

AN12076

Bluetooth LE 应用程序的 FRDM-KW36 射频系统评估报告

版本 5 — 2020 年 12 月

应用笔记

1 引言

本文档提供了用于 Bluetooth LE 应用 (2FSK 调制) 的 FRDM-KW36 的射频评估测试结果。其包括测试设置说明和可供您自己执行测试的工具。有关 KW36 无线电参数的信息, 请参阅 *MKW36Z/35Z Data Sheet* (文件 [MKW36Z512](#))。

有关 FRDM-KW36Z 自由开发板的更多信息, 请参阅 *FRDM-KW36Z Freedom Development Board User's Guide* (文件 [FRDMKW36ZUG](#))。您可以在 [KW36/35/34](#) 查找原理图和设计文件。

目录

1	引言	1
1.1	测试清单	2
1.2	软件	3
1.3	设备清单	3
2	测试摘要	3
3	已进行的测试	4
3.1	Tx 测试	4
3.2	Rx 测试	40
3.3	回损	53
4	传导测试	59
4.1	Rx 测试设置	60
4.2	Rx 杂散	60
5	天线测量	61
5.1	回损	61
6	结论	63
7	参考资料	63
8	修订记录	63

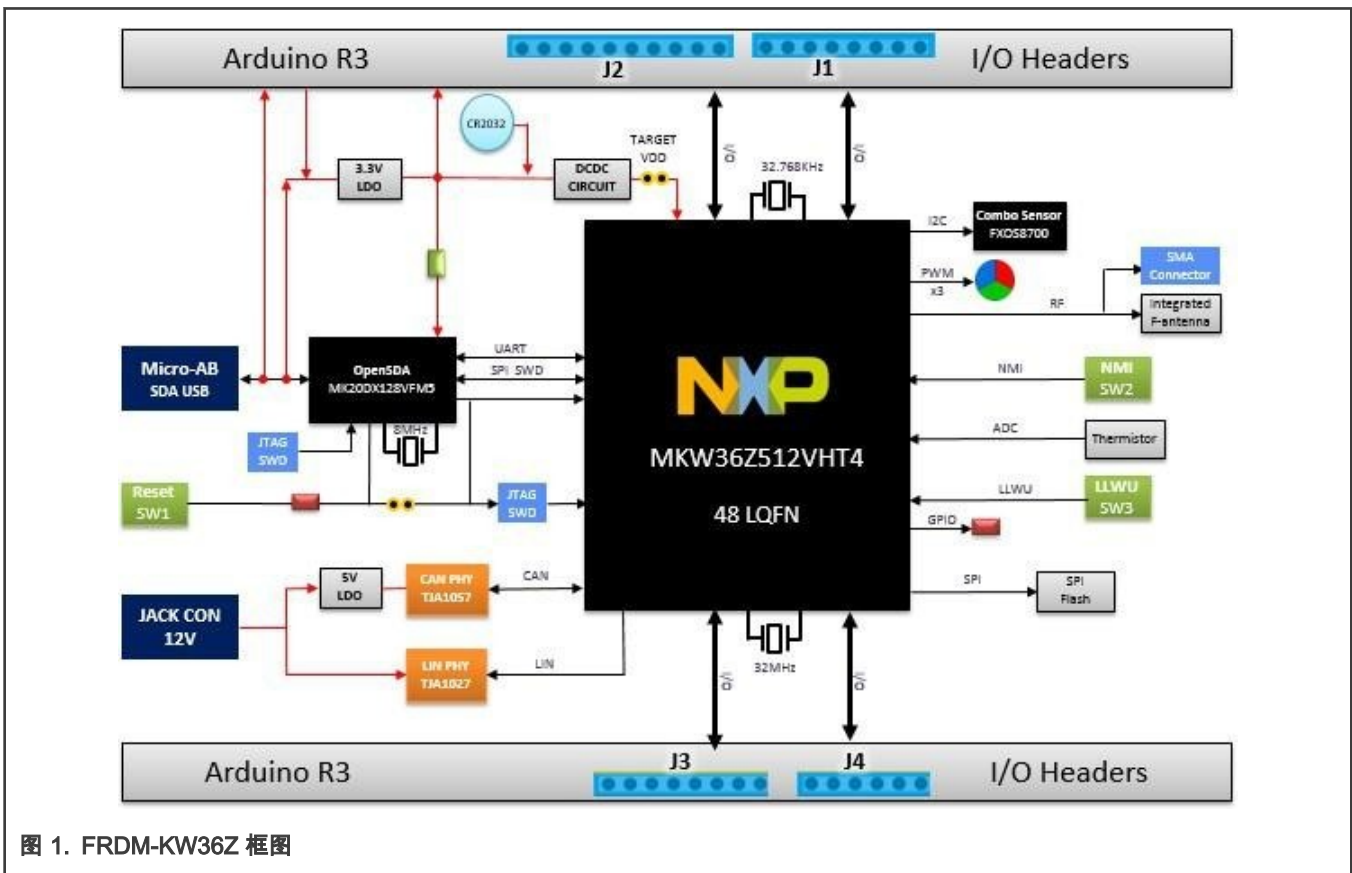


图 1. FRDM-KW36Z 框图



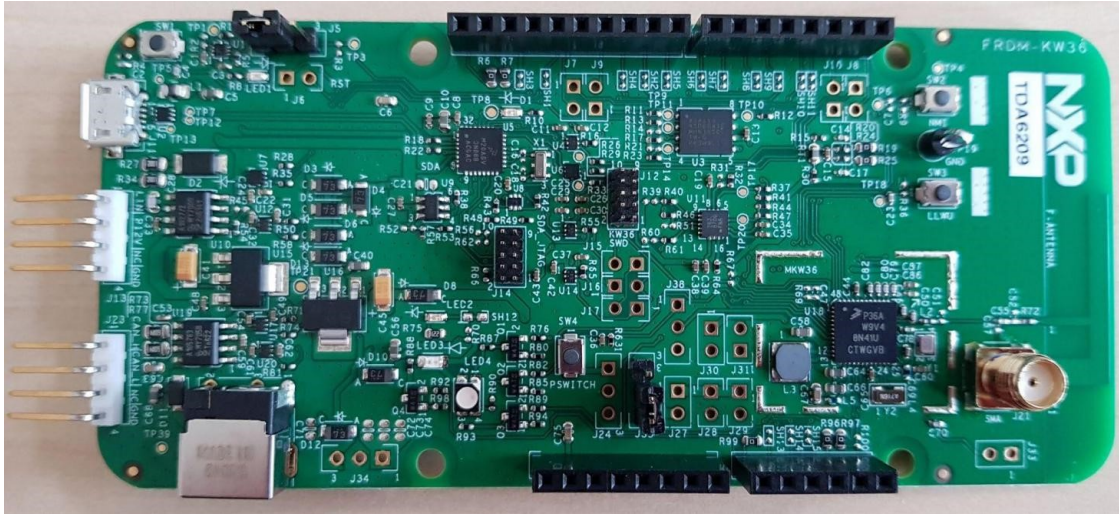


图 2. Kinetis/FRDM-KW36Z 自由开发工具包

1.1 测试清单

- 已进行的测试
 - Tx 测试
 - 工作台设置
 - 频率精度
 - 相位噪声
 - Tx 电源
 - 带内 Tx 功率
 - Tx 杂散 (H2 至 H10 , ETSI 及 FCC)
 - 上带边缘
 - 调制特性
 - 载波频率偏移和漂移
- Rx 测试
 - 工作台设置
 - 敏感性
 - 接收机最大输入电平
 - Rx 杂散 (从 30 MHz 到 12.5 GHz)
 - 接收机干扰抑制性能
 - C/I 和接收机选择性能
 - 接收器阻塞
 - 阻塞干扰物
 - 互调
- 回损 (S11)
 - Rx

— Tx

1.2 软件

在测量之前，须将二进制代码（连接软件）加载到板的闪存中。

网页 [KW36/35/34](#) 描述了如何使用 FRDM-KW36Z 加载代码。用于以下测试的二进制码是连接软件包 GenFSK 协议（2FSK 调制）和 HCI_blackbox。使用 TeraTerm 终端模拟器可与 KW36Z 单片机通信。

1.3 设备清单

本设备用于执行 Rx 和 Tx 测量：

- 频谱分析仪（25 GHz，用于 H10 的谐波测量）
- R&S SFU（用作 Bluetooth LE 4.2 的干扰源 — 可以是任何带有 ARB 的发生器）
- R&S CMW270（HCI 软件）
- MXG（安捷伦 N5182A）
- 安捷伦 SML03
- 安捷伦 33250A
- R&S ZND 矢量网络分析仪（用于 S11 测量）
- 射频屏蔽盒（以避免干扰）及射频喇叭（用于传导测量）
- 电源
- 配备 GPIB 卡的 PC 机

2 测试摘要

RF PHY Bluetooth 测试规范：RF-PHY.TS.4.2.0（2014-12-09）。测量

清单提供在 [表 1](#)，[表 2](#)，和 [表 3](#) 中。

表 1. 测试清单（Bluetooth LE 标准）

		Bluetooth LE 4.2 标准		
		参考资料	限制	状态
传送	Tx 最大功率	Bluetooth LE 4.2, BV01-C	$-20 \text{ dBm} \leq \text{PAVG} \leq +10 \text{ dBm EIRP}$	PASS
	波段的 Tx 功率	Bluetooth LE 4.2, BV03-C	$\text{PTX} \leq -20 \text{ dBm for (fTX } \pm 2 \text{ MHz)}$	PASS
			$\text{PTX} \leq -30 \text{ dBm for (fTX } \pm [3 + n] \text{ MHz)}$;	
	调制特性	Bluetooth LE 4.2, BV05-C	$225 \text{ kHz} \leq \Delta f_{\text{avg}} \leq 275 \text{ kHz}$	PASS
载波频率偏移和漂移	Bluetooth LE 4.2, BV06-C	$\text{fTX} - 150 \text{ kHz} \leq f_n \leq \text{fTX} + 150 \text{ kHz}$ 其中 fTX 是标称发射频率， $n = 0, 1, 2, 3 \dots k$ $ f_0 - f_n \leq 50 \text{ kHz}$ 其中 $n = 2, 3, 4 \dots k$	PASS	
接收	Rx 敏感性	Bluetooth LE 4.2, BV01-C	每 30.8%，至少 1500 包	PASS
	同频道	Bluetooth LE 4.2, BV03-C	$> 21 \text{ dB}$	PASS

下页继续...

表 1. 测试清单 (Bluetooth LE 标准) (续上页)

Bluetooth LE 4.2 标准				
		参考资料	限制	状态
	相邻信道干扰抑制 (N+/-1 , 2 , 3 + MHz)	Bluetooth LE 4.2 , BV03-C	>15 dB , -17 dB , -27 dB	PASS
	阻塞干扰物	Bluetooth LE 4.2 , BV04-C	-30 dBm/35 dBm	PASS
	互调性能	Bluetooth LE 4.2 , BV05-C	每 30.8% , 至少 1500 包	PASS
	Rx 最大输入电平	Bluetooth LE 4.2 , BV06-C	每 30.8% , 至少 1500 包	PASS

表 2. 测试清单 (ETSI 欧洲)

欧洲				
		参考资料	限制	状态
传送	杂散 30 MHz -1 GHz	ETSI EN 300 328	-36 dBm or -54 dBm (depends on frequency) (100 KHz BW)	PASS
	杂散 1 GHz - 25 GHz	ETSI EN 300 328	-30 dBm (1 MHz BW)	PASS
	EirpTx 光谱密度	ETSI EN 300 328	10 dBm/MHz	PASS
	相位噪声 (未扩散)	NA	NA	供参考
接收	Rx 发射 30 MHz — 1 GHz	ETSI EN300328	-57 dBm (100 kHz)	PASS
	Rx 发射 1 GHz — 12.5 GHz	ETSI EN300328	-47 dBm (1MHz)	PASS
Misc	回损 (S11)	在 Tx 模式下回损	供参考	
		在 Rx 模式回损	供参考	

表 3. 测试清单 (FCC 美国)

美国				
		参考资料	限制	状态
传送	Tx 最大功率	FCC 15.247	PAVG ≤ 100mW +20 dBm EIRP	PASS
	杂散 1 GHz - 12.5 GHz	FCC 15.249	场强 < 50 mV/m@3m -41.12 dBm (1 MHz BW)	PASS

3 已进行的测试

3.1 Tx 测试

3.1.1 测试设置

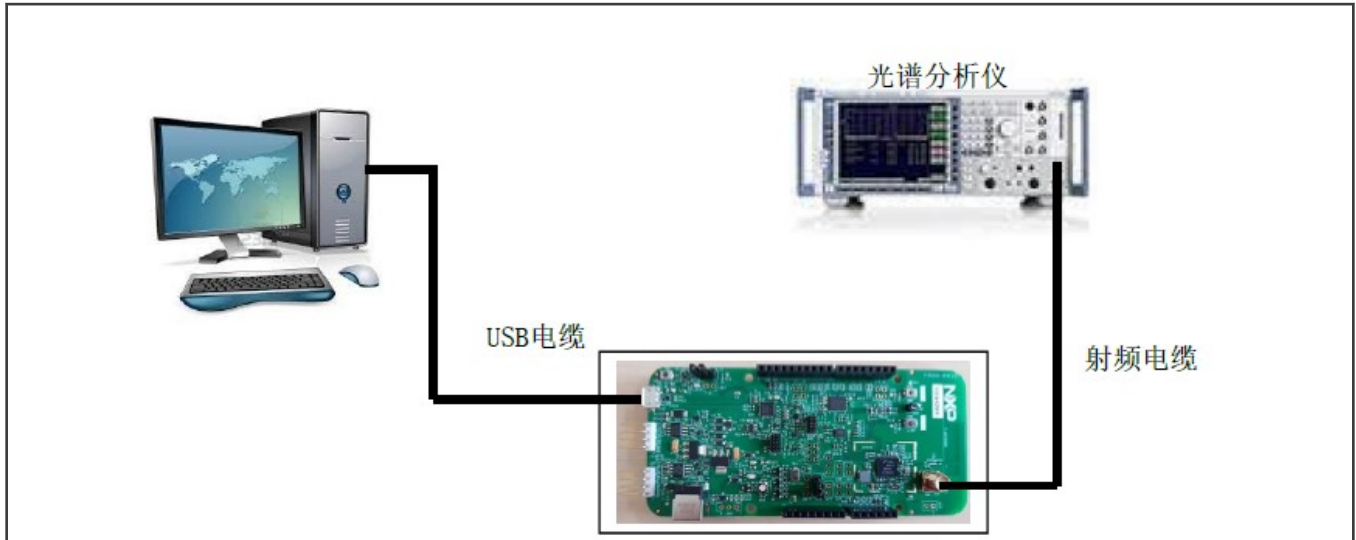


图 3. 已进行的 Tx 测试设置

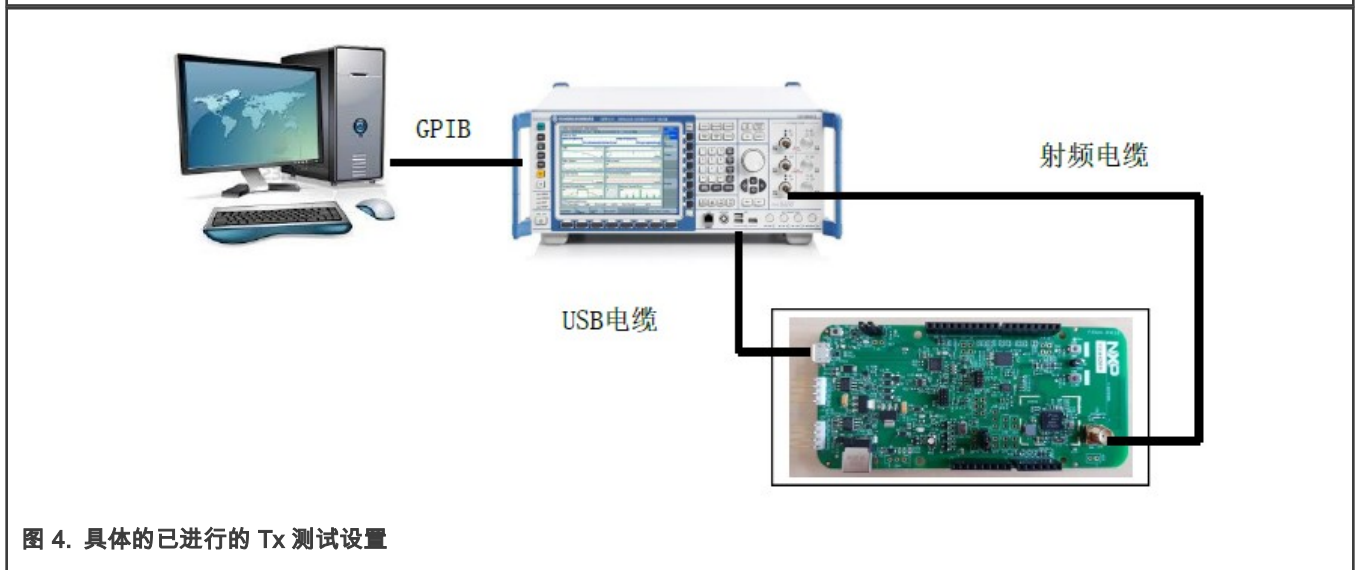


图 4. 具体的已进行的 Tx 测试设置

3.1.2 频率精度

检验方法

- 将无线电设置为：
 - Tx 模式
 - CW
 - 连续模式
 - 频率：19 信道
- 将分析仪设置为：
 - 中心频率 = 2.44 GHz
 - 跨度 = 1 MHz

- 参考放大器 = 20 dBm
- RBW = 10 kHz
- VBW = 100 kHz

- 用频谱分析仪的标记测量 CW 的频率

结果

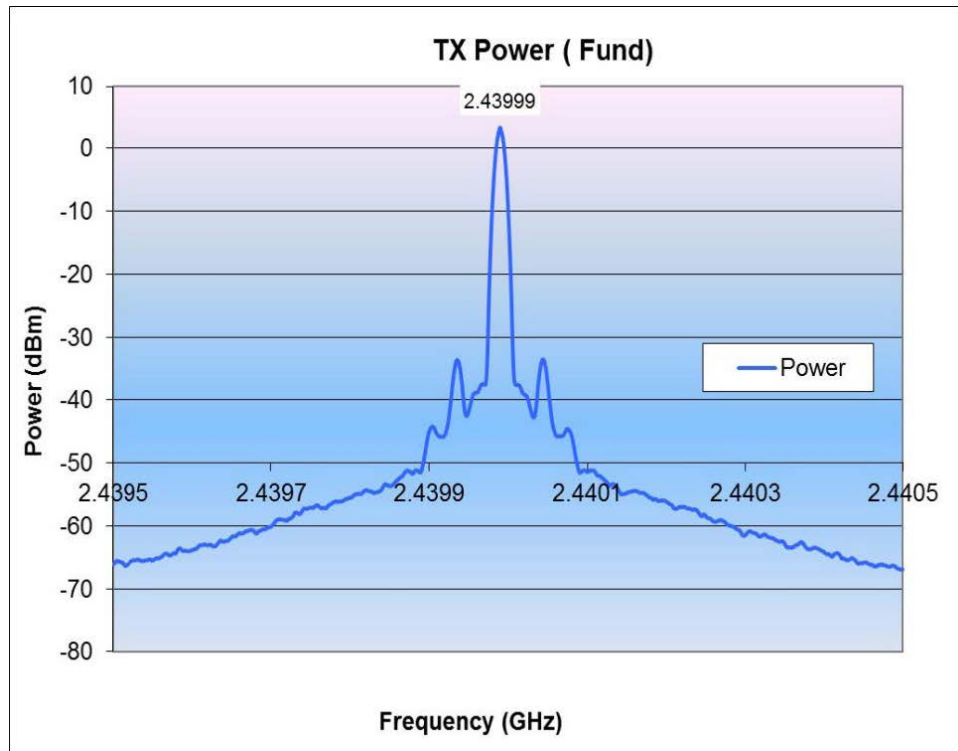


图 5. 频率精度

- 测量到的频率 : 2.43999 GHz
- ppm 值 = (2439990-2440000) /2.44 = -4.1 ppm

表 4. 频率精度

结果	目标
-4.1 ppm	+/-25 ppm

注意

频率精度取决于 XTAL 模型。在 FRDM-KW36Z 上使用的型号为 Q22FA12800092(EPSON®)。

结论

频率精度符合数据表。

3.1.3 相位噪声

检验方法

- 将无线电设置为 :

- Tx 模式
- CW
- 连续模式
- 频率：19 信道
- 将分析仪设置为：
 - 中心频率 = 2.44 GHz
 - 跨度 = 1 MHz
 - 参考放大器 = 20 dBm
 - RBW = 10 kHz
 - VBW = 100 kHz
- 测量 100 kHz 偏移频率下的相位噪声
 - RBW (频谱分析仪) = 10 kHz ($20 \log (10\text{kHz}) = 40 \text{ dBc}$)

结果

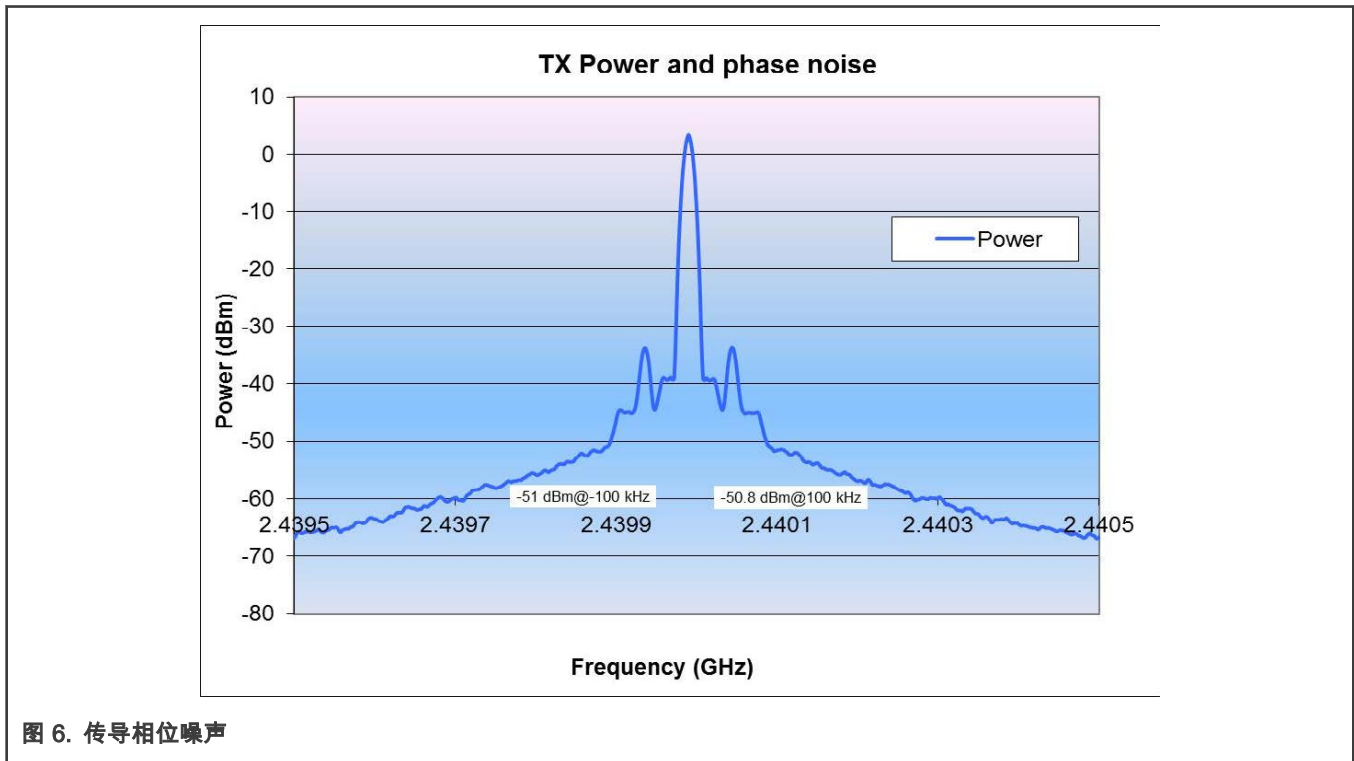


图 6. 传导相位噪声

- 标记值 (增量) = $-50.8 \text{ dBm}/100 \text{ kHz} = -94.4 \text{ dBc}/\text{Hz}$

注意

相位噪声值仅用于信息目的。此参数没有具体事项。

3.1.4 +3.5 dBm Tx 功率 (基本)

检验方法

- 将无线电设置为：
 - Tx 模式

- 已调制
- 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 2.4 GHz
 - 停止频率 = 2.5 GHz
 - 参考放大器 = 10 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 3 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 最大保持模式
 - 检测器 = RMS
- 从信道 0 到 39，扫描所有信道

软件工具允许从 2.36 GHz 到 4.88 GHz 的扫描。

结果

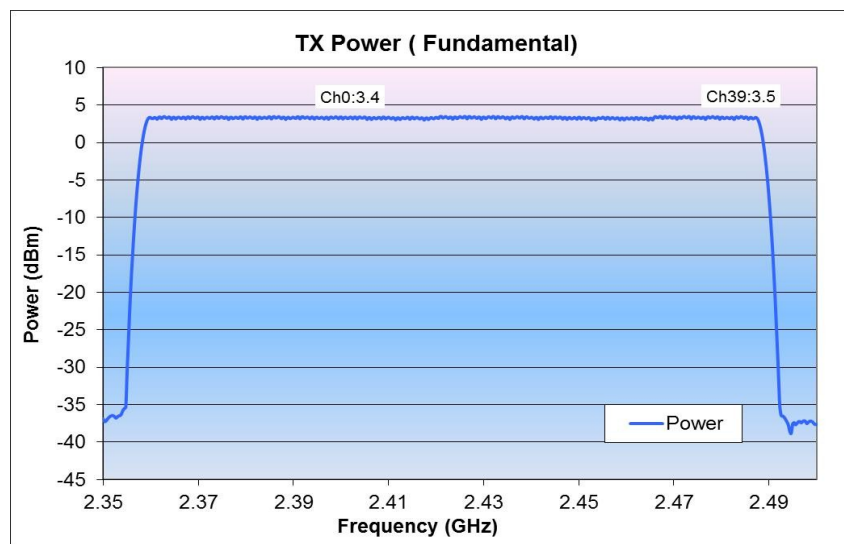


图 7. Tx 功率

- 最大功率：信道 39，+3.5 dBm
- 最小功率：信道 0，+3.4 dBm
- 倾斜频率：0.1 dB

结论

- 默认 Tx 功率符合预期结果
- 功率在频率上是平坦的

3.1.5 +5 dBm Tx 功率 (基本)

检验方法

- 将无线电设置为：
 - Tx 模式
 - 已调制
 - 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 2.4 GHz
 - 停止频率 = 2.5 GHz
 - 参考放大器 = 10 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 3 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 最大保持模式
 - 检测器 = RMS
- 从信道 0 到 39，扫描所有信道

软件工具允许从 2.36 GHz 到 4.88 GHz 的扫描。

结果

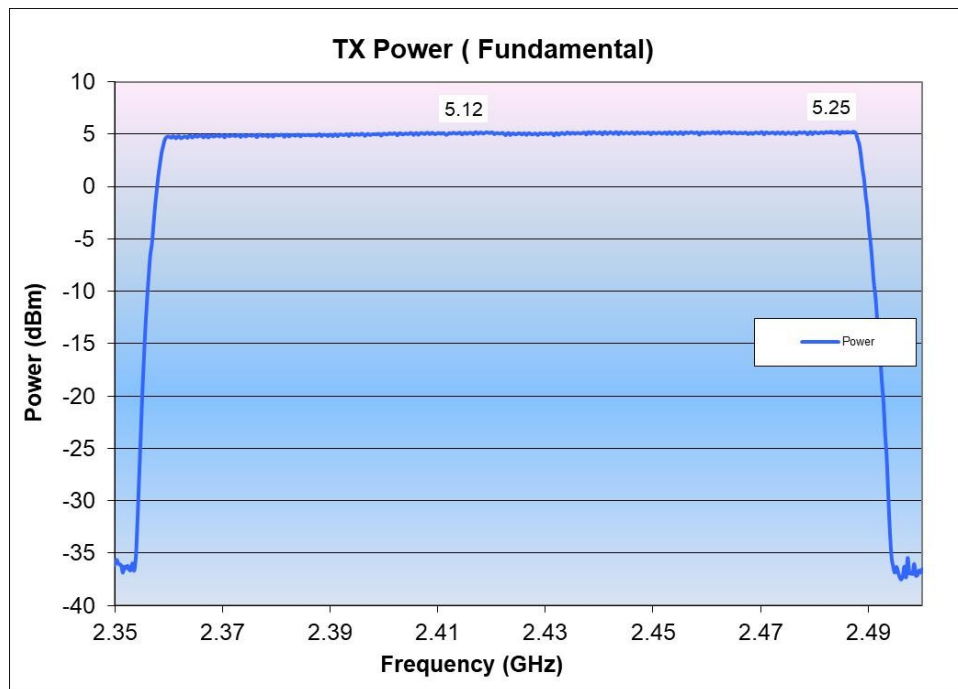


图 8. Tx 功率

- 最大功率：信道 39，+3.5 dBm
- 最小功率：信道 0，+3.4 dBm

- 倾斜频率：0.1 dB

结论

- 默认 Tx 功率符合预期结果
- 功率在频率上是平坦的

3.1.6 Object Missing

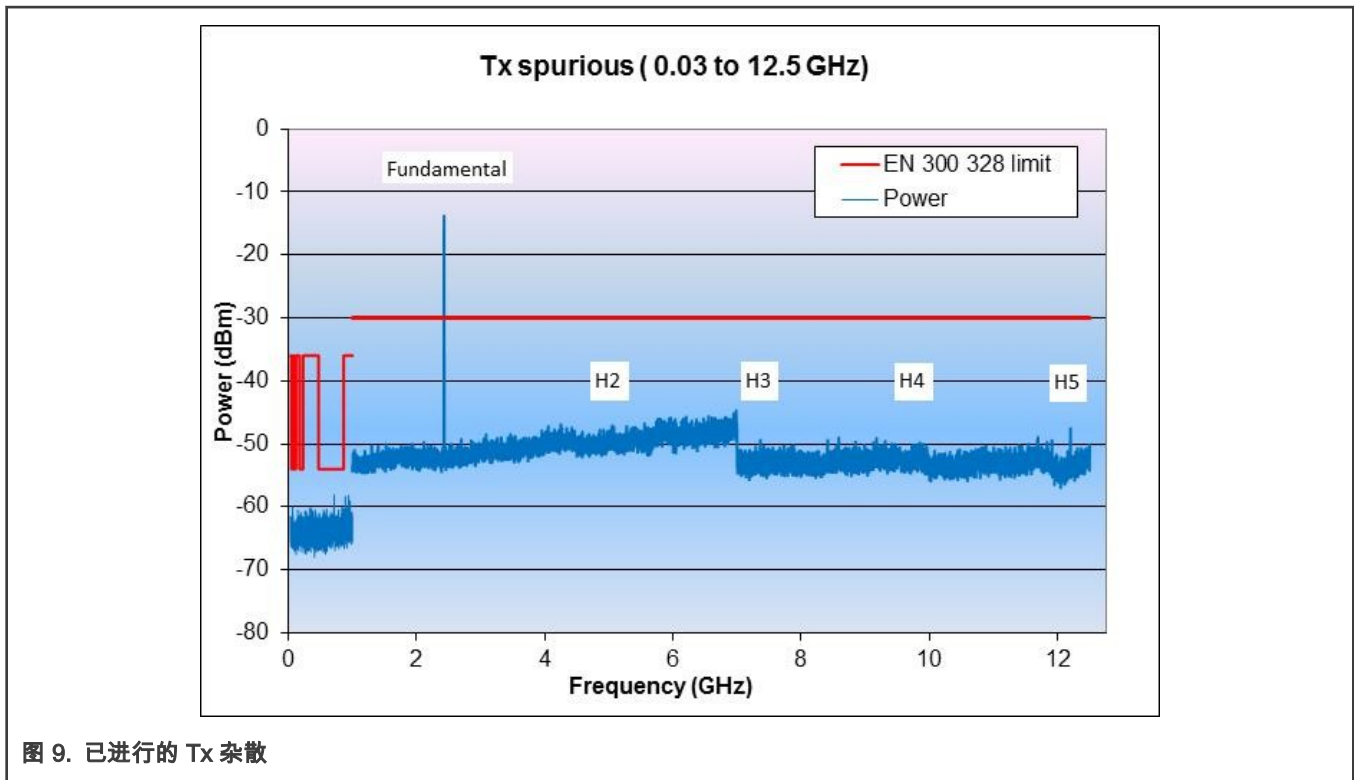
This object is not available in the repository.

3.1.7 Tx 杂散 @ + 3.5 dBm

3.1.7.1 30 MHz 至 12.5 GHz

检验方法

当设备处于传输模式时，从 30 MHz 到 12.5 GHz 的全频段的杂散。



结论

- 没有超过 EN 300 328 限制的 Tx 刺激 (超过 15-dB 裕度)
- 谐波在以下段落中专门测量

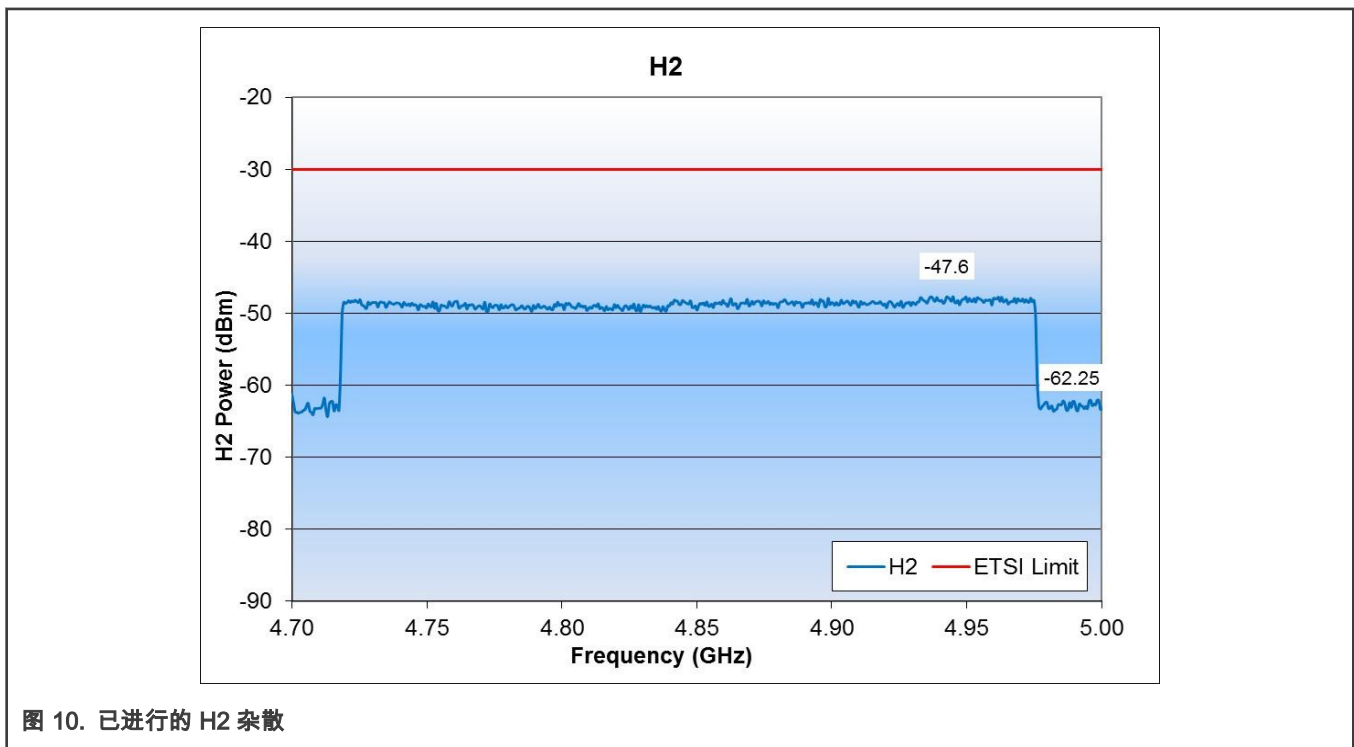
3.1.7.2 H2 @ +3.5 dBm (ETSI 测试条件, 峰值测量)

检验方法

- 将无线电设置为：

- Tx 模式
- 已调制
- 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 4.7 GHz
 - 停止频率 = 5 GHz
 - 参考放大器 = -20 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 1 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 最大保持模式
 - 检测器：峰值
- 从信道 0 到 39，扫描所有信道

结果



- 最大功率：信道 29，-47.6 dBm

结论

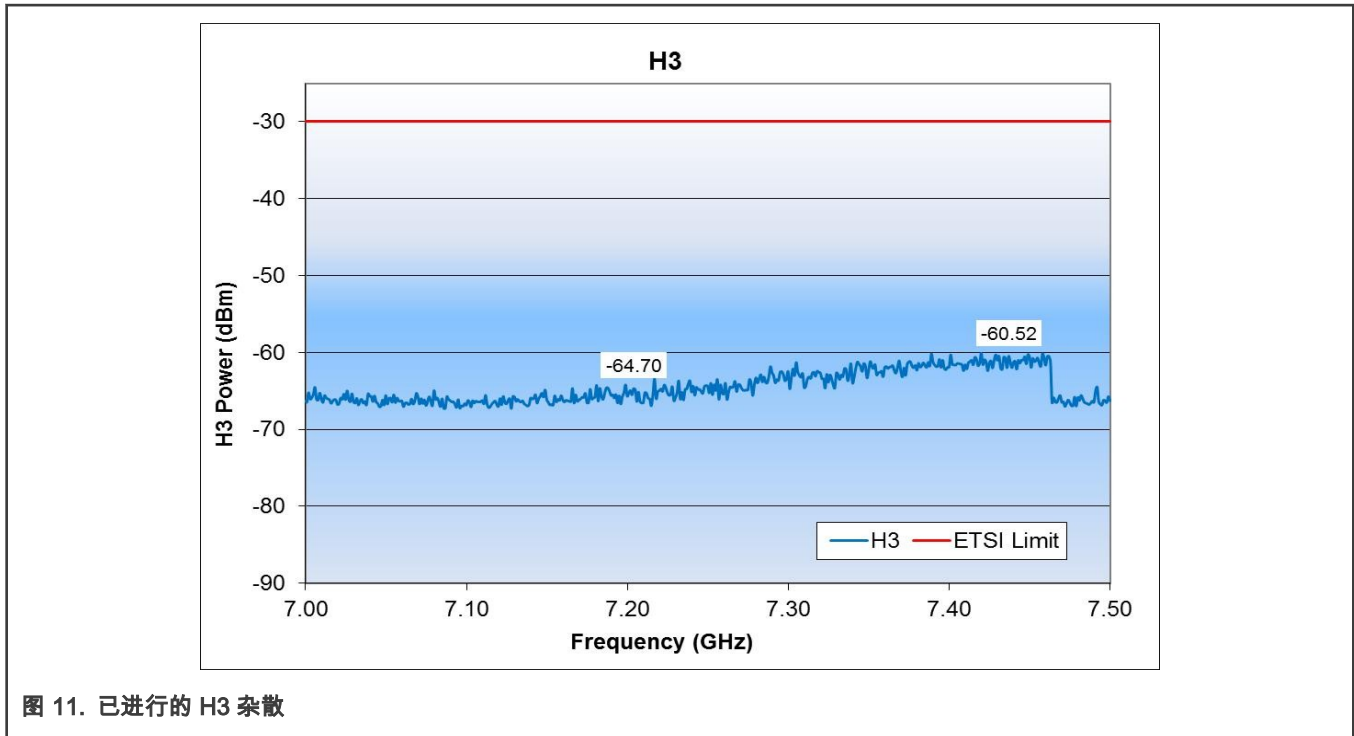
到 ETSI 极限有 17.6 dB 的余量。

3.1.7.3 H3 @ + 3.5 dBm (ETSI 测试条件，峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪启动/停止频率设置为 7.0 及 7.5 GHz。

结果



- 最大功率：信道 36，-60.5 dBm

结论

到 ETSI 极限有 30.52 dB 的余量。

3.1.7.4 H4 @ +3.5 dBm (ETSI 测试条件，峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 9.4 至 10.0 GHz。

结果

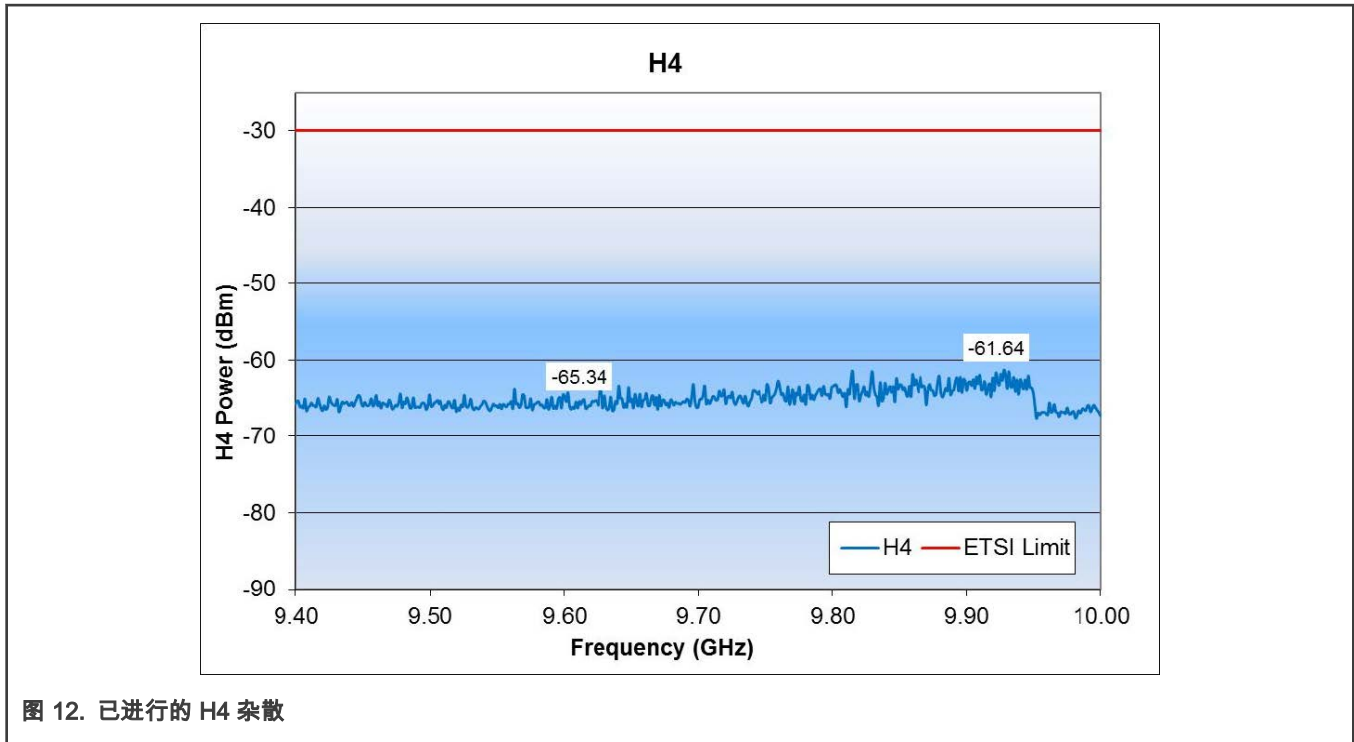


图 12. 已进行的 H4 杂散

- 最大功率：信道 28，-61.6 dBm

结论

到 ETSI 极限有 31.64 dB 的余量。

3.1.7.5 H5 @ +3.5 dBm (ETSI 测试条件，峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪启动/停止频率设置为 11.7 至 12.5 GHz。

结果

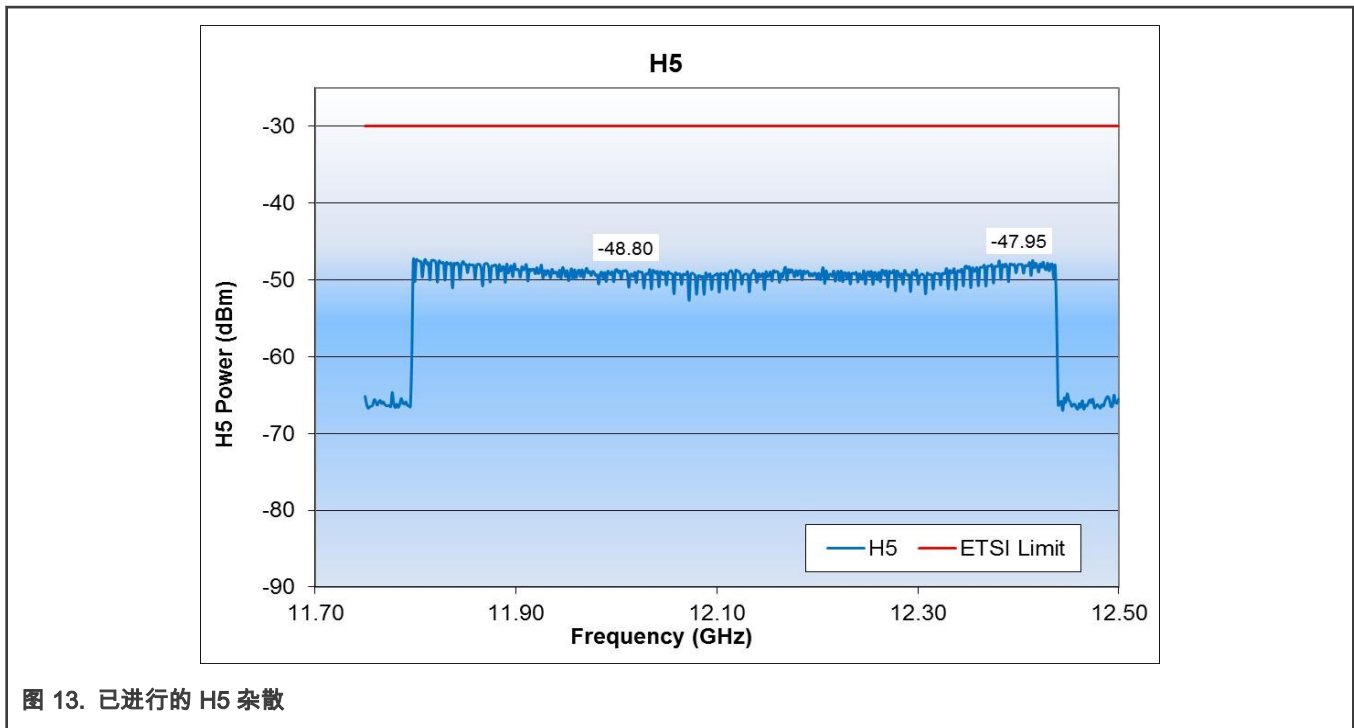


图 13. 已进行的 H5 杂散

- 最大功率：信道 37，-47.09 dBm

结论

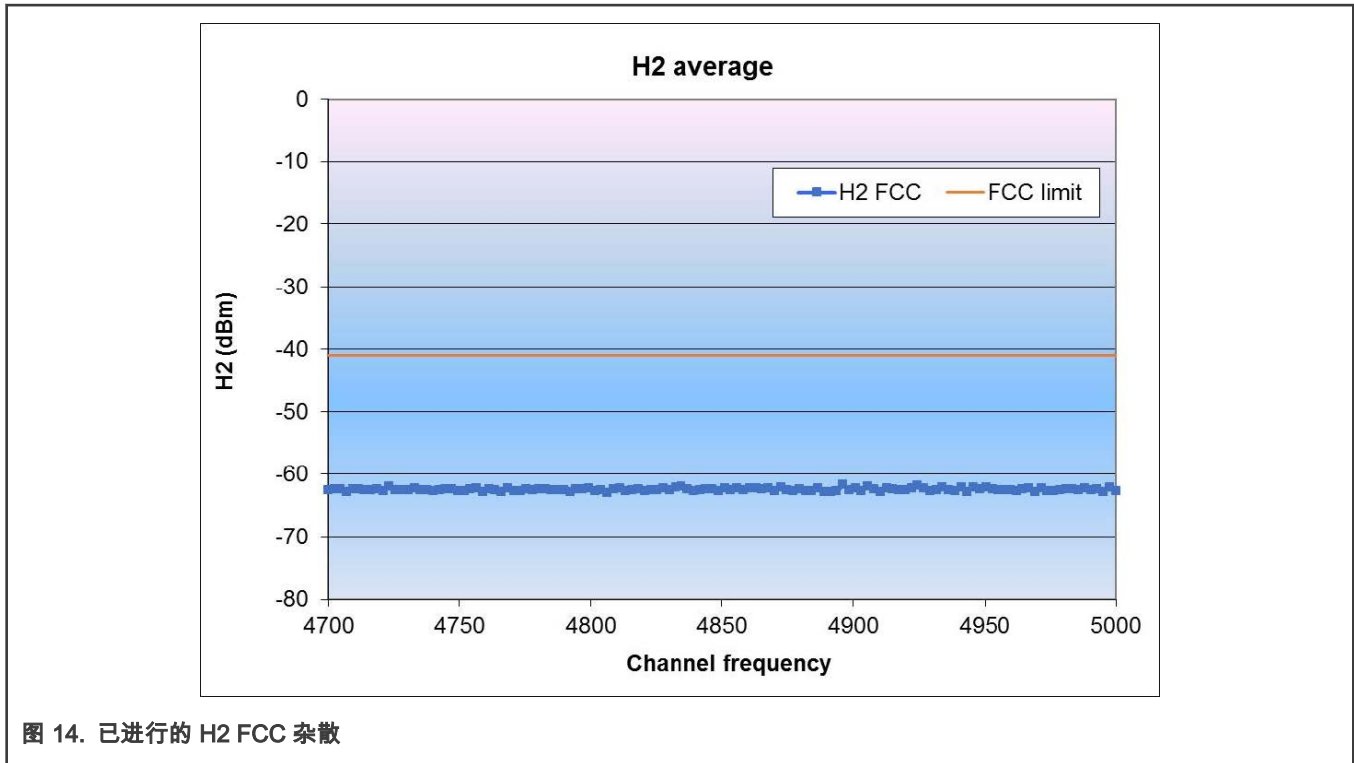
到 ETSI 极限有 17.95 dB 的余量。

3.1.1.7.6 H2 FCC @ +3.5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

- 将无线电设置为：
 - Tx 模式
 - 已调制
 - 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 4.7 GHz
 - 停止频率 = 5 GHz
 - 参考放大器 = -20 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 1 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 跟踪：最大保持模式
 - 检测器：RMS
- 从信道 0 到 39，扫描所有信道

结果



- 最大功率：信道 23，-61.7 dBm

结论

到 FCC 极限有 17.95 dB 的余量。

3.1.7.7 H3 FCC @+3.5 dBm (FCC 测试条件，平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 7.0 - 7.5 GHz。

结果

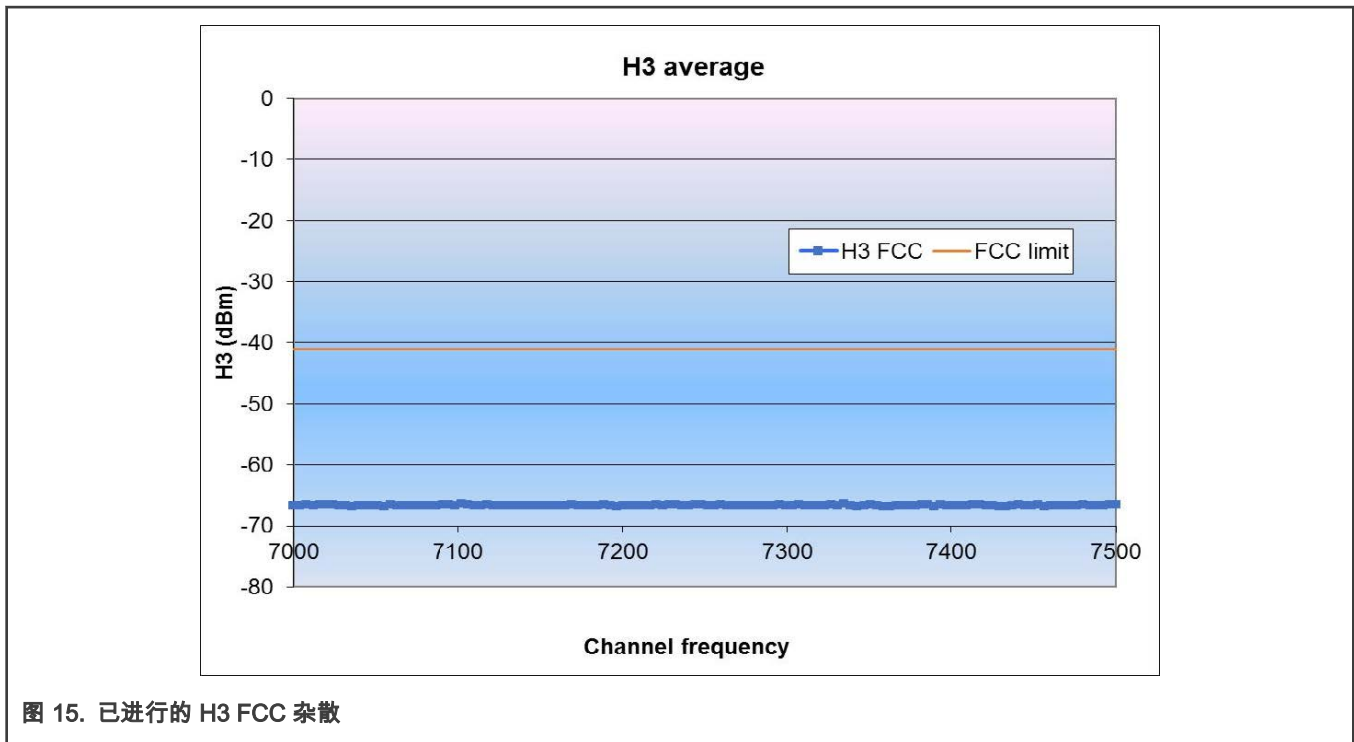


图 15. 已进行的 H3 FCC 杂散

- 最大功率：信道 21，-66.4 dBm

结论

到 FCC 极限有 25.28 dB 的余量。

3.1.7.8 H4 FCC @+3.5 dBm (FCC 测试条件，平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 9.4 - 10 GHz。

结果

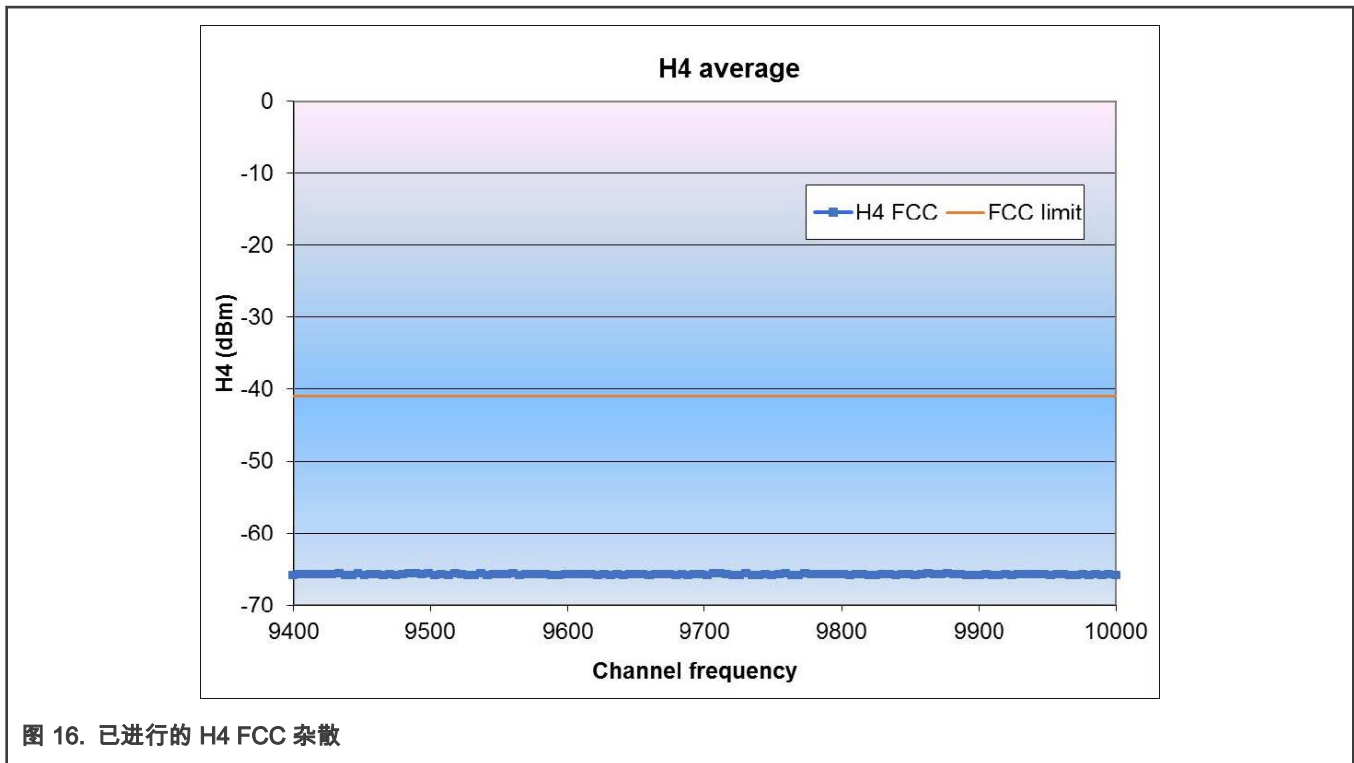


图 16. 已进行的 H4 FCC 杂散

- 最大功率：信道 32，-65.6 dBm

结论

到 FCC 极限有 24.48 dB 的余量。

3.1.7.9 H5 FCC @+3.5 dBm (FCC 测试条件，平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 11.7 - 12.5 GHz。

结果

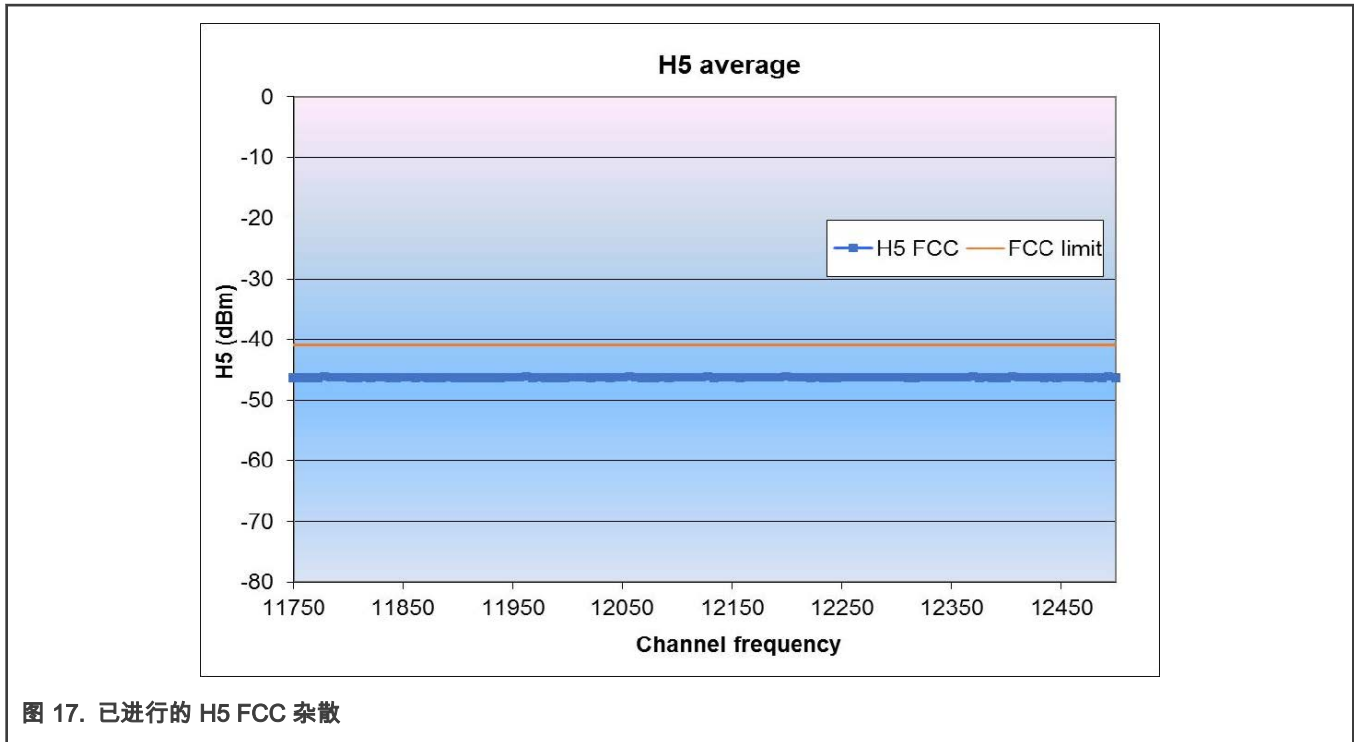


图 17. 已进行的 H5 FCC 杂散

- 最大功率：信道 39，-46.1 dBm

结论

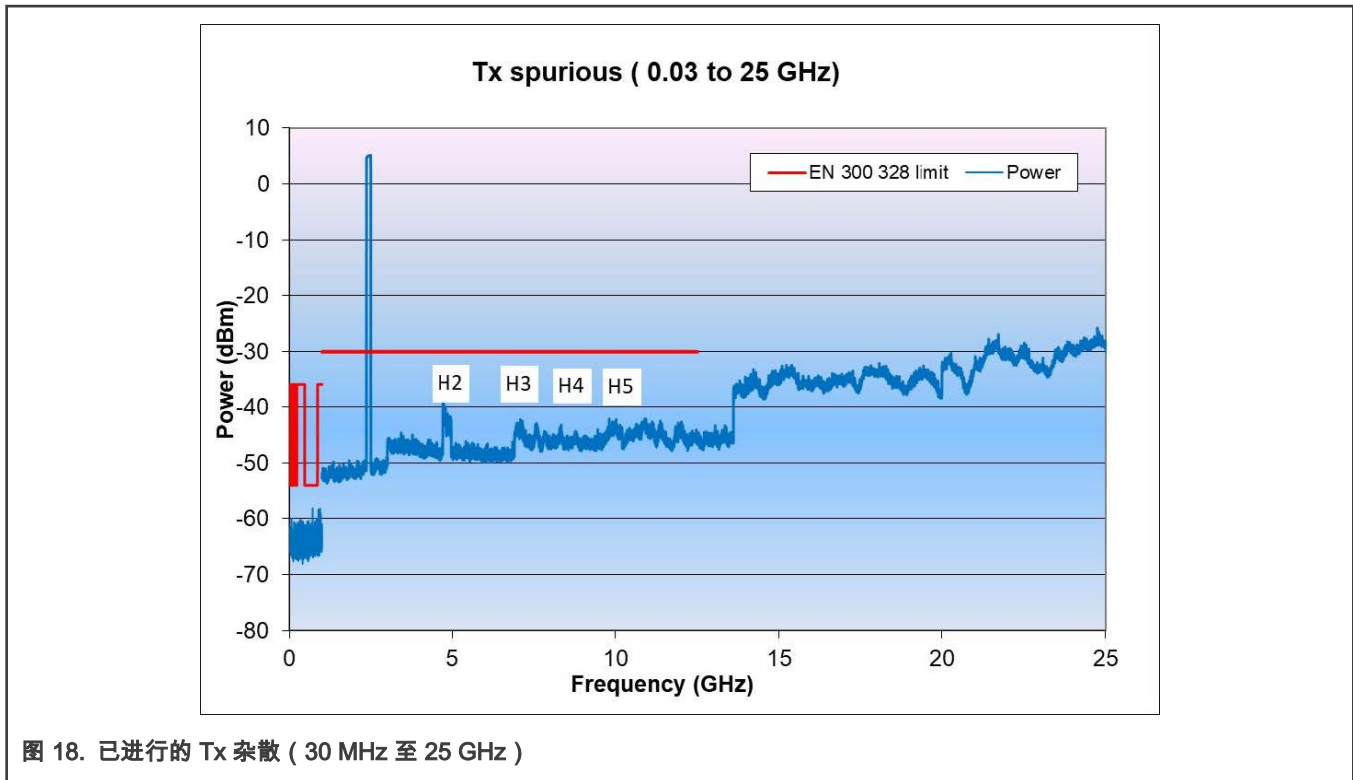
到 FCC 极限有 4.98 dB 的余量。

3.1.8 Tx 杂散 @+5 dBm

3.1.8.1 30 MHz 至 12.5 GHz

检验方法

当设备处于传输模式时，从 30 MHz 到 12.5 GHz 的全频段的杂散概述。



结论

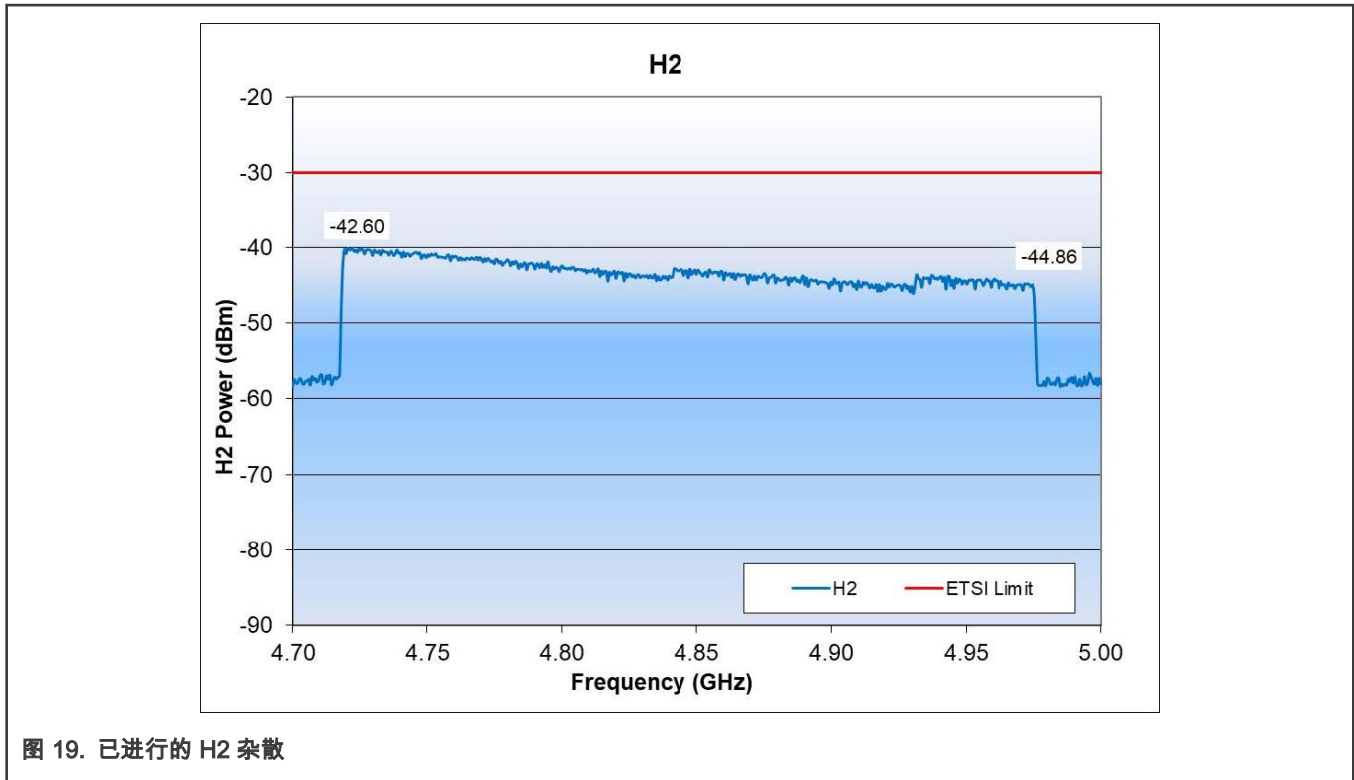
- 没有超过 EN300328 限制的 Tx 杂散 (超过 9 dB 余量)
- 谐波在以下段落中被具体测量

3.1.8.2 H2 @+5 dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

- 将无线电设置为 :
 - Tx 模式
 - 已调制
 - 连续模式
- 将分析仪设置为 :
 - 启动频率 = 4.7 GHz
 - 停止频率 = 5 GHz
 - 参考放大器 = -20 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 1 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 最大保持模式
 - 检测器 : 峰值
- 从信道 0 到 39 , 扫描所有信道

结果



- 最大功率在频率 4.8 GHz 处：-42.6 dBm

结论

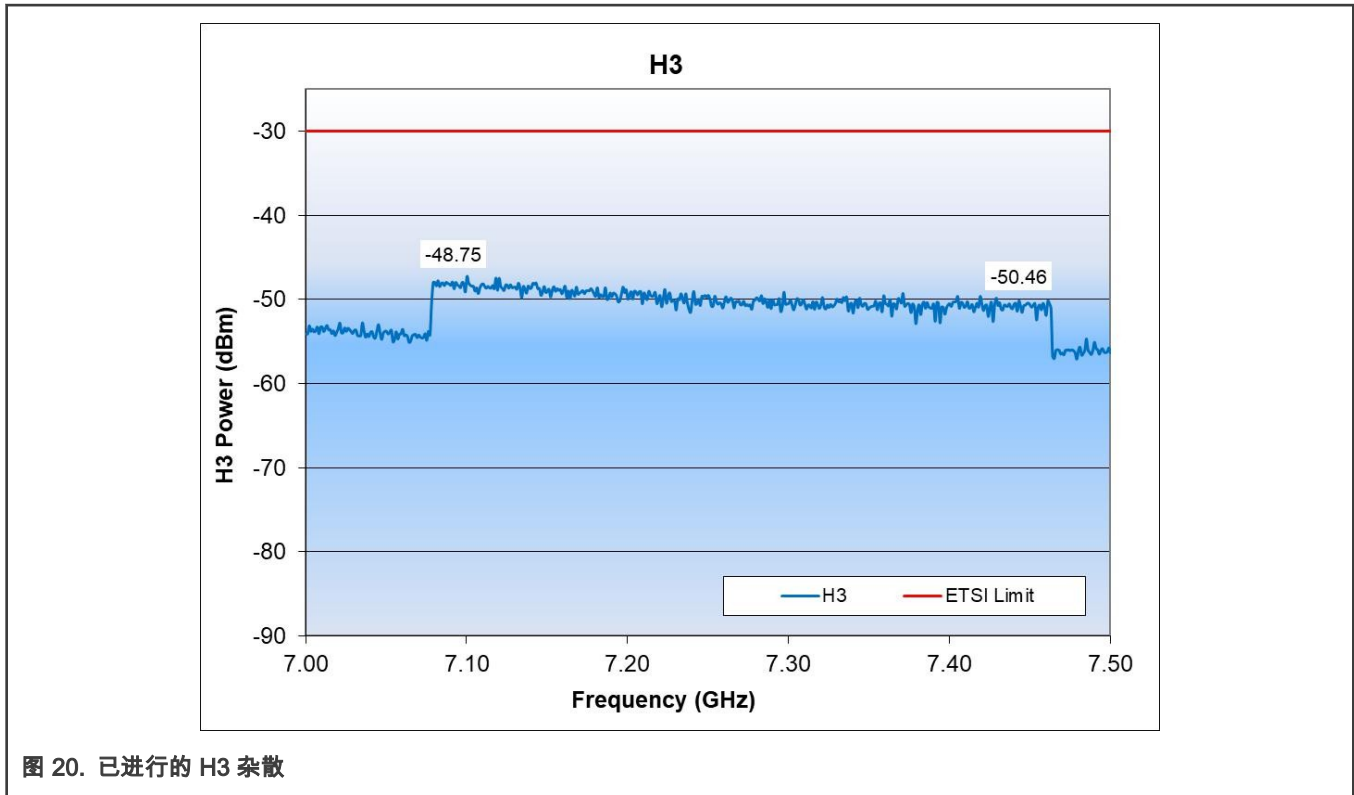
到 ETSI 极限有 12 dB 的余量。

3.1.8.3 H3 @+5 dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪频率启动/停止值设置为 7.0 及 7.5 GHz。

结果



- 最大功率在频率 7.22 GHz 处：-48.75 dBm

结论

- 到 ETSI 极限有超过 18 dB 的余量。

3.1.8.4 H4 @ +5dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 9.4 至 10.0 GHz。

结果

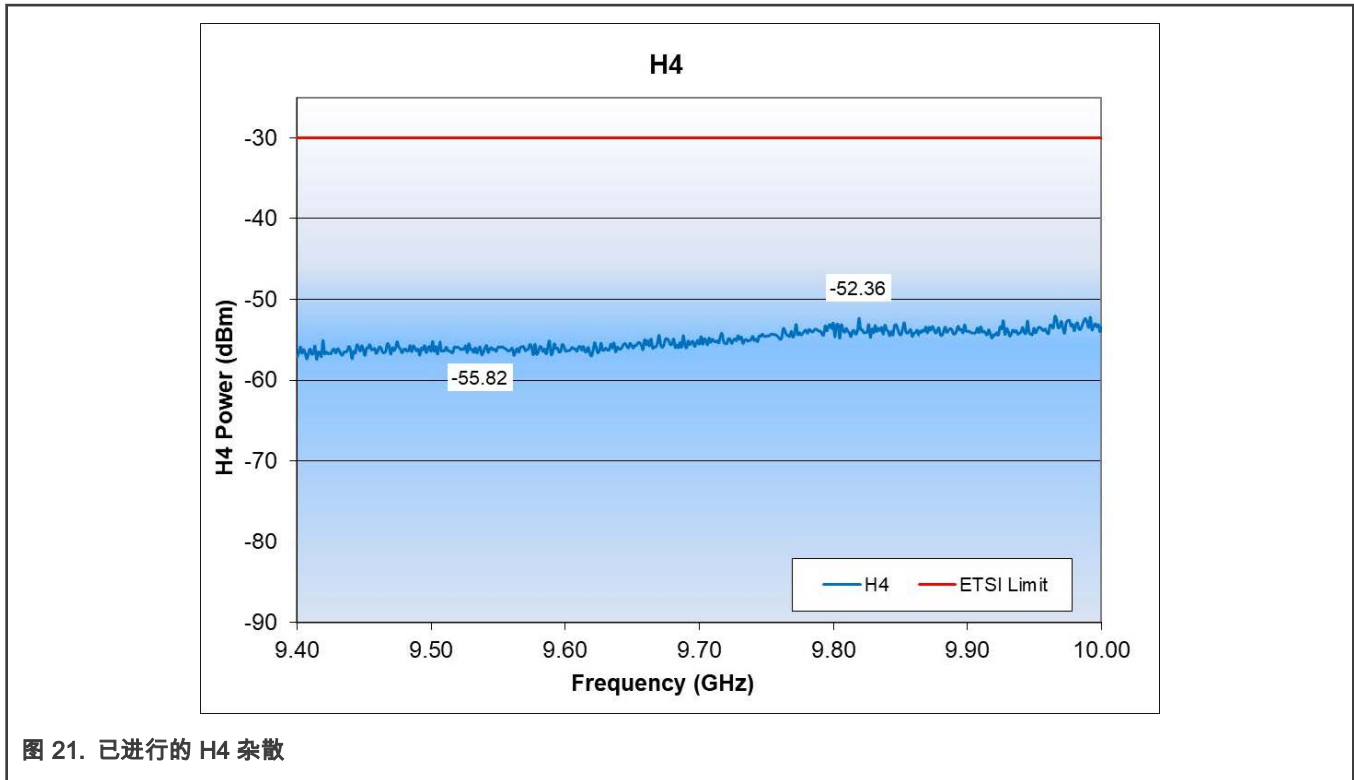


图 21. 已进行的 H4 杂散

- 最大功率在频率 9.82 GHz 处：-52.36 dBm

结论

- 到 ETSI 极限有超过 22 dB 的余量。

3.1.8.5 H5 @+5 dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 11.7 至 12.5 GHz。

结果

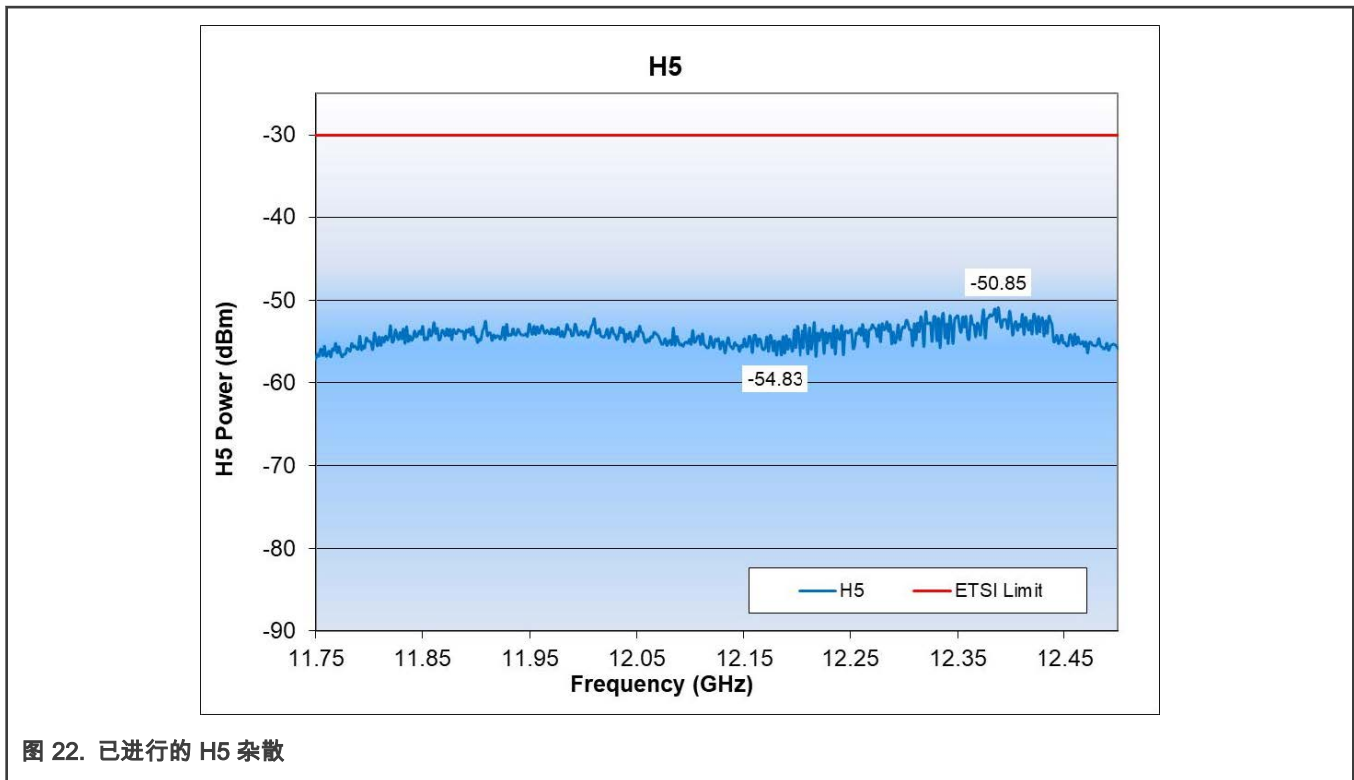


图 22. 已进行的 H5 杂散

- 最大功率在频率 12.38 GHz 处：-50.85 dBm

结论

- 到 ETSI 极限有超过 20 dB 的余量。

3.1.8.6 H6 @ +5 dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 14.1 至 15 GHz。

结果

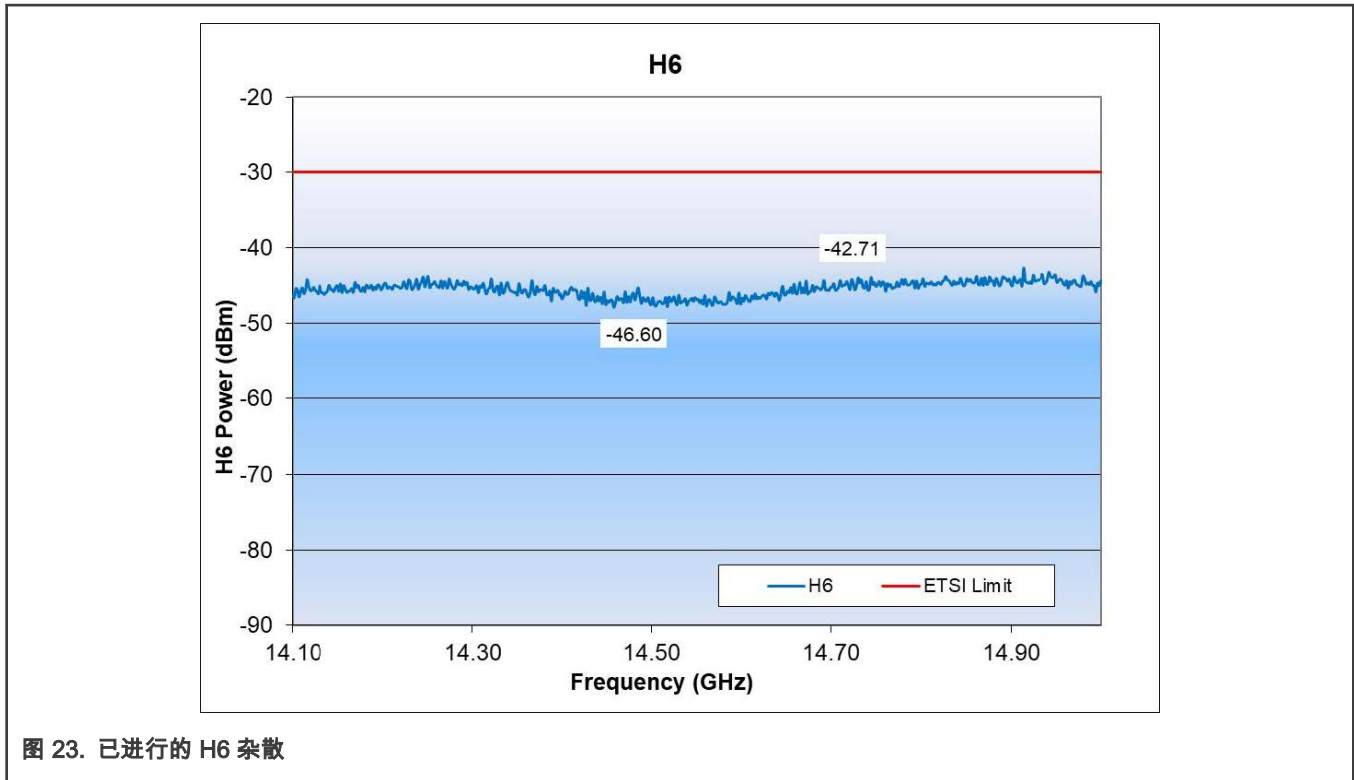


图 23. 已进行的 H6 杂散

- 最大功率在频率 14.91 GHz 处：-42.71 dBm

结论

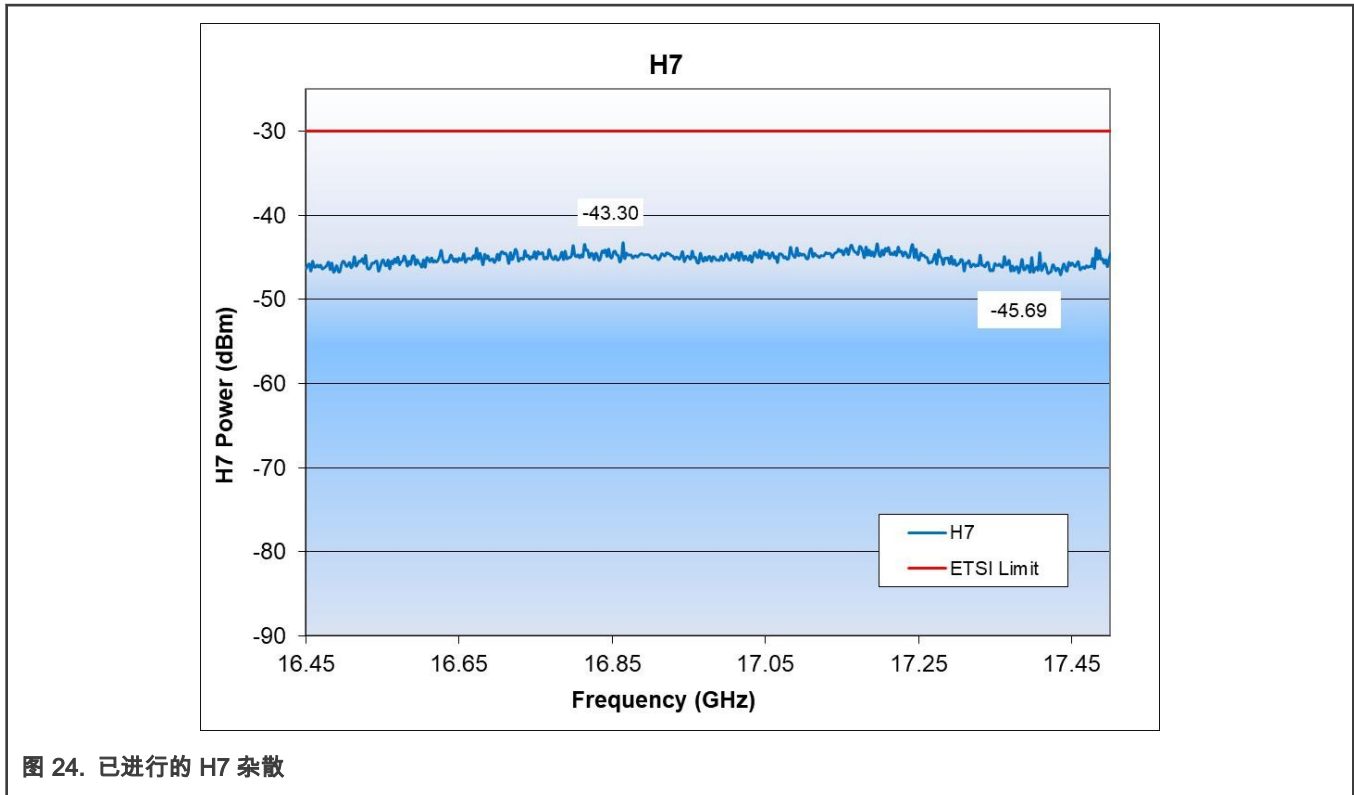
- 到 ETSI 极限有超过 12 dB 的余量。

3.1.8.7 H7 @+5 dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 16.45 至 17.5 GHz。

结果



- 最大功率在频率 17.19 GHz 处：-43.3 dBm

结论

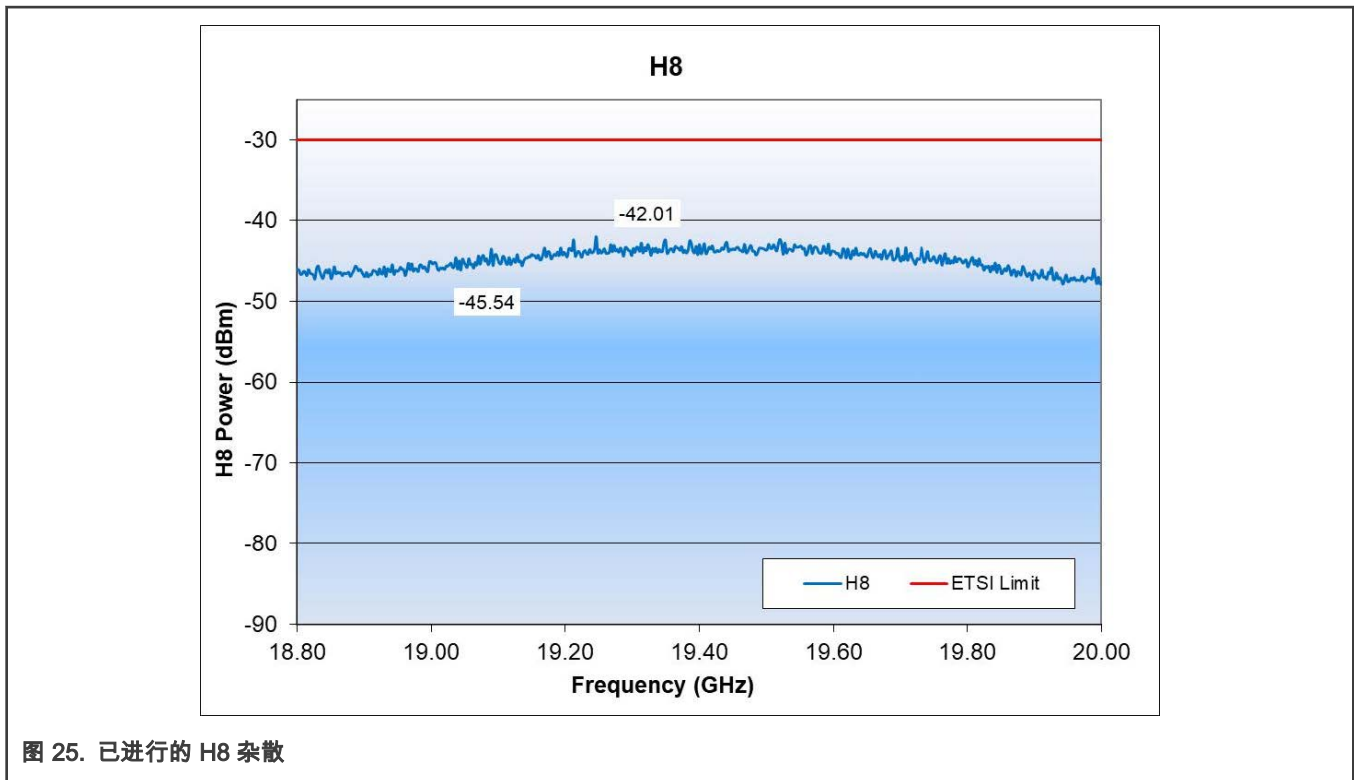
- 到 ETSI 极限有超过 13 dB 的余量。

3.1.8.8 H8 @ +5dBm (ETSI 测试条件 , 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 18.8 至 20 GHz。

结果



- 最大功率在频率 19.24 GHz 处：-42.01 dBm

结论

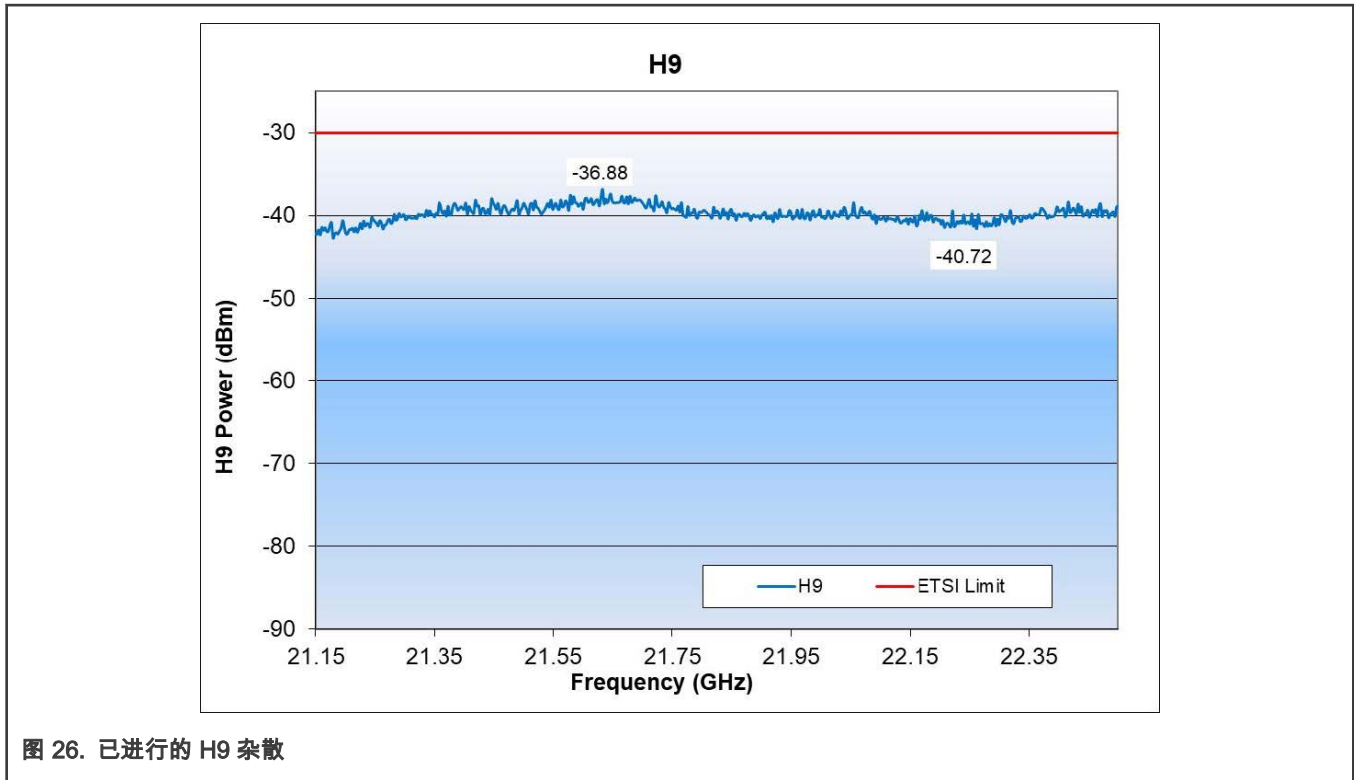
- 到 ETSI 极限有超过 12 dB 的余量。

3.1.8.9 H9 @ +5 dBm (ETSI 测试条件, 测峰)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 21.15 至 22.5 GHz。

结果



- 最大功率在频率 21.63 GHz 处：-36.88 dBm

结论

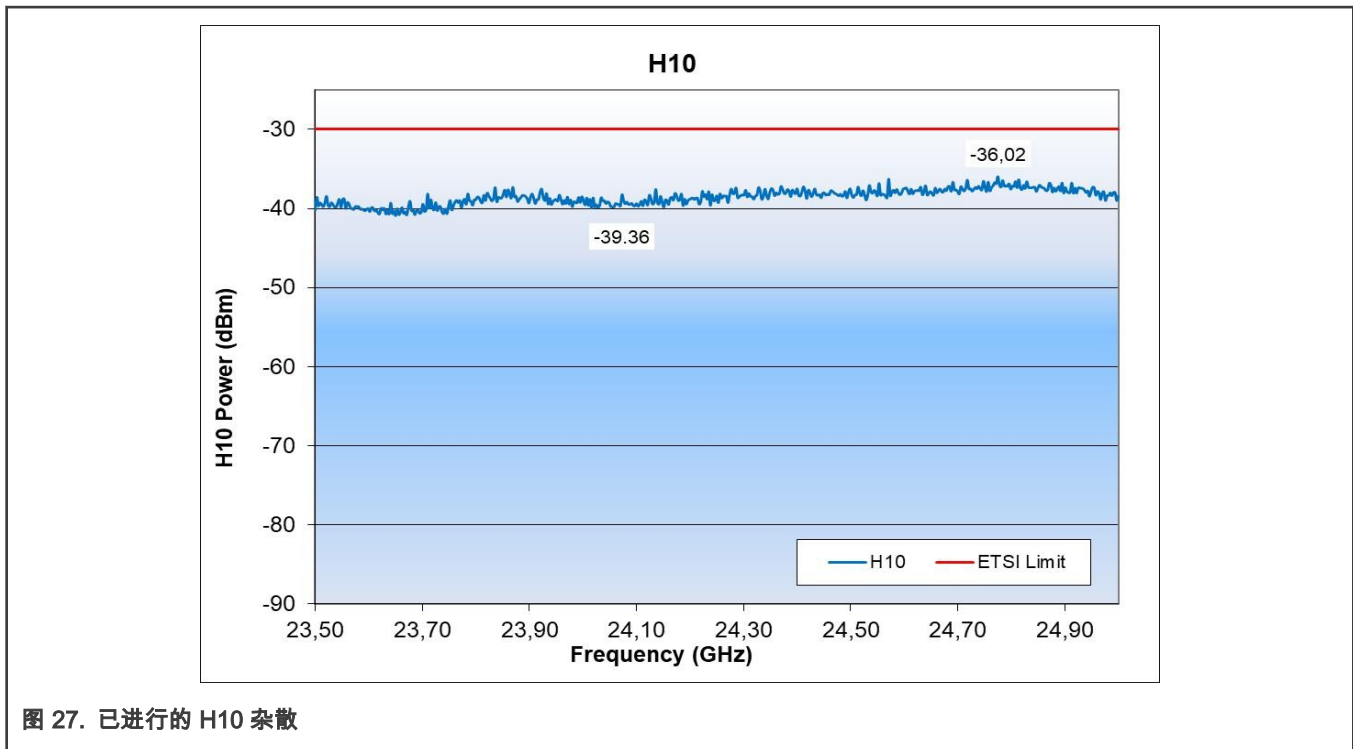
- 到 ETSI 极限有超过 6 dB 的余量。

3.1.8.10 H10 @ +5 dBm (ETSI 测试条件, 峰值测量)

检验方法

方法与 H2 相同，但频谱分析仪的频率跨度设置为 23.5 至 25 GHz。

结果



- 最大功率在频率 24.77 GHz 处：-36.02 dBm

结论

- 到 ETSI 极限有超过 6 dB 的余量。

3.1.8.11 H2 @+5dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

- 将无线电设置为：
 - Tx 模式
 - 已调制
 - 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 4.7 GHz
 - 停止频率 = 5 GHz
 - 参考放大器 = -20 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 1 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 跟踪：最大保持模式
 - 检测器：RMS
- 从信道 0 到 39，扫描所有信道

结果

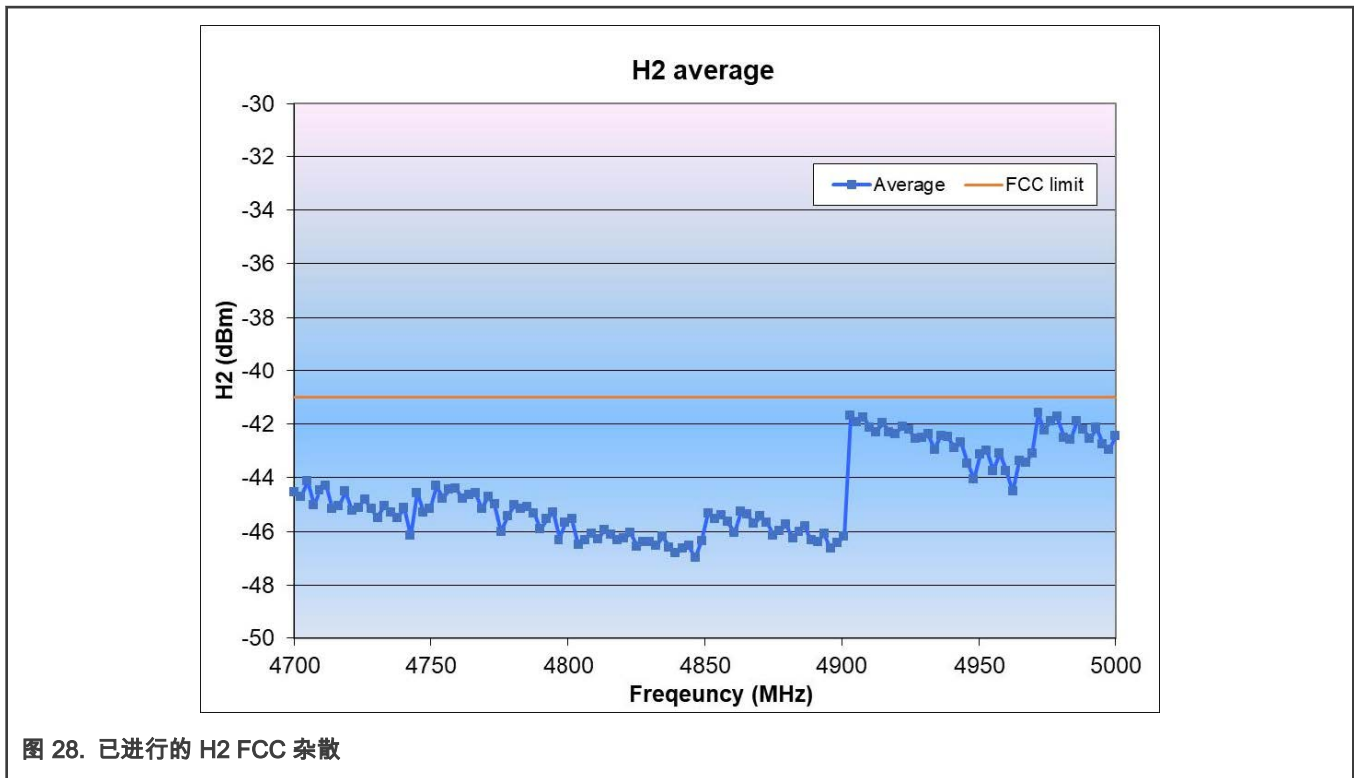


图 28. 已进行的 H2 FCC 杂散

- 最大功率在频率 4.906 GHz 处：-41.57 dBm

结论

到 FCC 极限有 0.4 dB 的余量。

3.1.8.12 H3 @+5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 7.0 - 7.5 GHz。

结果

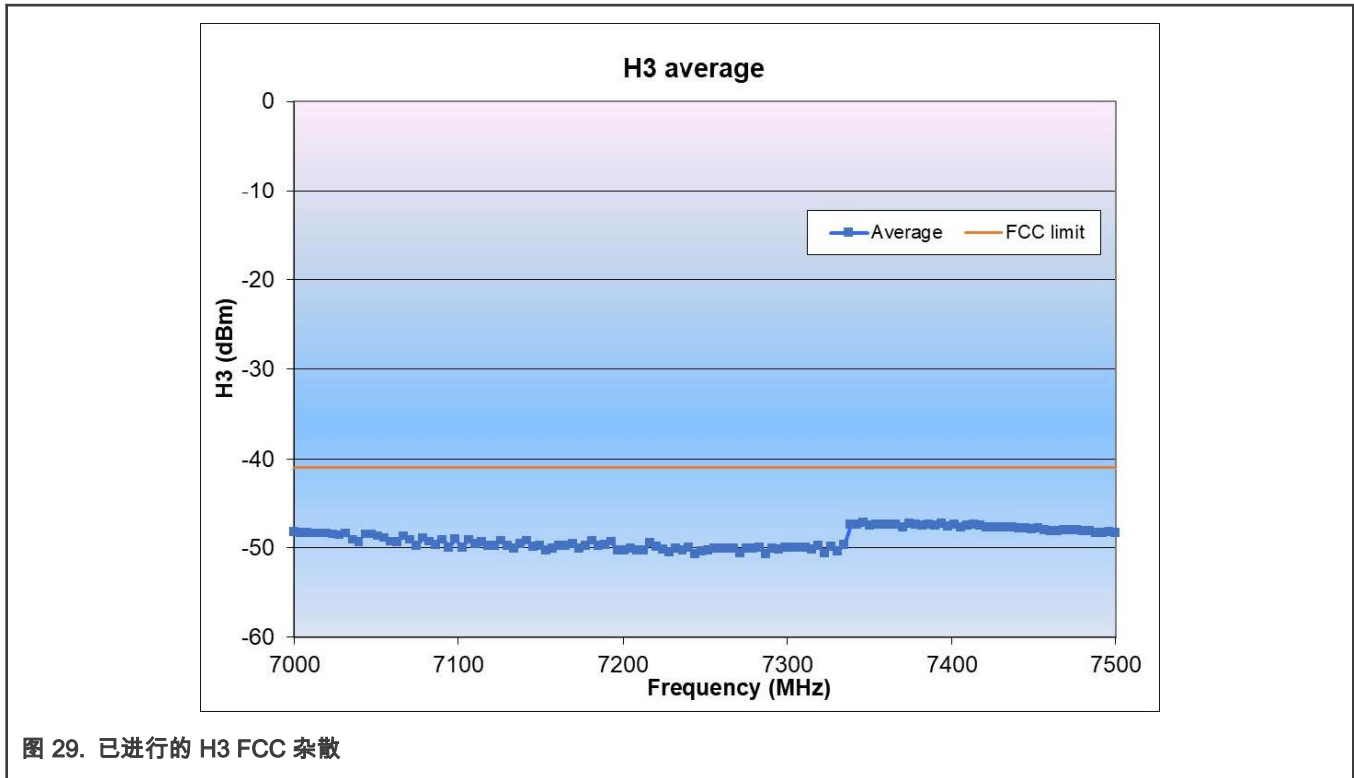


图 29. 已进行的 H3 FCC 杂散

- 最大功率在频率 7.34 GHz 处：-47.16 dBm

结论

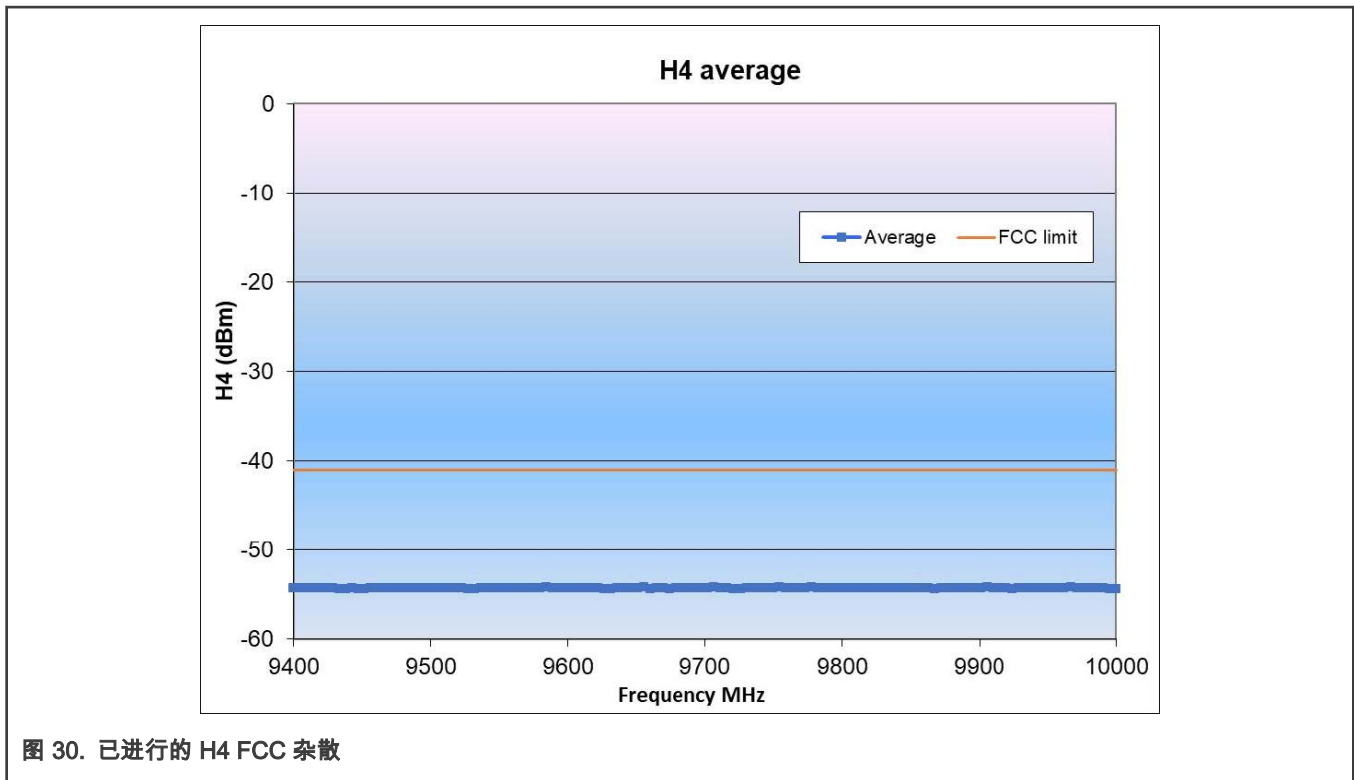
到 FCC 极限有 6 dB 以上的余量。

3.1.8.13 H4 @+5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 9.4 - 10 GHz。

结果



- 最大功率在频率 9.78 GHz 处 : -54.18 dBm

结论

到 FCC 极限有 13 dB 以上的余量。

3.1.8.14 H5 @+5 dBm (FCC 测试条件 , 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同 , 但频谱分析仪的频率跨度设置为 11.7 - 12.5 GHz。

结果

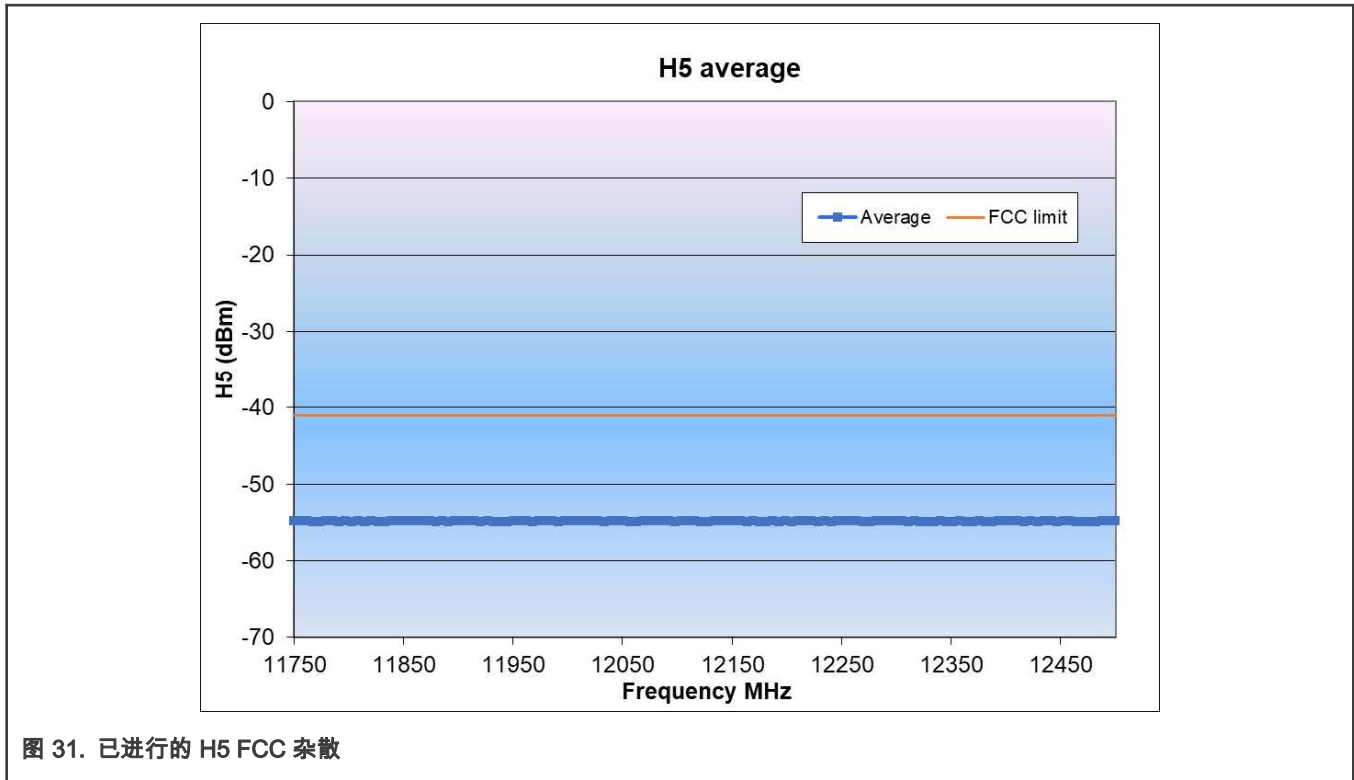


图 31. 已进行的 H5 FCC 杂散

- 最大功率在频率 12.07 GHz 处：-54.8 dBm

结论

到 FCC 极限有 13 dB 以上的余量。

3.1.8.15 H6 @+5dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 14.1 - 15 GHz。

结果

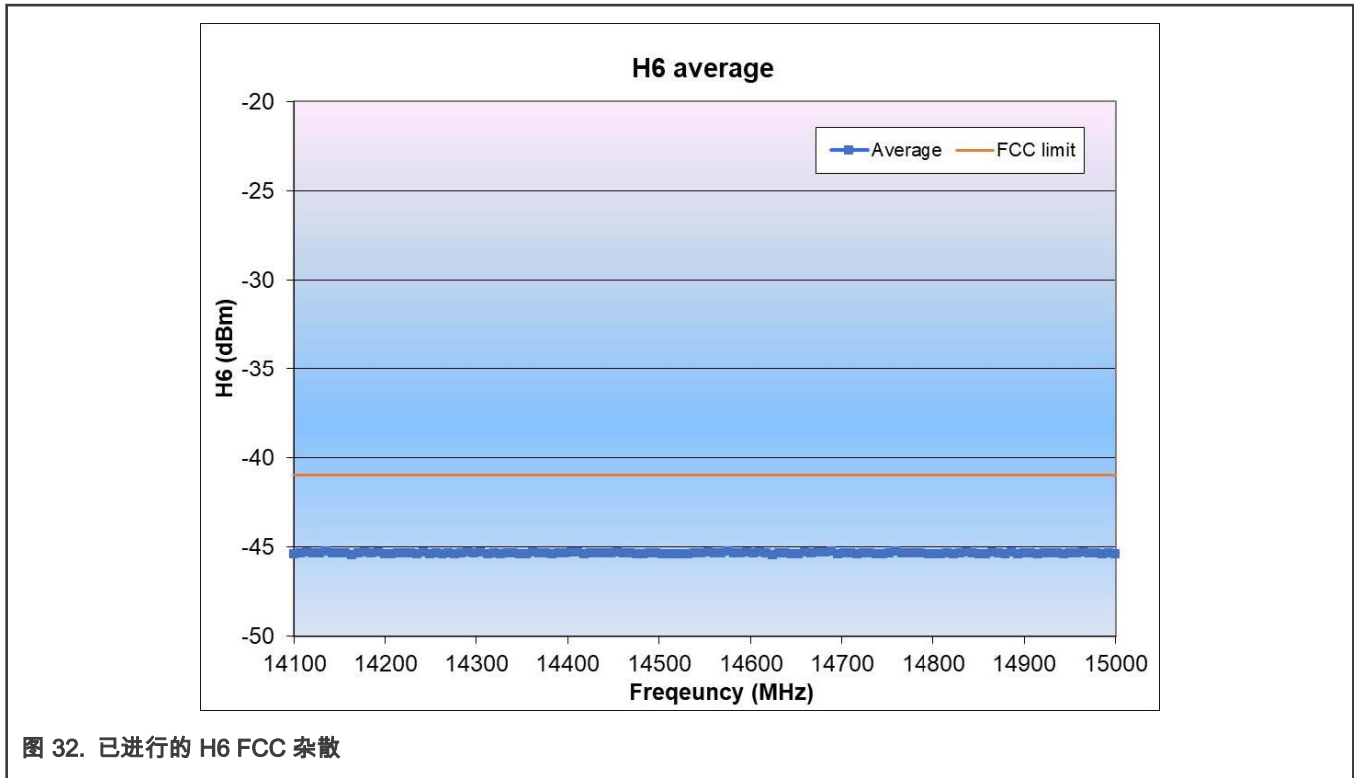


图 32. 已进行的 H6 FCC 杂散

- 最大功率在频率 14.57 GHz 处：-45.23 dBm

结论

到 FCC 极限有 4 dB 以上的余量。

3.1.8.16 H7 @+5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 16.45 - 17.5 GHz。

结果

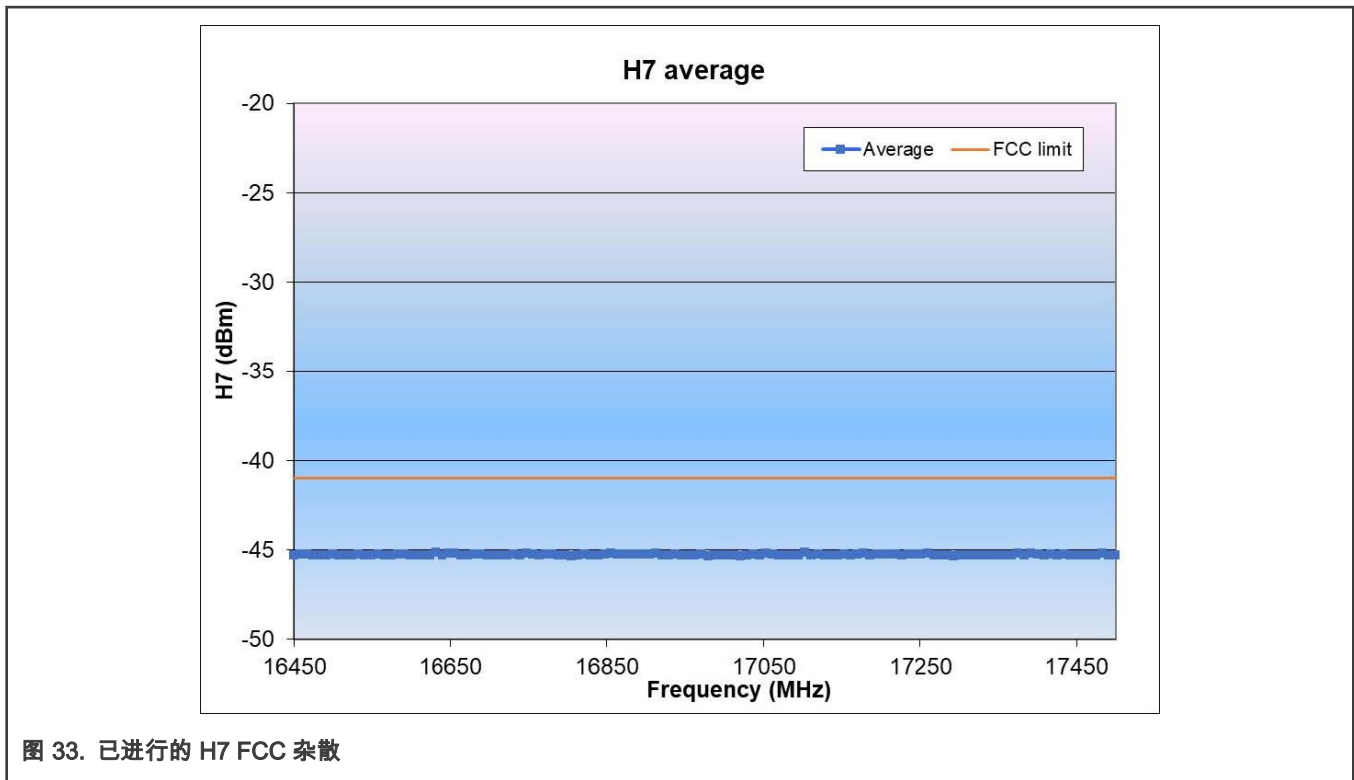


图 33. 已进行的 H7 FCC 杂散

- 最大功率在频率 17.1 GHz 处：-45.15 dBm

结论

到 FCC 极限有 4 dB 以上的余量。

3.1.8.17 H8 @+5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 18.8 - 20 GHz。

结果

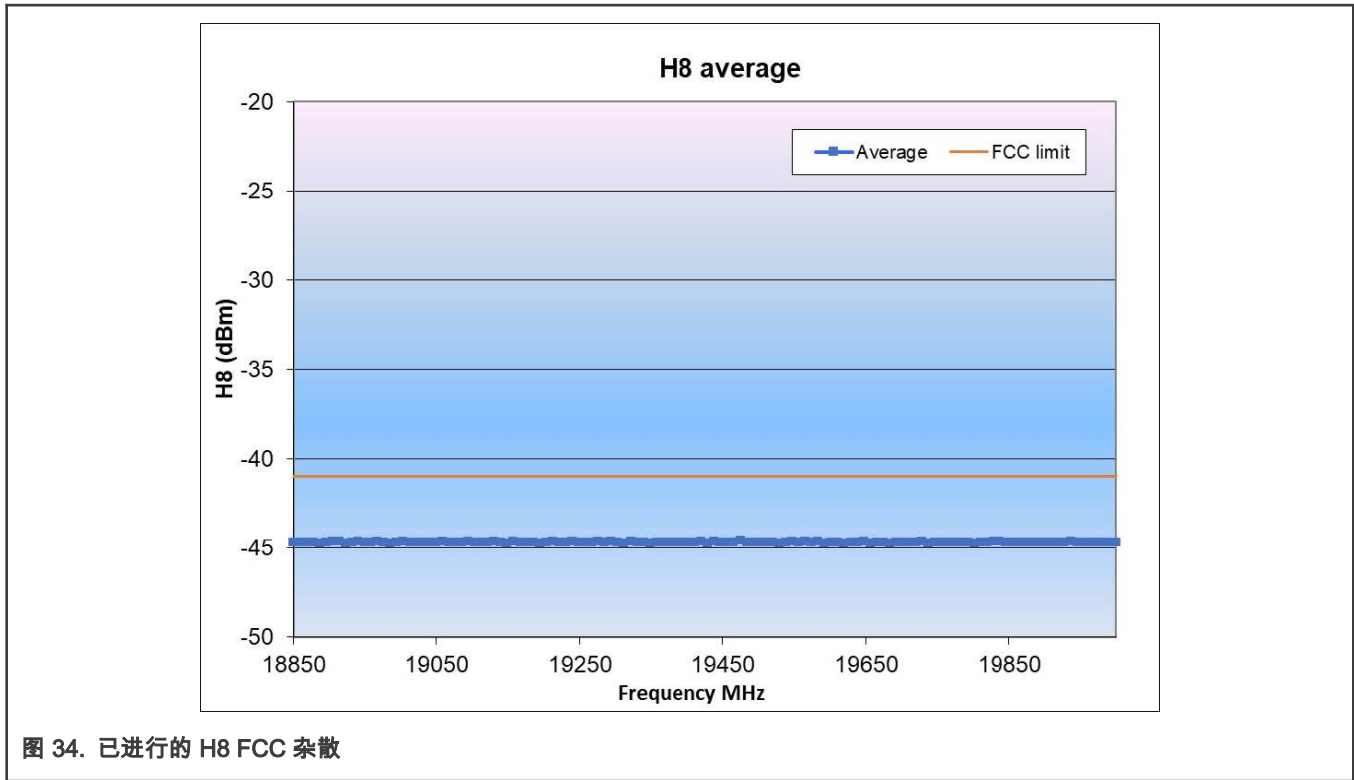


图 34. 已进行的 H8 FCC 杂散

- 最大功率在频率 19.47 GHz 处 : -44.6 dBm

结论

到 FCC 极限有 4 dB 以上的余量。

3.1.8.18 H9 @+5 dBm (FCC 测试条件 , 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同 , 但频谱分析仪的频率跨度设置为 21.15 - 22 GHz。

结果

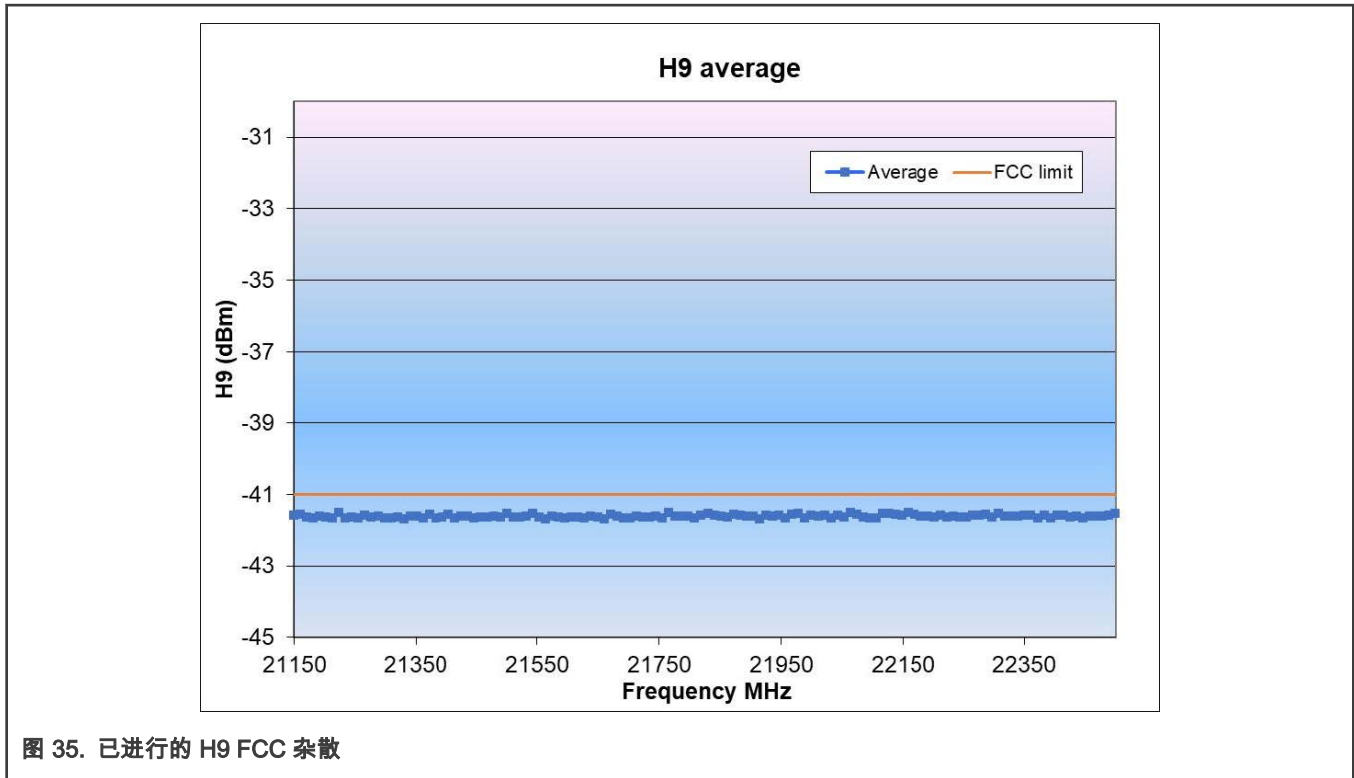


图 35. 已进行的 H9 FCC 杂散

- 最大功率在频率 21.2 GHz 处：-41.56 dBm

结论

到 FCC 极限有较低的余量。

3.1.8.19 H10 @+5 dBm (FCC 测试条件, 平均测量)

检验方法

方法与 H2 相同, 但频谱分析仪的频率跨度设置为 23.5 - 25 GHz。

结果

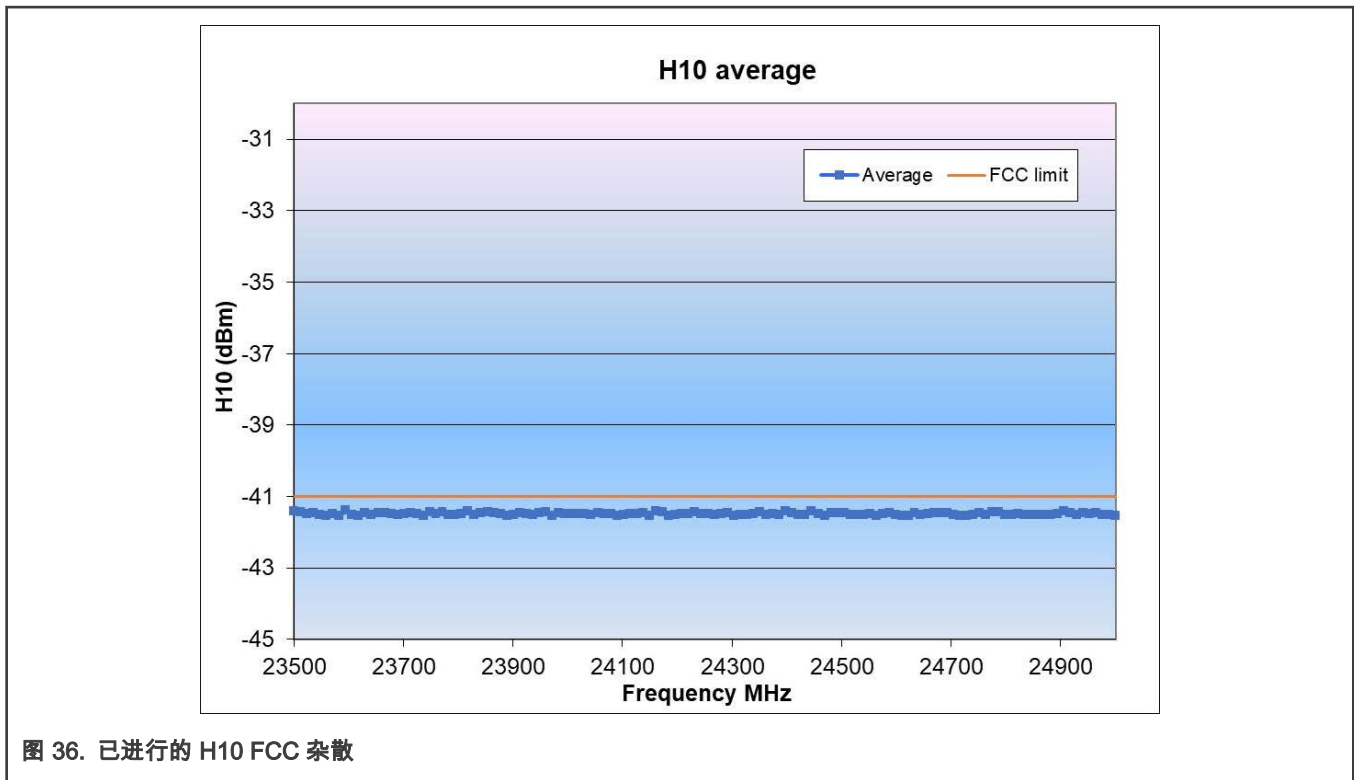


图 36. 已进行的 H10 FCC 杂散

- 最大功率在频率 23.6 GHz 处：-41.4 dBm

结论

到 FCC 极限有较低的余量。

3.1.9 上带边缘

检验方法

- 将无线电设置为：
 - 信道 39 RF 输出功率**必须**设置为 -3.5 dBm (连接测试值 = 功率 13)
 - Tx 模式
 - 已调制
 - 连续模式
- 将分析仪设置为：
 - 启动频率 = 2.475 GHz
 - 停止频率 = 2.485 GHz
 - 参考放大器 = -20 dBm
 - 扫描时间 = 100 ms
 - RBW = 1 MHz
 - VBW = 3 MHz
 - 探测器 = 平均值

- 平均模式：功率
- 扫数 = 100
- 设置信道 39 (2.48 GHz)

结果

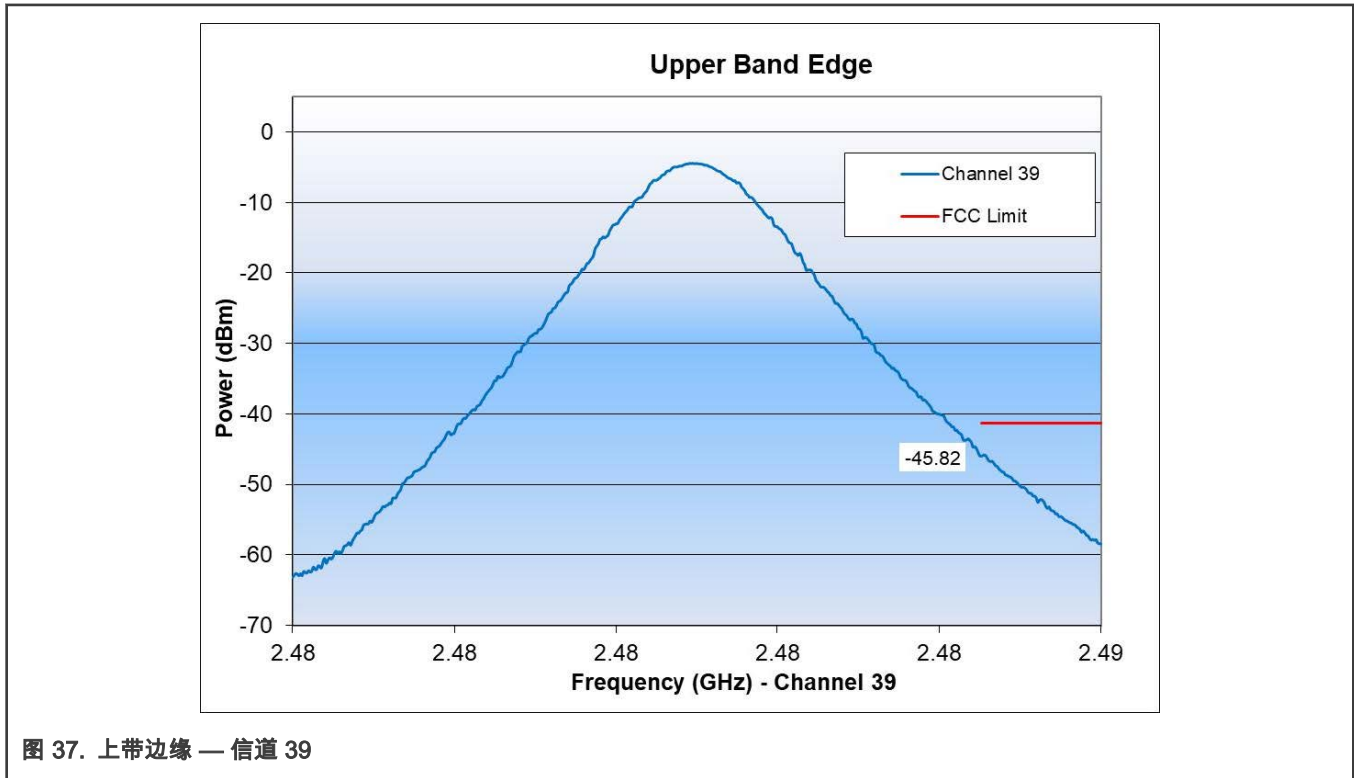


图 37. 上带边缘 — 信道 39

结论

- 上带边缘测试通过 FCC 认证。
- 到 FCC 极限有 4.7 dB 余量。

3.1.10 调制特性

使用 CMW 设备测量 df1 和 df2 之间的频率偏差。一个特定的二进制文件 *hcj_blackbox.bin* 将会刷新。

检验方法

- 所需信号的发生器：CMWR&S
- 标准：PER < 30.8 %，1500 包
- 测试信道：0、19 及 39

结果

表 5. 调制特性

TP/TRM-LE/CA/BV-05-C [Modulation Characteristics]	Lower Limit	Upper Limit	Measured	Unit	Status
Payload length: 37, Statistics Count: 10					
Channel 0					
Frequency Deviation df1 Average	225	275	250.94	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 99.9 %	185	—	219.53	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 Average/df1 Average	0.80	—	0.92	—	Passed
Channel 19					
Frequency Deviation df1 Average	225	275	250.56	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 99.9 %	185	—	221.93	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 Average/df1 Average	0.80	—	0.92	—	Passed
Channel 39					
Frequency Deviation df1 Average	225	275	250.41	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 99.9 %	185	—	222.53	kHz	Passed
Frequency Deviation df2 Average/df1 Average	0.80	—	0.93	—	Passed

结论

余量较好，符合预期效果。

3.1.11 载波频率偏移和漂移

使用 CMW 设备测量 df1 和 df2 之间的频率偏差。一个特定的二进制文件 *hci_blackbox.bin* 将会刷新。

检验方法

- 所需信号的发生器：CMW270R&S
- 标准：PER < 30.8 %，1500 包
- 测试信道：0、19 和 39

结果

表 6. 载波频率偏移和漂移

TP/TRM-LE/CA/BV-05-C [Carrier frequency offset and drift]	Lower Limit	Upper Limit	Measured	Unit	Status
Payload length: 37, Statistics Count: 10					
Channel 0					

下页继续...

表 6. 载波频率偏移和漂移 (续上页)

TP/TRM-LE/CA/BV-05-C [Carrier frequency offset and drift]	Lower Limit	Upper Limit	Measured	Unit	Status
Payload length: 37, Statistics Count: 10					
Frequency Accuracy	-150.00	150.00	-12.04	kHz	Passed
Frequency Offset	-150.00	150.00	-12.79	kHz	Passed
Frequency Drift	-50.00	50.00	-1.75	kHz	Passed
Max Drift Rate	-20.00	20.00	1.69	kHz	Passed
Initial Frequency Drift	-23.00	23.00	1.36	kHz	Passed
Channel 19					
Frequency Accuracy	-150.00	150.00	-11.89	kHz	Passed
Frequency Offset	-150.00	150.00	-12.75	kHz	Passed
Frequency Drift	-50.00	50.00	-2.01	kHz	Passed
Max Drift Rate	-20.00	20.00	-1.56	kHz	Passed
Initial Frequency Drift	-23.00	23.00	-1.46	kHz	Passed
Channel 39					
Frequency Accuracy	-150.00	150.00	-12.67	kHz	Passed
Frequency Offset	-150.00	150.00	-13.04	kHz	Passed
Frequency Drift	-50.00	50.00	-1.95	kHz	Passed
Max Drift Rate	-20.00	20.00	-1.47	kHz	Passed
Initial Frequency Drift	-23.00	23.00	-1.11	kHz	Passed

结论

余量较好，符合预期效果。

3.2 Rx 测试

3.2.1 测试搭建

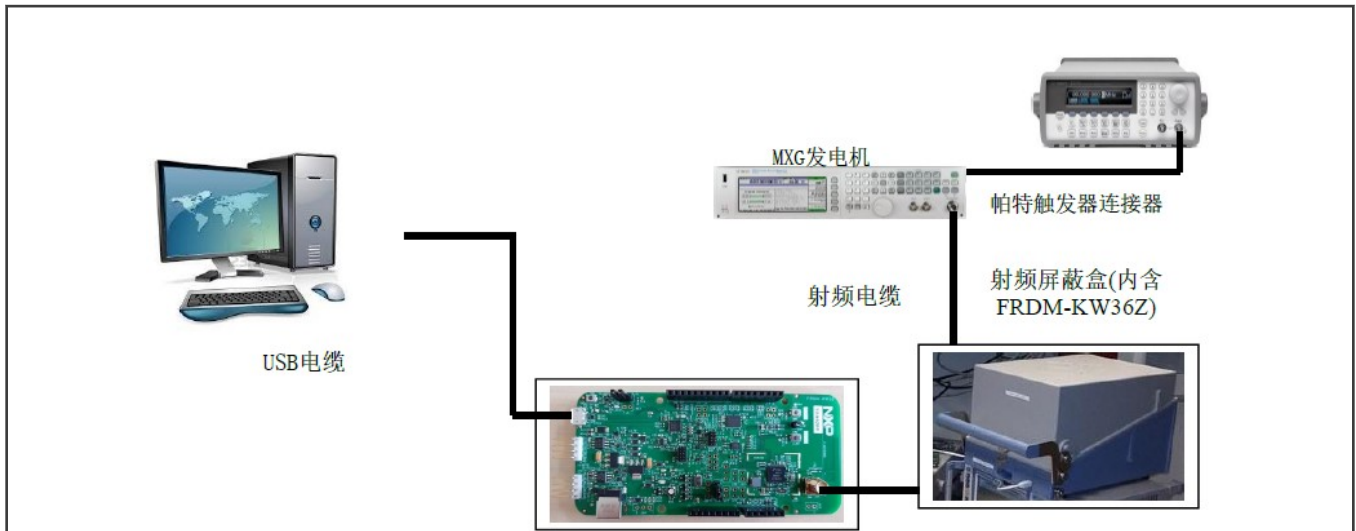


图 38. 用射频发生器和法拉第盒进行灵敏度 Rx 测试装置

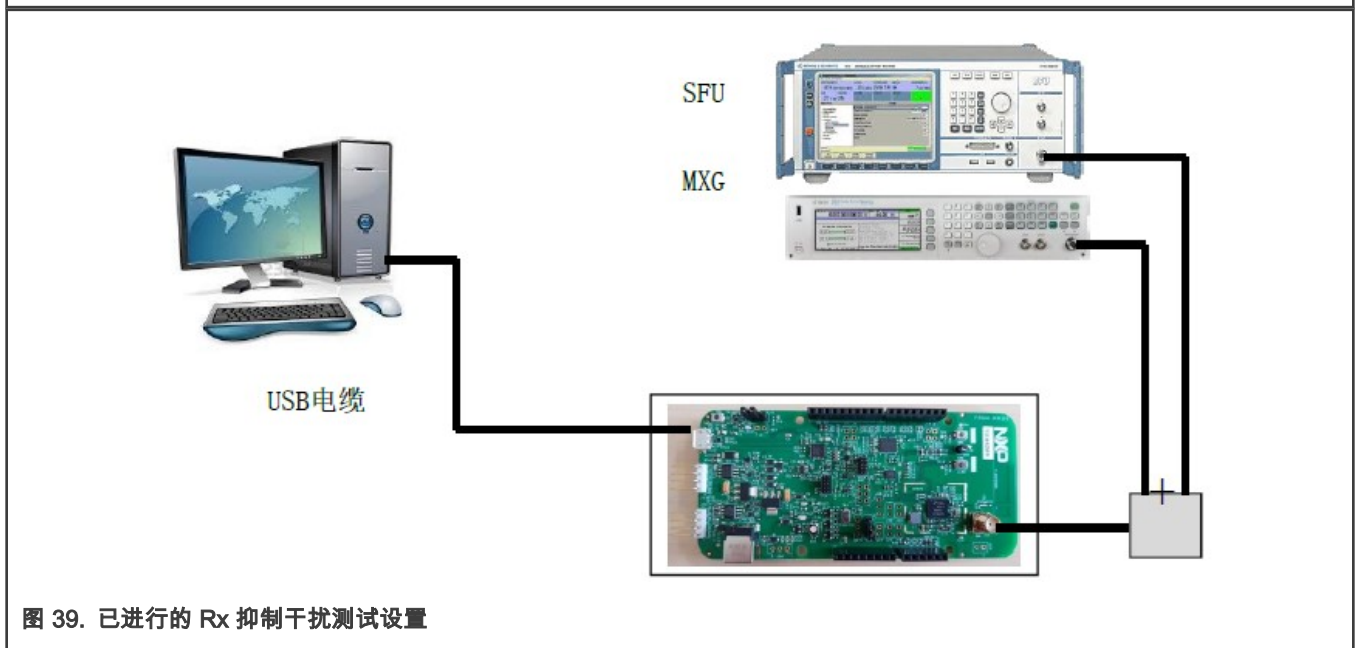


图 39. 已进行的 Rx 抑制干扰测试设置

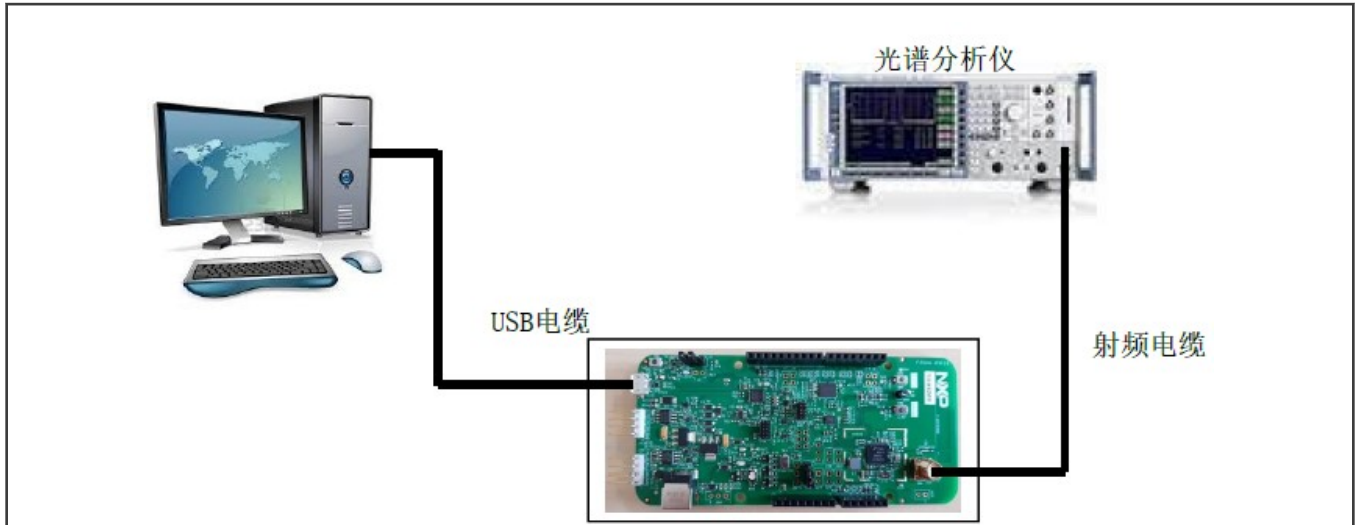


图 40. 已进行的 Rx 杂散测试设置

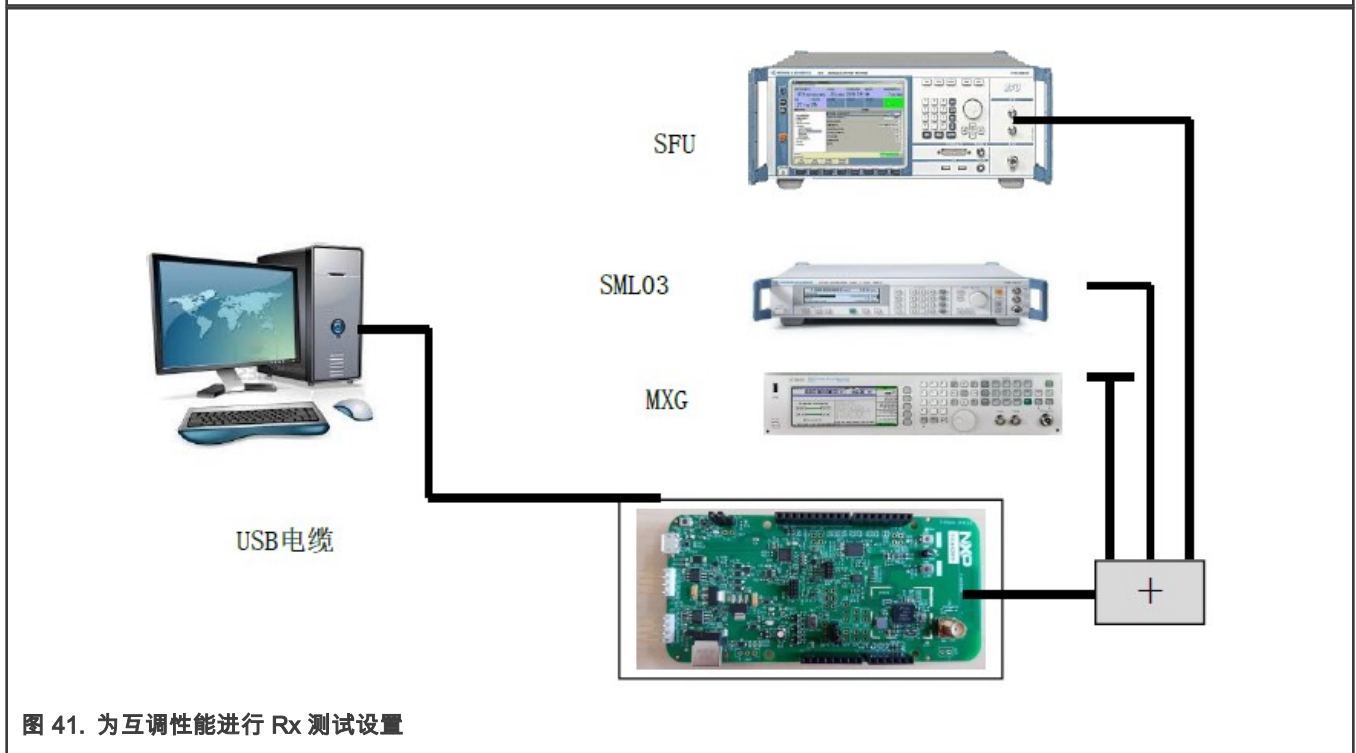


图 41. 为互调性能进行 Rx 测试设置

3.2.2 敏感性

3.2.2.1 ARB 发生器

检验方法

- 为了不受外部寄生信号的影响，将 FRDM-KW36Z 放入射频屏蔽盒。



图 42. 敏感性测试

使用 ARB 模式的生成器 (Agilent NX5181 MXG) 以生成 1500 个数据包的模式。TERATERM 窗口用于控制模块。

- 设置为信道 0。
- 自动建立连接并测量 PER (分组错误率)。
- 降低模块射频输入处的 SFU 水平, 直到 PER = 30.8 %.
- 重复到信道 39。

结果

- LDO-HF not bumped

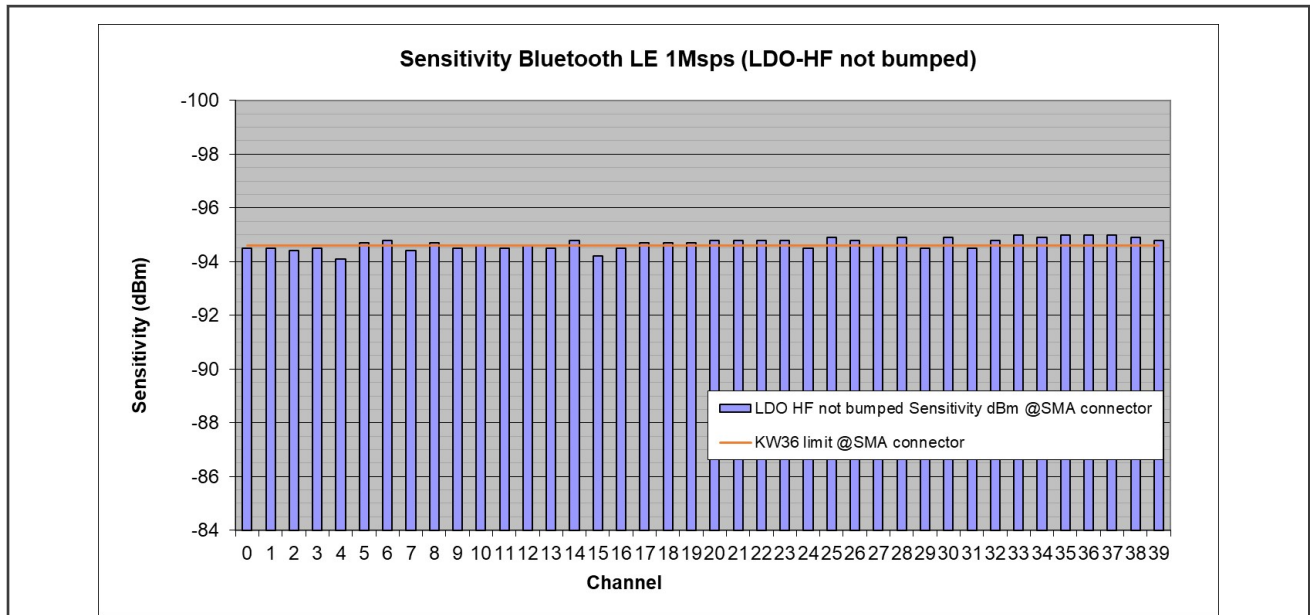


图 43. 敏感性结果 (LDO-HF 未碰撞)

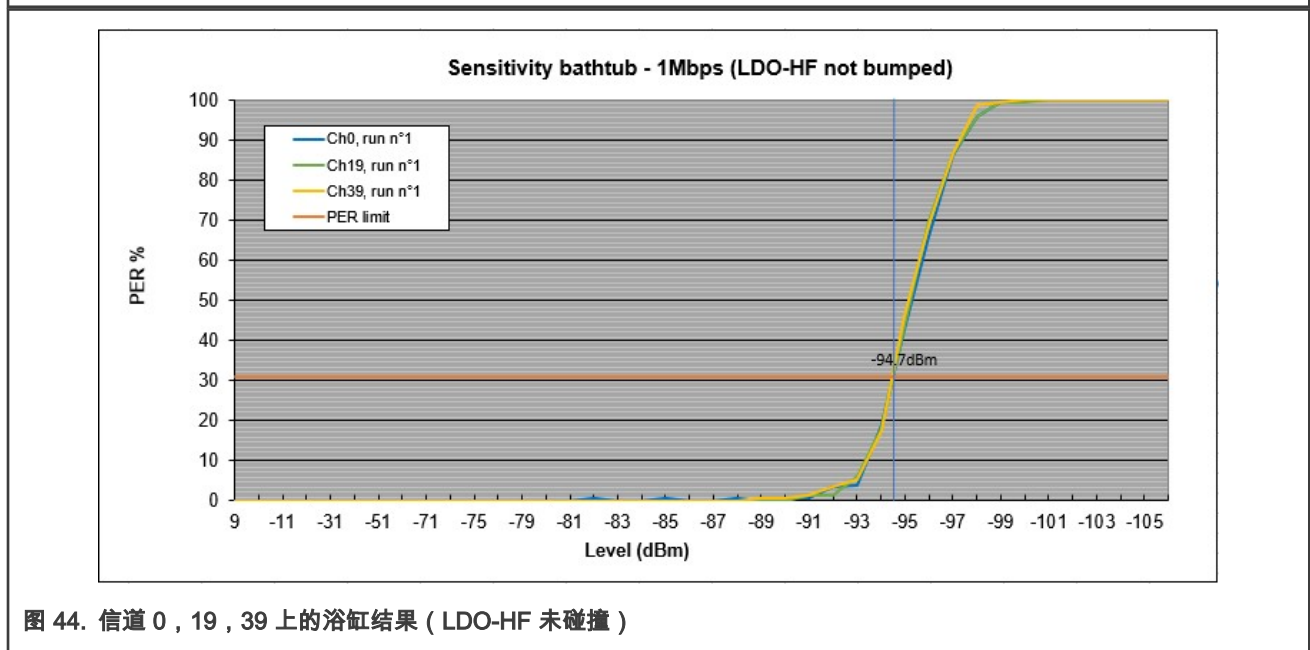


图 44. 信道 0, 19, 39 上的浴缸结果 (LDO-HF 未碰撞)

- 灵敏度最高的在信道 33, 35, 36, 37 上 : -95.0 dBm
- 灵敏度最低的在信道 3, 15 上 : -94.1 dBm
- 信道增量 : 0.9 dB

- LDO-HF not bumped

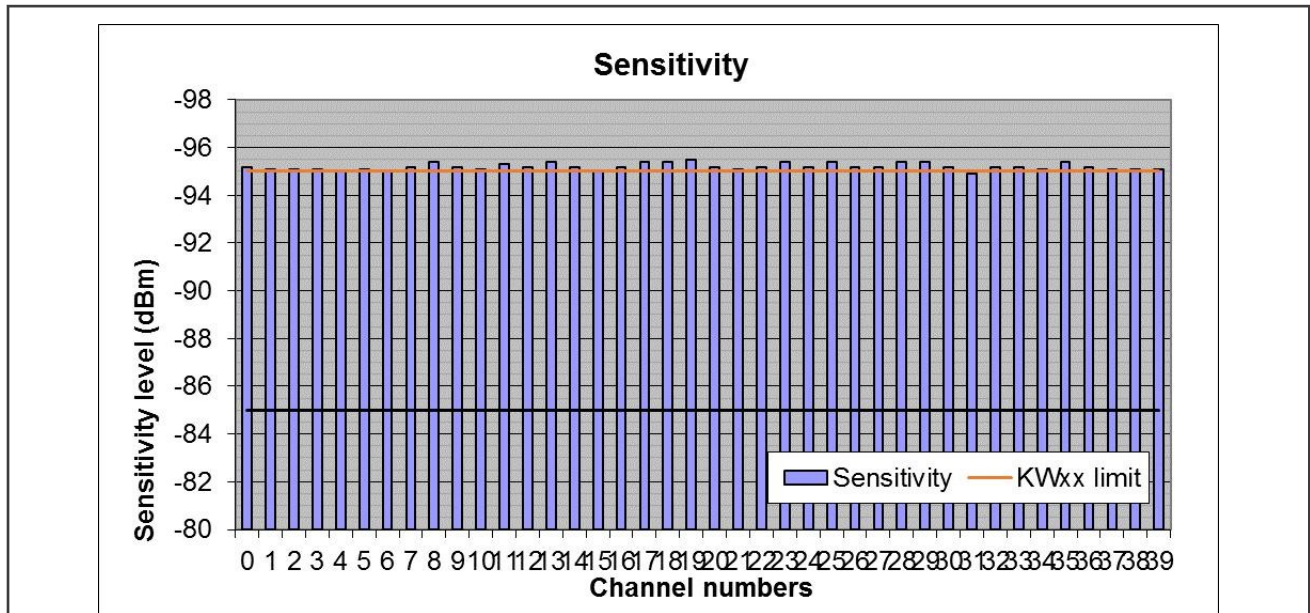


图 45. 敏感性结果 (LDO-HF 碰撞)

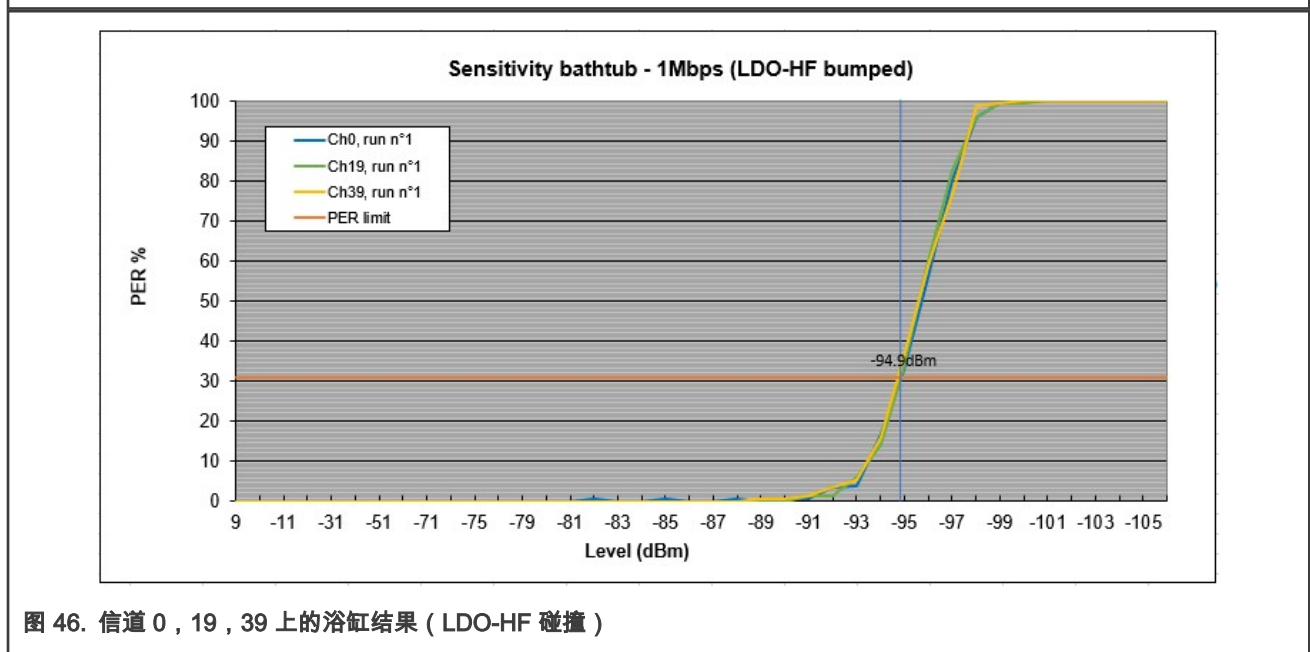


图 46. 信道 0 , 19 , 39 上的浴缸结果 (LDO-HF 碰撞)

- 灵敏度最高的在信道 33 , 35 , 36 , 37 上 : -95.2 dBm
- 灵敏度最低的在信道 3 , 15 上 : -94.7 dBm
- 信道增量 : 0.5 dB

结论

FRDM-KW36Z 显示的平均值为 -95.2 dBm :

- -94.9 dBm (LDO-HF 碰撞)
- -94.7 dBm (LDO-HF 未碰撞)

3.2.3 接收机最大输入电平

检验方法

- 使用与灵敏度测试相同的测试设置。
- 信号电平增加到 1500 包时，PER = 30.8 %。

结果

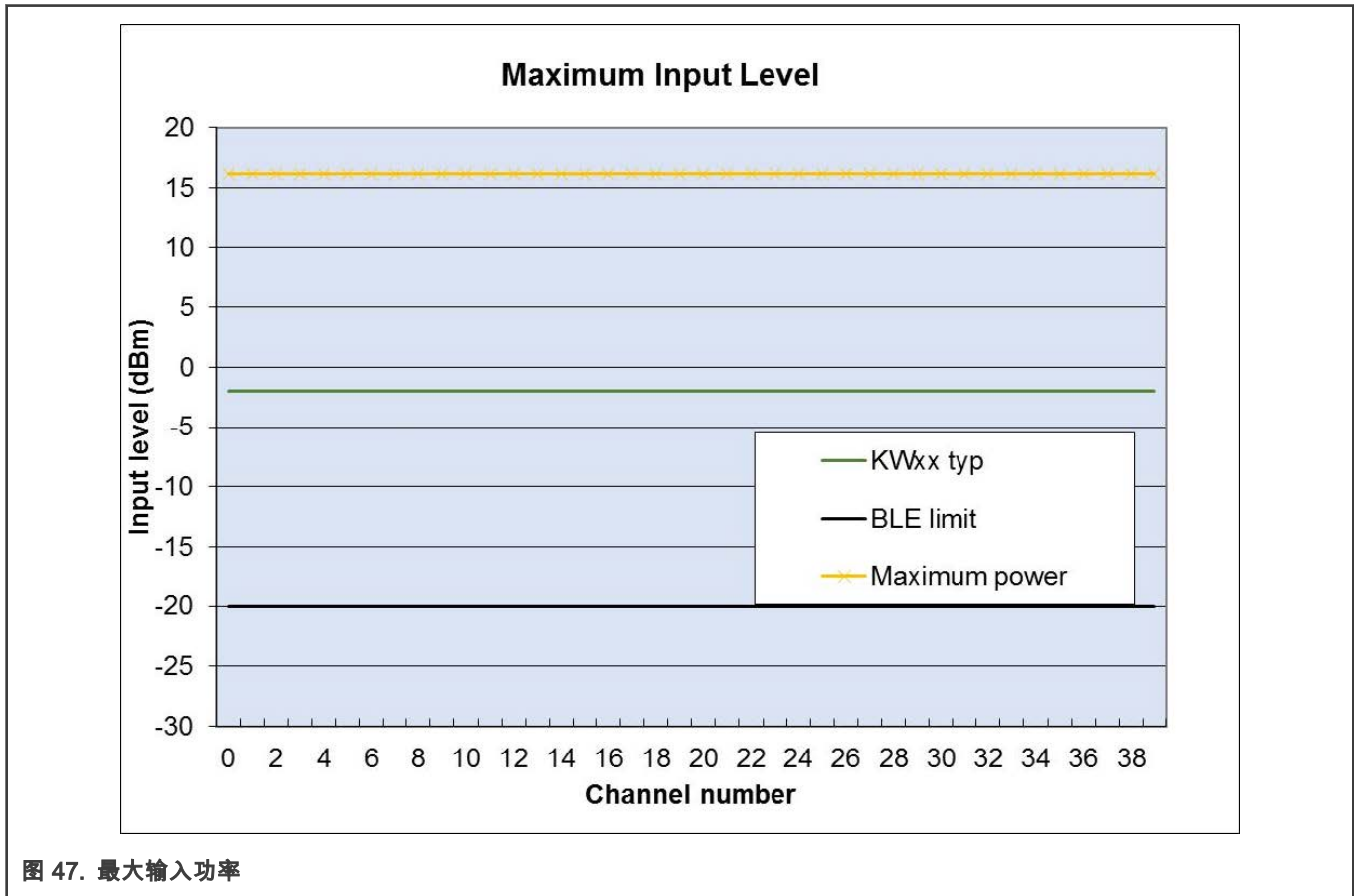


图 47. 最大输入功率

结论

结果与期望值一致。

3.2.4 Rx 杂散

检验方法

- 将无线电设置为：
 - 接收器模式
 - 频率：信道 18
- 将分析仪设置为：
 - 参考放大器 = -20 dBm，跟踪 = 最大保持，检测器 = 最大峰值
 1. 启动/停止频率：30 MHz/1 GHz
 - RBW = 100 kHz，VBW = 300 kHz

2. 然后设置启动/停止频率：1 GHz/30 GHz

- RBW = 1 MHz , VBW = 3 MHz

结果

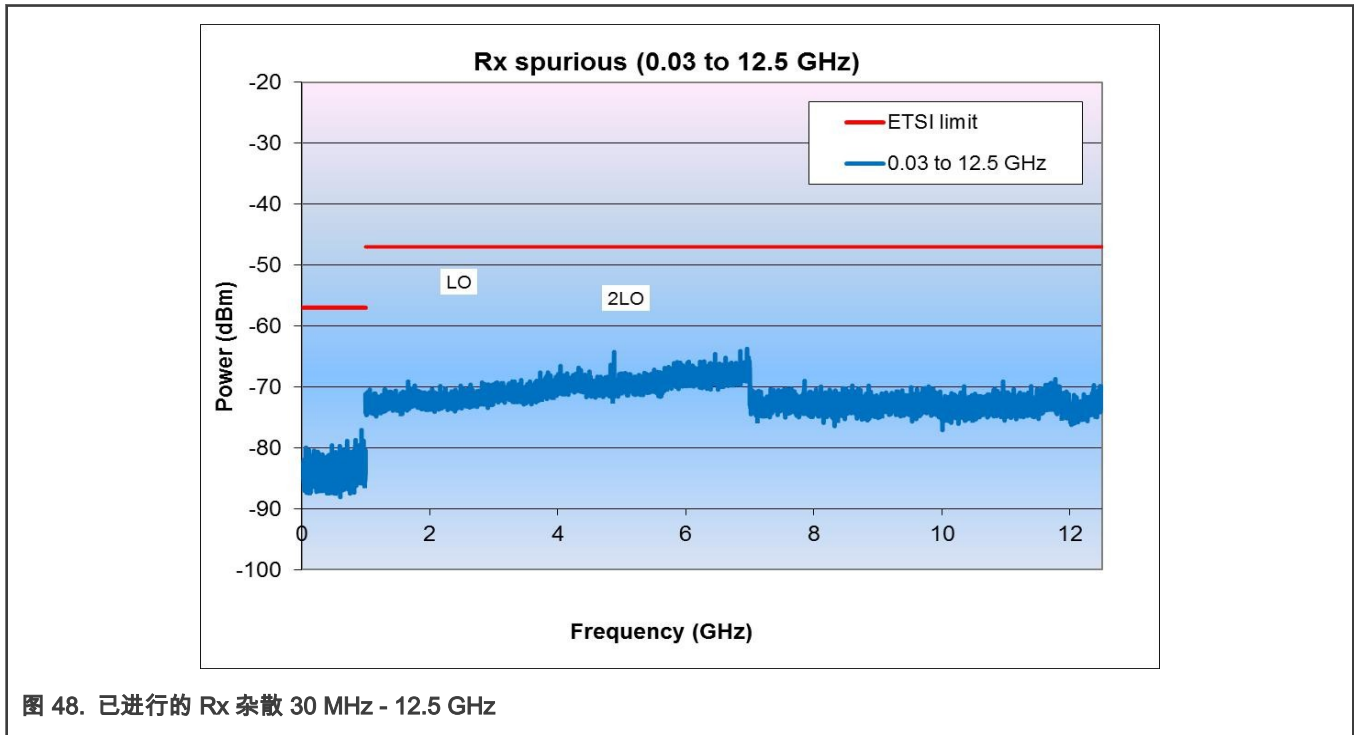


图 48. 已进行的 Rx 杂散 30 MHz - 12.5 GHz

结论

- 除了 2xLO 外，频谱分析仪本底以上没有杂散大于 16 dB 的余量。
- 有超过 16 dB 的余量。

3.2.5 接收机干扰抑制性能

3.2.5.1 相邻、交替和共信道拒绝

干扰源位于相邻信道 (+/-1 MHz, +/-2 MHz, +/-3 MHz) 或共信道中。每次只对一个干扰的未调制信号进行测试。

检验方法

- 所需信号的发生器：AgilentN5182A
- 干扰源的发生器：R&SSFU
- 标准：PER < 30.8%，1500 包
- 所需信号设置为 -67 dBm；干扰源增加，直达到 PER 阈值
- 被测信道：2、19 和 37

结果

表 7. 相邻、交替和共信道拒绝

ch2 2406					ch19 2440				ch37 2476			
	N-2MHz	N-1MHz	N+1MHz	N+2MHz	N-2MHz	N-1MHz	N+1MHz	N+2MHz	N-2MHz	N-1MHz	N+1MHz	N+2MHz
干扰电平 (dBm)	-23.6	-62.1	-62.1	-23.6	-23.6	-62.1	-62.1	-23.6	-21.1	-62.1	-62.1	-23.6
干扰电平 (C/I) (dB)	-43.4	-4.9	-4.9	-43.4	-43.4	-4.9	-4.9	-43.4	-42.9	-4.9	-4.9	-43.4
BLE4.2限值 (C/I) (dB)	-17	15	15	-17	-17	15	15	-17	-17	15	15	-17
余量 (dB)	26.4	19.9	19.9	26.4	26.4	19.9	19.9	26.4	25.9	19.9	19.9	26.4

ch2 2406		共两信道	ch19 2440		共两信道	CH37 2476		共两信道
	N-2MHz	N	N-2MHz	N+2MHz	第19音	N-2MHz	N+2MHz	CH37
干扰电平 (dBm)	-19.1	-17.6	-19.1	-17.6	n	-16.6	-17.1	n
干扰电平 (C/I) (dB)	-47.9	-49.4	5.6	-72.6	2400	-80.4	-49.9	2476
BLE4.2限值 (C/I) (dB)	-27	-26	21	-27	2406	-27	-26	21
余量 (dB)	20.9	23.4	15.4	45.0	2410	53.0	23.9	15.4

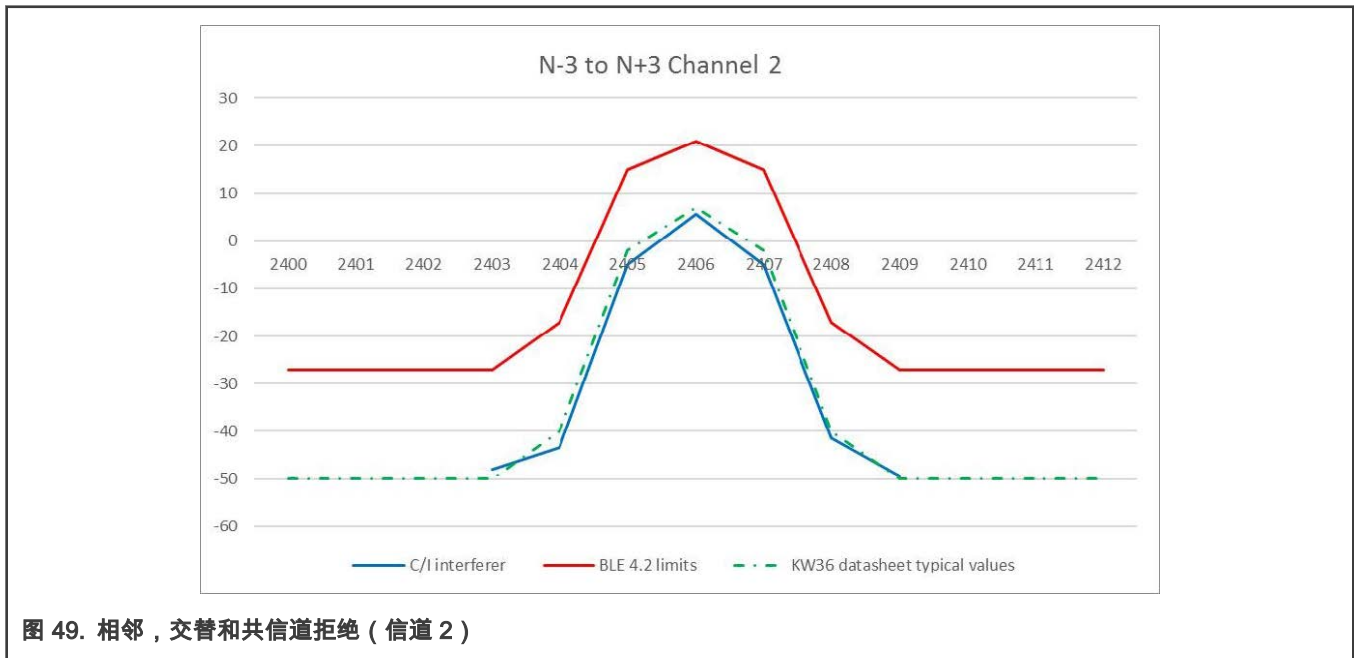


图 49. 相邻，交替和共信道拒绝 (信道 2)

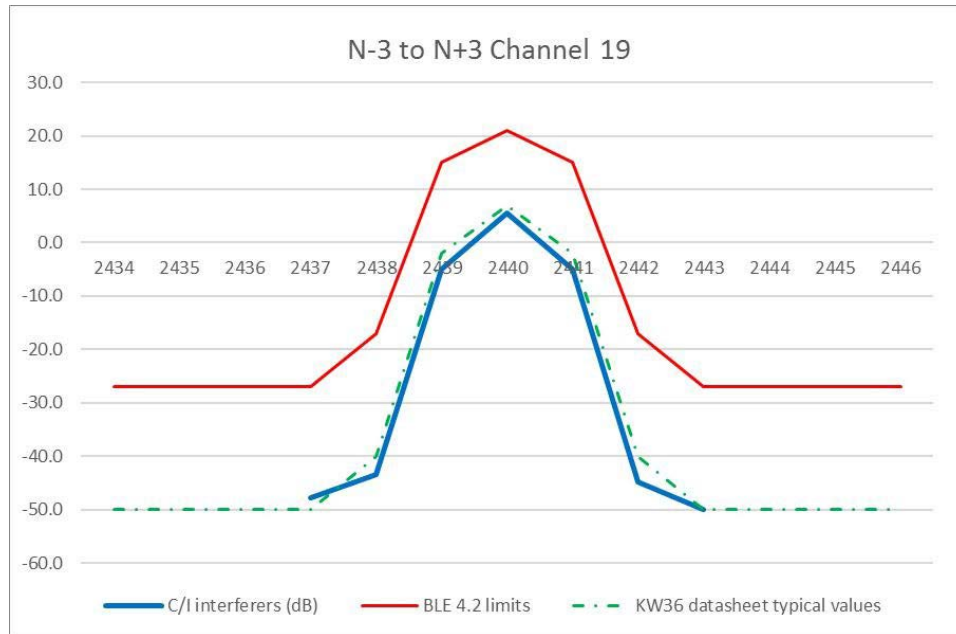


图 50. 相邻，交替和共信道拒绝 (信道 19)

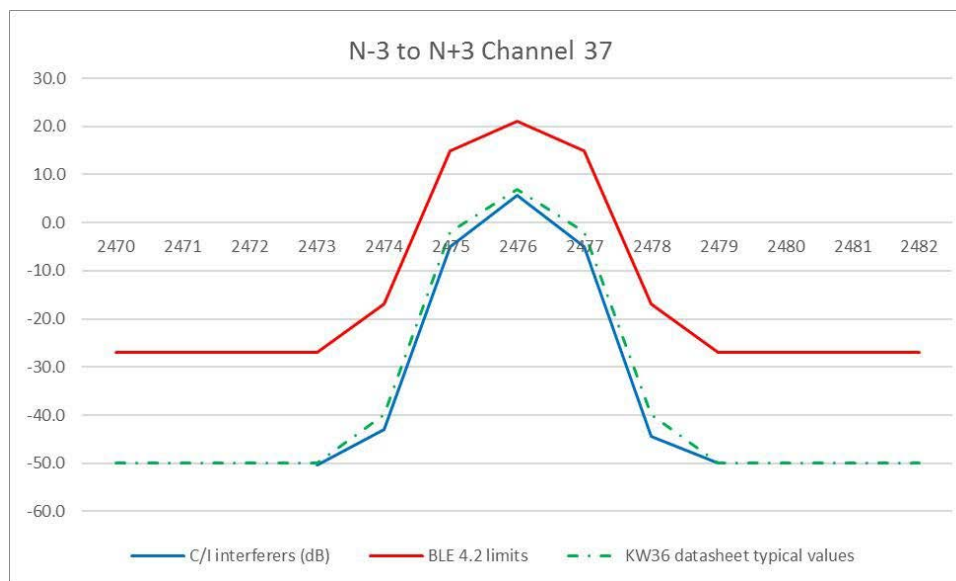


图 51. 相邻，交替和共信道拒绝 (信道 37)

结论

余量较好，符合预期效果。

3.2.5.2 接收器阻塞

阻塞干扰源位于带外信道，取决于接收机类别。

接收器类别 1 (参见 300.3282.1.1 中 4.3.1 和 12.4.2 章节)。

每次只使用一个干扰信号进行测试。

检验方法

- 所需信号的发生器：Agilent N5182A
- 干扰源的发生器：R&SSFU
- 标准：PER < 10 %
- 想要的信号被设置为 Pmin + 6 dB (-82 dBm)；增加干扰源，直到达到 PER 阈值
- 被测信道：0 和 39

结果

表 8. 接收器阻塞 (带外) 拒绝

	ch0	ch0	ch39	ch39		
	2402	2402	2480	2480		
	Low	High	Low	High		
	2380	2503.5	2380	2503.5		
Interferer level (dBm)	-16.1	-12.6	-13.6	-15.6		
BLE 4.2 limit (dBm)	-53	-53	-53	-53		
Margin (dB)	36.9	40.4	39.4	37.4		
	ch0	ch0	ch0	ch39	ch39	ch39
	2402	2402	2402	2480	2480	2480
	Low	Low	Low	Low	Low	Low
	2300	2330	2360	2300	2330	2360
Interferer level (dBm)	-12.6	-12.6	-14.6	-12.6	-12.6	-13.6
BLE 4.2 limit (dBm)	-47	-47	-47	-47	-47	-47
Margin (dB)	34.4	34.4	32.4	34.4	34.4	33.4
	ch0	ch0	ch0	ch0	ch0	ch0
	2402	2402	2402	2402	2402	2402
	High	High	High	High	High	High
	2523.5	2553.5	2583.5	2613.5	2643.5	2673.5
Interferer level (dBm)	-12.1	-12.1	-12.1	-12.1	-12.1	-12.1
BLE 4.2 limit (dBm)	-47	-47	-47	-47	-47	-47
Margin (dB)	34.9	34.9	34.9	34.9	34.9	34.9
	ch39	ch39	ch39	ch39	ch39	ch39
	2480	2480	2480	2480	2480	2480
	High	High	High	High	High	High
	2523.5	2553.5	2583.5	2613.5	2643.5	2673.5
Interferer level (dBm)	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1	-14.1
BLE 4.2 limit (dBm)	-47	-47	-47	-47	-47	-47
Margin (dB)	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9	32.9

结论

余量较好，符合预期效果。

接收器类别 2 (参见 300.3282.1.1 中 4.3.1 和 12.4.3 章节)

每次只使用一个干扰信号进行测试。

检验方法

- 所需信号的发生器：Agilent N5182A
- 干扰源的发生器：R&SSFU
- 标准：PER < 10 %

- 想要的信号被设置为 Pmin + 6 dB (-82 dBm)；增加干扰源，直到达到 PER 阈值
- 被测信道：0 和 39

结果

表 9. 接收器阻塞 (带外) 拒绝

	ch0	ch0	ch39	ch39
	2402	2402	2480	2480
	Low	Low	High	High
	2380	2503.5	2380	2503.5
Interferer level (dBm)	-16.6	-12.6	-14.1	-16.1
BLE 4.2 limit (dBm)	-57	-57	-57	-57
Margin (dB)	40.4	44.4	42.9	40.9

	ch0	ch0	ch39	ch39
	2402	2402	2480	2480
	Low	Low	High	High
	2300	2583.5	2300	2583.5
Interferer level (dBm)	-12.6	-12.6	-12.6	-12.6
BLE 4.2 limit (dBm)	-47	-47	-47	-47
Margin (dB)	34.4	34.4	34.4	34.4

结论

余量较好，符合预期效果。

3.2.5.3 阻塞干扰源

CW 被用作干扰源，以验证接收机在 2400 MHz - 2483.5 MHz 范围外的频率上的性能。

检验方法

- 所需信号的发生器：Agilent N5182A
- 阻滞器的发生器：R&SSFU
- 标准：PER < 30.8 %，1500 包
- 所需信号设置为 -67 dBm；干扰电平增加，直到达到 PER 阈值
- 正在测试的信道：12 (2426 MHz)

结果

表 10. 阻塞干扰源

所需信号	ch12	ch12	ch12	ch12	
2426MHz@-67dBm	2426 MHz	2426 MHz	2426 MHz	2426 MHz	
干扰源(MHz)	30-2000 (step 10 MHz)	2003 – 2399 (step 3 MHz)	2484 – 2997 (step 3 MHz)	3 GHz – 12.75 GHz (step 25 MHz)	
不需要的电平(dBm)	-30	-35	-35	-30	
状态 (不需要的电平)	PASS	PASS	PASS	PASS	故障阻滞器不得超过10
阻塞失败的次数	0	0	0	0	
状态(UnW 电平 -50dBm)	PASS	PASS	PASS	PASS	故障阻滞器不得超过3
阻塞失败的次数	0	0	0	0	

结论

余量较好，符合预期效果。

3.2.6 互调

本试验验证了接收机互调性能是否令人满意。

将两个干扰源与所需信号结合使用。一个干扰源是正弦波非调制信号，第二个干扰源是具有 PRSB15 数据的调制信号。

检验方法

- 所需信号的发生器：Agilent N5182A
- 第一干扰源 (CW) 的发生器：R&SML03
- 第二干扰源 (PRBS15) 的发生器：R&S SFU
- 标准：PER < 30.8 %，1500 包
- 所需信号设置为 -67 dbm；干扰源级别设置为数据表规范值
- 正在测试的信道：0、19 和 39

结果

表 11. 互调

	ch0	ch0	ch0	ch0	ch0	ch0
	2402	2402	2402	2402	2402	2402
干扰源1(CW)(MHz)	低	低	低	低	低	低
干扰源2(Mod)(MHz)	-5	-4	-3	3	4	5
干扰水平(dBm)	-10	-8	-6	6	8	10
300.328限值(dBm)	-25.7	-26.2	-28.2	-27.2	-27.2	-29.2
余量(dB)	-35	-38.5	-42	-42	-38.5	-35
	17.0	20.0	21.5	22.5	19.0	13.5
	第19章	第19章	第19章	第19章	第19章	第19章
	2440	2440	2440	2440	2440	2440
干扰源1(CW)(MHz)	中	中	中	中	中	中
干扰源2(Mod)(MHz)	-5	-4	-3	3	4	5
干扰水平(dBm)	-10	-8	-6	6	8	10
300.328限值(dBm)	-26.2	-27.2	-27.2	-29.2	-28.7	-28.2
余量(dB)	-35	-38.5	-42	-42	-38.5	-35
	16.5	19.0	22.5	20.5	17.5	14.5
	ch39	ch39	ch39	ch39	ch39	ch39
	2480	2480	2480	2480	2480	2480
干扰源1(CW)(MHz)	高	高	高	高	高	高
干扰源2(Mod)(MHz)	-5	-4	-3	3	4	5
干扰水平(dBm)	-10	-8	-6	6	8	10
300.328限值(dBm)	-29.2	-28.2	-28.7	-29.7	-28.7	-29.2
余量(dB)	-35	-38.5	-42	-42	-38.5	-35
	13.5	18.0	21.0	20.0	17.5	13.5

结论

余量较好，符合预期效果。

3.3 回损

该 FRDM-KW36 射频电路提供了一个射频接口，可供用户进行应用程序开发。通过 C50，C51 和 L2 提供与 MCU 天线引脚的最小匹配网络，以将印刷的 F 天线匹配到 50 Ω 受控线路。

注意

取决于射频输出功率的目标，射频匹配是不同的。如果最大射频输出功率低于 +3.5 dBm，建议使用两个组件。这是 FRDM-KW36 上的默认安装组件。

如果最大射频输出功率在 3.5 dBm 和 +5 dBm 之间，建议使用三个组件进行射频匹配。

最大射频输出功率 ≤ +3.5 dbm	两个组件射频匹配 C50 = 0.8 pF，L2 = 4.7 nH，C51 = DNP 参见 图 52。
+3.5 dBm < 最大射频输出功率 ≤ +5 dBM	三个组件射频匹配

下一页继续...

(续上页)...

	<p>C50 = 0.6 pF , L2 = 4.7 nH , C51 = 0.3 pF 参见 图 53。</p>
--	--

3.3.1 带有两个匹配组件的射频路径

测量是使用 SMA 连接器进行的。因此，C57 电容器被安装，而 C55 电容器没有安装。

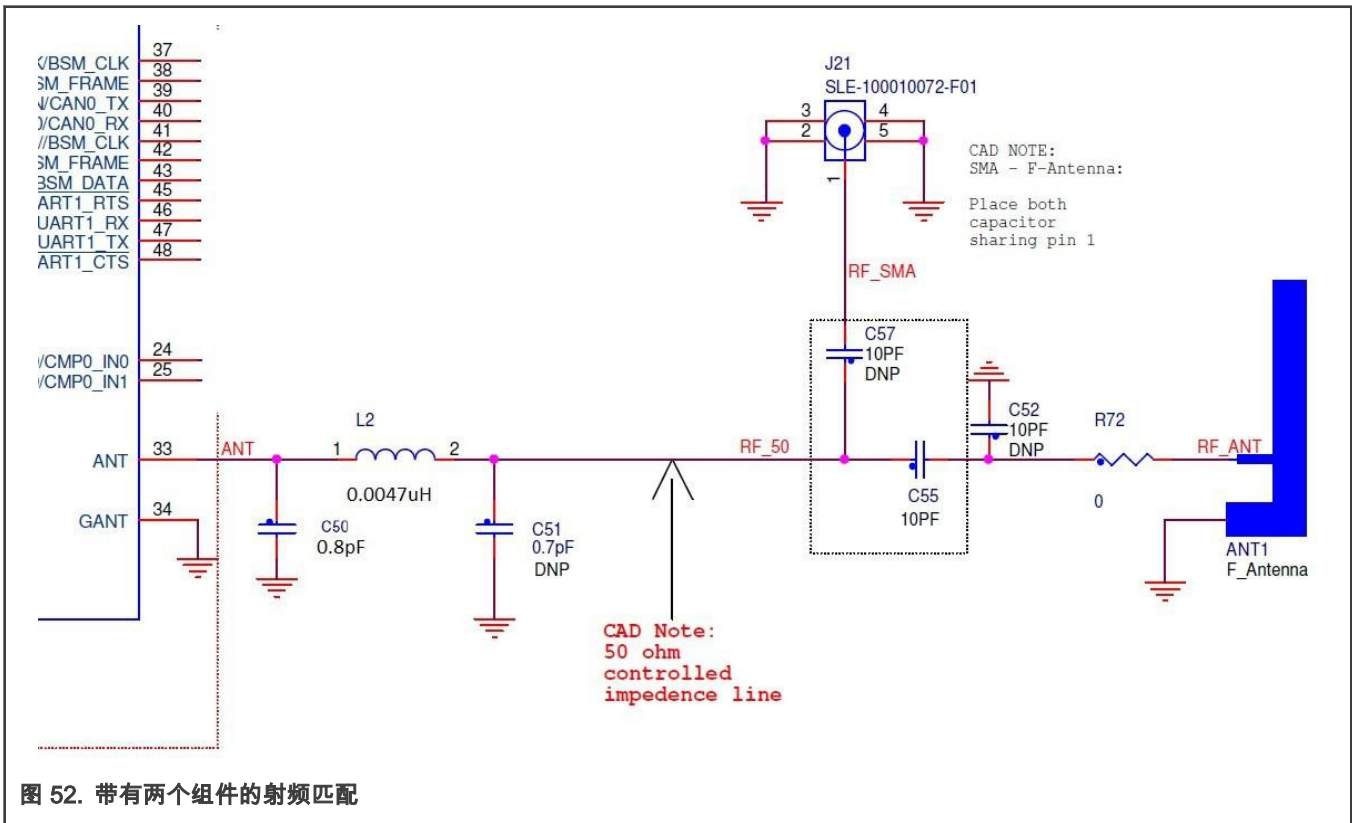


图 52. 带有两个组件的射频匹配

匹配的组件有：

- L2 = 4.7 nH

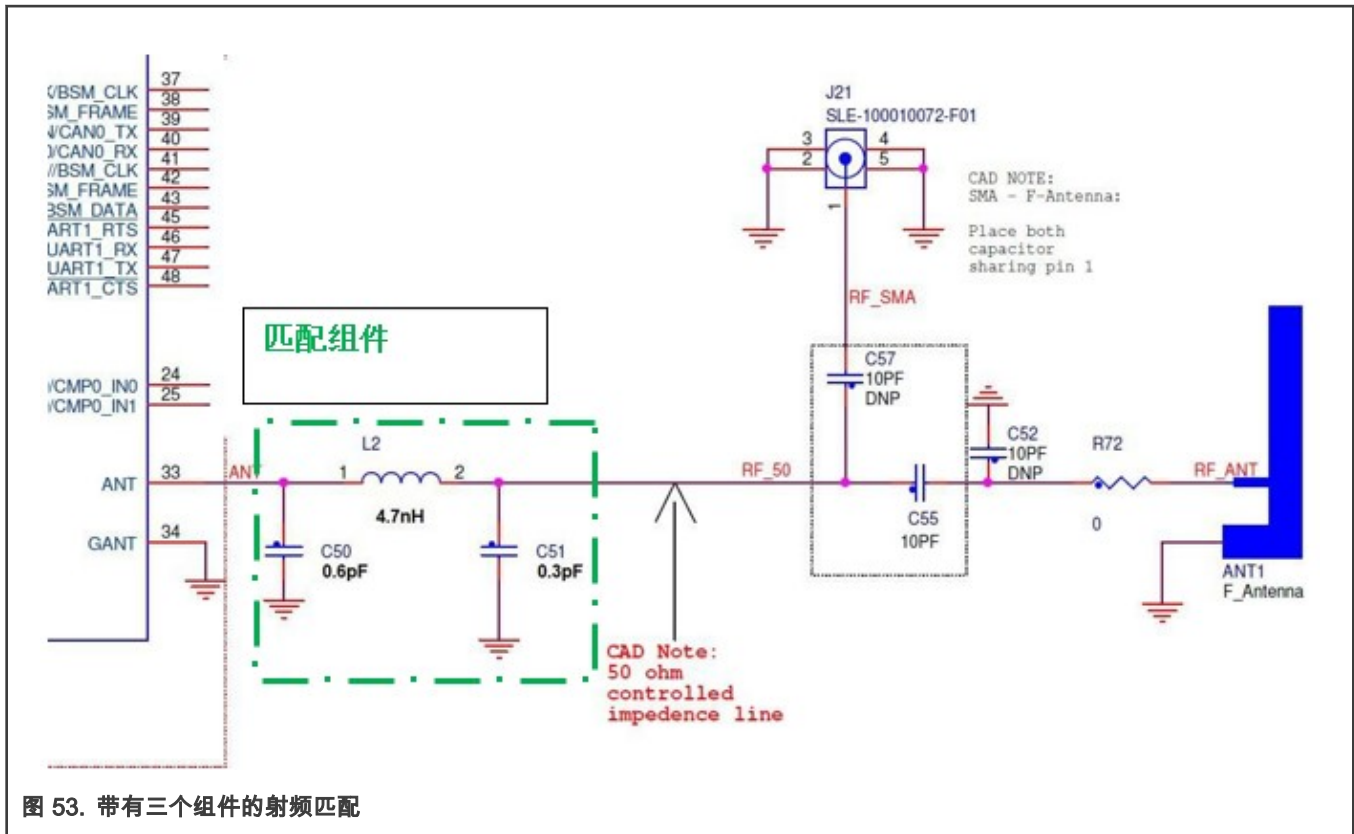
说明	Mfr. 名称	Mfr. 部件号
IND -- 0.0047 □H @ 500 MHz 300 mA +/-0.1 nH 0402	MURATA	LQG15HH4N7S02D

- C50 = 0.8 pF

说明	Mfr. 名称	Mfr. 部件号
CAP CER 0.8 pF 50 V 0.1 pF C0G 0402	MURATA	GCM1555C1HR80BA16

3.3.2 带有三个匹配组件的射频路径

测量是使用 SMA 连接器进行的。因此，C57 电容器被安装，而 C55 电容器没有安装。



匹配的组件有：

- L2 = 4.7 nH

说明	Mfr. 名称	Mfr. 部件号
IND -- 0.0047 □H @ 500 MHz 300 mA +/-0.1 nH 0402	MURATA	LQG15HH4N7S02D

- C50 = 0.6 pF

说明	Mfr. 名称	Mfr. 部件号
CAP CER 0.6 pF 50 V 0.1 pF C0G 0402	MURATA	GCM1555C1HR60BA16

- C51 = 0.3 pF

说明	Mfr. 名称	Mfr. 部件号
CAP CER 0.3 pF 50 V 0.1 pF C0G 0402	MURATA	GCM1555C1HR30BA16

3.3.3 带有两个组件的 Rx

检验方法

注意

在 Rx 模式下，通过将 KW36Z 的 LNA 增益设置为最大值来执行回损测量。

硬件 : FRDM-KW36

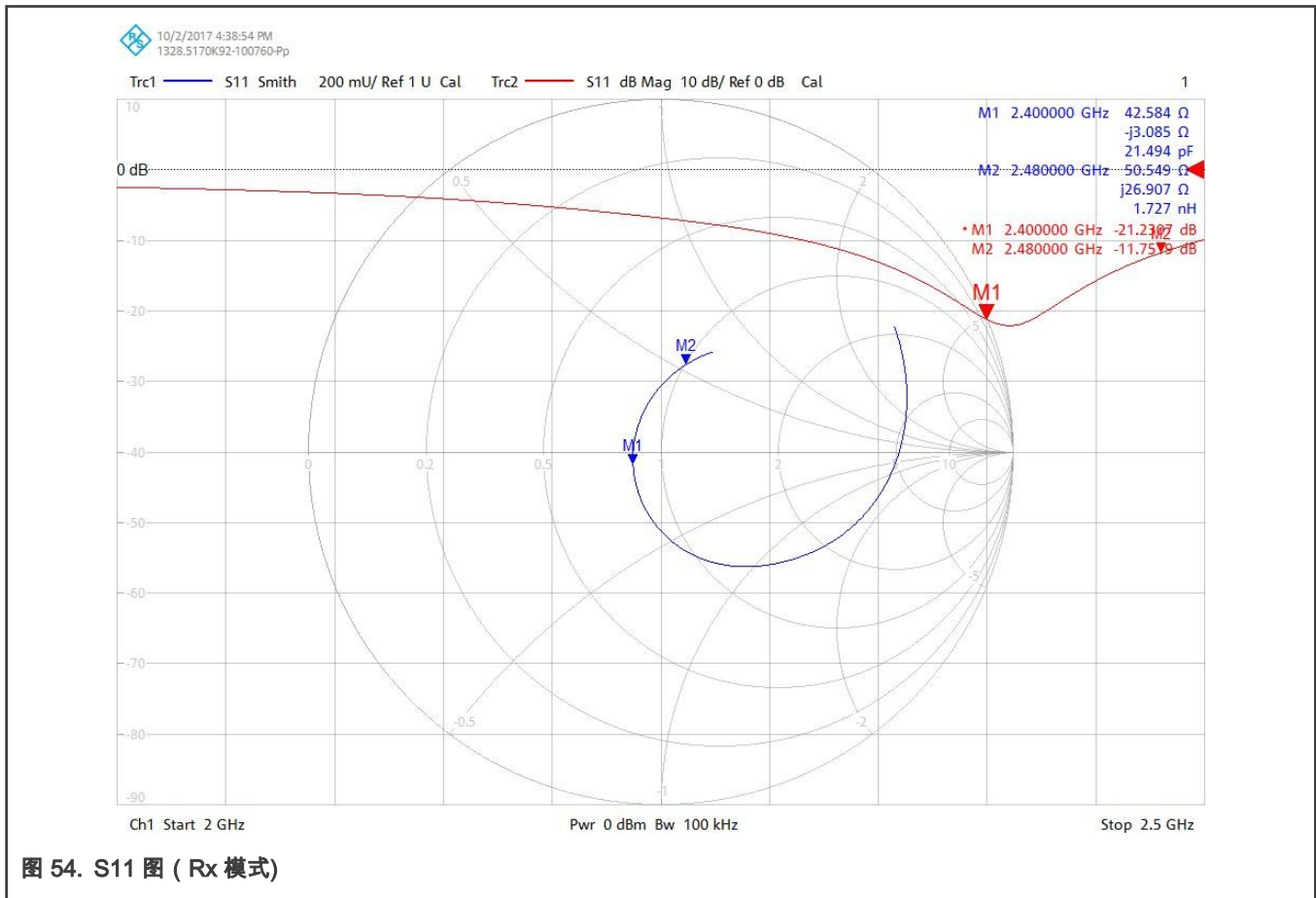


图 54. S11 图 (Rx 模式)

结果

回损 : -21.2 dB (2.48 GHz) < S11 < -11.7 dB (2.4 GHz)

注意

没有回损的说明。

结论

回损 (S11) 低于 -10 dB。

3.3.4 具有两个组件的 Tx

检验方法

注意

在 Tx 模式下，通过将 KW36Z 射频输出功率设置为最小来执行回损测量。

硬件 : FRDM-KW36

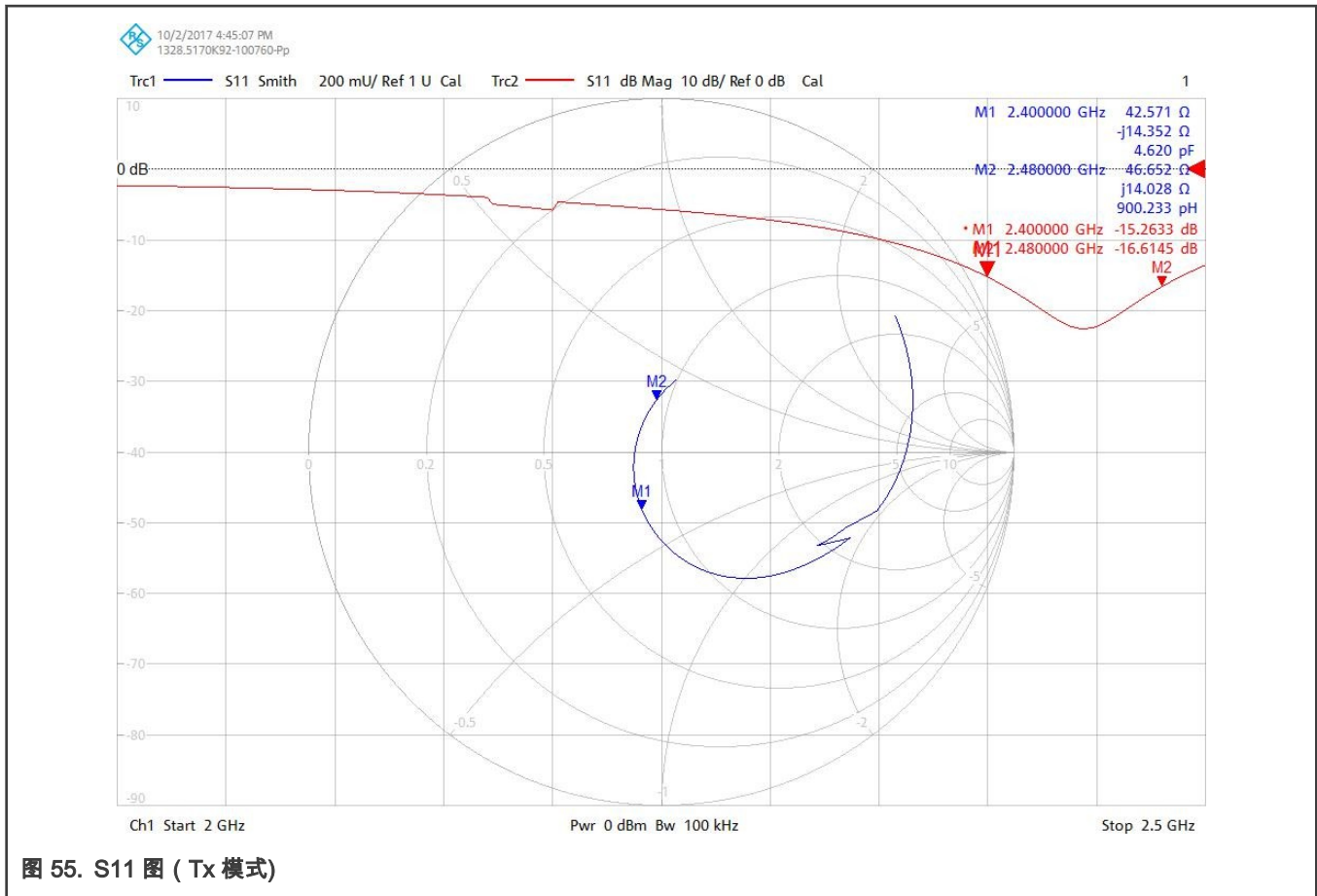


图 55. S11 图 (Tx 模式)

结果

回损 : -16.6 dBm (2.48 GHz) < S11 < -15.2 dB (2.4 GHz)

注意
没有回损的说明。

结论

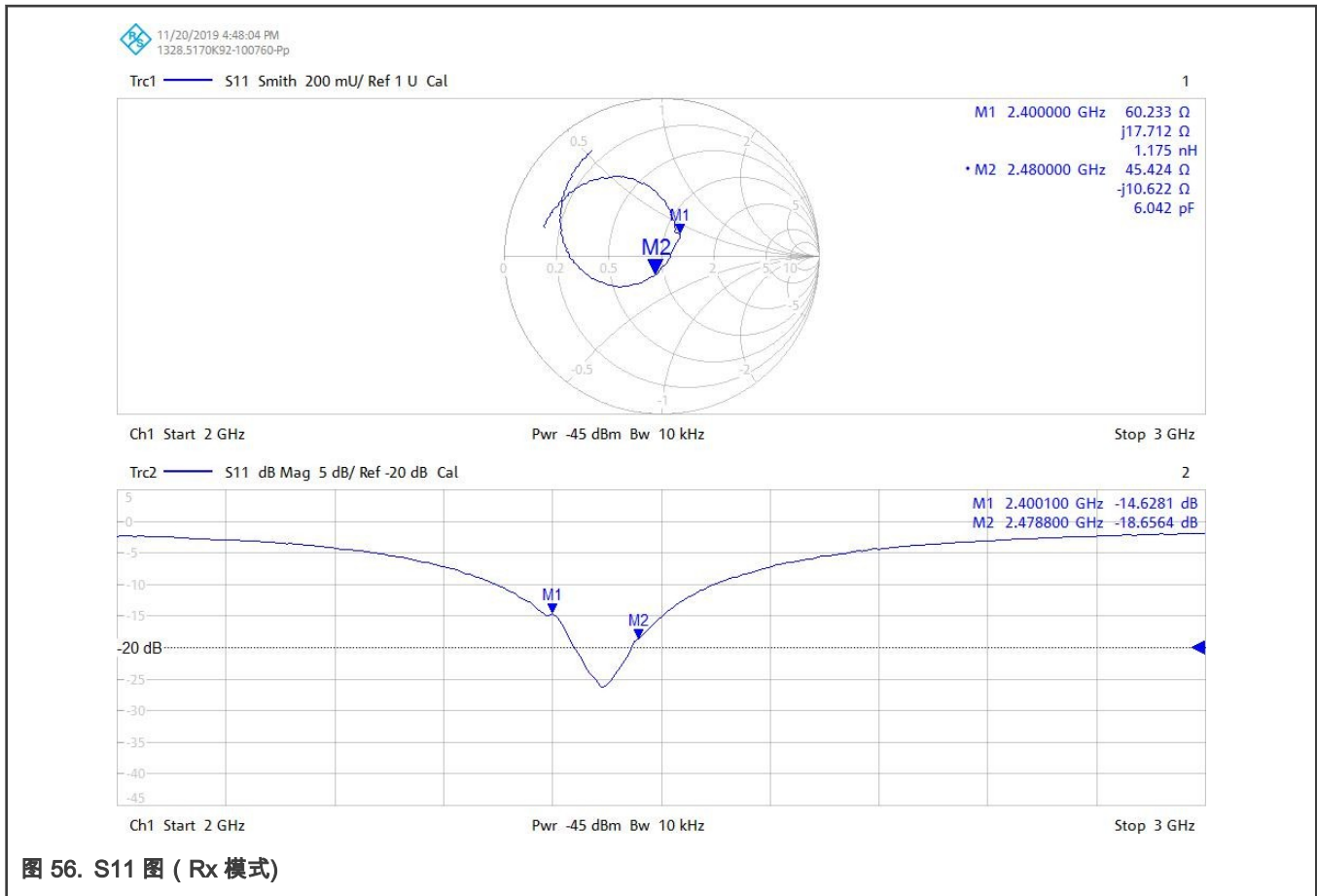
回损 (S11) 低于 -10 dB。

3.3.5 带有三个组件的 Rx

检验方法

注意
在 Rx 模式下，通过将 KW36Z 的 LNA 增益设置为最大值来执行回损测量。

硬件 : FRDM-KW36



结果

回损 : -18.6 dB (2.48 GHz) < S11 < -14.6 dB (2.4 GHz)

注意
没有回损的说明。

结论

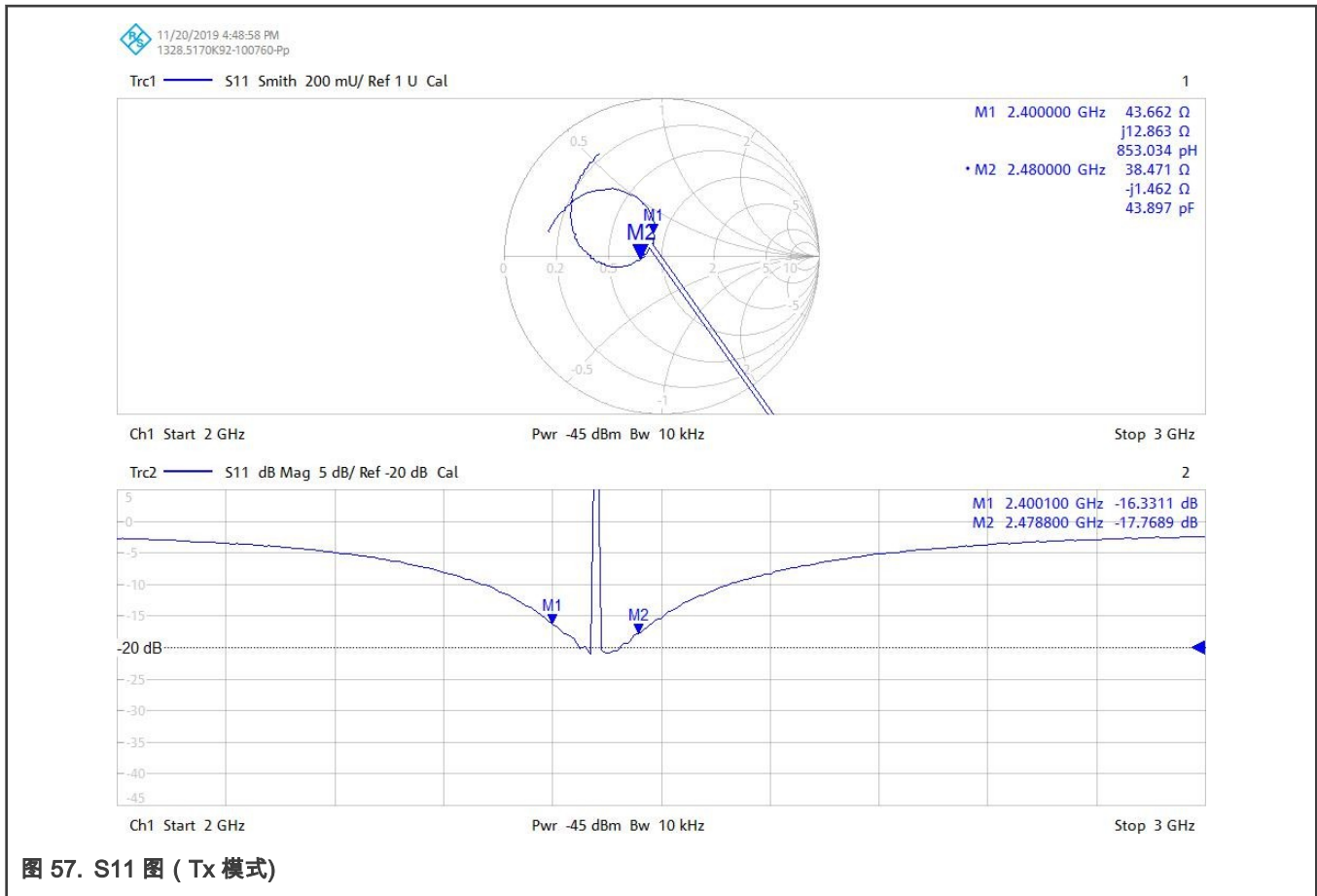
回损 (S11) 低于 -10 dB。

3.3.6 带有三个组件的 Tx

检验方法

注意
在 Tx 模式下，通过将 KW36Z 射频输出功率设置为最小来执行回损测量。

硬件 : FRDM-KW36



结果

回损 : -17.7 dBm (2.48 GHz) < S11 < -16.3 dB (2.4 GHz)

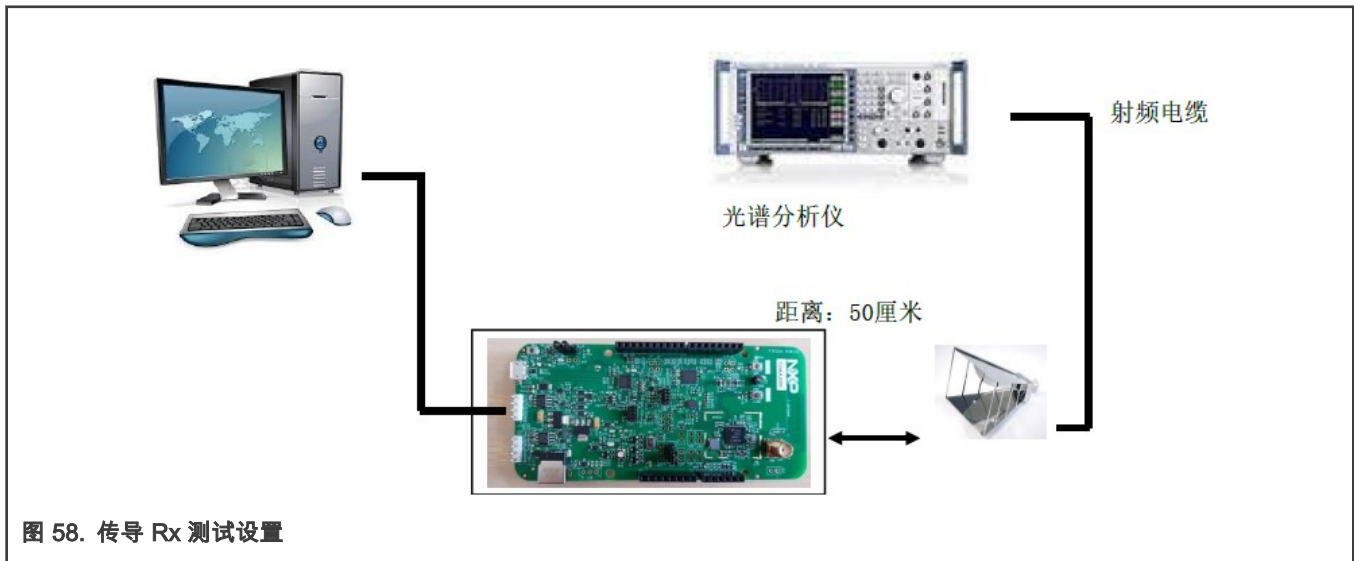
注意
没有回损的说明。

结论

回损 (S11) 低于 -10 dB。

4 传导测试

4.1 Rx 测试设置



在传导测量过程中，只考虑印刷天线（IFA 型）。具有已知增益的接收机天线放置在距 FRDM-KW36Z 线 50 厘米处。接收天线（喇叭）与频谱分析仪连接。Rx 信号的测量方式与所进行的测量相同。

4.2 Rx 杂散

检验方法

- 将无线电设置为：
 - 接收器模式
 - 频率：信道 19
- 将分析仪设置为：
 - 参考放大器 = -20 dBm，跟踪 = 最大保持，检测器 = 最大峰值
 - 启动/停止频率：10 MHz/1 GHz
 - RBW = 100 kHz
 - 设置启动/停止频率：1 GHz/30 GHz
 - RBW = 1 MHz

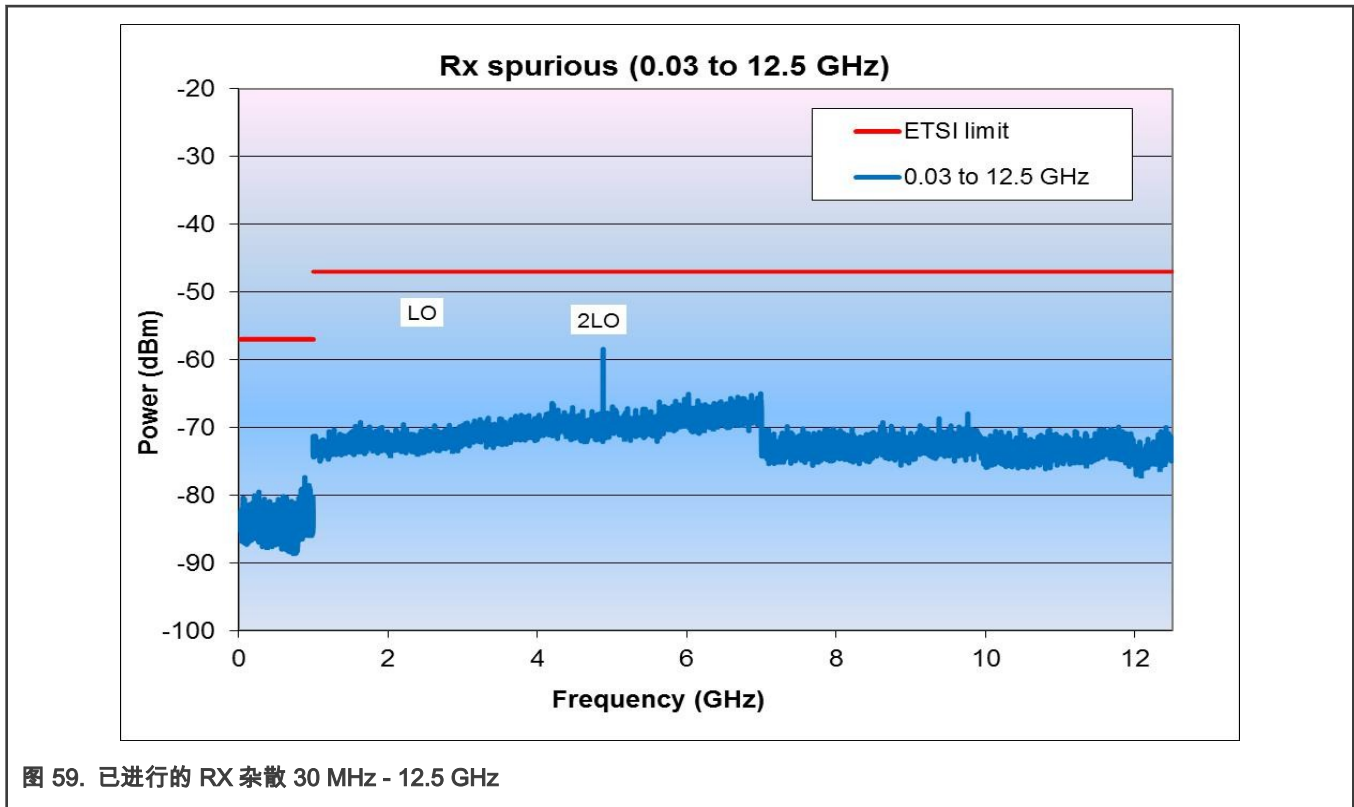


图 59. 已进行的 RX 杂散 30 MHz - 12.5 GHz

结果

- 除了 2xLO 频率，低于 ETSI 限制且具有 19 dB 的余量（传导模式）外，频谱分析仪本底以上没有杂散。
- 在传导模式下，2xLO 很重要，余量降至 0 dBm。

注意

建议严格复制粘贴 FRDM-KW36Z 布局的 RF 部分。

- 如要减少 2xLO 泄漏，请参见《MKW35A/36A/35Z/36Z 低功耗蓝牙设备硬件设计注意事项》（文档 [AN12181](#)）。

5 天线测量

5.1 回损

检验方法

要测量天线（S11）的回损，请断开 C55 和 C57 电容器，并进行如 [图 60](#) 中绿线标记的连接（天线连接至 SMA）。

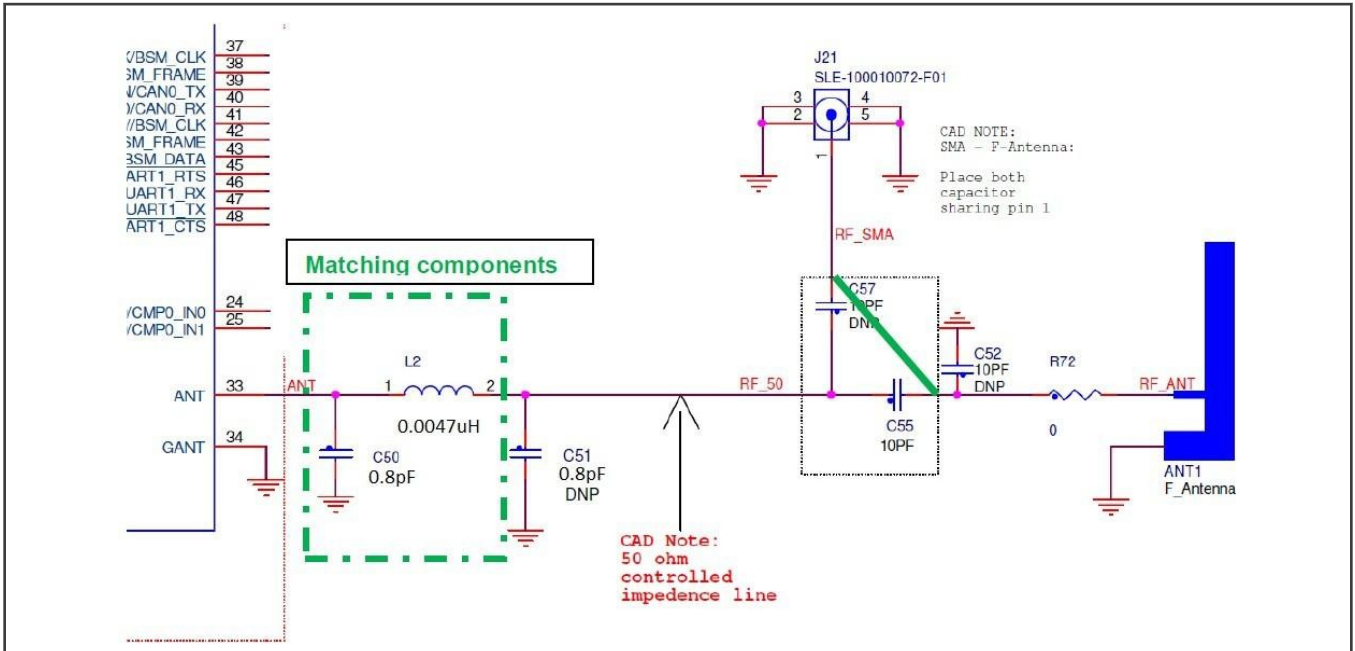


图 60. 射频路径连接 (S11 天线)

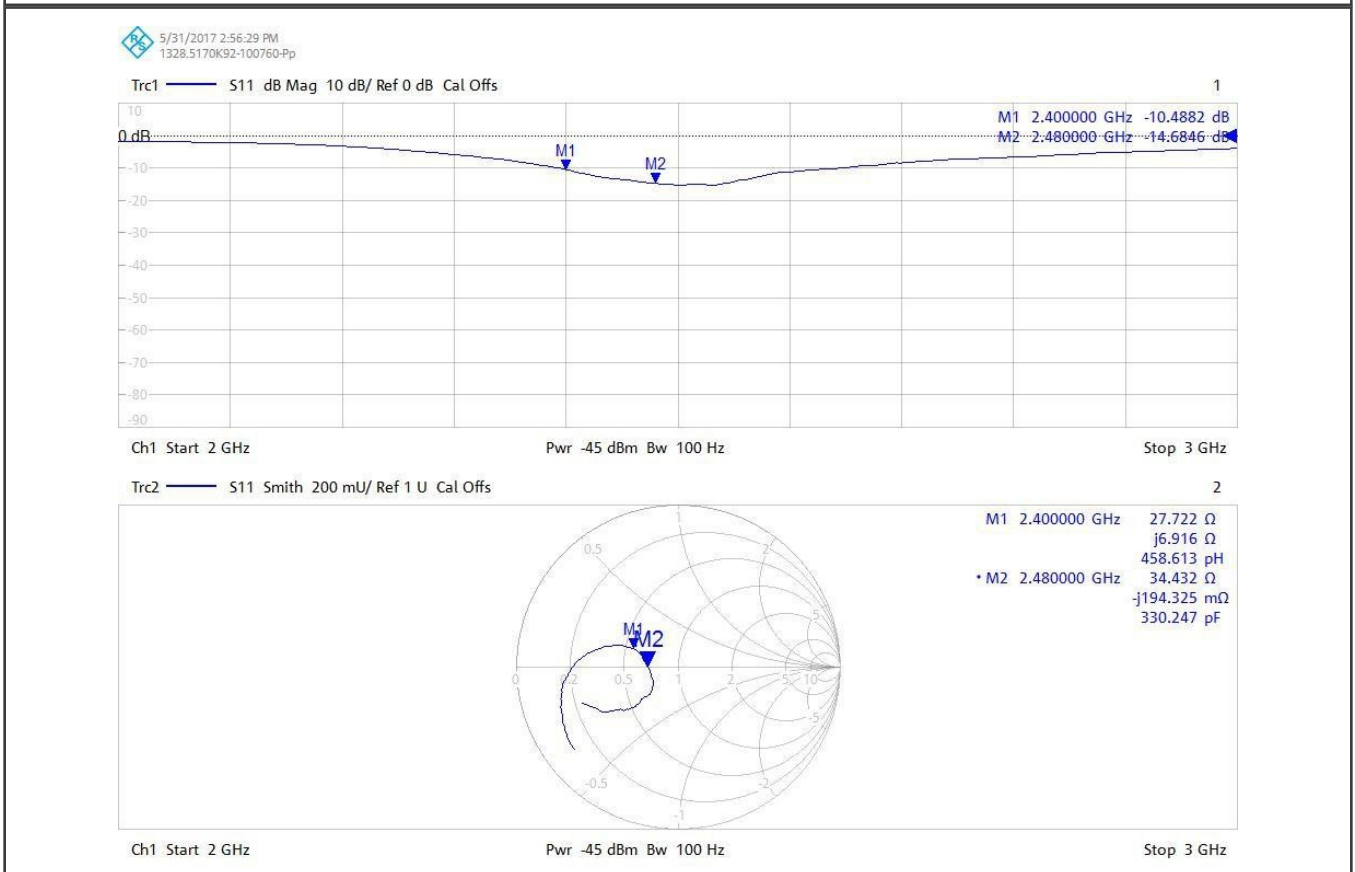


图 61. 天线回损 (S11)

结果

回损 : -10.5(2.4GHz) < S11 < -14.7 dB (2.48 GHz)

注意
没有回损的说明。

结论

回损 (S11) 低于 -10 dB。

6 结论

除了符合 RED 和 Bluetooth LE 4.2 的规定外，这些无线电测试还证明 KW36Z 无线 MCU 的良好性能。

7 参考资料

- **ETS EN 300 328**：欧洲电信标准—无线电设备和系统 (RES) 宽带数据传输系统，2.4 GHz ISM 频段数据传输设备的技术特性和测试条件，并使用扩频调制技术。
- **RF-PHY TS4.2.0**：蓝牙测试规范。本文档定义了蓝牙低能 RF PHY 蓝牙实现资格测试的测试结构和程序。
- **FCC 第 15 部分**：对 FCC 第 15 部分的操作有两个条件。首先，设备不会造成有害干扰，其次，设备必须接受接收到的任何干扰，包括可能导致不理想操作的干扰。因此，在操作第 15 部分设备时，设备的服务质量无法得到保证。

8 修订记录

版本号	日期	说明
5	2020 年 12 月	更新 ARB 发生器
4	2020 年 1 月	增加了 +5 dBm 测量结果
3	2019 年 8 月	更新 表 8 和 表 9
2	2018 年 9 月	更新了对 Bluetooth LE 的引用。
1	2018 年 3 月	增加 上带边缘
0	2017 年 11 月	初次发表

How To Reach Us

Home Page:

nxp.com

Web Support:

nxp.com/support

Limited warranty and liability — Information in this document is provided solely to enable system and software implementers to use NXP products. There are no express or implied copyright licenses granted hereunder to design or fabricate any integrated circuits based on the information in this document. NXP reserves the right to make changes without further notice to any products herein.

NXP makes no warranty, representation, or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does NXP assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. “Typical” parameters that may be provided in NXP data sheets and/or specifications can and do vary in different applications, and actual performance may vary over time. All operating parameters, including “typicals,” must be validated for each customer application by customer’s technical experts. NXP does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. NXP sells products pursuant to standard terms and conditions of sale, which can be found at the following address: nxp.com/SalesTermsandConditions.

Right to make changes - NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

Security — Customer understands that all NXP products may be subject to unidentified or documented vulnerabilities. Customer is responsible for the design and operation of its applications and products throughout their lifecycles to reduce the effect of these vulnerabilities on customer’s applications and products. Customer’s responsibility also extends to other open and/or proprietary technologies supported by NXP products for use in customer’s applications. NXP accepts no liability for any vulnerability. Customer should regularly check security updates from NXP and follow up appropriately. Customer shall select products with security features that best meet rules, regulations, and standards of the intended application and make the ultimate design decisions regarding its products and is solely responsible for compliance with all legal, regulatory, and security related requirements concerning its products, regardless of any information or support that may be provided by NXP. NXP has a Product Security Incident Response Team (PSIRT) (reachable at PSIRT@nxp.com) that manages the investigation, reporting, and solution release to security vulnerabilities of NXP products.

NXP, the NXP logo, NXP SECURE CONNECTIONS FOR A SMARTER WORLD, COOLFLUX, EMBRACE, GREENCHIP, HITAG, ICODE, JCOP, LIFE, VIBES, MIFARE, MIFARE CLASSIC, MIFARE DESFire, MIFARE PLUS, MIFARE FLEX, MANTIS, MIFARE ULTRALIGHT, MIFARE4MOBILE, MIGLO, NTAG, ROADLINK, SMARTLX, SMARTMX, STARPLUG, TOPFET, TRENCHMOS, UCODE, Freescale, the Freescale logo, AltiVec, CodeWarrior, ColdFire, ColdFire+, the Energy Efficient Solutions logo, Kinetis, Layerscape, MagniV, mobileGT, PEG, PowerQUICC, Processor Expert, QorIQ, QorIQ Qonverge, SafeAssure, the SafeAssure logo, StarCore, Symphony, VortiQa, Vybrid, Airfast, BeeKit, BeeStack, CoreNet, Flexis, MXC, Platform in a Package, QUICC Engine, Tower, TurboLink, EdgeScale, EdgeLock, eIQ, and Immersive3D are trademarks of NXP B.V. All other product or service names are the property of their respective owners. AMBA, Arm, Arm7, Arm7TDMI, Arm9, Arm11, Artisan, big.LITTLE, Cordio, CoreLink, CoreSight, Cortex, DesignStart, DynamIQ, Jazelle, Keil, Mali, Mbed, Mbed Enabled, NEON, POP, RealView, SecurCore, Socrates, Thumb, TrustZone, ULINK, ULINK2, ULINK-ME, ULINK-PLUS, ULINKpro, µVision, Versatile are trademarks or registered trademarks of Arm Limited (or its subsidiaries) in the US and/or elsewhere. The related technology may be protected by any or all of patents, copyrights, designs and trade secrets. All rights reserved. Oracle and Java are registered trademarks of Oracle and/or its affiliates. The Power Architecture and Power.org marks and the Power and Power.org logos and related marks are trademarks and service marks licensed by Power.org. M, M Mobileye and other Mobileye trademarks or logos appearing herein are trademarks of Mobileye Vision Technologies Ltd. in the United States, the EU and/or other jurisdictions.

© NXP B.V. 2017-2021.

All rights reserved.

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: salesaddresses@nxp.com

Date of release: 2020 年 12 月

Document identifier: AN12076

