电源完整性测量的考虑因素

Jae-yong Chang

是德科技

随着直流源的稳压容限要求日趋严苛，测量 PDN(电源分布网路)输出信号的质量（例如纹波、噪声和开关瞬态分量）变得越来越重要。现在印刷电路板为了降低功耗，纷纷采用更低的工作电压，许多相关的标准都将稳压容限限定为 < +/-5%甚至更低。高速信号的电压摆幅也是越来越小，因此对电源的要求也越来越严苛，尤其是对纹波和噪声容限的要求。受到这种技术趋势的影响，工程师面临着日益严峻的电源完整性测试挑战，以及对电源器件工作噪声的严苛要求。

本文介绍几种使用示波器和探头测量电源轨纹波、噪声和开关瞬态特性的实用方法。

使用示波器测量时所面临的挑战

实时示波器不仅能够提供时域波形显示和分析，也支持频域分析，而且具有较宽的测量带宽、强大的电流电压和功率分析能力，各种数学运算，可以使用寄生参数很小的探头，所以经常用于测量直流电源的信号完整性。示波器还有能力帮助工程师找出产生噪声的根源。尽管如此，在使用示波器测量电信号完整性时，也会遇到一些复杂的挑战。

- 要查看电源轨输出信号中的小纹波和噪声，您需要顾及直流分量，并在更灵敏的垂直标度设置（例如 1 mV/格或 2 mV/格）下放大微小的交流信号，才能对其进行更精确的测量，减少示波器噪声对测量结果的影响。有些工程师是通过对输入信号进行交流耦合来完成，但大多示波器仅在 1 MΩ 输入阻抗的条件下支持交流耦合。
- 示波器输入阻抗设置为 1 MΩ 时，其带宽通常限制在 500 MHz 或更低，这种带宽无法测量电源完整性特性中的高频（> 500 MHz）分量带来的影响，而且示波器在 1MΩ 输入路径下，其本底噪声远大于 50Ω 路径下的噪声。
- 要查看高频分量或最小化示波器自身的本底噪声，用户必须将示波器的输入端设置为 50 Ω，并使用端接有 50 Ω 负载的探头。

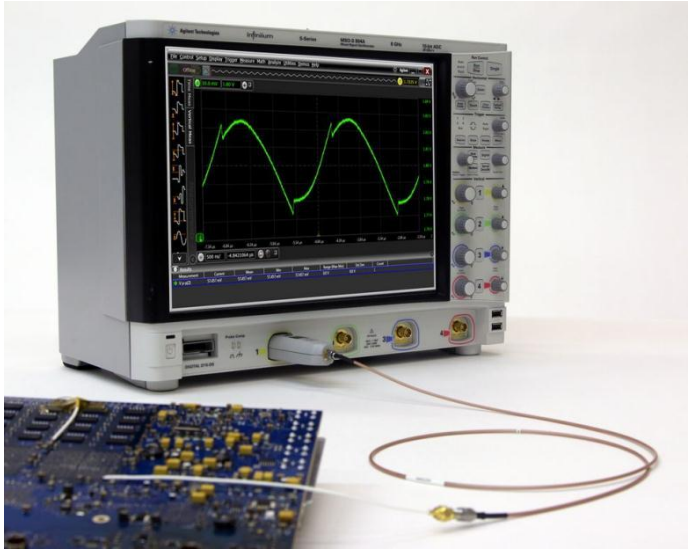


图 1 实时示波器通常用于测量供电网络的信号完整性

探测时需要的注意事项

许多工程师在做 PDN 噪声测量时，都会用 50 Ω 同轴电缆自制一个简单的探头，将电缆信号端剥离出来，地线用弹簧探针端子，如图 2 所示。此类探头具有 50 Ω 输入阻抗和低至直流的频率测量范围。当直流电源的输出阻抗接近零时，该 50 Ω 直流负载不会产生负载效应，若其输出阻抗较大，比如 1 Ω 或更高时，它和 50 Ω 相差不到两个数量级，就会有负载效应。

图 2 传统的 1:1 50 Ω 负载端接同轴电缆经改进后用于探测电源轨网络

由于示波器自身的直流偏置范围有限，很多情况不能覆盖被测的直流源电压范围，工程师们经常在探头和示波器之间加入一个隔直流电容，以滤除电源轨输出信号中的直流分量。这种办法在大多数情况下有效，但您可能没有注意到的是，隔直流电容除了能滤除直流分量之外，也有可能滤除低频交流分量。因此，使用隔直流电容的测量可能会遗漏低频内容，比如漏掉直流电源输出的缓慢飘移现象，使测量结果出现误差，这是因为隔直电容 *C* 与串行链路串联，可以构成简单的高通滤波器，其时间常数如下：

$$\tau = 2Z_0C$$

目前业界已有技术解决以上难题，比如 Keysight N7020A 电源轨探头，其直流阻抗为 50K Ω，直流负载效应远比 50 Ω 同轴电缆小，即使被测对象的输出阻抗高达几 Ω，也不用担心。该探头连接到是德科技示波器时，示波器上的垂直偏置控制功能可以控制探头偏置，避开了示波器自身偏置范围较窄的限制，可以在被测直流电源信号到达探头放大器之前，从中减去电源的直流电压。由于这个减法操作是在探头有源电路之前实施的，所以探头的偏置范围最大可设置为 +/-24 V，意味着您可以测量最高 +24 V、最低 -24 V 直流上的小幅度交流分量，可以轻松把直流电源信号移动到屏幕中心位置来显示，并将示波器量程设置得很小，也就是说使用可使用较灵敏的垂直刻度设置查看和测量信号。这种方法可以有效地消除电源轨输出中的直流分量，留下小幅度交流分量。

示波器和探头噪声

实时示波器和探头本身具有一定的噪声，您在测量时必须考虑在内。如果待测电源轨输出噪声接近示波器和探头的本底噪声，那么如何精确测量噪声是一大难题。在选择适合的示波器进行电源分布网络测量时，需要考虑的首要问题就是选择一款低噪声、高垂直分辨率的示波器。示波器厂家通常会在技术资料或技术参考手册中给出噪声和垂直分辨率指标，传统的示波器一般具有 8 位垂直分辨率，用 A/D 分辨率的位数表示；而 Keysight S

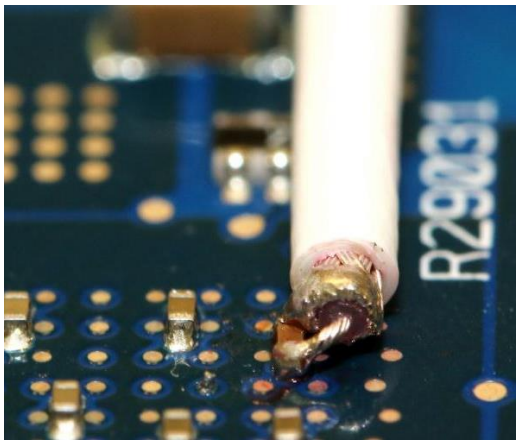
系列示波器标配 10 位的 A/D 分辨率，分辨率是传统 8 位示波器的 4 倍，并提供极其出色的低噪声性能。

将探头连接到示波器，也会增加示波器的噪声。实时示波器很多时候都搭配一个 10:1 的无源探头，该探头适用于输入电压动态范围较宽的信号测量，但对于电源轨输出等小幅电压波动测量效果不是很好。一个原因是探头自身的衰减比，探头衰减有助于观察摆幅较大的信号，但是在测量摆幅较低的电压信号时，信号先经探头衰减，示波器为了能看见该信号，必须对之放大，但放大信号的同时也放大了自身的噪声。因此，在执行低摆幅电压测量时最好选择低衰减比的探头。

图 3 开关电源输出比较 = 黄色：1:1 探头，蓝色：2:1 探头

其它测量技巧

首先，在许多电源轨输出测量中，大多规定要在 20 MHz 带宽限制下测量纹波和噪声，有的芯片或应用的限制要求是 100MHz 或其它设置，目的是不要让电源中本来不存在的高频噪声进入到示波器显示中。正确的做法是根据需要，将示波器带宽限制



设置为适合的值，未必一定是 20MHz，也许有一个 100MHz 的时钟信号对您的电源产生较大干扰呢。

其次，探头地线形成的环形区域可能是产生电磁干扰的主要来源。因此一定要尽量缩小连接的环形区域，并保持低电感接地。可能的话，最好将探头直接跨接在电源的输出电容器上，线尽可能短，以缩小构成的环形区域，从而减少外界不必要的噪声干扰进入到探头。

图 4 尽量缩小环形区域，以降低噪声干扰

第三，使用示波器的 FFT 功能执行频域分析，通常可以更深入地分析捕获的噪声信号。FFT 可以帮助您快速检查电路中纹波、噪声和瞬态峰值的来源。例如，如果您使用了具有某个开关频率和时钟的开关电源，那么可以在 FFT 域视图中看到开关频率和时钟频率上的杂散信号，结合触发和平均技术，甚至可以识别或排除某个干扰源。

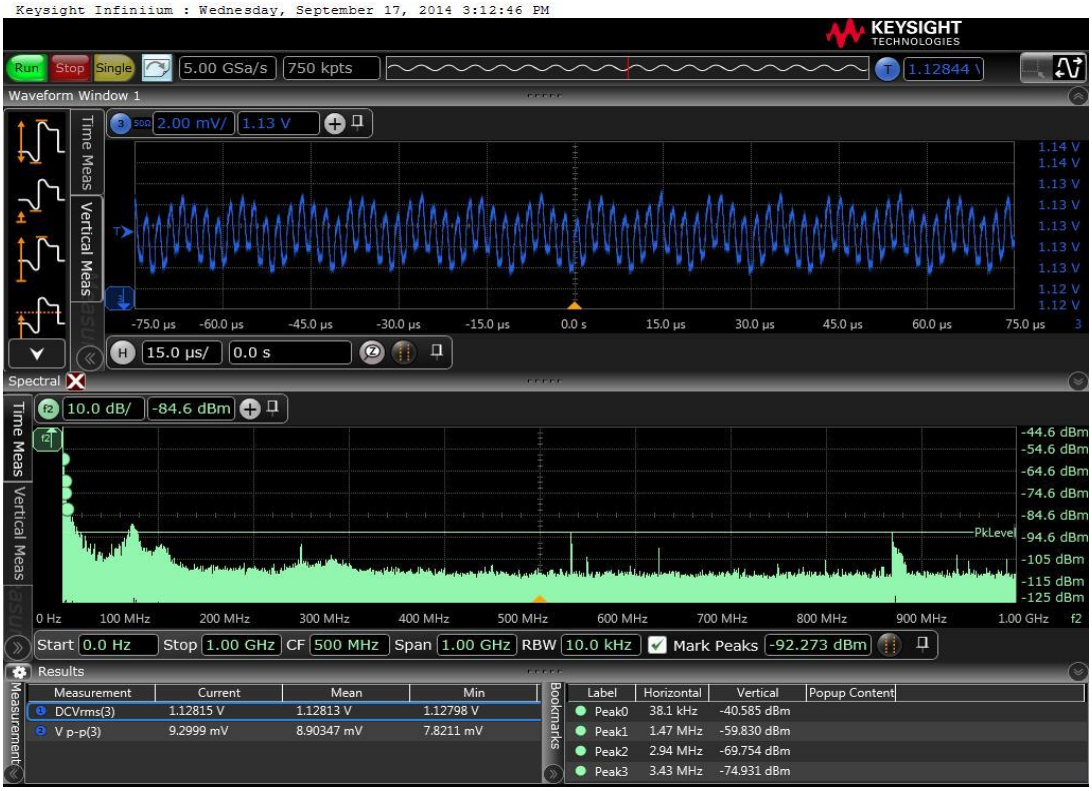


图 5 使用 FFT 可以更深入地分析捕获到的噪声信号。

结论

正确地选择和使用示波器及探头，有助于您更快、更深入地分析电源完整性问题。所以请务必记住本文介绍的技巧和方法。