

# ① 矢量网络分析仪的时间门功能在吸波

## 材料性能测试中的应用\*

薛扬民 景莘慧 蒋全兴 许 帅

( 东南大学 电磁兼容研究室 江苏 南京 210096 )

**摘 要** :在利用低频同轴反射法( LCR )进行材料吸波性能的测试过程中 ,经常会使用矢量网络分析仪的 GATE 功能来滤除干扰因素对测试结果的影响。本文通过对测试原理的阐述和不同吸波材料的测试结果的分析 ,说明了如何合理地设置矢量网络分析仪的 GATE 以及测试过程中应该注意的问题。

**关键词** :同轴测试装置 ;矢量网络分析仪 ;低频同轴反射法 ;铁氧体 ;吸波材料

**中图分类号** :TM93      **文献标识码** :A

### Application of GATE of VNA in Measuring the Performance of Absorber

XUE Yang - min , JING Shen - hui , JIANG Quan - xing , XU Shuai

( EMC Lab , Southeast University , Nanjing 210096 , China )

**Abstract** :The GATE of VNA is often used to remove the influence of interferential factors on the measuring results in measuring the performance of absorber by LCR. This paper mainly introduces how to properly set the GATE and some questions which should be considered in measurement.

**Key words** :Coaxial measuring device ;Vector network analyzer ;LCR ;Ferrite ;Absorber

## 一、引 言

随着微波通信、雷达、航天、电子对抗技术的不断发展 ,电磁吸波材料在隐身技术、电波暗室、防止电磁波泄漏、改善电磁环境等方面得到重要的应用。因此需要有专门的测试装置和测试方法来对各种吸波材料的性能做客观的评价。在利用低频同轴反射法( LCR )进行材料吸波性能的测试过程中 ,经常会使用矢量网络分析仪的 GATE 功能来滤除干扰因素对测试结果的影响 ,但一直没有相关文献对 GATE 的设置做出说明。本文通过对材料吸波性能的测试原理和过程的详细分析 ,结合自行研制的测试装置和具体的吸波材料的测试曲线 ,说明了在利用 LCR

进行材料吸波性能的测试过程中矢量网络分析仪的 GATE 的设置 ,以及在测试过程中应该注意一些的问题。

## 二、测试装置及测试原理

### 1. 低频矩形同轴测试装置结构

如图 1 所示 ,这种测试装置用 3 mm 厚的铝板拼装而成。由于测试装置的内外导体尺寸比为 1 : 3 ,因此其特性阻抗接近 60 Ω ,而测试仪器及标准同轴接头的阻抗为 50 Ω。因此在装置设计和测试过程中必须尽量减小这种阻抗不匹配给测试带来的影响。

① 收稿日期 2004 - 01 - 05

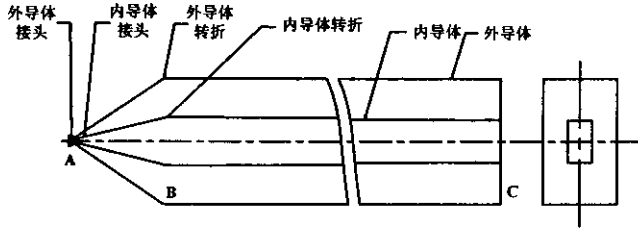


图1 低频矩形同轴测试装置结构示意图

2. 测试原理

图2为低频同轴反射法(LCR)的测试装置示意图。主要原理是通过测量矢量网络分析仪输入端口的  $S_{11}$  参数,推算被测材料的吸收性能。假设矢量网络分析仪的校准端面为 A',同轴装置为理想、无损耗,且特性阻抗与网络分析仪的阻抗相匹配,则端口 A 所测得的  $S_{11}$  参数即反映了被测吸波材料的吸收性能。

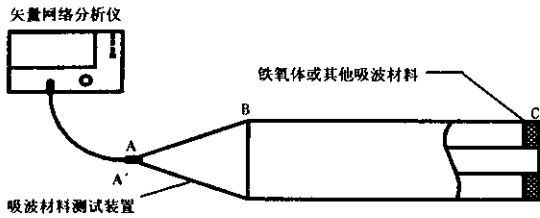


图2 测试示意图

微波矢量网络分析仪主要由激励源、信号分离电路、接收部分、微处理器四大部分组成,其中信号分离部分框图如图3所示,激励信号首先经过一个衰减量为 6 dB 电阻性的功率分配器对信号进行分离。一路作为参考信号 R 直接送入接收部分的 R 采样器,另一路作为激励信号送入信号测试端口,该路激励信号首先经可控的 0 ~ 70 dB 的步进衰减器(以增加信号测量的动态范围),再通过一程控微波开关以选择正向(信号流向端口 1)来进行参数  $S_{11}$ 、 $S_{21}$  的测量或反向(信号流向端口 2)来进行参数  $S_{21}$ 、 $S_{22}$  的测量。

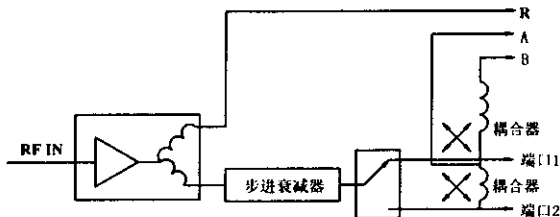


图3 信号分离部分框图

3. 测试步骤

测试步骤如下:

- (1) 将矢量网络分析仪与测试装置按图示连接;
- (2) 在 A' 截面进行  $S_{11}$  单端口校准,设定测试频率范围和参数模式;
- (3) 将同轴测试装置终端空载,在 A 端口测量  $S_{11}$  参数,利用矢量网络分析仪的时域功能将门(GATE)定位在吸波材料所在的位置,启动门功能;
- (4) 将待测吸波材料置于测试装置终端,此时所测得的  $S_{11}$  曲线为吸波材料在该频段的吸收性能。

三、测试状态和 GATE 的数学分析

矢量网络分析仪主要有以下几种测试模式:

- (1) 带通模式(Band Pass Mode)

带通模式工作在有限的带宽范围内,主要用于脉冲响应测试。

- (2) 低通模式(Low Pass Mode)

低通模式主要用来模拟传统的时域反射计的测试,它提供的信息可以用来确定不连续的类型。时域低通模式下主要有阶跃和脉冲两种激励方式,前者主要用于判断连续点的特性(感性或容性),后者主要用于判定不连续处的位置。

对于带通或低通测试模式,加门的目的是为了减小测试装置结构不连续因素对测试结果的影响。

矢量网络分析仪并不存在实际的时域测试,而是通过对频域的测试曲线作傅里叶反变换得到时域的曲线,对时域的曲线加 GATE 滤除不必要的反射,再将加 GATE 后的时域曲线进行傅里叶变换从而得到较为准确的频域曲线。对时域曲线加 GATE 实际上就是将时域曲线乘上一个矩形函数。众所周知,时域矩形函数的宽度越大,其对应的频谱就越窄,各频率点之间的干扰就越小,因此 GATE SPAN 越大,其变换结果就越准确。

由于时域曲线是多个不同频率、不同相位和不同幅值的正弦信号叠加的结果,因此不妨以正弦信号  $\sin\omega_0 t$  为基本信号来分析加 GATE 后的傅里叶变换过程。设最低测试频率为  $f_0$ ,则信号变为

$$f(t) = G(t)\sin\omega_0 t \quad (1)$$

其中  $G(t)$  为矩形函数(即时间门函数)。设  $GATE\ SPAN = \tau$ ,则经过傅里叶变换到频域后,其频谱曲线如图4所示。

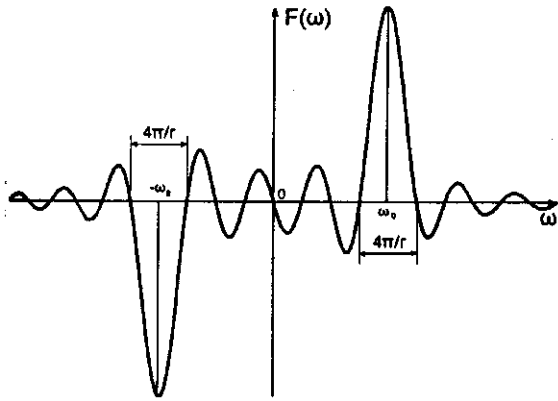


图 4 函数  $f(t)$  对应的频谱曲线

由图 4 可见,当  $2\pi/r > \omega_0$  (即  $r < 1/f_0$ ) 时,两边的信号就会发生严重干涉,导致变换的结果不准确。因此,在测试条件允许的情况下,应尽可能加大 SPAN 的值。

### 四、测试结果与分析

#### 1. 装置空载的测试结果与分析

图 5 为矢量网络分析仪在带通模式下,测得自行研制的低频矩形同轴测试装置的空载时域曲线。根据图 1 和 3 结合矢量网络分析仪的工作原理,可以解释图 5 中装置各反射点(图中每个 Marker 点所在的位置)产生的原因:Marker 1 为校准端;Marker 2 为图 1 中的位置 B;Marker 3 为装置的终端(终端短路),即图 1 中的位置 C;Marker 4 和 Marker 5 由 B、C 之间的多次反射信号产生(如图 6)。

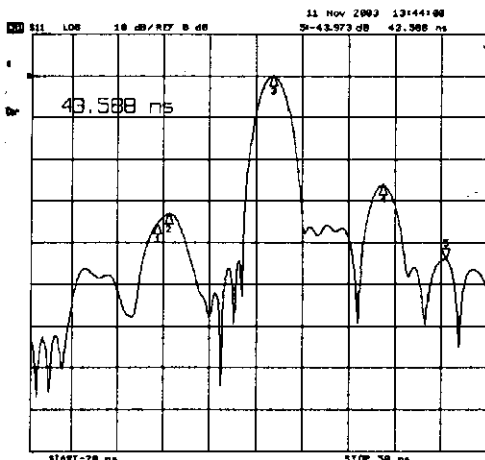


图 5 同轴测试装置的空载时域曲线

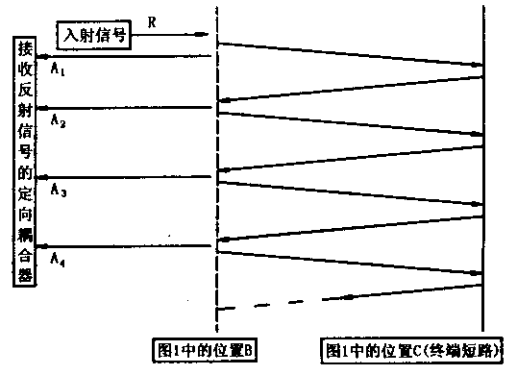


图 6 能量在装置中的传播示意图

如图 6 所示,设入射信号为  $R$ ,在图 1 中的位置 B 处,由于结构上的突变产生反射,但反射较小,故图 6 中位置 B 处用虚线表示,终端短路用粗实线表示。则图 5 中 Marker 2、3、4 和 5 这四个 Marker 点的  $S_{11}$  参数分别为

Marker 2 :  $S_{11} = A_1/R$  ; Marker 3 :  $S_{11} = A_2/R$  ;  
 Marker 4 :  $S_{11} = A_3/R$  ; Marker 5 :  $S_{11} = A_4/R$  ;

显然,Marker 2 和 Marker 4 是关于 Marker 3 对称的(如图 5)。

#### 2. 加入长 400 mm 泡沫吸波材料的测试结果与分析

在测试装置中加入长 400 mm 的锥形泡沫吸波材料,其时域曲线如图 7 所示:Marker 1 是位置 B 处的第一次反射,Marker 3 是终端 C 处的第一次反射。

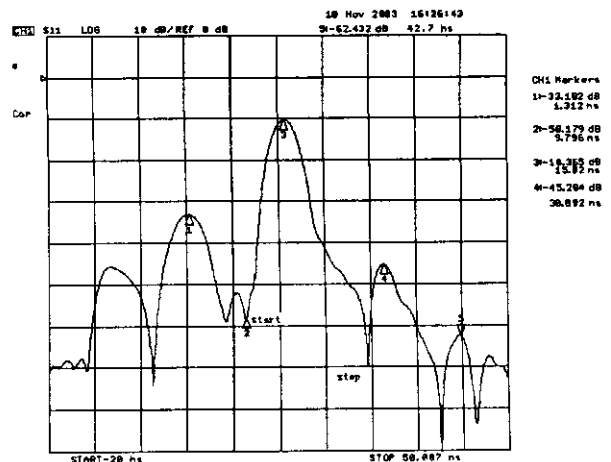


图 7 加入长 400 mm 泡沫吸波材料的时域曲线

电磁波进入吸波材料后会在吸波材料内部来回反射,为使得测试结果更接近实际效果,必须考虑吸波材料的多次反射,与此同时尽可能减小不连续处

寄生反射对测试结果的影响。当使用矢量网络分析仪的门功能时,在测试装置允许的情况下应尽可能加大门宽。换言之,加大测试装置的长度,SPAN就可以取得越大,这样既能考虑吸波材料的多次反射,又能有效防止低频反射分量的干涉,当然,它也可以用于测试电长度较长的吸波材料。

对于图7取 GATE SPAN = 18.673 ns 的频域曲线如图8所示,图9为 GATE SPAN = 10 ns 的频域曲线。可见,SPAN 太小会导致测试结果偏好。通过上述分析可知在测试泡沫吸波材料时,将其 GATE 的起止点取在如图7中的 start 点和 stop 点处是合理的。

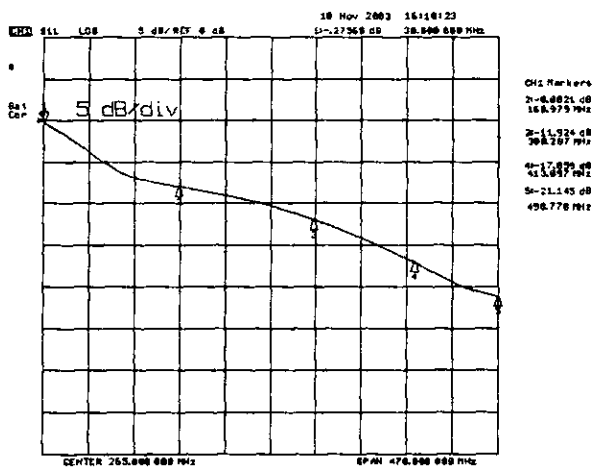


图8 GATE = [ 9.796 ns 28.433 ns ]的频域曲线

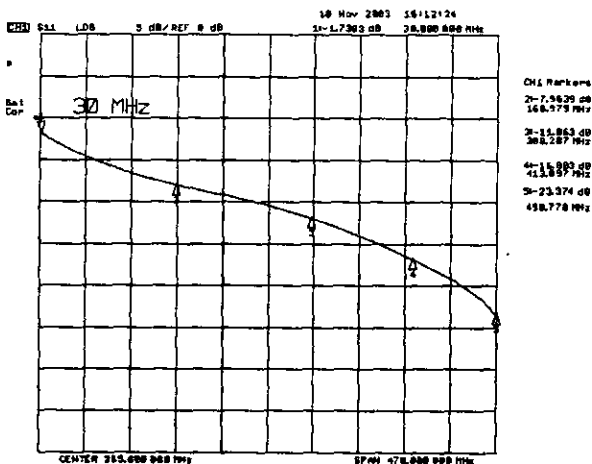


图9 GATE CENTER = 15.774 ns, SPAN = 10 ns 的频域曲线

### 3. 加入铁氧体瓦的测试结果与分析

在同一测试装置的终端加入某种铁氧体瓦,加入铁氧体后测得其时域曲线如图10所示。

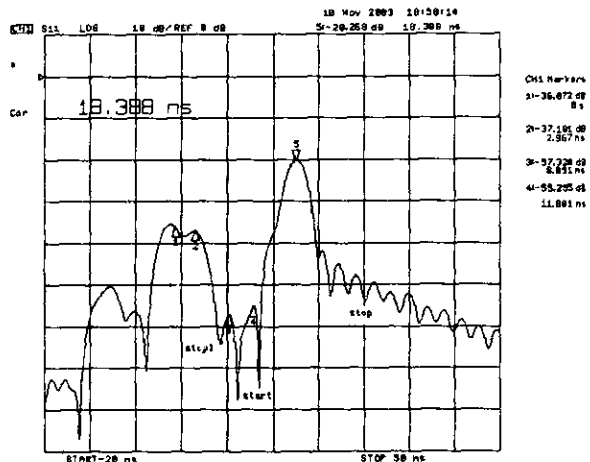


图10 加入铁氧体瓦的时域曲线

尽管铁氧体试样厚度不大,但其  $\mu_r$  和  $\epsilon_r$  比较大,电磁波在铁氧体内的相速  $v_p = c / \sqrt{\mu_r \epsilon_r}$  减小,传播的时间加长,不出现明显的多次反射峰点,如图10所示,很难直接确定 GATE STOP 的位置。但由上述分析可知(见图5):Marker 2 和 Marker 4 是关于 Marker 3 对称的。因此我们可以将 GATE START 取在图10中的 start 处( start = 12.893 ns ),再按照“ stop1 点关于 Marker 5 对称”的思路,选定 stop 点,即将 GATE STOP 取在图10中的 stop 位置( stop = 29.319 ns )。

对于图10取 GATE SPAN = 16.426 ns 的频域曲线如图11所示,图12为 GATE SPAN = 11 ns 的频域曲线。可见,GATE SPAN 的取值对测试结果的影响较大。通过上述分析可知在测试铁氧体时,将其 GATE 的起止点取在如图10中的 start 点和 stop 点处是合理的。

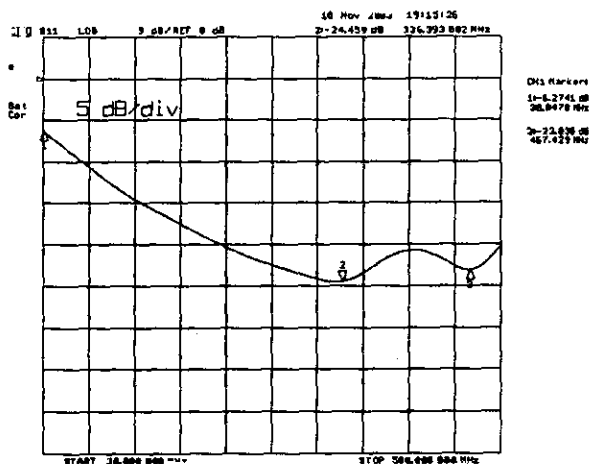


图11 GATE = [ 12.893 ns 29.319 ns ]的频域曲线

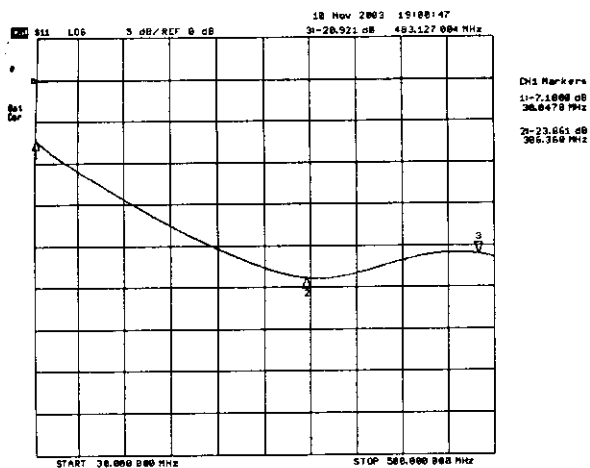


图 12 GATE CENTER = 18.384 ns, SPAN = 11 ns 的频域曲线

### 五、测试中应该注意的问题

测试时吸波材料必须紧贴底板放置,否则会导致吸波材料和终端短路板之间出现空隙,电磁波会在吸波材料的底部和终端短路板之间来回反射,使得从吸波材料反射到定向耦合器的信号在时间上滞后,从而影响测试结果。此外,如果测试装置的终端是可拆卸的,在测试时短路面的搭接状态也对测试结果有较大的影响。

### 六、结束语

在利用低频同轴反射法对材料的吸波性能进行测试时,应根据不同的测试装置和不同的吸波材料,合理地设置矢量网络分析仪的 GATE。

#### 参考文献

[ 1 ] User's Guide of Agilent Technologies 8753ET and 8753ES Network Analyzers [ Z ]  
 [ 2 ] 韩萍. 射频吸波材料的参数测试和性能测试以及基于 FDTD 方法的预测计算 [ D ] 南京:东南大学,2002.

[ 3 ] 孔敏. 时域测量原理及应用 [ J ]. 安徽大学学报, 1999 23( 2 ).  
 [ 4 ] 沈文娟. 矢量网络分析仪的原理及故障检修 [ J ]. 测控技术与设备, 2001 27( 5 ).  
 [ 5 ] 刘永健. 信号与线性系统( 修订本 ) [ M ]. 北京:人民邮电出版社, 2002.

#### 作者简介:



薛扬民(1979 - )男,湖北荆州人,东南大学电磁兼容研究室 2001 级硕士研究生;



景莘慧(1976 - )女,山东聊城人,东南大学博士,从事电子设备的电磁兼容及热设计等科研与教学工作;



蒋全兴(1942 - )男,江苏无锡人,东南大学教授,博士生导师;



许帅(1980 - )男,湖南邵阳人,东南大学电磁兼容研究室 2001 级硕士研究生。

## 微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,推出多套微波射频以及天线设计培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 微波射频测量仪器操作培训课程合集

搞硬件、做射频,不会仪器操作怎么行!对于射频工程师和硬件工程师来说,日常电路设计调试工作中,经常需要使用各种测试仪器测量各种电信号来发现问题、解决问题。因此,熟悉各种测量仪器原理,正确地使用这些测试仪器,是微波射频工程师和硬件工程师必须具备和掌握的工作技能,该套射频仪器操作培训课程合集就可以帮助您快速熟练掌握矢量网络分析仪、频谱仪、示波器等各种仪器的原理和使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/67.html>

### 矢量网络分析仪使用操作培训课程套装

矢量网络分析仪是最常用的测试仪器是射频工程师和天线设计工程师最常用的测试仪器;该套培训课程套装是国内最专业、实用和全面的矢量网络分析仪培训教程套装,包括安捷伦科技和罗德施瓦茨公司矢量网络分析仪的 5 套视频培训课程和一本矢网应用指南教材,能够帮助微波、射频工程师快速地熟练掌握矢量网络分析仪使用操作...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/vna/34.html>



### 示波器使用操作培训课程套装

示波器是硬件和射频工程师几乎在每天的工作中都会用到仪器,因此掌握示波器的原理并能够正确使用示波器是所有从事电子硬件电路设计和调试的工程师必须具备的最基本的技能。本站推出的示波器视频培训课程套装既有示波器的基本原理以及示波器性能参数对测量结果影响的讲解,也有安捷伦和泰克多种常用示波器的实际操作讲解,能够帮助您更加深入地理解手边常用的示波器从而更加正确地使用示波器...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rftest/osc/49.html>