

基于安捷伦 VNA 网络分析仪实现长延时器件的测量

孙现福^[1] 马玉培^[2] 王国彬^[3]

安捷伦公司网络分析仪产品事业部 北京 010-64396770 xian-fu_sun@agilent.com^[1]

中国电子科技集团公司第十三研究所 石家庄 mayp@hsri.cn^[2]

安捷伦公司信号源产品事业部 北京 guo-bin_wang@agilent.com^[3]

摘要

无论在光纤通信系统还是在国防应用系统中,都存在着很多长延时器件,譬如声表面波滤波器和长距离的光纤。对于几十公里的光纤,就可能有几百微秒的延时。基于安捷伦矢量网络分析仪(VNA),很多工程师不能准确地测量出长延时器件的衰减和群时延(Group Delay)。针对这一问题,本篇文章探讨如何使用VNA来测试长延时器件。

关键词: 矢量网络分析仪, 群时延, 被测件

1. 光纤长延时器件的特点与应用

光纤通信在数字通信领域已得到相当广泛的应用,且得到了快速的发展。由于光纤通讯具有带宽宽、损耗低、抗干扰、保密性好、重量轻、性能价格比高等优点,近年来通过光纤传输模拟信号特别是微波射频信号在国际上研究十分活跃。

在电子学系统中,常常需要对数字信号和模拟信号进行一系列处理,例如进行脉冲编码、解码、滤波、进行相关卷积运算及作A/D变换等。过去常用的方法除电子学方法外,还应用了声表面波电荷耦合器件(SAW CCD)以及同轴电缆等,但是随着信号工作频率与带宽的提高,特别是在微波频段,这些方法就显得无能为力了。由光纤及其相应的光电子器件构成的光纤延迟线不仅能完成上述信号处理功能,而且在某些方面比新发展的静磁波与超导延迟线还优越。此外,光纤除可以用作信息传输与传感之外,还有一个很重要的应用就是进行频域和时域的信号处理,其中,最典型的应用是将光纤作为延迟线。

微波光纤延迟线主要用于传输微波模拟信号,该系统可以用于相控阵雷达主仓和分仓之间,多基地雷达之间,舰艇、飞机、操作室和炮火控制台的模拟信号传输。在电子系统中,采用光纤传输微波模拟信号,可以使雷达,通信导航识别,电子战信号经传输更好地显示与控制,减轻重量,增大容量,屏蔽干扰,大大提高系统的可靠性。

2. 网络分析仪系统结构

要想获取高精度的测量结果，必须非常清楚地理解网络分析仪的系统结构。安捷伦矢量网络分析仪 VNA 的系统结构如图 1 所示：

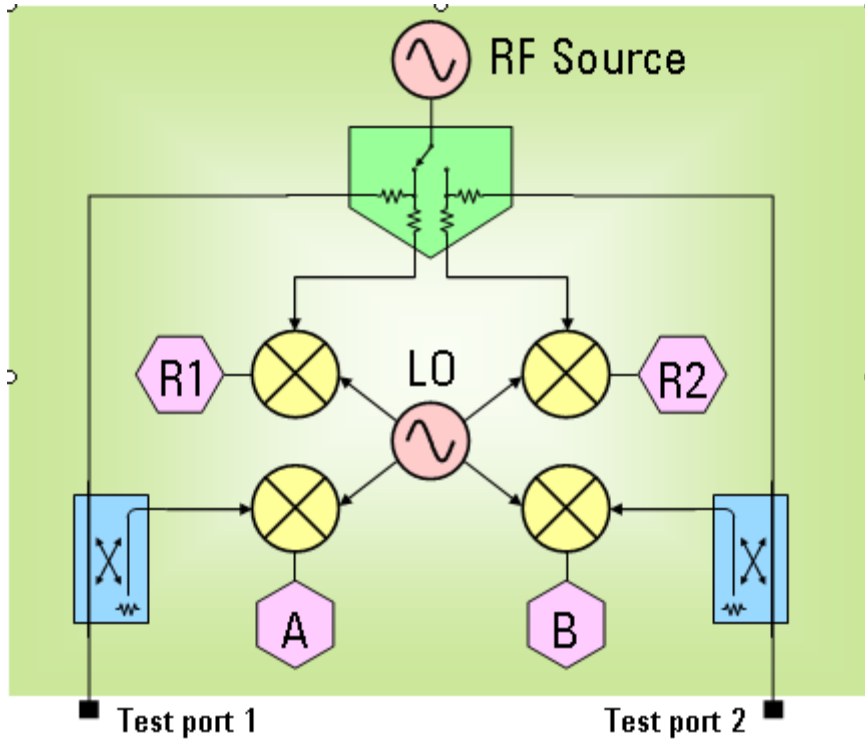


图 1 VNA 网络分析仪的结构图

前向测量时，B 为测试接收机，A 为反射接收机，R1 为参考接收机；反向测量时，A 为测试接收机，B 为反射接收机，R2 为参考接收机。

四个 S 参数定义如下：

前向： $S_{11}=A/R1$ $S_{21}=B/R1$ 反向： $S_{22}=B/R2$ $S_{12}=A/R2$

对于长延时器件常常需要测量其衰减和电延时，电延时是相位相关的，即测量 S_{21} 的幅度信息和相位信息，因此我们只需要关心B接收机和R1接收机。

3. 长延时器件 S_{21} 的幅度测量时问题分析以及解决方案

长延时器件测量连接如图 2 所示：

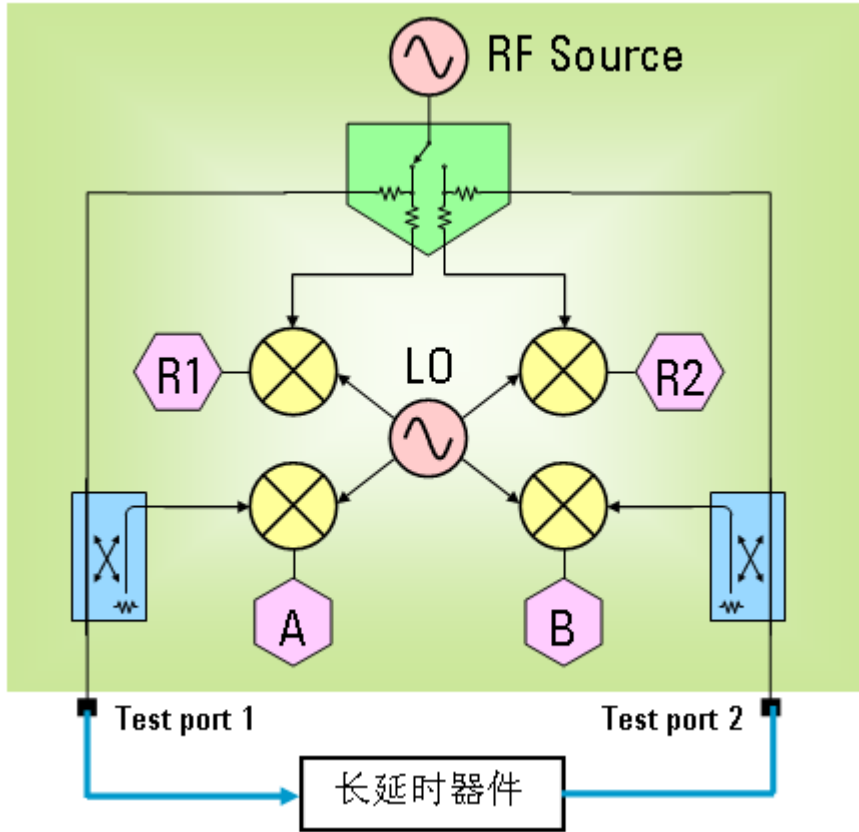


图 2 测试连接

当测量 S_{21} 的幅度时，幅度相应看起来非常低，甚至会有一些跳变。此时，如果你增加扫描时间，你会发现测试结果会变得准确一些。很显然，问题是由于网络分析仪扫描速度太快导致，但是为什么快的扫描速度会引起较差的测试结果？

我们测量长延时器件的 S_{21} 时，VNA 的扫描类型是线性频率扫描，也就是频率随着时间扫描，因此被测件(DUT)的时延会引起输出频率对输入频率有一个频率偏移，频率偏移是由 VNA 的扫描速率和 DUT 的时延共同决定：

$$F_{shift} = \frac{dF}{dt} * T_d \quad \text{其中 } T_d \text{ 为被测件电子延时}$$

由图 2 可以看出，DUT 的输出信号到达 B 接收机，依据 VNA 的工作原理，B 接收机被调谐到 DUT 输入信号的频率，因此 DUT 输出信号的频率与 B 接收机的工作频率相差 F_{shift} 。最终导致接收机的中频信号并不是在中频滤波器的中心位置，滤波器的裙边会对 DUT 的输出信号有一些衰减。因此，扫描速率越快，频率偏移越大， S_{21} 的幅度下降越严重。如果扫描频率跨越几个 VNA 频带， S_{21} 幅度可能会有跳变现象，因此 VNA 需要在不同的频带内设置不同的扫描速率，但是对于每个频带可以设置相同的较慢的扫描速率。

当你测量长延时器件的 S_{21} 幅度时，如果发现测试结果不正确，建议几种如下解决方案

- A. 降低VNA的扫描速度，直到 S_{21} 幅度稳定。
- B. 使用“Stepped Sweep”步进扫描模式，设置每个频点的驻留时间。
- C. 在参考通道，增加一个足够长的电缆，让这个电缆来匹配 DUT 的时延，但是这个方案会给校准带来一些麻烦。

4. 长延时器件的电延时测量问题分析与解决方案

很多工程师都知道安捷轮的 VNA 网络分析仪具有群时延的测量功能，但是很少有人能够准确地测量出长延时器件的电子延时，甚至有时候测量的群时延为负值。针对这一问题，作者向大家提供三种测试方案

A. 电子延时补偿等效法

首先，设置 S_{21} 的显示格式为Unwrapped Phase，然后调整VNA的Electric Delay进行补偿，直到 S_{21} 的相位轨迹曲线变得非常平坦。调整时，请注意当曲线的斜率为正值时，说明过补偿。最终的补偿值为被测器件的电子延时长度。

B. 群时延法

群时延的定义如下：

$$\text{Group Delay (t)} = \frac{-d\phi}{d\omega} = \frac{-1}{360^\circ} * \frac{d\phi}{df}$$

- ϕ in radians
- ω in radians/sec
- ϕ in degrees
- f in Hertz ($\omega = 2\pi f$)

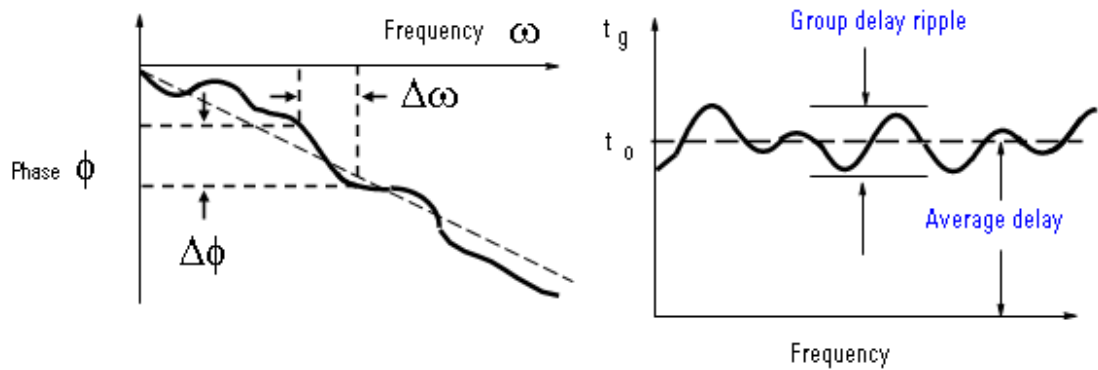


图 3 群时延的图像化表示

图 3 所示的 Average Delay 代表 DUT 的电子长度或电延时，Group Delay Ripple 代表 DUT

的相位失真。群时延计算的前提条件是要保证任意两点之间的相位差小于 180 度，否则出现相位反转，相位反转的典型现象是群时延为负值。避免两点之间相位反转，须保证以下不等式成立：

$$\Delta_{\phi} = -360 * \Delta_f * t_0 < 180^{\circ}$$

Δ_f = 测量带宽 / (扫描点数 - 1)

t_0 为被测件的电子长度

针对长延时器件，要想满足以上不等式，需要增加扫描点数和减少扫描带宽。测量时，设置 S_{21} 的显示格式为 Group Delay，图 4 给出群时延方法的测量结果，DUT 的平均群时延为 247.776 微秒。

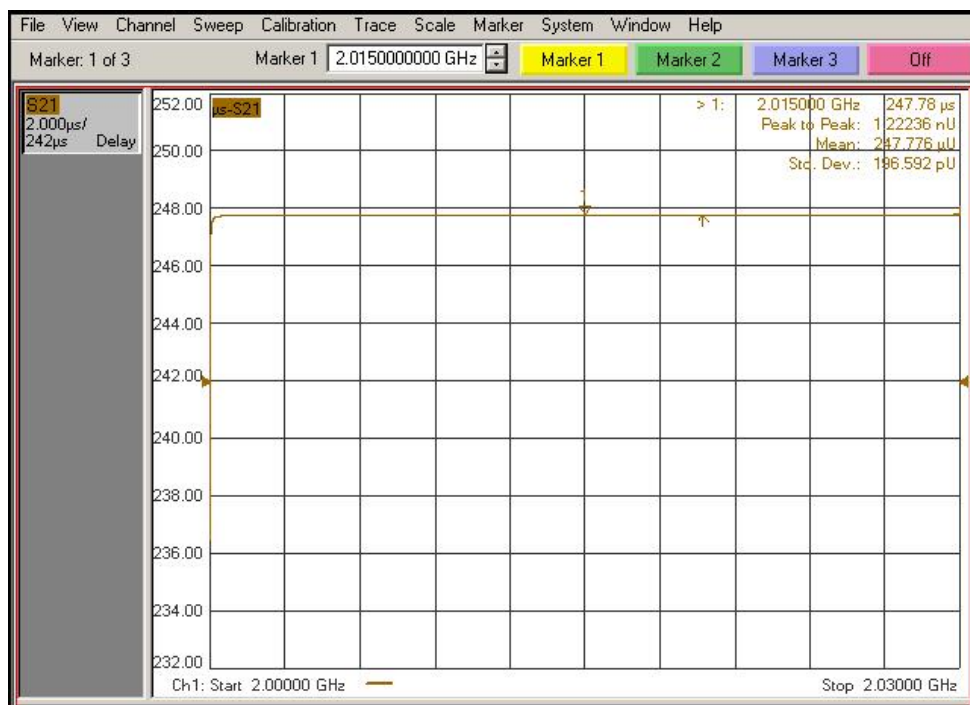


图 4 群时延方法的测量结果

C. 电延时补偿等效法与群时延法相结合

这种方法结合电子延时补偿等效法与群时延法，首先在 VNA 里设置 Electric Delay 为一个估计值，例如在图 4 中可以估测电子延时为 247.7 微秒（这个值可以根据被测件的物理长度，介电常数和光速大约计算出来；这里也可以估算为 240 微秒），然后测量其群时延。测量结果如图 5 所示，平均群时延为 75.9 纳秒。如果过补偿，会导致测量结果为负值，不过不影响最终测量结果。最终测量结果为补偿值加上测量值，因此最终测量结果为 247.7759 微秒。

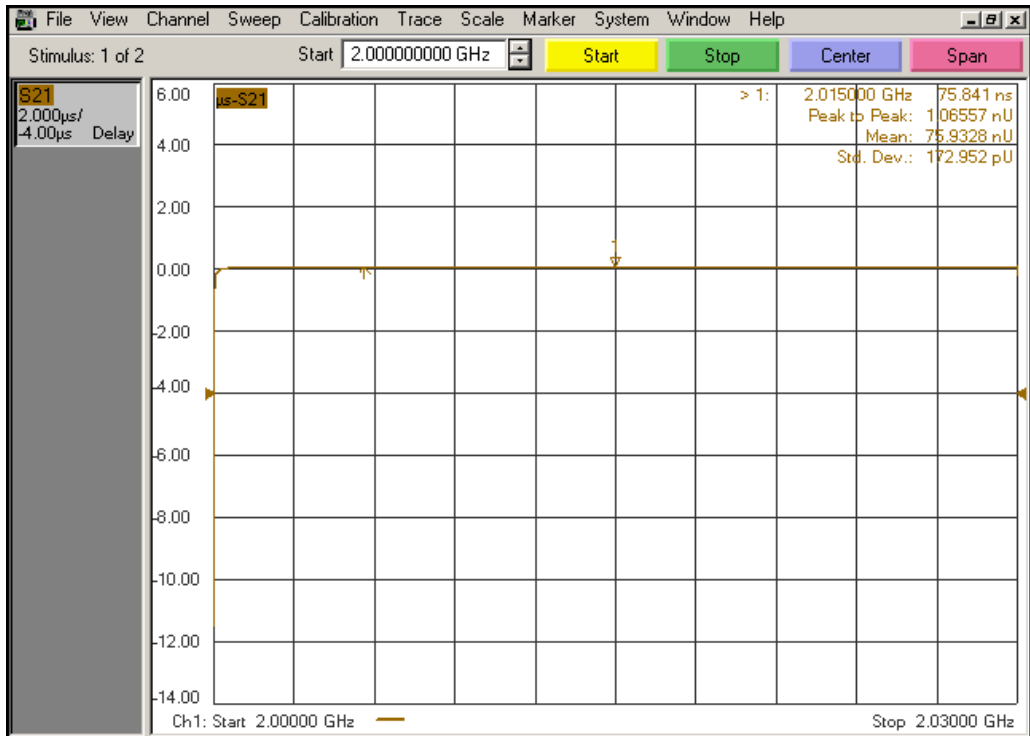


图 5 电子延时补偿法与群时法相结合的测量结果

总结

在测量长延时器件时，由于VNA扫描速度太快，导致传输系数 S_{21} 幅度测量不准确。群时延测量不准确的原因是由于扫描相邻两点之间的相位差大于180度，从而导致相位翻转。正确合理地设置VNA网络分析仪，准确地测量长延时器件就不会那么复杂了。

参考文献

1. Agilent PNA Series Network Analyzer Help, Agilent Technologies, Inc. 2007
2. 梅遂生, 光电子技术 (M), 北京: 国防工业出版社, 1999, 213.
3. 马玉培, 陈季文, 要志红. 多延迟光纤传输系统[A]. 第十二届全国化合物半导体材料、微波器件和光电器件学术会议论文集[C]. 中国: 厦门, 2001, 573.
4. G.凯泽. 光纤通讯原理[M]. 于耀明, 等译, 北京: 人民邮电出版社, 1988年, 9.