

# 射频微波网络非线性测量技术探讨

郑欣超

(中国电子科技集团公司第十三研究所, 河北 石家庄 050051)

**摘要** 射频通讯微波网络系统非线性测量是一项系统性的工作, 具体操作时要处理多方面的问题。基于 S 参数的小功率信号分析理论的完善使得射频通讯网络微波电子产业发生深刻变化, 大部分工程师在工程设计分析时依靠线性测量框架理论。但在超宽带、低功率连续使用下会出现器件超过线性区域的非线性工作区域的情况。本文以满足 S 参数大信号功率网络分析技术为研究对象, 介绍关于满足以及超越 S 参数大信号功率网络分析技术, 探讨放大器频谱寄生理论与技术应用, 希望能对提高微波工程研究人员对微波非线性测量技术的重视度有所帮助。

**关键词** 射频微波网络 非线性测量 网络技术

中图分类号: TN925

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)04-0004-03

随着理论的逐渐成熟, 射频通讯网络微波半导体电子产业发生了巨大变革。对于 S 参数理论的研究被认为是解决射频问题的万能钥匙, 但基于线性理论的许多技术仅仅满足于线性半导体器件的测量, 对非线性问题处理比较随意。但低功率、超宽带的应用场景把半导体器件的工作区域推导到超出线性区域从而进入非线性工作区域。非线性工程设计出现的问题, 设计师往往仅留下仿真结果或 1db 压缩类的少许参数。小功率信号分析与测量数据难以描述半导体器件的通用特性。高科技半导体技术市场的需求加速微波通信产品的更新, 超越 S 参数射频微波网络非线性分析理论成为信息电子系统领域新的研究热点。

## 1 射频网络非线性测量技术简介

数字通信中信号标识通过数字得以实现, 人们在通信中收发信号通过数字的形式展现, 射频脉冲是通过射频信号使用某种调制开关进行控制来得以实现, 射频脉冲信号具有独特的优势, 体现在经过检测后传递的信号信息出现变化, 通过波峰因子形式展现。波峰因子会影响信息通信 bit 数值指标, 使射频器件出现非线性工作状态。脉冲射频信号包络是调制多次谐波时间轴维度以及时间变量的函数。

通常被测实验件与测试装置连接, 测试装置常用于区分各端口反射波与入射波, 将接收信号经处理加工后发送至谐波电路测试位置。测试装置根据需要使用偏置接头连接实验件, 为解决操作中的问题会在测试装置中添加简化版本切换功能, 为节省资源, 在测试装置中插入谐波电路, 操作中系统加入幅度, 校准时需要关注绝对量<sup>[1]</sup>。

随着大功率信号射频通讯微波半导体器件的推广应用, 传统基于小功率信号 S 参数线性分析理论系统无法支持大功率信号超宽带等射频通信微波半导体电子产品的加速研发, 基于矢量网络分析测量的参数化非线性建模仿真技术应运而生。

LSAN 是基于射频通讯数据采样下频率变换技术的大功率信号非线性网络分析系统, 是目前发展较为成熟的非线性矢量网络测量方案。

未来研究需要完善非线性网络动态 X 参数设计模型方法, 基于 NVNA 的基带数字通讯信息硬件平台实现方案需要得到关注。非线性网络动态 X 参数设计模型方法理论的完善是 X 参数理论的研究重点。国内外完成终端网络匹配负载下动态 X 参数模型方法记忆内核的提取, 对不同电平下 X 参数设计模型的测量数据方法确定有待研究。

## 2 线性与非线性测量的区别

研究用简单稳态线性系统与非系统 NL 比较, 系统采用单频信号  $\alpha(t)=A\cos(\omega_0t)$  激励,  $b(t)=L[A\cos(\omega_0t)]=S_{11}A\cos(\omega_0t)$ 。相对值  $b(t)|\alpha(t)=S_{11}$ , 信息数据可确定 L 对任意信号激励频率的响应。史密斯圆图能对线性网络系统进行完整的描述。 $b(t)=NL[A\cos(\omega_0t)]=[S_{11}A\cos(\omega_0t)]+S_{NL}\{A\cos(\omega_0t)\}^3$ 。NL 与 L 相比影响输出频谱, 基波频率出现于功率信号幅度有关偏移量  $0.75S_{NL}A^3$  (如图 1)。

要辨识 NL 出现的频率成分, 必须深刻理解能量转换频率的机理, 线性系统可以解决模型化问题, 但射频通讯网络系统线性化分析与大功率信号非线性化分析在许多关键理论概念上存在差异。入射波与出射波相对值的线性关系可表征为系统特征, 测量则需要测

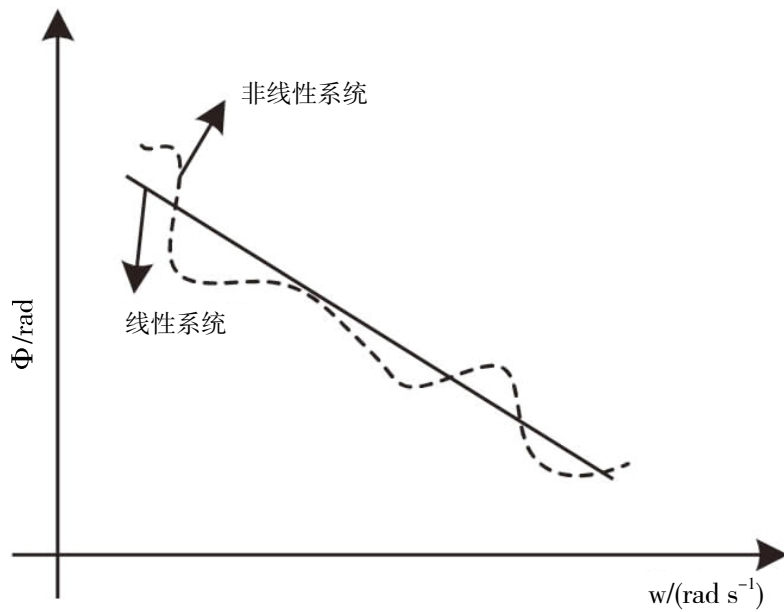


图 1 线性系统与非线性系统的区别

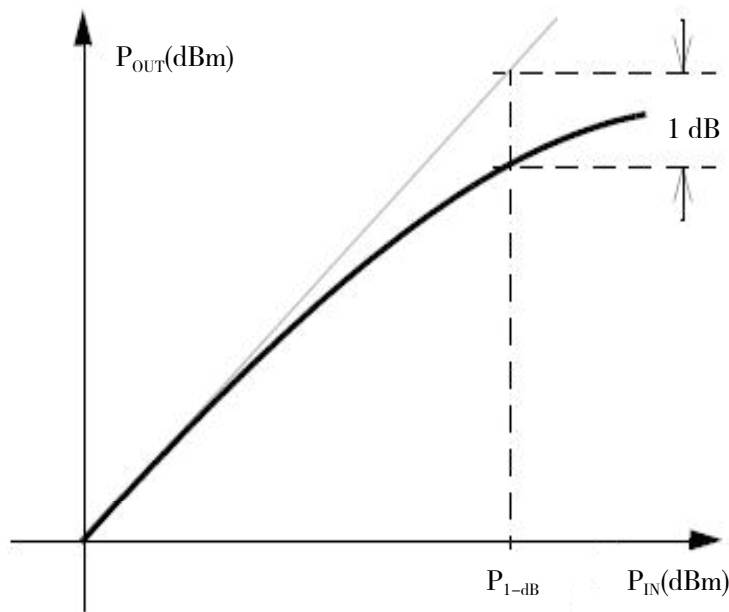


图 2 非线性系统特性

量波形的比值，传统矢量网络分析仪为测量相对量设计制造，线性化网络系统重叠原理使人们重构网络系统对任意输入功率信号的响应，在不同频率测量半导体器件对单一正弦波响应仪器可完整表征射频通讯线性网络系统<sup>[2]</sup>。射频通讯非线性网络系统测量要求获取入射微波信号与反射微波信号之间的信息。在纯单个频率响应激励下，非线性 DUT 输出波包含不同频点

质量，功率激励信号在时间域中形状由各频率谱线的幅度决定，所以需重视在射频通讯非线性网络系统分析中激励信号频率谱线的相位影响（如图 2）。

### 3 射频功率放大器频谱增生理理论分析

近年来，相关人员在波士顿举办专题研讨会，对射频网络面临的挑战进行研讨。原 HP 公司电子测量事业部设在布鲁塞尔大学网络测量分布，近年来从事射

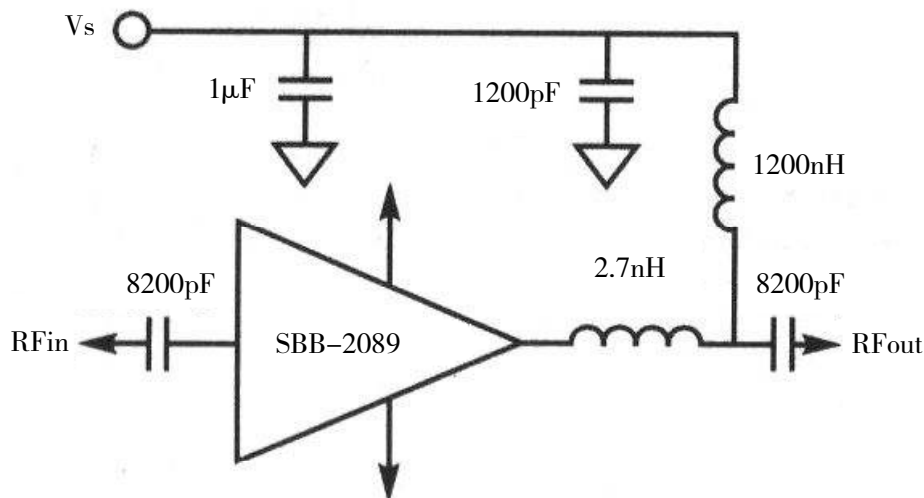


图3 射频功率放大器原理

频通讯微波网络大功率信号非线性网络的测量技术研究取得了显著成果<sup>[3]</sup>。

受现代无线微波网络射频通信技术复杂调试测试方法的影响,射频微波网络大信号非线性测量技术在微波通讯非线性网络半导体器件加工制作中得到了广泛的应用,很多测量方式被应用于表达微波网络非线性半导体器件的特征。

大功率信号微波通讯射频网络分析技术应用能够获取许多重要的信息,强调将射频通讯微波网络技术放在真实电气应用环境中分析,并通过测量方案与射频通讯网络非线性仿真建模组成。射频通讯网络功放器件的频谱响应增生理论包括双频音测试、包络域与功率放大器非线性测试。射频通讯微波网络在大功率信号下半导体电子器件工作在非线性状态,射频信号包络变化由半导体电子器件的非线性特点决定,研究射频调制信号包络能推断半导体电子器件的非线性工作特点(如图3)。

射频通讯网络微波功率放大器是射频通讯微波网络的重要组成部分,功放器件的仿真模型的建模方式包含幂函数分析方式,如出现数据信息失真线性,可以应用幂函数模型表征输入激励的输出情况。集中饱和状态,基础谐波发生波动,谐波距离信号射频较远容易被干扰,需使用滤波器降低干扰信号。先对射频微波网络系统仿真分析,选择网络域方式处理软件系统,开展双频谱测试,使用ADS2009平台,拥有反馈场放大器,通过对射频网络输出信号的频谱仿真模型结果分析,发现载波周围出现三阶交调失真现象<sup>[4]</sup>,

平台二次谐波能量快速增加,波形展示内容与设计存在偏差,可通过调制时间域函数比率与人为的形式来削减幅度偏差。

#### 4 结语

综上所述,使用调制解调方式在现代射频通信微波领域应用难度较大。非线性网络测量技术比较复杂,表现为用非线性网络系统的仪器设备需同时进行多频谱矢量网络测量分析,且大功率信号射频网络网络分析技术把射频微波网络放在真实工作状态下,脉冲调制微波连续射频信号激励的非线性矢量网络分析系统是射频通讯微波测量技术的突破。通过对双频谱信号激励工作特点的定量分析,为射频通讯非线性网络测量技术研究提供了基础。

#### 参考文献:

- [1] 方瑾. 射频微波网络非线性测量理论与技术分析[J]. 科技创新与应用, 2020(15):158-159.
- [2] 陈义平. 射频网络非线性失真分析与仿真研究[D]. 哈尔滨工程大学, 2008.
- [3] 丁小舰. 调制信号激励下射频网络非线性的分析和仿真研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2006.
- [4] 同[1].