

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2022.22.3.37>
JIIBC 2022-3-6

Fin-line taper를 이용한 W-대역 마이크로스트립-도파관 전이구조 설계

Design of W-band Microstrip-to-Waveguide Transition Structure Using Fin-line Taper

김영곤*, 용명훈**, 이현건*, 주지한*, 안세환*, 서미희***

Young-Gon Kim*, Myung-Hun Yong**, Hyeonkeon Lee*,
Ji-Han Joo*, Se-Hwan An*, Mihui Seo***

요약 본 논문에서는 낮은 삽입 손실을 가지는 광대역 마이크로스트립-도파관 전이구조를 제안하였다. 제안하는 전이구조는 자연스러운 전계분포의 필드 변환과 마이크로스트립 선로와 fin-line 사이의 임피던스 정합의 관점에서 설계되었다. Offset DSPSL (double-sided parallel stripline)을 이용한 fin-line 테이퍼로 전이구조의 길이 및 그 구조를 결정할 수 있도록 하였다. 제작된 전이구조의 특성은 전이구조 당 85 ~ 108 GHz의 대역에서 0.67 dB 이하의 낮은 삽입 손실을 가지고 있으며, 83 ~ 110 GHz 이상의 대역에서 1 dB 이하의 삽입 손실을 가짐을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 전이구조를 이용하여 W-대역의 초소형 레이더 및 다양한 응용 분야에 적용 가능하리라 예상된다.

Abstract A high-performance wideband transition from microstrip to waveguide is proposed. This transition is designed by consideration of gradual field transformation and optimal impedance matching between microstrip line and fin-line. Clear design guidelines of proposed transition using fin-line taper with offset DSPSL (double-sided parallel stripline) are provided to determine the transition shape and the transition length. The fabricated transition exhibits less than 0.67 dB insertion loss per transition for frequencies from 85 to 108 GHz, and less than 1 dB insertion loss from 83 to over 110 GHz. Proposed transition is expected compact radar and various applications.

Key Words : DSPSL (double-sided parallel stripline), fin-line, microstrip, transition, W-band, waveguide

1. 서론

밀리미터파는 마이크로파에 비해 탐지거리는 짧지만 우수한 분해능 특성을 가지고 있으며, 작은 안테나 사이드로 샤프한 빔을 형성시킬 수 있다^[1]. 특히, W-대역은

Ka-대역 대비 더 작은 크기로 제작이 가능하기 때문에 영상 라디오미터 시스템, 초소형 드론, 차량용 레이더 및 군수용 레이더 등의 응용 분야에서 많이 사용되고 있다^[1-3]. W-대역을 이용한 밀리미터파 센서는 소형화를 요구하고 있으며 동시에 우수한 성능과 높은 신뢰성을 필

*정회원, LIG넥스원(주)

**정회원, 유텔(주)

***정회원, 국방과학연구소

접수일자 2022년 3월 29일, 수정완료 2022년 5월 10일
게재확정일자 2022년 6월 10일

Received: 29 March, 2022 / Revised: 10 May, 2022 /

Accepted: 10 June, 2022

*Corresponding Author: yg_kim@lignex1.com

Dept. of RF Seeker R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea

요로 하고 있다^[1-3]. 최근에는 W-대역의 MMIC (Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit)의 눈부신 발전으로 부품의 소형화, 저가화 및 높은 성능을 확보 할 수 있다^[1-3].

MMIC를 실장하고 구현하기 위해 마이크로스트립 선로는 인쇄회로 기판 (PCB)에서 밀리미터파 신호를 전송하는 전송선로로 가장 많이 쓰이고 있다. 필터, 전력 분배기, 커플러, 증폭기, 혼합기 등 많은 소자들이 마이크로스트립 선로를 이용하여 제작되어 왔다^[4]. 하지만 주파수가 높아지면서 PCB 상에서 전송선로의 손실은 높아지게 되어, 낮은 손실 및 높은 출력의 안테나와 높은 출력을 요구하는 송신기를 구현하기 위해 PCB 기반의 전송선로 대신 도파관을 이용하고 있다.

좋은 성능을 가진 MMIC를 이용한 회로 구현을 위한 마이크로스트립 선로와 낮은 손실 및 고출력에 유리한 도파관을 이어 주는 전이구조에 대한 연구는 필수적이다. 마이크로스트립 선로에서 도파관으로 전이되는 구조에 대한 연구는 활발하게 이루어졌다^[5-9]. [5-6]에서는 E-probe를 이용하여 도파관과 마이크로스트립 선로 사이의 커플링으로 TE₁₀ 모드에서 TEM 모드로 변환하는 구조를 제시하였다. [7-8]에서는 패치 안테나와 slot을 이용하여 전이구조를 구현하였다. [9]에서는 stepped ridges 도파관 구조를 이용하여 전이구조를 구현 하였다. 이러한 다양한 구조의 전이구조는 저손실, 넓은 대역의 특성을 가지고 있다. 하지만, stepped ridges를 이용한 전이구조는 그 구조가 복잡하여 제작 단가가 상승하는 단점이 있다^[9]. E-probe와 패치 안테나 및 slot을 이용한 구조는 도파관과 마이크로스트립 선로의 신호의 진행방향이 서로 다른 단점을 가지고 있다^[5-8].

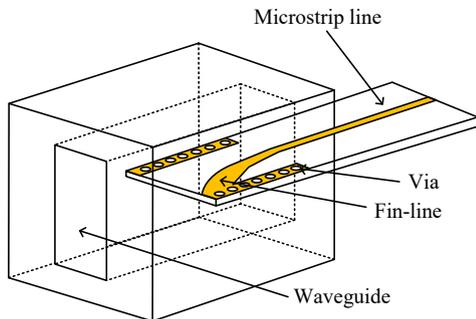


그림 1. 제안하는 fin-line taper를 이용한 W-대역 마이크로스트립-도파관 전이구조

Fig. 1. Proposed W-band microstrip-to-waveguide transition using fin-line taper

본 논문에서는 그림 1과 같이 fin-line taper를 이용한 전이구조의 설계를 제안하였다. 마이크로스트립 선로의 신호의 방향과 도파관의 신호 방향이 in-line이 되도록 하였다. 전이되는 과정에서의 임피던스 변환 및 전계 분포에 대한 설계 방법에 대해 제시하였다. 본 논문에서 제시한 구조를 응용하여 W-대역에서 초소형 레이더 및 다양한 시스템에 적용 가능하도록 하였다.

II. W-대역 전이구조 설계 및 제작

1. 전이구조 구조 및 전계 분포

마이크로스트립 선로로부터 도파관, 혹은 그 역으로 변환할 수 있는 전이구조를 그림 2와 같이 제안하고 이를 구현하였다. 그림 2(a)는 전이구조의 PCB 위에서 내려다 본 모습을 도시한 모습이고 (b)는 PCB 바닥면에서 본 모습을 나타내었다. A-A'는 일반적인 마이크로스트립 선로이며 B-B'는 double-sided parallel stripline (DSPSL)이다. C-C'는 fin-line을 나타내고 있다. 마지막으로 D-D'는 도파관의 단면을 보여준다. 마이크로스트립 선로에서 도파관으로 자연스럽게 전이하기 위해 DSPSL으로 구현된 fin-line 테이퍼를 이용하였다. 마이크로스트립 선로는 unbalanced line이며 fin-line은 전형적인 balanced 선로이다. Unbalanced 선로에서 balanced 선로로 변환하기 위해 DSPSL 선로를 이용하였으며 자연스럽게 DSPSL 선로에서 fin-line으로 전이되게 구현하였다.

그림 3에서는 이러한 전이되는 과정의 전계분포 변화를 보여주고 있다. A-A'는 전형적인 마이크로스트립 선로의 전계 분포로 윗면의 신호 선로에서 아랫면의 그라운드로 전계가 분포되고 있다. 마이크로스트립 선로의 PCB 바닥면 그라운드가 그림 2의 A-A'에서 B-B' 사이와 같이 줄어들면서 DSPSL의 전계 분포로 자연스럽게 유도하였다. DSPSL (그림 2의 B-B')에서 fin-line (그림 2의 C-C') 전이는 PCB의 윗면과 아랫면의 동일 구조의 모습이 대칭구조로 변화되도록 하여 전계 분포가 자연스럽게 수직 분포에서 수평 분포로 변화되도록 하였다. 수평 분포로 변환된 전계 분포는 도파관의 TE₁₀ 모드로 자연스럽게 전이 되도록 하였다.

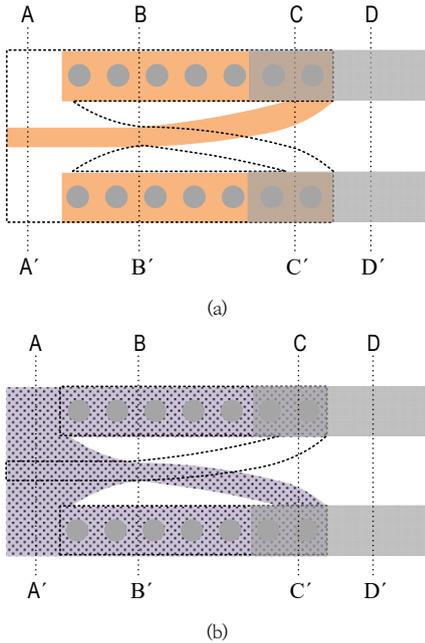


그림 2. (a) 제안하는 마이크로스트립-도파관 전이구조 윗면에서 본 모습 (b) 아랫면에서 본 모습
 Fig. 2. (a) Top view of the proposed transition and (b) bottom view

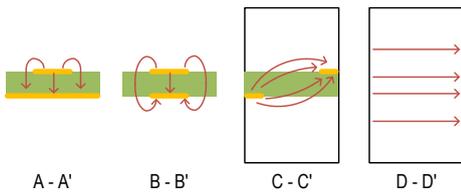


그림 3. 전이구조 각 단계에서의 전계 분포 변화
 Fig. 3. Electric field lines at each cross-section along the transition

2. 전이구조 설계

본 논문의 전이구조 설계는 Rogers사의 RT/Duroid 5880 ($\epsilon_r = 2.2$), 0.127 mm 두께의 기판을 사용하였다. 마이크로스트립 선로의 50옴의 선폭은 0.35 mm의 두께를 가지며 제작의 편이를 위해 DSPSL의 선폭은 마이크로스트립 선폭과 동일하게 설계하였다. 마이크로스트립 선로에서 DSPSL로 전이는 길이 0.67 mm에서 그라운드면의 테이퍼링을 이용하여 구현하였다^[10]. 0.35 mm 선폭의 DSPSL의 임피던스는 53옴으로 계산된다. DSPSL에서 fin-line으로 변환되는 테이퍼의 구간 (BB' - CC')의 구조는 아래 그림과 같이 offset DSPSL의 구조를 이용하였으며 그 임피던스는 아래식과 같이 계산

될 수 있다^[10].

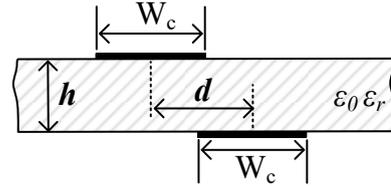


그림 4. Offset DSPSL 구조 (BB'-CC')
 Fig. 4. Offset DSPSL structure used in transition (BB'-CC' section)

$$Z_0 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} [w' + 1.393 + 0.667 \ln(w' + 1.444)]} \quad (1)$$

여기서 ϵ_{eff} 는 유효 유전율로 다음 수식 (2)로 계산 될 수 있다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{10}{w'}}} \quad (2)$$

w' 는 이러한 유효 유전율로 계산되어진 기판의 비율로 다음 수식 (3)과 같이 기판의 윗면과 아랫면 사이의 거리 d 와 기판의 두께에 의해 결정된다.

$$w' = \frac{W_c - d}{h} + 0.52 \sqrt{\frac{d}{h} - 1} \quad (3)$$

계산된 임피던스를 이용하여 전이구조의 길이에 따른 형상을 결정 할 수 있다. 위의 수식에서 알 수 있듯이, d 가 커질수록 (기판의 윗면과 아랫면의 간격이 커질수록) 특성 임피던스는 커짐을 알 수 있다. 최종 C-C' 구간의 fin-line의 임피던스는 148옴으로 계산된다. BB'에서 C-C'로 전이되는 구간은 53옴에서 148옴의 임피던스 변화가 그 구조를 결정하게 된다. 본 논문에서는 임피던스 변화를 Klopfenstein 테이퍼를 이용하였다. Klopfenstein 테이퍼의 특성상 낮은 주파수에서의 비매칭을 최소화하기 위해 테이퍼의 길이는 $\lambda/2$ 이며 최대 반사 계수(Γ_m)는 0.05로 설계하였다^[11]. S_{11} 의 첫 번째 pole 위치를 81.3 GHz에서 나타나도록 전이구조 길이를 1.71 mm (L_{fin})로 구현하였다. 마지막으로 도파관 TE₁₀ 모드로 자연스럽게 전이 되도록 0.8 mm (L_f) 길이의 테이퍼링을 이용하였다. 설계된 전이구조의 형상은 그림 5와 같으며, 각 구간에서의 선폭 및 길이는 표1에 나타내었다.

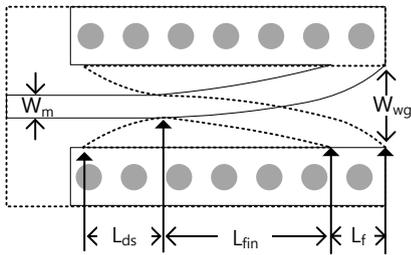


그림 5. 설계된 전이구조 PCB 모습
Fig. 5. Picture of designed transition PCB

표 1. 마이크로스트립-도파관 전이구조 크기(단위: mm)
Table 1. Summary of the transition dimenstions (unit: mm).

W_m	W_{wg}	L_f	L_{ds}	L_{fin}
0.35	1.27	0.80	0.67	1.71

제작 및 측정의 편이를 위해 도파관이 최종 입출력 구조로 back-to-back 전이구조를 설계하였다. 이때, 마이크로스트립 선로의 전체 길이는 6.5 mm로 설계하였다. 설계된 도파관-마이크로스트립 전이구조의 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같으며, 15 dB 이상의 반사손실 및 1 dB 이하의 삽입손실의 성능을 87.3 GHz ~ 102.7 GHz 에서 만족함을 확인 하였고 82 GHz ~ 108 GHz 에서는 12 dB 이상의 반사손실 및 2 dB 이하의 삽입 손실을 가짐을 확인하였다.

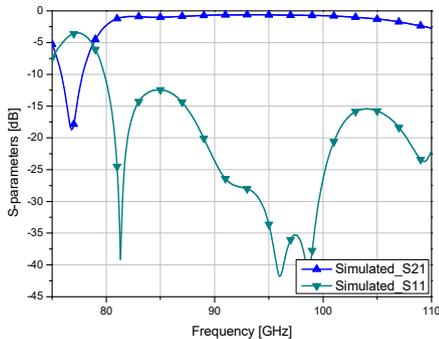


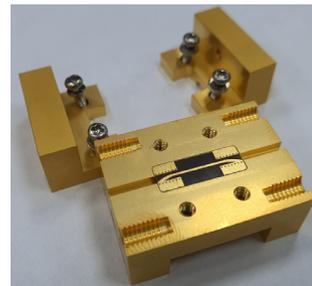
그림 6. 제안하는 전이구조의 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation result of proposed transition

3. 전이구조 제작 및 측정

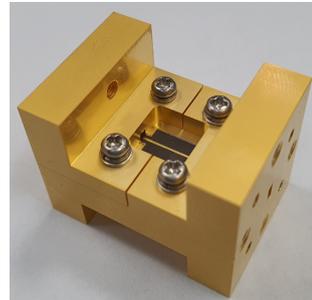
제작된 전이구조의 PCB와 기구물의 형상은 그림 7(a)와 같으며 조립된 형상은 (b)와 같다. 제작된 PCB의 전체 길이는 마이크로스트립 선로 6.5 mm를 포함하여 10.86 mm이며 입출력에 도파관을 각각 8.17 mm를 포

함하여 전체 모듈의 길이가 27.2 mm인 모듈을 제작하였다.

시뮬레이션 및 측정 결과를 비교하여 그림 8에 나타냈다. Back-to-back 측정 결과, 85~108 GHz 대역에서 삽입손실 최대 2 dB 이하의 우수한 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션과 측정 결과 유사함을 보였다. 마이크로스트립 선로의 6.5 mm 길이에 대한 W-대역에서 손실은 약 0.65 dB 이며^[12], 전이구조 당 손실은 최대 0.68 dB 이하로 아주 작은 손실을 가짐을 확인할 수 있다. 83 ~ 110 GHz 대역에서는 전이구조 당 1 dB 이하의 삽입 손실을 가짐을 확인하였다.



(a)



(b)

그림 7. (a) 제작된 마이크로스트립-도파관 전이구조의 PCB 및 하우징 (b) 조립된 전이구조

Fig. 7. (a) The fabricated microstrip-to-waveguide transition PCB and metal body, (b) assembled transition.

III. 결론

W대역에서 저손실 특성을 가지는 마이크로스트립-도파관 전이구조를 설계 및 제작하였다. 마이크로스트립 선로에서 DSPSL을 이용한 fin-line 테이퍼로 임피던스 정합 및 전계 분포를 자연스럽게 구현하였다. 85 ~ 108 GHz의 대역에서 전이구조 당 최대 0.67 dB 이하의 아주 작은 삽입손실을 가지고 있다. 본 논문에서 제시한 전

이구조를 이용하여 높은 성능을 가진 MMIC 및 다양한 마이크로스트립 선로 기반의 소자들을 W-대역의 초소형 레이다 및 다양한 센서에 활용되리라 예상된다.

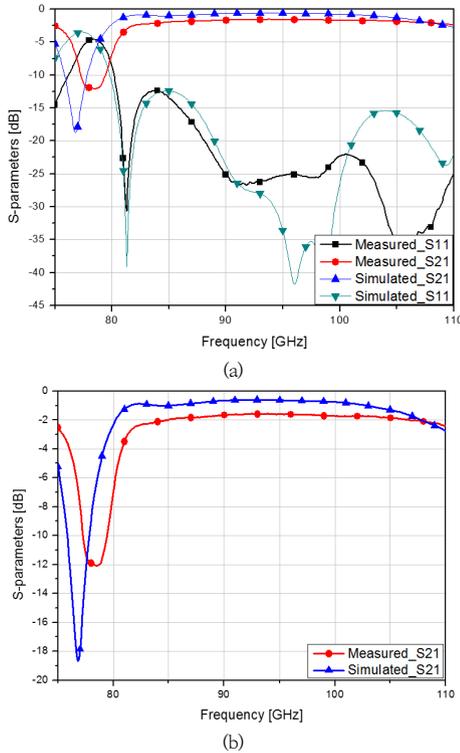


그림 8. (a) 전이구조의 시뮬레이션 및 측정 결과 (b) 삽입 손실 비교

Fig. 8. (a) Simulated and measured insertion loss and return loss of the transition (b) Insertion loss comparison

References

[1] D. An and J-K. Rhee, "Low Conversion Loss and High Isolation W-band MMIC Mixer Module". THE Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 52, No. 2, pp. 232-236, Feb. 2015.

[2] J. Y. Hong, "Car radar trend using Millimeter Wave," ETRI Journal, Vol.22, No.5, Oct. 2007, pp.35-45.

[3] W-S. Kim, "Development of W-band Transceiver Module using Manufactured MMICA", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 17, No. 2, pp. 223-237, Apr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.2.233>

[4] L. Han, K. Wu, and X. P. Chen, "Compact and broadband transition of microstrip line to

finite-ground coplanar waveguide", Microwave Conf., 2008. EuMC 2008. 38th European., pp. 480-483. Oct. 2008.

- [5] Y. C. Leong, S. Weinreb, "Full band waveguide-to-microstrip probe transitions", IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 4, pp. 1435-1438, 1999-June.
- [6] C. Risacher, V. Vassilev, A. Pavolotsky and V. Belitsky, "Waveguide-to-microstrip transition with integrated bias-T," IEEE Microw. Wireless Comp. Lett., vol. 13, no. 7, pp. 262-264, July 2003.
- [7] P. Herrero, J. Schoebel, "A WR-6 rectangular waveguide to microstrip transition and patch antenna at 140 GHz using low-cost solutions", Proc. IEEE Radio Wireless Symp., pp. 355-358, 2008-Jan.
- [8] W. Grabherr, W. G. B. Huder and W. Menzel, "Microstrip to waveguide transition compatible with MM-wave integrated circuits," IEEE Trans. on Microw. Theory and Tech., vol. 42, no. 9, pp. 1842-1843, Sept. 1994.
- [9] H-W. Yao, A. Amr and J-F. Liang, "A full wave analysis of microstrip-to-waveguide transition". IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., vol. 1, pp. 213-216. May 1994.
- [10] Li, Y., Xue Q. Yung K.-N, and Long Y., 'The Backfire-to-Broadside Symmetrical Beam-Scanning Periodic Offset Microstrip Antenna', IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. 58, No. 11, pp. 3499-3504, Sep. 2010.
- [11] Y-G. Kim, Y-J Kim, K. W. Kim "An Efficient Design for an Ultra-Wideband Microstrip-to-CPS Transition Applicable to Millimeter-Wave Systems". THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE, Vol. 26, No. 3, pp. 268-275, Mar 2015.
- [12] S. Jameson, B. Khamaisi and E. Socher, "A +6dBm 128GHz source module with full F-band waveguide package and wirebonded.. CMOS chip," 2016 IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. (IMS), San., Francisco, CA, 2016, pp. 1-4.

저 자 소 개

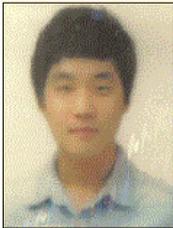
김 영 곤(정회원)



- 2006년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

용 명 훈(정회원)



- 2014년 2월 : 호남대학교 이동통신공학과 (공학사)
- 2014년 11월 ~ 현재 : 유텔주 선임연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, RF 송수신기

이 현 건(정회원)



- 2019년 2월 : 경희대학교 전자공학과 (공학사)
- 2021년 2월 : 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

주 지 한(정회원)



- 2002년 8월 : 충북대학교 전파공학과 (공학사)
- 2004년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2008년 8월 : 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2008년 7월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

- 주 관심분야 : 레이더 시스템, 마이크로파 신호처리

안 세 환(정회원)



- 2004년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 송실대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2007년 1월 ~ 현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

- 주 관심분야 : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

서 미 희(정회원)



- 2006년 2월 : 고려대학교 물리학과 (이학사)
- 2013년 2월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원

- 주 관심분야 : RF 송수신기 개발