

2.2W/mm²의 전력밀도를 가진 15 W Ka 대역 3 단 MMIC HPA

주인권, 장동필,
한국전자통신연구원

juinkwon@etri.re.kr

15 W Ka-band 3-Stage MMIC HPA with Power Density of 2.2W/mm²

Inkwon Ju, Dong Pil Chang
ETRI

요 약

본 논문은 15W Ka 대역 3 단 MMIC HPA에 대해 다루었다. Ka 대역 MMIC HPA을 설계하기 위해 사용된 MMIC 공정은 상용 0.15 um GaN 공정이다. HPA의 측정 결과는 27 ~ 31 GHz의 주파수 범위에서 시뮬레이션 결과와 잘 일치하며, 소신호 이득은 28 ~ 33 dB, 출력 전력은 41.8 ~ 42.2 dBm, 전력부가효율은 26 ~ 33 %를 나타내었다. 제작된 Ka 대역 MMIC HPA는 3.5 x 1.96 mm²의 면적내에 1:2.67:8의 소자 비율로 3 단 증폭기를 배치하여 24 dB의 전력 이득, 15 W 이상의 출력 전력, 26 ~ 33 %의 전력부가효율 및 2.2W/mm²의 전력 밀도를 달성하였다.

I. 서 론

Ka 대역의 주요 응용분야는 위성 통신, 5 G 인프라, 군용 및 민간용 레이더 및 지점간 무선통신 등이다. Ka 대역은 Ku 대역에 비해 넓은 대역폭을 가지고 있고 파장이 짧아 작은 안테나를 적용할 수 있어 최근 응용이 늘어가는 추세이다. Ka 대역 MMIC HPA는 이러한 응용 분야에서 고주파 신호 전송에 필수적이다. GaN MMIC 전력 증폭기(PA)는 Ka 대역에서 기존 TWTA를 대체하여 고체 전력 증폭기(SSPA)의 비용을 절감하는 데 중요한 역할을 할 수 있다. GaN 공정은 기존 GaAs 공정에 비해 전력 밀도가 높은 장점이 있지만, 공정 비용이 상대적으로 높으므로, 고출력, 고전력 밀도의 GaN MMIC HPA가 요구된다. 본 논문에서는 0.15 um GaN 공정을 이용하여 제작된 2.2W/mm²의 전력 밀도를 가진 15W Ka 대역 3 단 MMIC HPA를 제시한다.

II. 본론

MMIC HPA는 3 단 single-ended 형태로 설계하였다. 최종단에 사용된 단위 FET는 최적의 임피던스에서 최대 출력 전력 33.8 dBm, PAE 42 %로 평가되었다. 10 W 이상의 포화 전력과 20 dB 이상의 전력 이득을 얻기 위해 초단에는 단위 FET를 1 개, 중간단에는 4 개, 최종단에는 8 개를 사용하였으며 소자 비율은 1:2.67:8이다.

최종단 정합 회로의 삽입 손실은 HPA의 전체의 효율을 좌우하여 매우 중요하므로 최소한으로 설계되어야 한다. 설계된 최종단 정합 회로는 26 ~ 34 GHz 주파수 대역에서 약 1 dB의 삽입 손실을 가지도록 설계되었다. 최종단 정합 회로에 포함된 드레인 바이어스 선로의 선폭은 복층 금 선로의 최대 허용 전류 30 mA/um 와 최종단의 최대 소모 전류 2A를 고려하여 100 um로 선정되었다.

단간 정합회로도 25 ~ 32 GHz 대역에서 최소 삽입 손실을 가지도록 설계되었다. 최종단과 중간단간의 단간 정합 회로는 약 1.5 dB의 삽입 손실을, 중간단과 초단간의 단간 정합 회로는 약 2 dB의 삽입 손실로 설계되었다. 단간 정합 회로에는 게이트와 드레인 바이어스 회로도 포함되었다. 또한 높은 단위 면적당 전력 밀도를 가지도록 하기 위해 최소한의 칩 면적을 차지하도록 작은 크기로 설계되었다. 초단 정합 회로는 HPA의 반사 계수에 큰 영향을 미치므로 18 dB 이상의 반사 계수를, 삽입 손실은 1 dB 이내로 설계되었다.

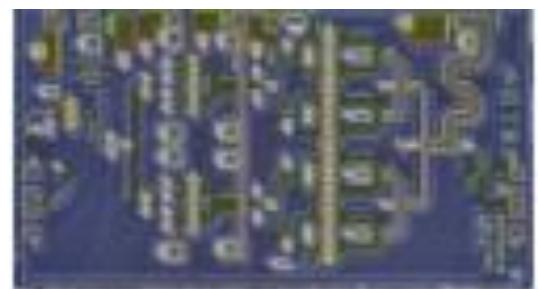


그림 1. 제작된 Ka 대역 15 W GaN MMIC HPA.

그림 1은 제작된 Ka 대역 15 W MMIC HPA의 사진이며, MMIC의 크기는 3.5x1.96 mm²이다. HPA의 측정은 Probe-Station에서 펄스 모드로 수행하였다. 펄스 주기는 1 ms이고, 펄스 폭은 30 us 이었다. 그림 2는 제작된 HPA의 소신호 S-parameter 특성을 보여준다. 측정 결과는 시뮬레이션과 잘 일치하며, 27 ~ 31 GHz 주파수 범위에서 소신호 이득은 28 ~ 33 dB를, 입력과 출력 반사 손실은 각각 8 dB, 12 dB 이상을 나타낸다. 그림 3은 주파수 26 ~ 30.5 GHz의 주파수에서 대신호 특성을 보여준다. 그림 4는 입력 18 dBm에서의 측정 결과이며, 주파수 범위 27 ~ 31 GHz에서 Pout은 41.8 ~ 42.2 dBm, 전력부가효율은 26

~ 33 %, 드레인 전압 28 V에서 전류는 약 1.8 ~ 2.1 A, 전력 이득은 약 24 dB 이다.

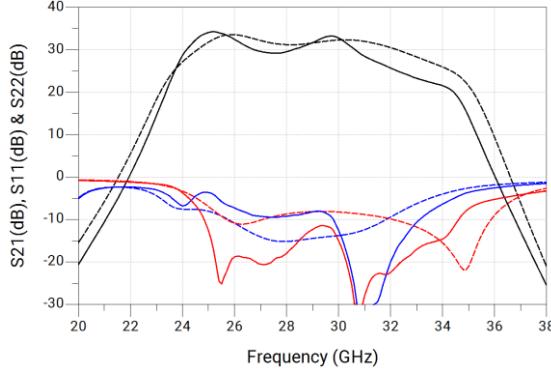


그림 2. 소신호 S-parameter 특성에 대한 시뮬레이션과 측정 결과 (점선: 시뮬레이션, 실선: 측정, 흑색: S21, 청색: S11, 적색: S22)

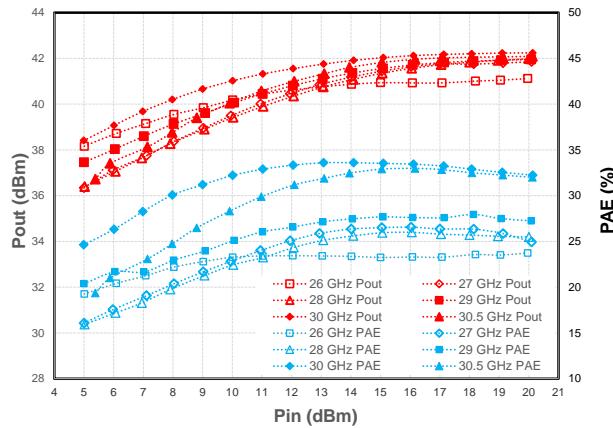


그림 3. 입력 전력에 따른 Pout (적색) 및 PAE (청색) 대한 측정 결과.

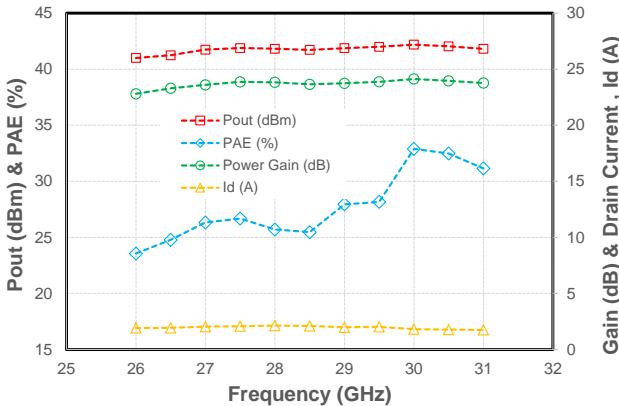


그림 4. 입력 18 dBm에서의 Pout, PAE, Drain Current 및 Power Gain에 대한 측정 결과.

III. 결론

상용 0.15 um GaN 공정을 이용해 Ka 대역 3 단 MMIC HPA 를 설계, 제작하였다. 측정 결과는 27 ~ 31 GHz 의 주파수 범위에서 시뮬레이션 결과에 잘 일치하며, 소신호 이득은 28 ~ 33 dB, 출력 전력은 41.8 ~ 42.2 dBm, 전력부가효율은 26 ~ 33 %를 나타내었다. MMIC HPA 는 3.5 x 1.96 mm² 의 면적내에 3 단 증폭기를 배치하여 24 dB 의 전력 이득, 15 W 이상의 출력 전력, 26 ~ 33 %의 전력부가효율 및 2.2W/mm²의 전력 밀도를

달성하였다. 저자들이 아는 한 이는 Ka 대역에서 가장 높은 전력 밀도를 가진 MMIC HPA 중의 하나이다.[1],[2]

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2026년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2018-0-00190, 위성탑재체 핵심원천기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] Seifeddine Fakhfakh, et al "A High Integrated 13 W & 36 % PAE Ka band GaN MMIC Power Amplifier for SatCom Applications," 2024 19th European Microwave Integrated Circuits Conference (EuMIC), pp.287-290, 2024.
- [2] Keigo Nakatani, et al "Ka-band High Efficiency and High Linearity GaN Power Amplifiers for Broadband High Throughput Satellite Communication Systems," 2024 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp.614-616, 2024.