

광대역 수직 장착 평면 결합기 설계

Design of Wideband Vertically Installed Planar (VIP) Coupler

이 경 준 · 박 정 훈 · 이 문 규

Kyeong-Jun Lee · Jeong-Hun Park · Moon-Que Lee

요 약

본 논문에서는 광대역 특성을 갖는 수직 장착 평면(VIP: vertically installed planar) 결합기를 제안한다. 5 GHz U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure) 대역의 VIP 결합기는 광대역 특성을 위해 결합 선로의 전류 경로를 조정할 수 있도록 3개의 비아홀과 RF 패턴으로 구성되었다. 측정 결과, VIP 결합기는 중심주파수 5.8 GHz에서 2.67 GHz의 3-dB 대역폭, 47.7 %의 비대역폭, 3-dB 대역폭에서 $\pm 2.5^\circ$ 이내의 위상 오차의 성능을 갖는다.

Abstract

This paper proposes a modified vertically installed planar (VIP) coupler for wideband applications. The proposed 5 GHz unlicensed national information infrastructure (U-NII) band VIP coupler is composed of three via holes and RF patterns adjusting current paths of the coupled lines for the wideband characteristic. In measurements, the proposed VIP coupler exhibits 3-dB bandwidth at 2.67 GHz with a fractional bandwidth of 47.7 % and phase error within $\pm 2.5^\circ$ at a center frequency of 5.8 GHz.

Key words: Wideband 3-dB Coupler, Vertically Installed Planar (VIP), Via Hole, Six-Port Software-Defined Radio (SDR)

I. 서 론

방향성 결합기는 RF 회로에서 자주 사용되는 기본 회로로, 주로 위상 천이기, 감쇠기, 그리고 평형 혼합기 등에 많이 사용된다^[1]. 기본 구조는 $\lambda/4$ 전송 선로로 구성되며, 4개의 포트를 갖는다. 그러나 전송선로를 이용한 기존 구조는 협소한 3-dB 대역폭을 갖고 공간을 많이 차지하는 단점을 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위해 lange 결합기 등과 같은 방법이 제안되었지만, 미세 패턴 인쇄로 인해 PCB(printed circuit board) 식각 공정을 이용

한 제작은 어려움이 많다^[2]. 이 문제에 대한 대안으로 1980년대 수직 장착(VIP: vertically installed planar) 결합기 방식이 제안되었다^[3]. 이 결합기는 수직한 기판을 이용하여 광대역 결합을 하는 구조로 일반적인 PCB 공정을 이용하여 패턴 구현이 가능하고 90도 하이브리드 구조에 비해 작은 면적과 넓은 3-dB 대역폭을 가진다.

본 논문에서는 광대역 성능과 제작 용이성을 위해 5 GHz U-NII(Unlicensed National Information Infrastructure) 주파수 대역(5.18~5.85 GHz)에서 동작하는 VIP 결합기를 제안한다.

「이 논문은 2020년도 서울시립대학교 연구년교수 연구비에 의하여 연구되었음.」

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과(School of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

· Manuscript received January 10, 2023 ; Revised February 2, 2023 ; Accepted February 23, 2023. (ID No. 20230110-003)

· Corresponding Author: Moon-Que Lee (e-mail: mqlee@uos.ac.kr)

II. VIP 결합기 설계

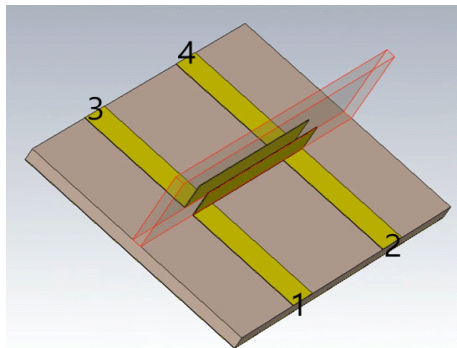
2-1 VIP 결합기 이론 및 설계

기존 전송선로 90도 하이브리드 결합기는 평면으로 구성되어 있기 때문에 공간의 제약이 발생한다. 그러나 VIP 결합기는 수직 기판을 수평 기판과 결합하는 방식을 이용하여 밀접 결합 3-dB 결합기를 구현하기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있다^[4].

그림 1에서 기존 VIP 결합기는 수직 기판의 결합 선로가 서로 마주하는 $\lambda/4$ 전송 선로로 구성되며, 강한 결합 특성으로 인해 광대역 성능을 갖는다. 이 구조는 결합 포트와 통과 포트가 같은 면에 존재하지 않아 평형 증폭기나 Butler 행렬 등을 구현 시 결선의 어려움이 따른다. 다른 회로와 연결 시 용이성을 위해 수직 기판 중간에 비아홀을 이용하여 결합 선로에서 신호의 경로를 교차시킨 구조가 보고되었다^[5]. 이 구조에서 수직 기판과 수평 기판의 결합 시, 기존에는 흠을 파거나 지지대 없이 납땀하

는 방식을 사용한다^{[6~[8]}.

그림 2는 5 GHz U-NII 대역에서 동작하는 VIP 결합기의 레이아웃을 보여준다. 수직 기판의 고정을 위해 0.2 mm의 두께용 고정 클립을 사용했다. 이에 클립에 삽입

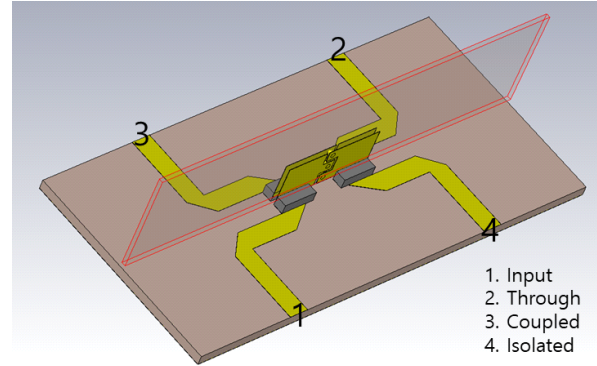


(a) VIP 결합기 구조
(a) VIP coupler structure

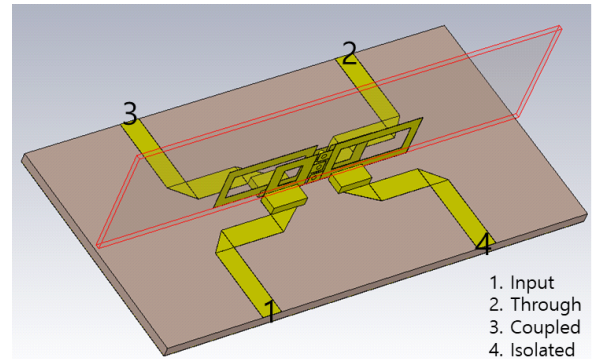


(b) 간략화한 등가모델
(b) Simplified equivalent model

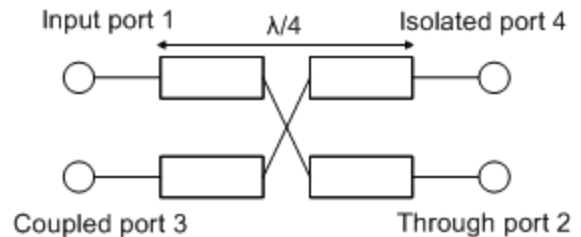
그림 1. 기존 VIP 결합기
Fig. 1. Conventional VIP coupler.



(a) 기존 구조 레이아웃
(a) Conventional structure layout



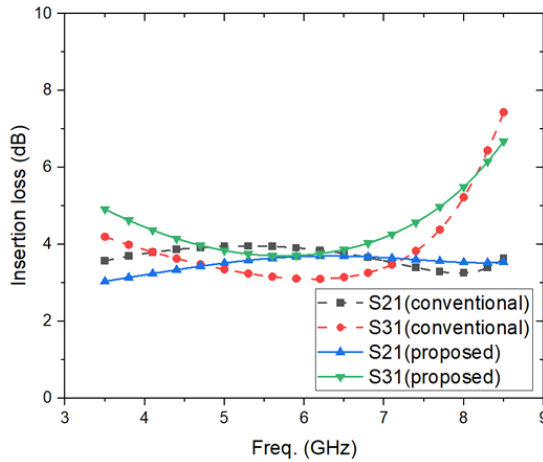
(b) 변형된 구조 레이아웃
(b) Modified structure layout



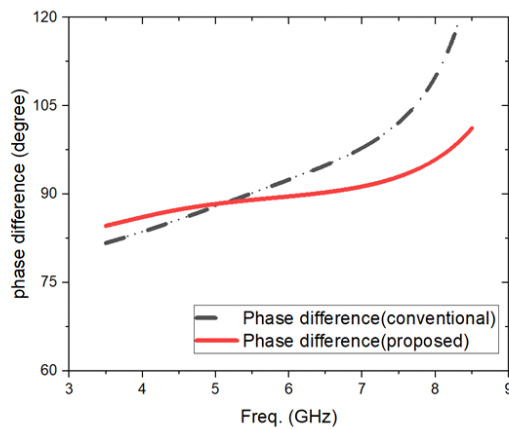
(c) 간략화한 등가모델
(c) Simplified equivalent model

그림 2. 기존 구조와 변형된 구조의 VIP 결합기 레이아웃
Fig. 2. Layouts of the conventional and modified VIP couplers.

가능한 0.254 mm의 기판을 이용하였으며, 결합 계수 확보를 위해 3개의 비아홀을 사용했다. 결합기의 비대칭성은 5 GHz U-NII 대역의 동작 주파수에서 통과 및 결합 신호의 크기와 위상 불균형을 발생시킨다(그림 2(a)). 그림 2(b)와 같이, 결합 선로의 길이 변화와 슬롯 삽입으로 두 결합 선로 간 결합 면적과 선로의 전류의 경로를 조절하여 출력 신호의 크기 및 위상 불균형을 완화시켰다. 그림 3은 기존 구조와 제안된 구조에서의 진폭 및 위상 차이를



(a) 삽입 손실
(a) Insertion loss



(b) 위상 차이
(b) Phase difference

그림 3. 기존 구조(그림 2(a))와 제안된 구조(그림 2(b))에서 VIP 결합기 시뮬레이션 결과.

Fig. 3. Simulation results of the conventional (Fig. 2(a)) and proposed VIP couplers (Fig. 2(b)).

보여준다. 90도 커플러의 진폭 및 위상 불균형을 동시에 평가할 수 있는 지표로 믹서의 영상 신호 제거비(IRR: image rejection ratio)의 식을 차용하여 적용하였다^[9].

$$IRR = -10 \log \left[\frac{1 - 2\sqrt{G} \cos \theta + G}{1 + 2\sqrt{G} \cos \theta + G} \right]$$

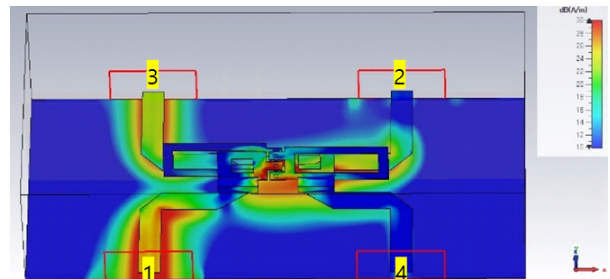
(G: 이득 불균형, θ : 위상 불균형)

(1)

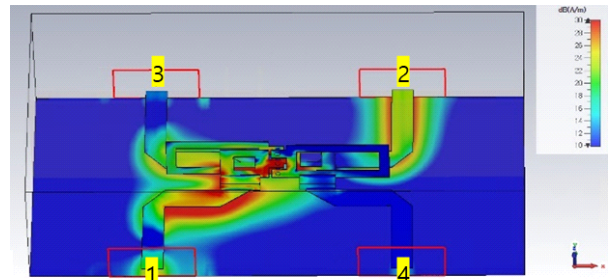
식 (1)을 통해 30-dB IRR은 0.5-dB 이득 불균형, 3.5° 위상 불균형에 해당한다.

기존 구조는 5 GHz U-NII 주파수 대역에서 S_{21} 과 S_{31} 이 0.5-dB 이득 불균형을 만족하지 못하고, 3.5° 위상 불균형 대역폭은 1.5 GHz이다. 제안한 변형 VIP 구조는 0.5-dB 이득 불균형의 3-dB 대역폭은 2.3 GHz, 3.5° 위상 불균형 대역폭은 3.48 GHz를 갖는다.

그림 4는 5.5 GHz에서 입력단(포트1)에 급전 시 제안된 VIP 결합기의 전류 분포를 보여준다. 이를 통해 통과 포트와 결합 포트가 서로 90°의 위상 차이가 발생하고, 입력 포트와 격리 포트 간 격리가 이루어지고 있음을 알 수 있다.



(a) $t=0$



(b) $t=T/4$

그림 4. 5.5 GHz에서 포트 1에 급전 시 제안된 VIP 결합기의 전류 분포(T =주기)

Fig. 4. Surface current distribution of the proposed VIP coupler at 5.5 GHz (excited at port 1) (T = period).

III. VIP 결합기 측정 결과

3-1 VIP 결합기 제작 및 측정 결과

그림 5는 본 논문에서 제작한 3-dB VIP 결합기를 보여준다. 수직 기판은 RO4350B($\epsilon_r=3.66$, $t=0.254$ mm, $\tan\delta=0.0037$), 수평 기판은 FR4($\epsilon_r=4.3$, $t=0.6$ mm, $\tan\delta=0.025$)를 각각 사용했다. 그림 6 및 그림 7은 설계된 방향성 결합기의 산란계수 측정 결과를 보여준다. 제작된 방향성 결합기는 중심주파수 5.8 GHz에서 2.67 GHz의 3-dB 대역

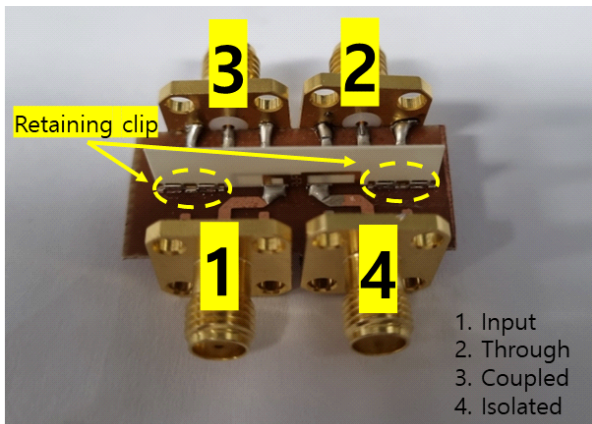


그림 5. 제작된 3-dB VIP 결합기.
Fig. 5. Fabricated 3-dB VIP coupler.

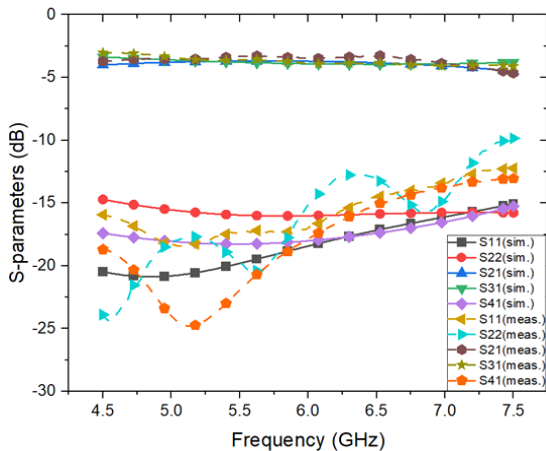


그림 6. 설계된 VIP 결합기의 산란 매트릭스(시뮬레이션과 측정 결과)
Fig. 6. S-matrix of the designed VIP coupler (simulation and measurement results).

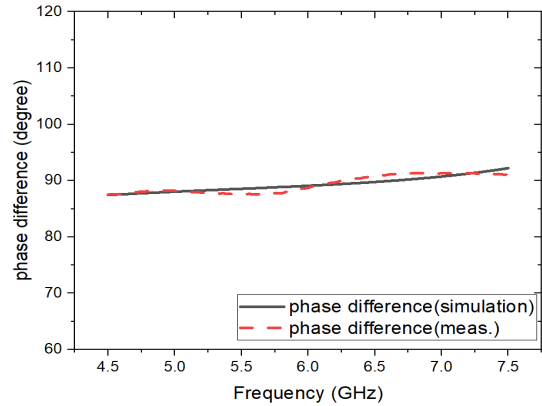


그림 7. 설계된 VIP 결합기 출력 포트 간 위상차
Fig. 7. Phase difference between output ports of the designed VIP coupler.

폭(0.5-dB 이득 불균형), 47.7 %의 비대역폭, 3-dB 대역폭에서 13 dB 이상의 반사손실 성능을 갖는다. S_{21} 와 S_{31} 의 위상차는, 그림 7과 같이, 3-dB 대역폭에서 90°(오차 $\pm 2.5^\circ$ 이내)를 유지한다.

IV. 결 론

본 논문에서 5 GHz U-NII 대역에서 동작하는 수직 장착구조의 광대역 VIP 결합기를 제안하고 설계하였다. 기존 VIP 결합기와 비교하여 비대칭성으로 인한 출력 신호의 크기 및 위상 불균형은 3개의 비아홀의 사용과 결합 선로의 결합 면적 및 전류 경로의 조절로 개선하였다. 제작된 VIP 결합기는 광대역 특성을 가지기 때문에 넓은 대역폭을 요구하는 다중포트 기반의 소프트웨어 정의 라디오(SDR: software define radio) 송수신기 및 FMCW (frequency modulated continuous wave) 레이더의 6-포트 또는 다중포트 수신기로 활용될 것으로 기대된다.

References

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Boston, MA, Addison-Wesley, 1990.
- [2] H. C. Chen, C. Y. Chang, "Modified vertically installed planar couplers for ultrabroadband multisection quadrature hybrid," *IEEE Microwave and Wireless Components*

- Letters*, vol. 16, no. 8, pp. 446-448, Aug. 2006.
- [3] Y. Konishi, I. Awai, and Y. Fukuoka, "Newly proposed vertically installed planar circuit and its application," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. BC-33, no. 1, pp. 1-7, Mar. 1987.
- [4] Y. Konishi, I. Awai, Y. Fukuoka, and M. Nakajima, "A directional coupler of a vertically installed planar circuit structure," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 36, no. 6, pp. 1057-1063, Jun. 1988.
- [5] Q. P. Chen, Z. Qamar, S. Y. Zheng, Y. Long, and D. Ho, "Design of a compact wideband butler matrix using vertically installed planar structure," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 8, no. 8, pp. 1420-1430, Aug. 2018.
- [6] A. N. Sychev, S. M. Struchkov, V. N. Putilov, and N. Y. Rudyi, "A novel trans-directional coupler based on vertically installed planar circuit," in *2015 European Microwave Conference(EuMC)*, Paris, Sep. 2015, pp.

이 경 준 [서울시립대학교/공학석사]

<https://orcid.org/0000-0002-8214-0415>



2021년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
2023년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
[주 관심분야] RF 회로설계, RF 레이더, 위성

박 정 훈 [서울시립대학교/연구교수]

<https://orcid.org/0000-0001-9250-1846>



2007년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
2020년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
2022년 8월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
2022년 9월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 연구교수

[주 관심분야] RF/Microwave 회로 및 시스템, 레이더 시스템, 위성 간 통신 자동역지향 시스템 등

283-286.

- [7] W. J. Lu, K. S. Ang, and K. Mouthaan, "A broadband quarter-wavelength impedance transformer using vertically installed planar coupler," in *2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium*, Baltimore, MD, Jun. 2011, pp. 1-4.
- [8] T. T. Thanh, G. A. Malyutin, and A. G. Loschilov, "Features of frequency response transformations of RLC circuits into opposite response when using them as a load of coupled strip lines with unequal waves phase velocities," in *2022 International Siberian Conference on Control and Communications(SIBCON)*, Tomsk, Nov. 2022, pp. 1-4.
- [9] J. Kim, W. Choi, Y. Park, and Y. Kwon, "60 GHz broadband image rejection receiver using varactor tuning," in *2010 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, Anaheim, CA, May 2010, pp. 381-384.

이 문 규 [서울시립대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-2231-8509>



1992년: 한국과학기술원 전기및전자학과 (공학사)
1994년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1999년: 서울대학교 전자공학과 (공학박사)
1999년~2002년: 한국전자통신연구원 위성탑재부품팀 선임연구원

2015년 11월~2018년 2월: 과학기술정보통신부 전파위성 PM/CP
2002년~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, RF 레이더/센싱, 무선통신시스템 등