

Ka 波段 25 W 固态功率合成放大器

谢小强, 刘 晓, 徐锐敏
(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 610000)

摘要:介绍了一种新型的毫米波波导空间固态高功率合成放大器. 该放大器中采用的波导-微带空间功率合成网络, 在毫米波段实现了幅度、相位对称的四路功率分配/合成和波导-微带过渡转换, 由此研制的毫米波高功率合成放大器, 在 29~31 GHz 范围内, 合成效率高于 80%, 输出功率大于 43.4 dBm, 并在 30~30.6 GHz 内高于 25 W.

关键词:毫米波; 功率合成; 效率

中图分类号:TN73 **文献标识码:**A

25 W solid state power combining amplifier in Ka-band

XIE Xiao-Qiang, LIU Xiao, XU Rui-Min

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: This paper presents a new waveguide-based spatial power combining amplifier at millimeter-wave frequency. In this amplifier, a waveguide-microstrip spatial power dividing/combining network is adopted. A four-way broadband low loss symmetrical power dividing/combining is achieved at millimeter-wave frequency with an easy manufacture processing and convenience of integrating solid-state high power devices. The measured output power of this amplifier is more than 43.4 dBm in 29~31 GHz, and the corresponding power combining efficiency is more than 80%. The obtained output power is more than 25 W in 30~30.6 GHz.

Key words: millimeter-wave; power combination; efficiency

PACS: 84.40. -x

引言

基于波导结构的功率合成技术,以其高效率合成特性和系统适用性强等特点,在固态毫米波高功率获取方面体现出了独特的优势. 此类研究中,在波导同一相位面上合成多路功率单元,可得到结构紧凑的功率合成电路^[1],但狭小的毫米波波导空间难以为各合成支路提供有效的热传输途径,难以实现多路固态高功率合成. 沿波导传输方向排列多路功率单元可实现更多支路的固态高功率合成^[2-3],但由于受波导纵向多个不连续性影响,这类合成技术面临着工作带宽的限制. 为此,介绍了一种新型的波导-微带多路功率分配/合成网络,在毫米波段实现了多路对称的功率分配/合成,具有宽带低损耗性能,便于集成多路固态高功率器件;由此实现的固态高功率合成放大器,在 Ka 频段实现了大于 25 W 的功率输出,合成效率高于 80%.

1 毫米波波导-微带空间功率分配/合成网络

波导-微带空间功率分配/合成网络包括两部分:波导-微带 E-面双探针耦合结构和波导多分支耦合器,见图 1. 在波导-微带 E-面双探针耦合结构中,结构、尺寸相同的微带探针由 50 Ω 微带线延伸而成,并沿中心 E-面对称插入波导. 探针电流与 TE₁₀ 模电场发生强耦合,波导空间模式与两微带探针间发生能量转换,实现了功率分配/合成和波导-微带过渡. 结构中,微带阶梯阻抗变换段用以实现探针阻抗与 50 Ω 微带线阻抗匹配;相应波导宽边尺寸增加可得到更大的微带线间距,以满足功率合成应用时各微带支路中固态高功率器件安装空间需求;且各微带支路具有独立的散热通道,便于固态高功率器件性能发挥. 波导多分支耦合器可实现低损耗 3 dB 功率分配/合成,增加分支级数可满足宽带工作需求. 网络中,波导阶梯变换用以两者匹配连接.

收稿日期:2010-08-29,修回日期:2011-04-06

基金项目:总装基金资助项目(9140A07050309DZ0233)

作者简介:谢小强(1972-),男,四川安县人,博士,副教授,主要研究领域为微波毫米波电路与系统, E-mail: xqxie@uestc.edu.cn.

Received date: 2010-08-29, revised date: 2011-04-06

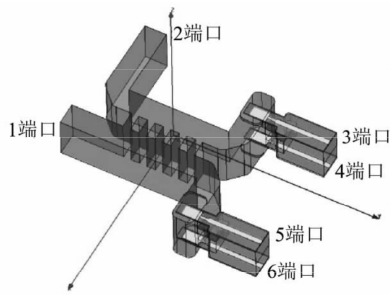


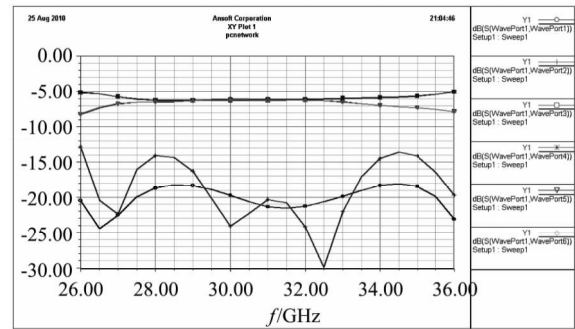
图1 波导-微带空间功率分配/合成网络
Fig.1 The waveguide-microstrip spatial power dividing/combining network

为验证以上分析,采用 Duroid5880(0.254 mm) 基片,在 Ka 频段进行设计.波导多分支耦合器选用五级,其优化设计结果可通过调整分支波导间距与尺寸得到.波导-微带双探针结构中,两面对面微带间距选取为 6 mm,可满足固态高功率器件安装需求.调整探针尺寸,探针距波导短路面距离和微带匹配段尺寸可得到优化设计结果.可采用 ANSOFT HFSS 进行电磁场仿真完成,优化设计结果,见图2.在 26~36 GHz 频段内,回波损耗 S_{11} 小于 -18 dB;在 28.5~34 GHz 频段内,隔离度 S_{21} 优于 15 dB.在 28~32 GHz 内,四路微带端口具有良好的幅度一致性;3 端口和 4 端口(或 5 端口和 6 端口)具有几乎相同的相位关系,3 端口(或 4 端口)与 5 端口(或 6 端口)间具有近乎理想的 90° 相差.

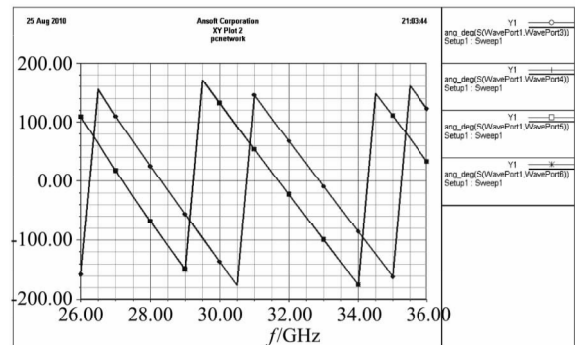
根据以上结果加工制作的一个背靠背功率分配-合成网络,如图 3 所示.网络中,波导隔离端口接匹配负载;功率分配网络与功率合成网络间嵌入的 50Ω 微带线长度约为 20 mm.对应测试结果见图 4.由图可见,在频段 29.4~31.8 GHz 范围内,回波损耗低于 -15 dB;插入损耗小于 1 dB,扣除微带线损耗(约 0.5 dB),单个波导-微带空间功率分配/合成网络损耗小于 0.25 dB.在 Ka 频段,采用波导-微带集成方式实现四路对称功率分配/合成,该网络损耗最低.

2 Ka 波段固态高功率合成

毫米波功率分配/合成网络具有低损耗对称功率分配/合成性能,便于集成固态高功率器件,可用于固态高功率合成.图 5 为采用该功率分配/合成网络实现的固态高功率合成放大器.为方便测试和系统应用,该放大器采用三级放大.第一级用以提供足够的功率增益,由中功率放大单片 AMMC5040 实现;第二级用以提供足够的驱动功率,由 TGA4509



(a)



(b)

图2 仿真结果 (a)S 参数幅度 (b)S 参数相位
Fig.2 The simulated results (a) amplitude of S-parameter (b) phase of S-parameter

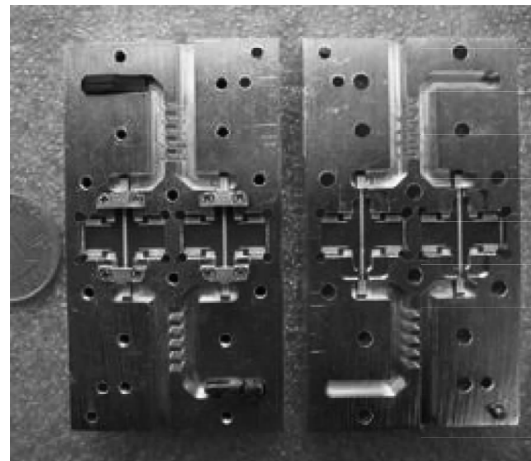


图3 背靠背波导-微带空间功率分配/合成网络
Fig.3 The back-to-back waveguide-microstrip spatial power dividing/combining network

实现;末级即为四路高功率合成放大,为保证各放大单元一致性,采用同一批次高功率功放单片 TGA4916 实现.图 6 给出了合成输出功率测试结果 P_{comb} ,单路 TGA4916 输出功率 P_{sing} (由器件手册给出)以及由此估算的合成效率 E_{comb} .可以看出,在 29~31 GHz 范围内,该功率合成放大器输出功率大于 43.4 dBm,并在 30~30.6 GHz 达到最大,

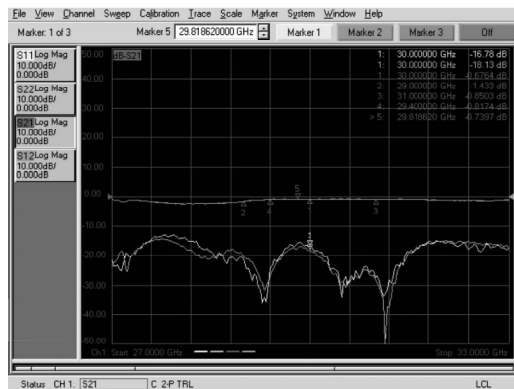


图4 背靠背网络测试结果

Fig.4 The measured result of the back-to-back network

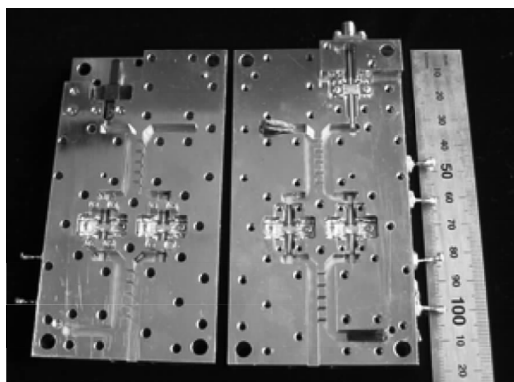


图5 毫米波固态高功率合成放大器

Fig.5 The millimeter-wave solid state high power combining amplifier

高于 44 dBm(25.1W);在 29~31 GHz 内,估算的合成效率高于 80%。

(上接 346 页)

REFERENCES

- [1] ZHAO Xia, XU Jun, XUE Liang-Jin. Ka band microstrip 4th harmonic mixer[J]. *Journal of UEST of China* (赵霞, 徐军, 薛良金. Ka 频段微带四次谐波混频器. *电子科技大学学报*), 2003, **32**(1): 14-15.
- [2] Cohn M, Degenford J E, Newman B A. Harmonic mixing with an anti-parallel diode pair[J]. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 1975, **23**(8): 667-673.
- [3] DONG Qing-Lai, Research on 3mm hybrid integrated balance mixer[D]. *University of Electronic Science and Technology* (董庆来. 三毫米混合集成平衡混频器研究, 成都: 电子科技大学), 2004.
- [4] YUAN Ye, Research on sub-harmonic mixer at W band [D]. *University of Electronic Science and Technology* (袁野. W 波段分谐波混频器研究. 电子科技大学), 2006.
- [5] XIANG Bo, HE Min-Min, WANG Zong-Xin, et al. Research on subharmonic mixer at W band in the imaging system[C]. *Antenna (NCAnt2009) Symposium of China 2009*

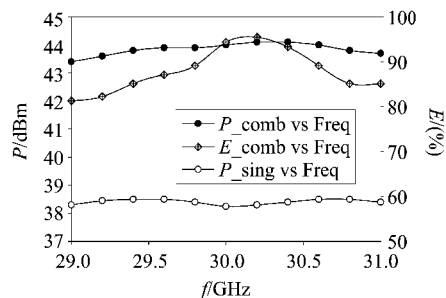


图6 输出功率与合成效率

Fig.6 The measured output power and the corresponding power combining efficiency.

3 结论

介绍了一种波导-微带高效率合成网络,在毫米波频段实现了幅度、相位对称的四路功率分配/合成和多路波导-微带过渡转换,具有宽带低损耗特点,加工制作容易,便于集成固态高功率器件.由此在 Ka 频段实现了固态高功率合成.该技术可用以满足当前毫米波系统固态高功率需求.

REFERENCES

- [1] Jeong J, Kwon Y, Deakin D S, et al. 44 GHz waveguide-based power amplifier module using double antipodal finline transitions[J]. *Electronics Letters*, 2002, **38**(3): 128-129.
- [2] Jiang X, Ortiz S C, Mortazawi A. A Ka-band power amplifier based on the traveling-wave power-dividing/combining slotted-waveguide circuit[J]. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 2004, **52**(2): 633-639.
- [3] Li L A, Hilliard B J, Shafer J R, et al. A planar compatible traveling-wave waveguide-based power divider/combiner [J]. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, 2008, **56**(8): 1889-1998.
- [4] 向博,何敏敏,王宗新,等.成像系统中 W 波段分谐波混频器的研究. **2009 年全国天线年会论文集**, 2009: 1644-1647.
- [5] JIN Long, RUAN Cheng-Li. Development of 3mm band subharmonic mixer[J]. *Journal of Microwaves* (金龙,阮成礼. 三毫米波亚谐波混频器研制. *微波学报*), 2008, **24**(1): 56-60.
- [6] Xu Y F. A low conversion loss millimeter wave fourth subharmonic mixer[C]. *In International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings*, 2008, **2**: 843-845.
- [7] Villegas F J, Stones D I, Hung H A. A novel waveguide-to-microstrip transition for low-cost millimeter-wave and MMIC applications[C]. *In IEEE-MTTs International Microwave Symposium Digest*, 1997, **2**: 739-742.
- [8] HE Min-Min, DOU Wen-Bin. Microstrip probe/waveguide transition at W band[C]. *Microwave and Millimeter-wave Symposium of China 2009 Proceedings* (何敏敏, 窦文斌. 3 毫米探针型微带/波导转换过渡. **2009 年全国微波毫米波会议论文集**), 2009, **87**: 353-356.