



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ****—20xx

GNSS 卫星导航信号转发器校准规范

Calibration Specification of GNSS satellite navigation signal

transponder

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

GNSS 卫星导航信号

转发器校准规范

Calibration Specification of GNSS
satellite navigation signal transponder

JJF****—20xx

本规范经国家市场监督管理总局 XXXX 年 XX 月 XX 日批准，
并自 XXXX 年 XX 月 XX 日起施行。

归口单位：全国卫星导航应用专用计量测试技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：湖南卫导信息科技有限公司

北京华力创通科技股份有限公司

本规范委托全国卫星导航应用专用计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：高春柳（北京市计量检测科学研究院）

仲崇霞（北京市计量检测科学研究院）

梁 炜（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：张勇虎（湖南卫导信息科技有限公司）

王丽霞（北京华力创通科技股份有限公司）

目录

引言	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	2
4.1 支持的 GNSS 信号	2
4.2 输出功率范围	2
4.3 增益控制范围	2
4.4 增益最大允许误差	2
4.5 增益分辨力	2
4.6 噪声系数	2
4.7 输入电压驻波比	2
4.8 输出电压驻波比	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	4
6.1 校准项目	4
6.2 校准方法	4
7 校准结果表达	9
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	14
附录 C 测量结果的不确定度评定示例	16

引言

JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性文件。

本规范为首次发布。

GNSS 卫星导航信号转发器校准规范

1 范围

本规范适用于 GNSS（全球导航卫星系统，包含 GPS、BDS、GLONASS、GALILEO）卫星导航信号转发器（以下简称信号转发器）的校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF1403 全球导航卫星系统（GNSS）接收机（时间测量型）校准规范

JJF1678 射频和微波功率放大器校准规范

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 概述

信号转发器主要由信号转发器主机、室外接收天线、室内发射天线等组成，支持多系统多波段转发，其主要功能是将 GNSS 信号从室外引到室内或者其他接收不到卫星信号的区域，并对室内或特定区域进行卫星信号覆盖，使得卫星接收机在室内或特定区域接收到卫星信号，并完成应在室外完成的各项工作，解决了多系统接收机室内测试的问题。

信号转发器主机主要由馈电模块、下变频射频模块、基带处理模块、电源模块、上变频射频模块、衰减器等组成。馈电模块主要用于为接收天线提供电源；下变频射频和基带模块将接收到的射频信号进行功率放大、滤波、下变频、解扩和解调，实现导航信号的数字化解算，同时将数字基带信号重新调制和上变频得到射频信号，由射频端口输出；衰减器主要用于调整输出信号的功率。其原理框图如图 1 所示。信号转发器被广泛应用于航空制造、维修及卫星定位产品测试、性能验证等领域。



图 1 信号转发器原理框图

4 计量特性

4.1 支持的 GNSS 信号

GPS: L1、L2、L5;

BDS: B1、B2、B3;

GLONASS: G1、G2;

GALILEO: E1、E5a、E5b。

4.2 输出功率范围

-100 dBm~-20 dBm。

4.3 增益控制范围

0 dB~60 dB。

4.4 增益最大允许误差

优于 ± 3 dB。

4.5 增益分辨力

≤ 1 dB。

4.6 噪声系数

≤ 10 dB。

4.7 输入电压驻波比

≤ 2.0 。

4.8 输出电压驻波比

≤ 2.0 。

注：以上技术指标不用于合格性判定，仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

a) 环境温度：(23 $\pm$ 5) °C；

b) 环境相对湿度： $\leq 80\%$ ；

c) 电压：220(1 $\pm$ 10%) V，频率：50(1 $\pm$ 2%) Hz；

d) 周围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 信号源

- a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率；
- b) 相对频率偏差：优于 $\pm 1 \times 10^{-6}$ ；
- c) 功率范围：-100 dBm~0 dBm，最大允许误差： ± 0.5 dB。

5.2.2 GNSS 导航模拟器

- a) 支持模拟GNSS卫星导航信号；
- b) 功率：输出范围 (-140~-50) dBm（带内功率）；最大允许误差： ± 2 dB；
- c) 伪距分辨力： ≤ 0.05 m。

5.2.3 参考 GNSS 导航接收机

- a) 支持接收GNSS卫星导航信号，可单频点定位解算；
- b) 定位偏差：2 m；
- c) 定位精密度 (2σ)：2 m。

5.2.4 测量接收机

- a) 频率：10 MHz~8 GHz；
- b) 功率范围：-120 dBm~-30 dBm，最大允许误差： ± 2 dB；
-30 dBm~0 dBm，最大允许误差： ± 0.5 dB。

5.2.5 矢量网络分析仪

- a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率；
- b) 测量电压驻波比最大允许误差： $\pm 5\%$ 。

5.2.6 负载

- a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率；
- b) 驻波比： < 1.5 ；
- c) 阻值：50 Ω 。

5.2.7 噪声源

- a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率；
- b) 超噪比范围：5 dB~+35 dB；
- c) 输出端口电压驻波比： < 1.3 。

5.2.8 噪声系数分析仪

- a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率；

b) 噪声系数测量范围：0 dB~+35 dB;

c) 最大允许误差： ± 0.15 dB;

d) 输入端口电压驻波比：<1.5。

5.2.9 频谱分析仪

a) 频率范围：覆盖被校信号转发器转发频点频率;

b) 功率范围：-120 dBm~0 dBm，最大允许误差： ± 1 dB;

c) 平均噪声电平：优于被校信号转发器的噪声功率10 dB。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

校准项目及对应校准方法见表1。

表 1 校准项目及对应校准方法一览表

序号	校准项目名称	校准方法对应条款
1	外观及工作正常性检查	6.2.1
2	支持的 GNSS 信号	6.2.2
3	输出功率范围	6.2.3
4	增益控制范围	6.2.4
5	增益最大允许误差	6.2.5
6	增益分辨力	6.2.6
7	噪声系数	6.2.7
8	输入电压驻波比	6.2.8
9	输出电压驻波比	6.2.9

注：部分信号转发器内部增益较大，外部为衰减器，测试方法参照增益测试项目。

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

检查信号转发器的外观和结构，被校信号转发器不应有影响正常运行的机械损伤、故障和异常现象。信号转发器按其技术说明书规定时间预热，预热通电后应正常工作。

6.2.2 支持的 GNSS 信号

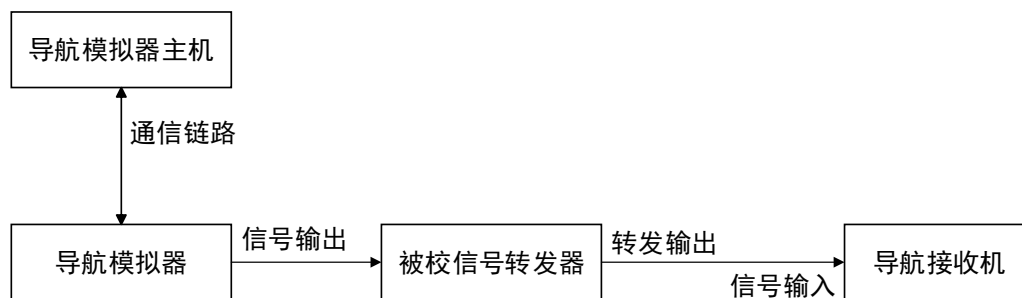


图 2 支持的 GNSS 信号校准连接示意图

a) 仪器连接如图 2 所示。

b) 导航模拟器仿真被校信号转发器支持的导航信号，设置校准场景为静止场景，可见卫星数不少于 10 颗，关闭所有误差来源，信号功率设置为-90dBm，模拟器开始输出仿真信号，导航信号由信号转发器转发给导航接收机。

c) 按照 JJF1403-2013 7.2.6 章节进行导航接收机定位偏差解算，结果应小于 50 m；

d) 按照被校信号转发器可转发的频点依次改变导航模拟器的输出频点，重复 b)~c)步骤，并将测量结果记录于附录 A 表 A.2 中。

注：一般的信号转发器会有直流馈电，校准过程中须在输入端加直流隔离器，以免损坏标准器，下同。

6.2.3 输出功率范围

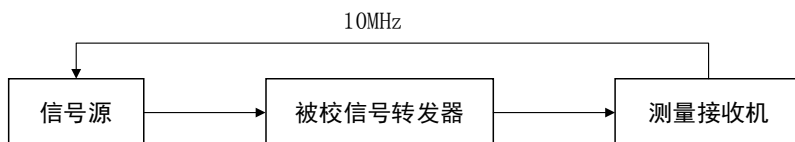


图 3 输出功率范围测量仪器连接示意图

a) 仪器连接如图 3 所示，信号转发器输入输出端用等长的射频线缆连接；

b) 设置信号源输出为单载波信号，频率为被校信号转发器可以转发的频率值，输出幅度为被校信号转发器说明书要求的最大允许输入功率值；

c) 将信号转发器增益设置为最大，读取测量接收机测量的功率值，记为 $P_{\max}$ ；

d) 将信号转发器增益设置为最小，且逐渐减小信号源输出信号的幅度，当测量接收机测量的功率值不再改变时，读取该功率值 $P_{\min}$ ，并将结果记录于附录 A 表 A.3 中。

6.2.4 增益控制范围

a) 仪器连接如图 3 所示；

b) 按 6.2.3 的校准方法进行校准，得到被校信号转发最大输出功率和最小输出功率，按

公式（1）计算增益控制范围，并将结果记录于附录 A 表 A.4 中。

$$G_1 = P_{\max} - P_{\min} \quad (1)$$

式中：

G_1 ——增益调整范围，dB；

$P_{\max}$ ——被校信号转发器输出最大功率，dBm；

$P_{\min}$ ——被校信号转发器输出最小功率，dBm。

6.2.5 增益最大允许误差

a) 仪器连接如图 3 所示；

b) 设置信号源输出为单载波信号，频率为被校信号转发器可以转发的频率值，输出幅度为被校信号转发器说明书要求的最大允许输入功率值；

c) 设置信号转发器增益为零，读取测量接收机功率测量值 P_0 ，将信号转发器增益值设置为 G_a ，读取测量接收机测量的功率值 P_a ，则根据公式（2）计算增益准确度 G ，并将测量结果记录于附录 A 表 A.5 中。

$$G = G_a - (P_a - P_0) \quad (2)$$

式中：

G ——被校信号转发器的增益最大允许误差，dB；

G_a ——被校信号转发器的增益设定值，dB；

P_0 ——被校信号转发器增益为零时测得的输出功率值，dBm；

P_a ——被校信号转发器增益为 G_a 时测得的输出功率值，dBm；

6.2.6 增益分辨力

a) 仪器连接如图 3 所示；

b) 设置信号源输出为单载波信号，频率为被校信号转发器可以转发的频率值，输出幅度为被校信号转发器说明书要求的最大允许输入功率值；

c) 设置被校信号转发器的增益调至某一初始值（如 10 dB），读取测量接收机测量的功率 P_c ，被校信号转发器按照仪器说明书标称的最小步进增加相应的增益输出，读取测量接收机测量的功率 P'_c ，则根据公式（3）计算增益分辨力 G_r ，并将测量结果记录于附录 A 表 A.6

中。

$$G_r = |P'_c - P_c| \quad (3)$$

式中：

G_r ——增益分辨力，dB；

P_c ——被校信号转发器的增益为初始值，测量接收机的功率读数，dBm；

P'_c ——被校信号转发器的增益调整最小步进后，测量接收机的功率读数，dBm。

6.2.7 噪声系数

6.2.7.1 方法一：噪声系数分析仪法

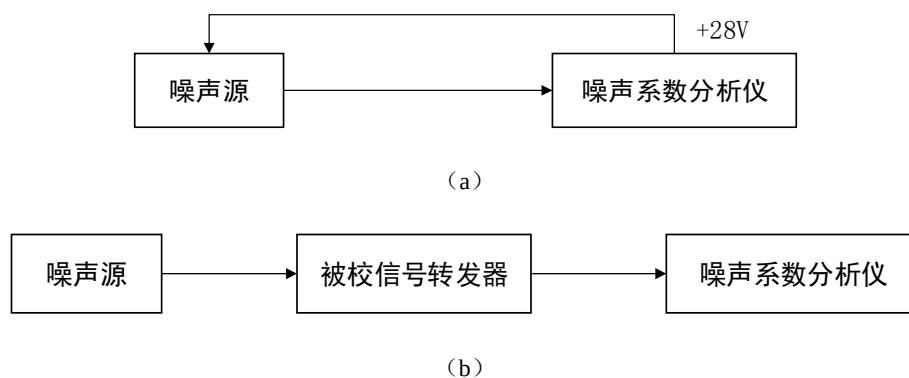


图 4 噪声系数分析仪法测量仪器连接示意图

a) 仪器连接如图 4 所示；

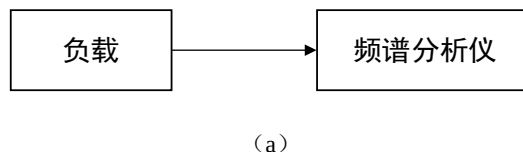
b) 按照图 4 (a) 连接仪器，对噪声系数分析仪进行自校准，将噪声系数分析仪初始复位，并将噪声源的超噪比输入到噪声系数分析仪中；

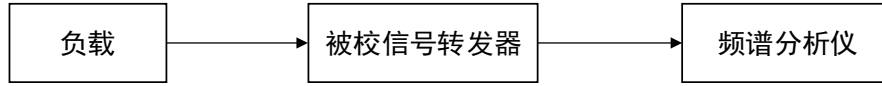
c) 按照图 4 (b) 连接仪器，依据被校信号转发器工作频点选择噪声系数分析仪的测量模式，并设置噪声系数分析仪的起始频率、终止频率、步长或测量频点数；

d) 按噪声系数分析仪校准键执行校准；

e) 按照被校信号转发器可转发的频点依次改变噪声系数分析仪的起止频率，重复 b)~d) 步骤，并将测量结果记录于附录 A 表 A.7.1 中。

6.2.7.2 方法二：频谱分析仪法





(b)

图 5 频谱分析法测量仪器连接示意图

a) 仪器连接如图 5 所示；

b) 按照图 5 (a) 连接仪器，设置频谱分析仪的测量带宽为 1 MHz；

c) 设置频谱分析仪的中心频率与被校信号转发器可转发的信号频率相同，设置其参考电平为最小值，读取测得的噪声功率 P_0 ，按公式 (4) 计算频谱分析仪的噪声功率 NF_0 和噪声因子 F_0 ；

$$\begin{cases} NF_0 = P_0 - P_r \\ F_0 = 10^{\frac{NF_0}{10}} \end{cases} \quad (4)$$

式中：

P_0 —频谱分析仪的噪声功率读数，dBm；

NF_0 —频谱分析仪的噪声功率，dB；

P_r —负载的噪声功率（常温，1 MHz 测量带宽下，取-114），dBm；

F_0 —频谱分析仪的噪声功率的非对数表示；

d) 将被校信号转发器接入测量系统，连接如图 5 (b) 所示，设置被校信号转发器的增益至最大，根据 6.2.3 的校准方法确定此时的增益值为 G_1 ，频谱分析仪的设置不变，读取此时的噪声功率 P_1 ，按公式 (5) 计算被校信号转发器的噪声系数 NF_1 ，

$$\begin{cases} NF_{01} = P_1 - P_r - G_1 \\ F_{01} = 10^{\frac{NF_{01}}{10}} \\ F_1 = F_{01} - \frac{F_0 - 1}{G_1} \\ NF_1 = 10 \text{Log} F_1 \end{cases} \quad (5)$$

式中：

P_1 —接入被校信号转发器后频谱仪的噪声功率读数，dBm；

NF_{01} —被校信号转发器和频谱分析的总噪声功率，dB；

G_1 —被校信号转发器最大增益实际值，dB；

F_{01} —测量系统（包括被校信号转发器和频谱分析仪）的噪声因子；

NF_1 —被校信号转发器的噪声系数；

e) 按照被校信号转发器可转发的频点依次改变频谱分析仪的中心频率，重复 b)~d) 步骤，并将测量结果记录于附录 A 表 A.7.2 中。

6.2.8 输入电压驻波比

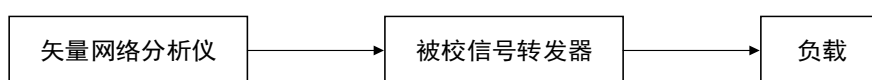


图 6 输入电压驻波比测量仪器连接示意图

- a) 仪器连接如图 6 所示；
- b) 设置矢量网络分析仪的起止频率为被校信号转发器可以转发的频率范围，设置矢量网络分析仪的输出功率应不超过被校信号转发器要求的最大允许输入功率；
- c) 将矢量网络分析仪进行自校准，校准完毕后按图 6 连接设备并进行输入电压驻波比测量；
- d) 运行测量程序读取测量结果，并将测量结果记录于附录 A 表 A.8 中。

6.2.9 输出电压驻波比

- a) 仪器连接如图 6 所示；
- b) 按 6.2.8 b) 的校准方法进行设置，将矢量网络分析仪进行自校准，校准完毕后按图 6 连接设备并进行输出电压驻波比测量；
- c) 运行测量程序读取测量结果，并将测量结果记录于附录 A 表 A.9 中。

7 校准结果表达

经校准的信号转发器出具校准证书。校准证书应至少包括以下信息：

- 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

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位可根据实际使用情况确定复校时间间隔。

附录 A

原始记录格式

委托单位	
被校设备	
校准地点	
环境条件	
校准时间	
校准人员	
核验人员	
校准仪器	
校准依据	
校准项目	☐ 外观及工作正常性 ☐ 支持的 GNSS 信号 ☐ 输出功率范围 ☐ 增益控制范围 ☐ 增益最大允许误差 ☐ 增益分辨力 ☐ 噪声系数 ☐ 输入电压驻波比 ☐ 输出电压驻波比

A.1 外观和工作正常性检查

外观： ☐ 完好 ☐ 损坏
工作正常性检查： ☐ 正常 ☐ 异常

A.2 支持的 GNSS 信号

发射频点	转发频点

--	--

A.3 输出功率范围

频点	最大输出功率 $P_{\max}$ (dBm)	最小输出功率 $P_{\min}$ (dBm)	$U(k=2)$ (dB)

A.4 增益控制范围

频点	最大增益时功率值 P_m (dB)	最小增益时功率值 P_n (dB)	$U(k=2)$ (dB)

A.5 增益最大允许误差

频点	设定值 (dB)	实际值 (dB)	最大允许误差 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

A.6 增益分辨力

频点	增益分辨力 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

A.7 噪声系数

A.7.1 噪声系数-噪声系数分析仪法

频点	噪声系数 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

A.7.2 噪声系数-频谱分析仪法

频点	噪声功率 P_0 (dB)	噪声功率 P_1 (dB)	噪声系数 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

A.8 输入电压驻波比

频点	输入电压驻波比	$U(k=2)$

A.9 输出电压驻波比

频点	输出电压驻波比	$U(k=2)$

附录 B

校准证书（内页）格式

B.1 外观和工作正常性检查

外观： ☐ 完好 ☐ 损坏
工作正常性检查： ☐ 正常 ☐ 异常

B.2 支持的 GNSS 信号

发射频点	转发频点

B.3 输出功率范围

频点	最大输出功率 $P_{\max}$ (dBm)	最小输出功率 $P_{\min}$ (dBm)	$U(k=2)$ (dB)

B.4 增益控制范围

频点	增益控制范围 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

B.5 增益最大允许误差

频点	最大允许误差 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

B.6 增益分辨力

频点	增益分辨力 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

B.7 噪声系数

频点	噪声系数 (dB)	$U(k=2)$ (dB)

B.8 输入电压驻波比

频点	输入电压驻波比	$U(k=2)$

B.9 输出电压驻波比

频点	输出电压驻波比	$U(k=2)$

附录 C

测量结果的不确定度评定示例

C.1 噪声系数测量结果不确定度评定

C.1.1 测量模型

$$NF = ENR + y \quad (C.1)$$

式中：

NF —测量结果，dB；

ENR —噪声源的超噪比，dB；

y —噪声因子。

C.1.2 测量不确定度来源

由于各不确定度分量不相关，根据不确定度传播律，被校信号转发器噪声系数的合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [c_2 u_2]^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (C.2)$$

c_1 、 c_2 为灵敏度系数，其值为

$$\begin{cases} c_1 = c(ENR) = \frac{\partial(NF)}{\partial(ENR)} = 1 \\ c_2 = c(y) = \frac{\partial(NF)}{\partial(y)} = 1 \end{cases} \quad (C.3)$$

式中：

u_1 —噪声源超噪比引入的不确定度；

u_2 —噪声系数分析仪测量不准确引入的不确定度；

u_3 —噪声源与被测件之间的失配引入的不确定度；

u_4 —测量重复性引入的不确定度。

C.1.3 标准测量不确定度评定

C.1.3.1 噪声源超噪比引入的不确定度 u_1

标准噪声源超噪比引入的不确定度由 B 类评定，由上级检定证书可知噪声源超噪比的扩展不确定度为 0.20 dB，且 $k=2$ ，标准不确定度为：

$$u_1 = \frac{0.20\text{dB}}{2} = 0.10\text{dB} \quad (C.4)$$

C.1.3.2 噪声系数分析仪测量不准确引入的不确定度 u_2

噪声系数分析仪技术说明书给出的技术指标：噪声系数测量不确定度小于 0.1 dB，服从均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度为：

$$u_2 = \frac{0.1\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.06\text{dB} \quad (\text{C.5})$$

C.1.3.3 噪声源与被测件之间的失配引入的不确定度 u_3

噪声源与被测件之间的连接存在着失配。噪声源的输出电压驻波比小于 1.15，被测件的输入端的电压驻波比小于 2.00，失配误差极限为 0.11 dB，服从反正弦分布，按 B 类评定，标准不确定为：

$$u_3 = \frac{0.11\text{dB}}{\sqrt{2}} = 0.08\text{dB} \quad (\text{C.6})$$

C.1.3.4 测量重复性引入的不确定度 u_4

在相同的实验条件下，测量重复性引入的相对标准不确定度分量按 A 类评定，标准不确定度为：

$$u_4 = S_n(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} = (0.02 \sim 0.03) \text{ dB} \quad (\text{C.7})$$

C.1.3.5 合成标准不确定度

表 C.1 标准不确定度一览表

不确定度来源	类型	分布	因子	标准不确定度
噪声源超噪比 u_1	B	正态	2	0.10 dB
噪声系数分析仪测量不确定度 u_2	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.06 dB
噪声源与被测件之间的失配 u_3	B	反正弦	$\sqrt{2}$	0.08 dB
测量重复性 u_4	A	/	/	(0.02~0.03) dB

C.1.4 不确定度分量之间相关性

各不确定度分量之间无相关性。

C.1.5 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{[c_1 u_1]^2 + [C_2 u_2]^2 + u_3^2 + u_4^2} \approx 0.15 \text{ dB} \quad (\text{C.8})$$

C.1.6 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，，则扩展不确定度

$$U = k u_c = 0.3 \text{ dB} \quad (k=2) \quad (\text{C.9})$$

C.2 功率范围和增益控制范围测量结果不确定度评定

功率范围和增益控制范围皆是使用信号源与功率计或测量接收机直接测量。现以功率计和测量接收机为记录设备对信号发生器输出的 L1 频点 (1.57542 GHz, -100 dBm) 信号为例, 进行不确定度评定。

C.2.1 测量模型

$$Y = W \quad (\text{C.10})$$

式中:

Y —— 测量结果

W —— 测量接收机得到的信号功率值

C.2.2 测量不确定度来源

由于各不确定度分量不相关, 根据不确定度传播律, 被校信号转发器功率范围和增益控制范围测量结果的合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \quad (\text{C.11})$$

式中:

u_1 —— 信号源 RF 量程转变引入的不确定度

u_2 —— 信号源与功率计失配引入的不确定度

u_3 —— 信号源与信号转发器连接线损耗引入的不确定度

u_4 —— 功率计功率测量不准引入的不确定度

u_5 —— 测量接收机测量不准引入的不确定度

u_6 —— 测量重复性引入的不确定度

C.2.3 标准测量不确定度评定

C.2.3.1 信号源 RF 量程转变引入的不确定度 u_1

根据校准证书, 区间半宽度 $a=0.5\text{dB}$, 服从均匀分布, 按 B 类评定, 标准不确定度为:

$$u_1 = \frac{0.5\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.29\text{dB} \quad (\text{C.12})$$

C.2.3.2 信号源与功率计失配引入的不确定度 u_2

根据信号源的电压驻波比计算出 $\Gamma_1 = 0.25$, 功率计电压驻波比计算出 $\Gamma_2 = 0.07$, 由公式

$\Delta = 20\lg(1 + \Gamma_1\Gamma_2) = 0.15$ 计算失配误差, 服从反正弦分布, 按 B 类评定, 标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{0.15}{\sqrt{2}} = 0.11\text{dB} \quad (\text{C.13})$$

C.2.3.3 信号源与信号转发器连接线损耗引入的不确定度 u_3

根据线缆说明书，电缆不确定度为 0.2 dB，服从均匀分布，标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.2\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.12\text{dB} \quad (\text{C.14})$$

C.2.3.4 功率计功率测量不准引入的不确定度 u_4

根据产品说明书，区间半宽度 $a=0.09\text{dB}$ ，服从均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度为：

$$u_4 = \frac{0.09\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.05\text{dB} \quad (\text{C.15})$$

C.2.3.5 测量接收机测量不准引入的不确定度 u_5

根据产品说明书，区间半宽度 $a=0.083\text{dB}$ ，服从均匀分布，按 B 类评定，标准不确定度为：

$$u_5 = \frac{0.083\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.05\text{dB} \quad (\text{C.16})$$

C.2.3.6 测量重复性引入的标准不确定度 u_6

在相同的实验条件下，重复测量 10 次 L1 频点（1.57542 GHz，-90 dBm）信号，数据如下，按 A 类评定。

表 C.2 L1 频点功率测量 10 次的结果

测量次数	1	2	3	4	5
功率值 (dBm)	-100.028	-100.021	-100.049	-100.042	-100.067
测量次数	6	7	8	9	10
功率值 (dBm)	-100.025	-100.074	-100.016	-100.018	-100.037

重复性引入的标准不确定度为：

$$u_6 = 0.01\text{dB} \quad (\text{C.17})$$

C.2.3.7 标准不确定度一览表

表 C.3 测量不确定度来源及标准不确定度一览表

不确定度来源	分布	包含因子	不确定度分量
信号源 RF 量程转变 u_1	均匀	$\sqrt{3}$	0.29 dB
信号源与功率计失配 u_2	正弦	$\sqrt{2}$	0.11 dB
信号源与信号转发器连接线 损耗 u_3	均匀	$\sqrt{3}$	0.12 dB
功率计功率测量不准 u_4	均匀	$\sqrt{3}$	0.05 dB
测量接收机测量不准 u_5	均匀	$\sqrt{3}$	0.05 dB
测量重复性 u_6	/	/	0.01 dB

C.2.4 不确定度分量之间相关性

各不确定度分量之间无相关性。

C.2.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} \approx 0.34 \text{ dB} \quad (\text{C.18})$$

C.2.6 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度为

$$U = k \times u_c \approx 0.68 \text{ dB} \quad (\text{C.19})$$

功率范围和增益控制范围校准结果的扩展不确定度为 $U = 0.68 \text{ dB}$ ($k=2$)