

文章编号: 2095-4980(2018)05-0918-03

L 波段 GaN 自偏压功率放大器

李 飞, 钟世昌

(南京电子器件研究所, 江苏 南京 210016)

摘 要: 介绍了一款 L 波段自偏压内匹配功率放大器。器件采用 0.25 μm 工艺 GaN 高电子迁移率晶体管(HEMT)管芯, 内匹配技术对单胞管芯进行输入输出匹配, 放大器的工作频带范围为 1.2~1.4 GHz。采用自偏压技术, 单电源供电, 使电路更为简洁, 使用方便。工作电压为 28 V, 占空比为 10%, 脉宽为 300 μs , 在输入功率为 26 dBm 时, 频带内输出功率在 40 dBm 以上, 功率附加效率大于 60%, 充分显示了 GaN 功率器件在单电源模块中的性能优势。

关键词: 氮化镓(GaN); 自偏压; 内匹配

中图分类号: TN78

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201805.0918

L-band GaN self-bias power amplifier

LI Fei, ZHONG Shichang

(Nanjing Electronic Devices Institute, Nanjing Jiangsu 210016, China)

Abstract: An L-band self-bias internal matching power amplifier is proposed. The amplifier is fabricated by using 0.25 μm GaN High Electron Mobility Transistor(HEMT) chips, and internal matching techniques are utilized to perform input-output matching, and the operating frequency band of the amplifier is 1.2–1.4 GHz. Using self-bias technology, and single power supply, the circuit is more simple and easy for use. The working conditions are 28 V, 10% pulse duty ratio and 300 μs pulse width; when the input power is 26 dBm, the output power in the band is greater than 40 dBm, and the power added efficiency is more than 60%, which fully shows the performance advantages of GaN power devices in a single power supply module.

Keywords: GaN; self-bias; internal match

随着现代科技的迅速发展, 作为微波通信、雷达、电子对抗等系统的核心部件, 功率放大器正朝着小型化、高功率、高效率、简易使用的方向发展^[1]。尤其是在雷达系统中, 为了实现系统所需要的发射功率, 需要将众多芯片进行外部合成, 这样不仅导致系统体积的增大, 还使总体性能下降。氮化镓(GaN)材料的性能优势很好地满足了高功率、高效率的性能要求, 然而 GaN 功率器件工作时需要提供正负电, 同时对加电顺序还有严格要求。要保证器件的正常工作, 一般要配有加电顺序的保护电源, 这就增加了系统的复杂度和体积。自偏压技术可以很好地解决这个问题^[2-4], 然而已报道的研究基本都是砷化镓自偏压功率放大器, 输出功率在 3 W 左右, 很难实现大功率输出。本文首次提出的基于 GaN HEMT 的自偏压功率放大器具有输出功率大、效率高的优点, 弥补了砷化镓自偏压放大器的缺陷。

1 GaN 自偏压功率放大器的设计与实现

1.1 自偏压技术

当功率管或功率模块只有一个电源可用时, 自偏压技术是非常有效的, 如图 1 所示, 偏置电压的持续工作, 避免了双电源方案中的加电顺序。自偏压电路的另一个优点是源极电阻给器件提供了瞬态保护。

在自偏压技术中, 漏极电流的增加或减少都会自动调整栅极电压, 从而使器件电流保持不变。在电阻 R_s 两端跨接一个旁路电容 C , 电容 C 的选择应使在最低工作频率 f 处, $1/\omega C \leq 0.1R_s$ 且 $1/\omega C < 3 \Omega$, 其中 $\omega = 2\pi f$, 实现低阻抗, 从而使源极负反馈的影响达到最小。

电阻值由栅极电压和漏极电流得出:

$$R_s = -U_{gs} / I_{ds} \quad (1)$$

式中 U_{gs} 为负值,它是非自偏压功率放大器的栅极工作电压,本文提出的自偏压功率放大器结构不需要再加栅极工作电压。

自偏压电路由于电阻 R_s 的存在,损耗变大,输出功率和效率相对于双偏置 GaN 功率放大器会有所下降,在满足性能指标的情况下,自偏压电路是一个很好的选择。

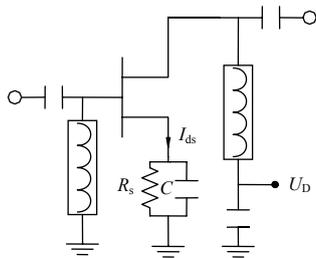


Fig.1 Simplified self-bias structure
图 1 简化的自偏置结构

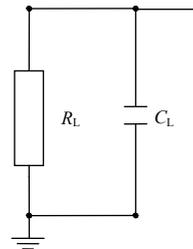


Fig.2 Simplified GaN HEMT output impedance model
图 2 简化的 GaN HEMT 输出阻抗电路模型

1.2 GaN 器件的输出阻抗模型

目前, GaN 器件的功率密度达到了 4~5 W/mm, 远超 0.5 W/mm 输出功率的 GaAs 功率器件^[5-7], 所以, GaN 功率器件对热效应比较敏感。为了获取 GaN 器件的最优阻抗值, 通常采取考虑热效应的负载牵引测试方法。

通过对单胞 0.4 mm GaN 管芯进行负载牵引测量, 得到单胞管芯的输出阻抗, 然后按比例推出大栅宽 GaN 管芯的输出阻抗, 以此对管芯进行输出匹配设计。图 2 为简化的 GaN HEMT 输出阻抗电路模型, 主要是确定漏源电阻和漏源电容。为了最佳功率和最佳效率的折中选取, 最终得出 1 mm 栅宽的 GaN 管芯等效输出电阻为 85 Ω, 等效输出电容为 0.5 pF。

1.3 GaN 内匹配电路的设计与实现

考虑到自偏压放大器中, 漏极电流变化明显, 并联电阻 R_s 的引入使得输出功率和功率附加效率(Power Added Efficiency, PAE)下降, 这里采用最佳效率阻抗进行输出电路匹配, 用一个 RC 并联电路等效管芯的输出阻抗, 其中 R 和 C 的值可以通过 GaN 器件模型的提取获得。

针对南京电子器件研究所已经研制出的 GaN 功率管芯片, 为实现输出功率大于 10 W, 决定选取 2.4 mm 栅宽功率管芯进行匹配。输入输出匹配电路传输线制作在介电常数 9.6、厚度 380 μm 的陶瓷基片上, 输入输出匹配电容为介电常数 85、厚度 180 μm 的陶瓷电容, 整个自偏压功率放大器原理图如图 3 所示。匹配电路中电容电感间的互联通过高 Q 值的金丝实现。其中, 源极并联电容是专门为自偏压电路开发研制的一种高效的 MOM(Metal Oxide Metal)电容, 该电容不但具有良好的微波性能, 还有很好的散热性能, 确保功率模块的散热, 实现场效应功率管自偏压。由于输出功率比较大, 研制的 MOM 电容容值有限, 为了功率模块的稳定性, 在功率管芯两端再各并联一个 1 000 pF 的高介电常数 MOS(Metal Oxide Semiconductor)电容。源极并联电阻通过制作在介电常数 9.6、厚度 380 μm 的陶瓷基片上的 TaN 电阻实现, 电阻每方 25 Ω, 这样提高了匹配电路的集成度, 减小了匹配电路体积, 有利于小型化设计。

图 4 为设计的自偏压功率放大器的正面装配图, 中间为 2.4 mm GaN 功率管芯, 管芯左侧为输入匹配电路, 管芯右侧为输出匹配电路, 电路采用常用的气密性金属封装, 封装尺寸为 17.4 mm×24 mm。

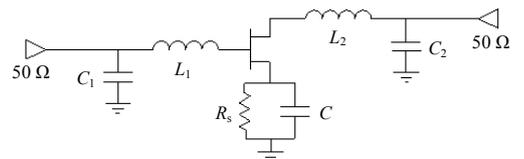


Fig.3 Schematic of the developed self-bias amplifier
图 3 自偏压放大器原理图

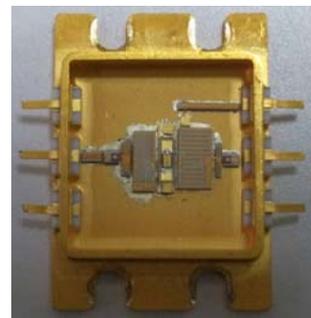


Fig.4 Photography of the developed self-bias amplifier
图 4 自偏压放大器照片

2 自偏压功率放大器的测试结果

图5和图6为GaN自偏压功率放大器的测试结果^[8],测试条件为:脉宽300 μs,占空比10%,漏极电压28 V,输入功率26 dBm,在1.2~1.4 GHz带内输出功率大于10 W,PAE在60%以上,最高点达到65%,增益大于14 dB。研制结果充分显示了GaN HEMT用于自偏压功率放大器设计的性能优势。

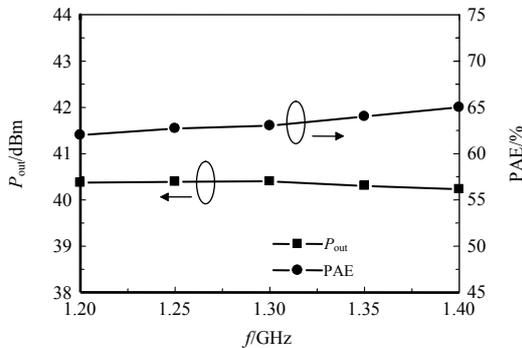


Fig.5 Measured P_{out} and PAE vs. frequency
图5 输出功率、附加效率与频率相应特性

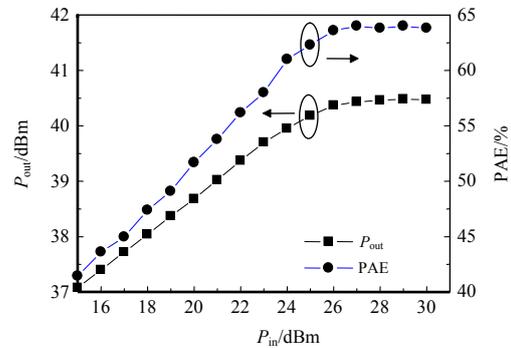


Fig.6 Measured P_{out} and PAE vs. P_{in}
图6 输出功率、附加效率与输入功率相应特性

3 结论

研制了L波段GaN自偏压功率放大器,整个放大器集成在17.4 mm×24 mm的气密性金属封装管壳内,在频带范围内,输出功率大于10 W,功率附加效率在60%以上,且采用单电源供电,增强了放大器的易用性。

参考文献:

- [1] BAHL I J. Fundamentals of RF and microwave transistor amplifier[M]. New York:John Wiley & Sons Ltd., 2008.
- [2] YANG Z,YANG T,LIU Y. A Ka-band four-stage self-biased monolithic low noise amplifier[J]. Journal of Infrared Millimeter & Terahertz Waves, 2009,30(5):417-422.
- [3] 王闯,钱蓉,孙晓玮,等. 高增益自偏压 S 波段 MMIC 低噪声放大器[J]. 半导体学报, 2005,26(4):786-789. (WANG Chuang,QIAN Rong,SHUN Xiaowei,et al. High gain self-bias S-band MMIC low noise amplifier[J]. Journal of Semiconductors, 2005,26(4):786-789.)
- [4] 林川,杨斌,苑小林,等. 一种基于 Lange 耦合器的 S 波段小型化集成功放[J]. 固体电子学研究与进展, 2012,32(6):565-568. (LIN Chuan,YANG Bin,YUAN Xiaolin,et al. An S-band miniaturized integrated amplifier based on Lange coupler[J]. Research & Progress of Solid State Electronics, 2012,32(6):565-568.)
- [5] ZHONG S,CHEN T,LIN G,et al. 8-Watt internally matched GaAs power amplifier at 16-16.5 GHz[C]// 8th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology Proceedings. Shanghai,China:IEEE, 2007:887-889.
- [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] 钟世昌,陈堂胜,钱峰,等. Ku 波段 60 W AlGaIn/GaN 功率管[J]. 固体电子学研究与进展, 2014,34(4):350-353. (ZHONG Shichang,CHEN Tangsheng,QIAN Feng,et al. Ku-band 60 W AlGaIn/GaN internally matched power HEMT[J]. Research & Progress of Solid State Electronics, 2014,34(4):350-353.)
- [8] 刘杰,张健,蒋均,等. D 波段功率放大器设计[J]. 强激光与粒子束, 2016,28(2):88-91. (LIU Jie,ZHANG Jian,JIANG Jun,et al. Design of D-band power amplifier[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2016,28(2):88-91.)

作者简介:



李飞(1987-),男,河南省周口市人,硕士,主要研究方向为微波功率放大器设计.email: flynust@163.com.

钟世昌(1979-),男,福建省汀州市人,研究员级高级工程师,主要研究方向为半导体微波功率器件设计。