

# 浅析标量频率响应的测量误差

毛晨石<sup>①</sup>

(上海卫星工程研究所, 上海 200240)

**摘要** 分析了标量频率响应的测量精度, 简要介绍了测试系统各组成部件对测量精度的影响, 并提出了解决测量误差问题的有效途径。

**主题词** 频谱仪 频率响应 测量 误差

## 1 概述

近几年不断发展的新工艺、新技术, 为新产品开发和其性能的提高提供了有效的解决途径。而对产品更严格的性能指标评估, 相应地也就提出了更新的、适应现代与未来的分析要求。

在实际测量中, 测量精度的提高也正是通过改进测量方法、完善测试组合的性能等措施来实现的。

## 2 基本测量系统

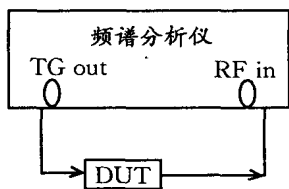


图 1 传输测量

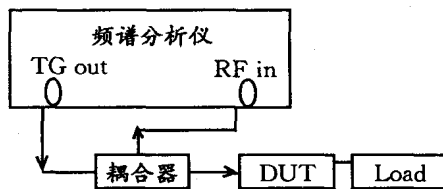


图 2 反射测量

## 3 测量误差

### 3.1 传输测量

与传输测量相关的测量误差主要包括三个方面: 即系统频率响应、显示精度和失配误差。其中, 频率响应误差可通过归一化校准测量来消除。

显示精度是反映频谱仪在任何频点上, 精确地显示信号幅度的能力, 选择频谱仪必须考虑

<sup>①</sup> ① 高级工程师  
收稿日期: 2001-02-06

该项指标,以满足测量精度的要求。某频谱仪的显示精度为:

$\pm(0.3\text{db}+0.01\times\text{dB}[\text{根据参考电平}])$ 。假定被测信号(离参考电平)为 5dB,则测量不精确性为: $\pm(0.3\text{db}+0.01\times 5\text{dB})=\pm 0.35\text{dB}$ 。

失配误差可分成两类,如下表所示:

| 误差项  | 产生原因            | 解 决          |
|------|-----------------|--------------|
| 校准误差 | 源/接收端失配         | 用隔离法<br>改善匹配 |
| 测量误差 | 源/被测件、被测件/接收端失配 |              |

校准误差是由阻抗失配,部分入射信号被反射回信号源引起的。由于源输入阻抗失配,该反射信号又再次被反射,结果在某一未知相位上形成一个与入射信号相关的不确定矢量信号,该矢量信号迭加或削弱了实际被测信号的幅度,从而在通路校准测量中产生了误差。

同样,测量误差也是由源与被测件输入阻抗、被测件的输出阻抗与接收机输入端阻抗失配引起的。由于每次测量(包括校准和实际测量)都存在着一定的容差,因此要确切地测定被测件的真值是困难的。

基于这些认识,可以采取隔离措施来提高测量系统中各测试部件之间的阻抗匹配,以减小校准和测量误差。如测量通路中接入衰减器,则反射信号每次通过衰减后将得到衰减;同时也使再反射的信号和不确定的矢量信号达到了最小。

下面实际计算一传输测量误差。

### 3.2 传输测量误差

根据标准误差方程: $M=20\lg(1\pm\Gamma_1\Gamma_2)$ ,  $M$  表示失配误差、 $\Gamma_1$ :源反射系数; $\Gamma_2$ :接收端反射系数。

则最大失配误差  $M=\pm\{\text{校准误差}+[\text{测量误差}]\}$

$$M(\text{dB})=\{20\lg(1\pm\tau_1\tau_2)+[20\lg(1\pm\tau_1\tau_2)+20\lg(1\pm\tau_1\tau_i)+20\lg(1\pm\tau_2\tau_0)]\}$$

式中: $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_i$ 、 $\tau_0$  分别表示源、接收机、被测件输入和输出端的反射系数。对于低损耗双向被测件,测量误差中也包含了校准误差项。假定频谱仪源输出端驻波比 2.5、接收 RF 输入端 1.55、被测件输入、输出端为 1.7。

由  $\tau=(\text{SWR}-1)/(\text{SWR}+1)$  得各端反射系数:

$$\tau_1=0.43 \quad \tau_2=0.22 \quad \tau_i=\tau_0=0.26$$

$$\begin{aligned} \text{则: } M(\text{dB}) &= 20\lg(1\pm 0.43\times 0.22) + [20\lg(1\pm 0.43\times 0.22) + 20\lg(1\pm 0.43\times 0.26) \\ &\quad + 20\lg(1\pm 0.22\times 0.26)] \\ &= (0.79, 0.79, 0.92, 0.48), (-0.86, -0.86, -1.03, -0.51) \\ &= +2.79\text{dB}, -3.2\text{dB} \end{aligned} \quad (1)$$

如果在被测件的输入与输出端接入 10dB 衰减器(SWR:1.1,  $\tau$ :0.048),则须重新确定  $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 。其信流图如图 3 所示。

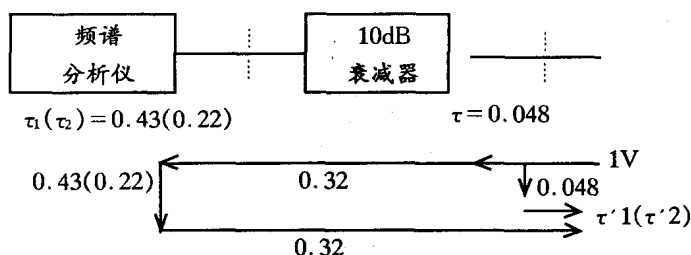


图 3

10dB 衰减器,其传输系数  $\tau_1 = 10^{-10}/20 = 0.32$ 。由图 3 得:

$$\tau'_1 = (0.048 + 0.32 \times 0.43 \times 0.32) = 0.092$$

同理,由接收端  $SWR = 1.55$  得:

$$\tau'_2 = (0.048 + 0.32 \times 0.22 \times 0.32) = 0.071$$

则接入衰减器后,测量误差为:

$$\begin{aligned} M(dB) &= 20\lg(1 \pm 0.092 \times 0.071) + [20\lg(1 \pm 0.092 \times 0.071) + 20\lg(1 \pm 0.092 \times 0.26) + 20\lg(1 \pm 0.071 \times 0.26)] \\ &= (0.06, 0.06, 0.21, 0.16), (-0.06, -0.06, -0.21, -0.16) \\ &= +0.49dB, -0.49dB \end{aligned} \quad (2)$$

比较(1)、(2)的计算结果,我们看到使用衰减器后明显改善了系统的匹配性能,能达到减小测量误差,提高测量精度的目的。

### 3.3 反射测量

$$D_r = A + B_r + C\tau^2 + D$$

$D_r$ :最坏情况下的测量误差, $\tau$ :被测件反射系数,A,B,C,D均为线性项。与反射测量相关的测量误差包括四个方面,下面简要分析各项对测量精度的影响:

(1) 方向性。反映电桥或方向性耦合器分离信号的能力(相反方向)。由于实际所使用的信号分离部件并非是理想的,沿主臂传输的部分入射信号,会泄漏到耦合臂,该信号与被测件的反射系数无关,而且(最坏情况下)直接与反射信号矢量迭加,故最终将影响反射信号的准确测量。因此,该测试部件的选择极其重要,一般要求电桥或耦合器的方向性是 40dB 或更高。

(2) 校准误差。使用标准件进行系统校准时产生的误差项。方向性误差总是存在的,而且会引入源匹配误差。在用网络仪进行校准测量时,一般用开路 and 短路就能消除校准误差,因为两次校准将产生相同的频率响应,只是相位相反,取平均后  $B=0$ 。而频谱仪没有能力对开路或短路校准响应进行平均化处理,因此校准误差等于方向性与源匹配误差之和( $A+C$ )。

(3) 源匹配误差。一个好的源匹配能以恒定的信号功率传输给负载,而不考虑来自负载的反射信号的再反射。如果源匹配不好,测量时信号会被多次反射而与入射信号形成矢量迭加。但采用校准和隔离措施能有助于改善源匹配,对于隔离,则需在源输出端和电桥(或耦合器)间接入一个衰减器。

因此,减小反射测量误差最好的方法是:选用 40dB 的方向性信号分离设备,且在基与源输出端间接入 10dB 衰减器。一般频谱仪有足够的动态范围,对此附加损耗不会影响实际的测量结果。

(4)显示精度(同传输测量)。

下面通过实例计算反射测量误差。

### 3.4 反射测量误差

假定,方向性:40dB,被测件反射系数:0.26,源匹配:0.43,得:

(1) 方向性 = 40dB = 0.01

(2) 校准误差 = (A + C)

(3) 接入衰减器后,利用图 3 得到等效源匹配误差

$$C = 0.048 + 0.32^2 \times 0.43 = 0.092$$

$$B = (A + C) = 0.102$$

(4) 假定被测件的回波损耗是 12dB,则显示精度  $D = (0.3 + 0.01 \times 12)\text{dB} = 0.42\text{dB}$

根据误差公式得:

$$0.42 = 20\lg(1 \pm D)$$

$$D = 1 - 10^{0.42/20} = 0.05$$

显示精度 = 0.42dB = 0.05

$\tau$ :被测件反射系数 = 0.26

$$D_r = A + B\tau + C\tau^2 + D$$

$$= 0.01 + 0.102 \times 0.26 + 0.092 \times 0.26^2 + 0.05$$

$$= 0.01 + 0.027 + 0.006 + 0.05$$

$$= \pm 0.093$$

假定没有 10dB 衰减器,  $C = 0.43$ ,  $B = 0.44$ , 则

$$D_r = 0.01 + 0.44 \times 0.26 + 0.43 \times 0.26^2 + 0.05$$

$$= \pm 0.20$$

## 4 结束语

通过分析计算,说明选择不同的测试配置及测试部件,是可以减小测量误差的。尽管测量(校准)过程中还存在着诸多影响测量精度的因素,但不管怎样,建立在基本测试系统上灵活的测试组合及测量方法,是能够解决测量的精度问题并满足测量要求的。