

# 利用矢量网络分析仪和频谱分析仪测量混频器

江肇莲 王应雪 总参三部第一计量站

**摘要:** 利用矢量网络分析仪 (VNA) 和频谱分析仪 (SA) 可在宽频率范围内测量混频器的主要参数: 反射损耗、隔离度及变频损耗。文中介绍的测量技术及校正方法, 使得测试变得方便、高效、精确。

## 概述

混频器是通信接收机中的关键部件, 其参数指标严重影响整个通信系统的质量! 比如, 变频损耗不仅影响系统的增益, 在一些无前置放大器的接收机中, 还严重影响系统的噪声系数; 隔离度和反射损耗也影响着混频器的性能发挥, 继而影响着整个系统的质量。确切掌握混频器的主要参数指标, 便于我们设计优质的系统。

测量混频器的参数会遇到令人讨厌的麻烦, 因此在选用测量方案、测试仪器、校正方法时都要十分小心。首先, 混频器是一个非线性工作部件, 中频 (IF) 端口输出信号中不仅含有有用的频率份量, 还包含多种无用的频率成份, 如果某些仪器本身也存在着非线性, 更会使测试变得困难, 结果可信程度下降; 其次, 混频器是典型的三端口器件, 除射频口 (RF) 输入信号外, 还必须在本振口 (LO) 送入一定功率的本振信号, 两个频率信号同时存在的这一事实, 及需要本振信号功率的适当大小, 都对测试和校准提出更高的要求; 再次, 混频器用作频率变换, 其三端口的频率各不相同, 对测试仪器及校正方法的要求也复杂得多。

除了混频器本身的这些特点外, 因为要在宽带范围内测量混频器, 还要注意测试系统中的一些部件及仪器的性能变化, 如信号源输出电平随频率变化, 检波器的频率响应, 电缆、连接器、衰减器、滤波器等不同频率下的损耗变化。

考虑上述种种情况后, 所提出的任一种测试方法, 都应当不仅能测试混频器参数, 还要能在宽带范围内校正测试结果。本文提出的利用矢量网络分析仪 (VNA) 和频谱分析仪 (SA) 联合测试方法, 博采两仪器之所长, 比其它仪器更高效、更精确、更方便。

## 测量方案及仪器组成

测量方案示于图 1

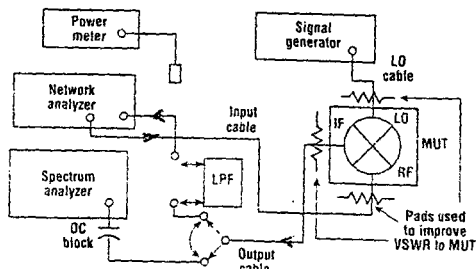


图 1: 测量混频器参数的仪器配置

图中的被测混频器 (MUT) 均为双平衡混频器。其中一个型号为 WJM1G 的同轴混频器, 是美国 Watkins-Johnson 公司的产品, 其输入频率范围为 1.0~4.2GHz, 中频频率范围 DC~1GHz; 另一个型号为 HMC129 的单片微波集成电路混频器 (MMIC), 是 Hitite Microwave 公司的产品, 其输入频率范围为 4~8GHz, 中频频率范围为 DC~3GHz。

在测量同轴混频器时, 使用 HP-8594E 频谱分析仪、HP-8648C 信号源和截止频率为 1.2GHz 的低通滤波器。

在测量单片式混频器时, 使用了 HP-70000 频谱分析仪、HP-8340B 信号源和截止频率为 2.2GHz 的低通滤波器。

测量用的功率计型号为 4803A, 是 Anritsu Wiltron 公司产品。

测量用的矢量网络分析仪来自 HP 公司, 型号分别为 HP-8714 和 HP-8753, 它们各有特点。

在被测混频器的三个端口 (RF, LO, IF) 分别接有衰减器, 以改善驻波系数; 测量用的电缆应有良好的频率响应和阻抗特性。

完整的测量混频器的参数需要多种测量仪器, 表 1 列出了测试参数所需仪器性能。

表 1: 测试参数所需仪器表

Performance parameter	Vector network analyzer (VNA)	Spectrum analyzer (SA)	Scalar NA SA with tracking generator	Power meter	Sampling oscilloscope	Noise figure meter
Complex port impedance	X					
SWR or return loss	X		X			
Two-port isolation	X	X				
Conversion loss/gain		X				X
Amplitude/phase tracking						
Compression						
Noise figure						
Third-order Intercept						
Frequency/amplitude mixer output		X				

with appropriate options, filters, or other accessories. X—a fairly routine measurement.

由表可见, VNA 和 SA 两分析仪的组合能完整地测试混频器参数, 但对其中某些参数测试还要适当配置选件滤波器和一些附件。一旦适当设置和校准, 无需附件 VNA 可在很宽的频带内快速测量端口阻抗、隔离度和变频损耗, 同时也能方便地测出测试系统中有关的滤波器、衰减器、电缆的损耗和频响, 以便修正所测混频器参数值。在没有附件和跟踪信号源的情况下, SA 利用其分离和显示混频器输出频率分量的特点, 可以方便地测量信号的相对或绝对的频率和幅度, 但用于测量宽频带参数时, 将费时甚多。但当用 SA 和 VNA 组合测量混频器参数时, VNA 的快速扫描特点可以大大提高测试效率; 而 SA 的频谱分析能力能从混频器中选出有用频率分量, 不受混频器输出的无用分量影响, 提高了测试精度。这就发挥了仪器各自之特长, 优势互补, 是一种最佳方案。

在图 1 所示测量方案中,所用仪器和部件都应作校准,以便尽量准确的测量混频器参数。

SA 和功率计按照各自的说明书中步骤,利用机内产生的基准信号进行校准。

方案中使用的 HP-8714 VNA 能在 3GHz 以下进行单路双端  $S_{11}$  和  $S_{21}$  测量,并提供单端口误差修正,但仅能用于传输特性的频响校准,不可能修正信号源和负载的失配误差。由于被测混频器端口接有衰减器,因有很好的匹配,才使该仪器的这个缺陷几乎没有影响。

HP-8753 VNA 在 6GHz 频率以下工作,进行完整的双端口 S 参数测量,还提供十二项误差修正。

测试项目的定标,对保证测试方案的精度也很有必要。

在进行端点阻抗和隔离度项目定标时,上述两种 VNA,要分别在同轴结构和片式结构下校准。首先,用一套 3.5mm 的同轴校准器取代同轴混频器来校准 VNA 测量端口阻抗和隔离度的标度;继而用片式探针校准器(即线反射匹配器)置换同轴校准器,在片式结构下对 VNA 测量端口阻抗和隔离度的能力进行校准。此外,还要测出电缆和滤波器的损耗,以扣除其对定标的影响。

变频损耗的测量,采取了与测量(RF-IF)隔离度相似的方式,只是测试点的频率不同而已。其输入输出端电缆和滤波器的损耗应当被测定。在片式结构测试方案中所采取的三个片式探针的插入损耗也应当分别测定,这是利用 HP-8753 VNA 进行三次插入损耗测量来完成的,每次测量不同组合的片式探针对的插入损耗,这些探针是背靠背直接或  $90^\circ$  连接到已校正的基片通路上。用三次不同组合的测试结果,可以分别计算出单个探针的损耗值,根据以上结果再对变频损耗进行修正。

## 端口阻抗(反射损耗)测量

VNA 是端口阻抗测量最理想的工具。在微波参数测量中,用测量反射损耗来求出阻抗更有效更方便,精度会更高,这是众所皆知的。因此微波测量中更多是直接测量反射损耗而不是测量阻抗,并且在微波工程中反射损耗容易测量,应用也更广泛。

在混频器端口测量反射损耗时,反射信号和输入的激励信号频率相同,VNA 通常的反射损耗测量和校准方法一样可以使用。但由于混频器是个特殊的三端口器件,在测试中需特别小心。例如,在测试射频(RF)和中频(IF)端口的反射损耗时,本振(LO)端应有适当的激励信号电平,它的大小直接影响着混频器性能,因此,在测量 RF 和 IF 端口的反射损耗时,混频器上同时有两个信号存在。当测量反射损耗的射频激励频率和本振频率或混频器输出中的某频率分量相一致时,测试结果将会出现显著误差。为了保证测试精度,LO 端口应接上衰减器以保持良好匹配,而非测试的第三端口应接上匹配负载。

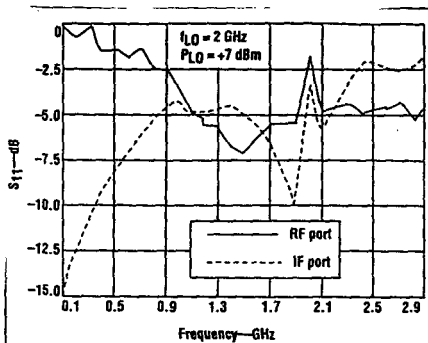
图 2: HP-8753 测得的 RF 端、IF 端的反射损耗

图 3: HP-8714 测得的 RF 端、IF 端的反射损耗

图 4: HP-8753 测得的 RF 端在不同 LO 激励下的反射损耗

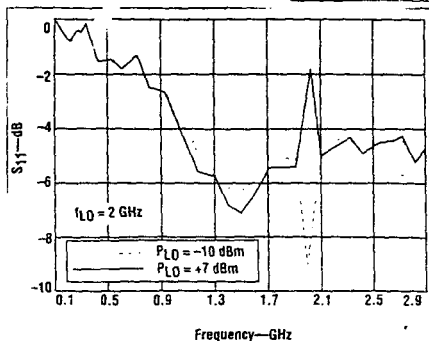
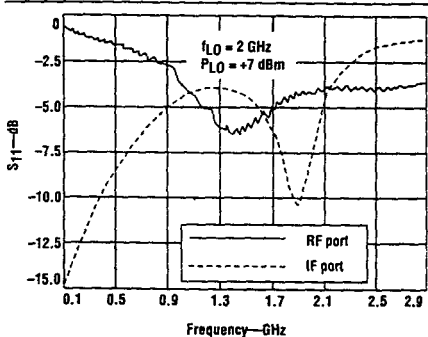
图 5: HP-8714 测得的在 LO 不同激励电平下的 LO 端反射损耗

图 2、图 3 分别表示了两种 VNA 测得的 RF 端、IF 端的反射损耗结果,除个别点外,一致性相当好。在图 2 中,RF 端反射损耗在 2GHz 处出现了尖峰,这在图 3 中是不存在的,

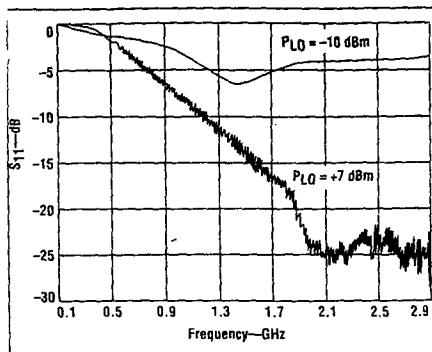


2. The coaxial mixer's RF- and IF-port return loss were measured using the HP8753 network analyzer.

3. The HP8714 VNA was used to obtain these return-loss measurements for the coaxial mixer.



4. Return loss was measured for the coaxial mixer's RF port at different LO power levels using the model HP8753 VNA.



5. These return-loss measurements for the coaxial mixer's LO port were obtained at different drive levels using an HP8714 VNA.

在图4中,在2GHz处RF端反射损耗同样出现了尖峰。这种异常是与HP-8753 VNA本身有关的。因为HP-8753供给的射频激励频率以每步100MHz从100MHz起步进扫描到3GHz,2GHz正好是其中的一个RF端的激励频率,它与LO的激励频率2GHz一致,于是就出现了异常尖峰结果;而HP-8714 VNA供给的射频信号,以每步15MHz从0.3MHz开始步进扫描到3GHz,这其中不可能出现2GHz频率的信号,因此在图3的RF端反射损耗结果中不可能在2GHz处出现很大的尖峰误差。

对IF端的反射损耗仔细分析后发现,在图2中的1GHz处反射损耗出现了恶化,这是由于IF端口输出频率和HP-8753测试激励频率相一致的结果,用HP-8714 VNA测试时不可能出现这个情况,所以图3中没有异常误差出现。

图5表示了HP-8714 VNA测得的不同LO激励电平下的LO端反射损耗,差别显而易见。为了发挥混频器的正常功能,LO端一定要保证足够的激励电平。

在测试要求高功率激励电平的混频器时,VNA提供的测试输出不可能满足要求时,需附加一个放大器,这就使本已相当复杂的测量方案变得更复杂了。

## 隔离度测量

一、用SA可以测量隔离度,其主要步骤如下:

A、LO—IF端口间隔离度测量

1. 去掉被测混频器,将LO端口、IF端口直接连通,用SA在IF输出电缆端读取LO端口加上的功率电平,单位dBm,记为 $P_{L/IO}$ 。

2. 去掉直通器,接上被测混频器,在IF输出电缆端用SA读取LO频率下(不是输出中频IF频率)的功率电平,单位dBm,记为 $P_{I/IO}$ 。

3. 计算出隔离度

$$(LO-IF) \text{ 隔离度} = P_{L/IO} - P_{I/IO}$$

B、LO—RF端口间隔离度测量

1. 去掉被测混频器,将LO—RF端直通,在RF端测量在LO端加上的信号功率电平 $P_{L/IO}$ ,单位dBm。

2. 去掉直通器，接上被测混频器，在 RF 端用 SA 读取 LO 频率下的功率  $P_{r/lo}$ ，单位 dBm。

3. 计算出隔离度

$$(LO-RF) \text{ 隔离度} = P_{l/lo} - P_{r/lo}$$

C、RF—IF 端口间隔高度测量

与上稍有不同，混频器的 LO 端必须加上适当选择的功率电平和频率信号，因此测试是在 RF 端和 LO 端同时存在信号的情况下进行的，当 RF 端的激励信号频率和 LO 频率或 IF 输出频率一致时，误差就会发生。

其主要测量步骤与 A、B 相似：

1. 去掉被测混频器，直接连通 RF—IF 端口，在 IF 输出电缆端用 SA 读取加在 RF 端口的射频功率电平  $P_{r/rf}$ ，单位 dBm。

2. 去掉直通器，接上被测混频器，在 LO 端加上本振激励信号，其电平和频率是预先选定的；在 IF 电缆端用 SA 读取射频 (RF) 频率下的功率  $P_{t/rf}$ ，单位 dBm。

3. 计算出隔离度

$$(RF-IF) \text{ 隔离度} = P_{r/rf} - P_{t/rf}$$

二、用 VNA 测量隔离度要比用 SA 快得多，在宽带频率下尤其突出。

A、RF—IF 端口间隔高度测量

1. 去掉被测混频器，将 RF—IF 端口直通，IF 电缆端被接到 VNA 的端口 2 (输入口)，以便由 VNA 记下 RF 端已由 VNA 端口 1 加上的射频功率，对 VNA 的两端口进行校准。

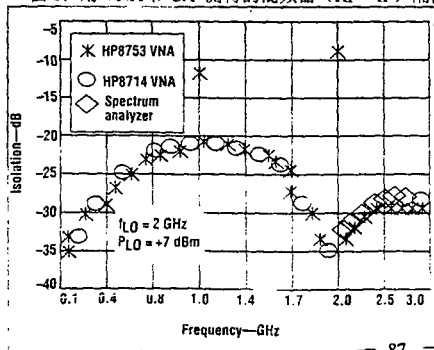
2. 去掉直通，接上被测混频器，在 LO 端加上选定的本振信号；在 IF 电缆端用 VNA 读取射频频率下的功率。

3. 在 VNA 上读取  $S_{21}$  值，它即是 (RF—IF) 隔离度。

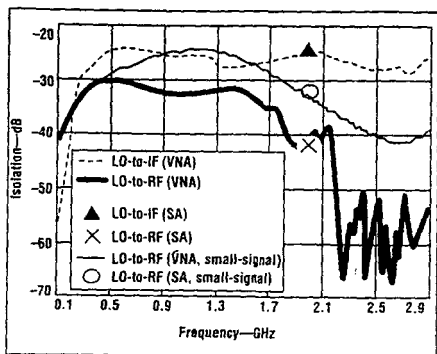
B、LO—IF 端口间隔高度和 LO—RF 端口间隔高度测量

其主要测试步骤与 SA 测试方式相似。VNA 端口 1 对 LO 端的激励功率电平和混频器正常工作时的要求差不多，否则将会影响结果的可信度。用 VNA 的端口 2 接至被测混频器端口 IF 或 RF，在测试中空出的端口 RF 或 IF，一般要接上匹配负载，对 SA 测试方式也是如此。

图 6：用 VNA 和 SA 测得的混频器 (RF—IF) 隔离度



6. The coaxial mixer's RF-to-IF isolation was measured using the HP8753 and HP8714 VNAs as well as a spectrum analyzer.



7. These isolation measurements were obtained with an HP8714 VNA and a spectrum analyzer at small-signal ( $-10\text{-dBm}$ ) and operating LO-drive ( $+7\text{-dBm}$ ) levels

图 7: 用 HP-8714VNA 和 SA 在不同 LO 激励电平下测得的隔离度

在图 6 中, 由两种 VNA 和 SA 各自测得的 (RF-IF) 隔离度结果基本相似, 但用 HP-8753VNA 测试的结果在 1GHz 和 2GHz 处出现了大的误差。如前所述, 因为在 1GHz 处 IF 端的混频输出频率正好与 VNA 的激励频率一致; 而在 2GHz 处, VNA 的激励频率与本振频率一致。

由图 7 可见, 在  $+7\text{ dBm}$  和小信号两种 LO 激励电平下, (LO-RF) 隔离度有显著区别;  $+7\text{ dBm}$  情况下测得的结果在 1GHz 以上均优于厂家给定的 30 dB 指标; 由 VNA 测得的 (LO-IF) 隔离度在 1GHz 以上也优于 20 dB 指标值; 在 2GHz 上用 SA 测得的结果与 VNA 测试结果完全一致。

## 变频损耗测量

变频损耗是衡量混频器射频端输入功率  $P_{R/RF}$  和中频端输出的有用频率功率  $P_{I/IF}$  差值大小的物理量, 表达式如下:

$$\text{变频损耗} = P_{R/RF} - P_{I/IF}$$

式中: 变频损耗的单位用 dB 表示;  $P_{R/RF}$  和  $P_{I/IF}$  的功率单位用 dBm 表示。

对无源混频器而言, 变频损耗是一个正值, 其相反数叫变频增益; 混频器三个端口的信号频率并不相同, 且  $f_{IF} = |f_{RF} - f_{LO}|$ , 由此在测量变频损耗时需小心处理, 必须对输入功率的变化和输出电缆的损耗在不同频率下的变化作校正, 以便对变频损耗公式中的功率值作适当修正。

测量变频损耗可用下面几种方法:

### 一、用频谱分析仪测量

SA 测量变频损耗最直观, 做法如同 (RF-IF) 隔离度测量:

1. 去掉被测混频器, 将 RF 端、IF 端直接连通, 在 IF 输出电缆的一端, 用 SA 测出 RF 端加上的射频功率  $P_{R/RF}$ , 用 dBm 表示。

2. 去掉直通, 加上被测混频器, 在 LO 端加上适当选择的具有一定功率电平和频率的信号, 在 IF 输出电缆的一端, 用 SA 在中频率上测出信号功率  $P_{I/IF}$ , 用 dBm 表示。

### 3. 计算变频损耗

值得注意的是 IF 输出电缆在射频频率上的损耗要比中频频率上大, 因此在步骤 1 上测得的射频功率比在 RF 端实际存在的功率要小, 按变频损耗定义公式计算出的值就是变频损耗的最乐观的估值, 在对电缆损耗作了简单修正和忽略了电缆反射影响后, 修正过的计算变频损耗的公式为:

$$\text{变频损耗} = (P_R/rf - P_i/lf) - (S_{21cbl}/rf - S_{21cbl}/lf)$$

式中:  $S_{21cbl}/rf$  是 IF 输出电缆的射频 (RF) 传输系数。单位用 dB 表示;

$S_{21cbl}/lf$  是 IF 输出电缆的中频 (IF) 传输系数。单位用 dB 表示。

这两个系数可 VNA 测得, 对无源输出网络而言, 这些系数均是负值, 且  $|S_{21cbl}/rf| > |S_{21cbl}/lf|$ , 经过修正以后, 变频损耗加大了。

对于片式结构测量, 由于考虑探针损耗, 校正还要稍许复杂些, 测量因是将探针直通还是用同轴连接将探针旁通而有所不同。

#### 二、用功率计测量

举出这种方法似与本文无关, 其实正是为了从其它方面说明本文方法的优越。下面仅用功率计测量同轴混频器的情况予以介绍。

其步骤为:

1. 用功率计的探头直接连到 RF 端输入电缆上, 读取射频输入功率。

2. 将被测混频器 RF 端接到射频 (RF) 输入电缆上; 而 IF 端通过低通滤波器接至功率计, 以便只有中频 (IF) 信号分量能通到功率计上; 在 LO 端加上适当频率和电平的本振信号; 由功率计读取 IF 信号功率。

3. 在扣除了低通滤波器损耗 (由 VNA 测得) 后, 可以直接得到变频损耗值。

这种方法虽然很直观, 但精度却受到输入到功率探头的信号纯度和探头本身的非线性影响, 因此要在每一个测量频率点上使用探头校正系数。

#### 三、用 HP-8714 VNA 测量

HP-8714 VNA 的宽带检波模式可用于变频损耗测量, 其时它的端口 2 类似于宽带功率计, 端口 1 输出测试用激励信号, 其主要测试步骤如下:

1. 在无被测混频器情况下将 RF-IF 直通, 由端口 2 在 IF 输出电缆得到 RF 端加上的激励功率, 以此作基准, 对今后测得的接收功率作归一化处理。

2. 接上被测混频器, 在 IF 端加上低通滤波器, 以致端口 2 的宽带检波器仅仅响应输出的 IF 中频信号, 注意在步骤 1 中输出电缆里没有滤波器, 因为它阻隔射频信号而不可能形成归一化的基准; 在 LO 端加上适当的本振信号; 由端口 2 检测的信号被归一化处理后, 测量结果是一个负值, 被称为变频增益而不是变频损耗。

#### 3. 测量结果修正

测试精度受到 IF 输出电缆损耗的频响和宽带检波器频率灵敏度的影响; 电缆损耗的影响仿照 SA 测量方式修正之, 所不同的是在中频 IF 的  $S_{21}$  参数中要包括滤波器的影响。修正过的计算变频损耗的公式为:

$$\text{变频损耗} = \text{CLM} - (S_{21cbl}/rf - S_{21cbl}/lf + \text{lpf}/lf)$$

式中:  $S_{21cbl}/rf$  是 IF 中频输出电缆在射频 (RF) 下的传输系数;

$S_{21cbl}/lf + \text{lpf}/lf$  是 IF 中频输出电缆在中频 (IF) 下的传输系数;

CLM 是 VNA 报告值的负数。



#### 四、用 HP-8753 VNA 测量

HP-8753 VNA 采用了不同于 HP-8714 VNA 的方法测量变频损耗：在测试过程中端口 2 始终接收的是中频 (IF) 频率信号，因为该 VNA 能让用户调节频率；在测试混频器时，(IF) 中频频率输出信号还送到 VNA 的基准输入端口，使得 VNA 内部接收机能相位锁定到这个信号频率上，通常这个基准输入端口由夹子线连到机内信号源的输出口上的。

其主要测试步骤如下：

1. 去掉混频器，直接连通 RF-IF 端，VNA 端口 1 送出的激励信号频率，通过调节频偏为零，使其与测试时期望的中频 (IF) 频率一致，用端口 2 在 IF 输出电缆端得到射频 (RF) 端的激励功率，并以此为基准，对其后测试得到的信号作归一化处理。注意此处基准信号频率是中频频率。

2. 加上被测混频器后，端口 1 激励 RF 端口的信号频率按照 LO 端本振信号频率进行调节，以得到期望的中频 (IF) 频率信号，端口 2 在 IF 输出电缆得到的功率被归一化处理，VNA 给出的结果正是变频增益。为了减少可能出现的混频输出中无用分量的影响，无论是在建立基准还是在测试时，在 IF 输出电缆中还接有低通滤波器。

#### 3、测量结果修正

因在建立归一化基准和测试中，测量都是在同一中频频率上进行的，因此输出电缆部分的损耗修正并不重要，这是与 SA 或 HP-8714 测量时所不同的。

然而，作为归一化基准的由 VNA 供给的 RF 端口功率是在 (IF) 中频频率上得到的，如果假定来自 VNA 端口 1 的射频激励功率在整个频率范围内是保持恒定的，那么，由于 (RF) 射频输入电缆损耗的频率响应，在测试混频器时 RF 端得到的功率一般都小于在中频频率上建立归一化基准时得到的功率，因此由 VNA 显示的测试结果在未经修正时则是最坏情况，修正后的变频损耗如下式所示：

$$\text{变频损耗} = \text{CLM} - (\text{Pr/if} - \text{Pr/rf})$$

式中：Pr/if 是建立基准时的输入电缆 RF 端的功率；

Pr/rf 是测试混频器时 RF 端在射频频率下得到的功率；

CLM 是 VNA 显示值的负数。

上述两功率电平由分析仪的功率计在连续波方式下单独测得，这种修正同时考虑了 VNA 端口 1 的功率波动和输入电缆损耗随频率变化的情况。

#### 五、测试结果讨论

用上述四种方法对同轴混频器的变频损耗作了测试，未经修正的原始结果示于图 8，个别点差别大于 1.2dB，在修正后四种方法得到的结果基本一致（参见图 9），将 HP-8714 在高频端测得的结果除外，在整个频带内差别保持在 0.5dB 以下，而 HP-8714 测得结果的差别约为 0.8dB。

虽然经过校正后结果的一致性较好，但各方法间仍有差别存在，其原因并未完全了解。用 HP-8714 再次测试仍然得到类似结果，估计测试结果的零散性大是因 HP-8714 宽带检波器频响不佳所致，用一个简单实验对检波器频响作了估算，不出所料相对误差可能超过  $\pm 0.5\text{dB}$ 。

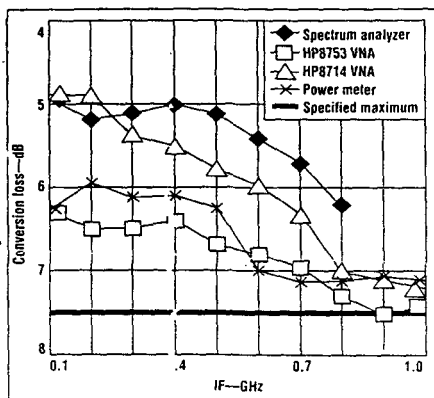
图 8：未对电缆损耗和输入功率变化修正时的变频损耗

图 9：修正电缆损耗和输入功率变化后的变频损耗

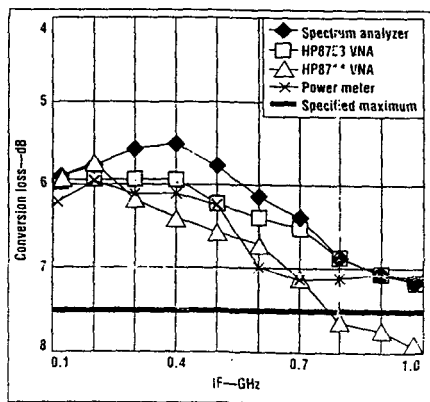
图 10：未修正电缆/探针损耗和输入功率变化的 MMIC 混频器的变频损耗

图 11: 修正电缆/探针损耗和输入功率变化后的 MMIC 混频器变频损耗

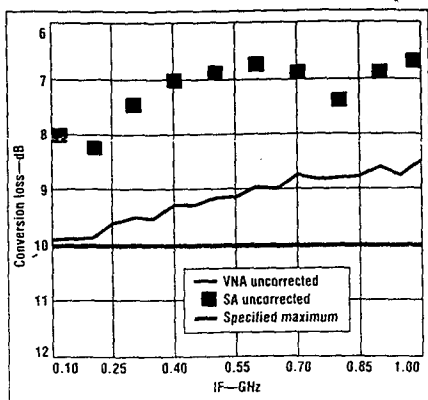
图 10 和图 11 表示了单片微波集成电路混频器用 HP-8753 VNA 和 SA 测得的变频损耗结果。在对探针损耗、输入功率、电缆损耗随频率变化的现象作了仔细校正后, 测试结果一致性非常好。



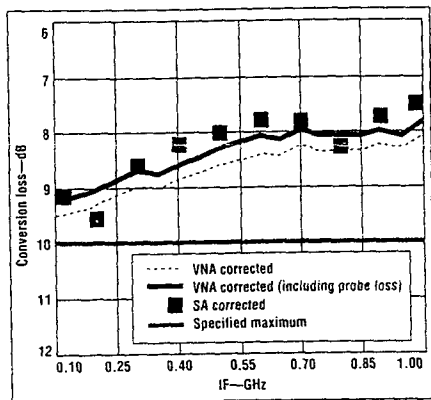
8. These conversion-loss measurements were obtained with a VNA, SA, and power meter before correction for cable-loss and input-power frequency variation.



9. Conversion-loss measurements obtained with the four test methods exhibit better agreement after correcting for the frequency variation of the cable loss and input power.



10. The MMIC mixer's measured conversion loss (obtained with a VNA and SA) is shown before correcting for frequency variation of the cable/probe loss and input power.



11. By correcting for frequency variation of the cable/probe loss and input power, better agreement is obtained for the MMIC-mixer conversion-loss measurements.

## 结束语

测试结果令人信服的证明：文中所提出的混频器反射损耗、隔离度和变频损耗的各种测试方法是有效的，各种修正措施是正确的。

## 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>