引入的不确定度，计算得：衰减 40dB 时：

$$u_{12}(A_x)=s(\overline{A_x})=\frac{s(A_x)}{\sqrt{n}}$$

$$=\frac{0.00738}{\sqrt{10}}=0.00233\text{dB}=0.028\%$$

自由度：$\nu_{12}=10-1=9$

c）计算 u_1

衰减 40dB 时：

$$u_1 = u(A_x)$$

$$=\sqrt{u_{11}^2(A_x)+u_{12}^2(A_x)}$$

$$=\sqrt{(0.035\%)^2+(0.028\%)^2}$$

$$=0.045\%$$

自由度：

$$\nu_1 = \frac{u^4(A_x)}{\frac{u_{11}^4(A_x)}{\nu_{11}}+\frac{u_{12}^4(A_x)}{\nu_{12}}}$$

$$=\frac{(0.045\%)^4}{0+(0.028\%)^4/9}$$

$$=60$$

B1.4.2 标准衰减器引入的不确定度 u_2

a) $u_{21}(A_0)$ 的评定

标准衰减器衰减量的不确定度 B 类评定，由上级检定证书知，扩展不确定度 $U=\frac{0.02\text{dB}}{10\text{dB}}$ $(k=2)$，

标准不确定度 $u_{21}(A_0)=0.01\text{dB}=0.12\%$

自由度：$\nu_{21}\to\infty$

b) $u_{22}(A_0)$ 的评定

标准衰减器和被测测量接收机相互连接不可能完全匹配，当标准衰减器输出端反射系数$|\Gamma_g|=0.048$，被测测量接收机输入端的反射系数$|\Gamma_L|=0.048$ 时，失配引入的误差为：

$$\Delta A = 2\times|\Gamma_g||\Gamma_L| = 0.5\%$$

置信半区间为 $a_1=\frac{0.5\%}{2}=0.25\%$，服从反正弦分布，$k=\sqrt{2}$，引入的不确定度分量：$u_{22}(A_0)=\frac{0.25\%}{\sqrt{2}}=0.18\%$；

自由度：$\nu_{22}\to\infty$

c) 计算 u_2

$$\begin{aligned}u_2 &= u(A_0)\\ &=\sqrt{u_{21}^2(A_0)+u_{22}^2(A_0)}\\ &=\sqrt{(0.12)^2+(0.18)^2}\\ &=0.22\%\\ &=0.018\text{dB}\end{aligned}$$

B1.5 不确定度分量一览表

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布	k 值	标准不确定度	灵敏系数	自由度
$u_{11}(A_x)$	读数分辨力	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.035%	1	∞
$u_{12}(A_x)$	衰减 40dB 时读数变化	A	正态		0.028%	1	9
$u(A_x)$	读数				0.045%	1	60
$u_{21}(A_0)$	标准衰减器引入的不确定度	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.12%	1	∞
$u_{22}(A_0)$	失配引入	B	反天弦	$\sqrt{2}$	0.18%	1	∞
$u(A_0)$	标准衰减器				0.22%	−1	∞

B1.6　合成标准不确定度

$u(A_x)$ 和 $u(A_0)$ 独立不相关，则合成标准不确定度为

衰减 40dB 时：

$$\begin{aligned} u_c &= \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \\ &= \sqrt{(0.045\%)^2 + (0.22\%)^2} \\ &= 0.22\% \\ &= 0.018\text{dB} \end{aligned}$$

有效自由度：

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\dfrac{u_1^4}{\nu_1} + \dfrac{u_2^4}{\nu_2}} = \frac{(0.22\%)^4}{\dfrac{(0.045\%)^4}{60} + 0} = 34276$$

B1.7　扩展不确定度

衰减 40dB 时，由 $\nu_{\text{eff}} = 34276$，在 $p = 95\%$ 情况下，查 t 分布临界值，得 $t_{0.95} = 1.96$，扩展不确定度为：$U_p = t_p u_c = 1.96 \times 0.018\text{dB} = 0.035\text{dB}$

中华人民共和国
国家计量技术规范

测量接收机校准规范

JJF 1173—2007

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
邮政编码 100013
电话 (010)64275360
http://www.zgjl.com.cn
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16开本 印张1.75 字数33千字
2007年5月第1版 2007年5月第1次印刷
印数1—2 000
统一书号155026－2250 定价：24.00元