

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.2.35>
JIIBC 2022-2-6

고효율 및 높은 격리 특성을 갖는 Ka 대역 도파관 결합기 설계 및 제작

Design and Fabrication of Ka-band Waveguide Combiner with High Efficiency and High Isolation Characteristics

김효철*, 조흥래*, 이주흔*, 이덕재*, 안세환**, 이만희**, 주지한**, 김홍락**

Hyo-Chul Kim*, Heung-Rae Cho*, Ju-Heun Lee*, Deok-Jae Lee*
Se-Hwan An**, Man-Hee Lee**, Ji-Han Joo**, Hong-Rak Kim**

요약 본 논문에서는 SSPA(Solid state amplifier)의 핵심 모듈인 결합기의 효율 및 격리 특성을 높이는 방법에 대해 연구하였다. 구체적으로 도파관 결합기에서 공용 포트와 격리 포트 정합을 이루어 격리도를 확보 하였다. 정합을 위한 매칭 구조는 원형 디스크 형태로 도파관 결합기 내부에서 음각으로 가공하게 된다. 구조는 매우 단순하여 안정적인 성능 확보가 가능하다. 그리고 이러한 구조는 이전 연구 대비 60배 이상의 높은 임계전력 성능을 보여 고출력에 적합함을 확인하였다. 그리고 1단의 T-junction과 2, 3단의 MagicT 결합기를 조합하여 소형화를 이루고, 삽입손실을 줄여 결합 효율을 최적화 하였다. 제작된 도파관 결합기는 16dB 이상의 격리도와 86.2%의 결합 효율을 얻었다.

Abstract In this paper, a method to increase the combining efficiency and isolation of the combiner, the core module of SSPA (solid state amplifier), was studied. Specifically, the isolation was secured by matching the common port and the isolation port in the waveguide combiner. The matching structure for matching is in the form of a circular disk and is engraved inside the waveguide combiner. The structure is very simple, so it is possible to secure stable performance. And this structure showed more than 60 times higher critical power performance compared to previous studies, confirming that it is suitable for high output. And by combining 1-stage T-junction and 2, 3 stage MagicT combiner, miniaturization was achieved and the combining efficiency was optimized by reducing the insertion loss. The fabricated waveguide coupler obtained an isolation of 16dB or more and a coupling efficiency of 86.2%.

Key Words : Ka band, Spatial combiner, Binary combiner, Waveguide combiner

*정회원, 퍼플웍스(주)

**정회원, LIG 넥스원(주)

접수일자 2022년 2월 15일, 수정완료 2022년 3월 15일

게재확정일자 2022년 4월 8일

Received: 15 February, 2022 / Revised: 15 March, 2022 /

Accepted: 8 April, 2022

Corresponding Author: hrcho@peopleworks.co.kr

Dept. of Military R&D Team, peopleworks Co., Ltd. Korea

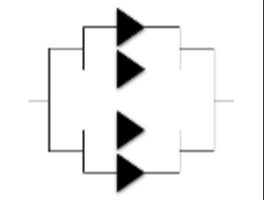
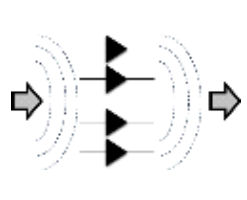
I. 서 론

$$N_c = 2^{S_{[dB]}/a_{[dB]}} \quad (1)$$

레이다 시스템, 유도미사일 탐색기의 송신기는 TWTA(Travelling Wave Tube Amplifier)를 사용해 왔다. TWTA는 단일 튜브로 고출력을 얻을 수 있는 증폭기이다. 하지만 이러한 증폭기는 전량 해외에서 수입하고 있으며 높은 구동 전압이 필요하고, 많은 예열시간 및 유지 보수가 어렵다는 단점이 있다. 그래서 최근에는 이러한 TWTA를 대체하고자 GaN(Gallium nitride) 소자를 이용한 SSPA(Solid State Power Amplifier) 연구가 활발히 이루어지고 있다.

하지만 초고주파 대역에서 단일 소자의 출력은 매우 낮은 수준이기 때문에 높은 출력을 만들기 위한 전력 결합 기술이 반드시 필요하다. 전력 결합 방식은 크게 평면 결합 방식과 공간결합 방식이 있다. 표 1은 평면결합방식과 공간결합 방식의 장단점을 비교하여 나타냈다.

표 1. 평면결합방식과 공간결합방식의 비교[1]
Table 1. Comparison of the planar combining technique and spatial combining technique

	
Planar combining method	Spatial combining method
High Isolation	Low Isolation
Easy to design and fabrication	Design and fabrication difficulties
Reduced efficiency by number of combining	Constant combining efficiency irrespective of the number of combining
Main Amplifier Planar Placement	3D arrangement of the main amplifier

공간 결합 방식은 결합수에 상관없이 일정한 결합 효율을 갖는다. 이는 결합수가 많아질수록 공간결합방식이 유리하지만, 적을수록 평면결합 방식이 유리 할 수 있다. 두 결합 방식의 효율이 동일 할 때 결합 소자의 수를 임계상수라 하며 식(1)에 의해 계산할 수 있다. 2-way 바이너리 결합기의 출력 손실은 $L_{out} = ak$ 로 주어진다. 이때 a 는 각 단의 손실을 나타내고 k 는 단 수를 나타내어 k 의 값은 $k = \log_2 N$ 과 같다. 만약 8-way 바이너리 결합기를 구현한다면 k 는 3이 되어, 3단의 2-way 결합기가 필요하다는 뜻이 된다.^[2]

식 (1)을 통해 바이너리 결합기 각 단의 예상 손실 0.23dB 공간결합기의 예상 손실 0.6dB를 대입하여 임계상수 6을 얻었다. 이는 본 연구에서 개발하고자 하는 8-way 결합기 설계 시 공간 결합기가 결합 효율 측면에서 유리하다는 뜻이다. 하지만 공간결합기는 높은 격리 특성을 얻을 수 없다. 결합기의 격리 특성은 고장 발생 시 개별 증폭기의 회로를 보호 할 수 있는 규격이다.

이러한 높은 격리도 및 고효율 특성 확보를 위한 평면형 결합기의 매칭 구조는 Kim에 의해 제안되었다.^[3] Kim의 결합기 매칭 구조는 2단의 임피던스 변환기를 별도의 기구로 가공하여 내부에 조립하는 방식으로 구현을 하였다. 표 2는 평면 결합기의 이전 연구와의 특징을 비교한 표이다.

표 2. 평면 결합기의 이전 연구와 비교
Table 2. Comparison with some prior planar combiner

Item	Ref. ^[3]	This work
Frequency	Ka band	Ka band
Number of combiner	8	8
Combiner structure	3-stages magic T	1-stage T-junction, 2, 3-stages magic T
Matching structure	2 section impedance transformer(detachable)	Matching post (all-in-one)
Feature	Machining difficulties	Easy of machining

Kim 의 매칭 구조는 매우 정밀한 가공을 요하며, 가공 공차 및 조립 오차에 의해 손실 및 격리도의 변화가 발생하여, 안정적인 성능 확보가 어려울 수 있다.

그래서 본 연구를 통해 평면형 결합기의 각 포트 반사 손실을 최소화 하고 구조를 단순화 하여 구현이 쉬운 매칭 구조를 제안하였다. 그리고 8-way 결합기에 적용하여 설계를 하였다. 도파관 크기는 WR-22로 선정하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 최적화 하였다.

II. 본 론

1. Magic-T 결합기

이상적인 Magic-T는 무손실의 상호 4-port network이며 구조는 그림 1과 같다. 포트4를 결합 포트로 설정 시 S14와 S24가 동위상, 동진폭의 성능을 갖는다.

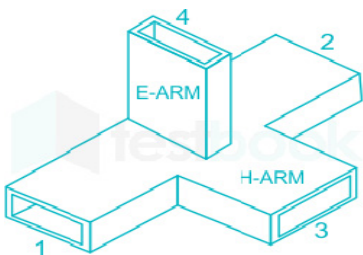


그림 1. Magic-T 결합기 형상
 Fig. 1. Model of the magic-T combiner

최종적으로 구현하고자 하는 Magic-T의 산란행렬은 다음과 같다.

$$[S] = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

상기 산란행렬을 통해 포트 3과 4가 정합을 이룰 경우 포트 1과 2는 자동으로 정합을 이루고 양호한 격리 특성을 확보할 수 있음을 알 수 있다^[3]

제안하는 구조는 Multi-section impedance transformer와 Matching post를 통해 각각 포트3과 포트4의 정합을 이루었다. Matching post는 원기둥 형태의 음각 구조로 깊이나 크기에 따라 인덕턴스 또는 커패시턴스로 구현되어 포트 매칭에 이용할 수 있다. 제안하는 구조는 그림 2에 나타났다.

3D 시뮬레이션을 통해 최적화를 진행하였으며 치수는 표 3에 나타났다.

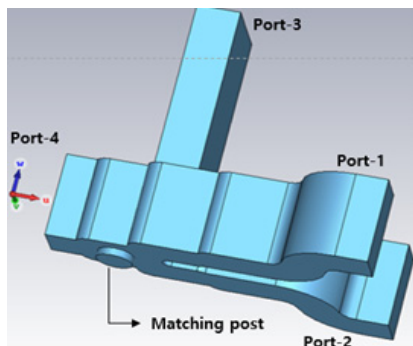
표 3. 제안 구조의 최적화 치수
 Table 3. Optimized dimensions of the proposed structure

L1	L2	L3
2.0mm	3.4mm	4.7mm
L4	L5	W1
5.5mm	2.4mm	2.8mm
W2	W3	H1
4mm	6.1mm	0.5mm

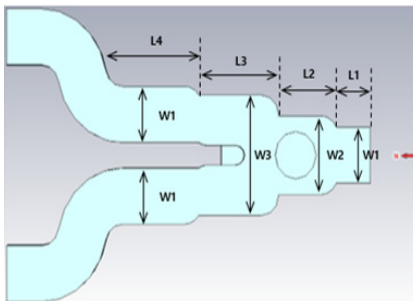
2. 8-way 전력결합기 설계

설계는 각 단별 바이너리 결합기를 분리하여 개별 최적화 시뮬레이션 후 결합하여 최종 8-way 결합기 시뮬레이션을 진행하였다. 입력단을 기준으로 1 ~ 2단은

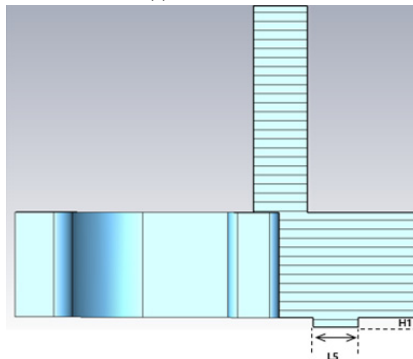
Magic-T, 3단은 T-junction으로 구현하였다. 3단을 T-junction으로 구현한 이유는 시뮬레이션에서 18dB 이상의 우수한 격리 특성을 보였고, 소형화를 통해 체계 적용에 용이함과 동시에 전송선로 손실을 최소화하기 위함이다. Ka 대역에서 일반적으로 WR28 도파관 규격을 많이 사용하지만 제품의 소형화를 위해 WR22로 선정하여 시뮬레이션을 진행하였다.



(a) 사시도
 (a) 3D view



(b) 저면도
 (b) Bottom view



(c) 측면도
 (c) Side view

그림 2. 제안 구조
 Fig. 2. Proposed structure

그림 3은 전기적 성능을 확인하기 위한 3D 모델링과 결과를 나타내었다.

시물레이션에서는 반사손실 23dB 이상, 삽입손실 9.1dB 이하, 격리도 18dB 이상의 우수한 성능을 보였다.

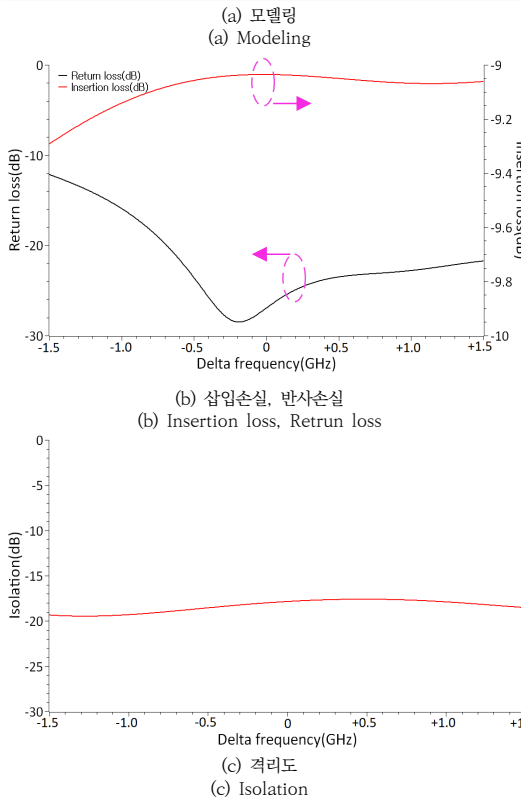
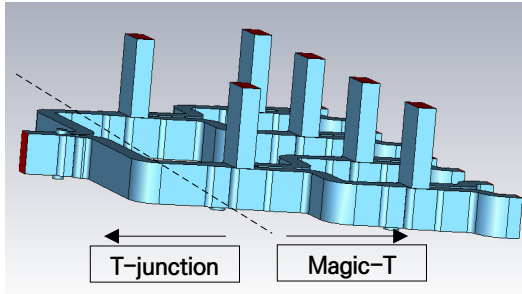


그림 3. 전력 결합기 시물레이션
Fig. 3. Simulation of power combiner

SSPA에서 요구되는 결합기의 규격은 표 4와 같다.

표 4. 8-way 도파관 전력 결합기 전기적 규격
Table 4. 8-way waveguide power combiner specifications

Parameter	Specifications	Remark
Passband	Ka band	
Insertion loss	0.8dB Max.	Split loss : 9.0dB
Return loss	15dB Min.	
Amplitude balance	± 0.3dB	
Phase balance	± 5°	
Isolation	15dB Min.	

3. 전력 결합기 방전 임계 전력 산출

다수의 증폭기를 결합하여 높은 전력을 얻는 결합기에서 내 전력 특성은 매우 중요하다. 이러한 성능은 전계 분석을 통해 사전 검증할 수 있다. 그림 4는 결합기 내부의 전계 분포를 나타내는 그림으로 사용 주파수 대역 내에서 낮은 주파수(fLow), 중간 주파수(fCenter), 높은 주파수(fHigh)에 대한 시물레이션 결과이다. 결합 포트에서 가장 높은 전계가 형성되며 이상적인 환경에서 결합기 내부에 발생할 수 있는 최대 전계값으로 결합기의 임계전력을 계산하는데 필요한 수치이다.

각 주파수별 최대 전계값은 표 5에 나타내었다.

표 5. 전력 결합기 전계값
Table 5. E-field value of power combiner

Freq.(GHz)	E-field
f _{Low}	13.4 X 10 ³ V/m
f _{Center}	13.2 X 10 ³ V/m
f _{High}	13.1 X 10 ³ V/m

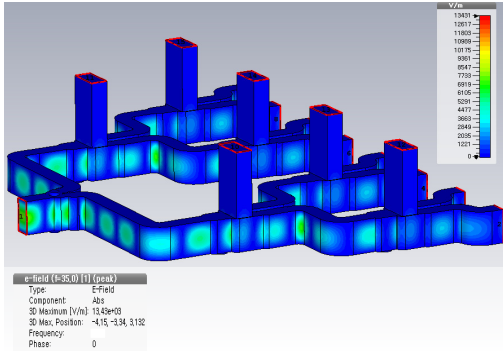
상온, 지상 고도에서 도파관 내부에서 발생할 수 있는 절연 파괴 전압(Ebkr)은 3×106V/m이다. 3D EM 시물레이션을 통해 도파관 결합기 내부에서 발생 할 수 있는 최대 전계 값(Emax)을 식 (3)에 대입하여 도파관 결합기의 방전 임계 전력을 계산할 수 있다.^[4]

$$P_{max} = (E_{brk}/E_{max})^2 \quad (3)$$

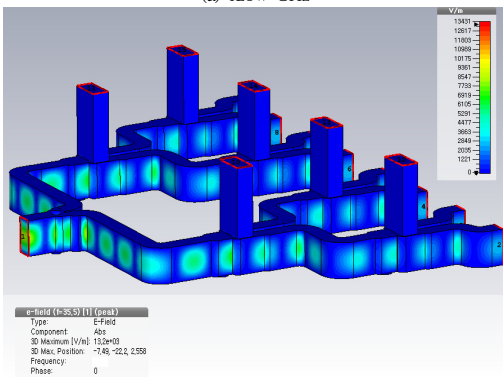
표 6은 시물레이션에서 각 주파수별 최대 전계 값과 식 (3)에 의해 계산된 방전 임계 전력을 나타냈다.

표 6. 전력결합기의 방전 임계전력 산출
 Table 6. Power rating of power combiner

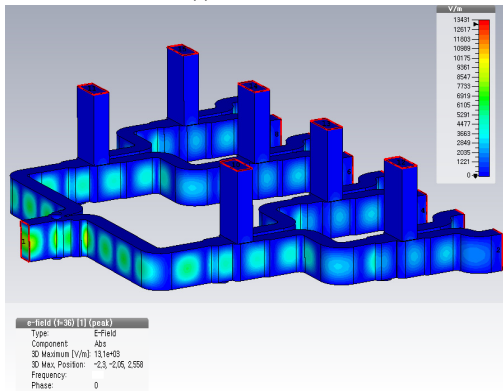
Freq.(GHz)	E-field	Breakdown power
f _{Low}	13.4 X 10 ³ V/m	50,222W
f _{Center}	13.2 X 10 ³ V/m	51,652W
f _{High}	13.1 X 10 ³ V/m	52,444W



(a) fLow GHz



(b) fCenter GHz



(c) fHigh GHz

그림 4. 전력 결합기 전계 분포

Fig. 4. E-field distribution in the power combiner

수백 와트에서 안정적인 동작을 요하는 결합기에서 상
 기 분석을 통해 충분한 전력 마진이 있음을 확인 할 수
 있다. 표 7은 이전 연구와의 방전 임계전력을 비교한 표
 이다.

표 7. 평면 결합기의 이전 연구와 방전임계전력 비교
 Table 7. Comparison of breakdown power from prior
 planar combiner

Freq.(GHz)	Breakdown power	
	Ref.[3]	This work
f _{Low}	804.0W	50,222W
f _{Center}	783.1W	51,652W
f _{High}	962.6W	52,444W

기존 연구와 비교해 봤을 때 60배 이상의 높은 방전임
 계전력 특성을 보이는데 이는 Kim의 매칭 구조 보다 음
 각 형태의 매칭 구조가 고출력에 적합함을 확인할 수 있
 다.

4. 8-way 전력 결합기 제작 및 측정

제품 설계 시 가공 및 조립 오차를 최소화 할 수 있도
 록 구조를 잡고, 이를 시뮬레이션에 적용하여 최적화 결
 과를 도출하였다. 도파관 내부를 구현하기 위해 몸체는
 2-파트로 분리하여 제작하였고, 종단기는 분리형으로 제
 작하여 탈 부착이 가능하도록 하였다.

8-way 도파관 결합기의 전체 크기는 96.0(W) ×
 75.4(L) × 32.2(H), mm 이다.

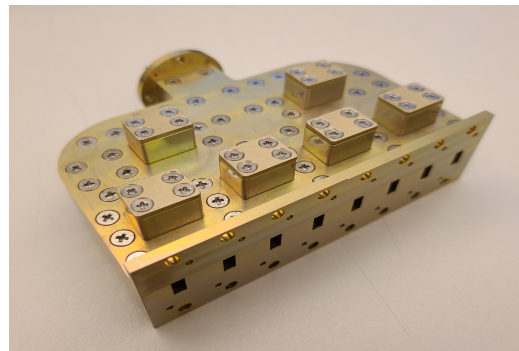


그림 5. 8-way 도파관 전력 결합기

Fig. 5. 8-way waveguide power combiner

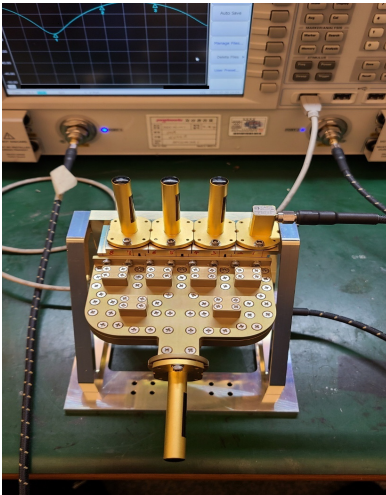


그림 6. 8-way 도파관 전력 결합기 측정 사진
Fig. 6. 8-way waveguide power combiner measurement photo

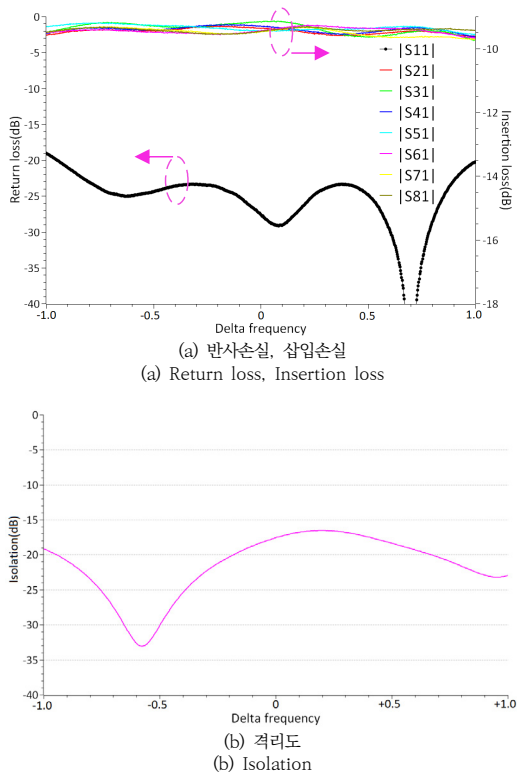


그림 7. 8-way 도파관 전력 결합기 측정 결과
Fig. 7. Measurement result of the 8-way waveguide combiner

전체 SSPA의 크기 제한으로 입력 도파관 포트 간격은 11.5mm이다. 표준 도파관 플랜지를 사용하는 어댑터를 이용할 수 없기 때문에 별도의 시험용 도파관을 제작하여 측정을 하였다.

반사 손실은 사용 주파수 대역에서 21dB 이상, 삽입 손실은 9.47 ~ 9.67dB의 성능을 보였고, 격리도는 16.5dB 이상의 성능을 확인하였다. 그림 7은 8-way 도파관 결합기의 시험 결과로 결합 포트에서 반사손실을 측정하고, 8개의 입력 포트에서 삽입손실을 측정하였다.

결합기의 결합 효율은 고출력 고효율의 시스템을 구현하기 위해 매우 중요한 파라미터이다. 실제 결합 효율을 계산하기 위해서는 분배기와 결합기의 손실을 고려해야 하나, 단위 전력 증폭기의 이득이 충분히 크다면, 분배기의 손실은 무시되며 결합기의 손실에 의해 결합 효율이 결정된다.^[5]

식 (4)의 S11, S21은 반사손실 및 삽입손실 측정 결과를 백분율로 환산한 수치로 결합기 단품의 결합 효율을 유추할 수 있다.

$$\eta_c \approx \sqrt{\frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2}} \quad (4)$$

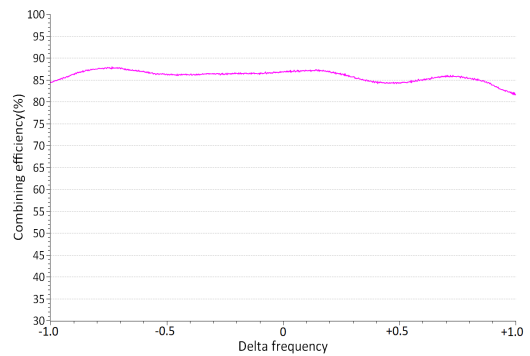


그림 8. 출력 결합 효율
Fig. 8. Output combining efficiency

결합 효율을 구하기 위해 각 포트의 손실을 평균 낸 후 식 (4)을 통해 계산을 하였다. 도파관 전력 결합기의 결합 효율은 사용 대역 내에서 86.2% 이상을 보였다. 표 8은 이전 연구와 전기적 성능을 비교한 표이다.

표 8. 평면 결합기의 이전 연구와 성능 비교

Table 8. Comparison of performance from prior planar combiner

Item	Ref.[3]	This work
Frequency	Ka band	Ka band
Insertion Loss	0.3 ~ 0.8dB	0.26 ~ 0.67dB
Isolation	12.5dB	16.5dB
Combining efficiency	84.8%	86.2%
Dimension	99.0X80.5X32.2, mm	96.0X75.4X32.2, mm

기존 연구와 비교해 봤을 때, 동일한 주파수 대역에서 삽입손실 평균은 0.17dB, 격리도는 4dB, 결합 효율은 1.4% 개선되어 더 우수한 성능을 나타내었다고 판단할 수 있다. 그리고 사이즈는 소형화 하여 SSPA 적용에 적합하다.

III. 결 론

본 논문에서는 Ka 대역 SSPA에 적용이 가능한 결합기의 높은 격리 특성과 안정적인 전기적 성능 확보를 위한 매칭 구조를 제안하였다. 원형 디스크 형태의 매칭 구조는 도파관 내부에서 음각 형태로 비교적 쉽게 가공이 되어 안정적인 전기적 성능 확보가 가능하다.

그리고 결합기 입력 기준 1, 2단은 Magic-T, 3단은 T-junction으로 구현하여 결합기에서 요구하는 격리 특성을 만족하고 소형화 하여 체계 적용에 용이하게 하였다. 특히 도파관 결합기에서 중요한 방전임계전력을 시뮬레이터의 전계 분석과 연계하여 이론적으로 계산하여 고출력 환경에서 안정적인 동작을 할 수 있는 전력 결합기를 설계 및 제작을 하였다.

최종 전기적 성능은 기존 연구 대비 삽입손실 0.17dB, 격리도는 4dB를 개선하고 크기는 길이 방향 3.0mm, 폭 방향 5.1mm를 소형화 하였다.

특히, 바이너리 결합기 임에도 불구하고 86.2% 이상의 높은 결합 효율을 가지고 있었다.

결론적으로 Ka대역에서 수백 와트의 전력을 요구하는 SSPA에 매우 적합하여 향후 TWTA를 대체하기 위한 고출력 증폭기 제작에 있어서 핵심 기술이 될 것으로 기대된다.

References

- [1] Song-Hyun Yun, Si-Ok Kim, Su Hyun Lee, Byeong-Ok Lim, Bok-Hyung Lee, Yong-Kyu Jeon, Hyun-Kyu Kim, and Young-Geun Yoo, "A Study on a Ku-Band High Power and High Efficiency Radial Combiner", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. Vol. 28, No. 5, pp 400-409, May 2017.
DOI : <https://doi.org/10.5772/intechopen.82840>.
- [2] Bo-Ki Kim, "A Study on Ku-band Broadband Spatial Power Combiner Using Coaxial Waveguide", (Ph.D. Dissertation, Kwangwoon University, 119p, Feb 2018.
- [3] Hyo-Chul Kim, Heung-Rae Cho, Ju-Heun Lee, Deok-Jae Lee, Se-Hwan An, Man-Hee Lee, Ji-Han Joo, Jun-Beom Kwon, Hae-Chang Jeong, and So-Su Kim, "Design and Fabrication of Ka-band High Power and Low Loss Waveguide Combiner", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC) Vol. 21, No. 3, pp. 35-42, Jun. 30, 2021.
DOI : <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.3.35>.
- [4] Juan Luis Cano, Franco Di Paolo, Angel Mediavilla, and Paolo Colantonio, "Full-Band Oversized Turnstile-Based Waveguide Four-Way Power Divider/Combiner for High-Power Applications", Electronics, Vol. 8, No. 2, pp. 193, Feb. 2019.
DOI : <https://doi.org/10.3390/electronics8020193>
- [5] Hyo-Chul Kim, Heung-Rae Cho, Ju-Heun Lee, Deok-Jae Lee, Se-Hwan An, Man-Hee Lee, Ji-Han Joo, and Hong-Rak Kim, "Design and Fabrication of Ka-band high Power and high efficiency waveguide spatial combiner", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC) Vol. 21, No. 5, pp. 19-26, Oct. 2021.
DOI : <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.5.19>
- [6] Dong-Hak Lee and Doo-Yeong Yang, "Analysis and Design of a Wide Corrugated Conical Horn Antenna Based on Mode Matching Converter", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. Vol. 17, No. 7, pp. 1-7, Jul. 2016.
DOI : <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.1>
- [7] L. Zhao, J. Xu, L. Wang, and M. Y. Wang, "A Novel Ka-band Solid-State Power Combining Amplifier", Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 23, pp. 161-173, Aug. 2011
DOI : <https://doi.org/10.2528/PIERC11061408>
- [8] L. Zhao, J. Xu, L. Wang, and M.-Y. Wang, "A Novel Ka-band Solid-State Power Combining Amplifier", Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 23, 161-173, 2011
DOI : <https://doi.org/10.2528/pierc11061408>

저 자 소 개

김 효 철(정회원)



- 2007년 2월 : 제주대학교 통신공학과 (공학사)
- 2007년 1월 ~ 2008년 3월 : ㈜액티페이스 연구원
- 2008년 3월 ~ 2017년 4월 : ㈜이너트론
- 2017년 4월 ~ 2020년 8월 : ㈜성산전자통신 선임연구원
- 2020년 8월 ~ 현재 : ㈜피플웍스 수석연구원
- 주 관심분야 : 공간결합기, 도파관결합기, 모드변환기 등

조 흥 래(정회원)



- 2003년 2월 : 위덕대학교 정보통신 (공학사)
- 2002년 11월 ~ 2004년 4월 : ㈜알트론 연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : ㈜피플웍스 수석연구원
- 주 관심분야 : 레이더시스템, 마이크로파 송수신기 등

이 주 흔(정회원)



- 2017년 2월 : 호서대 전자공학과(공학사)
- 2019년 2월 : 호서대 전자디스플레이공학부(공학석사)
- 2019년 2월 ~ 현재 : ㈜피플웍스
- 주 관심분야 : 초고주파 능동/수동회로, 재구성 안테나 시스템, 초고주파 센서 네트워크 시스템 등

이 덕 재(정회원)



- 1998년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 충남대학교 초고주파공학(공학석사)
- 2000년 2월 ~ 2001년 11월 : ㈜래트론 연구원
- 2001년 12월 ~ 현재 : ㈜피플웍스 이사
- 주 관심분야 : 레이더시스템, 마이크로파 송수신기 등

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 송실대학교 정보통신공과 (공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

이 만 희(정회원)



- 2007년 2월 : 충남대학교 전기정보통신공학부 (공학사)
- 2009년 2월 : 충남대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 선임연구원
- 주 관심분야 : 마이크로웨이브 탐색기, 초고주파 회로 및 시스템

주 지 한(정회원)



- 2002년 8월 : 충북대학교 전파공학과 (공학사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석 연구원
- 주 관심분야 : 마이크로웨이브 탐색기, 초고주파 회로 및 시스템

김 흥 락(정회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월 ~ 현재 : LIG 넥스원(주) 수석연구원
- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 신호처리, 마이크로파 송수신기

※ 본 연구는 2020년도 LIG넥스원의 지원을 받아 수행된 연구결과임. (계약번호 LIGNEX1-2021-0326(00), 소형 고효율 반도체 송신기)