

AN14515

FRDM-MCXW71射频系统在有干扰共存时对于BLE应用的评估测试报告

第1.0版—2025年1月13日

应用笔记

文档信息

信息	内容
关键词	MCX W71、MCU、RF、蓝牙、低功耗蓝牙、FRDM-MCXW71、AN14515
摘要	本文档介绍了测试设置的方法，并描述了使用FRDM-MCXW71完成射频系统性能评估测试的步骤。该测试是对BLE应用（2FSK调制）在有以下干扰共存时进行的评估测试：白噪声、正弦波、蓝牙音频和Wi-Fi。



1 介绍

该文档介绍了测试设置的方法，并描述了使用FRDM-MCXW71完成射频系统性能评估测试的步骤。该测试是对BLE应用（2FSK调制）在有以下干扰共存时进行的评估测试：白噪声、正弦波、蓝牙音频和Wi-Fi。

要获取MCX W71射频参数，请参阅《MCX W71数据手册》（文档[MCX W71](#)）。

如需获取有关FRDM-MCXW71开发板的更多信息，请参阅《MCX W71 BLE器件的硬件设计注意事项》（文档[UG10146](#)）。相关的原理图和设计文件可通过提供的[链接](#)获取。

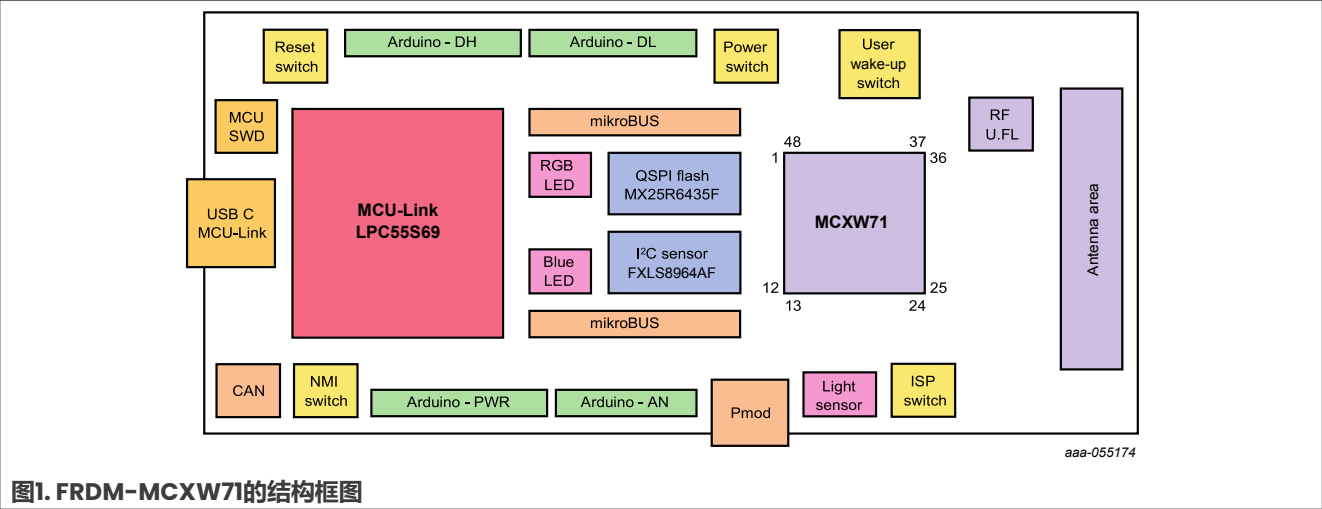


图1. FRDM-MCXW71的结构框图

图2所示为FRDM-MCXW71开发板的俯视图。

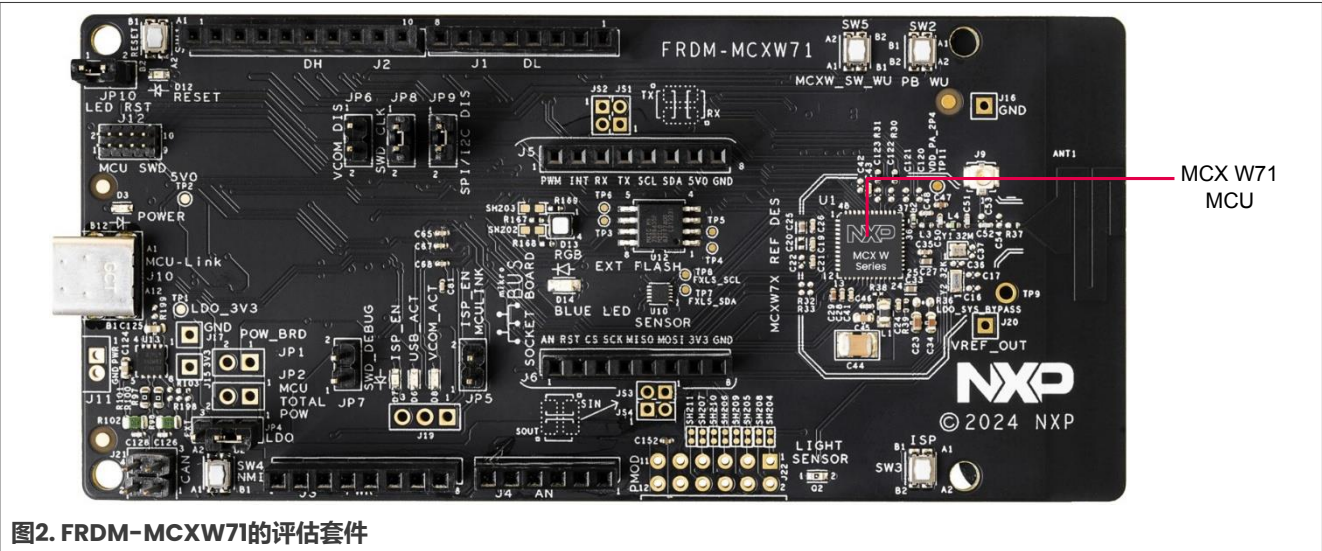


图2. FRDM-MCXW71的评估套件

1.1 测试列表

射频系统评估测试项列表如下：

- 噪声干扰
- 误包率（PER）与C/N¹

¹ 载噪比（C/N），也称信噪比（SNR）。

- C/N与频率
- C/N与电平
- 单载波 (CW) 干扰
- 邻频干扰 (ACI)
- 同频干扰
- BLE干扰
- BLE ACI
- BLE同频干扰
- Wi-Fi干扰
- Wi-Fi ACI
- Wi-Fi 同频干扰

1.2 软件

在测量之前，必须将二进制代码（进行无线连接的软件）加载到开发板的闪存中。

MCX W71的文档介绍了如何在FRDM-MCXW71电路板上[加载代码](#)。用于评估测试的二进制代码是连接软件包，支持GenFSK协议（2FSK调制）和HCI_blackbox。Teraterm终端模拟器用于与MCX W71 MCU进行串口通信。

1.3 设备清单

用于执行TX和RX测量的设备如下：

- 频谱分析仪
- 罗德与施瓦茨 (R&S) SFU，用作BLE的干扰源，它可以是任何产生ARbitrary信号的发生器
- MXG (安捷伦N5182A)
- 安捷伦SML03
- 安捷伦33250A
- DC电源
- 配备IEEE-488 (GPIB) 卡的PC
- 噪声干扰设备

1.4 测试台设置

[图3](#)所示为噪声干扰测试设置。

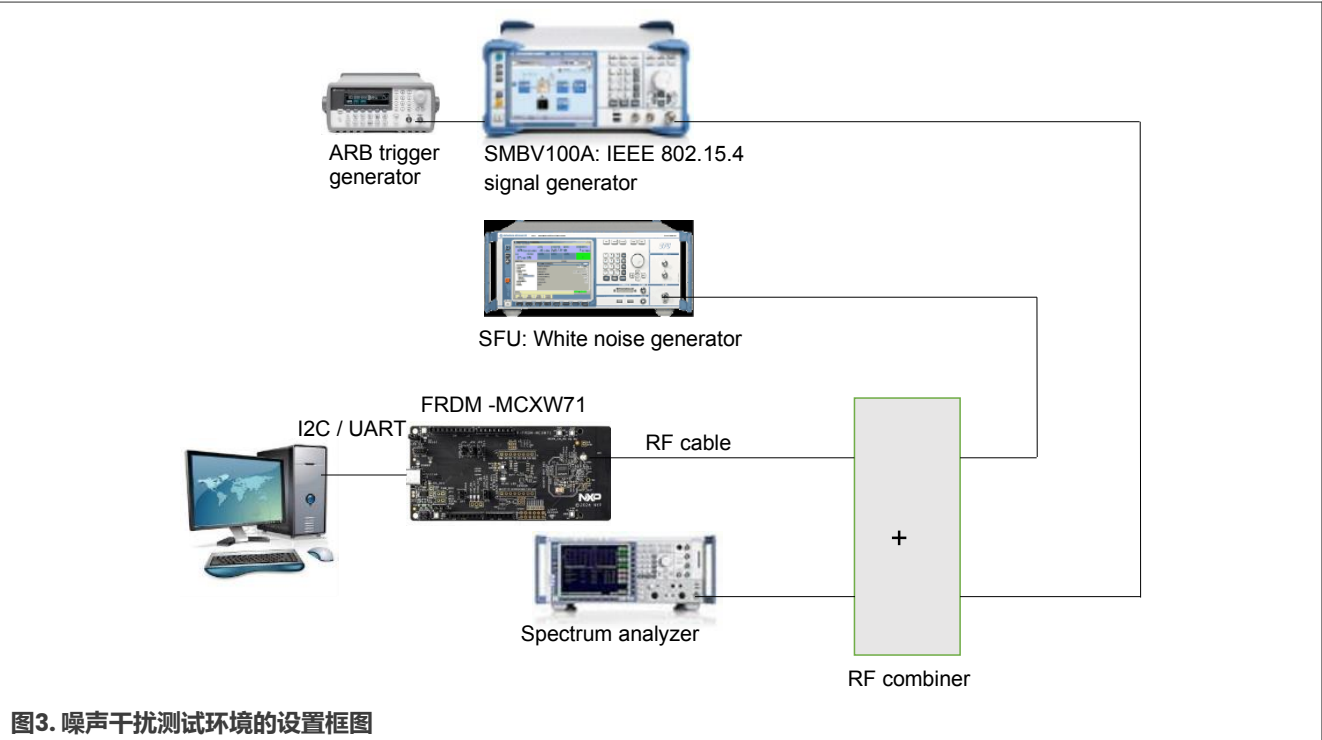


图3. 噪声干扰测试环境的设置框图

1.5 白噪声干扰设置

载噪比 (C/N) 的测量用来重点展示解调器 (基带) 部分的性能。

在目标信道上添加白噪声。噪声功率逐渐增加，直到达到PER<30.8%的标准。C/N是在1.02 MHz带宽上计算的。

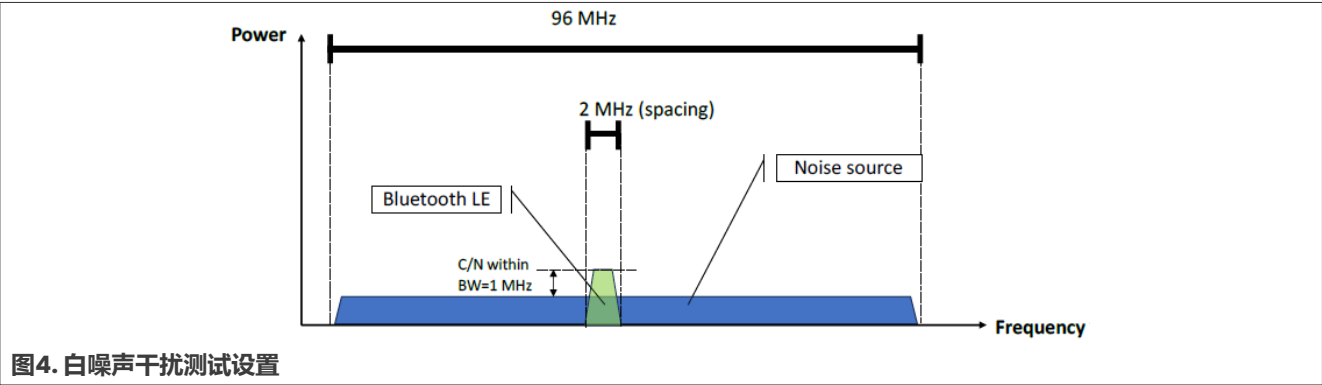


图4. 白噪声干扰测试设置

1.6 C/N与频率

本节介绍了评估2.402 GHz至2.48 GHz的频率变化对载噪比 (C/N) 的影响的测试方法和测试结果。

1.6.1 测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式、带调制、连续模式，频率：从信道 0 (2.402 MHz) 到信道 39 (2.48 GHz) 。
- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号 (通常为1500个37字节有效载荷的数据包)，连续模式，频率：从信道 0 (2.402 MHz) 到信道 39 (2.48 GHz)，射频输出功率电平=-40 dBm。

- 对分析仪进行设置，用于针对BLE信号和白噪声的-40 dBm功率校准，（SFU上的BW=96 MHz）。中心频率=2.435 GHz，跨度=10 MHz，BW=2 MHz。
- 将C/N设置为+10 dB，并以0.1 dB的步长减少，直到所有信道达到PER<30.8%的标准。

1.6.2 测试结果

图5所示为2.402 GHz至2.48 GHz范围内的频率变化对C/N的影响的测试结果。

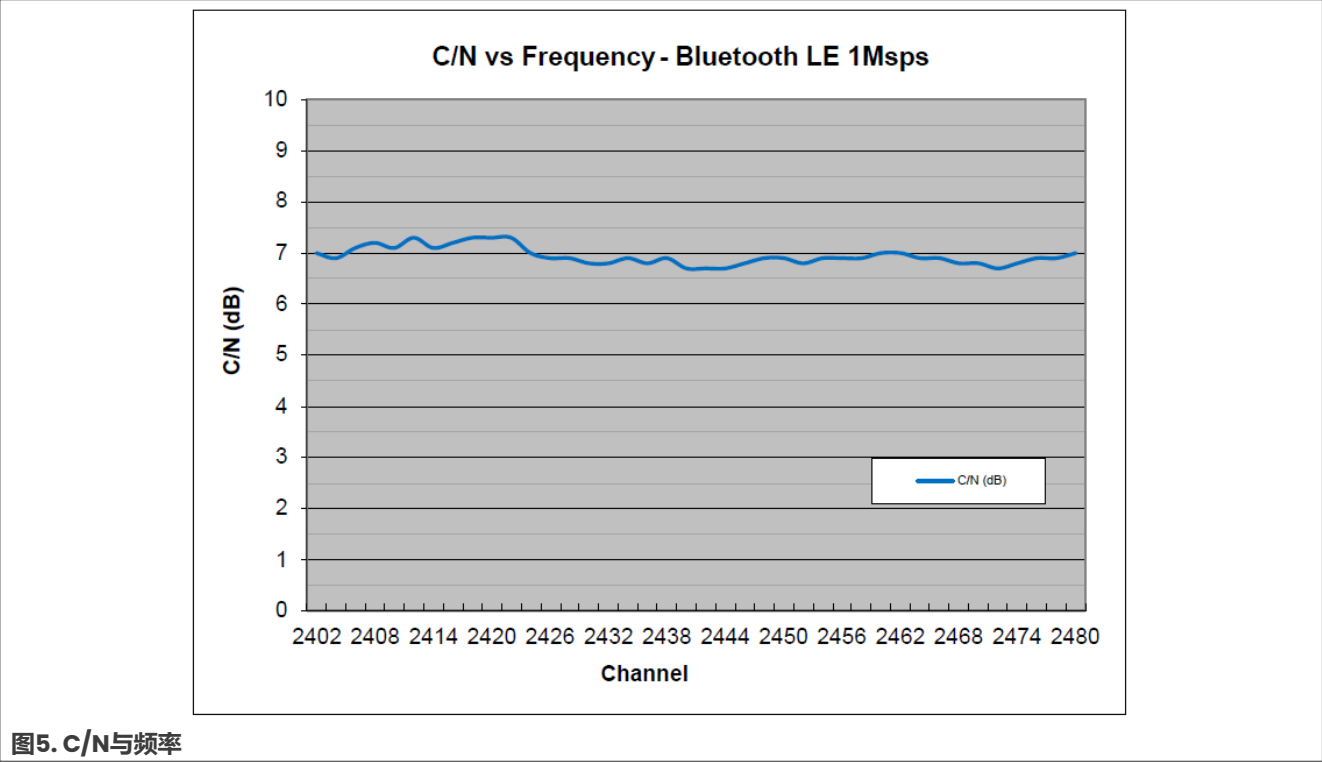


图5. C/N与频率

1.6.3 结论

C/N性能与信道无关（纯基带性能）。
C/N为7 dB。

1.7 PER与C/N

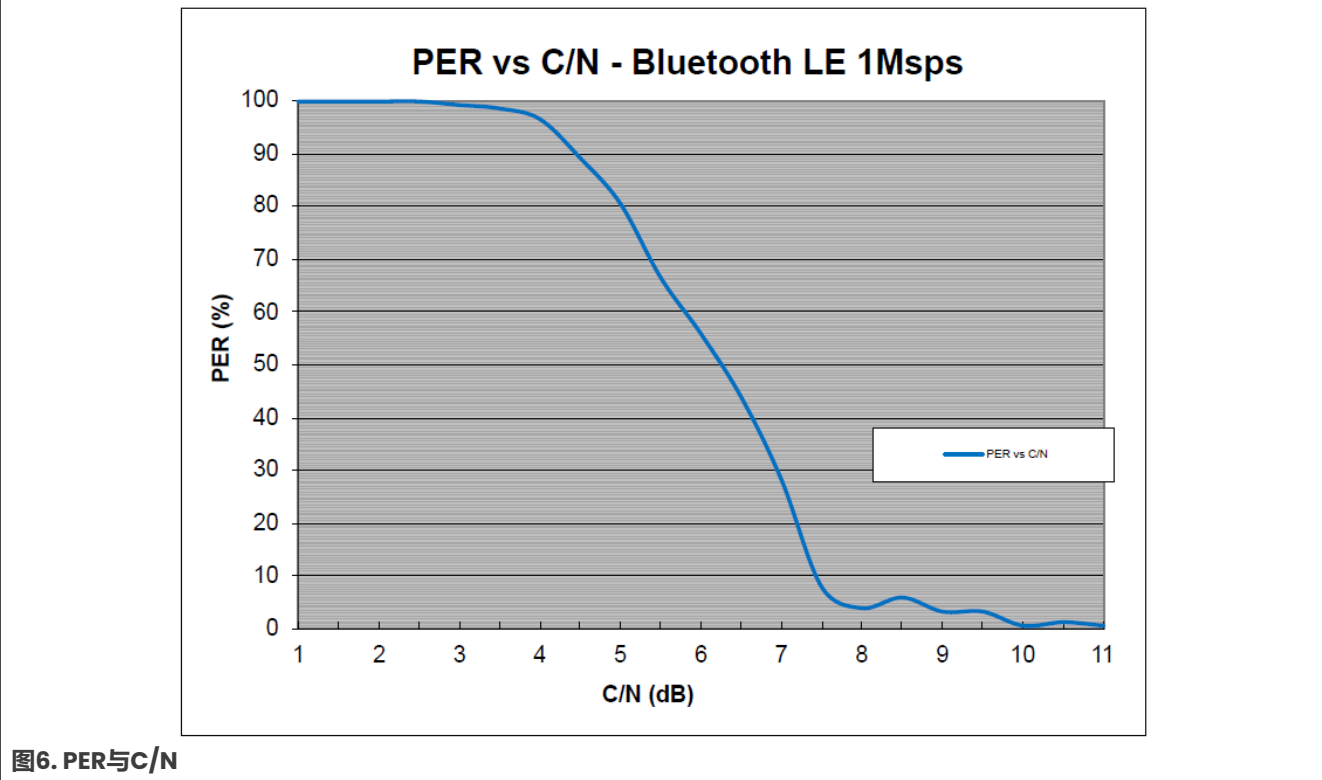
本节介绍了评估载噪比（C/N）对误包率（PER）的影响的测试方法和测试结果。

1.7.1 测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式、带调制、连续模式、频率：信道 19（2.44 MHz）。
- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号（通常为1500个37字节有效载荷的数据包），连续模式，频率：信道 19（2.44 MHz），射频输出功率电平=-40 dBm。
- 对分析仪进行设置，用于在2.44 GHz频率下针对BLE信号和白噪声的-40 dBm功率校准，（SFU上BW=96 MHz）。中心频率=2.435 GHz，跨度=10 MHz，BW=2 MHz。
- PER是从1到11的C/N值以0.5 dB的步长进行测量的。

1.7.2 测试结果

图6所示为PER对比C/N的测试结果。



1.7.3 结论

当载噪比增加时，PER平滑地下降，没有突发性的下降。

1.8 C/N与功率电平

本节介绍了评估输入功率电平（从-10 dBm至-101 dBm）对载噪比（C/N）的影响的测试方法和测试结果。

1.8.1 测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式、带调制、连续模式、频率：信道 19（2.44 MHz）。
- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号（通常为1500个37字节有效载荷的数据包），连续模式，频率：信道 19（2.44 MHz），射频输出功率电平范围从-20 dBm开始，灵敏度+1 dBm。
- 对分析仪进行设置，用于针对BLE信号和白噪声的功率校准，（SFU上BW=96 MHz）。中心频率=2.435 GHz，跨度=10 MHz，BW=2 MHz。
- 从信道 0（2.402 GHz）到信道 39（2.48 GHz），对纯正弦波进行扫描，功率设置为-20 dBm。
- 在各种恒定的射频输入功率电平下测量PER，并减少C/N值，直到达到PER标准（<30.8%）。

1.8.2 测试结果

图7所示为C/N对比输入功率电平的结果。

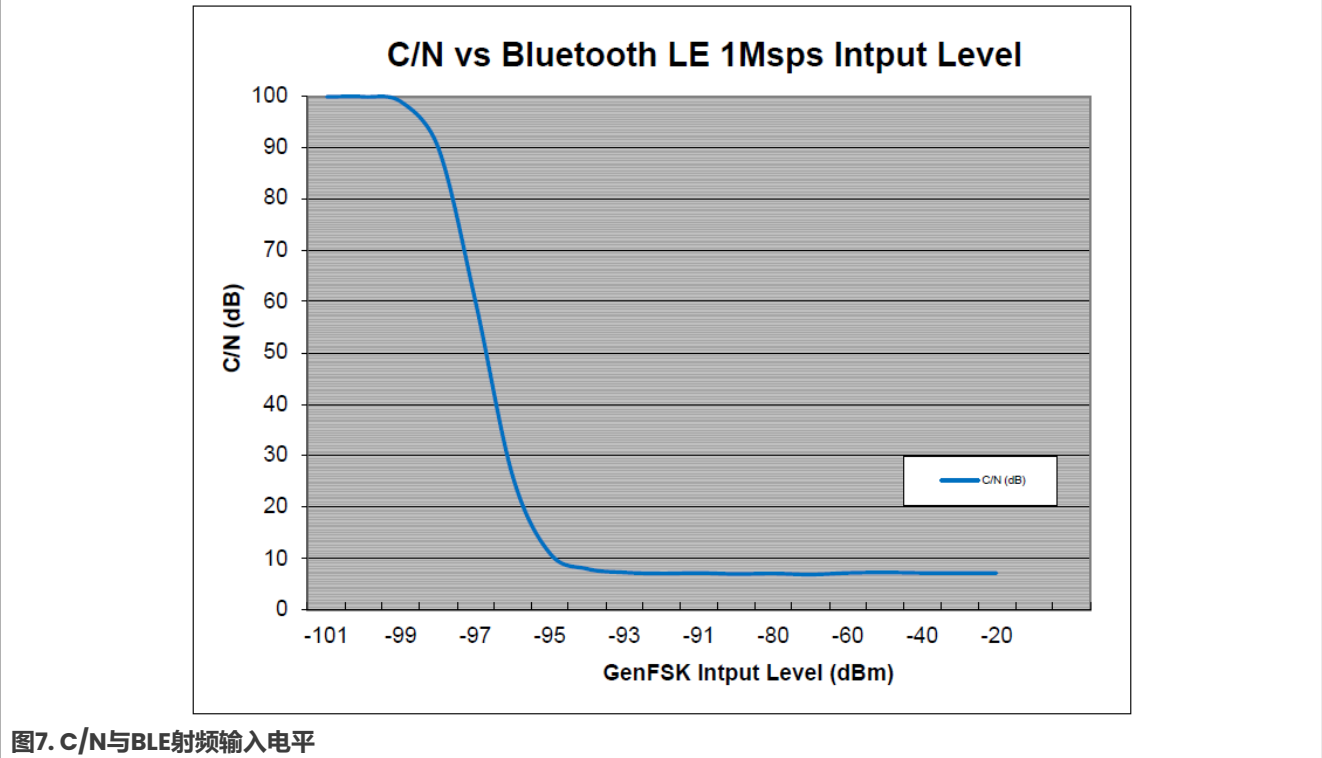


图7. C/N与BLE射频输入电平

1.8.3 结论

- 对于非常低的功率电平，接收器噪声（噪声系数）和解调器性能共同决定了整体C/N性能。
- 当输入功率电平较高时，C/N是恒定的（独立于接收器部分）。

2 正弦波干扰

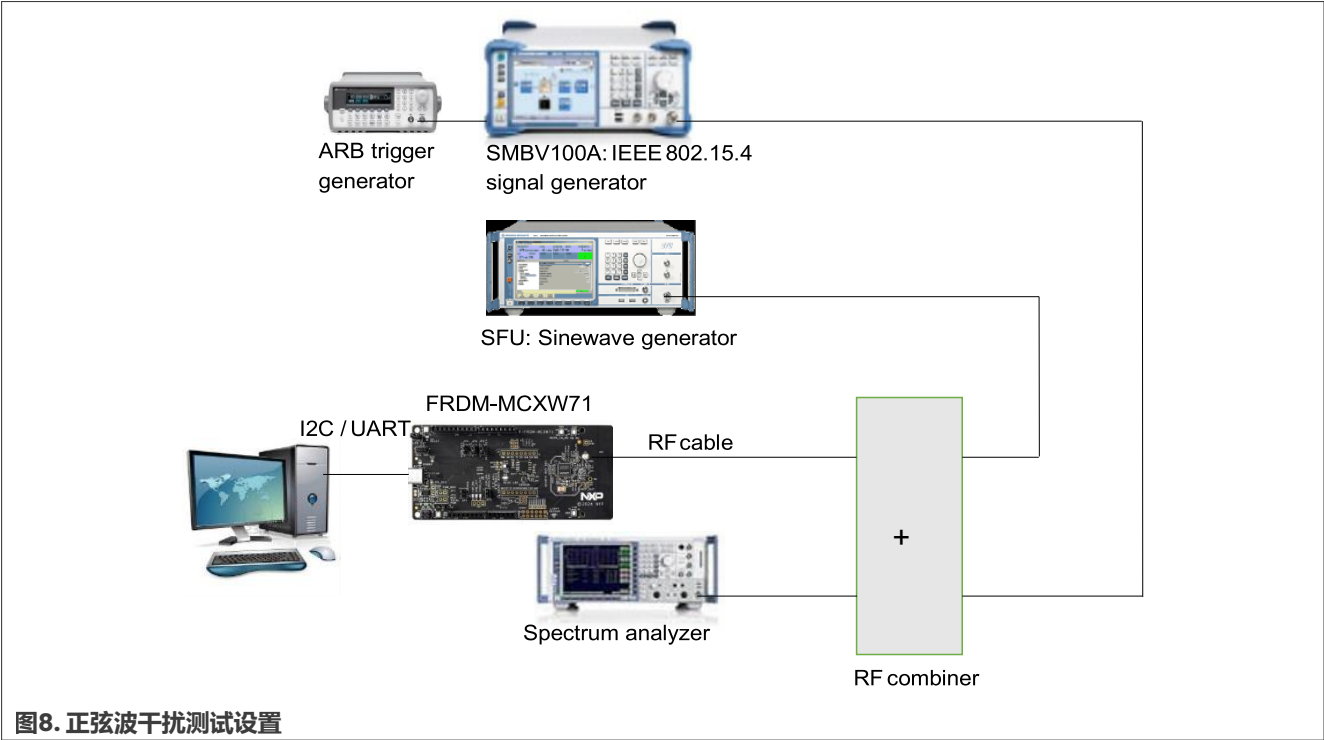
本节介绍了评估正弦波干扰对误包率（PER）的影响的测试台设置方法、测试方法以及测试结果。

2.1 测试设置

本节介绍正弦波信号和正弦波干扰的测试环境设置。

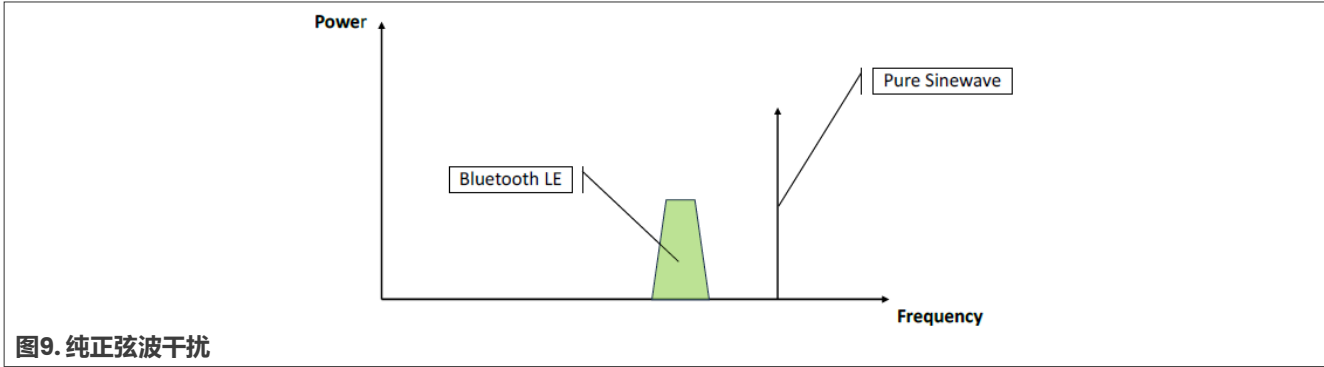
2.1.1 测试台

图8所示为正弦波干扰测试设置。



2.1.2 信号定义

本测试用例中，使用纯正弦波来测量ACI ($N+/-8$) 和同频抗扰能力。
正弦波的功率逐渐增加，直到达到PER<30.8%的标准。



2.2 正弦波干扰测试

本节介绍了评估正弦波干扰对误包率（PER）的影响的测试方法和测试结果。

2.2.1 测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式（BLE 1 Msp/s、2 Msp/s、500 ksp/s或125 ksp/s）、带调制、连续模式、频率：信道 19（2.44 MHz）。
- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号（通常为1500个37字节有效载荷的数据包），连续模式，频率：信道 19（2.44 MHz）。

- 对分析仪进行设置，用于针对BLE信号和正弦波的功率校准（-20 dBm）。
- 从信道 0（2.402 GHz）到信道 39（2.48 GHz），一个纯正弦波进行扫频，功率电平设置为-20 dBm。
- 逐渐降低BLE信号功率，直到达到PER标准（<30.8%）。

2.2.2 测试结果

图10所示为测试结果。

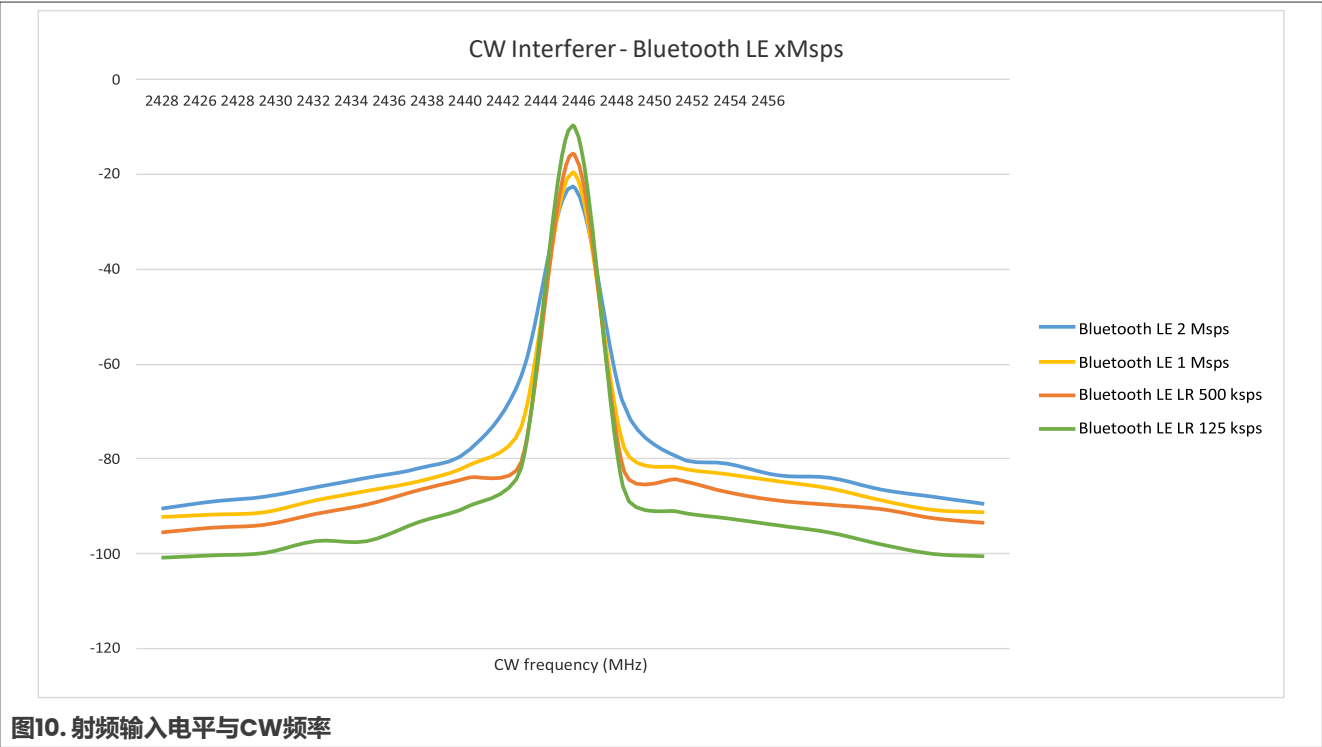


图10. 射频输入电平与CW频率

2.3 结论

略高电平（-20 dBm）的正弦波会起到阻断作用。接收器会调节其增益；因此噪声系数会增加。

3 蓝牙音频干扰

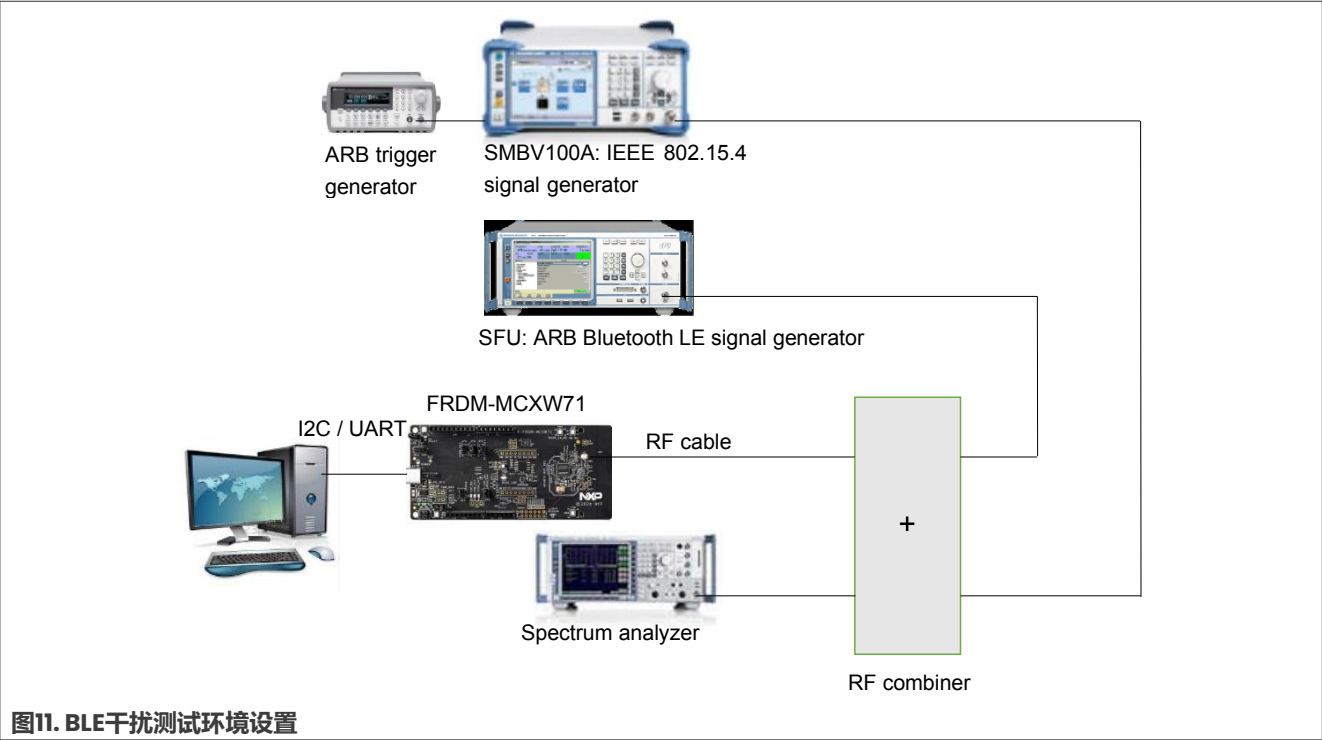
本节介绍了评估蓝牙音频干扰对PER的影响的测试台设置、测试方法和测试结果。

3.1 测试设置

本节介绍了蓝牙干扰信号和BLE干扰测试设置。

3.1.1 测试台

图11所示为BLE干扰设置的测试环境。

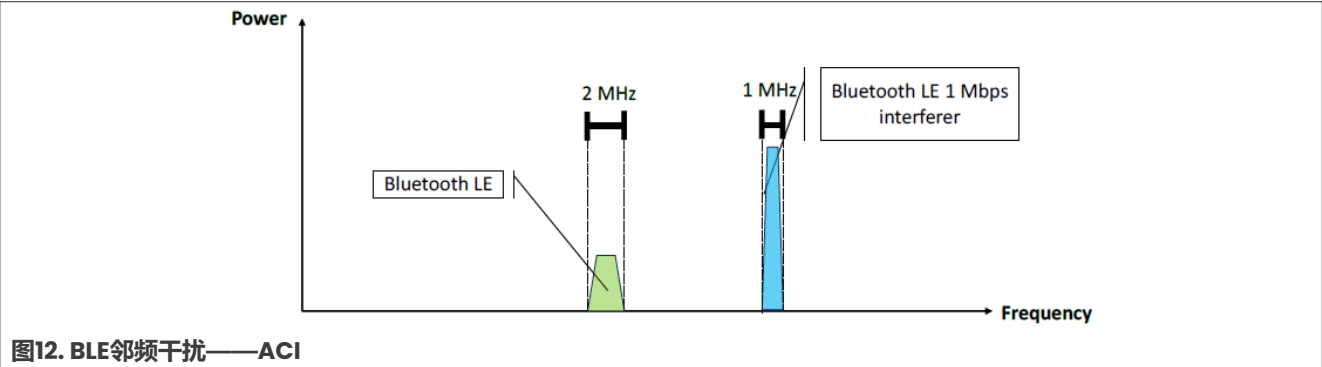


3.1.2 信号定义

以下的测量通过从智能手机蓝牙音频流中捕获1个信道（测试用例1）来实现。

蓝牙干扰源设置为-40 dBm的恒定功率电平。在BLE信道中心频点从-5 MHz至+5 MHz的范围内进行扫频。占空比被强制设定为5%。

逐渐降低BLE RR功率电平，直到达到PER<30.8%的标准。



3.2 蓝牙音频干扰测试

本节介绍了评估蓝牙音频干扰对PER的影响的测试方法和测试结果。

3.2.1 测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式、带调制、连续模式、频率：信道 19（2.44 MHz）。

- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号（通常为1500个37字节有效载荷的数据包），连续模式，频率：信道 0（2.402 GHz）、信道 19（2.44 MHz）和信道 39（2.48 GHz）。
- 对分析仪进行设置，用于针对BLE信号和蓝牙音频信号的功率校准。
- 将蓝牙音频流设置为功率电平=-40 dBm，频率从目标信道频率的-5 MHz逐渐变化到+5 MHz（步长为1 MHz）。
占空比被强制设定为5%。
- 逐渐降低BLE信号功率，直到达到PER标准（<30.8%）。

3.2.2 测试结果

图13所示为测试结果。

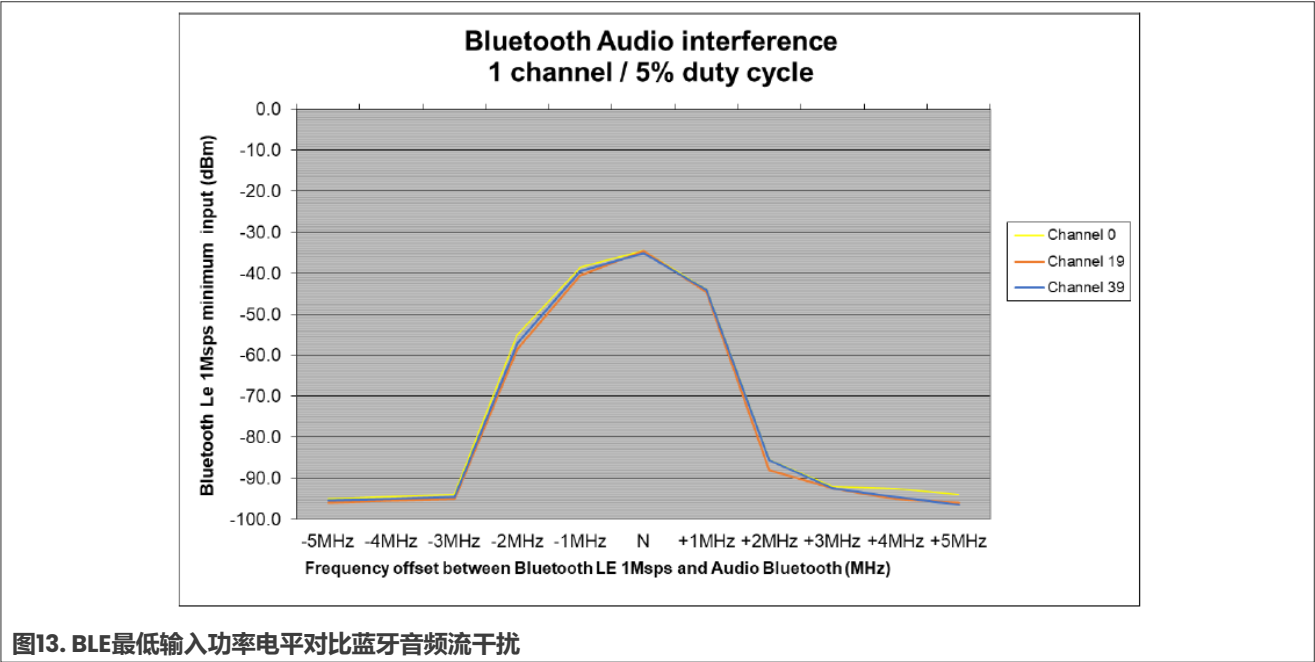


图13. BLE最低输入功率电平对比蓝牙音频流干扰

3.2.3 结论

- 对于同频干扰，载扰比 (C/I) 为+4.5 dB (BLE信道 0、信道 19或信道 39)。
- 对于接收器带宽之外的蓝牙信道，抗干扰性能会迅速提高。

4 Wi-Fi干扰

本节介绍了评估Wi-Fi干扰对误包率 (PER) 的影响的测试台设置、测试方法以及测试结果。

4.1 测试设置

本节介绍了Wi-Fi干扰信号和Wi-Fi干扰测试环境的设置。

4.1.1 测试台

图14所示为Wi-Fi干扰测试环境的设置。

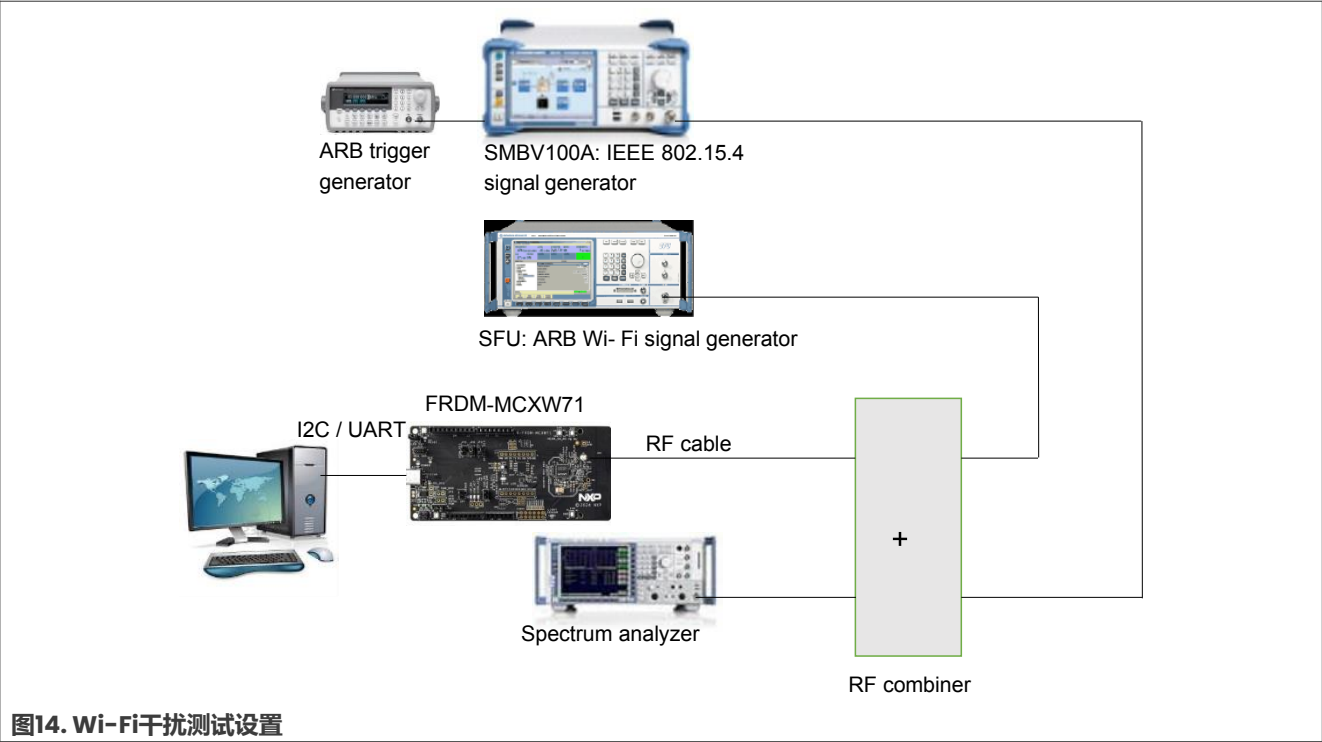


图14. Wi-Fi干扰测试设置

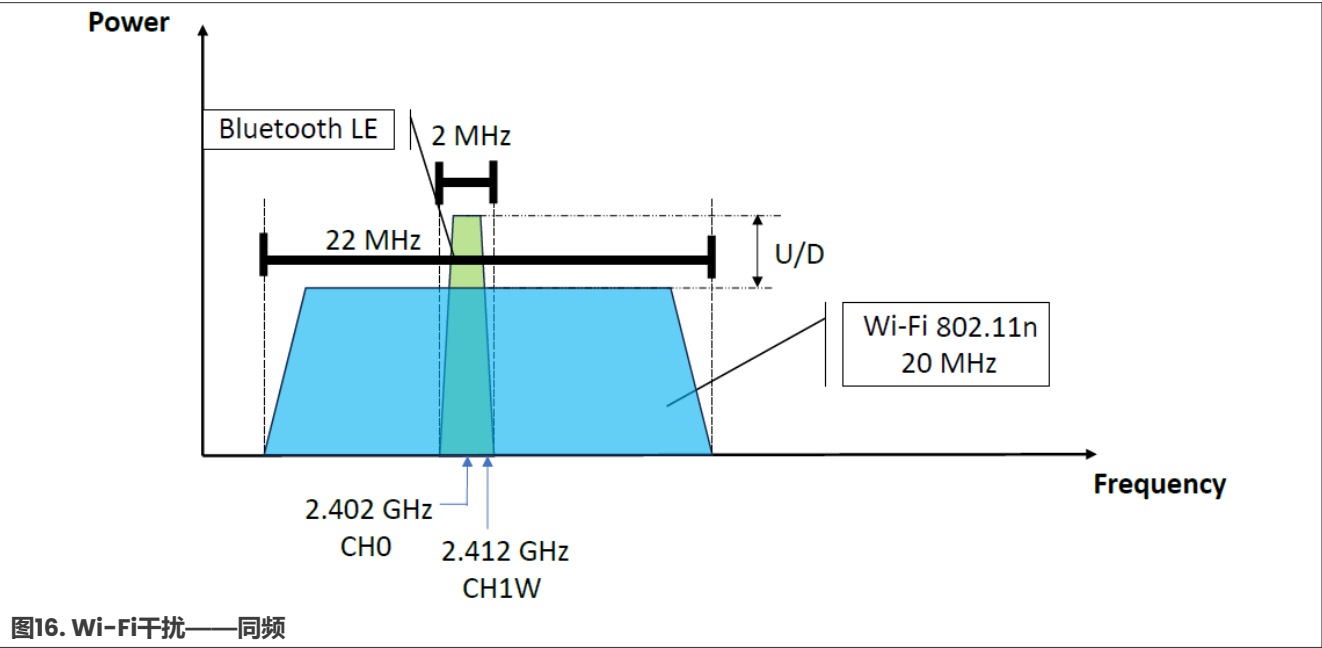
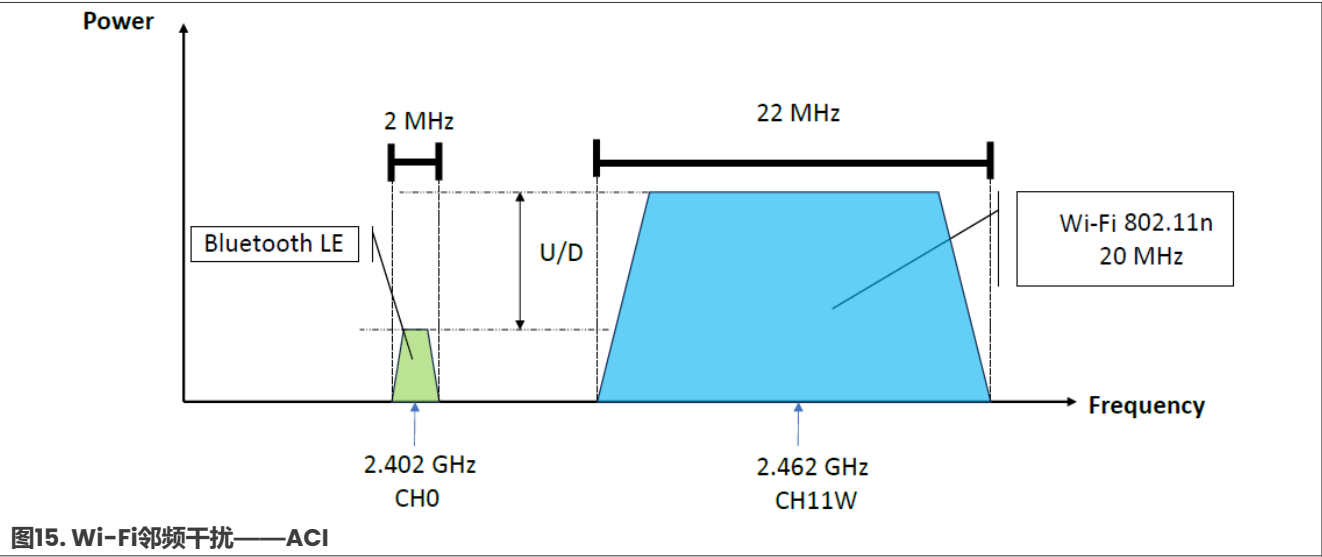
4.1.2 信号定义

实际的Wi-Fi信号已被采样并用于此测试系列：

- 802.11n模式，20 MHz带宽（信号天线）。
- 接入点AP（客户端）正在向基站（服务器）发送数据报文。
- 在AP上设置的理论数据速率为100 Mbit/s（满载）。
- 基站每秒发回一个报告，显示实际测量的吞吐量（通常为58 Mbit/s）。

已使用信号分析仪对数据流进行了采样（采样频率为40 MHz，长度为1秒）。

IQ样本由RF波形发生器回放，以模拟受控的Wi-Fi相邻信道的信号。



4.2 Wi-Fi干扰测试

本节介绍了评估Wi-Fi干扰对误包率（PER）的影响的测试方法和测试结果。

4.2.1 ACI测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置：RX模式（BLE 1 Msps、2 Msps、500 ksps或125 ksps）、带调制、连续模式、频率：信道 0（2.402 MHz）。
- 对信号发生器进行设置：BLE调制信号（通常为1500个37字节有效载荷的数据包），连续模式，频率：信道 0（2.402 MHz）。
- 对分析仪进行设置，用于针对BLE信号和Wi-Fi信号的功率校准。

- Wi-Fi信号 (BW=22 MHz) 的功率电平设置为-40 dBm至0 dBm, 信道 11 (2.462 GHz) 和信道 6 (2.437 GHz) 。
- 逐渐降低BLE信号功率, 直到达到PER标准 (<30.8%) 。

4.2.2 ACI测试结果

图17所示为ACI场景下的测试结果。

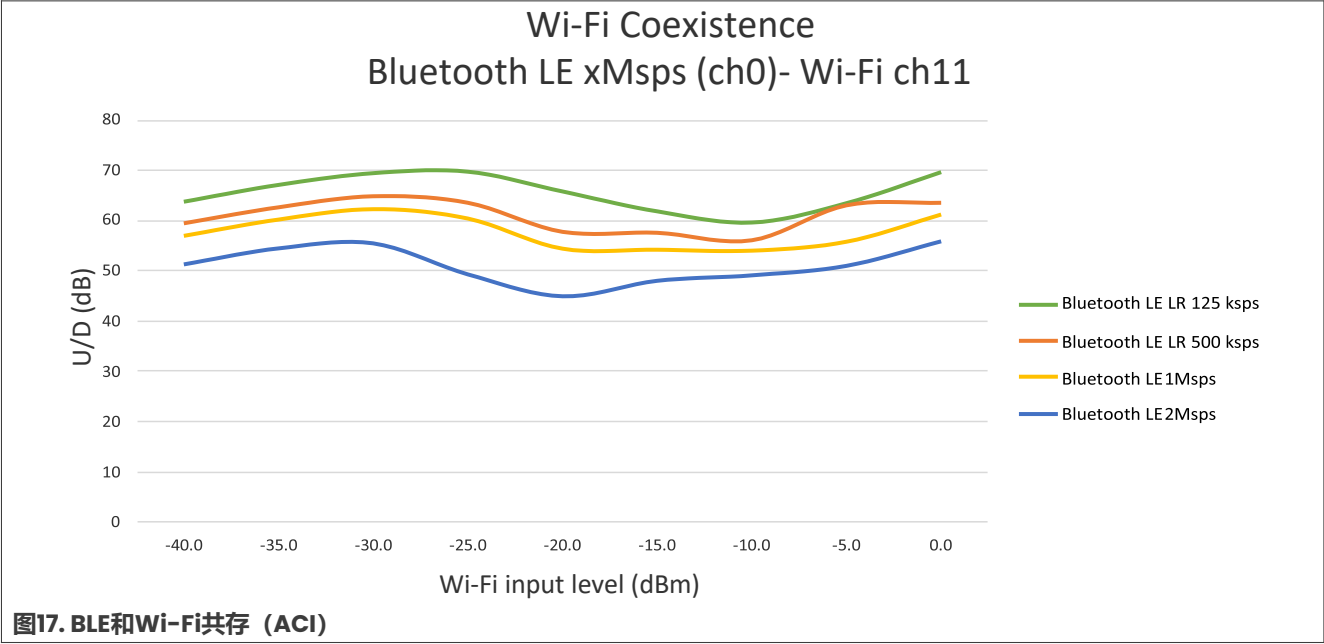


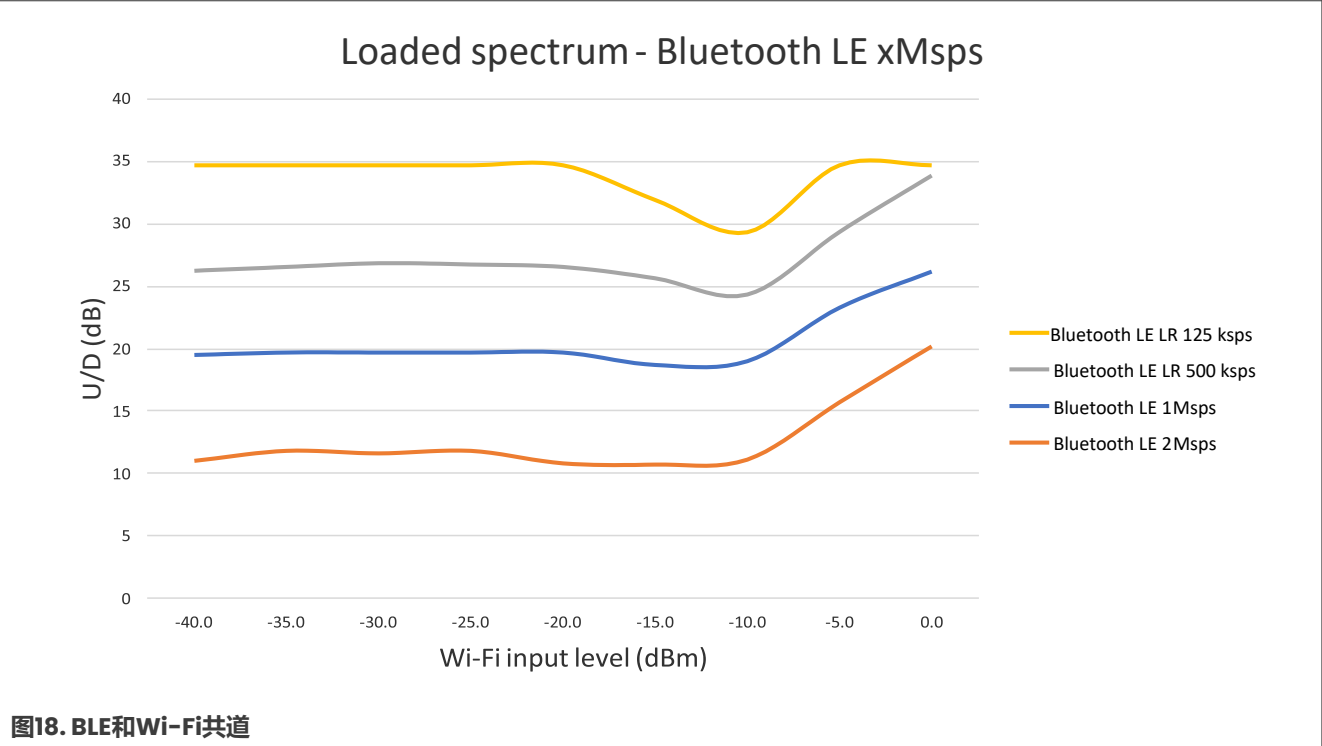
图17. BLE和Wi-Fi共存 (ACI)

4.2.3 同频干扰测试方法

- 对MCX W71射频部分进行设置: RX模式 (BLE 1 Msps、2 Msps、500 kbps或125 kbps)、带调制、连续模式、频率: 信道 0 (2.402 MHz) 。
- 对信号发生器进行设置: BLE调制信号 (通常为1500个37字节有效载荷的数据包) , 连续模式, 频率: 信道 0 (2.402 MHz) 。
- 对分析仪进行设置, 用于针对BLE信号和Wi-Fi信号的功率校准。
- Wi-Fi信号 (BW=22 MHz) 的功率电平设置为-40 dBm至0 dBm, 信道 1 (2.412 GHz) 。
- 逐渐降低BLE信号功率, 直到达到PER标准 (<30.8%) 。

4.2.4 同频干扰测试结果

图18所示为BLE和Wi-Fi同频场景下的测试结果。



4.3 结论

无论Wi-Fi干扰信号相对BLE速率的如何变化，非期望信号（Unwanted）与期望信号（Wanted）的功率比始终保持相对恒定。

5 修订历史

表1汇总了本文档的修订情况。

表1. 修订历史

文档ID	发布日期	说明
AN14515 v.1.0	2025年1月13日	首次公开发布

Legal information

Definitions

Draft — A draft status on a document indicates that the content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included in a draft version of a document and shall have no liability for the consequences of use of such information.

Disclaimers

Limited warranty and liability — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information. NXP Semiconductors takes no responsibility for the content in this document if provided by an information source outside of NXP Semiconductors.

In no event shall NXP Semiconductors be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, NXP Semiconductors' aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the Terms and conditions of commercial sale of NXP Semiconductors.

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.

Suitability for use — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in life support, life-critical or safety-critical systems or equipment, nor in applications where failure or malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors and its suppliers accept no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

Applications — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Customers are responsible for the design and operation of their applications and products using NXP Semiconductors products, and NXP Semiconductors accepts no liability for any assistance with applications or customer product design. It is customer's sole responsibility to determine whether the NXP Semiconductors product is suitable and fit for the customer's applications and products planned, as well as for the planned application and use of customer's third party customer(s). Customers should provide appropriate design and operating safeguards to minimize the risks associated with their applications and products.

NXP Semiconductors does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on any weakness or default in the customer's applications or products, or the application or use by customer's third party customer(s). Customer is responsible for doing all necessary testing for the customer's applications and products using NXP Semiconductors products in order to avoid a default of the applications and the products or of the application or use by customer's third party customer(s). NXP does not accept any liability in this respect.

Terms and conditions of commercial sale — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <https://www.nxp.com.cn/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. NXP Semiconductors hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of NXP Semiconductors products by customer.

Export control — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from competent authorities.

Suitability for use in non-automotive qualified products — Unless this document expressly states that this specific NXP Semiconductors product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without NXP Semiconductors' warranty of the product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies NXP Semiconductors for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' standard warranty and NXP Semiconductors' product specifications.

HTML publications — An HTML version, if available, of this document is provided as a courtesy. Definitive information is contained in the applicable document in PDF format. If there is a discrepancy between the HTML document and the PDF document, the PDF document has priority.

Translations — A non-English (translated) version of a document, including the legal information in that document, is for reference only. The English version shall prevail in case of any discrepancy between the translated and English versions.

Security — Customer understands that all NXP products may be subject to unidentified vulnerabilities or may support established security standards or specifications with known limitations. 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 B.V. — NXP B.V. is not an operating company and it does not distribute or sell products.

Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names, and trademarks are the property of their respective owners.

NXP — wordmark and logo are trademarks of NXP B.V.

Bluetooth — the Bluetooth wordmark and logos are registered trademarks owned by Bluetooth SIG, Inc. and any use of such marks by NXP Semiconductors is under license.

目录

1 介绍.....2

1.1 测试列表.....2

1.2 软件.....3

1.3 设备清单.....3

1.4 测试台设置.....3

1.5 白噪声干扰设置.....4

1.6 C/N与频率.....4

1.6.1 测试方法.....4

1.6.2 测试结果.....5

1.6.3 结论.....5

1.7 PER与C/N.....5

1.7.1 测试方法.....5

1.7.2 测试结果.....6

1.7.3 结论.....6

1.8 C/N与功率电平.....6

1.8.1 测试方法.....6

1.8.2 测试结果.....7

1.8.3 结论.....7

2 正弦波干扰.....7

2.1 测试设置.....7

2.1.1 测试台.....7

2.1.2 信号定义.....8

2.2 正弦波干扰测试.....8

2.2.1 测试方法.....8

2.2.2 测试结果.....9

2.3 结论.....9

3 蓝牙音频干扰.....9

3.1 测试设置.....9

3.1.1 测试台.....9

3.1.2 信号定义.....10

3.2 蓝牙音频干扰测试.....10

3.2.1 测试方法.....10

3.2.2 测试结果.....11

3.2.3 结论.....11

4 Wi-Fi干扰.....11

4.1 测试设置.....11

4.1.1 测试台.....11

4.1.2 信号定义.....12

4.2 Wi-Fi干扰测试.....13

4.2.1 ACI测试方法.....13

4.2.2 ACI测试结果.....14

4.2.3 同频干扰测试方法.....14

4.2.4 同频干扰测试结果.....14

4.3 结论.....15

5 修订历史.....15

法律声明.....16

Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.