

文章编号: 2095-4980(2018)05-0871-04

2~4 GHz 宽带高效率功放的设计

孙洪铮, 丁 浩, 王志刚

(电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘 要: 针对宽带高效率功放的设计要求, 基于宽带匹配网络设计了一款 GaN 宽带高效率功率放大器, 其工作频率覆盖整个 S 波段。仿真结果显示, 该功放在整个 S 频段内漏极效率(DE)大于 62%, 功率附加效率(PAE)大于 57%, 增益大于 10.6 dB。实测结果表明, 该功放在整个频段内 DE 大于 54%, PAE 大于 48%, 增益大于 9 dB, 增益平坦度在 1 dB 以内, 实现了 S 波段高效率宽带功率放大器的设计。

关键词: 功率放大器; 宽带匹配网络; 氮化镓; 高效率

中图分类号: TN722.7⁺5

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201805.0871

Design of a broadband high-efficiency power amplifier working in 2–4 GHz

SUN Hongzheng, DING Hao, WANG Zhigang

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: A GaN broadband high efficiency power amplifier is designed based on the broadband matching network for the requirements of the broadband high efficiency power amplifier, covering the entire S band. Simulation results show that the Drain Efficiency(DE) is better than 62%, the Power Added Efficiency(PAE) is better than 57% and the gain is more than 10.6 dB. And the test results show that the DE is better than 54%, the PAE is better than 48% and the gain is more than 9 dB, the flatness of the gain is less than 1 dB, achieving the design of the broadband high-efficiency power amplifier.

Keywords: power amplifier; broadband matching network; GaN; high efficiency

功率放大器作为雷达和无线通信电子系统最重要的组成部分,其性能指标直接影响整个无线收发系统的性能和特性^[1-3]。随着雷达和通信系统的发展,功率放大器正朝着高效率、高功率、宽频段和线性化的方向不断发展。对于高效率宽带功率放大器,人们做了诸多研究^[4-6],取得了大量成果。第三代半导体材料 GaN HEMT 具有功率密度大、击穿电压高、电子饱和漂移速度高等特点,非常适合应用在高效率电子器件中。

本文采用更高阶的宽带低通匹配电路,拓宽了高效率功放的带宽。采用国产 GaN HEMT 管芯,利用 ADS 软件做了电磁仿真,并对此进行了加工验证,得到了很好的结果,实现了跨整个 S 波段的宽带高效率功放设计。

1 电路理论分析

1.1 E 类功放分析

开关类功放和谐波控制类功放均工作在过饱和状态,因此需要对其进行谐波抑制。E 类功放的结构如图 1 所示,由于特殊的负载网络结构,功放管的漏极电压与电流波形相互交错,没有交叠,从而实现 100%的工作效率。

传统的 E 类功放由于匹配网络的频率响应限制,无法实现宽频的应用。其负载公式可由式(1)、式(2)表示:

$$Z_{E,f_0} = \frac{0.28}{\omega C_p} e^{49^\circ} \quad (1)$$

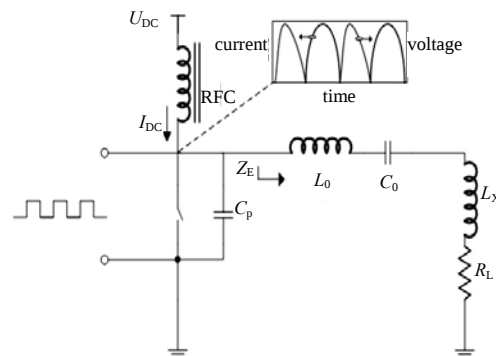


Fig.1 Class-E amplifier structure
图 1 E 类功放结构图

$$Z_{E,nf_0} = \infty, n \geq 2 \quad (2)$$

式中: C_p 为漏源电容; f_0 为工作频率; ω 为角频率。

上式表明了 E 类功放的基波负载的频率响应以及对谐波阻抗的要求。由此可以看出, 实现宽带的 E 类功放, 应实现所需频段内基波阻抗的匹配, 同时, 还要满足谐波频率的开路特性。本文采用宽带滤波匹配网络来实现该性能。

1.2 宽带匹配设计

利用 ADS 仿真软件, 采用多谐波双向牵引技术^[7]宽带功放阻抗选择方法牵引出功放管芯的源阻抗及负载阻抗, 其最佳源阻抗为 $(18.7+j22)\Omega$, 负载阻抗为 $(104+j141)\Omega$ 。

采用传统的低通滤波器进行匹配, 因为带外特性的限制而不能实现最优的效果, 如果对滤波器一些不必要的性能做一些折中, 在低于最低频率的地方做一些带外衰减, 则该匹配网络可以在所需带宽内实现更小的纹波, 完成良好匹配的同时, 对谐波实现带阻。

2 电路设计与仿真

2.1 输入输出宽带匹配仿真

本文采用图 2 所示低通匹配拓扑原型进行匹配网络设计, 并进行了仿真优化, 其匹配网络 S 参数如图 3 所示, 其在通带内实现了很好的阻抗匹配, 并对谐波产生了抑制作用。

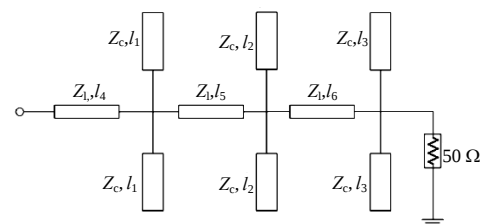
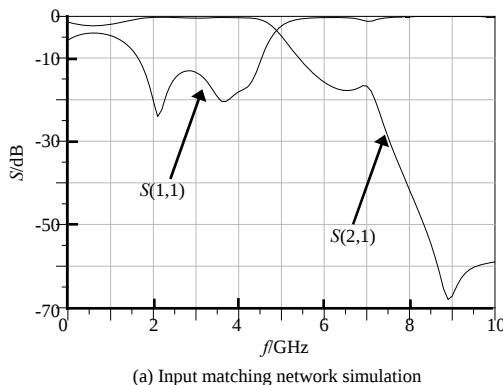
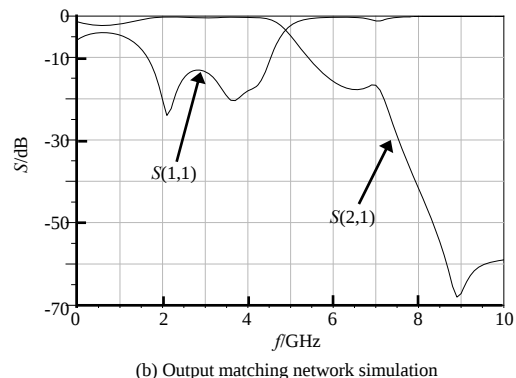


Fig.2 Low-pass filter matching network
图 2 低通匹配网络拓扑图



(a) Input matching network simulation



(b) Output matching network simulation

Fig.3 Input and output matching network simulation results
图 3 输入输出匹配网络仿真结果图

2.2 整体仿真与测试结果

将所设计的匹配网络与偏置电路以及稳定网络与晶体管模型进行整体联合仿真, 并做了一些优化, 仿真结果如图 4~图 6 所示。

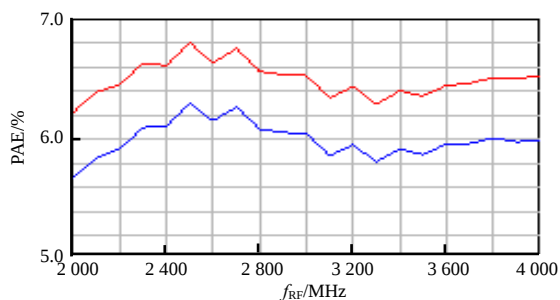


Fig.4 DE and PAE simulation results
图 4 漏级效率与功率附加效率仿真结果

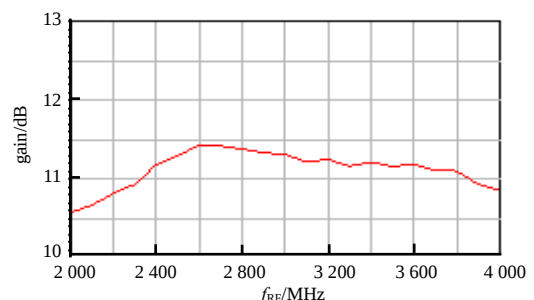


Fig.5 Gain simulation results
图 5 增益仿真结果图

仿真结果显示,该功放在整个 S 频段内漏效率 DE 大于 62%, PAE 大于 57%, 增益大于 10.6 dB, 且从漏级电压与电流波形可以看出,其交叠很少,从而实现了高效率。

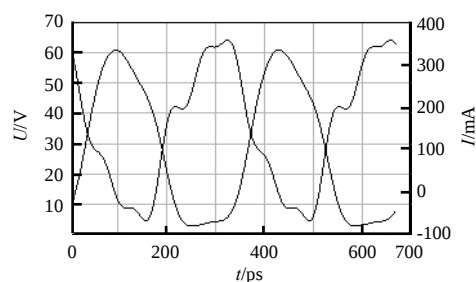


Fig.6 Waveform of the drain current and voltage
图 6 漏级电压电流仿真波形

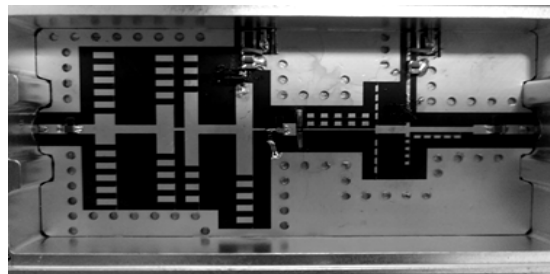


Fig.7 Power amplifier circuit
图 7 功放电路实物图

3 电路测试数据

为验证该设计方法,对该电路进行了加工测试,电路实物如图 7 所示,图 8 给出了测试方案框图。

图 9 中实测结果表明,该功放在整个 S 频段内漏效率 DE 大于 54%, PAE 大于 48%, 增益大于 9 dB, 增益平坦度在 1 dB 以内, 输出功率接近 2 W, 实现了超宽带高效率功率放大器的设计。

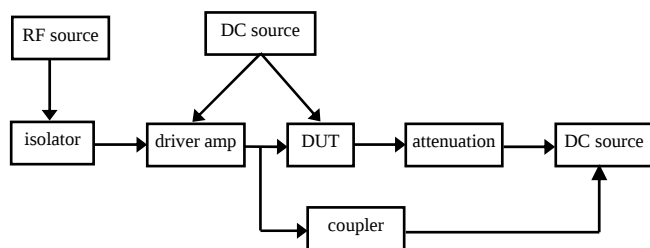


Fig.8 Circuit test diagram
图 8 电路测试图

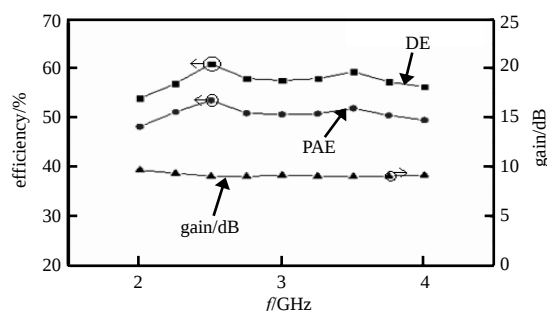


Fig.9 Circuit test result diagram
图 9 电路测试结果图

4 结论

本文采用低通滤波器形式的宽带匹配网络设计的输入输出匹配网络在实现基波的宽带阻抗匹配的同时,有效抑制了谐波,在很宽的带宽范围内满足了 E 类功放对阻抗的要求,从而得到了很好的增益与效率,实现了宽带高效率功率放大器的设计。

参考文献:

- [1] DAVIS M C, WHITTLE M V. RF power amplifiers:US5789984[P]. 1998.
- [2] COLANTONIO P, GIANNINI F, LIMITI E. High efficiency RF and microwave solid state power amplifiers[M]. New Jersey: Wiley, 2009.
- [3] SECHI F, BHJATTI M. Solid-state microwave high-power amplifiers[M]. Norwood: Artech House Inc., 2009.
- [4] SAAD P, FAGER C, CAO H, et al. Design of a highly efficient 2–4 GHz octave bandwidth GaN-HEMT power amplifier[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2010, 58(7): 1677–1685.
- [5] 曹韬, 曾荣. 基于 GaN HEMT 器件的宽带高效功率放大器[J]. 微波学报, 2012, 28(6): 76–79. (CAO Tao, ZENG Rong. Broadband efficient power amplifier based on GaN HEMT device[J]. Journal of Microwaves, 2012, 28(6): 76–79.)
- [6] 董磊, 何松柏, 雷奇. 基于带通匹配网络理论的宽带高效率功放设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2011, 9(4): 449–452. (DONG Lei, HE Songbai, LEI Qi. Design of a high-efficiency broadband power amplifier based on band-pass match network theory[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2011, 9(4): 449–452.)
- [7] 陈会, 张玉兴. 基于多谐波双向牵引技术的微波功率放大器设计[J]. 微波学报, 2008, 24(3): 57–60. (CHEN Hui, ZHANG Yuxing. Design of microwave power amplifier based on multi-harmonic bilateral-pull technology[J]. Journal of Microwaves, 2008, 24(3): 57–60.)

作者简介:



孙洪铮(1993-), 男, 山东省临沂市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为微波毫米波电路与系统.email:1181362098@qq.com.

(上接第 870 页)

- [6] 焦淑瑜,张建军. 复杂电磁环境下火控雷达试验方法研究[J]. 火控雷达技术, 2012,41(1):72-75. (JIAO Shuyu,ZHANG Jianjun. Research on fire control radar test method in complex electromagnetic environment[J]. Fire Control Radar Technology, 2012,41(1):72-75.)
- [7] GJB8848-2016 系统电磁环境效应试验方法[S]. 北京:中国人民解放军总装备部, 2016. (GJB 8848-2016 Test method for electromagnetic environment effects[S]. Beijing:General Armament Department of PLA, 2016.)
- [8] 柯宏发,杜红梅,赵继广,等. 电子装备复杂电磁环境适应性试验与评估[M]. 北京:国防工业出版社, 2015. (KE Hongfa, DU Hongmei,ZHAO Jiguang,et al. Test and evaluation on adaptability of electronic equipment to complex electromagnetic environment[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2015.)

作者简介:



符淑芹(1978-), 女, 江西省广昌市人, 硕士, 工程师, 主要从事雷达与雷达对抗仿真研究.email:30394517@qq.com.

彭 燕(1979-), 女, 河南省焦作市人, 硕士, 工程师, 主要从事雷达与雷达对抗仿真研究.

薛 原(1979-), 女, 河南省洛阳市人, 硕士, 工程师, 主要从事雷达与雷达对抗仿真研究.