

文章编号: 2095-4980(2013)05-0690-03

## 太赫兹扩频测试系统的测试与分析

姜丽菲, 王瀚卿, 黄理勇, 李海松, 苏兴华

(上海航天技术研究院 上海航天电子技术研究所, 上海 201109)

**摘要:** 基于低频段的矢量网络分析系统, 利用扩频模块进行频段扩展是现阶段实现太赫兹元器件有效测试的主要方法。本文针对太赫兹扩频测试系统的构成, 结合测试结果进行了分析与评估, 提出了改善太赫兹倍频测试系统性能的方法, 并提高了测试系统的可检测动态范围。

**关键词:** 太赫兹技术; 矢量网络分析仪; 扩频测试系统; 动态范围

**中图分类号:** TN015

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201305.0690

## Measurement and analysis of Terahertz spectrum test system

JIANG Li-fei, WANG Han-qing, HUANG Li-yong, LI Hai-song, SU Xing-hua

(Shanghai Spaceflight Institute of Electronic Technology, Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109, China)

**Abstract:** By using frequency spreading modules, the lower frequency vector network analyzer can test Terahertz devices. The composition of the Terahertz measurement system is introduced in detail. The test results are analyzed and evaluated. Several methods are put forward for improving the performance of the Terahertz Measurement System and enlarging its detectable dynamic ranges.

**Key words:** Terahertz technology; vector network analyzer; frequency spreading measurement system; dynamic range

20 世纪 80 年代, 太赫兹技术一经被提出就得到了迅速发展和广泛应用<sup>[1]</sup>。太赫兹波频率较高, 为了更好地测试太赫兹器件, 需要有更高频段的测试设备。现阶段, 矢量网络分析仪仍是测试太赫兹器件的首选仪表。但是目前的矢量网络分析仪的测试频段最高只能达到 67 GHz, 为了使矢量网络分析仪具备测试太赫兹器件的能力, 对其进行频率扩展就变得尤为重要。

本文以利用外置的 75 GHz~110 GHz 频段的扩频 T/R(接收/发射)模块, 将 10 MHz~40 GHz 的 Anritsu 37369D 矢量网络分析仪测试频率扩展到 75 GHz~110 GHz 为例, 分析太赫兹扩频测试系统的构成, 并结合测试结果进行分析与评估。

### 1 太赫兹扩频测试系统分析

太赫兹扩频测试系统包括 1 台 Anritsu 37369D 矢量网络分析仪、2 台具有同步功能的 Anritsu 3694B 信号源、1 台测试控制座、外置的 75 GHz~110 GHz 的 T/R 模块与 R 模块各 1 个, 以及 1 套 75 GHz~110 GHz 的波导校准件。系统实物及其构成框图如图 1 所示。

太赫兹扩频测试系统基本工作原理如下:

外置 2 台信号源为 75 GHz~110 GHz 的 T/R 模块与 T 模块提供射频(RF)基准信号和本振(LO)基准信号, 经 T/R 模块与 R 模块倍频与混频, T/R 模块输出参考中频输出(REF IF)信号和反射中频输出(TEST-R IF)信号, R 模块输出传输中频输出(TEST-T IF)信号, 各中

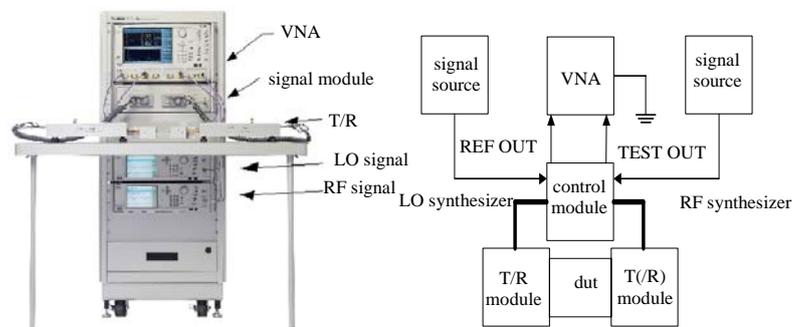


Fig.1 Frequency spreading measurement system

图 1 太赫兹测试系统构成

频信号送入矢量网络分析仪,完成太赫兹器件的  $S_{11}$  与  $S_{21}$  参数测试<sup>[2]</sup>。

扩频 T/R 与 R 模块是太赫兹扩频测试系统的核心, T/R 模块的工作原理为:

1) 利用 2 台外部信号源,将信号源所提供的 RF 信号与 LO 信号进行多次倍频与放大,得到所需测试信号的频率。

2) 利用定向耦合器,取出 RF 信号倍频后的部分信号与被测器件反射后的部分信号,分别作为测试的参考基准信号和反射信号。经过被测器件的信号定为传输信号。

3) 将参考基准信号、反射信号分别与 LO 倍频后的信号进行混频,得到参考中频输出(REF IF)和反射中频输出(TEST-R IF)。

4) 将参考中频输出(REF IF)和反射中频输出(TEST-R IF)分别送入矢量网络分析仪相应通道的接收机,从而完成太赫兹器件  $S_{11}$  参数的测试。

T/R 扩频模块内部扩频链路结构及其原理框图如图 2、图 3 所示。

R 模块的工作原理相对比较简单,是将 T/R 模块产生的传输信号经被测器件后与经多次放大、倍频的 LO 信号进行混频,得到传输中频输出(TEST-T IF)信号,并将 TEST-T IF 信号送入矢量网络分析仪相应通道接收机,从而完成  $S_{21}$  参数的测试。R 模块的原理框图如图 4 所示。

若被测器件是互易器件,完成 1 次测试之后,只要反接被测器件,就可以完成  $S_{12}$  与  $S_{22}$  的测试。若将 R 模块换成同样的 T/R 模块,则 1 次连接就可以同时完成 4 个网络参数的测试。

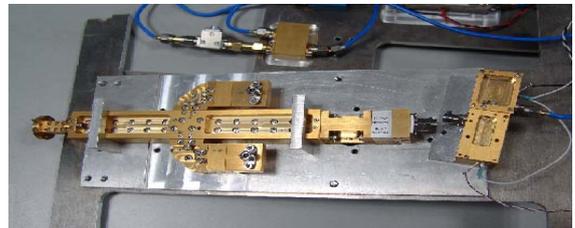


Fig.2 Internal structure of T/R branch  
图 2 T/R 扩频模块内部扩频链路结构

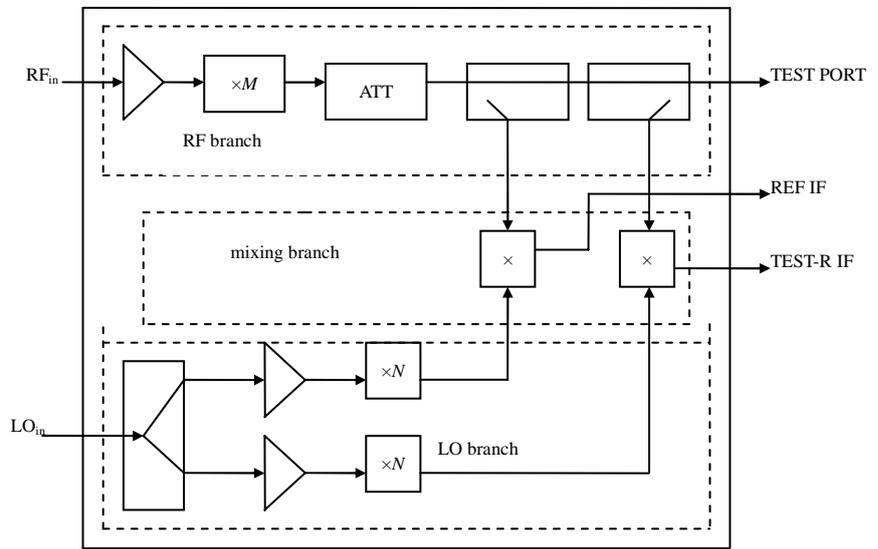


Fig.3 Block diagram of T/R spectrum module  
图 3 T/R 扩频模块的原理框图

## 2 动态范围测试结果与分析

动态范围是衡量太赫兹测试系统性能的重要指标之一。动态范围指的是系统所能测量的最大功率电平与最小功率电平之差<sup>[3]</sup>。其定义如图 5 所示。

动态范围的下限——最小功率电平  $P_{min}$  是由接收机的噪声功率电平决定,通常指信号与基底噪声电平相比拟时的功率。

动态范围的上限受输出中频功率饱和所限,通常是指 1 dB 压缩点的微波输入信号功率  $P_{max}$ 。根据前面测试系统分析,太赫兹扩频系统动态范围受下列几个方面限制:

- 1) RF 倍频支路太赫兹输出功率及其相噪限制;
- 2) 谐波混频器的变频损耗及其 1 dB 压缩;
- 3) 中频放大器的噪声系数。

为了有针对性地改进测试系统动态范围,首先将测试系统调节到最佳的工作状态,最佳的工作状态包括以下 4 个方面:

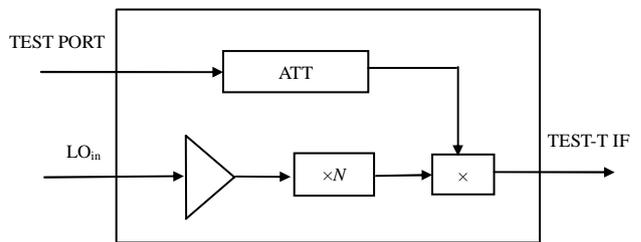


Fig.4 Block diagram of T spectrum module  
图 4 T 扩频模块的原理框图

- 1) 调节输入信号的功率，使得倍频器的效率最高；
- 2) 避免前级放大器出现增益压缩；
- 3) 最后一级放大器工作在饱和状态；
- 4) 调节可调衰减器，避免谐波混频器出现增益压缩。

$S_{11}$  的动态范围是 40 dB,  $S_{21}$  的动态范围是 60 dB。

其次，通过以下改进措施，测试改进后系统的动态范围：

- 1) 增加 RF 倍频链路的输入功率，等效于增加  $P_{max}$ ；
- 2) 中频输出端增加低噪声放大器，等效于减小混频器的变频损耗，或等效于增加  $P_{max}$ ；
- 3) 增加中频输出功率，等效于增加  $P_{max}$ ，中频分别放大 13 dB 和 33 dB。

测试数据如表 1 所示。

从测试结果来看，所有改进措施都不同程度地改善了系统的动态范围，其中在中频输出端接功率放大器这一方式更能有效地提高系统的动态范围。此外，除了在硬件上更改扩频模块的组成之外，还可以在矢量网络分析仪的软件上进行设置以提高测试系统的动态范围，例如分段扫描，减小中频带宽，多次平均，实施隔离校准等<sup>[4-6]</sup>。

### 3 结论

本文介绍了太赫兹扩频测试系统的组成和工作原理，并详细分析影响测试系统动态范围的因素，提出改进措施。从实验测试数据可以看出，无论是增加射频输入功率、中频输出功率，还是减小混频器变频损耗都可以达到提高动态范围的目的，从而满足不同器件的测试要求。

#### 参考文献：

[ 1 ] 赵康. 太赫兹技术的研究和展望[J]. 西南大学学报, 2011(s1):140-142. (ZHAO Kang. Terahertz Technology Research and Prospect[J]. Journal of Southwest University for Nationalities, Natural Science Edition, 2011(s1):140-142.)

[ 2 ] 孙志为. 矢量网络分析仪扩频技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2010. (SUN Zhiwei. Research on Vector Network Analyzer Spectrum[D]. Chengdu:University of Electronic Science and Technology, 2010.)

[ 3 ] David M Pozar. 微波工程[M]. 3 版. 张肇仪,周乐柱,吴德明,译. 北京:电子工业出版社, 2009. (David M Pozar. Microwave Engineering[M]. 3rd ed. Translated by ZHANG Zhaoyi,ZHOU Lezhu,WU Deming. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2009.)

[ 4 ] 宋里瑾. 接收机线性动态范围的分析与设计[J]. 科学技术与工程, 2009,9(6):1556-1559. (SONG Lijin. Analysis and Design of Linear Dynamic Range for a Receiver[J]. Science Technology and Engineering, 2009,9(6):1556-1559.)

[ 5 ] 盛军. 如何扩大矢量网络分析仪的动态范围[J]. 计量与测试技术, 2001(5):25-26. (SHENG Jun. How to Enlarge Dynamic Range of Vector Network Analyzer[J]. Calculation and Measurement Technology, 2001(5):25-26.)

[ 6 ] Agilent Technologies. Getting the Greatest Dynamic Range from Your Vector Network Analyzer[Z]. 2004.

#### 作者简介：



姜丽菲(1983-), 女, 辽宁省抚顺市人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为毫米波器件、电路的研制与测试、准光学馈电网络等.email: jianglf2006@126.com.

黄理勇(1980-), 男, 福州市人, 高级工程师, 主要研究方向为毫米波设计等.

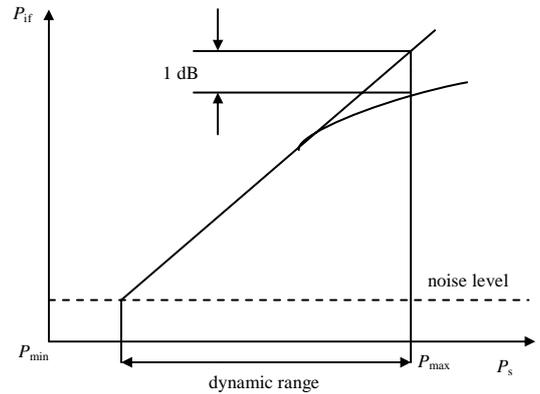


Fig.5 Definition of dynamic range  
图 5 动态范围定义

表 1 测试系统动态范围测试结果

test state	dynamic range of $S_{21}$ /dB	dynamic range of $S_{21}$ /dB
original state	60	40
improvement state a	65	50
improvement state b	65	45
improvement state c	65	45
	80	50

王瀚卿(1986-), 男, 江苏省滨海市人, 工程师, 主要研究方向为毫米波器件与电路的研制.

李海松(1973-), 男, 上海市人, 研究员, 主要研究方向为微波仪表的计量、检测等.

苏兴华(1964-), 男, 安徽省芜湖市人, 研究员, 主要研究方向为毫米波器件与电路的研制.