



2025년 8월 20일(수)~23일(토) | 알펜시아 리조트 평창

KIEES 사단법인 한국전자파학회

포스터 발표

L-I-36		정확한 위상 범위 및 오차 분석이 가능한 DC 차단기없는 물균형 임피던스 반사형 위상 천이기	Palaystint Thorng [○] , 김수연, Phanam Pech, Girdhari Chaudhary, 정용채(전북대학교)
L-I-37		폐 태양광 모듈 유래 실리콘 회수를 위한 마이크로파 용융로의 반사파 세기에 기반한 적응형 출력 제어 기술	류승환 [○] , 김선욱, 정회경 (에이치에스솔라에너지)
L-I-38		모드 변환에 기반한 초광대역 공통 모드 차단 여파기 설계	고동재 [○] , 이정석, 민병철, 김문주, 호센 샤원, 김강욱(경북대학교)
L-I-39		CPW 정합용 GSG 패드의 반사 손실 및 공정 허용오차 영향 분석	서미래 [○] , 박윤식, 유종인 (한국전자기술연구원)
L-I-40		초광대역 고조파 억제 DG-SL SIR 여파기 설계	김동휘 [○] , 강현우, 허진, 채태규, 김강욱* (피플웍스아스날, 경북대학교*)
L-I-41		신호 균형 구조를 이용한 평형선로 기반의 초광대역 공통모드 잡음 차단 여파기	김문주 [○] , 민병철, 고동재, 김봉태*, 김강욱 (경북대학교, (주)피플웍스아스날*)
L-I-42		캐비티형 무선 주파수 필터의 수동 상호변조왜곡 저감을 위한 구조 설계	안세훈 [○] , 김차만(주)웨이브텍
L-I-43		표면 자기장 전류를 사용한 자기장통신 구조에 관한 연구	양해민 [○] , 서정빈, 권성욱, 서한동, 이채진, 박영철(한국외국어대학교)
L-I-44		PCB 전송선로-도파관 전환 EBG 구조 설계	박경규 [○] , 서덕진, 홍석연, 남승구, 유종인 (한국전자기술연구원)
L-I-45	14:30~15:50	유전율별 마이크로스트립 유전체 폭에 따른 반사계수 분석	고범진 [○] , 박윤식, 유종인 (한국전자기술연구원)
L-I-46		밀리미터파 응용을 위한 HTCC-PCB 하이브리드 QFN 패키지의 RF I/O 설계 및 전자기적 성능 검증	정진영 [○] , 강원실, 구현철* (알에프머트리얼즈(주), 건국대학교*)
L-I-47		편향 방향 이득 향상을 위해 곡면 메타표면을 적용한 위상 배열 안테나	송현지 [○] , 이민재, 박세연, 임성준(중앙대학교)
L-I-48		TGV 공정을 활용한 Glass-IPD 기반 n77 대역 Bandpass Filter 설계	강신의 [○] , 박대희, 박민수, 민효정, 김동수 (한국전자기술연구원)
L-I-49		6G Upper-Mid Band용 글라스 기판 기반 칩 내장 공정 최적화 연구	이재정 [○] , 박대희, 박민수, 강신의, 민효정, 김동수(한국전자기술연구원)
L-I-50		재구성 지능형 반사표면 구현을 위한 선형 편파 스위칭 기능을 가진 단위 구조 설계	박수민 [○] , 임성준(중앙대학교)
L-I-51		위성 응용을 위한 3D 프린팅된 경량 도파관 슬롯 어레이 안테나	우제원 [○] , 임성준(중앙대학교)
L-I-52		D-band 광대역 도파관 필터	박광식 [○] , 배근영*, 김병성, 유찬세* ((주)디스링크, 한국전자기술연구원*)
L-I-53		형상기억합금을 이용하여 전개 가능한 서브배열 MIMO 안테나	장태환 [○] , 박세연, 임성준(중앙대학교)

정확한 위상 범위 및 오차 분석이 가능한 DC 차단기없는 불균형 임피던스 반사형 위상 천이기

Palaystint Thorng^{1,*}, 김수연¹, Phanam Pech², Girdhari Chaudhary³, 정용채^{1,3,**}
¹전북대학교 전자정보공학부, ²JIANT-IT 인력양성사업단, ³전북RICE지능화혁신연구센터
 *thorngpalaystint@jbnu.ac.kr, **ycjeong@jbnu.ac.kr

I. 연구 배경

반사형 위상 변환기(reflective tunable phase shifter, RTPS)는 연속적인 위상 조절과 낮은 삽입 손실로 인해 무선 주파수(RF) 시스템에서 매우 중요한 구성 요소이다. 지난 수십 년간 RTPS의 설계 기술은 크게 발전해왔다. 그러나 기존의 RTPS는 시스템 임피던스 Z_0 에 종단되도록 설계되어, 종단 임피던스가 Z_0 에서 벗어날 경우 설계 유연성이 제한되는 단점이 있다[1]. 또한 대부분의 RTPS는 DC 바이어스 전류가 RF 단자로 유입되는 것을 방지하기 위해 최소 두 개 이상의 DC 차단 커패시터가 필요하다.

본 논문은 DC 차단 커패시터가 필요 없는 불균형 실수-실수 종단 임피던스(unequal termination impedance, UTI)를 갖는 RTPS를 제안한다. 제안된 RTPS는 정확한 합성 기법을 통해 설계되었으며, 위상 이동 범위(phase shift range, PSR)와 위상 편차 오차(phase deviation error, PDE) 간의 상호 관계를 매개 변수 분석을 통해 고찰하였다.

II. 제안된 UTI RTPS의 설계

제안된 RTPS는 불균형 실수-실수 UTI를 갖는 3 dB 하이브리드 결합기로 구성되며, 이 결합기의 전달 단자와 결합 단자는 두 개의 동일한 반사 부하가 연결된다. 제안된 3 dB 하이브리드 결합기는 두 개의 결합 선로와 두 개의 전송선로로 구성된다. 하나의 결합 선로 부분은 입력 단자에서 전달 단자까지 연결되며, 다른 부분은 격리 단자에서 결합 단자까지 연결된다. 이 결합 선로 부분은 DC 차단 기능도 수행한다. 각 단자 간의 UTI를 변환하기 위해, 3 dB 하이브리드 결합기의 결합선로의 우/기-모드 분석으로 각 선로의 특성 임피던스는 식 (1)과 같이 얻어진다.

$$Z_{0e} = 2\sqrt{Z_1 Z_2 / 2 + Z_{0o}}, \quad 1(a) \quad Z'_{0e} = 2\sqrt{Z_3 Z_4 / 2 + Z'_{0o}}, \quad 1(b)$$

$$Z_A = \sqrt{Z_2 Z_3}, \quad 1(c) \quad Z_B = \sqrt{Z_1 Z_4}. \quad 1(d)$$

여기서 Z_1 , Z_2 , Z_3 , 및 Z_4 는 각각 입력, 전달, 결합, 격리 단자의 종단 임피던스이다. Z_{0e} 와 Z_{0o} 는 입력 단자에서 전달 단자로 연결되는 결합 선로의 우/기-모드 임피던스이며, Z_{0e}' 와 Z_{0o}' 는 격리 단자에서 결합 단자로 연결되는 결합 선로의 우/기-모드 임피던스이다. 특히, Z_{0o} 와 Z_{0o}' 는 설계자가 원하는 적절한 값으로 설정할 수 있다. Z_A 와 Z_B 는 각각 입력 단자에서 격리 단자로, 전달 단자에서 결합 단자로 연결되는 전송선로의 특성 임피던스를 의미한다.

각 반사 부하는 전기적 길이 θ_{st} 와 특성 임피던스 Z_{st} 를 갖는 단락 전송선로에 직렬로 연결된 바랙터 다이오드(c_v)로 구성된다. $Z_2 = Z_3$ 인 경우, 제안된 구조의 위상 천이(ϕ)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\phi = -2 \tan^{-1} \left[\left(\omega c_v Z_{st} \tan \theta_{st} - 1 \right) / \left(\omega c_v Z_2 \right) \right] \quad (2)$$

UTI RTPS의 PSR ($\Delta\phi$) 및 PDE (ϕ_{err})는 다음과 같

이 표현될 수 있다.

$$\Delta\phi_V = \phi_V - \phi_{V_{min}} \text{ if } \phi_V < \phi_{V_{min}} \text{ or } \phi_V - \phi_{V_{max}} \text{ if } \phi_V > \phi_{V_{max}} \quad (3)$$

$$\phi_{err} = \pm \left(\max(\Delta\phi)_V - \min(\Delta\phi)_V \right) / 2. \quad (4)$$

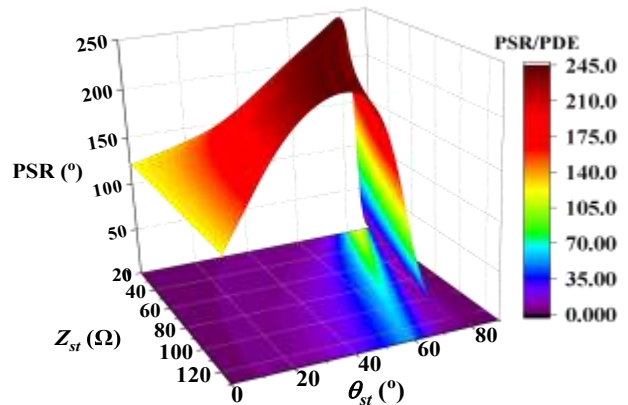


그림 1. $Z_2 = Z_3 = 50 \Omega$, $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$, $BW = 200 \text{ MHz}$ 조건에서 Z_{st} , θ_{st} 변화에 따른 반사 부하의 PSR 및 PDE.

그림 1은 바이어스 전압을 0V에서 15V까지 변화시킬 때, Z_{st} 와 θ_{st} 에 따른 반사 부하의 PSR과 PDE를 계산한 결과를 보여준다. 본 논문에서는 Skyworks사의 바랙터 다이오드 SMV-1231을 사용하였다. 상단의 등고선 그래프는 PSR을, 하단의 등고선 그래프는 PDE를 나타내며, 두 그래프 모두 동일한 컬러 스케일을 적용하여 시각화하였다. 제안된 RTPS는 $f_0 = 2.45 \text{ GHz}$, $Z_1 = 30 \Omega$, $Z_2 = Z_3 = 50 \Omega$, $Z_4 = 70 \Omega$ 조건에서 제작 및 측정되었다. $Z_{st} = 75 \Omega$, $\theta_{st} = 45^\circ$ 를 선택함으로써, 200 MHz의 대역폭 내에서 최대 위상 천이 $\angle \phi_{max} = 205^\circ$ 및 $\phi_{err_{max}} = \pm 9.3^\circ$, 최대 삽입 손실 1.2 dB, 최소 반사 손실 14.2 dB의 성능을 얻었다.

III. 결론

제안된 RTPS는 200 MHz의 동작 대역폭 내에서 넓은 PSR을 제공한다. 임의의 실수 종단 임피던스에 직접 정합하여 회로 크기를 소형화할 수 있었으며, 전기적 성능들도 향상된다. 또한 DC 차단 커패시터가 필요하지 않기 때문에 소자 수를 감소시키는 장점도 있다.

Acknowledge

이 성과는 정부(과학기술정보통신부, 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00209081, No. RS-2019-NR040079).

참고문헌

[1] S. Saron, G. Chaudhary, Y. Jeong, "Concurrent dual-band shifter with independent tunable phase shift control," *IEEE Microw. Wireless Technol. Lett.*, vol. 34, no. 2, pp. 163-166, Feb. 2024.