

논문 2008-45TC-7-10

프로브 구조를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 설계 및 제작

(Design and Fabrication of the Ka-band Waveguide to Microstrip
Transition using Probe structure)

권혁자*, 이성주*, 장호준*

(Hyuk-Ja Kwon, Sung-Ju Lee, and Ho-Joon Jang)

요약

본 논문에서는 Ka 대역에서 동작하는 송수신기에 쉽게 집적화 할 수 있는 프로브 구조를 이용한 도파관-마이크로스트립 트랜지션을 설계 및 제작하였다. 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 프로브, 인덕턴스 선로, $\lambda/4$ 임피던스 변환기, 그리고 50 Ω 마이크로스트립 선로로 구성되어있으며, 각 구성 요소들의 특성 임피던스 및 길이를 시뮬레이션을 통해 최적화하였다. 제작된 트랜지션의 측정결과, 30 ~ 40 GHz 대역 내에서 평균 1.3 dB의 삽입손실 특성, 14 dB이하의 입출력 반사 손실특성을 나타내었다. 마이크로스트립 선로 및 입출력 도파관의 손실을 고려하여 하나의 변환 구조 당 삽입 손실은 0.5 ~ 0.6 dB 정도이다.

Abstract

We report the waveguide to microstrip transition using probe structure for Ka-band transceiver. The waveguide to microstrip transition is composed of probe, inductive line, $\lambda/4$ impedance transformer, and 50 Ω microstrip line. For design of the transition, we optimized the characteristic impedances and the lengths of the component parts. The fabricated transition exhibits an insertion loss of 1.3 dB and the input/output return losses of below 14 dB between 30 and 40 GHz. The insertion loss of each transition is about 0.5 ~ 0.6 dB, considering the losses in the microstrip line and input/output waveguides.

Keywords : Probe, Waveguide, Microstrip, Transition, Ka-band

I. 서론

무선 통신 산업의 급속한 발전과 밀리미터파 위성 통신 및 레이더 시스템 등의 사용을 위해서, 밀리미터파 대역을 이용한 부품 개발의 요구가 증가되고 있다. 밀리미터파 대역에 대한 연구 중에서, 특히 35 GHz 주파수는 대기 내에서 적은 감쇠 특성으로 인해, 소형 레이더 시스템과 같은 군사용 응용에 주목받고 있다.

MMIC (Microwave and millimeter-wave Monolithic Integrated Circuits) 가 도입된 이후로 일반적인 전송선

로에서 마이크로스트립 선로로의 변환구조에 대한 필요성이 생겨나기 시작했다. 10 GHz 이하의 낮은 주파수 영역에서는 동축 케이블 커넥터를 사용하였으나, 밀리미터파 대역에서는 동축 선로의 내부 도체와 마이크로스트립간의 전기적 접촉과 동축 선로의 외부 도체와 접지간의 전기적 접촉을 정확하게 구현해야하는 재현성의 문제 및 이로 인하여 정밀한 금속가공의 필요성과 고비용의 문제점이 나타나게 되었다. 따라서 밀리미터파 영역에서는 동축 케이블 커넥터 대신 사용되어지는 도파관과 마이크로스트립 선로간의 트랜지션이 필요하게 되었다^[1]. 이러한 도파관-마이크로스트립 트랜지션에 대한 연구는 밀리미터파 회로 및 시스템 연구의 기반이

* 정회원, 삼성탈레스, H/W team
(Samsung Thales, H/W team)

접수일자: 2008년3월21일, 수정완료일: 2008년7월21일

되는 것으로 다른 무엇보다 우선시 되어야 할 중요한 부분이라 할 수 있다. 또한, 높은 전력을 전달하고 도파관 형태의 밀리미터파 소자인 안테나 등과의 연결을 위해서도 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 필요하다.

도파관-마이크로스트립 트랜지션은 일반적으로 반사와 손실이 적고 광 대역 특성을 가져야 한다. 또한, 커플링은 최대화시키고 반사는 최소화시키기 위하여 두 전송선로 간의 임피던스 정합이 되도록 설계되어야 하며, 형태는 경계조건을 점진적으로 변화하게 하여 한 전송 선로로부터 다른 전송 선로로의 장의 전이가 이루어지도록 해야 한다. 이러한 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 설계 방법으로 E-filed probe를 이용하는 방법^[2-3]과 antipodal finline을 이용하는 방법 두 가지가 있다^[4-5]. 전자의 방법은 도파관의 전송 방향과 트랜지션 및 신호의 전송 방향이 수직이며, 후자의 방법은 같은 방향이다.

본 논문에서는, 도파관의 전송 방향과 신호의 전송 방향이 90°를 이루는 Ka 대역 송수신기에 쉽게 집적화할 수 있는 낮은 변환 및 반사 손실, 저가격, 제작의 편리성, 그리고 간단한 구조를 갖는 프로브를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션을 설계 및 제작하였다.

II. 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 설계

1. 프로브를 이용한 도파관-마이크로스트립 트랜지션

그림 1은 프로브를 이용한 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 구조를 보여준다. 그림 1을 통해, 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 프로브, 인덕턴스 선로, λ/4 임피던스 변환기, 그리고 50 Ω 마이크로스트립 선로로 구성됨을 알 수 있다. 각 구성요소들의 입력 임피던스 및 특성 임피던스와 너비는 Z_p, Z_h, Z_t, Z_o 그리고 W_p, W_h, W_t, W_o 이다. 도파관의 aperture 크기는 a, b 이며, backshort 및 인덕턴스 선로의 기구 높이는 D_b, D_h 이다.

트랜지션의 프로브는 도파관으로 에너지를 커플링하여 안테나로 신호를 전달한다. 프로브의 크기는 주파수 대역의 안테나 공진 소자 크기보다 작으며 가능한 작은 크기로 설계 한다. 이것은 도파관 내 필드 분포의 영향을 최소화하기 위함이다. 도파관 내에서는 신호가 전방으로 방사되지 않도록 λ/4 높이를 갖는 기구물이 필요하며, 이 역할을 하는 것이 backshort이다. 즉, backshort는 도파관으로 전달된 신호가 -Z축 방향으로 방사되는

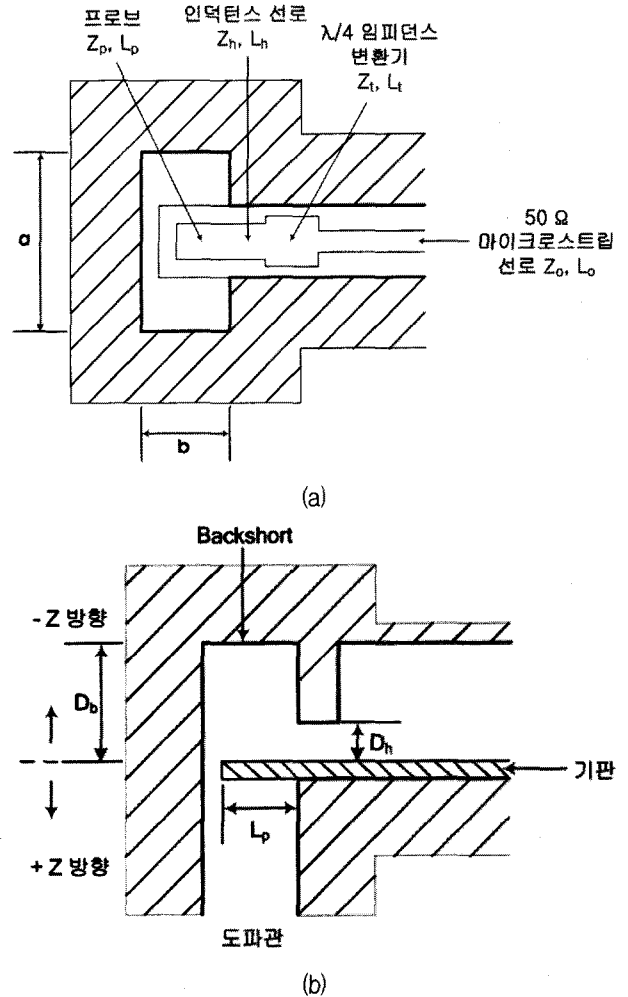


그림 1. 도파관-마이크로스트립 트랜지션 구조 (a) 윗면도, (b) 측면도

Fig. 1. Configuration of the waveguide to microstrip transition. (a) top view, (b) side view

것을 억제한다. 50 Ω 마이크로스트립 선로와의 임피던스 매칭을 위하여, 캐패시턴스 값을 가지며 공진하는 프로브에 인덕턴스 선로를 직렬로 연결하여 저항 값만 갖도록 한다. 또한, λ/4 임피던스 변환기는 인덕턴스 선로 단에서 저항 값만 갖는 입력 임피던스와 50 Ω 마이크로스트립 선로를 매칭시켜 준다. λ/4 임피던스 변환기의 특성 임피던스 Z_t 의 식은 다음과 같다.

$$Z_t = \sqrt{Z_{IN} * Z_o}$$

2. 프로브를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 설계

Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 시뮬레이터 HFSS를 이용하여 설계 및 최적화를 하였다. 대기

내에서 적은 감쇠 특성으로 인해, 소형 레이더 시스템 등의 응용에 사용되는 35 GHz를 중심주파수로 설계하였다.

프로브의 너비와 길이는 35 GHz 안테나 공진 소자 크기보다 작으면서 가능한 작은 크기로 시뮬레이터를 통해 최적화 하였다. 또한, 캐패시턴스 값을 갖는 프로브에 같은 너비와 길이를 갖는 인덕턴스 선로를 직렬로 연결하여 저항 값만 갖도록 설계하였다. 그림 2는 프로

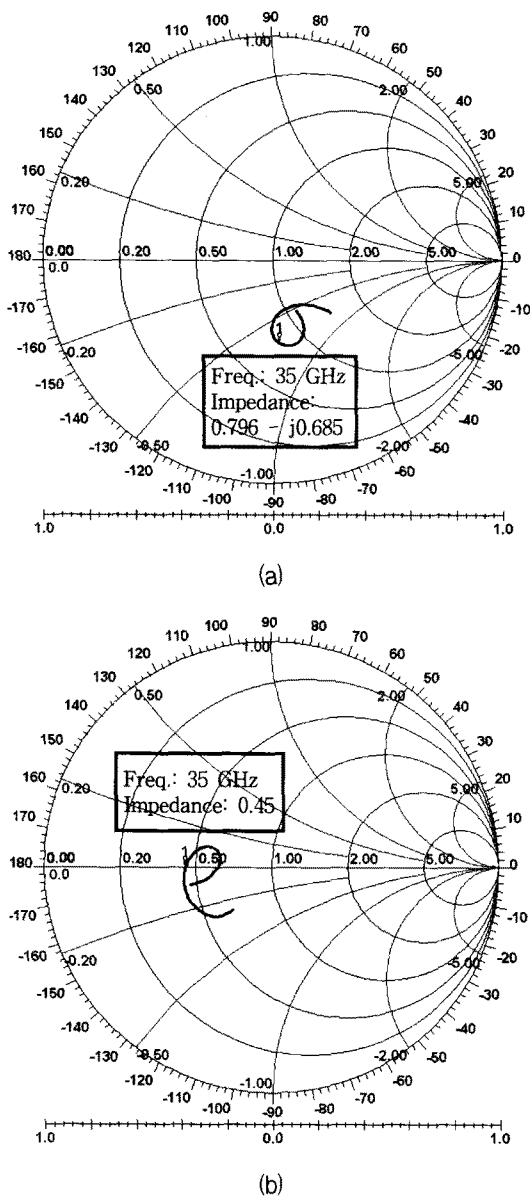


그림 2. Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션 시뮬레이션 결과 (a) 프로브 단 입력 임피던스, (b) 인덕턴스 선로 단 입력 임피던스

Fig. 2. Simulation results of the Ka-band waveguide to microstrip transition. (a) input impedance of the probe stage, (b) input impedance of the inductive line stage

브 단 및 프로브에 인덕턴스 선로를 직렬로 연결한 단계에서의 입력 임피던스 시뮬레이션 결과를 보여준다. 프로브 단의 입력 임피던스는 $39.8 - j34.25 \Omega$ 이며, 인덕턴스 선로 단의 입력 임피던스는 22.5Ω 으로 입력 임피던스가 저항 값만 갖도록 최적화하였음을 보여준다. 또한, 22.5Ω 선로와 50Ω 선로의 매칭을 위하여 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 삽입하였으며, 특성 임피던스 $Z_0 = \sqrt{22.5 * 50} = 33.54 \Omega$ 이다.

표 1은 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 상대 유전율 ϵ_r , 기판 두께 h , loss tangent, metal

표 1. 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 파라미터 값

Table 1. Parameters of the waveguide to microstrip transition.

상대 유전율 (ϵ_r)	2.2	
기판 두께 (h)	125 μm	
Loss tangent	0.0009	
Metal thickness	35 μm	
프로브 선로	입력 임피던스	$39.8 - j34.25 \Omega$
	너비 (W_p)	0.5 mm
인덕턴스 선로	입력 임피던스	22.5Ω
	너비 (W_l)	0.5 mm
$\lambda/4$ 임피던스 변환기	특성 임피던스	33.54 Ω
	너비 (W_t)	0.68 mm
마이크로스트립 선로	특성 임피던스	50Ω
	너비 (W_o)	0.36 mm
기구 높이	Backshort	2.68 mm
도파관 aperture 크기	a	7.11 mm
	b	3.56 mm

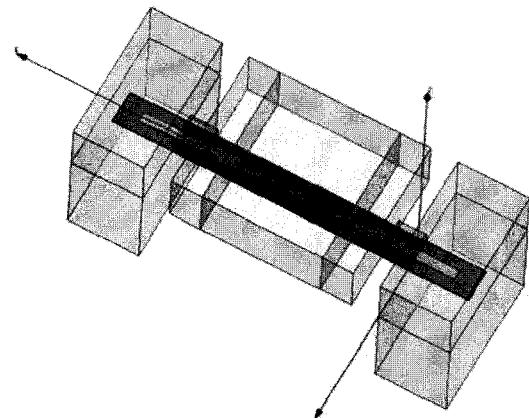


그림 3. Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 시뮬레이션 모델

Fig. 3. Simulation model of the Ka-band waveguide to microstrip transition.

thickness, 트랜지션을 구성하는 각 구성요소들의 입력 임피던스 및 특성 임피던스와 너비, 도파관 aperture 크기, 그리고 backshort 단의 높이를 보여준다. 전송선로의 너비 및 길이 등은 ADS 프로그램의 LineCalc을 이용하여 계산한 후, HFSS를 이용하여 전체 회로 패턴을 검증하고 최적화하였다.

그림 3은 back-to-back 구조의 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 시뮬레이션 모델을 보여준다.

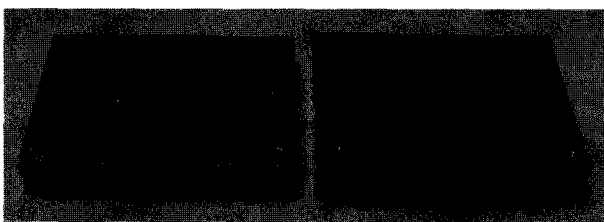
III. 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 실험 결과

프로브를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 측정 편의를 위해 변환 구조 사이에 14mm의 마이크로스트립 선로가 있는 back-to-back 구조로 제작되었다. 따라서 측정 결과에는 2개의 변환 구조의 삽입 손실과 마이크로스트립 선로의 손실이 포함 되어 있다. 그림 4는 제작된 트랜지션의 사진으로 기판의 크기는 $27.6 \times 1.6 \text{ mm}^2$ 이며, 측정을 위해 패키징 된 전체 모듈 크기는 $60 \times 40 \times 18 \text{ mm}^3$ 이다.

제작된 트랜지션의 특성은 30~40 GHz의 주파수 영역에서 Agilent ME7808A vector network analyzer를 이용하여 분석하였다. 그림 5는 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 시뮬레이션 된 S-parameter 특성과 측정 된 S-parameter 특성의 비교 결과를 나타내었다. 비교결과, 약간의 특성 차이는 존재하지만 전체적으로 잘 일치한다. 제작된 트랜지션의 S-parameter 특성 측정 결과 30~40 GHz 대역 내에서 평균 1.3 dB



(a)



(b)

그림 4. Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션 사진 (a) 기판, (b) 패키징 된 모듈

Fig. 4. Photograph of the fabricated Ka-band waveguide to microstrip transition.

(a) substrate, (b) packaged module

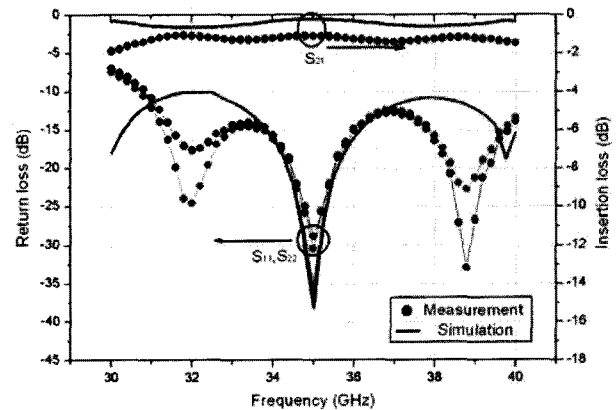


그림 5. Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션의 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 5. Simulated and measured results of the Ka-band waveguide to microstrip transition.

의 삽입손실 특성, 14 dB이하의 입출력 반사 손실특성을 나타내었다. 마이크로스트립 선로 및 입출력 도파관의 손실을 고려하여 하나의 변환 구조 당 삽입 손실은 0.5 ~ 0.6 dB 정도이다. 또한, 중심 주파수 35 GHz에서 삽입손실은 1.1 dB 이며, 입출력 반사손실은 29 dB 이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 프로브를 이용한 Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션을 설계 및 제작하였다. Ka 대역 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 프로브, 인덕턴스 선로, $\lambda/4$ 임피던스 변환기, 그리고 50 Ω 마이크로스트립 선로로 구성되어있다. 트랜지션 설계를 위해서 HFSS를 이용한 시뮬레이션을 통하여 각 구성 요소들의 특성 임피던스와 길이를 최적화 하고 검증을 수행하였다.

제작된 트랜지션은 30~40 GHz 대역 내에서 평균 1.3 dB의 삽입손실 특성, 14 dB이하의 입출력 반사 손실특성을 나타내었다. 마이크로스트립 선로 및 입출력 도파관의 손실을 고려하여 하나의 변환 구조 당 삽입 손실은 0.5~0.6 dB 정도이다. 또한, 중심 주파수 35 GHz에서 삽입손실은 1.1 dB, 입출력 반사손실은 29 dB 이며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 거의 일치하였다.

설계 및 제작된 도파관-마이크로스트립 트랜지션은 간단한 구조로 구현이 가능하고, 낮은 변환 및 반사 손실 특성을 보여줌으로써 Ka 대역 송수신기에 쉽게 집적화 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 윤양훈, 정진호, 천창률, 김동욱, 정기웅, 박공만, 권영우, "Finline을 이용한 75-90 GHz 도파관-마이크로스트립 변환구조 최적설계 및 제작," 1998년도 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, pp. 101-103.
- [2] Yi Chi Shih, Thuy Nhung Ton, and Long Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 473-475, 1988.
- [3] Yoke Choy Leong, and Sander Weinreb, "Full band waveguide-to-microstrip probe transitions," in *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1435-1438, 1999.
- [4] J. H. C. van Heuven, "A new Integrated waveguide-microstrip transition," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. MTT-24, pp. 144-147, Mar. 1976.
- [5] Hui Wen Yao, Amr Abdelmonem, Ji Fuh Liang, and Kawthar A. Zaki, "Analysis and design of microstrip-to-waveguide transitions," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. MTT-42, pp. 2371-2380, Dec. 1994.

저 자 소 개



권혁자(정회원)
 2005년 동국대학교 전자공학과
 (공학사),
 2007년 동국대학교 전자공학과
 (공학석사),
 2008년~현재 삼성탈레스
 H/W 팀

<주관심 분야 : 레이더 및 무선통신 RF 시스템 설계>



이성주(정회원)
 2002년 경남대학교 전자공학과
 (공학사),
 2003년 경남대학교 정보통신학과
 (공학석사),
 2005년~현재 삼성탈레스
 H/W 팀

<주관심 분야 : 레이더 및 무선통신 RF 시스템 설계>



장호준(정회원)
 1991년 아주대학교 전자공학과
 (공학사),
 1996년~현재 삼성탈레스
 H/W 팀

<주관심 분야 : 레이더 및 무선통신 RF 시스템 설계>