



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX—XXXX

## IMT-2020 (5G) 移动通信综合测试仪校准规范

Calibration Specification of IMT-2020 (5G) Mobile Communication Testers

(征求意见稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

IMT-2020 (5G) 移动通信综合测  
试仪校准规范

Calibration Specification of IMT-2020  
(5G) Mobile Communication Testers

JJF XXXX—XXXX

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  
上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：中国计量科学研究院

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.....            | 1  |
| 3 计量特性.....          | 1  |
| 3.1 参考晶体振荡器.....     | 1  |
| 3.2 信号发生模块.....      | 1  |
| 3.3 信号分析模块.....      | 1  |
| 3.4 射频端口.....        | 1  |
| 4 校准条件.....          | 1  |
| 4.1 环境条件.....        | 1  |
| 4.2 校准用设备.....       | 1  |
| 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.....  | 3  |
| 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.....     | 5  |
| 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.....    | 8  |
| 5.17 频谱发射模板测量.....   | 8  |
| 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.....        | 9  |
| 附录 A 原始记录内页格式.....   | 10 |
| 附录 B 校准证书内页格式.....   | 2  |
| 附录 C 不确定度评定示例.....   | 8  |

# 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。

本规范为首次发布。

# IMT-2020 (5G) 移动通信综合测试仪校准规范

## 1 范围

本规范适用于 300MHz~44GHz 的 IMT-2020(5G)移动通信综合测试仪(简称 5G 综测仪)的校准,其他频率也可参照执行。

## 2 概述

5G 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 5G 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: 10MHz;

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: 300MHz~44GHz;

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

输出电平范围: -120dBm~+10dBm;

功率最大允许误差:  $\pm(0.5 \sim 2.0)$ dB;

谐波: 二次谐波 $\leq -25$ dBc, 三次谐波 $\leq -25$ dBc, 二分之一次谐波 $\leq -40$ dBc;

非谐波:  $\leq -50$ dBc;

单边带相位噪声:  $\leq -120$ dBc/Hz (偏置频率 1MHz);

误差矢量幅度:  $\leq 2.0\%$ ;

占用带宽: 5MHz~400MHz。

### 3.3 信号分析模块

频率范围: 300MHz~44GHz;

功率电平测量范围: -70dBm~+30dBm;

功率测量最大允许误差:  $\pm(0.5 \sim 2.0)$ dB;

误差矢量幅度测量范围: QPSK 调制 $\leq 18.5\%$ , 16QAM 调制 $\leq 13.5\%$ , 64QAM 调制 $\leq 9.0\%$ , 256QAM $\leq 4.5\%$ ;

最大允许误差:  $\pm(0.1 \sim 3.0)\%$ 。

### 3.4 射频端口

电压驻波比 $\leq 3.0$ 。

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:  $\leq 80\%$ ;

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

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：300MHz~44GHz；

有外接频标功能。

#### 4.2.3 功率计

频率范围：300MHz~44GHz；

功率测量范围：-70dBm~+30dBm；

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：300MHz~44GHz；

输出电平范围：-80dBm~+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 信号发生器

频率范围：300MHz~44GHz；

输出电平范围：-80dBm~+30dBm；

带宽： $>400$ MHz。

#### 4.2.6 频谱分析仪

频率范围：300MHz~44GHz；

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 $\leq -126$ dBc/Hz (偏置频率1MHz)

#### 4.2.7 测量接收机

频率范围：300MHz~44GHz；

电平测量范围：-130dBm~+30dBm；

电平测量不确定度：1%~5% (k=2)。

#### 4.2.8 矢量信号分析仪

频率范围：300MHz~44GHz；

误差矢量幅度测量最大允许误差： $\pm 2.0\%$ 。

#### 4.2.9 网络分析仪

频率范围：300MHz~44GHz。

## 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  |        | 占用带宽       |
| 10 |        | 邻道功率比      |
| 11 |        | 频谱发射模板     |
| 12 | 信号分析模块 | 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

- 被校 5G 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。
- 被校 5G 综测仪应有说明书、及配套附件。
- 被校 5G 综测仪按技术说明书规定时间预热，预热后应显示正常。
- 如被校 5G 综测仪具有自校准功能，按要求对仪器进行自校准。
- 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

- 按图 1 连接仪器。

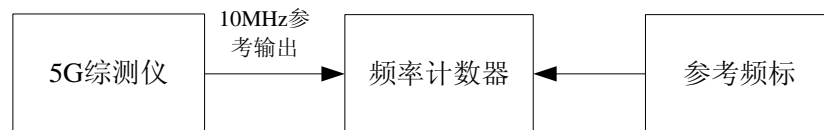


图 1 参考晶体振荡器频率校准连接示意图

- 将 5G 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

- 按图 2 连接仪器。

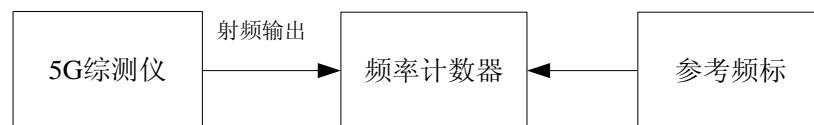


图 2 射频输出频率校准连接示意图

- 设置 5G 综测仪为发射连续波 (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  $-10\text{dBm}$ ，频率为射频频率范围的最低频率  $f_L$ ，测量实际频率值  $f_s$ 。
- 改变 5G 综测仪的输出频率，一直到射频频率范围的最高频率。并记录于附录 A 表 A.3。

### 5.5 射频输出电平

- 按图 3 连接仪器。





图 3 射频输出电平校准连接示意图

- b) 设置 5G 综测仪为发射连续波 (CW) 模式, 将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置输出频率为  $f$ , 输出电平为最高电平。
- c) 将测量接收机与 5G 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 5G 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。
- d) 改变 5G 综测仪射频信号发生器的输出电平, 重复步骤 c), 将电平测量至最低电平为止。
- e) 改变 5G 综测仪射频信号发生器的输出频率, 重复步骤 b)~d), 将测量结果记录于附录 A 表 A.4。

## 5.6 谐波

- a) 按图 4 连接仪器。

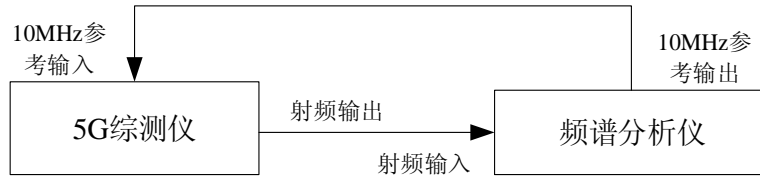


图 4 谐波校准连接示意图

- b) 设置 5G 综测仪为发射连续波 (CW) 模式, 将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。设置射频频率为  $f$ , 输出电平为  $-10\text{dBm}$ 。
- c) 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。
- d) 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。
- e) 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。

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

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

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

- f) 改变 5G 综测仪的输出频率  $f$ , 重复步骤 b)~e), 将测量结果记录在附录 A 表 A.5 中。

## 5.7 非谐波

- a) 按图 4 连接仪器。
- b) 设置 5G 综测仪为发射连续波 (CW) 模式, 将相应的射频输入输出端口的衰减设为零。根据 5G 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  $L$ 。
- c) 测量频率  $f$  对应的实际输出电平值  $P_C$ , 并记录在附录 A 表 A.6 中。
- d) 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。
- e) 使用公式 (4) 计算非谐波, 并记录在附录 A 表 A.6 中。

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

f) 改变 5G 综测仪的输出频率，重复步骤 b)~e)，将测量结果记录在附录 A 表 A.6 中。

### 5.8 单边带相位噪声

- a) 按图 4 连接仪器。
- b) 将 5G 综测仪射频输出端口通过射频电缆连接到频谱分析仪的输入端。5G 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。
- c) 设置频谱分析仪中心频率为  $f$ ，分辨力带宽为  $f_{BW}$ ，相位噪声测量处频率偏移为  $\Delta f$ ，则频谱分析仪的扫频宽度为  $2.5 \times \Delta f$ 。
- d) 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  $\Delta f$  处的功率电平  $P$  和  $P_{\Delta}$ ，并记录在附录 A 表 A.7 中。
- e) 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。

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

- f) 改变频率偏移  $\Delta f$ ，重复步骤 c)~d)。
- g) 改变 5G 综测仪的载波频率，重复步骤 b)~e)，并记录在附录 A 表 A.7 中。

### 5.9 数字调制质量

- a) 按图 5 连接仪器。



图 5 数字调制质量校准连接示意图

- b) 5G 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。设置输出电平为 -10dBm，打开 5G 数字调制，设置频率为  $f$ ，信道带宽为 BW。
- c) 矢量信号分析仪选择 5G 信号解调模式，设置频率为  $f$ ，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），矢量信号分析仪设为相应的模式，信道带宽为 BW。选择 5G 数字解调测量模式，在测量结果中读取误差矢量幅度，并记录于附录 A 表 A.8 中。
- d) 改变 5G 综测仪的载波频率  $f$  和带宽 BW，重复步骤 b)~c)。

### 5.10 占用带宽

- a) 按图 5 连接仪器。
- b) 5G 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。设置输出电平为 -10dBm，打开 5G 数字调制，设置频率为  $f$ ，信道带宽为 BW。
- c) 矢量信号分析仪中心频率设为  $f$ ，参考电平为 0dBm，扫频宽度为 2 倍的信道带宽 BW，分辨力带宽为 30kHz 或更小，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 5s），选择占用带宽测量模式，设置矢量信号分析仪的平均次数大于 5 次，读出占用带宽，并记录于附录 A 表 A.9 中。
- d) 改变 5G 综测仪的频率，重复步骤 b)。

### 5.11 邻道功率比

- a) 按图 5 连接仪器。
- b) 5G 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。设置输出电平为 -10dBm，打开 5G 数字调制，设置频率为  $f$ ，信道带宽为 BW。

- c) 矢量信号分析仪选择 5G 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电平), 5G 分析仪链路方向为下行链路, 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.10 中。
- d) 改变 5G 综测仪的载波频率  $f$ , 重复步骤 b), 并记录于附录 A 表 A.10 中。

### 5.12 频谱发射模板

- a) 按图 5 连接仪器。
- b) 5G 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。设置输出电平为 -10dBm, 打开 5G 数字调制, 设置频率为  $f$ , 信道带宽为 BW。
- c) 矢量信号分析仪选择 5G 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电平), 5G 分析仪链路方向为下行链路, 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.11 中。
- d) 改变 5G 综测仪的载波频率  $f$ , 重复步骤 b)~c), 并记录于附录 A 表 A.11 中。

### 5.13 射频功率测量

- a) 按图 6 连接仪器。

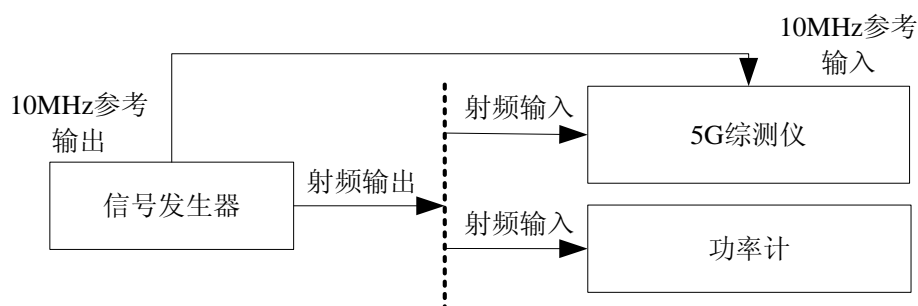


图 6 射频功率测量校准连接示意图

- b) 将信号发生器输出端口通过射频电缆与功率计直接连接。
- c) 信号发生器输出连续波信号, 输出频率设为  $f_1$ 。
- d) 调节信号发生器输出电平, 使得功率计的指示值为  $P_s$ 。
- e) 信号发生器输出设置保持不变, 将此射频电缆与 5G 综测仪的射频输入直接连接, 并连接外参考。
- f) 5G 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 5G 综测仪上读出功率测量值  $P$ , 并记录于附录 A 表 A.12 中。
- g) 改变信号发生器输出功率和频率, 重复步骤 c)~f), 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（本规范推荐方法）

- a) 仪表连接如图 7 所示。

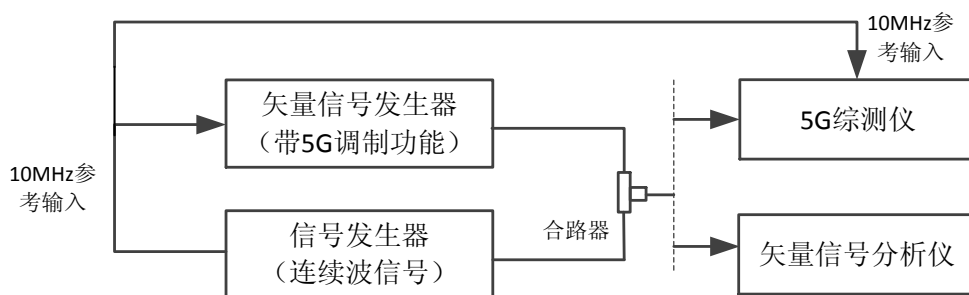


图 7 数字调制质量参数测量校准连接示意图（连续波法）

- b) 合路器输出端连接 5G 综测仪，信号发生器（连续波信号）保持关闭。
- c) 矢量信号发生器选择 5G 数字调制模式，设置频率为  $f$ ，信道带宽设为  $BW$ ，子载波间隔设为  $SCS$ ，设置调制方式，输出电平设为  $-10\text{dBm}$ 。
- d) 5G 综测仪选择 5G 解调模式，设置与 b) 相对应的频率、信道带宽、子载波间隔、调制方式等。在 5G 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  $NSR_{sc0}$ 。

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

- e) 合路器输出端连接矢量信号分析仪，测量 c) 中信号的子载波功率  $P_0$ 。
- f) 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：

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

- g) 其中  $EVM_{scRMS}$  是被校 5G 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  $ISR = P_{cw}/P_0$ 。
- h) 改变连续波功率  $P_{cw}$ ，使得 5G 综测仪的误差矢量幅度从  $EVM_{scRMS0}$  增至规定的限值，并记录于附录 A 表 A.13-1 中。

#### 5.14.2 方法二：白噪声法

- a) 仪表连接如图 8 所示。

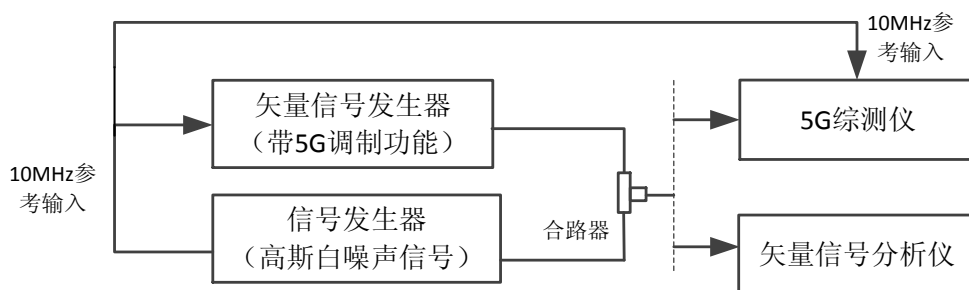


图 8 数字调制质量参数测量校准连接示意图（白噪声法）

- b) 信号发生器选择 5G 数字调制模式，设置频率为  $f$ ，信道带宽设为  $BW$ ，子载波间隔设为  $SCS$ ，输出电平设为  $-10\text{dBm}$ ，设置调制方式。

- c) 5G 综测仪频率设为  $f$ , 参考电平为  $-10\text{dBm}$ , 选择 5G 解调模式, 设置信道带宽为  $\text{BW}$ , 子载波间隔为  $\text{SCS}$ , 设置调制方式。在 5G 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  $\text{EVM}_{\text{RMS0}}$ 。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  $\text{NSR}_0$ 。

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

- d) 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  $\text{BW}$ , 输出电平为  $P_G$ , 则加入干扰后的误差矢量幅度  $\text{EVM}_{\text{RMS}}$  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  $\text{NSR}$  是高斯白噪声功率 ( $P_G$ ) 与有用信号功率 ( $P_s$ ) 比, 即  $\text{NSR} = P_G/P_s$ 。

- e) 改变白噪声功率  $P_G$ , 使得 5G 综测仪的误差矢量幅度从  $\text{EVM}_{\text{RMS0}}$  增至 3GPP 协议规定的限值, 并记录于附录 A 表 A.13-2 中。

### 5.15 占用带宽测量

- a) 仪表连接如图 9 所示。

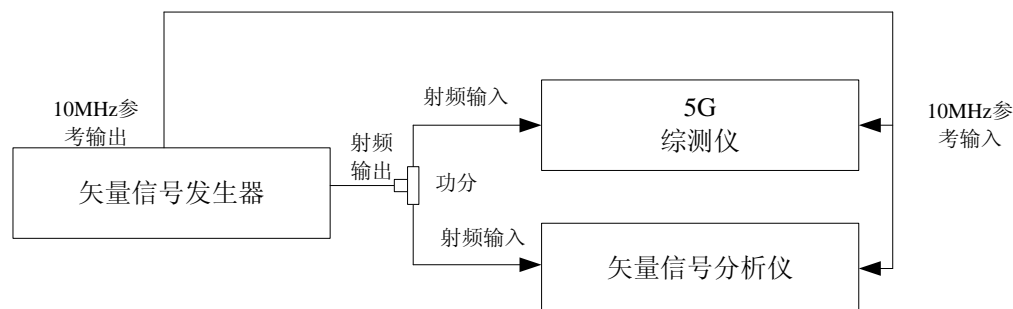


图 9 占用带宽测量校准示意图

- b) 矢量信号发生器输出频率设为  $f$ , 输出电平设为  $-10\text{dBm}$ , 选择数字调制模式, 设置相应的模式, 信道带宽为  $\text{BW}$ 。
- c) 矢量信号分析仪和 5G 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), 选择解调模式, 设置相应的模式, 信道带宽为  $\text{BW}$ , 分别在矢量信号分析仪和 5G 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。
- d) 改变矢量信号发生器输出频率  $f$ , 重复步骤 b)~c)。

### 5.16 邻道功率比测量

- a) 仪表连接如图 9 所示。
- b) 矢量信号发生器输出频率设为  $f$ , 输出电平设为  $-10\text{dBm}$ , 选择数字调制模式, 设置相应的模式, 信道带宽为  $\text{BW}$ 。
- c) 矢量信号分析仪和中心频率设为  $f$ , 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电平), 设置相应的模式, 信道带宽为  $\text{BW}$ , 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  $\text{BW}$  和 2 倍  $\text{BW}$  的邻道功率比, 并记录于附录 A 表 A.15 中。
- d) 改变 5G 信号发生器的频率  $f$ , 重复步骤 b)~c)。

### 5.17 频谱发射模板测量

- a) 仪表连接如图 9 所示。
  - b) 矢量信号发生器输出频率设为  $f$ ，输出电平设为  $-10\text{dBm}$ ，选择数字调制模式，设置相应的模式，信道带宽为  $\text{BW}$ 。
  - c) 矢量信号分析仪和中心频率设为  $f$ ，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电平），5G 分析仪链路方向为上行链路，信道带宽为  $\text{BW}$ 。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。
  - d) 改变 5G 信号发生器频率  $f$ ，重复步骤 b)。
- 5.18 射频端口电压驻波比

- a) 仪器连接如图 10 所示。



图 10 射频端口电压驻波比校准示意图

- b) 网络分析仪起始频率和终止频率设为被校 5G 综测仪射频输入输出端口的频率范围，网络分析仪进行自校准。
- c) 关闭 5G 综测仪射频输入输出端口的输出功率，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

5G 综测仪校准后，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) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- 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

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。

## 附录 A 原始记录内页格式

**表 A.1 外观及工作正常性检查**

| 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(dB) ( $k=2$ ) |
|-----------|-----------------|--------------------|
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |

**表 A.5 谐波**

| 测试项目    | 频率(MHz) | 载波功率 $P_1$<br>(dBm) | 谐波功率 $P_n$<br>(dBm) | 实测值 $a_n$<br>(dBc) | 不确定度<br>(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<br>$f$ (MHz) | 非谐波信号频率<br>$f_s$ (MHz) | 载波功率 $P_c$<br>(dBm) | 非谐波信号<br>功率 $P_s$ (dBm) | 实测值 $a_s$<br>(dBc) | 不确定度<br>(dB) ( $k=2$ ) |
|-----------|-------------------|------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------|------------------------|
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |
|           |                   |                        |                     |                         |                    |                        |

**表 A.7 单边带相位噪声**

| 载波频率<br>$f$ (MHz) | 频偏 $\Delta f$<br>(kHz) | 载波功率 $P$<br>(dBm) | 频率偏移点功<br>率 $P_{\Delta}$ (dBm) | 实测值<br>(dBc/Hz) | 不确定度(dB)<br>( $k=2$ ) |
|-------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------------|
|                   |                        |                   |                                |                 |                       |
|                   |                        |                   |                                |                 |                       |
|                   |                        |                   |                                |                 |                       |
|                   |                        |                   |                                |                 |                       |
|                   |                        |                   |                                |                 |                       |



**表 A.8 数字调制质量**

| 载波频率 $f$ (MHz) | 误差矢量幅度(EVM)<br>(%) | 实测值 (%) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|----------------|--------------------|---------|----------------|
| 3500           | PSS EVM            |         |                |
|                | SSS EVM            |         |                |
|                | PBCH EVM           |         |                |
|                | PBCH_DMRS EVM      |         |                |
|                | ....               |         |                |
|                | PSS EVM            |         |                |
|                | SSS EVM            |         |                |
|                | PBCH EVM           |         |                |
|                | PBCH_DMRS EVM      |         |                |
|                | ....               |         |                |
|                | PSS EVM            |         |                |
|                | SSS EVM            |         |                |
|                | PBCH EVM           |         |                |
|                | PBCH_DMRS EVM      |         |                |
|                | ....               |         |                |

**表 A.9 占用带宽**

| 测试项目 | 载波频率 $f$ (MHz) | 标称值(dB) | 实测值(dB) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|------|----------------|---------|---------|----------------|
| 占用带宽 | 3500           |         |         |                |
|      |                |         |         |                |
|      |                |         |         |                |

**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) ( $k=2$ ) |
|----------------|---------|---------|---------------------|
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*BW   |         |                     |
|                | -2*BW   |         |                     |
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*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(dBc) | 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<br>(MHz) | 子载波频率<br>(MHz) | 子载波功率<br>(dBm) | 连续波功率<br>(dBm) | 子载波误差<br>矢量幅度实<br>际值(%) | 子载波误差<br>矢量幅度实<br>测值(%) | 不确定度<br>(dB) ( $k=2$ ) |  |
|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--|
| 3500          |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |

**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<br>(dBm) | 误差矢量幅度<br>实际值(%) | 误差矢量幅度<br>实测值(%) | 不确定度 (dB)<br>( $k=2$ ) |  |
|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------------|--|
| 3500      |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |

**表 A. 14 占用带宽测量**

| 测试项目 | 载波频率 $f$ (MHz) | 实际值(dB) | 实测值(dB) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|------|----------------|---------|---------|----------------|
| 占用带宽 | 3500           |         |         |                |
|      |                |         |         |                |
|      |                |         |         |                |

**表 A. 15 邻道功率比测量**

| 载波频率 $f$ (MHz) | 频偏(MHz) | 实测值(dB) | 不确定度 (dB) ( $k=2$ ) |
|----------------|---------|---------|---------------------|
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*BW   |         |                     |
|                | -2*BW   |         |                     |
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*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<br>中心频率点<br>的频率偏移<br>$f_{offset}$ | 测量带宽(MHz) | 实测值(dBc) | 不确定度 (dB)<br>( $k=2$ ) |
|-----------|--|-----------|----------|------------------------|
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |
|           |  |           |          |                        |

**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 校准证书内页格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

| 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(dB) ( $k=2$ ) |
|-----------|-----------------|--------------------|
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |
|           |                 |                    |



**表 B. 7 单边带相位噪声**

| 载波频率<br>$f(\text{MHz})$ | 频偏 $\Delta f$<br>(kHz) | 载波功率 $P$<br>(dBm) | 频率偏移点功<br>率 $P_{\Delta}(\text{dBm})$ | 实测值 L<br>(dBc/Hz) | 不确定度(dB)<br>( $k=2$ ) |
|-------------------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |
|                         |                        |                   |                                      |                   |                       |

**表 B. 8 数字调制质量**

| 载波频率 $f(\text{MHz})$ | 误差矢量幅度(EVM)<br>(%) | 实测值 (%) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|----------------------|--------------------|---------|----------------|
|                      | PSS EVM            |         |                |
|                      | SSS EVM            |         |                |
|                      | PBCH EVM           |         |                |
|                      | PBCH_DMRS EVM      |         |                |
|                      | PSS EVM            |         |                |
|                      | SSS EVM            |         |                |
|                      | PBCH EVM           |         |                |
|                      | PBCH_DMRS EVM      |         |                |
|                      | PSS EVM            |         |                |
|                      | SSS EVM            |         |                |
|                      | PBCH EVM           |         |                |
|                      | PBCH_DMRS EVM      |         |                |

表 B.9 占用带宽

| 测试项目 | 载波频率 $f$ (MHz) | 标准值(dB) | 实测值(dB) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|------|----------------|---------|---------|----------------|
| 占用带宽 | 3500           |         |         |                |
|      |                |         |         |                |
|      |                |         |         |                |

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) ( $k=2$ ) |
|----------------|---------|---------|---------------------|
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*BW   |         |                     |
|                | -2*BW   |         |                     |
|                | +1*BW   |         |                     |
|                | +2*BW   |         |                     |
|                | -1*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 $f_{\text{offset}}$ | 测量带宽 | 实测值(dBc) | 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<br>(MHz) | 子载波频率<br>(MHz) | 子载波功率<br>(dBm) | 连续波功率<br>(dBm) | 子载波误差<br>矢量幅度实<br>际值(%) | 子载波误差<br>矢量幅度实<br>测值(%) | 不确定度<br>(dB) ( $k=2$ ) |  |
|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--|
| 3500          |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |
|               |                |                |                |                         |                         |                        |  |

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<br>(dBm) | 误差矢量幅度<br>实际值(%) | 误差矢量幅度<br>实测值(%) | 不确定度 (dB)<br>( $k=2$ ) |  |
|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|------------------------|--|
| 3500      |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |
|           |           |                |                  |                  |                        |  |

表 B. 14 占用带宽测量

| 测试项目 | 载波频率 $f$ (MHz) | 标准值(dB) | 实测值(dB) | 不确定度 ( $k=2$ ) |
|------|----------------|---------|---------|----------------|
| 占用带宽 | 3500           |         |         |                |
|      |                |         |         |                |
|      |                |         |         |                |

表 B.15 邻道功率比测量

| 载波频率 $f$ (MHz) | 频偏 (MHz) | 实测值 (dB) | 不确定度 (dB) ( $k=2$ ) |
|----------------|----------|----------|---------------------|
|                | +1*BW    |          |                     |
|                | +2*BW    |          |                     |
|                | -1*BW    |          |                     |
|                | -2*BW    |          |                     |
|                | +1*BW    |          |                     |
|                | +2*BW    |          |                     |
|                | -1*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 (MHz) | 实测值 (dBc) | 不确定度 (dB) ( $k=2$ ) |
|------------|------------------------------|------------|-----------|---------------------|
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |
|            |                              |            |           |                     |

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 射频输出频率校准不确定度评定

#### C.1.1 测量方法

使用频率计数器直接测量被校 5G 综测仪的输出频率。以使用外控频标的频率计 53132A 测试 5G 综合测试仪输出的 3500MHz 信号频率为例,进行不确定度评定。

#### C.1.2 不确定度来源

- (1) 频率计测量最大允许误差引入的不确定度  $u_1$ ;
- (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 5G 综测仪射频信号发生器输出频率 3500MHz,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:

表 C.1 射频信号发生器输出频率测量结果

| 测量次数 | 频率计实测值(MHz) |
|------|-------------|
| 1    | 3500.00003  |
| 2    | 3500.00002  |
| 3    | 3500.00002  |
| 4    | 3500.00003  |
| 5    | 3500.00002  |
| 6    | 3500.00003  |
| 7    | 3500.00002  |
| 8    | 3500.00002  |
| 9    | 3500.00002  |
| 10   | 3500.00002  |

则单次测量结果的试验标准差  $s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}/\bar{x}=1.4\times 10^{-9}$

标准不确定度使用试验标准差表示,则  $u_2=s=1.4\times 10^{-9}$

- (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 3500MHz 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  $u_3=a_3/k_3=1.15\times 10^{-9}$

### C.1.4 不确定度合成

#### (1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^3 u_i^2} = 2.9 \times 10^{-8}$$

#### (2) 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U=k u_c=6 \times 10^{-8}$ 。

## C.2 射频输出电平校准不确定度评定

### C.2.1 测量方法

5G 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-Z57（测量接收机 FSMR 作为指示器）构成功率计对 5G 综测仪 E7515B 输出的 3500MHz，-10 dBm 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，不确定度来源有以下 5 项：

- (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) 功率分辨率引入的不确定度  $u_5$ ；

### 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： $U_{p1}=0.7\%$  ( $k_1=2$ )，即  $U_{p1}=0.007 \times 4.34 \approx 0.03\text{dB}$  ( $k_1=2$ )

标准不确定度  $u_1=U_{p1}/k_1=0.015\text{dB}$

- (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 5G 综测仪输出频率 3500MHz，功率为-10dBm 处，使用功率计对 5G 综测仪重复测量 10 次，测量结果如下表：

表 C.2 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    | -10.10      |
| 2    | -10.12      |
| 3    | -10.09      |
| 4    | -10.11      |
| 5    | -10.09      |
| 6    | -10.04      |
| 7    | -10.09      |
| 8    | -10.10      |
| 9    | -10.07      |
| 10   | -10.10      |

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 5G 综测仪输入输出端口电压驻波比 $\leq 1.5$ ，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) 功率计分辨力引入的不确定度 $u_5$

功率计分辨力为 $0.01\text{dB}$ ，其一半为 $0.005\text{dB}$ ，按均匀分布，则标准不确定度 $u_5=0.005/\sqrt{3}=0.003\text{dB}$

#### C.2.4 不确定度合成

(1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_i^2} = 0.066\text{dB}$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 $U$ 为： $U=k \times u_c=2 \times 0.066=0.13\text{dB}$

### C.3 误差矢量幅度校准不确定度评定

#### C.3.1 测量方法

5G 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 N9040B 测试 5G 综合测试仪输出的中心频率 3500MHz，功率-10dBm，带宽 100MHz，子载波间隔 30kHz 的 5G 信号为例，进行不确定度评定。

#### C.3.2 不确定度来源

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

(2) 校准过程中连接及读数重复性引入的不确定度 $u_2$ 。

#### C.3.3 不确定度分析

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

由矢量信号分析仪的指标说明书得到 5G 调制参数测量参数误差矢量幅度的最大允许误差为 $a_1$ ，测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_1=\sqrt{3}$ ，标准

不确定度分量为 $u_1=a_1/k_1=0.25\%$ 。

(2) 校准过程中连接及读数重复性引入的不确定度 $u_2$ 。

在 5G 综测仪输出 5G 调制信号，频率 3500MHz，功率-10dBm 处，使用矢量信号分析仪对 5G 综测仪重复测量 10 次，测量结果如下。

表 C.3 矢量信号发生器调制参数测量结果

| 测量次数 | 误差矢量幅度实测值(%) |
|------|--------------|
| 1    | 0.27         |
| 2    | 0.33         |
| 3    | 0.34         |

|    |      |
|----|------|
| 4  | 0.29 |
| 5  | 0.26 |
| 6  | 0.24 |
| 7  | 0.33 |
| 8  | 0.36 |
| 9  | 0.31 |
| 10 | 0.29 |

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  $u_2=s=0.04\%$ 。

### C.3.4 不确定度合成

#### (1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_1^2 u_i^2} = 0.25\%$$

#### (2) 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U$  为： $U=k \times u_c=2 \times 0.25\% \approx 0.50\%$

## C.4 射频功率测量校准不确定度评定

### 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 5G 综测仪的射频功率测量进行校准。以使用矢量信号发生器 M9384B 和功率计 NRP-57 对 5G 综测仪射频功率测量进行校准为例（频率 3500MHz，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 5G 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： $U_{p1}=0.7\%$  ( $k_1=2$ )，即  $U_{p1}=(0.007 \times 4.34) \text{ dB}=0.030 \text{ dB}$  ( $k_1=2$ )。

标准不确定度  $u_1=U_{p1}/k_1 \approx 0.015 \text{ dB}$

- (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  $k_2=\sqrt{3}$

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  $k_3=\sqrt{3}$

标准不确定度  $u_3=a_3/k_3=0.0115\text{dB}$

(4) 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 3500MHz，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 5G 综测仪，重复测量 10 次，测量结果如下表：

表 C.4 5G 射频分析仪小功率测量结果

| 测量次数 | 5G 综测仪实测值(dBm) |
|------|----------------|
| 1    | -10.15         |
| 2    | -10.13         |
| 3    | -10.11         |
| 4    | -10.15         |
| 5    | -10.10         |
| 6    | -10.08         |
| 7    | -10.13         |
| 8    | -10.11         |
| 9    | -10.10         |
| 10   | -10.15         |

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  $\leq 1.2$ ，即  $|\Gamma_u|=0.091$ ，则失配误差  $a_5=4.34 \times 2 \times 0.0476 \times 0.2=0.0826\text{dB}$ ，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 5G 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  $\leq 1.2$ ，即  $|\Gamma_u|=0.091$ ，被测 5G 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

(1) 合成标准不确定度

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^6 u_i^2} = 0.075\text{dB}$$

(2) 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，扩展不确定度  $U$  为： $U=k \times u_c=0.15\text{dB}$

## C.5 误差矢量幅度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

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

式中：

$EVM_{scRMS}$ ——被校 5G 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， $NSR_{sc0} = \frac{4}{(2 - EVM_{scRMS0})^2} - 1$ ，

其中  $EVM_{scRMS0}$  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  $ISR = P_{cw}/P_0$ 。

#### 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  $u_1$

5G 信号发生器输出 5G 调制信号，频率 5000MHz，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：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial EVM_{RMS0}}\right)^2 u_2^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_0}\right)^2 u_3^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial P_{cw}}\right)^2 u_4^2} = 0.18\%$$

- (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

$$EVM_{RMS} = \left[ 2 - 2 \sqrt{\frac{1}{1 + NSR_0 + \frac{P_G}{P_s}}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中：

$EVM_{RMS}$ ——被校 5G 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  $u_1$ 。

5G 信号发生器输出 5G 调制信号，频率 5000MHz，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% (5 GHz), 0.89% (39 GHz)，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  $u_s = u_G = 1.03\text{dB}$  (5GHz)。

### 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  $U=k \times u_c=0.40\%$ 。