

W-대역 고출력 증폭기 응용을 위한 E-평면 신호 전이 구조 및 저항성 격막을 이용한 도파관 전력 결합기

Waveguide Power Combiner Using E-Plane Signal Transition Structure and Resistive Septum for W-Band High Power Amplifier Applications

배익종*, **** · 장현제* · 김완식** · 김민기** · 한재섭** ·
김기철*** · 최증원*** · 박주만*** · 민병욱**** · 육종민*

Ikjong Bae***** · Hyunje Chang* · Wansik Kim** · Mingi Kim** · Jaesub Han** ·
Kichul Kim*** · Jeungwon Choi*** · Juman Park*** · Byungwook Min**** · Jongmin Yook*

요 약

본 논문에서는 W-대역에서 도파관에 적용이 가능한 도파관-마이크로스트립 signal transition feed와 저항성 격막을 활용해 광대역, 저손실의 도파관 전력 결합기를 설계 및 제작하였다. 도파관 전력 결합기는 T-junction 구조로 이루어져 있으며, transition feed가 전계가 최대가 되는 $\lambda/4$ 길이에 위치해 있고, NiCr 박막 공정으로 제작된 저항성 격막이 결합되어 있다. 제작된 전력 결합기에 50 Ω 매칭이 된 microstrip line 형태의 passive IC를 활용해 결합기의 성능을 검증하고 저항성 격막 유무에 따른 결합 특성을 PA를 실장하여 확인하였다. 저항성 격막이 있는 결합기의 격리도 특성은 -15 dB로 저항성 격막이 없는 경우와 비교해 9 dB 향상된 시뮬레이션 결과를 가진다. Passive IC를 활용하여 제작된 전력 결합 모듈은 전이구조와 저항성 격막 구조를 포함한 상태에서 출력단 이후 약 0.75 dB(@ 78 GHz)의 낮은 삽입 손실 특성을 나타내었다. 약 20 dB의 증폭 이득과 26 dBm의 출력 성능을 갖는 MMIC를 활용하여 도파관 구조의 전력 결합 모듈을 구성한 결과, 저항성 격막이 없는 경우에는 약 8 dB 이득과 14 dBm의 매우 낮은 전력 결합 특성을 나타내었으나, 저항성 격막을 적용한 경우 약 18 dB의 안정된 증폭 이득과 28.4 dBm 출력 성능(2.4 dB 결합 이득)을 나타내었다.

Abstract

In this study, a wideband, low-loss waveguide power combiner is designed and manufactured using a waveguide-to-microstrip signal transition feed and resistive septum, which can be applied to waveguides in the W-band. The waveguide power combiner has a T-junction structure and is implemented by locating the transition feed at a length of $\lambda/4$, where the E-field is maximized, and combining the resistive septum manufactured by the NiCr thin film process. The performance is verified using a passive integrated circuit IC in the form of a microstrip line matched with 50 Ω to the manufactured combiner, and the combined characteristics according to the presence or absence of a resistive septum are confirmed by mounting a power amplifier PA. The isolation of the combiner with the resistive septum is -15 dB compared with the 9 dB without a resistive septum, which improves the simulation results. The power combining module manufactured using the passive IC exhibits a low insertion loss of approximately 0.75 dB (@ 78 GHz) after the output stage with the transition structure and including the resistive septum structure. As a result of constructing a power combining module with a waveguide structure using an MMIC with an amplification gain of approximately 20 dB and an output performance of 26 dBm, in the absence of a resistive septum, a low-power-combining characteristic of approximately 8 dB gain and 14 dBm is achieved. When a resistive septum is applied, it exhibits a stable amplification gain of approximately 18 dB and output performance of 28.4 dBm (2.4 dB combined gain).

Key words: Signal Transition Feed, Waveguide, Resistive Septum, Waveguide Power Combiner

「본 연구는 국방과학연구소 계약번호 UG200003ED에 의해서 지원된 과제로 수행되었습니다.」

*한국전자기술연구원(Korea Electronics Technology Institute: KETI)

** LIG 넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

*** 국방과학연구소(Agency for Defence Development)

**** 연세대학교 전기전자공학과(Department of Electric and Electronic Engineering, Yonsei University)

· Manuscript received July 14, 2022 ; Revised September 19, 2022 ; Accepted September 19, 2022. (ID No. 20220714-058)

· Corresponding Author: Jongmin Yook (e-mail: radio@keti.re.kr)

I. 서 론

mmW 대역 중 하나인 W 대역(75 GHz~110 GHz)의 경우, 공기 내에서 적은 감쇄 특성으로 인해 상업/군사용에 많이 사용되고 있으며, 최근 그 활용도가 점점 확대되고 있다. W 대역을 활용한 고정밀 탐지 레이다 및 통신의 경우 정밀도 향상과 원거리 탐지 또는 통신을 위해 기존과 비교해 높은 증폭기 출력을 요구하고 있다. 그러나, W 대역의 경우, transistor의 성능 저하로 인해 MMIC를 통한 전력 증폭에 어려움이 있을 뿐만 아니라, 높은 손실로 인해 전력 결합에도 큰 어려움이 발생하고 있다^[1].

소자나 MMIC를 활용한 전력 결합기의 경우, 일반적으로 Lange coupler, Wilkinson power divider와 같은 평면 형태의 전송 선로를 사용하지만, 입출력단에 도파로로 signal transition이 필요하기 때문에 고주파 영역에서 큰 손실을 야기하는 문제점이 있다^[2]. 이에 반해 도파로를 이용한 전력 결합기의 경우, 적은 손실로 다수의 전력 증폭 모듈을 효과적으로 결합할 수 있다^[3]. 또한 파장이 작아질 경우 소형화가 가능하고, 결합되는 부분에 저항성 격막(septum)을 삽입함으로써 높은 결합 특성과 광대역 특성 확보가 가능하다^{[4],[5]}.

MMIC를 증폭 소자로 사용하는 경우, 마이크로스트립 전송 선로를 사용해 신호를 결합해야 하므로 낮은 손실을 가지는 도파로-마이크로스트립 선로 signal transition이 필요하다. 도파로-마이크로스트립 선로 signal transition은 커플링을 최대화시키고, 적은 손실과 광대역 특성을 가지기 위해 임피던스 매칭이 잘 되도록 설계해야 한다. 이러한 도파관-마이크로스트립 선로 transition을 설계하는 방법으로는 크게 antipodal finline을 이용한 방법과 E-plane probe를 이용하는 방법인 두 가지가 있다. 전자의 방법은 기관의 전면과 후면에 정교한 패턴 형성이 요구되며, 삽입 손실 특성이 사용되는 기관의 유전율에 민감하다. 뿐만 아니라, 도파로 내에서 진행방향으로 모드 변환이 이루어지므로 전력 증폭 모듈의 크기가 증가될 수 있어 소형화에 적합하지 않다^[6]. 후자의 경우, 도파로 전 대역에 걸쳐 우수한 특성을 보이고 구조가 간단하다. 또한, 기관과 도파로가 수직인 구조로 이루어져 있기 때문에 도파로 내에서 진행방향에 수직으로 모드 변환이 이루어져

소형화에 적합하다^{[6],[7]}.

본 논문에서는 집적화가 용이하고 낮은 반사 손실 특성을 가지면서 도파로에 적용이 가능한 E-평면 프로브 방식의 도파로-마이크로스트립 signal transition feed 구조와 저항성 격막(septum)이 삽입된 도파로 기반 2-way 전력 결합기에 대한 연구 결과를 소개한다.

II. 2-Way 도파관 전력 결합기 설계

2-1 도파관-마이크로스트립 천이 구조 설계

그림 1은 E-평면 프로브를 이용한 waveguide to microstrip transition 시뮬레이션 구조를 나타낸다. WR-10 규격의 도파관 내에서 신호가 전방으로 방사되지 않도록 한쪽 면을 short시키고, 전계가 최대가 되는 $\lambda/4$ 길이에 E-평면 transition probe를 위치시킴으로써 도파관의 주 모드인 TE₁₀ 모드와 마이크로스트립의 Quasi-TEM 모드의 변환을 이루어지도록 하였다. ① Transition probe는 도파관으로 에너지를 커플링하여 안테나로 신호를 전달하게 되며 작은 임피던스 궤적을 가지도록 설계한다. ② 리액턴스 성분을 제거하기 위해 inductance line을 설계하고, ③ $\lambda/4$ transformer를 통해 inductance line과 microstrip line 선로의 임피던스를 매칭함으로써 feeding line의 구조를 최적화하였다^[8]. 최적화된 feeding line의 각 parameter는 표

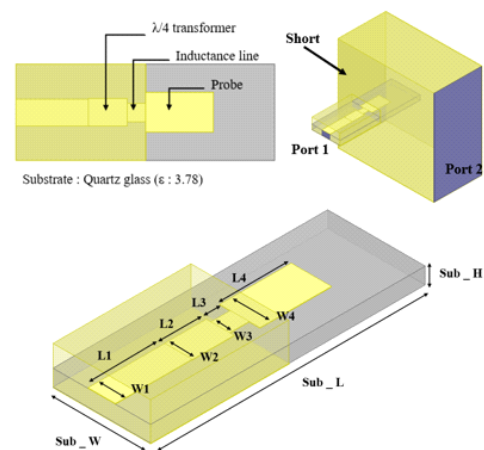
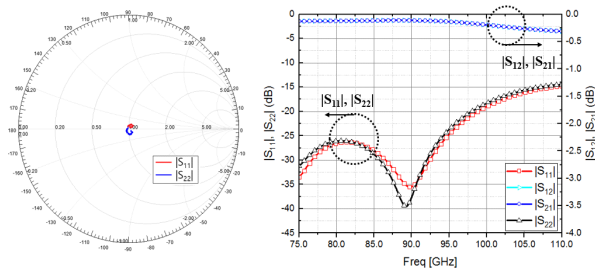


그림 1. 도파관-마이크로스트립 천이 구조 시뮬레이션
Fig. 1. Waveguide to microstrip transition structure simulation.

표 1. 도파로-마이크로스트립 천이 구조 parameter

Table 1. Waveguide-microstrip transition structure parameter.

Waveguide aperture size	WR-10 (2.54 mm×1.27 mm)
Substrate	Quartz glass (ϵ : 3.78)
Sub_L	2.11 [mm]
Sub_W	0.75 [mm]
Sub_H	0.127 [mm]
L_1	590 [μ m]
L_2	320 [μ m]
L_3	150 [μ m]
L_4	550 [μ m]
W_1	210 [μ m]
W_2	214 [μ m]
W_3	145 [μ m]
W_4	310 [μ m]
Metal thickness	5 [μ m]



< Smith chart >

< S-parameter >

그림 2. 도파로-마이크로스트립 라인 시뮬레이션 결과
Fig. 2. Waveguide to microstrip line simulation result.

1에 나타나 있다.

그림 2는 도파로-마이크로스트립 천이 구조의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시뮬레이션 결과, 75~85 GHz에서 50 Ω 로 매칭이 이루어졌고, W 대역에서 20 dB 이상의 반사 손실 및 0.12 dB의 삽입 손실 특성을 확인하였다.

2.2 도파관 전력 결합기 설계

결합손실 특성이 우수한 waveguide 기반 T-junction 전력 결합기를 설계 및 제작하였으며, 결합기의 특성을 검증하고자 전송 선로 구조의 dummy IC를 실장하여 그 성

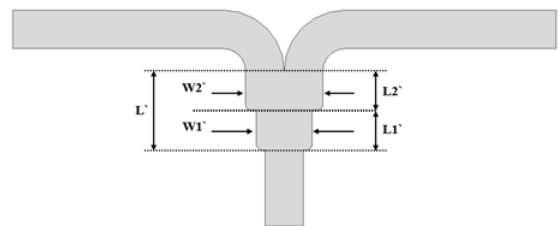
능을 검증하였다.

그림 3은 제안된 도파로 전력 결합기의 구조를 나타내며, 광대역 특성을 가지기 위해 다단구조로 설계되었다. 식 (1)~식 (3)을 통해 결합기의 각 width값을 구했으며, 그 값은 표 2에 나타나 있다. 이 때, a 값은 도파관 내부의 가로 길이를 나타낸다. W_1 과 W_2 사이에 90 μ m의 넓이 차이가 존재하며, 이는 제작을 고려해 W_1 으로 최적화되었다. 도파로 전력 결합기의 최적화 된 parameter는 표 3에 나와 있으며, EM 시뮬레이션을 통해 진행되었다.

$$W_1^2 = \sqrt{2} a^3 \quad (1)$$

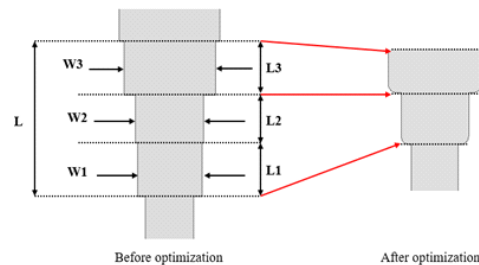
$$W_2 = \sqrt{2} a \quad (2)$$

$$W_3^2 = 2 \sqrt{2} a^3 \quad (3)$$



(a) 제안된 도파로 전력 결합기(top view)

(a) Proposed power combiner (top view)



(b) 다단구조 임피던스 도파관 변압기 최적화

(b) Multistage impedance waveguide transformer optimization

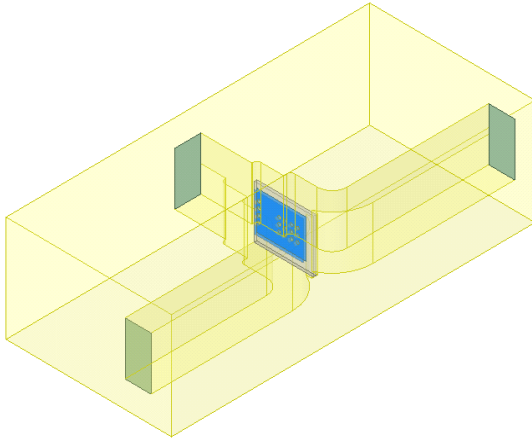
그림 3. 최적화된 도파로 전력 결합기 구조

Fig. 3. Optimized waveguide power combiner structure.

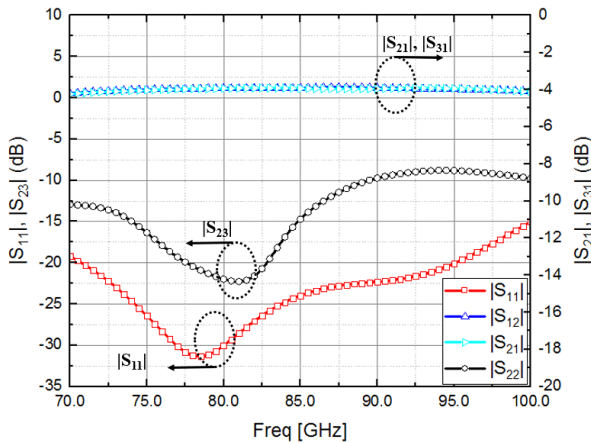
표 2. 최적화 이전 전력 결합기 치수[mm]

Table 2. Power combiner dimensions before optimization [mm].

L	L_1	L_2	L_3	W_1	W_2	W_3
3.724	1.3	1.132	1.292	1.7	1.79	2.4



(a) 저항성 격막이 있는 도파로 전력 결합기
(a) Waveguide power combiner simulation structure with resistive septum

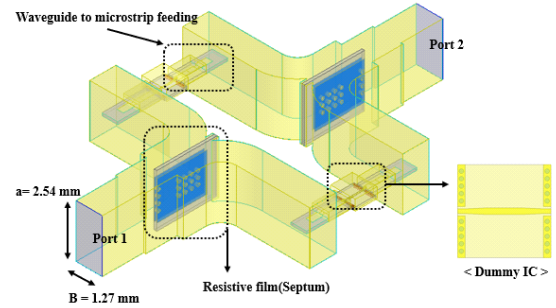


(b) 저항성 격막이 있는 도파로 전력 결합기 시뮬레이션 결과
(b) Simulation result of waveguide power combiner with resistive septum

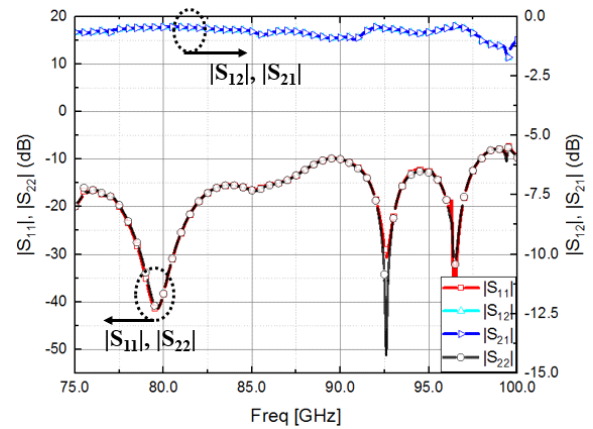
그림 6. 저항성 격막이 있는 도파로 전력 결합기 시뮬레이션

Fig. 6. Waveguide power combiner with resistive septum simulation.

앞선 시뮬레이션 결과를 토대로 저항성 격막이 삽입된 도파로 전력 결합기를 passive IC를 이용해 특성을 확인했으며, 이에 대한 시뮬레이션 구조 및 결과는 그림 7에 나타나 있다. Passive IC는 G-CPW 구조의 microstrip line 형태의 dummy IC로 $60\ \mu\text{m}$ ~ $150\ \mu\text{m}$ 사이의 다양한 선폭을 두어 설계되었으며, 시뮬레이션 결과, $70\ \mu\text{m}$ 의 선폭



(a) Passive IC를 활용한 2-way 전력 결합기 구조
(a) 2-way power combiner structure using passive IC



(b) Passive IC를 활용한 2-way 전력 결합기 시뮬레이션 결과
(b) 2-way power combiner simulation result using passive IC

그림 7. Passive IC를 활용한 2-way 전력 결합기 시뮬레이션 구조 및 결과

Fig. 7. Structure and results of 2-way power combiner simulation using passive IC.

을 가질 때 $50\ \Omega$ 매칭이 잘 이루어졌다. 이를 토대로 2-way 도파로 전력 결합 모듈을 설계했으며, 설계된 모듈은 도파로 전력 결합기-feeding line-passive IC-feeding line-도파로 전력 결합기로 모듈로 구성되어 있고, feeding line과 passive IC 사이에 wire bonding을 통해 전기적 연결을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, $78\ \text{GHz}$ 에서 $20\ \text{dB}$ 이상의 반사 손실 특성과 $0.4\ \text{dB}$ 의 삽입 손실 특성을 확인하였다.

표 5는 제안된 전력 결합기와 참고문헌에 표기된 전력 결합기 간의 특성 비교를 나타낸다. 제안된 전력 결합기는 높은 주파수 대역에서 가장 낮은 삽입 손실과 우수한 격리도 특성을 나타낸다.

표 5. 전력 결합기 설계 비교

Table 5. Comparison of power combiner designs.

	Ref. [2]	Ref. [4]	Ref. [9]	Ref. [10]	This work
Topology	SIW PD	Waveguide PD	MS line-hybrid coupler	Wilkinson PD (IPD)	Waveguide PD (Septum)
Freq. [GHz]	75~110	26~40	75~115	70~110	70~110
RL [dB]	>10	>20	>10	>12	>20
IL [dB]	<1	<1	2.4	<1	<0.5
Isolation [dB]	>5	>20	-	>14	>15
15-dB RL BW [GHz]	75~100	26~40	75~86	75~80	70~110
1-dB IL BW [GHz]	75~100	26~40	-	70~110	70~110

III. 제작 및 측정

3-1 Passive IC를 활용한 2-Way 전력 결합기

그림 8~그림 10은 각각 제작된 signal transition feed, dummy IC, 저항성 격막(septum)을 나타낸다. 제작된 dummy IC는 W대역에서 선폴이 $65\sim90\ \mu\text{m}$ 일 때, 약 15 dB 이상의 반사 손실과 0.35 dB의 삽입 손실 특성을 가진다. 제작된 저항성 격막은 300 Å의 metal 두께를 가지며, 측정 결과 약 $100\ \Omega/\square$ 의 면 저항값과 130 Ω의 저항값을 가진다.

그림 11은 passive IC 기반 2-way 전력 결합기의 블록도

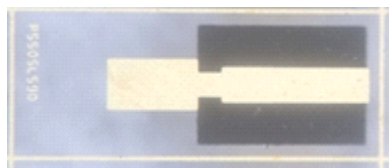


그림 8. 제작된 signal transition feed
Fig. 8. Fabricated signal transition feed.

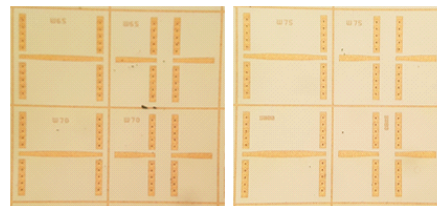


그림 9. 제작된 dummy IC
Fig. 9. Manufactured dummy IC.

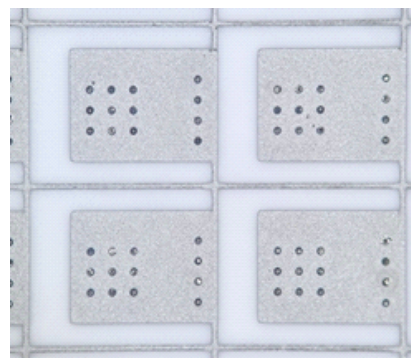


그림 10. 제작된 저항성 격막
Fig. 10. Manufactured resistive septum.

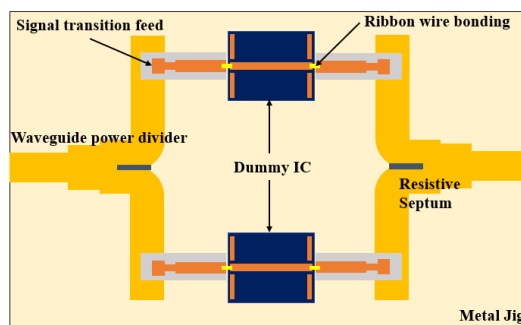
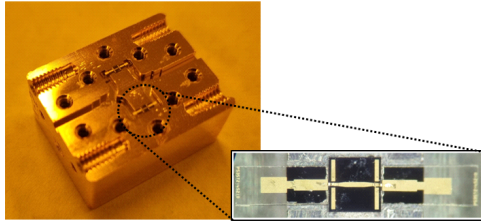
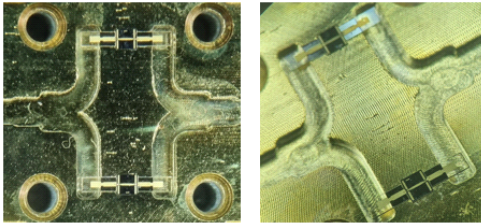


그림 11. Passive IC 기반 2-way 전력 결합기 블록도
Fig. 11. Passive IC based 2-way power combiner block diagram.

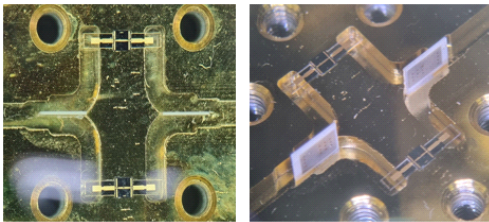
를 나타내며, 전력 결합기의 경계면에 저항성 격막을 위치시키고 제작된 feed와 microstrip line 형태의 dummy IC를 금속 지그에 실장하여 ribbon bonding을 통해 연결되어 있는 구조이다. 그림 12는 저항성 격막 유무에 따른 제작된 2-way 모듈 및 측정 결과를 나타낸다. 제작된 모듈의 전체 크기는 $2.5\times2\times1.6\ \text{cm}^3$ 이며 그림 12(a)는 앞서 제작된



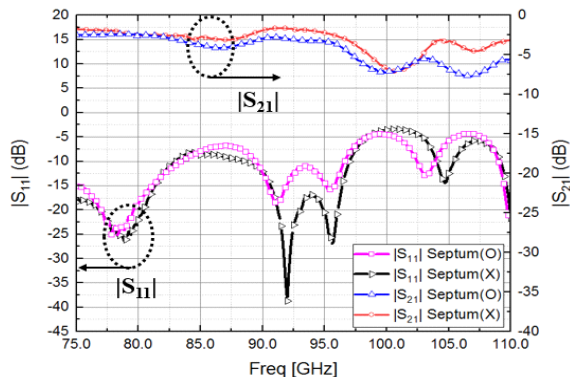
(a) 제작된 dummy IC를 활용한 전력 결합기 모듈
(a) Fabricated dummy IC based 2-way power combiner module



(b) Passive IC를 활용한 전력 결합기(저항성 격막이 없는 구조)
(b) Power combiner using passive IC (without resistive septum)



(c) Passive IC를 활용한 전력 결합기(저항성 격막이 있는 구조)
(c) Power combiner with passive IC (with resistive septum)



(d) Passive IC를 활용한 전력 결합기 측정 결과
(d) Power combiner measurement results using passive IC

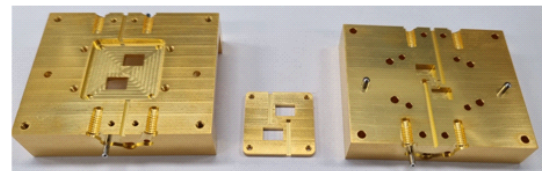
그림 12. Passive IC 기반 2-way 전력 결합기 및 측정 결과
Fig. 12. Passive IC based 2-way power combiner and measurement results.

각각의 소자를 전도성 epoxy를 이용해 금속 지그에 실장한 2-way 전력 결합 모듈을 나타내며, 이때 feeding line과 dummy IC는 임피던스 매칭이 쉬운 ribbon wire bonding을 통해 연결한다. 그림 12(b)와 그림 12(c)는 각 모듈에 저항성 격막이 삽입되어 있지 않은 상태와 삽입된 상태의 그림을 나타내며, 가공된 홈에 수직 방향으로 위치시켰다.

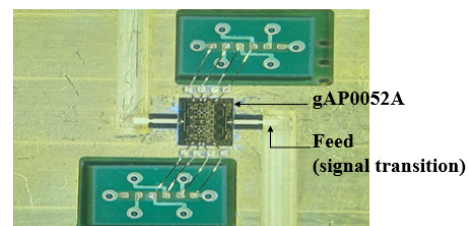
2-Way 결합 모듈에 대한 측정 결과는 그림 12(d)에 나타나 있으며, 저항성 격막의 유무에 따라 0.15 dB의 삽입 손실이 증가하는 것을 확인하였다. 저항성 격막이 삽입되어 있지 않은 모듈의 경우, 78 GHz에서 23 dB의 반사 손실과 1.9 dB의 삽입 손실 특성을 나타낸다. 이때 passive IC의 삽입 손실은 약 0.4 dB이며, passive IC를 제외한 삽입 손실은 출력단 이후 약 0.55 dB이다. 저항성 격막이 삽입되어 있는 모듈의 경우, 78 GHz에서 22 dB의 반사 손실과 2.35 dB의 삽입 손실 특성을 보이며, passive IC를 제외한 삽입 손실은 출력단 이후 약 0.75 dB로 확인되었다.

3-2 Active IC를 활용한 2-Way 전력 결합기

그림 13은 상용 PA를 활용한 single 모듈의 금속 지그 및 구현 사진을 나타내고, 그림 14는 balanced PA 구조의

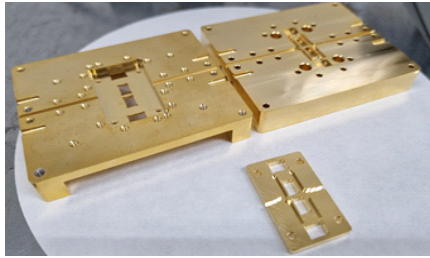


(a) Single 모듈 금속 지그
(a) Single module metal jig

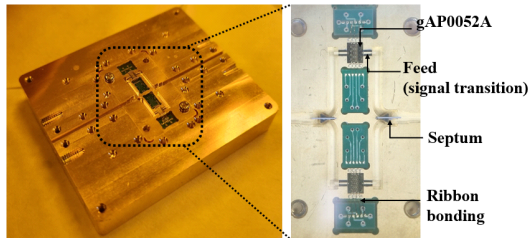


(b) gAP0052A(PA)가 결합된 single 모듈 구현
(b) Implementation of single module with gAP0052A (PA)

그림 13. Active IC(gAPZ0052A) 기반 single 모듈
Fig. 13. Active IC (gAPZ0052A) based single module.



(a) 2-Way 전력 결합기 금속 지그
(a) 2-Way power combiner module metal jig



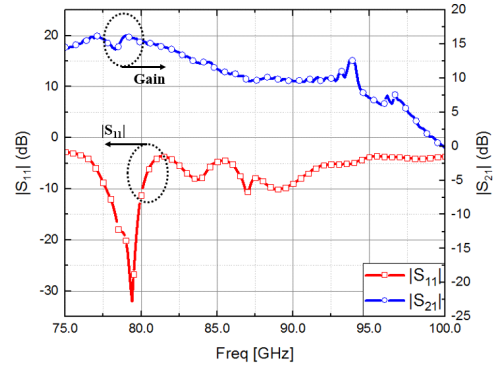
(b) gAP0052A(PA)가 결합된 2-way 전력 결합기 구현
(b) Implementation of 2-way power combiner with gAP0052A (PA)

그림 14. 제작된 2-way 전력 결합기(balanced PA 구조)
Fig. 14. Fabricated 2-way power combiner (balanced PA structure).

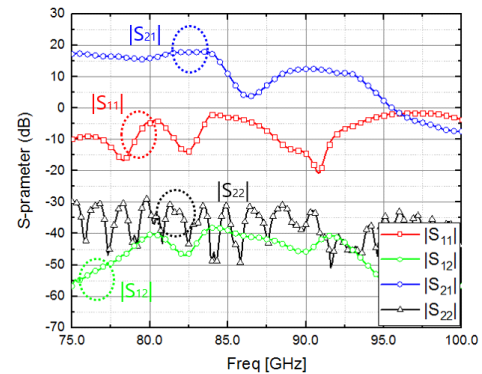
2-way 전력 결합기에 대한 금속 지그 및 구현 사진을 나타낸다.

각각의 모듈은 상부/내부/하부 금속 지그로 구성되어 있다. 금속 지그 제작은 알루미늄을 사용했으며, W 대역에서 skin depth보다 충분히 두껍게 도금되었다. 제작된 single 모듈의 전체 크기는 $50 \times 40 \times 18 \text{ mm}^3$ 이고, 2-way 전력 결합기의 전체 크기는 $6.5 \times 5.5 \times 2.3 \text{ cm}^3$ 이다. 각각의 모듈에 사용된 전력 증폭기(PA)는 ‘gAP0052A(Gotmic AB 社)’이며, 20 dB의 증폭 이득과 26 dBm의 출력 파워값을 가진다. 제작된 금속 지그에 PA 및 feed를 실장하고, ribbon bonding을 통해 전기적으로 연결하여 내부를 구성한다. 이를 하부 지그와 결합하고 interposer 방식을 통해 DC bias를 인가함으로써 모듈을 구현하였다.

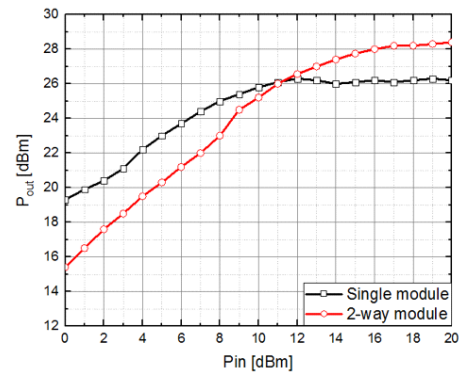
그림 15는 상용칩 기반의 single 모듈 및 2-way 전력 결합기의 소신호 및 대신호 측정에 대한 결과를 나타낸다. Single 모듈 측정 결과, 78 GHz에서 16 dB의 반사손실과 17 dB의 증폭 이득을 가지며, 26 dBm의 출력 성능을 나



(a) gAP0052A(PA)가 결합된 single module 측정 결과
(a) Single module measurement result combined with gAP 0052A (PA)



(b) gAP0052A(PA)가 결합된 2-way 전력 결합기 측정 결과
(b) Measurement result of 2-way power combiner with gAP0052A (PA)



(c) Single 모듈 vs. 2-way 전력 결합기 대신호 측정 비교
(c) Single module vs. 2-way power combiner large-signal measurement comparison

그림 15. Single & 2-way 모듈 측정 결과
Fig. 15. Single & 2-way module measurement results.

타법을 확인하였다. 2-Way 전력 결합기에 대한 측정 결과, 78 GHz에서 15 dB의 반사 손실과 18 dB의 증폭 이득을 가지며, 출력 성능은 single module과 비교해 2.4 dBm 향상된 28.4 dBm을 확인하였다.

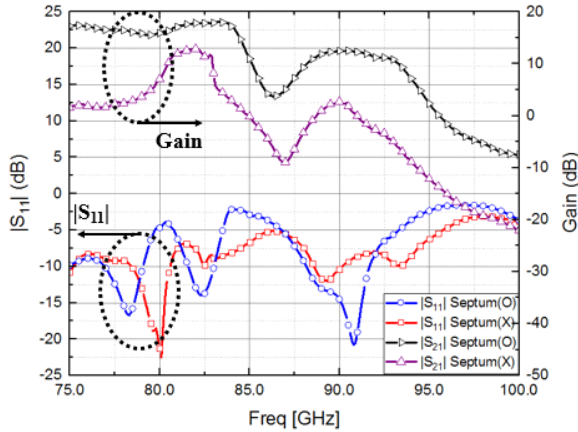
그림 16은 2-way 전력 결합기의 저항성 격막 유무에 따른 측정 결과를 나타낸다. 저항성 격막 유무에 따른 측정

결과를 비교해 보면 소신호에서 저항성 격막이 없을 때, 78 GHz에서 약 8 dB의 증폭이득을 가지지만 저항성 격막이 있을 때는 약 18 dB로 10 dB 이상의 이득 차이를 보이며, W-대역에서 5~15 dB의 차이를 보인다. 대신 측정에서 저항성 격막이 존재하지 않은 경우는 14 dBm의 낮은 출력성능을 보이지만, 저항성 격막이 존재하는 경우에는 28 dBm으로 안정적인 출력성능을 보인다.

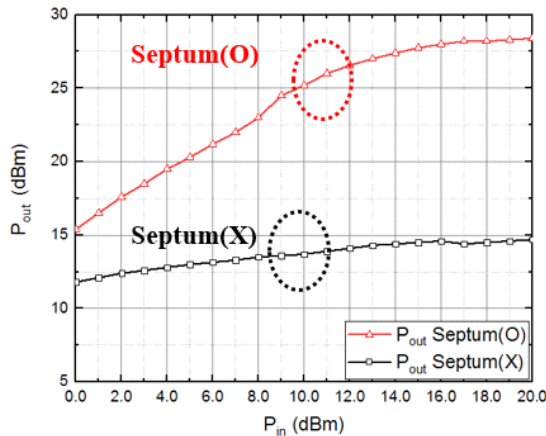
IV. 결 론

본 논문에서는 W-대역에서 고출력 증폭기에 응용 가능한 도파로-마이크로스트립 신호 전이 구조와 NiCr로 이루어진 저항성 격막을 활용하여 balanced PA 형태의 2-way 전력 결합기를 설계 및 제작하였고, passive IC와 active IC를 이용해 저항성 격막 유무에 따른 결합 및 손실 특성을 확인하였다. 제작된 2-way 전력 결합기에 passive IC를 결합한 모듈의 경우, 78 GHz에서 20 dB 이상의 반사 손실 특성을 가진다. 저항성 격막이 있는 경우, 전체 삽입 손실은 약 2.35 dB로 저항성 격막이 없는 경우와 비교해 약 0.35 dB 증가하지만, passive IC를 제외한 삽입 손실은 출력단 이후 약 0.75 dB로 낮은 값을 나타낸다. Active IC와 결합한 모듈의 경우, transition feed와 저항성 격막이 passive IC에 대한 prototype으로 설계가 되어 매칭이 일부 틀어진 것을 확인할 수 있는데, 해당 부분은 추후에 개선할 예정이다. 일반적으로 PA의 동작은 비선형적인 특징을 가지기 때문에 input power가 증가함에 따라 간섭 현상이 심화되고, 이를 방지하기 위해 충분한 격리도 특성이 확보되어야 한다. 약 20 dB의 증폭 이득과 26 dBm의 출력 성능을 갖는 MMIC를 활용한 측정 결과, 저항성 격막이 존재할 때 소신호에서 약 5~15 dB 이상의 증폭 이득이 향상되었다. 또한, 대신 측정 결과, 저항성 격막이 없을 때는 신호가 cross coupling되어 결합 증폭 모듈이 정상 동작을 하지 않아 약 8 dB 증폭 이득과 14 dBm의 매우 낮은 전력 결합 특성을 나타내었으나, 저항성 격막을 적용한 경우, 약 18 dB의 안정된 증폭 이득과 28.4 dBm 출력 성능(2.4 dB 결합 이득)을 나타내었다.

결과적으로 전력 결합기에 저항성 격막의 삽입은 낮은 삽입 손실 특성을 가지며, 결합기 사이에 발생하는 커플



(a) 저항성 격막에 따른 소신호 응답 특성 측정 결과
(a) Measurement result of small-signal response characteristics according to resistive septum



(b) 저항성 격막에 따른 대신호 응답 특성 측정 결과
(b) Measurement result of large-signal response characteristics according to resistive septum

그림 16. 저항성 격막 유무에 따른 single 모듈 및 2-way 전력 결합기 측정 결과 비교

Fig. 16. Comparison of single module and 2-way power combiner measurement results with and without resistive septum.

링 현상을 상쇄시킴으로써 결합 성능을 향상시킬 수 있어 W-대역 고출력 전력 결합기에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Schellenberg, A. Tran, L. Bui, A. Cuevas, and E. Watkins, "37 W, 75~100 GHz GaN power amplifier," in *2016 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, San Francisco, CA, May 2016, pp. 1-4.
- [2] Z. Y. Huang, B. Y. Liu, Y. Jiang, W. T. Yuan, Q. P. Wang, and W. D. Hu, et al., "T-junction power divider based on rectangular microcoaxial structure in W-band," *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal*, vol. 36, no. 10, pp. 1347-1354, Nov. 2021.
- [3] L. W. Epp, D. J. Hoppe, A. R. Khan, and S. L. Stride, "A high-power Ka-band(31~36 GHz) solid-state amplifier based on low-loss corporate waveguide combining," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 56, no. 8, pp. 1899-1908, Aug. 2008.
- [4] H. Chen, X. Xie, and R. Xu, "An ultra wide band power divider/combiner based on Y-structure waveguide," in *2010 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, Chengdu, May 2010, pp. 853-855.
- [5] C. Y. Kim, I. H. Shin, M. H. Lee, J. H. Joo, S. J. Lee, and D. W. Kim, "High-isolation Ka-band power combiner using a resistive septum inserted in a slit of waveguide," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 3, pp. 335-342, Mar. 2012.
- [6] H. C. Ki, "A study on waveguide to microstrip antipodal transition for 5G cellular systems," *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 15, no. 4, pp. 185-190, Aug. 2015.
- [7] I. H. Shin, C. Y. Kim, M. H. Lee, J. H. Joo, S. J. Lee, and D. W. Kim, "Design and fabrication of Ka-band microstrip to waveguide transitions using E-plane probes," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 23, no. 1, pp. 76-84, Jan. 2012.
- [8] H. J. Kwon, S. J. Lee, and H. J. Jang, "Design and fabrication of the Ka-band waveguide to microstrip transition using probe structure," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea TC*, vol. 45, no. 7, pp. 67-71, Jul. 2008.
- [9] C. Zhang, M. Bauwens, N. S. Barker, R. M. Weikle, and A. W. Lichtenberger, "A W-band micromachined on-wafer probe with integrated balun for characterization of differential circuits," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 64, no. 5, pp. 1585-1593, May 2016.
- [10] C. Y. Hsiao, C. T. M. Wu, and C. N. Kuo, "A W-band 1-dB insertion loss wilkinson power divider using silicon-based integrated passive device," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 6, pp. 654-657, Jun. 2021.

배 익 중 [한국전자기술연구원/위축연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-5114-8019>



2018년 8월: 한국외국어대학교 전자공학과 (공학사)
2020년 4월~현재: 한국전자기술연구원 위축연구원
2021년 2월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 집적회로, RF 시스템, RF 패키징

시스템, RF 패키징

김 민 기 [LIG넥스원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-6334-6867>



2022년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학석사)
2022년 1월~현재: (주)LIG넥스원 연구원 [주 관심분야] 초고주파 집적회로, RF 시스템, 레이더 송수신기

장 현 제 [한국전자기술연구원/위축연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-7228-1540>



2018년 9월~현재: 한국전자기술연구원 위축연구원
2019년 2월: 단국대학교 전기전자공학부 (공학사)
2021년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (석사과정)
[주 관심분야] RF 패키징

한 재 섭 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-4410-6240>



2005년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학과 (공학사)
2020년 8월: 연세대학교 통신방송공학과 (공학석사)
2007년 1월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 레이더 시스템, 능동위상배열안테나, MMIC, SSPA

김 완 식 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2198-8754>



1991년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 2월: 건국대학교 정보통신공학과 (공학박사)
2001년 12월: 고등기술연구원 책임연구원

2005년 08월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 밀리미터파/THz 시스템, MMIC, 레이더 및 관련 센서 시스템, 위성 SAR

김 기 철 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1652-5576>

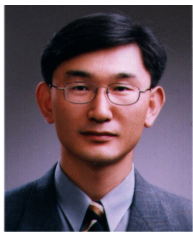


2011년 2월: 광주과학기술원 (공학석사)
2016년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2007년 1월~2008년 11월: 삼성탈레스 연구원
2016년 10월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] RF 회로 및 전력증폭기, 통신용 초고주파 기술

최 증 원 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3642-2323>



1989년 2월: 충남대학교 계산통계학과 (이학사)
1993년 8월: 충남대학교 계산통계학과 (전산학) (이학석사)
1997년 8월: 충남대학교 전산학과 (이학박사)
1997년 7월~현재: 국방과학연구소 수석

연구원

2013년 9월~현재: 과학기술연합대학원대학교 교수

[주 관심분야] Tactical Communications, Cognitive Radio, Satellite Communications, Datalink Systems

민 병 옥 [연세대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0001-7456-8713>



2002년 8월: 서울대학교 전기공학부 (공학사)
2004년 8월: 미국 University of Michigan, Ann Arbor (공학석사)
2008년 4월: 미국 University of Michigan, Ann Arbor (공학박사)
2008년 1월~2010년 12월: Qualcomm Inc.

Senior Engineer

2011년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학부 교수

[주 관심분야] 밀리미터파 집적회로, 마이크로파 회로, 위상배열 안테나 시스템, Analog/RF IC

박 주 만 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3452-9327>



2009년 2월: 경남대학교 전자공학부 (공학사)
2011년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2012년 4월~현재: 국방과학연구소 선임연구원
[주 관심분야] RF, 다중빔 안테나 시스템

육 중 민 [한국전자기술연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8045-3282>



2003년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2009년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2009년 9월~2010년 1월: 한국과학기술원 전기전자공학과 박사 후 연구원
2010년 2월~현재: 한국전자기술연구원

책임연구원

2022년 2월~현재: 광운대학교 전자공학과 겸임교수

[주 관심분야] RF 수동회로 및 모듈 기술, mmWave 고집적 패키지 기술