

开启 BlueNRG 和 BlueNRG-MS 设备

前言

BlueNRG 和 BlueNRG-MS 设备为高性能、超低功耗无线网络处理器，分别支持蓝牙规范 v4.0 和 v4.1。为达到最好性能，在最终确定应用之前必须执行一些过程。

本文总结了这些基本步骤：

- 应用 PCB 测试点
- 供电和电流消耗测试
- SPI 接口
- IFR 配置
- XTAL 和 LSOSC 居中测试
- 输出功率测试
- 包交换测试
- 灵敏度测试
- 广播模式中的功耗

注意：

本文内容适用于 BlueNRG 和 BlueNRG_MS 设备。任何对 BlueNRG 设备的引用也同时适用于 BlueNRG-MS 设备。必要时，会着重标明具体的区别。

目录

1 应用 PCB 测试点	8
2 供电和电流消耗测试	10
2.1 测试用例规范标识符	10
2.2 测试必备条件	10
2.3 测试说明	10
2.4 测试设置	10
2.4.1 硬件	10
2.4.2 软件	10
2.5 测试过程	10
2.6 预期结果	10
2.7 注释	11
2.8 其它	11
3 SPI 接口	12
3.1 测试用例规范标识符	12
3.2 测试必备条件	12
3.3 测试说明	12
3.4 测试设置	12
3.4.1 硬件	12
3.4.2 软件	12
3.5 测试过程	12
3.6 预期结果	13
3.7 注释	13
3.8 其它	14
4 IFR 配置	15
4.1 HS_Startup_Time: 测试用例规范标识符	16
4.2 测试必备条件	16
4.3 测试说明	17
4.4 测试设置	17
4.4.1 硬件	17
4.4.2 软件	17

4.5	测试过程.....	17
4.6	预期结果.....	18
4.7	注释.....	18
4.8	其它.....	18
5	XTAL 居中测试.....	19
5.1	测试用例规范标识符.....	19
5.2	测试必备条件.....	19
5.3	测试说明.....	19
5.4	测试设置.....	19
5.4.1	硬件.....	19
5.4.2	软件.....	19
5.5	测试过程.....	19
5.6	预期结果.....	20
5.7	注释.....	20
5.8	其它.....	20
6	LSOSC 居中测试.....	21
6.1	测试用例规范标识符.....	21
6.2	测试必备条件.....	21
6.3	测试说明.....	21
6.4	测试设置.....	21
6.4.1	硬件.....	21
6.4.2	软件.....	21
6.5	测试过程.....	21
6.6	预期结果.....	21
6.7	注释.....	22
6.8	其它.....	22
7	输出功率测试.....	23
7.1	测试用例规范标识符.....	23
7.2	测试必备条件.....	23
7.3	测试说明.....	23
7.4	测试设置.....	23

7.4.1	硬件.....	23
7.4.2	软件.....	23
7.5	测试过程.....	23
7.6	预期结果.....	23
7.7	注释.....	24
7.8	其它.....	24
8	包交换测试.....	26
8.1	测试用例规范标识符.....	26
8.2	测试必备条件.....	26
8.3	测试说明.....	26
8.4	测试设置.....	26
8.4.1	硬件.....	26
8.4.2	软件.....	26
8.5	测试过程.....	26
8.6	预期结果.....	26
8.7	注释.....	26
8.8	其它.....	27
9	灵敏度测试.....	28
9.1	测试用例规范标识符.....	28
9.2	测试必备条件.....	28
9.3	测试说明.....	28
9.4	测试设置.....	28
9.4.1	硬件.....	28
9.4.2	软件.....	28
9.5	测试过程.....	28
9.5.1	信号发生器与 BlueNRG.....	28
9.5.2	两个 BlueNRG 板.....	29
9.6	预期结果.....	29
9.7	注释.....	29
9.8	其它.....	29
10	广播模式中的功耗.....	30

10.1	测试用例规范标识符	30
10.2	测试必备条件	30
10.3	测试说明	30
10.4	测试设置	30
10.4.1	硬件	30
10.4.2	软件	30
10.5	测试过程	30
10.6	预期结果	30
10.7	注释	31
10.8	其它	31
11	RF 测试认证	32
11.1	Signaling mode	32
11.2	Non-signaling mode	33
12	板子生产时的 RF 测试	35
13	参考	36
14	版本历史	37

表格索引

表 1：测试点	8
表 2：供电测试结果	10
表 3：Blue_Initialized_Event	13
表 4：文档版本历史	37
表 5：中文文档版本历史	37

图表索引

图 1: UFL 连接器	9
图 2: SPI 连接	12
图 3: 硬件复位时的 BlueNRG SPI 事务	13
图 4: BlueNRG GUI IFR 工具	16
图 5: XTAL_startup 测量	17
图 6: Ch0 处的频率音调用于 XTAL 居中测试	20
图 7: 对于 PA_level 7, 高功耗模式中的输出功率测量	24
图 8: 对于 PA_level 6, 高功耗模式中的输出功率测量	25
图 9: 广播事件期间的典型电流曲线	31
图 10: 信令模式 RF 测试	33
图 11: 非信令模式 RF 测试	34

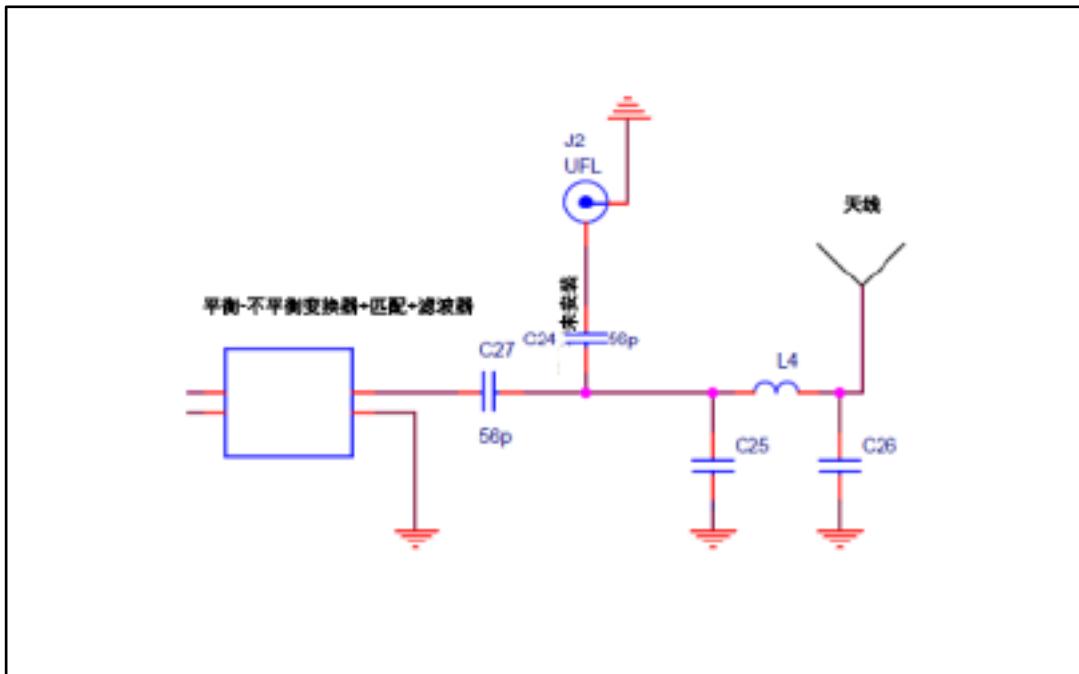
1 应用 PCB 测试点

ST 建议设置一组测试点，以测量客户 PCB 上的设备性能。取决于客户 PCB 的限制，可能无法添加所有测试点，无法执行一些测试。

表 1：测试点

测试点	功能	测试点详细说明
电流消耗	应添加于PCB中以测量BlueNRG的电流消耗。	与VBAT1、2、3引脚串联。
供电电压	应添加上，以测量BlueNRG的供电电压。	至引脚： VDD1V8, VDD1V2 SMPSFILT1, SMPSFILT2
射频器件	若PCB使用内置的天线，如PCB或芯片天线，则建议添加一个UFL连接器，以便使用频谱分析仪测量RF性能。	位于匹配网络（或平衡-不平衡变换器）及内置天线之间（参见 图1：“UFL连接器” ）。
SPI	客户PCB应能够禁用自身的微控制器，将BlueNRG SPI线连至STEVAL-IDB002V1母板。 若SPI测试点不可用，ST可提供所需的GUI固件，将其移植至客户微控制器上。 前提条件是客户PCB具有USB或RS232 I/O端口可连至PC。	位于微控制器和BlueNRG之间。
TEST8, TEST9	用于XTAL_startup测量的引脚	引脚：TEST8, TEST9

图 1：UFL 连接器



2 供电和电流消耗测试

2.1 测试用例规范标识符

SUPPLY_TESTS

本测试不需要特定固件。

2.2 测试必备条件

为执行这些测试，您需要向平台添加一些测试点。

请参考 [Section 1: "应用 PCB 测试点"](#)以获取测试引脚的说明。

2.3 测试说明

本测试的目的是确保 BlueNRG 有正确供电，且其功耗无异常。

2.4 测试设置

2.4.1 硬件

本测试需要一个万用表。

2.4.2 软件

N/A。

2.5 测试过程

为 BlueNRG 平台上电。当执行此测试时，应用微控制器不必访问 SPI 接口。

在 VBAT1、2、3、VDD1V8、VDD1V2、SMPSFILT1、SMPSFILT2 中测量电压。

与 VBAT1、2、3 引脚串联测量电流。

2.6 预期结果

测得的引脚电压和电流应与下面的值一致。

表 2：供电测试结果

引脚	预期值
VBAT1,2,3	2.0 – 3.6 V
VDD1V8	1.8 V
VDD1V2	1.2 V
SMPSFILT1	1.4 V方波
SMPSFILT2	1.4 V
IBAT (VBAT = 3.0 V)	2 mA

2.7 注释

如果某些测量值与预期值不一致，则建议检查板子的连接是否正确。

2.8 其它

N/A。

3 SPI 接口

3.1 测试用例规范标识符

SPI_TEST

3.2 测试必备条件

客户的平台应具有 SPI 测试点（参见 [表 1: "测试点"和图 2: "SPI 连接"](#)）。

3.3 测试说明

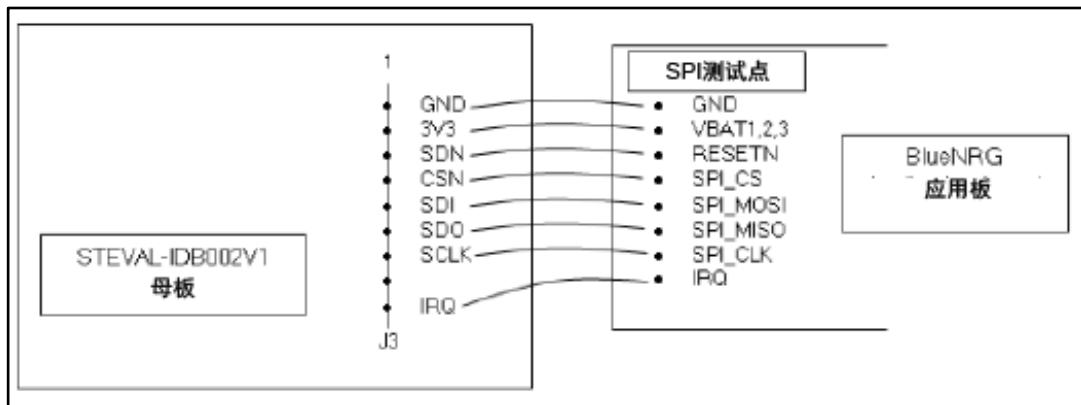
怎样验证外部微控制器的 SPI 访问工作正常。

3.4 测试设置

3.4.1 硬件

STEVAL-IDB002V1 母板，如下所示连至 BlueNRG 板：

图 2: SPI 连接



3.4.2 软件

ST BlueNRG GUI，向 BlueNRG 发送 SPI 指令。

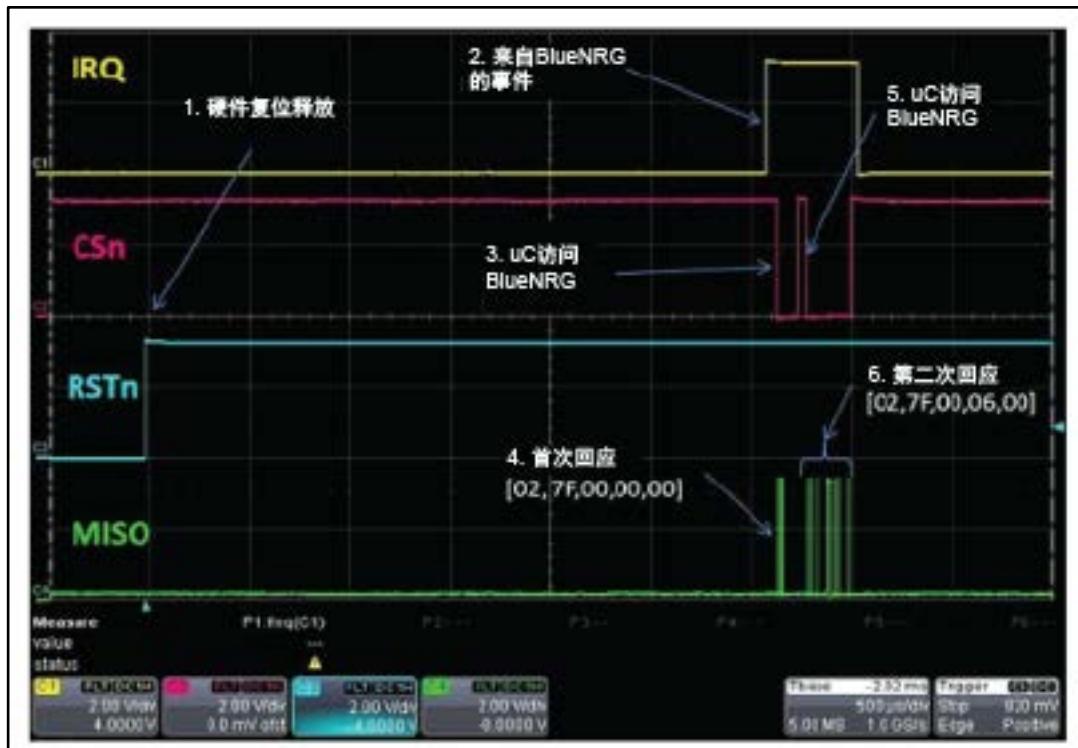
3.5 测试过程

BlueNRG 硬件复位由微控制器执行，生成 ACI 事件，顺序说明如下，示于 [图 3: "硬件复位时的 BlueNRG SPI 事务"](#)中：

1. 释放硬件复位
2. BlueNRG 将有事件，IRQ 会升至高电平（若此信号不存在，则意味着由于某种原因 BlueNRG 固件不工作）
3. 外部微控制器拉低 CS，访问 BlueNRG 并读取事件
4. 微控制器从 SPI 读取 5 个字节；它们应该是[02,7F,00,00,00]
5. 外部微控制器拉高 CS 后再拉低，访问 BlueNRG 并读取事件
6. 微控制器从 SPI 读取 5 个字节，应该是[02,7F,00,06,00]，意为要读取 6 个字节

7. 微控制器从 SPI 读取 6 个字节，应该是[04, FF, 03, 01, 00, 01]
8. 微控制器再升高 CS

图 3：硬件复位时的 BlueNRG SPI 事务



第 7 步中的字节应被解读为 HCI 厂商特定 (VS) 事件包（请参考 [第 2.3 节：“测试说明”](#)）。

当 BlueNRG 固件正常启动时，它会给用户一个 Blue_Initialized_Event，表明系统已经启动。

下面是此特定 HCI VS 事件包的详细解释：

表 3：Blue_Initialized_Event

字节	说明
04	它表示一个HCI事件包
FF	它是厂商特定的HCI事件（事件代码0xFF）
03	HCI VS事件参数总长度
01 00	BLUE_INITIALIZED事件代码
01	原因代码x BLUE_INITIALIZED事件：应用正常启动

3.6 预期结果

BlueNRG 发送的字节如 [Section 3.5：“测试过程”](#) 中所述。

3.7 注释

若应用板没有 SPI 测试点，则 ST 可提供可移植至微控制器的固件，用于客户 PCB 中，这样系统即可与 ST GUI 共同工作。

3.8 其它

若以上的基本测试能够工作，我们建议使用 ST BlueNRG GUI 运行一些指令（例如 HCI_READ_LOCAL_VERSION_INFORMATION，或在 Tools 选项卡下获取版本），以检查 SPI 对 ST BlueNRG GUI 的访问没有问题。

4 IFR 配置

在应用板最终确定之前，BlueNRG 设备有一些参数必须设置在 BlueNRG Flash 的一个专用部分，它称作信息寄存器（IFR）（参见[参考部分](#)，第 4 项）。

具体地说，它们是：

- 高速（HS）晶振（16 或 32 MHz）
- 低速振荡源（32 kHz 或内部环振荡器）
- 功率管理选项（SMPS 电感器或 SMPS 关闭配置）
- 栈模式：
 - 模式 1：从/主，仅 1 个连接，小 GATT 数据库（睡眠期间 RAM2 关闭）
 - 模式 2：从/主，仅 1 个连接，大 GATT 数据库（睡眠期间 RAM2 开启）
 - 模式 3：仅主（BlueNRG），从/主（BlueNRG-MS），8 个连接，小 GATT 数据库（睡眠期间 RAM2 开启）
- 更改 HS 启动时间参数。从 512 μ s 改为 1953 μ s。
- 睡眠时钟精度。
- LS 晶振周期和频率

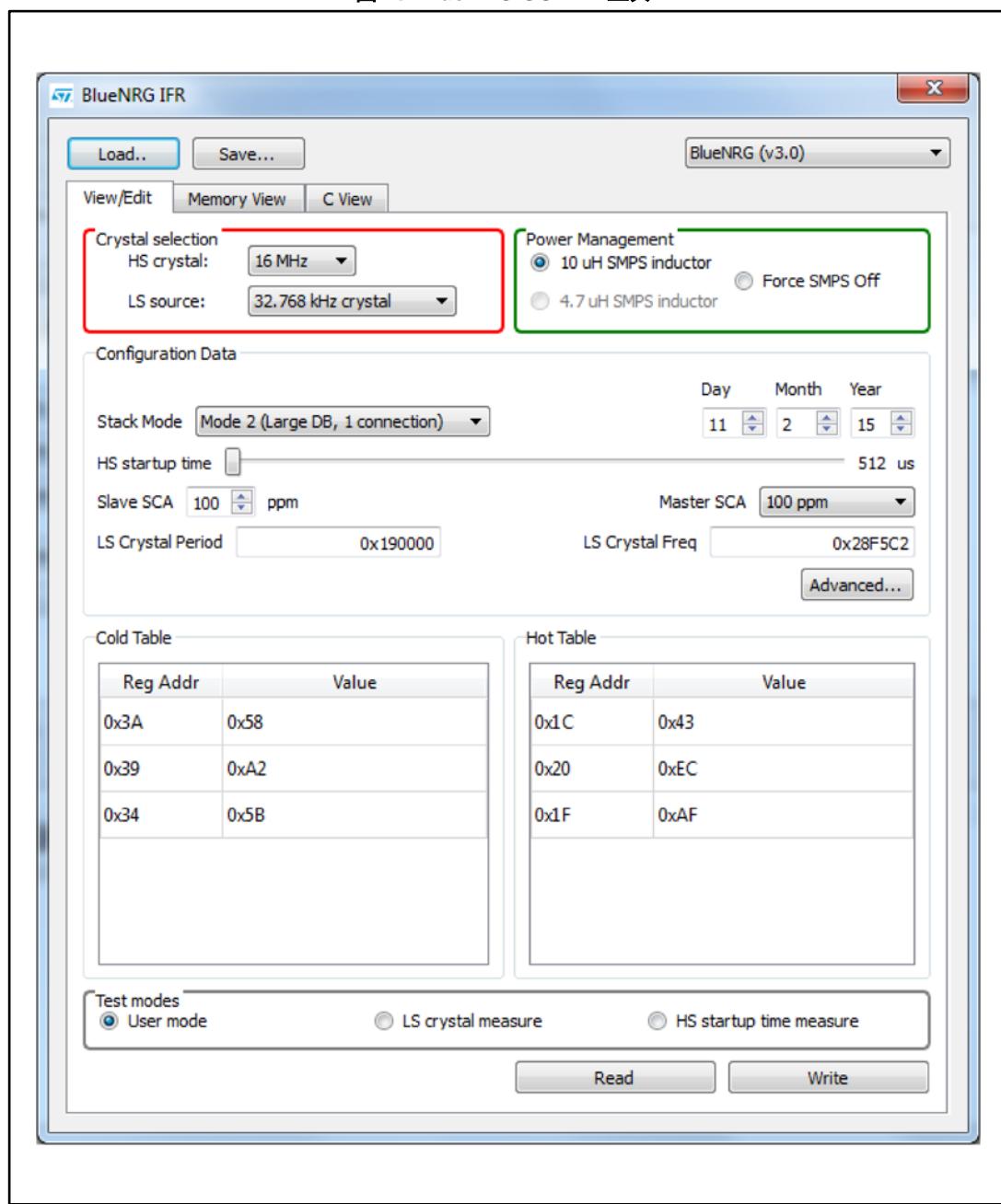
目前，该晶振配置意味着可以选择一组预设的 IFR 配置文件 (*.dat)。

为匹配用户的特定晶振，可通过 BlueNRG GUI 将*.dat IFR 文件写入设备中，位置为：

工具 / BlueNRG IFR / 载入 & 写入按钮（参见[图 4：“BlueNRG GUI IFR 工具”](#)）。

与 BlueNRG 套件模块共同提供的还有 16 MHz 外部高速晶振和 32 kHz 低速晶振，相关的栈映像已经被适配为使用此配置（bluenrg_x_x_Mode_2-16MHz-XO32K.img）。

图 4: BlueNRG GUI IFR 工具



4.1 HS_Startup_Time: 测试用例规范标识符

XTAL_startup_TEST

4.2 测试必备条件

用户的平台应该对 TEST8 和 TEST9 引脚有测试点（参见表 1: "测试点"）。

4.3 测试说明

HS_Startup_Time 参数非常重要，因为它可实现最小的电流消耗，但是要这样做，就必须测量所采用晶振的启动时间（XTAL_startup）。太短的值会令 BlueNRG 无法正确发送/接收包。

4.4 测试设置

4.4.1 硬件

本测试需要一个示波器。

4.4.2 软件

ST BlueNRG GUI，用于使能专用的测试模式。

4.5 测试过程

在 BlueNRG GUI 中，勾选 BlueNRG IFR 工具中的复选框，使能启动时间测试信号。

将两个示波器探针放置在测试点 TEST8 和 TEST9 上。

在 BlueNRG GUI 使用以下指令，将 BlueNRG 设为广播模式：

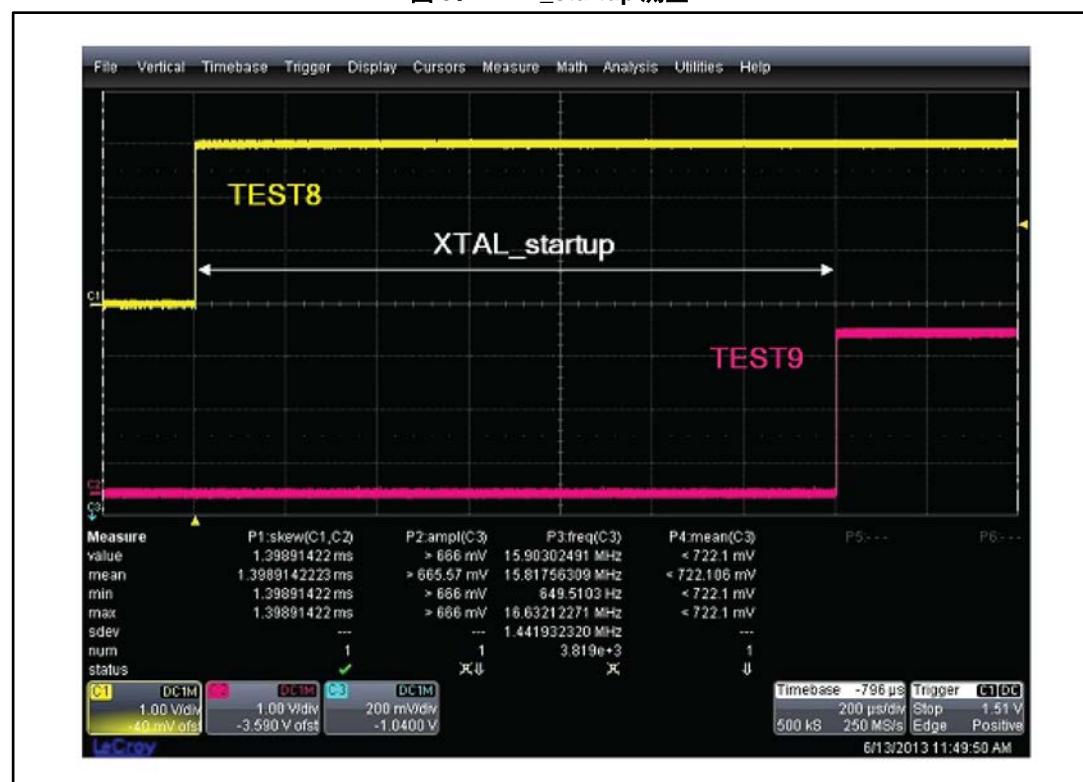
BLUEHCI_GATT_INIT

BLUEHCI_GAP_INIT

BLUEHCI_GAP_SET_DISCOVERABLE (保留默认设置)

测量两个信号上升沿之间的时间（参见图 5：“XTAL_startup 测量”）。

图 5：XTAL_startup 测量



4.6 预期结果

为考虑供电电源、温度和晶振容差的变化，必须补偿测量值：

$$\text{XTAL_startup} = \text{XTAL_startup(measured)} * 1.2 * 1.1 * 1.2 = 1.584 * \text{XTAL_startup (measured)}$$

若测试在最小工作电压执行，则第一个系数（1.2）可以忽略。

最后，若需找到 IFR 中必须设置的 HS_STARTUP_TIME 值，请使用此公式：

$$\text{HS_STARTUP_TIME} = 110 \mu\text{s} + \text{MAX}\{\text{XTAL_startup}, (0.56 * \text{XTAL_startup} + 304)\}$$

4.7 注释

例如：

$$\text{XTAL_startup} = 300 \mu\text{s} \rightarrow \text{HS_STARTUP_TIME} = 680 \mu\text{s}$$

$$\text{XTAL_startup} = 700 \mu\text{s} \rightarrow \text{HS_STARTUP_TIME} = 1219 \mu\text{s}$$

4.8 其它

N/A。

5 XTAL 居中测试

BlueNRG 集成了一个低速频率振荡器（LSOSC）和高速（16 MHz 或 32 MHz）频率振荡器（HSOSC）。

低频时钟用于低功耗模式中，可由使用外部晶振的 32.7 kHz 振荡器供电，也可由频率容差最大为 ± 500 ppm 的环振荡器供电，不需任何外部元件。

主高频时钟为 16 MHz 或 32 MHz 晶振。

高速晶振的频率容差必须低于 ± 50 ppm。

BlueNRG 设备与所有 RF 系统一样，非常依赖于精确时钟才能正常工作。时钟频率的偏移会直接产生射频偏差，这会降低 RF 性能，违反法规，最严重情况下会导致系统失灵。

为此，晶振频率必须居中，对于指定的电路和布局，最简单的找到最佳负载电容值的方法就是通过实验。

5.1 测试用例规范标识符

XTAL_center_TEST

5.2 测试必备条件

对于本测试来说，UFL 连接器（参见表 1：“[测试点](#)”）不是必需的。

5.3 测试说明

由于之前解释的原因，晶振频率必须居中，对于指定的电路和布局，最简单的找到最佳负载电容值的方法就是通过实验。射频可被设为输出给定频率处的恒定载波。

通过使用频谱分析仪测量输出频率，可方便地找到频率偏移。

5.4 测试设置

5.4.1 硬件

本测试需要一台频谱分析仪。

5.4.2 软件

ST BlueNRG GUI，用于发出频率音调。

5.5 测试过程

下述过程适用于高速振荡器（16 MHz 或 32 MHz）：

若有配有 UFL 连接器的 RF 电缆，则通过该电缆将 BlueNRG 板连至频谱分析仪，否则将 2.4 GHz 天线插入工具的输入端口中。

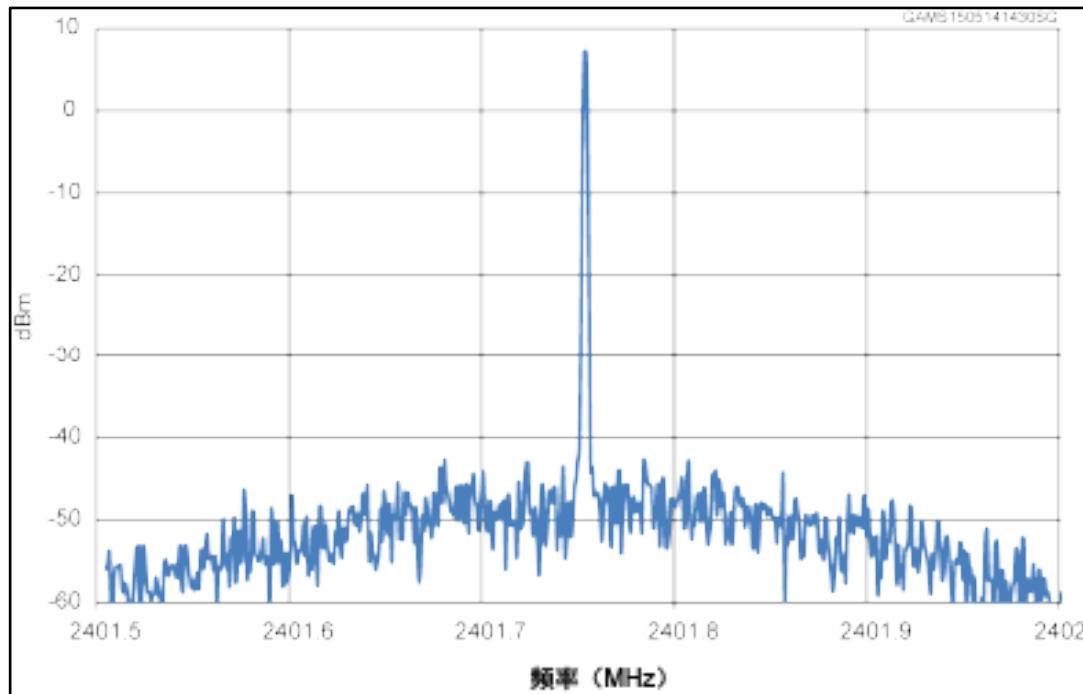
为 BlueNRG 平台上电。

将频谱分析仪设为：Res BW = 1 KHz，SPAN = 500 KHz（参见图 6：“[Ch0 处的频率音调用于 XTAL 居中测试](#)”）。

生成载波音调，频率为 Ch0 (2.401750 GHz)，ACI 指令为：HAL_TONE_START（音调可在 $f = 2402 + k \cdot 2 - 0.250$ MHz 发出，其中 $k = 0$ 至 39）。

理想音调和测量音调之间的差即为频偏。

图 6：Ch0 处的频率音调用于 XTAL 居中测试



5.6 预期结果

偏移极限为（如点 1 报告[第 13 节：“参考”](#)）：

$$|\text{偏移}| < 50 \text{ KHz}$$

若 DUT 频率 $> 2.4018 \text{ GHz} \rightarrow$ 增加 XTAL 电容

若 DUT 频率 $< 2.4017 \text{ GHz} \rightarrow$ 降低 XTAL 电容

5.7 注释

N/A。

5.8 其它

N/A。

6 LSOSC 居中测试

LSOSC 用于参考时间时钟。使用外部 32.768 kHz 时钟的优势在于它比内部 RO 耗电更低，而且它更精确（50 ppm）。本测试通过更改晶振的负载电容，可达到频率居中的目的。

6.1 测试用例规范标识符

LSOSC_center_TEST

6.2 测试必备条件

本测试需要在引脚 14 内有测试点（TEST9）。

6.3 测试说明

有一个方法是，使用 BlueNRG GUI 的 IFR 工具，向引脚 14 输出 LSOSC 信号。

通过使用示波器测量其频率，可方便地测量频偏。

6.4 测试设置

6.4.1 硬件

本测试需要一个示波器。

6.4.2 软件

ST BlueNRG GUI。

6.5 测试过程

将示波器的探针连入引脚 14（TEST9）测试点。

为 BlueNRG 平台上电。

将示波器设为捕获连续的 32 KHz 波形周期（例如 64 个周期，因此将时间基准设在 200us）。用此方法可最小化测量中抖动的影响。

在 GUI 的 IFR 工具中，“读”当前 IFR 配置，然后勾选复选框“LS 晶振测量”，然后做“写”操作。现在需要重启以使新的 IFR 生效。

此刻，示波器屏幕上将可见到 32.768 KHz 波形。

执行频率测量：目标值（ $f=32.768 \text{ KHz}$ ）与测量值之差即为频偏 Δf 。

6.6 预期结果

若 DUT 频率 $> 32.768 \text{ KHz} \rightarrow$ 增加 XTAL 电容

若 DUT 频率 $< 32.768 \text{ KHz} \rightarrow$ 降低 XTAL 电容

若需振荡器 ppm，可使用公式：

$$\text{ppm} = \frac{\Delta f}{f} 10^6$$

其中：

Δf = 偏移

f = 32.768 KHz

需要添加所采用晶振规格书上声明的 PPM 值。

必须使用 GUI 在 IFR 选项里的 Slave SCA 和 Master SCA 设置该值。

6.7 注释

N/A。

6.8 其它

N/A。

7 输出功率测试

7.1 测试用例规范标识符

OUTPUT_TESTS

7.2 测试必备条件

本测试必须有 UFL 或 SMA 连接器。

7.3 测试说明

本测试的目的是验证 Tx 输出电平及步进的线性。

7.4 测试设置

7.4.1 硬件

本测试需要一台频谱分析仪。

7.4.2 软件

ST BlueNRG GUI，用于发出频率音调。

7.5 测试过程

使用 RF 线缆，将 BlueNRG 板连至频谱分析仪。

将频谱分析仪设为：Res BW = 100 KHz，SPAN = 500 KHz。

为 BlueNRG 平台上电。

指令 BLUEHCI_HAL_SET_TX_POWER_LEVEL 的默认配置为参数 En_High_Power=0x01
(高功耗模式) 和 PA_Level=0x07 (+8dBm)。

为了在标准模式中使用 BlueNRG，请使用此指令时令参数 En_High_Power=0x00。

生成载波音调，频率为 Ch0 (2.401750 GHz)，ACI 指令为：HAL_TONE_START (音调可在 $f = 2402 + k \cdot 2 - 0.250$ MHz 发出，其中 $k = 0$ 至 39)。

对于 Tx 输出功率的步进线性，请使用指令：

BLUEHCI_HAL_SET_TX_POWER_LEVEL (PA_Level: 0x06)。

7.6 预期结果

对于 PA_Level=0x07：

高功耗模式：约 8 dBm

标准功耗模式：约 5 dBm

对于 PA_Level = 0x06：

高功耗模式：约 4 dBm

标准功耗模式：约 0 dBm

7.7 注释

该结果受匹配网络性能影响显著。用户可能需要对其调节以获取最佳效果。

7.8 其它

N/A

图 7：对于 PA_level 7，高功耗模式中的输出功率测量

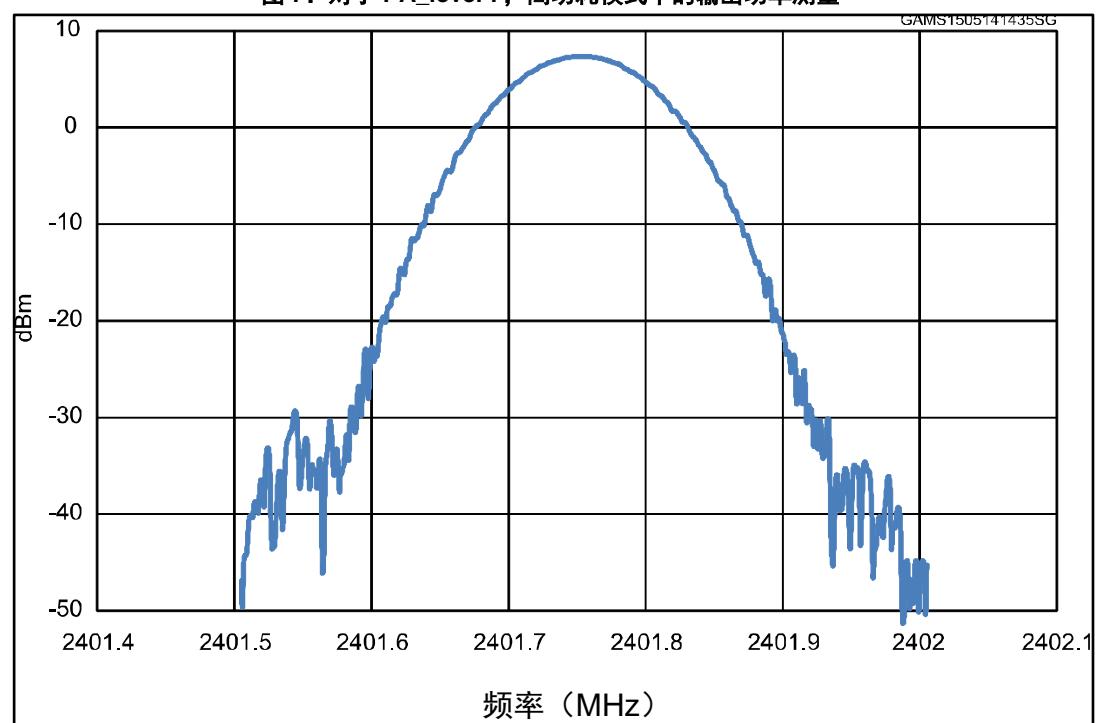
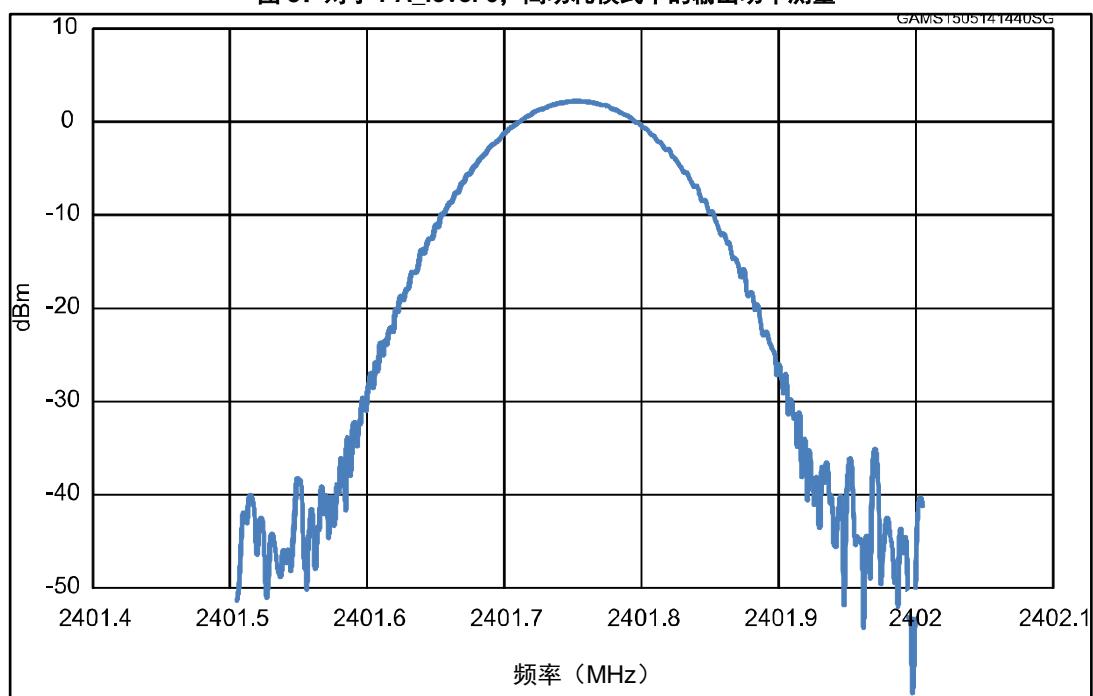


图 8：对于 PA_level 6，高功耗模式中的输出功率测量



8 包交换测试

8.1 测试用例规范标识符

PACKET_TEST

8.2 测试必备条件

为执行这些测试，您需要 BlueNRG 开发平台（STEVAL-IDB002V1）或 BlueNRG USB Dongle（STEVAL-IDB003V1）作为主设备，DUT 板作为从设备。

8.3 测试说明

本测试的目的为验证 BlueNRG 板能够正确发送和接收包。

8.4 测试设置

8.4.1 硬件

无需工具。

8.4.2 软件

BlueNRG 软件 GUI。

8.5 测试过程

为 BlueNRG 平台（Rx）和作为 Tx 的板子上电。

确认插入天线。

启动 DUT 的接收：HCI_LE_RECEIVER_TEST

令 Tx 板发送包：HCI_LE_TRANSMITTER_TEST，测试数据长度为：0x25

停止 Tx 板的测试：HCI_LE_TEST_END

发送此指令，确定 Tx 所发送的包的个数：

HAL_LE_TX_TEST_PACKET_NUMBER

停止 DUT 的测试：HCI_LE_TEST_END

这会返回收到的包个数 Y。

8.6 预期结果

空口收到的包的个数应等于 Tx 板发送的包的个数。

8.7 注释

N/A。

8.8 其它

N/A。

9 灵敏度测试

9.1 测试用例规范标识符

SENSITIVITY_TEST

9.2 测试必备条件

本测试可以采用两种不同的硬件配置：

1. 信号发生器（例如安捷伦 E4438C，通过 GPIB 接口控制）作为 Tx，STEVAL-IDB002V1 母板连至 DUT（待测设备），如图 1：“UFL 连接器”中所示。
2. STEVAL-IDB002V1 完整套件作为 Tx 设备，STEVAL-IDB002V1 母板连至 BlueNRG DUT

9.3 测试说明

本测试的目的是验证 BlueNRG 板的灵敏等级。

9.4 测试设置

9.4.1 硬件

发送：安捷伦 E4438C 信号发生器或 STEVAL-IDB002V1 套件

接收：连至 BlueNRG DUT 板的 STEVAL 母板（参见图 1：“UFL 连接器”）。

9.4.2 软件

ST BlueNRG GUI。

9.5 测试过程

可使用两种测试过程。

9.5.1 信号发生器与 BlueNRG

可执行如下步骤评估灵敏度：

1. 使用（没有明显损耗的）RF 电缆连接工具与 DUT。
2. 启动 DUT 的接收：HCI_LE_RECEIVER_TEST
3. 使发生器发送 X 个包（格式适当，如“直接测试模式”，第 6 卷，F 部分以及“主机控制器接口功能规范”，第 2 卷，E 部分，第 3 点第 13 节：“参考”）
4. 停止 DUT 的测试：HCI_LE_TEST_END

这会返回收到的包个数 Y。PER 为 $1-Y/X$ 。

若 PER 低于 0.308（30.8%），则回到步骤 b，将发射器的功率降低一步。若 PER 高于 0.308，则在之前测试中设备发射的功率等级就是接收器的灵敏度。

若当接近灵敏等级时降低功率等级步进，则会使该算法更精确。

9.5.2 两个 BlueNRG 板

在这种情况下，应按如下方式改变之前的过程：

1. 使用可变衰减器，连接两个板、DUT 和测试仪的 RF 输入/输出。
2. 启动 DUT 的接收：HCI_LE_RECEIVER_TEST
3. 使 Tx 板发送包：HCI LE TRANSMITTER_TEST，测试数据长度为：0x25
4. 停止 Tx 板的测试：HCI LE TEST_END
5. 继续发送指令，确定 Tx 板所发送包的个数：HAL LE TX TEST_PACKET_NUMBER
6. 停止 DUT 的测试：HCI LE TEST_END

这会返回收到的包个数 Y。PER 为 $1-Y/X$ 。

若 PER 低于 0.308 (30.8%)，则回到步骤 b，增加衰减值。若 PER 高于 0.308，则在之前测试中 DUT 接收的功率等级就是接收器的灵敏度。正确测量或估计 DUT 接收的功率非常重要（例如使用音调而不是调制信号）。此外，为降低 DUT 从无线接收的信号等级，BlueNRG 测试仪应使用最小输出功率。在屏蔽房内执行测量也能给出更精确的结果。

9.6 预期结果

预期的值应在数据手册报告值的几个 dBm 之内。如果不是，则可能原因在匹配网络方面。

9.7 注释

因为灵敏度测试非常耗时，因此 ST 可提供特定的软件来做两种硬件配置，以实现自动化过程。

9.8 其它

N/A。

10 广播模式中的功耗

10.1 测试用例规范标识符

CURRENT_TEST

10.2 测试必备条件

为执行此测试，平台必须有与 Vbat1, 2, 3 引脚串联的测试点（参见表 1：“[测试点](#)”）。

10.3 测试说明

本测试的目的是验证广播期间的 BlueNRG 电流消耗曲线与模拟的值一致（该模拟使用 ST BlueNRG 网站 www.st.com/bluenrg 上的 BlueNRG 电流消耗估计工具）。

10.4 测试设置

10.4.1 硬件

安捷伦 N6705B 电力分析仪或示波器。

10.4.2 软件

ST BlueNRG GUI。

10.5 测试过程

将功率分析仪串联至 BlueNRG 中的 Vbat 引脚。如果无法做到，则使用一个 10 欧姆电阻来感应电流，并在其上连接两个探针。

为 BlueNRG 平台上电。

在 BlueNRG GUI 使用以下指令，将 BlueNRG 设为广播模式：

```
BLUEHCI_GATT_INIT  
HCI_LE_SET_ADVERTISING_PARAMETERS(interval_min=interval_max=0x0640)  
HCI_LE_ADVERTISING_DATA (Data_length 0, Advertising_Data=0x101010...)  
HCI_LE_SET_ADVERTISE_ENABLE (Advertising_Enable=0x01)  
BLUEHCI_HAL_SET_TX_POWER_LEVEL (PA_Level = 5/4)  
捕获电流波形。
```

10.6 预期结果

平均电流应如此报告所示（参见[图 9：“广播事件期间的典型电流曲线”](#)）：

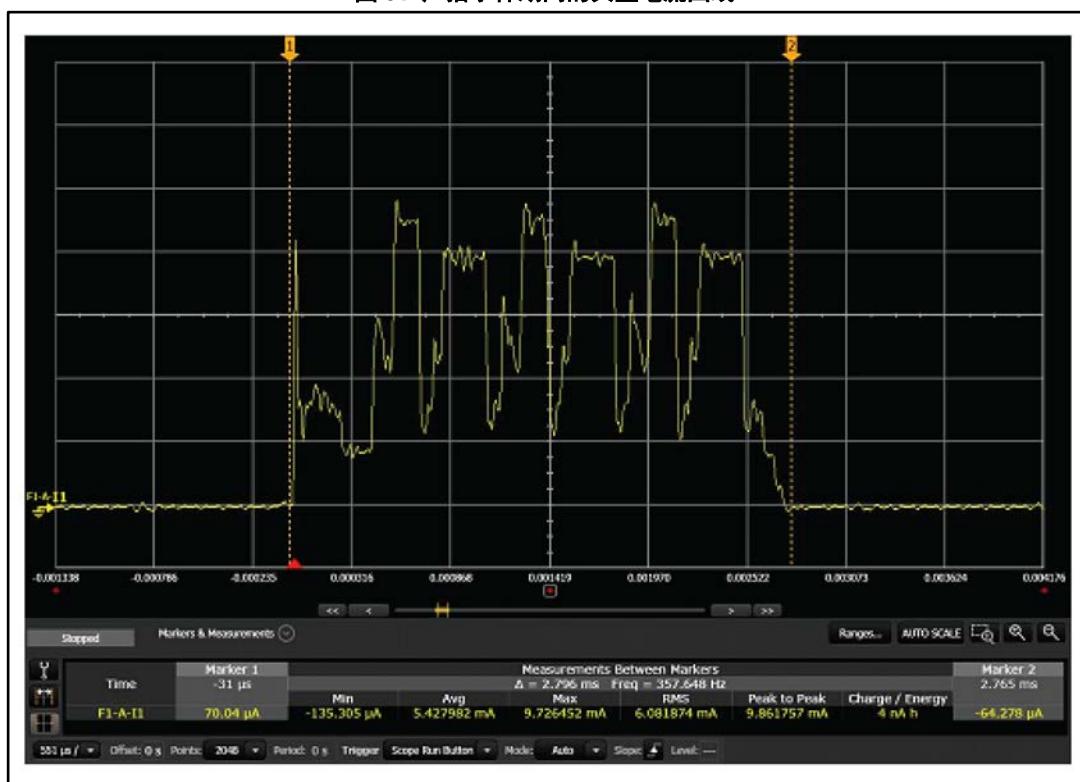
平均电流 = 大约 6 mA

睡眠电流 = 大约 2 μ A（参见[第 13 节：“参考”](#)点 1）

这些值受 IFR 参数的影响显著，如 HS_Startup_Time、堆栈模式及 32 KHz 晶振（外部或内部环形振荡器）



图 9：广播事件期间的典型电流曲线



10.7 注释

N/A。

10.8 其它

N/A。

11 RF 测试认证

应使用本应用笔记中所描述的测试来检查原型板上 BlueNRG 设备的基本功能。

在蓝牙商标可被用于 BlueNRG 设备之前，公司必须完成蓝牙兼容性程序，板子必须合格并被授权。

因为 BlueNRG 已经是一个认证过了的产品，所以使用 BlueNRG 设备的板子不需要重新进行所有蓝牙测试。然而，当在一个新的 RF 设计中使用 BlueNRG 时，仍然必须测试 RF-PHY 层。

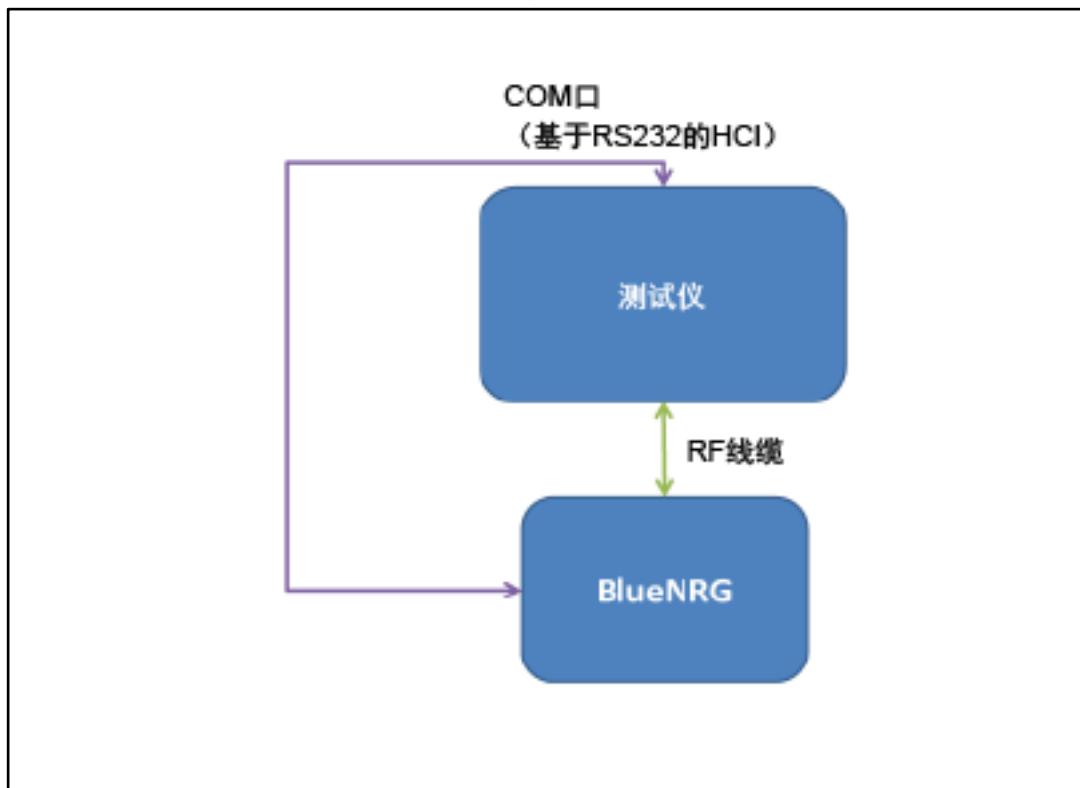
以下是必须执行的 RF 测试（RF-PHY.TS/4.2.0）：

- 此外，取决于使用的国家，在 RF 产品可以出售之前必须与更多的标准兼容。尤其是工作于 2.4 GHz 无执照 ISM 频段的蓝牙低能量产品，它必须兼容于：
 - TP/TRM-LE/CA/BV-01-C [NOC 处的输出功率]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-02-C [EOC 处的输出功率]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-03-C [NOC 处的带内发射]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-04-C [EOC 处的带内发射]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-05-C [调制特性]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-06-C [NOC 处的载频偏移和漂移]
 - TP/TRM-LE/CA/BV-07-C [EOC 处的载频偏移和漂移]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-01-C [NOC 处的接收器灵敏度]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-02-C [EOC 处的接收器灵敏度]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-03-C [C/I 和接收器选择性性能]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-04-C [阻塞性能]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-05-C [互调制性能]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-06-C [最大输入信号电平]
 - TP/RCV-LE/CA/BV-07-C [PER 报告完整性]
 - 北美的 FCC 15.205, 15.209, 15.247 部分
 - 欧洲的 ETSI EN 300 328
 - 日本的 ARIB STD-T66

11.1 Signaling mode

在此模式中，工具可自动执行测试。必须使用 RF 电缆将 DUT（待测设备）连至工具。此外，DUT 必须连至一个工具的端口，才能被工具本身控制（开始/停止测试，以及从 DUT 接收反馈）。BlueNRG 支持基于 HCI 的直接测试模式，允许测试低能量物理层（参见蓝牙规范，核心 v4.1，第 6 卷，F 部分：直接测试模式）。

图 10：信令模式 RF 测试



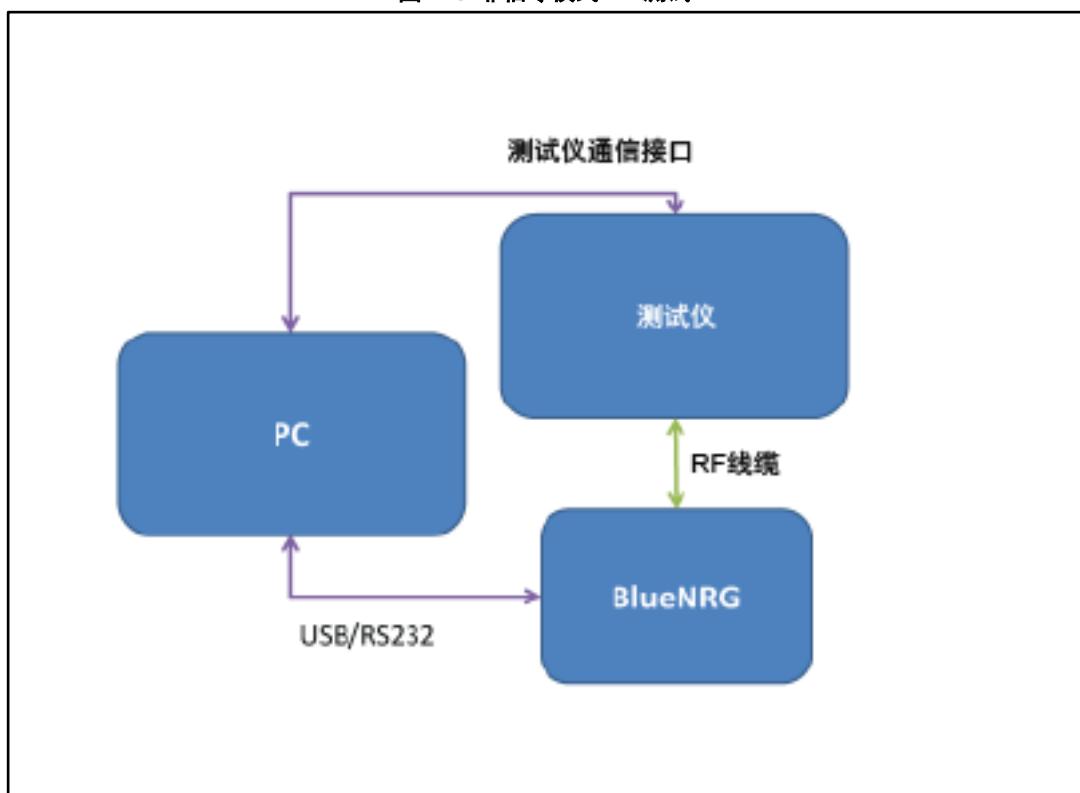
在测试设备上，与 DUT 通信的串行端口典型情况下为 RS232 接口。因此，必须给 DUT 提供一个可兼容的接口。BlueNRG 的原始通信接口基于 SPI。因此，在 BlueNRG 的 SPI 和工具的接口之间需要一个桥。

示例：当使用 STEVAL-IDB002V1 母板时，可能会向 STM32L 微控制器安装固件，执行 UART 和 BlueNRG SPI 间的转换。SDK 内的 BlueNRG VCOM 项目已经支持 UART（在 IAR 项目中选择 UART 配置，或定义 ENABLE_USART 预处理器常量）。因为工具通信端口的工作电平可能和 BlueNRG 母板所使用的（3.3 V）不同，所以可能需要一个变压器，将 RS232 的电平适配到微控制器的 UART 所使用的电平（即，RS232-TTL 转换器）。此固件可能被移植到其它板子上，该板需要定义预处理器变量：
USER_DEFINED_PLATFORM=USER_EVAL_PLATFORM，以及根据特定引脚配置定义一个 USER_Platform_Configuration.h 文件。

11.2 Non-signaling mode

在非信令模式中，第三方实体（例如 PC）同时控制 DUT 和测试工具。典型情况下，可使用适当的指令控制工具。因为 BlueNRG 的原始通信接口为 SPI，所以在 BlueNRG 的 SPI 和 PC 上的串行通信端口之间需要一个中介。

图 11：非信令模式 RF 测试



示例：STEVAL-IDB002V1 具有 USB 接口，可与 PC 通信。BlueNRG SDK 中的 VCOM 项目是一个可在 USB 和 BlueNRG 的 SPI 之间进行桥接的固件（同样的固件也用于 BlueNRG GUI）。一旦板子插进 USB 端口中，设备即被识别为虚拟 COM 口。在此端口上，可发送标准 HCI 指令（HCI 数据格式参见蓝牙规范核心 v4.1，第 2 卷，E 部分，第 5 章）。被发送/接收 HCI 包的第一个字节与核心 v4.1，第 4 卷，A 部分中描述的 UART 传输层相同。

12 板子生产时的 RF 测试

一旦最终的板子已经设计好并投入生产，制造商可能希望运行一些基本测试以确信器件工作正常。建议至少执行以下测试：

- 输出功率（参见[第 7 节](#)）及晶振频率居中测试（参见[第 5 节](#)）
- 包交换测试（参见[第 8 节](#)）。

也可以使用专用工具执行一些测试，见 11.1 节（[RF 测试认证](#)）的说明。在此情况下，至少需要执行的测试为：

- 输出功率
- 载频偏移和漂移
- 接收器灵敏度

13 参考

1. BlueNRG 和 BlueNRG-MS 数据手册
2. BlueNRG 蓝牙 LE 栈应用指令接口（ACI）UM1755
3. 蓝牙规范版本 v4.0 和 v4.1
4. BlueNRG 和 BlueNRG-MS IFR 用户手册 UM1868
5. BlueNRG 开发套件用户手册 UM1686
6. BlueNRG-MS 蓝牙 LE 栈应用指令接口（ACI）UM1865
7. BlueNRG-MS 开发套件用户手册 UM1870

14 版本历史

表 4：文档版本历史

日期	版本	变更
2014年5月30日	1	初始版本。
2014年9月18日	2	增加了 第6节：“LSOSC居中测试” 和一些小的文字纠错。
2015年3月11日	3	将本文修改为同时适合BlueNRG和BlueNRG-MS两种器件。 修改了： 第4节：“IFR配置” 和 第 9.5.2 节：“两个 BlueNRG 板”
2015年5月27日	4	增加了： 11节 和 12节

表 5：中文文档版本历史

日期	版本	变更
2017年6月21日	1	中文初始版本。

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 徽标是 ST 的商标。所有其他产品或服务名称均为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。本文档的中文版本为英文版本的翻译件，仅供参考之用；若中文版本与英文版本有任何冲突或不一致，则以英文版本为准。

© 2017 STMicroelectronics - 保留所有权利