

GaAs HBT 4.4-4.8GHz 1-Stage differential power amplifier 설계

선은정*, 김정현

*한양대학교 전자공학과

*alal8000@hanyang.ac.kr, junhkim@hanyang.ac.kr

GaAs HBT 4.4-4.8GHz 1-Stage differential power amplifier design

Seon Eun Jung*, Kim Jung Hyun

*Department of Electrical and Electronic Engineering Hanyang Univ.

요약

본 논문은 6G 이동통신에서 요구되는 고용량·고효율 RF 프런트엔드 구현을 위해 4.4 - 4.8 GHz 중대역을 타겟으로 GaAs HBT 기반 1-stage differential 전력증폭기를 설계하고 MMIC 및 multilayer PCB로 구현하여 성능을 검증한다. load-pull을 통해 목표 부하 임피던스를 설정하고, transformer·balun 기반의 differential 전력 결합과 출력 매칭 및 바이어스 구조를 반영하여 회로를 최적화하였다. 측정 결과, 4.4/4.6/4.8 GHz에서 포화 출력 전력은 약 32/31/28 dBm, 피크 PAE는 약 27/20/15%로 확인되었으며, small signal 특성에서는 타겟 대역에서 S21이 약 9 - 11 dB 수준을 나타냈다.

I. 서론

6G 이동통신은 초고용량·초저지연·초연결을 넘어, AI-native 네트워크, 통신 - 센싱 융합(ISAC), 그리고 에너지 효율 중심의 지속가능한 인프라를 핵심 방향으로 삼고 있다. 이러한 요구를 동시에 만족시키기 위해서는 단순히 더 높은 주파수로의 확장만이 아니라, 커버리지와 용량의 균형을 제공하는 중대역(Mid-band) 및 상위 중대역(Upper Mid-band) 스펙트럼의 재정의와 이를 뒷받침하는 RF 프런트엔드 기술 고도화가 필수적이다. 특히 4 - 8 GHz 인근의 중대역은 기존 sub-6 GHz 대비 더 넓은 가용 대역폭을 제공하면서도 전파 도달거리 및 링크 예산 측면에서 mmWave 대비 유리하여, 차세대 이동통신의 상용화를 위한 현실적 후보로 지속적으로 논의되고 있다. 이와 함께 differential 구조는 공통모드 잡음·기생 결합에 대한 내성을 높이고, 이상적으로는 짝수차 왜곡 성분의 상쇄를 통해 선형성 관점에서도 구조적 이점을 제공한다. 또한 transformer/balun 기반의 differential 결합은 집적형 구현에서 저손실 전력 결합 및 임피던스 변환 측면에서 유용하다[1]-[2]. 본 논문에서는 4.4 - 4.8 GHz 대역을 대상으로 GaAs HBT 기반 1-stage differential power amplifier(PA)를 설계·구현하고, 대역 내에서의 이득, 출력전력 및 효율을 종합적으로 검증한다.

II. 본론

Fig. 1은 1-stage differential PA의 MMIC와 multilayer PCB를 보여준다. Output matching network(OMN)에서 최대 1dB의 손실이 발생한다고 가정할 때, 메인 트랜지스터가 35dBm의 목표 포화 출력 전력을 달성하는 데 필요한 유닛 cell의 수는 loadpull을 통해 결정하였다. PA 출력에서 2차 harmonic 성분을 억제하고 크기와 손실을 증가시키는 quarter-wave length bias choke 또는 기타 긴 bias feed line의 필요성을 없애기 위해 온칩 트랜스포머 기반 출력 매칭을 채택하였다. OMN transformer의 primary capacitance는 die 내부에 구현되어 기생 효과가 감소하고, layout 시 정밀한 tuning을 위해 그 값을 미세하게 조절하였다.

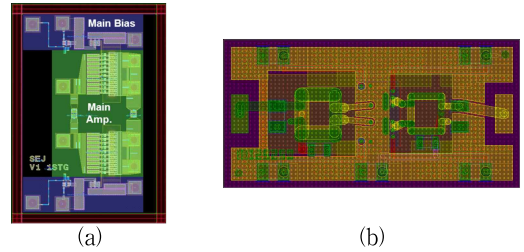


Fig.1. 1-stage differential PA layout

(a) MMIC (b) Multilayer PCB

III. 결론

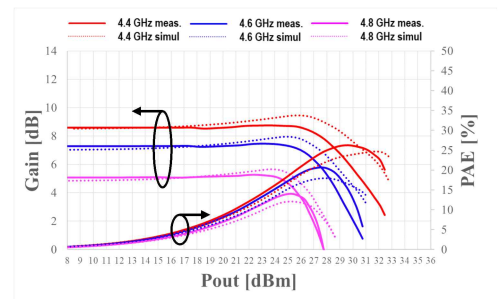


Fig.2. 1STG differential PA large signal measure(실선), simulation 결과(점선)

Fig. 2는 제안한 fully differential GaAs HBT 전력증폭기의 4.4, 4.6, 4.8 GHz에서의 large signal 성능을 나타낸다. 4.4 GHz에서 이득은 저·중출력 구간에서 약 8-9 dB로 유지되며 포화 출력 전력은 약 32 dBm, PAE는 약 27%이다. 4.6 GHz에서 이득은 약 7-8 dB, 포화 출력 전력은 약 31 dBm, PAE는 약 20% 수준을 보인다. 4.8 GHz에서 이득은 약 5 dB, 포화 출력 전력은 약 28 dBm, PAE는 약 15%로 확인되며 주파수 증가에 따라

이득과 효율이 감소하는 경향을 보인다.

Fig. 3은 제안한 전력증폭기의 small signal S-파라미터 특성을 나타낸다. Fig. 3(a)는 입력 및 출력 반사계수 S_{11} 과 S_{22} 를 나타내며, 4.4, 4.6, 4.8 GHz에서 S_{22} 는 대체로 약 10 dB 수준의 반사손실을 유지하는 반면 S_{11} 은 약 5 GHz 부근의 공진 영향으로 타깃 대역에서 상대적으로 열화된 경향을 보인다. Fig. 3(b)는 전달 이득 S_{21} 을 나타내며, 4.4, 4.6, 4.8 GHz에서 소신호 이득은 대략 9 - 11 dB 수준으로 나타난다.

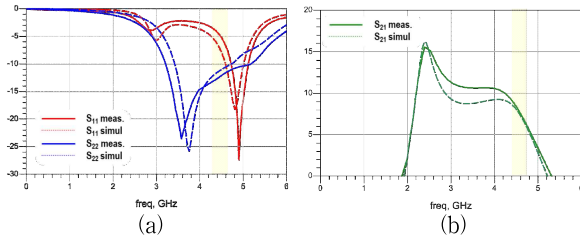


Fig.3. 1STG differential PA small signal measure(실선), simulation 결과(점선)

(a) S_{11} and S_{22} (b) S_{21}

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00358687).

참 고 문 헌

- [1] S. F. Bo, J. -H. Ou, Y. J. Peng, K. Xuan, J. -X. Xu and X. Y. Zhang, "Broadband GaAs HBT Doherty Power Amplifier for 5G NR Mobile Handset," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, TCSII.2023.3291528.
- [2] H. Shihai, J. Liang, X. Linjian, H. Meng and Y. Qian, "A High Efficiency and High Linearity GaAs HBT Doherty Power Amplifier for 5G NR 3.4V Application," 2024 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS 2024, Washington, DC, USA, 2024, pp. 370-373