

# 利用网络分析仪进行时域响应测试

The Time Domain Response Measurement with the Vector Network

□叶红英 Ye Hongying 廖文仲 Liao Wenzhong

**【作者简介】**叶红英,女,学士学位,工程师,中国安立微波测量用户协会会员。主要从事微波网络参数、数字通讯类仪器的计量测试工作,微波网络参数已被河北省技术监督局授权在河北省开展测试工作。工作单位:信息产业部电子第五十四研究所计量中心。通讯地址:050081 河北省石家庄市 174 信箱 216 分箱。

廖文仲,信息产业部电子第五十四研究所计量中心(石家庄 050081)

**【摘要】**本文简要介绍了时频转换的理论基础和在网络分析仪上实现的方法,并对不同的测试模式和激励方式进行了比较和分析。同时,通过一个典型电路的测试实例,进一步说明了利用网络分析仪进行时域响应测试的意义。

**【关键词】**低通模式 带通模式 阶跃激励 脉冲激励

【收稿时间】2001-09-19

网络的时域响应测试作为进一步了解网络特性的辅助手段,已越来越广泛地被采用。随着微处理器在测试仪器中的应用,使得网络分析仪的数据处理能力大大提高。利用网络分析仪的频域测试功能,通过快速傅里叶变换,将频域数据变换为等效输入激励的时域响应,从而实现网络的时域响应测试。

时域信号波形函数  $f(t)$  与其频域谱函数  $F(f)$  之间的关系是一对傅里叶变换:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) e^{j2\pi ft} df$$

式中,频域函数通常为复数,时域函数为实数。若已知频域函数  $F(f)$ ,就可用上述积分变换求出时域函数。

设网络输入激励为  $G(f)$ ,网络传递函数  $S(f)$ (即网络分析仪测出

的  $S_{11}(f), S_{21}(f), S_{22}(f), S_{12}(f)$ ),输出响应函数  $F(f) = G(f) \cdot S(f)$ ,则:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(f) e^{j2\pi ft} df = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f) \cdot S(f) e^{j2\pi ft} df$$

对应于不同的输入激励(如阶跃激励和脉冲激励),  $G(f)$  可取等效的窗函数  $W(f)$ , 窗函数可看作为频域滤波器,它使频域数据不连续性的响应发生滚降。

$$f(t) = \int_{f_1}^{f_2} S(f) \cdot W(f) e^{j2\pi ft} df$$

由于实际是在有限个离散频率点上采样测试,上式的积分应采用离散傅里叶反变换:

$$\begin{aligned} f(n) &= \sum_{k=0}^{N-1} F(k) \exp(j \frac{2\pi}{N} kn) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot W(k) \exp(j \frac{2\pi}{N} kn), n \\ &= 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned}$$

测试方式如表 1

表 1

模式 激励	低通模式	带通模式
阶跃激励	可识别正负阻抗,包含直流量	
脉冲激励	适用于缺陷定位,包含直流量	适用于任意起始和终止频率的传输测量和缺陷定位

低通模式是对传统的时域反射测量技术的模拟,此时,测试频率必须呈谐波关系,且窗的下限频率  $f_1 = 0$ 。因此低通模式可采用阶跃激励和脉冲激励。

带通模式是对窄带时域反射测量技术的模拟,它非常适用于在任意起始和终止频率上的传输测量和故障定位,由于不包括直流量,因

此,它只能采用脉冲激励。

实际低通阶跃响应测试中  $f_1 \neq 0$ ,此时可采用外推法补入零频分量。此时,窗的上限频率  $f_2$  即频率跨度  $f_{SPAN}$  决定了时域分辨率  $\Delta t = 0.5/f_{SPAN}$ 。当  $f_{SPAN} = 20\text{GHz}$  时,  $\Delta t = 2.5\text{ps}$ , 此时可分辨出通用聚四氟乙烯同轴电缆上约 5mm 的距离。

有限带宽不加权时的窗数为矩形窗,其脉冲宽度最小,但由于是有带宽和锐截止,因此脉冲两旁的有 -13dB 的副瓣和振铃,这将影响时域的分辨率。当选用高端缓慢滚降至截止的频窗时,虽然降低了副瓣和振铃,但使脉冲宽度增加。现今的网络分析仪大都采用开·贝塞尔窗,它的正常窗脉冲宽度是矩形窗脉冲宽度的 1.6 倍,副瓣为 -44dB。

下面是一个测试实例。被测电路如图 1。

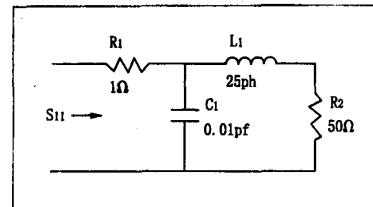


图 1

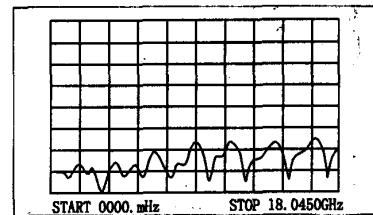


图 2

电路的频域响应如下:

(下转第 42 页)

投资检测仪器设备,既可减少重复投入,又不因某一家停产或转产导致检测仪器设备的闲置浪费问题,在此产品质量监督检验机构可利用自身的技术优势,热忱为这些企业服务,一是与企业签订技术服务协议,为他们提供原材料和成品的检测技术,解决他们检测手段难的问题,为企业提供产品质量信息;二是与企业技术人员一道,研究分析产品工艺和质量现状,协助企业建立质量保证体系,加强内部质量管理;三是发挥自身人力和技术优势与企业合作,走科技开发和生产相结合之路,目前许多企业缺人才、缺技术、缺适销对路的产品,质检机构的技术人员可采取走出去,请进来的方式和企业一道,开发研制新产品,多方位为企业服务。

### 5. 为商业企业、消费者服务

许多商业企业因受产品供求关系的影响,当产品供过于求时,消费者往往在产品质量上找原因,要求退货或降价;当产品供不应求时,供货方往往以次充好,抬高价格,有部分消费者因职业、工种性质、文化程度等诸多因素的影响,在购买商品时有些盲目性,对所购商品的性能,

质价了解不全面。在此,质检机构可与商业企业联合成立商品质量咨询服务与投诉站,以方便消费者咨询,为商业企业和广大消费者服务。

### 6. 为行政执法提供公正、科学的检测数据

在市场经济中,由于经济利益的趋使,许多不法分子不择手段在产(商)品的质量上大作文章,有的以次充好,以假乱真;有的变换手法从中谋利,比如猕猴桃施“膨胀剂”增大,银耳用硫磺熏制增白,用牛血兑洗衣粉制造“鸭血”,大米用矿物油抛光增加光泽等行为来损害消费者的利益;有的将黄木耳添加硫酸镁再加入适量的红糖兑水加工制成价格高2~3倍的黑木耳;还有的将低档白酒用漏斗加一块布过滤后装瓶,贴上所需名酒标签,便成了名牌酒出售(据《中国食品质量报》载)。这些不法分子变换手段损害消费者和国家的利益,破坏社会主义市场经济秩序,要严厉打击这些不法分子,没有科学的检测手段是无法将不法分子绳之以法的。质检机构就要针对当前市场经济发展的需要,配备强有力的检验设备,为行政执

法提供公正、科学的技术保障。

### 7. 加强横向、纵向联系

一是与周边市、县进行技术合作。市场经济把技术机构推向社会,不管是市级所还是县级所,都面临着要吃饭、要执法、要发展的问题。各级技术机构只是所处的行政区域不同,不存在领导与被领导的关系,在经济合理的前提下,实行平等互利、优势互补,有竞争、又有合作的新格局,共同为市场经济发展服务。二是省、市、县三级技术机构进行合作,互通信息、情报,优势互补,发挥三级机构技术人才、检测手段的优势,形成强大的三级监督网络。

### 8. 加强信息资源的收集和分析

质检机构是一项服务性很强的工作,要实现它的特定功能,更要有充分的信息资源,还要有质检机构内部信息,同行业信息,产品标准信息,市场和用户对产品的技术要求等方面的信息,只有努力开拓畅通信息渠道,才能更多更快地收集掌握各种有效资源,质检机构才能在市场经济浪潮的冲击下立于不败之地。

(上接第30页)

S<sub>11</sub>: A/R<sub>1</sub> LOG MAG

SCALE/DIV: 10db

REF VALUE: 00. db(见图2)。

可见,频域响应很难解释,各种不连续性不易识别。

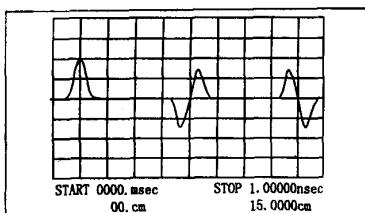


图3

将以上频域数据进行傅里叶变

换,采用低通模式和脉冲激励时的时域响应:

S<sub>11</sub>: A/R<sub>1</sub> LIG MAG

SCALE/DIV: 0.0500

REF VALUE: 00. (见图3)。

由图可见,电路中的元件位置很明确,电阻 R<sub>1</sub> 是一个单脉冲波形,电阻值越高,脉冲波形越高。电容器 C<sub>1</sub> 的波形先随着脉冲下降至它所在的地方,然后又上升。

串联电感 L<sub>1</sub> 的响应则是先上升、后下降。

采用阶跃信号激励时的时域响

应:

S<sub>11</sub>: A/R<sub>1</sub> LIG MAG

SCALE/DIV: 0.0500

REF VALUE: 00. (见图4)。

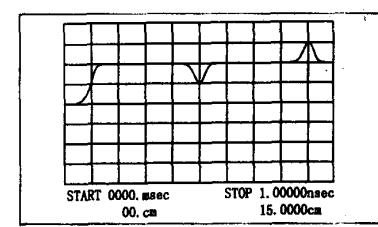


图4

电阻 R<sub>1</sub> 产生上升响应并停留在新的电平上,电容 C<sub>1</sub> 引起负响应,电感 L<sub>1</sub> 引起正响应。

## 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量测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悉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悉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>