

트랜지스터의 기생 성분을 고려한 고효율 X-Band 20W MMIC 전력 증폭기 설계

한승호, 김기진*

RFNISSI

shhan@rfnissi.com , nissi_ceo@rfnissi.com*

Design of a High-Efficiency X-Band 20W MMIC Power Amplifier Considering Transistor Parasitic Components

Seungho Han, Kijin Kim*

RFNISSI

요 약

본 논문에서는 X-band(7.8~ 9.0 GHz) 대역에서 동작하는 20W 급 고효율 MMIC 파워 앰프(PA)를 설계하였다. 설계된 PA 는 대신호(Large-Signal) 조건에서 트랜지스터 내부 기생 성분을 추출하고 이를 기반으로 매칭 네트워크를 적용함으로써 고효율 매칭을 설계하였다. 사용된 트랜지스터는 Winsemi 사의 150nm 공정을 이용하였다. Class-B ($I_{dq} = 50 \text{ mA/mm}$)로 동작하며, 2 단 구조의 증폭기로 구성되어 전체 이득 30 dB 이상, 출력 전력 43 dBm 이상, 그리고 7.8 ~ 9GHz 대역에서 50% 이상의 전력 첨가 효율(PAE)을 달성하였다. 본 설계는 고출력, 고효율 X-band 응용에 적합한 고성능 증폭기 구조를 제안한다.

I. 서 론

최근 레이다, 위성통신 및 군용 응용에서 고성능 무선 송수신 시스템의 수요가 급증하면서, X-band(7.8~ 9.0 GHz) 주파수 대역에서 고출력 및 고효율 특성을 갖는 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 파워 앰프(PA)의 중요성이 부각되고 있다.[1] 특히, 시스템의 소형화 요구가 강해짐에 따라, 고이득을 확보하면서도 회로 면적을 최소화하고, 동시에 전력 효율과 안정도를 유지하는 기술이 핵심 이슈로 대두되고 있다.

본 논문에서는 X-band 대역에서 20W 이상의 출력(43 dBm 이상)과 50% 이상의 전력 첨가 효율(Power Added Efficiency, PAE)을 달성하는 2 단 구조의 고효율 MMIC PA 를 설계하였다. 설계에는 대신호(Large-Signal) 조건에서 트랜지스터 내부의 기생 성분(Capacitance 및 Resistance)을 정밀하게 추출하여 이를 기반으로 매칭 네트워크를 구성하는 기법을 적용하였다. 또한, 효율 중심의 Class-B 바이어스 조건을 사용하고, 회로 안정도 확보를 위해 입력단에 RC 필터를 삽입하였다.[2]

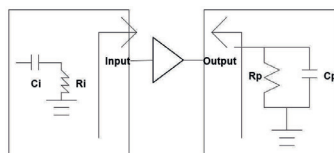


그림 1. Transistor 의 등가 모델

II. 본론

설계의 주요 목표는 7.8~ 9.0 GHz 의 X-band 대역에서 43 dBm 이상의 출력 전력과 50% 이상의 PAE 를 구현하는 것이다. 또한, 전체 이득은 30 dB 이상 확보하였으며, 회로는 MMIC 공정에 적합하도록 컴팩트하게 설계되었다. 사용된 트랜지스터는 GaN-on-SiC 공정 기반 소자로, 고출력 특성에 적합하며 Class-B 바이어스로 설정하였다. 바이어스 선로에는 RC 필터를 삽입하여 저주파 불안정성 및 발진 가능성을 억제하였다.

그림 1.과 같이 트랜지스터를 R_p 와 C_p 로 등가화 할 수 있다. 트랜지스터의 대신호 환경에서 포화 출력 시점의 내부 기생 성분(R_p , C_p 등)을 그림 2.와 같이 추출하였다. 출력단 매칭 시 기생 C_{ap} 을 보상하면서 50Ohm 매칭 네트워크를 설계함으로써, 일반적인 Load-pull 을 이용한 매칭 네트워크 대비 더 높은 효율과 출력 특성을 확보할 수 있었다.[3] 입력과 출력 매칭은 각각 최대 출력 및 이득, 그리고 전력 전달 효율을 고려하여 최적화되었다.[1]

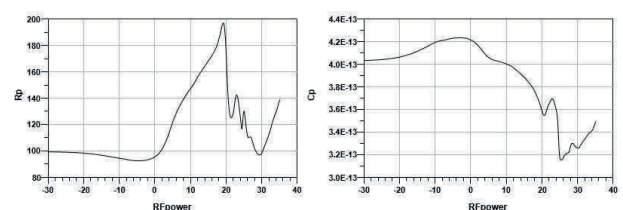


그림 2. Large-signal 기생 Resistance 와 Capacitance.

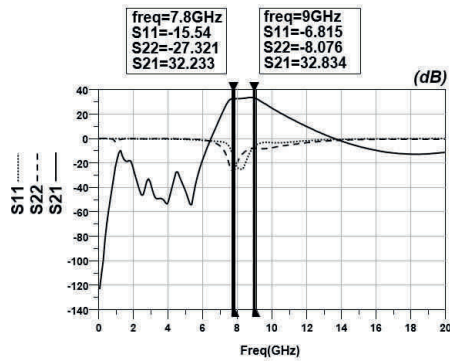


그림 3. S-parameter 시뮬레이션 결과

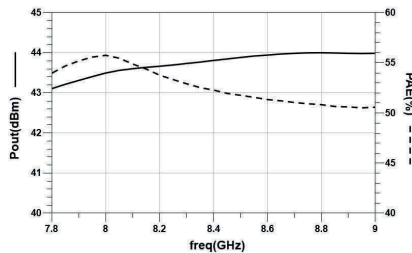


그림 4. 출력 전력 및 효율 그래프

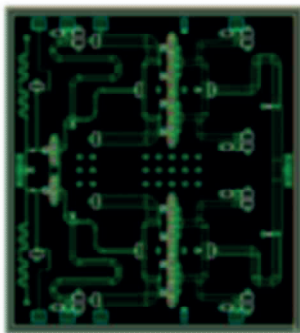


그림 5. 설계된 전력 증폭기 Layout

III. 결론

본 논문에서는 X-band 대역(7.8~ 9.0GHz)에서 동작하며, 그림 4 와 같이 20W 이상의 출력 전력(43 dBm 이상)과 50% 이상의 전력 첨가 효율(PAE)을 만족하는 고효율 MMIC 전력 증폭기를 제안하였다. 제안된 설계는 대신호 조건에서의 트랜지스터 기생 성분(R_p , C_p 등)을 추출하고 이를 기반으로 기생 성분을 보상하여 최적의 매칭을 구현함으로써 높은 효율을 달성하였다. 또한, 트랜지스터는 Class-B 바이어싱 조건($I_{dq} = 50 \text{ mA/mm}$) 하에 구동되어, 효율 손실을 최소화하였다.

회로는 그림 5.와 같이 2 단 증폭 구조로 설계되었으며, 각 단의 입력에는 RC 필터를 적용하여 안정도 향상과 이득 확보를 동시에 달성하였다.[2] 그 결과, 그림 3.에서 볼 수 있듯이 7.8 ~ 9GHz 대역에서 30 dB 이상의 이득과 50% 이상의 PAE, 그리고 43 dBm 이상의 출력 전력을 안정적으로 확보하였다. 본 설계는 X-Band 대역에서의 효율적 전력 증폭기를 요구하는 레이더 및 위성통신 시스템 등에 적합하며, 향후 고전력 GaN 소자를 활용한 설계 확장성 측면에서도 큰 가능성을 지닌다.

ACKNOWLEDGMENT

이 연구는 2025 년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00446222)

참 고 문 헌

- [1] Jin, C.; Gao, Y.; Chen, W.; Huang, J.; Wang, Z.; Mo, J.; Yu, F. X-Band High-Efficiency Continuous Class B Power Amplifier GaN MMIC Assisted by Input Second-Harmonic Tuning. *Electronics* 2019, 8, 1312. <https://doi.org/10.3390/electronics8111312>
- [2] T. Senju, K. Takagi and H. Kimura, "A 2 W 45 % PAE X-Band GaN HEMT Class-F MMIC Power Amplifier," 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Kyoto, Japan, 2018, pp. 956-958, doi: 10.23919/APMC.2018.8617133.
- [3] Shamir, A. "On the security of DES," *Advances in Cryptology, Proc.Crypto '85*, pp. 280-285, Aug. 1985.