

Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈의 설계 및 제작

Design and Fabrication of a Ka-Band 10 W Power Amplifier Module

김 경 학 · 박 미 라 · 김 동 욱

Kyeong-Hak Kim · Mi-Ra Park · Dong-Wook Kim

요 약

본 논문에서는 다수의 MMIC 전력증폭기 칩과 박막 기판을 결합하여 MIC 모듈을 구성함으로써 Ka-대역 중심 주파수에서 10 W의 출력 전력을 낼 수 있는 전력증폭기 모듈을 설계 및 제작하였다. 전력증폭기 모듈의 제작에는 밀리미터파 대역에 적합한 수정된 형태의 윌킨슨 전력분배기/합성기를 사용하였고, 모듈의 구성 과정에서 발생할 수 있는 손실을 줄이고 공진을 억제하기 위해 CFBGCPW-Microstrip 천이 구조를 활용하였다. 전력증폭기 모듈은 총 7개의 MMIC 칩으로 구성되었으며 MMIC 칩을 펄스 모드로 동작시키기 위해 칩의 게이트에 펄스 전압을 인가하는 게이트 전압 제어기가 설계되고 적용되었다. 제작된 전력증폭기 모듈의 측정 결과 58 dB의 전력 이득과 39.6 dBm의 포화 출력 전력을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, a Ka-band 10 W power amplifier module is designed and fabricated using MIC(Microwave Integrated Circuit) module technology which combines multiple power MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) chips on a thin film substrate. Modified Wilkinson power dividers/combiners are used for millimeter wave modules and CFBGCPW-Microstrip transitions are utilized for reducing connection loss and suppressing resonance in the high-gain and high-power modules. The power amplifier module consists of seven MMIC chips and operates in a pulsed mode. For the pulsed mode operation, a gate pulse control circuit supplying the control voltage pulses to MMIC chips is designed and applied. The fabricated power amplifier module shows a power gain of about 58 dB and a saturated output power of 39.6 dBm at a center frequency of the interested frequency band.

Key words : Power Amplifier Module, Modified Wilkinson Power Divider, Ka-Band, Gate Pulse Control Circuit

I. 서 론

전력증폭기는 휴대전화기, 이동 통신 장비, 레이더 등에서 RF 신호를 증폭하여 출력단에 전달하는 기능을 하는 핵심 부품이다. 초기 전력증폭기는 하이브리드의 형태로 제작되었으나, 80년대 이후 화합물 반도체 공정 기술의 발전과 CAD 프로그램 및 소자 모델링 기술의 비약적인 발전으로 인해 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)의 형태로 주

로 제작되어지고 있는 추세이다^{[1],[2]}. 특히 고출력 전력증폭기의 경우 진행파관을 이용한 진행파관증폭기(Travelling Wave Tube Amplifier: TWTA)에서 현재에는 MMIC 소자를 사용한 고체 전자 소자 형태의 전력증폭기로 대체되고 있다. 고체 전자 소자 기술을 사용한 전력증폭기는 TWTA에 비해 소형화, 경량화, 낮은 동작 전압, 긴 수명, 유지 보수의 편리함 등 여러 장점을 가지고 있다^{[3],[4]}.

하지만 주파수가 높아질수록 하나의 MMIC만으

「본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.」
 충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논 문 번 호 : 20081110-142

· 수정완료일자 : 2009년 1월 21일

로는 높은 출력 전력을 갖는 전력증폭기를 구현하기 어렵다. 따라서 높은 주파수 영역에서 높은 출력 전력을 얻기 위해서는 여러 개의 MMIC를 연결하여 출력 전력을 높이는 방법을 사용한다^{[5],[6]}. 높은 주파수 영역에서 여러 단의 MMIC를 한꺼번에 사용하여 설계할 경우, 설계에서 발생하는 설계 오류 파악 및 수리의 불편함이 따르게 된다. 이러한 문제를 해결하고 각 단의 MMIC 성능 측정을 가능하게 하기 위하여 캐리어를 이용한 MIC(Microwave Integrated Circuit) 복합 모듈 설계 방법을 사용할 수 있다.

본 논문에서는 캐리어를 이용한 MIC 복합 모듈 설계 방법을 사용하여 각 단의 MMIC 성능을 개별 측정하고 측정 결과를 바탕으로 Ka-대역에서 동작하는 10 W 전력증폭기 모듈을 설계하고 제작하였다. Ka-대역의 중간 영역 주파수에서 동작하는 전력증폭기의 경우 Quinstar와 같은 일부의 해외 업체만이 제한적으로 12 V에서 동작하는 38 dBm 출력의 증폭기 모듈을 제공하고 있으나^[7], 군수 통제에 의해 기술 자료의 확보가 어려우며 국내 개발 또한 그동안 이루어지지 못했다. 따라서 본 논문에서 제공하는 1 W급 구동증폭기와 10 W 전력증폭기 모듈은 군용뿐만 아니라 민수용으로도 활용할 수 있으며, 그동안 본격적인 국내 개발이 이루어지지 않았던 Ka-대역 고출력 전력증폭기 개발의 시발점이 될 수 있을 것이다.

II. 전력증폭기 모듈 설계

2-1 블록 구성 및 부품 선정

본 논문에서 제작하고자 하는 Ka-대역 전력증폭기 모듈의 설계 목표를 표 1에 나타내었다. 주어진 설계 목표에서 증폭기의 이득은 65 dB로 설정되어 있으나, 앞 단의 PLL(Phase Locked Loop) 주파수 합성기의 출력이 충분히 여유가 있어 증폭 모듈의 이득이 다소 떨어져도 전체 시스템의 동작에는 아무런 문제가 되지 않는다. 따라서 설계, 제작의 주된 목표는 10 W의 출력을 대역폭 내에서 얻는 것이다. 본 모듈의 개발을 위해 전용으로 제작된 MMIC 칩들을 사용하는 것이 아니라 가용한 상용칩들을 활용하는 것이기 때문에 칩 선정에 있어 이러한 점들을 충분히 고려하였다. 설계 목표를 만족하는 전력증폭기 모듈

표 1. Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈 설계 목표
Table 1. The specifications of a Ka-band 10 W power amplifier module.

주파수	Ka-대역 중간주파수(f_c)
대역폭	2 %
출력 전력	10 W
이득	65 dB

표 2. 상용 MMIC 칩 특성(데이터시트 기준)
Table 2. MMIC characteristics(based on data sheet).

	MMIC	출력 전력	이득	동작 전압
Fujitsu	FMM5704X	9 dBm (P1dB)	18 dB	3 V, 20 mA (self bias)
Triquint	TGA4522	27 dBm (P1dB)	18 dB	6 V, 400 mA ($V_g = -0.6$ V)
Triquint	TGA4516	33 dBm (Psat)	18 dB	6 V, 1,050 mA ($V_g = -0.6$ V)
Triquint	TGA4517	35 dBm (Psat)	15 dB	6 V, 2 A ($V_g = -0.5$ V)

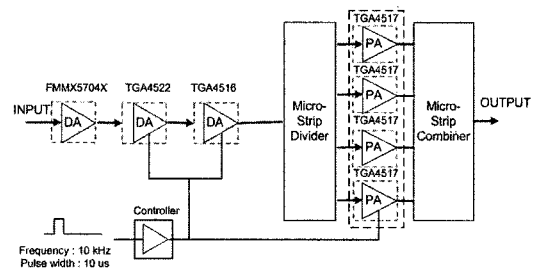


그림 1. 전력증폭기 모듈 구성도

Fig. 1. A block diagram of the power amplifier module.

을 제작하기 위해 Fujitsu사와 Triquint사의 MMIC 칩을 선정하여 표 2에 특성을 정리하여 나타내었다.

그림 1은 선정한 MMIC 칩을 사용한 10 W 전력증폭기 모듈의 블록 구성을 나타낸다. 앞의 3단 증폭기를 사용하여 이득을 충분히 확보한 뒤 전력분배기를 통해 전력증폭단의 4개의 MMIC에 전력을 공급한다. 전력증폭단의 4개의 MMIC에서 증폭된 전력은 전력합성기를 통해 합성함으로써 10 W의 출력 전력을 구현하고자 했다. 또한, 전력증폭기 모듈을 펄스 모드로 동작시키기 위해 각 MMIC의 게이트 전압을 제어할 수 있는 게이트 전압 제어기를 설계하고 적용

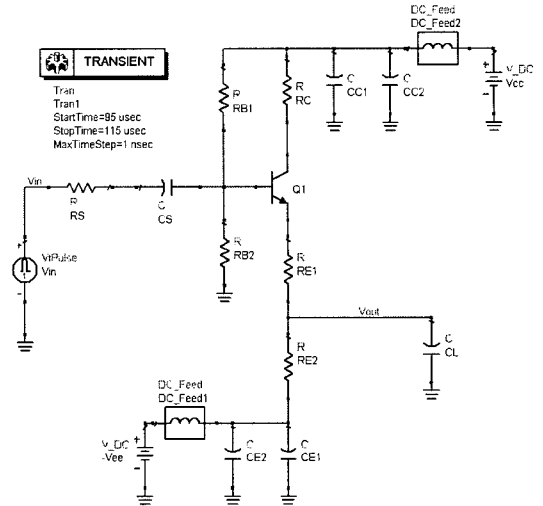
하였다.

전력증폭기 모듈은 조립 및 개별 측정, 수리의 용이성을 위하여 기능별로 각각 Silvar로 구성된 캐리어 위에 MIC 기술을 사용하여 칩을 조립하였다. 마이크로스트립으로 구성된 캐리어 모듈들을 본딩 와이어로 직접 연결할 경우, 캐리어의 깊이와 간격에 따라 주파수가 높아질수록 부정합에 의한 삽입 손실이 커지게 된다. 반면에 CPW(Coplanar Waveguide)의 경우, 전자계가 윗면에 주로 형성되어 있어 이를 통하여 연결할 경우 캐리어 깊이의 영향을 적게 받아 낮은 삽입 손실을 가질 수 있다. 따라서 캐리어로 구성된 단위 모듈들을 이용하여 MIC 복합 모듈을 구성할 때 밀리미터파 대역에서 삽입 손실 및 반사 손실 특성이 우수한 CBF-GCPW(Conductor Backed Finite Ground CPW)-Microstrip 천이 구조를 사용하여 설계하였다¹⁸⁾.

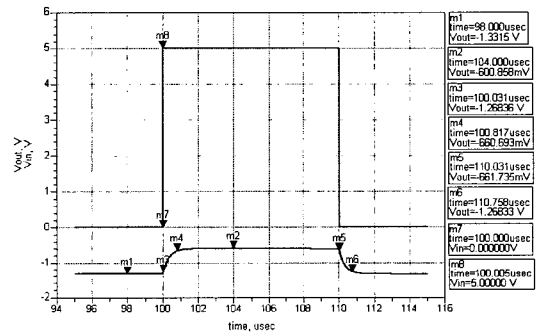
2-2 제어기 설계

전력증폭기 모듈을 펄스 모드로 동작시키는 방법에는 입력 신호를 펄스로 변조하여 증폭기에 직접 입력하는 방법과 증폭기 전원 전압을 on/off 시키는 방법이 있다¹⁹⁾. 본 논문에서는 전력증폭기 모듈의 펄스 구동 방법으로 증폭기 전원 전압을 on/off 시키는 방법 중 게이트 전압을 펄스로 제어하는 방법을 사용하였다. MMIC의 게이트 전압 제어는 일반적으로 수 Ampere 이상의 드레인 전류가 흐를 수 있는 출력 단 MMIC의 드레인을 직접 제어하는 것보다 효율적이다. 게이트 전압 제어기는 트랜지스터를 이용한 에미터 팔로워(emitter follower) 회로를 사용하였다. 트랜지스터는 NEC사의 2SC4226을 사용하였고 설계는 Agilent사의 ADS 소프트웨어를 사용하였다. 그림 2는 ADS를 사용한 제어기 설계를 보여주고 있다.

제어기에서 나오는 출력은 각 MMIC의 게이트 단자에 연결되는데, 이때 MMIC 게이트 단자에 존재하는 바이패스(bypass) 캐패시터와 바이어스 연결을 위한 feedthru에 존재하는 캐패시터가 게이트 전압 제어기의 부하로 작용하게 된다. 따라서 게이트 전압 제어기 설계에서 바이패스 캐패시터와 feedthru 캐패시터 값을 부하로 고려하여 제어기를 설계하였다. 설계 결과, MMIC를 on 시킬 수 있는 -0.6 V에서 off 시킬 수 있는 -1.3 V의 전압을 보이는 펄스 파형을



(a) 회로도
(a) A schematic circuit



(b) ADS 시뮬레이션 결과
(b) Simulation results

그림 2. 게이트 펄스 제어 회로
Fig. 2. A gate pulse control circuit.

구현하였으며, 펄스 상승 시간 및 하강 시간은 최대 10 nF의 부하 조건에서 800 nsec의 값을 보였다.

2-3 전력분배기/합성기 설계

전력증폭기 모듈을 설계하는데 있어서 전력증폭단의 MMIC에 전력을 나누어 공급하는 전력분배기와 전력증폭단의 각 MMIC에서 증폭된 전력을 합성하는 전력합성기의 설계는 매우 중요하다. 일반적으로 전력증폭기 모듈을 구성할 때 윌킨슨(Wilkinson) 구조의 전력분배기/합성기(이하 전력분배기)를 많이 사용하지만, 밀리미터파 대역에서 동작하는 전력증폭기 모듈의 경우 다음과 같은 문제가 발생할 수 있다. 동작 주파수에서 전력분배기가 안정적으로 동작

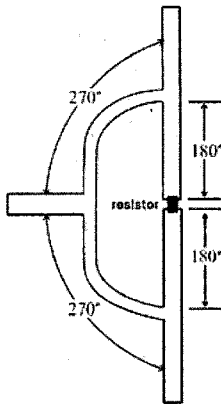


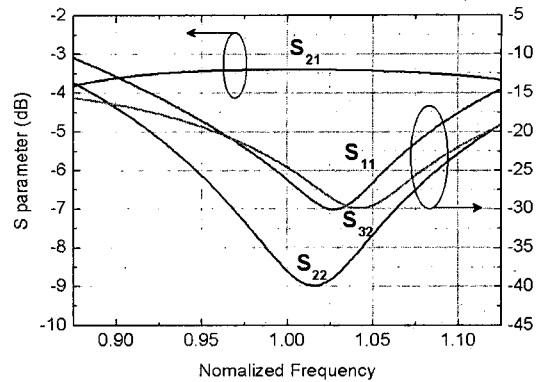
그림 3. 수정된 윌킨슨 전력분배기 구조
Fig. 3. A modified Wilkinson power divider.

하기 위해서는 높은 자기 공진 주파수를 가지는 작은 크기의 저항이 출력단자 사이의 격리도를 위해 필요하다. 이러한 작은 크기의 저항을 연결하기 위해서는 전력분배기의 전송선이 매우 가깝게 위치하게 되고 전송선 상호간에 심각한 커플링 문제가 발생하여 전력 분배 비율의 변화를 가져올 수 있다.

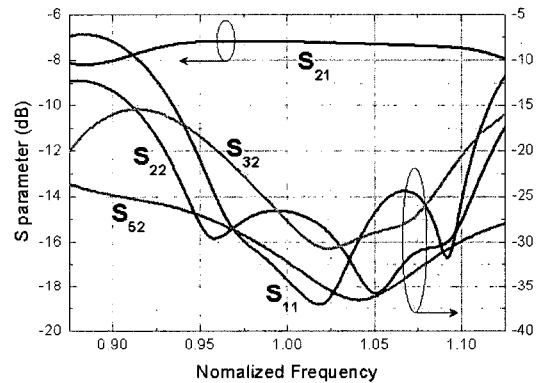
따라서 이를 해결하기 위해 기존 윌킨슨 전력분배기의 90° 전송선 대신 270° 전송선을 사용하고 출력단자의 격리도 저항을 연결하기 위해 180° 전송선을 삽입한 그림 3과 같은 수정된 형태의 윌킨슨 전력분배기 구조를 사용하였다^[10].

전력분배기의 설계는 Agilent사의 ADS 소프트웨어를 사용하여 진행하였고, 기판은 유전율이 9.8, 두께 10 mils의 알루미늄 기판을 사용하였으며, 저항으로 면 저항 50 Ω의 TaN 물질을 사용하였다^[11]. 고출력 전력분배기의 경우, 격리도를 확보하기 위해 사용되는 박막 저항의 크기를 결정하는 것은 중요하다. 박막 저항의 크기가 너무 작을 경우 격리 특성은 상대적으로 좋게 나타나지만 격리 경로를 통해 흐르는 누설 전력에 의해 박막 저항이 손상될 수 있다. 박막 저항의 크기를 너무 크게 할 경우 누설 전력에 의한 박막 저항의 손상은 방지할 수 있지만 격리 특성이 다소 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 격리 특성을 20 dB로 설정한 후 누설 전력을 계산하여 박막 저항이 누설 전력을 충분히 견딜 수 있도록 설계하였다.

그림 4는 2출력 전력분배기와 2출력 전력분배기를 3개 사용하여 구성한 4출력 전력분배기를 2.5차



(a) 2출력 전력분배기 결과
(a) 2-way power divider



(b) 4출력 전력분배기 결과
(b) 4-way power divider

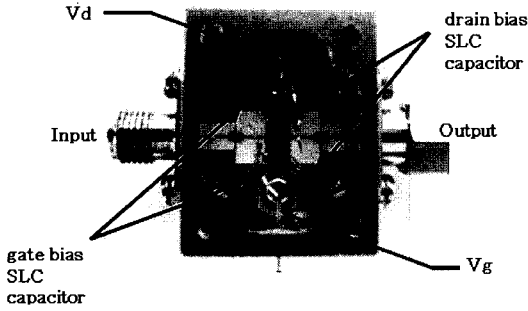
그림 4. ADS Momentum을 이용한 전력분배기 설계 결과

Fig. 4. Simulated results of 2-way and 4-way power dividers using ADS Momentum.

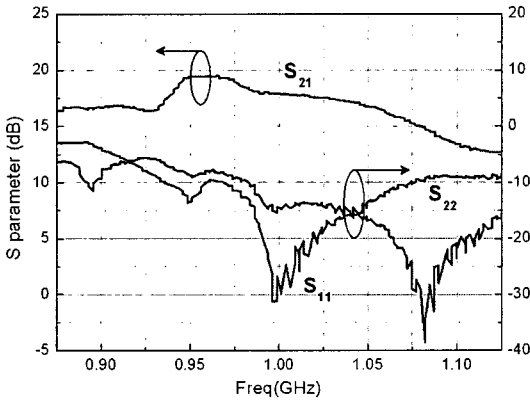
원 전자기 시뮬레이션 툴인 ADS Momentum을 사용하여 설계한 결과를 보여주고 있다. 개발 대상이 균용으로 설정된 관계로 주파수 축은 Ka-대역의 특정 주파수를 중심으로 정규화하여 표시하였다. 회로가 적용되는 대상의 관심 대역은 정규화 주파수 기준으로 0.99~1.01에 해당하는 구간이다. 시뮬레이션 결과에 따르면 2출력 전력분배기의 경우 0.4 dB 정도의 손실을 보였고 4출력 전력분배기의 경우 2출력 전력분배기를 연결하는 전송선로의 손실을 포함하여 1.3 dB 정도의 손실 특성을 보였다.

III. 전력증폭기 모듈 제작 및 측정

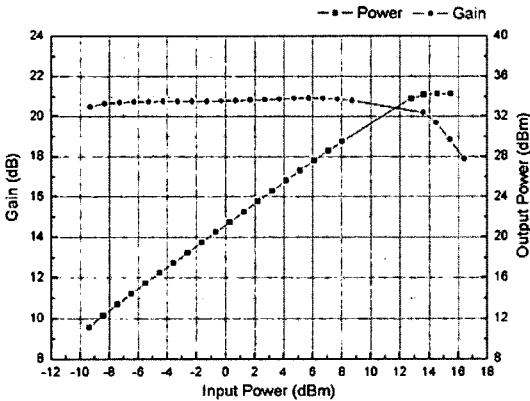
3-1 개별 증폭단의 제작 및 측정



(a) 증폭기 시험 모듈
(a) Amplifier test module



(b) S-파라미터 측정 결과
(b) Measured S-parameters



(c) 전력 특성 측정 결과
(c) Power test results

그림 5. TGA4516 시험 모듈 및 측정 결과
Fig. 5. TGA4516 test module and its measured results.

전체 전력증폭기 모듈을 제작하기에 앞서 각 개별 증폭기의 특성을 파악하기 위하여 개별 MMIC 칩을 각각의 캐리어에 장착한 후 테스트 지그에 조립하여 특성을 측정하였다. 캐리어 기판은 열에 의한 MMIC 칩의 손상을 방지하기 위하여 GaAs 기판과 비슷한

열 팽창 지수를 가지며, 열전도율이 뛰어난 Silvar를 사용하였다. 각 MMIC에 대한 S-파라미터와 전력 특성을 측정한 결과 FMM5704X, TGA4516, TGA4517 등은 데이터시트에 준하는 성능을 보이는 것으로 확인되었지만, TGA4522의 경우 이득이 13 dB로 데이터시트에서 언급된 이득 18 dB와는 차이가 있었다. 이러한 차이는 칩의 제작 편차에 따른 것으로 MMIC 제조 회사의 출고 검사 결과와 일치하는 값을 나타내었다.

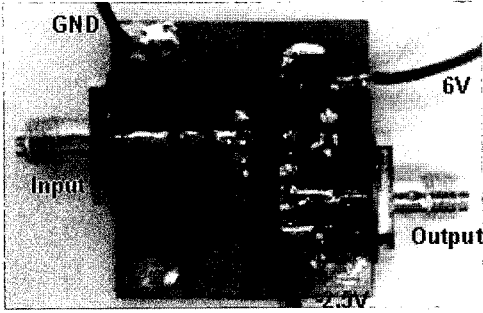
그림 5는 개별 증폭기 MMIC의 측정 결과의 한 예를 보여주는 것으로 TGA4516의 측정 데이터를 나타내었다. S-파라미터 측정 결과와 전력 측정 결과를 비교해 보면 전력 측정시의 이득이 약간 더 큰 것을 볼 수 있는데 이는 측정 조건 차이에서 기인한다. S-파라미터의 경우, DC 바이어스 조건에서 측정되었으며, 전력 측정은 10 kHz, 10 μ sec 펄스 바이어스 조건에서 수행되었다.

3-2 제어기 제작 및 측정

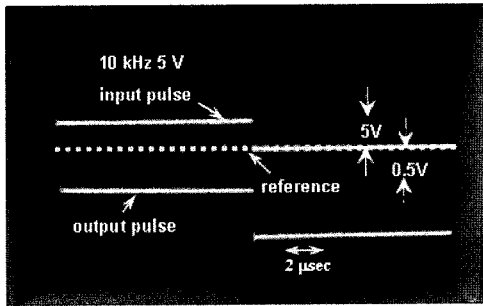
그림 6(a)는 전력증폭기 모듈에 실장하기 전에 제어기의 특성을 평가하기 위해 시험 제작된 게이트 펄스 전압 제어기를 보여주고 있다. 제어기의 측정은 Agilent사의 33250 함수발생기로 0~5 V의 10 kHz, 10 μ sec 펄스 전압을 인가한 상태에서 수행되었다. 그림 6(b)는 제어기의 측정 결과, 파형을 나타낸다. 측정된 파형을 보면 증폭기 MMIC를 on 시킬 수 있는 -0.6 V에서 off 시킬 수 있는 -1.3 V의 전압을 갖는 것을 확인할 수 있으며, 10 nsec 이하의 펄스 상승 시간과 하강 시간을 가지는 제어기가 1 nF의 구동증폭기 MMIC 칩의 게이트 바이패스 캐패시터 효과로 인해 200 nsec 남짓의 펄스 상승 시간과 하강 시간을 가지게 되었다.

3-3 전력분배기 제작 및 측정

그림 7은 실제 제작한 전력분배기를 보여주고 있다. 전력분배기의 측정은 2출력 전력분배기에 대해서만 진행하였고, 정확한 전력분배기의 특성을 파악하기 위해 서로 다른 길이를 갖는 두 전송선을 제작하여 전송선 손실과 K 커넥터 조립에 의한 손실을 추출하였다. 측정 결과, 중심 주파수에서 1파장 길이



(a) 제작된 게이트 전압 제어기
(a) Gate voltage control test circuit



(b) 측정 결과
(b) Measured results

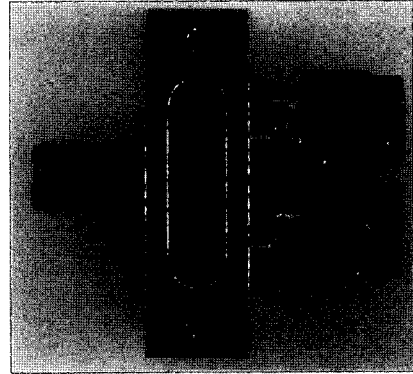
그림 6. 게이트 펄스 전압 제어기 및 측정 결과
Fig. 6. Gate pulse voltage control circuit and its measured results.

의 전송선은 약 0.085 dB의 손실을 갖고 K 커넥터 1쌍의 조립 손실은 0.595 dB가 측정되었다.

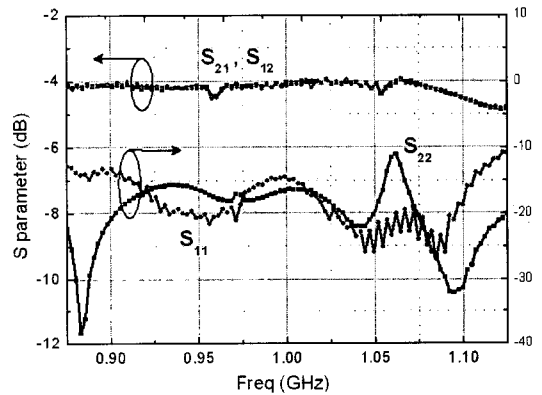
또한, 전력분배기를 측정하는데 사용된 K adapter 손실은 약 0.4 dB로 측정되었다. 2출력 전력분배기를 측정된 결과, 약 0.4 dB의 손실이 발생하여 ADS 시뮬레이션 결과와 일치하는 것을 확인하였다. 2출력 전력분배기의 손실과 전송선 손실 측정 결과를 바탕으로 4출력 전력분배기의 손실을 고려하였을 때 4출력 전력분배기는 ADS Momentum 시뮬레이션 결과와 같은 약 1.3 dB의 손실이 발생할 것으로 예상되었다.

3-4 1 W급 구동증폭기 모듈 제작 및 측정

앞에서 측정된 개별 MMIC의 특성을 바탕으로 1 W급 구동증폭기 모듈을 제작하였다. 그림 8은 제작된 1 W급 구동증폭기 모듈의 사진을 보여주고 있다. 그림 8에서 A 부분은 모듈의 각 MMIC에 드레인 바이어스를 인가하기 위한 회로이며, B 부분은 각 MMIC의 게이트 전압을 제어하기 위한 게이트 전압



(a) 제작된 2출력 전력분배기
(a) 2-way power divider



(b) 측정 결과
(b) Measured results

그림 7. 2출력 전력분배기 및 측정 결과
Fig. 7. 2-way power divider and its measured results.

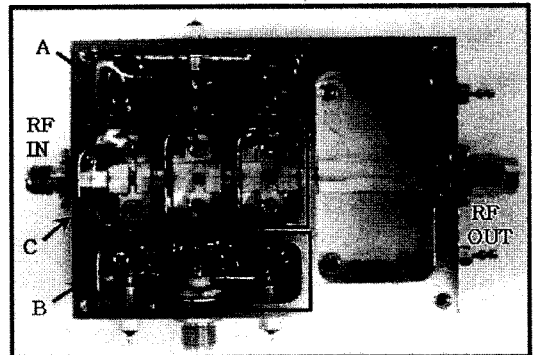


그림 8. 제작된 1 W급 구동증폭기 모듈
Fig. 8. A fabricated 1 W driver amplifier module.

제어기를 나타낸다. C 부분은 각 기능별 캐리어가 장착된 모습을 나타낸다. 구동증폭기 모듈의 각 캐리어 사이에는 격벽을 두어 공진 모드를 최소화 하고

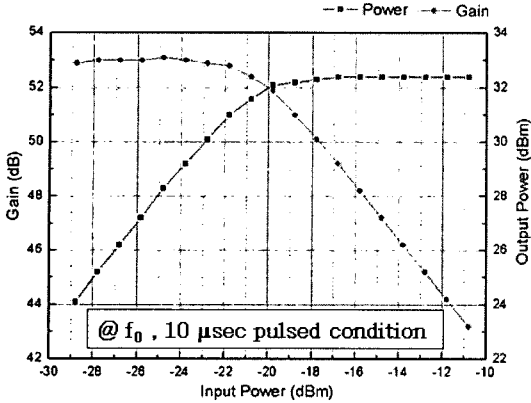


그림 9. 1 W급 구동증폭기 모듈의 전력 특성 측정 결과

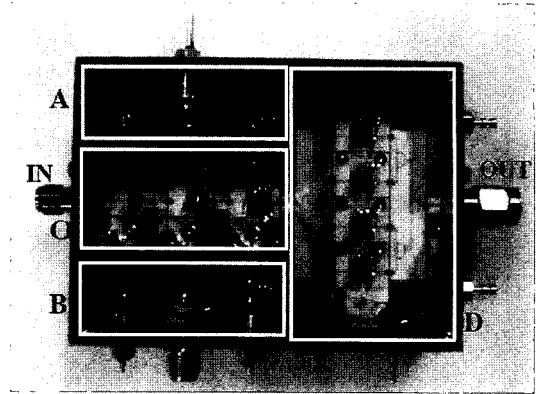
Fig. 9. Power measurement results of 1 W driver amplifier module.

자 했으며, 전파흡수체를 부분적으로 사용하여 지그에 의한 공진 발생 가능성을 제거하였다.

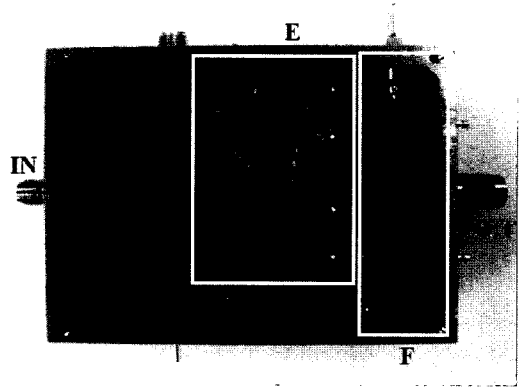
그림 9는 1 W급 구동증폭기 모듈의 전력 특성 측정 결과를 나타낸다. 측정을 위한 게이트 입력 펄스로는 10 kHz의 펄스 주기를 갖는 10 μsec의 전압 펄스를 사용하였으며, 측정 결과 약 53 dB의 이득과 32.5 dBm의 출력 전력을 보이는 것으로 측정되었다^[12]. 제작한 1 W급 구동증폭기 모듈은 10 W 전력증폭기 모듈의 이득을 확보하는데 사용된다.

3-5 10 W 전력증폭기 모듈 제작 및 측정

앞에서 제작한 게이트 전압 제어기, 4출력 전력분배기, 1 W급 구동증폭기 모듈을 활용하여 10 W 전력증폭기 모듈을 제작하였다. 그림 10은 제작된 10 W 전력증폭기 모듈을 보여주고 있다. 그림 10(a)에서 A 부분은 구동증폭단의 드레인 바이어스를 인가하기 위한 회로이고, B 부분은 구동증폭단 및 전력증폭단 MMIC의 게이트 전압을 제어하기 위한 게이트 전압 제어기이다. C 부분은 구동증폭단 모듈을 나타내며, D 부분은 전력을 분배 및 합성하기 위한 4출력 전력분배기와 전력 증폭을 위해 MMIC 4개가 병렬로 연결된 모습을 나타낸다. 또한, 전력증폭단의 각 MMIC에 게이트 전압을 인가하기 위하여 그림 10(b)의 E와 같이 모듈의 후면을 가공 처리하였다. 그림 10(b)의 F는 전력증폭단 MMIC에 드레인 바이어스를 인가하기 위하여 구성하였으며, 높은 드레인



(a) 윗면
(a) Top view



(b) 아랫면
(b) Bottom view

그림 10. 제작된 10 W 전력증폭기 모듈(크기: 72×62 mm)

Fig. 10. A fabricated 10 W power amplifier module (size: 72×62 mm).

전류의 요구로 구동증폭단과 별도로 바이어스를 인가하도록 제작되었다.

그림 11은 10 W 전력증폭기 모듈의 측정을 위한 장비 구성을 나타낸다. 게이트 전압 제어기에 바이어스와 펄스를 인가하기 위한 전원공급기 및 함수발

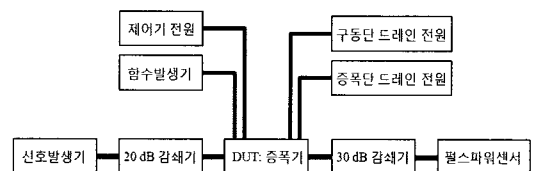


그림 11. 제작된 전력증폭기 모듈의 측정 장비 구성
Fig. 11. Power measurement setup of the fabricated power amplifier module.

생기, 구동증폭단에 드레인 바이어스 전원을 공급하기 위한 전원공급기, 전력증폭단에 드레인 바이어스 전원을 공급하기 위한 고전력 전원공급기, 전력증폭기 모듈에 RF 신호를 인가하기 위한 신호발생기, 전력증폭기 모듈의 출력 전력을 측정하기 위한 파워미터 및 파워 센서를 사용하였다. 그리고 측정에서 발생하는 열을 원활히 제거하기 위해 알루미늄 재질의 방열판과 쿨러를 이용하였다. 전력증폭기 모듈에 인가되는 RF 신호의 크기를 줄이기 위해 전력증폭기의 입력 쪽에 20 dB 감쇄기를 사용하였으며, 증폭된 출력신호가 파워미터 및 파워 센서의 측정 범위를 넘어서지 않도록 전력증폭기의 출력 쪽에 30 dB 감쇄기를 사용하였다. 전력증폭단에 전원을 공급하는 전원공급기의 전류 공급 능력이 게이트 전압 제어기의 스위칭 속도를 따라갈 수 없기 때문에 전력증폭단의 드레인 바이어스 부분에 대용량의 캐패시터를 사용하여 순간적인 전류 공급이 가능하도록 하였다.

그림 12는 중심 주파수에서 수행된 10 W 전력증폭기 모듈의 펄스 모드 전력 측정 결과를 나타낸다 [13]. 전력증폭기 모듈의 측정을 위해 게이트 전압 제어기에 주파수 10 kHz에서 5 μ sec의 펄스 폭을 갖는 구형파를 인가한 후 측정하였다. 측정은 인가한 펄스 폭인 5 μ sec와 펄스 상승 시간에 의한 전력 손실을 고려한 4 μ sec를 기준으로 측정하였다. 측정 결과, 약 58 dB의 이득과 39.6 dBm 이상의 포화 출력 전력을 내는 것으로 측정되었다. 또한, 제작된 모듈

은 1 kHz, 10 μ sec의 펄스 모드 측정에 대해 10 W 이상의 출력 전력을 대역폭 내에서 보여주었다. 이는 적절한 heat dissipation 확보로 10 kHz, 10 μ sec의 펄스 모드 동작에 대해 10 W 이상의 출력 전력을 충분히 확보할 수 있음을 시사하고 있다. 그림 12의 펄스 모드 동작에 대해서는 2%의 대역폭 내에서 출력 전력이 39.6~40.1 dBm의 특성을 보여 최대 0.5 dB의 변화를 가지는 것으로 측정되었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 그동안 국내 개발이 이루어지고 있지 않았던 Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈을 캐리어를 이용한 MIC 복합 모듈 설계 방법을 이용하여 설계하고 제작하였다. 각 증폭기 MMIC를 기능별 캐리어를 사용하여 특성을 파악하였으며, 제작한 전력증폭기의 펄스 동작을 위한 게이트 전압 제어기를 설계, 제작하였고 전력증폭단에서 증폭된 전력을 효과적으로 합성하기 위하여 알루미늄 박막 공정을 이용한 4출력 전력분배기를 설계 및 제작하였다. Ka-대역에서 동작하는 1 W급 구동증폭기 모듈과 10 W 전력증폭기 모듈을 각각 제작 및 측정하였다. 10 W 전력증폭기 모듈의 경우 10 kHz의 펄스 주기와 5 μ sec 펄스 폭을 갖는 펄스 모듈에 인가하였을 때 약 58 dB의 이득과 39.6 dBm의 출력 전력을 내는 것으로 측정되었다. 제작한 전력증폭기 모듈은 밀리미터파 대역의 레이더 시스템뿐만 아니라 향후 활성화될 것으로 기대되는 밀리미터파 대역의 민간 통신용 고출력 시스템에도 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Man-Seok Uhm, Dong-Pil Jang, In-Bok Yom, and Seong-Pal Lee, "A gain-variable Ka-band SSPA using MMIC technology", *IEEE Asia-Pacific Microwave Conference*, Sydney, Australia, pp. 617-620, Dec. 2000.
- [2] M/A-COM Inc., "High voltage, low cost FETs for HPA MMIC applications", *Microwave Journal*, vol. 47, no. 12, p. 126, Dec. 2004.
- [3] A. R. Barnes, M. T. Moore, M. B. Allenson, and R. G. Davis, "A compact 6 to 18 GHz power amplifier

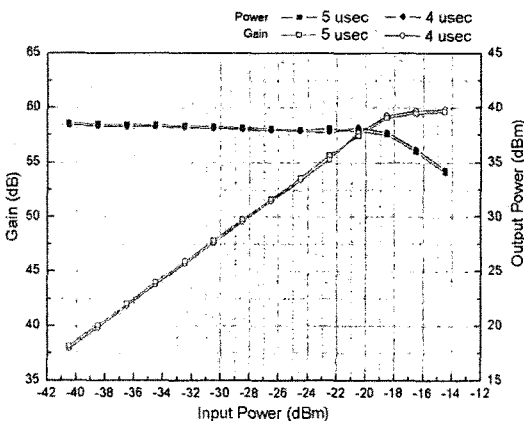


그림 12. 10 W 전력증폭기 모듈 펄스 전력 측정
Fig. 12. Pulsed power measurement of 10 W power amplifier module.

module with 10 W output power", 1999 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Anaheim, USA, vol. 3, pp. 959-962, Jun. 1999.

- [4] 조창환, 이찬주, 홍의석, "Ku-band의 소형 기지국 응용을 위한 8 W 고출력 증폭기에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 7(1), pp. 53-60, 1996년 3월.
- [5] T. Murae, K. Fujii, and T. Matsuno, "A compact S-band MMIC high power amplifier module", 2000 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, Boston, USA, vol. 2, pp. 943-946, Jun. 2000.
- [6] M. Funada, K. Seino, K. Takita, Y. Itoh, G. Toyoshima, T. Takagi, M. Komaru, H. Mizutamari, H. Mineno, C. Ohuchi, T. Nishigaki, M. Takouchi, M. Nishida, and H. Saito, "Ka-band 20 W-class SSPA utilizing MMIC technology for satellite communications", 25th European Microwave Conference, Bologna, Italy, vol. 1, pp. 12-15, Oct. 1995.
- [7] <http://www.quinstar.com>
- [8] 임주현, 양승식, 염경환, "저 손실을 갖는 CBF-GCPW-Microstrip 천이 구조의 해석 및 MIC 모듈

집적화에 응용", 한국전자과학회논문지, 18(7), pp. 809-818, 2007년 7월.

- [9] 이희민, 홍성용, "Pulsed power amplifier를 위한 고속 스위칭 회로 설계", 한국전자과학회논문지, 19(2), pp. 174-180, 2008년 2월.
- [10] D. Antsos, R. Crist, and L. Sukamto, "A novel wilkinson power divider with predictable performance at K and Ka-band", 1994 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, San Diego, USA, vol. 2, pp. 907-910, May 1994.
- [11] Applied Thin-Film Products, Thin-Film Circuits Design Rules, <http://www.thinfilm.com>.
- [12] 김경학, 공덕규, 김소수, 염경환, 김동욱, "Ka-대역 1 W급 전력증폭기 모듈의 설계 및 제작", 2007년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp. 425-428, 2007년 9월.
- [13] 김경학, 박미라, 공덕규, 김소수, 김동욱, "Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈의 설계 및 제작", 2008년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, p. 162, 2008년 9월.

김 경 학



2007년 2월: 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 능동회로 설계, 전력증폭기 모듈 설계

김 동 욱



1990년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1992년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1996년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1991년 8월~2000년 5월: LG종합기술원 선임연구원

2000년 6월~2002년 8월: 텔레포스(주) 연구소장
 2002년 9월~2004년 9월: 에스원기술연구소 응용기술팀장
 2004년 10월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
 [주 관심분야] 초고속 및 초고주파 집적회로, 초소형 레이더 모듈, Power Integrity

박 미 라



2008년 2월: 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
 2008년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 회로 및 시스템