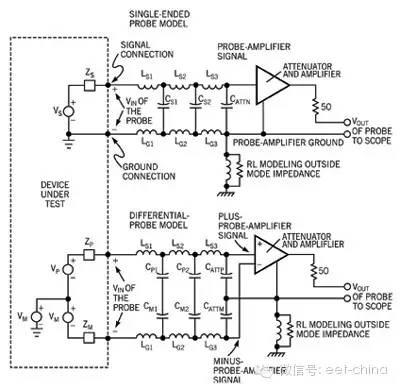
新的有源探头体系结构使GHz级以上的千兆信号的完整性测量变得更加容易、精度也更高，但这只对于了解探头的工作原理和探头的两种拓扑结构之间优劣的用户而言的。   
  
宽带宽示波器和有源探头的用户历来可以在单端探头和差分探头之间作出选择。测量单端信号(对地参考电压)，你使用的是单端探头，而测量差分信号 (正电压对负电压)，你使用的是差分探头。那么，为什么你不能只买差分探头来测量差分信号和单端信号呢？实际情况是，你可以这样做，但又存在实实在在的理由使你不能这么做。与单端探头相比，差分探头价格较贵，使用不大方便，带宽也较窄。  
  
新的探头体系结构，如 Agilent 113X 系列的体系结构可以探测差分信号，也可以探测单端信号，而且基本上使人们不反对使用差分探头。这些探头是通过可互换的端头来提供这种能力的，而各种可互换的头经过优化，可以点测、插入插座和焊入探头。这种结构给有源探头的用户提出了新问题：测量单端信号，到底该用差分探头还是该用单端探头？答案是应由性能和可用性两个方面的权衡结果来定夺。  
  
只要使用Agilent 1134A型 7 GHz 探头放大器的简化模型 (图1) 和已测数据以及焊入的差分和单端探头端头 (图 2)，你就可以比较它们的带宽、保真度、可用性、共模抑制特性、可重复性和尺寸大小等方面的差别。这些探头端头的物理连线几何形状相同，所以它们之间的主要性能差别是由差分拓扑结构和单端拓扑结构引起的。探头性能测量是采用 Agilent E2655A 纠偏/性能验证夹具和 Agilent 8720A 20 GHz 向量网络分析仪或者 Agilent Infiniium DCA (数字通信分析仪)采样示波器进行的。   
  
图 1 差分探头和单端探头的简化模型的主要区别在于，差分探头的地线电感是与放大器输入端串联的，而不是与探头的“地”串联的。   
  
图 2 单端探头端头和差分焊点埋入探头端头的放大图表明单端探头既简单又尺寸很小。  
  
如前所述，单端探头的带宽通常比差分式探头宽。那么，这种差别是由物理学的某些基本定律决定的，还是实现差分体系结构这一现实情况造成的？为了探讨这个问题，请看差分探头和单端探头的连线寄生参数的简化模型（图 1）。差分探头和单端探头的几何形状相同导致它们的电感和电容值也相同。宽、扁的导体(探头片)可以降低单端探头的 LG (接地电感)值,但不明显。要注意的是，差分探头的两个输入端都有一个末端电阻器，而单端探头只在信号输入端有一个末端电阻器，地线中则没有电阻器 (在实际探头中为一个0Ω的电阻器)。这些电阻器是适当抑制输入连线的LS和CS引起的谐振所必需的  
  
对单端探头模型的分析表明了电感器和电容器的价值和 LG 的重要作用。在高频段，接地电感会在被测设备地和探头地之间产生一个电压，从而减少衰减器/放大器输入端的信号强度。如果你能降低 LG，探头的带宽就可以增大。  
  
要减少接地电感，就要缩短地线或者加粗地线。极限条件下，理想的地线是短而宽的平面导体，或者是包围信号线的圆柱体(形成同轴探头连线)。这些理想的地线对于现实的探测来说通常都是不切实际的，而且还会大大降低单端探头的可用性。把单端探头限制在一个无法用于实际测量的同轴夹具中也是不现实的。  
  
对用差分信号 (VCM=0, VP=VM) 驱动的差分探头模型的分析表明，由于正信号连线和负信号连线的固有对称性，这两根连线之间存在着一个净信号值为零的平面。人们可以把这个“有效的”地平面看作是与被测设备接地平面和探头放大器地线连接的。考虑到这个有效的接地平面，你就可以分析半个电路的模型，在这一模型中，地平面上方的信号环路面积大约是整个环路的一半，因此，具有单端探头模型电感的一半。对这半个电路模型的分析表明其带宽宽得多了。此外，这个有效地平面是理想的地线，而又不妨碍探头的可用性。 当一个单端信号源驱动差分探头时，人们可以采用叠加原理来确定整个响应特性。在该模型中，你可以通过使 VCM=VP=VM 来施加单端信号。  
  
对于叠加的第一项，你要切断 VCM，而对于第二项，你要切断 VP 和 VM。第一项就是对单端信号的差分分量的响应，所以该响应与前面的分析相同。第二项是对单端信号共模分量的响应，所以，探头的共模抑制特性决定这一响应。  
  
如果探头具有良好的共模抑制特性，则对单端信号的总响应就是对单端信号的差分分量的响应。如果探头的共模抑制特性不够好，则其后果就会以差分信号和单端信号测量值之差的形式表现出来。图 3 中的红色曲线和绿色曲线表明这两种响应之间实际上没有差别。   
  
图 3 示出了探测一个单端信号的差分探头 (绿色) 和探测一个单端信号的单端探头 (蓝色)的已测频率响应曲线。两种探头用的都是 7GHz 探头放大器。探头的带宽定义为探头输出除以探头输入所得的值再降低 3 dB 的频率。很显然，差分探头端头的带宽比单端探头宽得多 (7.8 GHz 对 5.4 GHz)。两种探头因其连线都使用了适当的阻尼电阻器而具有良好的频率平坦度。   
  
图 3 差分探头和单端探头频率响应曲线表明差分探头的响应曲线更宽、更平坦。  
图 4a 示出了差分探头的对大约 100 ps上升时间输入阶跃的已测时域响应曲线。图 4b 示出了单端探头的对大约 100 ps上升时间输入阶跃的已测时域响应曲线。在这两幅图中，红线是探头的输出，而绿线是探头的输入。要注意的是，这两幅图没有示出探头的阶跃响应，但却表明了两种探头对 100 ps阶跃的跟踪有多好。测量阶跃响应特性，要求输入是理想的、上升时间非常快的阶跃。在这种情况下，差分探头的上升时间要比单端探头快。这两种探头对 100 ps阶跃的跟踪都非常好。

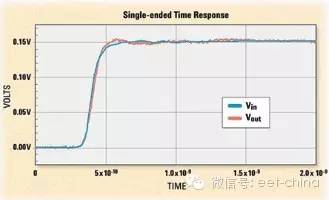


图 4 在差分放大器 (a) 和单端放大器 (b) 对 100 ps上升时间电压阶跃的响应曲线 (红线) 之间几乎没有差别，但是，差分放大器的响应没有过冲现象，并在 75 ps之内便进入了稍窄的误差带。  
  
共模抑制特性对差分探头和单端探头来说都是一个问题。对于差分探头而言，在正负两个探头输入端加上同一个信号，不应产生任何输出；而对于单端探头而言，在信号输入端和接地输入端加上同一个信号也不应产生任何输出。若输出为零，则所加信号的共模抑制就是无穷大。  
  
差分探头模型和单端探头模型都示了探头衰减器/放大器地线到“大地”地线之间有一个电阻器和一个电感器 (图 1)。这两个元件构成了由探头电缆屏蔽层和大地地线组成的传输线（或“天线”）所产出的阻抗的简化模型。这一外部模式阻抗是很重要的，因为当你给单端探头加一个共模信号时，LG 值就与这一外部模式阻抗一起组成了一个分压器。此分压器对到达放大器的地线信号起衰减作用。由于放大器的信号和地线输入信号受到的衰减各不相同，在放大器的输入端上就出现了一个净信号，从而使放大器有输出信号。地线电感越大，共模抑制能力越低，所以当使用单端探头时，保持地线尽量短是很重要的。同样重要的是要注意这个外部模式信号对内部模式信号没有直接的影响，后者是同轴电缆内部正常的探头输出信号。但是，反射的外部模式信号确实会影响探头放大器的地线信号，因而间接影响内部模式信号。  
  
当你给差分探头加上一个共模信号时，衰减器/放大器的正负两个输入端都有同一个信号。所产生的唯一输出信号是该放大器抑制特性的函数，它与连线电感无关。  
  
在探测一个叠加在共模噪声上的单端信号时，到底是单端探头还是差分探头具有更好共模抑制特性呢？答案取决于单端探头的地线电感和差分探头放大器的共模抑制特性。就本例的差分探头和单端探头而言，图 5 表明了差分探头的共模抑制性能要比单端探头大许多。因此，在存在很大的共模噪音时，用差分探头来测量更为精确。这是差分探头与单端探头之间很典型的区别，除非单端探头的接地连接的电感非常小，而这一点在实际实践中是很难做到的。值得注意的是，这里所分析的单端探头的共模抑制特性与多数单端探头同样好，甚至更好，因为这里用的探头地线很短。图 5 所示的共模响应特性为：差分共模响应 = 20 log(VOC/VIC)，式中VIC 是正负两个输入端上的共同电压，VOC 是加上 VIC 后探头的输出电压。单端共模响应 = 20 log(VOC/VIC),式中 VIC 是信号输入端和接地输入端上所施加的共同电压，而 VOC 是加上 VIC 后探头的输出电压。   
  
图 5 尽管差分探头和单端探头都具备某种共模抑制能力，但差分探头 (红色) 的性能则要好得多，它在 5 GHz 时的最小共模抑制大于 20dB。另一方面，单端探头 (蓝色) 在 2.5 GHz 时的共模抑制只有约 7dB。   
  
可重复性高频探头存在的一个问题就是其测量的可重复性。在理想的情况下，探头、电缆和操作的手三者的位置不应引起探头测量结果的变化。但不幸的是，这些因素常常影响测量结果，究其原因，通常是外部模式阻抗发生了变化。外部模式阻抗比探头模型所示的更为复杂，这是因为探头、手和电缆三者的位置对无屏蔽的传输线（或天线）都会产生很大的影响。对外部模式阻抗发生变化的单端探头模型的分析表明，这种外部模式阻抗变化会使响应特性发生变化。此外，由于外部模式阻抗也是共模响应特性的一个因子，所以这一阻抗的变化会使共模抑制特性发生变化。地线的电感越大，响应特性就越差。   
  
对外部模式阻抗发生变化的差分探头模型的分析表明，这种外部模式阻抗变化对响应特性几乎没有影响。放大器的共模抑制会使出现在探头放大器地线上的任何信号受到衰减，从而大大地降低由探头、手和电缆三者的位置造成的变化。   
  
在图 3 中，差分探头的响应曲线比单端探头要平滑。单端探头的响应特性的起伏大多数是由于外部模式阻抗的变化引起的，当这些阻抗变化时，响应特性也就随之变化。在探头上的铁氧体球可以衰减和终止外部模式信号，并减小外部模式阻抗的变化，从而略为减小探头、手和电缆三者位置产生的影响。 在差分探头和单端探头之间的比较可能会使你认为：无论是探测差分信号还是单端信号，差分式探头的性能都更好。因此要问，为什么还要使用单端探头呢？单端探头在许多情况下依然可以获得令人满意的测量结果，而且它采用不大复杂的末端网络，因而价格低、体积小。小的探头可在狭窄的区域内进行探测，并可用多个探头连接非常近的多个测试点。从这点来看，拥有一个既可进行差分探测又可进行单端探测的探测系统似乎是最好的。 在电子工业中，许多信号传输大多已从单端拓扑结构转向差分拓扑结构，以缓解地线信号抖动、串音和 EMI 等问题。差分探测是测量设备在这一新领域内发挥作用所不可或缺的。差分探头对单端信号的测量效果之所以要比单端探头好，乃是因为在差分探头信号连线间的有效接地平面比多数单端探头器的可用(非同轴的)地线更理想。新一代的差分探头使用方便，性能先进，经济实惠，既可探测差分信号又可探测单端信号，性能价格比很好。

【分享】如果您觉得本文有用，请点击右上角“…”扩散到朋友圈！

关注电子工程专辑请**搜微信号:“eet-china”**或点击本文标题下方“**电子工程专辑**”字样,进入官方微信“**关注**”。