

# 如何使用带跟踪源的频谱分析仪 测量回波损耗和传输损耗或增益?

## 引言

如今，无线通信系统的维护需要测量通信系统中的信号频谱特征。有时还需要用网络分析仪或带跟踪信号源的频谱分析仪来测量放大器、滤波器和天线等射频/微波器件的传输和反射特征。但是当被测器件的相位信息不是很重要时，配有跟踪发生器的HMS-X带接收机功能的频谱分析仪是最好的选择。它不但可以提供频谱分析和传输/反射测量，还可通过跟踪源选件执行标量网络分析。

## 传输测量

标量传输测量可以用来测试被测器件的插入增益和损耗。在测试之前，首先了解一下测试过程中涉及的参数。

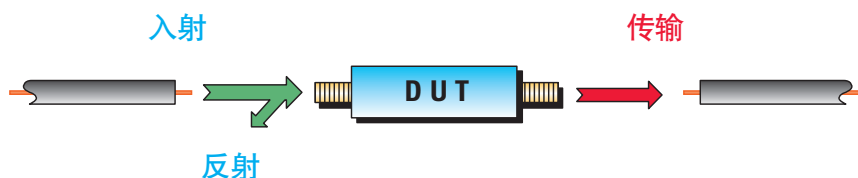


图1. 信号传输和反射

传输系数等于传输电压与入射电压的比值：
$$\gamma = \frac{V_{\text{传输}}}{V_{\text{入射}}}$$

本文中，所有符号均只表示各物理量的幅度。

对于双端口网络， $S_{21}$  用对数 (dB) 方式表示，转换公式为：
$$S_{21} = 20 \log (\gamma)$$

上式中， $S_{21}$  代表传输损耗或增益，当被测器件 (DUT) 发生损耗时，其值为负值，当被测器件发生增益时，其值为正数。

在测量  $S_{21}$  之前，参照图 2 设置 HMS-X 的跟踪系统。将被测器件的输入端口连接到 HMS-X 的射频输入端口，将被测器件的输出端口连接到 HMS-X 的射频输出端口。按下 HMS-X 上的面板 [SPAN] 键，从显示的菜单中选择 Tracking Gen，在对应键盘上打开 ON 后就进入了跟踪模式。

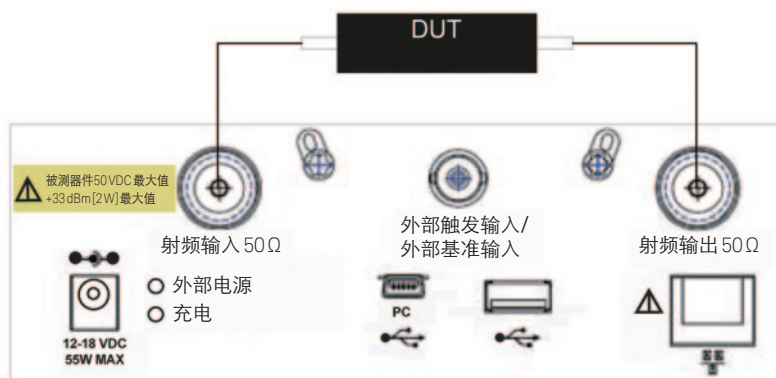


图2. 传输系数测量设置

按照下列步骤测量传输系数：根据被测器件的实际需求来设置 HMS-X 的频率、分辨率带宽、扫描时间、输入衰减和跟踪源的输出信号幅度等。

- 1、移去被测器件，用标准连接器来替代被测器件，使 HMS-X 的射频输出端口与射频输入端口直接连接。然后打开 [FREQ] 键进入 FULL SPAN 全扫功能，设置一个 0dB 的基准点。

2、把标准连接器换成被测器件，这样得到的读数即为被测器件的传输系数。

按照下列步骤测量带通滤波器的 S21：

1、打开 {Amplitude}，根据所要测量的滤波器的技术指标来设置 HMS-X 的相关参数。当需要测量滤波器的通带纹波时，可以将扫宽设置成小于滤波器的通带带宽。把垂直显示刻度设置为 1 dB/格，以获得更好的显示分辨率。

如果需要测量滤波器的通带插入损耗和阻带衰减，可以将扫宽设置为大于滤波器的通带带宽，并适当减小分辨率带宽 (RBW)，这样就可以降低频谱分析仪的 DANL 效应。

注意，以上设置一旦确定，在后续的测量过程中就不能再更改了，否则会出现归一化错误，得到不正确的测量结果。

2、在测量之前，先将射频输出端口与射频输入端口直接相连，测量入射信号的电平，然后把这个信号做归一化，作为基准信号。如果未做归一化，那么测量频谱是不平坦的。

不使用滤波器，直接将射频输出端连接至射频输入端。再完成一次扫描后，通过下面操作对信号进行归一化：

[MEAS]>{Normalize (Off)}>{Store Ref1 --->4}>{Normalize On}

结果将显示经过归一化之后的平坦频谱。按 {Norm Ref Lvl} 调整频谱在屏幕上的显示位置。

3、把滤波器连接在射频输出端口和射频输入端口之间，就可以测量传输参数。启动平均值功能可得到更平坦的频谱，并减少随机误差。

## 反射测量

标量反射测量反映了在入射波中有多少能量被测设备反射，从而揭示了被测器件与传输线 (特性阻抗为  $Z_0$ ，其典型值为  $50 \Omega$ ) 之间的失配。大多数情况下，信号源输出的能量只有一部分被接收机吸收，其余部分被反射回信号源。通过测量入射和反射信号，可以确定能量的传输效率。反射系数  $\gamma$  的定义如下所示：

$$\gamma = \frac{V_{\text{反射}}}{V_{\text{入射}}}$$

在网络理论中，用  $S_{11}$  而不是反射系数  $\tau$  来表示其对数结果 (dB)，其转换公式为：

$$S_{11} = 20 \log (g)$$

式中， $S_{11}$  表示回波损耗。传输系数等于反射电压与入射电压的比值。如果用与传输线特征阻抗完全匹配的负载端子连接传输线，则输出能量全部被负载吸收，反射系数  $\gamma=0$ 。如果在传输线终端连接一个开路件或者短路件，则反射系数  $|\gamma|=1$ ，入射能量全部被反射回信号源。因此，除了某些有源电路，例如  $S_{11}$  大于 0 dB 的振荡器外， $S_{11}$  的取值范围通常在 0 到  $-\infty$  dB 之间。同传输测量一样，在进行反射测量之前，需要先设置 HMS-X 的相关控制参数，使 HMS-X 工作在跟踪模式下。此外，还需要一个信号分离器件，这个器件可以把输入信号和反射信号进行分离，比如驻波比桥或者定向耦合器均可完成此功能 (例如 HZ541)。

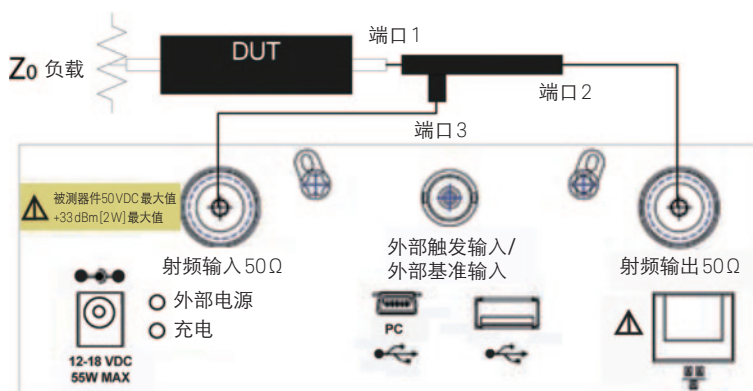


图3. 反射系数测量设置

连接射频输出端口至定向耦合器的端口 2。连接被测器件至端口 1。连接隔离臂至射频输入端口。图 3 中，端口 2 和 3 为隔离端口；端口 1 和 3 为耦合端口，而端口 1 和 2 为直通端口对。

通过以下步骤测量出反射系数：

- 1 根据被测器件的具体情况来设置 HMS-X 的频率、分辨率带宽、扫描时间、输入衰减和跟踪信号源的输出信号幅度等。
- 2 用开路件或者短路件代替被测器件，进行归一化，设置 0 dB 基准点。
- 3 把开路件或者短路件换成被测器件，这样得到的测量结果即是被测器件的反射系数  $S_{11}$ 。

$S_{11}$  的测量过程与传输系数测量类似：

1、首选打开跟踪源的输出，根据被测滤波器的技术指标来设置频谱分析仪的相关参数。例如，频率范围，分辨率带宽，输入衰减和跟踪功率等。以上设置一旦确定，在后续的测量过程中就不能再更改了，否则会出现归一化错误，得到不正确的测量结果。

2、在测量反射系数之前，必须先确定一个基准电压，进行归一化。这里采用端接开路件形成全反射时的反射功率作为基准电压，用开路件代替图 3 中的被测器件。全反射的反射波经过定向耦合器进入到频谱仪的射频输入端口，然后进行归一化，把基准功率设置为 0 dB (全反射， $|r|=1$ ， $20 \lg 1 = 0 \text{ dB}$ )。在正确连接开路件并完成一次扫描后，对频谱分析仪的测量结果进行归一化：`[MEAS]>[Amplitude On]>[Normalize OFF]>[Store Ref1->4]>[Normalize On]`。

3、用被测的带通滤波器代替开路件。将滤波器的另一端口连接 50  $\Omega$  匹配负载，执行  $S_{11}$  测量。此时得到的频谱曲线即为滤波器的反射系数  $S_{11}$ 。

## 测量结果

图 4 为上面实例中的  $S_{11}$  和  $S_{21}$  测量结果曲线。

按照以下建议进行操作，可以避免出现常见的测量误差：

通过归一化可以消除跟踪频响误差影响。

通过增加 HMS-X 的跟踪输出功率达到被测器件允许的最大功率，可以避免标量保真度误差。

通过减少信号源和负载匹配，可以避免失配误差。例如：在 HMS-X 的射频输出端口和射频输入端口之间串联一个 10 dB 衰减器（例如 HZ24-10dB）。

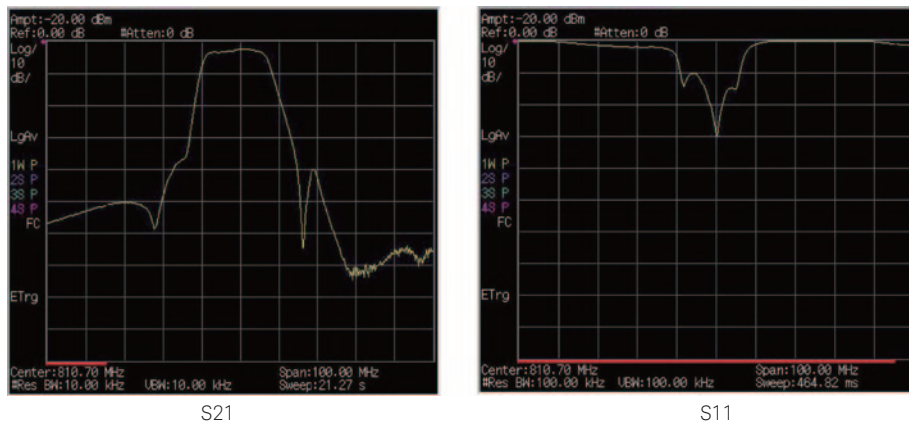


图 4.  $S_{21}$  和  $S_{11}$  测量屏幕快照。

反射系数测量由于定向耦合器的方向性、信号源和负载阻抗失配、标度保真度、短路件或开路件的归一化等原因而存在着一定的误差。为了减小这些误差，可以使用方向性高的定向耦合器射频桥，例如 HZ547。该电桥具有 40 dB 的高方向性。在被测器件与耦合器之间串联一个 10 dB 衰减器，可以改善匹配性能。

### 北京海洋兴业科技股份有限公司

北京市西三旗东黄平路 19 号龙旗广场 4 号楼(E座)906 室

电 话：010-62176775 62178811 62176785

企业 QQ：800057747

企业官网：[www.hxyyq.com](http://www.hxyyq.com)

邮编：100096

传真：010-62176619

邮箱：[info.oi@oitek.com.cn](mailto:info.oi@oitek.com.cn)

购线网：[www.gooxian.net](http://www.gooxian.net)



扫描二维码关注我们  
查找微信企业号：海洋仪器