

질화갈륨 소자를 이용한 DPD용 고집적 팔레트형 고출력증폭기 모듈 설계

오성민¹, 임종식^{2*}
¹(주)RFHIC, ²순천향대학교

Design of a Highly Integrated Palette-type High Power Amplifier Module Using GaN Devices for DPD Application

Seongmin Oh¹ and Jongsik Lim^{2*}

¹RFHIC Corporation, ²Soonchunhyang University

요약 본 논문에서는 고출력 및 고효율 특성을 지니는 질화갈륨(gallium nitride, GaN) 고출력 트랜지스터 소자를 이용하여 WiMAX 및 LTE(long term evolution) 시스템에 사용 가능한 60watt급 고출력증폭기 모듈을 팔레트(palette) 타입으로 개발한 결과에 대하여 기술한다. 높은 이득을 얻기 위한 라인업(lineup) 구성을 위해 저전력이면서 고이득을 지니는 전치증폭단, 8watt급의 GaN 구동증폭단, 그리고 30watt급 GaN 소자 2개를 도허티(doherty) 구조로 구성한 60watt 고출력증폭단을 사용하였으며, 이로부터 2.5~2.68GHz에서 61.4dB의 이득과 ± 0.075 dB의 우수한 이득 평탄도를 얻었다. 특히 구동단과 고출력증폭단은 고효율 및 고출력 특성의 GaN 소자를 사용하였고, 또한 추가적인 효율 개선을 위해 도허티 구조를 적용함으로써 보다 높은 효율을 가지도록 하였다. 현재 전 세계적으로 널리 사용되고 있는 WiMAX 신호를 사용하여 제작된 팔레트 타입의 증폭기 모듈의 성능을 측정하였는데, RRH(remote radio head) 타입으로 구성된 사용 예에서 WiMAX 변조 신호 10watt 출력 기준으로 약 37~38%의 효율을 나타내었다. 제작된 증폭기 모듈을 디지털 전치왜곡기(digital predistorter, DPD)와 연동하여 시험한 결과 WiMAX 변조 신호 10watt 출력에서 ACLR은 46dBc 이상의 특성을 지닌다.

Abstract This paper describes the design of a palette-type 60watt high power amplifier module using gallium nitride(GaN) devices with high power and efficiency performances for WiMAX and LTE systems. The line-up for the high gain amplifier module consists of the pre-amplifier stage with low power and high gain, 8watt GaN driving amplifier stage, and 60watt GaN high power amplifier stage of Doherty structure with two 30watt GaN devices. The obtained gain is 61.4dB with an excellent gain flatness of ± 0.075 dB over 2.5~2.68GHz. GaN devices and the Doherty structure are adopted for the improvement of high efficiency and output power. The measurement for the fabricated high power amplifier module of palette type is performed using the widely known WiMAX signal all over the world. In the example of RRH(remote radio head) application of the fabricated amplifier module, the measured efficiency is 37~38% with the 10watts of modulated output power. It is shown that when the fabricated amplifier module is activated with a digital predistorter(DPD), the measured ACLR is better than 46dBc under the 10watts of modulated output power.

Key Words : GaN, Gallium nitride, Power amplifier, Palette-type

1. 서론

최근에 통신 기술의 급속한 발전에 따라 개인용 이동

통신 기기의 수요가 기하급수적으로 증가하게 되었고, 그에 따라 이동통신 기지국 및 관련 중계 시설들의 수요가 급증하고 있다. 각 통신 사업자들에게는 시장의 수요에

*교신저자 : 임종식(jslim@sch.ac.kr)

접수일 11년 03월 10일

수정일 (1차 11년 04월 05일, 2차 11년 04월 27일)

계재확정일 11년 05월 12일

대응하기 위한 이동 통신 시설의 증설이 필수 불가결한 문제로 대두되고 있다. 하지만 기지국과 같은 대형 입출력 시스템은 복잡한 도심에서 공간 문제와 효율에서 문제가 많음이 제기되었고, 그에 따른 해결책으로 RRH 타입(remote radio head type)의 소형 중계기들이 건물 안팎에 많이 설치되고 있다. 소형 중계기들은 기존 대형 기지국에 비해 크기가 상당히 작으면서 효율에서 오히려 우수하므로 최근에 기지국 대응으로 소형 서비스 셀을 위해서 널리 사용되고 있다. 따라서 소형 중계기에 사용되는 부품들은 고성능화는 물론 고효율화 및 소형화를 위한 고집적화가 중요한 주안점이 되고 있다.

증폭기 모듈을 구성하는 부품들 중에서 효율 특성에 가장 큰 영향을 주는 중요 부품은 단연 반도체 고출력 트랜지스터 소자이다. RF 및 마이크로파 대역의 고출력 증폭기에 사용되는 반도체 소자의 경우 발전 동향에 따라 편의상 제 1세대인 규소(silicon, Si) 반도체 소자, 제 2세대인 갈륨비소(gallium arsenide, GaAs) 반도체 소자, 그리고 차세대 소자라 일컬어지는 질화갈륨(gallium nitride, GaN) 및 탄화규소(silicon carbide, SiC) 반도체 소자로 분류해 볼 수 있는데, 새로운 반도체 소자가 개발되는 단계마다 종래보다 보다 향상된 출력과 전력 특성을 개선해 왔다.

GaN 소자는 높은 온도에서 고속 및 고출력 특성을 내는 것이 가능하고, 높은 항복 전압(breakdown voltage, V_b)과 높은 포화 전자 속도, 우수한 절연 파괴 내성 특성을 지니고 있어서 최근에 세계적으로 주목받고 되고 있는 차세대 초고주파 대역의 고출력 트랜지스터 소자이다. GaN 소자는 종래의 Si나 GaAs 계열의 고출력 트랜지스터보다 더 좁은 면적과 더 낮은 DC 바이어스 전력 조건에서도 더 우수한 RF출력을 얻을 수 있기 때문에, 기존 소자들에 비해 고출력 증폭기 설계에 있어서 크기 및 효율 측면에서 매우 큰 장점을 가지고 있다[1-5].

표 1은 반도체 재료의 기본 물성을 나타내고 있는데, 에너지 밴드 갭, 전자이동도, 포화 전자속도, 열전도도 등의 데이터를 비교하기 위하여 간략히 정리되어 있다. GaN의 에너지 밴드갭은 Si의 약 3배이며, 2세대 소자로 널리 사용되었던 GaAs의 2.5배에 해당한다. 또한 전자이동도나 포화전자속도에 있어서도 경쟁 소자인 SiC보다 20~25%나 우수한 특성을 가져서, 비록 GaAs 만큼의 높은 주파수는 아니지만 상당한 수준의 고주파대까지 사용이 가능하다.

[표 1] 몇 가지 반도체 재료의 기본적 물성

	Si	GaAs	SiC	GaN
Energy Band Gap (eV)	1.12	1.42	3.25	3.4
Electron Mobility ($\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)	1500	8500	1000	1250
Dielectric Constant	11.8	12.8	9.7	9
Saturated Electron Velocity (10^7cm/s)	1	2	2	2.5
Thermal conductivity (W/cm-K)	1.5	0.5	4.9	2.3

기존 통신 시스템에서 주로 사용되었던 LDMOS 기반의 고출력증폭기의 경우 가장 우수한 출력 특성을 보이는 주파수 대역은 100MHz 이내의 협대역 특성을 보이기 때문에 100MHz 이상의 사용대역 확보가 필요한 경우 많은 어려움이 있었다. 또한 근래 Freescale社에서 8세대 LDMOS 트랜지스터를 시장에 선보였지만 효율 측면에서 질화갈륨 소자에 많이 뒤쳐져 있는 상황이다. 실제로 50watt급 고출력증폭기 구성시 8세대 LDMOS 기반에서는 30%대 초반의 효율에 머물고 있다. 반면 GaN 소자를 이용하여 고출력증폭기를 구성할 경우 광대역 특성을 통하여 300MHz의 사용대역을 확보할 수 있는 증폭기까지 개발 가능하다.

본 논문에서는 LDMOS 소자보다 비교우위에 있는 GaN 트랜지스터 소자를 이용하여, RRH형 소형 중계기를 위한 디지털 전치왜곡기(digital predistorter, DPD) 시스템에 적용할 수 있는 팔레트형 고출력 증폭기 모듈(palette type high power amplifier module)을 고효율 및 고집적화에 초점을 맞추어 설계한 결과에 대하여 기술한다. 증폭기의 효율을 향상시킬 수 있는 여러 가지 방법 가운데서 도허티 구조(doherty structure)는 상대적으로 간단하고 구성이 용이하며, 효율 개선에도 탁월한 효과가 있어 고효율 증폭기에서 널리 사용되고 있다[6,7]. 이에 본 논문에서는 GaN 소자와 가장 기본적인 2-way 도허티 구조를 이용하여 고집적, 고효율의 팔레트형 고출력증폭기 모듈을 설계하고 측정된 결과에 대하여 기술한다.

2. 본론

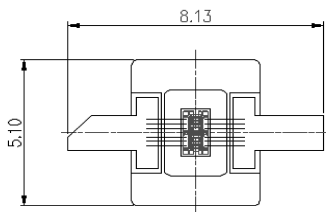
2.1 고출력 증폭기 모듈

GaN 소자를 이용하여 상용 통신 시스템의 송신용 고출력 증폭기를 구성하고자 할 때, 반도체 소자의 기본 셀(cell)인 베어 다이(bare die, bare chip) 형태 자체로 적용하는 것은 제작 및 측정과정에서 매우 위험하고 구성이

어렵다. 다이 자체로는 파손의 위험성과 이물질에 대한 오염에 의한 성능 저하 및 파괴 가능성 때문에 적용성이 매우 취약하다. 따라서 다이를 소형의 하우징 또는 패키지(housing or package)에 실장하고, 와이어 본딩(wire bonding)과 내부 정합(internal matching) 기법을 적용하여 흔히 사용하는 트랜지스터 패키지로 구성한다. 이렇게 패키지로 실장되어야 증폭기 구성시 취급이 용이하고 또 반도체 다이(die)를 보호할 수 있게 된다[4].

GaN 소자는 고온에서도 고속 및 고출력 특성을 내는 것이 가능하며, 항복전압과 포화 전자속도가 비교적 높기 때문에, 상대적으로 작은 크기와 낮은 DC 바이어스 전력의 공급에도 불구하고 상대적으로 고출력을 얻을 수 있다. 따라서 기존 고출력 트랜지스터 소자들에 비하여 동일 출력 대비 소형의 패키지 구성이 가능하므로 증폭기의 소형화 및 고집적화에 적합하다. 일반적으로 10~100watt 정도의 무선 출력을 내는 소자를 기준으로 볼 때, 기존에 널리 사용되고 있는 실리콘 기반의 LDMOS (laterally diffused metal oxide semiconductor) 고출력 트랜지스터에 비해 약 50~70% 정도의 크기를 갖는 GaN 트랜지스터 패키지를 구성할 수 있다.

본 연구에서는 WiMAX 및 LTE 시스템 적용을 위해, 변조된 RF 출력 기준으로 10watt급의 출력특성을 갖는 팔렛트(palette)형 고출력증폭기 모듈을 구성하고자 하며, 이를 위해 GaN 다이를 이용하여 8watt급과 30watt급 패키지를 먼저 구성하였다. 패키지 구성을 위해 내부 정합 회로를 설계한 후, 볼 본딩(ball bonding) 기법으로 가능하면 소형이 되도록 패키지를 구성하였다. 그림 1은 본 연구에 사용한 GaN 고출력 트랜지스터 패키지의 개략도이다. 종래 널리 사용되는 동출력 30watt급의 실리콘 기반 LDMOS 패키지에 비해 불과 60~70% 정도의 크기를 갖는다.

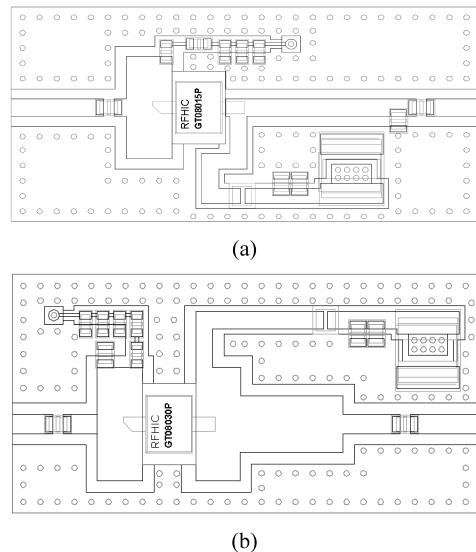


【그림 1】 8watt급과 30watt급 GaN 트랜지스터의 패키지 레이아웃 (단위:mm)

본 연구에서는 8watt와 30watt급의 GaN 트랜지스터 반도체 다이에 해당되는 능동 모델(active model)을 이용하여 트랜지스터의 정합회로 설계 파라미터(parameters)를 추출하고, 이 파라미터를 바탕으로 회로 시뮬레이션

도구인 Agilent社의 ADS(advanced design system)를 이용하여 고출력증폭기의 정합회로를 설계하였다. 설계된 증폭기를 실제로 제작, 측정하고 실험적으로 검증하기 위하여 비유전율(ϵ_r)이 3.5, 유전체 두께(H)가 0.765mm, 동박 두께(T)가 0.035mm, 손실 탄젠트($\tan\delta$)가 0.002인 유전체 기판을 사용하여 그림 2와 같은 8watt 및 30watt급의 단일 증폭기 레이아웃을 완성하였다. 이들은 60watt급 고출력 증폭기 모듈을 구성하는데 적용하게 되는데, 8watt급은 구동증폭단(driving amplifier stage)으로, 30watt급은 2개를 도허터 구조로 구성하여 60watt급 고출력증폭단(power amplifier)로 사용된다.

설계된 단일 증폭기 모듈은 WiMAX 및 LTE 시스템용으로 적용하기 위해 2.5~2.7GHz 대역을 모두 커버하도록 중심주파수 2.6GHz에 200MHz의 주파수 대역을 갖도록 하였다. 두 증폭기 모듈을 모두 제작하여 중심 주파수 2.6GHz에서 1-tone CW(continuous wave)입력 조건에서 측정한 결과를 표 2에 정리하여 보았다. 원하는 주파수 대역 내에서의 편차는 이득이 0.1dB 이내, 최대 출력 전력이 $\pm 0.3\text{dBm}$ 이내, 최대 효율이 $\pm 2\%$ 이내였다. 이 결과를 바탕으로 GaN 고출력 트랜지스터의 반도체 다이를 패키지로 구성한 후 정합회로를 연결할 경우에 70% 이상의 최대 효율을 갖는 고출력 증폭기 모듈을 구성할 수 있음을 알 수 있다. 이는 기존에 주로 사용되고 있는 실리콘이나 GaAs 계열의 다른 고출력 트랜지스터 소자들의 최대 효율이 50%대임을 감안할 때 경쟁력이 높은 결과라 할 수 있다.



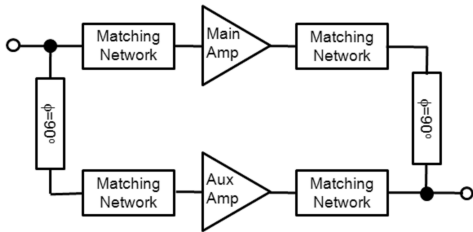
【그림 2】 패키지된 GaN 고출력 트랜지스터를 이용한 고출력 증폭기 모듈의 레이아웃 (a)8watt급 소자를 이용 (b)30watt급 소자를 이용

[표 2] 8watt, 30watt급 1단 증폭기 모듈의 설계 측정

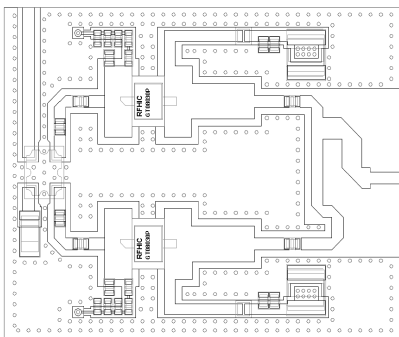
Frequency=2.6GHz	8watt급	30watt급
Bias voltage	30 V	30 V
Bias current(I _{DQ})	230 mA	300 mA
Gain	16.4 dB	14.8 dB
Peak power	40.5 dBm	45.65 dBm
Peak current at peak power	505 mA	1.496 A
Peak efficiency	74.1 %	79.9 %

2.2 도허티 구조의 팔렛트형 증폭기 모듈 설계

WiMAX나 LTE와 같은 통신 시스템에서는 실제 음성, 화상 및 데이터를 전송할 때 1-tone CW가 아닌 여러 가지로 변조된 신호(modulated signal)를 사용하게 된다. 이는 정해진 주파수 대역에서 보다 많은 정보를 송수신하기 위한 디지털 통신시스템의 장점을 뒷받침하기 위해서이며 또한, 무선 송수신 과정에서 발생하는 신호 대 잡음비의 열화(degradation)를 개선하고자 하는 목적도 있기 때문이다. 따라서 증폭소자가 낼 수 있는 최대 효율보다는 실질적으로 사용되는 출력 조건에서의 효율이 더 중요하다. 이 때의 출력은 각 무선통신 시스템에 따라 상이하지만 일반적으로 PAPR(peak to average power ratio)과 밀접하게 연관되어 있다[8].



[그림 3] 도허티 증폭기의 기본 구조

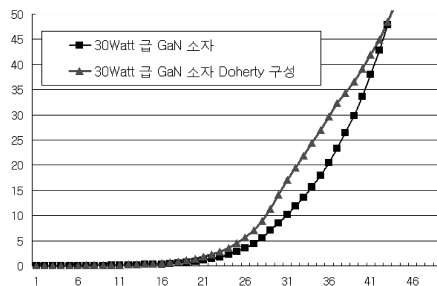


[그림 4] 60watt급 도허티 증폭기의 레이아웃

실제 사용되는 출력에서 보다 높은 효율을 발생시키는 방법은 여러 가지가 있는데, PCB 기반의 증폭기 모듈에서 상대적으로 용이하게 구현할 수 있는 방법이 그림 3과 같은 도허티 구조를 이용한 고풍력 증폭기 구조이다 [6-8]. 이 구조는 주증폭기(main amplifier, carrier amplifier)와 보조증폭기(auxiliary amplifier, peaking amplifier)로 구성되어 있는데, 넓은 입력 전력 범위에서 상대적으로 높은 효율을 얻기 위해서 낮은 입력 전력일 경우에는 주증폭기만 동작하고, 높은 입력 전력의 경우에는 보조증폭기가 주증폭기와 병행해서 동작한다.

앞서 설계한 30watt급 증폭기 2개를 사용하여 그림 3에 보인 60watt급 도허티 구조의 고풍력 증폭기를 구성하여 보았다. 동일한 기준에서 성능을 검증하고 비교하기 위해 앞서 사용한 것과 동일한 PCB 기판을 사용하였다. 그림 4는 완성된 도허티 증폭기 구조의 레이아웃을 보여주고 있다. 회로의 소형화를 위하여 입력측에 LTCC형 90도 하이브리드(hybrid)를 사용하였다.

그림 5는 60watt급 도허티 증폭기의 1-tone CW 성능 측정에서 얻은 효율(power added efficiency, PAE)을 출력 전력 대비 그래프로 보여주고 있다. 그림 5에 보인 성능 측정을 위하여 Agilent社의 신호발생기 E8257D와 RF 전력 검출계기인 E4419B를 사용하였다. 출력 레벨이 낮은 영역에서는 보조 증폭기가 동작하지 않으므로 도허티 구조의 장점이 보이지 않는데, 이것은 일반적인 현상이다. 그러나 출력 전력이 20dBm을 넘는 영역에서는 드디어 보조증폭기가 동작되기 시작하여 효율이 개선되고 있음을 알 수 있다. 이런 개선은 두 증폭기의 단순한 합에 의해서는 얻을 수 없는 개선이다. 단순한 두 증폭기의 합일 경우에 전력결합기의 손실 때문에 오히려 효율이 떨어지기 때문이다.



[그림 5] 60watt급 도허티 증폭기의 1-tone CW 성능 측정에서의 출력 전력에서의 PAE의 개선 (가로축 : P_{out}[dBm], 세로축 : PAE[%])

[표 3] 개발된 도허티 증폭기의 성능 측정 요약

Frequency=2.6GHz	도허티 증폭기 측정 결과
Bias voltage	30 V
Main amp I _{DQ} setting	300 mA
Peak power	48.52 dBm (71.12watt)
Peak current at peak power	3.652 A
Peak efficiency	81.34 %

표 3은 도허티 증폭기의 측정 성능을 요약한 것이다. 측정을 통하여 30watt급 1단 증폭기 모듈보다 60watt급 도허티 증폭기 구조가 훨씬 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있다. 그림 5를 통해서 10watt 출력에서 약 5~10% 정도의 PAE 개선을 이룬 것을 알 수 있다. 또한 CW 측정 시 최대 출력전력은 71.12watt이며 이 때 최대 효율은 81.34%로 매우 우수하였다.

2.3 전치증폭기 모듈

팔렛트형 증폭기 모듈을 구성하기 위해서는 구동증폭단(driving amp. stage)과 고출력증폭단(power amp. stage) 만으로는 높은 이득을 얻기가 어렵기 때문에 일반적으로 전치증폭단(pre-amp. stage)을 앞에 위치시킨다. 구동증폭단과 주증폭단이 전력증폭기로서 이득이 낮은 반면, 전치증폭단은 소신호 증폭기로서 이득이 높기 때문이다. 그런데 전치증폭단은 이득이 높은 반면 전체적인 효율 특성을 나쁘게 하므로, 효율 감소를 최소화하기 위해서 비교적 낮은 바이어스 전압을 인가한다. 낮은 바이어스 전압에서도 이득이 비교적 높은 증폭 소자로는 InGaP과 같은 MMIC (monolithic microwave integrated circuits) 소자들이 사용되는데, 본 연구에서는 5V 전압에서 높은 이득으로 동작하는 RFHIC社의 AP410(SOT-89 type)과 Sirenza社의 SZA-2044(4*4 QFN type)을 전치증폭단으로 사용하였다. 본 연구에서 팔렛트형 고출력 증폭기 모듈에 사용된 전치증폭단의 특성을 측정한 결과를 표 4에 나타내었다.

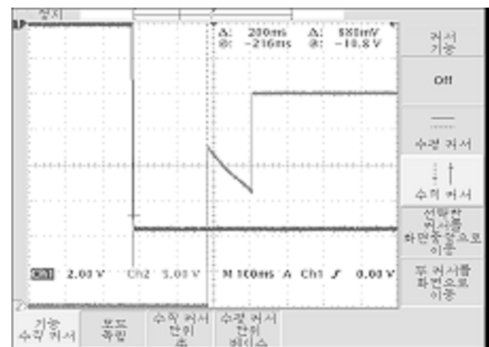
앞서 제작된 8watt급의 구동증폭단과 60watt급의 주증폭단의 이득을 통하여 전력 버짓 분석(power budget analysis)을 실시할 경우 전치증폭단에서 약 17dBm의 출력이 요구되는데, 전치증폭단의 선택시 이를 고려하여야 한다. 연구과정에서 17dBm의 출력성능을 지니는 소자를 취하였으며, 표 4의 결과를 얻는 측정과정에서도 이미 확인하였다.

[표 4] 전치증폭단의 성능 측정 요약

Frequency=2.6GHz	측정 결과	
Bias voltage	5 V	
I _{DQ} setting	AP410	40 mA
	SZA-2044	260 mA
Total gain	38.4 dB	
ACLR @ 17dBm	-5.27MHz	+5.27MHz
[WiMAX 20MHz Signal]	46.6dBc	46.3dBc
Current @ 17dBm	300 mA	

2.4 순차적 바이어스 회로

전치증폭단용 GaAs 반도체 소자는 gate에 음(-)전원을 사용하는 소자이다. 만약 gate에 음전원이 인가되지 않은 상태에서 drain 전압이 인가될 경우 GaAs 반도체 소자가 손상을 입을 가능성이 높기 때문에 음전원 생성에 적합한 바이어스 회로를 사용해야 하고, 또한 음전원부터 인가되도록 순차(sequence) 바이어스 회로를 사용해야 한다. 본 연구에서는 FET와 연산증폭기를 이용하여 순차적 바이어스 인가와 갑작스런 주전압 감압(main voltage drop)에 대비한 보호 기능을 바이어스 회로에 삽입하였다. 순차적 바이어스 인가를 확인하기 위하여 바이어스 순차 시간(bias sequence timing)을 측정한 결과 그림 6의 결과를 얻었다. 그림 6에 의하면, 주전원 인가시 gate에 먼저 인가되는 전압은 -12V이며, 약 200ms의 시간 지연(delay) 이후에 양(+)의 drain 전압이 인가되기 시작한다. 따라서 전원 인가 순서의 오류에 의한 증폭 소자의 파손을 피할 수 있다. 한편 그림 6의 결과를 측정하기 위해서 Tektronics社의 오실로스코프 TDS3054B를 사용하였다.

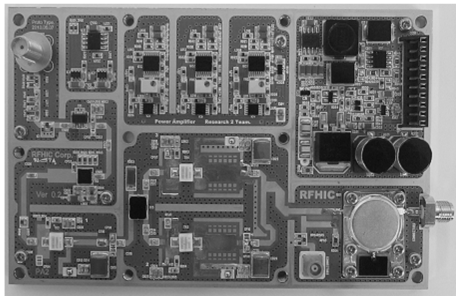


[그림 6] 순차적으로 인가되는 바이어스 전원 측정 결과

2.5 전체 증폭기 모듈의 구성

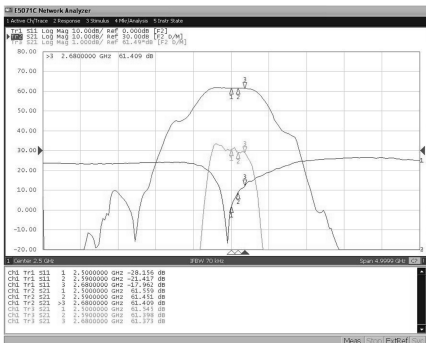
이제 개별적으로 제작된 각 증폭단을 통합하여 팔렛트

타입의 전체증폭단을 구성할 수 있다. 본 연구에서는 유전율이 3.5이고 두께가 0.8mm인 유전체 기판을 사용하여 그림 7과 같이 전치증폭단-구동증폭단-고출력증폭단으로 구성되는 60watt급 파렛트 타입 증폭기를 제작하였다. 전체증폭기 모듈을 구성하기 위해서 상기에서 언급한 각 증폭단을 사용하였고, 원하지 않는 주파수 대역에서 불필요한 신호가 입력되는 것을 차단하기 위하여 전치증폭단 앞에 LC 소자를 이용한 대역통과여파기(band pass filter, BPF)를 구현하였다. 또한 온도보상회로와 출력측의 DPD(digital pre-distortion) 연결을 위한 30dB 결합기(coupler)가 연결되어 있으며, 고속 스위칭 회로를 포함하고 있어 WiMAX 시스템에서 사용되는 TDD 신호와 LTE(long term evolution) 시스템에서 사용되는 FDD 신호에서도 모두 사용이 가능하다.



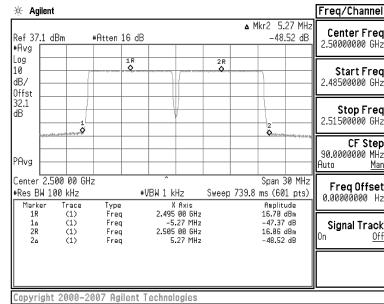
[그림 7] 팔렛트 타입의 60watt급 증폭기 모듈의 제작 사진

제작된 그림 7의 증폭기 모듈은 130x80x18.8mm (뚜껑 포함)의 크기를 가진다. 현재까지 파악된 유사 기능의 증폭기들이 upper band, lower band로 나뉘어 사용되는 것에 비하여 그림 7의 증폭 모듈은 두 band를 모두 커버할 수 있어서, 결과적으로 10% 정도의 크기 감소를 얻었음을 확인하였다.

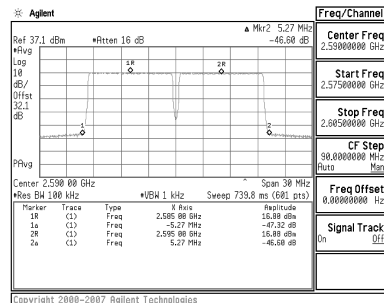


[그림 8] 팔렛트 타입의 60watt급 도허터 증폭기 모듈의 측정된 S-파라미터

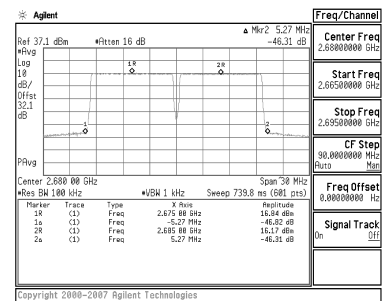
그림 8은 팔렛트 타입으로 제작한 60watt급 증폭기 모듈의 측정된 S-파라미터를 보여주고 있다. 주파수 2.5GHz~2.68GHz에서 61dB 이상의 이득을 지니는 한편, 61.41~61.56dB라는 매우 우수한 이득평탄도($\pm 0.075\text{dB}$)를 보이고 있음을 알 수 있다. 또한 입력 반사계수 역시 $-17.96\sim-28.16\text{dB}$ 로 우수한 결과가 측정되었다. S-파라미터 측정에는 Agilent社의 회로망 분석기인 E5071B를 사용하였다.



(a)



(b)



(c)

[그림 9] 팔렛트 타입의 60watt급 도허터 증폭기 모듈에 대해 WiMAX 2FA 신호를 인가했을 때 DPD를 적용하여 측정한 결과 (a)2500MHz (b)2590MHz (c)2680MHz

그림 9는 제작한 팔렛트 타입의 증폭기 모듈을 Texas Instrument社의 GC5325SEK DPD 모듈과 결합하여 시스

템을 구성한 후, WiMAX 2FA 신호를 인가하여 Agilent社の E4438C와 E4440A를 이용하여 측정된 결과를 보여 주고 있다. 출력전력이 40dBm이 되도록 입력 조건을 맞추고 측정된 결과, 주파수 2.5~2.68GHz에서 ACLR 특성이 모두 -45dBc 이상으로 우수하게 측정되었다. 또한 출력이 40dBm일 때 효율은 36.9% 이상으로 측정되었는데, 표 5는 본 연구에서 개발된 팔레트 타입의 60watt급 증폭기 모듈의 측정된 성능을 요약하여 보여주고 있다.

한편 본 논문에서 얻은 성능과 비교하기 위하여 본 논문의 연구개발에 앞서서 선개발한 LDMOS 계열의 50watt급 고출력증폭기의 특성을 간략히 요약하면 다음과 같다. 즉, 동작주파수는 2.5~2.6GHz (동작대역폭 100MHz), 총 DC 전류 소모량은 1100mA(I_{DQ} setting), ACLR은 +/-5.27MHz offset에서 25dBc 이상, 효율은 30% 내외이다. 이 결과와 표 5에 요약된 본 논문에서의 측정결과를 비교하면, 본 논문에서 개발된 증폭기 모듈의 우수성을 판단할 수 있다.

[표 5] 팔레트 타입의 60watt급 도허티 증폭기 모듈의 측정된 성능 요약

Test Frequency		2495~2680 MHz	
Bias voltage	pre amp.	5 V	
	driving amp. main amp.	30 V	
I_{DQ} setting (including DC current consumption)	pre amp.	300 mA	
	driving amp.	280 mA	
	main amp.	340mA (-4.5V of gate bias)	
Total small signal gain		61.4 dB	
ACLR @ 40dBm WiMAX 20MHz signal PAPR 8dB	-5.27MHz	+5.27MHz	
	≥ 26.3dBc		≥ 25.5dBc
ACLR @ 40dBm (DPD) WiMAX 20MHz signal PAPR 8dB	-5.27MHz	+5.27MHz	
	≥ 46.8dBc		≥ 46.3dBc
Efficiency @ 40dBm		36.9% ~ 38.3%	
Weight		300 g	

3. 결론

본 논문에서는 질화갈륨 반도체 트랜지스터 소자를 이용하여 WiMAX 및 LTE 시스템에 적용할 수 있는 60watt급 전력증폭기 모듈을 팔레트 타입으로 개발한 결과에 대하여 기술하였다. 60dB 이상의 이득을 얻기 위하여 저

전력 고이득 전지증폭단을 활용하였고, 8watt급 질화갈륨 소자로 구동증폭단을 설계하였다. 또한 CW 기준 60watt급 출력특성을 얻기 위하여 30watt급 질화갈륨 소자 2개를 도허티 구조로 구성하여 원하는 출력특성을 만족시켰다.

제작된 팔레트 타입 증폭기 모듈은 2.5~2.68GHz의 주파수 대역에서 61.4dB의 이득과 ±0.075dB의 이득 평탄도를 지녔으며, -17dB 이하의 입력측 반사계수를 가져 증폭기로서 매우 우수한 특성을 보여주었다. 또한 WiMAX 10watt 출력에서 36.9~38.3%의 고효율과 25.3dBc 이상의 ACLR 특성을 나타내었으며, DPD 적용시에는 46.3dBc 이상의 ACLR 특성을 나타내었다.

본 논문의 증폭기 모듈은 소형의 팔레트 타입으로 제작되므로 WiMAX, LTE등의 고부가가치 무선시스템 구성시 전기적인 특성의 우수성을 제공할 수 있을 뿐 아니라, 팔레트 타입이므로 시스템 구성의 용이성, 경량화 및 소형화에서도 효과적인 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 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", 2005 IEEE MTT-S Digest, pp. 483-486.
- [2] Singhal, S. Brown, J. D. Borges, R. Piner, E. Nagy, W. & Vescan, A. "Gallium Nitride on silicon HEMTs for wireless infrastructure applications, thermal design and performance", Proceedings of European Microwave Week, 2002.
- [3] 이상학, "질화갈륨 소재 및 소자관련 기술동향", 한국과학기술정보연구소 연구보고서, 2003년 12월.
- [4] 오성민, 임종식, 이용호, 박천선, 박용희, 안달, "질화갈륨 고출력 트랜지스터 패키지의 성능 최적화", 한국산학기술학회논문지 제 9권, 제 3호, pp. 649-657, 2008년 6월.
- [5] 박천선, 한상민, 임종식, 안달, 안종출, 박용희, "질화갈륨소자를 이용한 5Watt급 전력증폭기 모듈", 한국산학기술학회논문지 제 9권, 제 5호, pp. 1193-1120, 2008년 10월.
- [6] 김재곤, 김지연, 이동현, 김중헌, "고출력 고이득 2단 도허티 전력증폭기의 설계", 한국전자파학회논문지, 제17권, 제11호, pp. 1030-1039, 2006년 11월.
- [7] 홍용의, 양승인, "3-Way Doherty 증폭기의 선형성 및 효율 개선에 관한 연구", 한국전자파학회논문지, 제17

권, 제2호, pp. 124-128, 2006년 2월.

[8] Steve C. Cripps, *RF Power Amplifiers for Wireless Communications*, Artech House, 1999.

오 성 민(Seongmin Oh)

[정회원]



- 2006년 2월 : 순천향대 정보기술공학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 순천향대 대학원 전기통신시스템공학과 (공학석사)
- 2007년 12월 ~ 현재 : (주)RFHIC 연구소 재직중.

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 고효율증폭기 및 중계기 시스템 개발 등

임 종 식(Jongsik Lim)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
- 1993년 2월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과 재직중

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용 등