

모노펄스 신호 생성을 위한 이중편파 180도 하이브리드 커플러 구조 설계

Design of a Dual-Polarization 180° Hybrid Coupler Structure for Monopulse Signals

백종균¹ · 최성훈² · 신재현³ · 추무궁⁴ · 김영완⁵ · 채희덕⁶

Jong-gyun Baek¹ · Seong-Hoon Choi² · Jae-Hyun Shin³ · Moo-goong Choo⁴ ·
Young-wan Kim⁵ · Hee-duck Chae⁶

요약

본 논문에서는 이중편파 신호를 모노펄스 신호로 변환하기 위한 모노펄스 비교기의 180도 하이브리드 커플러를 설계하였다. 모노펄스 신호는 레이더, 유도무기의 탐색기 등에서 정밀 추적을 위해 사용되며, 주로 도파관 타입의 모노펄스 비교기를 사용한다. 또한, 제밍 대응 능력과 표적 식별 능력 향상을 위해 수직/수평의 이중편파 기술이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 이중편파 신호를 동시에 모노펄스 신호를 생성할 수 있는 새로운 180도 하이브리드 커플러 구조를 제안한다. 설계된 180도 하이브리드 커플러는 90도 하이브리드 커플러와 90도 위상 천이기가 결합된 구조로 되어 있으며, 모노펄스 신호 생성을 위한 합 신호와 차 신호가 잘 생성되는 것을 확인하였다.

Abstract

In this study, we design a 180-degree hybrid coupler for a monopulse comparator that converts dual-polarized signals into monopulse signals. Monopulse signals enable precise tracking in radar and seeker systems and are typically generated using waveguide-type monopulse comparators. To enhance jamming resistance and target identification capabilities, vertical/horizontal dual-polarized technology is required. Therefore, this study proposes a novel structure for the 180-degree hybrid coupler—a key component of the monopulse comparator—that simultaneously generates monopulse signals with dual polarization. The designed 180-degree hybrid coupler combines a 90-degree hybrid coupler with a 90-degree phase shifter, and simulations confirm that it effectively produces the sum and difference signals necessary for monopulse generation.

Key words: Monopulse, Dual Polarization, Hybrid Coupler, Magic T

LIG넥스원(LIG Nex1)

1: 수석(<https://orcid.org/0000-0003-1182-178X>), 2: 연구원(<https://orcid.org/0009-0001-7206-1887>), 3: 선임(<https://orcid.org/0000-0002-3091-6410>),
4: 선임(<https://orcid.org/0000-0002-9455-7541>), 5: 수석(<https://orcid.org/0000-0001-6404-8335>), 6: 수석(<https://orcid.org/0000-0002-9329-5519>)

· Manuscript received June 19, 2025 ; Revised August 4, 2025 ; Accepted September 29, 2025. (ID No. 2025619-006S)

· Corresponding Author: Jong-gyun Baek (e-mail: jonggyun.baek2@lignex1.com)

I. 서론

모노펄스 비교기는 모노펄스 신호를 통해 신호원의 정밀 각도 추적하는 레이더, 유도무기의 탐색기 등에 많이 적용되는 중요 구성품 중 하나이다^[1]. 또한 현대 전에서는 전자 방해 기술의 발전으로 신호원의 각도 위치를 정밀하게 추적하기 위해 각도 분해능을 높이는 모노펄스 추적 기능뿐만 아니라, 재밍 영향에 대응할 수 있는 안테나 개발이 요구되고 있다. 이중편파 안테나는 표적에서 반사되는 수직/수평의 이중편파를 수신함으로써 표적의 식별 능력과 재밍 대응 능력의 향상이 가능하다. 따라서 이중편파를 수신하여 모노펄스 신호를 생성할 수 있는 기술이 요구된다.

본 연구에서는 이중편파의 모노펄스 신호를 얻기 위해 모노펄스 비교기의 필수적인 구조인 180도 하이브리드 커플러(magic T)를 제안하며, 제안된 구조는 이중편파에서 동시에 모노펄스 신호를 생성할 수 있다. 종래의 180도 하이브리드 커플러는 단일 편파에 대해서만 모노펄스 신호를 생성하기 때문에 이중편파 모노펄스 신호를 사용하는 시스템에서는 편파분리기를 통해 편파를 먼저 분리하고 각 편파에 대해서 모노펄스 비교기를 적용해야 한다^[2]. 이와 대비하여 제안하는 이중편파 180도 하이브리드 커플러는 편파를 먼저 분리하지 않고 이중편파를 동시에 모노펄스 신호로 생성하기 때문에 180도 하이브리드 커플러의 수를 반으로 감소시키며, 이에 따라 안테나 구조를 단순화할 수 있고, 안테나 무게 또한 감소할 수 있다.

II. 본론

제안하는 이중편파 180도 하이브리드 커플러는 수직/수평 편파 입력 도파관 1/2, 90도 위상 천이기, 90도 하이브리드 커플러, 수직/수평 편파 합 신호 출력 도파관, 수직/수평 편파 차 신호 출력 도파관, 임피던스 매칭 도파관으로 구성되고 그림 1에서 확인할 수 있다. 상세 구조는 수직/수평 편파 입력 도파관 1(port 2), 수직/수평 편파 입력 도파관 2(port 1), 수직/수평 편파 합 신호 출력 도파관(port 3), 수직/수평 편파 차 신호 출력 도파관(port 4), 90도 위상 천이기, 90도 하이브리드 커플러,

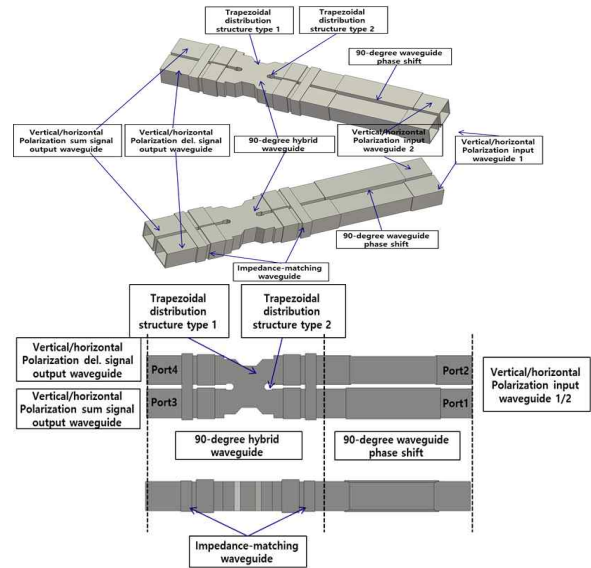


그림 1. 이중편파 180도 하이브리드 커플러 형상
Fig. 1. Dual-polarization 180° hybrid coupler.

사다리꼴 분배 구조 type 1/2, 임피던스 매칭 도파관으로 구성된다. 90도 위상 천이기는 입력받은 두 신호를 90도 위상 차이가 발생하도록 위상 지연하는 기능을 수행하며, 도파관의 길이와 폭을 조절하여 설계할 수 있으며 각 수직/수평 편파별로 설계되어야 한다.

90도 하이브리드 커플러는 입력받은 신호를 동일한 크기로 분배하고 위상 차이를 동위상과 90도 위상 차이가 발생하도록 설계되었다. 또한 단일 편파 90도 하이브리드 커플러와 다르게 사다리꼴 형상의 분배 구조인 사다리꼴 분배 구조 type1, 2를 적용하여 수직/수평 편파를 동시에 분배하는 것을 특징으로 한다. 90도 위상 천이기와 90도 하이브리드 커플러를 결합하여 180도 하이브리드 커플러 구조를 가지며, 결과적으로 수직/수평 편파 합 신호 출력 도파관으로 두 신호의 합 신호가 출력되고 수직/수평 편파 차 신호 출력 도파관으로 두 신호의 차 신호가 출력되는 역할을 한다. 이중편파 180도 하이브리드 커플러는 4개의 포트를 갖는 구조이며, 입력받은 신호를 두 출력 port에 동일한 크기로 분배하고 다른 입력 port는 격리한다. 또한 분배된 두 출력의 위상 차이는 합 신호 출력은 동위상, 차신호

출력은 180도 차이가 나도록 신호를 전달한다.

단일 편파에 대한 180도 하이브리드 커플러 구조의 도파관은 일반적으로 표준 도파관 크기로 정의된 직사각형 구조를 사용하지만, 이중편파 180도 하이브리드 커플러 구조의 도파관은 수직/수평의 이중편파에 대해 모노펄스 신호를 생성할 수 있도록 정사각형 도파관 구조를 사용한다. 90도 하이브리드 커플러는 대칭 구조를 가지고 두 도파관 경로 사이에 맞붙는 구조로 되어 있으며 맞붙는 구조의 양쪽 끝에 사다리꼴 분배 구조 type 1/2가 위치한다. 사다리꼴 분배 구조는 수직/수평 편파의 기본 모드가 모두 잘 형성되도록 하여 입력받은 수직/수평 편파 신호를 두 출력 port에 동일한 크기로 분배하고 다른 입력 port는 격리한다. 임피던스 매칭 도파관은 90도 하이브리드 커플러 분배 구조와 입출력 도파관의 특성 임피던스가 다르기 때문에 도파관 임피던스 매칭을 위한 구조이다. 일반적인 단일 편파 90도 하이브리드 커플러와 90도 위상차이기는 수직편파에 대해서 합/차 신호를 생성하기 때문에 본연구에서 제안한 사다리꼴 분배 구조 없이도 구현되지만, 이중편파에 대해 합/차 신호 생성 시, 사다리꼴 분배 구조와 같은 새로운 구조가 필요하다. 사다리꼴 분배 구조는 90도 하이브리드 커플러의 신호 분배 구간에 위치하며 수직/수평 편파가 90도 위상 차이를 가지고 동일한 크기로 분배하는 역할을 한다. 수직 편파에 대한 전계 분포는 전계가 수직 방향으로 형성되어 진행하기 때문에 도파관 높이가 일정한 구조에서는 기본 모드가 잘 유지되어 진행된다. 하지만 수평편파의 전계 분포는 전계가 수평 방향으로 형성되어 진행하기 때문에 도파관 폭에 영향을 받게 된다. 도파관 폭은 두도파관 경로가 맞붙는 구조에서 변화하기 때문에 수평 편파에 대한 전계가 기본 모드를 유지하지 못하게 된다. 따라서 수평 편파에 대한 기본 모드가 잘 유지될 수 있도록 도파관 폭을 설계해야 한다. 그림 2 및 그림 3을 통해 수직/수평 편파의 전계 분포를 확인할 수 있으며, 이중편파에 대해 기본 모드가 잘 유지 되는 것을 확인할 수 있다. 임피던스 매칭 도파관은 90도 하이브리드 커플러 분배 구조와 입출력 도파관의 특성 임피던스가 다르기 때문에 도파관 임피던스 매칭을 위한 구조이다. 그림 4 및 그림 5는 합 신호 출력 도파

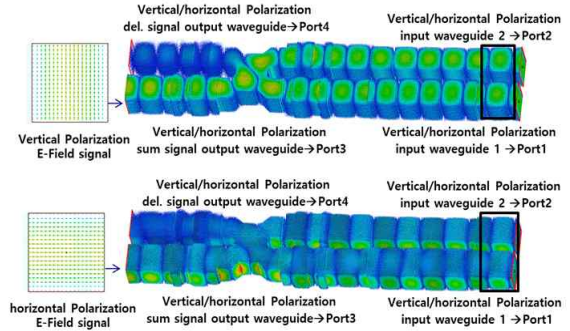


그림 2. 합 신호 전계 분포
Fig. 2. E-field of sum signal.

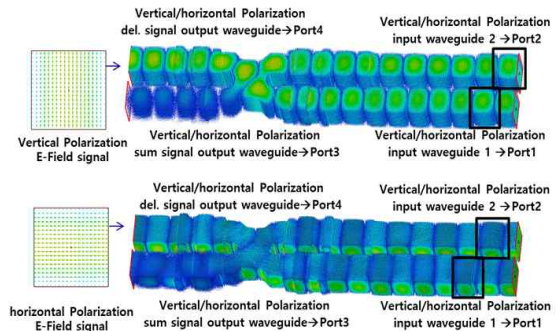


그림 3. 차 신호 전계 분포
Fig. 3. E-field of del signal.

관(port 3)과 차 신호 출력 도파관(port 4)에 수직/수평 편파 신호를 인가한 각 port의 S-parameter의 시뮬레이션 결과이다. 신호가 port 3에서 port 1/2로 인가되었을 때, 약 -3 dB 손실로 인가되어 신호의 절반으로 각 편파에 대해서 잘 분배된 것을 확인할 수 있다. 위상 또한 합 신호의 경우 동위상으로 전달되고 차 신호의 경우 180도 위상 차이로 분배되는 것을 확인할 수 있으며, 실제 제작하여 측정 한 결과는 없지만 단일편파 커플러 검증을 통해 예측 및 유추할 수 있다고 판단된다^{[2],[3]}.

그림 6은 이중편파 모노펄스 비교기 개념도를 단일 편파 180도 하이브리드 커플러와 이중편파 180도 하이브리드 커플러가 적용하였을 때를 비교한 것이다. 모노펄스 신호 생성은 일반적으로 방위각, 고각에 대하여 합/차 패턴을 안테나 4개를 사용하여 구현한다. 종래의 단일편파 180도 하이브리드 커플러를 적용하여

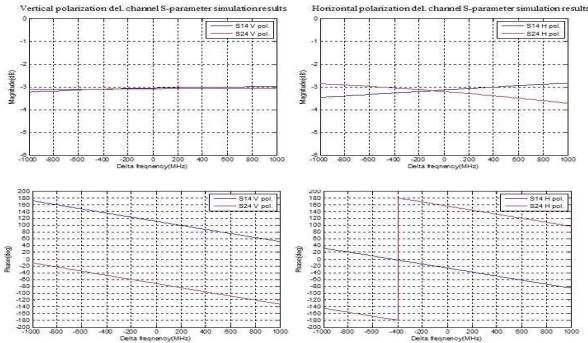


그림 4. 합 신호 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation results of sum signal.

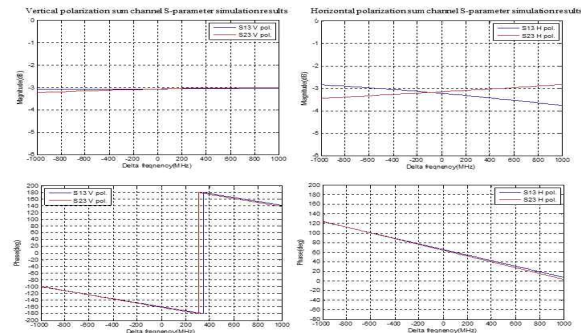


그림 5. 차 신호 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of del signal.

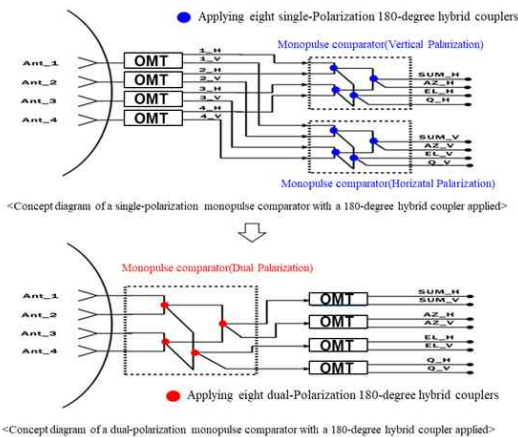


그림 6. 모노펄스 비교기 개념도
Fig. 6. Diagram of a monopulse comparator.

이중편파 모노펄스 비교기를 구현할 경우, 이중편파 안테나를 통해 받은 이중편파를 우선 수직/수평 편파

로 분리하여야 하므로 안테나 뒷단에 OMT(편파분리기)를 위치하여 편파를 분리한 뒤, 각 편파별로 4개의 180도 하이브리드 커플러를 총 8개를 적용하여 구현하게 된다. 반면 이중편파 180도 하이브리드 커플러를 적용하였을 때, 4개의 180도 하이브리드 커플러를 사용해 안테나로부터 이중편파를 바로 받아서 모노펄스 신호를 생성하고 최종 단계에 OMT를 위치하여 수직/수평 편파를 분리한다. 따라서 180도 하이브리드 커플러의 수는 반으로 줄일 수 있는 장점이 생긴다.

II. 결론

본 논문에서는 이중편파 신호를 동시에 모노펄스 신호를 생성하는 새로운 구조의 180도 하이브리드 커플러를 제안하였다.

이중편파 모노펄스 시스템에서 단일편파 180도 하이브리드 커플러를 사용하면, 편파를 우선적으로 분리한 뒤 각각의 편파별로 모노펄스 비교기를 적용하여야 하기 때문에 구조가 매우 복잡해지며 크기, 무게, 제작성이 어렵다는 단점이 있다. 본 연구는 이중편파 분리 없이 동시에 모노펄스 신호를 생성하기 때문에 기존의 기술보다 단순한 구조로 모노펄스 신호를 생성할 수 있고 무게 및 제작성에서도 유리할 것으로 판단된다.

References

- [1] D. R. Rhodes, *Introduction to Monopulse*, Columbus, OH, McGraw Hill, pp. 20-41, 1959.
- [2] D. Y. Kim, Y. Lim, C. H. Jung, C. H. Park, and S. Nam, "A Design of wideband monopulse comparator for w-band mm-wave seeker applications," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 2, pp. 224-227, Feb. 2016.
- [3] K. Lee, C. H. Jung, J. G. Baek, C. H. Park, and S. Nam, "Design of dual-polarized monopulse cassegrain antenna for millimeter-wave seeker," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 27, no. 3, pp. 261-268, Mar. 2016.