

基于频谱仪和矢网的混频器变频损耗测量技术

黄志芳^{1,2} 罗宏伟²

(1. 广东工业大学 广州 510006; 2. 工业和信息化部电子第五研究所元器件检测中心 广州 510006)

摘要: 在各种可靠性试验后,混频器的变频损耗参数是衡量器件性能的一个重要指标,在基于频谱仪法和矢量网络分析仪法两种测试变频损耗方法的基础上,分析了变频损耗三种误差的主要来源,通过两种测试方法的实测数据分析了这三种误差对两种测试方法的影响和相应的误差消除技术,得出了结论:频谱仪法仪器成本低,操作简单,误差来源多且测试不稳定,矢量网络分析仪法测试稳定,可靠性高,在整个测试频段内测试数据稳定精确。

关键词: 混频器 变频损耗 频谱仪 矢量网络分析仪

中图分类号: TP206⁺.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

Frequency conversion loss measuring technology of mixer frequency meter based on spectrum instrument and vector network

Huang Zhifang^{1,2} Luo Hongwei²

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. The Ministry of Industry and Information Technology Electronic Institute of the Fifth Components Testing Center, Guangzhou 510006, China)

Abstract: After various reliability tests, the parameters of the mixer conversion loss is an important indicator of device performance. Based on the two frequency conversion loss measuring method, which are spectrum analyzer method and vector network analyzer method, this paper analyzed the three main sources of the error of frequency conversion loss. Through the measured data of the two tests methods, the influence of the three kinds of error to the two methods and the corresponding error elimination technique are analyzed, and the results show that the spectrum analyzer method has the characteristic of low instrument cost, simple operation, but more sources of error and less test stability, while the vector network analyzer method has the advantages of high stability and reliability, stable and accurate test data throughout the entire test band.

Keywords: mixer; frequency conversion loss; spectrometer; vector network analyzer

1 引言

微波混频器主要应用于通信、雷达、电子侦察等电子装备和微波毫米波测试仪器,实现频率转换功能,是微波毫米波系统的重要组成部件,其性能的好坏直接影响设备和仪器的参数指标。变频损耗定义为在给定的本振(LO)功率下输入频率的功率与输出频率的功率之比,是混频器如何有效地将输入频率能量变换成输出频率能量的测度^[1]。微波混频器作为微波接收机的前置级或者作为低噪声放大器的后续级,它的性能如噪声特性、变频损耗对整个微波系统有十分重要的影响。

传统混频器变频损耗的测量是采用频谱仪和双信号源同步解决混频器输入输出不同频的测试难点^[2],但是由于

其测量受到本振功率、射频输入功率及各端口间匹配影响,频谱仪法测试仪器操作繁琐,测量速度慢,测量稳定性不高,只能看到信号的幅度信息,无法直接获得相应的相位信息^[3]。本文主要研究了基于频谱仪和矢量网络分析仪测量混频器变频损耗的原理、校准上的不同点,探究了影响变频损耗测量的三种主要因素,通过对两种方法的测试数据进行数学分析,得出了相应的结论。

2 变频损耗两种测试方法

传统的测试方法是利用两台信号源和一台频谱仪组合对混频器的变频损耗进行测量^[4],两台信号源分别接入混频器的射频输入端和本振端,频谱仪接入中频输出端,为确保中频输出端的频率是射频端与本振端的频率差,需确保

两台信号源同时达到对应的频率点,以保证中频输出端的准确性^[5]。如图 1 所示为频谱仪测试原理图。

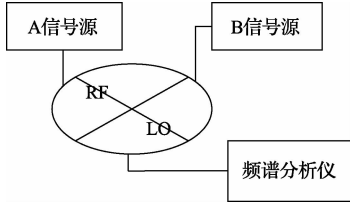


图 1 传统测试方法原理图

频谱仪法测试仪器多、操作步骤繁琐,仪器与传输线、传输线与混频器之间的匹配,双信号源信号一致性等因素导致了频谱仪法测试中存在较大的失配误差、人为操作误差及仪器误差等,这些因素在混频器频率不断提高下变得越来越影响变频损耗测量的精确性,同时频谱仪法无法完全通过校准消除相应的误差因素^[6]。

传统的标量网络分析仪均只能在输入输出同频的情况下测量线性器件的散射参数指标,为了使变频损耗的测量更高效且测量不确定度更小,安捷伦及罗德施瓦茨等公司开发了相应的矢量网络分析仪频偏模块,可以通过功率计校准矢网源端信号及接收机端口的精确性和稳定性、端口间的失配误差通过隔离衰减器以减小失配^[7]。矢量网络分析仪法的测量原理图如图 2 所示,矢量网络分析仪的源 A 作为混频器射频端的输入信号,混频器的中频端作为输出信号,由矢量网络分析仪 B 接收机接收。由于混频器的输入输出频率不同,所以要把矢量网络分析仪调谐到不同的工作频率,即射频和中频的差值也就是固定本振的频率^[8]。矢量网络分析仪的测量设置为 B 接收机模式测量,就能得到 B 接收机中频信号功率随频率的变化曲线,读出所需测试频点的数据减去输入信号的功率后取绝对值即是变频损耗值^[9]。

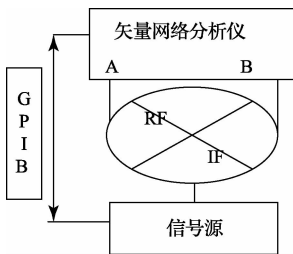


图 2 矢量网络分析仪法原理图

3 数据分析

针对频谱仪法和矢量网络分析仪法的比较,主要对在相同频率范围内多组测量值之间进行误差分析及分析两者测量过程中存在的误差因素来比较两种测量方法。在实验室环境下,分别用频谱仪和矢量网络分析仪对选定的混频器进行 4 只样品为一组的 6 次测量。图 4 和图 5 所示为频

谱仪法和矢量网络分析仪法一次测量值所绘曲线。

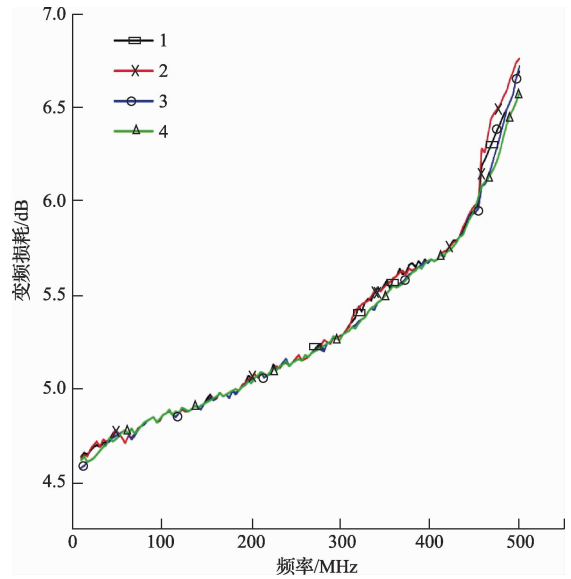


图 3 频谱仪法变频损耗测量值

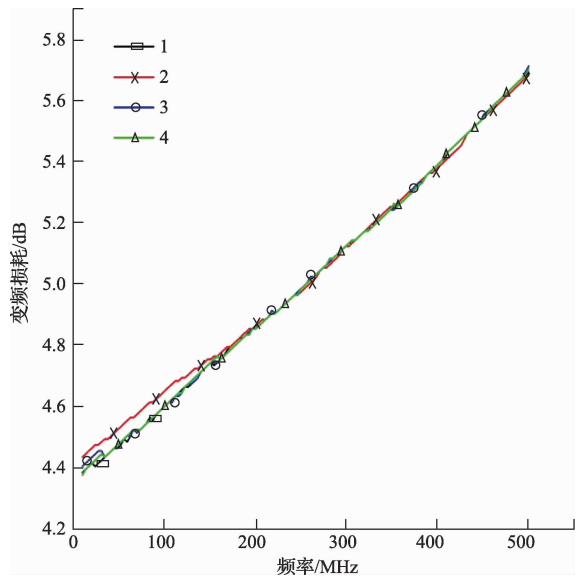


图 4 矢量网络分析仪法变频损耗测量值

如图能看出变频损耗在 $F=300$ MHz 之前,频谱仪法与矢网分析法都近似线性增加,两者所测值差值不大。在 300 MHz 后,频谱仪法所测值类似抛物线的形式增加且与矢量网络分析仪所测值相比差值越来越大。矢量网络分析仪法所测值在整个测试频率范围内变频损耗近似线性随着频率的增加,在曲线比较平缓,测量的波动性比频谱仪法小,测量稳定性好。

针对频谱仪法和矢量网络分析仪法所测值进行平均值、算术平均值及相对平均偏差三种数学分析法分析。如表 1 所示。

表1 频谱仪与矢量网分析仪数据分析

频率/MHz	平均值/dB		算术平均偏差/dB		相对平均偏差	
	频谱仪法	矢量网法	频谱仪法	矢量网法	频谱仪法	矢量网法
100	4.62	4.53	0.037	0.045	0.80%	0.99%
300	5.23	5.14	0.095	0.023	1.81%	0.44%
500	6.64	5.67	0.16	0.018	2.40%	0.31%

变频损耗是对混频器频率变换后产生的损耗的度量,其定义为射频信号的输入功率 P_{RF} 与中频信号的输出功率大小 P_{IF} 的比值。其分贝表示式如(1)所示,由该式可知,变频损耗可理解为由非线性电导净变频损耗 L_a 、二极管结损耗与和电路失配损耗三部分组成^[10]。

$$L = 10\lg \frac{P_{RF}}{P_{IF}} = L_a + L_\beta + L_y \quad (1)$$

非线性电导净变频损耗 L_a 一般来说,这部分的损耗与管子非线性特性、各阶次混频产物分量 $|mf_{RF} \pm nf_{LO}|$ 的负载情况和二极管上的本振功率大小等有关系。电路设计时,各端口应尽可能地对空闲频率分量短路,回收额外的频率,减少这部分能量的损失。增大本振输入功率同样可以降低这部分损耗。然而,本振功率增大时,噪声系数将会变差。

二极管结损耗 L_β 有来自 R_j 的射频功率才可以参与混频,而 R_s 的分压作用和 C_j 的分流作用必将带来损耗, R_s 近似线性,其大小可以看作不随本振功率大小而变化,而 R_j 和 C_j 则呈非线性特性,其值的大小随本振功率大小而变化。其值的大小可用式(2)表示为:

$$L_\beta = 10\lg\left(1 + \frac{R_s}{R_j}\right) + \omega_s^2 C_j^2 R_s R_j \quad (2)$$

当 P_{LO} 增加时, R_j 将减小, C_j 的分流作用减小,但 R_s 的分压将变大;当 P_{LO} 减小时, R_j 将增大, R_s 的分压作用减小,但 C_j 的分流将变大。由此可知存在一个最优的本振功率值,使得结损耗最小,由上面的分析可知,变频损耗并不是随本振功率增加而单调减小的,而是存在一个最佳的本振功率值或功率范围,使得变频损耗最小。

失配损耗 L_y 是由于电路的输入和输出端口匹配不理想使得能量产生反射引起的损耗,因此匹配程度决定了其值的大小^[11]。设射频输入和中频输出反射系数分别为 Γ_1 和 Γ_2 ,他们对应的驻波系数分别为 ρ_1 和 ρ_2 。则失配损耗的分贝值可用式(3)表示为:

$$L_y = 10\lg \frac{1}{1 - |\Gamma_1|^2} + 10\lg \frac{1}{1 - |\Gamma_2|^2} = 10\lg \frac{(1 + \rho_1)^2}{4\rho_1} + 10\lg \frac{(1 + \rho_2)^2}{4\rho_2} \quad (3)$$

由以上变频损耗误差来源可知,在低频阶段频谱仪法输入本振功率在传输线上衰减不大,非线性电导净变频损耗 L_a 、二极管结损耗 L_β 两者能在最佳本振功率工作范围内,转接头之间失配损耗 L_y 也影响较小,频谱仪和矢量网

者相差不大;到了中高频阶段,在传输线衰减作用下,本振功率偏移最佳工作点,导致混频器的非线性电导净变频损耗 L_a 、二极管结损耗 L_β 增大,在低频阶段可忽略接头间的失配损耗 L_y 也影响着变频损耗精确测量;矢量网分析仪法利用功率计校准矢量网源功率及接收机,减小了矢量网输入输出端口的不确定度,信号端口接入衰减器消除了匹配误差。从而减少对测量的影响同时矢量网还可在输入端口接入一定衰减量的衰减器提高变频损耗的测量精度。

两种方法在实际运用中各有各的优缺点,要选择合适的测试方法最优化完成测试任务。频谱仪法测量优点为测量仪器常见、成本低,测试过程较简单;缺点为测量精度较差、双信号源同步性、仪器操作切换繁琐、多次测量间的人为误差大、端口间及转接头匹配性难以保证。矢量网络分析仪优点为测量精度高、所需仪器少、测试速度快、误差少;缺点为仪器昂贵,需专业的操作人员、校准技术繁琐。

4 结 论

针对混频器变频损耗的两种常用测量方法研究比较,探究了两者存在的误差来源、误差分析以及误差消除,通过测量验证频谱仪和矢量网测量方法的优缺点,频谱仪法适用于元器件厂商产品合格性判断,操作简单、测试成本低;矢量网络分析仪法适用于需高精度测量变频损耗的高等学校、科研院所,为设计优化提供参考。

参考文献

- [1] 张文强,代秀,年夫顺. 3~40 GHz 宽带双平衡混频设计与分析[J]. 电子测量技术, 2012(4):51-54.
- [2] 潘积文. 微波混频器测试技术研究[J]. 宇航计测技术, 2009, 29(5):20-23.
- [3] 宋吟龄,朱凯. 基于 ZVA 矢网的 DBF 接收机自动测试系统[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(11):70-72.
- [4] 宋翔,年夫顺. 基于矢量网络分析仪的混频器测试技术[J]. 电子测量技术, 2011, 34(11):113-117.
- [5] 杨华祥,莫秀英. 频谱分析仪在测量过程中的优化使用[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(11):71-74.
- [6] 张娜. 矢量网络分析仪在混频器件测试中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(10):33-35.

(下转第 105 页)