



中华人民共和国工业和信息化部
电子计量技术规范

JJF(电子) XXXX-20XX

卫星导航压制干扰源校准规范

Calibration Specification for Satellite Navigation Suppression

Interference Sources

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

卫星导航压制干扰源校准 规范

Calibration Specification for Satellite
Navigation Suppression Interference Sources

JJF(电子) XXXX-20XX

归口单位：中国电子技术标准化研究院

主要起草单位：工业和信息化部电子第五研究所

参与起草单位：广州赛宝计量检测中心服务有限公司

本规范技术条文委托起草单位负责解释

本规范主要起草人：顾林（工业和信息化部电子第五研究所）

刘鹏（工业和信息化部电子第五研究所）

吕刚（工业和信息化部电子第五研究所）

参加起草人：彭益炜（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

刘君荣（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

赵明非（广州赛宝计量检测中心服务有限公司）

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
5 校准条件	3
5.1 环境条件	3
5.2 测量标准及其他设备	3
6 校准项目和校准方法	4
6.1 校准项目	4
6.2 校准方法	5
6.2.1 外观及工作正常性检查	5
6.2.2 频率	5
6.2.3 功率	5
6.2.4 谐波	6
6.2.5 非谐波	7
6.2.6 多音压制式干扰	7
6.2.7 扫频压制式干扰	8
6.2.8 脉冲压制式干扰	9
6.2.9 调频压制式干扰	11
6.2.10 调幅压制式干扰	12
6.2.11 数字调制压制式干扰	13
7 校准结果表达	13
8 复校时间间隔	14
附录 A	15
附录 B	15
附录 C	37
附录 D	57

引言

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

本规范为首次发布。

卫星导航压制干扰源校准规范

1 范围

本规范适用于 GNSS（包含 BDS、GPS、GLONASS、Galileo）卫星导航压制干扰源的校准。

2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJF 1931 信号发生器校准规范

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

卫星导航压制干扰源是专用卫星导航测试设备，可模拟生成特定制式的高功率射频压制干扰信号，通过向 GNSS 接收机输出可控的仿真压制干扰信号，对真实卫星导航信号实施屏蔽压制，用于 GNSS 接收机复杂恶劣电磁环境下的抗干扰性能测试。其典型压制干扰类型包含多音压制干扰、扫频压制干扰、脉冲压制干扰、调幅压制干扰、调频压制干扰和数字调制压制干扰等，可用在 GNSS 接收机的研发、生产和计量过程的各个环节。

卫星导航压制干扰源主要由控制模块、信号生成模块、中频模块和射频模块等组成，基本结构和工作原理如图 1 所示。其中控制模块主要是控制软件，对干扰源参数的设置；信号生成模块主要负责从控制模块获得的配置及设置参数数据，实现各类干扰信号的产生，中频模块是对信号生成部分的基带信号进行合路处理，使得不同的基带信号变频到各自对应的中频频段内；射频模块是将中频频段再次变频至相应的射频频段，最后合路由输出端口输出。

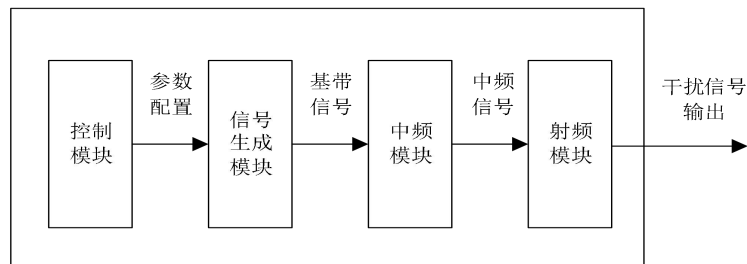


图 1 卫星导航压制干扰源的基本结构和工作原理

4 计量特性

4.1 频率

频率范围：覆盖 GNSS 导航系统所有频点：BDS 系统 B1I、B2A、B3，GPS 系统 L1 C/A、L2、L5，GLONASS 系统 L1、L2，Galileo 系统 E5a、E5b、E6；
相对频率偏差： $\pm 1 \times 10^{-7}$ 。

4.2 功率

功率范围：-120dBm~20dBm；
最大允许误差： $\pm (0.5\text{dB} \sim 1.5\text{dB})$ 。

4.3 谐波

允许范围： $\leq -30\text{dBc}$ 。

4.4 非谐波

允许范围： $\leq -50\text{dBc}$ 。

4.5 多音压制式干扰

多音个数：1~20；
多音频率频偏范围：1Hz~25MHz，
最大允许误差： $\pm 1\%$ 。

4.6 扫频压制式干扰

扫频周期范围：0.1ms~100s，最大允许误差： $\pm 1\%$ ；
扫频宽度范围： $(1 \sim 25) \text{MHz}$ ，最大允许误差： $\pm 5\%$ 。

4.7 脉冲压制式干扰

脉冲周期范围： $1\mu\text{s} \sim 50\text{s}$ ，最大允许误差： $\pm 1\%$ ；
脉冲占空比范围： $(1 \sim 100) \%$ ，最大允许误差： $\pm 10\%$ ；
开关比： $> 85\text{dB}$ ；
上升/下降时间： $< 50\text{ns}$ 。

4.8 调频压制式干扰

调制频率范围：10Hz~100kHz，最大允许误差： $\pm 20\%$ ；
调频频偏范围：0.1Hz~700kHz，最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

4.9 调幅压制式干扰

调制频率范围：10Hz~100kHz，最大允许误差： $\pm 20\%$ ；

调幅深度范围：5%~99%，最大允许误差： $\pm 20\%$ 。

4.10 数字调制压制式干扰

调制类型：BPSK、QPSK；

误差矢量幅度： $\leq 3\%$ ；

相位误差： $\leq 1^\circ$ 。

注：以上技术指标仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

5.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ ；

5.1.3 供电电源：电压： $(220 \pm 11)\text{V}$ ，频率： $(50 \pm 1)\text{Hz}$ ；

5.1.4 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 矢量信号分析仪

频率范围：应覆盖被校卫星导航压制干扰源输出信号的频率范围，

相对频率偏差： $\pm 3 \times 10^{-8}$ ；

功率范围： $-130\text{dBm} \sim 20\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm (0.35 \sim 1.0)\text{dB}$ ；

误差矢量幅度： $\pm 1\%$ ；

相位误差： $\pm 0.3^\circ$ ；

具备频谱分析功能，数字调制解调功能、解调分析带宽 $\geq 40\text{MHz}$ 。

5.2.2 频率计

频率范围：应覆盖被校卫星导航压制干扰源输出信号的频率范围，

相对频率偏差： $\pm 1 \times 10^{-8}$ ；

分辨力： 1Hz 。

5.2.3 测量接收机

频率范围：应覆盖被校卫星导航压制干扰源输出信号的频率范围；

功率范围： $-127\text{dBm} \sim 20\text{dBm}$ ，最大允许误差： $\pm 0.15\text{dB}$ ，最小分辨力： 0.01dB ；

调频测量：调制频率 $10\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$ ，最大允许误差： $\pm (1 \sim 6)\%$ ；

调频频偏： $10\text{Hz} \sim 700\text{kHz}$ ，最大允许误差： $\pm (1 \sim 6)\%$ ；

调幅测量：调制频率 $10\text{Hz} \sim 100\text{kHz}$ ，最大允许误差： $\pm (1 \sim 6)\%$ ；

调幅深度：5%~99%，最大允许误差： $\pm(1\sim6)\%$ ；

5.2.4 示波器

频率带宽优于 1GHz；

上升/下降时间应小于被校信号上升/下降时间的二分之一；

采样率： $\geq 5\text{GSa/s}$ ；

时间分辨率： $\leq 0.2\text{ns}$ ；

具备数字检波功能。

5.2.5 低噪声放大器

频率范围：应覆盖被校卫星导航压制干扰源输出信号的频率范围；

增益： $\geq 30\text{dB}$ 。

注：1.以上条件为校准中需遵循的一般性要求，根据实际情况也可做合理变化。

2.示波器不具备数字检波功能，可外接检波器，其频率范围应覆盖被校卫星导航压制干扰源输出信号的频率范围，上升时间： $\leq 20\text{ns}$ 。

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	校准项目名称		校准方法的条款号
1	频率		6.2.2
2	功率		6.2.3
3	谐波		6.2.4
4	非谐波		6.2.5
5	多音压制式干扰	多音个数	6.2.6.1
		多音频率频偏	6.2.6.2
6	扫频压制式干扰	扫频周期	6.2.7.1
		扫频宽度	6.2.7.2
7	脉冲压制式干扰	脉冲周期	6.2.8.1
		脉冲占空比	6.2.8.2
		上升/下降时间	6.2.8.3
		开关比	6.2.8.4
8	调频压制式干扰	调制频率	6.2.9.1
		调频频偏	6.2.9.2

序号	校准项目名称		校准方法的条款号
9	调幅压制式干扰	调制频率	6.2.10.1
		调幅深度	6.2.10.2
10	数字调制压制式干扰	误差矢量幅度	6.2.11.1
		相位误差	6.2.11.1

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

被校卫星导航压制干扰源外观应完好无损，无影响正常工作的机械损伤，其开关、按键、旋钮应能正常动作并接触良好。被校仪器通电后显示屏能正常显示。达到规定预热时间后各输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。有自检功能的，应能通过自检。将检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

6.2.2 频率

a) 仪器连接图 2 所示。

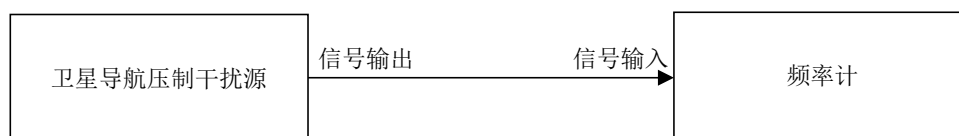


图 2 频率校准连接示意图

b) 选取被校卫星导航压制干扰源自身支持的全部 GNSS 导航系统工作频点作为校准点；

c) 被校卫星导航压制干扰源设置载波信号模式，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），选择任意一个系统和频点，用频率计测量频率值 f_m ，并将结果记录于附录 A 表 A.2 中。

d) 利用公式（1）计算频率示值误差，将计算结果记录于附录 A 表 A.2 中。

$$\Delta f_c = f_m - f_i \quad (1)$$

式中：

Δf_c ——频率的误差，单位 MHz；

f_m ——被校卫星导航压制干扰源标称值（设定值），单位 MHz；

f_i ——频率计测量值，单位 MHz。

6.2.3 功率

a) 仪器连接图 3 所示。

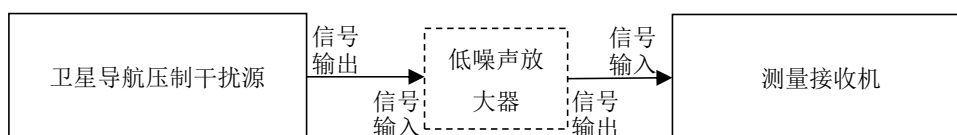


图3 功率校准连接示意图

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的功率范围, 通常在全功率范围内选取高、中、低三个典型校准点; 也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点, 校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后, 在 6.2.2 章节已确定的频率点下, 对选取的各功率校准点逐一进行功率校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置载波信号模式, 设置测量接收机的频率与被校卫星导航压制干扰源的一致, 用测量接收机依次测量相应的功率值 L_m , 并将结果记录于附录 A 表 A.3 中。

d) 利用公式 (2) 计算功率示值误差, 将计算结果记录于附录 A 表 A.3 中。

$$\Delta L_c = L_m - L_i \quad (2)$$

式中:

ΔL_c ——功率的误差, 单位 dB;

L_m ——被校卫星导航压制干扰源标称值 (设定值), 单位 dBm;

L_i ——测量接收机测量值, 单位 dBm。

6.2.4 谐波

a) 仪器连接图 4 所示。

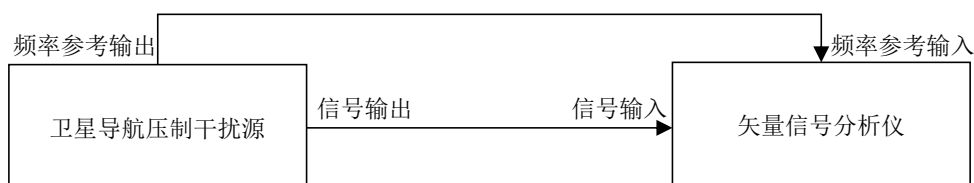


图4 谐波校准连接示意图

b) 校准点选取 6.2.2 章节中已确定的频率点。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置单载波信号模式, 输出功率为适当值 (无要求时, 在确保输出信号稳定的情况下输出功率应尽可能大), 依次选择导航系统和频点, 用矢量信号分析仪测量二次谐波与基波间的相对电平值, 并将结果记录于附录 A 表 A.4 a) 中; 测量三次谐波与基波间的相对电平

值，并将结果记录于附录 A 表 A.4 b) 中；测量分谐波（二分之一次谐波，三分之一次谐波、三分之二次谐波等）与基波间的相对电平值，并将结果记录于附录 A 表 A.4 c) 中。

6.2.5 非谐波

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 校准点选取 6.2.2 章节中已确定的频率点。

b) 被校卫星导航压制干扰源设置载波信号模式，输出功率为适当值（无要求时，在确保输出信号稳定的情况下输出功率应尽可能大），依次选择导航系统和频点，用矢量信号分析仪分别测量偏离载波（偏离载波的频率值为技术说明书规定值）的最大非谐波与基波间的相对电平值，并将结果记录于附录 A 表 A.5 中。

6.2.6 多音压制式干扰

6.2.6.1 多音个数

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的多音个数范围，通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率点下，对选取的各多音个数校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），压制干扰模式置为多音信号模式，频率间隔置为 1kHz，依次设置多音信号个数。

d) 将矢量信号分析仪的中心频率与被校卫星导航压制干扰源输出频率保持一致，参考电平置为 0dBm，合理设置扫频宽度（SPAN），在矢量信号分析仪显示屏上应能清晰观察多音信号的谱线个数，谱线个数应与被校卫星导航压制干扰源的设置值一致。并将结果记录于附录 A 表 A.6 a) 中。

6.2.6.2 多音频率频偏

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的多音频率频偏范围，通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率

点下，对选取的各频率频偏校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），压制干扰模式置为多音信号模式，多音个数置为 1 个，依次设置频率频偏，将矢量信号分析仪的中心频率与被校卫星导航压制干扰源输出频率保持一致，参考电平置为 0dBm，将扫频宽度（SPAN）置为频率间隔的 10 倍以上，分辨率带宽（RBW）置为频率频偏的 5%，视频带宽（VBW）置为分辨率带宽的 3 倍，在矢量信号分析仪显示屏上应能清晰观察基波和多音信号的离散谱线。运行峰值标记和增量标记功能，执行峰值搜索，分别标记基波左、右两侧多音信号谱线与基波谱线的频率差值 Δf_1 和 Δf_2 ，并将结果记录于附录 A 表 A.6 b) 中。

d) 利用公式（3）计算多音频率频偏的误差，将计算结果记录于附录 A 表 A.6 b) 中。

$$\Delta f_N = f_N - \frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2} \quad (3)$$

式中：

Δf_N ——多音频率偏差的误差，单位 kHz；

f_N ——被校卫星导航压制干扰源标称值（设定值），单位 kHz；

Δf_1 ——基波左侧多音信号谱线与基波间的频率差值，单位 kHz；

Δf_2 ——基波右侧多音信号谱线与基波间的频率差值，单位 kHz。

6.2.7 扫频压制式干扰

6.2.7.1 扫频周期

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的扫频周期范围，通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率点下，对选取的各扫频周期校准点逐一进行校准。

b) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），压制干扰模式置为扫频压制模式，扫频波形置为连续正弦波，扫频带宽置为 10MHz，依次设置扫频周期。

c) 矢量信号分析仪的中心频率与被校卫星导航压制干扰源输出频率保持一致，参考电平置为 0dBm，将扫频宽度（SPAN）置为零扫宽，扫频时间置为扫

频周期的 5 倍, 扫描次数置为单次, 触发模式置为视频触发, 在矢量信号分析仪显示屏上应能清晰观察两个的离散谱线。运行峰值标记和增量标记功能, 执行峰值搜索, 分别标记左右两侧信号谱线的频率差值 ΔT_s , 并将结果记录于附录 A 表 A.7 a) 中。

6.2.7.2 扫频宽度

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的扫频宽度范围, 通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点; 也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点, 校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后, 在 6.2.2 章节已确定的频率点下, 对选取的各扫频宽度校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点, 输出功率为适当值 (无要求时, 输出功率设为-10dBm), 压制干扰模式置为扫频压制模式, 扫频波形置为连续正弦波, 扫频周期置为 1000ms, 依次设置扫频宽度。

d) 矢量信号分析仪的中心频率与被校卫星导航压制干扰源输出频率保持一致, 参考电平置为 0dBm, 将扫频宽度 (SPAN) 置为扫频带宽的 2 至 5 倍, 分辨率带宽 (RBW) 置为扫频宽度的 1%~5%, 视频带宽 (VBW) 置为分辨率带宽的 3 倍, 执行峰值检波器和最大保持模式、扫描次数置为单次, 此时观察矢量信号分析仪的显示屏, 当信号轨迹谱线完整且稳定时, 运行“N dB down”功能, 将 N dB 置为-3dB 并执行此功能即可测得扫频带宽; 如矢量信号分析仪有占用带宽功能, 将 X dB 置为-3dB 并执行此功能即可测得扫频带宽, 并将结果记录于附录 A 表 A.7.1 b) 中。

6.2.8 脉冲压制式干扰

6.2.8.1 脉冲周期

a) 仪器连接图 5 所示。

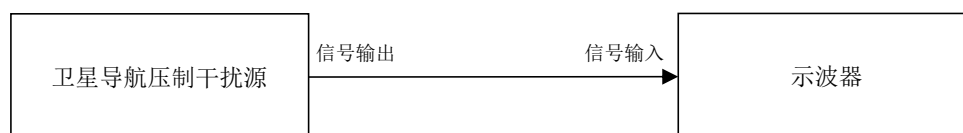


图 5 脉冲周期校准连接示意图

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的脉冲周期范围, 通常在其范围内选取高、

中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率点下，对选取的各脉冲周期校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为 0dBm），压制干扰模式置为脉冲压制模式，占空比置为 50%，依次设置脉冲周期。

d) 示波器打开数字检波功能，调节示波器触发电平使波形正常显示，调节垂直刻度使波形幅度在垂直方向上占屏幕 80% 左右，调节水平刻度使波形显示至少 5 个完整的周期。运行“周期测量”功能，测得脉冲周期，并将结果记录于附录 A 表 A.8 a) 中。

6.2.8.2 脉冲占空比

a) 仪器连接图 5 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的脉冲占空比范围，通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率点下，对选取的各脉冲占空比校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为 0dBm），压制干扰模式置为脉冲压制模式，脉冲周期置为 1ms（1kHz），依次设置占空比。

d) 示波器打开数字检波功能，调节示波器触发电平使波形正常显示，调节垂直刻度使波形幅度在垂直方向上占屏幕 80% 左右，调节水平刻度使波形显示一个完整的周期。运行“占空比测量”功能，测得脉冲占空比，并将结果记录于附录 A 表 A.8 b) 中。

6.2.8.3 上升/下降时间

a) 仪器连接图 5 所示。

b) 校准点选取 6.2.2 章节中已确定的频率点。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为 0dBm），压制干扰模式置为脉冲压制模式，脉冲周期置为 1ms（1kHz），占空比置为 50%。

d) 示波器打开数字检波功能，调节示波器触发电平使波形正常显示，调节

垂直刻度使波形幅度在垂直方向上占屏幕 80%左右, 屏幕显示波形的顶量值和低量值部分应趋于平缓, 调节水平刻度使波形过渡状态在水平方向上占屏幕 1/10~1/8 左右。运行“10%~90%上升/下降时间测量”功能, 测得上升/下降时间, 并将结果记录于附录 A 表 A.8 c) 中。

6.2.8.4 开关比

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 校准点选取 6.2.2 章节中已确定的频率点。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点, 输出功率为适当值 (无要求时, 输出功率设为 0dBm), 压制干扰模式置为脉冲压制模式, 占空比置为 50%, 脉冲周期置为 1ms。

d) 将矢量信号分析仪的中心频率与被校卫星导航压制干扰源输出频率保持一致, 参考电平置为 0dBm, 将扫频宽度 (SPAN) 置、分辨率带宽 (RBW) 和视频带宽 (VBW) 设置合理, 运行“峰峰值”测量功能, 测量功率 P_{on} , 关闭被校卫星导航压制干扰源的脉冲压制式干扰信号, 测量功率 P_{off} 。

e) 利用公式 (4) 计算开关比, 并将结果记录于附录 A 表 A.8 d) 中。

$$\text{ratio}_{\text{on/off}} = P_{\text{on}} - P_{\text{off}} \quad (4)$$

式中:

$\text{ratio}_{\text{on/off}}$ ——开关比值, 单位 dB;

P_{on} ——打开脉冲压制式干扰信号时的功率值, 单位 dBm;

P_{off} ——关闭脉冲压制式干扰信号时的功率值, 单位 dBm。

6.2.9 调频压制式干扰

6.2.9.1 调制频率

a) 仪器连接图 6 所示。

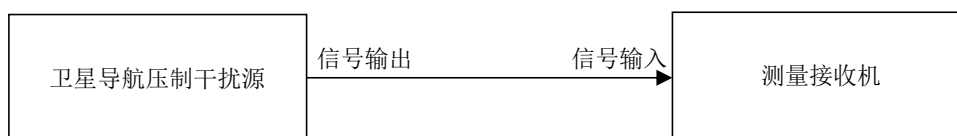


图 6 调制频率校准连接示意图

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的调制频率范围, 通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点; 也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点, 校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后, 在 6.2.2 章节已确定的频率点下, 对

选取的各调制频率校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点, 输出功率为适当值 (无要求时, 输出功率设为-10dBm), 压制干扰模式置为调频压制模式, 调频波形置为正弦波, 调频频偏置为 75kHz, 依次设置调制频率。

d) 设置测量接收机测量带宽置为 50Hz~15kHz 或 300Hz~3kHz, 检波方式置为二分之一峰峰值检波, 运行“调频频率”功能, 测得调频频率, 并将结果记录于附录 A 表 A.9 a) 中。

6.2.9.2 调频频偏

a) 仪器连接图 6 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的调频频偏范围, 通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点; 也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点, 校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后, 在 6.2.2 章节已确定的频率点下, 对选取的各调频频偏校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点, 输出功率为适当值 (无要求时, 输出功率设为-10dBm), 压制干扰模式置为调频压制模式, 调频波形置为正弦波, 调制频率置为 1kHz, 依次设置调频频偏。

d) 设置测量接收机测量带宽置为 50Hz~15kHz 或 300Hz~3kHz, 检波方式置为二分之一峰峰值检波, 运行“调频频偏测量”功能, 测得调频频偏, 并将结果记录于附录 A 表 A.9 b) 中。

6.2.10 调幅压制式干扰

6.2.10.1 调制频率

a) 仪器连接图 6 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的调制频率范围, 通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点; 也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点, 校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后, 在 6.2.2 章节已确定的频率点下, 对选取的各调制频率校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点, 输出功率为适当值 (无要求时, 输出功率设为-10dBm), 压制干扰模式置为调幅压制模式, 调频波形置为正弦波, 调幅深度置为 60%, 依次设置调制频率。

d) 设置测量接收机测量带宽置为 50Hz~15kHz 或 300Hz~3kHz, 检波方

式置为二分之一峰峰值检波，运行“调频频率”功能，测得调频频率，并将结果记录于附录 A 表 A.10 a) 中。

6.2.10.2 调幅深度

a) 仪器连接图 6 所示。

b) 根据被校卫星导航压制干扰源的调幅深度范围，通常在其范围内选取高、中、低三个典型校准点；也可直接根据被校设备技术说明书的要求确定校准点，校准点不得少于 3 个。完成校准点选取后，在 6.2.2 章节已确定的频率点下，对选取的各调幅深度校准点逐一进行校准。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），压制干扰模式置为调幅压制模式，调频波形置为正弦波，调幅深度置为 60%，依次设置调制频率。

d) 设置测量接收机测量带宽置为 50Hz~15kHz 或 300Hz~3kHz，检波方式置为二分之一峰峰值检波，运行“调幅深度测量”功能，测得调幅深度，并将结果记录于附录 A 表 A.10 b) 中。

6.2.11 数字调制压制式干扰

6.2.11.1 误差矢量幅度和相位误差

a) 仪器连接图 4 所示。

b) 校准点选取 6.2.2 章节中已确定的频率点。

c) 被校卫星导航压制干扰源设置待测导航系统和频点，输出功率为适当值（无要求时，输出功率设为-10dBm），压制干扰模式置为数字调制压制模式，按照待测导航系统的固定特性设置调制类型、码速率和带宽（具体信号参数详见附录 D）。

d) 矢量信号分析仪选择通用解调模式，设置与被校卫星导航压制干扰源相应的调制类型、码速率和带宽。分别测量误差矢量幅度和相位误差，并将结果记录于附录 A 表 A.11 a) 和 A 表 A.11 b) 中。

7 校准结果表达

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

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，一般推荐为 1 年。

附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

A.2 频率

表 A.2 频率校准记录表

单位: MHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

A.3 功率

表 A.3 功率校准记录表

单位: dBm

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		0			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		0			
		...			

	...	...			
GLONASS	L1	...			
		0			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		0			
		...			
	...	...			

A.4 谐波

表 A.4 谐波校准记录表

a) 二次谐波校准记录表

单位: dBc

导航系统	频点	二次谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 三次谐波校准记录表

单位: dBc

导航系统	频点	三次谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

c) 分谐波校准记录表

单位: dBc

导航系统	频点	分谐波			$U(k=2)$
		1/2 次	1/3 次	2/3 次	
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

A.5 非谐波

表 A.5 非谐波校准记录表

单位: dBc

导航系统	频点	偏移频率	非谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I	...		
	...	...		
GPS	L1	...		
	...	...		
GLONASS	L1	...		
	...	...		
Galileo	E6	...		
	...	...		

A.6 多音压制式干扰

表 A.6 多音压制式干扰校准证书内页格式

a) 多音个数校准证书内页格式

单位: 个

导航系统	频点	设定值	多音个数
BDS	B1I		
	...		

GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 多音频率频偏校准证书内页格式

单位: kHz

导航系统	频点	多音个数	频率频偏	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
GPS	L1	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
GLONASS	L1	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
Galileo	E6	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			

A.7 扫频压制式干扰

表 A.7 扫频压制式干扰校准记录表

a) 扫频周期校准记录表

单位: ms

导航系统	频点	扫频宽度	扫频周期	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I		...			
			...			
			...			
	...		...			
GPS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
GLONASS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
Galileo	E6		...			
			...			
			...			
	...		...			

b) 扫频宽度校准记录表

单位: MHz

导航系统	频点	扫频周期	扫频宽度	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I		...			
			...			
			...			
	...		...			
GPS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
GLONASS	L1		...			

			...			
			...			
	...		...			
Galileo	E6		...			
			...			
			...			
	...		...			

A.8 脉冲压制式干扰

表 A.8 脉冲压制式干扰校准记录表

a) 脉冲周期校准记录表

单位: ms

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 脉冲占空比校准记录表

单位: %

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

c) 上升/下降时间校准记录表

单位: ns

导航系统	频点	项目	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
GPS	L1	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
GLONASS	L1	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
Galileo	E6	上升时间			
		下降时间			
	...	...			

d) 开关比较准记录表

单位: dB

导航系统	频点	P_{on} 功率值	P_{off} 功率值	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

A.9 调频压制式干扰

表 A.9 调频压制式干扰校准记录表

a) 调制频率校准记录表

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 调频频偏校准记录表

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

A.10 调幅压制式干扰

表 A.10 调幅压制式干扰校准记录表

a) 调制频率校准记录表

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			

		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 调幅深度校准记录表

单位：%

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

A.11 数字调制压制式干扰

表 A.11 数字调制压制式干扰校准记录表

a) 误差矢量幅度校准记录表

单位: %

导航系统	频点	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 相位误差校准记录表

单位: °

导航系统	频点	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

附录 B

校准证书内页格式

B.1 外观及工作正常性检查

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观检查	
工作正常性检查	

B.2 频率

表 B.2 频率校准证书内页格式

单位: MHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

B.3 功率

表 B.3 功率校准证书内页格式

单位: dBm

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		0			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		0			
		...			
	...	...			

	...	...			
GLONASS	L1	...			
		0			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		0			
		...			
	...	...			

B.4 谐波

表 B.4 谐波校准证书内页格式

a) 二次谐波校准证书内页格式

单位: dBc

导航系统	频点	二次谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 三次谐波校准证书内页格式

单位: dBc

导航系统	频点	三次谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

c) 分谐波校准证书内页格式

单位: dBc

导航系统	频点	分谐波			$U(k=2)$
		1/2 次	1/3 次	2/3 次	
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

B.5 非谐波

表 B.5 非谐波校准证书内页格式

单位: dBc

导航系统	频点	偏移频率	非谐波	$U(k=2)$
BDS	B1I	...		
	...	...		
GPS	L1	...		
	...	...		
GLONASS	L1	...		
	...	...		
Galileo	E6	...		
	...	...		

B.6 多音压制式干扰

表 B.6 多音压制式干扰校准证书内页格式

a) 多音个数校准证书内页格式

单位: 个

导航系统	频点	设定值	多音个数
BDS	B1I		
	...		

GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 多音频率频偏校准证书内页格式

单位: kHz

导航系统	频点	多音个数	频率频偏	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
GPS	L1	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
GLONASS	L1	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			
Galileo	E6	1	...			
		1	...			
		1	...			
	...	1	...			

B.7 扫频压制式干扰

表 B.7 扫频压制式干扰校准证书内页格式

a) 扫频周期校准证书内页格式

单位: ms

导航系统	频点	扫频宽度	扫频周期	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I		...			
			...			
			...			
	...		...			
GPS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
GLONASS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
Galileo	E6		...			
			...			
			...			
	...		...			

b) 扫频宽度校准证书内页格式

单位: MHz

导航系统	频点	扫频周期	扫频宽度	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I		...			
			...			
			...			
	...		...			
GPS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			

GLONASS	L1		...			
			...			
			...			
	...		...			
Galileo	E6		...			
			...			
			...			
	...		...			

B.8 脉冲压制式干扰

表 B.8 脉冲压制式干扰校准证书内页格式

a) 脉冲周期校准证书内页格式

单位: ms

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 脉冲占空比校准证书内页格式

单位: %

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

c) 上升/下降时间校准证书内页格式

单位: ns

导航系统	频点	项目	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
GPS	L1	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
GLONASS	L1	上升时间			
		下降时间			
	...	...			
Galileo	E6	上升时间			
		下降时间			
	...	...			

d) 开关比较准证书内页格式

单位: dB

导航系统	频点	P_{on} 功率值	P_{off} 功率值	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I				
	...				
GPS	L1				
	...				
GLONASS	L1				
	...				
Galileo	E6				
	...				

B.9 调频压制式干扰

表 B.9 调频压制式干扰校准证书内页格式

a) 调制频率校准证书内页格式

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 调频频偏校准证书内页格式

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

B.10 调幅压制式干扰

表 B.10 调幅压制式干扰校准证书内页格式

a) 调制频率校准证书内页格式

单位: kHz

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			

		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

b) 调幅深度校准证书内页格式

单位：%

导航系统	频点	标称值	测量值	示值误差	$U(k=2)$
BDS	B1I	...			
		...			
		...			
	...	...			
GPS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
GLONASS	L1	...			
		...			
		...			
	...	...			
Galileo	E6	...			
		...			
		...			
	...	...			

B.11 数字调制压制式干扰

表 B.11 数字调制压制式干扰校准证书内页格式

a) 误差矢量幅度校准证书内页格式

单位: %

导航系统	频点	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

b) 相位误差校准证书内页格式

单位: °

导航系统	频点	测量值	$U(k=2)$
BDS	B1I		
	...		
GPS	L1		
	...		
GLONASS	L1		
	...		
Galileo	E6		
	...		

附录 C

主要项目校准结果的不确定度评定示例

依据卫星导航压制干扰源校准规范的各校准项目的计量特性、校准条件及校准规定，对某型号的卫星导航压制干扰源进行了校准，并对校准结果的不确定度进行了评定。

C.1 频率校准结果不确定度的评定

C.1.1 测量模型

$$f = f_1 \quad (C.1)$$

式中：

f ——被校卫星导航压制干扰源的频率值，单位 MHz；

f_1 ——频率计的测量值，单位 MHz。

C.1.2 不确定度来源

- a) 频率计测量不准引入的标准不确定度分量；
- b) 频率计分辨率引入的标准不确定度分量；
- c) 铷原子钟不准引入的标准不确定度分量；
- d) 测量重复性引入的标准不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$$

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 频率计测量不准引入的标准不确定度分量

根据频率计技术依据说明书，其日老化率为 $\pm 3.0 \times 10^{-10}$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{1r} = \frac{3 \times 10^{-10}}{\sqrt{3}} = 1.73 \times 10^{-10}$$

C.1.3.2 频率计分辨率引入的标准不确定度分量

根据频率计技术依据说明书，其分辨率为 12 位/秒，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{2r} = \frac{a}{2\sqrt{3}} \approx 7.0 \times 10^{-12}$$

C.1.3.3 铷原子钟不准引入的标准不确定度分量

根据铷原子钟技术依据说明书,其相对频率偏差为 $\pm 5 \times 10^{-11}$,按 B 类方法评定,设为均匀分布,包含因子为 $\sqrt{3}$,则:

$$u_{3r} = \frac{a}{k} = \frac{5 \times 10^{-11}}{\sqrt{3}} = 2.89 \times 10^{-11}$$

C.1.3.4 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定,对被校卫星导航压制干扰源的频率连续重复测量 10 次,用贝塞尔计算实验标准偏差,测量数据详见下表:

表 C.1 频率测量重复性数据

单位: MHz

项目	测量次数				
频率	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	1561.0980003	1561.0980001	1561.0980002	1561.0980001	1561.0980005
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	1561.0980001	1561.0980001	1561.0980001	1561.0980002	1561.0980001
平均值	1561.09800018				
实验标准差	0.00000013				

$$u_{4r} = \frac{0.00000013\text{MHz}}{1561.09800018\text{MHz}} = 8.4 \times 10^{-11}$$

则测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{4r} = s = 8.4 \times 10^{-11}$ 。

C.1.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.2。

表 C.2 频率不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
频率计测量不准	u_{1r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	1.73×10^{-10}
频率计分辨率	u_{2r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	7.0×10^{-12}
铷原子钟不准	u_{3r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	2.89×10^{-11}
测量重复性	u_{4r}	A 类	正态	1	8.4×10^{-11}

C.1.5 相对合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关,则相对合成标准不确定度为:

$$u_{cr} = \sqrt{c_1^2 u_{1r}^2 + c_2^2 u_{2r}^2 + c_3^2 u_{3r}^2 + c_4^2 u_{4r}^2} = 2.0 \times 10^{-10}$$

C.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_{cr} \approx 4.0 \times 10^{-10}$$

C.2 功率校准结果不确定度的评定

C.2.1 测量模型

$$L = L_1 \quad (C.2)$$

式中：

L ——被校卫星导航压制干扰源的功率值，单位 dBm；

L_1 ——测量接收机的测量值，单位 dBm。

C.2.2 不确定度来源

- 功率传感器零值漂移引入的不确定度分量；
- 功率传感器校准因子引入的不确定度分量；
- 最大失配误差引入的不确定度分量；
- 测量接收机分辨力引入的不确定度分量；
- 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1$$

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 功率传感器零值漂移引入的不确定度分量

根据功率传感器的技术指标，零值漂移指标为小于 160nW，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子 k 为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = 0.0004\text{dB}$$

C.2.3.2 功率传感器校准因子引入的不确定度分量

根据功率传感器的上级溯源证书，校准因子扩展不确定度为 0.9%，包含因子 k 为 2，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = 0.019\text{dB}$$

C.2.3.3 最大失配误差引入的不确定度分量

查阅功率传感器和被校卫星导航压制干扰源的技术指标，其电压驻波比 (VSWR) 分别为 1.15 和 1.11，考虑其相角信息不确定，按其在最差相位情况下推导，失配最大误差为： $M_{max} = 8.68 \times |\Gamma_L| \times |\Gamma_G|$ ，其中 $|\Gamma_i| = \frac{\text{VSWR}_i - 1}{\text{VSWR}_i + 1}$ ，按 B

类方法评定, 设为反正弦分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{2}$, 则:

$$u_3 = \frac{a}{k} = 0.021\text{dB}$$

C.2.3.4 测量接收机分辨力引入的不确定度分量

根据测量接收机的技术指标, 功率分辨力为 0.01dB。按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{0.01\text{dB}}{2\sqrt{3}} = 0.0029\text{dB}$$

C.2.3.5 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的功率连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差; 根据实际工作情况, 功率电平为-130dBm 时重复性较差, 因此选取影响量较大的测量点做重复性试验, 测量数据详见下表:

表 C.3 功率测量重复性数据

单位: dBm

项目	测量次数				
功率	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	-129.83	-129.82	-129.85	-129.80	-129.78
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	-129.78	-129.80	-129.77	-129.78	-129.78
平均值	-129.799				
实验标准差	0.026				

$$u_5 = S = 0.026\text{dB}$$

C.2.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.4。

表 C.4 功率不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
功率传感器零值漂移	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.004dB
功率传感器校准因子	u_2	B 类	正态	2	0.019dB
最大失配误差	u_3	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.021dB
测量接收机分辨力	u_4	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029dB
测量重复性	u_5	A 类	正态	1	0.026dB

C.2.5 合成标准不确定

各标准不确定度分量彼此不相关, 标准不确定度分量 u_4 与 u_5 相比较取最大

值参与合成，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_5^2 u_5^2} = 0.039\text{dB}$$

C.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c \approx 0.08\text{dB}$$

C.3 谐波（非谐波）校准结果不确定度的评定

C.3.1 测量模型

$$H_0 = H_1 \quad (\text{C.3})$$

式中：

H_0 ——被校卫星导航压制干扰源的谐波（非谐波）值，单位 dBc；

H_1 ——矢量信号分析仪的测量值，单位 dBc。

C.3.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪测量电平不准引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪显示平均噪声电平引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪分辨率带宽转换引入的标准不确定度分量；
- 最大失配误差引入的标准不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$$

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 矢量信号分析仪测量电平不准引入的标准不确定度分量

矢量信号分析仪测量电平不准，直接影响基波与谐波（非谐波）的电平的测量准确度，根据矢量信号分析仪的技术指标，其最大允许误差为 $\pm 0.53\text{dB}$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.53\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.31\text{dB}$$

C.3.3.2 矢量信号分析仪显示平均噪声电平引入的标准不确定度分量

矢量信号分析仪自身噪声基底，对小信号谐波（非谐波）影响显著，根据矢量信号分析仪的技术指标，其显示平均噪声电平为 -141dBm ，可忽略不计。

C.3.3.3 矢量信号分析仪分辨率带宽转换引入的标准不确定度分量

矢量信号分析仪的 RBW 设置不准确或滤波器形状因子（矩形系数）不足，

导致邻近频率成分泄漏,影响信号的谐波(非谐波)的测量结果,根据矢量信号分析仪的技术指标,分辨率带宽转换的技术指标最差为 $\pm 0.3\text{dB}$,按B类方法评定,设为均匀分布,包含因子为 $\sqrt{3}$,则:

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.3\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.173\text{dB}$$

C.3.3.4 最大失配误差引入的标准不确定度分量

查阅矢量信号分析仪和被校卫星导航压制干扰源的技术指标,其电压驻波比(VSWR)分别为1.29和1.11,考虑其相角信息不确定,按其在最差相位情况下推导,失配最大误差为: $M_{\max} = 8.68 \times |\Gamma_L| \times |\Gamma_G|$, 其中 $|\Gamma_i| = \frac{\text{VSWR}_i - 1}{\text{VSWR}_i + 1}$, 按B类方法评定,设为反正弦分布,包含因子 k 为 $\sqrt{2}$,则:

$$u_4 = \frac{a}{k} = 0.041\text{dB}$$

C.3.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.5。

表 C.5 谐波(非谐波)不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
矢量信号分析仪 测量电平不准	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.31dB
矢量信号分析仪 显示平均噪声电 平	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
矢量信号分析仪 分辨率带宽转换	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.173dB
最大失配误差	u_4	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.041dB

C.3.5 合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关,则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2} = 0.36\text{dB}$$

C.3.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$,则扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c \approx 0.8\text{dB}$$

C.4 多音频率频偏校准结果不确定度的评定

C.4.1 测量模型

$$f_N = f_{N1} \quad (\text{C.4})$$

式中:

f_N ——被校卫星导航压制干扰源的多音频率频偏值, 单位 kHz;

f_{N1} ——矢量信号分析仪的测量值, 单位 kHz。

C.4.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量;
- 矢量信号分析仪扫频宽度 (SPAN) 引入的标准不确定度分量;
- 矢量信号分析仪分辨率带宽 (RBW) 引入的标准不确定度分量;
- 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导, 得到的灵敏度系数 c 为:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$$

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量

根据测量方法, 矢量信号分析仪与被校卫星导航压制干扰源频率保持同步, 因此参考频率引入的不确定度可以忽略不计。

C.4.3.2 矢量信号分析仪扫频宽度 (SPAN) 引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 其扫频宽度的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{2r} = \frac{a}{k} = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

C.4.3.3 矢量信号分析仪分辨率带宽 (RBW) 引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 其分辨率带宽的最大允许误差为 $\pm 1\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{3r} = \frac{a}{k} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

C.4.3.4 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的多音频率偏差连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.6 多音频率偏差测量重复性数据

单位: kHz

项目	测量次数				
多音频率偏差	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
平均值	2.000				
实验标准差	0.000				

$$u_{4r} = 0\%$$

则测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{4r} = s = 0\%$ 。

C.4.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.7。

表 C.7 多音频率频偏不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
矢量信号分析仪 参考频率	u_{1r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
矢量信号分析仪 扫频宽度	u_{2r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.058%
矢量信号分析仪 分辨率带宽	u_{3r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.58%
测量重复性	u_{4r}	A 类	正态	1	0%

C.4.5 相对合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关，则相对合成标准不确定度为：

$$u_{cr} = \sqrt{c_2^2 u_{2r}^2 + c_3^2 u_{3r}^2 + c_4^2 u_{4r}^2} \approx 0.58\%$$

C.4.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_{cr} = 1.2\%$$

C.5 扫频周期校准结果不确定度的评定

C.5.1 测量模型

$$\Delta T'_s = \Delta T_s \quad (C.5)$$

式中：

$\Delta T'_s$ ——被校卫星导航压制干扰源的扫频周期值，单位 ms；

ΔT_s ——矢量信号分析仪的测量值，单位 ms。

C.5.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪扫描时间引入的标准不确定度分量；

c) 矢量信号分析仪分辨力引入的标准不确定度分量;

d) 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导, 得到的灵敏度系数 c 为:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 1$$

C.5.3 标准不确定度评定

C.5.3.1 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量

根据测量方法, 矢量信号分析仪与被校卫星导航压制干扰源频率保持同步, 因此参考频率引入的不确定度可以忽略不计。

C.5.3.2 矢量信号分析仪扫描时间引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 扫频宽度 (SPAN) 为 0Hz 时扫描时间的最大允许误差为 $\pm 0.01\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{2r} = \frac{a}{k} = \frac{0.01\%}{\sqrt{3}} = 0.0058\%$$

C.5.3.3 矢量信号分析仪分辨力引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪技术说明书, 水平分辨力引入的误差为: $horizontal\ resolution = span / (Sweep\ Points - 1)$, 当扫频宽度 (SPAN) 为 0Hz 时, 则矢量信号分析仪分辨力引入的不确定度可以忽略不计。

C.5.3.4 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的扫频周期连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.8 扫频周期测量重复性数据

单位: ms

项目	测量次数				
扫频周期	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00
平均值	1000.000				
实验标准差	0.00				

$$u_{4r} = 0\%$$

C.5.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表 C.9。

表 C.9 扫频周期不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
矢量信号分析仪 参考频率	u_{1r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
矢量信号分析仪 扫描时间	u_{2r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0058%
矢量信号分析仪 分辨力	u_{3r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
测量重复性	u_{4r}	A 类	正态	1	0%

C.5.5 相对合成标准不确定

则相对合成标准不确定度为：

$$u_{cr} = \sqrt{c_2^2 u_{2r}^2} = 0.0058\%$$

C.5.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_{cr} \approx 0.02\%$$

C.6 扫频宽度校准结果不确定度的评定

C.6.1 测量模型

$$B'_W = B_W \quad (C.6)$$

式中：

B'_W ——被校卫星导航压制干扰源的扫频宽度值，单位 MHz；

B_W ——示波器的测量值，单位 MHz。

C.6.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪扫频宽度（SPAN）引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪分辨率带宽（RBW）引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪扫频宽度测量不准引入的标准不确定度分量；
- 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1$$

C.6.3 标准不确定度评定

C.6.3.1 矢量信号分析仪参考频率引入的标准不确定度分量

根据测量方法，矢量信号分析仪与被校卫星导航压制干扰源频率保持同步，

因此参考频率引入的不确定度可以忽略不计。

C.6.3.2 矢量信号分析仪扫频宽度 (SPAN) 引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 其扫频宽度的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{2r} = \frac{a}{k} = \frac{0.1\%}{\sqrt{3}} = 0.058\%$$

C.6.3.3 矢量信号分析仪分辨率带宽 (RBW) 引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 其分辨率带宽的最大允许误差为 $\pm 1\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{3r} = \frac{a}{k} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

C.6.3.4 矢量信号分析仪扫频宽度测量不准引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标, 其扫频宽度测量准确度为 $\pm 2\%$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_{4r} = \frac{a}{k} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.16\%$$

C.6.3.5 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的扫频带宽连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.10 扫频带宽测量重复性数据

单位: MHz

项目	测量次数				
扫频宽度	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	20.12	20.13	20.12	20.13	20.12
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	20.12	20.10	20.11	20.12	20.12
平均值	20.119				
实验标准差	0.009				

$$u_{5r} = \frac{0.009\text{MHz}}{20.119\text{MHz}} \times 100\% = 0.045\%$$

则测量重复性引入的标准不确定度分量 $u_{5r} = s = 0.045\%$ 。

C.6.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.11。

表 C.11 扫频宽度不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
矢量信号分析仪 参考频率	u_{1r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
矢量信号分析仪 扫描时间	u_{2r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0058%
矢量信号分析仪 分辨率带宽	u_{3r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.58%
矢量信号分析仪 扫描带宽测量不 准	u_{4r}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	1.16%
测量重复性	u_{5r}	A 类	正态	1	0.045%

C.6.5 相对合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关，则相对合成标准不确定度为：

$$u_{cr} = \sqrt{c_2^2 u_{2r}^2 + c_3^2 u_{3r}^2 + c_4^2 u_{4r}^2 + c_5^2 u_{5r}^2} = 1.3\%$$

C.6.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_r = k \times u_{cr} = 2.6\%$$

C.7 脉冲周期校准结果不确定度的评定

C.7.1 测量模型

$$T'_W = T_W \quad (C.7)$$

式中：

T'_W ——被校卫星导航压制干扰源的脉冲周期值，单位 ms；

T_W ——示波器的测量值，单位 ms。

C.7.2 不确定度来源

- 示波器时基误差引入的标准不确定度分量；
- 示波器固有抖动引入的标准不确定度分量；
- 示波器水平分辨力引入的标准不确定度分量；
- 检波器自身上升时间引入的标准不确定度分量；
- 测量重复性的技术指标引入的标准不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1$$

C.7.3 标准不确定度评定

C.7.3.1 示波器时基误差引入的标准不确定度分量

根据示波器的技术指标, 其时基误差约为 80ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{80\text{ns}}{\sqrt{3}} = 46.2\text{ns}$$

C.7.3.2 示波器固有抖动引入的标准不确定度分量

根据示波器的技术指标, 其固有抖动约为 600fs, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{600\text{fs}}{\sqrt{3}} = 0.35\text{ps}$$

C.7.3.3 示波器水平分辨力引入的标准不确定度分量

根据示波器的技术指标, 其单通道水平分辨力为 0.5ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.5\text{ns}}{2\sqrt{3}} = 0.15\text{ns}$$

C.7.3.4 检波器自身上升时间引入的标准不确定度分量

根据检波器的技术指标, 其自身上升时间优于 20ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{20\text{ns}}{\sqrt{3}} = 11.5\text{ns}$$

C.7.3.5 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的脉冲周期连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.12 脉冲周期测量重复性数据

单位: ms

项目	测量次数				
脉冲周期	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
平均值	1.000				
实验标准差	0.000				

$$u_5 = 0\text{ms}$$

C.7.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.13。

表 C.13 脉冲周期不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
示波器时基误差	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	46.2ns
示波器固有抖动	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.35ps
示波器水平分辨力	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.15ns
检波器自身上升时间	u_4	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	11.5ns
测量重复性	u_5	A 类	正态	1	0ms

C.7.5 合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2} = 48\text{ns}$$

C.7.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 96\text{ns}$$

C.8 上升（下降）时间校准结果不确定度的评定

C.8.1 测量模型

$$Tr_o = Tr_1 \quad (\text{C.8})$$

式中：

Tr_o ——被校卫星导航压制干扰源的上升（下降）时间值，单位 ns；

Tr_1 ——示波器的测量值，单位 ns。

C.8.2 不确定度来源

- 示波器固有抖动引入的标准不确定度分量；
- 示波器水平分辨力引入的标准不确定度分量；
- 示波器自身上升时间引入的标准不确定度分量；
- 检波器自身上升时间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。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1$$

C.8.3 标准不确定度评定

C.8.3.1 示波器固有抖动引入的标准不确定度分量

根据示波器的技术指标，其固有抖动约为 600fs，按 B 类方法评定，设为

均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{600\text{fs}}{\sqrt{3}} = 0.35\text{ps}$$

C.8.3.2 示波器水平分辨力引入的标准不确定度分量

根据示波器的技术指标, 其单通道水平分辨力为 0.5ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.5\text{ns}}{2\sqrt{3}} = 0.15\text{ns}$$

C.8.3.3 示波器自身上升时间引入的标准不确定度分量

此项为系统的影响, 它使上升时间测量值偏大, 可通过公式 $Tr_0 = \sqrt{Tr_s^2 + Tr_N^2}$ 修正, 其中 Tr_0 为示波器屏幕观察到的上升时间, Tr_s 为被测脉冲信号实际上升时间, Tr_N 为示波器建立时间。当 $Tr_s > 1\text{ns}$, 由于 Tr_s 远远小于 Tr_N , 则其影响量为 0, 可忽略不计。

C.8.3.4 检波器自身上升时间引入的标准不确定度分量

根据检波器的技术指标, 其自身上升时间优于 20ns, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{20\text{ns}}{\sqrt{3}} = 11.5\text{ns}$$

C.8.3.5 测量重复性引入的标准不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的上升时间连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.14 上升时间测量重复性数据

单位: ns

项目	测量次数				
上升时间	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	26.5	26.3	26.5	26.4	26.5
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	26.3	26.5	26.2	26.3	26.4
平均值	26.39				
实验标准差	0.11				

$$u_5 = 0.11\text{ns}$$

C.8.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.15。

表 C.15 上升时间不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
示波器固有抖动	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	3.5ps
示波器水平分辨率	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.15ns
示波器自身上升时间	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	11.5ns
检波器自身上升时间	u_4	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
测量重复性	u_5	A 类	正态	1	0.11ns

C.8.5 合成标准不确定度

各标准不确定度分量间不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_5^2 u_5^2} = 11.5\text{ns}$$

C.8.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 23\text{ns}$$

C.9 开关比较校准结果不确定度的评定

C.9.1 测量模型

$$\text{ratio}_{on/off} = \text{ratio}_{on/off1} \quad (\text{C.9})$$

式中：

$\text{ratio}_{on/off}$ ——被校卫星导航压制干扰源的开关比值，单位 dB；

$\text{ratio}_{on/off1}$ ——矢量信号分析仪的测量值，单位 dB。

C.9.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪测量电平不准引入的不确定度分量；
- 矢量信号分析仪显示平均噪声电平引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪分辨率带宽转换引入的标准不确定度分量；
- 最大失配误差引入的标准不确定度分量；
- 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 1$$

C.9.3 标准不确定度评定

C.9.3.1 矢量信号分析仪测量电平不准引入的不确定度分量

矢量信号分析仪测量幅度不准，直接影响脉冲信号电平的测量准确度，根

据矢量信号分析仪的技术指标, 其测量电平最大允许误差为 $\pm 0.53\text{dB}$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.53\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.31\text{dB}$$

C.9.3.2 矢量信号分析仪显示平均噪声电平引入的标准不确定度分量

矢量信号分析仪自身噪声基底, 对小信号电平影响显著, 根据矢量信号分析仪的技术指标, 其显示平均噪声电平为 -141dBm , 可忽略不计。

C.9.3.3 矢量信号分析仪分辨率带宽转换引入的标准不确定度分量

矢量信号分析仪的 RBW 设置不准确或滤波器形状因子(矩形系数)不足, 导致邻近频率成分泄漏, 影响脉冲信号电平的测量结果, 根据矢量信号分析仪的技术指标, 分辨率带宽转换的技术指标最差为 $\pm 0.3\text{dB}$, 按 B 类方法评定, 设为均匀分布, 包含因子为 $\sqrt{3}$, 则:

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.3\text{dB}}{\sqrt{3}} = 0.173\text{dB}$$

C.9.3.4 最大失配误差引入的标准不确定度分量

查阅矢量信号分析仪和被校卫星导航压制干扰源的技术指标, 其电压驻波比(VSWR)分别为 1.29 和 1.11, 考虑其相角信息不确定, 按其在最差相位情况下推导, 失配最大误差为: $M_{\max} = 8.68 \times |\Gamma_L| \times |\Gamma_G|$, 其中 $|\Gamma_i| = \frac{\text{VSWR}_i - 1}{\text{VSWR}_i + 1}$, 按 B 类方法评定, 设为反正弦分布, 包含因子 k 为 $\sqrt{2}$, 则:

$$u_4 = \frac{a}{k} = 0.041\text{dB}$$

C.9.3.5 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的开关比连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.16 开关比测量重复性数据

单位: dB

项目	测量次数				
开关比	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	86.5	86.4	86.3	86.5	86.4
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	86.4	86.5	86.4	86.5	86.6
平均值	86.45				
实验标准差	0.08				

$$u_5 = 0.08\text{dB}$$

C.9.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.17。

表 C.17 开关比不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
矢量信号分析仪 测量电平不准	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.31dB
矢量信号分析仪 显示平均噪声电 平	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	忽略不计
矢量信号分析仪 分辨率带宽转换	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.173dB
最大失配误差	u_4	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.041dB
测量重复性	u_5	A 类	正态	1	0.08dB

C.9.5 合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关，则合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2} = 0.37\text{dB}$$

C.9.6 扩展不确定

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c \approx 0.8\text{dB}$$

C.10 误差矢量幅度校准结果不确定度的评定

C.10.1 测量模型

$$EVM = EVM_1 \quad (C.10)$$

式中：

EVM ——被校卫星导航压制干扰源的误差矢量幅度值，单位%；

EVM_1 ——矢量信号分析仪的测量值，单位%。

C.10.2 不确定度来源

- 矢量信号分析仪信噪比引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪相位噪声引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪残余幅度引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪残余相位误差引入的标准不确定度分量；
- 矢量信号分析仪 I/Q 原点漂移引入的标准不确定度分量；

f) 测量重复性引入的不确定度分量。

对各分量求偏导，得到的灵敏度系数 c 为：

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = 1$$

C.10.3 标准不确定度评定

C.10.3.1 矢量信号分析仪信噪比引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标，只考虑信噪比的影响，误差矢量幅度约为 0.14%。按 B 类方法评定，设服从均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_1 = \frac{a}{k} = \frac{0.14\%}{\sqrt{3}} = 0.081\%$$

C.10.3.2 矢量信号分析仪相位噪声引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标，傅里叶频率 f 为 10kHz 时相位噪声噪声密度为 -121dBm/Hz，在傅里叶频率 f 为 100kHz 时相位噪声噪声密度为 -122dBm/Hz，因此误差矢量幅度约为 0.035%。按 B 类方法评定，设服从均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{0.035\%}{\sqrt{3}} = 0.02\%$$

C.10.3.3 矢量信号分析仪残余幅度引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标，残余幅度指标为 $\pm 0.30\%$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{0.30\%}{\sqrt{3}} = 0.17\%$$

C.10.3.4 矢量信号分析仪残余相位误差引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标，残余相位误差指标为 $\pm 0.50\%$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{0.50\%}{\sqrt{3}} = 0.29\%$$

C.10.3.5 矢量信号分析仪 I/Q 原点漂移引入的标准不确定度分量

根据矢量信号分析仪的技术指标，I/Q 原点漂移指标为 $\pm 0.07\%$ ，按 B 类方法评定，设为均匀分布，包含因子为 $\sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = \frac{a}{k} = \frac{0.07\%}{\sqrt{3}} = 0.04\%$$

C.10.3.5 测量重复性引入的不确定度分量

测量重复性的标准不确定度分量采用 A 类方法进行评定, 对被校卫星导航压制干扰源的误差矢量幅度连续重复测量 10 次, 用贝塞尔计算实验标准偏差, 测量数据详见下表:

表 C.18 误差矢量幅度测量重复性数据

单位: %

项目	测量次数				
误差矢量幅度	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	6.76	6.74	6.72	6.72	6.78
	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	6.75	6.77	6.75	6.76	6.76
平均值	6.751				
实验标准差	0.02				

$$u_6 = 0.02\%$$

C.10.4 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量见表C.19。

表 C.19 误差矢量幅度不确定度分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	评定方法	分布	k 值	标准不确定度
频谱分析仪信噪比	u_1	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.081%
频谱分析仪相位噪声	u_2	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.02%
频谱分析仪残余幅度	u_3	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.17%
频谱分析仪残余相位误差	u_4	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.29%
频谱分析仪 I/Q 原点漂移	u_5	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.04%
测量重复性	u_6	A 类	正态	1	0.02%

C.10.5 合成标准不确定

各标准不确定度分量间不相关, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2} = 0.35\%$$

C.10.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.7\%$$

附录 D

GNSS 信号频点特性表

GNSS 系统	信号 频点	中心频率	调制类型	信号带宽	码速率
		(MHz)	(/)	(MHz)	(Mcps)
BDS	B1 I	1561.098	BPSK	4.092	2.046
	B2 A	1176.45	BPSK	20.46	10.23
	B3 I	1268.52	BPSK	20.46	10.23
GPS	L1 C/A	1575.42	BPSK	30.69	1.023
	L2	1227.60	BPSK	20.46	0.5115
	L5	1176.45	QPSK	20.46	10.23
GLONASS	L1	$1602+0.5625 \times k$ ($k=-7 \sim 6$)	BPSK	1.023	0.5115
	L2	$1246+0.4375 \times k$ ($k=-7 \sim 6$)	BPSK	1.023	0.5115
Galileo	E5a	1176.42	BPSK	20.46	10.23
	E5b	1207.14	BPSK	20.46	10.23
	E6	1278.75	BPSK	40.92	5.115