

# LPRF BlueNRG-12 Level-3 training

## BlueNRG12 Low Power Mode

Kevin GUO - LPRF

Analog & MEMS Group



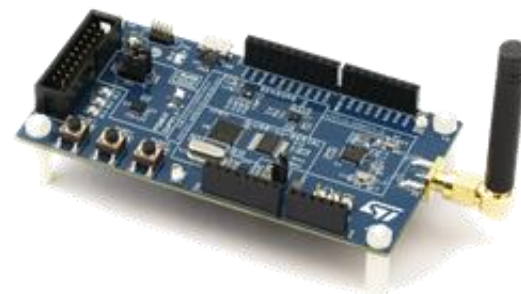
# BlueNRG-1&2功耗管理状态机

2



BlueNRG-1集成了低压差稳压器（LDO）和降压DC-DC转换器，为内部BlueNRG-1电路供电。

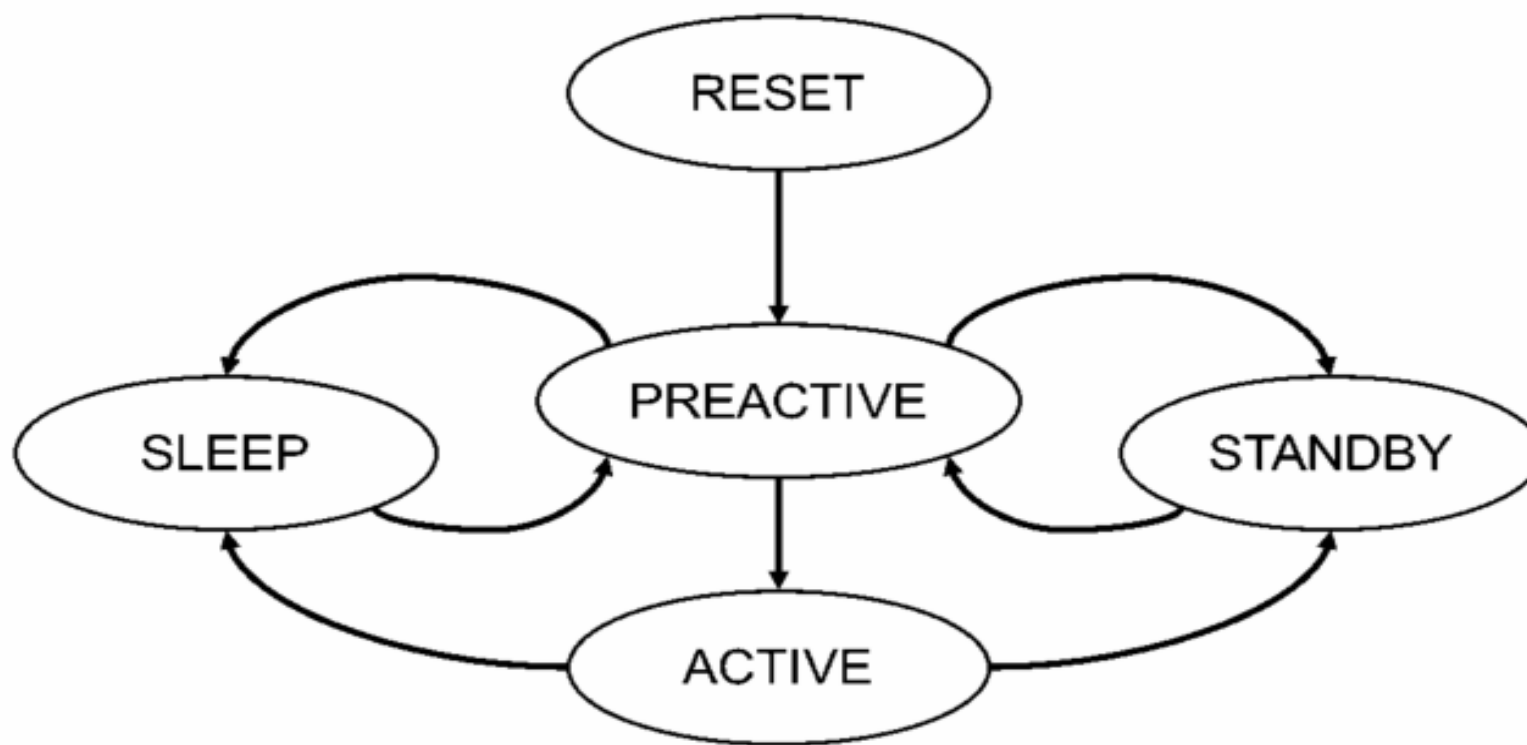
BlueNRG-1最高效的电源管理配置采用DC-DC转换器，可在不影响性能的情况下获得最佳功耗。如果需要也可以使用基于LDO的配置。



# 状态机的简化版本如下所示：



Figure 5. BlueNRG-1 power management state machine



# 预活动状态(Pre-active)

4



预活动状态是POR事件后的默认状态。在这种状态下：

- 所有数字电源都稳定。
- 高频时钟在内部快速时钟RO振荡器（16 MHz）上运行。
- 低频时钟在内部RC振荡器（32.768 kHz）上运行。



# 活动状态(Active)

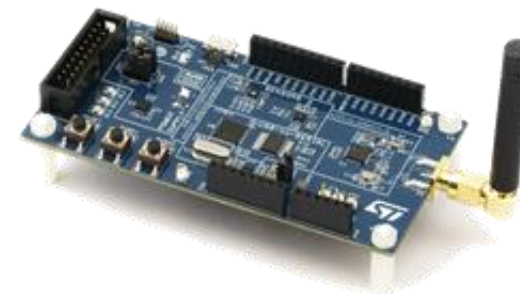
5



在这种状态：

- 高频运行在外部XO提供的精确时钟（16 MHz $\pm$ 50 ppm）上。  
内置的快速时钟RO振荡器关闭。

注：如果外部XO为32 MHz，则需要进行一些特定编程，请参见切换到外部时钟。



# 待机状态(Standby)

6

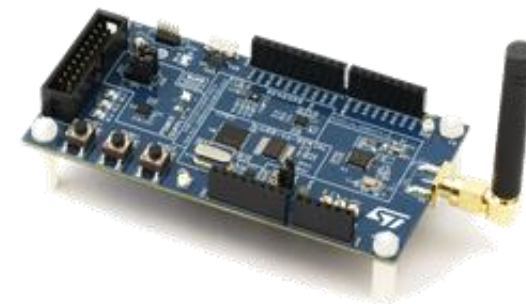


在这种状态:

- 仅使用保持RAM保持所需的数字电源。

从这种低功耗状态唤醒是由以下来源驱动的:

IO9,IO10,IO11,IO12,IO13



# 睡眠状态(Sleep)

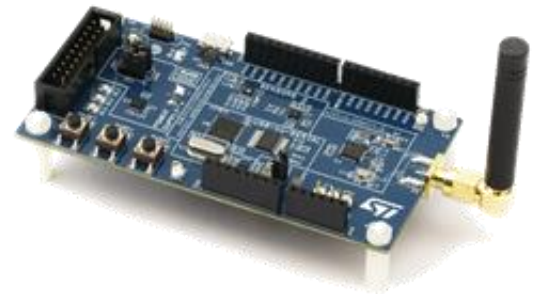
7



在这种状态:

- 仅使用保持RAM保持所需的数字电源。
- 低频振荡器已打开。

从这种低功耗状态唤醒是由以下来源驱动的:  
IO9,IO10,IO11,IO12,IO13





# IO唤醒源

8

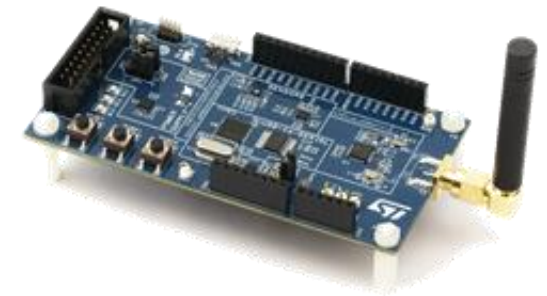
编程为唤醒源的IO需要根据所选的电平灵敏度进行外部驱动。高电平唤醒需要加下拉电路，低电平唤醒需要加上拉电路。

如果未应用外部驱动器，则IO9，IO10和IO11仅对低电平敏感，因为它们具有内部上拉电阻（默认激活）。IO12和IO13没有内部拉力，因此需要外部驱动器。





唤醒时间通常为 $200\mu\text{s}$  @3.0 V, 25°C





应用节电策略基于时钟停止，动态时钟门控，数字电源关闭和模拟电流消耗最小化。

下面提供功能块与BlueNRG-1状态的摘要：

**Table 2. Relationship between the BlueNRG-1 states and functional blocks**

Functional blocks	RESET	STANDBY	SLEEP	Preactive	Active	LOCK RX/ LOCK TX	RX	TX
LDO_SOFT_1V2 or LDO_SOFT_0V9	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
LDO_STRONG_1V2	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
LDO_DIG_1V8	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
SMPS	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
LDO_DIG_1V2	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON
BOR	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
16 MHz RO	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
16 MHz XO	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON
32 kHz RO or XO	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON

# BlueNRG-1&2功耗模式

11



BlueNRG-1和BlueNRG-2硬件提供三种低功耗模式，以实现最佳低功耗、短启动时间和可用唤醒源之间的协调。

## CPU-Halt模式

此模式下仅CPU停止，所有设备外围设备继续运行，可在中断/事件发生时唤醒CPU。

# BlueNRG-1&2功耗模式

12



BlueNRG-1和BlueNRG-2硬件提供三种低功耗模式，以实现最佳低功耗、短启动时间和可用唤醒源之间的协调。

## 睡眠模式(Sleep)

此模式下CPU停止运行并禁用所有外围设备，只有低速振荡器块和外部唤醒源运行。

- 唤醒源是唤醒定时器(Wakeup Timer)或IO9, IO10, IO11(UART\_RX), IO12和IO13。
- 一旦触发唤醒，系统将恢复运行(Run)模式，并打开所有外围设备。退出睡眠模式(Sleep)，应用程序需要等到高速振荡器稳定。

# BlueNRG-1&2功耗模式

13



BlueNRG-1和BlueNRG-2硬件提供三种低功耗模式，以实现最佳低功耗、短启动时间和可用唤醒源之间的协调。

## 待机模式(Standby)

此模式下CPU停止运行并禁用所有外围设备，唯一的唤醒源是IO9，IO10，IO11，IO12和IO13。

- 退出待机模式(Standby)，应用程序需要等到高速和低速振荡器稳定。此模式是最高省电模式。

SDK Symbol	Power Mode	SDK Symbol	Current(uA)	Wakeup Source	RTC Enabled?	CPU & Peripheral Status
	Run	SLEEPMODE_RUNNING	1900 @DC-DC ON 3300 @DC-DC OFF	--	Y	CPU+Flash+RAM+Peripheral Active
	CPU-HALT	SLEEPMODE_CPU_HALT		1. Any interrupt/events(includes VTimer) 2. POR	Y	CPU Disabled, All peripherals enabled
	Sleep	SLEEPMODE_WAKE_TIMER	0.9 @DC-DC on,32KHz XO ON+24K RAM retention 2.1 @ @DC-DC on,32KHz RO ON+24K RAM retention	1. Wakeup timer 2. DIO 9~13 3. POR	N	CPU/All peripherals Disabled
	Standby	SLEEPMODE_NOTIMER	0.5	1.DIO 9~13 2.POR	N	CPU/All peripherals Disabled



# BlueNRG-1&2功耗模式支持

15

BlueNRG-1\_2 SDK软件包提供对BlueNRG-1&2低功耗模式的支持。低功耗软件将来自应用的低功耗请求与无线电操作模式相结合，选择适用于当前场景的最佳低功耗模式。无线电模块和应用程序请求之间的这种协商防止了数据丢失，并且由低功耗程序执行。

**当BlueNRG-1和BlueNRG-2退出任何低功耗模式时，将发生复位：所有外设配置和应用程序上下文都将丢失。**

低功耗软件实现了一种机制，用于在调用省电程序时保存和恢复所有外设配置和应用程序上下文。因此，从应用的角度来看，低功耗程序的退出是完全透明的：当从低功耗模式唤醒时，CPU执行低功耗函数调用之后的下一条指令。



# 低功耗软件实现以下省电模式

16

Figure 1. BlueNRG-1 and BlueNRG-2 power save modes

Sleep Mode
RUNNING
CPU_HALT
WAKETIMER
NOTIMER

Highest power consumption  
↓  
Lowest power consumption

通过调用 **BlueNRG\_Sleep()** 选择功耗模式:

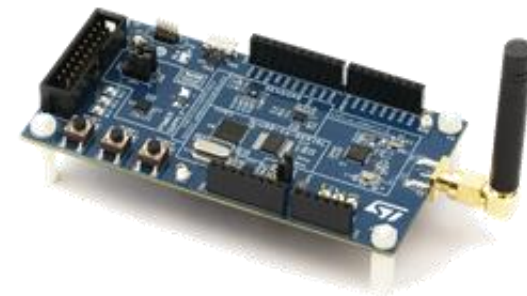
```
uint8_t BlueNRG_Sleep(SleepModes
```

```
sleepMode,
```

```
uint8_t gpioWakeBitMask,
```

```
uint8_t
```

```
gpioWakeLevelMask);
```





*SleepMode*是启用以下功能的低功耗模式：

- SLEEPMODE\_RUNNING- SLEEPMODE\_CPU\_HALT- SLEEPMODE\_WAKETIMER - SLEEPMODE\_NOTIMER

•*gpioWakeBitMask*是IO的位掩码，可以将芯片从低功耗模式唤醒：

- WAKEUP\_IO9 - WAKEUP\_IO10 - WAKEUP\_IO11 - WAKEUP\_IO12- WAKEUP\_IO13

如果此字段为零，则忽略*gpioWakeLevelMask*参数，即表示禁止IO唤醒。

•*gpioWakeLevelMask*是一个位掩码，用于为每个唤醒源设置活动唤醒级别：

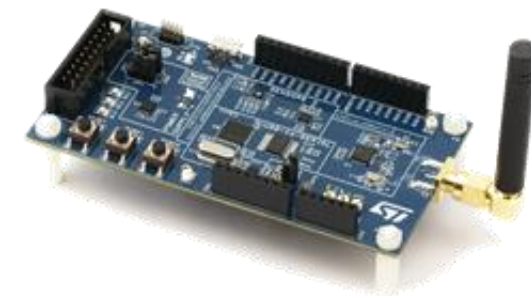
- WAKEUP\_IOx\_LOW，当IO为低电平时系统唤醒

- WAKEUP\_IOx\_HIGH，当IO为高电平时系统唤醒

该函数返回状态：

•BLUENRG\_SLEEP\_CONFIGURATION\_ERROR

•SUCCESS



# BlueNRG-1&2功耗模式支持

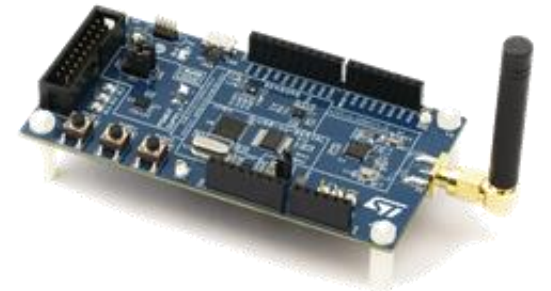
18



低功耗程序可以导出对应用有用的其他功能：

- BlueNRG\_WakeupSource

此功能从低功耗模式返回最后一个唤醒源。



# BlueNRG-1&2 低功耗示例

19

## Low power SLEEPMODE\_CPU\_HALT

该模式下CPU停止运行，外设可正常操作并可唤醒CPU。

```
while(1) /*main loop*/  
{  
    /* BLE Stack Tick */  
    BTLE_StackTick();  
    /* Application Tick */  
    APP_Tick();  
    /* Power Save management */  
    BlueNRG_Sleep(SLEEPMODE_CPU_HALT, 0, 0);  
}
```

在这种低功耗模式下，唯一的唤醒源是外设中断。

如果无线电操作模式不允许这种低功耗请求，因为它正在执行不可停止的操作，低功耗模式会在SLEEPMODE\_RUNNING中低功耗软件内自动转换。

## Low power SLEEPMODE\_WAKETIMER

该模式下CPU和外设都不工作，只有低频振荡器(VTimer)和外部唤醒源(GPIO9~13)工作。

```
/* Starts the VTimer 0 with timeout 2 sec. */  
HAL_VTimerStart_ms(0, 2000);  
while(1) /*main loop*/  
{  
    /* BLE Stack Tick */  
    BTLE_StackTick();  
    /* Application Tick */  
    APP_Tick();  
    /* Power Save management */  
    BlueNRG_Sleep(SLEEPMODE_WAKETIMER,  
        WAKEUP_IO13,  
        WAKEUP_IOx_LOW<< WAKEUP_IO13_SHIFT_MASK);  
}
```

# BlueNRG-1&2 低功耗示例

21

唤醒源设置为IO13低电平; 应用程序设置虚拟计时器以在2s超时发生时唤醒系统。

在这种情况下, 应用程序启用低功耗模式WAKETIMER。如果RF操作模式处于连接或广告(Advertising)状态, 则BLE Stack接受应用程序提出的低功耗模式, 但如果需要, 可以在应用超时之前唤醒系统以遵循连接间隔时间配置规范或广告(Advertising)间隔时间规范。

# BlueNRG-1&2 低功耗示例

22

## Low power SLEEPMODE\_NOTIMER

该模式下CPU和外设都不工作，只有外部唤醒源（GPIO9,10,11,12,13）工作。

```
while(1) /*main loop*/  
{  
    /* BLE Stack Tick */  
    BTLE_StackTick();  
    /* Application Tick */  
    APP_Tick();  
    /* Power Save management */  
    BlueNRG_Sleep(SLEEPMODE_NOTIMER,  
        WAKEUP_IO13,  
        WAKEUP_IOx_HIGH << WAKEUP_IO13_SHIFT_MASK);  
}
```

# BlueNRG-1&2 低功耗示例

23

唤醒源为GPIO13，高电平有效。

在这种情况下，应用程序启用低功耗模式NOTIMER。如果RF处于连接状态，则在与RF协议栈协商之后，低功耗程序将低功耗模式改变为WAKETIMER以适应连接时间配置文件。相反，如果无线电模块处于空闲状态，则无线电栈接受来自应用程序请求的低功耗模式NOTIMER，并且低功耗程序不会改变它。

# BlueNRG-1&2唤醒或复位原因

24

BlueNRG-1提供了一组寄存器用于识别复位和唤醒产生原因。使用两个寄存器：CKGEN\_SOC-> REASON\_RST和CKGEN\_BLE-> REASON\_RST。可能的原因如下：

1.如果寄存器CKGEN\_SOC-> REASON\_RST = 0，则根据CKGEN\_BLE-> REASON\_RST

可能的原因是：

**从IO9, IO10, IO11, IO12, IO13唤醒**

**从内部定时器唤醒：BLE定时器1或BLE定时器2**

**上电复位(POR)或掉电复位(BOR)**



# BlueNRG-1&2唤醒或复位原因

25

2.如果寄存器CKGEN\_SOC-> REASON\_RST不为0，则根据其值可能的原因是：

## **系统复位(System Rest)**

系统复位请求由Cortex-M0的调试电路产生。调试器写入“应用程序中断和复位控制寄存器”(AIRCR)的SYSRESETREQ位。通过AIRCR寄存器的系统复位请求也可以通过嵌入式软件完成。系统复位请求不会影响调试器，从而允许调试器在复位序列期间保持连接状态。

## **看门狗复位(Watchdog Reset)**

BlueNRG-1包含一个看门狗定时器，可用于从软件崩溃中恢复。看门狗包含一个32位递减计数器，它产生一个中断，如果没有服务该中断，看门狗会产生一个复位。看门狗复位会复位Flash控制器，Cortex-M0及其所有外设，但它不会复位Cortex-M0的调试电路。

## **锁定复位(LOCKUP Reset)**

Cortex-M0生成一个输出LOCKUP，表明内核处于由不可恢复的异常导致的故意锁定状态。LOCKUP信号用于在BlueNRG-1中产生复位，这会影响Cortex-M0，Flash控制器和所有外设。LOCKUP信号不会复位Cortex-M0调试电路，如果连接了调试器，则不会生成它。

本节介绍BLE广告(Advertising)和连接时间内的典型电流消耗测量值。

要进行这些测量，使用了以下配置：

- 硬件： STEVAL-IDB007V1
- 固件： BlueNRG-1\_2 DK软件包中发布的BLE\_Power\_Consumption测试软件
- 电源： 3.3 V
- Tx功率： -2 dBm
- 保留： 24KB RAM retention
- 晶体启动时间： 642 $\mu$ s
- Master SCA： 100 ppm
- Slave SCA： 100 ppm
- 广告(Advertising)时间间隔： 100 ms和1000 ms， 包长28Bytes
- 连接间隔： 100 ms和1000 ms， 空数据包

**Table 1. BlueNRG-1 current consumption values**

BLE scenario	Real current consumption	Estimated current consumption
Advertising interval 100 ms	136.931 $\mu$ A	181.8 $\mu$ A
Advertising interval 1000 ms	15.342 $\mu$ A	18.99 $\mu$ A
Connection interval 100 ms	50.423 $\mu$ A	48.81 $\mu$ A
Connection interval 1000 ms	7.059 $\mu$ A	6.95 $\mu$ A

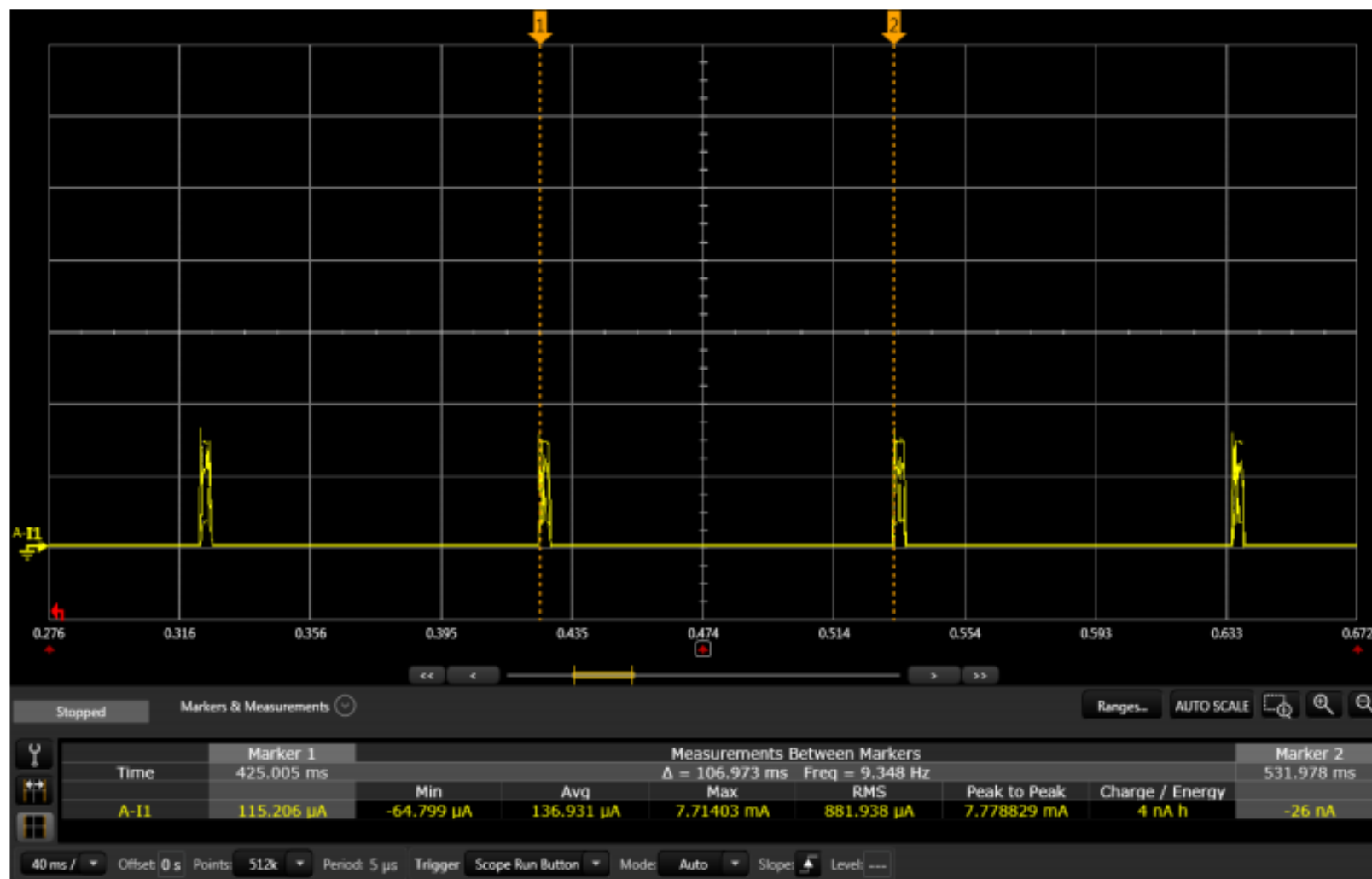
使用BlueNRG电流消耗估计工具（STSW-BNRG001）计算第三列值。

# BLE电流消耗测量

28

以下图片显示了两个间隔的广告(Advertising)过程快照（数据包长度为28个字节）。

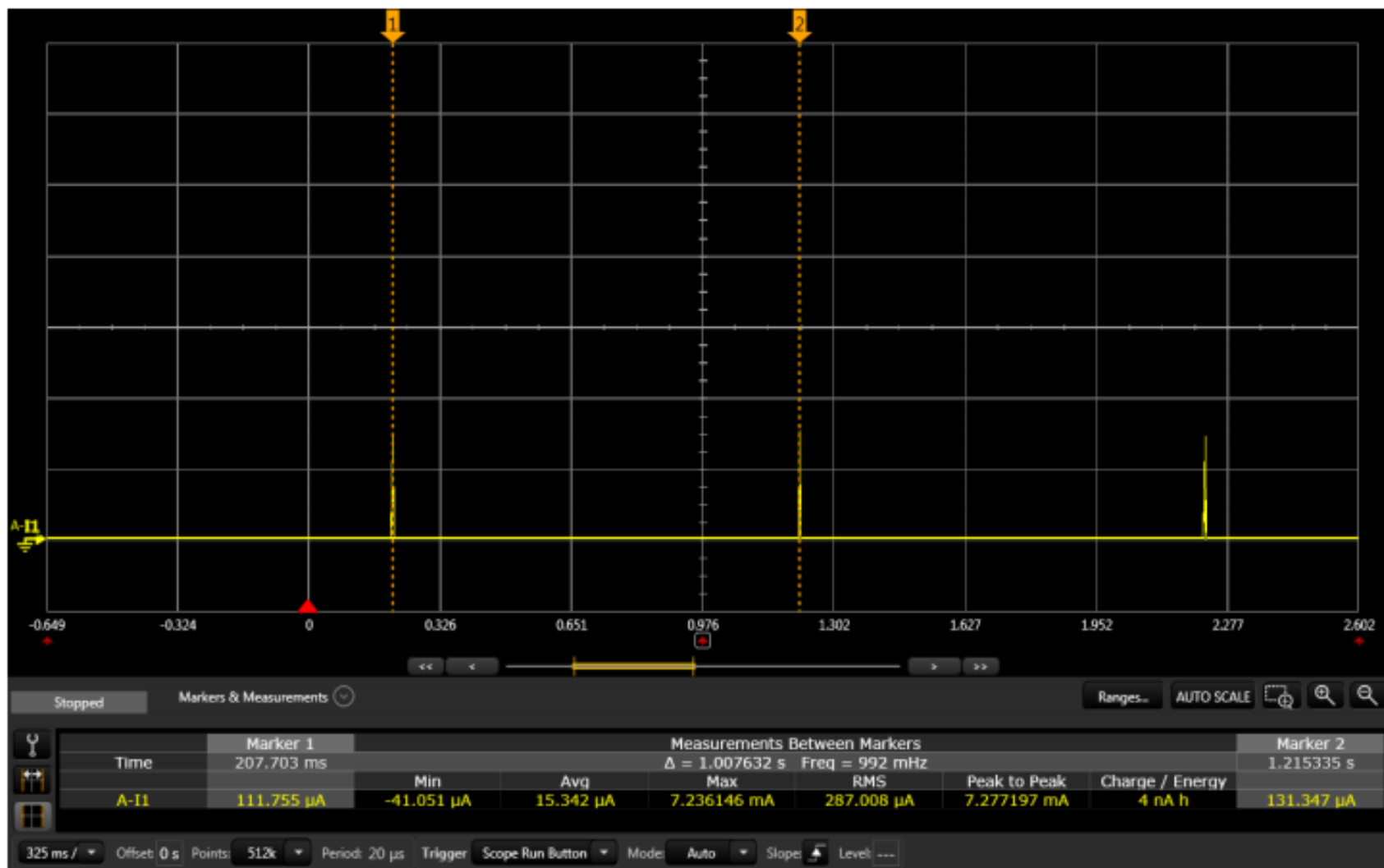
Figure 2. BlueNRG-1 advertising procedure: interval 100 ms



# BLE电流消耗测量

29

Figure 3. BlueNRG-1 advertising procedure: interval 1000 ms

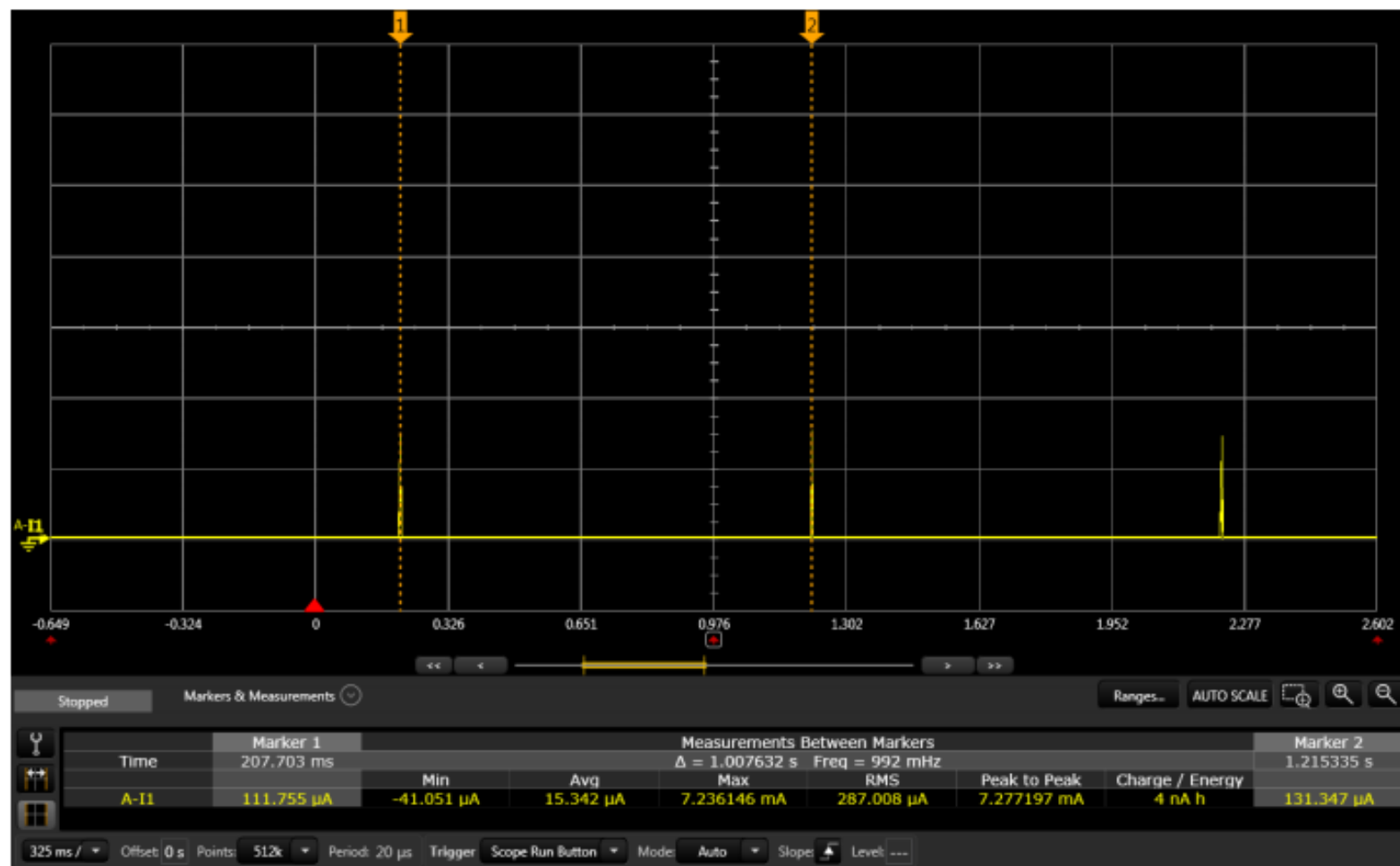


# BLE电流消耗测量

30

以下图片显示了两个间隔的连接过程快照（带有空数据包）

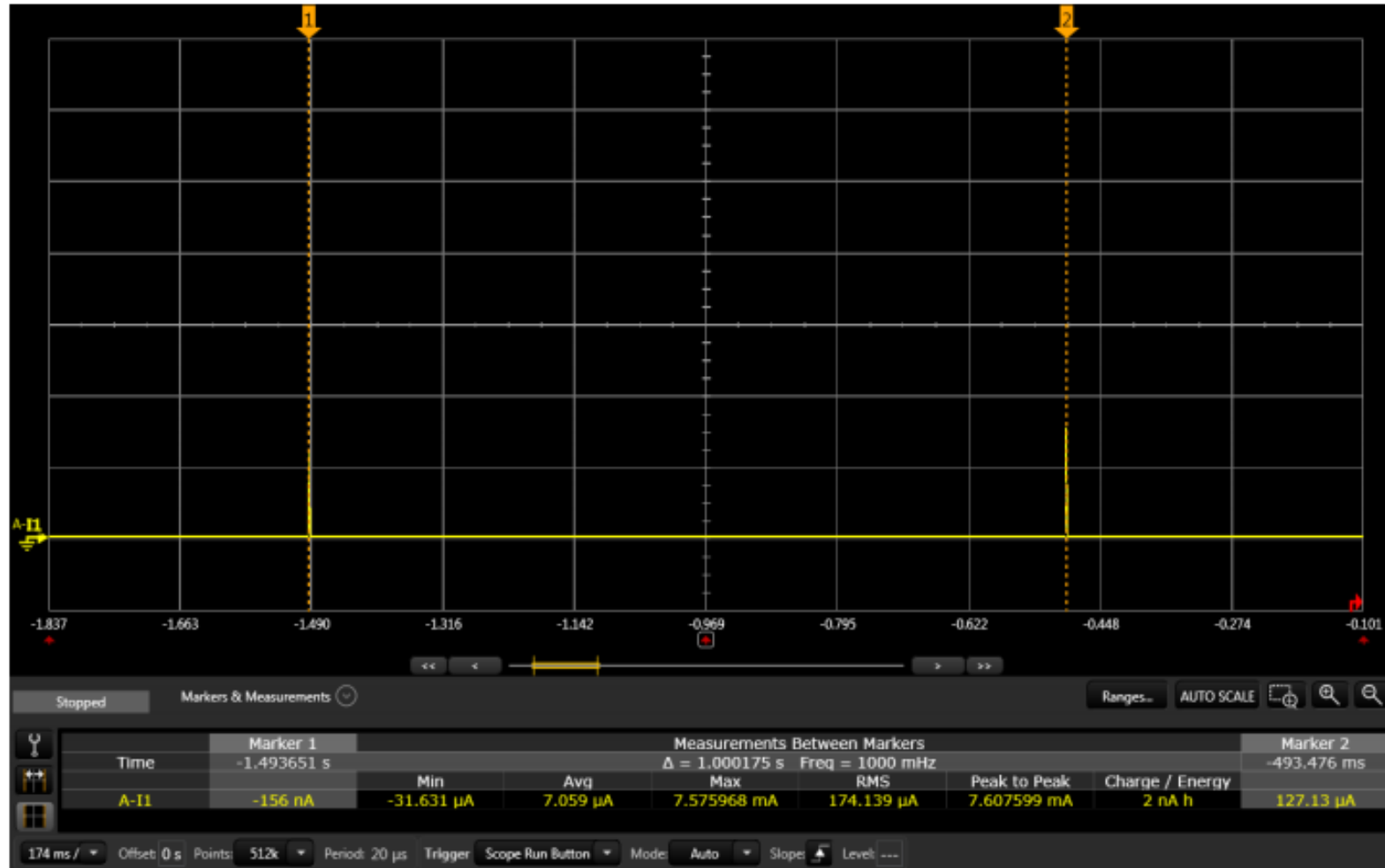
Figure 3. BlueNRG-1 advertising procedure: interval 1000 ms



# BLE电流消耗测量

31

Figure 5. BlueNRG-1 connection procedure: interval 1000 ms

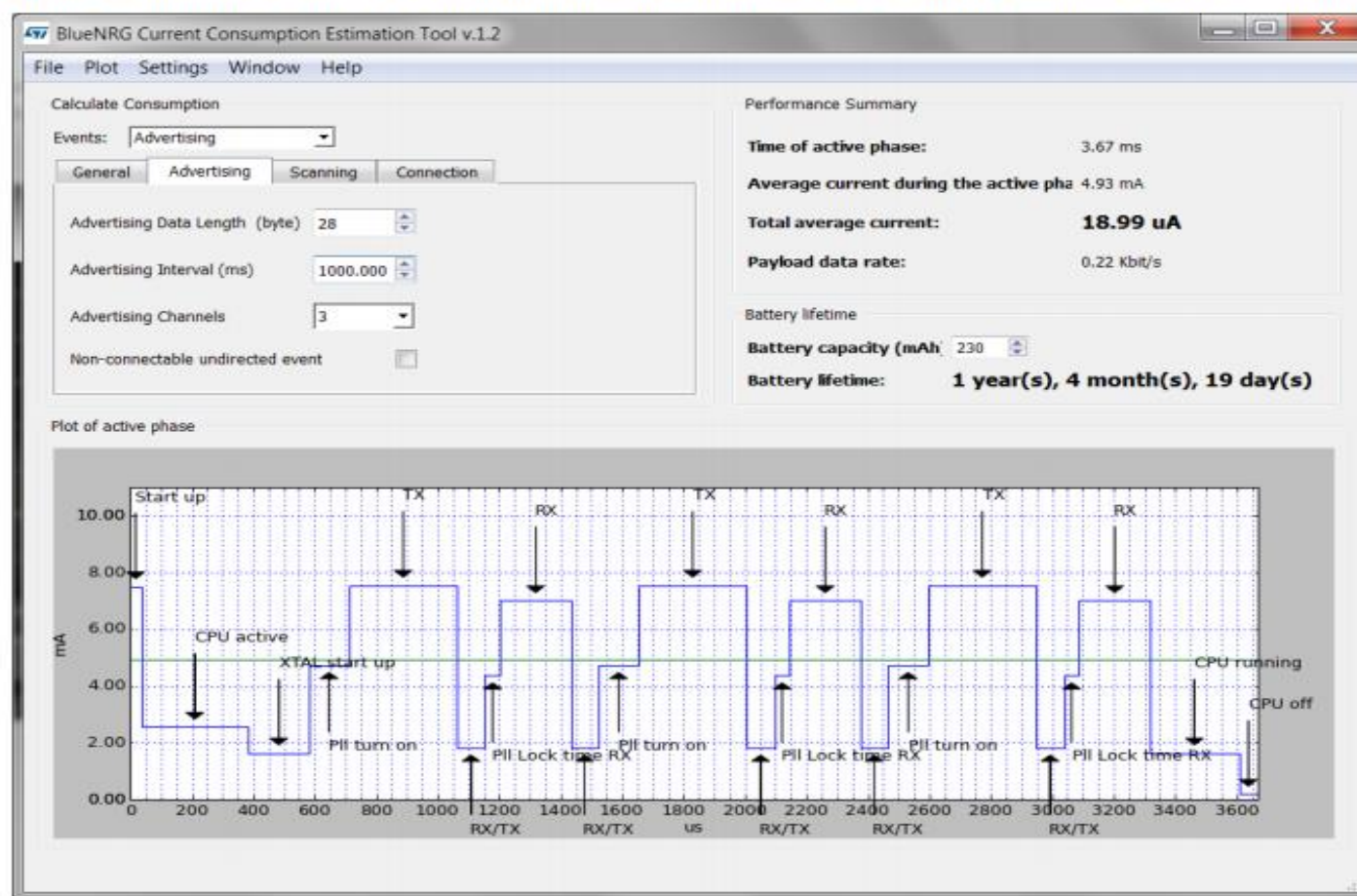


# BLE电流消耗测量

32

以下图片比较了广告(Advertising)期间测量的直流电源分析仪电流波形程序和通过BlueNRG电流消耗估算工具计算的估计波形（1000ms广告(Advertising)时间间隔和28字节数据包长度）。

Figure 6. BlueNRG Current Consumption Estimation Tool: advertising scenario power estimation





# BLE电流消耗测量

33

以下图片比较了广告(Advertising)期间测量的直流电源分析仪电流波形程序和通过BlueNRG电流消耗估算工具计算的估计波形（1000ms广告(Advertising)时间间隔和28字节数据包长度）。

Figure 7. BlueNRG-1 advertising scenario power consumption

