

Application Note

CC33xx/CC35xxE 简化射频测试指南



Zach Robbins

摘要

本指南涵盖以下 TI 器件的基本射频测试程序：CC3300、CC3301、CC3350、CC3351、CC3300MOD、CC3301MOD、CC3350MOD、CC3351MOD、CC3501E 和 CC3551E。测试包括 TX 功率、误差矢量幅度 (EVM)、RX 灵敏度和频率精度。按照本指南，用户可以表征硬件原型的性能，甚至对最终产品执行法规测试。

内容

1 所需物品.....2

2 可用工具概述.....3

3 开始使用 Radio Tool.....3

4 开始使用 Calibrator Tool.....4

5 Wi-Fi 测试.....5

 5.1 使用 Radio Tool 进行 TX 测试.....5

 5.2 使用 Calibrator Tool 进行 TX 测试.....7

 5.3 使用 Radio Tool 进行 RX 测试.....8

 5.4 使用 Calibrator Tool 进行 RX 测试.....9

6 BLE 测试.....9

 6.1 使用 Radio Tool 测试 TX 功率.....10

 6.2 使用 HCI 命令测试 TX 功率.....10

 6.3 使用 Radio Tool 测试 RX 灵敏度.....11

 6.4 使用 HCI 命令测试 RX 灵敏度.....11

7 故障排除/常见问题解答.....12

8 占空比表.....12

9 总结.....13

10 参考资料.....13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 所需物品

执行射频测试需要以下各项：

- CC33xx 或 CC35xxE。此项为被测器件 (DUT)
- 计算机
- VSA/VSG (例如 LitePoint)。可使用频谱分析仪 (SA) 进行 TX 测量，但可能会导致错误解读 TX 功率测量结果 (请参阅[故障排除/常见问题解答](#)部分)
- 已下载的最新 SDK。从中可以找到 Calibrator Tool 和 Radio Tool 指南。
 - CC33xx [SDK](#)
 - CC35xxE [SDK](#)
 - [Wi-Fi Toolbox](#) (包括 Radio Tool)
- 适用的调试器 (例如 LP-XDS110ET)
- 必要的布线 (请参阅[图 1-1](#) 和 [图 1-2](#))

如果使用 Radio Tool：需要使用最新版本的 Google Chrome (支持其他网络浏览器；但推荐使用 Chrome)

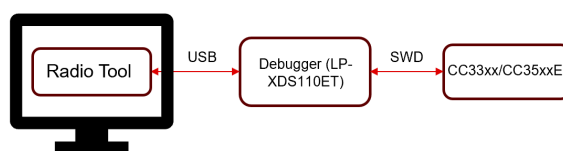


图 1-1. Radio Tool 的布线设置

如果使用 Calibrator Tool：需要一个终端应用程序 (例如 PuTTY)

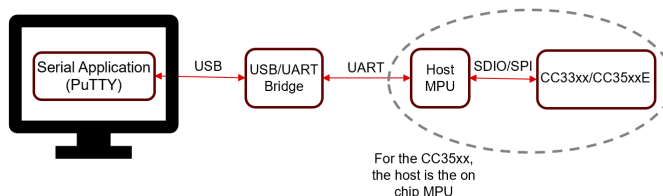


图 1-2. Calibrator Tool 的布线设置

备注

如果将 CC33xx 与 LP-XDS110ET 配合使用，则需要在电平转换器电压选择器的引脚 2 和 3 之间放置一个跳线，以便通过目标电路板供电。请参阅下图 (来自 [BP-CC3351 用户指南](#))

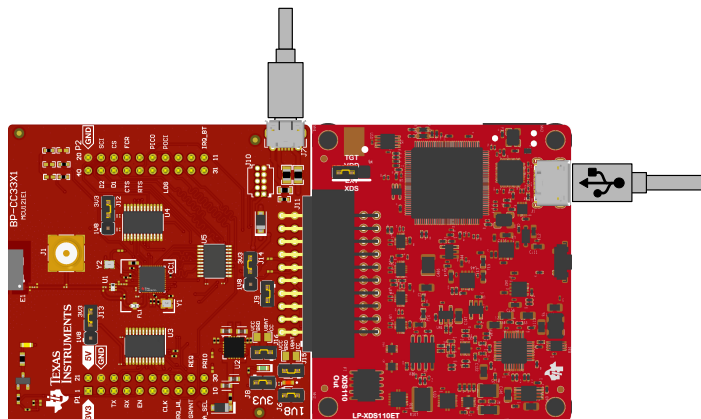


图 1-3. LP-XDS110ET 上的跳线位置示意图

2 可用工具概述

Radio Tool 是一款依赖 SWD 接口的 GUI。TI 评估套件 (EVK) 无缝集成了 LP-XDS110ET 调试器，因此建议在 EVK 上进行测试的用户选择 Radio Tool。这些套件包括 BP-CC3351 或 LP-EM-CC35x1，与 LP-XDS110ET 搭配使用。

Calibrator Tool 是一款命令行界面 (CLI)，其在主机上运行，这意味着不再需要调试器。对于 CC33xx，主机为配套的 MPU；对于 CC35xxE，则为内部 MCU。

3 开始使用 Radio Tool

如果使用 Radio Tool 进行测试，请按照以下步骤操作。

1. 打开“simplelink-wifi-toolbox”应用程序并启动 Radio Tool。此时将显示初始屏幕，如图 3-1 所示

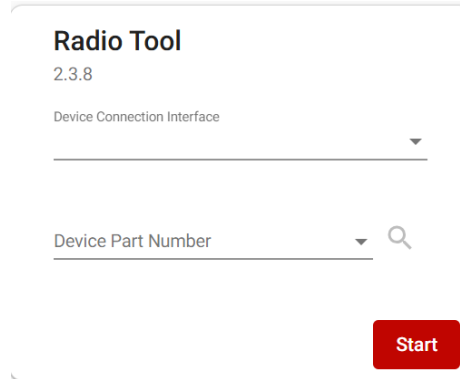


图 3-1. Radio Tool 主页

2. 在第一个下拉列表中，选择 XDS110。在第二个下拉列表中，选择与器件匹配的序列号。如果未显示序列号，请单击刷新按钮。

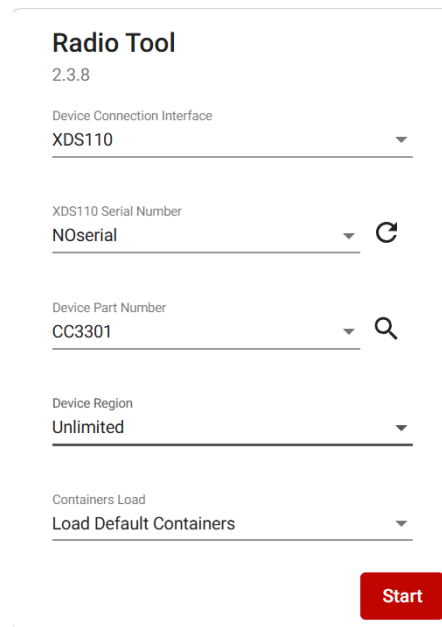


图 3-2. Radio Tool XDS110 连接页面

3. 选择与电路板对应的器件型号（例如 CC3301）。
4. 选择相应的区域：对于 IC 测试，该项必须为 Unlimited，才能实现完全符合 IEEE 标准的性能。对于模块测试，请选择其他区域，以启用为满足法规遵从性而施加的功率限制。
5. 选择所需的容器类型。TI 建议加载默认容器，但提供以下选项
 - 预加载：如果所需的软件在之前会话中已加载到器件上，请选择该选项
 - 默认值：选择此选项可加载官方 Wi-Fi Toolbox 集成软件

- 定制：如果需要将定制引导加载程序、固件和/或配置文件加载到器件上，请选择此选项。有关更多信息，请参阅 **Radio Tool 指南**

6. 单击 **Start**。现在，用户已准备好使用 **Radio Tool** 执行测试。

4 开始使用 **Calibrator Tool**

如果使用 **Calibrator Tool** 进行测试，请按照以下步骤操作。注意：**Calibrator Tool** 在网络终端内运行。

- 在计算机上，打开设备管理器并记下分配的 **COM** 端口号。对于 **CC33xx**，仅显示一个选项。对于 **CC35xxE**，请记下“**Class Application/User UART**”旁边的数字。
- 打开 **PuTTY** (或其他终端应用程序)，在 **Connection Type** 下选择 **Serial**。
- 在 **Serial Line** 下输入 **COM** 端口号。
- 选择与主机串行接口对应的波特率。TI SDK 的默认值为 115200。
- (仅限 **CC35xxE**)：输出应与图 4-1 类似。

```

=====
Available commands:

help                clear                wlan_ap_role up      wlan_ap_role_down
wlan_sta_role_up    wlan_sta_role_down wlan_connect          wlan_set_early_term
wlan_get_early_term wlan_disconnect      wlan_scan            wlan_get_mac
wlan_set_mac        wlan_get_ps          wlan_set_ps          wlan_set_pm
wlan_set_if_ip      wlan_get_if_ip      wlan_set_dhcp        wlan_get_dhcp
test_sleep          wlan_set_LSI        wlan_get_fw_ver      wlan_start
wlan_stop           iperf               iperf_stop          ble_adv_cfg
ble_adv_enable      ble_scan_cfg        ble_scan_enable      ble_connect
ble_disconnect      ble_peers           ble_delete_bonds     ble_get_bd_addr
ble_set_bd_addr     ble_set_tx_pwr      ble_conn_update      ble_set_phy
ble_start           ble_stop            csi_enable           csi_stop
csi_disable         csi_get_results     csi_config           csi_set_mac
calibrator          sntp_config_servers sntp_update          set_date_time
get_date_time       vend_IE_add         vend_IE_remove       set_peer_aging
p2p_role_up         p2p_role_down      p2p_find             p2p_connect
p2p_stop_find       p2p_group_remove   p2p_set_channel      p2p_get_channel
p2p_listen          p2p_cancel         start_ap_wps         wlan_set_con_policy
wlan_get_con_policy wlan_add_profile    wlan_del_profile     wlan_get_profile
wlan_set_dwell_time wlan_profile_connectping
set_cstm_reg_domain get_cstm_reg_domain
=====

user:

```

图 4-1. 可用网络终端命令列表

- (仅限 **CC33xx**)：检查是否已正确配置内核与模块：

```
zcat /proc/config.gz | grep NL80211_TESTMODE
```

预期输出：

```
CONFIG_NL80211_TESTMODE=y
```

- (仅限 **CC33xx**)：出现提示时输入登录凭证，然后运行以下命令，验证是否已正确加载固件：

```
ifconfig wlan0
```

输出应与图 4-2 类似

```
root@am335x-evm:~# ifconfig wlan0
wlan0      Link encap:Ethernet  HWaddr A4:34:F1:B3:19:54
          UP BROADCAST MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

root@am335x-evm:~#
```

图 4-2. 固件下载确认

5 Wi-Fi 测试

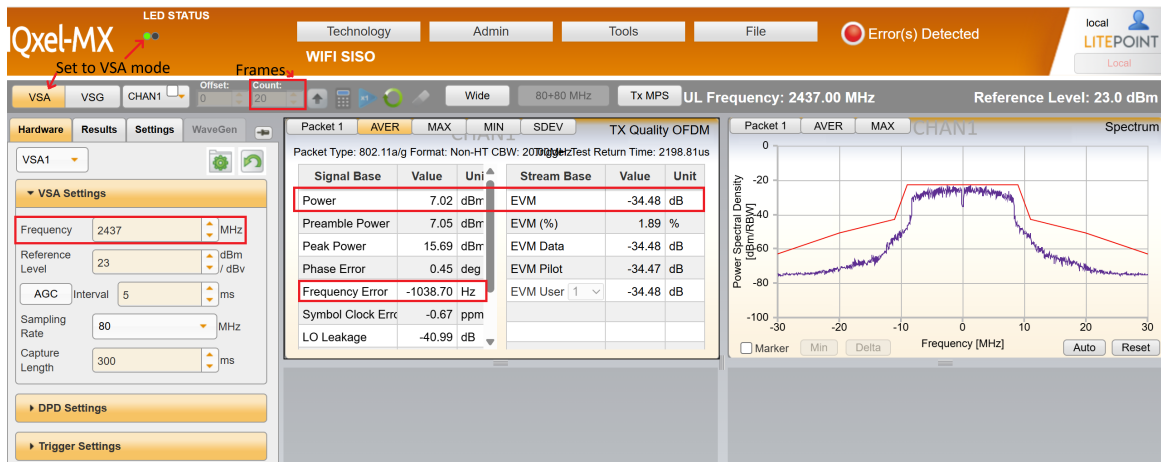
本节介绍基本的 Wi-Fi 射频测试。符合 IEEE 802.11 标准通常需要进行测试包括：TX 功率、EVM 和频率精度。

5.1 使用 Radio Tool 进行 TX 测试

屏幕必须如图 5-1 所示。如果并非如此，或用户尚未设置 Radio Tool，请先导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分并按照步骤操作。

图 5-1. Radio Tool 中的 Wi-Fi TX 主屏幕

1. 在 *Transmit Parameters* 栏中，配置所需设置。最具相关性的参数是 Band 和 Channel。
2. 在 *TX Parameters* 下，选择所需的前导码类型和 PHY 速率，以及 TX 功率的目标测试值。
3. 为获得出色的性能，请设置 *Delay* 和 *Packet Length* 参数，使占空比约为 30%。如果不确定要输入哪些值，请参阅[占空比表](#)。
4. 启用 Tune Ch. and Calibrate on TX Start 切换开关。
5. 在开始传输之前，请将射频测试仪器设置为 VSA 模式，采用与 Radio Tool 中配置相同的频率。配置测量表以显示 TX 功率、EVM 和频率误差。LitePoint 示例如下所示。



6.

图 5-2. LitePoint 屏幕配置示例

7. 单击 **TX Start** 以开始传输，然后在 **VSA** 上运行连续分析。改变 **TX** 功率、前导码类型和 **PHY** 速率时应确认器件符合数据表的 **TX** 功率规格以及 **802.11 EVM** 和频率精度标准。

注意：根据 **IEEE 802.11** 标准，为正确测量 **EVM**，必须对至少 20 个帧执行测试。然后，可以将这些帧的平均值与 **IEEE** 阈值进行比较。帧的长度必须至少为 16 个 **OFDM** 符号。

注意：设置时应考虑损耗因素。如上图所示，由于线缆损耗，存在 3dBm 的偏差。如果测得的 **TX** 功率仍低于 **Radio Tool** 中设置的值，请参阅[故障排除/常见问题解答](#)部分。

5.1.1 802.11ax 基于触发的测试

如果需要，可通过在 **Preamble Type** 下选择 **11ax TB** 来执行基于触发 (**TB**) 的测试。完成此操作后，屏幕必须匹配图 5-3。

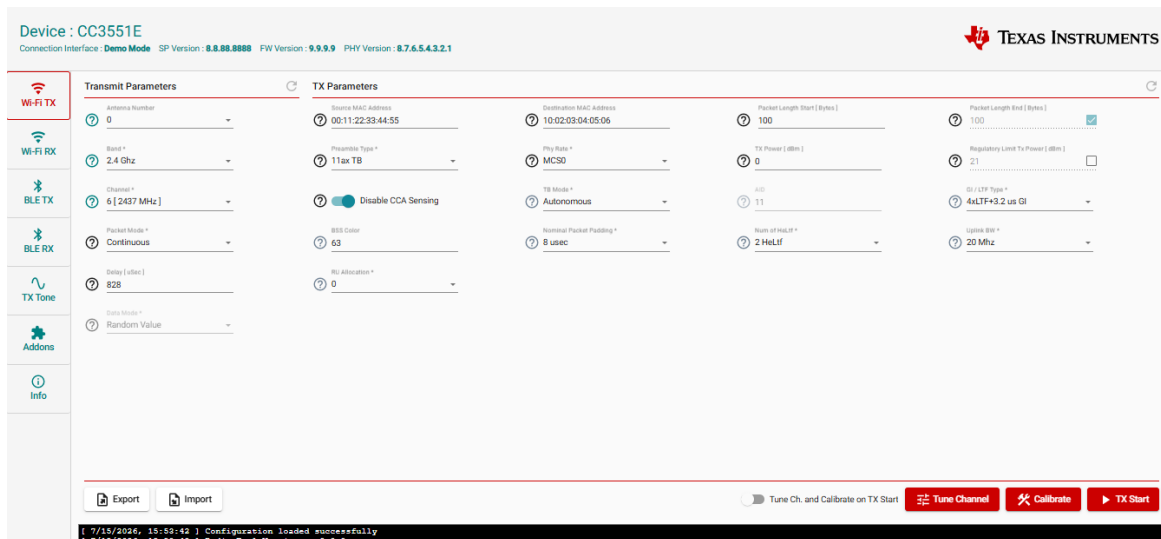


图 5-3. Wi-Fi TX 11ax TB Radio Tool 主页

Radio Tool 提供将 **TB** 模式设置为 **Autonomous** 或 **External Trigger** 的选项。建议使用自主模式，因为外部模式的配置要复杂得多。以下步骤说明如何使用自主模式。如果使用外部触发，请跳至“外部触发”步骤。

1. 在 **Radio Tool** 中和 **VSA** 上选择所需的 **PHY** 速率。
2. 选择所需的 **GI/LTF** 类型和 **HeLtf** 数量。 **VSA** 必须配置为匹配这些设置，否则 **EVM** 值会异常偏高。
3. 在 **Radio Tool** 中和 **VSA** 上选择所需的 **RU** 分配索引。
4. 单击 **Radio Tool** 中的 **Start**，然后在 **VSA** 上运行连续分析。

外部触发

使用外部触发时，触发帧波形将指定需要在 **Radio Tool** 中和测试仪器上设置的所有参数。

备注

在 **Radio Tool** 中设置 TX 功率没有任何影响，因为 TX 功率由触发帧定义。

1. 配置测试仪器，使其同时处于 VSA 和 VSG 模式。
2. 对于 VSA，设置 GI LTF 类型、LTF 数量、PHY 速率和 RU 索引，以匹配触发帧定义的内容。
3. 在 **Radio Tool** 中，设置 PHY 速率和 AID 以匹配触发帧定义的内容。单击 **TX Start**。
4. 在 VSA 上开始连续分析。
5. 将触发帧上传至 VSG，然后开始将其传输至器件。

5.2 使用 Calibrator Tool 进行 TX 测试

如果尚未设置 **Calibrator Tool**，请导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分，然后再继续。以下示例流程可用作如何执行 TX 测试的参考。有关 **Calibrator Tool** 的更多信息，请导航至相应 SDK 中针对 CC33xx 和 CC35xx 的 **Calibrator Tool** 指南。

CC33xx 示例流程：通道 6、具有 11ax SU 前导码类型、MCS6 速率、TX 功率 21：

```
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_tx -preamble_type 5 -phy_rate 19 -tx_power 31
calibrator wlan0 cc33xx_plt start_tx
calibrator wlan0 cc33xx_plt stop_tx
```

CC35xx 示例流程：通道 6、具有 11ax SU 前导码类型、MCS6 速率、TX 功率 21：

```
wlan_start
calibrator power_mode on
calibrator tune_channel 6 0 0
calibrator set_manual_calib -tx 1
calibrator set_tx -preamble_type 5 -phy_rate 19 -tx_power 31
calibrator start_tx
calibrator stop_tx
```

注意：图 5-4 可在调优器件时提供帮助。参数应按照其显示的顺序输入。

Parameter	Option	Description
CHAN	1 - 13	2.4 GHz Wi-Fi Channels
	36 - 165	5 GHz Wi-Fi Channels
BAND	0	2.4 GHz Wi-Fi Band
	1	5 GHz Wi-Fi Band
BANDWIDTH	0	Bandwidth Allocation

图 5-4. TX 参数表

在 VSA 上配置表，以便可查看 TX 功率、EVM 和频率误差。改变 TX 功率、前导码类型和 PHY 速率时必须确认器件符合数据表的 TX 功率规格以及 802.11 EVM 和频率精度标准。

5.2.1 802.11ax 基于触发的测试

如果需要，可以通过将 *Preamble Type* 设置为 8 来执行基于触发 (TB) 的测试。**Calibrator Tool** 通过设置 TB_AUTO 参数提供使用 *Autonomous* 模式或 *External Trigger* 模式的选项。由于外部触发模式的配置更为复杂，因此建议选择自主模式。如果需要使用外部触发模式，请跳至[外部触发](#)部分。有关选择参数的更多信息，请参考 **Calibrator Tool** 指南。

1. 在 **Calibrator Tool** 中和 **VSA** 上选择 **PHY** 速率。
2. 选择所需的 **GI/LTF** 类型和 **HeLtf** 数量。**VSA** 必须配置为匹配这些设置，否则 **EVM** 值会异常偏高。
3. 在 **Calibrator Tool** 中和 **VSA** 上选择所需的 **RU** 分配索引。
4. 在 **Calibrator Tool** 中运行 **start_tx**，然后在 **VSA** 上运行连续分析。

外部触发器：

使用外部触发时，触发帧波形将指定需要在 **Calibrator Tool** 中和测试仪器上设置的所有参数。

注意：在 **Calibrator Tool** 中设置 **TX** 功率不会发生任何变化，因为 **TX** 功率由触发帧定义。

1. 配置测试仪器，使其同时处于 **VSA** 和 **VSG** 模式
2. 对于 **VSA**，设置 **GI/LTF** 类型、**LTF** 数量、**PHY** 速率和 **RU** 索引，以匹配触发帧定义的内容
3. 在 **Calibrator Tool** 中，设置 **PHY** 速率和 **AID** 以匹配触发帧定义的内容。运行 **start_tx**
4. 在 **VSA** 上开始连续分析
5. 将触发帧上传至 **VSG**，然后开始将其传输至器件

5.3 使用 **Radio Tool** 进行 **RX** 测试

屏幕左侧应显示一个面板，用户可在此单击 **Wi-Fi RX**。如果并非如此，或用户尚未设置 **Radio Tool**，请先导航至开始使用 **Calibrator Tool** 部分并按照步骤操作。单击 **Wi-Fi RX** 后，屏幕必须如图 5-5 所示。

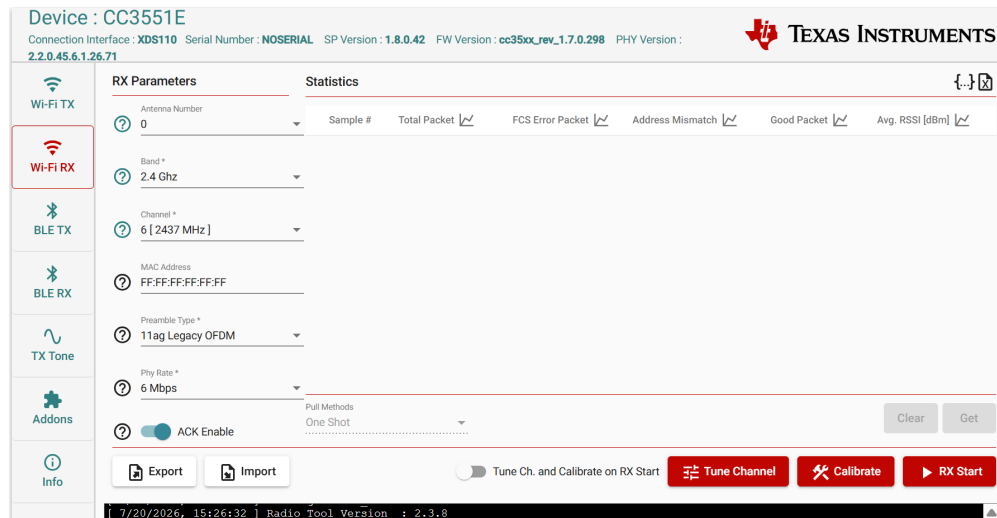


图 5-5. **Radio Tool** 中的 **Wi-Fi RX** 主页

1. 在 **RX Parameters** 栏中，默认 **MAC Address** 为 **FF:FF:FF:FF:FF:FF**，将接收器置于广播模式。该值适用于传导测试。对于无线测试，通过将 **MAC Address** 设置为匹配源地址可能有助于应用 **MAC** 过滤。
2. 根据需要配置其余的 **RX Parameters**。
3. 启用 **Tune Ch. and Calibrate on RX Start** 切换开关，然后单击 **RX Start** 以开始接收。
4. 提供三种统计数据提取方法：
 - 单次：在单击 **Get** 按钮的瞬间采集统计数据。
 - 间隔：以用户定义的间隔（单位为秒）轮询并发布累积的统计数据，直至停止。
 - 间隔和计数：与间隔相同，但通过样本数参数限制轮询周期数。

要测试器件的灵敏度，请参考相应数据表中的“接收器特性”部分，并将 **VSG TX** 功率设置为略高于列出的灵敏度值，以补偿损耗因素。导入与在 **Radio Tool** 中所选择数据速率匹配的波形。如果 **PER** 低于适用阈值（取决于前导码类型），请降低 **VSG** 功率级别，直至器件达到该阈值。

注意：为了获得理想的结果，此测试及任何其他 RX 灵敏度测试均应在射频屏蔽外壳中执行。此外，确保从 VSG 发送特定数量的数据包作为参考，以便与 DUT 接收的数据包数量进行比较。

如果性能不佳或未收到任何数据包，请参阅[故障排除/常见问题解答](#)部分。

5.4 使用 Calibrator Tool 进行 RX 测试

本节介绍使用 Calibrator Tool 进行的灵敏度测试。如果尚未设置 Calibrator Tool，请导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分，然后再继续。以下示例流程可用作如何执行灵敏度测试的参考。有关 Calibrator Tool 的更多信息，请导航至相应 SDK 中针对 CC33xx 和 CC35xx 的 Calibrator Tool 指南。

VSG：

- 使用在 Calibrator Tool 中选择的相同频率进行配置
- 导入与在 Calibrator Tool 中选择的速率匹配的数据包
- 将 TX 功率设置为略高于数据表灵敏度值以补偿损耗因素

CC33xx 示例流程：通道 6、广播模式、具有 11ax SU 前导码类型、MCS7 速率：

```
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt start_rx -source_mac FF:FF:FF:FF:FF:FF -preamble_type 5 -rate 20
calibrator wlan0 cc33xx_plt get_rx_stats
calibrator wlan0 cc33xx_plt stop_rx
```

CC35xx 示例流程：通道 6、广播模式、具有 11ax SU 前导码类型、MCS7 速率：

```
wlan_start
calibrator power_mode on
calibrator tune_channel 6 0 0
calibrator set_manual_calib -rx 1
calibrator start_rx -source_mac FF:FF:FF:FF:FF:FF -preamble_type 5 -rate 20
calibrator get_rx_stats
calibrator stop_rx
```

注意：要为每次测量获取一组新的统计数据，请重复命令 4-6。省略停止/启动循环会导致统计数据累加为运行总计。

注意：图 5-6 可在调优器件时提供帮助。参数必须按照其显示的顺序输入。

Parameter	Option	Description
CHAN	1 - 13	2.4 GHz Wi-Fi Channels
	36 - 165	5 GHz Wi-Fi Channels
BAND	0	2.4 GHz Wi-Fi Band
	1	5 GHz Wi-Fi Band
BANDWIDTH	0	Bandwidth Allocation

图 5-6. RX 参数表

注意：为了获得理想的结果，此测试及任何其他 RX 灵敏度测试均必须在射频屏蔽外壳中执行。此外，确保从 VSG 发送特定数量的数据包作为参考，以便与 DUT 接收的数据包数量进行比较。

如果性能不佳或未收到任何数据包，请参阅[故障排除/常见问题解答](#)部分。

6 BLE 测试

本节介绍所有基本 BLE 测试。

6.1 使用 Radio Tool 测试 TX 功率

选择左侧栏中的 **BLE TX**。屏幕应匹配图 6-1。如果并非如此，或尚未设置 Radio Tool，请先导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分并按照步骤操作。

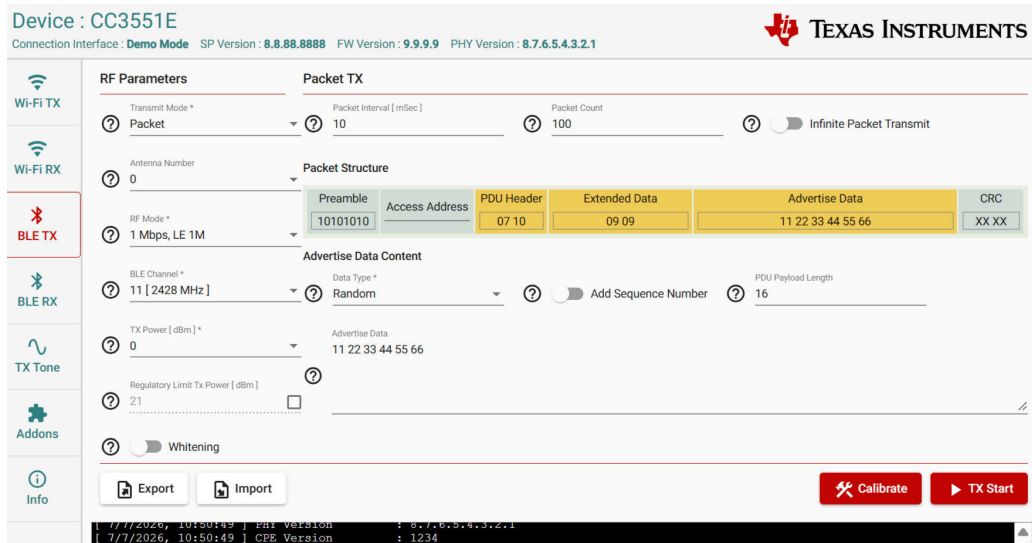


图 6-1. Radio Tool 中的 BLE TX 主页

1. 根据需要配置 BLE 通道、射频模式、TX 功率等设置。
2. 为获得更流畅的测试体验，请打开 *Infinite Packet Transmit*。此功能关闭时，用户每次想要发送更多数据包都必须反复单击 **Calibrate** 和 **TX Start**，操作非常繁琐。
3. 单击 **Calibrate**。TI 建议在每次单击 **TX Start** 前都执行此操作。
4. 开始传输之前，请确保已正确配置 VSA。如果使用 LitePoint，您的屏幕应与图 6-2 类似

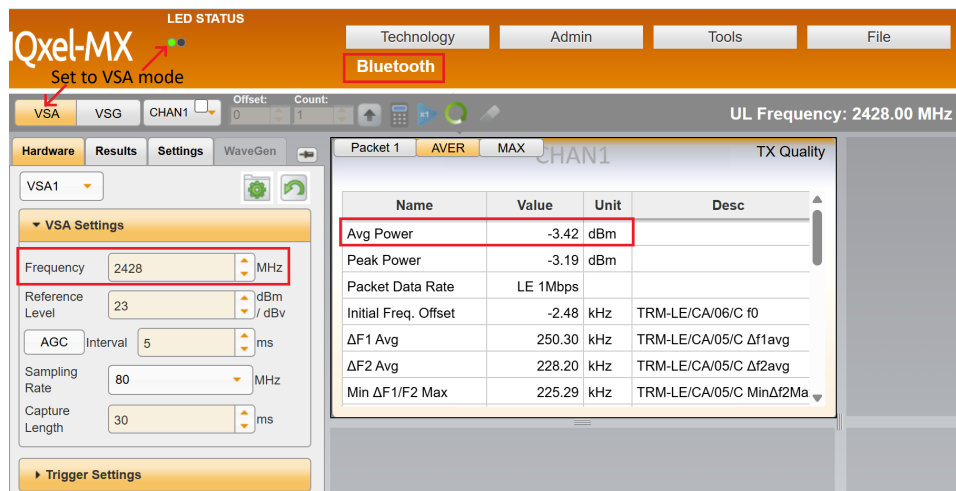


图 6-2. LitePoint 屏幕配置示例

5. 在 VSA 上运行连续分析。在 Radio Tool 中，单击 **TX Start**。

注意：设置时务必考虑损耗因素。如上图所示，由于线缆损耗，存在 3dBm 的偏差。如果测得的 TX 功率仍低于 Radio Tool 中设置的值，请参阅[故障排除/常见问题解答](#)部分。

6.2 使用 HCI 命令测试 TX 功率

如果尚未设置 Calibrator Tool，请导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分，然后再继续。

要准备器件以进行测试，请输入以下行：

```
cd /usr/share/cc33xx/
./set_power_mode.sh 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt ble_plt
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 8 0 3
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1 -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
bluetoothctl power on
calibrator wlan0 plt power_mode off
ifconfig wlan0 down
```

接下来，根据需要配置参数并运行测试。下面的命令展示通道 10 上 TX 功率为 20dBm 时的示例流程，其中数据包长度为 255，数据包模式为 PRBS9 且 PHY 速率为 1Mbps (LE 1M)。有关更多信息，请参阅 [CC33xx SDK](#) 中的 [通过 Linux 驱动程序进行 BLE 射频测试指南](#)：

```
hcitool cmd 3F 11 0x6 #Set TX power
hcitool cmd 08 34 0xB 0xFF 0x00 0x01 #Set CHANNEL, PACKET LENGTH, PACKET PATTERN, PHY RATE. Start TX
hcitool cmd 08 1F #Stop TX
```

配置 VSA 以便可查看 TX 功率。启动 **Start TX HCI** 命令后，在 VSA 上运行持续分析以捕获数据。

6.3 使用 Radio Tool 测试 RX 灵敏度

单击左侧栏中的 **BLE RX**。您的屏幕应与图 6-3 类似。如果并非如此，或尚未设置 Radio Tool，请先导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分并按照步骤操作。

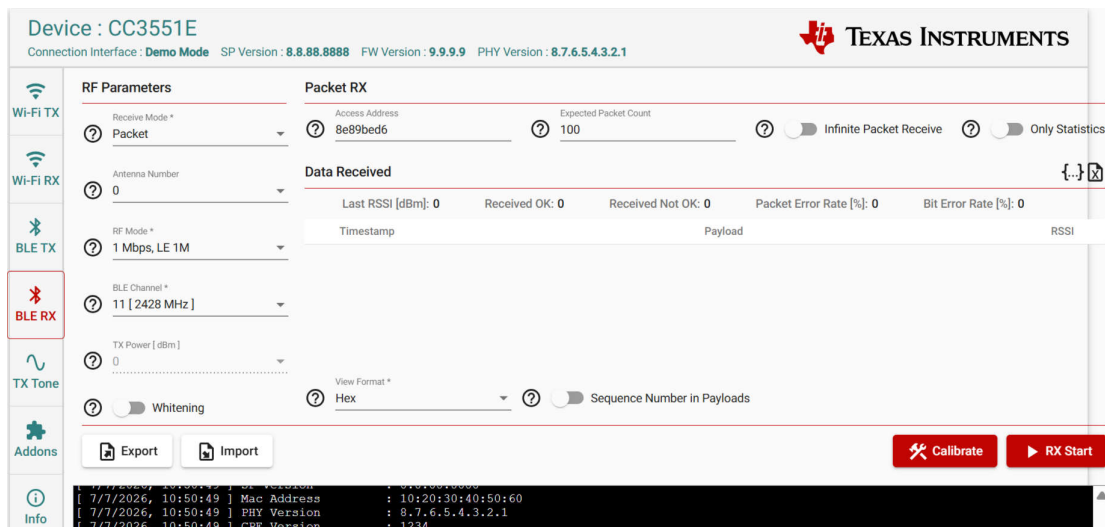


图 6-3. Radio Tool 中的 BLE RX 主页

1. 配置所需的射频参数，包括 BLE 通道、射频模式和 TX 功率。
2. 将 *Expected Packet Count* 设置为将从 VSG 发送的数据包数量。
3. 单击 **Calibrate**，然后单击 **RX Start**。TI 建议每次测试时都执行此操作。
4. 在 VSG 上，将频率设置为匹配 Radio Tool 中选择的频率，并设置所需的功率级别。
5. 将 BLE 波形上传到 VSG 并开始传输。

注意：为了获得更准确的结果，此测试及任何其他 RX 灵敏度测试均应在射频屏蔽外壳中进行。

6.4 使用 HCI 命令测试 RX 灵敏度

如果尚未设置 Calibrator Tool，请导航至[开始使用 Calibrator Tool](#) 部分，然后再继续。

要准备器件以进行测试，请输入以下行：

```
cd /usr/share/cc33xx/
./set_power_mode.sh 0
calibrator wlan0 cc33xx_plt ble_plt
calibrator wlan0 plt power_mode on
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 8 0 3
calibrator wlan0 cc33xx_plt set_manual_calib -tx 1 -rx 1
calibrator wlan0 cc33xx_plt tune_channel 6 0 0
bluetoothctl power on
calibrator wlan0 plt power_mode off
ifconfig wlan0 down
```

接下来，根据需要配置参数并运行测试。以下命令显示通道 10 上的示例流程，其中 PHY 速率为 1Mbps (LE 1M) 并使用标准调制指数。有关更多信息，请参阅 [CC33xx SDK](#) 中的 [通过 Linux 驱动程序进行 BLE 射频测试指南](#)：

```
hcitool cmd 08 33 0xB 0x01 0x00 # Set CHANNEL, PHY RATE, MODULATION INDEX. Start RX
hcitool cmd 08 1F # Stop RX, show results
```

在 VSG 上，将频率设置为匹配 Radio Tool 中选择的频率，并设置所需的功率级别。然后，将 BLE 波形上传到 VSG 并开始传输。

7 故障排除/常见问题解答

使用 TI EVK 时，我的器件无法进行校准：

- 确保两根 USB 线缆均已使用。校准会消耗大量电流，如果仅使用一根 USB 线缆，则可能会导致器件欠压
- (仅限 RX) 对于传导测试，如果 VSG 在器件准备好接收之前开始传输，则器件可能无法初始化。在从 VSG 发送数据之前，在 RX 模式下启动器件

*当我的器件处于 RX 模式时，我看到大量错误数据包：*根据测试设置不同，您的电容器可能从射频连接器连接到芯片，也可能从天线连接到芯片。在传导测试中，如果电容器朝向天线而不是射频连接器，可能会错误解读数据包。如果电容器朝向射频连接器，则在无线测试中可能会出现相同的问题。

*我的 VSA 接收不到任何数据，或我的器件没有接收到任何数据包：*验证测试仪器端口模式是否匹配测试类型：TX 测试要求仪器处于 VSA 模式；RX 测试要求仪器处于 VSG 模式。此外，验证 DUT 和测试仪器是否处于同一通道。

*我正在执行 802.11ax 基于触发 (TB) 的测试，但我的 VSA 没有读取任何数据：*基于触发的测试涉及多项设置，无论使用 Radio Tool 还是 Calibrator Tool，这些设置都必须在 VSA 上完全匹配。这些设置包括：GI LTF 类型、LTF 数量、RU 分配和 PHY 速率。

我看到的 TX 功率值低于预期：

- 如果使用频谱分析仪 (SA)，请记下测试频谱的宽度。数据表规格是根据 WiFi 频谱 (20MHz) 的全宽计算得出的，而许多 SA 没有该功能，因此需要计算才能推断出 WiFi 功耗。使用以下公式执行此计算。

$$P_{\text{corrected}}(\text{dBm}) = P_{\text{measured}}(\text{dBm}) + 10 \times \log_{10}\left(\frac{20\text{MHz}}{\text{SA RBW}}\right)$$
- 确认测量时是否已考虑电路板布线损耗和线缆损耗
- 如果电路板的天线与 SMA 连接器之间有一个电容器，请确保其朝向正确的方向
- 对于传导测试，请确保射频线缆完全拧入、状态良好且无扭结
- 为获得出色的性能，请将占空比设置为 30%。高占空比会导致 TX 功率降级
- 如果使用模块，请检查功率限制阵列 (PLA) 配置。PLA 根据区域、通道和 RU 索引限制功率输出。使用“无限制”区域时，PLA 不会影响功率输出

8 占空比表

实现约 30% 占空比时的数据包长度和延迟示例值

表 8-1. 30% 占空比时的示例值

前导码类型	PHY 速率	数据包长度 (字节)	延迟 (μ s)
11b	1Mbps	100	2875
	2 Mbps	200	2595
	5.5Mbps	550	2417
	11Mbps	1100	2366
11a/g OFDM	6Mbps	650	2170
	9Mbps	800	1773
	12Mbps	950	1575
	18Mbps	1100	1221
	24Mbps	1250	1044
	36Mbps	1400	789
	48Mbps	1550	662
	54Mbps	1800	680
11n/ax	MCS0	240	810
	MCS1	480	863
	MCS2	710	738
	MCS3	950	732
	MCS4	1450	735
	MCS5	1880	712
	MCS6	2110	710
	MCS7	2350	710

9 总结

本指南详细介绍使用 Radio Tool 和 Calibrator Tool 对 TI CC33xx 和 CC35xx 器件进行完整射频测试的过程。用户可按照以下程序验证其器件是否符合官方器件数据表中列出的 TX 功率、EVM、RX 灵敏度和频率精度规格。如果在测试过程中遇到任何问题，请参阅“故障排除/常见问题解答”部分。

10 参考资料

德州仪器 (TI), [BP-CC3351 用户指南](#), 用户指南

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月