



“양자를 보는 눈, 우주를 여는 문: 전자파기술”

2026년 한국전자파학회 동계종합학술대회

2026. 2. 25(수) ~ 28(토) | ICC JEJU

Program Book

주최 KIEES 사단 법인 한국전자파학회

협찬 한국전자파진흥협회, 로데슈바르츠코리아

모아소프트, 스마트레이더시스템, 안리쓰코퍼레이션, LIG넥스원, 키사이트테크놀로지스, 한화시스템

대영유비텍, 리콜코리아, 브로던, 비트센싱, 센서뷰, 쏘리드, 씨엔지 마이크로웨이브, 에이티엠아이앤씨, 와이테크,
코모텍, 토세이공업(일본), 피플아이, LPKF Laser & Electronics Korea Ltd., RFHIC, RF머트리얼즈

극동통신, 수산이앤에스, 아이스펙, 알에프피티, 에이치시티, 온품, 큐니온, 하이게인안테나, 한국자동차연구원

이앤알, 나인플러스IT, 매커스, 브이이엔지, 성원포밍, 알에프시스템즈, 알티테크, 에스엠일렉트로닉스,
오토심 유한회사, 캐드아이티코리아, 케이티엠테크놀로지, 케이파

그린텍아이앤씨, KAIST 초연결 EMC 연구센터, 한국외대 초고주파응용시스템연구실

KIEES 사단 법인 한국전자파학회



9 773092 423002
ISSN 3092-4235

구두 발표

마이크로파/밀리미터파 수동회로 (2)

2월 27일(금), 09:00~10:40, 301 (ICC/3층)

좌장 : 이보영 선임 (한국전자기술연구원)

구두 발표 E-V	시간	논문제목	모든 저자(소속)
E-V-01	09:00~09:25	[신진연구자 Invited talk] 필터링 전력분배기의 아이솔레이션 네트워크 설계 방법	이보영 [○] (한국전자기술연구원)
E-V-02	09:25~09:40	개방/단락 스텔브를 이용한 복소 종단 임피던스 기반 브랜치라인 하이브리드 결합기	김수연 [○] , Palaystint Thorng, Girdhari Chaudhary, 정용채(전북대학교)
E-V-03	09:40~09:55	병렬 선로 스위칭 기반의 임피던스 튜너를 이용한 재구성 가능한 전력 분배기	임영준 [○] , 이찬희, 서영주, 이효원, 유종원 (한국과학기술원)
E-V-04	09:55~10:10	실내 통신 환경 개선을 위한 초저비용 무전력 반사형 메타표면의 검증	김경환 [○] , 임성준(중앙대학교)
E-V-05	10:10~10:25	초소형 실시간-지연 위상 변위기를 위한 1-40-GHz 가변 지연 쌍극 쌍투 스위치	이규하 [○] , 홍성철(한국과학기술원)
E-V-06	10:25~10:40	지능형 반사 표면과 투과형 메타표면을 이용한 복잡한 실내 구조의 밀리미터파 커버리지 개선도 검증	이민재 [○] , 임성준(중앙대학교)

마이크로파/밀리미터파 수동회로 (3)

2월 27일(금), 13:10~14:40, 301 (ICC/3층)

좌장 : 정용채 교수 (전북대학교)

구두 발표 E-VI	시간	논문제목	모든 저자(소속)
E-VI-01	13:10~13:25	형상기억합금을 이용한 순차 전개 다중입출력 안테나의 기계적 특성 분석	장태환 [○] , 박세연, 임성준(중앙대학교)
E-VI-02	13:25~13:40	6G FR3 기지국용 LTCC 기반 도허티 전력증폭기 모듈	김태우 [○] , 전형진, 배경동, 박화선, 양영구 (성균관대학교)
E-VI-03	13:40~13:55	X-대역 레이더 응용을 위한 마이크로스트립-슬롯라인 전이를 활용한 이산화바나듐 기반 단극쌍투 스위치	최진우 [○] , 김정현, 임성준(중앙대학교)
E-VI-04	13:55~14:10	Gaussian Process Regression Model-Based Inductor Inverse Design	김나은 [○] , 오성욱* (광운대학교, 서울시립대학교*)
E-VI-05	14:10~14:25	MXene 금속화를 적용한 경량 3D 프린팅 도파관 슬롯 어레이 안테나	우제원 [○] , 임성준(중앙대학교)
E-VI-06	14:25~14:40	열전소자를 이용한 이산화바나듐 스위치 사용 주파수 가변 안테나	임대천 [○] , 임성준(중앙대학교)

개방/단락 스테르브를 이용한 복소 종단 임피던스 기반 브랜치라인 하이브리드 결합기

김수연, Palaystint Thorng*, Girdhari Chaudhary**, 정용채*

*전북대학교 전자정보공학부, **전북RICE지능화혁신연구센터

ksy021128@jbnu.ac.kr, ycjeong@jbnu.ac.kr

I. 연구 배경

브랜치라인 하이브리드 결합기(branch line hybrid coupler, BLHC)는 무선 주파수(RF) 회로 중에 가장 많이 사용되는 수동 회로 중 하나이다. 1:n 전력 분배 및 합성이 가능하며, 위상 천이기, 평형 전력 증폭기 등 다양한 RF 회로에 활용되고 있다.

기존의 BLHC는 종단 임피던스를 $50\ \Omega$ 으로 설정하고 각 전송선로의 전기적 길이를 $\lambda/4$ 로 설정하는 구조를 따른다. 하지만 복소 임피던스를 갖는 RF 회로에 적용하려면 정합 회로(matching network, MN)가 필요하다. 이는 회로 면적이 커지는 한계를 가지며, 이를 해결하기 위해서 BLHC 소형화 연구가 지속적으로 이루어져 왔다. 대표적으로 스테르브(stub)를 변형 및 추가하는 방식들이 제안되었다. 하지만 MN이 차지하는 면적이 있는 한, 회로 최적화에 한계가 있다.

본 논문에서는 개방(open)/단락(short) 스테르브를 이용한 새로운 구조의 복소 종단 임피던스 기반 BLHC를 제안하였다. 스테르브의 임피던스를 이용해 종단 임피던스의 허수 부분 상쇄 과정을 수식적으로 유도하고 분석하였다. 해당 구조를 통해 설계 자유도와 다양성을 확장할 수 있는 연구 방향을 제시하였다.

II. 제안한 CTI 기반 BLHC 설계

제안된 새로운 구조의 BLHC는 복소 종단 임피던스(complex termination impedance, CTI)를 갖는 단자에 개방/단락 스테르브를 병렬로 연결하여 종단 임피던스의 허수부를 상쇄한다. 이를 통해 새롭게 계산된 실수부 임피던스 값만 이용하여 BLHC 전송선로의 특성 임피던스를 구할 수 있다. 이때 스테르브들을 BLHC 내부로 배치할 수 있어 회로의 소형화도 가능하다. CTI를 나타내는 Z_{IN} 과 개방 스테르브(Z_{ost}), 단락 스테르브(Z_{sst})가 회로상에서 병렬 연결되었다면 다음과 같이 임피던스 수식(1)을 유도할 수 있다.

$$Z_{IN} = R_{IN} + jX_{IN} \quad (1a) \quad Z_{ost} = -jZ_{st} \cot \theta_{st} \quad (1b)$$

$$Z_{sst} = jZ_{st} \tan \theta_{st} \quad (1c)$$

$$Z_{load} = \frac{Z_{IN} Z_{ost}}{Z_{IN} + Z_{ost}} = R_{load} + jX_{load} \quad (1d)$$

$$Z'_{load} = \frac{Z_{IN} Z_{sst}}{Z_{IN} + Z_{sst}} = R'_{load} + jX'_{load} \quad (1e)$$

이때 $X_{load} = X'_{load} = 0$ 이 되어야 하므로 개방/단락 스테르브 활용할 때 필요한 전기적 길이와 도출된 실수 임피던스를 유도하면 수식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{st} = \tan^{-1} \left(\frac{X_{IN} Z_{st}}{R_{IN}^2 + X_{IN}^2} \right) \quad \theta'_{st} = -\tan^{-1} \left(\frac{R_{IN}^2 + X_{IN}^2}{X_{IN} Z_{st}} \right) \quad (2a)$$

$$R_{load} = R'_{load} = \frac{R_{IN}^2 + X_{IN}^2}{R_{IN}} \quad (2b)$$

유도한 실수 임피던스에 변환 수식을 활용하여 결합기 전송선로 임피던스를 도출할 수 있다.[1] 따라서 그림 1.(a)처럼 원하는 CTI를 선택한 다음, 개방/단락 스테르브를 이용해 BLHC를 구현할 수 있다.

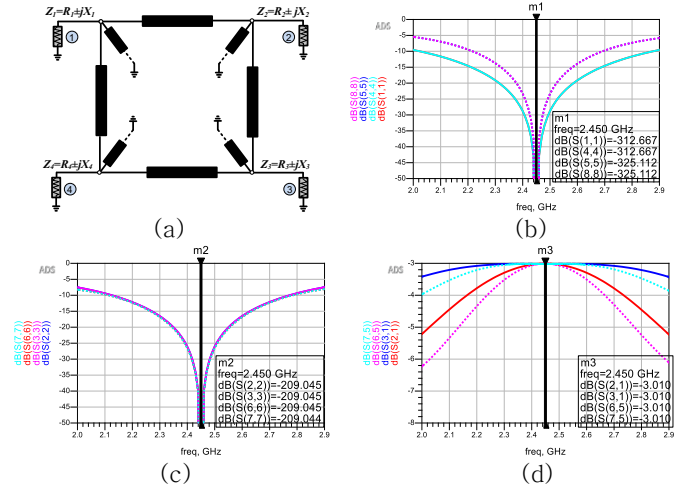


그림 1. 제안한 CTI 기반 BLHC 설계: (a) 구조도,

(b) $|S_{11}|$ 및 $|S_{44}|$, (c) $|S_{22}|$ 및 $|S_{33}|$, (d) $|S_{21}|$ 및 $|S_{31}|$

제안한 회로 타당성을 검증하기 위해 두 가지 종단 구성에 대해 시뮬레이션을 진행하였다. 조건 1: 입력(①), 격리(④) 단자에 $50\ \Omega$, 전달(②) 및 결합(③) 단자에 동일한 CTI를 가지는 경우, 조건 2: 입력(①), 격리(④) 단자 그리고 전달(②) 및 결합(③) 단자에 각각 동일한 CTI를 갖는 경우로 설정하였다. $f_0 = 2.45\ \text{GHz}$ 조건에서 관찰한 S 파라미터 특성은 그림 1과 같다. 조건 1은 개방 스테르브만을 이용해 구현하였고, 조건 2는 개방/단락 스테르브를 조합하여 설계하였다. 이에 따른 시뮬레이션 결과는 각각 실선과 점선으로 구분하여 도시하였다. 그 결과 $-20\ \text{dB}$ 기준으로 조건 1에서 $260\ \text{MHz}$, 조건 2에서 $140\ \text{MHz}$ 의 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한 종단 조건 변화에도 안정적인 정합 특성을 확인하였으며, BLHC의 전기적 특성이 유지됨을 확인할 수 있었다.

III. 결론

본 연구를 통해 복소 종단 임피던스를 갖는 새로운 구조의 BLHC를 제안하였다. 이는 다양한 RF 회로에 사용되는 구조인 만큼 설계의 자유도를 높여주는 효과를 기대할 수 있다. CTI의 허수부를 상쇄하기 위해 개방/단락 스테르브를 활용할 경우, 필요한 전기적 길이와 임피던스를 수식적으로 분석하여 설계 방법을 구체적으로 제시하였다. 두 조건을 설정하고 시뮬레이션을 통해 제안한 이론이 성립함을 확인하였다.

Acknowledgements

본 연구는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00209081, 40%), (No. RS-2019-NR040079, 40%), (IITP-2024-RS-00439292, 20%).

참고문헌

[1] H. Ahn, *Asymmetric Passive Components in Microwave Integrated Circuits*, Wiley-Interscience, 2005