

질화갈륨소자 전력증폭기 모듈 설계

*박천선, *오성민, *임종식, *안달, **안중출, **박필재
 *순천향대학교 전기통신공학과, **(주)MA전자
 email : chunseon.park@gmail.com

Design of a GaN Power Amplifier Module

*Chunseon Park, *Seongmin Oh, *Jongsik Lim, *Dal Ahn,
 **Chong-Chul An, and **Pil-Jae Park
 *Dept. of Elec. and Comm. Eng., SOONCHUNHYANG University
 **MAEC(MA Electronic Corporation)

요 약

본 논문은 질화갈륨 전력 소자를 이용한 이동통신 중계기 및 기지국용 전력증폭기 모듈의 설계에 대하여 기술하고 있다. 전력 버짓 분석을 통하여 전치증폭기와 구동증폭기, 그리고 최종단 고출력증폭기의 전력 용량을 계산하였고, 여기에 적합한 질화갈륨 소자를 선택하였다. 최종 개발에 앞선 초기버전의 전력증폭기를 구성하여 1-tone과 2-tone에 대하여 전력특성을 측정해 보았다.

1. 머리말

전력증폭기는 휴대 전화기, 이동통신 장비, 레이더 등에서 RF 신호를 증폭하여 출력단에 전달하는 기능을 하는 핵심부품 중 하나이다. 이러한 전력증폭기는 기술의 발달과 수요의 증가에 따라서 이동통신 시스템, 방송 시스템, 기타 통신 시스템에서 고집적화 및 고성능화에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다.

고출력 증폭기 분야에서는 출력 특성을 향상, 선형성 개선 및 효율 등을 개선하기 위한 노력이 진행되고 있으며 제2세대인 GaAs 반도체 소자와 제3세대인 GaN 반도체 소자를 이용하여 출력특성 향상을 이루어냈다. 제3세대 소자인 GaN의 높은 밴드갭 에너지를 이용한 높은 포화전력을 사용, 높은 포화전력으로 인한 효율의 향상 등의 많은 연구가 이루어지고 있다.[1]-[3]

본 논문에서는 위에서 언급한 GaN 반도체 소자를 이용한 Power Transistor를 사용하여 이동통신 대역에서 5Watt,typ의 출력을 가지는 전력증폭기 모듈을 설계하였다. 제2장에서는 GaN 전력증폭기 모듈 설계에 대하여 설명하였고, 3장에서는 설계 결과 및 초기 측정결과에 대하여 기술하였으며, 마지막 장에서 결론 부분을 언급하였다.

2. 질화갈륨 전력증폭기 모듈 설계

본 논문에서 설계하고자 하는 전력증폭기 모듈의 설계 규격은 다음 표1과 같다.

표 1. 전력증폭기 모듈 설계 규격

Parameters		Specifications			
		Min	Typ	Max	Unit
Operating Frequency	BW	2110	-	2170	MHz
Gain		55	60		dB
Output Power	P _{1dB}	34	37		dBm
Gain Flatness			±0.5	±1	dB
Sat. Output Power	P _{sat}	36	39		dBm
Efficiency	PAE	30	35		%

전체적인 시스템의 설계 규격을 만족하기 위하여 Drive Amplifier와 GaN Power Transistor의 선정이 필요하다. 각각 Pre-Amplifier와 Drive Amplifier, GaN Power Amplifier의 부분으로 나누어 설계하였으며 블록 다이어그램은 그림 1과 같다. Pre Amplifier와 Drive Amplifier의 이득은 각각 18dB, 31dB인데, 이 두 개는 같이 연동하여 최종단을 구동하므로 Driver라고 명명하기로 한다. Driver는 GaN Power Amplifier를 구동시키기 위한 증폭기로 사용되므로 선형성이 좋아야 한다. 따라서 Pre-Amplifier와 Drive Amplifier의 동작 모드는 class A이다. 최종단은 요구되는 동작 특성에 따라 동작모드가 달라지는데, 높은 출력과 선형성이 요구되면 class A에, 높은 효율이 요구되면 class B에 가깝게 동작시켜야 한다. 본문에서는 초기 버전이므로 일단 높은 출력 성능 및 선형성을 위하여 class AB와 class A 사이에 두되, class A에 가깝게 하였다.[1][4]

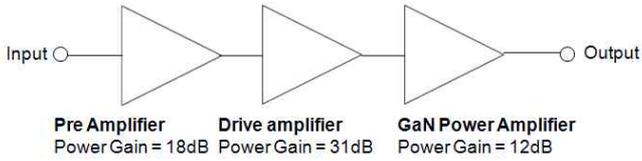


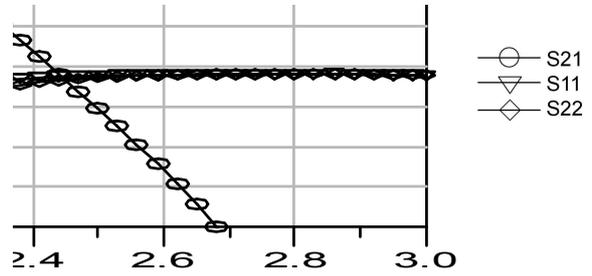
그림 1. 설계하고자 하는 전력증폭기 모듈 블록도

3. 전력증폭기 모듈 구성

3.1 GaN Power Amplifier

그림 2(a)는 GaN Power Transistor를 이용하여 제작한 초기 버전의 Power Amplifier의 출력 증폭단이다. 제작된 출력증폭단을 측정하기 위하여 Agilent社의 E8257D Analog Signal Generator를 이용하여 신호를 인가하고, Agilent社의 E4419B Power Meter를 이용하여 전력을 측정하였다. GaN 소자의 크기는 8mm이며, 바이어스 조건으로는 드레인 전압 28V, 드레인 전류가 600mA 되도록 하였다.

그림 2(b)는 1-tone 테스트 결과를 보여주고 있다. 선형 전력이득은 12dB로 측정이 되었으며 5Watt 출력을 얻기 위해서는 입력되는 신호가 25dBm 정도가 되어야 함을 알 수가 있다. 입력신호가 25dBm일 때의 전력이득과 PAE, 출력전력을 각각 살펴보면 12dB의 전력이득, 37dBm의 출력전력, 20%의 PAE 특성을 나타내었으며, 선형영역에서 동작을 하기 위해 25dBm 이상의 입력을 만들어주기 위한 driver가 필요하다. 그림 2(c)는 출력 증폭단으로 사용된 GaN 전력증폭기의 S-parameter 특성을 보여주고 있다.[4]



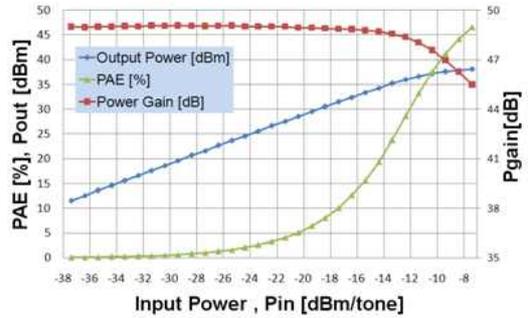
(c) S-parameter

그림 2. 설계한 초기 버전 전력증폭기 회로와 성능

3.2 Drive Amplifier 설계 및 측정

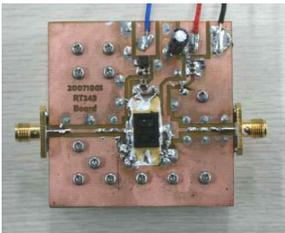


(a) Driver stage

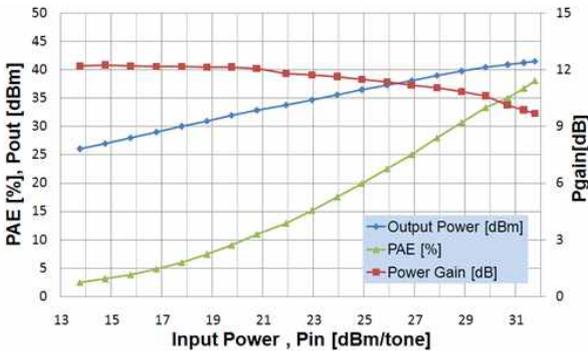


(b) Driver power test 결과

그림 3. Driver 회로와 성능



(a) Single Ended GaN 전력증폭기



(b) Single Ended Power Amplifier 1-tone test 결과

그림 3은 GaN Power Amplifier가 선형영역에서 동작을 하기 위한 입력과, 설계 규격에서의 Power Gain, PAE를 만족하기 하기 위한 Driver를 보여주고 있다.

Driver는 pre-amplifier와 drive amplifier로 나누어 설계되었으며, pre-amplifier는 Mini-circuit社의 ERA-33SM를, drive amplifier는 Freescale社의 MHL21336을 사용하였다. Driver의 특성은 그림 3(b)와 같은데, 그림 2에서와 같이 GaN Power Amplifier를 P3dB까지 구동시킬 경우 약 32dBm의 입력전력이 필요하게 된다. 이때 Driver의 출력이 32dBm일 때의 동작은 포화 전력점과 가까운 곳에 위치하며 선형적으로 동작을 하게 되므로, 포화 전력점에 위치할 때보다 효율적인 측면에서 유리하며 선형적인 동작을 가능하게 한다.

3.3 전체 증폭단 모듈의 구성

그림 4(a)는 개발하고자 하는 GaN 전력증폭기 모듈 초기버전의 사진이다. 표 2는 시스템에서 사용된 Driver와 GaN 전력증폭기의 바이어스 조건이다.

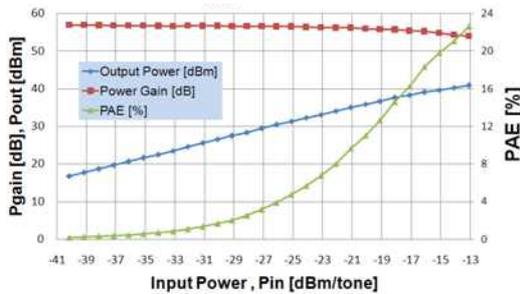
표 2. 각 증폭단의 바이어스 조건

	V _{DS}	I _{DS}
Pre-Amplifier	12 V	40mA
Drive Amplifier	28 V	500mA
GaN Power Amplifier	28 V	600 mA

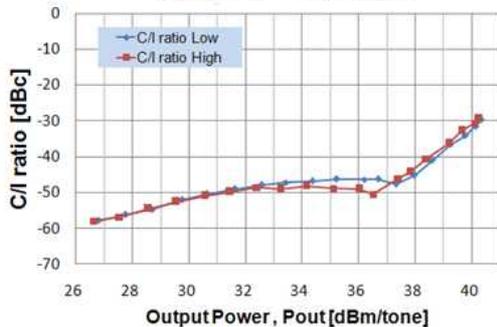
표 2의 바이어스 조건으로 동작시켰을 경우 그림 4(b),(c)의 특성을 나타내었으며, 설계규격인 37dBm의 출력에서 선형적인 동작을 하였다. 최대 효율은 25%이고 37dBm의 출력에서는 12%의 효율을 나타냈다. 전체모듈로 구성할 때 효율이 나빠지는 이유는 driver가 모두 class A로 동작을 하기 때문에 발생하는 일반적 현상이다.



(a) 전력증폭기 모듈의 구성 (초기 버전)



(b) 측정된 전력 특성 (1-tone 측정)



(c) 측정된 2-tone 특성

그림 4. 구성한 전력증폭기 모듈과 성능

4. 맺음말

본 논문에서는 GaN Power Transistor를 이용하여 이동통신 대역용 5Watt급 Power Amplifier를 설계하였다. 이를 구동하기 위하여 전력 분석을 통하여 적합한 pre-amplifier와 drive amplifier를 설계하고 이를 이용하여 driver를 구성하였다. 제작한 5Watt급 고효율증폭기 모듈은 중심주파수 2140MHz에서 약 60dB의 이득, 41dBm의 포화 전력, 최대효율 25%의 성능을 보였다.

감사의 글

이 연구는 중소기업청에서 주관한 2007년도 산학연컨소시엄 사업의 지원으로 수행되었습니다. 또한 GaN 관련으로 많은 도움 주신 (주)RFHIC에도 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S. C. Cripps, "RF Power Amplifiers for Wireless Communications," Norwood, MA, Artech House, 2006.
- [2] W. Nagy, S. Singhal, R. Borges, J.W. Johnson, J.D. Brown, R. Therrien, A. Chaudhari, A.W. Hanson, J. Riddle, S. Booth, P.Rajagopal, E. L. Piner, K.J. Linthicum, "150W GaN-on-Si RF Power Transistor", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symposium Digest*, pp.483-486, 2005.
- [3] John L.B. Walker, "High Power GaAs FET Amplifier", ARTECH HOUSE, 1993.
- [4] Shoichi Narahashi, Yasunori Suzuki Toshio Nojima, "2-GHz Band Cryogenically-Cooled GaN HEMT Amplifier for Mobile Base Station Receivers", *EUMA Proceedings* pp.399-402, 2007.