

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.6.27>

IIBC 2017-6-4

밀리미터파 초소형 레이다용 광대역 DSPSL-CPS 전이구조 설계

Transition Structure Design of Wideband Double-sided Parallel-Stripline to Coplanar Stripline for Millimeter-wave Compact Radar System

김영곤*, 박창현*, 김홍락*, 권준범*

Young-Gon Kim*, Chang-Hyun Park*, Hong-Rak Kim*, Jun-Beom Kwon*

요약 본 논문에서는 낮은 삽입 손실을 가지는 광대역 DSPSL (double-sided parallel-stripline) - CPS (coplanar stripline) 전이구조를 제안하였다. 제안하는 전이구조는 자연스러운 전계분포의 필드 변환과 DSPSL과 CPS 사이의 임피던스 정합의 관점에서 설계되었다. 전이구조의 명확한 설계방법을 제시하여 바닥면 그라운드 변화와 전이구조의 길이를 결정할 수 있게 하였다. 설계의 제작된 전이구조의 특성은 전이구조 당 6.2 ~ 18.2 GHz의 대역에서 0.7 dB의 낮은 삽입 손실을 가지고 있으며, 6.2 ~ 30 GHz 이상의 대역에서 1.25 dB의 삽입 손실을 가짐을 확인하였다.

Abstract A high-performance wideband transition from double-sided parallel-stripline (DSPSL) to coplanar stripline (CPS) is proposed. This transition is designed by consideration of gradual field transformation and optimal impedance matching between DSPSL and CPS. Clear design guidelines of proposed transition are provided to determine the ground shape and the transition length. The fabricated transition exhibits less than 0.7 dB insertion loss per transition for frequencies from 6.2 to 18.2 GHz, and less than 1.25 dB insertion loss to over 30 GHz.

Key Words : Coplanar stripline, Double-sided parallel-stripline, wideband, transition

1. 서론

마이크로스트립 선로, CPW (coplanar waveguide), DSPSL (double-sided parallel stripline), CPS (coplanar stripline) 등 여러 평면형 마이크로스트립 기반의 다양한 전송선 사이를 자연스럽게 연결하는 전이구조는 많은 연구가 이루어졌다^[1-5]. 작은 삽입손실, 높은 반사손실, 넓은 대역폭, 작은 사이즈의 전이구조 특성은 밀리미터 시스

템의 성능을 좌우하는 중요한 특성이다. 여러 마이크로스트립 기반의 전송선 중, DSPSL은 기판의 아랫면과 윗면을 가지는 평형구조의 전송선이며 다양한 안테나의 급전부, balanced amplifier, balanced mixer 등에 많이 사용되고 있다. 이에 반해, CPS는 기판의 윗면에 두 개의 선로를 가지는 구조로 대표적인 balanced 선로이며, 기판위에 두 선로가 있으므로 직렬 및 병렬 구조의 소자의 장착이 유리한 장점이 있다. Balanced 선로로써, 두 전송선은

*정회원, LIG넥스원(주)

접수일자: 2017년 10월 23일, 수정완료: 2017년 11월 23일

게재확정일자: 2017년 12월 8일

Received: 23 October, 2017 / Revised: 23 November, 2017 /

Accepted: 8 December, 2017

*Corresponding Author: younggon.kim@lignex1.com

Seeker & EO/IR R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

가장 많이 쓰이는 전송선이나, 이를 연결하는 전이구조에 대한 연구는 미흡하다^[6-9].

본 논문에서는 낮은 삽입손실을 가지며 6.2 GHz 에서 30 GHz의 광대역 DSPSL-CPS 전이구조를 제안한다. 서로 다른 임피던스를 다지는 두 전송선 사이를 임피던스 분석을 통해 디자인 설계의 명확성을 제시하고 있다.

II. 전이구조의 구조 및 전계 분포

본 논문에서 제안하는 DSPSL-CPS 전이구조는 그림 1과 같다. DSPSL (AA')에서 CPS (DD')로 전이되는 과정은 다음과 같다. DSPSL의 기판 아랫면의 신호선로가 B-B'와 같이 offset PSL (Parallel stripline) 선로를 이용하여 변화되고 비아를 통해 아랫면의 신호라인을 윗 선로와 연결하였다. 비아 선로를 유지한 채, 테이퍼링 구조를 통해 기판 아랫면의 선로를 CC'로 갈수록 없애는 구조를 이용하여 자연스러운 전이구조가 되도록 구성하였다.

DSPSL의 수직방향의 전계분포 (AA')에서 CPS의 수평방향 전계분포 (DD')로의 전이를 그림2에서 보여주고 있다. DSPSL에서 offset-PSL을 이용하여 기판 아랫면의 신호선의 변화로 수평방향으로 전계를 전이하였다. 비아를 통해 아랫면의 신호를 기판위로 올려 완전히 수평적인 전계 분포가 되도록하였으며 그림 2와 같은 자연스러운 전계의 분포는 광대역의 설계에 필수적이다.

III. 전이구조의 임피던스 정합

본 논문의 전이구조 설계는 RT/Duroid 4003 ($\epsilon_r = 3.38$), 0.2032 mm 두께의 기판을 사용하였다. DSPSL의 임피던스는 50옴으로 선폭의 두께($W_p = 0.635$ mm)는 0.635 mm를 가진다. 공정상의 한계에 의해 CPS는 유전율이 낮을 경우 낮은 임피던스를 구현하기 힘들기 때문에^[5] 본 논문에서는 115옴으로 갭(S) 0.127 mm 선폭(W_c)은 0.635 mm로 설계하였다.

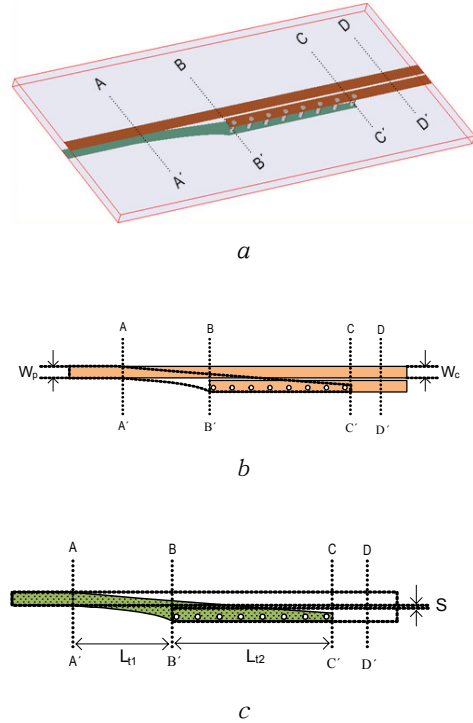


그림 1. (a) 제안하는 DSPSL-CPS 전이구조 (b) 전이구조 윗면 (c) 전이구조 아랫면.

Fig. 1. (a) Perspective view of proposed structure of the DSPSL-to-CPS transition, (b) top view of the transition and (c) bottom view of the transition.

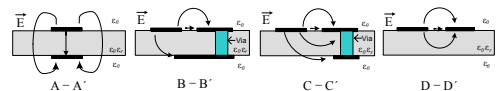


그림 2. 전이구조 각 단계에서의 전계 분포 변화

Fig. 2. Electric field lines at each cross-section along the transition

50옴의 DSPSL에서 115옴의 CPS로의 서로 다른 임피던스를 가지는 두 선로를 자연스럽게 정합하기 위해서 본 논문에서는 Klopfenstein 테이퍼를 사용하였다^[10]. S_{11} 의 첫 번째 pole 위치를 7.5 GHz에서 나타나도록 전이구조 길이를 12.7 mm ($L_1 = 5.08$ mm and $L_2 = 7.62$ mm)로 설계하였다. Klopfenstein 테이퍼의 특성상 낮은 주파수에서의 비매칭을 최소화 하기 위해 테이퍼의 길이는 $\lambda/2$, 최대 반사 계수(Γ_m)는 0.02로 설계하였다. 전이구조의 길이를 증가함으로써 낮은 주파수의 범위를 더 넓힐 수 있다. Klopfenstein 테이퍼를 가지는 전이구조의 길이

에 따른 임피던스의 변화는 그림 3과 같다. AA'에서 BB' 사이의 임피던스는 길이가 바뀔때 따라 50옴에서 68옴까지 변화한다. BB'에서 CC'사이의 임피던스는 68옴에서 115옴까지 변화한다. 전이구조의 기관 아랫면의 선로의 두께 및 선로간의 간격은 Klopfenstein 테이퍼의 임피던스를 만족하면서 변화하게 된다.

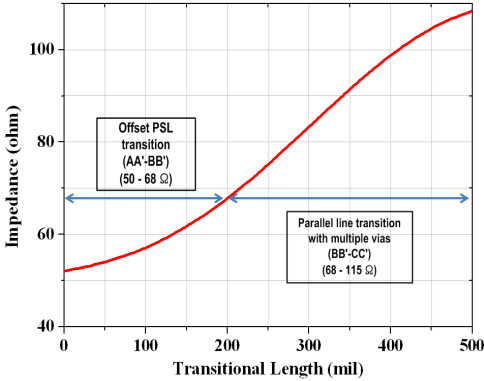


그림 3. 전이구조 길이에 따른 임피던스 변화
 Fig. 3. Impedance variation along the transition.

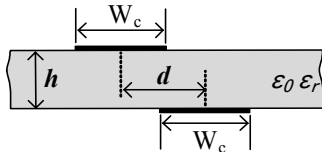


그림 4. Offset PSL 구조 (AA' -BB')
 Fig. 4. Offset PSL structure used in transition (AA' -BB' section)

전이구조의 AA'-BB'에서는 그림 4와 같은 형상의 offset PSL (parallel stripline)이 사용되었다. 기관의 윗면과 아랫면 사이의 거리 (d)에 따라 임피던스가 변화하게 되고, 이러한 임피던스의 변화를 본 논문의 임피던스 정합에 사용하였다. DSPSL과 offset PSL의 임피던스는 [11]의 공식을 이용하여 계산 될 수 있으며 그 특성 임피던스는 다음 수식과 같다.

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

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 기관의 비율로 다음 수식 (3)과 같이 기관의 윗면과 아랫면 사이의 거리 (d)와 기관의 두께에 의해 결정된다.

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

Offset PSL의 임피던스 공식을 이용하여 전이구조의 길이에 따른 형상을 결정 할 수 있다. 위의 수식에서 알 수 있듯이, d가 커질수록 (기관의 윗면과 아랫면의 간격이 커질수록) 특성 임피던스는 커짐을 알 수 있다.

전이구조의 BB'-CC'에서는 그림 5와 같이 CPS에 바닥면 그라운드를 가지는 구조 [12]를 통해 임피던스 정합을 구현하였다. 바닥면 그라운드가 BB'에서 CC'로 진행하면서 점점 없어지게 되면, 바닥면 그라운드와 선로 사이의 커패시턴스 성분이 사라지면서 임피던스는 점점 커지게 된다. 이러한 원리를 이용하여 임피던스 정합을 구현하였으며, 정확한 임피던스 수식은 [12]에서 도출 할 수 있다. 본 논문에서는 기관의 아랫면 그라운드면의 길이 d를 가변함으로써 임피던스를 변화시켜 BB'의 68옴에서 CC'의 115옴으로 임피던스 정합을 구현하였다.

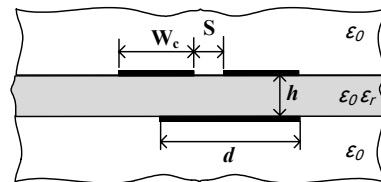


그림 5. 바닥면 그라운드를 가지는 CPS 전이구조 (BB' -CC')
 Fig. 5. CPS with bottom ground transition (BB' -CC' section)

IV. 전이구조 제작 및 측정

DSPSL-CPS 전이구조의 성능을 확인하기 위해 그림 6과 같이 back-to-back 구조로 제작하였다. 제작된 전이구조는 universal test fixture와 Anritsu 37397C 회로망 분석기를 이용하여 측정을 하였다. 시뮬레이션 및 측정

된 전이구조의 삽입 손실 및 반사손실은 그림 7과 같다. 시뮬레이션과 측정된 결과는 매우 근사하게 유사함을 확인할 수 있다. 22 GHz 이상의 주파수에서의 삽입 손실의 차이는 제작상의 오차와 universal test fixture에서 발생하는 접촉 오차에 의한 손실로 예상 할 수 있다. 측정된 back-to-back 전이구조는 6.2 ~ 24 GHz에서 2 dB 보다 작은 삽입 손실 및 10 dB 이상의 반사손실을 가짐을 확인할 수 있다. 그리고 6.2 GHz ~ 18.2 GHz에서는 1.4 dB의 아주 낮은 삽입 손실을 가지며, 6.2 GHz ~ 30 GHz 이상의 주파수 대역에서 2.5 dB의 삽입 손실의 특성을 나타내고 있다. 표 1에 기존 연구와의 성능 비교 하였다. 본 연구에서는 전이구조의 필드 및 임피던스 정합으로 전이구조를 구현하였으며, 각 전이구조 단계에서 임피던스 수직을 통해 설계의 명확성을 보여주었다.

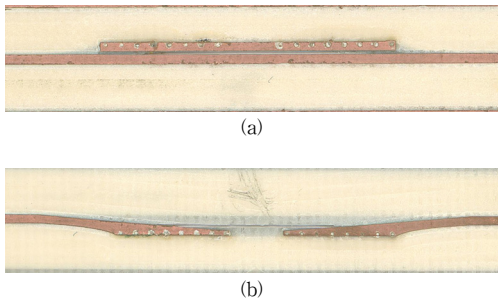


그림 6. 제작된 DSPSL-CPS 전이구조
Fig. 6. The fabricated DSPSL-to-CPS transition.

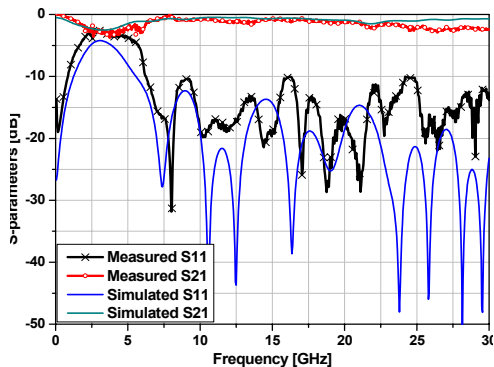


그림 7. 제작된 전이구조 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 7. Insertion loss and return loss of the transition: measured(thick solid lines) versus simulated (thin lines) values.

표 1. DSPSL-CPS 전이구조 성능 비교

Table 1. Performance comparison of DSPSL-to-CPS transitions.

	동작 주파수 (GHz)	최대 삽입 손실	설계 공식
[8]	2.4 ~ 10.7	1.5 dB	무 (EM 시뮬레이션 의존)
	3.44 ~ 5.74, 6.64 ~ 9.52	2.5 dB	
This Work	6.2 ~ 18.2	1.4 dB	유
	6.2 ~ over 30 GHz	2.5 dB	

V. 결론

광대역 성능을 가지는 DSPSL-CPS 전이구조를 설계 및 제작하였다. 자연스러운 전개 분포의 정합과 서로 다른 임피던스를 가지는 전송선의 임피던스 정합을 DSPSL의 바닥면 그라운드면의 테이퍼링 및 비아를 가지는 평형 선로를 통해 구현하였다. 본 논문의 전이구조는 낮은 삽입 손실 및 광대역 특성을 가지고 있다. 안테나의 급전부와 여러 밀리미터파 시스템의 수동 및 능동 소자를 쉽게 연결 할 수 있는 구조로 사용 될 수 있으며, 더 많은 평형 선로를 필요로 하는 시스템에 사용될 수 있으리라 예상 된다.

References

- [1] Z. Zhou, K. L. Melde, "Development of a broadband coplanar waveguide-to-microstrip transition with vias", *IEEE Trans. Adv. Packag.*, vol. 31, no. 4, pp.861-871, Nov.2008.
- [2] J. X. Chen, J. L. Li, Q. Xue, "Novel via-less double-sided parallel-strip line to coplanar waveguide transition", *Microw. Opt. Technol Lett.*, vol. 48, pp. 1717-1718, Sep. 2007.
- [3] H-C. Ki, "A Study on Waveguide to Microstrip Antipodal Transition for 5G cellular systems", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, Vol. 15, No. 4, pp. 185-190, Aug 2015.
DOI: <https://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.4.185>

- [4] X. Y. Zhang, J. X. Chen, Q. Xue "Broadband transition between double-sided parallel-strip line and coplanar waveguide", *IEEE Microw. Wirel Compon. Lett.* vol. 17, no. 2, pp. 103-105, Feb. 2007.
- [5] Y-G. Kim, D-S Woo, K. W. Kim, Y. K.Cho, "A new ultra-wideband microstrip-to-CPS transition". *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, Honolulu, HI, USA, 2007, pp. 1563-1566
- [6] S. G. Kim, K Chang, "Ultrawide-band transitions and new microwave components using double-sided parallel-strip line", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, no. 9, pp. 2148-2152, Sept. 2004.
- [7] G-Q. Liu, L-S. Wu, W-Y. Yin, "Miniaturised dual-band rat-race coupler based on double-sided parallel stripline", *Electron Lett.* 2011, 47, (14), pp. 800-802
- [8] Ahn, C. H., and Chang, K.: 'Wideband coplanar stripline to double-sided parallel-strip line transition', *Electron Lett.*, 2009, 45, (14), pp. 748-749
- [9] Gupta, K. C., Garg, R., Bahl, I., and Bhartia, P.: 'Microstrip Lines and Slotlines' (Artech House, Norwood, MA, 1996), pp. 375-456.
- [10] Pozar, D. M.: 'Microwave Engineering' (Wiley, 3rd edition, 2005), pp. 255-261
- [11] 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
- [12] 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.

저자 소개

김 영 곤(정회원)



- 2006년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2013년 2월~현재 : LIG넥스원(주)

선임연구원

<주 관심분야> : 초고주파 회로 설계, 초광대역 발원, 초광대역 소자, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

박 창 현(임시회원)



- 1997년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 성균관대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 3월~현재 : LIG넥스원 수석연구원

<주 관심분야> : 안테나 설계 및 수치해석, RF 탐색기 시스템

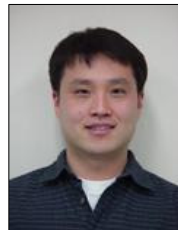
김 홍 락(임시회원)



- 1995년 2월 : 대구대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학사)
- 1997년 8월 : 대구대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1997년 7월~현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

<주 관심분야> : 초고주파 회로 설계, 마이크로파 신호처리, 마이크로파 송수신기, 마이크로파 탐색기

권 준 범(임시회원)



- 1997년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 1999년 2월~현재 : LIG넥스원(주) 수석연구원

<주 관심분야> : 마이크로파 신호처리, 마이크로파 탐색기 등