

集成ZigBee 的射频实现与测试 应用文章

Tektronix®

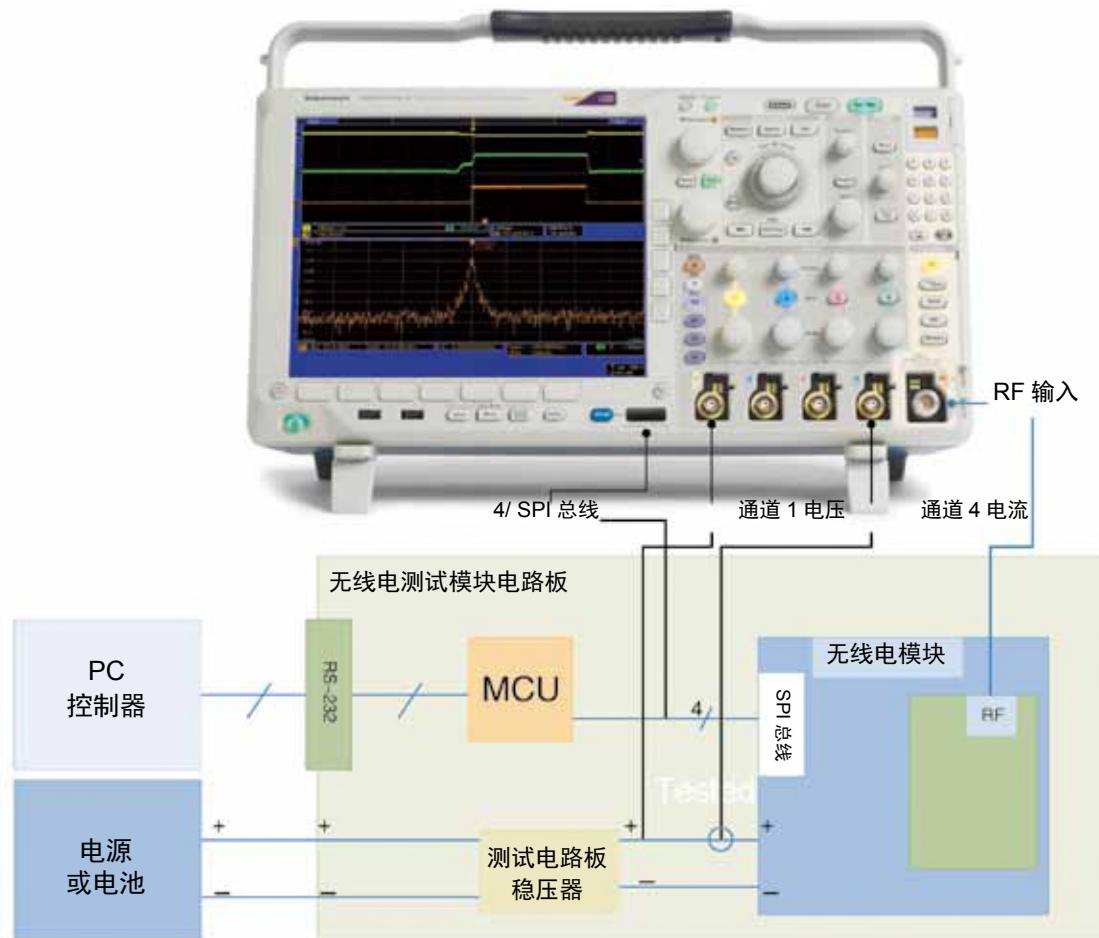


图 3. (Microchip Technologies MRF24J40MB 和 Explorer 16 演示电路板) ZigBee 无线电模块 / 测试电路板与 MDO4000B 系列混合域示波器之间的测试连接。

集成的射频测试验证

一旦选择了无线实现方式，进行了相应的PCB布线，编写了必要的软件，那么需要进行大量的测试，以保证良好的通信：

对许多应用来说，无线系统与产品其它部分之间要进行串行通信。例如，Microchip IC 和模块采用 4 线 SPI 连接，控制射频 IC 和相关组件，如功放。需要使用 SPI 命令，设置内部寄存器，选择频率信道、输出功率电平及许多其它工作参数。SPI 还用来控制通用端口引脚，这些引脚控制着功放器或其它器件。SPI 还用来把数据包发送到 IC 或模块，发送命令传送数据包。接收机数据也通过 SPI 总线返回。

微控制器中的软件(不管是集成还是分开)需要提供更高级的协议(ZigBee或其它协议)，及控制无线系统的供电，运行产品的其它方面。在许多应用中，无线传输的定时至关重要，以便产品的某个其它部分正在工作，消耗电源电压时，射频电路不会发射信号。

为了说明验证射频工作所要完成的一些测试，我们使用带有Explorere 16演示电路板的Microchip Technologies IEEE 802.15.4放大无线模块(MRF24J40MB)。这些屏幕显示是使用泰克 MDO4000B 系列多域示波器获得的，可以以时间相关的方式同时查看 RF 信号、模拟信号和数字信号。设置和数据命令从 PC 发送，允许手动控制。图 3 显示了测试设置。注意我们直接连接到射频部分，方便电源测量和其它测量。同样，可以使用校准后的天线，进行 RF 测量。

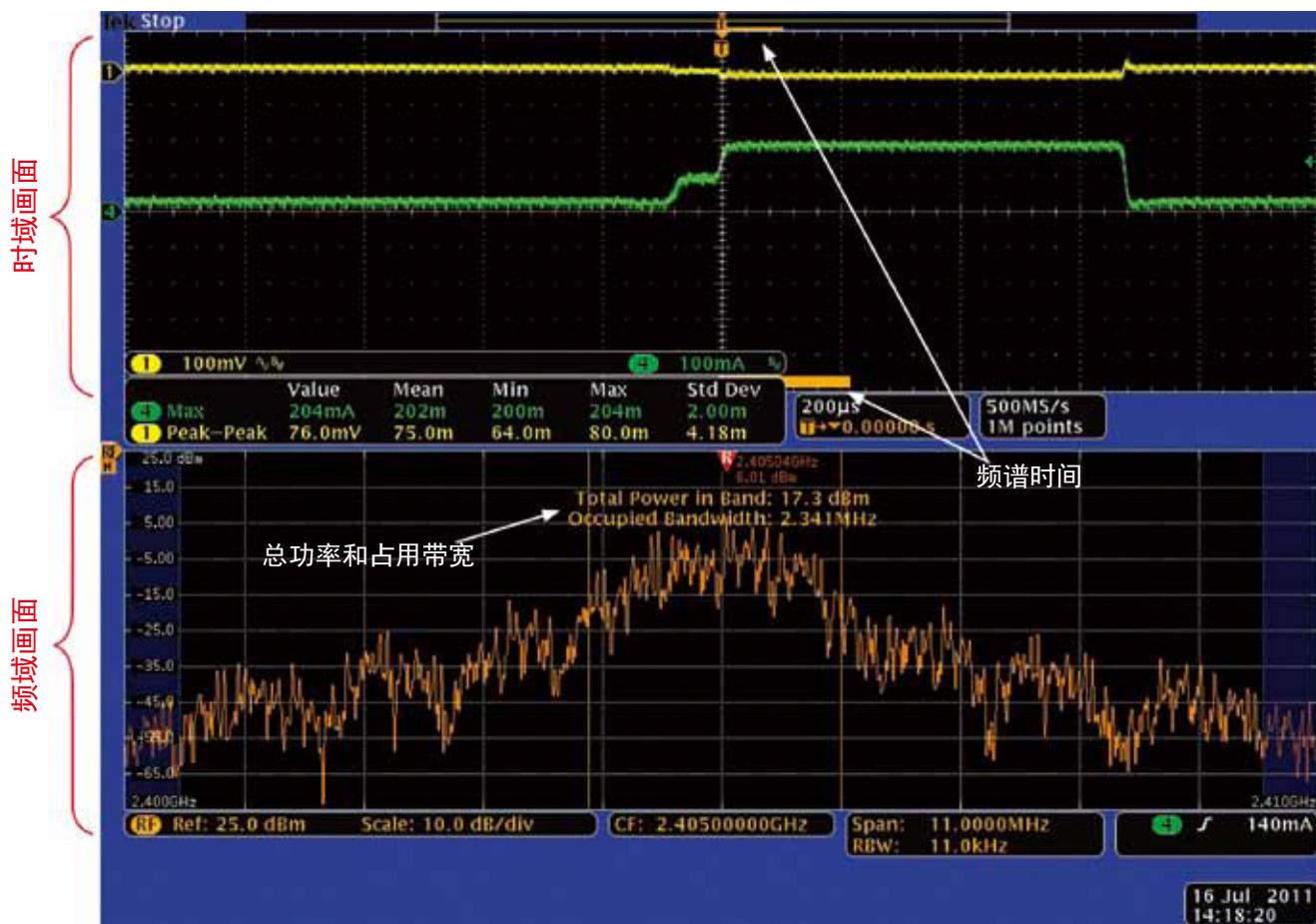


图 4. 时域画面和频域画面。橙色条表示频域画面相对于时域测量的频谱时间。

验证射频工作的一些关键测试有：

RF 测量和电源测量 – 泰克 MDO4000B 系列混合域示波器的独特之处在于，它允许同时查看射频频谱和电源，如图 4 所示。

IEEE 802.15.4（包括 ZigBee）的信道间隔为 5 MHz。20 dB 信道带宽应明显低于信道间隔。如图所示，测得的占用带宽是 2.3 MHz。输出功率约为预计的 20 dBm。屏幕下半部分显示了输出频谱，屏幕上显示了带宽和功率的直接测量结果。测试电缆在这个频率范围内损耗约 2 dB，因此功率测量位于预计范围内。

屏幕上半部分底部的橙色条表明了显示频谱曲线的时间周期。频谱时间是窗函数因数除以分辨率带宽。在本例中，我们使用默认的 Kaiser FFT 函数（因数为 2.23），RBW 为 11 kHz，则频谱时间约为 200 μ s。在时域窗口中移动频谱条，可以在数据包传输期间观察和测量数据。只有在启动无线数据包发射之后，这一采集才是相关的。

泰克 MDO4000B 系列示波器 RF 采集可以测量 RF 信号的功率和占用带宽。由于它还捕获了 RF 采集的时间记录，因此可以使用数字下变频生成 I（实数）和 Q（虚数）数据。每个 I 和 Q 数据样点表示当前中心频率 RF 输入的瞬时偏差。通过这一分析，可以从记录的数据中计算出 RF 幅度随时间的变化。

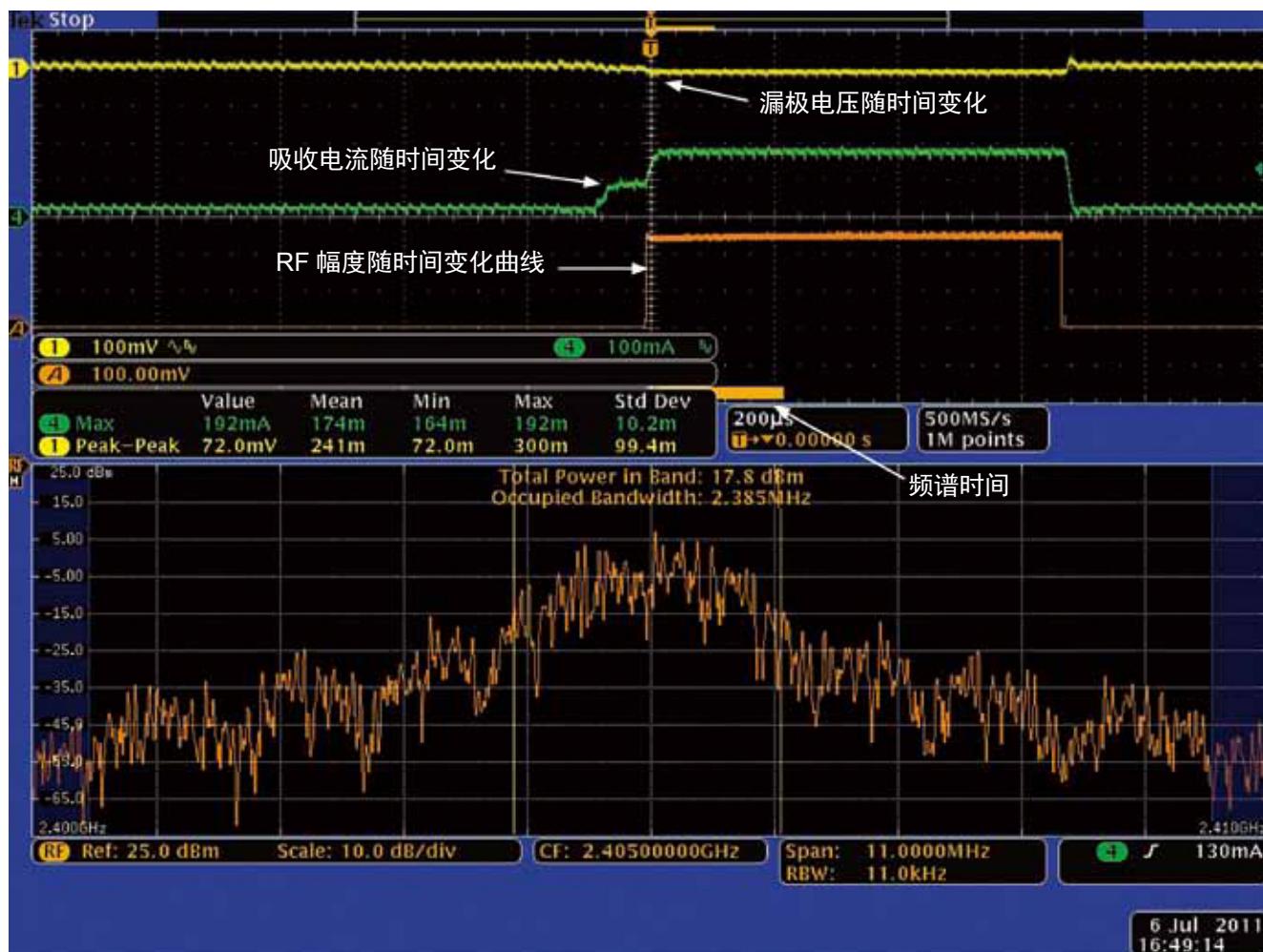


图 5. 功率和占用带宽测量, 相关的 RF 幅度随时间变化, 电源电流和漏极电压测量。

图 5 在图 4 画面中增加了 RF 幅度随时间变化曲线。这演示了图 5 显示的电流和电压测量与启动 RF 发射相关。绿色轨迹(轨迹4)显示了模块消耗的电流。在数据包传输过程中, 消耗的电流约为 200 mA (注意测量值为 174 mA), 因此电源必须设计成支持这一负荷。黄色轨迹(轨迹1)显示了消耗这一电流对供电电压的影响。电压暂降仅约为 70 mV, (注意测量值为 72 mV)。

屏幕上半部分橙色条(轨迹 A)显示了 RF 信号幅度随时间变化。输入电流分两步上升。首先, 启动射频 IC。延迟让频率合成器稳定, 然后启动功放。RF 功率上升与电流阶跃的第二部分一致。启动周期约为 100 us。

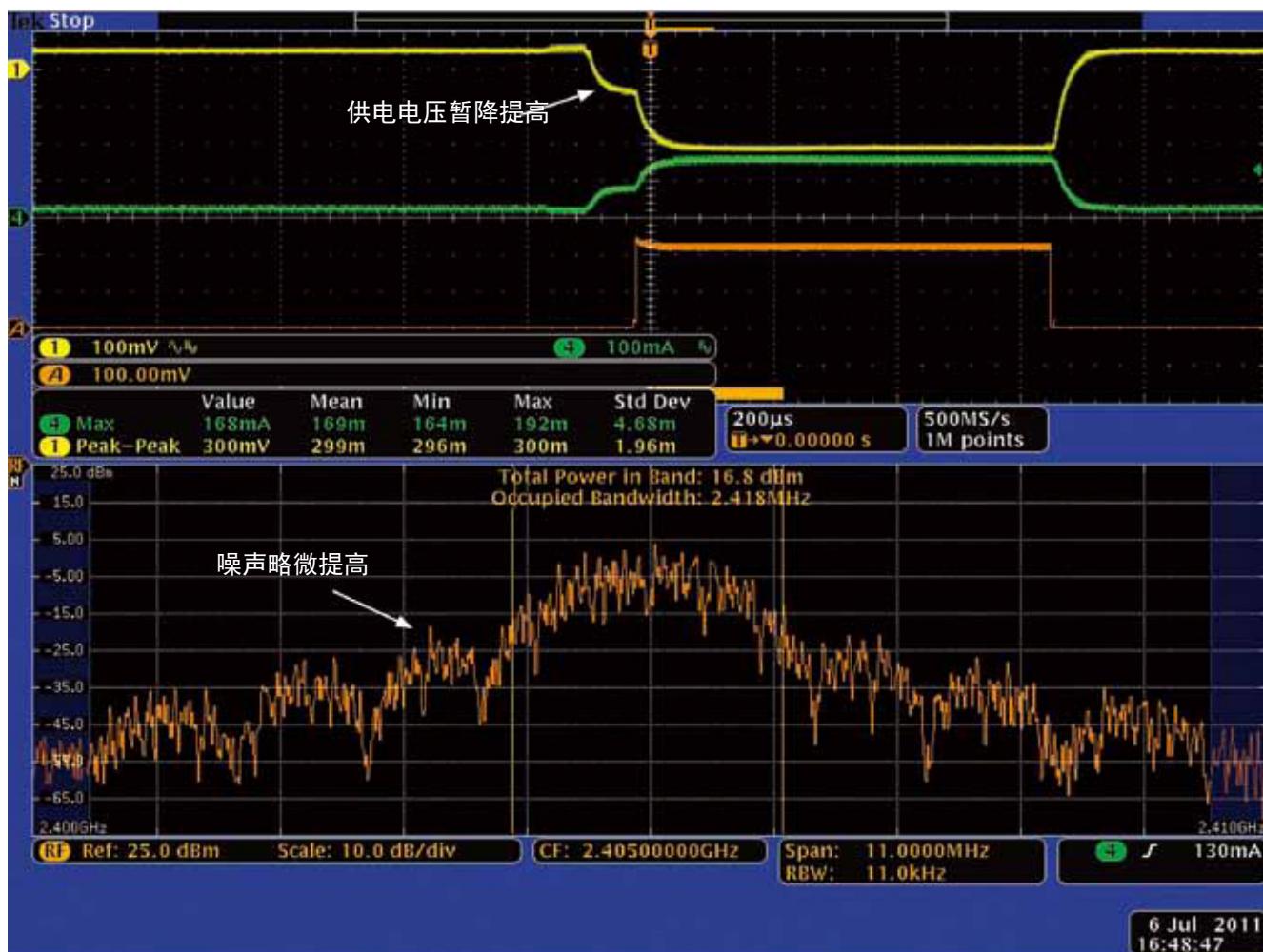


图 6. 频谱及其它测量，电阻与模块电源串联，研究低功率性能特点。

在图 6 中，1.5 欧姆电阻与模块串联，以仿真电池耗尽时的影响。模块消耗的电流只低几毫安，但电压降约 230 mV。注意测量的RF功率输出功率下降了1 dB，从频谱画面中可以看到，邻道噪声略微提高。在幅度随

时间变化轨迹（轨迹 A）中还可以看到较低的输出。通常必需了解电池电量不足或在电源限流期间无线发射机的性能，以了解射频的一致性性能余量。

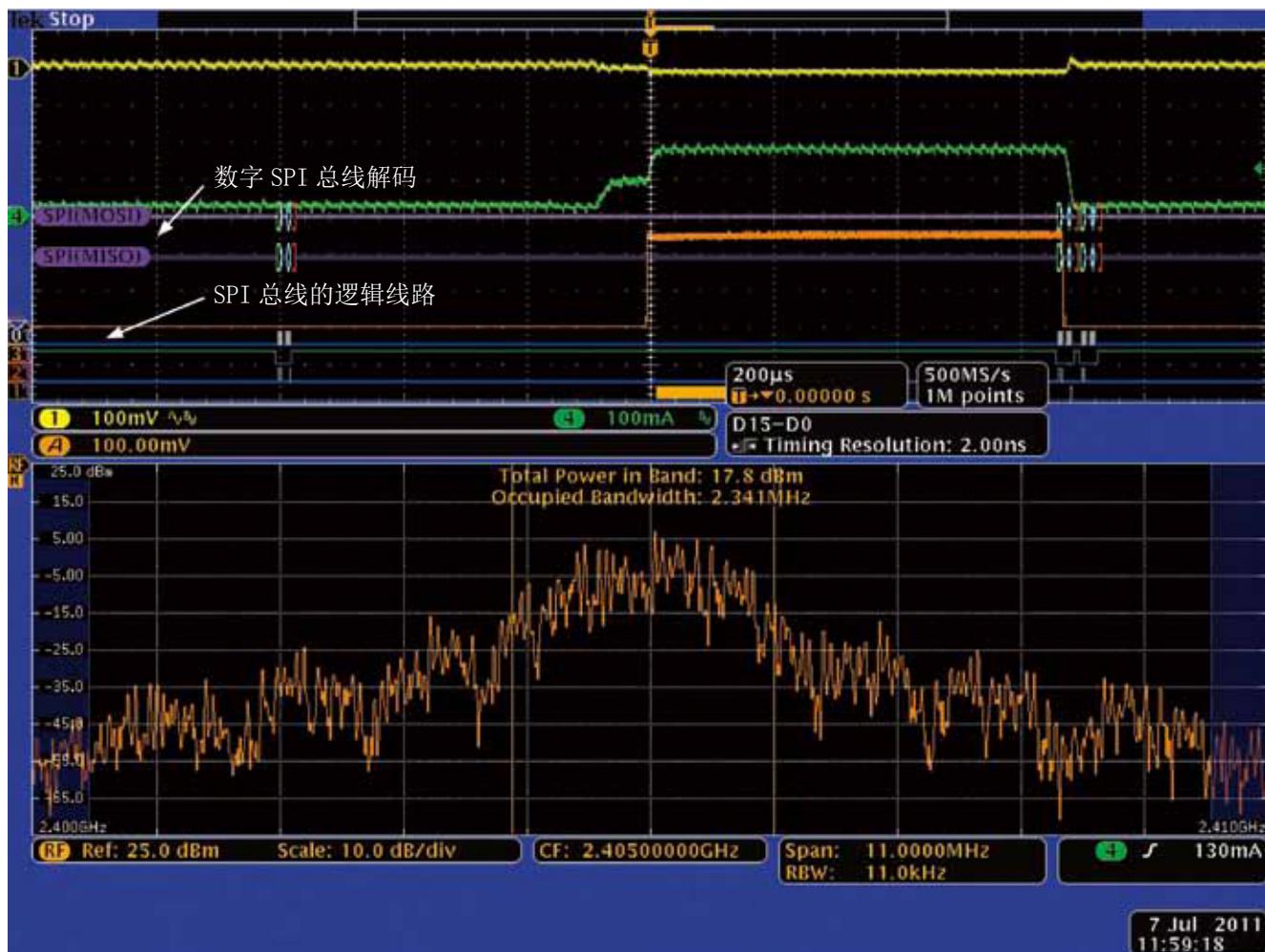


图 7. 画面中增加 SPI 数字信号 (SPI - MOSI 和 MISO) 的数据包解码。

数字命令—设置射频 IC 和模块，以满足特定应用和任何特定协议设置的工作要求。MDO 可以解码 SPI 命令。图 7 显示了与图 4 相同时间段内 SPI 命令的数字捕获结果。虽然进行了解码，但在这个时间刻度中不可读。

在图 7 中，用轨迹 4 的消耗电流在 130mA 电平以上触发来采集模拟、数字和 RF 信号。时域部分中心左面显示了 RF 启动时电流超过这一电平之前的事件，包括数字解码、模拟（电压和电流）和 RF 对时间的轨迹。从这些信息中可以很容易看到，数字命令发生在 RF 事件启动前大约 600 微秒时。

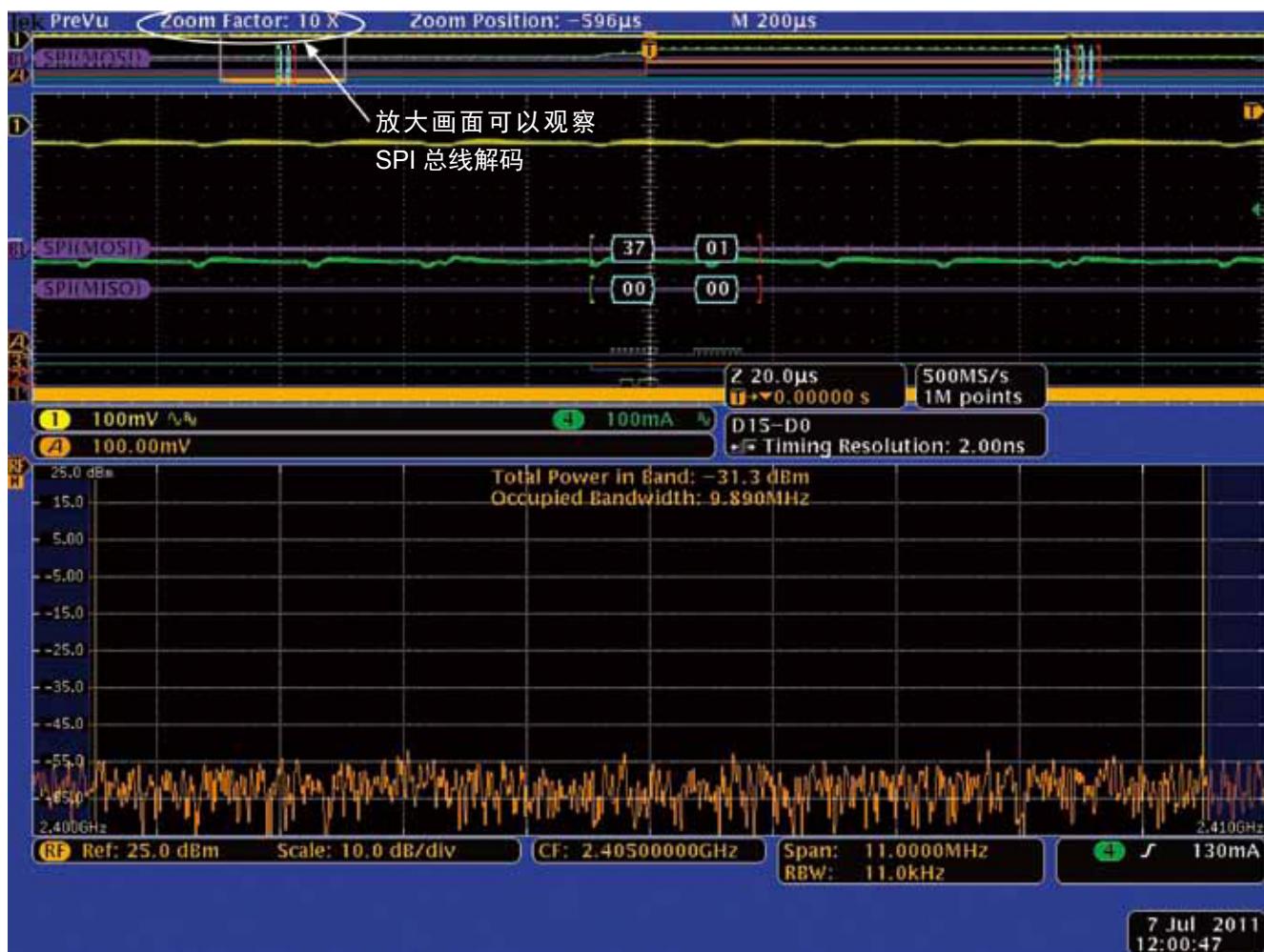


图 8. 数字曲线和解码的放大视图。注意频谱时间现在观察传输启动前的 RF 频谱。

紫色轨迹显示时域中解码后的数据。在图 8 中，我们使用 MDO 波形导航和缩放功能，读取数字波形和解码后的数据。

SPI(MOSI) 轨迹以十六进制格式显示到模块的命令。在本例中，命令 {37} 是到传送触发 (TXNMTRIG) 寄存器的命令，参数 {01} 告诉模块以先进先出方式发送发射

机中的数据包，我们已经确定其发生在大约 600 μs 后。图中显示了数字波形，但自动解码读起来要比数字信号容易得多。

可以读取或触发 SPI(MISO) 上的其它命令和数据读回，以确认命令正确，及验证射频的工作。

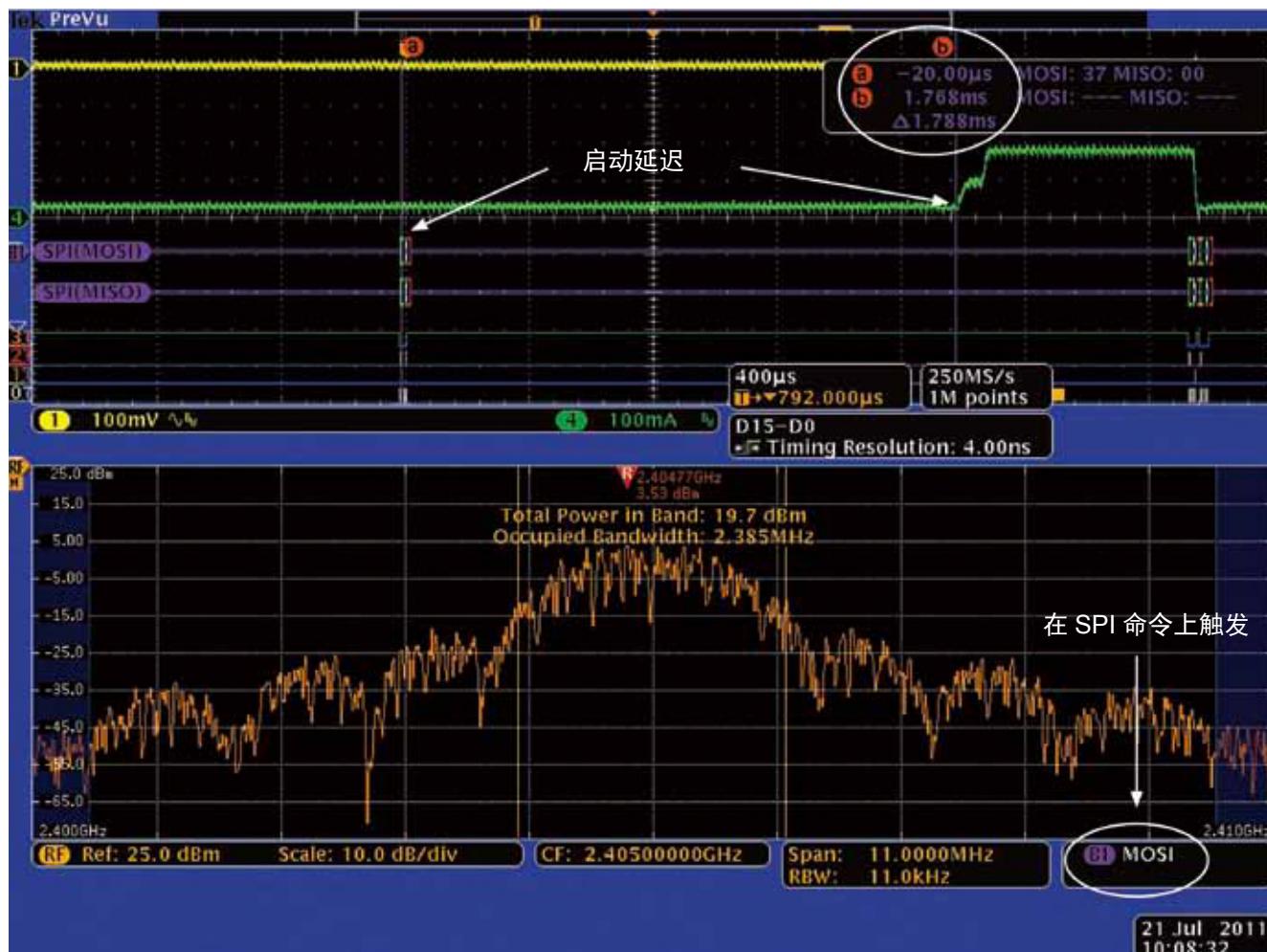


图 9. SPI 命令触发后的采集数据显示了命令与无线电启动之间的延迟。

泰克MDO系列混合域示波器的独特结构简化了SPI命令触发和相关RF事件之间的测量。在图9中，触发事件变成SPI命令{37}：无线电发射触发命令。时域画面上的标记显示，从SPI命令到消耗电流（在RF Tx启动开始时）的时间现在为1.768 ms。

在图7上面的实例中，从命令到启动的延迟约为600 μ s。图9中的实际事件长近三倍。这演示了ZigBee无线系统的特点实际上满足IEEE 802.15.4其中一项物理层性能要求。ZigBee射频在命令和启动事件之间采用伪随机延迟，以使无线系统能够监听其它ZigBee无线发射机或其它无线干扰信道。

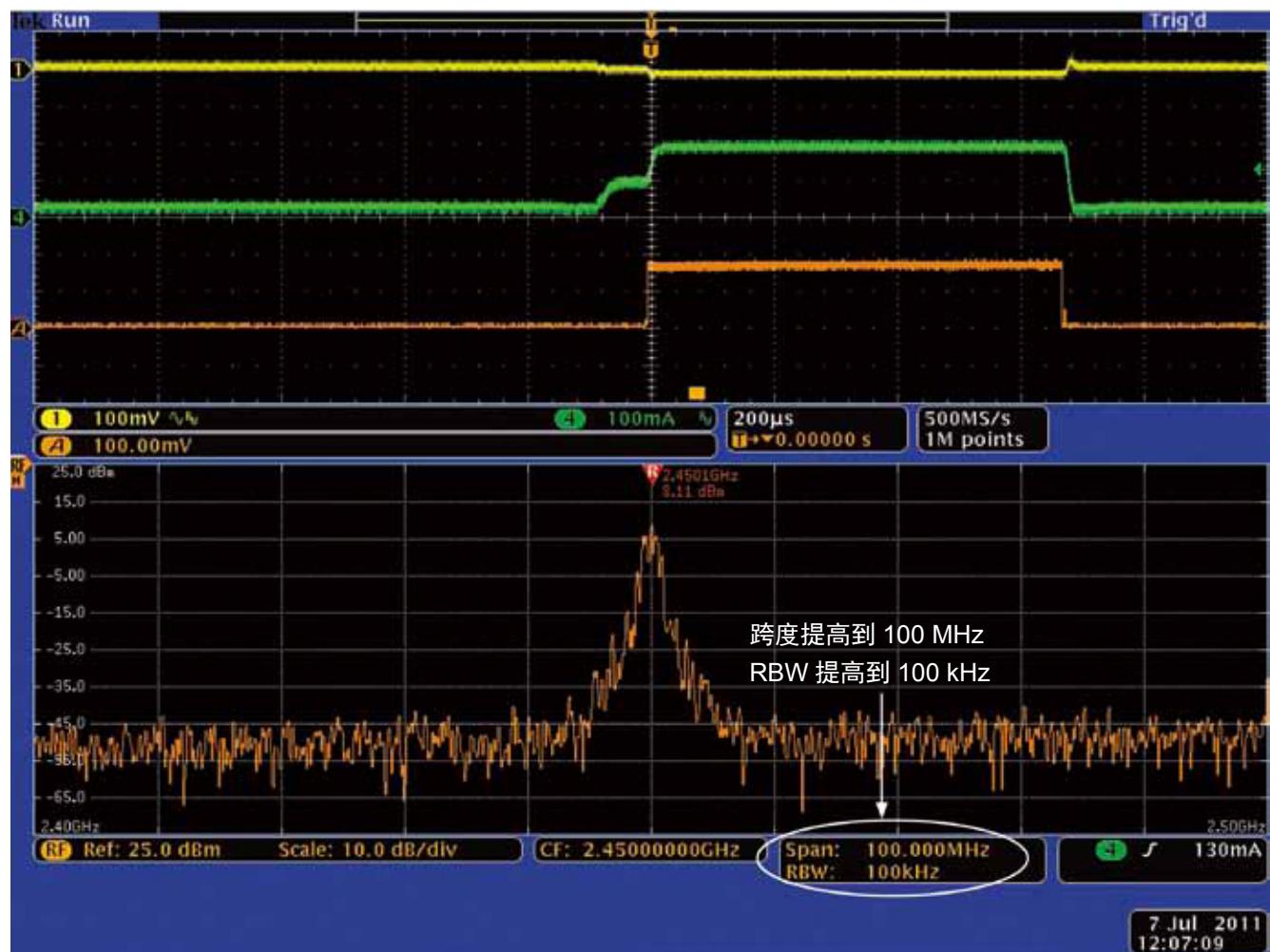


图 10. 2.45 GHz 频谱的宽扫描可以观察整个 ISM 频段的信号。

杂散信号—确认射频系统工作而没有导致干扰的杂散信号是很关键的。图 10 显示，在 ZigBee 工作的频段中没有明显的杂散信号。注意在这个图中，模块设置成

在 2.45 GHz 频段中心发射。这里使用 MARKER 功能测量峰值信号。分辨率带宽现在设置为 100 kHz，频谱时间现在降低到仅高于 20us。

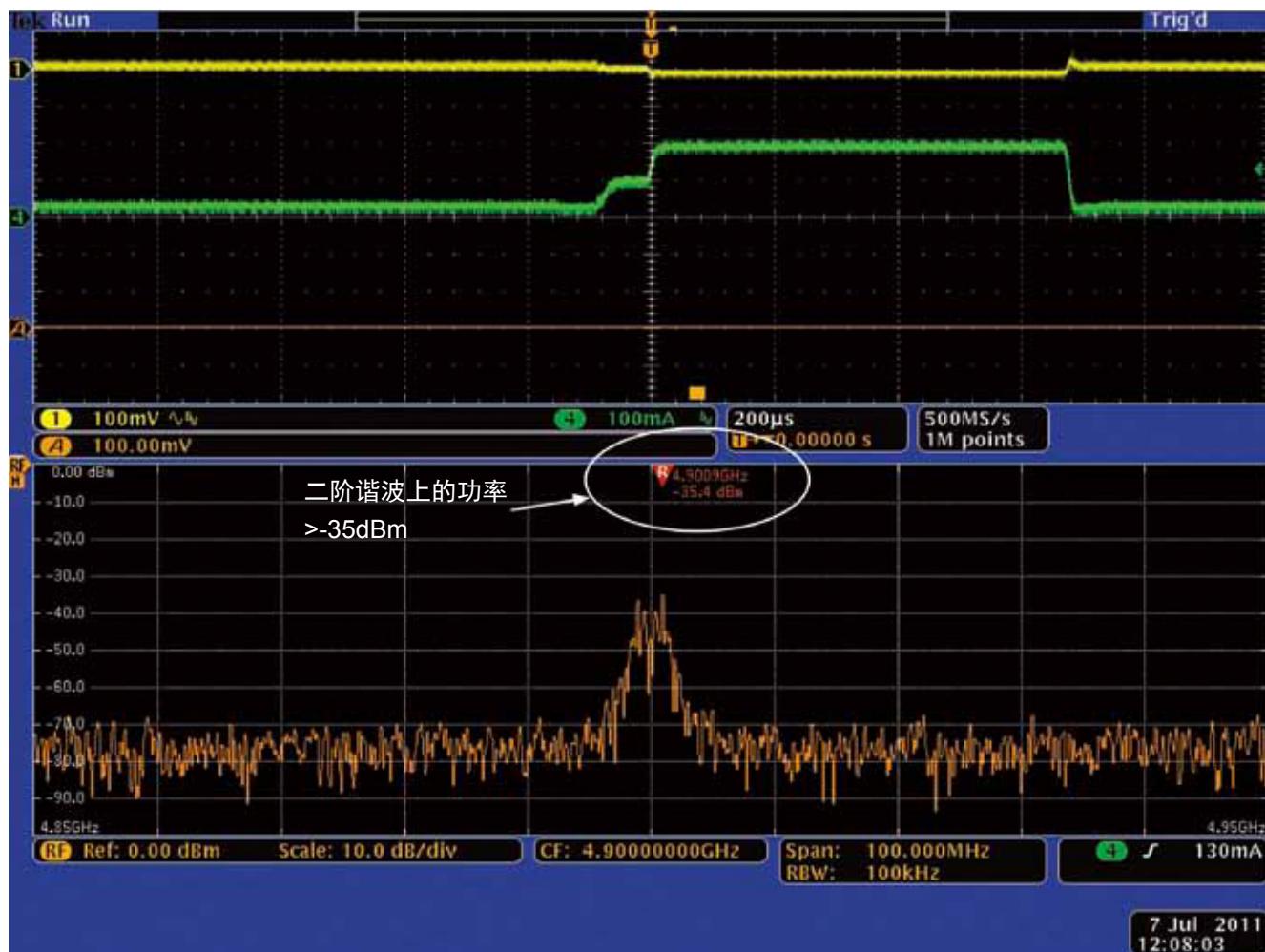


图 11. 与前面实例相同的启动条件下，触发二阶谐波 4.9 MHz 时的时间相关扫描。

查找频谱其它成分的信号也非常重要。图 11 显示了发射信号的二次谐波的频率范围，与 RF 发射启动过程中消耗电流的触发电平相关。注意，在二次谐波上只有一个信号，在其它频率上没有明显的信号。MARKER 上二次谐波信号约比基波低 35 dB，基波完全落在 FCC 规定范围内。MDO 的频谱分析仪可以快速扫描很

宽的频率范围，以确信没有不想要的杂散信号。对射频认证和一致性测试，满足认证要求的全面扫描需要使用频率更高的频谱分析仪，而使用 MDO 可以发现许多可能最麻烦的杂散信号，从而降低射频一致性测试的风险。

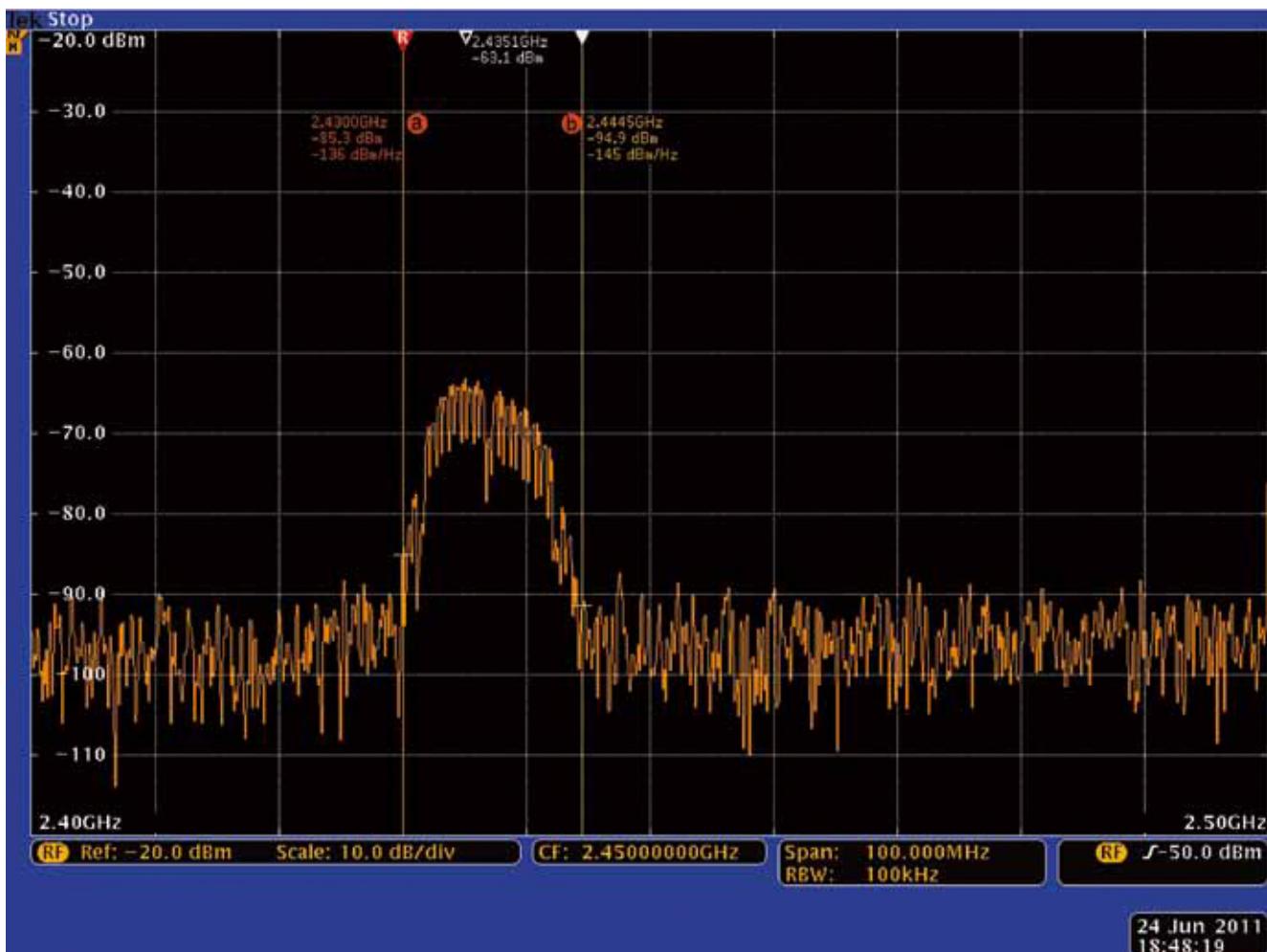


图 12. 显示了无线局域网干扰信号，评估互操作测试期间的影响。

干扰—MDO 还可以与天线一起使用，检查可能对被触发的射频产生干扰的其它射频来源。图 12 使用一个参考天线，查找可能的射频干扰源。注意存在一个大约以 2.46 MHz 为中心的宽带信号。这是同一座大楼中的 Wi-Fi 射频。它覆盖了 ZigBee 射频可能使用的大量信道。在这一射频模块应用中，最好避免使用这一频率范围的信道，因为会损害 ZigBee 射频的范围或射频完全堵塞。MDO 为查找这些信号提供了一种快速方式。本例中只使用频谱分析仪。可以使用 MDO 的 RF 触发功能，迅速捕获关心的频段中的任何信号。主参考标记显示，这是一个相当强的信号。手动标记 (a) 和 (b) 提供了干扰源的频率范围读数。这个干扰的频率范围和功率使 ZigBee 信道 17 到信道 19 不能用。当然，大多数协议（包括 ZigBee）将扫描此类干扰，移动到无干扰信道上运行。少的复杂协议可能需要手动调节工作信道。

小结

有许多选则可以实现 ZigBee 或其它 IEEE 802.15.4 无线系统。最佳方式的选择取决于许多因素，包括开发时间、单位成本与设计和认证成本对比、以及各种特殊要求，如可用空间、外形和射频特殊电气要求。不管选择哪种方法，都需要进行大量的测量，保证无线系统正确工作。RF 测量包括检查 RF 输出频率、输出幅度、占用带宽和杂散输出。确认数据包定时、耗电量和任何电源噪声也非常 important。此外，非常重要的一点是确认为无线系统设置了正确的数字配置信息、正在接收正确的数据。

泰克 MDO4000B 系列混合域示波器可以用来监测和验证高达 6 GHz 频率的 RF 工作，提供了 4 条带宽高达 1 GHz 的模拟通道以及 16 条数字信道，这些信道均时间相关。您可以使用一台仪器支持所有的功能，包括多种串行协议（如 SPI 和 RS232）。所有这些信号的时间相关性测量是很有价值的，它可以节约调试时间。

泰克 MDO 外观紧凑，便于携带，可以用于任何现场测试。它还提供了统一易用的界面，可以对多种信号执行复杂的测试。

[查看产品资料](#)

[需要现场演示](#)

[需要提供报价](#)

[参加试用活动](#)