

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1278-20XX

蓝牙测试仪校准规范

Calibration Specification for Bluetooth Test Set

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

蓝牙测试仪校准规范

Calibration Specification for Bluetooth Test Set

JJF 1278—20XX
代替 JJF1278-2011

归口单位： 全国无线电计量技术委员会

主要起草单位： 上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

电信科学技术第一研究所有限公司

参加起草单位： 中国科学院上海高等研究院

江苏省计量科学研究院

中国信息通信研究院

电信科学技术第一研究所有限公司

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：

xxx（上海市计量测试技术研究院）

xxx（中国计量科学研究院）

xxx（电信科学技术第一研究所有限公司）

参加起草人：

xxx（中国科学院上海高等研究院）

xxx（江苏省计量科学研究院）

xxx（中国信息通信研究院）

xxx（电信科学技术第一研究所有限公司）

目 录

1	范围.....	2
2	引用文献.....	2
3	术语和定义.....	2
4	概述.....	2
5	计量特性.....	3
5.1	参考晶体振荡器.....	3
5.2	射频信号.....	3
5.3	数字调制信号.....	3
5.4	数字解调分析参数.....	5
5.5	功率测量.....	5
5.6	射频端口电压驻波比.....	5
6	校准条件.....	6
6.1	环境条件.....	6
6.2	校准所用计量标准、仪表设备.....	6
7	校准项目和校准方法.....	7
7.1	外观及工作正常性检查.....	7
7.2	参考晶体振荡器输出频率.....	7
7.3	信号发生器输出频率.....	7
7.4	信号发生器输出电平.....	8
7.5	信号发生器频谱纯度.....	8
7.6	信号发生器单边带相位噪声.....	9
7.7	信号发生器数字调制质量参数.....	10
7.8	数字调制信号-20dB 带宽.....	11
7.9	功率测量.....	12
7.10	数字解调质量参数.....	13
7.11	频率测量.....	14
7.12	射频端口电压驻波比.....	14
7.13	功能检查.....	14
8	校准结果表达.....	15
9	复校时间间隔.....	16
	附录 A 校准记录格式.....	17
	附录 B 主要项目校准结果不确定度评定实例.....	29

引言

本规范依据 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》编制。

本规范是对 JJF1278-2011《蓝牙测试仪校准规范》进行修订，与 JJF1278-2011 相比，主要修订的内容包括：

——计量特性增加低能耗蓝牙标准的技术指标，包括数字调制质量参数、数字调制信号-20dB 带宽、数字调制信号邻道功率、数字解调分析参数等

——信号发生器数字调制质量参数增加低能耗蓝牙标准的测量方法

——修改了功率测量项目的测量方法

——数字解调质量参数增加低能耗蓝牙标准的测量方法

——功能检查增加低能耗蓝牙标准的检查步骤

本规范历次版本发布情况为：

——JJF1278-2011。

蓝牙测试仪校准规范

1 范围

本校准规范适用于蓝牙测试仪的校准。

2 引用文献

JJF1174-2017 矢量信号发生器校准规范

射频规范，蓝牙核心规范版本 5.3，第 2 卷 基础速率/增强速率控制器，A 部分 2021 年 07 月 13 日（RADIO SPECIFICATION, BLUETOOTH CORE SPECIFICATION Version 5.3 | Vol 2 BR/EDR Controller, Part A, July 13, 2021, Bluetooth SIG）

物理层规范，蓝牙核心规范版本 5.3，第 6 卷 低能耗控制器，A 部分 2021 年 07 月 13 日（PHYSICAL LAYER SPECIFICATION, BLUETOOTH CORE SPECIFICATION Version 5.3 | Vol 6 Low Energy Controller, Part A, July 13, 2021, Bluetooth SIG）

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和定义

3.1 频移键控误差（FSK Error）

频移键控误差为 FSK 测量信号与 FSK 参考信号之差，以频偏的百分数来表示，是一个标量误差。FSK 为频移键控，通过键控正弦载波的频率来传输符号。FSK 测量信号为调频信号解调、滤波、载波锁定和符号锁定后的测量信号。

3.2 差分误差矢量幅度DEV M (Differential Error Vector Magnitude)

DEV M是蓝牙增强数据速率（EDR）的调制质量参数，代表蓝牙增强数据速率的发射信号的连续符号在通过特定的测量滤波器后，以符号率和最佳采样相位采样、并补偿载波频率偏差和理想载波相位变化后得到的矢量序列，这些矢量之间的偏差即为差分误差矢量，差分误差矢量的归一化幅度即为差分误差矢量幅度。

3.3 GFSK调制（Gaussian Frequency Shift Keying）

为数字通信中的一种调制方式，中文名称为高斯滤波二进制频移键控。

3.4 $\pi/4$ -DQPSK调制（ $\pi/4$ - Differential Quadrature Phase Shift Keying）

为数字通信中的一种调制方式，中文名称为 $\pi/4$ 差分正交相移键控；PSK为相移键控，通过键控正弦波的相位传输符号。

3.5 8DPSK调制(8 Differential Phase Shift Keying)

为数字通信中的一种调制方式，中文名称为8相差分相移键控。

4 概述

蓝牙（Bluetooth）是一种支持设备短距离通信（一般 10m 内）的无线电技术，能在移动电话、PDA、无线耳机、笔记本电脑等众多设备之间进行无线信息交换。蓝牙（Bluetooth Test Set）测试仪是由参考振荡器、数字调制信号发生器、功率分析仪、数字解调分析仪等构成的综合性测试仪器，主要用于蓝牙设备的研发、生产等环节。

5 计量特性

5.1 参考晶体振荡器

5.1.1 频率：10MHz

5.1.2 最大允许误差： $\pm 1 \times 10^{-6}$

5.2 射频信号

5.2.1 频率范围及最大允许误差：2.402GHz~2.480GHz， $\pm 1 \times 10^{-6}$

5.2.2 输出电平范围及最大允许误差：-90dBm ~0dBm； ± 1.0 dB

5.2.3 二、三次谐波： < -30 dBc

5.2.4 分谐波： < -40 dBc

5.2.5 单边带相位噪声： < -70 dBc/Hz，偏置频率 20kHz

5.3 数字调制信号

5.3.1 数字调制质量参数

5.3.1.1 蓝牙 Basic Rate 模式

GFSK 调频指数范围：0.28~0.35 (即频偏范围 125kHz~190kHz)

调频指数最大允许误差 (基带滤波器 BT=0.5)： $\pm 1\%$

5.3.1.2 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式

1) $\pi/4$ -DQPSK 调制：均方根 DEVM (基带滤波器 BT=0.4) $\leq 5\%$

2) 8DPSK 调制：均方根 DEVM (基带滤波器 BT=0.4) $\leq 5\%$

3) 频率最大允许误差： ± 0.5 kHz (时基同步)。

5.3.1.3 蓝牙 Low Energy 模式

GFSK 调频指数范围：0.45~0.55 (即频偏范围 225kHz~275kHz)

调频指数最大允许误差 (基带滤波器 BT=0.5)： $\pm 1\%$

5.3.1.4 频率最大允许误差： ± 0.5 kHz (时基同步)

5.3.2 数字调制信号-20dB 带宽

GFSK (Basic Rate) 调制信号： < 1 MHz

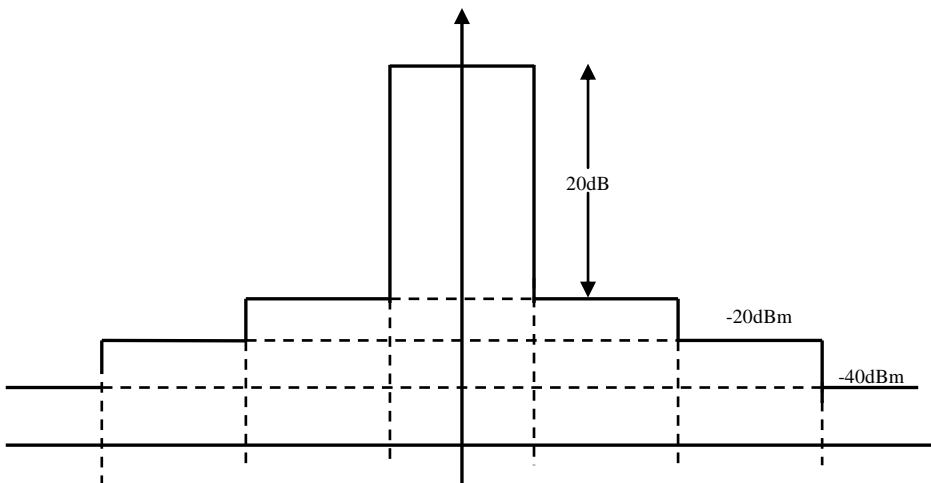
$\pi/4$ -DQPSK 调制信号以及 8DPSK 调制信号： < 1.5 MHz

GFSK (Low Energy) 调制信号： < 2 MHz

5.3.3 数字调制信号邻道功率 (发射频谱模板)

5.3.3.1 GFSK 调制 (Basic Rate)

频率偏置	输出功率
± 500 kHz	≤ -20 dBc
2MHz ($ M-N =2$)	≤ -20 dBm
3MHz 或以上 ($ M-N \geq 3$)	≤ -40 dBm



Fc-2.5MHz Fc-1.5MHz Fc-0.5MHz Fc Fc+0.5MHz Fc+1.5MHz Fc+2.5MHz

图1 蓝牙 GFSK (Basic Rate) 调制发射频谱模板

5.3.3.2 $\pi/4$ -DQPSK/8DPSK 调制 (Enhanced Data Rate)

$\pi/4$ -DQPSK 调制信号以及 8DPSK 调制

频率偏置	输出功率
$\pm (1\text{MHz}\sim 1.5\text{MHz})$	$\leq -26\text{dBc}$
$\pm (1.5\text{MHz}\sim 2.5\text{MHz})$	$\leq -20\text{dBm}$
$\pm 2.5\text{MHz}$ 或以上	$\leq -40\text{dBm}$

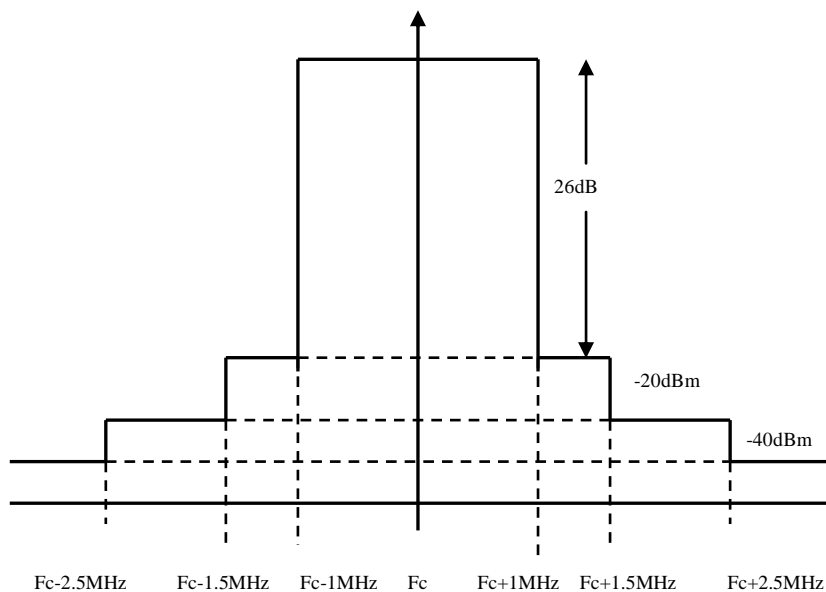


图2 蓝牙 $\pi/4$ -DQPSK 调制信号以及 8DPSK 调制发射频谱模板

5.3.3.3 GFSK 调制 (Low Energy)

(1) LE 1Mbit/s and LE Coded PHYs

频率偏置	输出功率
2MHz ($ M-N =2$)	$\leq -20\text{dBm}$
3MHz 或以上 ($ M-N \geq 3$)	$\leq -30\text{dBm}$

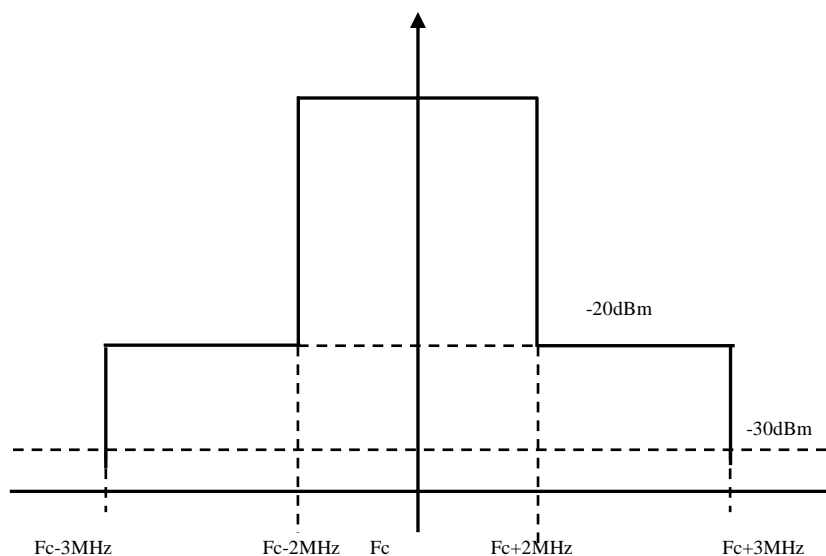


图3 蓝牙 GFSK (LE 1Mbit/s and LE Coded PHYs) 调制发射频谱模板

(2) LE 2Mbit/s

频率偏置	输出功率
4MHz ($ M-N =4$)	$\leq -20\text{dBm}$
5MHz ($ M-N =5$)	$\leq -20\text{dBm}$
6MHz 或以上 ($ M-N \geq 6$)	$\leq -30\text{dBm}$

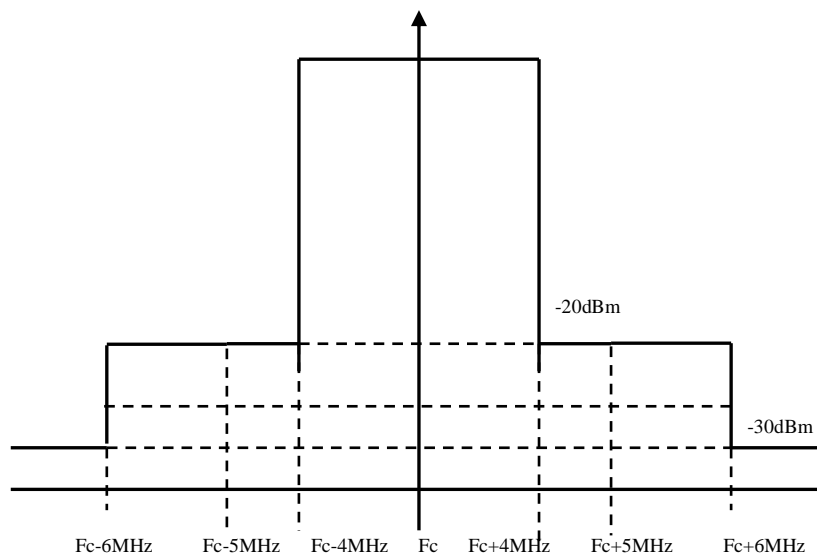


图4 蓝牙 GFSK (LE 2Mbit/s) 调制发射频谱模板

注：括号内的 M 为发送信号的频道号，N 为待测信号的相邻频道号。

5.4 数字解调分析参数

5.4.1 GFSK 调制 (Basic Rate)

- 1) 频率范围：2.402GHz~2.480GHz
- 2) 频偏测量范围：0Hz~350kHz
- 3) 频偏测量最大允许误差 (调频指数 0.32)： $\pm 1\text{kHz}$;

5.4.2 $\pi/4$ -DQPSK 调制和 8DPSK 调制 (Enhanced Data Rate)

均方根 DEVM $\leq 5\%$

5.4.3 GFSK 调制 (Low Energy)

- 1) 频率范围：2.402GHz~2.480GHz
- 2) 频偏测量范围：0Hz~350kHz
- 3) 频偏测量最大允许误差 (调频指数 0.5)： $\pm 1\text{kHz}$

5.4.4 频率测量

频率范围：2.402GHz~2.480GHz

频率测量最大允许误差： $\pm (\text{频率读数} \times \text{参考晶体振荡器频率最大允许误差} + 0.5\text{kHz})$

5.5 功率测量

频率范围：2.402GHz~2.480GHz

测量范围：-70dBm~22dBm

最大允许误差： $\pm 1.0\text{dB}$

5.6 射频端口电压驻波比

射频端口电压驻波比 ≤ 1.5

注：由于校准不作出合格与否的结论，以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考；各类型的蓝牙测试仪的技术指标可参考其技术说明书。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：15℃~25℃

6.1.2 相对湿度：≤80%

6.1.3 电源电压及频率：198V~232V，48Hz~52Hz

6.1.4 周围无强电磁场干扰及无影响校准系统正常工作的机械振动。

6.2 校准所用计量标准、仪表设备

6.2.1 功率计及功率探头

频率范围：10MHz~3GHz

连续波功率测量范围：-70dBm~20dBm

参考功率测量最大允许误差：±2%

功率测量线性：±3%

6.2.2 频率计数器

频率范围：10Hz~3GHz

频率计数最大允许误差：±1×10⁻⁷

6.2.3 矢量信号发生器

具有蓝牙矢量信号发生功能（支持 Basic Rate、Enhanced Data Rate、Low Energy 速率调制信号）

频率范围：10MHz~3GHz，频率最大允许误差：±1×10⁻⁷

输出电平范围：-90dBm~0dBm

输出电平最大允许误差：±1.0dB

GFSK 频偏最大允许误差：±1%

π/4-DQPSK 调制和 8DPSK 调制最大均方根 DEVM：1%

6.2.4 频谱分析仪

频率上限：8GHz

电平测量范围：-120dBm~30dBm

6.2.5 网络分析仪

频率范围：100MHz~3GHz

方向性：>40dB

6.2.6 矢量信号分析仪

具有蓝牙 GFSK 矢量分析功能（Basic Rate 和 Low Energy）和蓝牙 π/4-DQPSK 调制及 8DPSK 调制分析功能，同时具有测量 5.3 中所列出的所有参数的功能。

频率范围：应覆盖蓝牙测试仪的频率范围

GFSK 调制频偏测量最大允许误差：±1%

π/4-DQPSK 调制和 8DPSK 调制信号解调剩余 DEVM(RMS)：1.0%。

6.2.7 功率放大器

频率范围：2.4GHz~2.5GHz，最大输出功率不小于 22dBm，增益 30dB，输出端口电压驻波比小于 1.5。

6.2.8 衰减器

频率范围：2GHz~3GHz，最大允许输入功率：2W

衰减值：20dB

输入输出端口电压驻波比：小于 1.2

7 校准项目和校准方法

校准项目见表 1

表 1 校准项目表

序号	校准项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	参考晶体振荡器输出频率
3	信号发生器输出频率
4	信号发生器输出电平
5	信号发生器频谱纯度
6	信号发生器单边带相位噪声
7	信号发生器数字调制质量参数
8	数字调制信号-20dB 带宽
9	功率测量
10	数字解调质量参数
11	频率测量
12	射频端口电压驻波比
13	功能检查

7.1 外观及工作正常性检查

7.1.1 被校蓝牙测试仪应有说明书及全部配套附件。

7.1.2 被校蓝牙测试仪各开关、按键等应调节正常。仪表不应有影响电气性能的机械损伤。

7.1.3 校准之前，仪器应按照仪器说明书要求预热及完成自校准。

7.2 参考晶体振荡器输出频率

1) 仪表连接如图 5 所示。

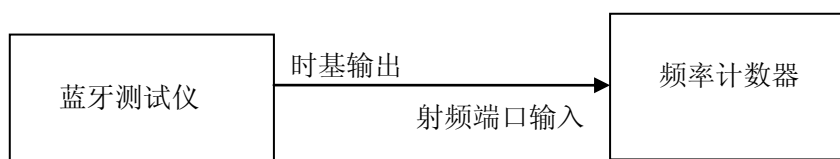


图 5 参考晶体振荡器输出频率

2) 按图 5 连接仪表，设定频率计的闸门时间为 1s 或频率计的频率分辨率设置为 0.1Hz，测量实际频率值，并记录于附录 A 表 A.1 中。

7.3 信号发生器输出频率

1) 仪表连接如图 6 所示。

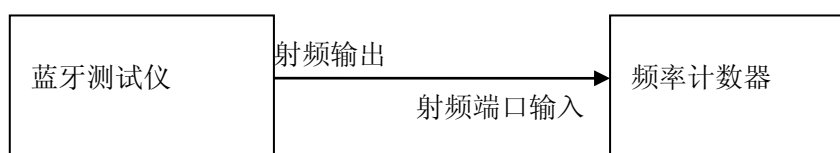


图 6 信号发生器输出频率

2) 被校蓝牙测试仪设置为信号发生器连续波 (CW) 模式, 设置频率为 2.402GHz, 输出电平为 0dBm, 射频输入输出端口衰减设为 0dB; 设定频率计的闸门时间为 1s 或频率计数器频率分辨率设置为 1Hz, 记录频率实测值, 并记录于原始记录附录 A 表 A.2 中。

3) 根据附录 A 表 A.2 中的频率改变信号发生器输出频率, 重复步骤 2) 直至频率范围最高频率 2.480GHz。

7.4 信号发生器输出电平

1) 仪表连接如图 7 所示。

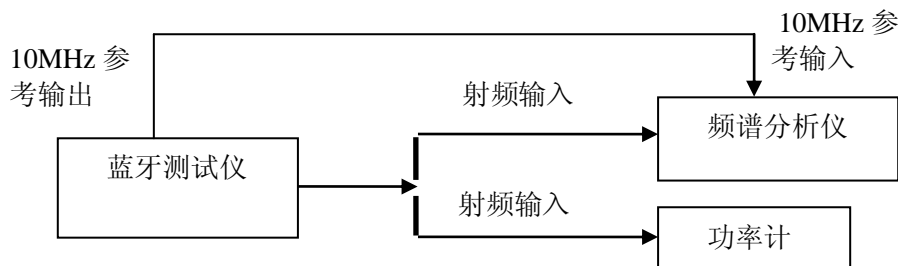


图 7 信号发生器输出电平

2) 被校蓝牙测试仪设置为信号发生器连续波模式, 输出频率设置为 2.402GHz, 输出电平设置为 0dBm, 射频输入输出端口衰减设为 0dB; 设置功率计校准因子, 从功率计上读出功率电平值 P_L 值, 记录于附录 A 表 A.3 中。

3) 保持蓝牙测试仪输出电平不变, 将蓝牙测试仪输出连接至频谱分析仪 (以下简称频谱仪) 的射频输入端口, 将频谱仪中心频率设置为 2.402GHz, 参考电平设置为 5dBm, 输入衰减设置为自动或 10dB, 分辨率带宽设置为 300Hz, 扫频带宽 10kHz, 并且使噪声电平小于参考电平 100dB 左右, 将标记功能 (Marker) 设置为峰值电平跟踪, 打开平均功能, 平均数为 20 次, 记录标记 (Marker) 处的稳定功率电平值 P_1 于附录 A 表 A.3 中。

4) 保持频谱仪的设置不变, 然后将蓝牙测试仪的信号发生器输出电平从 0dBm 减小 5dB 变为 -5dBm, 这时在频谱仪读出标记处稳定功率电平值 P_2 并记录于附录 A 表 A.3 中。

5) 由式 (1) 计算被测功率电平 -5dBm 的实测值 P_s , 记录于附录 A 表 A.3 中对应位置。

$$P_s = P_L + (P_2 - P_1) \quad (1)$$

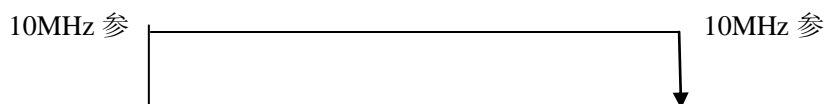
6) 蓝牙测试仪的信号发生器输出电平按每步减小 5dB 来继续设置, 重复步骤 4) ~ 5), 直至输出电平 -90dBm 为止。

7) 根据附录 A 表 A.4 及表 A.5 中不同的频率点重复步骤 1) ~ 步骤 6) 并记录于附录 A 表 A.4 及表 A.5 中。

注: 在使用频谱仪时, 扫频带宽、输入衰减器衰减值、参考电平按要求设置以后, 应保持不变。

7.5 信号发生器频谱纯度

1) 仪表连接如图 8 所示。



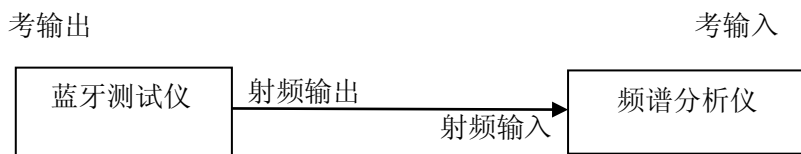


图 8 信号发生器频谱纯度

2) 被校蓝牙测试仪设置为信号发生器连续波模式，输出频率设置为 2.402GHz，输出电平为 0dBm，射频输入输出端口衰减设为 0dB。

3) 将被校蓝牙测试仪射频输出与频谱仪的射频输入相连，设置频谱仪扫频带宽 (Span) 为 10kHz，分辨力带宽 (RBW) 小于 1kHz，参考电平设置在 0dBm，使用标记 (Marker) 峰值跟踪功能，将中心频率设置为相应频率点，并测量基波功率电平 L_1 (2.402GHz)、二次谐波功率电平 L_2 (4.804GHz)、三次谐波功率电平 L_3 (7.206GHz) 和 1/2 次分谐波功率电平 $L_{1/2}$ (1.201GHz)，并按下面式(2)、式(3)和式(4)计算二次谐波和 1/2 次分谐波的频谱纯度，记录于附录 A 表 A.6 中。

$$\text{二次谐波} \quad a_2 = L_2 - L_1 \quad (2)$$

$$\text{三次谐波} \quad a_3 = L_3 - L_1 \quad (3)$$

$$\text{1/2 次谐波} \quad a_{1/2} = L_{1/2} - L_1 \quad (4)$$

4) 根据附录 A 表 A.6 中的频率改变蓝牙测试仪输出频率重复步骤 2) ~3) 并记录于附录 A 表 A.6 中。

7.6 信号发生器单边带相位噪声

7.6.1 直接使用频谱分析仪测量

1) 仪表连接仍然如图 8 所示。

2) 蓝牙测试仪设置为信号发生器连续波模式，输出频率为 2.402GHz，输出电平为 0dBm，射频输入输出端口衰减设为 0dB。

3) 设置频谱仪中心频率 (Center Frequency) 为 2.402GHz，扫频带宽 (Span) 为 50kHz，分辨力带宽 (RBW) 小于 1kHz，参考电平为 0dBm，使用选择标记 (Marker) 功能，测量载波功率电平 L_c (dBm) 和偏离载波 20kHz 处的功率电平与载波功率电平 L_0 (dBm)，记录于附录 A 表 A.7 中。

4) 信号发生器单边带相位噪声按式 (5) 计算：

$$\mathcal{L}(2.402\text{GHz}, 20\text{kHz}) = L_0 - L_c - 10\lg[\text{RBW}(\text{Hz})] \quad (5)$$

5) 在不同的偏置频率，并改变相应的扫频带宽 (一般为 2.5 倍的偏置频率)，重复步骤 2) ~4)，将结果记录于附录 A 表 A.7 中。

6) 在信号发生器不同的输出频率上，重复步骤 2) ~5)。

7.6.2 频谱分析仪具有相位噪声测量选件

1) 仪表的连接如图 8 所示。

2) 蓝牙测试仪设置为信号发生器连续波模式，输出频率为 2.402GHz，输出电平为 0dBm，射频输入输出端口衰减设为 0dB。

3) 频谱分析仪选择相位噪声测量选件功能，频谱仪频率 (frequency) 设定为 2.402GHz，扫描带宽 (span) 起始值设为 20Hz，终止值设为 2MHz，相位噪声的显示方式设定为点 (spot) 显示，按频率 (frequency) 键，再按频率搜寻 (frequency search) 键自动搜索频率待测频率的相位噪声，待相位噪声曲线显示完整后，使用频谱仪中的标记 (marker) 键设定所需要测量相位噪声的频率偏置点，从频谱分析仪中读出相位噪声值，记录于附表 A 表 A.8 中。

4) 将标记 (marker) 设定为不同的偏置频率，从频谱仪中读出相位噪声值，记录于附表 A 表 A.8 中。

5) 在信号发生器不同的输出频率上, 重复步骤 2) ~4)。

7.7 信号发生器数字调制质量参数

7.7.1 蓝牙 Basic Rate 模式 GFSK 数字调制质量参数

1) 仪表连接如图 9 所示。

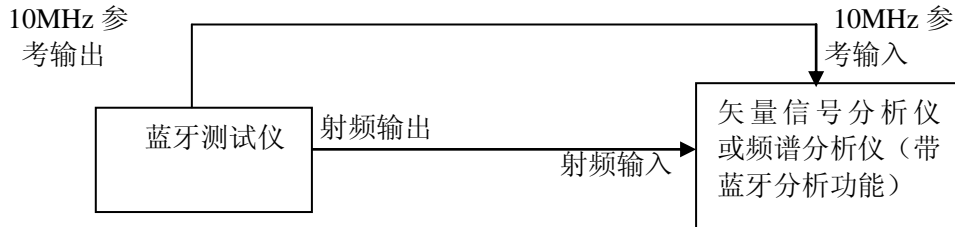


图 9 信号发生器数字调制质量参数

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器, 调制方式为 GFSK, 输出频率设置为 2.402GHz, 调制频偏为 160kHz 或调频指数设定为 0.32, 输出功率 -10dBm, 射频输入输出端口的衰减设为 0dB, 数据码型为 10101010。

3) 矢量信号分析仪中心频率设置为 2.402GHz, 参考电平量程设置为 -10dBm, 选择数字解调, 解调方式设定为蓝牙 GFSK, 选择脉冲 (pulse) 搜寻方式, 结果长度选择 200 符号, 显示结果选择调制准确度 (Mod Accuracy)。

4) 在测量结果中读出频偏、频率误差, 记录在附录 A 表 A.9 中。

5) 将步骤 2) 中的数据码型设定为 00001111, 重复步骤 3) ~4), 将结果记录于附录 A 表 A.9 中。

6) 将步骤 2) 中的数据码型设定为 PRBS9, 读取 FSK Err、频率误差, 记录于附录 A 表 A.9 中的相应位置。

7) 将频率设定为 2.440GHz, 2.480GHz, 重复步骤 2) ~6), 记录于附录 A 表 A.9 中的相应位置。

7.7.2 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 $\pi/4$ -DQPSK 数字调制质量参数

1) 仪表连接如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器, 数据速率设为 2Mbit/s 及调制方式设定为 $\pi/4$ -DQPSK, 频率为 2.402GHz, 输出电平为 -10dBm, 射频输入输出端口衰减设为 0dB, 数据码型为 PRBS9。

3) 矢量信号分析仪中心频率设置为 2.402GHz, 参考电平量程设置为 -10dBm, 选择数字解调分析, 调制方式设定为 $\pi/4$ -DQPSK, 符号率设定为 1MHz, 测量滤波器选择为根升余弦 (Root Raised Cosine), 参考滤波器设定为升余弦 (Raised Cosine), 带宽滤波器积 (Alpha/ BT) 设定为 0.4, 结果长度选择 200 符号, 从调制准确度 (Mod Accuracy) 结果中读取均方根 DEVM 和频率误差, 将结果记录于附录 A 表 A.10 中。

4) 将频率设定为 2.440GHz, 2.480GHz, 重复以上步骤 2) ~3), 将结果记录在附录 A 表 A.10 中相应位置。

7.7.3 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 8DPSK 数字调制质量参数

增强数据速率 8DPSK 数字调制准确度的校准步骤参照 7.7.2, 调制方式设定成 8DPSK 来完成, 将结果记录在附录 A 表 A.11 中相应位置。

7.7.4 蓝牙 Low Energy 模式 GFSK 数字调制质量参数

1) 仪表连接如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器, 调制方式为 GFSK, 输出

频率设置为 2.402GHz，调制频偏为 250kHz 或调频指数设定为 0.5，输出功率 -10dBm，射频输入输出端口的衰减设为 0dB，数据码型为 00001111。

3) 矢量信号分析仪中心频率设置为 2.402GHz，参考电平量程设置为 -10dBm，选择数字解调，解调方式设定为蓝牙 GFSK，触发方式为 Rising Edge 模式，结果长度选择 200 符号，显示结果选择调制准确度 (Mod Accuracy)。

4) 在测量结果中读出频偏 Δf_1 、频率误差，记录在附录 A 表 A.9 中。

5) 将步骤 2 中的数据码型设定为 01010101，重复步骤 3) ~ 4)，在测量结果中读出频偏 Δf_2 、频率误差，将结果记录于附录 A 表 A.9 中。

6) 将频率设定为 2.440GHz，2.480GHz，重复步骤 2) ~ 5)，记录于附录 A 表 A.9 中的相应位置。

7.8 数字调制信号-20dB 带宽

7.8.1 蓝牙 Basic Rate 模式 GFSK 调制信号-20dB 带宽

1) 仪表连接图如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器，调制方式为 GFSK，频率为 2.402GHz，输出功率为 -10dBm，数据码型设定于 PRBS9。

3) 矢量信号分析仪频率设定为 2.402GHz，参考电平量程设置设定为 -10dBm，选择信号最大保持方式，在频谱显示窗口使用矢量信号分析仪中的占用带宽 (OBW) 测量功能，将功率值选择为 99% (即为 -20dB)，此带宽应该小于 1MHz。将结果记录于附录 A 表 A.12 中。

4) 将频率设定为 2.440GHz，2.480GHz，重复以上步骤 2) ~ 3)，并将结果记录于附录 A 表 A.12 中相应位置。

7.8.2 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 $\pi/4$ -DQPSK 调制信号-20dB 带宽

1) 仪表连接如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器，数据速率为 2Mbit/s 或者调制方式设定为 $\pi/4$ -DQPSK，频率为 2.402GHz，输出电平为 -10dBm，突发 (burst) 选择为连续输出。

3) 矢量信号分析仪频率设定为 2.402GHz，参考电平量程设置为 -10dBm，选择信号最大保持方式，在频谱显示窗口使用矢量信号分析仪中的占用带宽 (OBW) 测量功能，将功率值选择为 99% (即为 -20dB)，将结果记录于附录 A 表 A.13 中，此带宽应该小于 1.5MHz。

4) 将频率设定为 2.440GHz 及 2.480GHz，重复以上步骤 2) ~ 3)，并将结果记录于附录 A 表 A.13 中相应位置。

7.8.3 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 8DPSK 调制信号-20dB 带宽

调制方式设成 8DPSK，校准步骤重复 7.8.2，将结果记录于附录 A 表 A.14 中相应位置。

7.8.4 蓝牙 Low Energy 模式 GFSK 调制信号-20dB 带宽

1) 仪表连接图如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器，调制方式为 GFSK，频率为 2.402GHz，输出功率为 -10dBm，数据码型设定于 PRBS9。

3) 矢量信号分析仪频率设定为 2.402GHz，参考电平量程设置设定为 -10dBm，选择信号最大保持方式，在频谱显示窗口使用矢量信号分析仪中的占用带宽 (OBW) 测量功能，将功率值选择为 99% (即为 -20dB)，此带宽应该小于 2MHz。将结果记录于附录 A 表 A.12 中。

4) 将频率设定为 2.440GHz，2.480GHz，重复以上步骤 2) ~ 3)，并将结果记录于附录 A 表 A.12 中相应位置。

7.9 功率测量

7.9.1 -50dBm~0dBm 小功率测量

1) 仪表连接如图 10 所示。功率分配器的输出端 1 接于蓝牙测试仪 RF 端口 1，功率分配器的输出端 2 接于功率计探头。

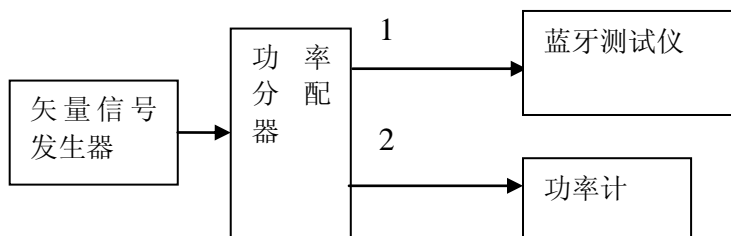


图 10 功率测量（小功率测量）

2) 功率计校零和自校准。

3) 矢量信号发生器输出连续波信号，频率设定为 2.402GHz，调节矢量信号发生器输出电平使得功率计上指示原始记录中所示的标准功率值 0dBm，即为标准小功率值 P_s (dBm)。

4) 被校蓝牙测试仪选择功率测量，射频输入输出端口衰减设为 0dB，设置频率为 2.402GHz，期待电平设置为 0dBm 或自动，在被校蓝牙测试仪的功率测量屏幕上读出功率值 P_u (dBm)，并记录于附录 A 表 A.15 中。

5) 根据附录 A 表 A.15 中不同的输入电平值重复步骤 3) ~4)。

6) 根据附录 A 表 A.16、A.17，在不同的频率点重复步骤 3) ~5)。

7.9.2 10dBm~22dBm 中功率测量

1) 仪表连接如图 11 所示。功率分配器的输出端 1 接于 WLAN 测试仪 RF 端口 1，功率分配器的输出端 2 连接到衰减器输入端，衰减器输出连接到功率计探头。

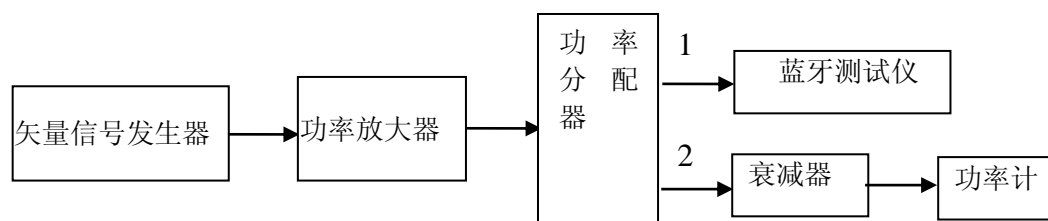


图 11 功率测量（中功率测量）

2) 功率计校零和自校准。

3) 打开功率放大器，调节放大增益为 30dB 左右。

4) 矢量信号发生器输出连续波信号，设置输出频率为 2.402GHz，输出功率电平初设为 -20dBm，细微调整矢量信号发生器输出电平使得功率计上指示功率为 -10dBm。此时的标准中功率值为功率计指示值 -10dBm 加上衰减器的衰减值 20dB，即 10dBm。

5) 被校蓝牙测试仪选择功率测量，射频输入输出端口衰减设为 0dB，设置频率为 2.402GHz，设置期待电平为 10dBm 或自动，准备就绪后打开矢量信号发生器输出。

6) 在被校蓝牙测试仪的功率测量屏幕上读出功率值 P_u (dBm)，并记录于附录 A 表 A.15 中与 10dBm 相对应位置。

7) 根据附录 A 表 A.15, 重复步骤 3) ~6) 直至功率至 22dBm。

8) 根据附录 A 表 A.16 及表 A17, 改变射频信号发生器的输出频率, 重复步骤 3) ~7), 并将结果记录于附录 A 表 A.16 及表 A17 中相应位置。

7.10 数字解调质量参数

7.10.1 蓝牙 Basic Rate 模式 GFSK 调制频偏测量

1) 仪表连接如图 12 所示。

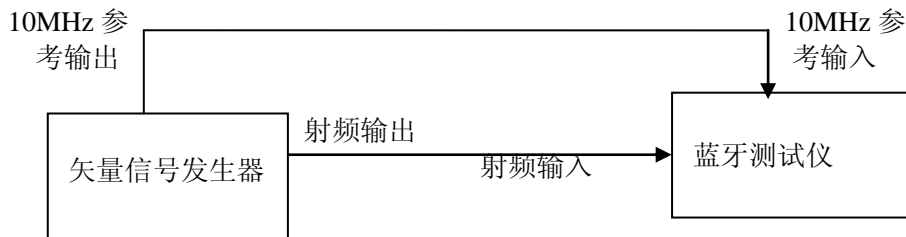


图 12 数字解调质量参数

2) 设定矢量信号发生器频率为 2.402GHz, 电平设定为-10dBm, 矢量信号发生器选择蓝牙基本速率调制模式, 频偏为 160kHz, 数据码型为 00001111。

3) 被校蓝牙测试仪选择 GFSK 调制频偏测量, 频率为 2.402GHz 期待电平设定为-10dBm 或自动, 选择调制方式为 GFSK, 读取频偏值和频率误差, 将结果记录于附录 A 的表 A.18 中。

4) 改变测量频率为 2.440GHz 和 2.480GHz, 重复以上步骤, 将结果记录于附录 A 的表 A.18 中相对应位置。

7.10.2 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 $\pi/4$ -DQPSK 数字解调质量参数

1) 仪表连接如图 12 所示

2) 设定矢量信号发生器频率为 2.402GHz, 输出电平设定为-10dBm, 矢量信号发生器选择蓝牙增强数据速率调制模式, 调制方式设定为 $\pi/4$ -DQPSK, 数据码型为 PRBS, 打开矢量信号发生器输出。

3) 被校蓝牙测试仪设定为蓝牙增强数据速率分析, 调制方式选择 $\pi/4$ -DQPSK, 频率设定为 2.402GHz, 期待电平设定为-10dBm 或自动, 读取均方根 DEVM 和频率误差, 将结果记录于附录 A 表 A.19 中相对应位置。

4) 改变测量频率为 2.440GHz 和 2.480GHz, 重复步骤 2) ~3), 并将结果记录于附录 A 表 A.19 中相对应位置。

7.10.3 蓝牙 Enhanced Data Rate 模式 8DPSK 数字解调质量参数

增强数据速率 8DPSK 数字解调质量参数的校准步骤参照 7.10.2, 调制方式设定成 8DPSK 将结果记录于附录 A 表 A.20 中相对应位置。

7.10.4 蓝牙 Low Energy 模式 GFSK 调制频偏测量

1) 仪表连接如图 12 所示。

2) 设定矢量信号发生器频率为 2.402GHz, 电平设定为-10dBm, 矢量信号发生器选择蓝牙基本速率调制模式, 频偏为 250kHz, 数据码型为 01010101。

3) 被校蓝牙测试仪选择 GFSK 调制频偏测量, 频率为 2.402GHz 期待电平设定为-10dBm 或自动, 选择调制方式为 GFSK, 读取频偏值和频率误差, 将结果记录于附录 A 的表 A.18 中。

4) 改变测量频率为 2.440GHz 和 2.480GHz, 重复以上步骤, 将结果记录于附录 A 的表 A.18 中相对应位置。

7.11 频率测量

1) 仪表连接如图 13 所示。

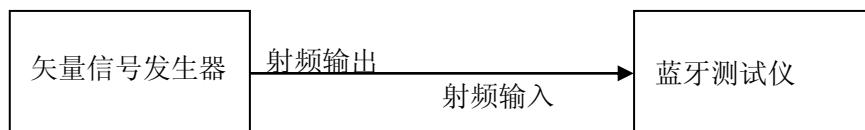


图 13 频率测量

2) 矢量信号发生器频率设定为 2.402GHz，电平设定为-10dBm，连续波输出。

3) 被校蓝牙测试仪设定为连续波频率测量，频率设定为 2.402GHz，期待电平设定为-10dBm 或自动，读取频率偏差指示值，将结果记录于附录 A 的表 A.21 中。

4) 改变测量频率为 2.440GHz 和 2.480GHz，重复以上步骤，将结果记录于附录 A 的表 A.21 中相对应位置。

7.12 射频端口电压驻波比

1) 仪表连接如图 14 所示。

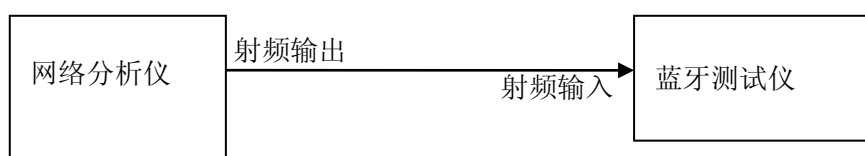


图 14 射频端口电压驻波比

2) 网络分析仪充分预热后，首先使用校准件自校准。设定网络分析仪起始频率为 2.400GHz，终止频率为 2.500GHz，使用标记 (marker) 键读取 2.402GHz、2.440GHz、和 2.480GHz 驻波系数及 2.402GHz~2.480GHz 范围内的驻波系数最大值，并记录于附录 A 表 A.22 中。

7.13 功能检查

7.13.1 蓝牙 Basic Rate 模式 GFSK 调制数字调制信号邻道功率 (发射频谱模板) 检查

1) 仪表连接如图 9 所示。

2) 被校蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器，调制方式为 GFSK，频率为 2.402GHz，输出功率为 0dBm，数据码型为 PRBS9。

3) 将被校蓝牙测试仪的输出信号输入至矢量分析仪，矢量分析仪中心频率设置为 2.402GHz，参考电平量程设置为 5dBm，扫描带宽 (span) 设定为 10MHz，分辨力带宽 (RBW) 设定为 100kHz，轨迹设定为最大保持，在频谱显示窗口使用矢量信号分析仪中的占用带宽 (OBW) 测量功能，将功率值选择为 99% (即为 -20dB)，读取占用带宽，若此带宽小于 1MHz，则满足要求。

4) 选择通道功率测量，功率测量带宽设定为 1MHz，将中心频率设定为 2402MHz + 2MHz 即 2.404GHz，读取功率值，应该小于 -20dBm；再将中心频率设定为 2402MHz + 3MHz 即 2.405GHz，选择通道功率测量，带宽设定为 1MHz，读取上述频率段内的信号最大值，应该小于 -40dBm。

5) 改变频率为 2.440GHz，2.480GHz，重复以上的方法，并将结果记录于附

录A表A.23中相对应位置。

7.13.2. 蓝牙Enhanced Data Rate模式 $\pi/4$ -DQPSK调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查

1) 仪表连接如图9所示。

2) 蓝牙测试仪设置为数字调制信号发生器增强数据速率 $\pi/4$ -DQPSK调制，数据速率设定为2Mbit/s，频率为2.402GHz，输出功率为0dBm，数据码型为PRBS9。

3) 矢量信号分析仪的中心频率设定为2.402GHz，参考电平量程设置为5dBm，显示窗口选择为频谱，扫描带宽（span）设定为10MHz，分辨力带宽（RBW）设定为100kHz，并将轨迹设定为最大保持，首先使用峰值（peak）选择最大值，再使用标记差（delta marker），改变标记差至1MHz~1.5MHz，接着改变标记差至-1MHz~-1.5MHz，读取上述频率段内的信号最大值，此值应该小于-26dB。

4) 矢量信号分析仪选择通道功率测量，功率测量带宽设定为1MHz，中心频率设定为2402MHz+2MHz即2.404GHz，读取功率值，应该小于-20dBm；再将中心频率设定为2402MHz+3MHz即2.405GHz，选择通道功率测量，带宽设定为1MHz，读取上述频率段内的信号最大值，应该小于-40dBm。

5) 改变频率为2.440GHz，2.480GHz，重复以上的方法，并将结果记录于附录A表A.23中相应的位置。

7.13.3 蓝牙Enhanced Data Rate模式8DPSK调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查

增强数据速率8DPSK调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查步骤参照7.13.2，调制方式设成8DPSK，并将结果记录于附录A表A.23中相对应位置。

7.13.4 蓝牙Low Energy模式GFSK调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查

蓝牙Low Energy GFSK调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查步骤参照7.13.1 蓝牙Basic Rate GFSK调制数字调制信号邻道功率（发射频谱模板）检查，并将结果记录于附录A表A.24中相对应位置。

8 校准结果表达

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 校准证书的唯一性标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- d) 送校单位的名称和地址；
- e) 被校仪器的描述和明确标识（如证书编号），每页及总页数的标识；
- f) 校准日期
- g) 校准依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述；
- j) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- k) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识，以及签发日期；
- l) 校准结果仅对被校仪器有效的声明；
- m) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

9 复校时间间隔

校准时间间隔由用户根据使用情况自行确定，但推荐为 1 年。

附录 A 校准记录格式

该记录表格以某给定型号的蓝牙测试仪校准要求为参考，给出的频率校准点，电平校准点以及误差限值，不同型号的蓝牙测试仪应根据其性能测试手册和技术指标采用相应的值。

校准记录格式

表 A.1 参考晶体振荡器输出频率

标称值/ MHz	实测值/ MHz
10	

表 A.2 信号发生器输出频率

示值/ GHz	实测值/ GHz
2.402	
2.410	
2.420	
2.430	
2.440	
2.450	
2.460	
2.470	
2.480	

表 A.3 信号发生器输出电平(频率 $f=2.402\text{GHz}$)

示值/ dBm	限值/dBm		实测值/dBm
	上限	下限	
0.0	1.0	-1.0	
-10.0	-9.0	-11.0	
-15.0	-14.0	-16.0	
-20.0	-19.0	-21.0	
-25.0	-24.0	-26.0	
-30.0	-29.0	-31.0	
-35.0	-34.0	-36.0	
-40.0	-39.0	-41.0	
-45.0	-44.0	-46.0	
-50.0	-49.0	-51.0	
-55.0	-54.0	-56.0	
-60.0	-59.0	-61.0	
-65.0	-64.0	-66.0	
-70.0	-69.0	-71.0	
-75.0	-74.0	-76.0	
-80.0	-79.0	-81.0	
-85.0	-84.0	-86.0	
-90.0	-89.0	-91.0	

表 A.4 信号发生器输出电平(频率 $f=2.440\text{GHz}$)

示值/ dBm	限值/dBm		实测值/ dBm
	上限	下限	
0.0	1.0	-1.0	
-10.0	-9.0	-11.0	
-15.0	-14.0	-16.0	
-20.0	-19.0	-21.0	
-25.0	-24.0	-26.0	
-30.0	-29.0	-31.0	
-35.0	-34.0	-36.0	
-40.0	-39.0	-41.0	
-45.0	-44.0	-46.0	
-50.0	-49.0	-51.0	
-55.0	-54.0	-56.0	
-60.0	-59.0	-61.0	
-65.0	-64.0	-66.0	
-70.0	-69.0	-71.0	
-75.0	-74.0	-76.0	
-80.0	-79.0	-81.0	
-85.0	-84.0	-86.0	
-90.0	-89.0	-91.0	

表 A.5 信号发生器输出电平(频率 $f=2.480\text{GHz}$)

示值/ dBm	限值/dBm		实测值/ dBm
	上限	下限	
0.0	1.0	-1.0	
-10.0	-9.0	-11.0	
-15.0	-14.0	-16.0	
-20.0	-19.0	-21.0	
-25.0	-24.0	-26.0	
-30.0	-29.0	-31.0	
-35.0	-34.0	-36.0	
-40.0	-39.0	-41.0	
-45.0	-44.0	-46.0	
-50.0	-49.0	-51.0	
-55.0	-54.0	-56.0	
-60.0	-59.0	-61.0	
-65.0	-64.0	-66.0	
-70.0	-69.0	-71.0	
-75.0	-74.0	-76.0	
-80.0	-79.0	-81.0	
-85.0	-84.0	-86.0	
-90.0	-89.0	-91.0	

表 A.6 信号发生器频谱纯度

测试项目	电平/ dBm	频率/ GHz	下限/ dBc	实测值		
				dBm	dBm	dBc
二次谐波	0	2.402	< -30dBc	L_1	L_2	$a_2 = L_2 - L_1$
	0	2.440	< -30dBc	L_1	L_2	$a_2 = L_2 - L_1$
	0	2.480	< -30dBc	L_1	L_2	$a_2 = L_2 - L_1$
三次谐波	0	2.402	< -30dBc	L_1	L_3	$a_3 = L_3 - L_1$
	0	2.440	< -30dBc	L_1	L_3	$a_3 = L_3 - L_1$
	0	2.480	< -30dBc	L_1	L_3	$a_3 = L_3 - L_1$
1/2 次谐波	0	2.402	< -40dBc	L_1	$L_{1/2}$	$a_{1/2} = L_{1/2} - L_1$
	0	2.440	< -40dBc	L_1	$L_{1/2}$	$a_{1/2} = L_{1/2} - L_1$
	0	2.480	< -40dBc	L_1	$L_{1/2}$	$a_{1/2} = L_{1/2} - L_1$

表 A.7 信号发生器单边带相位噪声(采用频谱分析仪校准)

频率/GHz	频率偏置 /kHz	上限/ dBc/Hz	实测值		
			dBm	dBm	dBc/Hz
2.402	20	-70	L_C	L_0	$L_s = L_0 - L_C - 10\lg[\text{RBW}(\text{Hz})]$
2.402	250	-110			
2.402	400	-110			
2.402	1990	-110			
2.440	20	-70			
2.440	250	-110			
2.440	400	-110			
2.440	1990	-110			
2.480	20	-70			
2.480	250	-110			
2.480	400	-110			
2.480	1990	-110			

表 A.8 信号发生器单边带相位噪声(采用具有相位噪声选件的频谱分析仪校准)

频率/GHz	频率偏置 /kHz	上限/ dBc/Hz	实测值 dBc/Hz
2.402	20	-70	
2.402	250	-110	
2.402	400	-110	
2.402	1990	-110	
2.440	20	-70	
2.440	250	-110	
2.440	400	-110	
2.440	1990	-110	
2.480	20	-70	
2.480	250	-110	
2.480	400	-110	
2.480	1990	-110	

表 A.9 信号发生器 GFSK 调制质量参数

频率/ GHz	码型	参数	限值		结果
			下限	上限	
2.402	10101010	频偏 fd_1	115kHz	/	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	00001111	频偏 fd	140kHz	175kHz	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	/	$fd_1/fd=$	80%	/	
	PRBS9	FSK Err	/	1%	
频率误差		0.5kHz	-0.5kHz		
2.440	10101010	频偏 fd_1	115kHz	/	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	00001111	频偏 fd	140kHz	175kHz	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	/	$fd_1/fd=$	80%	/	
	PRBS9	FSK Err	/	1%	
频率误差		0.5kHz	-0.5kHz		
2.480	10101010	频偏 fd_1	115kHz	/	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	00001111	频偏 fd	140kHz	175kHz	
		频率误差	0.5kHz	-0.5kHz	
	/	$fd_1/fd=$	80%	/	
	PRBS9	FSK Err	/	1%	
频率误差		0.5kHz	-0.5kHz		

表 A.10 信号发生器增强数据速率 $\pi/4$ -DQPSK 数字调制质量参数

频率/GHz	参数	限值		实测值
		下限	上限	
2.402	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.440	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.480	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	

表 A.11 信号发生器增强数据速率 8DPSK 数字调制质量参数

频率/GHz	参数	限值		实测值
		下限	上限	
2.402	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.440	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.480	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	

表 A.12 GFSK 调制信号-20dB 占用带宽

频率/ GHz	上限值/ MHz	实测值/ MHz
2.402	1	
2.440	1	
2.480	1	

表 A.13 $\pi/4$ -DQPSK 调制信号-20dB 占用带宽

频率/ GHz	上限值/ MHz	实测值/ MHz
2.402	1.5	
2.440	1.5	
2.480	1.5	

表 A.14 8DPSK 调制信号-20dB 占用带宽

频率/ GHz	上限值/ MHz	实测值/ MHz
2.402	1.5	
2.440	1.5	
2.480	1.5	

表 A.15 功率测量 (频率 $f=2.402\text{GHz}$)

输入电平值 P_s/dBm	限值/dBm		指示值 P_w/dBm
	下限	上限	
22	21.0	23.0	
20	19.0	21.0	
10	9.0	11.0	
0	-1.0	1.0	
-10	-11.0	-9.0	
-20	-21.0	-19.0	
-30	-31.0	-29.0	
-40	-41.0	-39.0	
-50	-51.0	-49.0	
-60	-61.0	-59.0	
-70	-71.0	-69.0	

表 A.16 功率测量（频率 $f=2.440\text{GHz}$ ）

输入电平值 P_s/dBm	限值/ dBm		指示值 P_w/dBm
	下限	上限	
22	21.0	23.0	
20	19.0	21.0	
10	9.0	11.0	
0	-1.0	1.0	
-10	-11.0	-9.0	
-20	-21.0	-19.0	
-30	-31.0	-29.0	
-40	-41.0	-39.0	
-50	-51.0	-49.0	
-60	-61.0	-59.0	
-70	-71.0	-69.0	

表 A.17 功率测量（频率 $f=2.480\text{GHz}$ ）

输入电平值 P_s/dBm	限值/ dBm		指示值 P_w/dBm
	下限	上限	
22	21.0	23.0	
20	19.0	21.0	
10	9.0	11.0	
0	-1.0	1.0	
-10	-11.0	-9.0	
-20	-21.0	-19.0	
-30	-31.0	-29.0	
-40	-41.0	-39.0	
-50	-51.0	-49.0	
-60	-61.0	-59.0	
-70	-71.0	-69.0	

表 A.18 GFSK 调制频偏测量

频率/ GHz	标准值/kHz	限值/kHz		指示值/ kHz
		下限	上限	
2.402	160	159	161	
2.440	160	159	161	
2.480	160	159	161	

表 A.19 增强数据速率 $\pi/4$ -DQPSK 调制数字解调质量参数

频率/ GHz	参数	限值		指示值
		下限	上限	
2.402	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.440	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.480	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	

表 A.20 增强数据速率 8DPSK 调制数字解调质量参数

频率、 GHz	参数	限值		指示值
		下限	上限	
2.402	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.440	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	
2.480	均方根 DEVM	/	5%	
	频率误差	-0.5kHz	0.5kHz	

表 A.21 频率测量

标准值/ GHz	频率偏差指示限值/kHz		频率偏差指示值 /Hz
	下限	上限	
2.402	-2.902 kHz	2.902 kHz	
2.440	-2.940kHz	2.940kHz	
2.480	-2.980kHz	2.980kHz	

表 A.22 射频端口电压驻波比

频率/ GHz	上限	电压驻波比
2.402	1.5	
2.440	1.5	
2.480	1.5	
最大值	1.5	

表 A.23 调制信号发射频谱模板检查

频率/ GHz	调制类型	满足/不满足
2.402	GFSK	
	$\pi/4$ -DQPSK	
	8DPSK	
2.440	GFSK	
	$\pi/4$ -DQPSK	
	8DPSK	
2.480	GFSK	
	$\pi/4$ -DQPSK	
	8DPSK	

附录 B

主要项目校准结果不确定度评定实例

B1 参考输出频率测量不确定度

B1.1 不确定度来源

- 1) 频率计频率测量误差引入的标准不确定度 u_{11}
- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度 u_{12}

B1.2 不确定度分析

- 1) 频率计频率测量误差引入的标准不确定度 u_{11}
频率计的最大测量误差为 $\pm 1 \times 10^{-7}$, 即 $a_{11} = 1 \times 10^{-7}$,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{11} = \sqrt{3}$

$$\text{标准不确定度 } u_{11} = a_{11} / k_{11} = 1 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-8}$$

- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度 u_{12}

频率计显示分辨力为 5×10^{-9} , 即 $a_{12} = 5 \times 10^{-9}$, 设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{12} = \sqrt{3}$

标准不确定度

$$u_{12} = a_{12} / k_{12} = 5 \times 10^{-9} / \sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-9}$$

B1.3 不确定度合成

以上各分量之间独立不相关,

合成标准不确定度:

$$u_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_{1i}^2} = 5.8 \times 10^{-8}$$

扩展不确定度:

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U_1 为

$$U_1 = k \cdot u_1 = 2 \times 5.8 \times 10^{-8} = 1.2 \times 10^{-7}$$

B2 信号发生器频率测量不确定度

B2.1 不确定度来源

- 1) 频率计频率测量误差引入的标准不确定度 u_{21}
- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度 u_{22}

B2.2 不确定度分析

- 1) 频率计频率测量误差引入的标准不确定度 u_{21}
频率计的最大测量误差为 $\pm 1 \times 10^{-7}$, 即 $a_{21} = 1 \times 10^{-7}$,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{21} = \sqrt{3}$

$$\text{标准不确定度 } u_{21} = a_{21} / k_{21} = 1 \times 10^{-7} / \sqrt{3} = 5.8 \times 10^{-8}$$

- 2) 频率计显示分辨力引入的标准不确定度 u_{22}

频率计显示分辨力 5×10^{-10}

即 $a_{22} = 5 \times 10^{-10}$, 设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{22} = \sqrt{3}$

标准不确定度

$$u_{22} = a_{22} / k_{22} = 5 \times 10^{-10} / \sqrt{3} = 2.9 \times 10^{-10}$$

B2.3 不确定度合成

各分量之间独立不相关，合成标准不确定度：

$$u_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_{2i}^2} = 5.8 \times 10^{-8}$$

扩展不确定度：

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U_2 为

$$U_2 = k \cdot u_c = 2 \times 5.8 \times 10^{-8} = 1.2 \times 10^{-7}$$

B3 信号发生器输出电平测量不确定度

B3.1 不确定度来源

根据校准规范中的测量方法，在使用频谱分析仪测量电平时，在使用相同的量程、相同的测量参数条件下，频谱分析仪的量程误差，衰减器误差，分辨力误差等因素带来的误差可以不用考虑。不确定度来源如下：

- 1) 功率计参考功率电平最大允许误差引入的标准不确定度 u_{31}
- 2) 功率计线性误差引入的标准不确定度 u_{32}
- 3) 失配误差引入的标准不确定度 u_{33}
- 4) 校准过程的连接及读数重复性 u_{34}
- 5) 频谱分析仪幅度线性引入的标准不确定度 u_{35}

B3.2 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标准不确定度 u_{31}

功率计参考功率电平误差为 $\pm 2\%$ ，转化成 dB 表示为 $\pm 0.09\text{dB}$ ，即 $a_{31}=0.09\text{dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布， $k_{31}=\sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{31}=a_{31}/k_{31}=0.06\text{dB}$

- 2) 功率计线性误差引入的标准不确定度 u_{32}

功率计线性误差为 $\pm 3\%$ ，转换为 dB 表示为 $\pm 0.13\text{dB}$ ，即 $a_{32}=0.13\text{dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{32}=\sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{32}=a_{32}/k_{32}=0.08\text{dB}$

- 3) 失配误差引入的标准不确定度 u_{33}

功率计输入端电压驻波比 ≤ 1.1

频谱分析仪输入端电压驻波比 ≤ 1.2

被校蓝牙测试仪输入端电压驻波比 ≤ 1.5

失配误差极限用下式估计：

$$\Delta_p = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_S| |\Gamma_U|$$

式中， Δ_p 为失配误差极限值

Γ_S 为被测输出端反射系数

Γ_U 为功率计输入端反射系数

根据仪表的技术指标得到：

a. 使用功率计测量：

$$|\Gamma_{S1}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$|\Gamma_{U1}| = (1.1-1) / (1.1+1) = 0.05$$

$$\Delta_{p1} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S1}| |\Gamma_{U1}| = 0.09\text{dB}$$

所以 $a_{33A}=0.09\text{dB}$ ，在该区间内的概率分布为反正弦分布， $k_{33A}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{33A}=a_{33A}/k_{33A}=0.06\text{dB}$$

b. 使用频谱分析仪测量：

$$|\Gamma_{S2}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$|\Gamma_{U2}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$\Delta p_2 = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S2}| |\Gamma_{U2}| = 0.16\text{dB}$$

即 $a_{33B} = 0.16\text{dB}$, 为反正弦分布, $k_{33B} = \sqrt{2}$ 。

$$u_{33B} = a_{33B} / k_{33B} = 0.11\text{dB}$$

4) 校准过程的连接及读数重复性 u_{34}

经过试验, 校准过程中的连接及读数重复性 u_{34}

$$u_{34} = 0.03\text{dB}$$

5) 频谱分析仪幅度线性误差引入的标准不确定度 u_{35}

根据频谱分析仪的指标, 其幅度线性误差为 $\pm 0.12\text{dB}$, 则 $a_{35} = 0.12\text{dB}$, 设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{35} = \sqrt{3}$,

标准不确定度 u_{35} 为:

$$u_{35} = a_{35} / \sqrt{3} = 0.07\text{dB}$$

B3.3 不确定度合成

1) 不确定度分量综合表

表 B1 信号发生器输出电平测量不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					标准不确定度符号及数值 (dB)
	不确定度来源	类型	符号及数值 (dB)	分布	包含因子	
1	功率计参考电平误差	B	$a_{31} = 0.09$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{31} = 0.06$
2	功率计线性误差	B	$a_{32} = 0.13$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{32} = 0.08$
3	功率计测量失配误差	B	$a_{33A} = 0.09$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{33A} = 0.06$
4	频谱仪测量失配误差	B	$a_{33B} = 0.16$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{33B} = 0.11$
5	连接及读数重复性	A	/	/	/	$u_{34} = 0.03$
6	频谱分析仪幅度线性	B	$a_{35} = 0.12$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{35} = 0.07$

各分量独立不相关

2) 合成标准不确定度

测量 -50dBm 和 -50dBm 以上电平时,

$$u_{3A} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_{3i}^2} = 0.12\text{dB}$$

测量 -50dBm 以下电平时,

$$u_{3B} = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_{3i}^2} = 0.18\text{dB}$$

3) 扩展不确定度

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U 为:

测量 -50dBm 和 -50dBm 以上电平时,

$$U_{3A} = k u_{3A} = 2 \times 0.12 = 0.24\text{dB}$$

测量 -50dBm 以下电平时,

$$U_{3B}=k u_{3B}=2 \times 0.18=0.36\text{dB}$$

B4 信号发生器谐波信号、杂散信号、非谐波信号测量不确定度

对蓝牙测试仪进行谐波测试时，标准器和蓝牙测试仪的有关技术指标如下：

- 1) 频谱分析仪幅度测量线性误差： $\pm 0.12\text{dB}$
- 2) 频谱分析仪频响 3Hz~3GHz： $\pm 0.15\text{dB}$ ，3.0GHz~6.6GHz： $\pm 0.6\text{dB}$
- 3) 频谱分析仪输入端电压驻波比 ≤ 1.6
- 4) 蓝牙测试仪输出端电压驻波比 ≤ 1.5
- 5) 电缆损耗频响的平坦度 $\pm 0.5\text{dB}$

B4.1 不确定度来源

- 1) 频谱分析仪幅度测量线性误差引入的标准不确定度 u_{41}
- 2) 频谱分析仪频响引入的标准不确定度 u_{42}
- 3) 系统失配误差引入的标准不确定度 u_{43}
- 4) 电缆损耗频响引入的标准不确定度 u_{44}
- 5) 谐波信号、杂散信号、非谐波信号稳定度引入的标准不确定度 u_{45}

B4.2 不确定度评定

- 1) 频谱分析仪幅度测量线性误差引入的标准不确定度 u_{41}

根据频谱分析仪的指标，其幅度线性误差为 $\pm 0.12\text{dB}$ ，即 $a_{41}=0.12\text{dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布， $k_{41}=\sqrt{3}$

标准不确定度 u_{41} 为

$$u_{41}=a_{41}/k_{41}=0.07\text{dB}$$

- 2) 系统失配误差引入的标准不确定度 u_{42}

系统失配误差极限用下式估计

$$\Delta p_3 = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S3}| |\Gamma_{U3}|$$

式中， Δp_3 为失配误差极限值

Γ_{S3} 为被测输出端反射系数

Γ_{U3} 为功率计输入端反射系数

$$|\Gamma_{S3}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.20$$

$$|\Gamma_{U3}| = (1.6-1) / (1.6+1) = 0.23$$

$$\Delta p_3 = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S3}| |\Gamma_{U3}| = 0.40\text{dB}$$

即 $a_{42}=0.40\text{dB}$ ，在该区间内的概率分布为反正弦分布， $k_{42}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{42}=a_{42}/k_{42}=0.28\text{dB}$$

- 3) 电缆损耗频响引入的标准不确定度 u_{43}

实测电缆损耗频响为 $\pm 0.5\text{dB}$ ，即 $a_{43}=0.5\text{dB}$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布， $k_{43}=\sqrt{3}$

$$u_{43}=a_{43}/k_{43}=0.29\text{dB}$$

- 4) 频谱分析仪频响引入的标准不确定度 u_{44}

频谱分析仪频响： $\pm 0.6\text{dB}$ 即 $a_{44}=0.6\text{dB}$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布， $k_{44}=\sqrt{3}$

$$u_{44}=a_{44}/k_{44}=0.35\text{dB}$$

- 5) 谐波信号、杂散信号、非谐波信号稳定度 u_{45}

实测 $u_{45}=0.2\text{dB}$

B4.3 不确定度合成

- 1) 不确定度分量综合表

表 B2 信号发生器谐波信号、杂散信号、非谐波信号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	符号及数值 (dB)	分布	包含因子	标准不确定度符号及数值 (dB)
1	频谱分析仪幅度线性	B	$a_{41}=0.12$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{41}=0.07$
2	系统失配误差	B	$a_{42}=0.40$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{42}=0.28$
3	电缆频响误差	B	$a_{43}=0.5$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{43}=0.29$
4	频谱分析仪频响	B	$a_{44}=0.6$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{44}=0.35$
5	谐波信号、杂散信号、非谐波信号稳定度	A	/	/	/	$u_{45}=0.2$

各分量独立不相关

2) 合成标准不确定度

$$u_4 = \sqrt{\sum_{i=1}^5 u_{4i}^2} = 0.58 \text{dB}$$

3) 扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U_4 为：

$$U_4 = k u_4 = 2 \times 0.58 = 1.2 \text{dB}$$

B5 信号发生器单边带相位噪声测量不确定度

B5.1 不确定度来源

- 1) 频谱分析仪电平测量线性误差引入的标准不确定度 u_{51}
- 2) 频谱分析仪分辨力带宽误差引入的标准不确定度 u_{52}
- 3) 测量重复性 u_{53}

B5.2 不确定度分析

- 1) 频谱分析仪电平测量的线性误差 $a_{51}=1\text{dB}$ ，
设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，包含因子 $k_{51}=\sqrt{3}$
标准不确定度 u_{51} 为
 $u_{51}=a_{51}/k_{51}=0.58\text{dB}$
- 2) 频谱分析仪分辨力带宽的对数误差 $a_{52}=0.12\text{dB}$ (RBW: 3%) < 100kHz，
设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，包含因子 $k_{52}=\sqrt{3}$
标准不确定度 u_{52} 为
 $u_{52}=a_{52}/k_{52}=0.07\text{dB}$
- 3) 测量重复性
实测 $u_{53}=0.1\text{dB}$

B5.3 不确定度合成

- 1) 不确定度分量综合表

表 B3 信号发生器单边带相位噪声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	符号及数值	分布	包含因子	标准不确定度

			(dB)		子	符号及数值 (dB)
1	频谱分析仪电平测量的线性	B	$a_{51}=1$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{51}=0.58$
2	频谱分析仪分辨力带宽的对数误差	B	$a_{52}=0.12$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{52}=0.07$
3	测量重复性	A	/	/	/	$u_{53}=0.1$

各分量独立不相关。

2) 合成标准不确定度

$$u_5 = \sqrt{\sum_{i=1}^3 u_{5i}^2} = 0.59 \text{dB}$$

3) 扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ 时, 扩展不确定度 U_5 为

$$U_5 = 1.2 \text{dB}.$$

B6 蓝牙测试仪信号发生器数字调制测量不确定度

B6.1 蓝牙测试仪信号发生器 GFSK 频偏测量不确定度

B6.1.1 不确定度来源

1) 矢量信号分析仪 GFSK 频偏测量误差引入的标准不确定度

B6.1.2 不确定度分析

矢量信号分析仪指标为 $a_{61}=1\%$

设测量值落在该区间内的概率为均匀分布, 则包含因子 $k_{61}=\sqrt{3}$

$$u_{61} = a_{61}/\sqrt{3} = 0.58\%$$

包含因子取 $k=2$, 扩展不确定度 U_{61} 为

$$U_{61} = k \cdot u_{61} = 2 \times 0.58\% = 1.2\%$$

B6.2 蓝牙测试仪信号发生器差分误差矢量幅度 (DEVm) 测量不确定度

B6.2.1 不确定度来源

矢量信号分析仪引入的标准不确定度

B6.2.2 不确定度分析

矢量信号分析仪指标为 1% , 即为 $a_{62}=1\%$

设测量值落在该区间内的概率为均匀分布, 包含因子 $k_{62}=\sqrt{3}$

$$u_{62} = a_{62}/\sqrt{3} = 0.58\%$$

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U_{62}

$$U_{62} = k \cdot u_{62} = 0.58\% \times 2 = 1.2\%$$

B6.3 蓝牙测试仪信号发生器频率误差引入的标准不确定度

B6.3.1 不确定度来源

矢量信号分析仪的频率误差的测量误差引入的标准不确定度

B6.3.2 不确定度分析

矢量信号分析仪指标为 $a_{63}=10\text{Hz}$

设测量值落在该区间内的概率为均匀分布, 包含因子 $k_{63}=\sqrt{3}$

$$u_{63} = a_{63}/\sqrt{3} = 5.8\text{Hz}$$

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度

$$U_{63} = k \cdot u_{63} = 5.8 \times 2 = 12\text{Hz}$$

B7 蓝牙信号发生器占用带宽测量不确定度

B7.1 不确定度来源

- 1) 频谱分析仪占用带宽测量误差引入的标准不确定度 u_{71}
- 2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_{72}

B7.2 不确定度分析

- 1) 频谱分析仪占用带宽测量误差引入的标准不确定度 u_{71}

频谱分析仪占用带宽测量误差的指标为 $\pm(\text{SPAN}/600)$ ，蓝牙测试仪占用带宽测试时 $\text{span}=3\text{MHz}$ 。因此 $a_{71}=\pm(\text{SPAN}/600)=\pm(3\text{MHz}/600)=\pm 0.005\text{MHz}$ 设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布，则包含因子 $k_{71}=\sqrt{3}$

$$u_{71}=a_{71}/\sqrt{3}=0.003\text{MHz}$$

- 2) 测量重复性引入的标准不确定度 u_{72}

实际测量得到 $u_{72}=0.007\text{MHz}$

- 3) 不确定度合成

表 B4 蓝牙信号发生器占用带宽测量不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					标准不确定度符号及数值 (MHz)
	不确定度来源	类型	符号及数值 (MHz)	分布	包含因子	
1	频谱分析仪 E4440A	B	$a_{71}=0.005$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{71}=0.003$
2	校准过程中测量重复性	A	/	/	/	$u_{72}=0.007$

各分量独立不相关

$$u_7 = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_{7i}^2} = 0.008\text{MHz}$$

扩展不确定度:

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U_7 为

$$U_7 = k \cdot u_7 = 0.016\text{MHz}$$

B8 功率分析仪-50dBm~0dBm 小功率电平测量不确定度

B8.1 不确定度来源

- 1) 功率计参考电平误差引入的标准不确定度 u_{81}
- 2) 功率计线性误差引入的标准不确定度 u_{82}
- 3) 功率计与信号发生器之间失配误差引入的标准不确定度 u_{83}
- 4) 信号发生器与蓝牙测试仪间失配误差引入的标准不确定度 u_{84}
- 5) 校准过程中连接及读数重复性引入的标准不确定度 u_{85}

B8.2 不确定度评定

- 1) 功率计参考电平误差引入的标准不确定度 u_{81}

功率计参考功率电平误差为 $\pm 2\%$ ，转化成 dB 表示为 $\pm 0.09\text{dB}$ ，即 $a_{81}=0.09\text{dB}$ ，

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{81}=\sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{81}=0.06\text{dB}$

2) 功率计线性误差引入的标准不确定度 u_{82}

功率计线性误差为 $\pm 3\%$, 转换为 dB 表示为 $\pm 0.13\text{dB}$, 即 $a_{81}=0.13\text{dB}$,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{82}=\sqrt{3}$

则标准不确定度 $u_{82}=0.13/\sqrt{3}=0.08\text{dB}$

3) 功率计与信号发生器之间由失配引入的标准不确定度 u_{83}

功率计输入端电压驻波比: ≤ 1.1

信号发生器输出端电压驻波比: ≤ 1.5

失配误差极限用下式估计:

$$\Delta_{p4}=4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S4}| |\Gamma_{U4}|$$

式中, Δ_{p4} 为失配误差极限值

Γ_{S4} 为信号发生器输出端反射系数

Γ_{U4} 为功率计输入端反射系数

$$|\Gamma_{S4}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.20$$

$$|\Gamma_{U4}| = (1.1-1) / (1.1+1) = 0.05$$

$$\Delta_{p4}=4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S4}| |\Gamma_{U4}| = 0.09\text{dB}$$

即 $a_{83}=0.09\text{dB}$,

设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布, $k_{83}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{83}=a_{83}/k_{83}=0.06\text{dB}$$

4) 测量过程中, 信号发生器与被校蓝牙测试仪间的系统失配引入的标准不确定度 u_{84}

信号发生器输出端电压驻波比 ≤ 1.5

被校蓝牙测试仪输入端电压驻波比 ≤ 1.5

失配误差极限用下式估计:

$$\Delta_{p5}=4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S5}| |\Gamma_{U5}|$$

式中, Δ_{p5} 为失配误差极限值

Γ_{S5} 为信号发生器输出端反射系数

Γ_{U5} 为蓝牙测试仪的输入端反射系数

$$|\Gamma_{S5}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$|\Gamma_{U5}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$\Delta_{p5}=4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S5}| |\Gamma_{U5}| \text{ (dB)}$$

所以 $a_{84}=0.35\text{dB}$, 设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布, $k_{84}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{84}=a_{84}/k_{84}=0.25\text{dB}$$

5) 校准过程中的连接及读数重复性引入的标准不确定度 u_{85}

$$u_{85}=0.03\text{dB}$$

B8.3 不确定度合成

1) 不确定度分量综合表

表 B5 功率分析仪-50dBm~0dBm 小功率电平测量不确定度分量综合表

序号	不确定度分量					标准不确定度符号及数值 (dB)
	不确定度来源	类型	符号及数值 (dB)	分布	包含因子	
1	功率计参考电平误差	B	$a_{81}=0.09$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{81}=0.06$

2	功率计线性误差	B	$a_{82}=0.13$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{82}=0.08$
3	功率计与信号发生器连接失配误差	B	$a_{83}=0.09$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{83}=0.06$
	信号发生器与被测仪表连接失配误差	B	$a_{84}=0.35$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{84}=0.25$
4	校准过程中连接及读数重复性和稳定性	A	/	/	/	$u_{85}=0.03$

各分量独立不相关

(2) 合成标准不确定度:

$$u_8 = \sqrt{\sum_{i=1}^4 u_{8i}^2} = 0.28\text{dB}$$

(3) 扩展不确定度:

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U_8 为

$$U_8 = k \cdot u_8 = 2 \times 0.28 = 0.56\text{dB}$$

B9 功率分析仪 10dBm~22dBm 中功率电平测量不确定度

B9.1 不确定度来源

- 1) 参考功率电平最大允许误差引入的标准不确定度 u_{91}
- 2) 功率计的线性误差引入的标准不确定度 u_{92}
- 3) 功率放大器输出稳定性和重复性引入的标准不确定度 u_{93}
- 4) 校准过程的连接及读数重复性引入的标准不确定度 u_{94}
- 5) 功率放大器输出端与衰减器间的失配误差引入的标准不确定度 u_{95}
- 6) 功率放大器输出端与被校蓝牙测试仪间的失配误差引入的标准不确定度 u_{96}
- 7) 衰减器衰减误差引入的标准不确定度 u_{97}

B9.2 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标准不确定度

功率计参考功率电平误差为 $\pm 2\%$, 转化成 dB 表示为 $\pm 0.09\text{dB}$, 即

$$a_{91} = 0.09\text{dB}, \text{ 设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, } k_{91} = \sqrt{3}$$

$$u_{91} = 0.09 / \sqrt{3} = 0.06\text{dB}$$

- 2) 功率计线性误差引入的标准不确定度

功率计线性误差为 $\pm 3\%$, 转换为 dB 表示为 $\pm 0.13\text{dB}$, 即 $a_{92} = 0.13\text{dB}$,

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布, $k_{92} = \sqrt{3}$

$$u_{92} = 0.13 / \sqrt{3} = 0.08\text{dB}$$

- 3) 功率放大器输出稳定性和重复性引入的标准不确定度

实测 $u_{93} = 0.05\text{dB}$

- 4) 校准过程的连接及读数重复性引入的标准不确定度

实测 $u_{94} = 0.03\text{dB}$

- 5) 功率放大器输出端与衰减器间的失配误差引入的标准不确定度

功率放大器输出端口的驻波系数为 1.5, 衰减器的端口驻波系数为 1.2,

失配误差极限用下式估计:

$$\Delta_{p6} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S6}| |\Gamma_{U6}|$$

式中, Δ_{p6} 为失配误差极限值

Γ_{S6} 为功率放大器输出端反射系数

Γ_{U6} 为衰减器输入端反射系数

$$|\Gamma_{S6}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$|\Gamma_{U6}| = (1.2-1) / (1.2+1) = 0.09$$

$$\Delta_{p6} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S6}| |\Gamma_{U6}| \text{ (dB)}$$

所以 $a_{95}=0.16\text{dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布， $k_{95}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{95}=a_{95}/k_{95}=0.11\text{dB}$$

6) 功率放大器输出端与被校蓝牙测试仪间的失配误差 a_{96}

功率放大器输出端的驻波系数为 1.5，蓝牙测试仪的输入端的驻波系数为 1.5。

失配误差极限用下式估计：

$$\Delta_{p7} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S7}| |\Gamma_{U7}|$$

式中， Δ_{p7} 为失配误差极限值

Γ_{S7} 为功率放大器输出端反射系数

Γ_{U7} 为蓝牙测试仪输入端反射系数

$$|\Gamma_{S7}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$|\Gamma_{U7}| = (1.5-1) / (1.5+1) = 0.2$$

$$\Delta_{p7} = 4.34 \times 2 \times |\Gamma_{S7}| |\Gamma_{U7}| \text{ (dB)}$$

所以 $a_{96}=0.35\text{dB}$ ，设测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布， $k_{96}=\sqrt{2}$ 。

$$u_{96}=a_{96}/k_{96}=0.25\text{dB}$$

7) 衰减器衰减误差引入的标准不确定度 a_{97}

根据衰减器校准证书，其测量不确定度为 0.10dB，即 $a_{97}=0.10\text{dB}$ ，包含因子为 2。

因此， $u_{97}=0.05\text{dB}$

B9.3 不确定度合成

表 B6 功率分析仪 10dBm~22dBm 中功率电平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	符号及数值 (dB)	分布	包含因子	标准不确定度符号及数值 (dB)
1	功率计参考功率电平最大允许误差	B	$a_{91}=0.09$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{91}=0.06$
2	功率计线性误差	B	$a_{92}=0.13$	均匀	$\sqrt{3}$	$u_{92}=0.08$
3	功率放大器输出稳定性和重复性	A	/	/	/	$u_{93}=0.05$
4	校准过程的连接及读数重复性	A	/	/	/	$u_{94}=0.03$
5	功率放大器输出端与衰减器间的失配误差	B	$a_{95}=0.16$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{95}=0.11$
6	功率放大器输出端与被校蓝牙测试仪间的失配误差	B	$a_{96}=0.35$	反正弦	$\sqrt{2}$	$u_{96}=0.25$

7	衰减器衰减值误差	B	$a_{97}=0.10$	上级标准	2	$u_{97}=0.05$
---	----------	---	---------------	------	---	---------------

各分量独立不相关

$$u_9 = \sqrt{\sum_{i=1}^7 u_{9i}^2} = 0.30\text{dB}$$

包含因子取 $k=2$ ，扩展不确定度为：

$$U_9 = 0.60\text{dB}$$

B10 蓝牙测试仪数字调制分析仪调制质量参数测量不确定度

B10.1 蓝牙测试仪 GFSK 调制频偏测量

B10.1.1 不确定度来源

- 1) 矢量信号发生器输出 GFSK 信号频偏引入的标准不确定度 u_{A11}
- 2) 蓝牙测试仪显示分辨率引入的标准不确定度 u_{A12}

B10.1.2 不确定度评定

- 1) 矢量信号发生器输出 GFSK 信号频偏引入的标准不确定度 u_{A11}
信号发生器输出 GFSK 信号频偏最大误差为 $\pm 1\%$ ，即

$$a_{A11} = 1\%$$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A11} = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{A11} = a_{A11} / \sqrt{3} \approx 0.58\%$

- 2) 蓝牙测试仪频偏显示分辨率引入的标准不确定度 u_{A12}

蓝牙测试仪频偏显示分辨率 0.1kHz，相对于 160kHz 的相对误差 a_{A12} 为
 $a_{A12} = 0.1/160 = 0.06\%$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A12} = \sqrt{3}$

标准不确定度

$$u_{A12} = a_{A12} / \sqrt{3} \approx 0.04\%$$

合成标准不确定度：

$$u_{A1} = \sqrt{\sum_{i=1}^2 u_{A1i}^2} = 0.58\%$$

扩展不确定度

包含因子 $k=2$ ，扩展不确定度 U_{A1} 为：

$$U_{A1} = k \cdot u_{A1} = 2 \times 0.58\% = 1.2\%$$

B10.2 蓝牙测试仪数字调制分析仪误差矢量幅度（EVM）

B10.2.1 不确定度来源

- 1) 矢量信号发生器输出蓝牙调制信号的 EVM 误差引入的标准不确定度 u_{A21}
- 2) 蓝牙测试仪显示分辨率引入的标准不确定度 u_{A22}

B10.2.2 不确定度评定

- 1) 矢量信号发生器输出蓝牙调制信号的 EVM 误差引入的标准不确定度 u_{A21}
矢量信号发生器输出蓝牙调制误差矢量幅度最大误差为 $\pm 1\%$ ， $a_{A21} = 1\%$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A21} = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{A21} = a_{A21} / \sqrt{3} = 0.58\%$

- 2) 蓝牙测试仪显示分辨率引入的标准不确定度 u_{A22}

蓝牙测试仪显示分辨率为 0.1%， $a_{A22} = 0.1\%$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A22} = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{A22} = a_{A22}/\sqrt{3} = 0.058\%$

合成标准不确定度:

$$u_{A2} = \sqrt{u_{A21}^2 + u_{A22}^2} = 0.58\%$$

扩展不确定度:

包含因子 $k=2$, 扩展不确定度 U_{A2} 为:

$$U_{A2} = k \cdot u_{A2} = 2 \times 0.58\% = 1.2\%$$

B10.3 蓝牙测试仪数字调制分析仪频率误差测量不确定度

B10.3.1 不确定度来源

- 1) 矢量信号发生器输出蓝牙调制信号频率误差引入的标准不确定度 u_{A31}
- 2) 蓝牙测试仪显示分辨力引入的标准不确定度 u_{A32}

B10.3.2 不确定度评定

- 1) 矢量信号发生器输出蓝牙调制信号频率误差引入的标准不确定度 u_{A31}

矢量信号发生器输出蓝牙调制信号最大误差为 $\pm 10\text{Hz}$, $a_{A31}=10\text{Hz}$

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A31} = \sqrt{3}$

标准不确定度 $u_{A31} = a_{A31}/\sqrt{3} = 5.8\text{Hz}$

- 2) 蓝牙测试仪显示分辨力引入的标准不确定度 u_{A32}

蓝牙测试仪显示分辨力 0.1Hz , $a_{A32}=0.1\text{Hz}$ 。

设测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布 $k_{A32} = \sqrt{3}$

标准不确定度

$$u_{A32} = a_{A32}/\sqrt{3} = 0.029\text{Hz}$$

合成标准不确定度:

$$u_{A3} = \sqrt{u_{A31}^2 + u_{A32}^2} = 5.8\text{Hz}$$

扩展不确定度

包含因子取 $k=2$, 扩展不确定度 U_{A3} 为:

$$U_{A3} = k \cdot u_{A3} = 2 \times 5.8 = 12\text{Hz}$$

B11 射频端口电压驻波比的测量不确定度

根据网络分析仪的技术说明书, 驻波系数为 1.5 时反射系数 Γ 最大测量误差为 ± 0.006 。

驻波系数为 1.5 换算成反射系数为 0.2, 根据反射系数与回波损耗之间的关系可以得到:

$$RL = -20\lg(\Gamma \pm \Delta\Gamma)$$

其中 RL 为回波损耗, Γ 为反射系数, $\Delta\Gamma$ 为反射系数最大测量误差, 此处 $\Gamma=0.2$, $\Delta\Gamma=0.006$

即 RL 的范围为

13.7dB~14.3dB, 也就是说最大测量误差为 $\pm 0.3\text{dB}$; 设为均匀分布, 分布因子为 $k_B = \sqrt{3}$

因此其标准不确定度为

$$u_B = 0.3/\sqrt{3} = 0.173\text{dB}$$

扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ ，扩展不确定度 U_B 为：

$U_B = k \cdot u_B = 2 \times 0.173 = 0.35$ ，修约为 0.4dB。
