THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2016 Sep.; 27(9), 872～875.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.9.872
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

턴스타일 구조를 갖는 밀리미터파 탐색기용 W-대역 직교모드 편파기 설계

W-Band Turnstile Junction Ortho-Mode Transducer for Millimeter Wave Seeker

한준용 · 이택경* · 이재욱* · 오경현 · 송성찬

Jun-Yong Han · Taek-Kyung Lee* · Jae-Wook Lee* · Gyung-Hyun Oh · Sung-Chan Song

요 약

본 논문에서는 W-대역에서 동작하는 턴스타일(Turnstile) 구조를 갖는 직교모드 편파기(Ortho-Mode Transducer: OMT)를 설계하고 제작하였다. 턴스타일 구조는 도파관의 대칭구조로 인하여 도파관 내에서 발생하는 불필요한 고차모드는 서로 상쇄되므로 광대역에서 높은 전달특성과 낮은 반사손실을 가지는 장점이 있으며, 공통포트에서 2개의 모드가 서로 직교하므로 이중편파 특성을 최대한 구현 가능하도록 해 준다. 제안한 직교모드 편파기는 레이다 탐색기에 적용 가능하며, 밀리미터파 대역인 W-대역(94 GHz)에서 동작한다. 또한, 제작한 결과, 동작 주파수 범위에서 평균적으로 −20 dB보다 낮은 반사손실 값을 가지며, 500 MHz 이상의 대역폭 특성을 보인다.

Abstract

In this paper, the turnstile junction-based Ortho-Mode Transducer(OMT) is designed and manufactured. It is usually well-known that turnstile junctions have symmetry structure of waveguide so the higher order modes, which occurs inside the waveguide, can be cancelled. Because of these symmetrical properties, the turnstile junction-based OMTs have merits like high transmission and low return loss characteristic in broadband and two different modes propagate orthogonally in common port resulting in the fully realization of double polarization. The designed OMT has the application of Radar Seeker and operates in W-band(94 GHz), the millimeter wave frequency. The average of return loss value of manufactured OMT is lower than −20 dB and it has bandwidth characteristic of over 500 MHz.

Key words: Ortho-Mode Transducer, Turnstile Junction, W-Band

Ⅰ. 서 론

최근 대기·해양관측 및 지질검사 등의 원격탐사분야에서부터 군수무기, 차량용 레이다, 의료기기 분야까지 광범위한 분야에서 밀리미터파에 대한 활용도가 높아지고 있다. 특히 군수분야에서도 유도무기 체계에서는 목표물에 대한 정밀 타격이 중요하므로 목표물을 탐색/추적하는 레이다 탐색기에 대한 연구가 중점적으로 진행되고 있으며 특히, 근래에 들어 레이다 탐색기를 밀리미터파 대역에서 운용하려는 추세이다. 밀리미터파 탐색기를 사용하는 경우, 높은 주파수 대역으로 인하여 물리적인 크기가 줄어들어 소형 유도 무기에 장착이 가능한 장점 외에도 상대적으로 작은 반사판 안테나에서 좁은 빔을 가질 수 있도록 함으로써 우수한 분해능을 가진 레이다 탐

한화탈레스(Hanwha Thales)
*한국항공대학교 항공전자정보공학과(Department of Electronics and Information Engineering, Korea Aerospace University)
· Manuscript received June 13, 2016 ; Revised July 29, 2016 ; Accepted September 21, 2016. (ID No. 20160613-064)
· Corresponding Author: Jun-Yong Han (e-mail: excelsiorhan@hanwha.com)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

색기를 구현할 수 있다. 대표적인 예로 영국의 Brimstone 공대지 대전차유도무기의 경우 밀리미터파 대역 중에서도 W-대역(94 GHz)의 탐색기를 장착하고 있다.[1] 본 논문에서는 이러한 레이다 탐색기에 사용되는 직교모드 편파기를 설계함으로써 레이다 탐색기에서의 2중편파 특성을 최대한 구현할 수 있게 하였다. 직교모드 편파기는 안테나 피드(feed)를 통해 송신된 신호가 다시 피드를 통해 수신되는 경우 사용되는 안테나 소자로 2개의 수직된 편파(V-Pol.,H-Pol.)를 분리시키는 필터로써 동작한다. 제안한 직교모드 편파기는 W-대역에서 동작하며, 포트간 고격리도 구현을 위하여 턴스타일 접합구조를 적용하였다. 설계는 full-EM simulator인 CST MWS를 사용하였으며, 제작하여 반사손실을 측정함으로써 성능을 검증하였다.

Ⅱ. 직교모드 편파기 설계

2-1 직교모드 편파기 기본 개념

일반적으로 직교모드 편파기는 도파관 구조를 가지며, 물리적 구조로는 3개의 포트를 가졌지만, 전기적 구조로는 4개의 포트를 가진 소자이다. 공통된 포트(common port)는 보통 피드 혼 안테나의 피드와 연결되어 있으며, 정사각형 또는 원형의 도파관으로 구성되어 있다. 그리고 나머지 2개의 포트는 각각의 독립된 직교모드를 발생시키며, 대표적인 모드로는 직사각형 도파관에서는 (TE_{10} and TE_{01}) 모드, 원형 도파관에서는 (TE_{11}) 모드를 발생 시킨다. 이상적인 직교모드 편파기에 대한 Scattering Matrix는 다음과 같다.

$$[S]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & e^{j\phi_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{j\phi_2} \\ e^{j\phi_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\phi_2} & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식 (1)에서 ϕ는 파의 위상기준을 나타내며, 따라서 $S_{1,3}$와 $S_{3,1}$ 그리고 $S_{2,4}$와 $S_{4,2}$는 각각 동일한 편파특성을 가지고 있다. 그림 1은 Scattering Matrix를 이용하여 OMT를 등가 모델링한 모식도이다.

위의 그림에서 볼 수 있듯이, 포트 1과 포트 2는 각각 독립된 하나의 모드를 발생시키고, 포트 3과 포트 4는 두

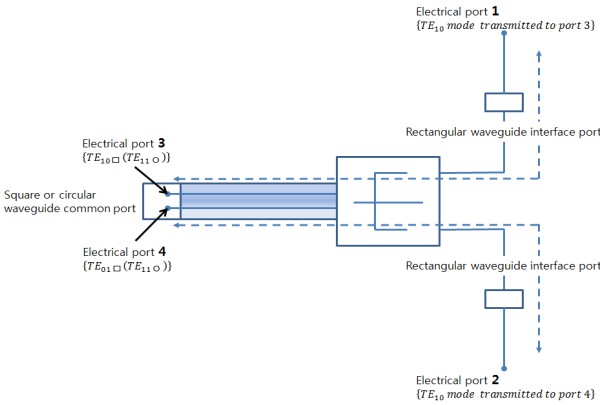


그림 1. 직교 모드 편파기 등가 모델링[2]
Fig. 1. Equivalent modeling of OMT[2].

개의 포트가 모여 하나의 공통된 포트를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 직교모드 편파기는 공통포트에서 나머지 두 개의 포트로 파가 나누어지는 접합부의 형태에 따라 종류가 분류될 수 있으며, 본 논문에서는 이 접합부에 턴스타일 구조를 적용한 직교모드 편파기 형태를 선정하여 설계하였다.

2-2 턴스타일 접합부

턴스타일 접합부(junction)는 공통 포트를 기준으로 좌우 대칭을 이루는 구조를 가진다. 턴스타일 접합부의 경우 그림 2와 같이 공통포트는 정사각형 또는 원형의 도파관으로 이루어져 있으며, 나머지 4개의 포트는 각각 직사각형 도파관이 대칭된 형태로 구성되어 있다. 도파관의 대칭구조로 인하여 도파관 내에서 발생하는 불필요한 고차모드는 서로 상쇄되므로 직교모드 편파기에 적용했을 때 광대역에서 높은 격리도와 낮은 반사손실을 가지게 하며, 반사판 안테나와 결합하였을 때 이중편파 특성을 최대한 구현할 수 있도록 해 준다. 그림 2에서 볼 수 있듯이, 공통포트를 통해 입력되는 TE_{11} 모드(TE_{10} 모드와 TE_{01} 모드가 결합된 모드)는 균일하게 TE_{10}로 분배되어 서로 대칭되는 위치에 있는 도파관을 통해 180°의 위상차이를 가진 채 전파된다.

다음은 본 연구에서 제안한 구조에 맞게 턴스타일 접합부를 설계한 결과이다. 턴스타일 접합부에서 공통포트를 통해 입사한 파를 균일하게 분배하는 전력분배기 타

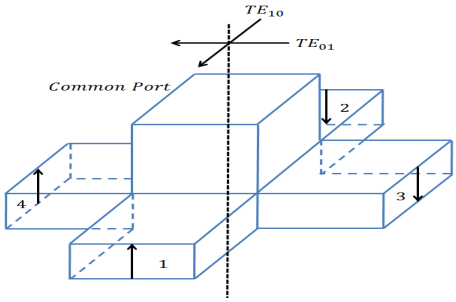
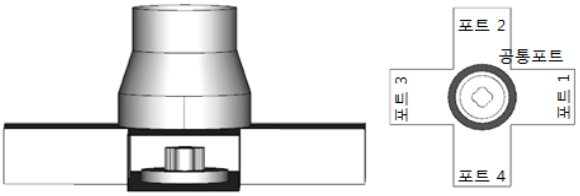
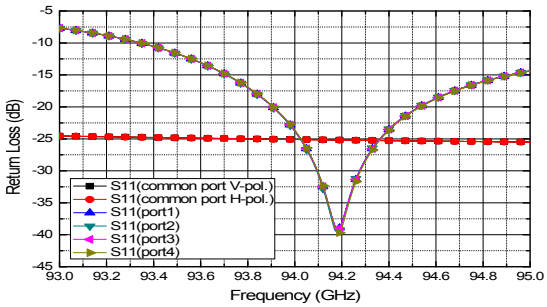


그림 2. 턴스타일 접합부
Fig. 2. Turnstile junction diagram.



(a)



(b)

그림 3. (a) 설계한 턴스타일 접합부 및 전력분배기, (b) 각 포트에서의 반사손실 특성
Fig. 3. (a) The designed turnstile junction and power divider. (b) The simulated return loss characteristics depending on ports.

입으로 클로버 형태를 채택하였고, 주어진 물리적인 환경에서 최적의 성능을 구현할 수 있도록 하였다. 턴스타일 접합부와 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다.

2-3 시뮬레이션을 통한 전기적 성능 확인

앞에서 언급한 턴스타일 접합부를 적용하여 설계한 전체 직교모드 편파기의 구조는 다음과 같다. 턴스타일 접합부를 통해 대칭된 도파관으로 분배된 파는 180°로 휘어

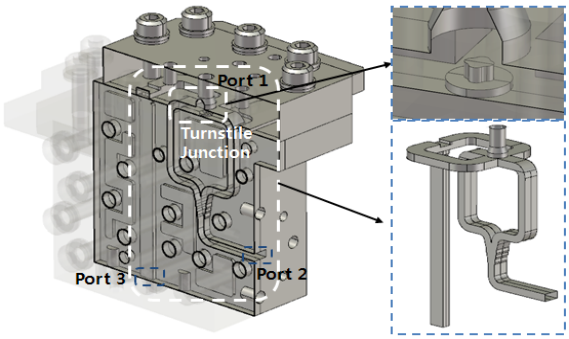
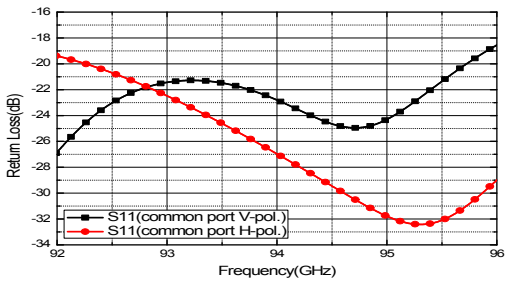


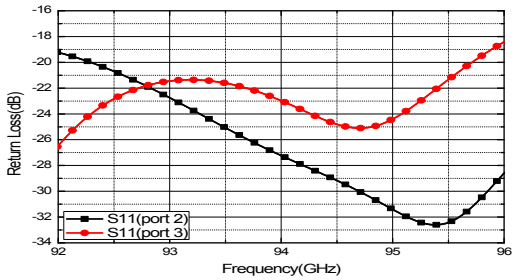
그림 4. 턴스타일 직교모드 편파기의 내부 구조
Fig. 4. The transparent view of turnstile junction OMT.

진 다음 다시 Y 접합부를 통해 결합되게 되고, Y 접합부를 통과한 진행파는 각각 독립된 단일 모드 포트로 통하게 된다[3].

다음은 설계한 턴스타일 직교모드 편파기에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 공통포트(port 1)에서 직교



(a)



(b)

그림 5. (a) 공통포트에서 직교하는 두 편파에 대한 반사손실, (b) 각 독립포트에서의 반사손실
Fig. 5. (a) The simulated return loss characteristics of common port. (b) The simulated return loss characteristics of port 2 and port 3, respectively.

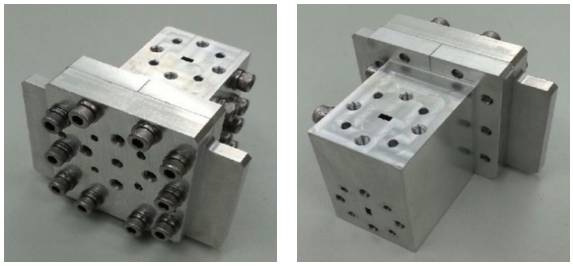


그림 6. 제작한 턴스타일 직교모드 편파기
Fig. 6. The manufactured turnstile OMT.

하는 두 편파(V-Pol., H-Pol.)에 대한 반사손실과 각 독립 포트(port 2, port 3)에서의 반사손실은 그림 5와 같다.

그림 5를 통해 볼 수 있듯이, 공통포트에서의 반사 손실 특성은 목표 주파수인 94 GHz에서 편파별 각각 −23 dB, −27 dB의 값을 가지며, 포트별 반사 손실 특성은 각각 −27.2 dB, −23 dB의 값을 가진다.

Ⅲ. 제작 및 측정

제작한 턴스타일 직교모드 편파기의 형상은 그림 6과 같다.

공통포트가 위치하는 면이 다른 면에 비해 넓은 구조를 가지는데, 이는 반사판 안테나에 바로 결합할 수 있도록 하기 위함이다. 제작한 직교모드 편파기에 대하여 공통포트에서의 편파 별 반사손실 및 전달특성 측정 결과는 그림 7과 같다.

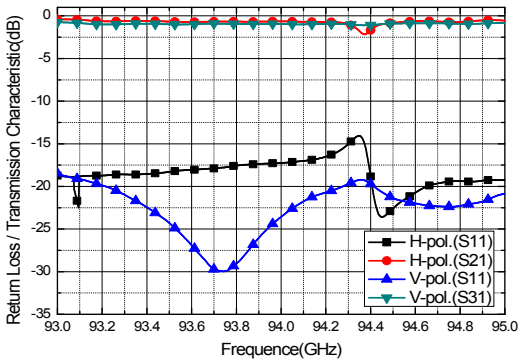


그림 7. 공통포트에서 측정한 반사손실/전달특성
Fig. 7. The measurement result of return loss and transmission characteristic at common port.

측정결과에서 확인할 수 있듯이, 94 GHz에서 V-pol.과 H-pol.은 각각 −23 dB와 −17 dB의 반사손실 값과 −0.9 dB와 −0.6 dB의 전달특성 값을 가지며, 93~95 GHz 범위에서 평균적으로 −20 dB 이하의 반사손실 특성을 갖는 것을 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과인 그림 5와 비교하면 측정값이 전반적으로 높은 경향을 보이지만, 이는 제작상의 공차와 측정 손실에서 기인한 결과라고 본다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 W-대역에서 동작하는 레이다 탐색기용 턴스타일 직교모드 편파기를 설계하고 제작하였다. 이중 편파 특성을 최대로 구현하기 위하여 격리도가 높은 턴스타일 접합부 구조를 적용하였고, 클로버 형태의 wave divider를 적용하여 우수한 전기적 성능을 갖도록 하였다. 설계한 직교모드 편파기는 목표 주파수 94 GHz 기준으로 500 MHz 이상의 대역폭을 가지며, 94 GHz에서 −20 dB 이하의 반사손실 특성을 가진다. 추후에 레이다 탐색기에 탑재하여 활용한다면 우수한 탐지 성능을 구현할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] 안단, 김성찬, 이진구, "Tuner system을 이용한 밀리미터파 탐색기용 W-band MMIC 저잡음 증폭기", 대한전자공학회, 전자공학회논문지, 48(11), pp. 89-94, 2011년 11월.

[2] Ali Imran Sandhu, "Design of an orthomode transducer in gap waveguide technology", Master of Science Thesis in the program Communication Engineering, Chalmers University of Technology, Sep. 2010.

[3] Giampaolo Pisano, Luca Pietranera, Kate Isaak, Lucio Piccirillo, Bradley Johnson, Bruno Maffei, and Si- mon Melhuish, "A broadband WR10 turnstile junction ortho-mode transducer", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 17, no. 4, pp 286-288, Apr. 2007.