

MDO4000 系列混合域分析仪应用之一

跨域分析

发现嵌入式射频系统、数字射频系统
疑难杂症的创新分析手段

跨域分析

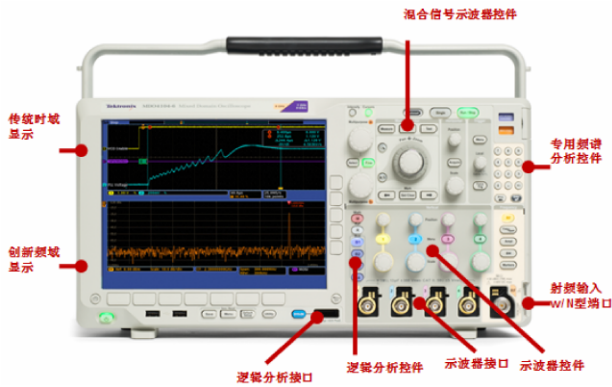


图 1-1. 创新的 MDO4000 混合域分析仪

一. 概述

泰克最新推出的 MDO4000 系列混合域分析仪(图 1-1)，是一款具有创新意义的分析仪，自它诞生之日起，已经获得国内外十多个最佳创新奖项(图 1-2)。MDO4000 之所以获得巨大的成功，根源在于它推出了创新的概念——跨域分析，利用跨域分析，可以发现传统手段无法发现的嵌入式射频系统以及数字射频系统的疑难杂症。

MDO4000 系列混合域分析仪究竟是什么？我们可以将其基本功能总结如下：

- 四通道 500MHz/1GHz 带宽数字荧光示波器
- 16 通道逻辑分析仪
- 多种总线协议分析仪
- 3GHz/6GHz 频谱分析仪
- 大于等于 1GHz 带宽的调制域分析仪

五合一系统，是 MDO4000 系列混合域分析仪的特色之一，但 MDO4000 绝不是以上罗列的五种测试工具的简单组合，这五种功能工作在同一时钟、同一触发机制下，使得 MDO4000 具有创新的时域、频域、调制域时间相关的跨域分析功能。为此，我们将 MDO4000 系列混合域分析仪的特色可以总结如下：

- 时域、频域、调制域时间相关的跨域分析
- 高性能宽带调制域分析
- 紧凑的五合一测试系统



图 1-2. MDO4000 获得测量业内多个最佳创新奖

MDO4000 系列混合域分析仪的以上特色，针对不同的应用可以解决不同的问题，本应用文章为《MDO4000 系列混合域分析仪应用之一——跨域分析发现当代数字射频系统疑难杂症的创新手段》，重点阐述 MDO4000 的第一个、也是最具创新意义的特色及其应用。其它两个特色将在《MDO4000 系列混合域分析仪应用之二、之三》中进一步阐述，有兴趣的读者可以进一步参阅。

二. 跨域分析简介

时间相关的跨域分析是 MDO4000 最具创新的特色，那么什么是跨域分析？要理解这一问题，我们先对信号分析做简要的总结。

1. 信号分析概述

从信号分析的理论可知，任何信号都可以从时域与频域两方面进行分析，连接时域与频域的纽带是傅里叶变换，图 2-1-1 就是这种关系的示意图。那么为什么要从时域和频域两方面对信号进行分析？从图 2-1-2 可以看出，我们关心的信号的某些参数，如：周期，上升、下降沿等用示波器很容易测试，而示波器是时域分析的典型测试仪器。另一些参数，如：信号带宽、谐波等用示波器很难测试，但用频谱仪可以轻松测出，而频谱仪是典型的频域测试工具。由此可知，与时间相关的信号参数，需要在时域进行分析，与频率相关的信号参数，需要在频域进行分析。

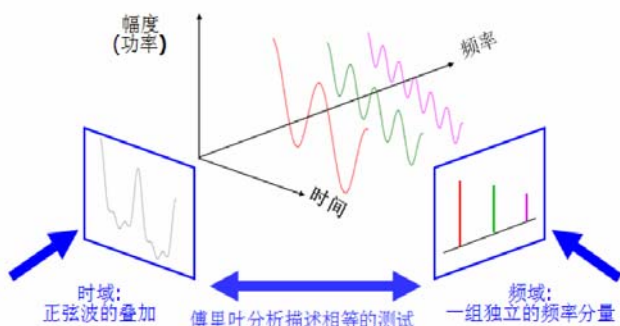


图 2-1-1

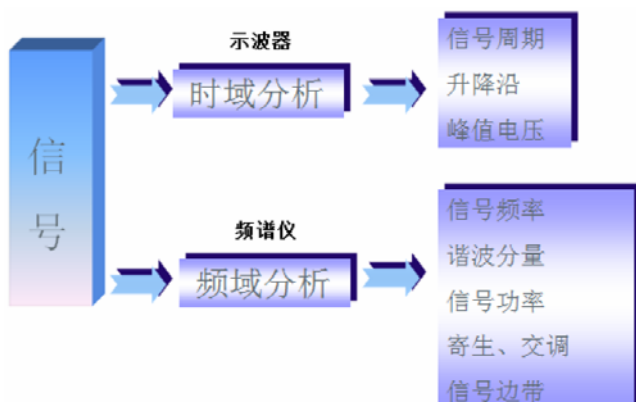


图 2-1-2

有了时域与频域分析，能否分析出某个信号的全部参数？并不尽然！我们今天遇到的信号，极少是简单的基带信号，通常都是带有一定调制的射频信号。对简单的模拟调制信号如调幅、调频、调相以及相应的ASK、FSK等简单的数字调制信号，用示波器(2-1-3)或频谱仪(图2-1-4)可以分析其与调制有关的参数。但当今我们所遇到的射频信号，往往是复杂的数字调制信号，如GSM、CDMA、3G、4G信号，或频率、幅度、相位在宽频带内快速变化的信号，如跳频信号、雷达信号、超宽带通信信号等，还有许多近场通信(NFC)信号，如RFID、ZigBee等。对这些信号，仅从时域和频域上进行分析是远远不够的，必须在调制域进行分析，才能得到信号的全貌。

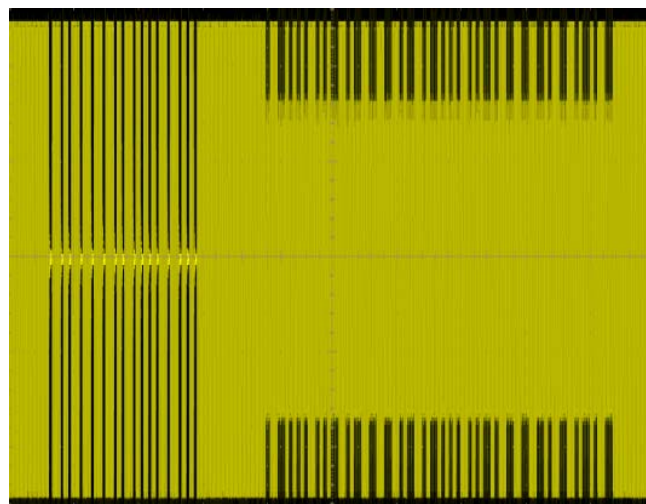


图 2-1-3. 用示波器测试 ASK 信号

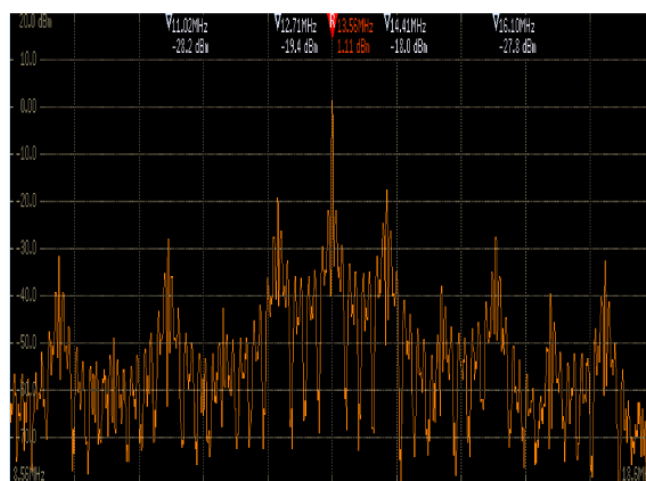


图 2-1-4. 用频谱仪测试 ASK 信号

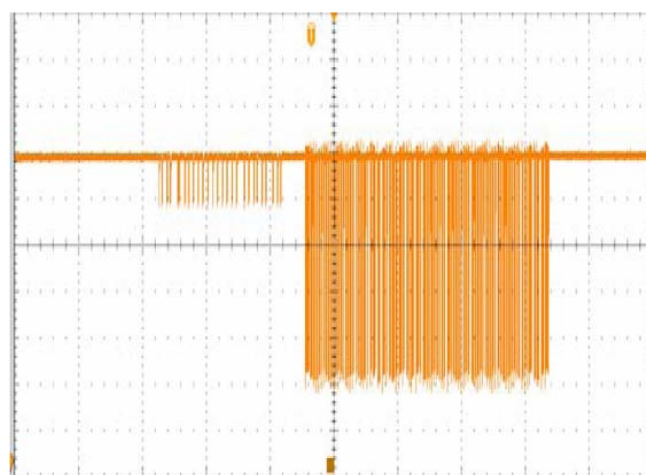


图 2-1-5. ASK 信号幅度随时间变化曲线

跨域分析

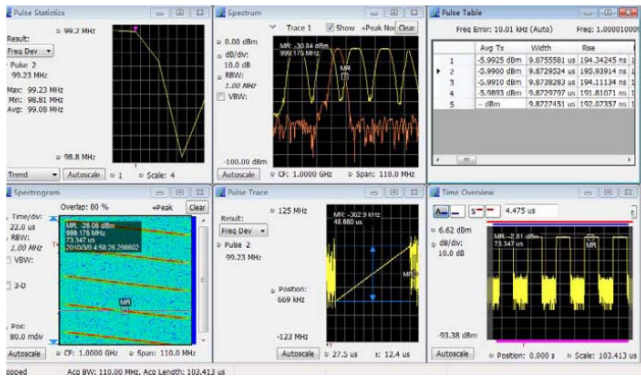


图 2-1-6. 线性调频雷达信号的矢量信号分析

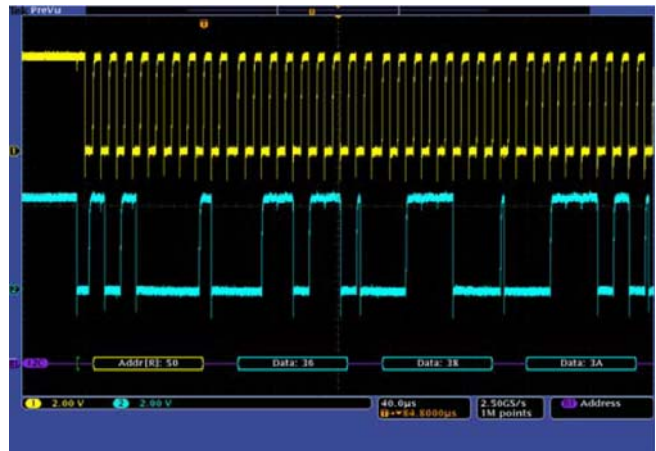


图 2-1-8. 混合信号时域分析

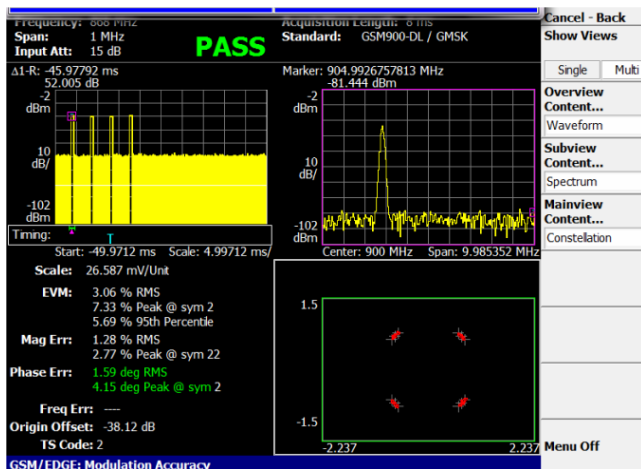


图 2-1-7. GSM 信号的矢量信号分析

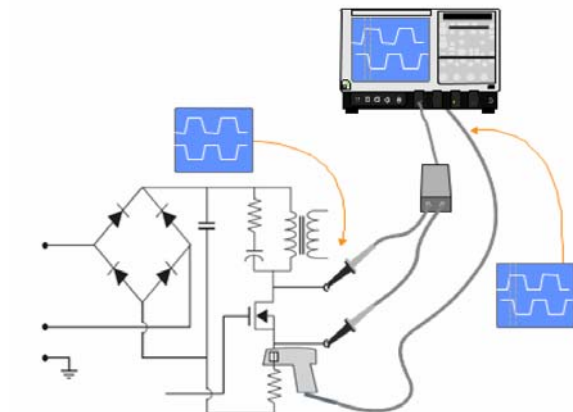


图 2-1-9. 混合信号间的因果关系

简单信号的调制域分析可以通过射频信号的幅度、频率或相位随时间变化的曲线进行分析(图 2-1-5),而复杂的数字调制信号的调制域分析又称矢量信号分析,这种分析利用 I、Q 星座图,对复杂数字调制信号的调制域参数进行测试。图 2-1-6 与图 2-1-7 为两种不同的矢量信号分析仪的测试截图,图 2-1-6 示意出带有线性调频的雷达信号分析,图 2-1-7 示意出 GSM 信号的矢量分析,二者界面不同,但都能完成同类工作。此外,矢量信号分析可以通过软件完成,即矢量信号分析仪的界面都可以脱机运行,因此用示波器或频谱仪对信号进行采集,然后用矢量信号分析软件进行分析,是一种低成本、行之有效的办法。MDO4000 具有采集矢量信号的功能,有关 MDO4000 及矢量信号分析软件进行矢量信号分析的应用,请参阅《MDO4000 系列混合域分析仪应用之二》。

2. 射频信号多域分析

图 2-1-6、图 2-1-7,在显示复杂数字调制射频信号的矢量分析的同时,还显示了被测射频信号的频谱,这是矢量信号分析仪(或软件)的基本功能,同样,某些频谱仪也带有矢量信号分析功能。由此可知,矢量信号分析可

以对输入的射频信号进行频域和调制域的多个参数进行全面分析,这些不同的参数用多个窗口显示。多数情况下,这些参数之间在时间轴上并不相关,只有实时频谱分析仪才具有时间相关的特性。但是,有一点十分重要,那就是无论是频谱仪或矢量信号分析仪,还是实时频谱分析仪,它们都仅有一个射频输入端口,无论开多少个窗口,分析多少个参数,它们仅能分析射频信号自身在频域和调制域的特性。

3. 混合信号时域分析

随着嵌入式系统的飞速发展,诞生了一种混合信号示波器,它可以将模拟信号、数字逻辑信号以及总线协议的时域特性直观地显示出来(图 2-1-8),我们称这些信号为混合信号。混合信号示波器各通道是独立的,因此被分析的混合信号是不同的信号,也就是说,我们用示波器进行时域分析时,分析的是不同信号间的时序关系。之所以要对这些不同的信号进行时序分析,是因为这些信号之间具有关联性,比如输入输出关系,控制与响应关系,电压、电流关系等等,图 2-1-9 给出用示波器分析被测系统的电压、电流关系的示意图。通过对这些具有因果关系的信号的时域分析,我们可以对系统的整体性能进行判定。

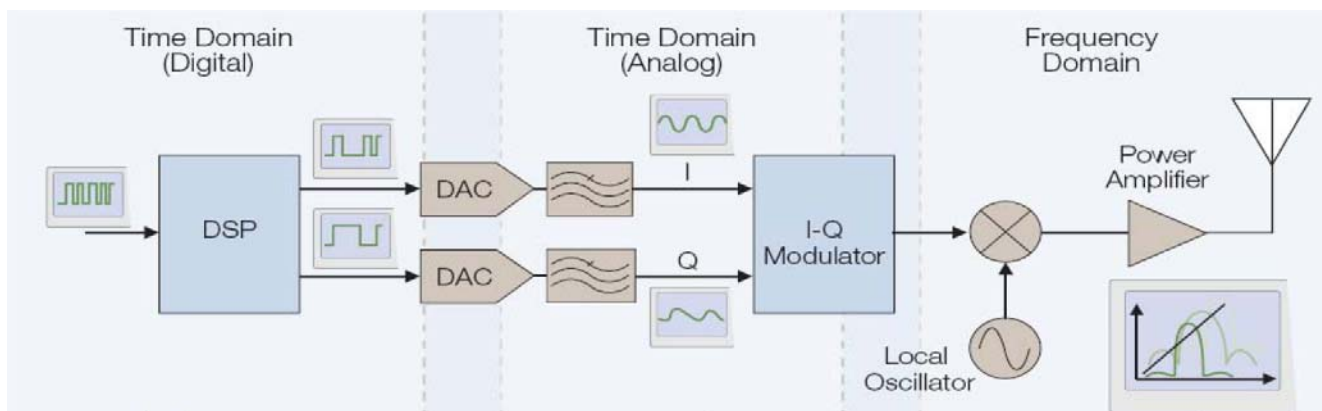


图 2-10. 嵌入式(数字)射频系统框图：射频信号与基带、控制信号间的因果关系越来越明显



图 2-1-11

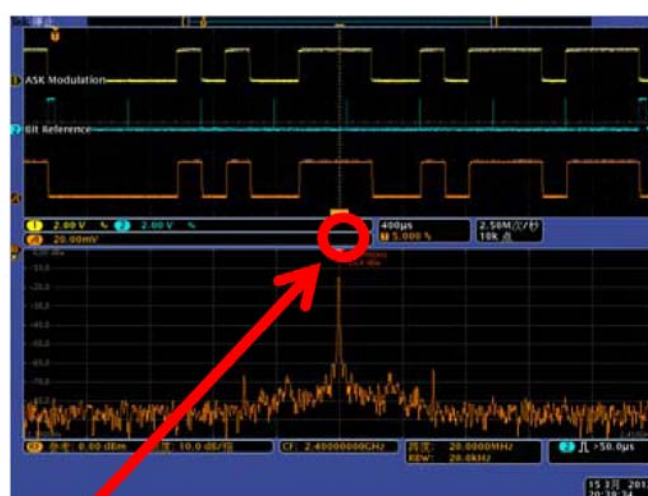


图 2-1-12

频谱时刻

4. 时域、频域、调制域时间相关的跨域分析

随着嵌入式技术、软件无线电技术及数字射频技术的发展，射频信号与控制信号之间的因果关系越来越明显(图 2-1-10)，在设计、开发、调测这些系统的射频驱动电路或驱动程序时，仅仅从频域或时域进行测试，已经越来越无法满足它们对高效率、高可靠性的需求，需要一种测试工具，可以将射频信号当作示波器的一个通道看待，在时域上将基带信号、控制信号、总线信号、频谱及射频信号的调制域特性有机地结合在一起，这就是时域、频域、调制域时间相关的跨域分析。目前，泰克 MDO4000 系列混合域分析仪是仅有的可以进行跨域分析的分析仪。

图2-1-11是典型的MDO4000系列混合域分析仪进行时间相关的跨域分析示意图，图中上半部分为时域波形，下半部分为频域频谱。这张图显示了2.4GHz载波被基带数据进行ASK调制的过程。上图中，黄色为基带信号，蓝色为位参考信号，位参考信号两个宽脉冲间共有七个位间隔，用以分隔8个串行二进制数，因此黄色的基带数据在位参考信号的分隔下呈现为数据0~7。那么哪里体现了时域、频域的时间相关特性？在图2-1-11、图2-1-12上半部分中，红色圆圈框住一个橙色条，该橙色条即表示频谱在时间轴上的时刻，也就是说，图2-1-11、图2-1-12显示的频谱，在时间轴上是上半部分橙色框时刻的频谱。通过移动橙色框在时间轴上的位置，下半部分的频谱就会有相应变化。

跨域分析

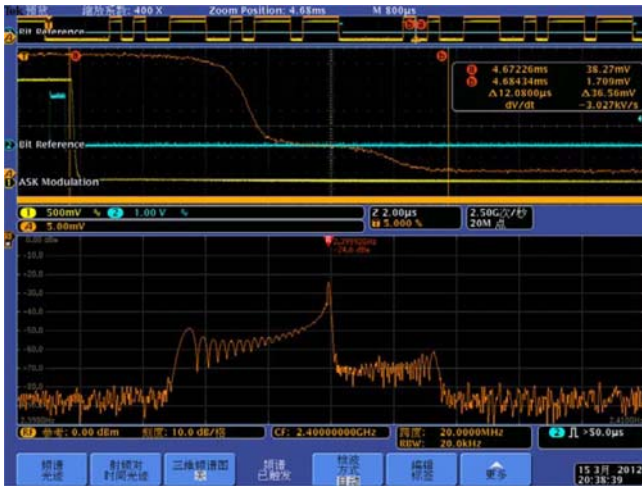


图 2-1-13

另一方面，在图 2-1-11 中，上半部分时域显示还有一条橙色波形，该波形几乎与黄色基带信号一模一样，实际上该波形为 2.4GHz 载波信号的幅度随时间的变化，即射频信号的调制域波形。由此可见，利用时间相关的跨域分析，我们可以轻松测试基带信号、控制信号、射频频谱及射频信号的调制域特性之间的因果关系。如果我们将图 2-1-11、图 2-1-12 中的频谱时刻移至基带信号从 1 变 0 处，放大后可以测试基带信号与射频信号间的时延(图 2-1-13)，这在以前是难以实现的。

三. 如何实现跨域分析

既然跨域分析指的是时域、频域、调制域协同分析，我们能否将用于时域分析的示波器和频域及调制域分析的频谱仪或矢量信号分析仪组成测试系统进行跨域分析？答案是否定的！因为示波器和频谱仪或矢量信号分析仪是不同的几台仪器，即使几台仪器都用外部时钟同步，但独立的触发机制使得它们难以获得相同的时基，即使忽略各仪器触发的不确定性所带来的时基误差，各台仪器分别显示的结果也很难在时间轴上对应起来。

图 3-1 给出利用外触发机制使示波器和频谱仪(矢量信号分析仪)协同测试的示意图，当连接外触发的电缆足够短，质量足够好时，可以忽略触发时延，但从示波器被触发时刻到示波器输出触发脉冲，这个时延存在不确定性，而从频谱仪(矢量信号分析仪)的外触发输入到频谱仪(矢量信号分析仪)被触发，这之间的时延同样存在不确定性。



图 3-1

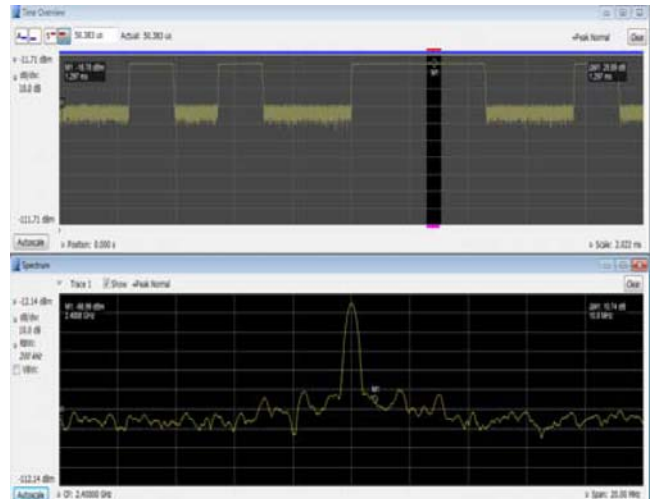


图 3-2



图 3-3

即使全部忽略这些因素，我们把用实时频谱分析仪与示波器测试图 2-1-11、图 2-1-12 相同的信号时的测试结果图 3-2 和图 3-3 组合在一起进行分析，试图找出示波器测试的基带信号与实时频谱仪测试的频谱及调制域特性在时间轴上的对应关系。实时频谱分析仪可以时间相

关地测试射频信号的频谱与调制特性之间的关系，图3-2中，实时频谱仪下半部分显示的频谱是上半部分调制域波形中光标M1时刻的频谱，从M1读数可知，该点距触发点1.297ms。图3-3为示波器测试的基带信号，如果要将实时频谱分析仪的波形与示波器的波形在时间轴上对应，我们必须在示波器上用光标指示出距触发点1.297ms相同的位置，这在实测过程中，不仅操作起来非常麻烦，而且由于我们在实际测试时，通常在示波器和频谱仪(矢量网络分析仪)上仅存储测试结果的截图，如果在截图存储时忘记打开光标显示(像图3-3那样)，我们将无法保留频域(调制域)与时域对应起来的结果。

或许有人会提出这样一个疑问，既然示波器可以测试各通道不同信号的时序关系，如果我们牺牲一个示波器通道，将射频信号接到该通道，然后利用示波器的FFT显示该通道的频谱，这样不是就可以进行跨域分析了吗？答案同样是否定的，我们用图3-4的实测信号加以说明。

图3-4是示波器截图，1通道黄色信号为控制脉冲，2通道蓝色信号为数据，3通道粉色信号为接入的射频信号，红色曲线为3通道射频信号的FFT频谱。该射频信号在控制脉冲发出以前发射900MHz载波，在控制脉冲发出后发射2.4GHz载波。从这张截图我们可以发现如下问题：

- a. 该示波器带宽为1GHz，因此3通道无法正确显示控制脉冲以后的2.4GHz载波

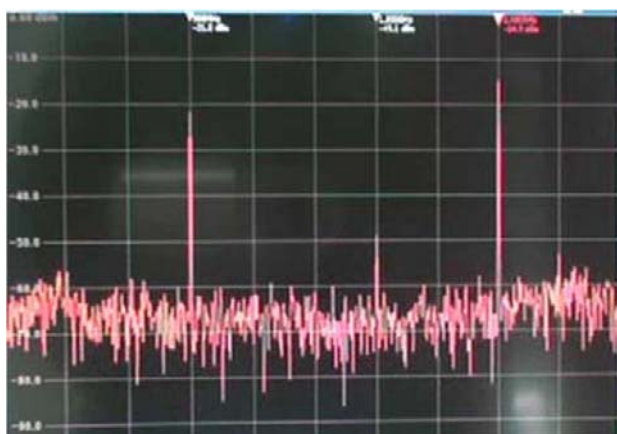


图 3-4

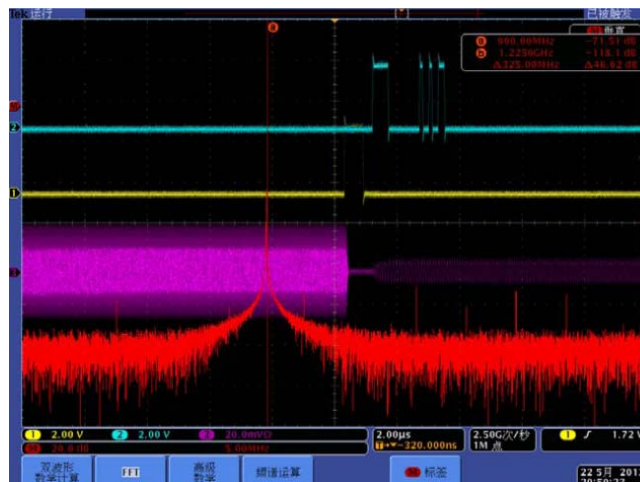


图 3-4.

- b. 红色 FFT 频谱为 3 通道全部样点的 FFT，没有时间轴上的信息
- c. 鉴于以上两点，红色 FFT 频谱仅显示 900MHz 载波频谱，无法显示整个频谱变化的过程，因此这种方法无法用于跨域分析。

作为对比，我们将上图中3通道射频信号接入频谱仪，其显示频谱如图3-4，在该频谱中，我们可以同时看到900MHz与2.4GHz信号。将图3-4的频谱显示改为最大保持模式，得到图3-5的频谱，我们发现在2.5GHz处，会时断时续地出现一个信号。

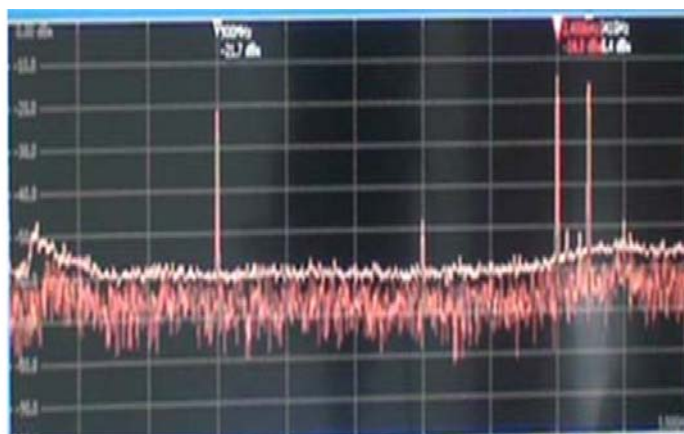


图 3-5

跨域分析

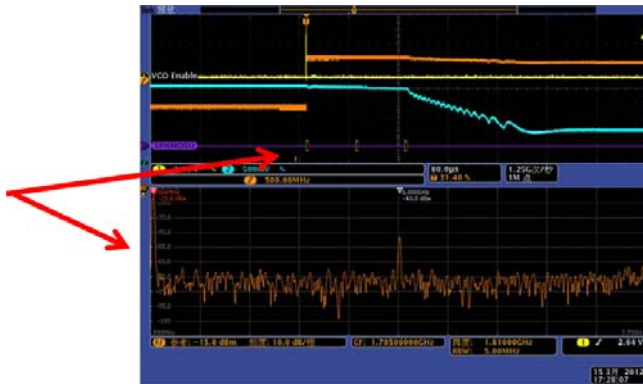


图 3-6. 频谱时刻位于控制脉冲左侧, 此时射频信号频率为 900MHz

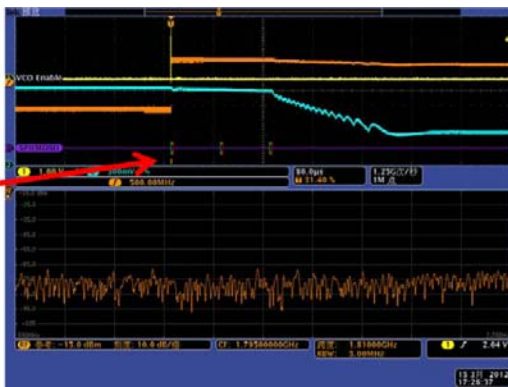


图 3-7. 频谱时刻位于控制脉冲时刻, 此时没有射频信号

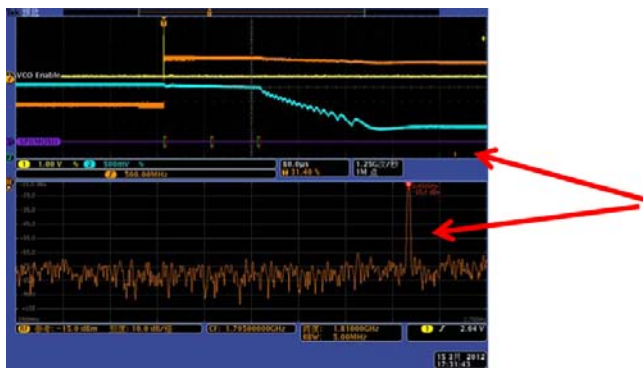


图3-8. 频谱时刻位于控制脉冲右侧较远处, 此时射频信号频率为 2.4GHz

图 3-4 和图 3-5 是频谱仪可以得到的最大信息, 我们无法从中看出该频谱随时间的变化, 更无法得到射频信号与控制脉冲之间的时序关系。泰克 MDO4000 系列混合域分析仪的出现, 很好地解决了时间和触发的同步问题, 使得频域、时域、调制域波形得以在时间轴上同步显示, 为嵌入式、数字射频系统的设计、研发、调试提供了创新的手段。

我们通过图 3-6~ 图 3-8 来示意 MDO4000 系列混合域分析仪的跨域分析能力。DO4000 的 1 通道接入控制脉冲信号(黄色), 其它通道信号将在下节做进一步说明。在每张截图旁边, 分别标注了红色箭头, 指向当前的频谱时刻和频谱显示的相应载波。

通过这一实例, 我们可以轻松地看到射频信号的频谱与控制脉冲之间的关系, 充分体现了跨域分析的特点与优势。

四. 利用跨域分析解决嵌入式射频系统、数字射频系统疑难杂症

跨域分析为我们提供了一种创新的测试方法, 但这种方法究竟能为嵌入式射频系统或者数字射频系统带来什么, 换言之就是说跨域分析的必要性究竟是什么? 通过如下的测试实例, 我们总结出如下几个方面。

1. 验证控制信号与射频信号工作的同步性

众所周知, 在嵌入式射频系统与数字射频系统中, 控制命令与控制信号需要实时控制整个系统, 验证各种控制命令或控制信号与射频发射的同步性是非常重要的环节。为此, 我们举两个实测案例做进一步说明。

案例一为数字锁相环的起振过程测试。数字锁相环是嵌入式射频系统与数字射频系统普遍采用的频率控制器件, 图 4-1-1 为数字锁相环框图。在数字锁相环中, 鉴相的输出通过 SPI 总线传送给数字/模拟转换器(DAC), DAC 的输出控制 VCO, 而 VCO 的输出电压与参考频率进行比较, 从而形成闭环锁相控制。

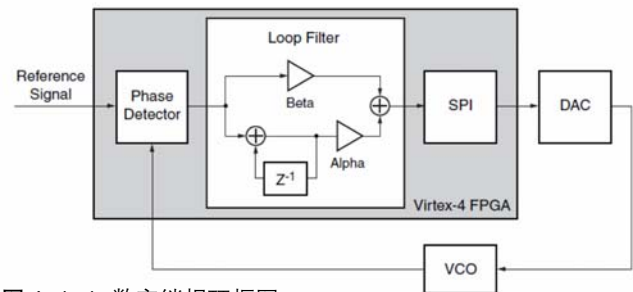


图 4-1-1. 数字锁相环框图

在图 4-1-1 中, 参考信号为射频信号, SPI 为总线命令, VCO 的输出为一电压信号。传统手段在对数字锁相环进行测试时, 需要频谱仪监测射频信号, 示波器监测 VCO 输出电压及 SPI 总线命令。频谱仪仅可以测试锁相以后的稳定频谱, 无法分析射频信号的锁相过程。示波器可以测试 VCO 输出电压的变化与 SPI 总线命令之间的时序关系, 间接分析锁相时间, 但射频的变化过程却无法得知。

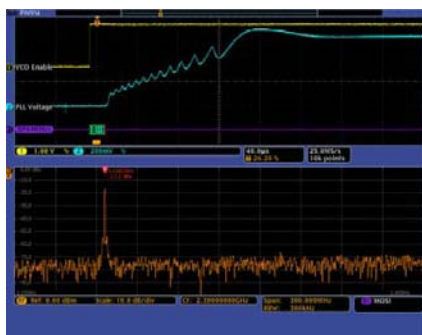


图 4-1-2

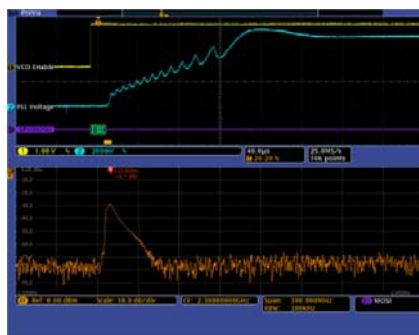


图 4-1-3

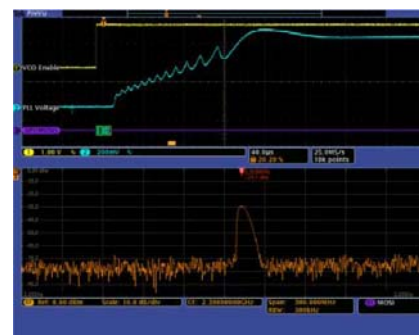


图 4-1-4

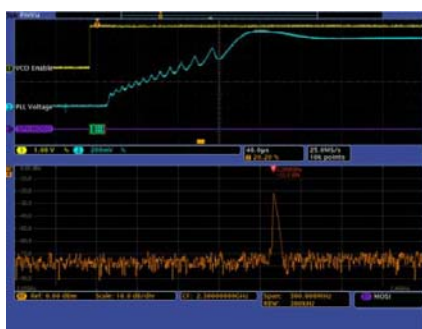


图 4-1-5

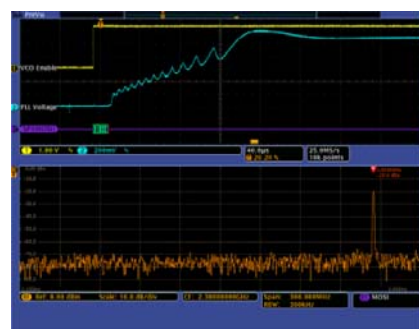


图 4-1-6



图 4-1-7

图 4-1-2~ 图 4-1-7 示意出 MDO4000 跨域分析数字锁相环将射频载波从起振到锁定在 2.4GHz 的过程，注意各图中上半部分时域波形内的橙色频谱时刻在时间轴上的位置，可以发现频谱分析时刻的不同，下半部分所显示的频谱也不同。各图中的黄色信号为使能信号，控制数字锁相环开始工作。蓝色信号为 VCO 输出电压波形，紫色信号为 SPI 总线命令，由于时基过大，总线命令仅显示为一堆蓝色的框。要读出总线命令，需要时将基拉开，得到图 4-1-8，可以发现，该锁相环经两个周期的 SPI 命令最终锁定在 2.4GHz 频率上，SPI 总线命令中的 20-31-41H 为载波锁定到 2.4GHz 的数据。图 4-1-7 与其它几张图不同，除了控制信号外，还增加了橙色的射频信号幅度随时间的变化及频率随时间的变化曲线，我们发现，使能信号发出后，射频信号已经发出，但频率还未锁定，经 300us 后才锁定到 2.4GHz。



图 4-1-8

跨域分析

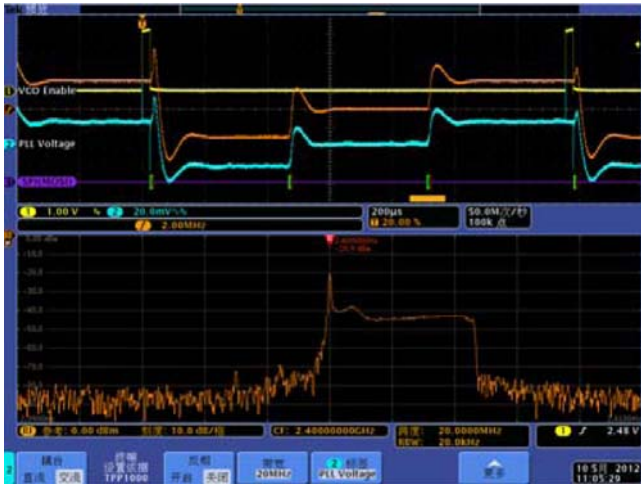


图 4-1-9

MDO4000 对案例一的测试，可以方便地验证数字锁相环的控制信号、控制命令及射频信号之间的时序关系，全面掌控数字锁相环的性能。

案例二是对利用数字锁相环组成的跳频系统的测试。对跳频信号的分析，如果仅用频谱仪进行测试，仅能得到跳频的频率点，因此常用的手段通常是用矢量信号分析仪在调制域中分析频率对时间的变化曲线，从而得到跳频图案及相关参数，但射频信号与控制信号的关系，仅在调制域中是难以完成的。MDO4000 可以时间相关地跨域测试控制信号与射频信号及其调制域特性的对应关系，是对跳频信号分析的最有效的手段。

图 4-1-9~ 图 4-1-12 为 MDO4000 对利用数字锁相环对跳频信号分析的实测案例。图中，黄色信号为跳频控制脉冲，每发一次脉冲，射频载波将起始于 2.370GHz，经 40us 左右跳频至 2.4GHz，再经 40us 左右时间跳频至 2.430GHz。橙色信号为射频的调制域频率随时间变化的曲线，该曲线与矢量信号分析仪测试跳频信号的跳频图案相同，我们可以利用光标及内置的测试对该曲线进行分析，从而得到跳频速率、换频时间等参数。

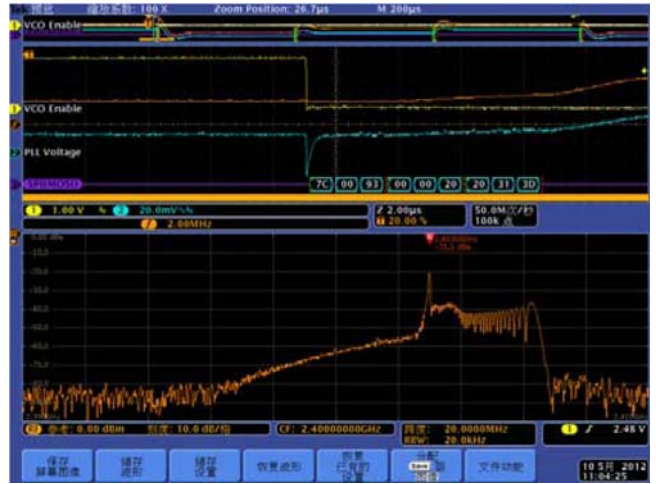


图 4-1-10

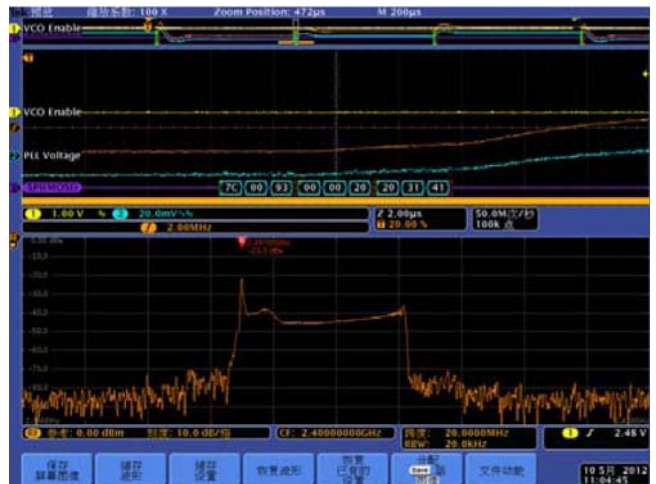


图 4-1-11

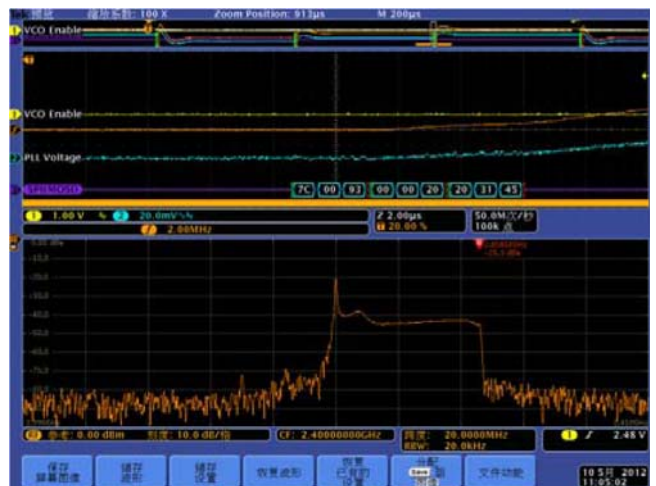


图 4-1-12



图 4-2-1

由于该跳频信号系采用数字锁相环进行控制的，我们需要验证控制数字锁相环的信号及总线命令与射频信号之间的关系。在案例二各图中，蓝色信号仍然是VCO的输出电压，紫色信号依然是SPI命令。可以发现，射频信号频率随时间的变化与VCO输出电压变化的趋势相同，这正是我们所预期的结果。将时基展开，我们得到控制三个跳频点的命令中，最后三条指令分别为20-31-3DH, 20-31-41H, 20-31-45H。在案例一中，我们已知20-31-41H控制锁相环将射频载波锁定在2.4GHz，在本例中这一指令同样有效，而20-31-3DH与20-31-45H分别与20-31-41H相差 $\pm 04H$ ，这正好是30MHz的频率偏差。

在本案例中，跨域分析将控制信号、控制命令、射频频谱及射频信号的调制域特性有机地结合在一起，全面掌控系统各信号的协同工作情况。

2. 帮助提高系统的控制效率及编程效率

在第三节图3-6~图3-8的案例中，我们当时仅解释了射频信号与控制脉冲之间的关系，对其它信号并未解释。在这几幅截图中，橙色曲线为射频信号的频率随时间变化的曲线，蓝色信号仍然是VCO的输出电压，紫色信号为SPI总线命令。可以注意到，SPI总线命令与数字锁相环案例中的命令不同，图4-1-2~图4-1-7中的SPI命令是连续发出的，而图3-6~图3-8中的SPI命令分三组发出，每组差160us。

我们将图3-6~图3-8案例中的时基展开，得到图4-2-1~图4-2-4，我们来分析一下该系统工作过程。在黄色触发脉冲发出以前，该系统射频为900MHz(上节图3-6)，黄色触发脉冲发出后，射频信号经短暂的时延后中断发射，在黄色触发脉冲结束时，SPI总线发出第一组指令7C-00-93H，经80us后又发出第二组指令00-00-20H，再经80us发出第三组指令20-31-41H。通过上



图 4-2-2

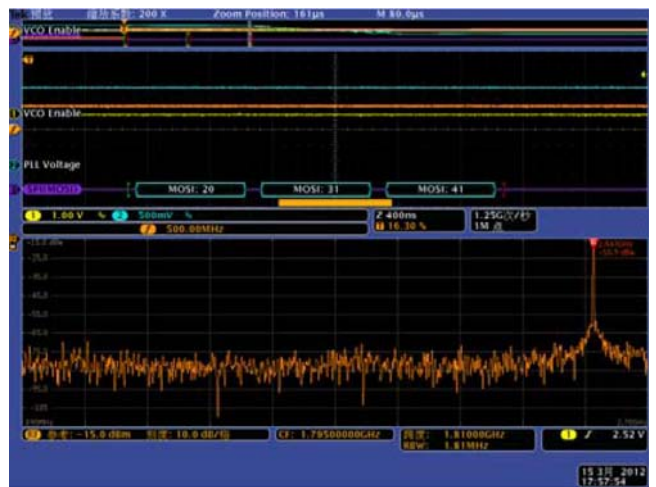


图 4-2-3

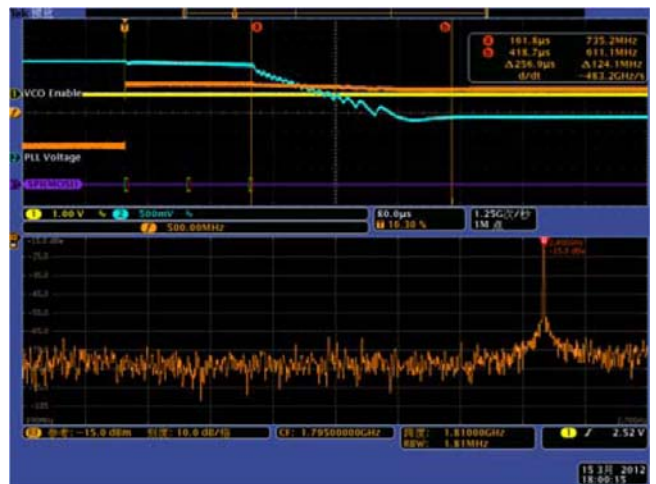


图 4-2-4

节锁相环及跳频案例，我们知道第三组20-31-41H指令是控制锁相环锁定到2.4GHz的指令，因此在第三组指令发出后，VCO开始工作，经160us达到锁定状态，射频信号最终稳定在2.4GHz频率上(图4-2-4)。

跨域分析

对比图 4-1-8 以及图 4-1-9~ 图 4-1-12, 前面图中的 SPI 指令, 7C-00-93-00-00-20-20-31-41 是连续发出的, 中间没有时延, 而本例中的指令却分三组发出, 每组间有 80us 的时延, 在前两组指令发出时, 射频工作在 2.5G 左右, 等于空耗了 160us 的时间, 设计效率大大降低, 这对需要实时控制的嵌入式或数字射频系统来说, 是不可接受的。

通过本测试案例, 我们看到跨域分析能使得射频信号与控制信号间的时序关系成为可能, 有了这样的测试结果, 我们在编程或设计控制信号时序时, 能够在保留必要冗余的前提下, 最大限度地减少射频等待发射的时间, 从而提高系统的工作效率。

3. 发现传统手段难以发现的潜在问题, 提高系统可靠性
在图 2-1-13 的实例中, 我们曾展示了利用 MDO4000 测试基带调制信号与射频信号之间的时延, 该时延为 10us 左右, 转换为频率约 100KHz。可以预见, 如果该系统的基带调制信号的速率高于 100KHz, 由于射频信号的时延, 该系统将无法正常工作, MDO4000 发现了该系统的潜在问题。

现在再看另一个实测案例, 该案例为射频模块调测案例。该射频模块为跳频模块, 在调测时, 首先利用软件控制该模块射频工作在 379.9MHz, 然后用软件控制其射频跳到 375MHz。以前用频谱仪可以测试该模块的工作情况, 图 4-3-1 为频谱仪测试载频 379.9MHz 信号, 图 4-3-2 为频谱仪测试的 375MHz 信号, 图 4-3-3 为频谱仪最大保持显示方式显示的频谱, 379.9MHz 信号和 375MHz 信号同时显示, 看起来跳频前后的信号均正常。

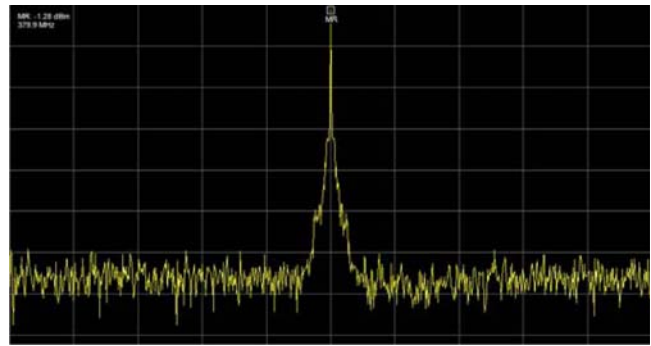


图 4-3-1

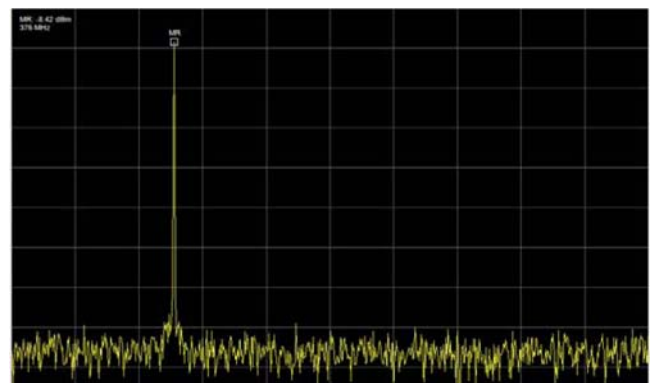


图 4-3-2

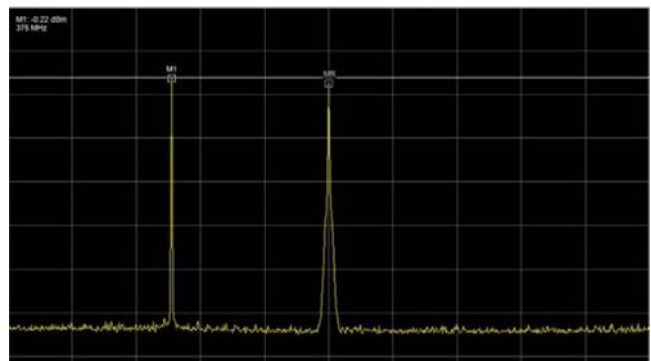


图 4-3-3

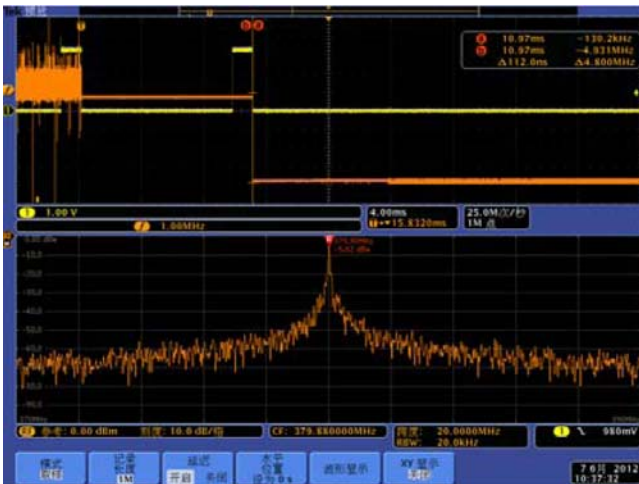


图 4-3-4

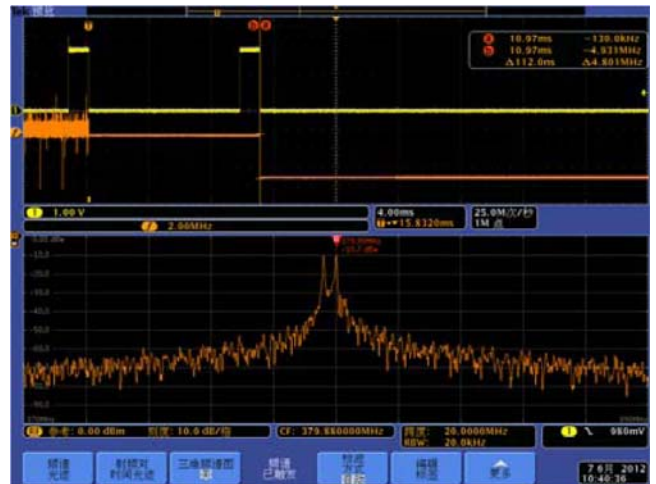


图 4-3-5

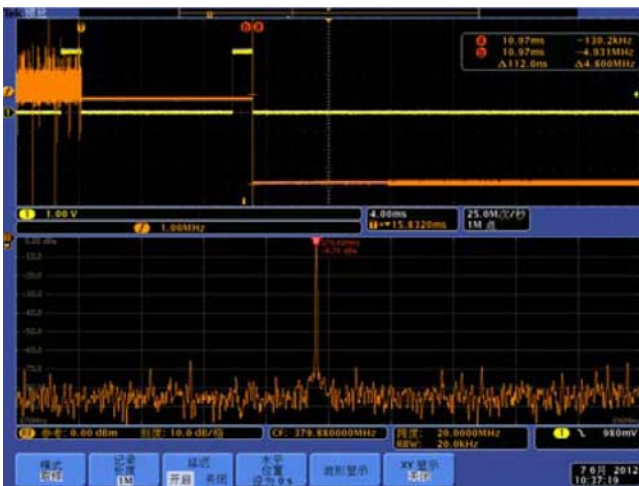


图 4-3-6

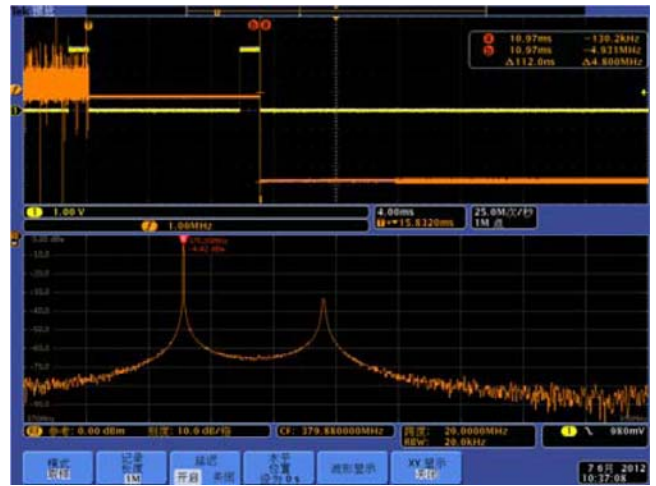


图 4-3-7

仔细观察上述频谱，可以发现载频在 379.9MHz 时，该信号相位噪声较大，而且底噪也较高，信噪比不好，但跳频的频点工作正常。

我们将同样的射频模块用 MDO4000 进行测试，为了便于分析，我们将示波器 1 通道接入控制跳频的触发脉冲，该脉冲由软件控制产生。

在测试过程中，我们打开了射频信号的调制域分析——射频信号频率随时间的变化曲线。MDO4000 的测试结果呈现出意想不到的景象，首先，控制脉冲为两个，其次，在第一个控制脉冲发出以前，射频模块工作在 379.9MHz，这一点从图 4-3-4 上半部分橙色频谱分析仪框所在时刻及下半部分所示的频谱可以看出。由于 379.9MHz 信号相位噪声很大，该信号频率随时间的变化曲

线出现很大的噪声。我们将频谱分析时刻移动到第一个触发脉冲后，得到图 4-3-5 频谱，可以发现射频信号在此刻开始跳频，但并未按照预期的那样跳频至 375MHz，而是在 379.48MHz 稳定一段时间(图 4-3-6)，在第二个触发脉冲发出后再次跳频至 375MHz。在图 4-3-7 中，我们测试出第一个触发脉冲与第二个触发脉冲之间相差 10ms，也就是说该射频模块在 379.48MHz 稳定 10ms 左右。以前用传统方法测试时，我们通常不会认为触发脉冲会出问题，因此根本不用示波器进行测试，而用频谱仪对跳频前后的频谱进行测试，如果频点正确，则认为该模块工作正常。在用频谱仪测试时，10ms 时间内的变化用肉眼是难以捕捉到的，所测试的频谱都是稳态频谱，因此无法发现潜在的问题。对控制软件进行分析后，我们发现了产生第一个触发脉冲的 BUG，该问题得到解决。

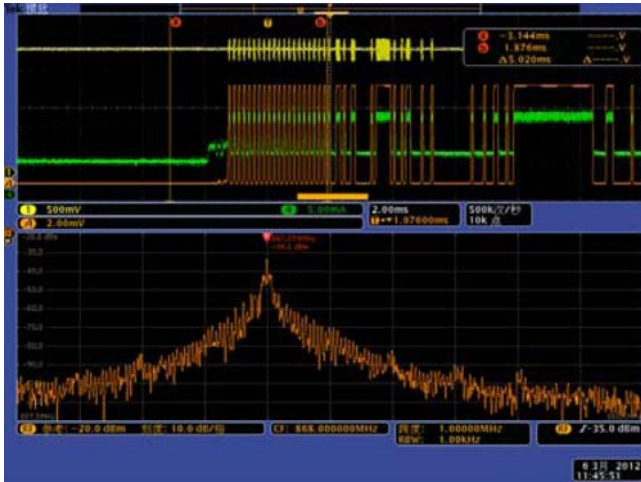


图 4-4-1

4. 帮助查找系统中的噪声来源

查找和追踪并消除嵌入式射频系统或数字射频系统中的噪声和杂散信号，是设计人员的一项重要任务。潜在的噪声来源包括：开关电源、来自系统其它部分的数字噪声、以及外部噪声来源。在考虑噪声时，还应考虑无线电产生的任何可能的干扰。我们通过以下三个实例来显示 MDO4000 跨域分析在查找嵌入式射频系统或数字射频系统噪声的优越性。

案例一、射频模块对系统电源的影响

简单的数字调制射频模块如 ASK、FSK 被广泛应用于各种无线监控系统，如汽车胎压监测、汽车遥控钥匙、无线抄表、安防监控、RFID 等系统中，这种系统的特点是简单、低价，但在设计电路时，如果忽略射频信号对电路的影响，有可能造成控制失效的问题。射频模块对电路的影响，主要体现在对电源的影响。图 4-4-1 和图 4-4-2 分别示意了 ASK 射频模块和 FSK 射频模块对电路中的电流和电压的影响。

在图 4-4-1 与图 4-4-2 上半部分中，黄色信号为系统电压波形，绿色信号为系统电流波形，橙色信号为射频信号的调制域波形，而图中下半部分为射频信号的频谱。在图 4-4-1 中，我们看到 ASK 射频信号发出后，其电压与电流波形都被叠加了噪声，而在图 4-4-2 中，电压被叠加了噪声，电流却很干净。这说明 FSK 调制方式可以降低射频模块对电压的影响。

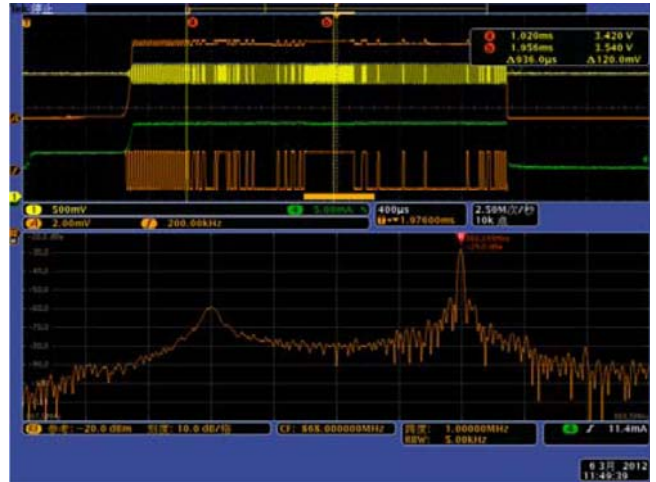


图 4-4-2

案例二、EMI 对系统的影响

对任何由电子线路组成的系统，只要有射频存在，电磁兼容问题就不可避免。电磁兼容包括电磁干扰与抗干扰，国际上有许多电磁兼容方面的标准，降低系统电磁干扰的最佳方法是加屏蔽，但家屏蔽以后，系统对外的电磁干扰降低了，但系统内部电路对自身的干扰有可能增强，跨域分析可以帮您解决这一问题。

图 4-4-3~图 4-4-5 为某嵌入式射频系统对外辐射的频谱，我们截取了不同时刻的三张频谱图，看见该系统对外辐射的底噪时高时低，存在 EMI 问题。如果该系统需要发射射频信号，在图 4-4-3 时刻发，则该射频信号的信噪比将比较高，在图 4-4-5 时刻发，该射频信号的信噪比将大大劣化。



图 4-4-3

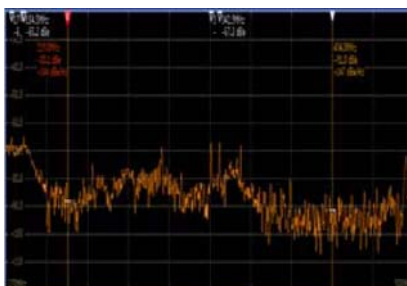


图 4-4-4

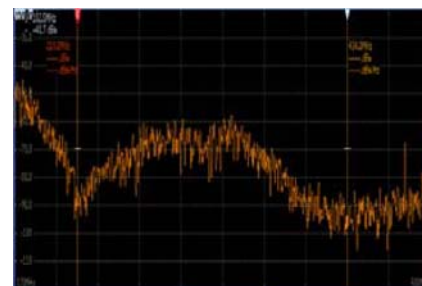


图 4-4-5

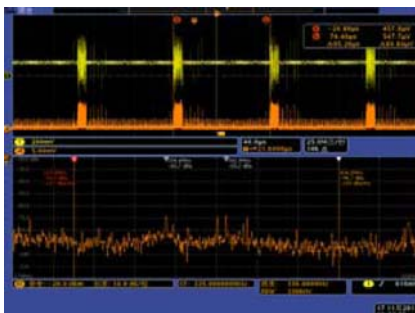


图 4-4-6

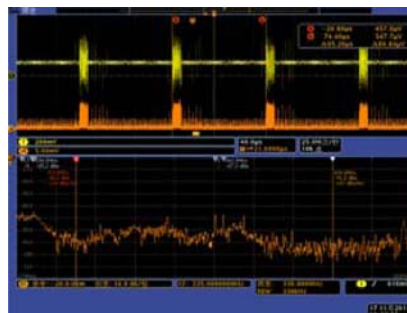


图 4-4-7

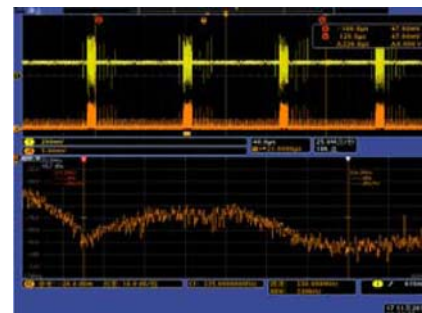


图 4-4-8

现在我们用MDO 对该系统进行跨域分析，得到图4-4-6~ 图4-4-8。测试时，频谱输入仍然接天线来测试该系统的对外辐射，在时域中我们打开射频信号调制域波形，发现该辐射的确存在时间规律，我们将示波器 1 通道在该系统电路板上逐点探测，当探头接到 USB HS 信号时，发现该信号的规律与系统对外辐射的规律相同，因而我们知道该系统对外 EMI 与 USB HS 信号具有因果关系，此时我们可以通过编程控制有用的射频信号在两个辐射高峰之间时刻发射，从而得到最佳的信噪比。

总结

作为创新的测试工具，MDO提供了一种全新的测试理念——跨域分析。跨域分析为嵌入式射频系统、数字射频系统的设计、调测、研发提供了一种高效、方便的新手段，MDO4000 的出现，势必对测试标准产生深远的影响。

请立即联系泰克授权一级分销商：

北京东方中科集成科技股份有限公司

服务电话：400-650-5566

网 址：www.jicheng.net.cn