

开启 BlueNRG-LP、BlueNRG-LPS 设备

引言

BlueNRG-LP、BlueNRG-LPS 是一种高性能、超低功耗的无线 SoC，支持 Bluetooth®低功耗规范。

为了达到最佳的性能，在最终确定应用之前必须进行一些测试。

本文总结了以下基本步骤：

- 应用 PCB 测试点
- 供电和电流消耗测试
- 设备配置
- XTAL 和 LSOSC 校准测试
- 输出功率测试
- 包交换测试
- 灵敏度测试
- 广播模式下的功耗。

注意： 本文内容适用于 BlueNRG-LP 和 BlueNRG-LPS 设备。BlueNRG-LP 设备和平台的任何参考也适用于 BlueNRG-LPS 设备和平台。必要时，会着重标明具体的区别。

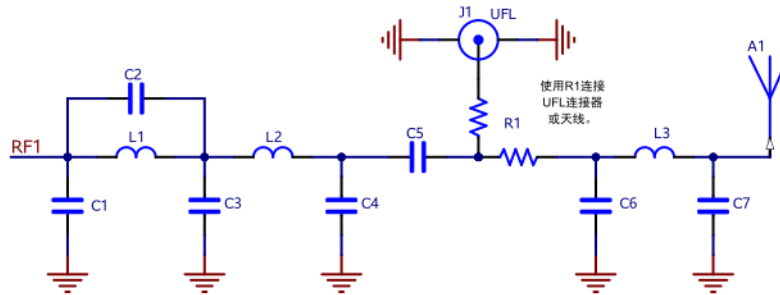
1 应用 PCB 测试点

ST 会推荐一组测试点，以测试在客户 PCB 上的设备性能。根据 PCB 的限制，并非始终可以添加所有测试点，因此有些测试无法执行。

表 1. 测试点

测试点	函数	测试点详细说明
电流消耗	应该添加至 PCB 以测量 BlueNRG-LP、BlueNRG-LPS 的电流消耗	与 VDD1、2、3、4，VDDRF、以及 VDDSD 引脚串联
供电电压	应该添加以测量 BlueNRG-LP、BlueNRG-LPS 的供电电压	至引脚： VCAP, VDDA, VLXSD, VFBS
RF	若 PCB 使用内置的天线，如 PCB 或芯片天线。建议添加一个 UFL 连接器，以便使用频谱分析仪测量 RF 性能	匹配网络与嵌入式天线之间（参见图 1. UFL 连接器）

图 1. UFL 连接器



1.1 DTM 测试应用程序

DTM（直接测试模式）测试应用程序，用作配置被测平台的参考软件。可以使用 BLE_Examples/DTM 文件夹中的 BlueNRG-LP、BlueNRG-LPS 软件包（STSW-BNRGLP-DK）上提供的 DTM 测试应用程序编译 DTM 二进制文件，且它可以被存储或 RF-Flasher 上位机软件直接加载到相关的 STEVAL 板上。用户可以根据自身的要求，选择：

- DTM UART 固件
- DTM SPI 固件

文件夹（Firmware/BLE_Examples/DTM/STEVAL-IDB011V1）中的 BlueNRG-LP DK 软件包中有为 BlueNRG-LP STEVAL-IDB011V1/V2（DTM UART/SPI 模式）而预编译的固件。

文件夹（Firmware/BLE_Examples/DTM/STEVAL-IDB011V1）中的 BlueNRG-LP DK 软件包中有为 BlueNRG-LPS STEVAL-IDB012V1（DTM UART/SPI 模式）而预编译的固件。

2 电源测试

2.1 测试用例规范标识符

SUPPLY_TEST

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，需要在平台上添加一些测试点。有关测试引脚说明，请参考第 1 节“应用 PCB 测试点”。

2.3 测试说明

本测试的目的是确保 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 有供电正常。

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

下载 DTM 固件到 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备中。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

2.5 测试过程

给 BlueNRG-LP/BlueNRG-LP 平台上电。

测量以下引脚处的电压：VDD1、2、3、4、VDDRF、VDDSD、VCAP、VDDA、VLXSD 和 VFBSD。

2.6 预期结果

如果 DC-DC 被使能，测量的引脚电压及电流应与下述的值一致。

表 2. 供电测试结果

引脚	预期值
VDD1、2、3、4, VDDRF 和 VDDSD	1.7 – 3.6 V
VCAP 和 VDDA	1.2 V
VLXSD	约 1.2 - 1.95V 的方波
VFBSD	1.2 – 1.95 V

如果 DC-DC 被除能，VLXSD 引脚将浮空，并且 VFBSD 引脚将直接连接到 VBAT。

2.7 注释

如果某些测量值与预期值不一致，则建议检查电路板的接线是否正确。

2.8 其它

N/A。

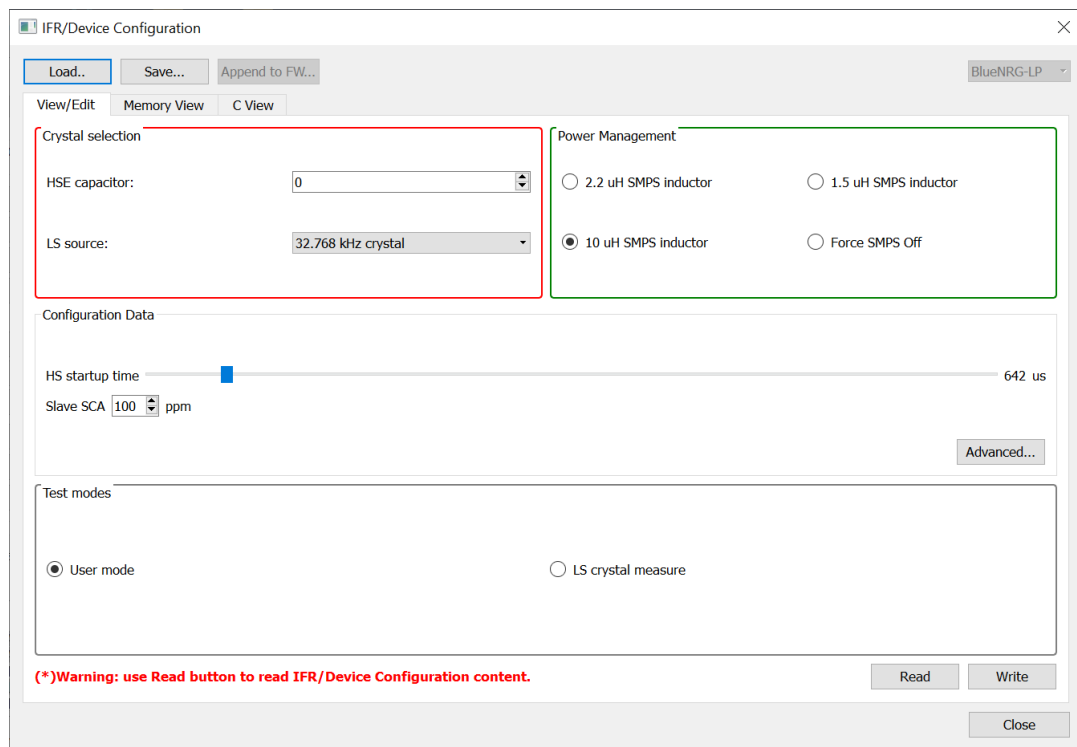
3 设备配置

在应用板最终确定之前，必须在软件初始化期间定义并使用 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备的一些参数。这些参数有：

- 低速振荡源（32 kHz 或内部 RC 振荡器）
- 电源管理选项（SMPS 电感或 SMPS 关闭配置）
- 将 HS 启动时间参数从 512 μ s 更改为 1953 μ s
- 睡眠时钟精度。

当使用 DTM 固件时，可以使用 BlueNRG GUI SW 软件包（STSW-BNRGUI）中提供的 BlueNRG GUI PC 应用程序设置设备配置参数。

图 2. BlueNRG GUI 器件配置仪器



4 HS_Startup_Time

高速外部时钟振荡器（HSE）需要时间才能在系统唤醒（从 Deepstop 模式退出）后准备就绪。在固件示例中被称为 HS_STARTUP_TIME 的参数反映了这个时间。如果系统从 Deepstop 模式退出，则需要微调该参数以便让射频在程序设定的瞬间进行发送和接收。较高的值会更安全，但由于系统过早被唤醒（以便给 HSE 时间在发送或接收之前准备就绪），因此可能会产生不必要的额外功耗。如果时间值太短，则 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 可能无法正确发送或接收数据包。

4.1 测试用例规范标识符

HS_XTAL_startup_TEST。

4.2 测试必备条件

- 在最低工作电压下的电源
- 以下之一：
 - 访问 UART 接口，或
 - 一个示波器，VCAP 和 GPIO 引脚（默认为 PB6）。

4.3 测试说明

该测试的目的是测量最坏情况下的 HSE 启动时间。固件应用程序使用内部时钟作为参考来测量 HSE 启动时间（假设 HSE 的频率是正确的，因为需要校准内部时钟才能进行测量）。

当 HSE 就绪时，可配置的 GPIO（默认为 PB6）上也会产生脉冲。当无法访问 UART 接口时或只是为了再次确认，上述办法非常实用。

4.4 测试设置

4.4.1 硬件

连接到目标板、用以接收 UART 数据的串行终端。作为替代方案，本测试需要一个示波器。

4.4.2 软件

STSW-BNRGLP-DK、BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS SDK、Projects\Peripheral_Examples\MIX\RCC 上的 RCC_HSEStartupTest 固件应用程序。此应用程序编译了系统的定期唤醒程序，并测量 HSE 在每次唤醒时的启动时间。在 UART 接口报告当前的和较长的（最差的）测量结果。

4.5 测试过程

- 将固件加载到 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 中
- 以支持的最低工作电压给设备供电：在这种情况下，HSE 需要更多的时间准备就绪
- 在环境温度（约 25°C）进行测试。

4.6 预期结果

该应用程序在 UART 接口上输出关于测得的启动时间的信息。

将较长的测得时间值增加 10%，以考虑从 25°C 到 105°C 的变化。由于晶体参数的变化，如动态电感和电容会影响启动时间，所以再次将时间值增加 30%以获得安全的保证。

$HS_STARTUP_TIME = measured_value * 1.1 * 1.3.$

4.7 注释

测量应该在足够数量的电路板上进行，以便了解该值在所有电路板中的分布情况。

4.8 其它

获取启动时间的另一种方法是，可以通过测量 VCAP 引脚的电压开始上升到测试 GPIO 电压变高时的时间，来获得启动时间。测试 GPIO 可以轻易地被更改（默认为 PB6）。

5 HSOSC 校准测试

BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 集成了一个低速频率振荡器 (LSOSC) 和高速 (32 MHz) 频率振荡器 (HSOSC)。

低频时钟用于低功耗模式，该时钟可由使用外部晶体的 32.7 kHz 振荡器提供，也可由不需任何外部元件的内部环振荡器提供。

主高频时钟为 32 MHz 晶振。

高速晶振的频率容差必须低于 ± 50 ppm。

BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备与所有 RF 系统一样，非常依赖于精确的时钟才能正常工作。时钟频率的偏移会直接产生射频偏差，这会降低 RF 性能，不符合标准规范，最严重情况下会导致系统失灵。

因此，晶振频率必须校准，方法就是为指定的电路和布局选择最佳负载电容值。通过实验试验是找到正确的负载电容的最简单的方法。。BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 大大简化了寻找最佳电容值的过程。事实上，BlueNRG-LP 拥有一个集成式电容器组，可以通过软件进行设置。如此便无需外部电容，可以实现最大灵活性并节省外部元件的成本和电路板空间。

5.1 测试用例规范标识符

HSOSC_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

基于前面解释的原因，晶振频率必须校准，而找到最佳负载电容值的最简单方法就是通过实验。射频可以通过固定一个给定频率的恒定载波来设置。

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 和加载至 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备的 DTM 固件。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

5.5 测试过程

下述过程适用于高速振荡器 (32 MHz)：

若有配有 UFL 连接器的 RF 电缆，则通过该电缆将 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 目标板连至频谱分析仪，否则将 2.4 GHz 天线插入仪器的输入端口中。

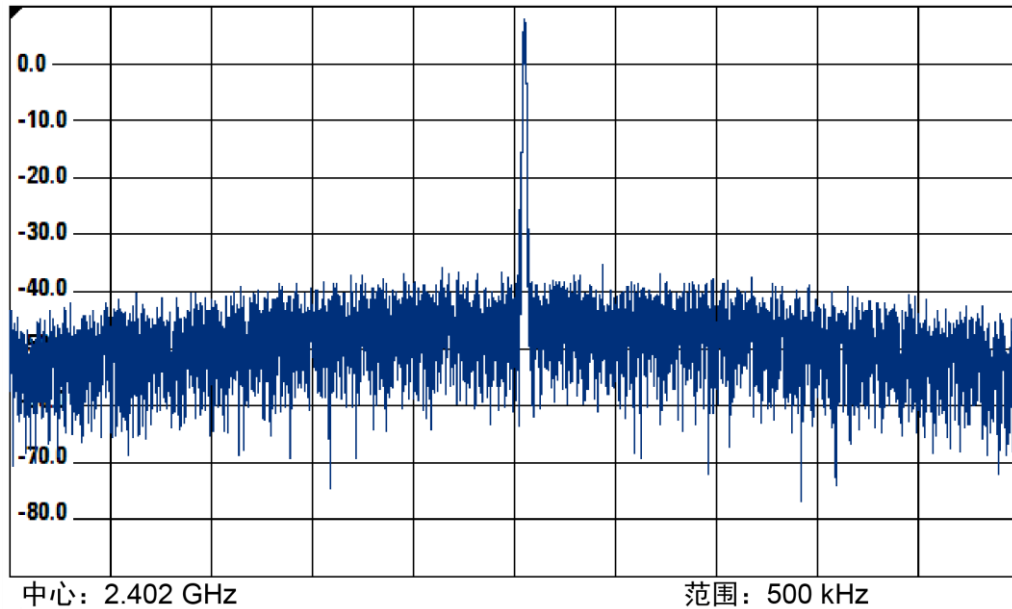
为所选平台上电。

将频谱分析仪设为：res BW = 1 kHz，SPAN = 500 kHz（参见图 3. Ch0 处的频率单音用于 XTAL 校准测试）。

使用 BlueNRG GUI、RF 测试窗口和点击 Tone 按钮，并选择 TX 频率为 2402 MHz（信道 0），在 Ch0 生成载波单音（频率为 2.402 GHz）（调频的发射频率为 $f = 2402 + k \cdot 2$ MHz，其中 $k = 0$ 至 39）。

理想的单音和测量的单音之间的偏差即为频偏。

图 3. Ch0 处的频率单音用于 XTAL 校准测试



5.6 预期结果

偏移量限制为:

$|\text{偏移量}| < 50 \text{ kHz}$

若 DUT 频率 $> 2402.05 \text{ MHz}$ → 增加 XTAL 负载电容

若 DUT 频率 $< 2401.95 \text{ MHz}$ → 降低 XTAL 负载电容

5.7 注释

可以在 RCC_RFSWHSECR 寄存器中选择一个较高的 SWXOTUNE 值，以增加负载电容的值。

使用 CONFIG_HW_HSE_TUNE 设置正确的值（例如，CONFIG_HW_HSE_TUNE=32）。在 DTM 应用程序中，用户可以通过设备配置参数来改变值（或者通过定义宏 CONFIG_HW_HSE_TUNE 来强制固件使用给定的值）。

5.8 其它

N/A。

6 LSOSC 校准测试

LSOSC 用于参考时钟。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（典型值：50ppm）。这个测试允许通过更改晶体负载电容，来校准振荡器的频率。

6.1 测试用例规范标识符

LSOSC_center_TEST。

6.2 测试必备条件

此测试需要访问 PA10 引脚。如需要，可将引脚改为 PA4。

6.3 测试说明

有一个方法是：使用 BlueNRG GUI 的设备配置工具，设置 PA10 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 和加载至 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备的 DTM 固件。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

6.5 测试过程

将示波器的探针连接到 PA10。给 BlueNRG-LP/BlueNRG-LP 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 200 us）。用此方法可最小化测量中抖动的影响。

在 GUI 的设备配置仪器中，“读”当前设备配置，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设备配置生效。

此刻，示波器屏幕上可见到 32.768 kHz 波形。

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

6.6 预期结果

若 DUT 频率 > 32.768 kHz → 增加 XTAL 负载电容

若 DUT 频率 < 32.768 kHz → 降低 XTAL 负载电容

如需找出晶体振荡器的频率偏移（以 ppm 为单位），可使用以下公式：

$$ppm = \frac{\Delta f}{f} 10^6 \quad (1)$$

Δf = 偏移

f = 32.768 kHz

晶体振荡器的总精确度是由两个部分组成：与偏移有关的精度，以及与温度和老化有关的精度，具体请参见晶体数据表。

6.7 注释

低频振荡器的总精度必须在初始化期间通过 `SleepClockAccuracy` 参数（`BLE_STACK_InitTypeDef` 字段）给予 BLE 协议栈。

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 输出功率等级及步进的线性。

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 和加载至 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 设备的 DTM 固件。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

7.5 测试过程

使用 RF 线缆，将 BlueNRG-LP/BlueNRG-LP 目标板连接至频谱分析仪。设置频谱分析仪：Res BW = 100 kHz，SPAN = 500 kHz。

给 BlueNRG-LP/BlueNRG-LP 平台上电。

使用 BlueNRG GUI、RF 测试窗口，在 Ch0 生成载波单音（频率为 2402 MHz）：

- 选中“high power”复选框以启用“high power mode”（SMPS 电压为 1.9 V）
- 选择功率等级 31。
- 点击“Start Tone”按钮。

使用以下 ACI 指令可获得相同结果：

- ACI_HAL_SET_TX_POWER_LEVEL (En_High_Power = 0x01, PA_Level: 31)
- ACI_HAL_TONE_START (RF_Channel = 0x00, offset = 0x00)。

7.6 预期结果

频谱分析仪测量的功率值约为 8 dBm。

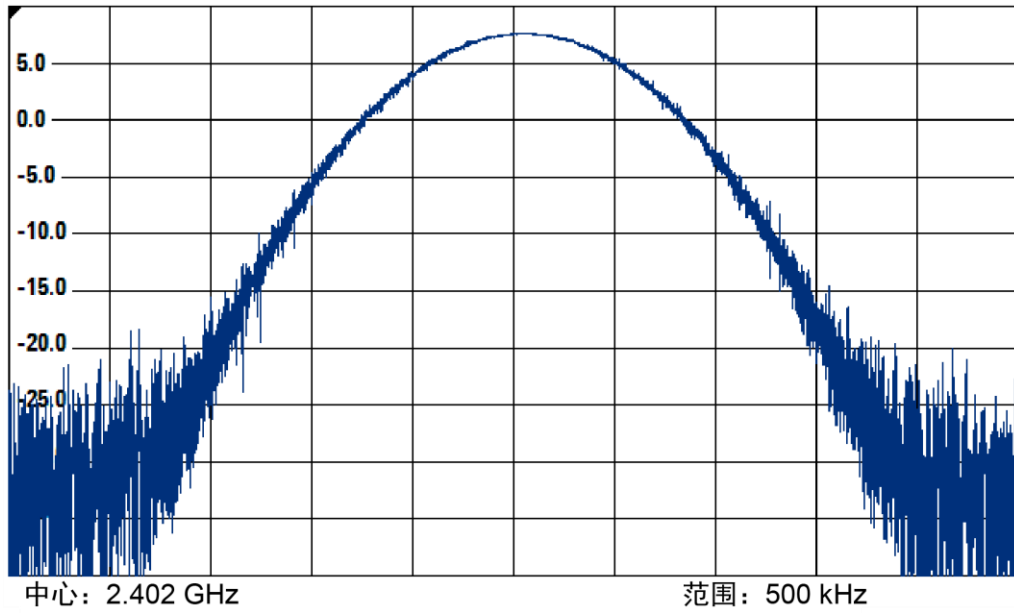
7.7 注释

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 4. PA_Level 31 时，高功率模式下的输出功率测量



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

为了执行这些测试，使用两个 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 开发板：一个用于测试仪，另一个用作 DUT。测试仪必须是经过验证的工作板。

8.3 测试说明

本测试的目的为验证 DUT 板能够正确发送和接收数据包。

8.4 测试设置

8.4.1 硬件

无需工具。

8.4.2 软件

将 DTM 固件加载到 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 器件中。使用 BlueNRG GUI 控制该器件。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

8.5 测试过程

为 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 器件（测试仪和 DUT 板）供电，并确保安装了天线。

按照以下步骤开始数据包交换测试并验证 DUT 板能够接收：

在与 DUT（接收设备）相关的 GUI 中

- 进入 RF 测试窗口的 RECEIVER 部分
- 设置接收频率
- 单击“Start Receiver”按钮以启动接收测试。

在与测试仪（发送设备）相关的 GUI 中

- 进入 RF 测试窗口的 TRANSMITTER 部分
- 设置发送功率
- 设置发送频率
- 将数据长度设置为 0x25
- 设置数据包有效负载格式
- 单击“Start Transmitter”按钮以启动“发送测试”。

在与测试仪（发送设备）相关的 GUI 中

- 单击“Stop Transmitter”按钮。显示已传输的数据包数量
- 显示在“已传输的数据包数量”字段。

在与 DUT（接收设备）相关的 GUI 中

- 单击“Stop Receiver”按钮。已接收的数据包数量显示在数据包接收器字段上
- 在 PER 部分，在“已传输的数据包”字段中插入从 Tx 设备传输的数据包数量（从与发送设备相关的 GUI 中的 TRANSMITTER 部分读取该值）
- PER（包错误率）值显示在“包错误率”字段。

使用以下 ACI 指令可获得相同结果：

- 启动 DUT 的接收：HCI_LE_ENHANCED_RECEIVER_TEST
- 使 Tx 板发送数据包：HCI_LE_ENHANCED_TRANSMITTER_TEST，测试数据长度：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：ACI_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
- 对调角色并重复测试，以验证 DUT 能够传输。

8.6 预期结果

在“干净的射频环境”（即，没有干扰）中，以无线方式收到的包个数应等于 Tx 板发送的包个数。

8.7 注释

任何其它具有 HCI 接口的设备均可替代测试仪。

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（安捷伦 E4438C，通过 GPIB 接口控制）作为 Tx，BlueNRG-1 开发板作为接收设备（DUT），如图 1. UFL 连接器中所示。
2. ST BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 演示套件作为发送设备，另外一套 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 开发板作为接收设备（DUT）。

9.3 测试说明

本测试的目的是验证 DUT 电路板的灵敏度。

9.4 测试设置

9.4.1 硬件

Tx: 安捷伦 E4438C 信号发生器或 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 演示套件。

Rx: 要测试的 DUT 应用板（参见图 1. UFL 连接器）。

9.4.2 软件

ST BlueNRG GUI 和与所选 BLE 协议栈模块化配置选项相关的 DTM 固件，加载至 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 器件中。请参考第 1.1 节“DTM 测试应用程序”。

9.5 测试过程

可使用两种测试过程。

9.5.1 信号发生器与 DUT 电路板

可执行如下步骤评估灵敏度：

1. 使用（没有明显损耗的）RF 电缆连接仪器与 DUT
2. 在 DUT 上启动接收：在 RF 测试窗口上，单击“Start Receiver”按钮
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. 在 DUT 上停止测试：在 RF 测试窗口上，单击“停止接收”按钮

“接收包”选项卡上显示了接收的包的数量。PER 为 1-Y/X。

若 PER 低于 0.308（30.8%），则回到步骤 2，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。直接使用以下 ACI 指令可获得相同结果：

1. 使用（没有明显损耗的）RF 电缆连接仪器与 DUT
2. 启动 DUT 的接收：HCI_LE_ENHANCED_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 2，将发射器的功率降低。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 意法半导体的演示套件和 DUT 电路板

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，连接两个电路板的 RF 输入/输出、DUT 和 ST BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS
2. 在与 DUT 接收设备相关的 GUI 中
 - 进入 RF 测试窗口的 RECEIVER 部分
 - 设置接收频率
 - 单击“Start Receiver”按钮以启动接收测试
3. 在与发送设备相关的 GUI 中
 - 进入 RF 测试窗口的 TRANSMITTER 部分
 - 设置发送功率
 - 设置发送频率
 - 将数据长度设置为 0x25
 - 设置数据包有效负载格式
 - 单击“Start Transmitter”按钮以启动“发射测试”
4. 在与发送设备相关的 GUI 中
 - 单击“Stop Transmitter”按钮。在已传输的数据包字段上显示已传输的数据包数量。
5. 在与 DUT 接收设备相关的 GUI 中
 - 单击“Stop Receiver”按钮。已接收的数据包数量显示在“已接收的数据包”字段上
6. 在 PER 部分，在“已传输的数据包”字段中插入从 Tx 设备传输的数据包数量（从与发送设备相关的 GUI 中的 TRANSMITTER 部分读取该值）
7. PER（包错误率）值显示在“包错误率”字段

若 PER 低于 0.308 (30.8%)，则回到步骤 2，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：使用单音而不是调制信号）。

此外，为降低 DUT 从无线接收的信号等级，ST BlueNRG-1 和 BlueNRG-2 演示套件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。

使用以下 ACI 指令可获得相同结果：

1. 使用可变衰减器，连接两个电路板的 RF 输入/输出、DUT 和 STM BlueNRG-1
2. 启动 DUT 的接收：HCI_LE_ENHANCED_RECEIVER_TEST
3. 使板发送数据包：HCI_LE_ENHANCED_TRANSMITTER_TEST，测试数据长度：0x25
4. 停止板的测试：HCI_LE_TEST_END
5. 继续发送指令，确定板所发送包的个数：ACI_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 2，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。

9.6 预期结果

预期值应与数据手册中的值相差几个 dB。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，因此意法半导体可以提供这两种硬件配置提供一个特定的软件，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-LP/BlueNRG-LPS 电流消耗情况是否与仿真的结果一致（使用网站 www.st.com 上提供的 BlueNRG 电流消耗评估工具（STSW-BNRG001）获取仿真值）。

10.4 测试设置

10.4.1 硬件

安捷伦 N6705B 功耗分析仪或示波器。

10.4.2 软件

该测试使用了一个让器件进入广播模式的应用程序（例如，BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS DK 开发套件/STSW-BNRGLP-DK/BLE_Examples/Firmware 文件夹中的功耗示例）。

10.5 测试过程

功耗分析仪必须串联至 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 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-LP/BlueNRG-LPS 平台供电并加载固件，使器件进入广播模式。捕获电流波形。

10.6 预期结果

平均电流应使用功耗分析仪仪器进行测量（参见图 5. 广播事件期间的典型电流曲线）。

这些实测值受设备配置参数的影响显著，如 HS_Startup_Time 和 32 kHz 晶振（外部或内部环形振荡器）。

图 5. 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-LP/ BlueNRG-LPS 器件的基本功能。

在蓝牙商标可被用于 BlueNRG-LP/ BlueNRG-LPS 器件之前，公司必须完成蓝牙兼容性测试，这意味着电路板必须合格并被授权。

因为 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 已经是一个合格产品，所以使用 BlueNRG-LP/ BlueNRG-LPS 器件的电路板不需要重新运行所有蓝牙测试。然而，在新 RF 设计中使用 BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 时，仍须测试 RF-PHY 层。如要了解需要进行哪些测试，请参考蓝牙官方网站 (<http://bluetooth.com/>) 上的当前测试用例参考列表 (TCRL) 和相关的 RF-PHY 测试规范。

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。尤其是工作在 2.4 GHz 未经授权的 ISM 频段的低功耗蓝牙产品，它必须兼容以下标准：

- 北美的 15.205 的 FCC 部分，15.209，15.247
- 欧洲的 ETSI EN 300 328
- 日本的 ARIB STD-T66。

可以手动执行蓝牙低功耗测试，但是有一些仪器来简化和自动化测试过程。

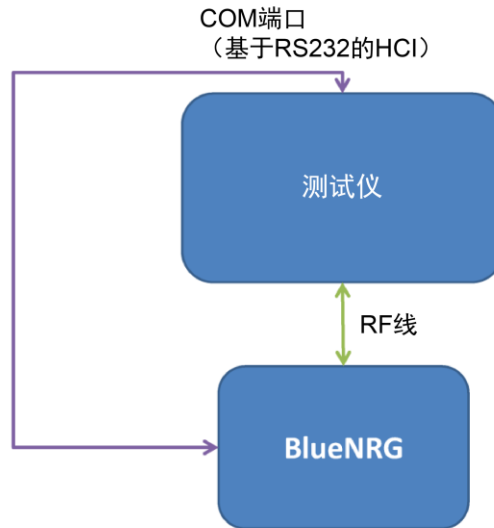
通常这些仪器有两种工作模式：

- 信令模式
- 非信令模式。

11.1 信令模式

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）连接至仪器。此外，DUT 还必须连接到仪器的一个端口，才能被仪器本身控制（为了开始/停止测试，以及从 DUT 接收反馈）。BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 支持基于 HCI 的直接测试模式，允许测试蓝牙低功耗的物理层（参见蓝牙规范，第 6 卷，F 部分：直接测试模式）。

图 6. 信令模式 RF 测试

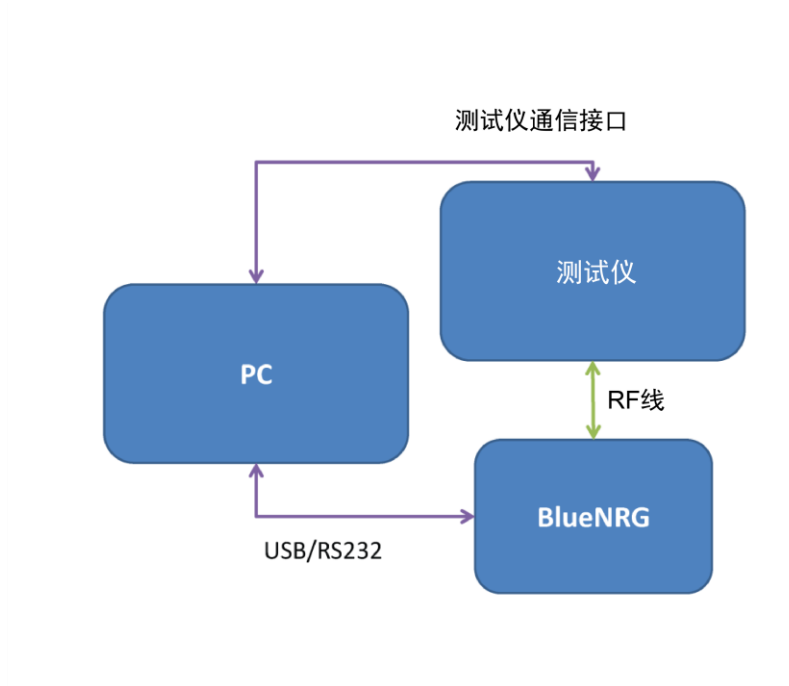


在测试设备上，与 DUT 通信的串行端口典型情况下为 RS232 接口。BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 带有一个 UART 接口，可以轻松兼容 RS-232 接口。通常需要电平转换器来适应两个接口的不同电压要求。

11.2 非信令模式

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。BlueNRG-LP/BlueNRG-LPS 可以使用 UART 或 SPI 作为通信接口。该器件可以通过 USB 转串口转换器连接到 PC。

图 7. 无信令模式 RF 测试



12 电路板生产时的 RF 测试

一旦最终的电路板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保器件工作正常。建议至少执行以下测试：

- 输出功率（参见第 7 节“输出功率测试”）和晶振频率校准测试（参见第 5 节“HSOSC 校准测试”）
- 数据包交换测试（参见第 8 节“包交换测试”）。

也可以使用专用工具执行一些测试，见第 11.1 节“信令模式”的说明。在此情况下，需要执行的测试为：

- 输出功率
- 载频偏移和漂移
- 接收灵敏度。

13 参考文件

1. BlueNRG-LP 数据手册 (DS13282)
2. BlueNRG-LPS 数据手册 (DS13819)
3. BlueNRG GUI 软件包 (STSW-BNRGUI) 用户手册 (UM2058)
4. RF-Flasher 实用程序 (STSW-BNRGFLASHER) 用户手册 (UM2406)

版本历史

日期	版本	变更
2020 年 7 月 27 日	1	初始版本。
2021 年 5 月 12 日	2	更新了第 6 节“LSOSC 校准测试”。
2022 年 4 月 6 日	3	更新了“引言”章节，第 1.1 节“DTM 测试应用程序”、第 3 节“设备配置”和第 13 节“参考文件”。 更新了图 1. UFL 连接器。 在整个文档中增加了 BlueNRG-LPS 参考文件。

目录

1	应用 PCB 测试点	2
1.1	DTM 测试应用程序	2
2	电源测试	3
2.1	测试用例规范标识符	3
2.2	测试必备条件	3
2.3	测试说明	3
2.4	测试设置	3
2.4.1	硬件	3
2.4.2	软件	3
2.5	测试过程	3
2.6	预期结果	3
2.7	注释	4
2.8	其它	4
3	设备配置	5
4	HS_Startup_Time	6
4.1	测试用例规范标识符	6
4.2	测试必备条件	6
4.3	测试说明	6
4.4	测试设置	6
4.4.1	硬件	6
4.4.2	软件	6
4.5	测试过程	6
4.6	预期结果	6
4.7	注释	7
4.8	其它	7
5	HSOSC 校准测试	8
5.1	测试用例规范标识符	8
5.2	测试必备条件	8
5.3	测试说明	8
5.4	测试设置	8
5.4.1	硬件	8
5.4.2	软件	8
5.5	测试过程	8

5.6	预期结果.....	9
5.7	注释.....	9
5.8	其它.....	9
6	LSOSC 校准测试.....	10
6.1	测试用例规范标识符.....	10
6.2	测试必备条件.....	10
6.3	测试说明.....	10
6.4	测试设置.....	10
6.4.1	硬件.....	10
6.4.2	软件.....	10
6.5	测试过程.....	10
6.6	预期结果.....	10
6.7	注释.....	11
6.8	其它.....	11
7	输出功率测试.....	12
7.1	测试用例规范标识符.....	12
7.2	测试必备条件.....	12
7.3	测试说明.....	12
7.4	测试设置.....	12
7.4.1	硬件.....	12
7.4.2	软件.....	12
7.5	测试过程.....	12
7.6	预期结果.....	12
7.7	注释.....	12
7.8	其它.....	12
8	包交换测试.....	14
8.1	测试用例规范标识符.....	14
8.2	测试必备条件.....	14
8.3	测试说明.....	14
8.4	测试设置.....	14
8.4.1	硬件.....	14
8.4.2	软件.....	14
8.5	测试过程.....	14
8.6	预期结果.....	15

8.7	注释.....	15
8.8	其它.....	15
9	灵敏度测试.....	16
9.1	测试用例规范标识符.....	16
9.2	测试必备条件.....	16
9.3	测试说明.....	16
9.4	测试设置.....	16
	9.4.1 硬件.....	16
	9.4.2 软件.....	16
9.5	测试过程.....	16
	9.5.1 信号发生器与 DUT 电路板.....	16
	9.5.2 意法半导体的演示套件和 DUT 电路板.....	17
9.6	预期结果.....	18
9.7	注释.....	18
9.8	其它.....	18
10	广播模式中的功耗.....	19
10.1	测试用例规范标识符.....	19
10.2	测试必备条件.....	19
10.3	测试说明.....	19
10.4	测试设置.....	19
	10.4.1 硬件.....	19
	10.4.2 软件.....	19
10.5	测试过程.....	19
10.6	预期结果.....	19
10.7	注释.....	20
10.8	其它.....	20
11	RF 测试认证.....	21
11.1	信令模式.....	21
11.2	非信令模式.....	22
12	电路板生产时的 RF 测试.....	24
13	参考文件.....	25
	版本历史.....	26

表格索引

表 1.	测试点.....	2
表 2.	供电测试结果.....	3

图片目录

图 1.	UFL 连接器	2
图 2.	BlueNRG GUI 器件配置仪器	5
图 3.	Ch0 处的频率单音用于 XTAL 校准测试	9
图 4.	PA_Level 31 时, 高功率模式下的输出功率测量	13
图 5.	广播事件期间的典型电流曲线	20
图 6.	信令模式 RF 测试	22
图 7.	无信令模式 RF 测试	23

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“意法半导体”）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意法半导体产品的最新信息。意法半导体产品的销售依照订单确认时的相关意法半导体销售条款。

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

意法半导体不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的意法半导体产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致意法半导体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。

© 2023 STMicroelectronics - 保留所有权利