

STM32WB 系列微控制器起动流程

引言

STM32WB 系列微控制器是内嵌无线功能的超低功耗器件，符合 BLE SIG 规范 v5.0 和/或 IEEE 802.15.4-201 标准。这些协议用于射频（简称 RF）领域。

本文档的目的是为优化应用实现提供详细的指导方针。

应用优化分为以下几步：

- 开发板和环境设置
- 设备配置
- 供电
- HSE 微调
- 输出功率测试
- 灵敏度测试
- 包交换测试
- 广播模式中的功耗
- RF 测试认证
- 生产前的 RF 测试。

本应用说明使用 NUCLEO-WB55 板（即 MB1355C）作为配置的参考硬件平台。这些配置也适用于自定义实现的平台。

这篇应用笔记适用于 STM32WB 系列微控制器的所有无线功能。但这里是以 BLE 应用用作 STM32WB 系列微控制器专用应用程序的实现示例。不过，这里需要注意的是 IEEE 802.15.4-201 标准的实现，也使用相同的过程

1 概述

本文档适用于 STM32WB 系列基于双核 Arm® 的微控制器。

提示

Arm 是 Arm Limited（或其子公司）在美国和/或其他地区的注册商标。

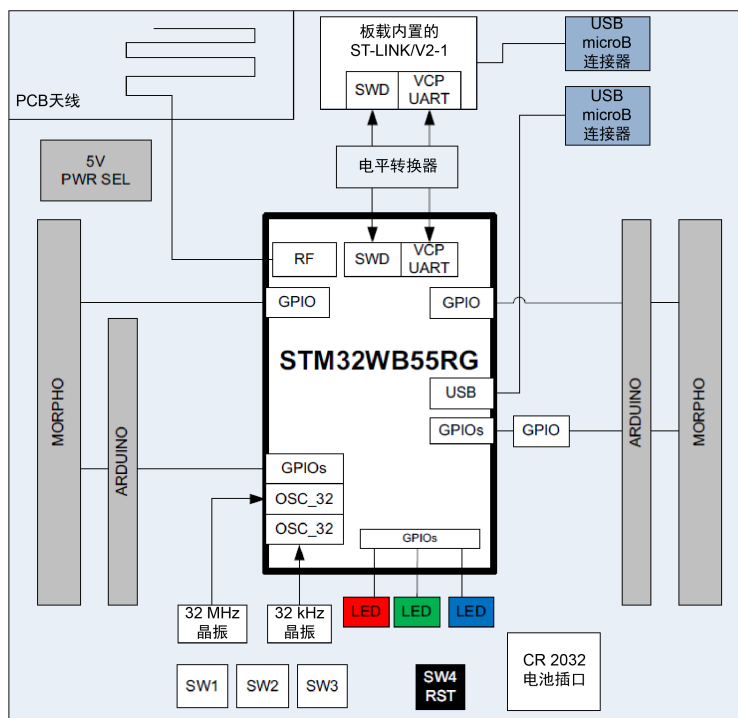


2 开发板设置

MB1355C NUCLEO-WB55 开发板，采用 68 引脚 VFQFPN68 封装的 STM32WB55RG 微控制器设计该开发板包含在配有一个 USB dongle 的 P-NUCLEO-WB55 包中。

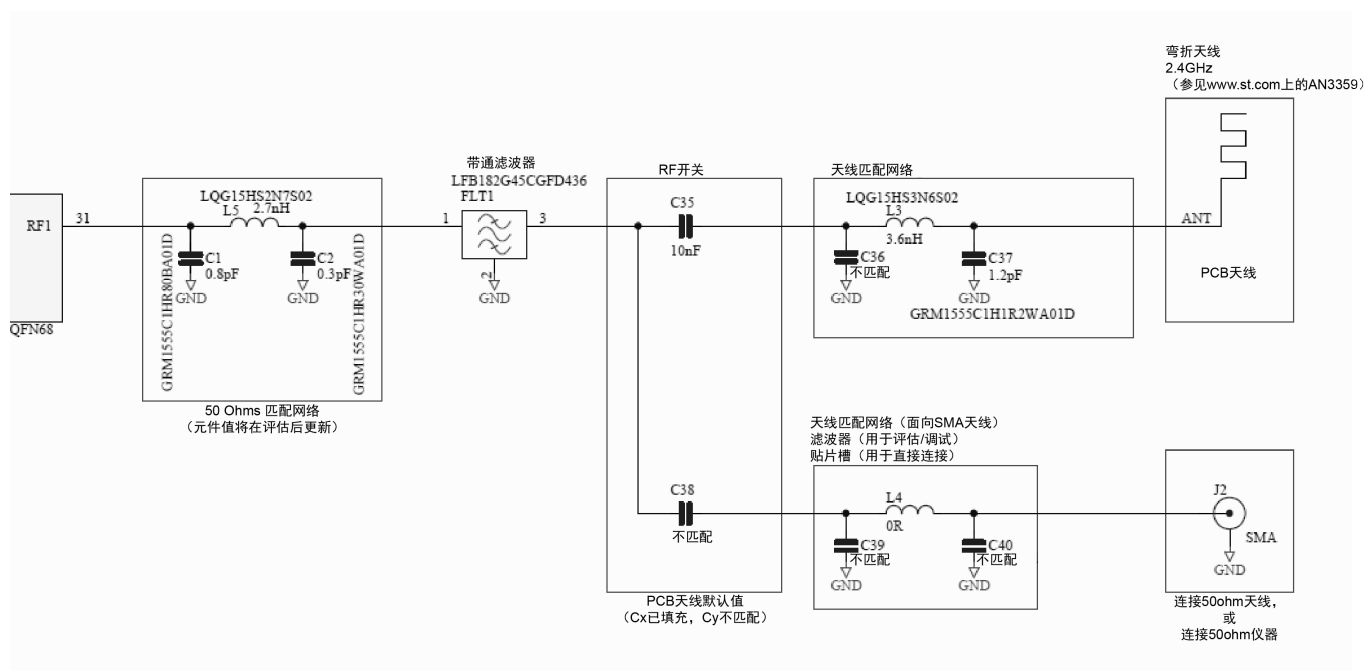
图 1 中的硬件框图说明了 MCU 与外设（ST-LINK/V2-1、按钮、LED、Arduino™ UNO V3 连接器和 ST-Morpho 连接器）之间的连接。

图 1. STM32WB55RG 接口框图



如需了解 MB1355C 板的硬件布局和配置详情，请参考“基于 STM32WB 系列微控制器的 BLE 和 802.15.4 Nucleo 包用户手册（UM2435）”。

默认情况下，MB1355C 板被配置为通过 PCB 天线路径输出射频信号。所以，安装了 C35，而没有安装 C38，如图 2 中所示。

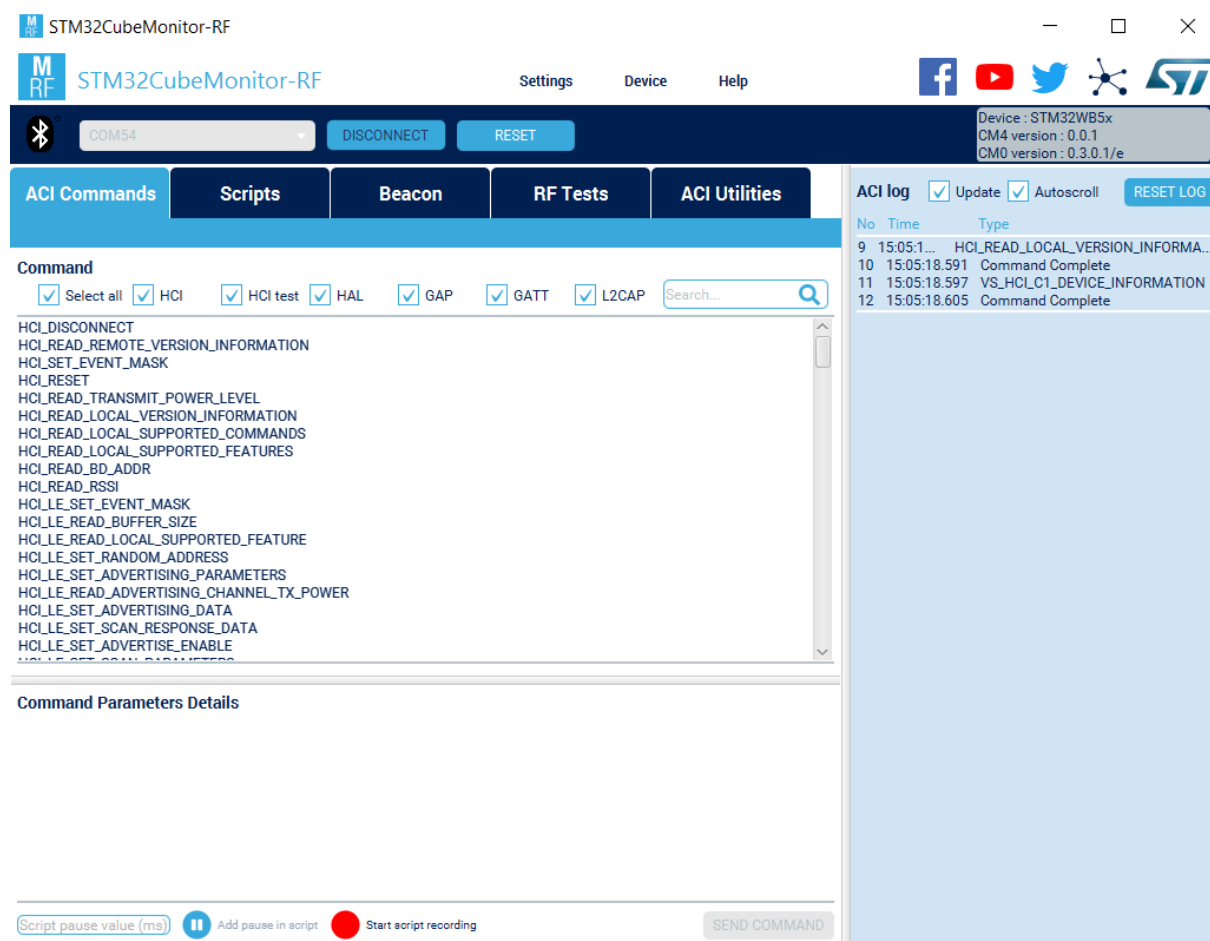
图 2. MB1355C 天线配置


为了进行一些测试，射频信号必须被引导通过 SMA 路径。在这种情况下，必须移除 C35 并安装 C38。此外，必须将 SMA 板边沿连接器焊接到 J2。

3 环境设置

STM32CubeMonitor-RF 是一个为 STM32WB 系列微控制器提供无线电性能测试环境的测试工具。它提供传输、接收测试和误包率（PER）测量 图 3 采用典型的屏幕表示。该软件包可在 www.st.com 上免费获得。

图 3. STM32CubeMonitor-RF 屏幕说明



如需该软件工具的完整描述，请参考“用于无线性能测量的 STM32CubeMonitor-RF 软件工具（UM2288）”。如要使用 STM32CubeMonitor-RF，需要烧录透传模式的软件到 STM32WB 的 M4 核。

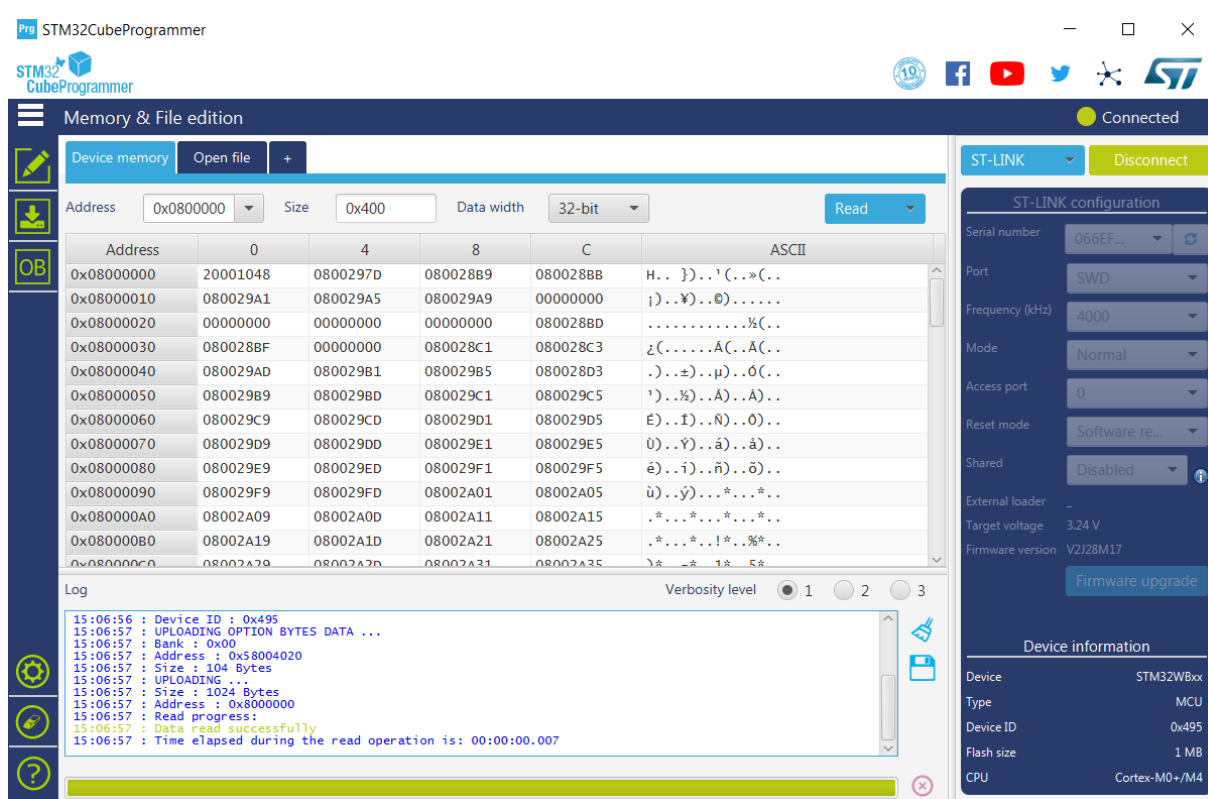
4 设备配置

STM32CubeProg 是用于对 STM32 产品进行烧录的工具，并通过以下两种方式，为烧录和验证设备存储器，提供了一个用户友好的环境：

- 调试接口（JTAG 和 SWD） – 参考（例如）面向 STM32WB55 器件的“基于多协议无线 32 位 MCU Arm®A 的 Cortex®-M4+FPU、BLE 和 802.15.4 无线电解决方案”参考手册（RM0434）”。
- 自举程序接口（UART、USB DFU、I2C、SPI 和 CAN） – 参照（例如）面向 STM32WB55 器件的“基于多协议无线 32 位 MCU Arm®A 的 Cortex®-M4+FPU、BLE 和 802.15.4 无线电解决方案”参考手册（RM0434）”。

STM32CubeProg 接口在图 4 中有说明。该软件可免费从 www.st.com 获得。

图 4. STM32CubeProg 接口说明



如需关于该软件工具的完整描述，请参考“STM32CubeProgrammer 软件描述用户手册（UM2237）”。

对于 BLE，直接测试模式（DTM）用于通过应用命令接口（ACI）和主机命令接口（HCI）向 STM32WB 系列微控制器发送指令。

如要在 MB1355C 板上的 STM32WB 系列微控制器进行烧录，请遵循面向 STM32WB 系列的 STM32CubeWB 入门用户手册（UM2550）中描述的“如何刷写无线协处理器二进制文件”步骤。stm32wb5x_BLE_Stack_fw 固件必须烧录到 Arm® Cortex®-M0+协处理器中，而 STM32WB 系列微控制器示例 BLE_TransparentMode 必须在烧录到 Arm® Cortex®-M4 处理器中。参考“面向 STM32WB 系列的 STM32CubeWB 入门用户手册（UM2550）”获取固件位置。

5 供电

当 Arm® Cortex®-M0+ (stm32wb5x_BLE_Stack_fw) 和 Arm® Cortex®-M4 (BLE_TransparentMode) 加载固件后，为开发板供电，如第 4 节 中所述。

使用万用表测量以下点的电压（参考板件原理图了解详细信息）：

- VDD
- VDDA
- VBAT
- VDDSMPS（不适用于 STM32WBx0）
- VFBSMPS（不适用于 STM32WBx0）
- VDDRF
- VDDUSB（不适用于 STM32WBx0）。

在 MB1355C 上，由于嵌入式电平转换器，最大可用电压为 3.3V。默认情况下，VDD、VBAT、VDDUSB、VDDA 和 VDDSMPS 电源连接到名为 VDD_MCU 的全局电源，可以在 JP2 处检查电压电平。

通常，如果启用了 SMPS，则测量的引脚电压必须与以下值保持一致。

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
VDD	标准工作电压	-	1.71 ⁽¹⁾	3.6	V
VDDA	模拟电源电压	ADC 或 COMP 已使用	1.62 ⁽²⁾	3.6	
		使用的 VREFBUF	2.4		
		ADC、COMP、VREFBUF 未使用	0		
VBAT	备份工作电压	-	1.55	3.6	
VDDSMPS	SMPS 工作电压	-	1.71	3.6	
VFBSMPS	SMPS 反馈电压	-	1.4	3.6	
VDDRF	最小 RF 电压	-	1.71	3.6	
VDDUSB	USB 供电电压	使用的 USB	3.0	3.6	
		USB 未使用	0	3.6	

1. STM32WBx0 min = 2V

2. STM32WBx0 不涉及

如果 SMPS 被禁用，VFBSMPS 连接到 VDDSMPS。

如需详细了解如何在 STM32WB 系列微控制器上使用 SMPS，请参考在 STM32WB 系列微控制器上使用 SMPS 应用说明（AN5246）。

提示

在 STM32WB 系列微控制器数据表中，KPI BLE 测试用例功耗参照 VDD，而 RF 静态值参照 VDDRF + VDDSMPS。

6 HSE 微调

STM32WB 微控制器使用外部 32 Mhz 晶振，频率容差小于 20 ppm。该器件包含内部可调电容，可用于调整晶体频率，以补偿 PCB 寄生电容。

这是一个非常重要的步骤，因为射频的正确运行离不开精确的时钟。时钟频率偏差直接影响射频频率，从而导致射频性能下降，违反规定要求，或在最坏的情况下导致系统无法正常工作。

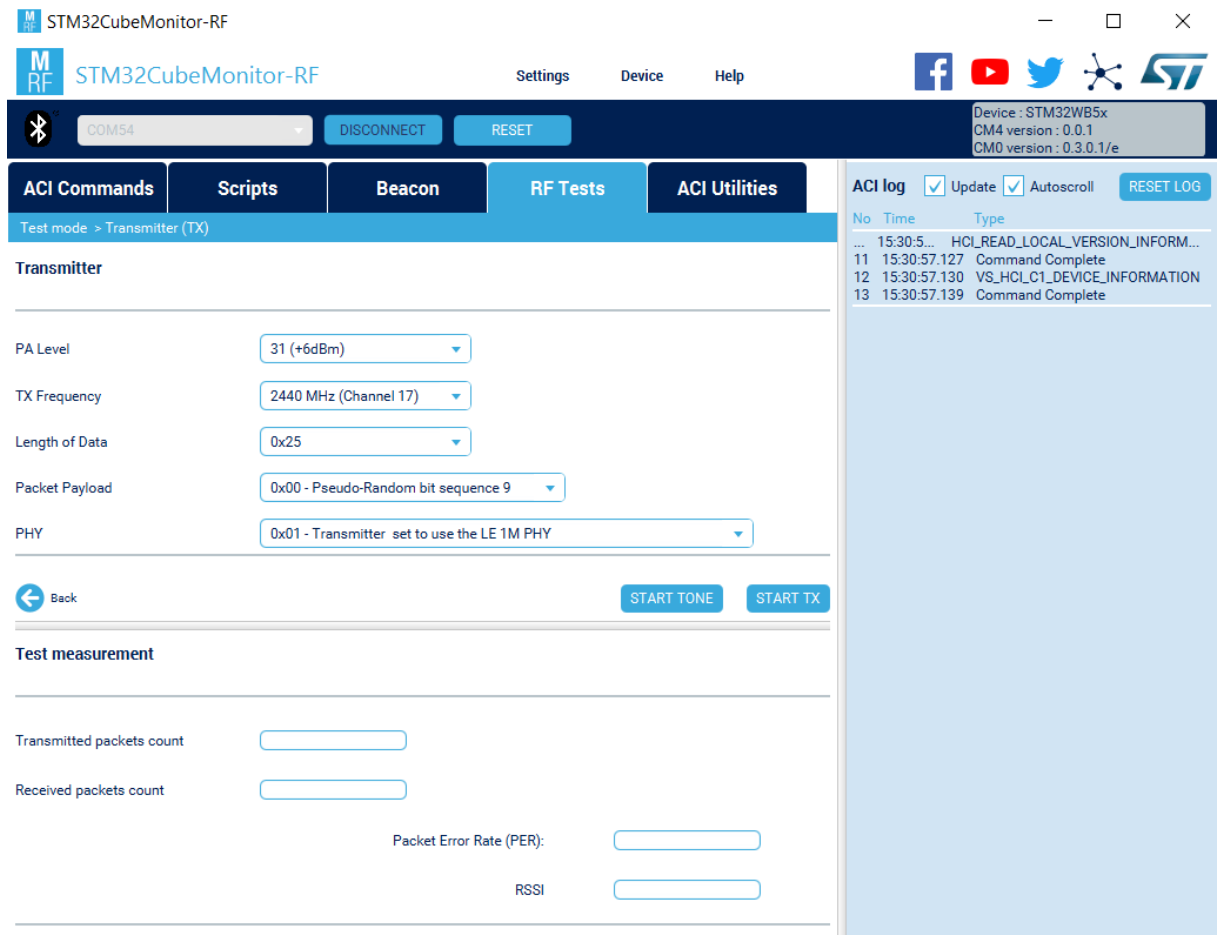
使用 STM32WB 系列对射频应用进行 HSE 微调应用说明（AN5042）描述了 MB1355C NUCLEO-WB55 板上的 HSE 微调流程。

X-CUBE-CLKTRIM 扩展软件演示了对 HSE 晶体振荡器进行微调的过程，目的是获得射频应用所需的高度精确的频率。

验证 HSE 晶体振荡器正确居中的一种简单方法是在设备上发射 CH17 (2440 MHz) 的载波，并使用频谱分析仪测量发射频率的精度。要做到这一点，请按照以下步骤操作：

1. 如果 J2 上有 SMA 连接器（在此情况下，移除 C35，安装 C38），使用射频电缆将 MB1355C 板连接到频谱分析仪，否则，将 2.4 GHz 天线插入仪器的输入端口。
2. 为 MB1355C 上电。
3. 设置频谱分析仪：SPAN = 500 kHz，RBW 和 VBW AUTO
4. 运用 STM32CubeMonitor-RF 连接到 STM32WB 系列微控制器并根据图 5 中显示的参数（采用 TONE 模式，忽略数据长度和数据包有效载荷）运行 START TONE（传输测试）：

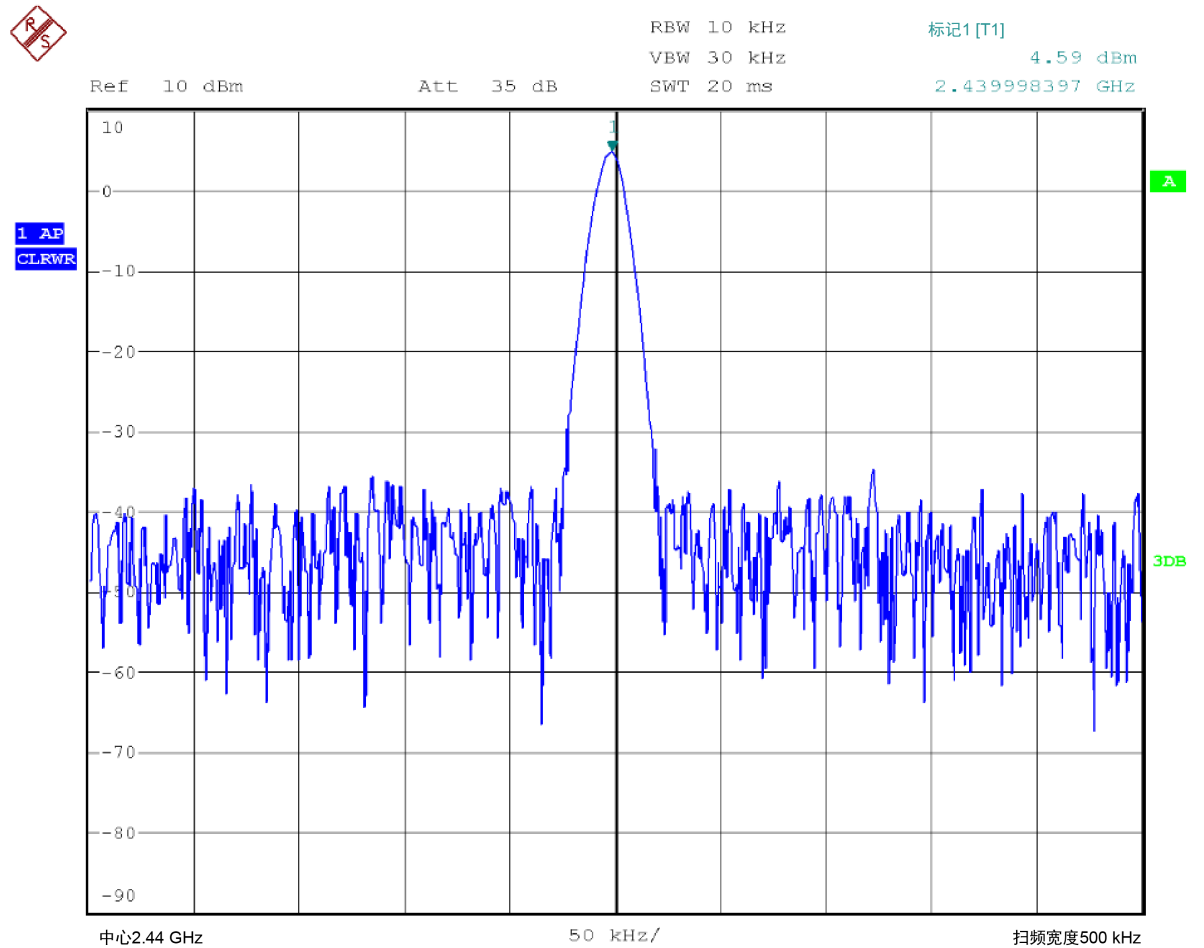
图 5. STM32CubeMonitor-RF 配置示例



5. 频率的精确度是由频谱分析仪上获得的发射信号决定的。

6. 在图 6 中，为通道 17 测量的发射频率为 2.439997596 GHz，在规范定义的限值范围内：
- 802.15.4: 2405 MHz $\pm$ 96.2 kHz; 2480 MHz $\pm$ 99.2 kHz
 - BLE: 所有通道的频率 $\pm$ 50 kHz

图 6. 频谱分析仪输出结果



7 输出功率测试

输出功率测试是验证传输链是否正常工作的主要测试。测试步骤如下：

1. 使用射频电缆通过 J2 上的 SMA 连接器将 MB1355C 板连接到频谱分析仪（在此情况下，没有安装 C35，而是焊接了 C38），否则，将 2.4 GHz 天线插入仪器的输入端口。
2. 为 MB1355C 上电。
3. 设置频谱分析仪：SPAN = 500 kHz，RBW 和 VBW AUTO
4. STM32WB55 系列微控制器启动之后，使用 STM32CubeMonitor-RF 并根据图 7 显示的参数（采用 TONE 模式，忽略数据长度和数据包有效载荷）运行 START TONE（传输测试）：

图 7. STM32CubeMonitor-RF START TONE 参数配置

STM32CubeMonitor-RF

Settings Device Help

COM54 DISCONNECT RESET

Device: STM32WB5x
CM4 version: 0.0.1
CM0 version: 0.3.0.1/e

ACI Commands Scripts Beacon RF Tests ACI Utilities

Test mode > Transmitter (TX)

Transmitter

PA Level: 25 (0dBm)

TX Frequency: 2440 MHz (Channel 17)

Length of Data: 0x25

Packet Payload: 0x00 - Pseudo-Random bit sequence 9

PHY: 0x01 - Transmitter set to use the LE 1M PHY

Back START TONE START TX

Test measurement

Transmitted packets count

Received packets count

Packet Error Rate (PER):

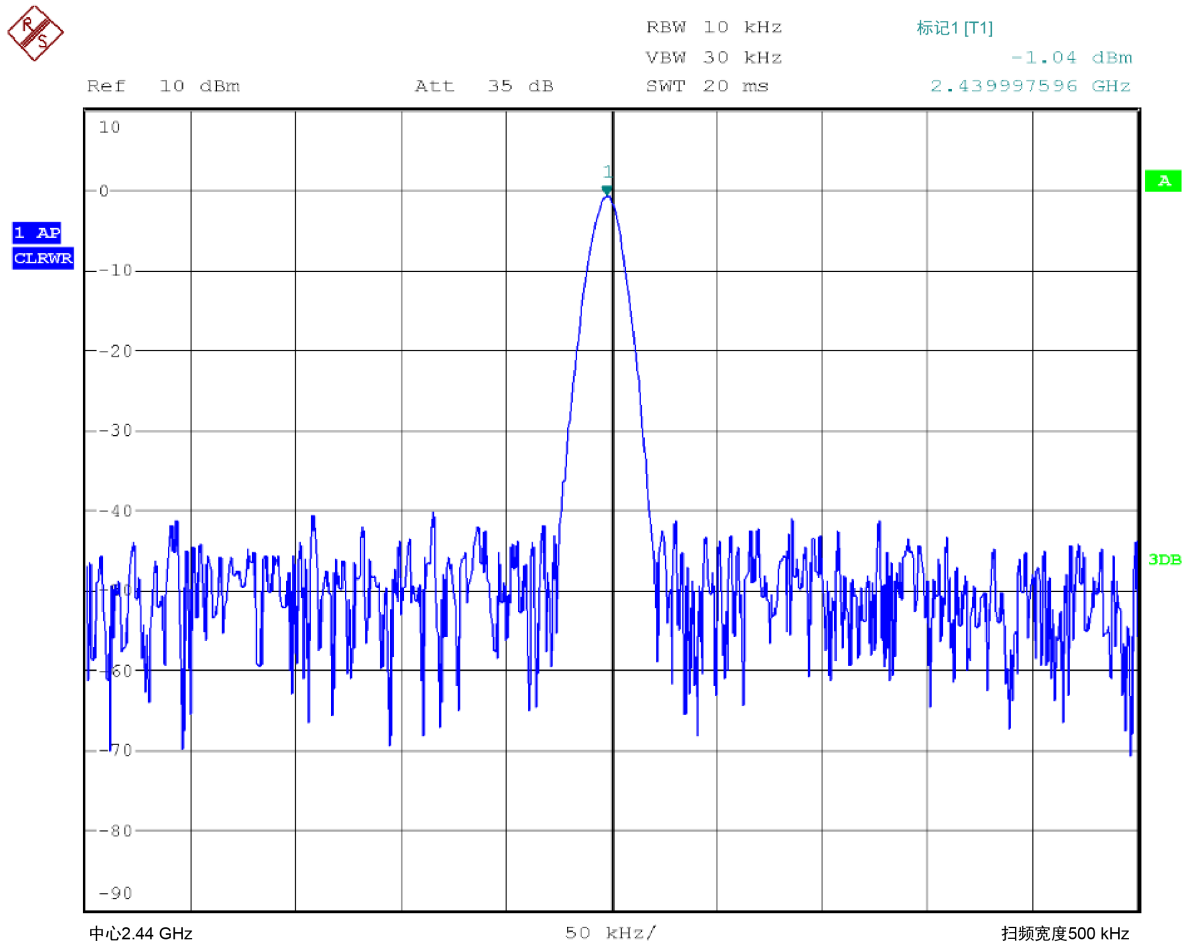
RSSI

ACI log

No	Time	Type
...	15:30:5...	HCL_READ_LOCAL_VERSION_INFORM...
11	15:30:57.127	Command Complete
12	15:30:57.130	VS_HCL_C1_DEVICE_INFORMATION
13	15:30:57.139	Command Complete

5. 利用标记菜单的峰值搜索功能，检查当芯片的输出端编程为 0 dBm 时获得的输出功率。

图 8. 0 dB 输出时测得的输出功率



在图 8 中，RF 输出功率的测量方法：将 STM32WB 系列微控制器的输出设置为 0dBm，减去开发板（包含元件、线路和任意测量电缆）的损耗。

8 灵敏度测试

灵敏度测试通过以下流程验证接收链的质量：

1. 通过射频电缆（无重大损耗）将 MB1355C 板的 SMA 连接器 J2（没有安装 C35，焊接了 C38）连接到信号发生器。确保信号发生器按照规范中定义的方式发送数据包。
2. 为 MB1355C 上电。
3. STM32WB 系列微控制器启动之后，使用 STM32CubeMonitor-RF 和图 9 中显示的参数进行 START RX 测试（接收测试）。

图 9. STM32CubeMonitor-RF 接收测试配置

STM32CubeMonitor-RF

Settings Device Help

COM50 DISCONNECT RESET

Device : STM32WB5x
CM4 version : 0.0.1
CM0 version : 0.3.0.1/e

ACI Commands Scripts Beacon RF Tests ACI Utilities

Test mode > Receiver (RX)

Receiver

RX Frequency 2440 MHz (Channel 17)

PHY 0x01 - Receiver set to use the LE 1M PHY

Index modulation 0x00 - Assume transmitter will have a standard modulation index

☐ Get RSSI

Back START RX

Test measurement at 2440 MHz (Channel 17)

Transmitted packets count 1500

Received packets count 1151

Packet Error Rate (PER): 23.27 %

RSSI

ACI log

No	Time	Type
59	09:59:32.416	HCL_READ_LOCAL_VERSION_INFORM...
60	09:59:32.425	VS_HCL_C1_DEVICE_INFORMATION
61	09:59:32.435	Command Complete
62	09:59:41.540	HCL_LE_ENHANCED_RECEIVER_TEST
63	09:59:41.544	Command Complete
64	09:59:42.271	HCL_LE_TEST_END
65	09:59:42.274	Command Complete

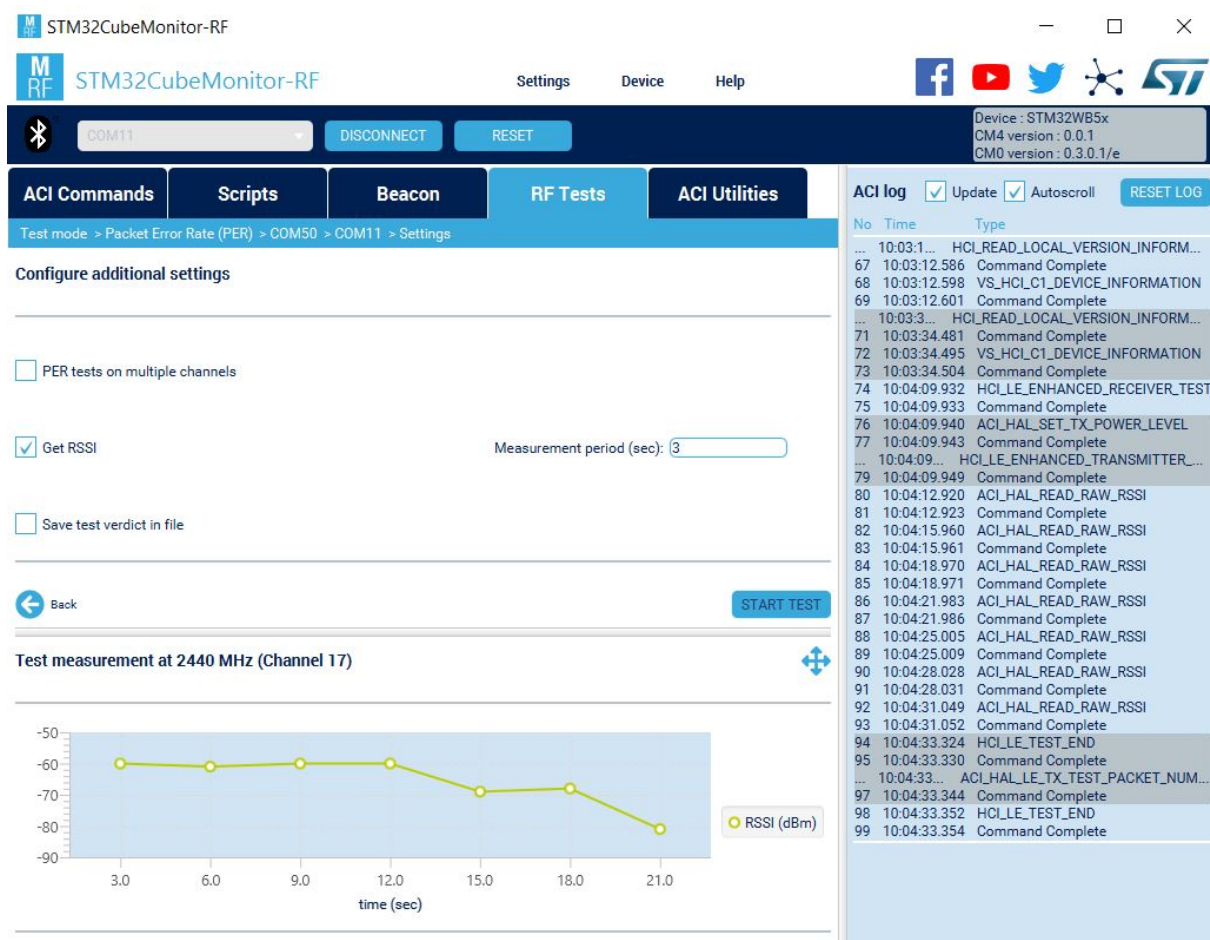
4. 信号发生器设置成与 STM32WB 系列微控制器相同的频率，降低信号发生器上发射功率直至误包率达到 30.8%。
则 PER = 30.8%时，信号发生器的发射功率即为当下 STM32WB 的灵敏度值。

9 包交换测试

跟前面使用传导模式的测试不同（它们也可以采用辐射测试），这个测试是采用 OTA 模式。它需要两块 MB1355C 开发板，一块处于发射模式，另一块处于接收模式。射频信号通过 PCB 天线在两块板之间交换。

1. 为两块 MB1355C 板上电。
2. STM32WB55 系列微控制器启动之后，使用 STM32CubeMonitor-RF 和图 10 中显示的参数进行误包率（PER）测试：

图 10. STM32CubeMonitor-RF 包交换率配置

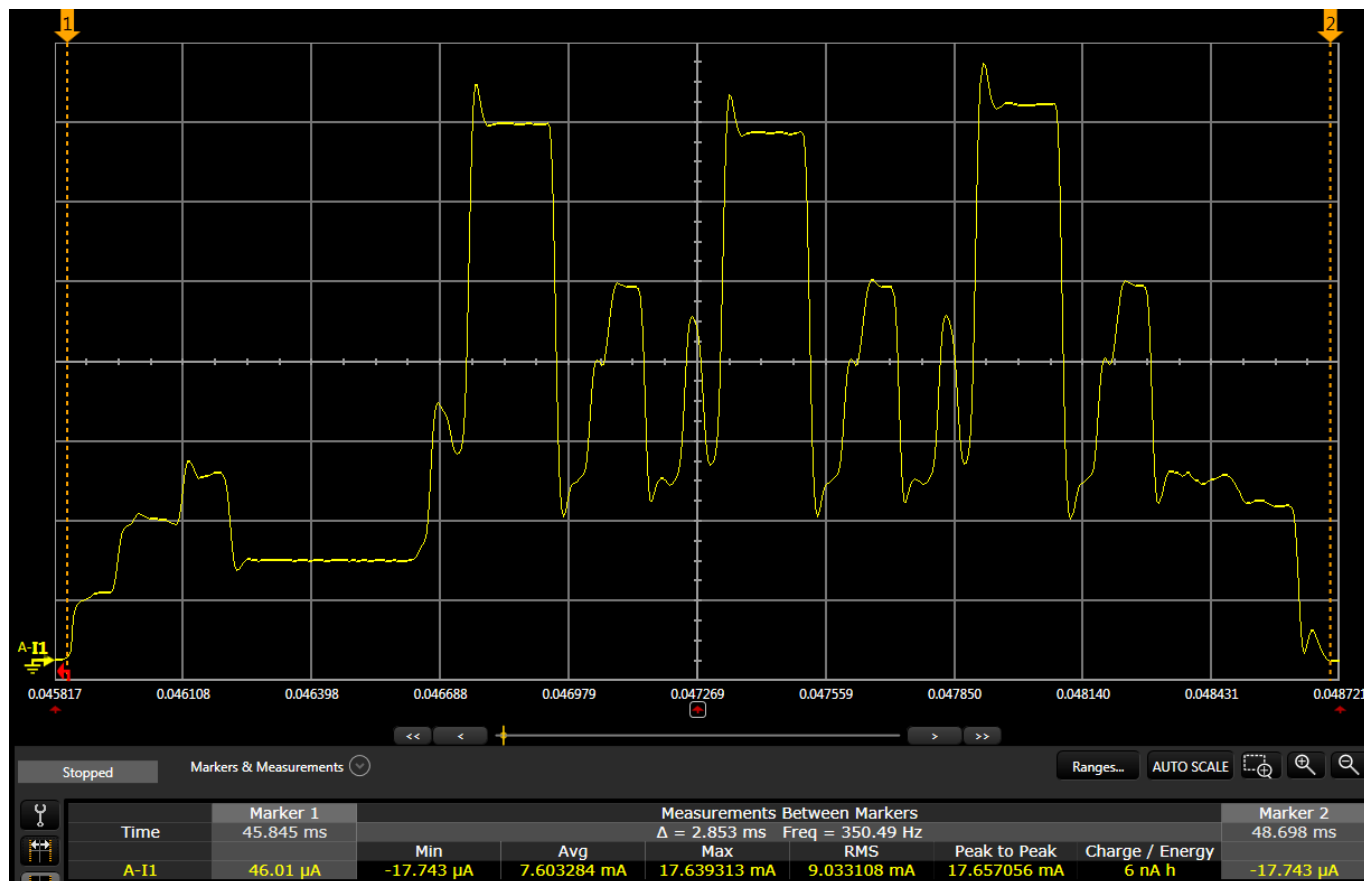


显示接收信号强度指示 (RSSI)。该参数指示接收的信号强度。

10 广播模式中的功耗

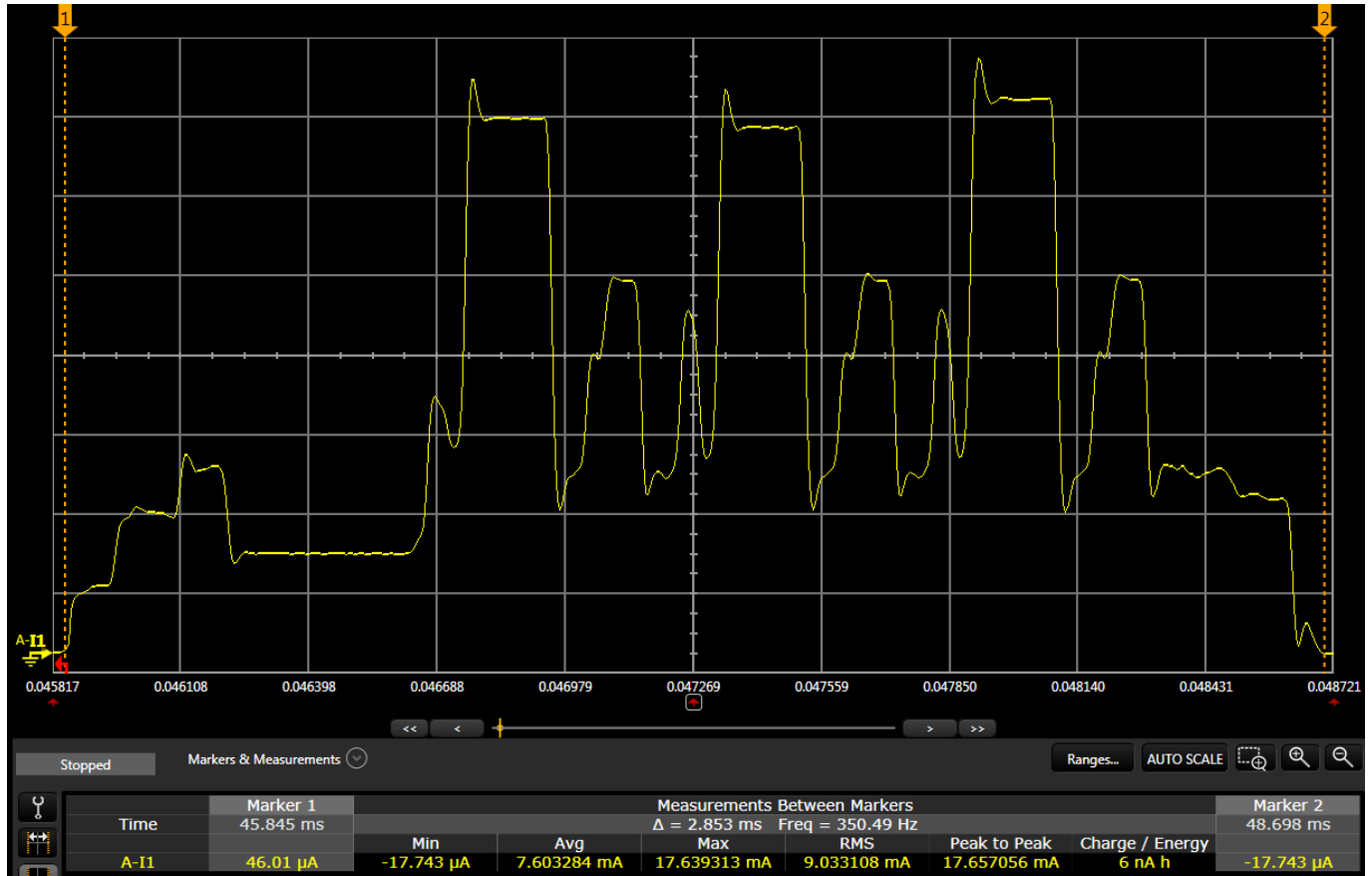
和之前的测试一样，广播模式的功耗与 OTA 模式下的功耗一样。该测试使用的 MB1355C 带有一个应用程序，该应用程序将器件置于广播模式（固件包中有示例）。运行透传模式和 HCI 命令启动。STM32CubeMonitor-RF 广播序列也可用。将一部功耗分析仪与 VDD（MB1355C 上的 J2）串联。一旦板件通电，广播期间的电流形状如下所示（参见图 11）。

图 11. 广播模式电流输出



如图 12 中所示，用 STM32CubeMonPwr 也可以获得这种测量结果。该软件可免费从 www.st.com 获得。

图 12. STM32CubeMonPwr 示例屏幕



11 RF 测试认证

STM32WB55 系列微控制器符合 BLE SIG 规范 v5.0 和 IEEE 802.15.4-201 标准。当在一个新的 RF 设计中使用 STM32WB55 系列微控制器时，仍然必须测试 RF-PHY 层。

对于 BLE SIG 规范 v5.0，要进行的射频测试是（详情请参见“RF-PHY.TS.5.0.2”文档）：

- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-01-C [输出功率，无固定频率扩展信号]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-03-C [带内杂散，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-05-C [调制特性，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-06-C [载波频率补偿及漂移，未编码数据包在 1 Ms/s，通过有效载荷的前导码]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-08-C [带内杂散在 2 Ms/s]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-10-C [调制特性在 2 Ms/s]
- RF-PHY/TRM-LE/CA/BV-12-C [载波频率补偿及漂移在 2 Ms/s，通过有效载荷的前导码]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-01-C [接收器灵敏度，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-03-C [C/I 和接收灵敏度特性，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-04-C [阻塞特性，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-05-C [互调特性，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-06-C [最大输入电平，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-07-C [误包率报告完整性，未编码数据包在 1 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-08-C [接收灵敏度在 2 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-09-C [C/I 及接收灵敏度特性在 2 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-10-C [阻塞特性在 2 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-11-C [互调特性在 2 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-12-C [最大输入电平在 2 Ms/s]
- RF-PHY/RCV-LE/CA/BV-13-C [误包率报告完整性在 2 Ms/s]

对于 IEEE 802.15.4-201，要进行的射频测试是（详情请参见用于认证的“ZigBee 4 Document 095436r21 ZB_CSG-ZigBee-IP IEEE 802.15.4 电平测试规范”文档和“ZigBee Alliance IEEE 802.15.4 测试规范-ZigBee Doc.14-0332-01”）：

- TP/154/PHY24/TRANSMIT-01（正确调制）
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-02（误差向量幅度或 EVM）
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-03（中心频率容差）
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-04（输出功率等级）
- TP/154/PHY24/TRANSMIT-05（功率谱密度掩码限制）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-01（灵敏度误包率）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-02（相邻通道）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-03（相间通道）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-04（最大输入功率）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-05（能量检测 ED）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-06（链接质量指标 LQI）
- TP/154/PHY24/RECEIVER-07（清晰信道评估 CCA）
- TP/154/PHY24/TURNAROUND-TIME-01（Rx 到 Tx 周转时间）
- TP/154/PHY24/TURNAROUND-TIME-02（Tx 到 Rx 周转时间）。

此外，取决于使用的国家，在产品可以出售之前必须与更多的标准兼容。例如：

- 北美的 FCC 认证
- 欧洲的 RED 认证
- 日本的 JRL/MIC 认证。

12 生产前的 RF 测试

一旦定制的应用板完成设计并准备进行生产，必须进行以下测试，以确认应用程序是否正确配置和 STM32WB 系列微控制器是否正常工作：

- 供电
- 输出功率
- 接收灵敏度
- 包交换测试
- RF 测试认证。

测试细节在前面几节中已经给出。

版本历史

表 1. 文档版本历史

日期	版本	变更
2019 年 10 月 8 日	1	初始版本。

目录

1	概述.....	2
2	开发板设置	3
3	环境设置.....	5
4	设备配置.....	6
5	供电.....	7
6	HSE 微调	8
7	输出功率测试	10
8	灵敏度测试	12
9	包交换测试	13
10	广播模式中的功耗	14
11	RF 测试认证.....	16
12	生产前的 RF 测试	17
	版本历史	18

图一览

图 1.	STM35WB55RG 接口框图	3
图 2.	MB1355C 天线配置	4
图 3.	STM32CubeMonitor-RF 屏幕说明	5
图 4.	STM32CubeProg 接口说明	6
图 5.	STM32CubeMonitor-RF 配置示例	8
图 6.	频谱分析仪输出结果	9
图 7.	STM32CubeMonitor-RF START TONE 参数配置	10
图 8.	0 dB 输出时测得的输出功率	11
图 9.	STM32CubeMonitor-RF 接收测试配置	12
图 10.	STM32CubeMonitor-RF 包交换率配置	13
图 11.	广播模式电流输出	14
图 12.	STM32CubeMonPwr 示例屏幕	15

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和/或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 标志是意法半导体的商标。关于意法半导体商标的其他信息，请访问 www.st.com/trademarks。其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2021 STMicroelectronics - 保留所有权利