GaN HEMT를 이용한 Jamming용 고출력 고효율 광대역 증폭기 설계

김태형*, 박정훈*, 조삼열*, 서철헌**
*(주)알에프에이치아이씨
**숭실대학교
e-mail:thkim@rfhic.com

Design of High-Power and High-Efficiency Broadband Amplifier for Jamming Using GaN HEMT

Taehyung Kim*, Jung-Hoon Park*, Samuel Cho*, Chul-hun Seo**
*RFHIC CORPORATION
**SOONGSIL UNIVERSITY

요 약

본 논문에서는 GaN HEMT를 이용하여 Jamming용 System에 사용될 수 있는 고효율 및 고출력 특성을 가지는 광대역 Amplifier를 제작하였다. Jamming System에서 핵심이 되는 Amplifier는 넓은 범위의 주파수에서 통상적으로 사용되는 출력 신호에 비해 보다 높은 출력의 신호를 구현하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 GaN HEMT에 안정적인 전원 공급을 위한 음 전원 Bias 제어 회로와 Sequence 회로 및 온도에 따른 Gain 보상 회로를 구현하였으며, 500~2500MHz의 광대역에서 동작하면서 50W 이상의 출력을 낼 수 있도록 설계하였다.

출력 전력이 향상과 안정적인 동작을 위해 Main 출력 단은 60Watt 급의 GaN HEMT 소자와 광대역 Coupler를 이용하여 Balanced Structure로 설계하였다.

제작된 광대역 Amplifier는 30V 단일 전원에서 동작하도록 설계되었고, 크기는 140*90mm이다. 동작 주파수 대역(500~2500MHz)에서 Small Signal Gain 63dB와 Gain Flatness ±2dB, -10dB 이하의 Input Return Loss를 가진다. CW(Continuous Wave) Signal을 이용하여 측정하였으며, 50Watt 이상의 Saturation Power에서 최대 45%, 최소 28% 정도의 효율 특성을 보였다.

1. 서론

최근 전자전(EW : Electronic Warfare)은 현대전에서 빼놓을 수 없는 핵심으로 자리매김하고 있다. 전자전에서 Jamming(전파방해) 기술은 적군의 통신을 교란시키는 전자공격(EA : Electronic Attack)을 의미하는 것으로, 수신자의 전자파 수신을 저하 또는 방해하기 위하여 고의적으로 전자파를 방사 또는 재방사하여 적 전자장비에 원하지 않는 전자신호의 수신을 강요하는 활동이다. 전파방해 방법으로는 적 통신에서 사용되어지는 주파수 대역에 따라 Spot Jamming, Sweep Jamming과 Barrage Jamming 등이 있다.

Spot Jamming의 경우 특정 주파수에서 방해출력을 최대한으로 사용할 수 있는 장점이 있지만, 약간의 주파수를 변경함으로써 손쉽게 회피가 가능하다는 단점이 있다. Sweep Jamming은 일정한 주파수 대역 내에서 주파수를 연속적으로 변경하며 교란하는 방식이다. Barrage Jamming의 경우 지정된 대역 내에 있는 모든 주파수에 방해 출력을 동시에 방사하여 신호를 교란하는 것으로서 Spot Jamming에 비해 넓은 범위의 주파수를 동시에 교란하는 것이 가능하지만, 출력이 분산되어 방해신호 세기는 감소되는 단점을 가지고 있다[1]. 따라서 넓은 범위의 주파수를 동시에 교란하면서 높은 출력의 신호를 방사할 수 있는 Amplifier에 대한 수요가 증가하고 있으며, 그에 따른 연구가 빠르게 진행되고 있다.

Amplifier에 사용되는 반도체 소자의 경우 출력 특성을 극대화하기 위하여 제 1세대 규소(Si) 반도체에서부터, 제 2세대인 갈륨비소(GaAs) 반도체 소자와 제 3세대인 질화갈륨(GaN) 반도체 소자를 통하여 향상된 출력 특성을 개선해왔다. 제 3세대인

GaN HEMT는 높은 온도에서도 고속 및 고출력 특성을 발휘할 수 있고, 화학물질에 대한 탁월한 내부식성을 지니고 있다[3]. GaN HEMT는 높은 항복전압과 전류 구동능력으로 소자 단위 면적당 출력 밀도가 높아 고출력을 더 작은 회로에서 얻을 수 있기 때문에 기존 Silicon 기반의 Laterally Diffused Metal Oxide Semiconductor(LDMOS)에 비해 회로 구성이 간단해진다[3-5].

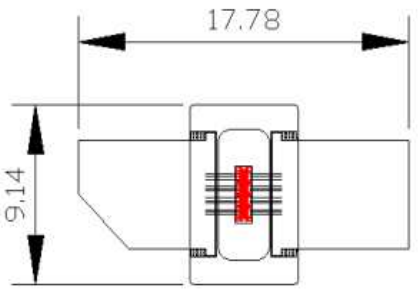
본 논문에서는 GaN HEMT를 이용하여 500~2500MHz의 동작 주파수를 가지는 50Watt 고효율 광대역 Amplifier를 설계하였다. GaN HEMT는 Gate에 음전원이 인가되지 않은 상태에서 Drain 전압이 인가될 경우 소자에 소손이 될 수 있기 때문에 Bias를 순차적으로 인가하기 위한 Sequence 회로, 온도에 따른 Gain 보상회로 등을 적용하였다. 또한, 출력 전력을 향상시키고자 Balanced Structure 구조를 사용하였다.

2. 본론

2.1 60Watt GaN HEMT의 Packaging

GaN HEMT의 기본 Cell인 Die 형태 자체로는 Amplifier에 바로 적용하는 것이 실제적으로 상당한 어려움이 있기 때문에 Packaging 공정을 통하여 일반적으로 사용하는 Package된 Transistor의 모습을 갖추어야 한다.

본 논문에서 사용된 Transistor는 60Watt 급 출력을 갖는 GaN HEMT Die를 이용하여, (주)RFHIC에서 Packaging 공정을 통해 [그림 1]과 같은 크기에 Package를 진행하였다.

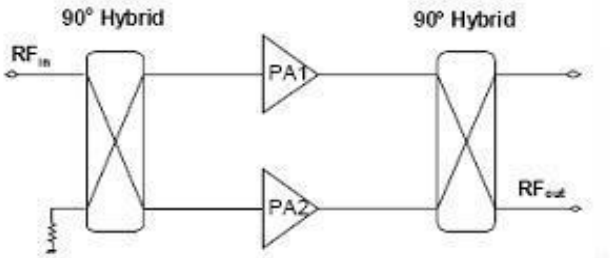


[그림 1] 60Watt GaN HEMT의 Package Layout

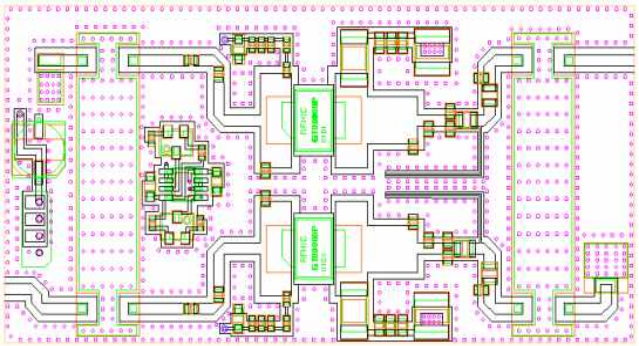
Package된 60Watt 급의 질화갈륨 반도체 소자는 LDMOS나 다른 동급 출력의 다른 Package에 비해 60% 이하의 크기를 가지며 높은 온도에서도 고속 및 고 출력 특성을 내는 것이 가능하며, 높은 항복전압과 높은 포화 전자 속도 특성 및 절연파괴 내성으로 좁은 면적에서 저 전력으로 고 출력을 얻을 수 있기 때문에, 상당히 좁은 면적에서도 동작에 어려움이 없다. 이는 질화갈륨 반도체 소자가 기존의 다른 반도체 소자에 비해 소형화에 유리함을 단적으로 보여준다[4].

2.2 Balanced Amplifier

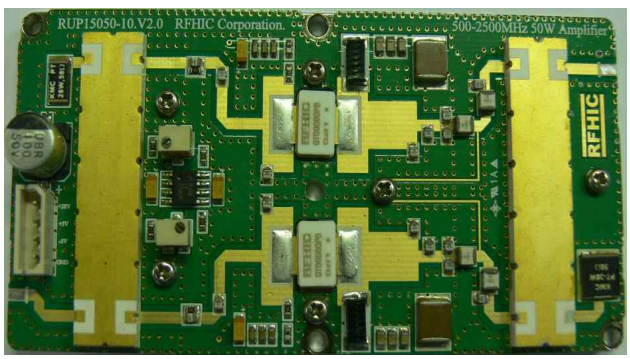
[그림 2]는 두 개의 Amplifier가 입·출력단에 3dB Hybrid Coupler를 이용해 병렬로 결합되는 일반적인 2-way Balanced Amplifier의 구조이다. 입·출력단에 Coupler를 사용한 Balanced 구조는 주파수 범위에서의 평탄한 이득 특성과 높은 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio) 특성을 가지는 장점이 있다[6]. 이 구조는 높은 출력 전력과 안정된 격리 특성을 얻기 위한 기본적인 구조로 널리 쓰이고 있다.



[그림 2] 일반적인 Balanced Amplifier의 구조



(a) Balanced Amplifier Layout



(b) 제작된 Balanced Amplifier

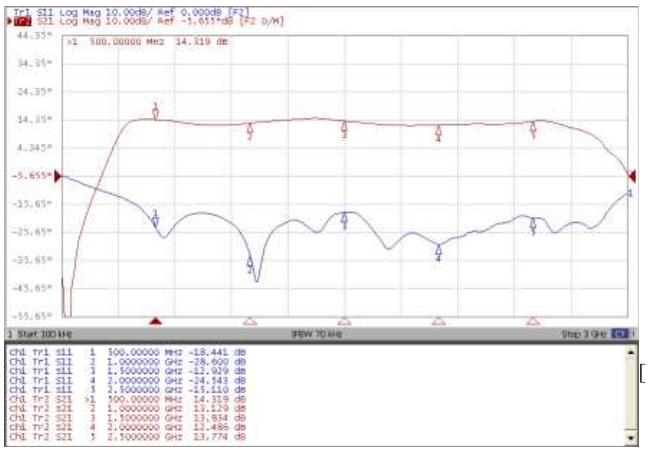
[그림 3] 구현된 Balanced 구조의 Amplifier

본 논문에서는 [그림 2]에서 나타낸 일반적인 2-Way Balanced Structure와 60Watt 급의 GaN HEMT를 이용하여 검증용 Balanced Amplifier를 제작하였다. 제작된 Balanced Amplifier는 εr = 3.5, H = 0.765mm, T = 0.035mm, *tan*D = 0.002 인 Taconic 사의 RF35 기판을 사용하였으며, 검증용으로 제작된 사진은 [그림 3]에 나타내었다.

제작된 Balanced Amplifier의 RF 및 Network 특성 결과는 [표 1] 및 [그림 4]에 나타내었다. 측정을 위해 20Watt 급의 Drive Amplifier를 이용하여 측정하였으며, 500~2500MHz 대역에서 50Watt 이상의 출력 전력과 13±1.5dB의 Small Signal Gain 특성을 보였다.

[표 1] 구현된 Balanced Amplifier의 RF 특성

Freq. [MHz]	500	1000	1500	2000	2500
Psat [dBm]	47.36	47.22	47.27	47.40	49.10
PAE [%]	53.72	30.87	52.33	42.30	54.46
Gain [dB]	14.3	13.1	13.8	12.5	13.7



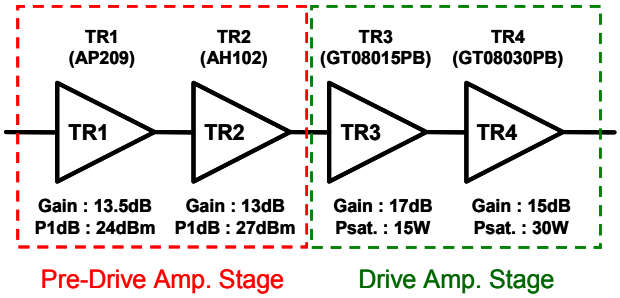
[그림 4] 구현된 Balanced Amplifier의 Network 특성

2.3 Drive 단 구성

광대역 Amplifier를 제작함에 있어 고출력의 Main Amplifier를 구동하기 위해 높은 Input Power를 필요로 하기 때문에 추가적으로 Drive 단을 구성하여 적은 Input Power에서 동작할 수 있도록 하였다.

[그림 5]는 설계된 Drive 단의 Block Diagram을 보여주고 있다. Pre_drive 단은 RFHIC 사의 P1dB 24dBm 급의 AP209(SOT-89 Type)과 wj 사의 P1dB 27dBm 급의 AH102(SOT-89 Type)를 사용하였다. Drive 단은 15Watt와 30Watt 급의 GaN HEMT를 사용하여 구성하였다.

제작된 Drive 단의 RF 출력 특성은 [표 2]에 나타내었다. 500~2500MHz 대역 내에서 50dB 이상의 Small Signal Gain과 10Watt 이상의 Psat. 특성이 측정 되었으며, Drive 단으로써의 충분한 Gain과 출력을 갖는 것을 확인할 수 있다.



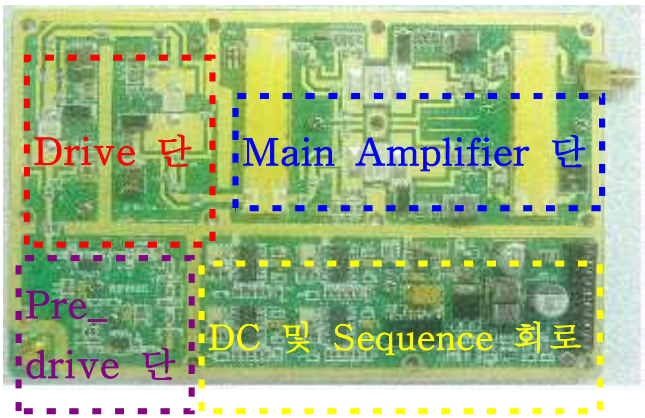
[그림 5] Drive 단 Block Diagram

[표 2] 구현된 Drive Amplifier의 RF 특성

Freq. [MHz]	500	1000	1500	2000	2500
Gain [dB]	52.0	49.3	50.8	52.4	50.9
Psat [dBm]	42.52	44.66	45.29	45.54	43.86

3. 제작 및 측정

[그림 6]에 제작된 광대역 Amplifier 사진을 나타내었다. 앞서 사용한 기판과 동일한 RF35 기판을 사용하였으며, 30V 단일 전원에서 구동하도록 설계하였다. 제작된 모듈의 크기는 140mm × 90mm이고, E사의 광대역 Amplifier와 비교하였을 때 13% 정도 크기가 절감되었다.

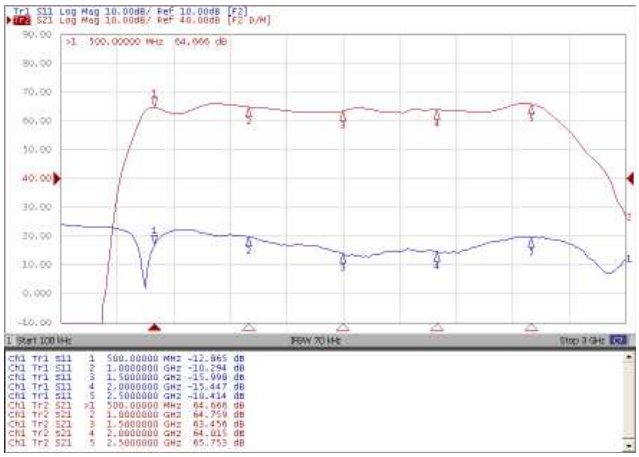


[그림 6] 구현된 광대역 Amplifier

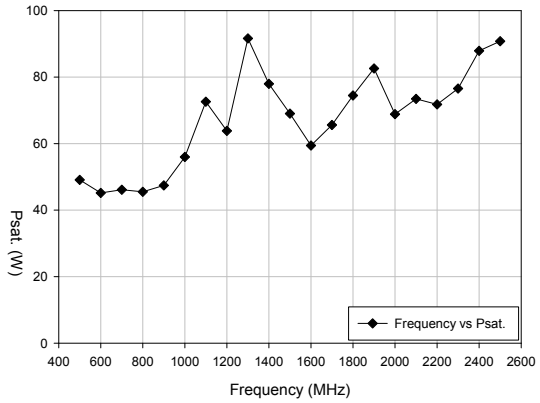
GaN HEMT는 Gate에 음전원이 인가되지 않은 상

태에서 Drain 전압이 인가될 경우 소자가 Damage를 입거나 상황에 따라 소손될 가능성이 있기 때문에 음전원에 적합한 Bias 회로와 Bias를 순차적으로 인가하기 위한 Sequence 회로 사용을 권장한다. 제작된 광대역 Amplifier는 FET 및 OP-AMP등을 이용하여 Bias 회로와 Sequence 회로 및 Main Voltage Drop에 의한 보호 회로를 구현하였다.

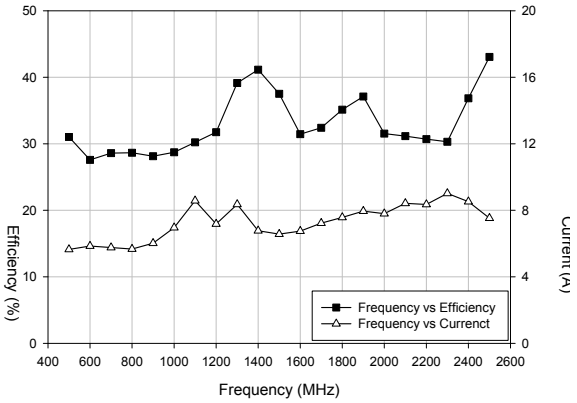
제작된 광대역 Amplifier의 RF Network 특성 결과는 [그림 7]에 나타내었으며, 500~2500MHz 대역에서 50Watt의 출력 전력과 효율 특성은 [그림 8]에서 확인할 수 있다.



[그림 7] Network Analyzer Test 결과



(a) Frequency vs Psat.



(b) Frequency vs Efficiency, Current

[그림 8] 광대역 Amplifier의 RF 특성 결과

4. 결론

본 논문에서는 차세대 소자로 주목받고 있는 고효율의 GaN HEMT를 이용하여 Jamming용 System에 사용될 수 있는 고효율, 고출력 광대역 전력 증폭기를 설계하였다. 고출력 전력 증폭기를 설계하기 위해 60Watt 급의 GaN HEMT를 사용하였으며, 높은 출력 전력과 안정된 격리 특성을 얻기 위해서 Main단에 Balanced 구조를 적용하였다.

제작된 광대역 Amplifier는 500~2500MHz 대역에서 Small Signal Gain 63dB와 Gain Flatness ±2dB, -10dB 이하의 Input Return Loss특성을 나타내었다. CW One Tone Signal을 이용하한 출력 특성에서는 50W 이상의 Saturation Power가 측정되었으며, 최대 45%, 최소 28%의 효율 특성을 나타내었다.

참고문헌

[1] 김진영, 김은철, 이종명, “군 통신에서의 재밍(Jamming) 기술”, 국방통신

[2] I. Daumiller, C. Kirchner, M. Kamp, K. J. Ebeling and E. Kohn, "Evaluation of the temperature stability of AlGaN/GaN hetero-structure FETs", IEEE Electron Device Lett., vol. 20, no. 9, pp. 448-450, Sep. 1999.

[3] 오성민, “질화갈륨 고출력 소자의 성능 최적화에 관한 연구”, 순천향대학교 공학석사학위논문, 2008.

[4] 이종욱, “AlGaN/InGaN HEMTs의 고성능 초고주파 전류 특성”, 한국전자파학회논문지, 제15권, 제8호, 2004년 8월.

[5] Y. F. Wu, P. M. Chavarkar, M. Moore, P. Parikh, B. P. Keller and U. K. Mishra, "A 50W AlGaN/GaN HEMT Amplifier", IEEE IEDM Technical Digest, pp. 375-376, 2000.

[6] 김민혁, “새로운 구조의 Balun 트랜스포머를 이용한 광대역 전력 증폭기 설계”, 서강대학교 공학석사학위논문, 2007.

[7] STEVE C. CRIPPS, “RF Power Amplifiers for Wireless Communications”, Artech House, 1999.

[8] M. GHAVAMI, L. B. MICHAEL, R. KOHNO, "Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering", WILEY, 2004.