

논문 2009-46TC-2-19

# Metamaterial 하이브리드 Rat-Race Coupler를 이용한 소형화된 광대역 코릴레이터

( Compact and Wideband Correlator with Metamaterial Hybrid Rat-Race Coupler )

김 양 현\*, 서 철 현\*\*

( Yang-Hyun Kim and Chulhun Seo )

## 요 약

본 논문에서는 주파수 측정기의 핵심 소자이며 위상 비교 방향 탐지기의 핵심 소자인 위상 변별기를 설계하였다. Microwave Frequency대역 분류를 기준으로 하여 C-Band의 주파수 신호를 처리하는 광대역 Correlator를 설계하였다. 위상 변별기를 구성하는 광대역 2단 2way Power Divider를 설계하였으며, 180° Metamaterial Hybrid Rat-Race Coupler와 90° Hybrid Coupler를 설계하여, 일반적인 위상변별기와 비교하여, Compact하며, 광대역인 특성을 얻을 수 있었다. 위상 변별기의 구성은 광대역 소자를 사용하였으며 그 위 Phase를 맞추기 위한 Delay Line을 구성하였다.

## Abstract

A wideband correlator, with 45% relative bandwidth is proposed at the frequency range of 3.1-5.1 GHz. The structures of the correlator components such as the delay line and the Wilkinson power divider are designed to be realized in transmission line form using the Agilent's Advanced Design System (ADS). The correlator made by using three unique wideband 3-dB couplers, rat-race coupler and one 3-dB wilkinson power divider to reach the required bandwidth. The insertion loss, amplitude imbalance and phase imbalance between ports are presented. The proposed correlator makes compact size better than correlator of conventional structure.

**Keywords :** Correlator, Rat-Race Coupler, Hybrid Coupler, delay-lines, Wilkinson Power Divider.

## I. 서 론

최근 들어 방향탐지(Direction Finding)기술이 이동통신이나 위성 그리고 전자전(Electronic Warfare)에서 적용되는 Electronic Attack 및 Electronic intelligence를 위해서 중요성이 부각되고 있으며, 가장 먼저 선행되어 해결되어야 하는 기술 분야 중의 하나이다. 위상 변별

기는 전자전의 방향 탐지 시스템의 가장 핵심적인 부분으로서 신호원으로부터 입사되어 들어오는 두 고주파의 위상을 측정하여 주파수 방위를 정밀하게 측정하는 필수적인 핵심 부품이다. 위상 변별기의 정밀성 및 측정대역이 증가하게 되면 표적탐지 레이더의 신뢰성을 증가시킬 수 있으며, 또한 전자파를 이용해 추적 기능을 보유한 미사일의 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 방향 탐지 시스템 설계 시 위상 변별기의 신뢰성 및 정밀성은 가장 중요하게 고려해야 할 사항이다. 위상 변별기는 주파수 대역 및 대역폭에 따라서 군수 분야의 전자전 시스템뿐만 아니라 벡터 분석 계측기, 이동 통신 및 무선 LAN의 위상 보조기 등에서도 사용되며, 디지털 주파수 측정기의 핵심 부품으로 사용되어 전파 탐색

\* 학생회원, \*\* 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (Department of Information and Telecommunication Engineering, Soongsil University)

※ 이 연구는 2008학년도 숭실대학교 대학 연구비의 지원으로 연구되었음

접수일자: 2009년1월30일, 수정완료일: 2009년2월12일

기, 도청 대응 장치등과 같이 미수 상용 무선 통신 시스템에서도 사용 되고 있다. Six-port 코릴레이터는 일반적으로 많이 사용되는 구조의 위상 변별기이다. 하지만 회로크기가 작은 장점을 가지고 있는 반면에, 좁은 대역폭의 특성을 가지며, 낮은 DF(direction finding) 정확도의 단점을 가지고 있다. 또한, 최근 metamaterial에 대한 이론 및 응용 분야에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. metamaterial은 자연계에서 흔히 볼 수 없는 특수한 전자기적 성질을 나타내도록 인공적인 방법으로 합성된 물질을 통칭하는 용어이다, 이중 doubly negative material(DNG) 그리고 음의 굴절율(negative Refractive Index), left-handed material(LHM) 등의 여러 가지 이름으로 불리는 물질들은 어떤 특정 조건 하에서 유효유전율 및 유효 투자율이 모두 음의 값을 가지게 되면 이에 따라 일반적인 물질과는 매우 상이한 전자파 특성을 나타낸다. 마이크로파 분야에서 LH 전파 현상이 실제적인 응용은 전송선 방식의 LHM 구조를 기반으로 진행되고 있다. 일반적인 등가회로 모델에서 L과 C의 위치를 바꾸어 직렬 C와 병렬 L로 구성된 전송선 구조로 전자파의 위상 속도가 반전되는 현상을 발생시킨다. 이러한 현상을 이용하여 소형화된 구조를 설계 하였다. metamaterial을 이용하여 소형화된 하이브리드 rat-race coupler를 적용한 위상 변별기를 설계 하였다. 또한, 위상 변별기에서 중요한 요소라고 할 수 있는 대역폭에서도 광대역의 특성을 얻기 위해 2단 two-way 전력 분배기와 three-arm 하이브리드 coupler를 사용하여 높은 대역폭의 소형화된 광대역 코릴레이터를 설계 하였다.

II. Correlator 동작원리

위상 변별기는 두 개 이상의 IF 신호를 입력받아 이들 신호의 위상차를 측정하는 장치로서 위상 검파기(Phase Detector) 또는 코릴레이터(Correlator)로 불리고 있다. 위상 변별기는 능동식 방향 탐지 장치인 레이더에 비해 수동식 탐지 방식으로서 탐지하고자 하는 대상의 신호원으로부터 입사하는 전파의 도래방향을 높은 정확도로 빠른 시간에 측정하는 특성을 가지고 있다. correlator는 분배기를 통해 나오는 두개의 RF 신호 중 한 신호만을 Delay 시켜 두 신호간의 위상차가 발생하게 되도록 한다. 최종 출력 단에서 이 위상차를 비교하여 주파수 정보를 얻게 된다. 그림 1은 six-port

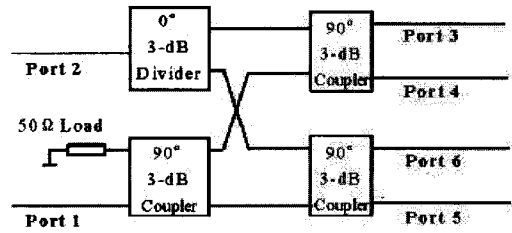


그림 1. Six-Port Correlator의 블록 다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of six-port correlator.

correlator의 일반적인 구조를 나타낸 것이다. 위상 변별기의 port 1에 변조 신호가 입력되고, port 2에 국부 발진기 신호가 입력되어 출력단의 port 3에서 port 6까지의 각 포트의 출력결과를 통하여 위상 변별기의 대역폭의 특성을 얻게 된다. 또한 출력 포트 간의 위상차를 통하여 위상 변조기 특성을 보여주게 된다.

III. Correlator 설계

그림 2는 correlator의 RF section을 구성한 것이다. 입력 고주파 신호의 주파수 정보를 검출하기 위하여 광대역의 특성을 가진 2단 two-way Wilkinson 전력분배기 및 three-arm 하이브리드 coupler를 사용하였다. Correlator의 소형화를 목표로 회로크기를 개선하여 소형화된 장점을 가지기 위해서 metamaterial을 적용한 하이브리드 rat-race coupler를 사용하여 설계하였다.

그림 3은 2단 2way Wilkinson 전력 분배기에 변조 신호가 입력되며, 출력 포트에 신호의 크기가 거의 같도록 나오게 설계하였다. 또한 위상 변조기의 광대역의 특성을 위해 2단으로 전력 분배기를 설계하였다. 그 결

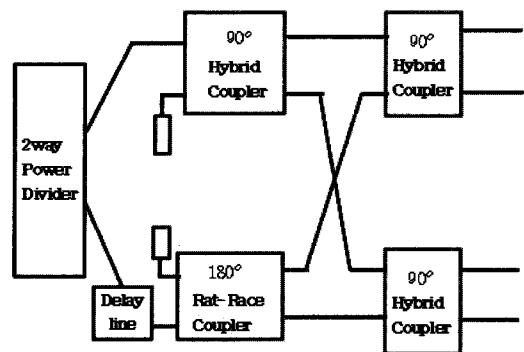


그림 2. 제안한 광대역 Correlator 구조  
Fig. 2. Proposed structure of wideband Correlator.

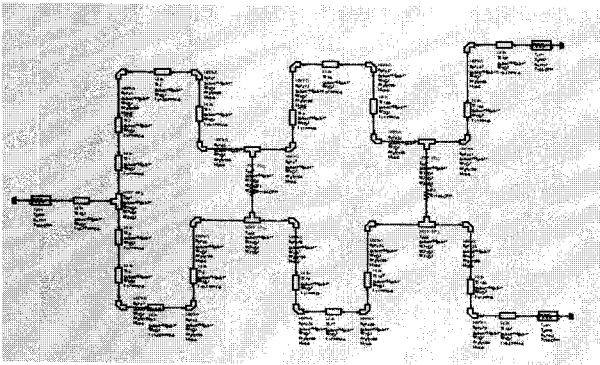
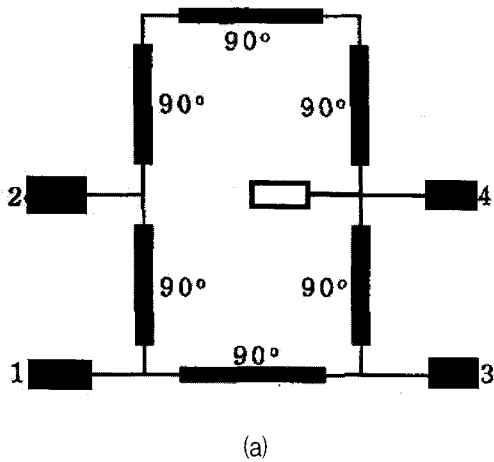
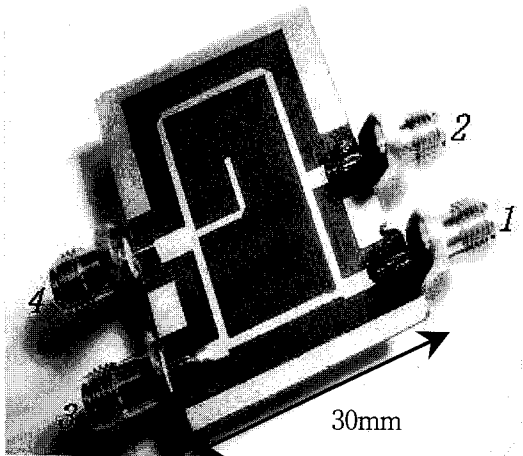


그림 3. 2단 윌킨슨 전력 분배기  
Fig. 3. Double column wilkinson power divider.



(a)

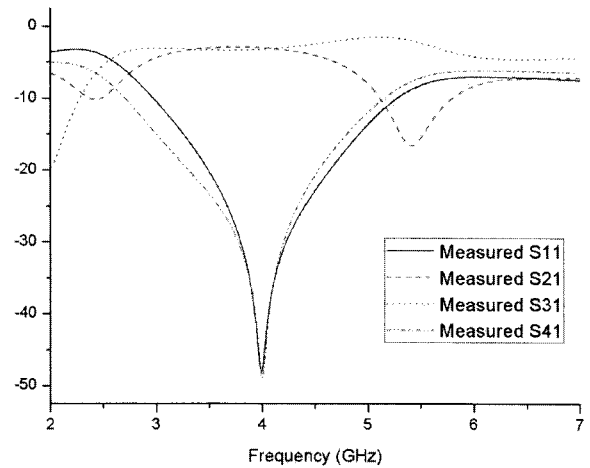


(b)

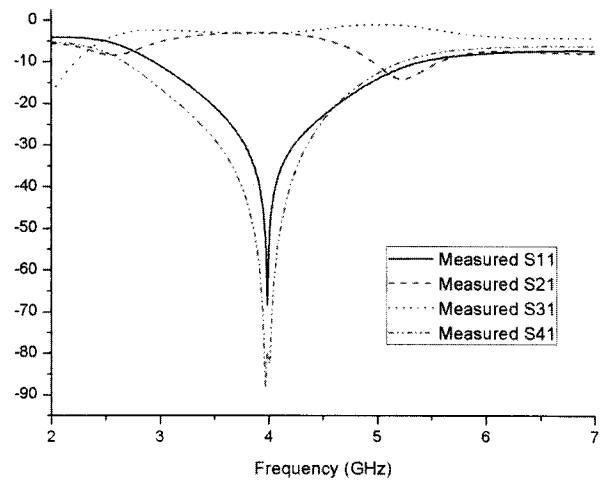
그림 4. Metamaterial 전송 선로를 이용하여 제안한 180°하이브리드 rat-race coupler (1) 제안된 모델, (2) 제안한 하이브리드 rat-race coupler  
Fig. 4. The proposed 180° hybrid Rat-race coupler using Meta-material Transmission line (a) Proposed Model, (b) Fabricated hybrid rat-race coupler.

과 correlator의 대역폭 특성을 개선하였다. 브랜치 라인 coupler 구조는 일반적인 90° 하이브리드 coupler에 비해 대역폭이 넓은 three-arm 90° 하이브리드 coupler를 through 포트와 coupling 포트에 같은 크기의 신호가 나오며, 3dB 결합기로 동작될 수 있도록 설계하였다.

그림 4는 metamaterial 전송 선로를 이용하여 제안된 180° 하이브리드 rat-race coupler의 제작된 기판 모습을 보여준다. 포트 1은 입력 포트이며, 포트 2와3이 출력포트, 포트 4는 isolation으로 설계하였다. 180° 하이브리드 rat-race coupler의 구조에서 90° 와 270°의 전송선로의 구조로 설계, 또한 metamaterial 전송 선로를

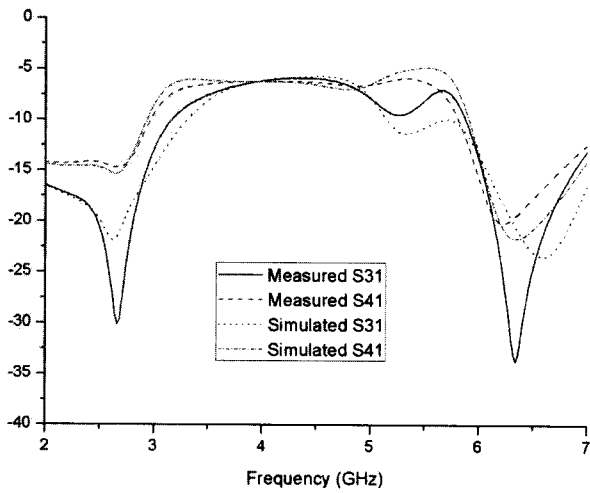


(a)

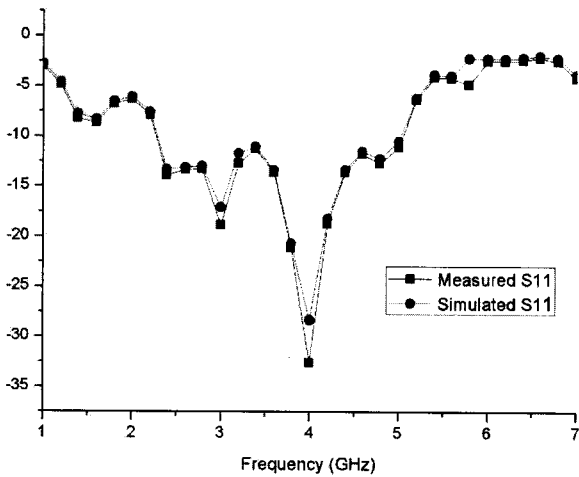


(b)

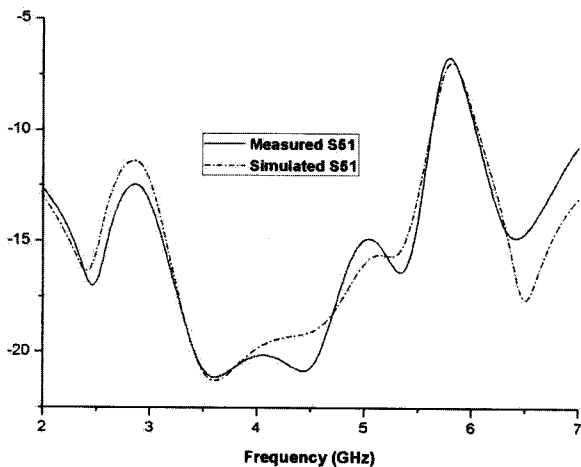
그림 5. 측정된 결과 비교 (a) 180° 하이브리드 rat-race coupler, (b) Metamaterial 전송 선로를 이용한 180° 하이브리드 rat-race coupler  
Fig. 5. Compare measured (a) 180° hybrid rat-race coupler, (b) 180° hybrid rat-race coupler using metamaterial transmission line.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 소형화된 광대역 correlator의 시뮬레이션과 측정된 결과 비교

Fig. 6. Compare amplitude of the compact and wideband correlator simulated with measured.

isolation 포트에 대칭으로 설계하여 크기에서 개선을 하였다.

그림 5는 일반적인 하이브리드 rat-race coupler 와 metamaterial 전송 선로를 이용한 rat-race coupler의 측정결과를 비교하여 나타내었다. 예상 되로, 일반적인 구조의 hybrid rat-race coupler 보다 metamaterial 전송 선로를 사용하여 손실을 줄이는 특성을 얻었다. 또한 손실을 줄이므로 대역폭에서도 개선이 되는 특성을 얻을 수 있었다. 그림 6은 3.0-5.2 GHz 대역에서의 설계한 각 고주파 소자를 연결하여 correlator를 만들어 측정한 결과를 시뮬레이션과 비교하여 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 6-(a)의 출력 포트 3과 포트 4의 삽입 손실과 6-(b)의 입력 신호의 반사 손실, 6-(c)의 correlator를 통과하여 나오는 출력 파형을 시뮬레이션과 측정결과를 비교하여 나타내었다, 또한 결과적으로 일반적인 correlator의 결과 보다 주파수 대역 및 크기에서 개선된 결과를 얻을 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문은 2단 Wilkinson 전력 분배기로 설계된 correlator를 기반으로 metamaterial 전송 선로를 이용한 소형화된 하이브리드 rat-race coupler를 제안하였다. 일반적인 하이브리드 rat-race coupler에 metamaterial 전송 선로를 만들어 일반적인 하이브리드 rat-race coupler 보다 소형화된 구조의 coupler를 만들 수 있다. 또한 특성에서도 개선된 결과를 얻을 수 있었다. 일반적 구조의 위상 변별기는 3.1-4.0 GHz의 대역폭의 특성을 갖는다. 하지만 광대역의 2단 Wilkinson 전력 분배기와 metamaterial 전송 선로를 이용한 하이브리드 rat-race coupler를 적용한 위상 변별기는 3.0-5.2 GHz의 대역폭을 갖는다. 일반적인 위상 변별기와 비교 했을 때, 1 GHz 이상의 대역폭을 갖는다. 기구 크기에서도 소형화의 장점을 가진 six-port 위상 변별기와 비교 했을 때, 좀 더 소형화된 특성을 가지는 점에서 크기에서 또한 개선된 것을 알 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

[1] D. C. Schleher, Electronic warfare In the Information Age, Attach House, 1999.  
 [2] J. S. Lim, et al. , "A Novel Technology of

- Microwave Direction Finding With A Combination of Amplitude Measurement and Phase measurement”, ISAP2005, pp.1269-1272, 2005.
- [3] G. W. Stimson, Introduction to Airborne Radar, Hughes Aircraft Company, 1983.
- [4] R. Knochel, Broadband flat coupling two-branch and multi-branch directional couplers, IEEE MTT-s Int. Microw. Symp. Dig. 1990, pp. 1327-1330.
- [5] D. M. Pozar, Microwave Engineering, Addison. Wesley Publishing Co. 1991.
- [6] G. F. Engen, A review of the six-port measurement technique, IEEE Trans. Microw. Theory Tech. 1997, vol.45, no.12, pp, 2414-2417.
- [7] Kai. Chang. Handbook of Microwave and Optical Components Volume 1 - Microwave Passive and Antenna Components, John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [8] M. A. Antoniadis, G. V. Eleftheriades, “A broadband wilkinson balun using microstrip metamaterial lines”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 4, pp. 209-212, 2005.
- [9] M. A. Antoniadis, G. V. Eleftheriades, “Compact linear lead/lag metamaterials phase shifters for broad band applications”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 2, pp. 103-106, 2003.

---

 저 자 소 개
 

---



김 양 현(학생회원)  
 2008년 백석대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 2008년 3월~현재 숭실대학교  
 전자공학과 석사과정  
 <주관심분야 : 초고주파 회로 설  
 계, 안테나, RF Power Amplifier,  
 VCO, Digital RF 등>

서 철 현(정회원)  
 대한전자공학회 논문지  
 vol. 31, no. 6 참조