

AN13512

Kinetis系列无线产品之低功耗蓝牙与Wi-Fi应用的共存

第0版 — 2022年3月10日

应用笔记

文档信息

信息	内容
关键词	Kinetis、无线、Bluetooth、BLE、Wi-Fi
摘要	本应用笔记介绍了KW3x/4x低功耗蓝牙系列产品对Wi-Fi信号的抗干扰能力，以及提升与Wi-Fi的共存的方法。



1 介绍

本应用笔记介绍了KW3x/4x低功耗蓝牙系列产品对Wi-Fi信号的抗干扰能力，以及提升与Wi-Fi信号的共存的方法。

[第2节](#)概述了对Wi-Fi信号的抗干扰能力，但未介绍任何具体的抑制技术。如需了解详情，请参阅《*EVK-KW45与射频系统共存的低功耗蓝牙应用评估报告*》（*EVK-KW45 Co-existence with RF System Evaluation Report for the Bluetooth LE applications*）（文档AN13229）。

[第3节](#)介绍了共存策略的目标，即防止Wi-Fi信号和射频信号同时发射。为防止射频单元在Wi-Fi收发器占用射频信道时接收信号，提供了一个可选的配置。恩智浦的2.4 GHz无线射频IC支持共存接口信号。

如需了解更多详情，请参阅《*KW45B41Z参考手册*》（文档KW45B41ZRM）。

2 低功耗蓝牙对Wi-Fi信号的抗干扰能力

本节概述了低功耗蓝牙对Wi-Fi信号的抗干扰性能。这些结果是《*AN13229 EVK-KW45与射频系统共存的低功耗蓝牙应用评估报告*》（文档AN13229）的一部分。本文档提供了KW45B41Z EVK对于低功耗蓝牙应用（2FSK调制）的射频评估的测试结果。其中包括测试设置说明和用户用于自行执行测试的工具。要获取KW45的射频参数，请参阅《*KW45B41Z数据手册*》（文档KW45B41Z）。

本节还介绍了依靠Wi-Fi干扰源（相邻载波干扰源和同频干扰源）进行误包率（PER）测试的方法概述及结果。

2.1 测试台

本测试台的设置以KW45B41Z-EVK为例进行，也适用于其他的FRDM-KW3x/4x电路板。

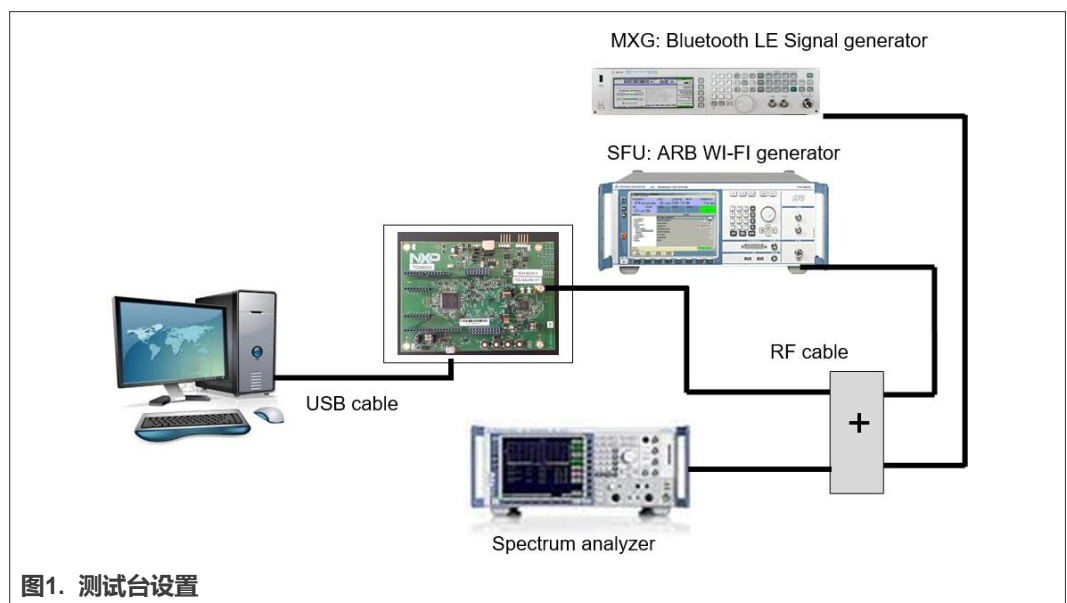


图1. 测试台设置

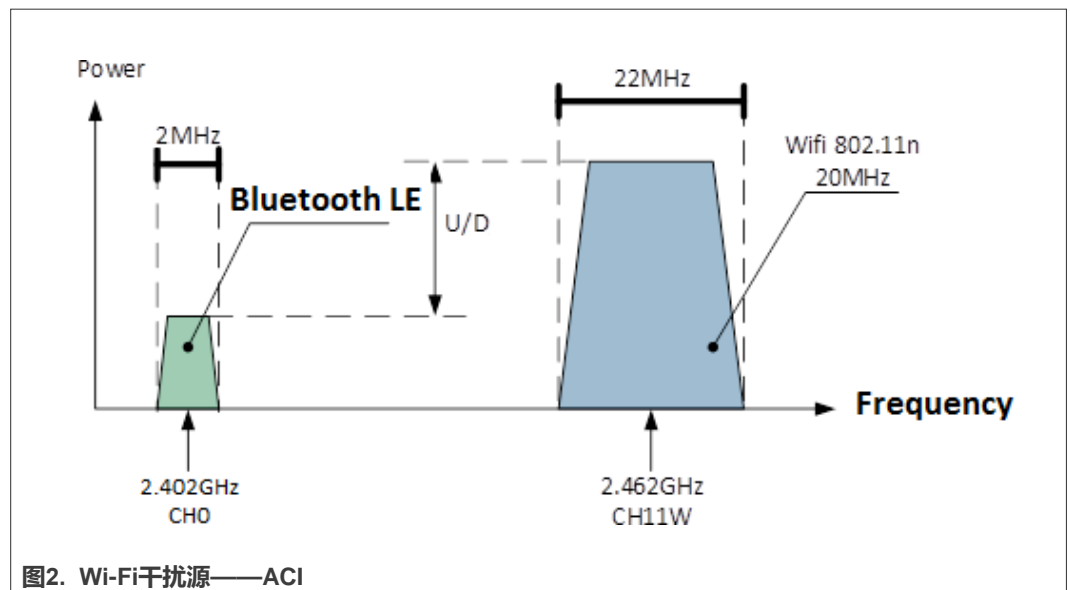
2.2 软件

在测试前，请将二进制代码（连接软件）加载到电路板的闪存中。

要使用KW45B41Z EVK加载代码，请参阅《[恩智浦Kinetis® KW45B41Z MCU评估套件](#)》。以下测试使用的二进制代码是连接软件包GenFSK协议（2FSK调制）。TERATERM终端仿真器用于与KW45 MCU进行通讯。

2.3 Wi-Fi干扰源——ACI

本节介绍了使用Wi-Fi干扰源（即相邻载波干扰源，ACI）进行误包率（PER）测试的方法和结果。



2.3.1 ACI测试方法

- 将KW45射频模块设置为：
 - RX模式（低功耗蓝牙1 Msps、2 Msps、500 Ksps或125 Ksps）
 - 有调制
 - 连续模式
 - 频率：信道0 (2.402 MHz)
- 将信号发生器设置为：
 - 低功耗蓝牙调制信号（典型值是1500个有效负载为37字节的数据包）
 - 连续模式
 - 频率：信道0 (2.402 MHz)
- 将分析仪设置为对低功耗蓝牙信号和Wi-Fi信号进行功率校准。
- Wi-Fi信号（BW = 22 MHz）的强度设置为从-40 dBm至0 dBm、信道11 (2.462GHz) 和信道6 (2.437 GHz)。
- 降低低功耗蓝牙功率，直至达到PER标准 (< 30.8 %)。

2.3.2 ACI的结果

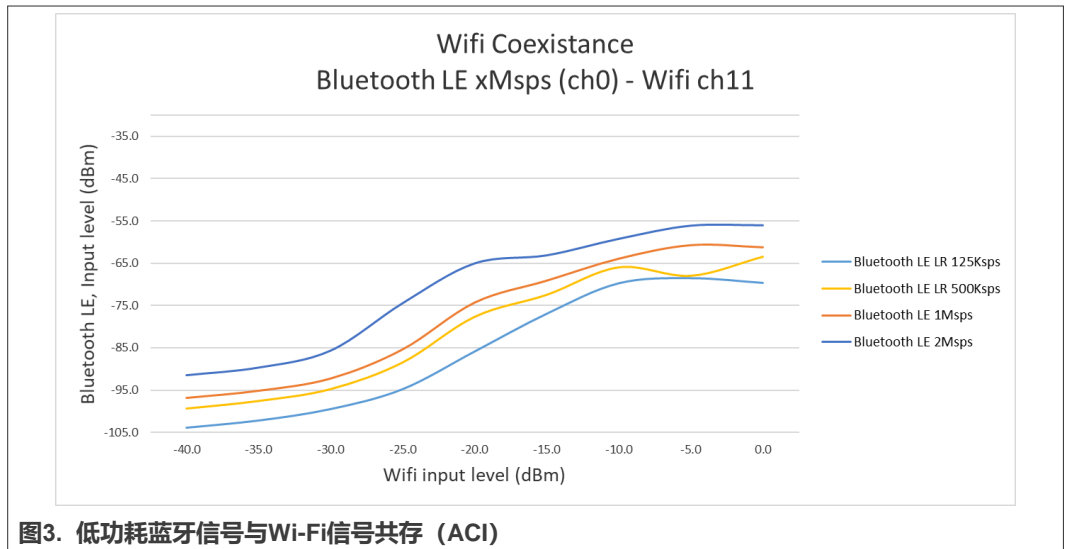


图3. 低功耗蓝牙信号与Wi-Fi信号共存 (ACI)

2.4 Wi-Fi干扰——同信道

本节介绍了使用同信道的Wi-Fi干扰源进行误包率 (PER) 测试的方法和结果。

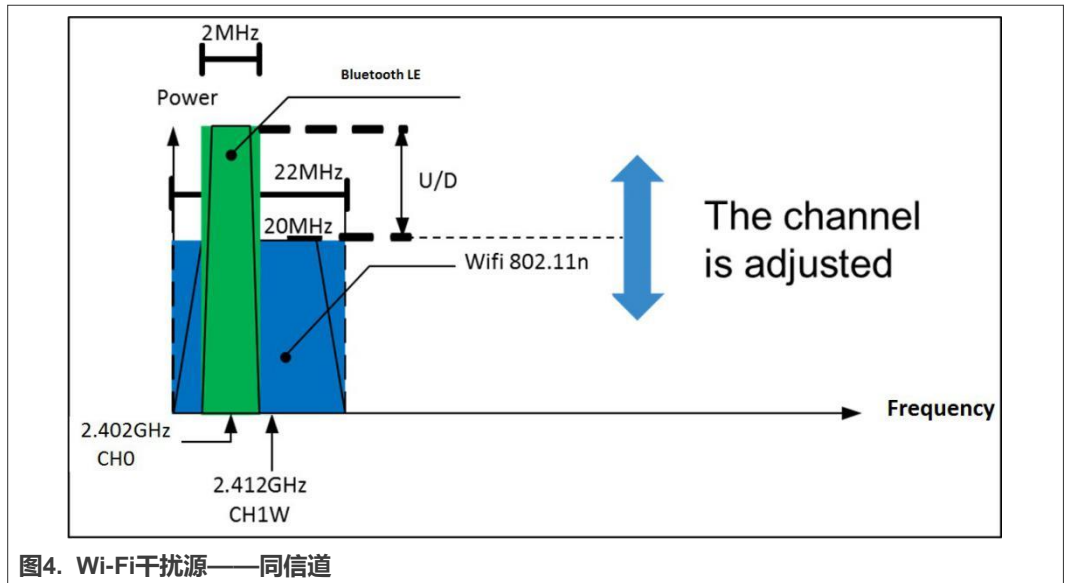


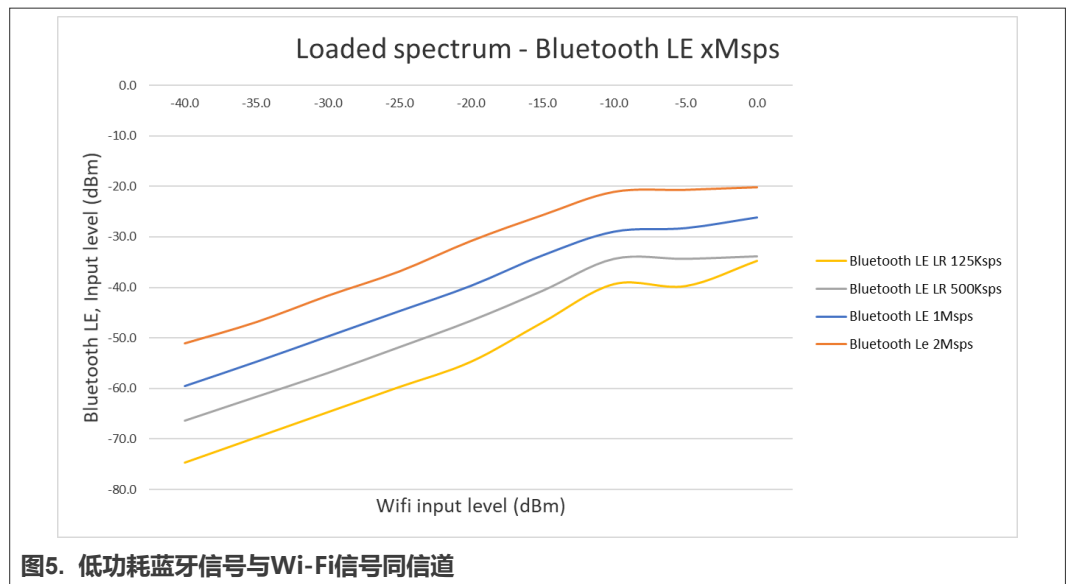
图4. Wi-Fi干扰源——同信道

2.4.1 同信道测试的方法

- 将KW4射频模块设置为：
 - RX模式 (低功耗蓝牙1Msps、2Msps、500Ksps或125Ksps)
 - 有调制
 - 连续模式
 - 频率：信道0 (2.402 MHz)
- 将信号发生器设置为
 - 低功耗蓝牙调制信号 (典型值是1500个有效负载为37字节的数据包)

- 连续模式
- 频率：信道0 (2.402 MHz)
- 将分析仪设置为对低功耗蓝牙信号和Wi-Fi信号进行功率校准。
- Wi-Fi信号 (BW = 22 MHz) 的强度设置为从-40 dBm至0 dBm、信道1 (2.412 GHz)。
- 降低低功耗蓝牙功率，直至达到PER标准 (< 30.8 %) 。

2.4.2 同信道测试的结果



3 共存策略

本节介绍了防止Wi-Fi信号和射频信号同时发射的共存策略。为了防止射频单元在Wi-Fi收发器占用射频信道时接收信号，提供了一个可选的配置。恩智浦的2.4 GHz射频IC支持共存接口信号。

如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）。

3.1 Wi-Fi共存接口

可采用硬件和软件的方法让射频单元与Wi-Fi收发器IC在同一空间共存。它们共享2.4 GHz频段。此共存方案指定Wi-Fi收发器为主设备，射频单元为从设备。该共存策略可防止Wi-Fi和射频单元同时发射信号。为了防止射频单元在Wi-Fi收发器占用射频信道时接收信号，提供了一个可选的配置。

该2.4 GHz射频IC支持共存接口信号，如图6所示。在典型的应用中，只有一部分信号会被使用。

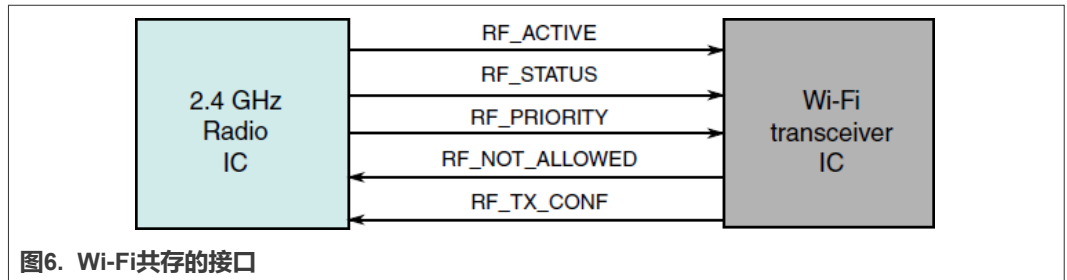


图6. Wi-Fi共存的接口

该2.4 GHz射频架构支持灵活的共存接口。通过这个接口，窄带（NB）射频（如蓝牙和专有协议）能够和一个与其共享频段的Wi-Fi射频共存，或和一个不同的IC共存，此时二者可能需要主动的同步，以降低电池的功耗或减少电磁干扰（EMI）。为了简化，本节主要展示了NB 2.4 GHz射频在与Wi-Fi射频共存的环境下的共存能力。

注意：使用串行总线的处理器间通讯（IPC）通道也可用于增强硬件共存接口的功能。

典型的蓝牙和Wi-Fi共存方案会将Wi-Fi收发器作为主设备，2.4 GHz收发器作为从设备。但在某些情况下，应用配置文件可能会做出相反的规定。此共存策略是为了防止NB 2.4 GHz射频信号和Wi-Fi射频信号同时发射。为了防止NB 2.4 GHz射频在Wi-Fi射频占用射频信道时接收信号，提供了一个可选的配置。此外还有一种实施方案，即让两个射频设备显示其射频活动的本质。这样就可以实现在两个射频设备上同时接收信号的共存方案，而且当NB和Wi-Fi信道充分分离时，还可能有其他的选项。

如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）第46.2.5节“Wi-Fi共存接口”。

3.2 共存引脚的定义

表1介绍了Wi-Fi共存的引脚。

表1. 共存引脚的定义

Wi-Fi共存信号	引脚方向	引脚说明
RF_ACTIVE (REQUEST)	输出	在所有射频事件之前发出的输出信号，并在事件发生期间保持发出。
RF_STATUS (DIRECTION)	输出	指示射频单元何时处于RX或TX状态的输出信号，可直接由软件控制。
RF_PRIORITY	输出	向外部Wi-Fi器件进行指示的输出信号，表明此射频事件具有较高的优先级，它需要接入2.4 GHz天线。
RF_NOT_ALLOWED (!GRANT)	输入	让内部射频单元停止射频活动的外部信号。

表1. 共存引脚的定义 (续)

Wi-Fi共存函数	引脚方向	引脚说明
RF_TX_CONF	I	来自于外部射频单元的信号，表示2.4GHz天线对该内部射频单元是可用的。 注意： 此信号未连接到射频硬件。射频软件可使用任何具有中断功能的由应用程序分配的GPIO来实现这个功能。

寄存器：RF2p4GHz_COEXT，偏移量：20 h

选择RF_GPO[7:0]的信号源。

如下所述，

```
coext[3:0] = {rf_priority[1:0], rf_status, rf_active}
000b - RF_GPO[7:0] = {coext[3:0], fem_ctrl[3:0]}
001b - RF_GPO[7:0] = {fem_ctrl[3:0], coext[3:0]}
010b - RF_GPO[7:0] = {lant_lut_gpio[3:0], fem_ctrl[3:0]}
011b - RF_GPO[7:0] = {fem_ctrl[3:0], lant_lut_gpio[3:0]}
100b - RF_GPO[7:0] = {lant_lut_gpio[3:0], coext[3:0]}
101b - RF_GPO[7:0] = {coext[3:0], lant_lut_gpio[3:0]}
```

表2. RF_GPO的复用

RF GPO复用:
RF_GPO_0/1/2/3: 选择FEM/共存 (无RF_NOT_ALLOWED) /外部天线切换
RF_GPO_4/5/6/7: 选择FEM/共存 (无RF_NOT_ALLOWED) /外部天线切换
RF_GPO_8/9/10/11: 选择FEM/外部天线切换

表3. RF_GPO位寄存器

40 QFN	48 QFN	引脚名称	ALT3	ALT4	ALT6	ALT7	ALT8	ALT9	唤醒
7	8	PTA2		RF_GPO_11					
8	9	PTA3		RF_GPO_10					
9	10	PTA4	RF_GPO_9						
		PTA5							
	11	PTA16				RF_GPO_8			RF_NOT_ALLOWED
10	12	PTA17				RF_GPO_7	RF_GPO_8		WUU)_P3/RF_NOT_ALLOWED

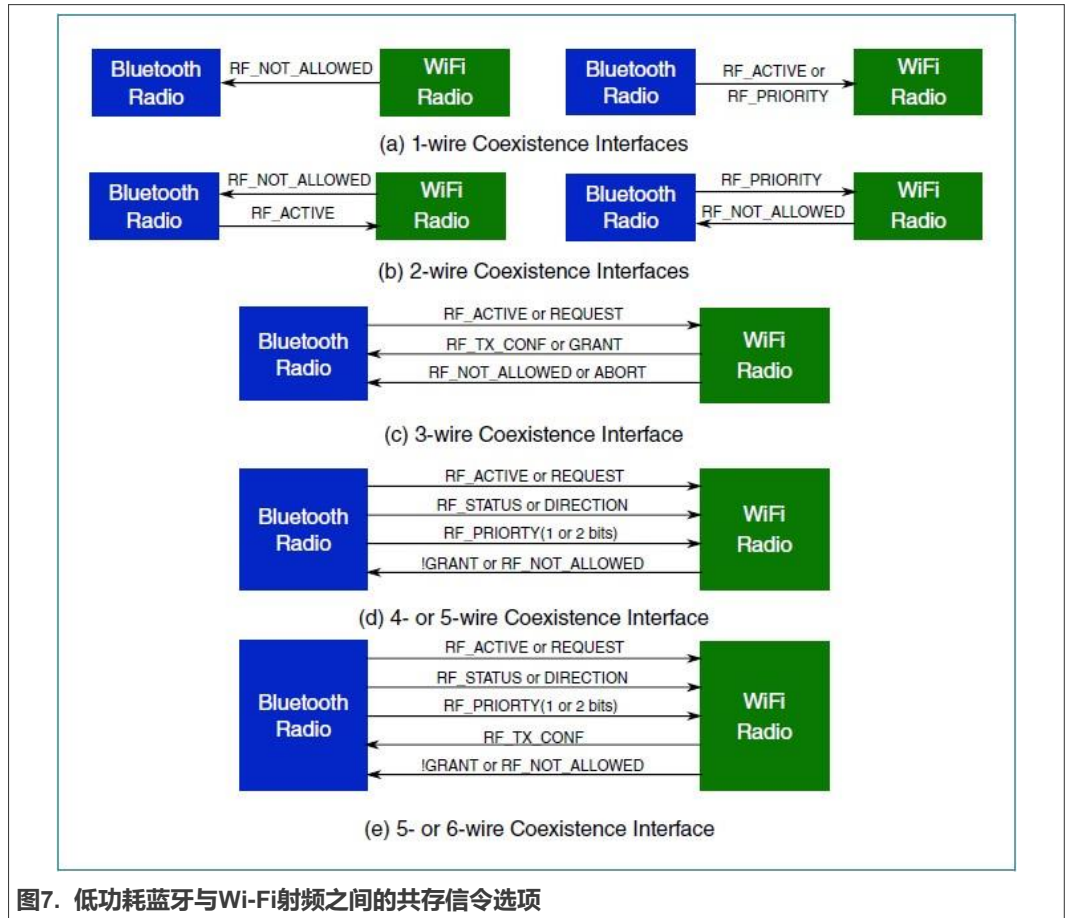
表3. RF_GPO位寄存器 (续)

40 QFN	48 QFN	引脚名称	ALT3	ALT4	ALT6	ALT7	ALT8	ALT9	唤醒
11	13	PTA18			RF_GPO_0				
12	14	PTA19			RF_GPO_1				
15	17	PTA20			RF_GPO_2				
16	18	PTA21			RF_GPO_3	RF_GPO_7		RF_GPO_10	
	24	PTD1		RF_GPO_4					
	25	PTD2		RF_GPO_5					
	26	PTD3		RF_GPO_6					
36	45	PTC7							WUJO_P12/ NMI_b/RF_NOT_ALLOWED

有关射频引脚的行为控制信息如下。请参阅《KW45B41Z参考手册》(文档KW45B41ZRM)中的“**射频共存/FEM/LANT连接**”章节，其中说明了在射频单元中信号的连接和复用方式。如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》(文档KW45B41ZRM)中的**第56.3.4.6.1节“共存引脚的定义”**。

3.3 共存信令的选项

图7所示为蓝牙和Wi-Fi的共存信令(根据Wi-Fi联盟文档改编)。随着时间的推移，这两种射频之间的接口定义也在不断演变，目的是提高频谱和天线的控制效率。大多数现代蓝牙和Wi-Fi接口都使用三个或更多信号。



如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）中的第56.3.4.6.2节“共存信令选项”。

3.4 共存引脚映射的示例

表4列出了市场上的一些NB 2.4 GHz射频支持的针对Wi-Fi射频传统共存信号的映射示例。

表4. 共存引脚映射的示例

Wi-Fi共存用例	RF_ACTIVE	RF_STATUS	射频优先级	RF_NOT_ALLOWED	RF_TX_CONF	Wi-Fi SoC
方向	输出	输出	输出	输入	输入	

表4. 共存引脚映射示例 (续)

Wi-Fi共存用例	RF_ACTIVE	RF_STATUS	射频优先级	RF_NOT_ALLOWED	RF_TX_CONF	Wi-Fi SoC
功能	<ul style="list-style-type: none"> 指示射频事件 在射频事件期间必须保持发出 如果 RF_NOT_ALLOWED = 1, 则取消。 	<ul style="list-style-type: none"> 指示RX/TX事件; 可选择在其上混合 RF_Priority 信号。 	<ul style="list-style-type: none"> 指定RF_ACTIVE; 优先级高于外部流量仲裁器。 	<ul style="list-style-type: none"> 指示一个让NB射频停止射频活动的外部命令。 	<ul style="list-style-type: none"> 指示将天线授权给TX; 如果请求了 RF_Priority, 则必须采样。 任意GPIO均可。 	
单线接口, WLAN为主设备				x		
单线接口, 蓝牙为主设备	x					
双线接口, 蓝牙和WLAN之间的交叉信令	x			x		
双线接口, 蓝牙优先级与WLAN TX信令			x		x	
3线: 第三方接口	x			x	x	Broadcom, CSR
3线: 请求、授权和状态	x	x			x	BRCM43XX; Nokia 3线选项
3线: Qualcomm	x		x	O	x	QCOM Dakota 芯片组

表4. 共存引脚映射的示例 (续)

Wi-Fi共存用例	RF_ACTIVE	RF_STATUS	射频优先级	RF_NOT_ALLOWED	RF_TX_CONF	Wi-Fi SoC
4线: 请求、授权、状态和频率 (Nokia 4线选项)	x	x	x		x	BCM89xx; Nokia 4线选项
4线: CSR接口	x	x	x	O	x	CSR-BC41 BXX
4线: Phillips接口	x	x		x	x	

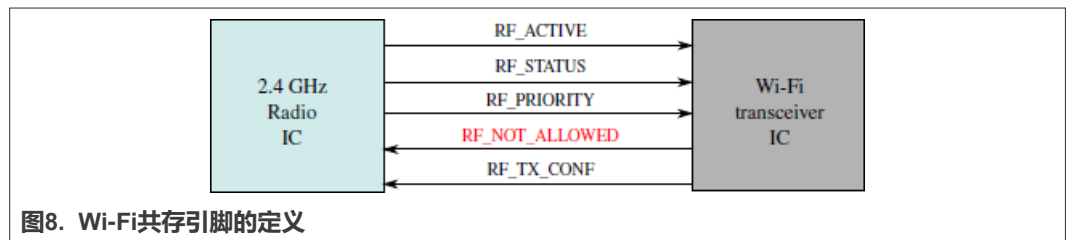
如需了解更多详情, 请参阅《KW45B41Z参考手册》(文档KW45B41ZRM) 中的第56.3.4.6.3节“共存引脚映射示例”。

3.5 Wi-Fi共存

一些规定允许2.4 GHz收发器与一个共享频段的Wi-Fi收发器IC在同一空间共存。此共存方案指定Wi-Fi收发器为主设备, 2.4 GHz收发器为从设备。共存策略的目的是防止Wi-Fi收发器信号和2.4GHz收发器信号同时发射。为了防止2.4 GHz收发器在Wi-Fi收发器占用射频信道时接收信号, 有一个可选的配置。

该2.4 GHz射频IC支持共存接口信号, 如图9所示。一个典型应用仅使用了一部分信号。

Wi-Fi IC会生成一个信号, 即RF_NOT_ALLOWED。如果该信号被发出, 则2.4 GHz射频IC不会进行任何通信。当此信号取消时, 2.4 GHz射频IC可以自由地进行通信。



当启用RF_NOT_ALLOWED中止功能时, GENERIC_FSK链路层硬件必须对RF_NOT_ALLOWED的发出作出响应:

- 中止所有正在进行的TX或RX序列。
- 在RF_NOT_ALLOWED信号取消之前, 链路层软件不得启动任何新序列。

链路层可以自动处理硬件响应, 而无需MCU的干预。

在多协议2.4 GHz射频单元中，RF_NOT_ALLOWED中止可让每个协议引擎单独启用/禁用。对于GENERIC_FSK，RF_NOT_ALLOWED_EN[3]是相关的使能控制位。该位驻留在XCVR地址空间内的COEX_CTRL寄存器中。

- 当该位为0时，GENERIC_FSK链路层硬件会忽略RF_NOT_ALLOWED上的转换。
- 当该位为1时，GENERIC_FSK链路层硬件会监测RF_NOT_ALLOWED，并在引脚上有信号发出时，中止所有正在进行的活动序列。

对RF_NOT_ALLOWED信号发出的完整硬件响应如下所述。

- RF_NOT_ALLOWED_NO_TX和RF_NOT_ALLOWED_NO_RX控制位提供了对RF_NOT_ALLOWED中止的附加控制。
 - 如果RF_NOT_ALLOWED_NO_TX = 1，则仅当GENERIC_FSK TX序列正在进行时 (generic_fsk_tx_en=1)，RF_NOT_ALLOWED的中止才会发生。如果RF_NOT_ALLOWED_NO_TX = 0，则GENERIC_FSK TX序列不会中止。
 - 如果RF_NOT_ALLOWED_NO_RX = 1，则仅当GENERIC_FSK RX序列正在进行时 (generic_fsk_rx_en = 1)，RF_NOT_ALLOWED的中止才会发生。如果RF_NOT_ALLOWED_NO_RX = 0，则GENERIC_FSK RX序列不会中止。
- RF_NOT_ALLOWED_NO_TX和RF_NOT_ALLOWED_NO_RX控制位驻留在COEX_CTRL寄存器中。

要触发一个硬件中止，请将pll_abort输入用于GENERIC_FSK链路层硬件。因为硬件对RF_NOT_ALLOWED信号发出的响应和对PLL失锁事件的响应是一样的。这也意味着，当对于GENERIC_FSK启用了RF_NOT_ALLOWED中止功能时，PLL_UNLOCK_IRQ中断状态位会同时指示PLL失锁条件和RF_NOT_ALLOWED中止。PLL中止和RF_NOT_ALLOWED中止是分别启用的，而COEX_CTRL寄存器保留后者所需的控制位。RF_NOT_ALLOWED中止的状态位也在COEX_CTRL中提供。因此，如果同时启用了PLL和RF_NOT_ALLOWED中止的功能，那么软件就能区分PLL_UNLOCK_IRQ的信号源。

这些事件的顺序会导致GENERIC_FSK TX操作的硬件中止，它是由RF_NOT_ALLOWED上的信号发出所触发的。这是收发器顺序管理器 (TSM) 和GENERIC_FSK链路层硬件之间的一种协作，如图9所示。

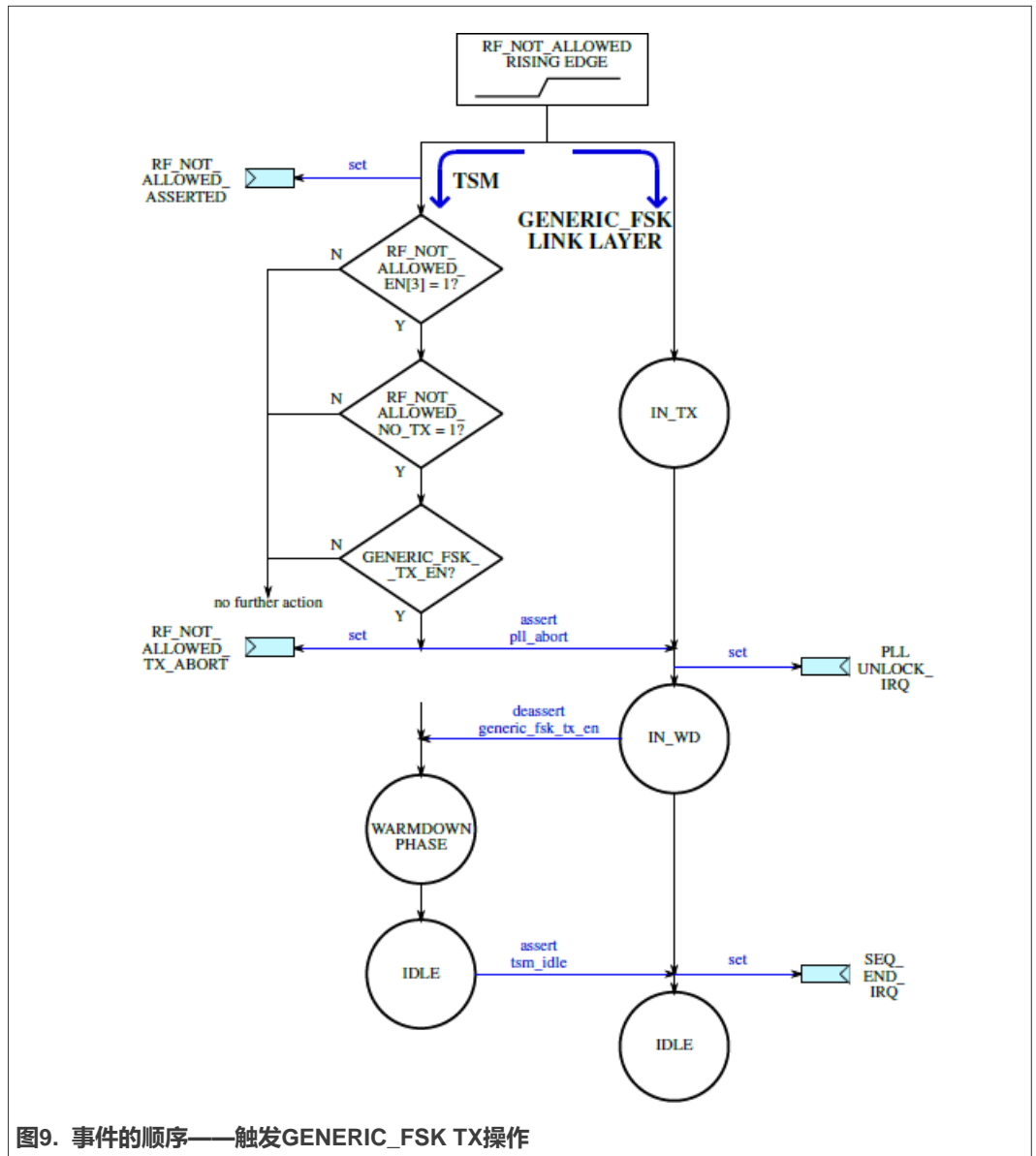


图9. 事件的顺序——触发GENERIC_FSK TX操作

在RF_NOT_ALLOWED上有信号发出后，TSM会设置COEX_CTRL寄存器中的RF_NOT_ALLOWED_ASSERTED状态位，并检查是否满足硬件中止的所有条件：

- RF_NOT_ALLOWED_EN[3] = 1，使GENERIC_FSK能够响应RF_NOT_ALLOWED事件。
- RF_NOT_ALLOWED_NO_TX = 1，使TX操作能够中止。
- generic_fsk_tx_en = 1，GENERIC_FSK会向TSM发出TX请求，表示TX操作正在进行中。

如果不是所有的条件都满足，则不会采取进一步的措施。如果满足了所有的条件，则TSM会设置COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_TX_ABORT]并向GENERIC_FSK链路层硬件发出pll_unlock信号。GENERIC_FSK通过发出GENERIC_FSK地址空间中的IRQ_CTRL[PLL_UNLOCK_IRQ]位来响应该信号。GENERIC_FSK会进入IN_WD状态，向TSM取消generic_fsk_tx_en信号。它将启动TSM TX的逐步停止 (warm-down)。GENERIC_FSK会保持IN_WD状态，以等待TSM返回空闲状态。

一旦出现这种情况，GENERIC_FSK会发出IRQ_CTRL[SEQ_END_IRQ]信号，并返回其IDLE状态。当前设置了三个状态位，以向软件表明中止源是一个RF_NOT_ALLOWED的信号：

- IRQ_CTRL[PLL_UNLOCK_IRQ]
- COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_ASSERTED]
- COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_TX_ABORT]

此事件的顺序会造成GENERIC_FSK RX序列的硬件中止，由RF_NOT_ALLOWED信号触发，如图10所示。

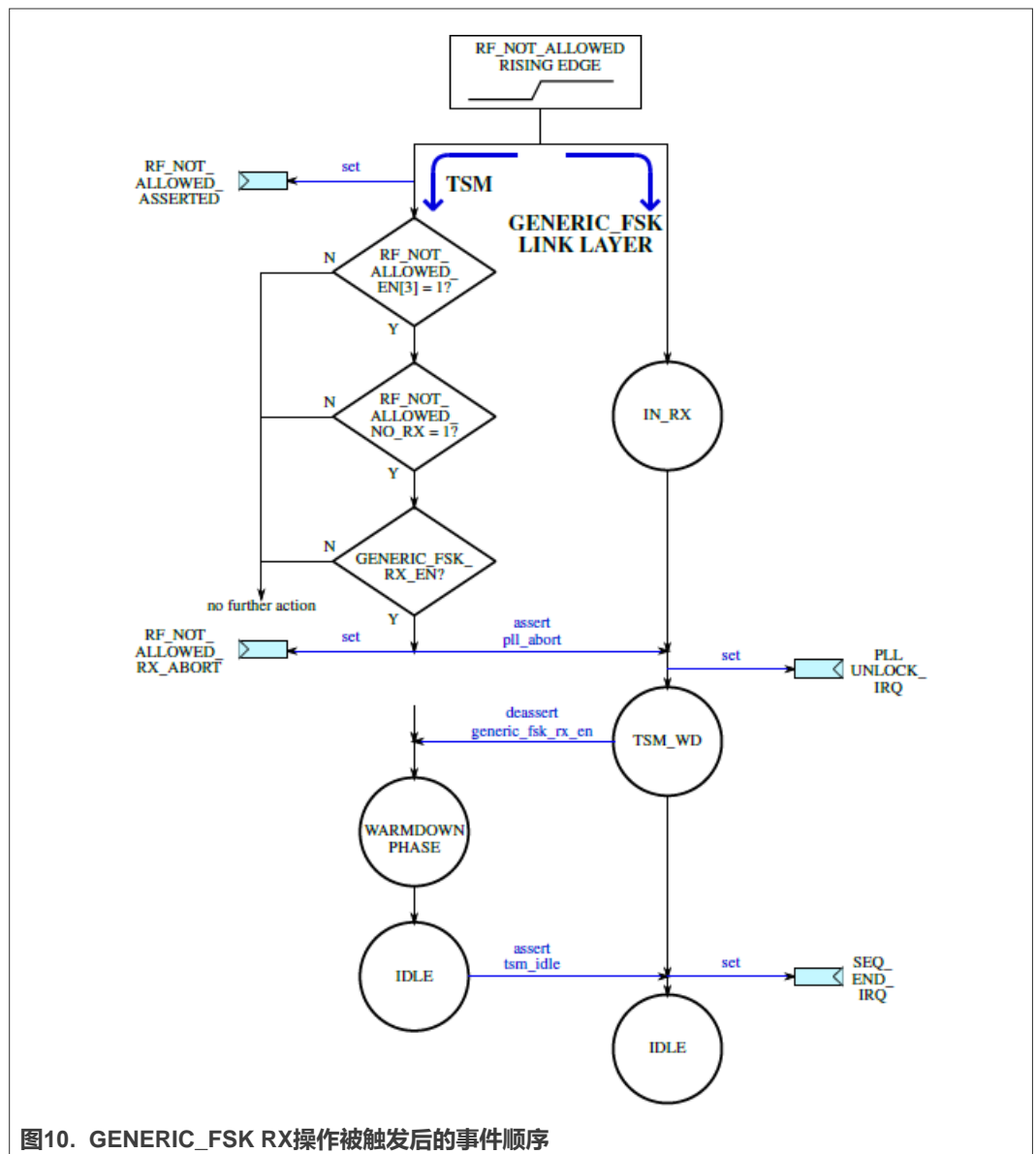


图10. GENERIC_FSK RX操作被触发后的事件顺序

RF_NOT_ALLOWED信号发出后，TSM会在COEX_CTRL寄存器中设置RF_NOT_ALLOWED_ASSERTED的状态位，并检查硬件中止的所有条件是否都满足：

- RF_NOT_ALLOWED_EN[3] = 1，使GENERIC_FSK能够响应RF_NOT_ALLOWED事件。
- RF_NOT_ALLOWED_NO_RX = 1，使RX操作能够被中止。

- `generic_fsk_rx_en = 1`, GENERIC_FSK向TSM发送RX请求, 指示RX操作正在进行中。

如果不是所有的条件都满足, 则不会采取进一步的措施。如果满足了所有的条件, 则TSM会设置`COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_RX_ABORT]`, 并向GENERIC_FSK链路层硬件发出`pll_unlock`信号。GENERIC_FSK通过改变GENERIC_FSK地址空间中的`IRQ_CTRL[PLL_UNLOCK_IRQ]`来响应该信号。GENERIC_FSK进入`IN_WD`状态, 向TSM取消`generic_fsk_rx_en`信号。它将启动TSM TX的逐步停止 (warm-down)。GENERIC_FSK会保持`IN_WD`状态, 以等待TSM返回空闲状态。

一旦出现这种情况, GENERIC_FSK会改变`IRQ_CTRL[SEQ_END_IRQ]`, 并返回其IDLE状态。当前设置了三个状态位, 以向软件表明中止源是`RF_NOT_ALLOWED`信号:

- `IRQSTS1[PLL_UNLOCK_IRQ]`
- `COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_ASSERTED]`
- `COEX_CTRL[RF_NOT_ALLOWED_RX_ABORT]`

如需了解更多详情, 请参阅《KW45B41Z参考手册》(文档KW45B41ZRM) 中的第56.3.7.1.4.14节“Wi-Fi共存”。

3.5.1 RF_NOT_ALLOWED的行为控制

Wi-Fi IC会生成一个`RF_NOT_ALLOWED`信号。如果该信号被发出, 则2.4 GHz射频不会进行任何通信。当该信号被取消时, 2.4 GHz射频可以自由地进行通信。当`RF_NOT_ALLOWED`信号被发出, 且2.4 GHz射频已经启动数据包的发送/接收时, 2.4 GHz射频必须立即停止其活动。

注意: 射频支持`RF_NOT_ALLOWED`信号的软件覆盖。射频可用于调试。它还能启用在软件控制下中止射频活动的功能 (基于多射频系统之间的应用层仲裁)。

从Gen 4.5代射频开始, `RF_NOT_ALLOWED`不再由TSM鉴定。链路层可直接使用`RF_NOT_ALLOWED`信号。可根据需要采取适当的措施来取消其`tx_en`或`rx_en`信号。

表5介绍了RFMC和RADIO_MISC中的寄存器位, 它们用于启用、控制和提供`RF_NOT_ALLOWED`的状态。

表5. RF_NOT_ALLOWED的行为控制

字段	类型	说明
<code>RFNA_IBE[2:0]</code>	RW	RFMC位段, 选择把哪一个SOC引脚 (从多个中) 用于 <code>RF_NOT_ALLOWED</code> 信号
<code>RF_NOT_ALLOWED_EN[3:0]</code>	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段, 选择哪些链路层接收 <code>RF_NOT_ALLOWED</code> 信号
<code>RF_NOT_ALLOWED_ASSERTED</code>	W1C	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段, 在 <code>RF_NOT_ALLOWED</code> 发出时置位, 且只能由软件清零
<code>RF_NOT_ALLOWED</code>	R	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段, 反映了所选的 <code>RF_NOT_ALLOWED</code> SOC引脚的原始状态
<code>RF_NOT_ALLOWED_OVRD_EN</code>	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段。如果该字段被置位, 则允许软件控制 <code>RF_NOT_ALLOWED_OVRD</code> 位段
<code>RF_NOT_ALLOWED_OVRD</code>	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段。如果设置了 <code>RF_NOT_ALLOWED_OVRD_EN</code> , 则发送到链路层的 <code>RF_NOT_ALLOWED</code> 信号将由 <code>RF_NOT_ALLOWED_OVRD</code> 位段的值驱动

表5. RF_NOT_ALLOWED行为控制 (续)

字段	类型	说明
RF_NOT_ALLOWED_INV	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段。如果该位段被置位, 则所选的RF_NOT_ALLOWED引脚在用作RF_NOT_ALLOWED信号发送给链路层之前会被反转。

3.5.1.1 RF_ACTIVE的行为控制

NB射频提供RF_ACTIVE (REQUEST) 输出, 用来请求达成共存。TSM (链路层之一) 或RFMC可以生成此信号。

表6介绍了TSM、RFMC和RADIO_MISC中的寄存器位, 这些位用于启用、控制和提供RF_ACTIVE的状态。如需了解有关REQUEST输出的信息, 请参阅链路层章节。

表6. RF_ACTIVE的行为控制

字段	类型	说明
RF_ACTIVE_RX_HI[7:0]	RW	TSM位段, 控制TSM RF_ACTIVE在RX序列中何时发出
RF_ACTIVE_RX_LO[7:0]	RW	TSM位段, 控制TSM RF_ACTIVE在RX序列中何时取消
RF_ACTIVE_TX_HI[7:0]	RW	TSM位段, 控制TSM RF_ACTIVE在TX序列中何时发出
RF_ACTIVE_TX_LO[7:0]	RW	TSM位段, 控制TSM RF_ACTIVE在TX序列中何时取消
TSM_RF_ACTIVE_OVRD_EN	RW	TSM位段, 为TSM RF_ACTIVE的输出提供覆盖使能
TSM_RF_ACTIVE_OVRD	RW	TSM位段, 为TSM RF_ACTIVE的输出提供覆盖值
TSM_SPARE1_EXTEND[7:0]	RW	TSM位段, 可控制RX或TX序列结束后, TSM RF_ACTIVE保持发出的时长。该位段意在消除在连续RX/TX操作之间可能出现的任何间隔。
COEX_SEL	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段, 可选择TSM的输出 (RF_ACTIVE, RF_STATUS, RF_PRIORITY) 或活动链路层的输出是否输入到RFMC。
RFACT_SRC[1:0]	RW	RFMC位段, 选择RF_ACTIVE的射频输出是否由RFMC驱动 (2'b00)。TSM/LL的输出来自COEX_SEL的复用 (2'b01), 或低功耗蓝牙bt_clk_req信号 (2'b10)
RFACT_WKUP_DLY[5:0]	RW	RFMC位段。如果RFACT_SRC = 2'b00, 则该位段将在XO使能后配置32kHz基准时钟的数量, 在RF_ACTIVE引脚上发出信号以产生MANWOR/低功耗蓝牙唤醒事件。
RFACT_IDIS	RW	RFMC位段。如果RFACT_SRC = 2'b00, 则该位段选择当TSM变为空闲时, RF_ACTIVE的射频输出是否取消。
RFACT_EN	RW	RFMC位段。如果RFACT_SRC = 2'b00, 则当该位被置位时, RF_ACTIVE的射频输出会被发出。
RFACT_FLAG	W1C	RFMC位段。当RF_ACTIVE的射频输出被发出时, 该位会被置位。
RFACT_IE	RW	RFMC位段。如果该位被置位, 当RF_ACTIVE的射频输出被发出时, RFMC会向CM33生成一个中断。

3.5.1.2 RF_STATUS的行为控制

NB射频会提供RF_STATUS (DIRECTION) 输出，指示射频何时处于RX或TX事件。TSM或活动的链路层可生成该信号。

[表7](#)介绍了TSM和RADIO_MISC中的寄存器位，这些位用于启用和控制RF_STATUS。如需了解有关链路层的DIRECTION（方向）输出的信息，请参阅链路层章节。

表7. RF_STATUS的行为控制

字段	类型	说明
RF_STATUS_RX_HI[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_STATUS在RX序列中何时发出
RF_STATUS_RX_LO[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_STATUS在RX序列中何时取消
RF_STATUS_TX_HI[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_STATUS在TX序列中何时发出
RF_STATUS_TX_LO[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_STATUS在TX序列中何时取消
TSM_RF_STATUS_OVRD_EN	RW	TSM位段，为TSM的RF_STATUS输出提供覆盖使能
TSM_RF_STATUS_OVRD	RW	TSM位段，为TSM的RF_STATUS输出提供覆盖值
COEX_SEL	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段，选择TSM的输出 (RF_ACTIVE, RF_STATUS, RF_PRIORITY) 或活动链路层的输出是否输入到RFMC。

3.5.1.3 RF_PRIORITY的行为控制

NB射频会提供RF_PRIORITY[1:0]输出，指示射频接入的优先级。TSM或活动的链路层可生成该信号。

注意：如果选择TSM，则RF_PRIORITY[1]始终为0。

[表8](#)介绍了TSM和RADIO_MISC中的寄存器位，这些位可启用和控制RF_PRIORITY。如需了解有关PRIORITY（优先级）输出的信息，请参阅链路层章节。

表8. RF_PRIORITY的行为控制

字段	类型	说明
RF_PRIORITY_RX_HI[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_PRIORITY在RX序列中何时发出
RF_PRIORITY_RX_LO[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_PRIORITY在RX序列中何时取消
RF_PRIORITY_TX_HI[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_PRIORITY在TX序列中何时发出
RF_PRIORITY_TX_LO[7:0]	RW	TSM位段，控制TSM的RF_PRIORITY在TX序列中何时取消
TSM_RF_STATUS_OVRD_EN	RW	TSM位段，为TSM的RF_PRIORITY输出提供覆盖使能
TSM_RF_STATUS_OVRD	RW	TSM位段，为TSM的RF_PRIORITY输出提供覆盖值

表8. RF_PRIORITY行为控制 (续)

字段	类型	说明
COEX_SEL	RW	RADIO_MISC (COEX_CTRL寄存器) 位段, 可选择TSM的输出 (RF_ACTIVE, RF_STATUS, RF_PRIORITY) 或活动链路层的输出是否输入到RFMC。

3.6 射频共存/FEM/LANT的连接

射频单元提供了灵活的多路复用配置, 对应于四个共存输出、四个FEM控制输出和四个本地输出。图11所示为详细的连接方式。

注意: 对于带NBU的低功耗蓝牙用例: 一旦被发出, bt_grant_n输入必须保持发出状态, 直到bt_request被取消10 μs后。

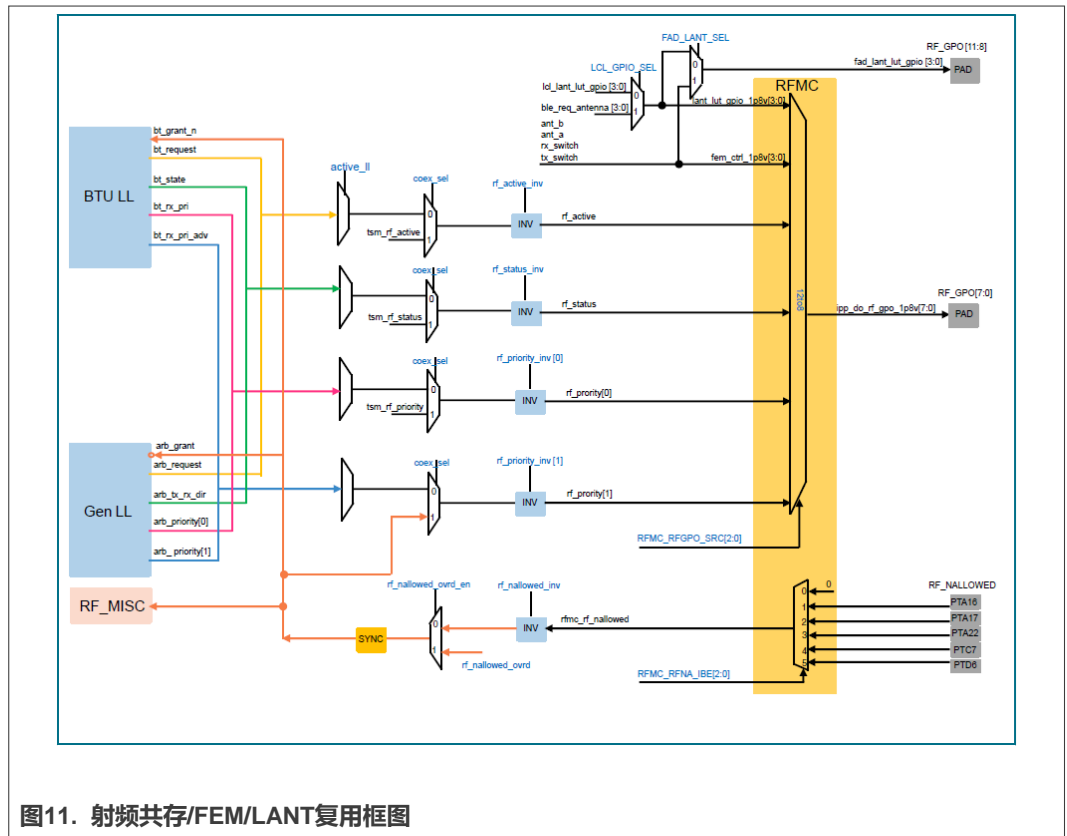


图11. 射频共存/FEM/LANT复用框图

如需了解更多详情, 请参阅《KW45B41Z参考手册》(文档KW45B41ZRM) 中的第56.3.4.7节“射频共存/FEM/LANT的连接”。

3.7 TSM RF_ACTIVE的扩展

TSM RF_ACTIVE可用作射频的RF_ACTIVE共存输出信号。因此, 这个信号必须在射频事件发生前的一段可编程的时间内被发出为高电平, 并保持高电平状态直到射频事件完成或中止。在连续的射频事件之间(例如, RX -> TX或TX -> RX)不得出现毛刺/意外的转换。这种情况对于低功耗蓝牙等协议来说可能是个问题, 例如, 低功耗蓝牙要求在接收后立即发送确认包, 或者在发送后立即接收确认包。低功耗蓝牙的广播和扫描状态提供的其他场景, 也需要紧密间隔(但不相邻)的发送(TX)和接收(RX)操作。

连续的RX和TX操作之间的帧间隔足够长，因此TSM的RF_ACTIVE在操作之间会取消并重新发出。但我们不要产生不需要的转换。

为了应对这种情况，TSM增加了一项功能。它允许在名义上的TSM序列完成后，将TSM的RF_ACTIVE输出可选择性地延长一段可编程的时间。每当寄存器TSM_SPARE1_EXTEND > 0，在TSM的RF_ACTIVE被编程为发出的情况下，就会在所有序列（TX和RX）上产生TSM的RF_ACTIVE扩展。

图12所示为扩展TSM的RF_ACTIVE的硬件机制。

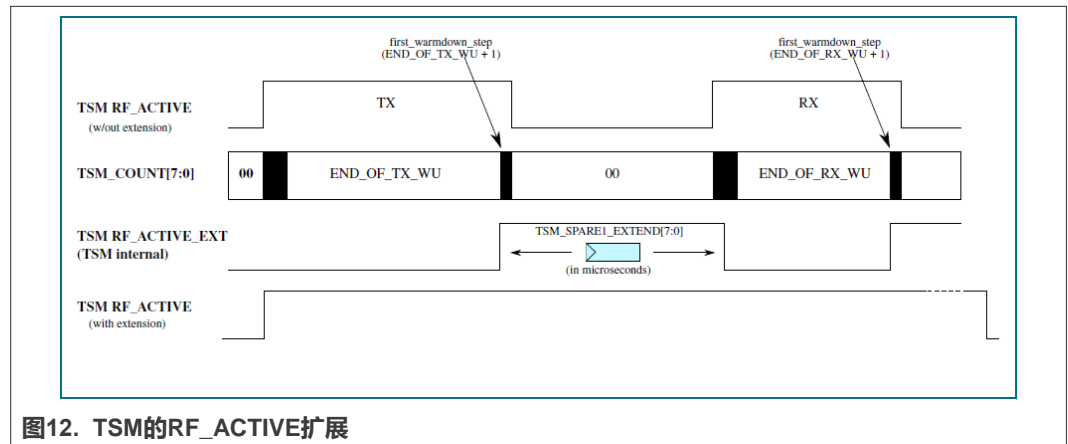


图12. TSM的RF_ACTIVE扩展

扩展功能的触发是TSM（时间序列模型）的第一个逐步停止（warm-down）步骤（END_OF_XX_WU + 1）。每当链路层取消其TX/RX命令时，就会到这个步骤。如果启用了扩展功能，扩展信号将被发出（高电平），并在TSM_SPARE1_EXTEND微秒内保持高电平。扩展信号（TSM RF_ACTIVE_EXT）与现有的TSM控制输出信号TSM RF_ACTIVE进行逻辑或（OR）运算，以生成扩展的复合RF_ACTIVE信号。软件可以通过写入TSM_SPARE1_EXTEND=0，随时缩短扩展时间。将此寄存器设置为0，会禁止在任何新的TSM序列中激活扩展功能。TSM_SPARE1_EXTEND[7:0]寄存器决定了从0到255微秒的扩展时间范围。

如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）中的第56.3.5.6.2.10节“TSM RF_Active的扩展”。

3.8 射频的共存

2.4GHz射频单元实现了用外部IO信号支持与同频段运行的外部射频器件的共存。RFMC提供了多路复用控制（通过RFMC的RF_GPO[7:0]输出），可用于2.4GHz射频的共存输出{RF_ACTIVE、RF_STATUS和RF_PRIORITY[1:0]}。另外，它还能够控制RF_ACTIVE信号和RF_NOT_ALLOWED的共存输入。接下来的几段将介绍RFMC对RF_NOT_ALLOWED和RF_ACTIVE信号的控制。

如需了解关于共存的更多信息，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）中的“共存接口”和“共存/FEM/LANT连接”章节。

对于RF_NOT_ALLOWED，RFMC提供了可编程控制（RF*_COEXT[RFNA_IE]位段），以便这个共存信号可以从五个器件引脚中选择任意一个作为输入源，或者禁用此信号。

表9. Wi-Fi共存的信号

Wi-Fi共存的功信号	引脚方向	引脚说明
RF_ACTIVE(REQUEST)	输出	输出信号，可在任何射频事件发生之前发出，并在事件发生期间保持发出。
RF_STATUS (DIRECTION)	输出	输出信号，指示射频单元何时处于RX或TX事件，也可以直接由软件控制。
RF_PRIORITY	输出	输出信号，向外部Wi-Fi器件表明，射频事件拥有高优先级，需要接入2.4 GHz天线。
RF_NOT_ALLOWED (!GRANT)	输入	外部信号，会导致内部射频单元停止活动。
RF_TX_CONF	输入	来自外部射频单元的信号，指示2.4 GHz天线对内部射频单元的可用性。 注意： 此信号未连接到射频硬件。射频软件可使用任何具有中断功能的由应用程序分配的GPIO来实现此功能。

对于RF_ACTIVE信号，RFMC提供了可编程的控制（RF*_COEXT[RFACT_SRC]位段）来选择此共存输出信号是由RFMC、低功耗蓝牙的bt_clk_req信号，还是由TSM的RF_ACTIVE信号以及活动链路层的REQUEST信号的多路复用器来提供。如果RF_ACTIVE信号是由RFMC（RF*_COEXT[RFACT_SRC] = 00）提供的，则该信号依赖于RFMC的低功耗控制器（必须启用其中的一个）。在这种配置下，RF_ACTIVE信号的行为如下：

- 如果RF*_COEXT[RFACT_IDIS] = 0
 - 启动射频晶振（XO）后，在RFMC低功耗控制器的唤醒序列的RF*_COEXT[RFACT_WKUP_DLY]个32 kHz时钟周期期间，发出此信号。
 - 当RFMC低功耗控制器请求射频单元进入低功耗模式时，取消此信号。
 - 软件可通过设置RF*_COEXT[RFACT_EN]位段，使RF_ACTIVE信号在低功耗模式下发出。
- 如果RF*_COEXT[RFACT_IDIS] = 1
 - 当TSM忙碌时，发出此信号。
 - 当TSM空闲时，取消此信号。

QUIET_REQ的输出与RF_ACTIVE信号相关。当射频单元处于活动状态时，它们在SOC内部使用，可在需要时抑制SOC内核闪存和/或射频内核闪存的活动。这些输出的行为可通过RF*_COEXT寄存器的QREQ_SRC、QREQ_SOC_EN和QREQ_RF_EN位来进行配置。

如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）中的第56.2.5.3节“射频共存”。

3.8.1 射频模式控制器 (RFMC)

射频模式控制器 (RFMC) 负责对2.4 GHz射频域的功率模式进行顺序控制，并控制射频晶振 (XO)。具体来说，它支持以下功能：

- 支持深度睡眠和掉电模式。

- 进入/退出2.4 GHz射频功率域的低功耗模式。
- 支持从内部和外部时钟源启动射频晶振。
- **支持针对2.4 GHz频段的外部共存接口**
- 32 kHz定时器，可通过无线唤醒 (WOR) 或手动 (MAN) 计数器控制低功耗模式的进入/退出时间。
- 定时器偏移可确保在WOR/MAN退出事件发生前恢复射频晶振和射频功率。
- 支持射频晶振中断和低功耗射频唤醒事件中中断。

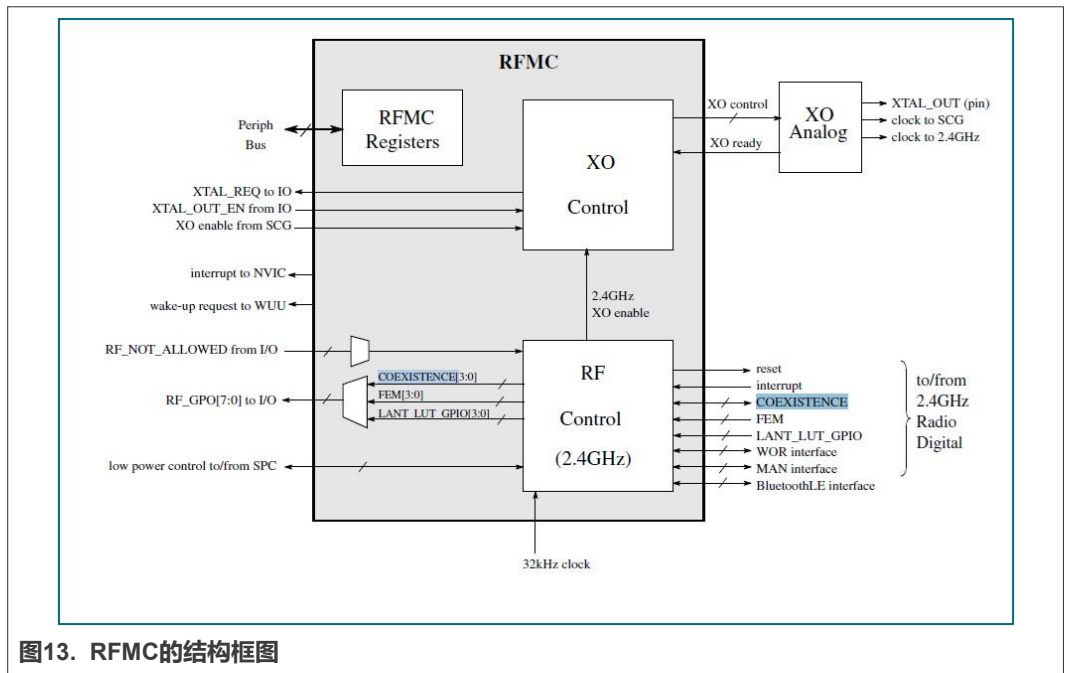


图13. RFMC的结构框图

如需了解更多详情，请参阅《KW45B41Z参考手册》（文档KW45B41ZRM）第56.2.1节“RFMC”。

4 附录

4.1 Wi-Fi的ARB模式

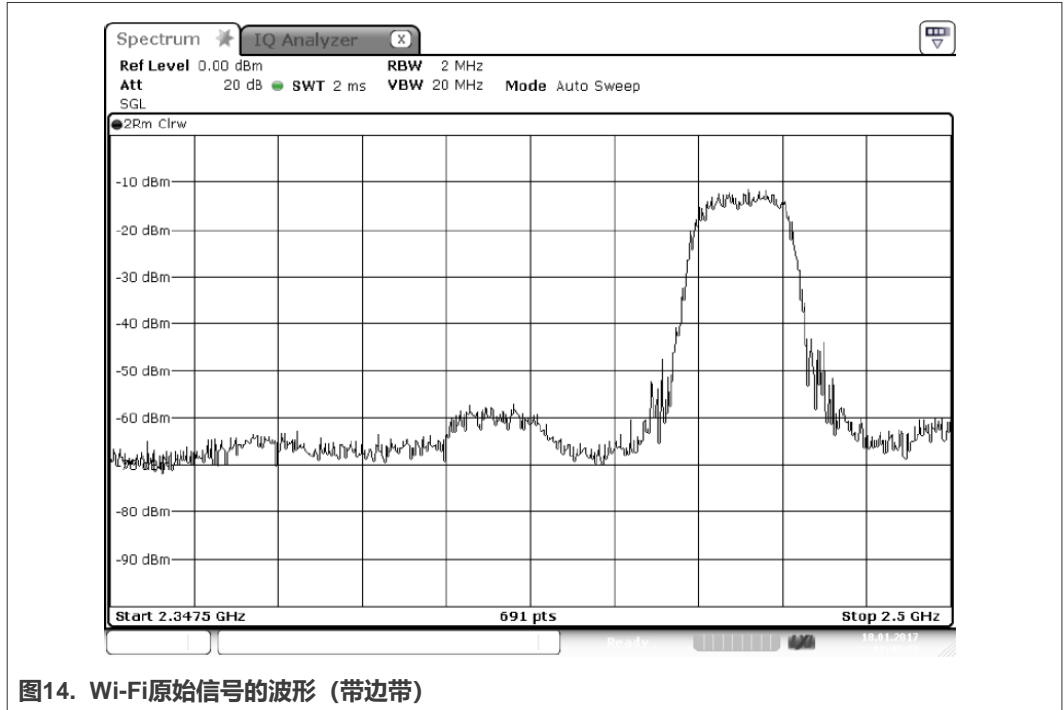


图14. Wi-Fi原始信号的波形（带边带）

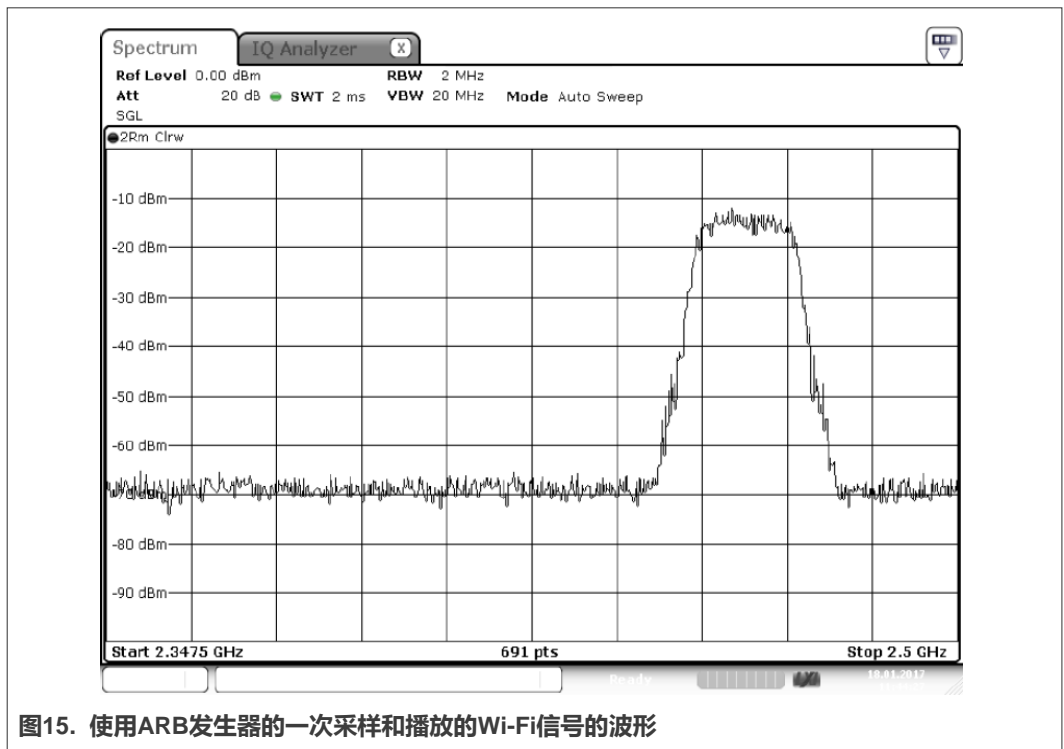


图15. 使用ARB发生器的一次采样和播放的Wi-Fi信号的波形

5 修订历史

版本号	日期	说明
第0版	2022年3月10日	初版发布

6 Legal information

6.1 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.

6.2 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 <http://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 data sheet 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.

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.

6.3 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.

目录

1	介绍	2
2	低功耗蓝牙对Wi-Fi信号的抗干扰能力	2
2.1	测试台	2
2.2	软件	3
2.3	Wi-Fi干扰源——ACI	3
2.3.1	ACI测试方法	3
2.3.2	ACI的结果	4
2.4	Wi-Fi干扰——同信道	4
2.4.1	同信道测试的方法	4
2.4.2	同信道测试的结果	5
3	共存策略	5
3.1	Wi-Fi共存接口	5
3.2	共存引脚的定义	6
3.3	共存信令的选项	8
3.4	共存引脚映射的示例	9
3.5	Wi-Fi共存	11
3.5.1	RF_NOT_ALLOWED的行为控制	15
3.5.1.1	RF_ACTIVE的行为控制	16
3.5.1.2	RF_STATUS的行为控制	17
3.5.1.3	RF_PRIORITY的行为控制	17
3.6	射频共存/FEM/LANT的连接	18
3.7	TSM RF_ACTIVE的扩展	18
3.8	射频的共存	19
3.8.1	射频模式控制器 (RFMC)	20
4	附录	21
4.1	Wi-Fi的ARB模式	22
5	修订历史	23
6	法律声明	24

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

© 2022 NXP B.V.

All rights reserved.

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

Date of release: 10 March 2022
Document identifier: AN13512