



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

物联网无线通信综合测试仪校准规范

Calibration Specification of Internet of Things Radio Communication Testers

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局发布

物联网无线通信综合测试仪校 准规范

Calibration Specification of Internet of Things
Radio Communication Testers

JJF XXX-2021

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国信息通信研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：中国电子技术标准化研究院

北京无线电计量测试研究所

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：

参加起草人：

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 概述.....	(错误! 未定义书签。)
3 计量特性.....	(1)
4 校准条件.....	(1)
4.1 环境条件.....	(1)
4.2 校准用设备.....	(2)
5 校准项目和校准方法.....	(2)
5.1 校准项目.....	(2)
5.2 外观及工作正常性检查.....	(错误! 未定义书签。)
5.3 参考晶体振荡器频率.....	(3)
5.4 射频输出频率.....	(3)
5.5 射频输出电平.....	(3)
5.6 谐波.....	(4)
5.7 非谐波.....	(4)
5.8 单边带相位噪声.....	(4)
5.9 数字调制质量.....	(5)
5.10 占用带宽.....	(5)
5.11 邻道功率比.....	(5)
5.12 频谱发射模板.....	(6)
5.13 射频功率测量.....	(6)
5.14 数字调制质量参数测量.....	(6)
5.15 占用带宽测量.....	(8)
5.16 邻道功率比测量.....	(9)
5.17 频谱发射模板测量.....	(9)
5.18 射频端口电压驻波比.....	(9)
6 校准结果表达.....	(9)
7 复校时间间隔.....	(10)
附录 A 原始记录推荐格式.....	(11)
附录 B 校准证书内页推荐格式.....	(18)
附录 C 不确定度评定示例.....	(25)

引 言

JJF1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范参考了下列文件：

YDB 165-2017.面向物联网的蜂窝窄带接入（NB-IoT）无线网总体技术要求；

3GPP TS 36.141 演进的通用陆面无线接入；基站一致性测试（Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA);Base Station (BS) conformance testing）；

3GPP TS 36.521-1 演进的通用陆面无线接入；用户设备一致性规范；无线发射和接收第一部分：一致性测试（Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) conformance specification Radio transmission and reception Part 1: Conformance Testing）。

本规范为首次发布。

物联网无线通信综合测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于物联网无线通信综合测试仪（简称物联网综测仪）的校准。

2 概述

物联网综测仪是由参考晶体振荡器、信号发生模块、信号分析模块等功能模块构成的综合测试仪器，在物联网终端生产、研发和测试过程中用于功率、频谱、调制等参数的测试。

3 计量特性

3.1 参考晶体振荡器

频率：10 MHz；

最大允许误差： $\pm(1\times 10^{-8}\sim 1\times 10^{-6})$ 。

3.2 信号发生模块

频率范围：100 MHz~6 GHz；

频率最大允许误差： $\pm(1\times 10^{-8}\sim 1\times 10^{-6})$ ；

输出电平范围：-120 dBm~+10 dBm；

功率最大允许误差： $\pm(0.5\sim 2.0)$ dB；

谐波：二次谐波： ≤ -25 dBc，三次谐波： ≤ -25 dBc，二分之一次谐波： ≤ -40 dBc；

非谐波： ≤ -50 dBc；

单边带相位噪声： ≤ -120 dBc/Hz（偏置频率 1 MHz）；

误差矢量幅度： ≤ 2 %；

占用带宽：180kHz(NB-IoT 制式)，1.4MHz(eMTC 制式)。

3.3 信号分析模块

频率范围：100 MHz~6 GHz；

功率电平测量范围：-65 dBm~+30 dBm；

功率测量最大允许误差： $\pm(0.5\sim 2.0)$ dB。

频率误差测量范围： ± 100 kHz；

频率误差最大允许误差： ± 15 Hz；

误差矢量幅度测量范围： ≤ 17.5 %；

误差矢量幅度最大允许误差： $\pm(0.1\sim 2)$ %。

3.4 射频端口

电压驻波比： ≤ 2.0 。

注：以上所有指标不用于合格性判别，仅提供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

环境温度： $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度： $\leq 80\%$ ；

电源要求： $(220 \pm 11)\text{V}$ 、 $(50 \pm 1)\text{Hz}$ ；

其他：周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

4.2 校准用设备

4.2.1 参考频标

输出频率：10MHz；

频率稳定度应优于被检时基相应取样时间频率稳定度的3倍，其他技术指标应优于被检时基相应技术指标的10倍。

4.2.2 频率计数器

频率范围：100 MHz~6 GHz；

有外接频标功能。

4.2.3 功率计

频率范围：100 MHz~6 GHz；

功率测量范围：-65 dBm~+30 dBm；

测量不确定度：0.7%~5.0% ($k=2$)。

4.2.4 矢量信号发生器

频率范围：100 MHz~6 GHz；

输出电平范围：-65 dBm~+30dBm；

功率电平最大允许误差： $\pm(0.5\sim 2.0)$ dB；

误差矢量幅度： $\leq 1.2\%$ 。

4.2.5 频谱分析仪

频率范围：100MHz~20GHz；

电平测量范围：-130dBm~+30dBm；

电平测量最大允许误差： $\pm(1\sim 3)$ dB；

单边带相位噪声： ≤ -126 dBc/Hz（偏置频率1 MHz）。

4.2.6 测量接收机

频率范围：100 MHz~6 GHz；

电平测量范围：-130 dBm~+30 dBm。

电平测量不确定度：1%~5% ($k=2$)。

4.2.7 矢量信号分析仪

频率范围：100 MHz~20 GHz；

频率误差测量最大允许误差： ± 5 Hz；

误差矢量幅度（EVM）测量最大允许误差： $\pm 2\%$ 。

4.2.8 网络分析仪

频率范围：100 MHz~6 GHz。

5 校准项目和校准方法

5.1 校准项目

校准项目一览表见表1。

表1 校准项目一览表

序号	功能模块	项目名称
1	/	外观及工作正常性检查
2	/	参考晶体振荡器频率
3	信号发生模块	射频输出频率
4		射频输出电平
5		谐波
6		非谐波
7		单边带相位噪声
8		数字调制质量

9	信号分析模块	占用带宽
10		邻道功率比
11		频谱发射模板
12		射频功率测量
13		数字调制质量参数测量
14		占用带宽测量
15		邻道功率比测量
16		频谱发射模板测量
17	射频端口	电压驻波比

5.2 外观及工作正常性检查

5.2.1 被校物联网综测仪的外观应完好，各开关、按键等调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤。

5.2.2 被校物联网综测仪应有说明书、及配套附件。

5.2.3 被校物联网综测仪按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常。

5.2.4 将检查结果记录于附录 A 表 A.1 中。

5.3 参考晶体振荡器频率

5.3.1 仪表连接如图1所示。

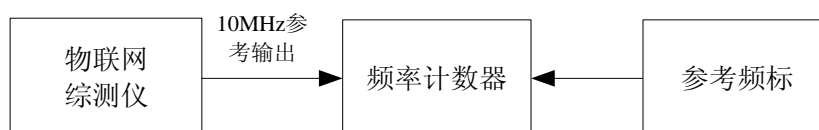


图1 参考晶体振荡器频率校准连接示意图

5.3.2 将物联网综测仪参考输出端接到频率计数器的输入端，由频率计数器读出参考频率的实际值 f_s 。并记录于附录 A 表 A.2。

5.4 射频输出频率

5.4.1 仪器连接如图2所示。

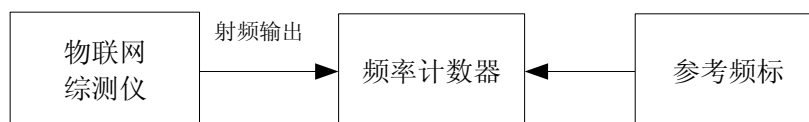


图2 射频输出频率校准连接示意图

5.4.2 物联网综测仪选择射频信号发生器连续波(CW)模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出功率为-10 dBm，频率为射频频率范围的最低频率 f_u ，测量实际频率值 f_s ，并记录于附录 A 表 A.3。

5.4.3 改变物联网综测仪的输出频率，一直到射频频率范围的最高频率。并记录与附录 A 表 A.3。

5.5 射频输出电平

5.5.1 仪器连接如图3所示。



图3 射频输出电平校准连接示意图

5.5.2 物联网综测仪选择射频信号发生器 CW 模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设

为零。设置输出频率为 f ，输出电平为最高电平。

5.5.3 将测量接收机与物联网综测仪射频输出端口通过功率传感器连接，测量接收机选择功率测量模式，根据物联网综测仪的输出信号设置测量接收机的频率，从测量接收机上读取实际功率电平值 P_s ，记录于附录 A 表 A.4。

5.5.4 改变物联网综测仪射频信号发生器的输出电平，重复步骤 5.5.3，将电平测量至最低电平为止。

5.5.5 改变物联网综测仪射频信号发生器输出频率，重复步骤 5.5.2~5.5.4，将测量结果记录于附录 A 表 A.4。

5.6 谐波

5.6.1 仪表连接如图 4 所示。

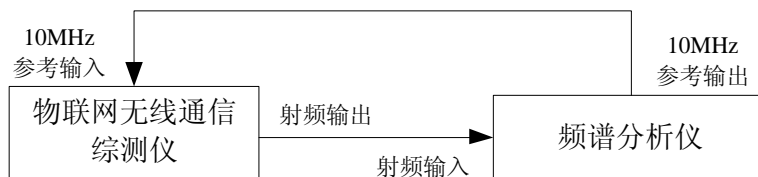


图 4 谐波校准连接示意图

5.6.2 物联网综测仪选择射频信号发生器 CW 模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置射频频率为 f ，输出电平为 -10 dBm。

5.6.3 设置频谱分析仪中心频率为 f ，设置适当的参考电平、输入衰减、分辨力带宽和扫频带宽。测量电平值 P_1 ，并记录在附录 A 表 A.5 中。

5.6.4 将频谱分析仪的中心频率分别设为 $2f$ 、 $3f$ 和 $1/2f$ ，分别读出三个频率点的功率电平 P_2 、 P_3 和 $P_{1/2}$ ，并记录在附录 A 表 A.5 中。

5.6.5 分别使用公式 (1)、公式 (2) 和公式 (3) 计算载波频率为 f 的二次谐波、三次谐波和 1/2 次谐波，并记录在附录 A 表 A.5 中。

$$\text{二次谐波} \quad a_2 = P_2 - P_1 \quad (1)$$

$$\text{三次谐波} \quad a_3 = P_3 - P_1 \quad (2)$$

$$\text{1/2 次谐波} \quad a_{1/2} = P_{1/2} - P_1 \quad (3)$$

5.6.6 改变物联网综测仪的输出频率 f ，重复步骤 5.6.2~5.6.5，将测量结果记录在附录 A 表 A.5 中。

5.7 非谐波

5.7.1 仪表连接如图 4 所示。

5.7.2 物联网综测仪选择射频信号发生器 CW 模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。根据物联网综测仪说明书中非谐波的要求，设置射频频率 f 和输出电平 L 。

5.7.3 测量频率 f 对应的实际输出电平值，并记录在附录 A 表 A.6 中。

5.7.4 设置频谱分析仪的中心频率为非谐波测量频率点 f_s ，测量该频率点的功率电平 P_s ，并记录在附录 A 表 A.6 中。

5.7.5 使用公式 (4) 计算杂散，并记录在附录 A 表 A.6 中。

$$a_s = P_s - P_c \quad (4)$$

5.7.6 改变物联网综测仪的输出频率，重复步骤 5.7.2~5.7.5，将测量结果记录在附录 A 表 A.6 中。

5.8 单边带相位噪声

5.8.1 仪表连接如图 4 所示。

5.8.2 物联网综测仪选择射频信号发生器 CW 模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置射频频率为 f ，输出电平为 -10 dBm。

5.8.3 设置频谱分析仪中心频率为 f ，分辨率带宽为 f_{BW} ，相位噪声测量处频率偏移为 Δf ，则频谱分析仪的扫频宽度为 $2.5 \times \Delta f$ 。

5.8.4 将频谱分析仪的标记功能 (Marker) 打开，平均次数 20 次，分别测量载波频率 f 和偏离载波 Δf 处的功率电平 P 和 P_{Δ} ，并记录在附录 A 表 A.7 中。

5.8.5 使用公式 (5) 计算射频信号发生器单边带相位噪声，并记录在附录 A 表 A.7 中。

$$L = P_{\Delta} - P - 10 \cdot \lg[f_{BW}(Hz)] \quad (5)$$

5.8.6 改变频率偏移 Δf ，重复步骤 5.8.3~5.8.5。

5.8.7 改变物联网综测仪的载波频率，重复步骤 5.8.2~5.8.6，将结果记录在附录 A 表 A.7 中。

5.9 数字调制质量

5.9.1 仪表连接如图 5 所示。



图 5 数字调制质量校准连接示意图

5.9.2 物联网综测仪选择矢量信号发生器模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出频率为 f ，输出电平为 -10 dBm，打开数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)，信道带宽为 BW ，其他设置为默认。

5.9.3 矢量信号分析仪选择解调模式，将中心频率设为 f ，参考电平量程设置为自动（或在输入功率电平不过载的情况下，参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号），矢量信号分析仪设为相应的模式，信道带宽为 BW ，选择数字解调(NB-IoT 解调、eMTC 解调等)测量模式，在测量结果中读取频率误差、误差矢量幅度等参数，并记录于附录 A 表 A.8 中。

5.9.4 改变物联网综测仪的载波频率 f ，重复步骤 5.9.2~5.9.3。

5.10 占用带宽

5.10.1 仪表连接如图 5 所示。

5.10.2 物联网综测仪选择矢量信号发生器模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出频率为 f ，输出电平为 -10 dBm，打开数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)，信道带宽为 BW ，其他设置为默认。

5.10.3 矢量信号分析仪中心频率设为 f ，参考电平量程设置为自动（或者在输入功率电平不过载的情况下，参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号），扫频宽度为 2 倍的信道带宽 BW ，分辨力带宽为自动，检波方式为 RMS 检波，增加扫描时间使测量结果稳定（一般大于 5 s），选择占用带宽测量模式，平均次数 20 次，在测量结果表中读出占用带宽，并记录于附录 A 表 A.9 中。

5.10.4 改变物联网综测仪的载波频率，重复步骤 5.10.3，并记录于附录 A 表 A.9 中。

5.11 邻道功率比

5.11.1 仪表连接如图 5 所示。

5.11.2 物联网综测仪选择矢量信号发生器模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出频率为 f ，输出电平为 -10 dBm，打开数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)，信

道带宽为 BW ，其他设置为默认。

5.11.3 矢量信号分析仪选择矢量解调模式，将中心频率设为 f ，参考电平量程设置为自动（或者在输入功率电平不过载的情况下，参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号），信号分析仪选择邻道功率比测量模式，信道带宽为 BW ，在测量结果中读取偏离中心频率 BW 和 2 倍 BW 的邻道功率比，并记录于附录 A 表 A.10 中。

5.11.4 改变物联网综测仪的载波频率 f ，重复步骤 5.11.3，并记录于附录 A 表 A.10 中。

5.12 频谱发射模板

5.12.1 仪表连接如图 5 所示。

5.12.2 物联网综测仪选择矢量信号发生器模式，将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出频率为 f ，输出电平为 -10 dBm，打开数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)，信道带宽为 BW ，其他设置为默认。

5.12.3 矢量信号分析仪选择解调模式，将中心频率设为 f ，参考电平量程设置为自动（或者在输入功率电平不过载的情况下，参考电平量程尽可能的接近输入的被测信号），矢量分析仪选择频谱发射模板测量模式，信道带宽为 BW ，在测量结果中读取频率偏移，以及对应的频谱发射模板的测量结果，并记录于附录 A 表 A.11 中。

5.12.4 改变物联网综测仪的载波频率 f ，重复步骤 5.12.3，并记录于附录 A 表 A.11 中。

5.13 射频功率测量

5.13.1 仪表连接如图 6 所示。

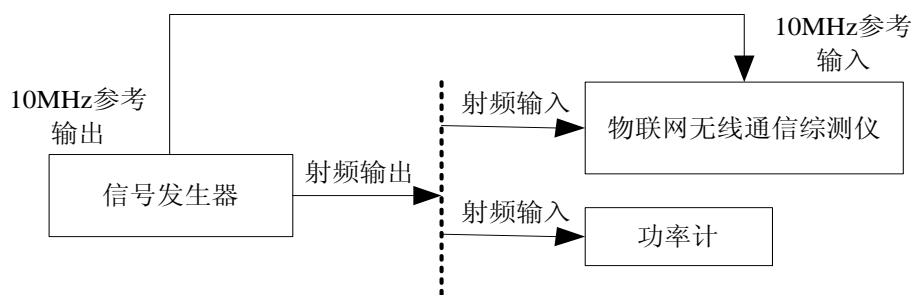


图 6 射频功率测量校准连接示意图

5.13.2 将信号发生器输出端口通过射频电缆与功率计直接连接。

5.13.3 信号发生器输出连续波信号，输出频率设为 f_1 。

5.13.4 调节信号发生器输出电平，使得功率计的指示值为 P_s 。

5.13.5 信号发生器输出设置保持不变，将此射频电缆与物联网综测仪的射频输入直接连接，并连接外参考。

5.13.6 物联网综测仪选择射频分析仪功率测量模式，设置接收频率为 f_1 ，接收电平大于（或等于） P_s ，设置好相应的分析带宽，在物联网综测仪上读出功率测量值 P ，并记录于附录 A 表 A.12 中。

5.13.7 改变信号发生器输出功率和频率，重复步骤 5.13.3~5.13.6，并将测量结果记录于附录 A 表 A.12 中。

5.14 数字调制质量参数测量

5.14.1 方法一：连续波组合法

5.14.1.1 仪表连接如图 7 所示。

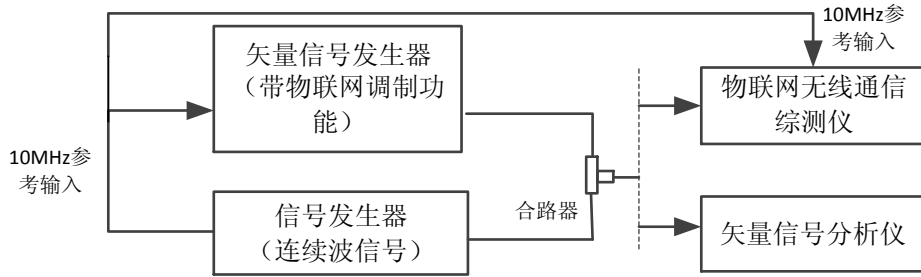


图7 数字调制质量参数测量校准连接示意图(连续波组合法)

5.14.1.2 合路器输出端连接物联网无线通信综合综测仪, 信号发生器(连续波信号)保持关闭。

5.14.1.3 矢量信号发生器选择物联网数字调制模式(NB-IoT、eMTC 等制式), 根据相应的调制制式设置频率为 f , 信道带宽设为 BW , 输出电平设为 -10dBm 。

5.14.1.4 物联网无线通信综测仪选择 NB-IoT、eMTC 等解调模式, 设置与 5.14.1.3 对应的频率、信道带宽等。在物联网无线通信综测仪的测量结果中选择子载波, 读出子载波频率及初始子载波误差矢量幅度 EVM_{scRMS0} , 该值是由仪器内部噪声干扰产生的, 基于公式 (6) 可计算子载波频点初始仪器内部噪声与有用信号功率比 NSR_{sc0} 。

$$NSR_{sc0} = \frac{4}{(2 - EVM_{scRMS0}^2)^2} - 1 \quad (6)$$

5.14.1.5 合路器输出端连接矢量信号分析仪, 测量 5.14.1.3 中信号的子载波功率 P_0 。

5.14.1.6 信号发生器(连续波信号), 频率设为 f_{cw} , 输出电平设为 P_c 。矢量信号分析仪中读取实际功率 P_{cw} , 则加入连续波干扰后的误差矢量幅度 EVM_{scRMS} 由公式 (7) 计算得到:

$$EVM_{scRMS} = \left[2 - 2 \sqrt{\frac{1}{1 + NSR_{sc0} + ISR}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

其中 EVM_{scRMS} 是被校物联网无线通信综测仪的误差矢量幅度的均方根; EVM_{scRMS0} 是初始子载波误差矢量幅度的均方根; ISR 是连续波干扰功率 (P_{cw}) 与有用信号子载波功率 (P_0) 比, 即 $ISR = P_{cw}/P_0$ 。

5.14.1.7 改变连续波功率 P_{cw} , 使得物联网无线通信综测仪的误差矢量幅度从 EVM_{scRMS0} 增至 17.5%, 并记录于附录 A 表 A.13-1 中。

5.14.2 方法二: 白噪声法

5.14.2.1 仪表连接如图 8 所示。

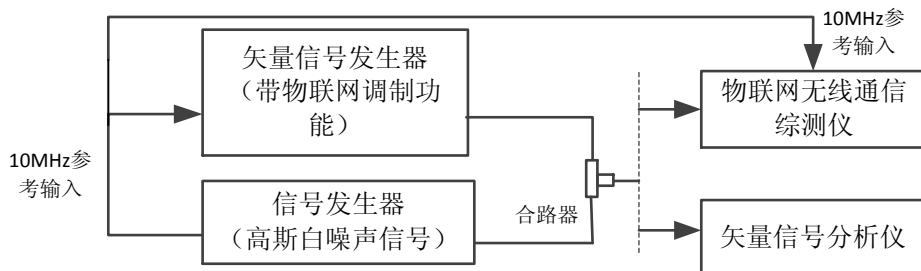


图8 数字调制质量参数测量校准连接示意图(白噪声法)

5.14.2.2 矢量信号发生器选择物联网数字调制模式(NB-IoT、eMTC 等制式), 根据相应的调

制制式设置频率为 f ，信道带宽设为 BW ，输出电平设为 -10dBm 。

5.14.2.3 物联网无线通信综测仪选择 NB-IoT、eMTC 等解调模式，设置与 5.14.2.2 相对应的频率、信道带宽等。在物联网无线通信综测仪的测量结果中读出信道功率 P_s 以及误差矢量幅度 EVM_{RMS0} 。在物联网综测仪的测量结果中读出信道功率 P_s 以及 PUSCH 信道误差矢量幅度 EVM_{RMS0} 。基于公式 (8) 计算出信道带宽内仪器内部噪声与有用信号功率比 NSR_0 。

$$\text{NSR}_0 = \frac{4}{(2 - \text{EVM}_{\text{RMS0}}^2)^2} - 1 \quad (8)$$

5.14.2.4 矢量信号发生器设置为高斯白噪声信号模式，中心频率设为 f ，带宽为 BW ，输出电平为 P_G ，则加入干扰后的误差矢量幅度 EVM_{RMS} 由公式 (9) 计算得到：

$$\text{EVM}_{\text{RMS}} = \left[2 - 2 \sqrt{\frac{1}{1 + \text{NSR}_0 + \text{NSR}}} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

其中 NSR 是高斯白噪声功率 (P_G) 与有用信号功率 (P_s) 比，即 $\text{NSR} = P_G/P_s$ 。

5.14.2.5 改变白噪声功率 P_G ，使得物联网无线通信综测仪的误差矢量幅度从 EVM_{RMS0} 增至 17.5%，并记录于附录 A 表 A.13-2 中。

5.14.3 方法三（比对法）

5.14.3.1 仪表连接如图 9 所示。

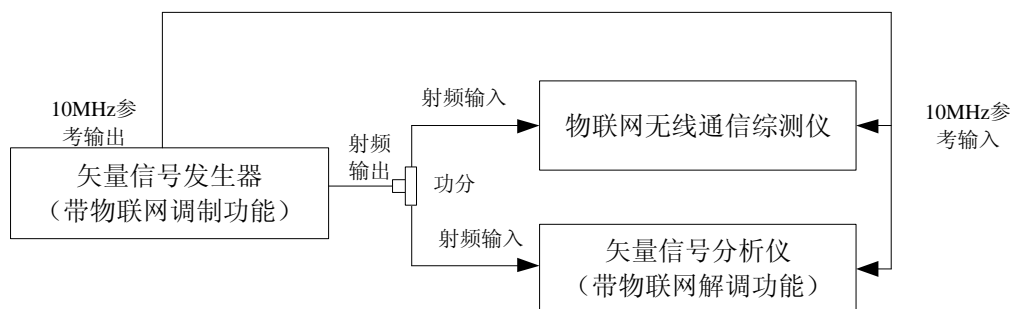


图 9 数字调制质量参数测量校准连接示意图(比对法)

5.14.3.2 矢量信号发生器选择物联网数字调制模式(NB-IoT、eMTC 等制式)，根据相应的调制制式设置频率为 f ，信道带宽设为 BW ，输出电平设为 -10dBm 。

5.14.3.3 矢量信号分析仪和物联网无线综测仪频率设为 f ，参考电平为 0dBm ，选择相应的解调模式，设置相应的模式，相应的信道带宽为 BW ，分别在矢量信号分析仪和物联网无线通信综测仪的测量结果中读出频率误差、误差矢量幅度等解调参数，并记录于附录 A 表 A.13-3 中。

5.14.3.4 改变矢量信号发生器输出频率 f ，重复步骤 5.14.3.2~5.14.3.3，并记录于附录 A 表 A.13-3 中。

5.15 占用带宽测量

5.15.1 仪表连接如图 9 所示。

5.15.2 矢量信号发生器输出频率设为 f ，输出电平设为 -10dBm ，选择数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)模式，信道带宽为 BW 。

5.15.3 矢量信号分析仪和物联网综测仪频率设为 f ，参考电平量程设置为自动（或在输入功率电平不过载的情况下，参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号电平），选择解调(NB-IoT 解调、eMTC 解调等)模式，信道带宽为 BW ，分别在矢量信号分析仪和物联网综测仪的测量结果中读出占用带宽，并记录于附录 A 表 A.14 中。

5.15.4 改变矢量信号发生器输出频率 f , 重复步骤 5.14.2~5.14.3。

5.16 邻道功率比测量

5.16.1 仪表连接如图 9 所示。

5.16.2 矢量信号发生器输出频率设为 f , 输出电平设为 -10 dBm, 选择数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)模式, 信道带宽为 BW。

5.16.3 矢量信号分析仪和物联网综测仪频率设为 f , 参考电平量程设置为自动 (或在输入功率电平不过载的情况下, 参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号电平), 选择解调(NB-IoT 解调、eMTC 解调等)模式, 信道带宽为 BW, 选择邻道功率比测量模式, 在测量结果中读取偏离中心频率 1 倍 BW 和 2 倍 BW 的邻道功率比, 并记录于附录 A 表 A.15 中。

5.16.4 改变矢量信号发生器输出频率 f , 重复步骤 5.16.2~5.16.3。

5.17 频谱发射模板测量

5.17.1 仪表连接如图 9 所示。

5.17.2 矢量信号发生器输出频率设为 f , 输出电平设为 -10 dBm, 选择数字调制(NB-IoT 调制、eMTC 调制等)模式, 信道带宽为 BW。

5.17.3 矢量信号分析仪和物联网综测仪频率设为 f , 参考电平量程设置为自动 (或在输入功率电平不过载的情况下, 参考电平量程应尽可能接近输入的被测信号电平), 选择解调(NB-IoT 解调、eMTC 解调等)模式, 信道带宽为 BW, 选择频谱发射模板测量模式, 在测量结果中读取频率偏移, 和对应的频谱发射模板的测量结果, 并记录于附录 A 表 A.16 中。

5.17.4 改变矢量信号发生器输出频率 f , 重复步骤 5.17.2~5.17.3。

5.18 射频端口电压驻波比

5.18.1 仪器连接如图 10 所示。



图 10 射频端口电压驻波比校准连接示意图

5.18.2 网络分析仪起始频率和终止频率设为被校物联网无线综测仪射频输入端口的频率范围, 网络分析仪进行自校准。

5.18.3 关闭物联网无线综测仪射频输入端口的输出功率, 然后连接到校准面/测试面, 在网络分析仪上读出被测频率处的电压驻波比, 并记录到附录 A 表 A.17 中。

6 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。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。

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。建议不超过 1 年。

附录 A

原始记录推荐格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 A.2 参考晶体振荡器频率

标称值(MHz)	实测值 f_s (MHz)	不确定度($k=2$)
10		

表 A.3 射频输出频率

标称值 f (MHz)	实测值 f_s (MHz)	不确定度($k=2$)

表 A.4 射频输出电平

标称值(dBm)	实测值 P_s (dBm)	不确定度($k=2$)

表 A.5 谐波

测试项目	频率(MHz)	载波功率 P_1 (dBm)	谐波功率 P_n (dBm)	实测值 a_n (dBc)	不确定度 (dB) ($k=2$)
二次谐波					
三次谐波					
1/2 次谐波					

表 A.6 非谐波

电平 L (dBm)	载波频率 f (MHz)	非谐波信号频 率 f_s (MHz)	载波功率 P_c (dBm)	非谐波信号功率 P_s (dBm)	实测值 a_s (dBc)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 A.7 单边带相位噪声

载波频率 f (MHz)	频偏 Δf (kHz)	载波功率 P (dBm)	频率偏移点功率 P_Δ (dBm)	实测值 L (dBc/Hz)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 A.8 数字调制质量

载波频率 f (MHz)	参数	实测值	不确定度 ($k=2$)
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		

表 A.9 占用带宽

测试项目	载波频率 f (MHz)	实测值(MHz)	不确定度 ($k=2$)
占用带宽			

表 A.10 邻道功率比

载波频率 f (MHz)	频偏(MHz)	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		

表 A.11 频谱发射模板

载波频率(MHz)	测量滤波器中心频率点的频率偏移 f_{offset}	测量带宽	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 A.12 射频功率测量

输入电平实际值 P_s (dBm)	实测值 P (dBm)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 A. 13-1 数字调制质量参数测量 (连续波组合法)

载波频率 (MHz)	子载波频 率 (MHz)	子载波功率 (dBm)	连续波功率 (dBm)	子载波误差矢量 幅度实际值(%)	子载波误差矢量 幅度实测值(%)	不确定度 (dB) ($k=2$)	

表 A. 13-2 数字调制质量参数测量 (白噪声法)

载波频率 (MHz)	信道功率 (dBm)	白噪声功率 (dBm)	误差矢量幅度实际 值(%)	误差矢量幅度实测值 (%)	不确定度 (dB) ($k=2$)	

表 A. 13-3 数字调制质量参数测量（比对法）

载波频率 (MHz)	参数	实际值	实测值	不确定度 (dB) ($k=2$)
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			

表 A. 14 占用带宽测量

测试项目	载波频率 f (MHz)	实际值(MHz)	实测值(MHz)	不确定度 (dB) ($k=2$)
占用带宽				

表 A. 15 邻道功率比测量

载波频率 f (MHz)	频偏(MHz)	实际值(dB)	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			

表 A. 16 频谱发射模板测量

载波频率 (MHz)	测量滤波器中心频率 点的 频率偏移 f_{offset}	测量带宽	实际值(dB)	实测值(dB)	不确定度 ($k=2$)

表 A. 17 射频端口电压驻波比

频率(MHz)	测试端口	实测值	不确定度 ($k=2$)

附录 B

校准证书内页推荐格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观及工作正常性检查	

表 B.2 参考晶体振荡器频率

标称值(MHz)	实测值 f_s (MHz)	不确定度($k=2$)
10		

表 B.3 射频输出频率

标称值 f (MHz)	实测值 f_s (MHz)	不确定度($k=2$)

表 B.4 射频输出电平

标称值(dBm)	实测值 P_s (dBm)	不确定度($k=2$)

表 B.5 谐波

测试项目	频率(MHz)	载波功率 P_1 (dBm)	谐波功率 P_n (dBm)	实测值 a_n (dBc)	不确定度 (dB) ($k=2$)
二次谐波					
三次谐波					
1/2 次谐波					

表 B.6 非谐波

电平 L (dBm)	载波频率 f (MHz)	非谐波信号频率 f_s (MHz)	载波功率 P_c (dBm)	非谐波信号功 率 P_s (dBm)	实测值 a_s (dBc)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 B.7 单边带相位噪声

载波频率 f (MHz)	频偏 Δf (kHz)	载波功率 P (dBm)	频率偏移点功率 P_{Δ} (dBm)	实测值 L (dBc/Hz)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 B.8 数字调制质量参数

载波频率 f (MHz)	参数	实测值	不确定度 ($k=2$)
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		
	误差矢量幅度(%)		
	频率误差(Hz)		
		
		

表 B.9 占用带宽

测试项目	载波频率 f (MHz)	实测值(MHz)	不确定度 ($k=2$)
占用带宽			

表 B.10 邻道功率比

载波频率 f (MHz)	频偏(MHz)	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		
	+BW		
	+2×BW		
	-BW		
	-2×BW		

表 B.11 频谱发射模板

载波频率(MHz)	测量滤波器中心频率点的频率偏移 f_{offset}	测量带宽	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 B.12 射频功率测量

输入电平实际值 P_s (dBm)	实测值 P (dBm)	不确定度 (dB) ($k=2$)

表 B. 13-1 数字调制质量参数测量（连续波组合法）

载波频率 (MHz)	子载波频 率 (MHz)	子载波功率 (dBm)	连续波功率 (dBm)	子载波误差矢量 幅度实际值(%)	子载波误差矢量 幅度实测值(%)	不确定度 (dB) ($k=2$)	

表 B. 13-2 数字调制质量参数测量（白噪声法）

载波频率 (MHz)	信道功率 (dBm)	白噪声功率 (dBm)	误差矢量幅度实际 值(%)	误差矢量幅度实测值 (%)	不确定度 (dB) ($k=2$)	

表 B. 13-3 数字调制质量参数测量 (比对法)

载波频率 (MHz)	参数	实际值	实测值	不确定度 (dB) ($k=2$)
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			
	误差矢量幅度(%)			
	频率误差(Hz)			
			

表 B. 14 占用带宽测量

测试项目	载波频率 f (MHz)	实际值(MHz)	实测值(MHz)	不确定度 (dB) ($k=2$)
占用带宽				

表 B. 15 邻道功率比测量

载波频率 f (MHz)	频偏(MHz)	实际值(dB)	实测值(dB)	不确定度 (dB) ($k=2$)
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			
	+BW			
	+2×BW			
	-BW			
	-2×BW			

表 B.16 频谱发射模板测量

载波频率 (MHz)	测量滤波器中心频率 点 的频率偏移 f_{offset}	测量带宽	实际值(dB)	实测值(dB)	不确定度 ($k=2$)

表 B.17 射频端口电压驻波比

频率(MHz)	测试端口	实测值	不确定度 ($k=2$)

附录 C

不确定度评定示例

C.1 射频输出频率不确定度评定

C.1.1 测量方法

使用频率计数器直接测量被校物联网综测仪的输出频率。以使用外控频标的频率计 53132A 测试物联网综合测试仪输出的 2620MHz 信号频率为例, 进行不确定度评定。

C.1.2 不确定度来源

- (1) 频率计测量准确度引入的不确定度 u_1 ;
- (2) 频率计在校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定度 u_2 ;
- (3) 频率计分辨力引入的不确定度 u_3 。

C.1.3 不确定度分析

- (1) 频率计测量准确度引入的不确定度 u_1

由频率计的指标说明书得到, 频率测量准确度 $a_1=5\times 10^{-8}$, 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_1=\sqrt{3}$

则标准不确定度 $u_1=a_1/k_1=2.89\times 10^{-8}$

- (2) 频率计在校准过程中的连接及读数重复性引入的不确定度 u_2 ;

在被校物联网无线综测仪射频信号发生器输出频率 2620MHz, 功率-10dBm, 使用频率计对该输出信号重复测量 10 次, 测量结果如下表 3:

表 C.1 射频输出频率测量结果

测量次数	频率计实测值(MHz)
1	2620.00002
2	2620.00002
3	2620.00002
4	2620.00002
5	2620.00002
6	2620.00003
7	2620.00002
8	2620.00002
9	2620.00002
10	2620.00002

则单次测量结果的试验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} / \bar{x} \approx 1.2 \times 10^{-9}$

标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_2=s=1.2\times 10^{-9}$

- (3) 频率计的频率分辨力引入的不确定度 u_3 。

由实际频率计指标说明书得到, 当测量频率为 2620MHz 时, 频率计的频率分辨力为 0.01kHz, 则分辨力引入的相对误差 $a_3=2\times 10^{-9}$, 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_3=\sqrt{3}$

标准不确定度 $u_3 = a_3 / k_3 \approx 1.15 \times 10^{-9}$

C.1.4 不确定度合成

表 C.2 射频输出频率不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					
	不确定度来源	类型	测量误差或准确度	分布类型	包含因子	标准不确定度
1	频率计测量准确度	B	5×10^{-8}	均匀分布	$\sqrt{3}$	2.89×10^{-8}
2	频率计读数重复性	A	/	/	/	1.2×10^{-9}
3	频率计分辨力	B	2×10^{-9}	均匀分布	$\sqrt{3}$	1.15×10^{-9}

合成标准不确定度: $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 u_i^2} \approx 2.9 \times 10^{-8}$

扩展因子 $k=2$, 扩展不确定度 $U_r = k u_c \approx 6 \times 10^{-8}$ 。

C.2 射频输出电平不确定度评定

C.2.1 测量方法

物联网综测仪射频输出电平校准是使用功率计或测量接收机直接测量。以使用功率传感器 NRP-Z91(测量接收机 FSMR 作为指示器)构成功率计对被校物联网综测仪输出的 2620MHz, -10dBm 信号功率为例, 进行不确定度评定。

C.2.2 不确定度来源

经分析, 不确定度来源如下:

- (1) 功率计参考电平测量不确定度分量引入的不确定度 u_1 ;
- (2) 功率计测量过程中的连接及读数重复性引入的不确定度 u_2 ;
- (3) 功率计测量过程中由系统失配误差引入的不确定度 u_3 ;
- (4) 功率计的功率测量线性度引入的不确定度 u_4 ;
- (5) 功率分辨力引入的不确定度 u_5 ;

C.2.3 不确定度分析

- (1) 功率计参考电平测量不确定度分量引入的不确定度 u_1

标准功率计在功率参考点上测量结果的不确定度由上一级的校准证书得到: $U_{p1}=0.8\%$ ($k_1=2$), 即 $U_{p1}=0.008 \times 4.34 \approx 0.034\text{dB}$ ($k_1=2$)

标准不确定度 $u_1 = U_{p1} / k_1 = 0.017\text{dB}$

- (2) 功率计测量过程中的连接及读数重复性引入的不确定度 u_2

在被校物联网无线综测仪输出频率 2620MHz, 功率为 -10dBm 处, 使用功率计对物联网无线综测仪重复测量 10 次, 测量结果如下表 5:

表 C.3 射频信号发生器在输出电平 -10dBm 时, 使用功率计测量结果

测量次数	功率计实测值(dBm)
1	-10.12
2	-10.13
3	-10.10

4	-10.15
5	-10.12
6	-10.07
7	-10.12
8	-10.11
9	-10.11
10	-10.13

则单次测量结果的试验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.022\text{dB}$

标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_2 = s = 0.022\text{dB}$

(3) 功率计测量过程中由系统失配误差引入的不确定度 u_3

根据仪表的指标说明书得到, 功率探头输入端口电压驻波比 < 1.1 , 即 $|\Gamma_s| = 0.0476$; 被测物联网无线综测仪输入输出端口电压驻波比 ≤ 1.5 , 即 $|\Gamma_u| = 0.2$, 则失配误差 $a_3 = 4.34 \times 2 \times 0.0476 \times 0.2 = 0.0826\text{dB}$, 测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布 $k_3 = \sqrt{2}$

标准不确定度 $u_3 = a_3 / k_3 \approx 0.058\text{dB}$

(4) 功率计的功率测量线性度引入的不确定度 u_4

根据功率计和功率探头的指标说明书, 测量线性度最大允许误差 $a_4 = 0.03\text{dB}$, 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_4 = \sqrt{3}$

标准不确定度分量 $u_4 = a_4 / k_4 \approx 0.0173\text{dB}$

(5) 功率计分辨率引入的不确定度 u_5

功率计分辨力为 0.01dB , 其一半为 0.005dB , 按均匀分布, 则标准不确定度 $u_5 = 0.005 \sqrt{3} \approx 0.009\text{dB}$

C.2.4 不确定度合成

(1) 不确定度分量综合表

表 C.4 射频信号发生器输出功率在 -10dBm 处, 不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					
	不确定度来源	类型	测量误差或准确度	分布类型	包含因子	标准不确定度
1	功率计参考电平测量	B	0.034dB	/	2	0.017dB
2	功率计校准过程中的连接及读数重复性	A	/	/	/	0.022dB
3	功率计校准过程中系统失配	B	0.0826dB	反正弦	$\sqrt{2}$	0.058dB
4	功率计的功率测量线性度	B	0.03dB	均匀	$\sqrt{3}$	0.0173dB
5	功率计分辨率引入的不确定度	B	0.01dB	均匀	$\sqrt{3}$	0.003dB

(2) 合成标准不确定度

$$u_{c1} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_i^2} \approx 0.066\text{dB}$$

(3) 扩展不确定度

扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U 为： $U_r = k \times u_{c1} = 2 \times 0.066 \approx 0.13\text{dB}$

C.3 误差矢量幅度 (EVM) 校准不确定度评定

C.3.1 测量方法

物联网综测仪误差矢量幅度的校准是使用矢量信号分析仪直接测量。以使用矢量信号分析仪 N9020B 测试物联网综合测试仪输出的中心频率 2620MHz，功率-10dBm，带宽 200kHz 的 NB-IoT 调制信号为例，进行不确定度评定。

C.3.2 不确定度来源

- (1) 矢量信号分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_N)$ ；
- (2) 矢量信号分析仪的测量分辨力误差引入的标准不确定度分量 $u(V_R)$ ；
- (3) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 $u(V_S)$ 。

C.3.3 不确定度分析

- (1) 矢量信号分析仪测量不准确引入的标准不确定度分量 $u(V_N)$

由矢量信号分析仪的指标说明书得到调制参数测量最大允许误差为 0.44%，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k=\sqrt{3}$ ，标准不确定度分量为 $u(V_N)=0.44/k=0.25\%$ 。

- (2) 矢量信号分析仪的测量分辨力误差引入的标准不确定度分量 $u(V_R)$

由矢量信号分析仪的指标说明书得到测量分辨力指标，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k=\sqrt{3}$ ，标准不确定度分量为 $u(V_R)=0.01/k=0.0058\%$ 。

- (3) 校准过程中测量重复性引入的不确定度 $u(V_S)$

a. 物联网无线综测仪输出 NB-IoT 调制信号，频率 2620MHz，功率-10dBm 处，使用矢量信号分析仪对 NB-IoT 无线综测仪重复测量 10 次，测量结果如下：

表 C.5 NB-IoT 制式信号误差矢量幅度测量结果

测量次数	误差矢量幅度实测值(%)
1	0.29
2	0.38
3	0.33
4	0.25
5	0.25
6	0.27
7	0.32
8	0.29
9	0.30
10	0.31

则单次测量结果的试验标准差 s ，标准不确定度使用试验标准差表示，则 $u_3=s=0.04\%$

C.3.4 不确定度合成

序号	不确定度分量					
	不确定度来源	类型	测量误差或准确度	分布类型	包含因子	标准不确定度
1	矢量信号分析	B	0.44%	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.25%

	仪测量不准确					
2	矢量信号分析仪的测量分辨力误差	B	0.01%	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0058%
3	校准过程中测量重复性	A	/	/	/	0.04%

各标准不确定度分量互不相关，则

$$\text{合成标准不确定度 } u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_i^2} = 0.25\%$$

扩展不确定度

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 扩展不确定度 } U = k \times u_c = 0.50\%$$

C.4 射频功率测量不确定度评定

C.4.1 测量方法

采用可以输出标准射频功率的源以及功率计对物联网综测仪的射频功率测量进行校准。以使用矢量信号发生器 SMBV100A 和功率计 NRP-91 对物联网综测仪射频功率测量进行校准为例（频率 2620MHz，功率-10dBm），进行不确定度评定。

C.4.2 不确定度来源

- (1) 功率计参考功率电平最大允许误差引入的不确定度 u_1 ;
- (2) 功率计的线性误差引入的不确定度 u_2 ;
- (3) 双阴接头引起的插损引入的不确定度 u_3 ;
- (4) 测量过程中，连接及读数重复性引入的不确定度 u_4 ;
- (5) 功率计与标准信号源连接过程中的失配误差引入的不确定度 u_5 ;
- (6) 被测物联网无线综测仪与标准信号源连接过程中的失配误差引入的不确定度 u_6 。

C.4.3 不确定度分析

- (1) 功率计参考功率电平最大允许误差引入的不确定度 u_1

标准功率计在功率参考点上测量结果的不确定度由上一级的校准证书得到： $U_{p1} = 0.8\%$ ($k_1=2$)，即 $U_{p1} = (0.008 \times 4.34) \text{ dB} = 0.035 \text{ dB}$ ($k_1=2$)。

$$\text{标准不确定度 } u_1 = U_{p1}/k_1 \approx 0.017 \text{ dB}$$

- (2) 功率计的线性误差引入的不确定度 u_2

由功率探头的指标说明书得到，功率探头功率测量线性度最大允许误差为 $a_2 = 0.03 \text{ dB}$ ，

测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_2 = \sqrt{3}$

$$\text{标准不确定度 } u_2 = a_2/k_2 \approx 0.0173 \text{ dB}$$

- (3) 双阴接头引起的插损引入的不确定度 u_3

经过实验得到，双阴接头的测量误差为 $a_3 = 0.02 \text{ dB}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_3 = \sqrt{3}$

$$\text{标准不确定度 } u_3 = a_3/k_3 \approx 0.0115 \text{ dB}$$

- (4) 测量过程中，连接及读数重复性引入的不确定度 u_4

信号发生器输出频率 2620MHz，调节信号发生器输出功率使得功率计显示为-10dBm，将此信号输入物联网无线综测仪，重复测量 10 次，测量结果如下表 17：

表 C.6 射频功率测量结果

测量次数	物联网无线综测仪实测值(dBm)
1	-10.12
2	-10.13
3	-10.10
4	-10.15
5	-10.12
6	-10.07
7	-10.12
8	-10.11
9	-10.11
10	-10.13

则单次测量结果的试验标准差 $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.02\text{dB}$

标准不确定度使用试验标准差表示，则 $u_4 = s = 0.02\text{dB}$

(5) 功率计与标准信号源连接过程中的失配误差引入的不确定度 u_5

根据仪表的指标说明书得到，功率探头输入端口电压驻波比 < 1.1 ，即 $|\Gamma_s| = 0.0476$ ，标准信号发生器输入输出端口电压驻波比 ≤ 1.2 ，即 $|\Gamma_u| = 0.091$ ，则失配误差 $a_3 = 4.34 \times 2 \times 0.0476 \times 0.2 = 0.0826\text{dB}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布 $k_5 = \sqrt{2}$

标准不确定度 $u_5 = a_5 / k_5 \approx 0.0266\text{dB}$

(6) 被测物联网无线综测仪与标准信号源连接过程中的失配误差引入的不确定度 u_6

根据仪表的指标说明书得到，标准信号发生器输入输出端口电压驻波比 ≤ 1.2 ，即 $|\Gamma_u| = 0.091$ ，被测物联网无线综测仪输入输出端口电压驻波比 < 1.25 ，即 $|\Gamma_s| = 0.111$ ，则失配误差 $a_6 = 4.34 \times 2 \times 0.091 \times 0.111 = 0.0877\text{dB}$ ，测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布 $k_6 = \sqrt{2}$

标准不确定度 $u_6 = a_6 / k_6 \approx 0.0620\text{dB}$

C.4.4 不确定度合成

表 C.7 射频功率测量不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					
	不确定度来源	类型	测量误差或准确度	分布类型	包含因子	标准不确定度
1	功率计参考功率电平最大允许误差	B	0.035dB	/	2	0.017dB
2	功率计线性误差	B	0.03dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0173dB
3	双阴接头引起的插损	B	0.02dB	均匀分布	$\sqrt{3}$	0.0115dB
4	校准过程连接及读数重复性	A	/	/	/	0.02dB

5	功率计校准标准信号源过程的失配误差	B	0.0376dB	反正弦分布	$\sqrt{2}$	0.0266dB
6	被测物联网无线综测仪测量标准信号源过程的失配误差	B	0.0877dB	反正弦分布	$\sqrt{2}$	0.0620dB

$$\text{合成标准不确定度: } u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^6 u_i^2} \approx 0.075\text{dB}$$

扩展因子 $k=2$, 扩展不确定度 $U_1 = k \times u_c = 0.075 \times 2 = 0.15\text{dB}$

C.5 误差矢量幅度 (EVM) 测量校准不确定度评定

C.5.1 方法一：连续波组合法

C.5.1.1 测量模型

$$\text{EVM}_{\text{scRMS}} = \left[2 - 2 \sqrt{\frac{1}{1 + \text{NSR}_{\text{sc0}} + \text{ISR}}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中:

$\text{EVM}_{\text{scRMS}}$ ——被校物联网综测仪的子载波误差矢量幅度的均方根;

NSR_{sc0} ——初始仪表噪声功率与有用子载波功率比, $\text{NSR}_{\text{sc0}} = \frac{4}{(2 - \text{EVM}_{\text{scRMS0}})^2} - 1$, 其中

$\text{EVM}_{\text{scRMS0}}$ 是初始子载波误差矢量幅度, 该值是由仪器内部噪声干扰产生的;

ISR ——连续波干扰功率 (P_{cw}) 与有用信号子载波功率 (P_0) 比, 即 $\text{ISR} = P_{\text{cw}}/P_0$ 。

C.5.1.2 不确定度来源

根据上式分析不确定来源, 主要包括:

- (1) 连接及读数重复性引入的不确定度 u_1 ;
- (2) 标准矢量信号分析仪初始子载波误差矢量幅度测量误差引入的不确定度 u_2 ;
- (3) 矢量信号分析仪子载波功率测量最大允许误差引入的不确定度 u_3 ;
- (4) 连续波功率测量不确定度引入的不确定度 u_4 。

C.5.1.3 不确定度分析

- (1) 连接及读数重复性引入的不确定度 u_1

物联网信号发生器输出物联网调制信号, 频率 2620MHz, 功率 -10dBm 处, 使用矢量信号分析仪重复测量 10 次, 得到单次测量结果的试验标准差 s , 标准不确定度使用试验标准差表示, 则 $u_1 = s = 0.032\%$ 。

- (2) 标准矢量信号分析仪初始子载波误差矢量幅度测量误差引入的不确定度 u_2 ;

矢量信号分析仪的指标说明书得到误差矢量幅度测量最大允许误差为 0.29%, 且该分量为均匀分布即 $k_1 = \sqrt{3}$, 矢量信号分析仪初始子载波误差矢量幅度测量误差引入的不确定度分量 $u_2 = 0.17\%$ 。

- (3) 子载波功率测量最大允许误差引入的不确定度 u_3 。

由矢量信号分析仪的指标说明书得到子载波功率测量最大允许误差为 1.78dB，且该分量为均匀分布即 $k_1 = \sqrt{3}$ ，标准不确定度分量为 $u_3 = 1.03\text{dB}$ 。

(4) 连续波功率测量不确定度引入的不确定度 u_4 。

根据溯源证书，连续波功率测量标准不确定度为 $u_4 = 0.12\text{dB}$ 。

C.5.1.4 不确定度合成

(1) 合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \text{EVM}_{\text{RMS}0}}\right)^2 u_2^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_0}\right)^2 u_3^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_{\text{cw}}}\right)^2 u_4^2} = 0.18\%$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k \times u_c = 0.36\%$ 。

C.5.2 方法二：白噪声法

C.5.2.1 测量模型

$$\text{EVM}_{\text{RMS}} = \left[2 - 2 \sqrt{\frac{1}{1 + \text{NSR}_0 + \frac{P_G}{P_s}}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中：

EVM_{RMS} ——被校物联网综测仪的误差矢量幅度的均方根；

NSR_0 ——初始仪表噪声功率与有用子载波功率比；

P_G ——白噪声干扰功率；

P_s ——有用信号信道功率。

C.5.2.2 不确定度来源

(1) 连接及读数重复性引入的不确定度 u_1 。

(2) 矢量信号分析仪初始误差矢量幅度测量误差引入的不确定度 u_2 ；

(3) 矢量信号分析仪信道功率测量最大允许误差引入的不确定度 u_3 。

C.5.2.3 不确定度分析

(1) 连接及读数重复性引入的不确定度 u_1 。

物联网信号发生器输出物联网调制信号，频率 2620MHz，功率 -10dBm 处，使用矢量信号分析仪重复测量 10 次，得到单次测量结果的试验标准差 s ，标准不确定度使用试验标准差表示，则 $u_2 = s$

调制参数	标准不确定度
均方根值误差矢量幅度	0.032%

(2) 矢量信号分析仪初始误差矢量幅度测量误差引入的不确定度 u_2 ；

矢量信号分析仪的指标说明书得到误差矢量幅度测量最大允许误差为 0.29%，且该分量为均匀分布即 $k_1 = \sqrt{3}$ ，矢量信号分析仪初始子载波误差矢量幅度测量误差引入的不确定度 $u_2 = 0.17\%$ ；

(3) 矢量信号分析仪信道功率测量最大允许误差引入的不确定度 u_3 。

由矢量信号分析仪的指标说明书得到信道功率测量最大允许误差为 1.78dB。两分均匀分布，即 $k_1 = \sqrt{3}$ 。标准不确定度分量分别为 $u_s = u_G = 1.03\text{dB}$ 。

C.5.2.4 不确定度合成

(1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial EVM_{RMS0}}\right)^2 u_2^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_s}\right)^2 u_s^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_G}\right)^2 u_G^2} = 0.20\%$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k \times u_c = 0.40\%$ 。

C.5.3 方法三：比对法

C.5.3.1 测量方法

物联网综测仪误差矢量幅度的测量校准是使用矢量信号分析仪测试的值做比对。以使用矢量信号分析仪 N9020B 测试物联网综合测试仪输出的中心频率 2620MHz，功率-10dBm，带宽 200kHz 的 NB-IoT 调制信号为例，进行不确定度评定。

用 N9020B 型标准矢量信号分析仪和被校物联网综测仪测试误差矢量幅度做对比。

C.5.3.2 不确定度来源

(1) 标准矢量信号分析仪调制参数测量最大允许误差引入的不确定度 u_1 。

(2) 连接及读数重复性引入的不确定度 u_2 。

C.5.3.3 不确定度分析

(1) 标准矢量信号分析仪调制参数测量最大允许误差引入的不确定度 u_1 ；

由标准矢量信号分析仪的指标说明书得到 NB-IoT 调制参数测量最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，且该分量为均匀分布即 $k_1 = \sqrt{3}$ ，标准不确定度分量为 $u_1 = 0.5 / k_1 = 0.289\%$

(2) 校准过程连接及读数重复性引入的不确定度 u_2

物联网矢量信号发生器输出 NB-IoT 等调制信号，频率 2620MHz，功率-10dBm 处，使用物联网矢量信号分析仪重复测量 10 次，得到单次测量结果的试验标准差 s ，标准不确定度使用试验标准差表示，则 $u_2 = s = 0.032\%$

C.5.3.4 不确定度合成

合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_i^2}$ ，扩展因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U = k \times u_c$

调制参数	合成标准不确定度	扩展不确定度
均方根值误差矢量幅度	0.29%	0.58%