

射频嵌入式系统的系统级设计和检验

应用指南

在设计全球部署的嵌入式无线技术时，考虑不同地区的法规要求非常重要。无线电法规在世界各地各不相同，某些频率对开放频段的无线通信设备控制和遥测最有吸引力。对某些应用，在 2.4 GHz 上工作的标准化通信设备(如蓝牙、ZigBee 或 Wi-Fi)几乎可以用于世界上任何

地方。但对其它应用，低频无线电更强的楼层穿透能力、更低的干扰及更低的能耗可能要更具吸引力。本应用指南将演示使用泰克MDO4000系列混合域示波器来设计、检验和优化射频集成电路(IC)，这些电路用于相同的应用，但应用的地区不同，分别是欧洲和北美。



图 1. 泰克 MDO4000 系列混合域示波器和 Microchip 无线电测试电路板模块。

为 900 MHz 频段无线电选择频率、功率和运行带宽

目前，900 MHz 范围内的开放频段有许多非常灵活的射频集成电路和模块。由于较低频率上的传播特点，900 MHz 频段的楼层穿透能力要远远优于 2.4 GHz 频段。这些开放频段射频技术可以用于世界上大部分地区，但必须采用不同的配置，以满足本地法规。

在欧洲大部分地区，开放频段的无线电系统允许在 868 MHz 范围内工作，拥有足够的功率，在某些国家和频段中可以以 25 mW 或更高的发射机功率覆盖大楼内几百英尺的距离。这些系统还必须拥有有限的占用带宽，因为法规中提供的频谱段相对较窄。

相比之下，在北美，915 MHz 周围开放频段的频谱分配范围相对较大(902 – 928 MHz)。但是，为了以几分之一毫瓦的功率发送，信号必须占用到至少 500 kHz 的信道中，并限制峰值功率。北美市场允许在 900 MHz 的频段中选择窄带低功率应用，或功率较高的宽带应用。还可以采用跳频，但这要求控制软件一般要比宽带(数字)调制复杂得多。尽管使用带宽较宽的信号有某些劣势，但它可以提供更高的数据吞吐量。与北美允许的窄带信号中低得多的功率电平相比，更宽的带宽及更高的发射机功率可以用于更长的距离。

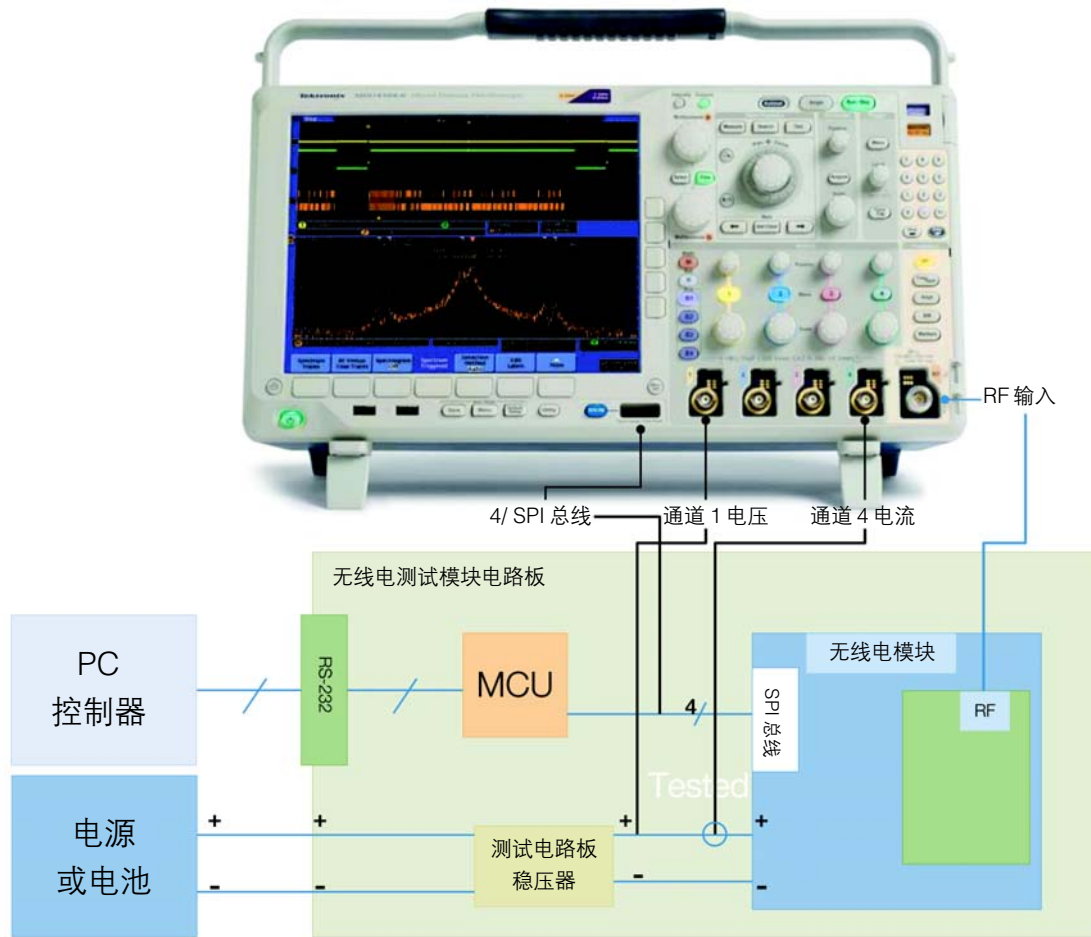


图 2. 被测器件(Microchip MRF89XA 模块)和MDO4000 系列混合域示波器之间的测试连接。

我们选择使用 MRF89XAM8A 模块上的 Microchip Technologies MRF89XA IC，来阐述部分集成问题及确认正确运行所需的测试。除在工作模式上灵活性大以外，这种集成电路的接收机能耗低，适合用于电池供电的应用。为方便起见，我们使用为 868 MHz 频段优化的同一模块，但北美需要的元件一般会略有不同。

我们使用泰克 MDO4000 系列混合域示波器执行测量。MDO4000 拥有独特的功能，能够同时显示高达 1 GHz

带宽的 4 路模拟信号、16 个数字波形、最多 4 条解码的串行总线和/或并行总线以及一个高达 6 GHz 的 RF 信号。所有这些信号都在时间上相关，显示控制信号和模拟信号对 RF 时域和频域的影响。

为了演示需要测量的信号，以保证两种发射机模式正确运行，我们使用 Microchip Explorer 16 演示电路板，控制无线电模块，简便地连接示波器。图 2 说明了这些测试使用的设置。

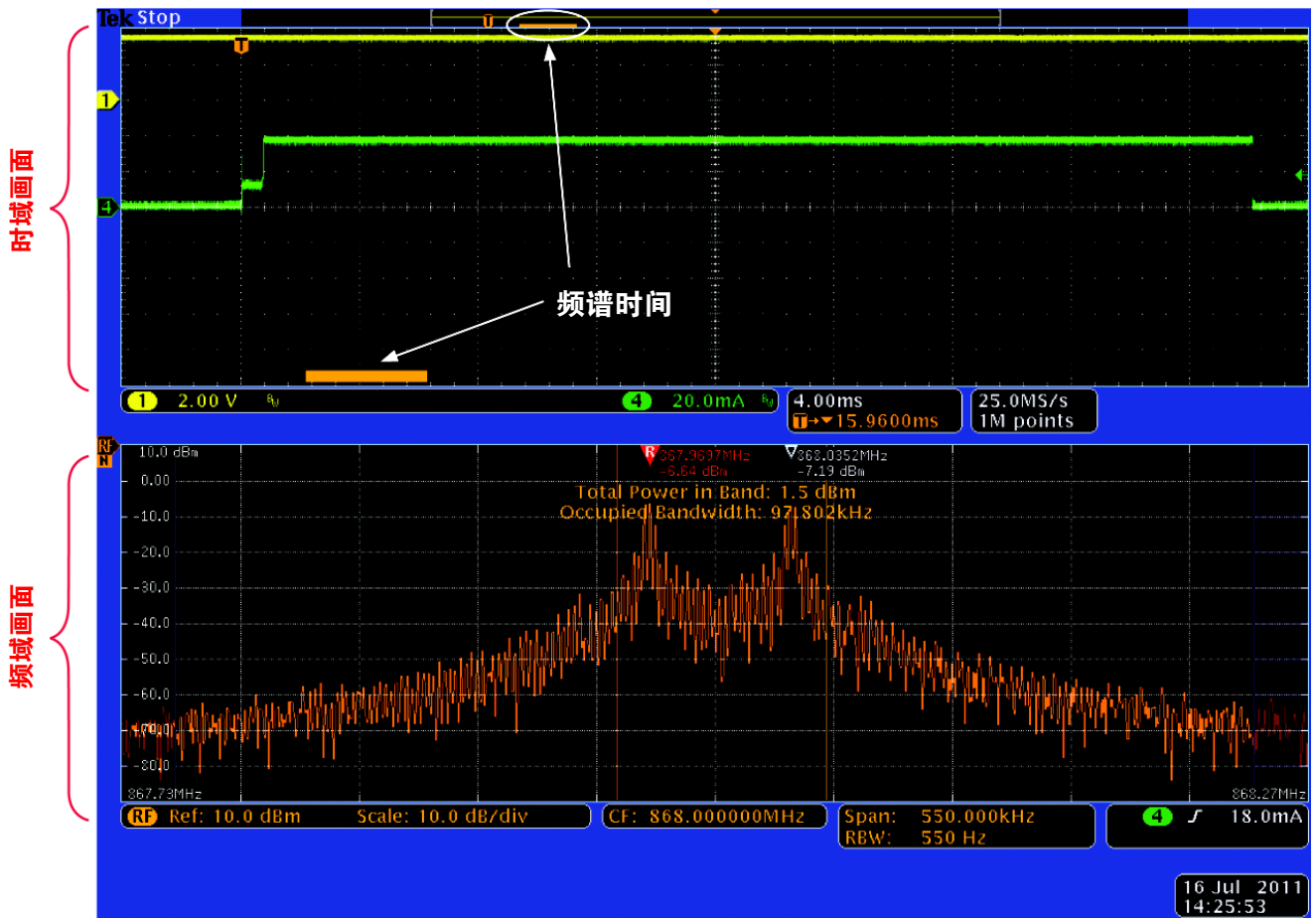


图 3. 电流探头(通道 4)上触发的低功率无线电的时域画面和频域画面。

性能设置和测量

基于 ETSI EN300 220 规定的欧洲设置— 对欧洲大部分地区来说，在 868 MHz 频段中，允许最高 25 mW 的功率，带宽一般为 100 kHz (视特定子频段而定)。对这一系统，我们把它设置成以每秒 5 kb 速率发送 FSK 调制数据(频移键控)，频率偏差为 33 kHz。

图 3 显示了 MDO4000 系列的时域画面和频域画面。画面上半部分显示了电源电压(通道 1, 黄色曲线)和电流(通道 4, 绿色曲线)的传统时域图。画面的下半部分显示了 RF 输出的时间相关视图。在本例中，发射机输出显示的时间要略迟于发射机启动时间。通过在关心的频率跨度中在 RF 采集输入上执行快速傅立叶变换(FFT)，计算得

出频谱。这是基于矢量信号分析的频谱分析仪的一项常用技术，与传统扫频分析仪相比，能够在非常短的一套采集数据上提供频率信息。

图 3 中的橙色条显示的频谱时间为 4ms，对应的是前置码部分传输过程中射频信号的频谱，以及同一时间刻度上多条时域曲线。频谱时间通过把窗口整形因数除以分辨率带宽(RBW)确定。在这个实例中，默认的 Kaiser Window 函数及 2.23 的整形因数和 550 Hz RBW 要求的采集时间约为 4 ms。频域画面还显示了总功率和占用带宽测量数据。相比之下，对类似的 RBW 和跨度设置，普通扫频分析仪可能要用几秒钟的时间扫描频谱。这种持续时间不到 40 ms 的 RF 突发事件发生得太快，不能使用传统频谱分析仪分析。

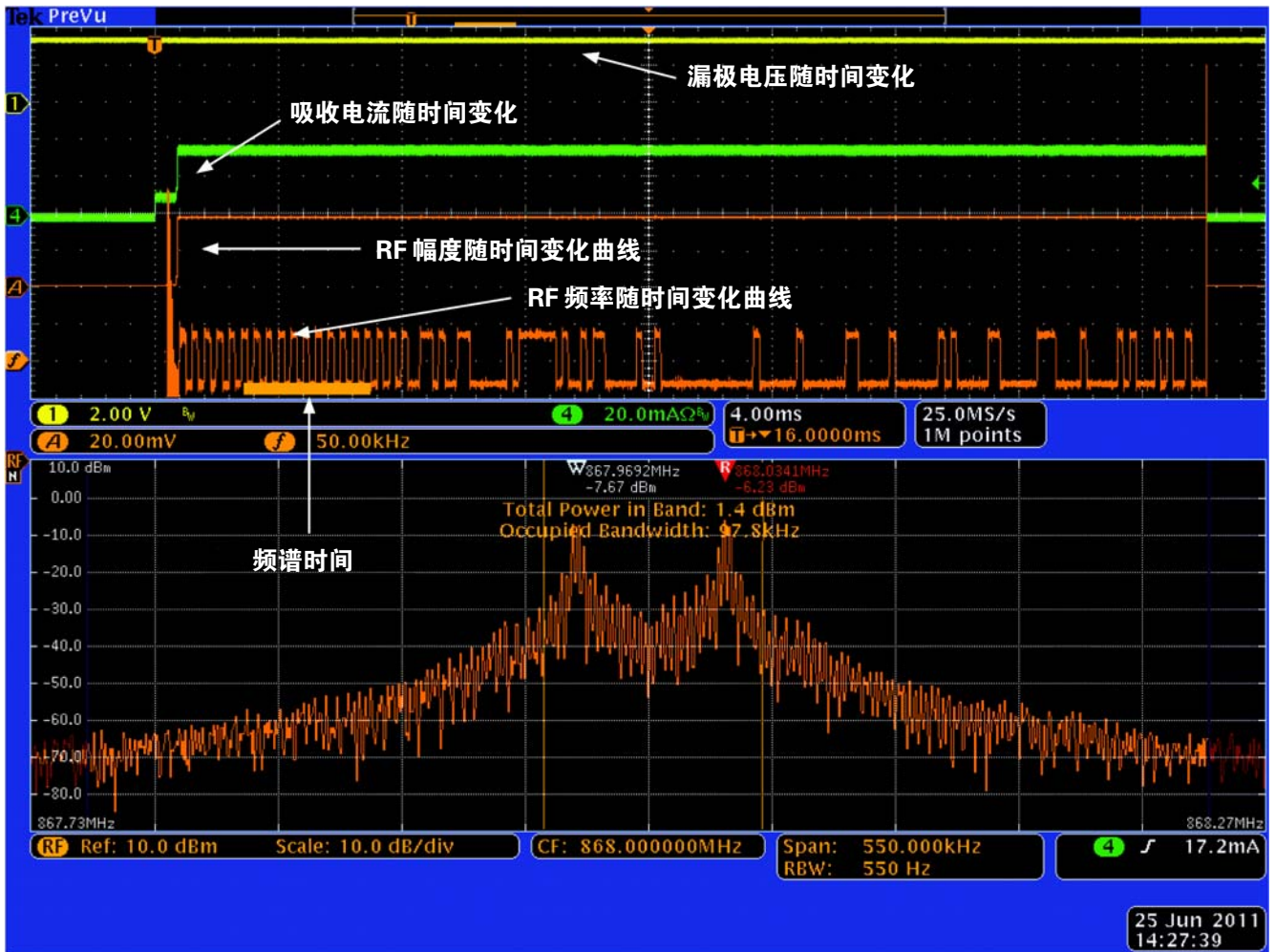


图 4. 现在增加相关的 RF 幅度随时间变化曲线和频率随时间变化曲线，显示这个事件与 FSK 无线电的发射机启动及前置码部分相关。

图 4 在时域画面中增加了射频信号幅度随时间变化轨迹和频率随时间变化轨迹。由于 MDO4000 系列示波器 RF 采集功能采集 RF 时间记录，可以使用数字下变频过程，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，可以在同一套数据上计算出射频信号幅度和频率随时间变化，并在与其它模拟通道和数字通道时间相关的视图中予以显示。

图 4 演示了这个信号是 FSK 调制信号，频谱时间在这个 FSK 调制的射频信号的前置码部分采集。分辨率带宽 (RBW) 设置为足够长的采集，以捕获 FSK 信号的两个频率，使用 RF 峰值检波器测量占用带宽和带内功率。

在前置码期间测得的占用带宽为 98 kHz，满足这个 FSK 调制的技术数据。输出功率 1.4 dBm (刚好大于 1 mW) 低于目标，但通过更好匹配或简单的功放，可以简便地提高到 25 mW (或在国家法规允许时提高到更高)。与前面图 3 一样，在屏幕的上半部分，绿色曲线(曲线 4)是射频模块吸收的电流。黄色曲线(曲线 1)显示了为模块提供的电压。曲线“A”是射频信号幅度随时间变化的轨迹。注意在射频电路启动时，电流一开始时上升了几 mA。只有在电流完全达到 40 mA 时，RF 信号才开始发射。

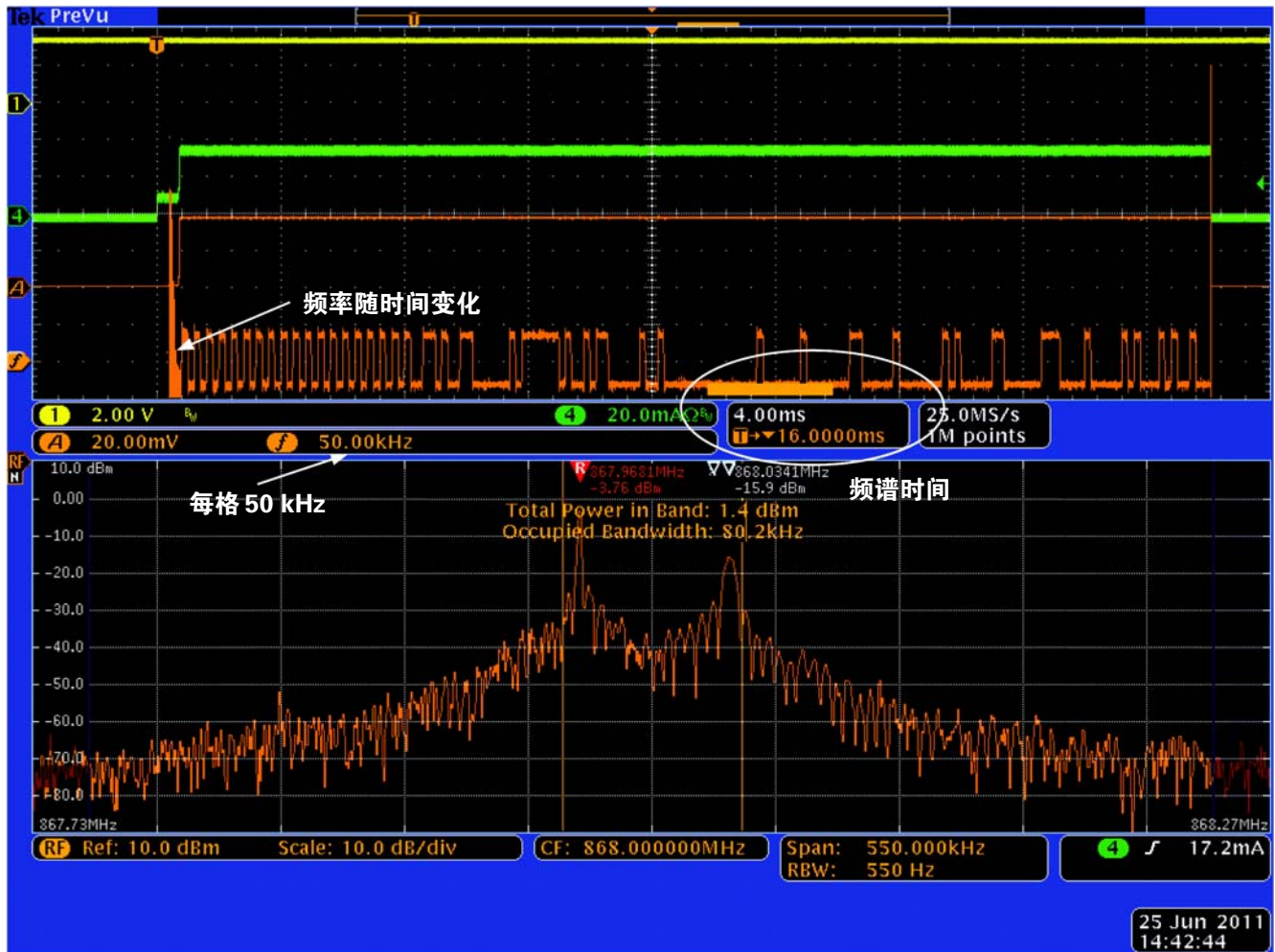


图 5. 将频谱分析时间移动到数据包后部，置于两个频率中较低的频率处。

橙色曲线“f”表示频率随时间变化轨迹，显示了信号FSK调制在50 kHz/格时的频率偏差。在频谱(频域)和时域中都确认了预计的 +/-33 kHz 偏差，显示了MDO4000示波器的处理能力和简便性。

在图 5 中，频谱是在数据包后部在橙色条的新位置获得的。输出功率相同，但频谱显示更多的能量位于两个FSK

调制频率较低的频率上，与频率随时间变化曲线表示的符号周期一致。可以使用这一功能，查找RF输出或调制中的任何畸变。MDO能够提供时间相关的电源、调制和RF频谱，这种能力在单独的示波器和标准频谱分析仪中很难实现。在单独的示波器和频谱分析仪中，顶多可以打印两个屏幕，然后把屏幕叠加在一起。这需要保证两台仪器能够一起触发，一般很难实现。

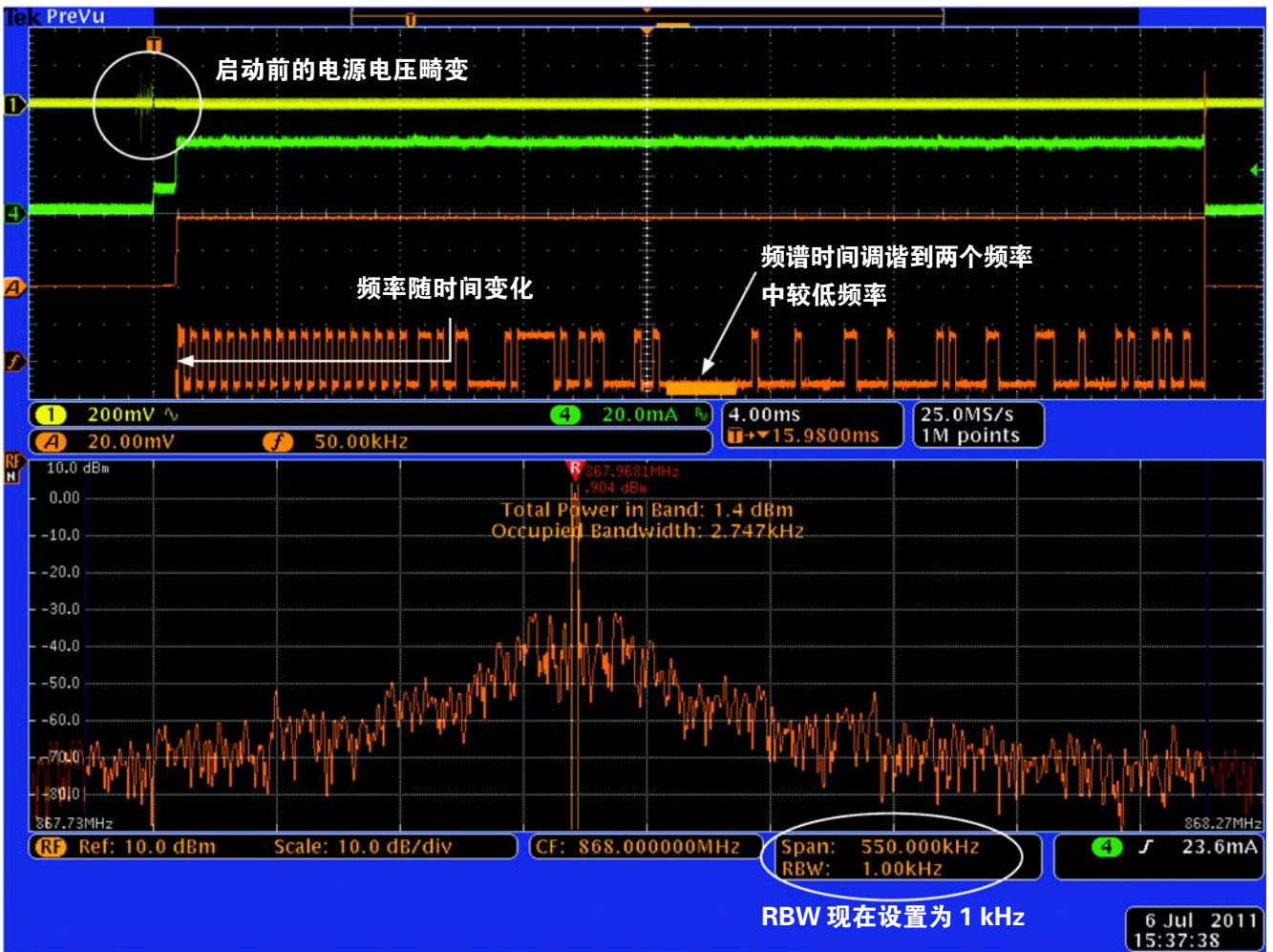


图 6. FSK 信号中仅一个频率间隔期间的频谱。

通过改变分辨率带宽设置, 频谱画面还将显示只显示一个频率值的时间周期中的频谱, 如图 6 所示。总功率测量与图 5 相同。可以使用 RBW 设置设定 RF 显示量程, 移到频谱的任何部分。这里, 分辨率带宽从 550 Hz 提

高到 1 kHz, 显示了比图 5 更短的时间周期内 (~ 2 ms) 的频谱, 从而只显示一个频率。另外注意, 通道 1 上电压测量的标度已经改变 (200mV/div), 显示在电流刚开始上升时的部分畸变。

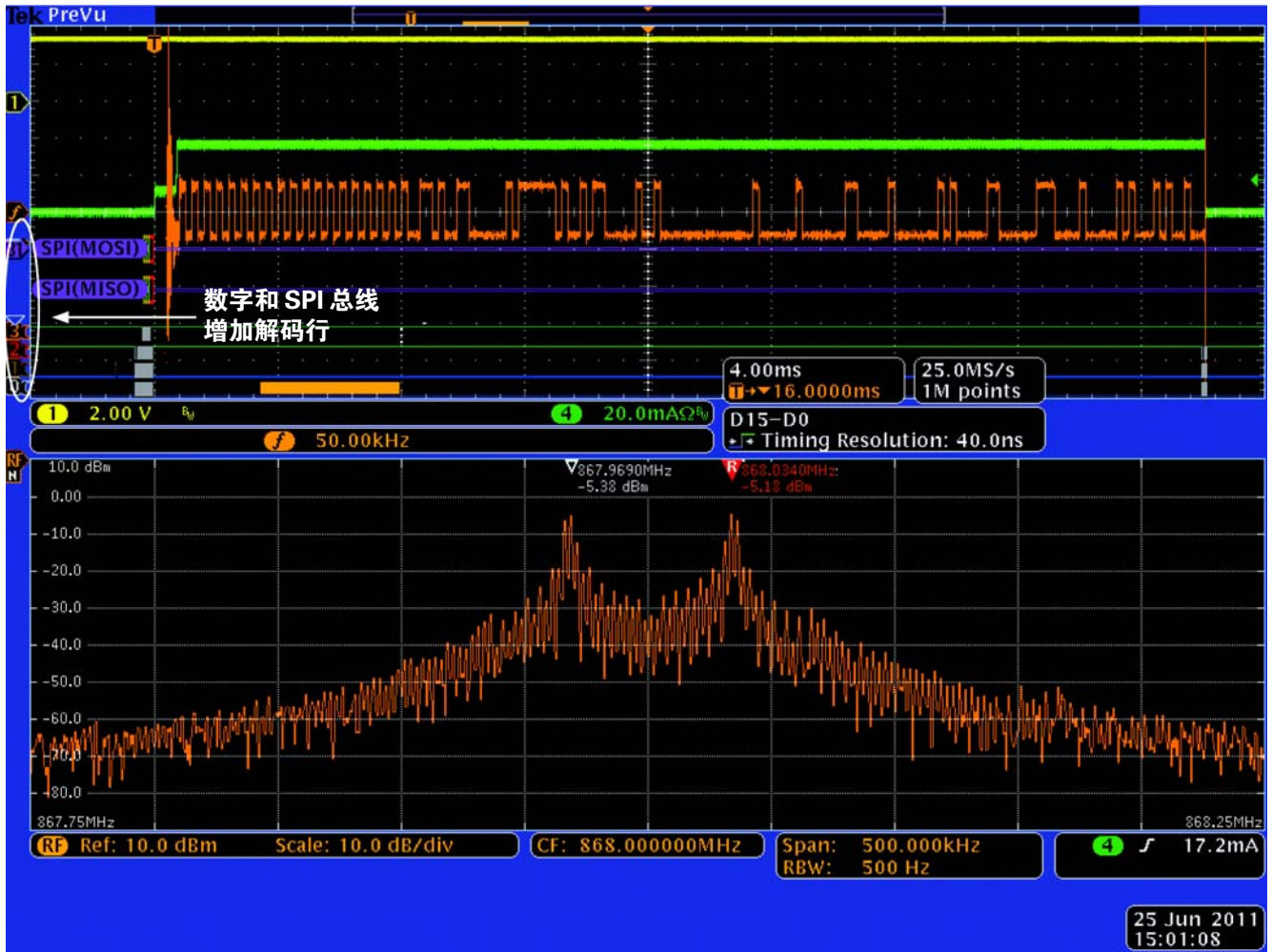


图 7. 在同一事件采集过程中显示 SPI 数字解码数据(MOSI 和 MISO)。

查看从微控制器发送到射频模块的命令也有很大帮助。在图 7 中，数字探头连接到 SPI 总线上，SPI 总线连接射频模块，打开 SPI 总线解码。MDO 能够显示各种总线中

解码后的数据，包括 I²C、CAN、RS232、USB、以太网、等等，因此可以监测大多数控制总线，我们甚至可以使用总线传送的数据触发示波器。

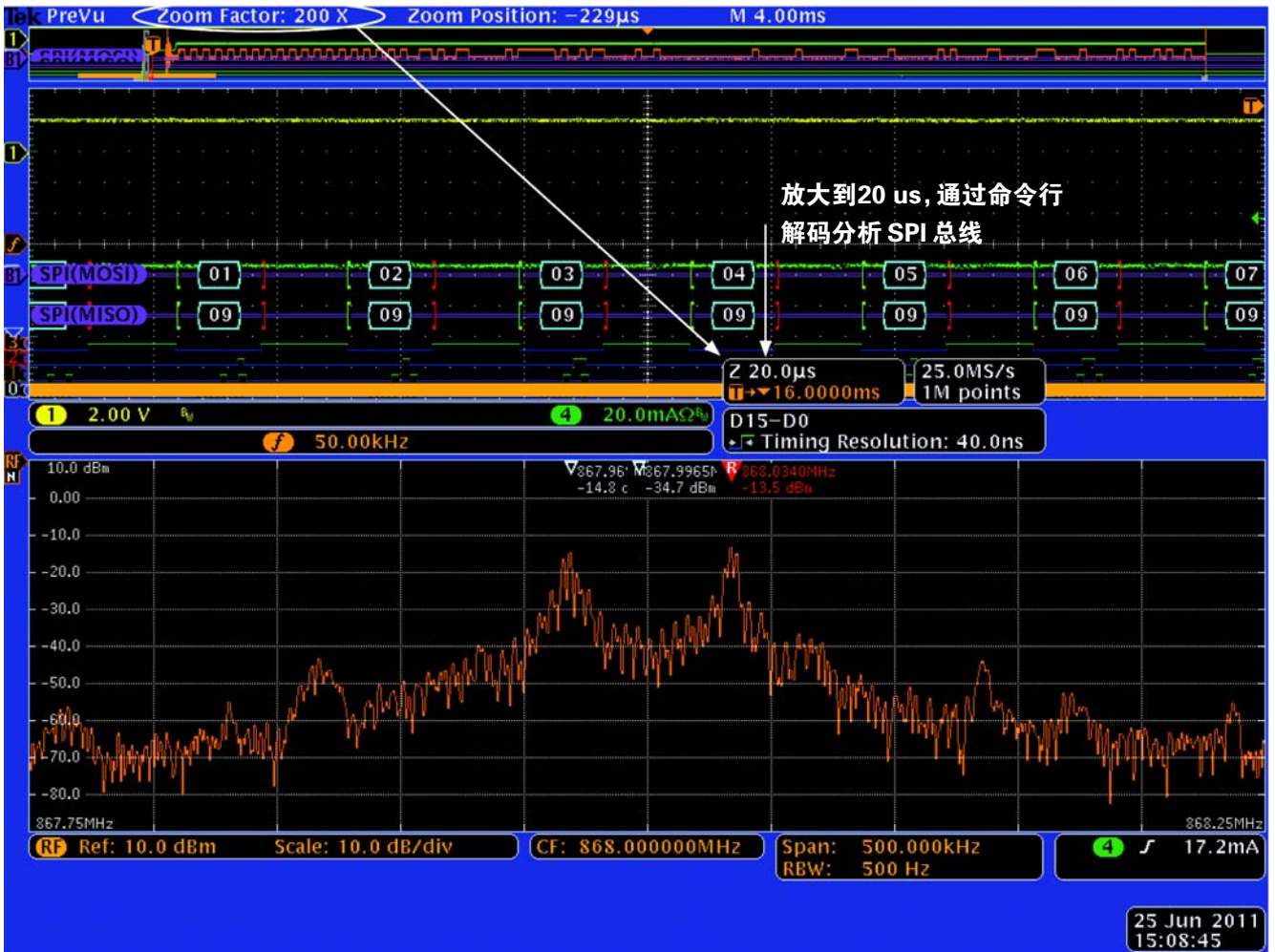


图 8. 使用 MDO4000 系列示波器缩放功能解码的数据和数字波形。

MDO 设置成在屏幕中采集 100 万样点。尽管数字信号很快，但使用卷动和缩放功能可以看到数据。图 8 显示了数据包发送前的解码数据。发送的数据是 {0x01}、{0x02}、…{0x08}。在时域画面放大到每格 20 us 时，图

8 中可以看到解码后的这些数据。在屏幕的时域部分底部，现在还可以看到数据的数字版本。认真看一下图 8 中的频域曲线“f”以及这个图的顶部，可以看到包头后面数据相同。

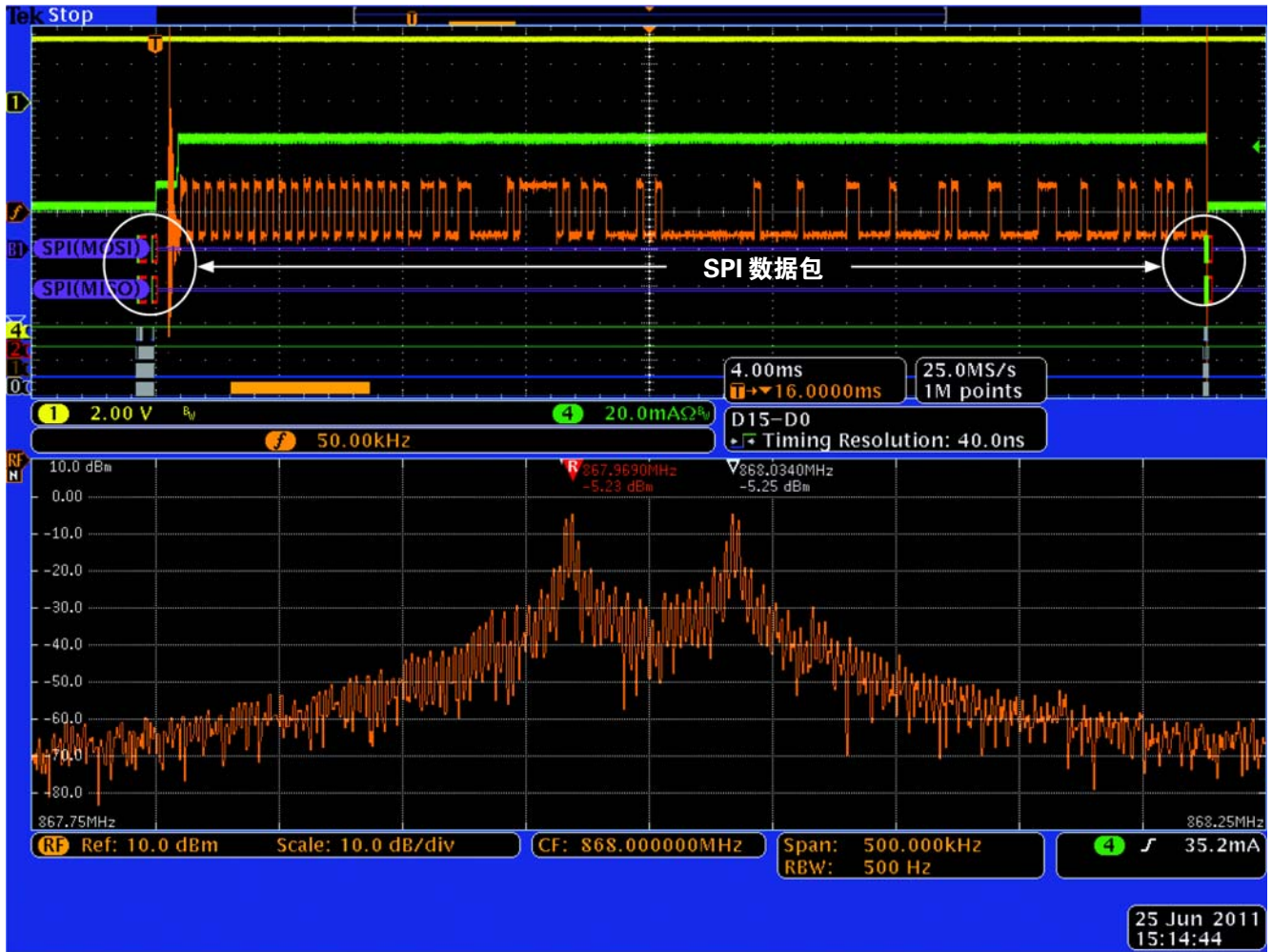


图 9. 频谱及 SPI 数字命令。

在图 8 中，频谱时间现在包括从预触发中采样的数据及开机特点，因为它包括 RF 信号为“ON”和“OFF”时的样点，得到的频谱显示电平下降。通过为命令选择解

码行，而不是数据，可以以类似方式解码和检查命令。图 9 显示了包头和包尾使用命令数字解码得到的整个数据包。

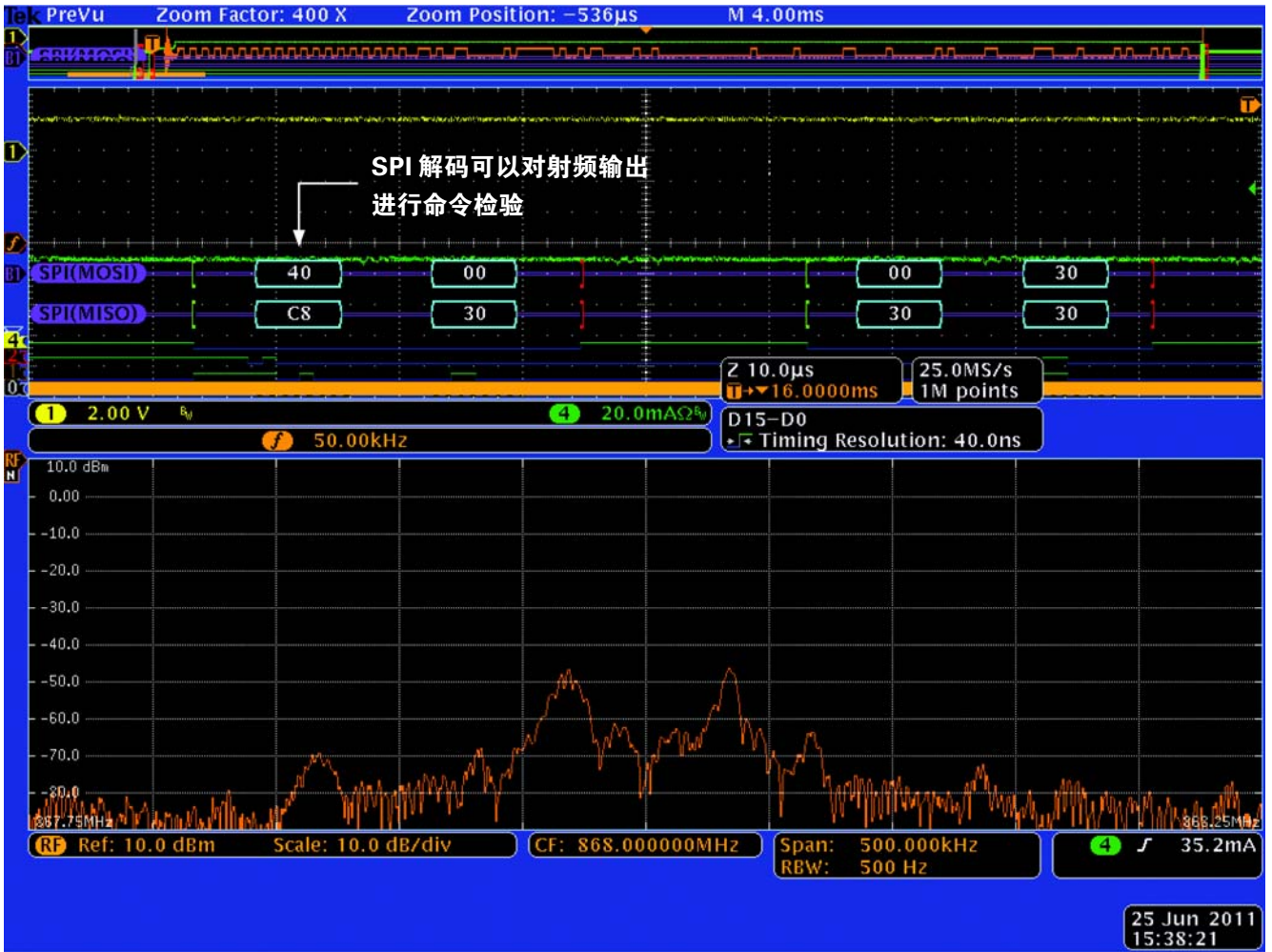
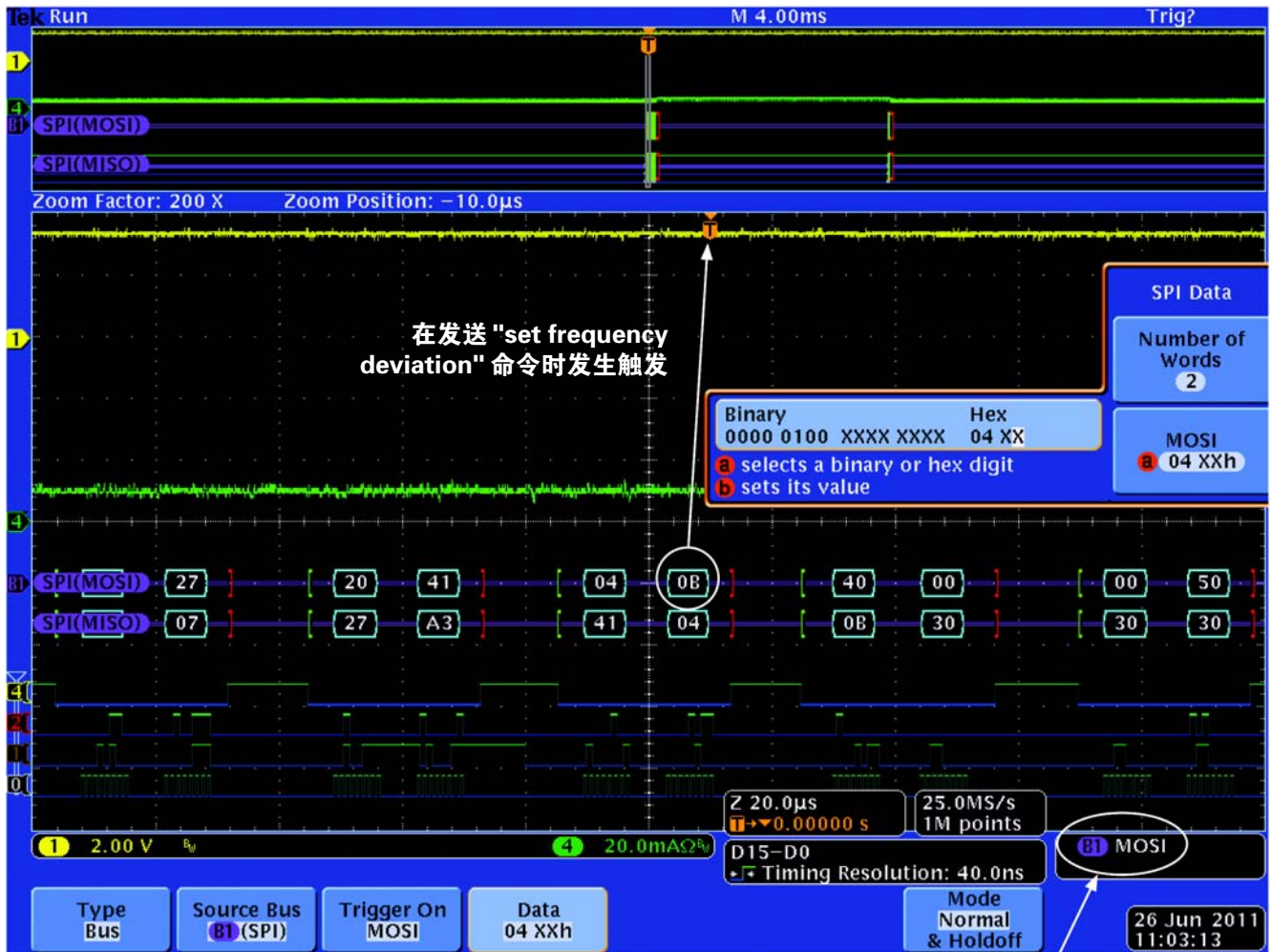


图 10. 解码后的命令和数字波形。

图 10 使用滚动和缩放功能，显示了解码后的命令读写整体配置寄存器。SPI(MOSI)行的第一对字节读取通用配置寄存器，在 SPI(MISO)行中返回值{30}。第二对字节{00

30}在 868 MHz 频段中，把地址 0 上的通用配置寄存器设置成待机模式。

这种功能非常强大，可以确认射频 IC 正确设置。



触发现在设置为 SPI(MOSI)解码

图 11. 在 MOSI(B1)上触发设置频率命令{04 XX}。

MDO4000 示波器还允许触发 SPI 命令。在图 11 中，屏幕中心显示了命令{04 0B}。命令{04}设置发射机输出的频率偏差。SPI 触发被设置成触发两字节字，第一个字节

是命令。显示的值是 FSK 发送信号中 +/- 33 kHz 偏差的值。在 MRF89XA 射频模块产品技术资料帮助下，可以解码其它命令。



图 12. 触发 MOSI 命令，观察频率随时间变化曲线。

图 12 的截图显示了 MDO4000 示波器结构其中一个独特的优势。通过使用图 11 设置频率偏差时确定的 SPI (MOSI) 触发条件, 我们现在改变水平时基(200 us/div)和放大倍数, 测量 SPI 命令的影响。可以即可得到射频模块吸收电流的变化情况(通道 4 绿色波形), 频率随时间变化(橙色曲线)现在显示 RF 信号出现与电流变化有 700 us 延迟。这在一个简单的画面中演示了 SPI 命令和 RF 事件之间的启动时延。

北美设置基于 FCC rule 15.247 规定—如前所述, FCC 规定要求更宽的带宽, 以足够的功率在室内距离中发送数据。尽管这可以实现更快的数据传输, 但有效的接收机灵敏度会下降。实现这种更宽带宽的其中一种策略是把数据速率提高到 200 kbps, 把偏差提高到 +/- 200 kHz。

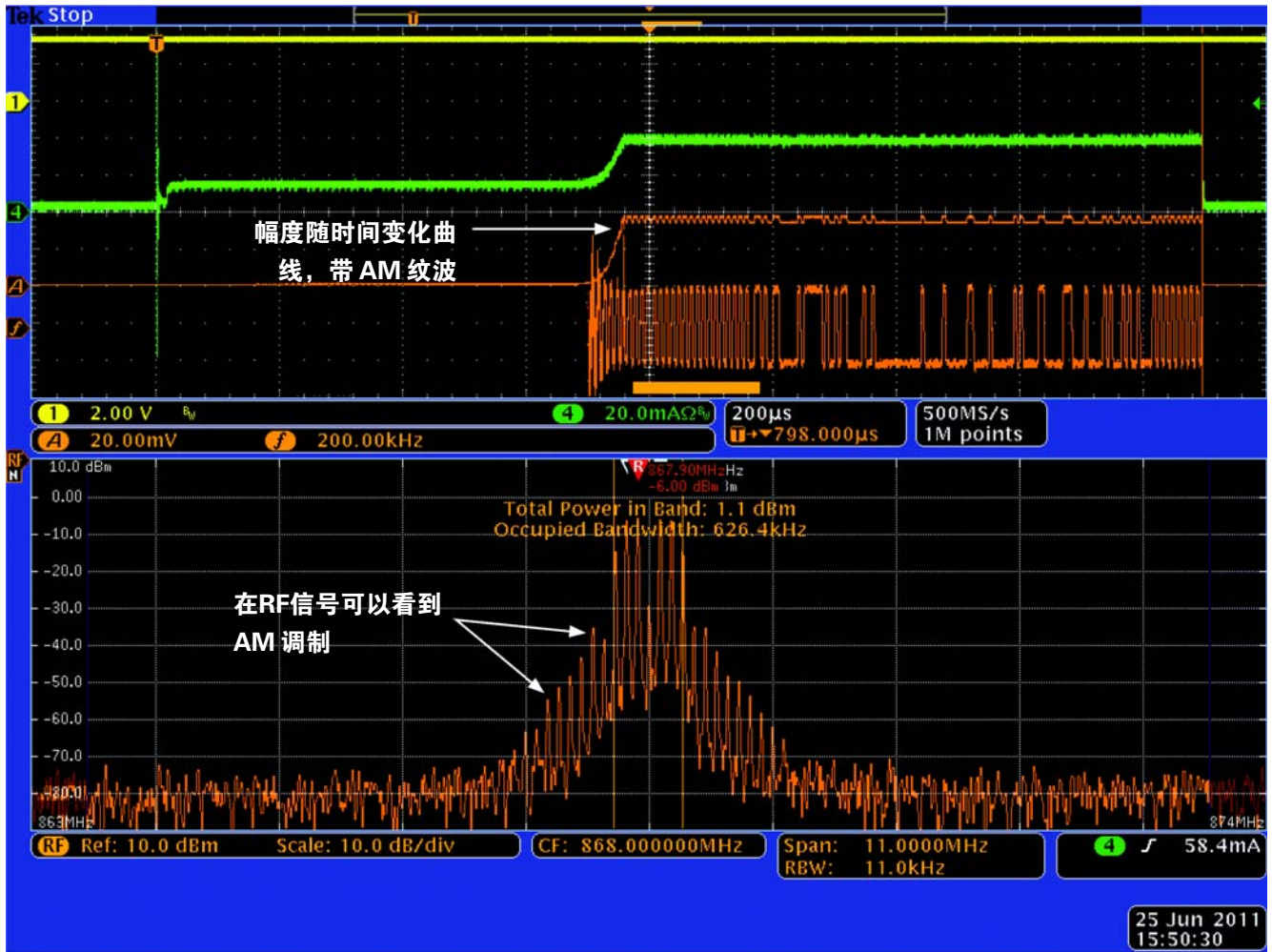


图 13. 北美开放频段在前置码传输过程中的宽带频谱和测量。

在图 13 中，显示了数据包前置码期间的频谱。现在占用带宽超过 500 kHz，因此满足法规要求。时域频率随时间变化一曲线 “f”，显示了预期的 +/- 200 kHz 偏差。注意幅度随时间变化一曲线 “A” 显示了这么宽的偏差上的部分幅度调制(在欧洲较低频率偏差设置中不存在，图

4-6 所示)。在频谱结果中可以轻松看到 AM 调制。FSK 调制信号不需要有幅度调制，当前大小的幅度调制可能不会给接收机解码这一信号带来任何困难。另外，注意电流(绿色波形通道 4)和 RF 幅度(曲线 A)信号相互追踪。

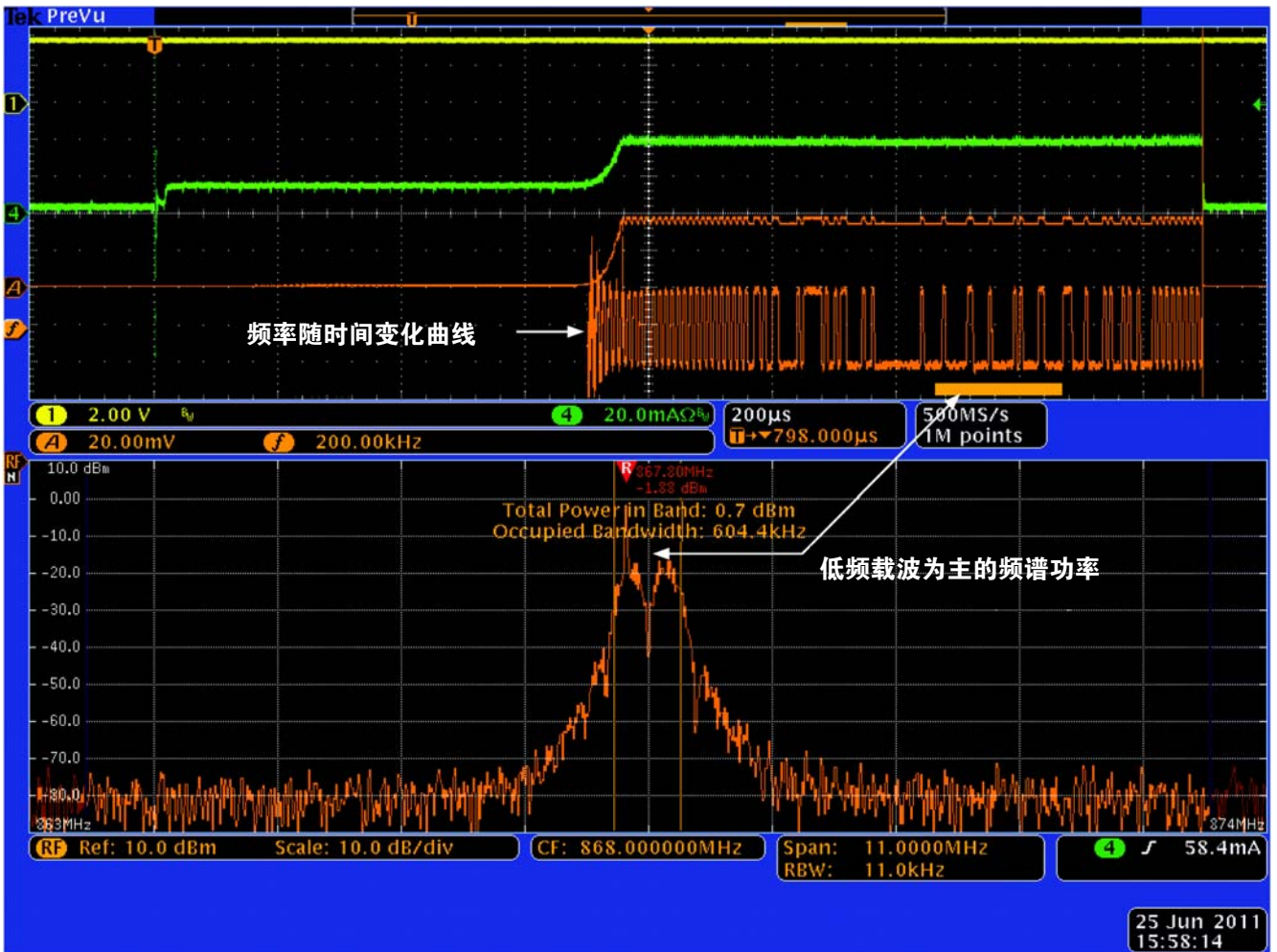


图 14. 数据传输过程中的宽带频谱和测量。

图 14 显示了相同的信号，但频谱是在数据部分获得的。注意占用带宽小于前置码，但仍满足法规。从频谱画面

中可以看到，这些特定数据以较低频率为主。在本例中，频谱时间由支持 11 kHz RBW 的采集时间确定。

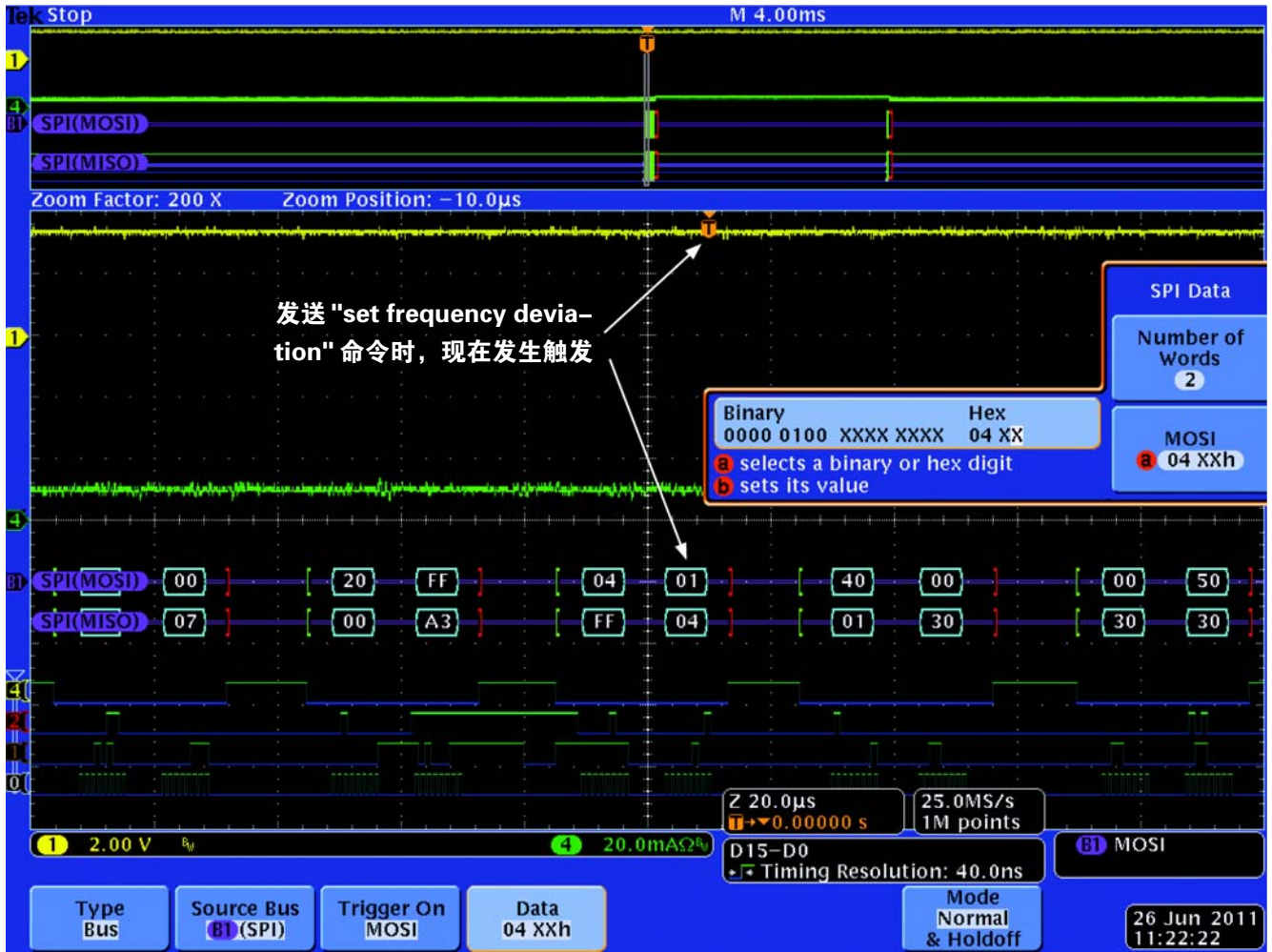


图 15. 在 MOSI(B1)上触发设置频率命令{04 XX}。

图 15 显示了相同的 SPI(MOSI)设置频率偏差命令，触发方式与图 11 相同。注意，偏差值现在是{01}，对应

200 kHz，这是该射频电路允许的最宽设置。

小结

嵌入式射频集成电路和模块在配置无线电系统，满足不同地区法规要求及任何特殊应用要求(如频率、功率电平和占用带宽)方面提供了巨大的灵活性。这些无线电集成电路和模块一般有数十个设置寄存器，实现了这种灵活性。对工程师来说，非常重要的一点是能够检验射频信号的运行，确认发送到无线电的命令和数据是正确的。

泰克 MDO4000 系列混合域示波器提供了一个强大的工具，可以观察和关联发射机的 RF 输出，同时读取控制信号(包括能够触发和解码 SPI 和其它总线)，及测量吸收电流、电源电压和其它模拟信号和数字信号。所有这些测量都时间相关。MDO 还提供射频信号的调制域信息(频率、幅度和相位随时间变化)，观察输出功率，在简单的调制方案中，允许确认发送的数据。

泰克 MDO4000 系列为开发、调试和确认上面介绍的射频通信系统满足法规要求提供了一种非常经济的方式。

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编: 201206
电话: (86 21) 5031 2000
传真: (86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编: 100088
电话: (86 10) 5795 0700
传真: (86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编: 200233
电话: (86 21) 3397 0800
传真: (86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编: 518031
电话: (86 755) 8246 0909
传真: (86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市人民南路一段86号
城市之心23层D-F座
邮编: 610016
电话: (86 28) 8620 3028
传真: (86 28) 8620 3038

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦20层K座
邮编: 710065
电话: (86 29) 8723 1794
传真: (86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编: 430022
电话: (86 27) 8781 2760/2831

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话: (852) 2585 6688
传真: (852) 2598 6260

如需进一步信息

泰克维护完善的一套应用指南、技术简介和其它资源, 并不断扩大, 帮助工程师处理尖端技术。请访问: www.tektronix.com.cn



版权所有©泰克公司, 侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国国外专利的保护。本文中的信息代替以前出版的所有资料。技术数据和价格如有变更, 恕不另行通告。Tektronix和TEK是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。