

为什么工程师常忽略同轴电缆带来的信号损耗

Why Engineers Ignore Cable Loss

作者：Brig Asay, Agilent 科技公司

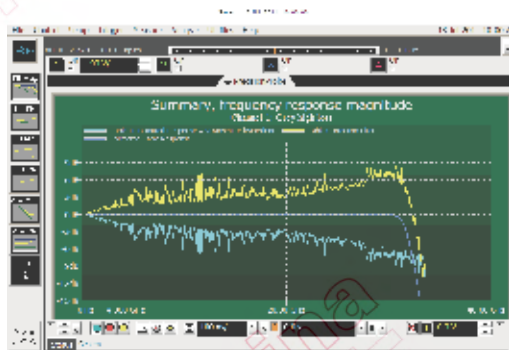
引言

许多公司愿意投入大量资金采购测试测量仪器和设备。高速数字电路或系统设计团队往往会花费一大笔开支用于购买实时示波器。就像大多数仪器一样，仪器的性能或指标越高，比如示波器的带宽越高，价格也会越高。而需要高带宽实时示波器的公司通常也愿意支付高价钱，这是因为他们期望这样的示波器的测量结果确实能够正确反映被测对象的性能。带宽不足或精度不够的示波器，所测出的信号上升时间是不准的，或测试可重复度很差，测出的信号抖动值比真实情况偏大等，这使得无法或错误评估设计冗余本来就不大的产品，增加成本，推迟项目或设计的市场投放时间。能够保证测量精度的高带宽实时示波器，会让购买者觉得物有所值或物超所值。摈除价格因素，本文要讨论的是常被工程师忽视的一个题目，示波器仅是整个测量系统中的一部分或一个环节，一个测量系统，除了示波器以外，还有和被测对象相连接的同轴电缆、适配器或探头，同轴电缆、适配器、探头的带宽和测量精度一样会成为影响整个系统测量精度的重要因素，只是同轴电缆或适配的性能特性往往被忽视。

电缆限制

与示波器的价格相比，电缆的价格是很低的，甚至是可以忽略不计的，但对高速测量系统，电缆有可能成为影响测量精度的重要因素。

图 1 描述一条接到 16 GHz 带宽示波器 (-3 dB 点位于 16GHz) 的电缆。浅蓝色的迹线代表电缆的频率响应曲线。注意其 -3 dB 点



在 3GHz！试想一下，一家公司购买了一台价格不菲的 16GHz 示波器，而因为电缆的缘故，实际使用的带宽只有 3GHz。除了让最大部分的投资不值外，电缆带来的信号损耗不仅影响系统带宽，频响平坦度，还直接影响设计者的设计冗余。从整个电子设计行业的角度来看，目前企业在测量时，除使用电缆或探头外，还可能使用其它连接部件，包括开关（测量多通道）、适配器和夹具。每一个部件都潜藏常被忽视的问题，包括损耗、频响曲线不平坦等，这些问题在信号速度较慢的时候可以忽略不计，但当信号超过 GHz 后，就会影响关键的电气性能测试，带来测试本身的不准确，浪费数以十万计美元的投资。更为严重的是这一点往往被有意无意地忽略。

克服电缆损耗

S21 插入损耗是衡量信号衰减的一项指标，对一根电缆而言，指的是信号经过电缆会产生一定的幅度衰减，而且这种衰减往往是随着被测对象频率的变化而变化，因此，插入损耗一般指电缆对信号衰减程度与信号频

率之间的关系曲线。在传输线理论中, S21 是传输系数, 以 dB 为单位, 负值代表信号在传输过程中的损耗。本文假设电缆的特征阻抗、源端阻抗、负载阻抗都是匹配的, 比如电缆特征阻抗 (Z_0) 为 50Ω , 源和负载都是 50Ω , 只有在这种情况下, 所测得的插入损耗才能代表所用电缆的真实情况。如果源和负载不完全匹配, 就会产生反射, 需要借助除 S21 之外的其它参数来建立完整模型。

针对 S21 插入损耗, 工程师有两种选择方案。第一种是购买和使用高质量同轴电缆; 但即使高质量同轴电缆也会因插入损耗而在某个频点以上开始损失带宽, 选择这种方案基本上是源于工程师忽略了电缆损耗, 可惜这也是工程师选择最多的解决方案。

第二种方案是对所使用的同轴电缆进行实际测量, 得出其频率响应 (幅度和相位) 曲线, 然后用数字信号处理的方法补偿其带来的误差, 这种方法优点是工程师可以对每条电缆进行补偿, 校正其插入损耗, 不过这种方案有两个缺点, 首先是测量和表征电缆需要时间和经验, 其次是可能出错。因此现实生活中, 工程师多选择第一种方案。

表征和补偿 S21 插入损耗

对那些选择了第二种方案的工程师, 他们在测量和表征同轴电缆的时, 可能选择不同方法。到目前为止, 这些方法包括矢量网络分析仪 (VNA)、时域反射计 (TDR)、以及仿真工具 (如 ADS 之类的), 方法各

异, 但共同点都是得到电缆的 S 参数文件 (该文件是一个简单的两端口模型), 然后拷贝到示波器中, 示波器据此建立一个传递函数, 补偿电缆带来的损耗。这需要示波器提供对应的软件支持, 例如安捷伦公司所提供的 N5465A InfiniiSim 软件, 该软件有基本版和先进版的两种版本, 对于电缆损耗, 基本版已能满足所有需要。

使用 VNA 或 TDR 测量和表征电缆损耗, 是非常传统的方法。VNA 是一种测量被测件频率响应的仪器, 正弦波扫频输入到被测对象, 然后计算输入参考信号与传输信号或反射信号间的矢量幅度比, 得到整个扫频范围内的 S21、S11 参数, 接收器内的带通滤波器会把测量中的噪声和无用信号滤除掉, 以提高测量精度。



ARTECH HOUSE

RF和微波工程师的权威、实用资源



新!

医疗和工业应用 RF 线性加速器

Samy Hanna

精装。2012年, 210页
ISBN: 978-1-60807-090-9
119美元 / 79英镑



无源 RF 元件技术: 材料、技术和应用

Guoan Wang and Bo Pan

精装。2012年, 312页
ISBN: 978-1-60807-199-9
139美元 / 92英镑



新!

集成微波前端与航空应用

Leo G. Maloratsky

精装。2012年, 368页
ISBN: 978-1-60807-205-7
159美元 / 109英镑



新!

RFID 设计原理, 第二版

Harvey Lehpamer

精装。2012年, 363页
ISBN: 978-1-60807-470-9
129美元 / 89英镑

订购, 请联系:

亚洲信息服务有限公司
www.asiainfoservice.com

中国图书进出口 (集团) 公司
www.cnpipec.com.cn

有关完整描述, 请访问:

ArtechHouse.com



ARTECH HOUSE
波士顿 | 伦敦

685 Canton Street, Norwood, MA 02062 USA
16 Sussex Street, London SW1V 4RW UK

TDR 的工作原理是将阶跃信号 (很快的上升沿) 发送到被测对象, 然后测量其传输和反射波形, 根据所产生的反射来描述被测对象特性, 现在的 TDR 示波器都可以将传输反射参数转化为 S 参数。

当然, VNA 和 TDR 的操作方法, 完全不同于实时示波器, 需要专门的技术知识, 如果不能正确测量电缆特性, 所获得的 S 参数文件将是无效的, 可惜实时示波器软件无法区别是有效文件还是无效文件, 它只是基于该文件建立传递函数, 这意味着有产生的错误的危险 (但如果建立了坏文件, 波形变换通常会警告用户)。因为使用 VNA 或 TDR 获得电缆的 S 参数文件文件, 不是一件容易的工作, 甚至很繁琐复杂, 所以实时示波器的用户往往宁愿忽略电缆损耗, 也不愿去寻找一台网络仪或 TDR, 并花费数小时的时间, 最后得到只是几个 ps 的设计容限。许多工程师干脆做出电缆没有损耗的假设, 不幸的是随着高速串行信号变得越来越快, 电缆损耗的测量和补偿也变得越来越重要, 它

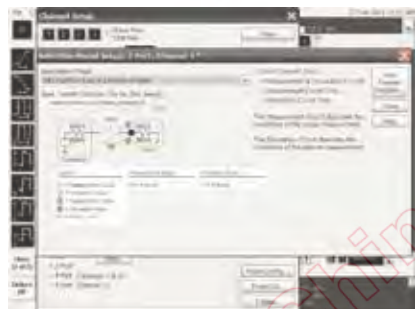


图 2. Agilent InfiniiSim 软件显示去除电缆插入损耗对应的操作菜单。



图 3. 90000 X-系列示波器自身校准信号, 是一个很快的边沿信号。

已不再能忽略不计。

新兴测量科学

那么有没有可能不使用单独的 TDR(采样示波器)或 VNA(矢量网络分析仪), 而得到电缆的 S 参数文件呢? 安捷伦最近推出了一种新的方法, 基于 Agilent Infiniiium 实时示波器, 开发一个叫做 N2809A PrecisionProbe(精密探接)的软件。PrecisionProbe(精密探接)是一种直接使用实时示波器本身, 获得电缆或探头的 S 参数, 并对其损耗进行校准和补偿的软件, 它的主要优点是不需借助其它仪器仪表, 只使用实时示波器本身, 几分钟的时间就能完成, 而不是几个小时的时间; 另一个优点是该软件将自动实时补偿电缆或探头带来的损耗, 不需要通过其它软件, 比如去嵌入软件, 来完成校准或补偿的动作。

PrecisionProbe(精密探接)软件的工作原理是, 利用 Infiniiium 实时示波器自身的阶跃信号 (快跳变沿, 通常用于示波器自校准, Agilent 90000 X 系列的边沿小于 15ps), 经平均处理, 再施加微分函数, 把它变成一个脉冲, 然后对该脉冲进行快速傅里叶变换, 这样就能在频域表征该跳变沿。PrecisionProbe(精密探接)软件, 先根据上面的步骤做一次测量, 得到基准参数, 然后如图 1 所示那样添加新电缆测量, 对基准参数和新测量结果进行比较。两者的不同是因为增加了电缆, 因此就能得到 S21 特性。

软件中有一个向导引导用户完成每一步骤, 整个过程不到五分钟。这里再次强调一下, 除了工程师已有的实时示波器外, 不需要任何其它设备。由于操作十分简单, 工程师不再需要忽略电缆或探头的损耗, 而是可以用示波器表征和补偿电缆或探头的损耗。



图 4. 对快跳变沿信号进行微分运算, 产生图示的脉冲信号。



图 5. 对脉冲信号进行 FFT 变换得到脉冲响应频谱曲线。



图 6. PrecisionProbe(精密探接)软件的向导指引。

结论

电缆插入损耗带来测量误差, 挤压电气容限, 但往往被工程师和示波器用户忽略。电缆损耗被忽略的原因, 在很大程度上是因为需要额外的设备、繁琐的测试过程和专门的技术知识, 而非因为电缆损耗可以忽略。忽略电缆损耗的后果是公司因示波器带宽被浪费而让大笔资金的投入显得不值。为解决这一难题, 实时示波器厂商, 安捷伦科技, 发明了基于实时示波器硬件优势的新软件, Agilent N2809A PrecisionProbe(精密探接)软件。工程师能用该软件快速测量和补偿电缆、夹具或开关矩阵损耗, 而不需要其它设备。这一新软件使工程师能找回原来因电缆等连接件的损耗而丧失的宝贵电气容限, 从而使产品更快进入市场。■