

## 引言

ST25RU3993 UHF RFID读写器IC包含了用于接收I和Q信号的集成接收信号强度指示器（RSSI）。由于具有该功能，因而可以测量进入的标签信号的功率水平，或者检测在载波频率附近的外部RF信号电平。

接收的标签信号被分为同相(I)和正交(Q)版本（I, Q），分别被馈送到两个4位对数A/D转换器中。其结果为两个对数绝对值，与混频器输入端口的输入功率成比例。借助I和Q值，即可计算载波信号和接收信号之间的相位关系。

ST25RU3993数据手册从[www.st.com](http://www.st.com)获取，可作为本文档的参考。关于符号，0x前缀表示十六进制符号（例如：0x29），而二进制数后跟一个b后缀（例如：00b）。

## 目录

<b>1</b>	<b>外部RF - 输入信号功率 .....</b>	<b>5</b>
1.1	差分输入混频器 .....	6
1.2	单端输入混频器 .....	8
<b>2</b>	<b>标签输入信号功率 .....</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>利用AGC计算RSSI .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>ST25RU3993-HPEV的G值 .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>结论 .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>版本历史 .....</b>	<b>18</b>

表格索引

表1. G值 vs. Rx增益设置 - 差分混频器 ..... 6

表2. G值 vs. Rx增益设置 - 单端混频器 ..... 8

表3. 256 kHz / M4时的G值 ..... 16

表4. 320 kHz / M4时的G值 ..... 16

表5. 640 kHz / FM0时的G值 ..... 16

表6. 文档版本历史 ..... 18

表7. 中文文档版本历史 ..... 18

图片索引

图1. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 300 kHz ..... 7

图2. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 50 kHz ..... 7

图3. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 50 kHz ..... 8

图4. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 300 kHz ..... 9

图5. C (dB) vs. deltaRSSI ..... 11

图6. 测量设置 ..... 13

图7. 通过“视图”菜单激活RSSI ..... 14

图8. I值和Q值 ..... 14



# 1 外部RF - 输入信号功率

可利用差分RX端口和单端RX端口来实现先听后说（listen before talk, LBT）或类似场载波感应功能。

差分RX引脚灵敏度范围为-86 dBm至-22 dBm，单端RX引脚灵敏度范围为-88 dBm至-32 dBm。

激活低功率输出时，内部用于RX混频器的本地振荡器（LO）信号来自于RFOPX和RFONX引脚。如果使用了内部功率放大器，则LO信号来自于前置放大器级。

要感测外部载波信号（LBT/载波侦听），应禁用功率传输。

根据应用所用的TX端口，有不同的选择可以实现该目标。使用差分低功率输出时，通常连接到外部功率放大器，届时有两种选择：

1. 启用低功率输出并提供LO信号，通过以下方法禁用外部功率放大器：
  - 关断功能
  - 偏置电压
  - 电源电压
2. 低功率输出禁用，LO信号源为PA级前置放大器（寄存器0x0C: 44）。这种情况下，内部PA的TX端口可以悬空不接，但需要在VDD\_PA引脚上接一个100 nF的电容。

要使用内部功率放大器检测外部射频信号，只推荐将内部PA输出禁用，并将LO信号源连接到低功率输出通路（寄存器0x0C: 01）。在这种情况下，引脚RFOPX和RFONX应通过两个100  $\Omega$ 电阻连接至VDD\_B。

为了启用对外部RF信号的RSSI测量，应进行以下配置：

- 在协议选择寄存器中将rf\_on和rec\_on位设为“1”
- 将协议选择寄存器的dir\_mode位置为“1”
- 通过将e\_irq\_noresp位置为“0”，禁用使能中断寄存器1中的无响应中断。
- 需要通过状态读取页设置寄存器（寄存器0x29: X<sup>(a)</sup>0）对RSSI显示寄存器进行配置，来显示实时RSSI信息

获取外部信号电平前，请检查PLL是否锁定（pll\_ok位），以及RF功率是否开启（rf\_ok位），然后发送直接命令使能RX（0x97），等待500  $\mu$ s，从RSSI显示寄存器（0x2B）中读取实时RSSI。

感测外部RF信号时，非相干下变频可确保I和Q的RSSI值具有相似电平。

---

a. 忽略。

计算所接收的外部RF信号输入功率的近似方程式为：

$$\text{meanRSSI} = [\text{RSSI} (I) + \text{RSSI} (Q) ] / 2$$

$$P_{IN} \text{ (以dBm为单位)} = 2.1 * \text{meanRSSI} - G$$

其中：

- meanRSSI为两个RSSI (I) 和RSSI (Q) 值的算术平均值  
从RSSI显示寄存器 (0x2B) 读取
- P<sub>IN</sub>是以dBm表示的读写器IC引脚输入功率
- G是一个常数，取决于RX滤波器设置寄存器以及RX混频器和增益寄存器的设置。

RF通路到混频器输入端口的元件和PCB走线属性也对G值有所影响。

该过程是假定ST25RU3993已启用，并且RX部分和LO信号均已接通（EN=1，stby=0，rf\_on=1）。如果读写器设备被禁用（EN=0）或处于待机模式（stby=1），则MCU必须在启用之后等待18 ms，然后发送直接命令Enable RX（0x97）。如果只有TX和RX被禁用（rf\_on=0），则在设置rf\_on=1并发送直接命令EnableRX（0x97）后，MUC需要等待7ms。

建议根据读取器天线接口的实际输入功率检查计算功率，并相应调整每个PCB设计的G常数。

1.1 差分输入混频器

用来计算外部RF信号（LBT/载波感应）输入功率和差分混频器可用输入信号范围的G常数典型值如 表 1 中所示。

表1. G值 vs. Rx增益设置 - 差分混频器

寄存器设置 0x0A <sup>(1)</sup> , 0x09 <sup>(2)</sup>	G值 [dB]	可用灵敏度范围 最小/最大[dBm]		注释
0xC1, 0xFF	53	-50	-22	衰减器级接通，最低的基带增益
0x01, 0xFF	62	-59	-31	衰减器级接通，额定基带增益
0x00, 0xFF	71	-68	-40	额定混频器增益，额定基带增益
0x02, 0xFF	80	-77	-49	混频器增益级接通，额定基带增益
0xE2, 0xFF	89	-86	-58	混频器增益级接通，最高的基带增益（最佳LBT / 载波侦听灵敏度）

1. RX混频器和增益寄存器。  
2. RX滤波器设置寄存器。

表 1 中的G值对于检测（相对读写器LO频率）具有50 kHz频率偏移的外部RF信号是有效的。滤波器设置0x09提供了适合于LBT /载波侦听的平坦滤波器响应特性。

注：对于使用定向耦合器的读写器设计，耦合系数可以降低G常数。



图1. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 300 kHz

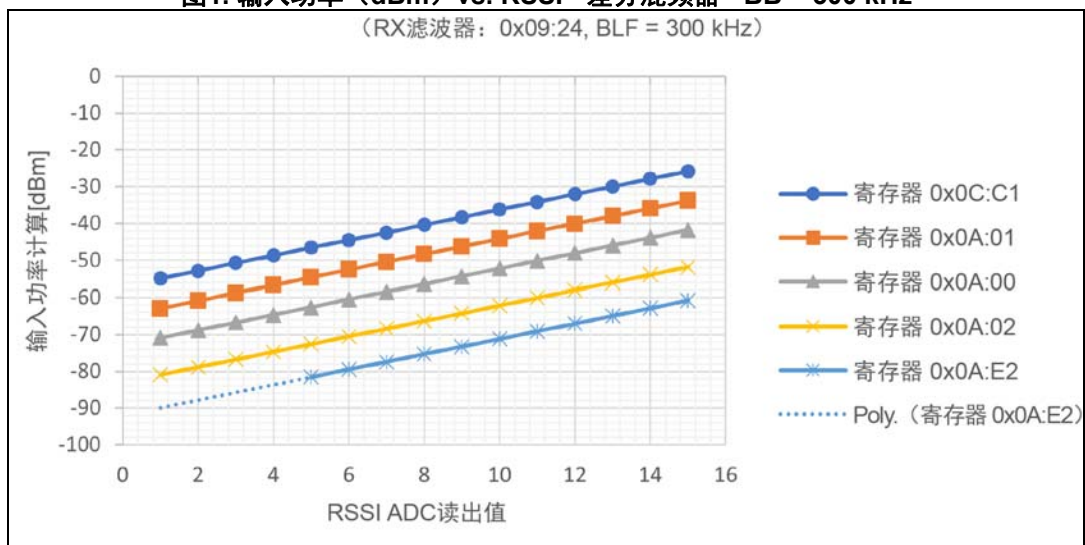


图2. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 50 kHz

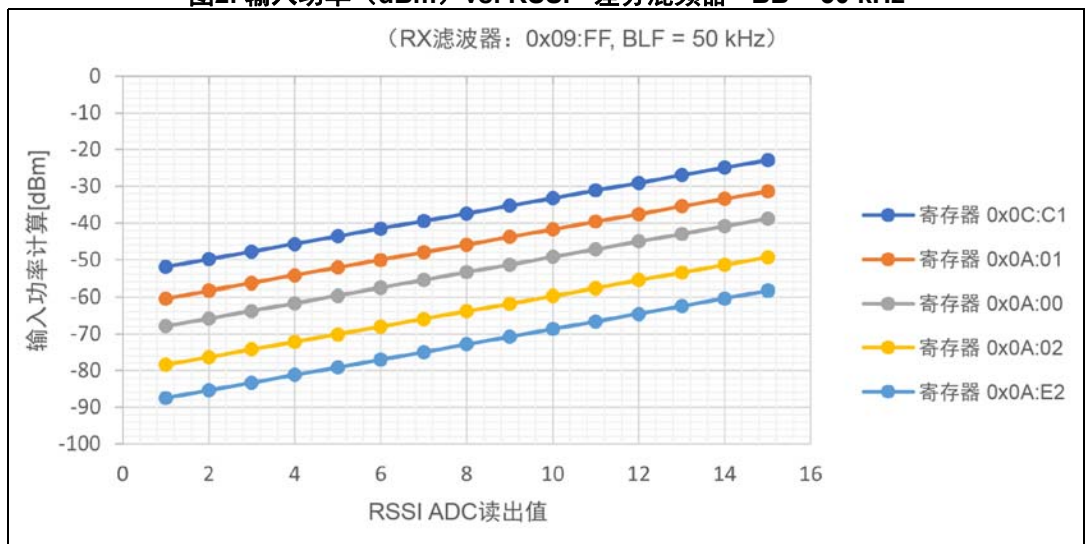


图 1和图 2显示了差分混频器输入分别为300 kHz和50 kHz BB信号频率时, RSSI读取值 (code) 和输入信号功率 ( $P_{IN}$ ) 之间的典型关系。 $P_{IN}$ 根据上述等式进行计算。

1.2 单端输入混频器

用来计算外部RF信号（LBT/载波感应）输入功率和单端混频器可用输入信号范围的G常数典型值如表 2 中所示。

表2. G值 vs. Rx增益设置 - 单端混频器

寄存器设置 0x0A <sup>(1)</sup> , 0x22 <sup>(2)</sup> , 0x09 <sup>(3)</sup>	G值 [dB]	可用灵敏度范围 最小/最大[dBm]		注释
0xC0, 0x14, 0xFF	63	-60	-32	衰减器级接通，最低的基带增益
0x00, 0x14, 0xFF	71	-68	-40	衰减器级接通，额定基带增益
0x01, 0x12, 0xFF	77	-74	-46	额定混频器增益，额定基带增益
0x03, 0x11, 0xFF	83	-80	-52	混频器增益级接通，额定基带增益
0xE3, 0x00, 0xFF	91	-88	-60	混频器增益级接通，最高的基带增益（最佳 LBT / 载波侦听灵敏度）

- 1. RX混频器和增益寄存器。
- 2. RX滤波器设置寄存器。
- 3. 发射极耦合混频器选项寄存器。

表 2 中的G值对于检测（相对读写器LO频率）具有50 kHz频率偏移的外部RF信号是有效的。滤波器设置0x09: FF提供了适合于LBT /载波侦听的平坦滤波器响应特性。

注：对于使用定向耦合器的读写器设计，耦合系数可以降低G常数。

图 3和图 4显示了单端混频器输入分别为50 kHz和300 kHz BB信号频率时，RSSI读取电平（code）和输入信号功率[dBm]之间的典型关系。相应RX滤波器设置为0x09: FF和24。

图3. 输入功率（dBm）vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 50 kHz

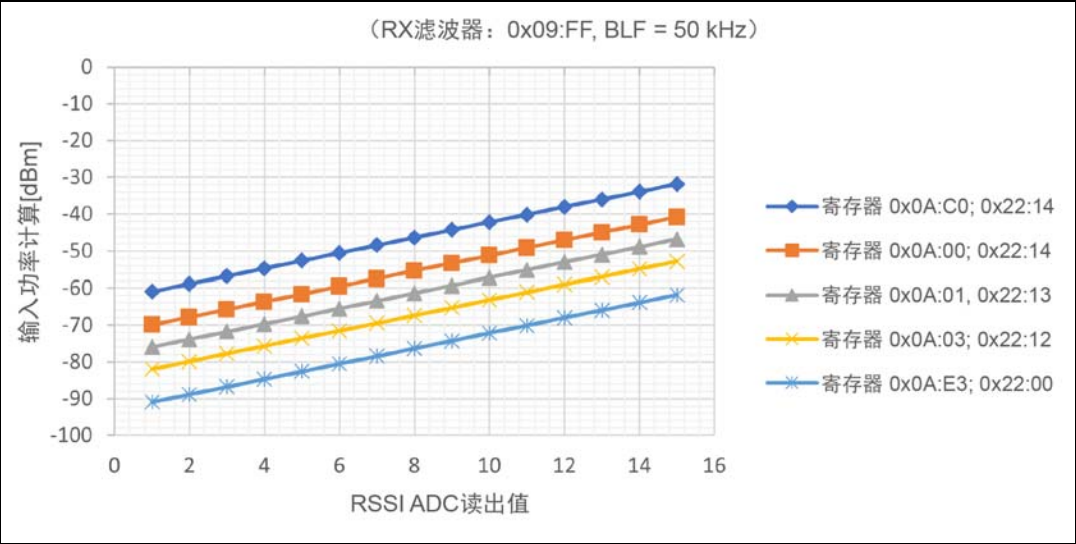
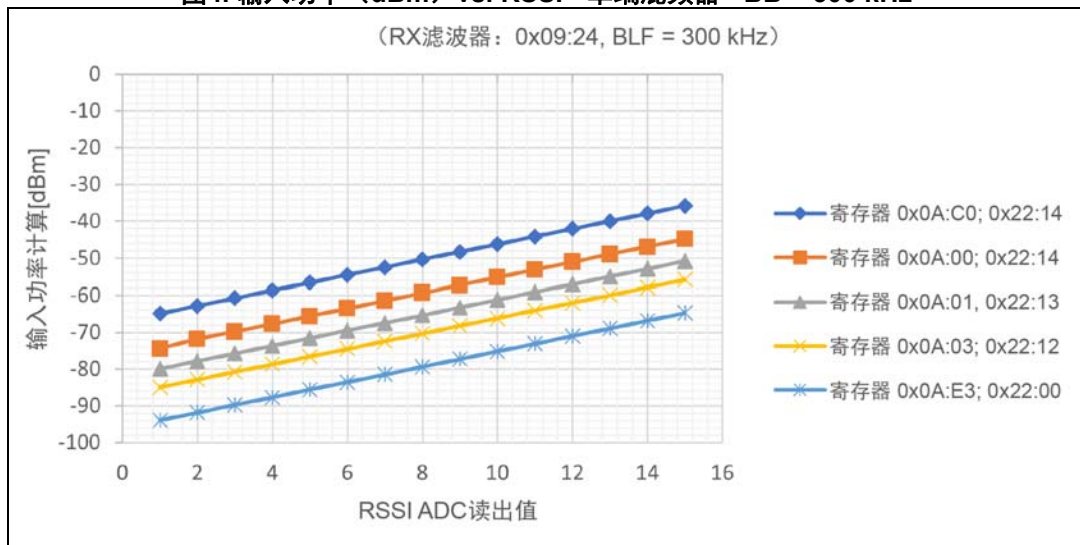




图4. 输入功率 (dBm) vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 300 kHz



## 2 标签输入信号功率

接收标签信号的过程中，连续监测I和Q信道的幅度。在转发器前导码的导频音阶段，RSSI电平得到测量并存储在内部寄存器中。这种RSSI测量类型被定义为RSSI-1-pilot，可以在状态读取页设置寄存器（0x29）中进行配置。一旦RSSI-1-pilot被相应地配置，就可以从RSSI显示寄存器（0x2B）中获取I和Q的值。MCU能够在数据接收时或接收结束后访问所得到的RSSI-1-pilot（I）和RSSI-1-pilot（Q）值（直至下一次数据传输开始前，两值均有效）。

调制标签信号与本振（VCO）是相干的。因此，可在I和/或Q通道中得到下变频信号。

可用以下公式计算混频器输入端口所接收到的标签信号电平：

$$\begin{aligned} \text{highRSSI} &= \max [\text{RSSI} (I) , \text{RSSI} (Q) ] \\ \text{deltaRSSI} &= \text{abs} [\text{RSSI} (I) - \text{RSSI} (Q) ] \\ P_{\text{IN}}[\text{dBm}] &= 2.1 * \text{highRSSI} + 10 \log (1 + 10^{-\text{deltaRSSI} / 10}) - G - 3 \end{aligned}$$

其中

- highRSSI为从RSSI显示寄存器中读取的RSSI（I）和RSSI（Q）值之间的最大值
- deltaRSSI是两个RSSI值之差的绝对值
- $P_{\text{IN}}[\text{dBm}]$ 是混频器输入端口的标签输入信号功率，以dBm表示
- G是一个常量，取决于寄存器设置、RX通路至ST25RU3993的元件和PCB走线。不同寄存器设置下的G值如表 1（差分RX输入）和表 2（单端RX输入）中所列。

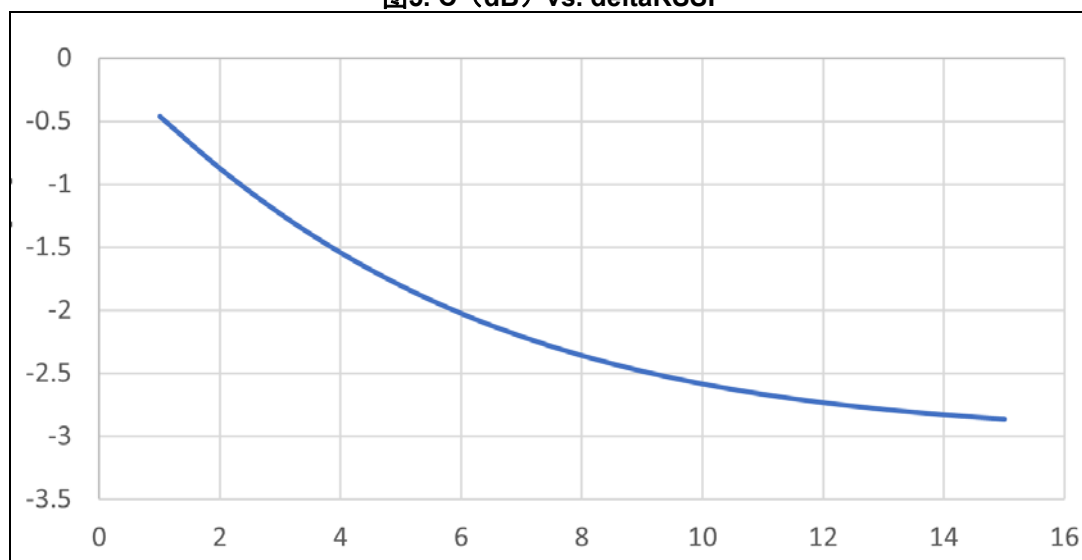
由于deltaRSSI的贡献相对较小， $P_{\text{IN}}$ 的计算可利用以下公式简化（尤其是对于MCU）：

$$P_{\text{IN}}[\text{dBm}] = 2.1 * \text{highRSSI} - G - C$$

其中C是取决于deltaRSSI的常数。

C相对于deltaRSSI的特性如图 5所示。使用单个C值如1.5，由于简化计算导致的误差可达1.5 dB，如果使用一组C值，可以更高精度逼近 $P_{\text{IN}}$ 。

图5. C (dB) vs. deltaRSSI



### 3 利用AGC计算RSSI

当AGC使能时，需要对RSSI的计算进行调整。通过检查位agc[2:0]，可以从内部状态显示寄存器（0x2A）检索AGC的值。

AGC值5、6、7对应RSSI和数字转换器电路中的基带增益级（每级-3 dB）。

AGC值1 - 4与数字转换器迟滞有关，因为不改变RSSI，所以可以不参与计算。

要计算外部RF信号的RSSI（LBT模式），来自表 1和表 2的常数G值应根据以下公式进行校正：

$$G_{AGC} = G - 3 \text{ dB} * (AGC - 4), \text{ if } AGC > 4$$

$$G_{AGC} = G, \text{ 如果 } AGC \leq 4$$

其中：

- AGC是寄存器0x2A状态位的值
- $G_{AGC}$ 是AGC基于RSSI计算的常数
- G是来自表 1和表 2的常数。

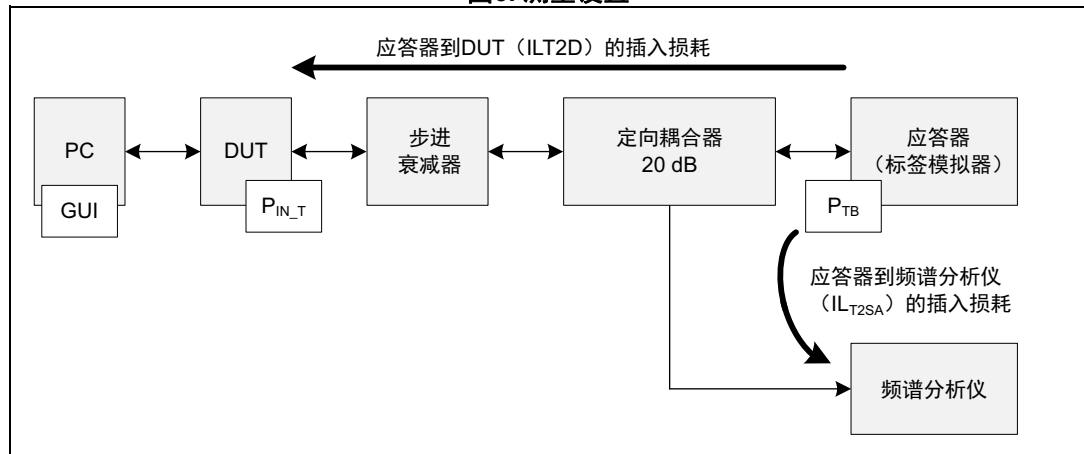
## 4 ST25RU3993-HPEV的G值

如果应用对转发器输入功率的精度要求更高，则必须校准G值。本节将详细介绍如何针对特定的读写器设计评估该值，并举例说明了为评估读写器ST25RU3993-HPEV而选择的值。

为了确定G值，需要获取读写器天线端口的转发器输入功率电平。如果不能得到该信息，则必须测量转发器输入功率。

图 6展示了用频谱分析仪测量标签响应功率的测试设置。通过采集标签响应功率，可以计算出读写器天线端口的标签输入功率。

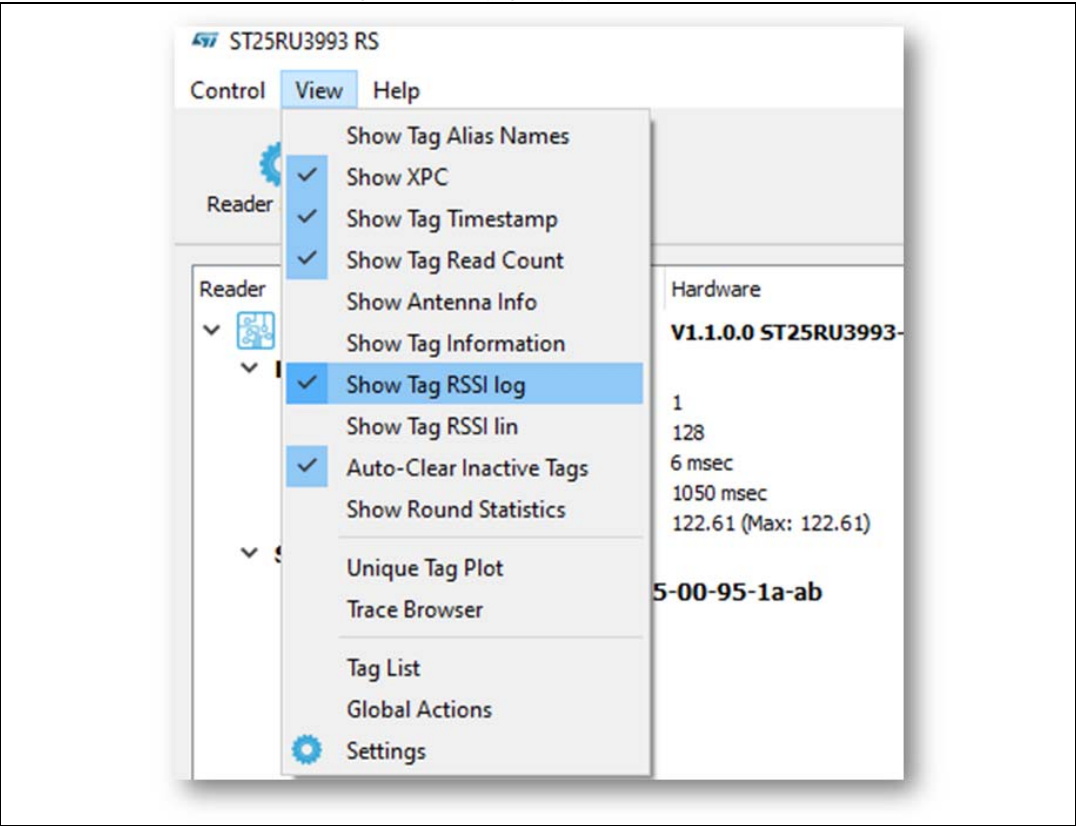
图6. 测量设置



读写器（DUT）射频输出通过分级衰减器连接到定向耦合器。然后将定向耦合器的直接输出端口连接到标签或标签模拟器。输入耦合端口端接50Ω电阻（未显示）。将定向耦合器的输出耦合端口连接到频谱分析仪（SA）。在SA配置中，针对从标签到SA（ $IL_{T2SA}$ ）的信号通路，输入其插入损耗作为幅值偏移。测量并存储标签到DUT信号通路的插入损耗（计算时需要此参数）。

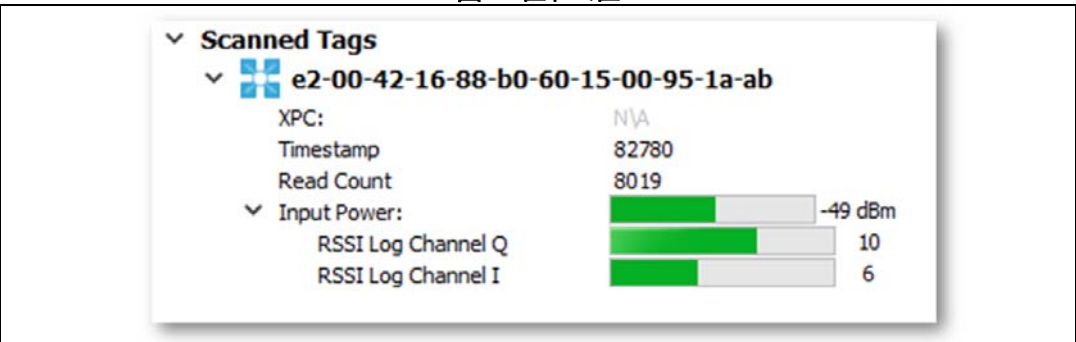
然后，可借助ST25RU3993-HPEV的PC GUI软件，激活读写器以测量I和Q的RSSI值。RSSI值读取可在‘GUI视图’菜单中激活。

图7. 通过“视图”菜单激活RSSI



调整分级衰减器，使转发器响应给出中程RSSI读数。

图8. I值和Q值



存储I和Q的RSSI值，用于以下计算。

建议在SA处设置选通频谱测量。应该设置选通窗口，使SA只关注标签信号。这样就可以去掉读写器调制载波，从而更精确地测量标签响应信号的频谱上下边带。通过使用SA的频带功率测量特性，可以测量集成标签的上边带和下边带响应功率。对于如何配置频带功率测量的时间间隔，建议遵循ISO 18046-3标准的附录E中所示的边带范围值。

通过结合上边带和下边带功率测量，可以确定正确的标签响应功率。如果SA幅值偏移按如上所述设置，计算出的功率是标签（PTB）的后向散射功率。

读写器天线端口的标签输入功率（ $P_{IN\_T}$ ）可以通过减去标签到DUT（ILT2D）的信号路径插入损耗来计算

$$P_{IN\_T} [\text{dBm}] = P_{TB} [\text{dBm}] - IL_{T2D} [\text{dB}]$$

其中：

- $P_{IN\_T}$  读写器天线端口的标签输入功率
- $P_{TB}$  标签的后向散射功率
- $IL_{T2D}$  标签到DUT的信号路径插入损耗。

在通过建议的测量设置和上述程序收集到相应值后，即可计算当前标签输入功率的 $G^*$ 值：

$$G^* = 2.1 * \text{highRSSI} + 10 \log (1 + 10^{\text{deltaRSSI} / 10}) - P_{IN\_T} - 3$$

其中：

- highRSSI为从RSSI显示寄存器或GUI中读取的RSSI（I）和RSSI（Q）值之间的最大值
- deltaRSSI是两个RSSI值之差的绝对值
- $P_{IN\_T}$  读写器天线端口的标签输入功率
- $G^*$ 是一个常数，取决于ST25RU3993寄存器设置和读写器设计。

建议对不同的分级衰减器设置重复相同的测量和计算，以覆盖整个ADC范围（0-15）的RSSI I和Q值。最后，对所有收集的 $G^*$ 值进行平均得到G。

为了提高标签输入功率读数，面向不同的后向散射链路频率、标签编码和RX增益设置重复进行测量，得到每个配置的特定G值。

下表显示了ST25RU3993-HPEV用于各种链路设置和RX增益设置的G值。

**表3. 256 kHz / M4时的G值**

寄存器 0x0A		基带增益						
混频器增益		-9 dB 110x xxxx	-6 dB 100x xxxx	-3 dB 010x xxxx	额定 000x xxxx	+3 dB 011x xxxx	+6 dB 101x xxxx	+9 dB 111x xxxx
衰减	xxxx xx01	42	45	48	51	54	57	60
标称	xxxx xx00	50	53	56	59	62	65	68
增益	xxxx xx10	60	63	66	69	72	75	78

**表4. 320 kHz / M4时的G值**

寄存器 0x0A		基带增益						
混频器增益		-9 dB 110x xxxx	-6 dB 100x xxxx	-3 dB 010x xxxx	额定 000x xxxx	+3 dB 011x xxxx	+6 dB 101x xxxx	+9 dB 111x xxxx
衰减	xxxx xx01	42	45	48	51	54	57	60
标称	xxxx xx00	50	53	56	59	62	65	68
增益	xxxx xx10	60	63	66	69	72	75	78

**表5. 640 kHz / FM0时的G值**

寄存器 0x0A		基带增益						
混频器增益		-9 dB 110x xxxx	-6 dB 100x xxxx	-3 dB 010x xxxx	额定 000x xxxx	+3 dB 011x xxxx	+6 dB 101x xxxx	+9 dB 111x xxxx
衰减	xxxx xx01	44	47	50	53	56	59	62
标称	xxxx xx00	52	55	58	61	64	67	69
增益	xxxx xx10	62	65	68	71	74	77	79



## 5 结论

由于集成了RSSI测量功能，ST25RU3993允许用户测量输入的标签信号功率水平，或检测接近读取器LO频率的外部RF信号电平。通过内部AGC处理接收到的信号（I，Q）并设置最优增益。

本应用笔记提供了利用常数（G值）来计算外部RF载波dBm电平的公式，对两种接收机类型均以列表形式显示，可帮助用户选择正确的给定接收机增益值和滤波器配置。

为了优化性能，建议根据实际输入功率检查计算功率，并相应调整每个PCB设计的G常数。

## 6 版本历史

表6. 文档版本历史

日期	版本	变更
2017年1月3日	1	初始版本。
2021年10月5日	2	<p>更新了 <a href="#">引言</a>，<a href="#">第 1 节：外部RF - 输入信号功率</a>，<a href="#">第 1.1 节：差分输入混频器</a>，<a href="#">第 1.2 节：单端输入混频器</a>，<a href="#">第 2 节：标签输入信号功率</a>以及<a href="#">第 3 节：利用AGC计算RSSI</a>。</p> <p>增加了 <a href="#">第 4 节：ST25RU3993-HPEV的G值</a>。</p> <p>更新了 <a href="#">表 1：G 值 vs. Rx增益设置 - 差分混频器</a>和 <a href="#">表 2：G 值 vs. Rx增益设置 - 单端混频器</a>。</p> <p>更新了 <a href="#">图 1：输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 300 kHz</a>、<a href="#">图 2：输入功率 (dBm) vs. RSSI - 差分混频器 - BB = 50 kHz</a>、<a href="#">图 3：输入功率 (dBm) vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 50 kHz</a>、<a href="#">图 4：输入功率 (dBm) vs. RSSI - 单端混频器 - BB = 300 kHz</a>和 <a href="#">图 5：C (dB) vs. deltaRSSI</a>。</p>

表7. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2021年11月30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。若需 ST 商标的更多信息，请参考 [www.st.com/trademarks](http://www.st.com/trademarks)。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。

© 2021 STMicroelectronics - 保留所有权利