

삼각 패치형 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드

A Branch-Line Hybrid Using Triangle-Patch Type Artificial Transmission Line

오 송 이 · 황 희 용

Song-Yi Oh · Hee-Yong Hwang

요 약

본 논문에서는 슬롯을 갖는 삼각 패치형 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드를 제안한다. 제안된 인공 전송 선로는 구조가 콤팩트하고 슬롯의 파라미터들을 변화시킴으로써 선로의 특성 임피던스와 전기적 길이를 조절하는 데 용이하여 일반적인 전송 선로를 소형화시키는 데 유용하다. 제안된 브랜치 라인 하이브리드는 이러한 직각 삼각형의 인공 전송 선로들을 이용하여 구현되었기 때문에 공간의 활용도가 높고 소형화되었다. 제작된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드는 중심 주파수 2.45 GHz의 15 % 대역폭 내에서 ± 0.5 dB의 결합도 변화 특성과 두 출력 포트 간 $91^\circ \pm 4^\circ$ 의 위상차 특성을 보였다. 또한, 제안된 브랜치 라인 하이브리드의 크기는 일반적인 브랜치 라인 하이브리드 크기의 38 %이다.

Abstract

A branch-line hybrid using microstrip artificial transmission lines(ATLs) with slotted-triangular patches is proposed. The proposed artificial transmission line is compact in structure as well as easy to adjust the characteristic impedance and electrical length of equivalent transmission line by changing the slot's parameters; hence, it is useful for miniaturizing conventional transmission lines. The designed branch-line hybrid, because of the use of the right angled isosceles triangular shaped artificial transmission lines as building blocks, has no useless empty space, and hence optimally miniaturized. A fabricated 3 dB branch-line hybrid shows the coupling variation of ± 0.5 dB and the phase difference between two output ports of $91^\circ \pm 4^\circ$ within 15 % bandwidth at 2.45 GHz center frequency. The size of proposed branch-line hybrid is only 38% of the conventional branch-line hybrid.

Key words : Branch-Line Hybrid, Artificial Transmission Line, ATL, Miniaturization, Microstrip Coupler

I. 서 론

브랜치 라인 하이브리드, 결합선로 결합기, 180° 하이브리드 등과 같은 방향성 결합기는 위상 천이기, 평형 혼합기 및 전력 분배기 등 마이크로파 회로

에서 광범위하게 사용되고 있다. 이 중 브랜치 라인 하이브리드는 두 출력 포트(통과 포트, 결합 포트)간에 90°의 위상차가 발생하는 3 dB 방향성 결합기로서 일반적으로 길이가 $\lambda/4$ 이고, 특성 임피던스가 50 Ω 과 35.35 Ω 인 선로들로 구성되어 있다^{[1]-[9]}. 그러나

강원대학교 IT대학 전기전자공학부(Dept. of Electrical and Electronic Engineering, College of Information Technology, Kangwon National University)

· Manuscript received January 20, 2012 ; Revised June 4, 2012 ; Accepted June 26, 2012. (ID No. 20120120-008)

· Corresponding Author : Hee-Yong Hwang (e-mail : hyhwang@kangwon.ac.kr)

일반적인 브랜치 라인 하이브리드는 $\lambda/4$ 의 전송 선로를 사용하고 있어 파장에 비례하여 그 크기가 증가하기 때문에 회로의 소형화에 단점을 가지고 있다.

한편, 블루투스, WiBro, WLAN과 같은 무선 통신 시스템들이 빠른 속도로 발전하면서 무선 통신 시스템의 성능과 더불어 소형화 및 집적화에 대한 요구가 증가하고 있다. 이에 따라 최근 인공 전송 선로 (Artificial Transmission Line: ATL)를 이용한 회로의 소형화를 위한 연구 활동이 증가하고 있다^{[5]~[7],[10]~[13]}.

인공 전송 선로란 일반적인 전송 선로가 가지는 전기적 길이 및 특성 임피던스에 대한 한계를 개선하기 위해 제시된 것으로, 임의의 형태로 인공 전송 선로를 구현함과 동시에 전체적으로는 일반적인 전송 선로의 특성을 만족시킬 수 있는 선로를 뜻한다. 이러한 인공 전송 선로를 이용하여 마이크로파 회로 소자를 설계할 경우, 소자 전체의 크기를 소형화시킬 수 있고, 원하는 타입의 다양한 구조로 합성하여 소자를 구현할 수 있다^[13].

따라서, 본 논문에서는 슬롯을 가진 삼각 패치형 인공 전송 선로^[13]를 이용하여 구현된 새로운 구조의 3 dB 브랜치 라인 하이브리드를 제안한다. 결합기에 사용된 인공 전송 선로는 직각 이등변 삼각 패치 구조로, 패치에 삽입된 슬롯의 길이를 변화시킴으로써 인공 전송 선로의 특성 임피던스 및 전기적 길이의 조절이 용이하다^[13]. 또한, 제안된 브랜치 라인 하이브리드는 적절한 전기적 길이와 특성 임피던스를 갖는 인공 전송 선로 네 개를 결합하여 구현되며, 그 구조는 기존의 인공 전송 선로를 이용한 마이크로파 회로들^{[2],[3],[6],[10],[11]}에 비해 매우 콤팩트하고 단순하며, 패치 내부에 있는 슬롯들로 인해 일반적인 전송 선로를 사용한 브랜치 라인 하이브리드보다 소형화에 유리하다.

II. 본 론

2-1 삼각 패치형 인공 전송 선로

그림 1^[13]은 브랜치 라인 하이브리드의 설계에 사용되는 삼각 패치형 인공 전송 선로의 기본 구조로서 패치 평면에 세 개의 슬롯이 삽입된 형태이다. 그림 2^[13]는 삼각 패치형 인공 전송 선로의 등가회로를 나타낸 것으로 Z_0 와 βL 은 각각 선로의 특성 임피던

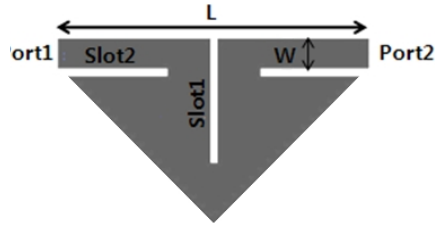


그림 1. 삼각 패치형 인공 전송 선로의 구조
Fig. 1. Structure of triangle-patch type ATL.

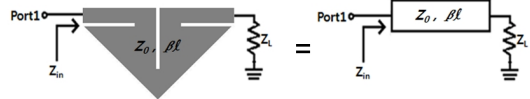


그림 2. 삼각 패치형 인공 전송 선로의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of triangle-patch type ATL.

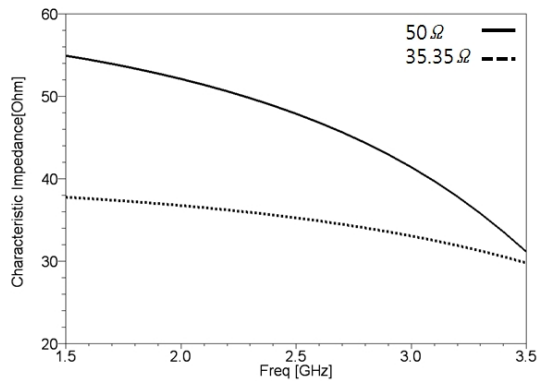


그림 3. 인공 전송 선로의 특성 임피던스
Fig. 3. Characteristic Impedance of the ATL.

스 및 전기적 길이를 나타내고, Z_{in} 과 Z_L 은 선로의 입력 임피던스, 부하 임피던스를 나타낸다.

본 논문에서는 참고문헌 [13]에 제시된 방법에 의해 중심 주파수 2.45 GHz에서 브랜치 라인 하이브리드에 사용될 적절한 선로 특성을 갖는 인공 전송 선로를 얻었다. 이때 인공 전송 선로의 전체적인 크기를 결정하게 되는 길이 L 의 경우 약 $\lambda/8$ 길이인 9.3 mm로 정하였다^[13]. 그림 3과 그림 4는 제안된 브랜치 라인 하이브리드에 사용될 인공 전송 선로의 주파수에 따른 특성 임피던스와 위상 특성을 나타낸 그림이다.

2-2 제안된 브랜치 라인 하이브리드

일반적인 3 dB 브랜치 선로 결합기는 그림 5와 같

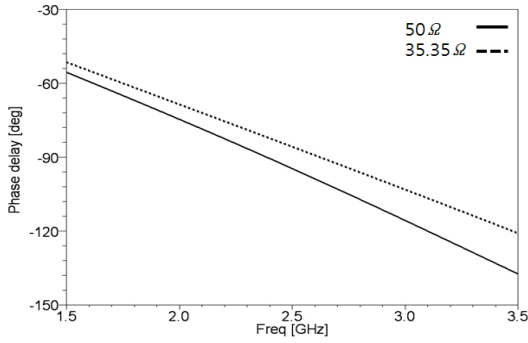


그림 4. 인공 전송 선로의 위상 지연

Fig. 4. Phase delay of the ATL.

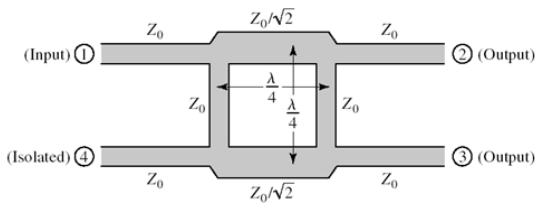


그림 5. 일반적인 브랜치 라인 하이브리드의 구조

Fig. 5. Conventional branch-line hybrid.

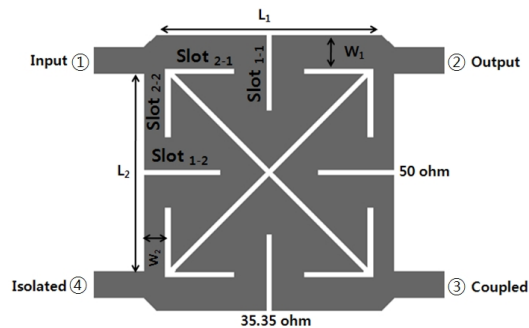


그림 6. 제안된 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드

Fig. 6. Proposed branch-line hybrid using ATL.

이 선로의 길이가 $\lambda/4$ 이고, 특성 임피던스가 각각 35.35 Ω과 50 Ω인 전송 선로를 사용하여 설계된다^[1]. 따라서 그림 6의 제안된 브랜치 라인 하이브리드 역시 일반적인 브랜치 라인 하이브리드와 동일한 전기적 길이 및 특성 임피던스를 갖는 두 쌍의 인공 전송 선로를 이용하여 구현하였다.

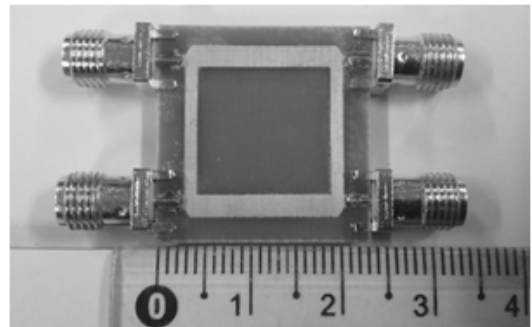
이때 브랜치 라인 하이브리드의 설계과정에서 결합기 접합부의 불연속으로 인하여 병렬 암의 길이를 $10^\circ \sim 20^\circ$ 정도 증가시켜야 하므로 이 점을 고려하여

두 인공 전송 선로 중 하나의 선로의 길이를 90° 보다 작은 길이를 갖도록 하였다^[1].

2-3 제작 및 측정

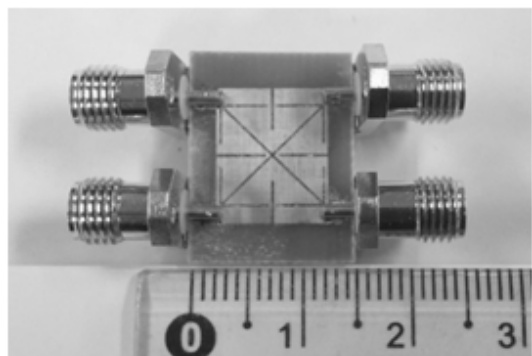
그림 7은 제작된 일반적인 브랜치 라인 하이브리드와 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드를 비교한 것이다. 제작에는 $\epsilon_r=4.4$ 이고, $h=0.762$ mm, $\tan \delta=0.025$ 인 FR4 기판을 사용하였고, 시뮬레이션과 측정에는 각각 Ansoft社의 HFSSTM와 Anritsu 社의 37397C Vector Network Analyzer를 이용하였다. 또한, 설계에 사용된 인공전송선로의 파라미터들을 표 1에 나타내었다.

그림 8은 일반적인 브랜치 라인 하이브리드와 제안된 브랜치 라인 하이브리드의 시뮬레이션된 S-파라미터의 결과를 나타낸 것이다. 그 결과, 일반적인 브랜치 라인 하이브리드에 비해 제안된 브랜치 라인



(a) 일반적인 결합기

(a) Conventional branch-line hybrid



(b) 제안된 결합기

(b) Proposed branch-line hybrid

그림 7. 제작된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드

Fig. 7. Fabricated 3 dB branch-line hybrid.

표 1. 제작에 사용된 파라미터 값

Table 1. Parameter value used in fabrication.

$Z_0=35.35 \Omega$ $\beta_1=84^\circ$		L_1	W_1	Slot 1-1	Slot 2-1
	길이 (mm)	9.3	-	4.0	4.3
	폭 (mm)	-	1.6	0.2	0.2
$Z_0=50 \Omega$ $\beta_1=90^\circ$		L_2	W_2	Slot 1-2	Slot 2-2
	길이 (mm)	9.3	-	4.5	3.6
	폭 (mm)	-	0.3	0.2	0.2

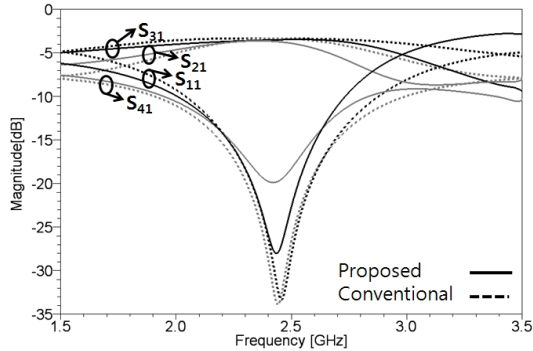


그림 8. 브랜치 라인 하이브리드의 시뮬레이션된 S-파라미터

Fig. 8. Simulated S-parameters for the branch-line hybrid.

하이브리드의 S_{21} 과 S_{31} 의 특성에서 약간의 비대칭 현상이 나타났고, 격리도 특성(S_{41})에서 차이를 보였다. 이는 인공 전송 선로들이 결합되면서 각 선로간의 기생 효과(parasitic effect)들로 인해 나타난 결과이다. 또한, 대역폭이 일반적인 브랜치 라인 하이브리드에 비해 줄어들었음을 확인하였다.

그림 9는 제안된 브랜치 라인 하이브리드를 1.5 GHz부터 3.5 GHz까지 시뮬레이션 및 측정된 S-파라미터의 결과를 나타낸 것이다. 측정 결과, 중심 주파수는 2.43 GHz이고, 15 % 대역폭(2.23~2.59 GHz) 내에서 약 -15 dB 이하의 S_{11} 과 -4.05 ± 0.3 dB의 S_{21} 및 -3.53 ± 0.1 dB의 S_{31} 을 확인하였다. 또한, 15 % 대역폭 내에서 ± 0.5 dB 이내의 결합도 변화 특성 및 -15 dB 이하의 격리도 특성을 보였다.

그림 10은 15 % 대역폭 내에서 일반적인 브랜치 라인 하이브리드와 제안된 브랜치 라인 하이브리드의 시뮬레이션 및 측정된 두 출력 포트(포트 2와 포트 3) 간의 위상차를 나타낸 것으로 측정 결과, $91^\circ \pm 4^\circ$ 의 특성을 보였다.

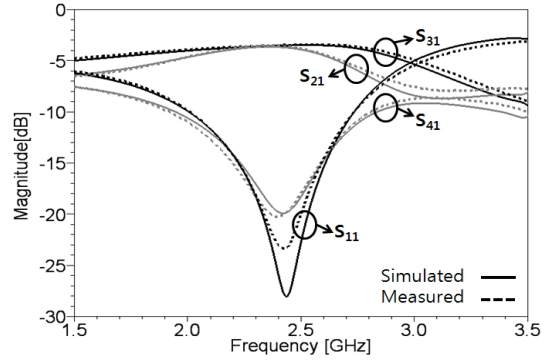


그림 9. 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드의 시뮬레이션 및 측정된 S-파라미터

Fig. 9. Simulated and measured S-parameters for the ATL-branch-line hybrid.

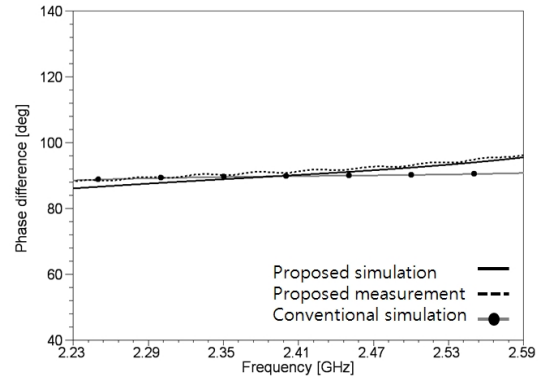


그림 10. 인공 전송 선로를 이용한 브랜치 라인 하이브리드의 시뮬레이션 및 측정된 위상차

Fig. 10. Simulated and measured phase difference for the branch-line hybrid.

III. 결 론

본 논문에서는 슬롯이 있는 삼각 패치형 인공 전송 선로를 이용하여 구현된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드를 제안하였다. 결합기 구현에 사용된 삼각 패치형 인공 전송 선로는 그 구조가 기존의 인공 전송 선로들에 비해 단순하면서 콤팩트하고, 패치 내부의 슬롯들로 인해 소형화에 유리하다. 또한, 이러한 인공 전송 선로를 네 개를 결합하여 구현된 브랜치 라인 하이브리드는 일반적인 브랜치 라인 하이브리드에 비해 공간 활용도가 매우 높아 소형화에 유리하다. 임의로 제작된 3 dB 브랜치 라인 하이브리드는 동일한 중심 주파수와 기판 정보를 갖는 일반

적인 마이크로스트립 브랜치 라인 하이브리드보다 중심 주파수 2.43 GHz에서 약 62 %의 크기를 감소시켰고, 이는 소형화 시스템 설계에 있어 다양하게 응용될 것이다.

앞으로 제안된 브랜치 라인 하이브리드의 격리도 특성 및 결합도 특성 개선을 위한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] David M. Pozar, *Microwave Engineering*. 3rd Edition, John Wiley & Sons, p. 337, 2005.
- [2] Y-K. Lim, H-Y. Lee, "Novel miniaturized branch-line coupler using bond-wire slow-wave structure", *Microwave Conference, APMC 2008, Asia-Pacific*, Dec. 2008.
- [3] F. Hosseini, M. Khalaj-Amir hosseini, and M. Yazdani, "Novel compact branch-line coupler using non-uniform transmission line", *Microwave Conference, APMC 2009, Asia Pacific*, pp. 1577-1580, Dec. 2009.
- [4] Shry-Sann Liao, Pou-Tou Sun, Nien-Chung Chin, and Jen-Tee Peng, "A novel compact-size branch-line coupler", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 15, no. 9, pp. 588-590, Sep. 2005.
- [5] K-H. Chang, K-M. Nam, and J-P. Kim, "Design of various compact branch-line coupler by using artificial transmission lines", *IEEE MTT-S International Microwave*, pp. 1726-1729, Jun. 2006.
- [6] Zhiyang Liu, Robert M. Weikle, II, "A compact quadrature coupler based on coupled artificial transmission lines", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 15, no. 12, pp. 889-891, Dec. 2005.
- [7] Jung-Wook Park, Gyo-Nyun Kim, and Jeong-Phill Kim, "Miniaturization of lowpass filters by using artificial transmission lines", *IEEE MTT-S International Microwave Symp. Dig.*, pp. 2227-2230, Jun. 2005.
- [8] 이승엽, "연결된 결합 선로를 갖는 소형 브랜치 선로 결합기" 한국전자과학회논문지, 22(6), pp. 598-604, 2011년 6월.
- [9] 이원균, 황희용, "개방 스테이블를 갖는 평행 결합 선로의 해석과 브랜치 라인 하이브리드에의 응용", 한국전자과학회논문지, 19(1), pp. 40-45, 2008년 1월.
- [10] Chao-Wei Wang, Tzyh-Ghuang Ma, and Chang-Fa Yang, "A new planar artificial transmission line and its applications to a miniaturized butler matrix", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 55, no. 12, pp. 2792-2801, Dec. 2007.
- [11] Yunong Li, Changjun Liu, Wen Huang, and Kama Huang, "A novel directional coupler from composite right/left-handed transmission line and artificial transmission line", *IEEE Microwave and Millimeter wave Technology 2010 International Conference on*, pp. 187-190, May 2010.
- [12] Zhiyang Liu, Robert M. Weikle, II, "A 180° hybrid based on interdigitally coupled asymmetrical artificial transmission lines", *Microwave Symposium Digest, 2006. IEEE MTT-S International*, pp. 1555-1558, Jun. 2006.
- [13] 오송이, 황희용, "슬롯을 가진 삼각 패치형 인공 전송 선로 결합기", 한국전자과학회논문지, 22(5), pp. 510-515, 2011년 5월.

오 송 이



2007년 3월~2011년 2월: 강원대학교 IT 대학 전기전자공학과 (공학사)
2011년 3월~현재: 강원대학교 IT대학 전기전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 수동 소자

항 희 용



1992년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
2001년 3월~2002년 4월: 메릴랜드 주립대 연구학자
2010년 3월~2011년 2월: 워싱턴주립대 방문교수
2002년 5월~2003년 4월: (주)아모텍 연구소장
2003년 2월~현재: 강원대학교 IT대학 전기전자공학과 부교수
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter Wave 분야의 부품 및 시스템