

微波矢量网络分析仪的内置信号源设计

吕朋尧

(中国电子科技集团公司第41研究所, 山东 青岛 266555)

[摘要] 本文给出了一种采用宽带倍频放大技术, 设计多级自动稳幅环路协调工作, 并通过系统锁相实现的微波矢量网络分析仪的内置信号源方案。

[关键词] 二倍频; 全波整流; 锁相; 多级稳幅

[中图分类号] TM931

[文献标识码] A

[文章编号] 1009-5489(2007)08-0235-01

1. 引言

近年来, 一体化矢量网络分析仪的研究发展迅速, 模块化和系列化成为一种趋势, 对内置信号源的性能指标要求也越来越高。如何设计高性能、应用广泛、扩频便捷的矢量网络分析仪内置信号源就显得尤为重要。

2. 概述

矢量网络分析仪内置信号源设计方案的选择主要考虑整机的性能指标要求, 并充分考虑成本控制, 输出频率和功率的准确度和稳定性是分析仪进行高精度测量的必要保证。本文给出的信号源采用宽带倍频放大方案, 设计多级自动稳幅环路协调工作实现功率稳幅, 并通过整机锁相保证输出频率的准确性。信号源输出频率上限覆盖 40GHz, 精度高、稳定性好且扩频便捷适于产品化。

3. 多级倍频设计

由于信号源设计频率上限为 40GHz, 因此采用宽带倍频和多级稳幅设计方案。倍频是获得微波信号的一种有效方法, 它的优点在于独立性、灵活性和低成本, 这些对于仪器的系列化和可生产性都是非常重要的。本设计采用的是共面波导/槽线/微带结构实现二倍频方案, 其工作原理是利用二极管对进行全波整流, 如图 1 所示。

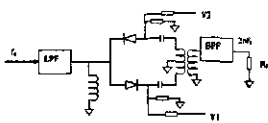


图 1 二倍频器原理

倍频器由跨接于共面波导上的架式引线二极管对组成, 输入信号通过共面波导推动倍频二极管, 倍频信号在槽线中传播。由低通滤波器抑制输入信号谐波并提供输入阻抗匹配, 带通滤波器滤除输出信号中的基波分量并提供输出阻抗匹配。在输入信号的半个周期, 当共面波导中心导体相对于地为高电势时二极管 V1 导通, 上方相对于下方就有正电荷存在, 在输出槽线中就存在电势; 在另半个周期, 共面波导中心导体相对于地为低电势时, 二极管 V2 导通, 下方相对于上方就有负电荷存在, 输出槽线中就有同在上半个周期相同的电势存在。这样槽线中就存在由输入信号的全波整流信号。信号经过全波整流波形发生变化, 输出信号仅包含偶次谐波, 其傅立叶级数展开为:

$$f(t) = a_0/2 + a_2 \sin(2t) + a_4 \sin(4t) + a_6 \sin(6t) + \dots$$

利用开关滤波网络选取出二次谐波信号, 即实现了二次倍频。通过合理的设置频段划分和优化带通滤波器设计, 可以获得很好的谐波抑制。

倍频器有一定的推动功率门限, 推动功率太小则倍频管不能完全导通导致变频损耗较大。随着输入功率增大, 变频损耗变小, 直至倍频管导通电流饱和。

信号源的设计包括振荡器、10GHz 源模块和两级倍频放大模块等单元, 每个单元都有自己的稳幅环路。振荡器采用的是 3 ~ 10GHz 的 YIG 振荡器 (YTO), 它是用微波晶体管作振荡源, YIG 小球作调谐元件的固态微波信号部件, 具有调谐范围宽、调谐线性好、相位噪声低等优点。10GHz 源模块输出分成高低频段, 高频段信号直接由 YTO 输出, 低频段信号则是由 YTO 和一个 3.8GHz 固定频率振荡器通过混频产生。通过开关将两段信号连接起来, 得到连续的输出信号。10GHz 源模块输出经过后级模块的两次二倍频和放大, 得到全波段输出信号。

4. 自动稳幅环路设计

作为高精度测试的激励源, 功率稳幅设计是必需的。自动稳幅环路的

基本单元有放大调制、检波、对数放大 (线性放大) 和比较电路等, 设计框图如图 2 所示。前级输出信号被送入源模块, 源模块的输出经功分, 按一定比例提取输出功率电平, 经检波器转化成对应的直流电压信号 (检波信号), 送回 ALC 环电路。经过线性放大, 双斜率对数放大的检波电压与检波参考信号进行比较, 误差输出信号驱动功率调制器改变衰减量, 从而调整源模块输出功率, 直至误差输出为 0V, 环路达到稳定状态, 则源模块输出稳定于设置功率。这样, 源模块将始终跟踪设置功率, 输出信号实现自动稳幅。

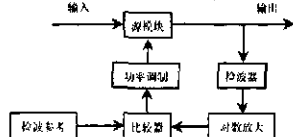


图 2 自动稳幅环路设计框图

倍频滤波的方法会带来较多的频段划分, 这大大增加了软件控制和补偿的复杂程度。但由于信号源采用的是倍频设计方案, 每级模块都有自己的稳幅环路, 通过软件对不同频段下的各级模块输出功率进行调整, 能够实现多级稳幅环路协同工作的方案, 可以将后级稳幅环路的压力分解到前级环路, 还能够有效防止信号源模块内部功率压缩和提高谐波非谐波抑制。

各环节检波参考是由功率预调信号、温度补偿和其它补偿参数共同提供的, 这些参数将通过信号源进行功率校准得到。在功率校准过程中, 需要利用匹配良好的功分器连接所校准模块和后级模块, 以确保整机锁相稳定。功分器的插损在设置各级环路预置功率时通过计算预先去除。虽然功分器的使用会带来一定的不确定度, 但在最终输出校准后这些影响是可以去除的。利用校准得到的补偿参数, 信号源得到平坦、准确的输出功率。

5. 信号源的锁相

输出频率的准确性靠整机稳定锁相来保证, 锁相环路是一种自动相位控制电路, 能使激励源输出相位随给定信号的相位变化。利用锁相环路可以实现良好的窄带跟踪特性、调制特性和锁定时无频差。分析仪内部设计一个高精度的本振源, 整机锁相环包括本振源的小数分频环和主锁相环, 它们共用一个时钟基准。主处理器一方面通过控制小数分频环精确输出本振信号, 另一方面通过锁相电路的预调 DAC 对激励源进行预调。激励源输出信号经开关功分器分离出参考信号, 与本振信号混频得到频率较低的中频信号, 被送至锁相电路作为锁相参考。与鉴相参考信号进行鉴相后得到鉴相误差电压。该电压被转换成误差电流对 YTO 进行调频, 使其输出频率越来越接近所需频率, 并最终锁定于设置频率, 环路达到稳定状态。在扫频时, 当环路在起始频率锁定后, 小数分频环就以一定的步进进行扫描, 拖动主锁相环路跟踪小数分频环进行扫频测量, 实现激励源和本振源的同步扫频。

6. 结论

采用宽带倍频放大模块设计的微波矢量网络分析仪内置信号源, 输出频率范围覆盖实现 45MHz ~ 40GHz; 通过整机锁相, 频率准确度达到 ±1ppm; 利用多级自动稳幅环路协调工作, 端口稳幅范围达到 -10 ~ +15dBm, 功率准确度优于 ±2.5dB。信号源输出功率 +5dBm 时输出谐波抑制优于 20dBc, 非谐波抑制优于 35dBc。这种模块化的倍频信号源还可以灵活的应用于不同频段的矢量网络分析仪, 形成系列化的产品。

【参考文献】

[1] 张义芳, 冯健华. 高频电子线路, 哈尔滨工业大学出版社, 1996.8.
[2] 李长海, 吴中贤, 左振平. 现代通信测量仪器, 军事科学出版社, 1999.5.

收稿日期: 2007-07-13

作者简介: 吕朋尧, 中国电子科技集团公司第 41 研究所, 研究方向: 电测测量技术。

微波射频测试仪器使用操作培训

易迪拓培训(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>