

높은 격리도 특성의 4:1 도파관 전력합성기를 이용한 Ka-대역 8 W 전력 증폭 모듈

A Ka-Band 8 W Power Amplifier Module Using 4-Way Waveguide Power Combiners with High Isolation

신임휴 · 김철영* · 이만희** · 주지한** · 이상주** · 김동욱

Im-Hyu Shin · Choul-Young Kim* · Man-Hee Lee** · Ji-Han Joo** · Sang-Joo Lee** · Dong-Wook Kim

요 약

본 논문에서는 Ka-대역에서 도파관 기반으로 동작하는 2 W급 소형 전력 모듈과 35 GHz에서 25 dB 이상의 높은 격리도 특성을 가지는 4:1 도파관 전력합성기를 이용하여 8 W 전력 모듈을 제작하고 평가하였다. 도파관-마이크로스트립 변환 구조를 사용하여 4개의 소형 전력 모듈을 제작하였으며, 32.5~33.3 dBm의 출력 전력과 26.9~28.7 dB의 전력 이득 특성을 얻었다. 제작된 4개의 소형 전력 모듈은 저항성 격막을 삽입하여 제작한 4:1 도파관 전력합성기로 결합되었고, 중심 주파수 35 GHz, 6 V 드레인 전압 조건에서 39.0 dBm(8 W)의 출력 전력과 26.4 dB의 전력 이득 특성을 보였으며, 6.5 V 드레인 전압에서는 39.6 dBm(9.1 W)의 출력 전력과 26.7 dB의 전력 이득 특성을 보였다.

Abstract

In this paper, a Ka-band 8 W power amplifier module with WR-28 waveguide input and output ports is implemented and measured using four 2 W power amplifier modules and 4:1 waveguide power combiners with high isolation of 25 dB at 35 GHz. The 2 W power amplifier modules are fabricated using waveguide-to-microstrip transitions and show output power of 32.5~33.3 dBm and power gain of 26.9~28.7 dB at 35 GHz. Four 2 W power amplifier modules are combined through 4:1 waveguide power combiners with resistive septum and the combined power shows 39.0 dBm(8 W) under 6 V drain bias and 39.6 dBm(9.1 W) under 6.5 V drain bias at 35 GHz.

Key words : Ka-Band, Waveguide Combiner, Resistive Septum, Waveguide Transition, Power Amplifier

I. 서 론

현재 Ka-대역, 특히 35 GHz 근처에서 동작하는 전력증폭기 모듈의 경우, Quinstar와 같은 일부 해외 업체만이 제한적으로 12 V에서 동작하는 38 dBm 출

력의 증폭기 모듈을 제공하고 있으며^[1], 국내의 경우 최근에서야 40 dBm 출력의 전력증폭기 모듈이 개발되었다^[2]. 고출력 전력증폭기 모듈을 구현하기 위해 개별 MMIC 칩들을 알루미늄(Alumina) 기판에서 전력 합성하는 방법은 큰 마이크로스트립 전송 선로의

「이 연구는 2011년도 LIG넥스원의 연구비 지원으로 수행되었음.」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

*충남대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Chungnam National University)

**LIG넥스원 ISR 연구센터(ISR Research Center, LIG Nex1)

· 논문 번호 : 20120106-003

· 교신저자 : 김동욱(e-mail : dwkim21c@cnu.ac.kr)

· 심사일자 : 2012년 2월 14일 · 수정완료일자 : 2012년 2월 15일

손실로 인해 수십 W 이상의 Ka-대역 전력증폭기 구현에는 적절하지 않다. 도파관을 활용한 전력 합성의 경우 다룰 수 있는 전력이 크며, 도파관의 손실이 작아 많은 수의 전력 모듈들을 결합하는 경우에도 결합 손실을 줄일 수 있어 밀리미터파 영역에서 큰 전력을 요구하는 전력 모듈의 구현에 적당한 방법이라 할 수 있다.

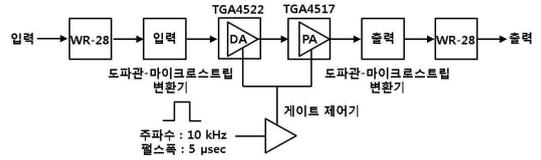
따라서 많은 수의 개별 전력 모듈들의 전력 합성이 용이하고 GaAs 반도체 기반의 전력증폭기에서 GaN 기반의 전력증폭기로 기술이 발전됨에 따라 단위 전력 모듈들의 출력 전력이 점점 커지고 있는 현실을 고려할 때, 도파관 전력합성기를 사용하여 Ka 대역에서 동작하는 전력증폭기를 개발하는 것은 전력 합성의 확장성과 단위 모듈의 출력 전력 증가에 따른 전력 증폭 모듈의 출력 증대 가능성을 보이는 데 있어서 효과적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 2 W급의 소형 전력 모듈들을 구현하고, 이를 저항성 격막을 사용하여 구현한 높은 격리도 특성의 4:1 도파관 전력합성기를 사용하여 높은 전력 결합 효율로 결합함으로써 8 W급의 전력 모듈을 성공적으로 구현하고, 이를 평가하고자 한다.

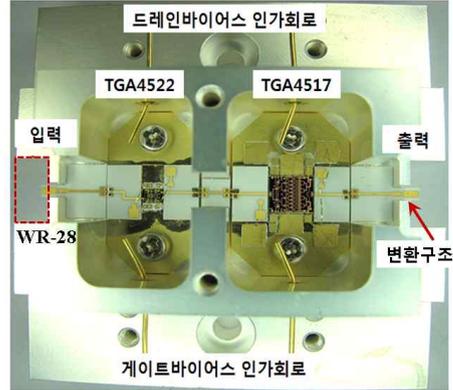
II. Ka-대역 소형 전력 모듈 제작 및 측정

그림 1은 제작된 2 W급 소형 전력 모듈의 블록 구성과 제작 사진을 보여주고 있다. 입력과 출력부는 알루미늄 기판에 구현된 마이크로스트립-도파관 변환 구조^{[3],[4]}를 이용하여 WR-28의 도파관 입구와 출구를 가지도록 하였다. 모듈의 앞 단에는 구동증폭기로 TGA4522를 사용하여 전체 이득을 높여 주었고, 두 번째 단계는 TGA4517을 동작시켜 출력 전력을 확보하였다^[5]. MMIC 칩들은 와이어 본딩을 사용하여 직접적으로 연결하지 않고 알루미늄 박막 기판을 이용하여 연결하였다. 캐리어에 탑재된 개개의 칩들을 본딩 와이어로 직접 연결할 경우, 주파수가 높아질수록 부정합에 의한 삽입 손실이 커지게 되므로, 전자파 에너지의 표면 밀집율이 95 % 이상인 CPW(Coplanar Waveguide)를 사용하여 구현된 CB-FGCPW(Conductor Backed Finite Ground CPW)-Microstrip 변환 구조를 사용하였다^[6].

소형 전력 모듈은 총 4개 모듈이 제작되었으며, 초기 포화 모드에서 측정된 출력 전력과 선형 전력 이



(a) 2 W급 소형 전력 모듈의 구성도
(a) Block diagram of a 2 W power amplifier module



(b) 제작된 2 W급 소형 전력 모듈
(b) Fabricated 2 W power amplifier module

그림 1. Ka-대역 2 W급 소형 전력 모듈
Fig. 1. Ka-band 2 W power amplifier module.

표 1. 2 W급 소형 전력 모듈의 35 GHz에서의 출력 전력과 이득 측정 결과(드레인 전압=6 V)

Table 1. Measured output power and linear power gain of 2 W power amplifier modules at 35 GHz (drain voltage=6 V).

	#1	#2	#3	#4
출력 전력 (dBm)	32.5	33.3	32.9	32.5
이득 (dB)	28.0	28.2	28.7	26.9

득을 표 1에 정리하여 나타내었다. 전체적으로 출력 전력은 32.5~33.3 dBm으로 측정되었으며, 이득은 약 26.9~28.7 dB로 측정되었다. 도파관-마이크로스트립 변환 구조의 경우, 변환 구조 1개당 Ka-대역 전체에서 0.2±0.1 dB의 삽입 손실 측정 결과를 보였으며, 35 GHz의 경우 0.12 dB의 삽입 손실을 보였다^[4].

III. 높은 격리도의 4:1 도파관 전력합성기를 이용한 Ka-대역 8 W 전력 모듈의 제작 및 측정

그림 2는 4개의 소형 전력 모듈을 전력 합성하기

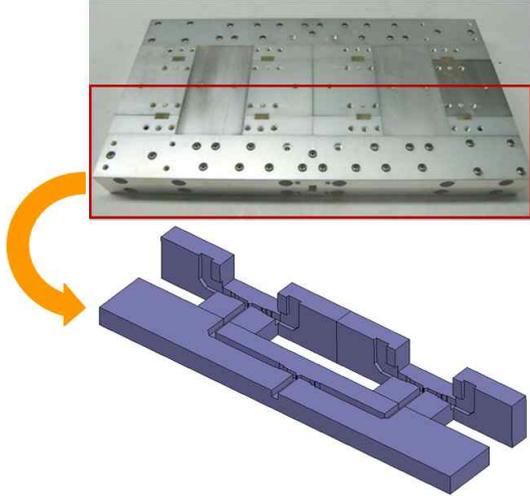


그림 2. 제작된 4:1 도파관 전력합성기
Fig. 2. Fabricated 4:1 waveguide power combiner.

위해 제작된 4:1 도파관 전력합성기를 내부 설계 도면과 함께 보여주고 있다. 4:1 도파관 전력합성기는 격리도 특성의 향상을 위해 TaN 저항성 격막을 삽입한 3개의 2진 도파관 전력합성기와 E-plane 90도 도파관과 H-plane 90도 도파관으로 구성되어 있다. 도파관 임피던스의 정합을 위해 2진 도파관의 전력 합성부에는 도파관 임피던스 Z_0 대비 $0.82 Z_0$ 와 $0.56 Z_0$ 의 2단 임피던스 변환 구조를 사용하였으며, 그림 3의 측정 결과에 나타난 바와 같이 31~40 GHz에서 0.1 dB 이하의 삽입 손실을 보여주었고, 격리도의 경우 37 GHz 이하에서 20 dB 이상의 결과를 보여주었다. 35 GHz에서는 0.05 dB의 삽입 손실과 25 dB의 격리도 특성이 확보되었고, 반사 손실은 25 dB 이하의 값이 유지되었다. 4:1 도파관 전력합성기의 경우 포트별로 0.27~0.46 dB의 삽입 손실이 측정되어 약 ± 0.1 dB의 포트 경로별 손실 차이가 발생하였다.

그림 4는 4개의 소형 전력 모듈을 결합하여 구현된 8 W 전력 모듈을 보여주고 있다. 전력 모듈을 펄스로 구동하기 위해 증폭기의 게이트 전압을 ON/OFF 하였으며, 입력과 출력부에는 측정 편의를 위해 K-커넥터-도파관 어댑터를 사용하였다. 소형 모듈의 크기는 $45 \times 63 \times 18 \text{ mm}^3$ 이며, 4:1 도파관 전력합성기는 $200 \times 106 \times 19 \text{ mm}^3$ 의 크기를 가진다. 따라서 8 W 전력 모듈 전체의 크기는 $200 \times 106 \times 37 \text{ mm}^3$ 이 된다.

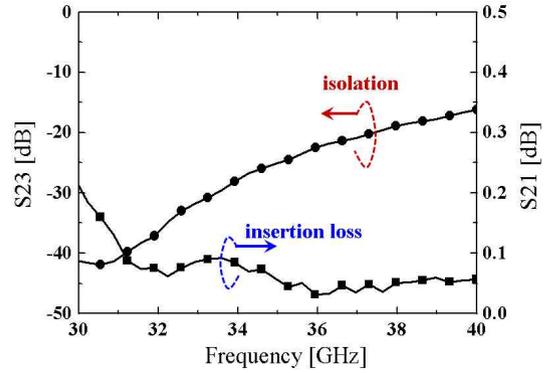


그림 3. 2진 도파관 전력합성기의 삽입 손실과 격리도 측정 결과
Fig. 3. Measured insertion loss and isolation of the binary waveguide power combiner.

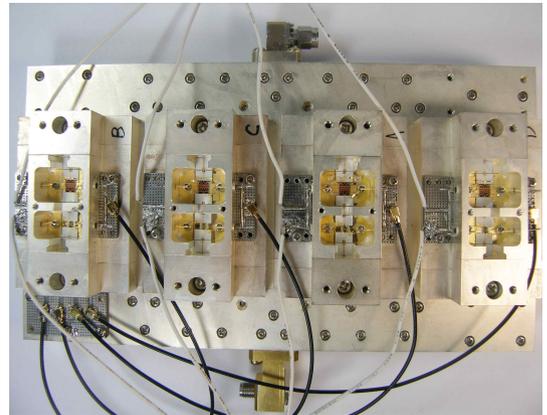
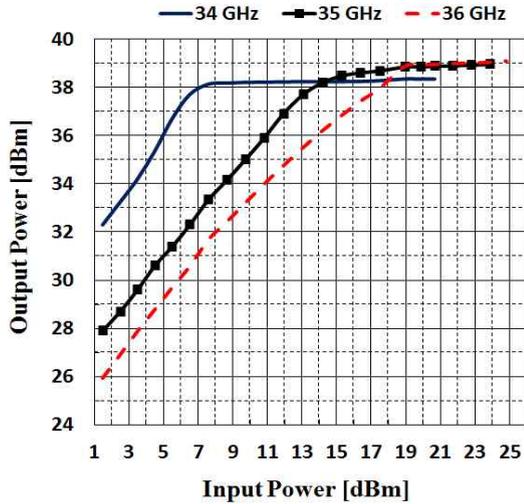
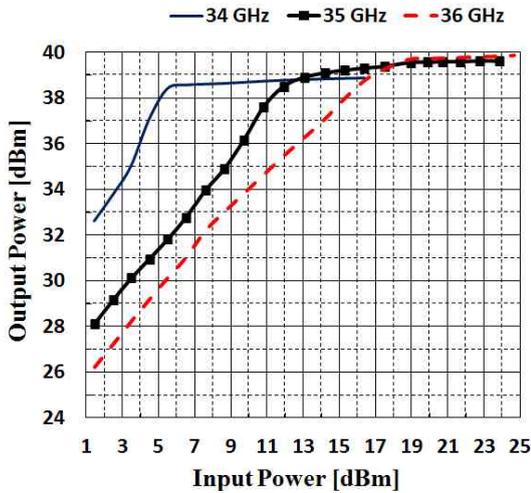


그림 4. 제작된 Ka-대역 8 W 전력 증폭 모듈
Fig. 4. Fabricated Ka-band 8 W power amplifier module.

그림 5는 6 V와 6.5 V의 드레인 전압이 인가되었을 때 34~36 GHz에서의 출력 전력 특성을 보여주고 있다. 중심 주파수 35 GHz에서 6 V의 드레인 전압을 인가하였을 때 약 39.0 dBm(8 W)의 포화 출력 전력을 얻었으며, 6.5 V의 드레인 전압이 인가되었을 때는 39.6 dBm(9.1 W)의 전력이 출력되었다. 전력 이득의 경우, 사용된 개별 칩의 이득 특성이 35 GHz 근처에서부터 급격히 감소하는 관계로 34 GHz에서 36 GHz에 이르는 동안 약 6 dB의 이득 변화가 발생하였다. 특히 36 GHz에서의 출력 전력 특성은 칩의 성능으로 인해 비록 이득이 감소하였지만, 39.9 dBm(9.8 W)의 출력 전력을 얻을 수 있었다.



(a) 6 V 드레인 전압 조건
(a) 6 V drain bias condition



(b) 6.5 V 드레인 전압 조건
(b) 6.5 V drain bias condition

그림 5. 전체 전력 모듈의 주파수에 따른 출력 전력 특성 측정 결과

Fig. 5. Measured output power performance of the 8 W power amplifier module with the frequency.

IV. 결 론

WR-28 도파관을 기반으로 Ka-대역에서 동작하는 4개의 2 W급 소형 전력 모듈을 알루미늄 기판에 구현된 마이크로스트립-도파관 변환 구조를 사용하여

구현하였으며, 이들을 25 dB 이상의 격리도 특성을 가지는 4:1 도파관 전력합성기를 사용하여 전력 결합을 하였다. 소형 전력 모듈의 경우, 35 GHz에서 32.5~33.3 dBm의 출력 전력과 26.9~28.7 dB의 전력 이득을 보였으며, 전력 결합된 전력 증폭 모듈은 6 V의 드레인 전압에서 39.0 dBm의 출력 전력과 26.4 dB의 전력 이득을 가졌고, 6.5 V의 드레인 전압에서는 39.6 dBm의 출력 전력과 26.7 dB의 이득을 가졌다. 출력 전력의 경우, 36 GHz에서는 다소 증가되어 39.9 dBm의 전력이 얻어졌다. 소형 전력 모듈의 도파관 전력합성은 성공적으로 이루어졌으며, 제작된 2진 도파관 전력합성기가 0.1 dB 이하의 삽입 손실을 가진다는 점을 고려하면 128개까지 소형 전력 모듈을 결합하여도 85 % 이상의 전력 결합 효율을 유지할 수 있다. 따라서 개발된 도파관-마이크로스트립 변환 구조, 높은 격리도 특성의 도파관 전력합성기, 소형 전력 모듈 및 전력 합성된 전력 모듈 등은 Ka-대역의 협대역 대전력 전력 증폭 모듈에 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.quinstar.com/products/amplifier>
- [2] 김경학, 박미라, 김동욱, "Ka-대역 10 W 전력증폭기 모듈의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 20(3), pp. 264-272, 2009년 3월.
- [3] Yoke Choy Leong, Sander Weinreb, "Full band waveguide-to-microstrip probe transitions", *IEEE MTT- S Int. Microwave Symposium Digest*, pp. 1435-1438, 1999.
- [4] 신임휴, 김철영, 이상주, 주지한, 이만희, 김동욱, "E-평면 프로브를 이용한 Ka-대역 마이크로스트립-도파관 변환기의 설계 및 제작", 한국전자과학회논문지, 23(1), pp. 76-84, 2012년 1월.
- [5] <http://www.triquint.com/products/types/amplifiers>
- [6] 임주현, 양승식, 염경환, "저손실을 갖는 CFBG CPW-Microstrip 천이 구조의 해석 및 MIC 모듈 집적화에 응용", 한국전자과학회논문지, 18(7), pp. 809-818, 2007년 7월.