

연결단자 방향이 편리하게 변형된 초고주파 대역 브랜치 라인 하이브리드 커플러의 설계

최진우, 김지원*, 구서*, 강태훈*, 안달, 임종식
 순천향대학교 전기공학과
 *순천향대학교 대학원 전기통신시스템공학과
 e-mail:chlwlsdn111@naver.com

Design of a Microwave Branch Line Hybrid Coupler Having Conveniently Modified Port Direction

Jin-Woo Choi, Jiwon Kim*, Seo Koo*, Taehoon Kang*, Dal Ahn, and Jongsik Lim
 Dept. of Electrical Engineering, Soonchunhyang University
 *Electrical and communication system engineering Department, Soonchunhyang University

요 약

본 논문에서는 초고주파 대역에서 제작이 어려운 기존 표준형 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조의 단점을 보완하여 입출력 연결단자가 편리하게 변형된 회로를 제안한다. 제안된 구조의 브랜치 라인 하이브리드 커플러는 커넥터의 크기에 관계없이 초고주파 대역에서 측정이 가능하면서도 소형화된 크기로 제작이 가능하다. 제안한 구조의 동작 특성을 확인하기 위하여 중심주파수 5GHz에서 설계, 제작 및 측정을 하였다. 제안된 브랜치 라인 하이브리드 커플러는 출력 단자에서 약 -3dB의 전력분배, 출력단자간 90°의 위상차이를 보여, 제작에 따른 오차를 감안하면 효과적으로 동작하고 있음이 검증되었다.

1. 서 론

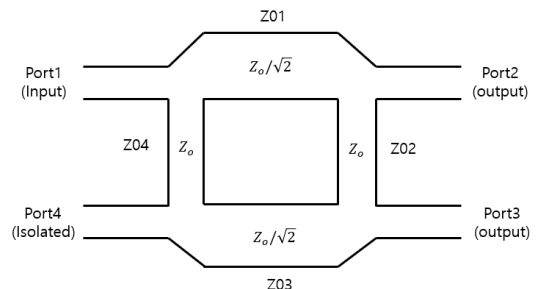
최근 대부분의 통신, 전자 부품 제조업체는 계속해서 더 높은 주파수에서 동작하며 이에 따라 더욱 소형화된 전자 부품을 이용해 제품을 생산해내는 것을 매년 목표로 한다. 3dB 전력 분배기는 입력신호를 출력단자에서 동일한 전력비의 신호로 분배하기 위한 회로로 사용이 된다. 이 중에서도 브랜치 라인 하이브리드는 마이크로스트립 선로로 제작하기에 용이하기 때문에 자주 사용된다. 하지만 표준형 브랜치 라인 하이브리드 커플러는 마이크로스트립 구조에서 3.5 GHz 이상에서는 구현하기 어렵다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존의 브랜치 라인 하이브리드의 단점을 보완하여 3.5GHz 이상의 높은 주파수에서 구현 가능한 회로를 제안한다. 또한 마이크로 스트립 구조에서 기판의 면적을 최소화해, 이에 따른 대역폭의 증가, 전송속도의 증가, 전체 구조의 소형화를 시도한다.[1] EM 시뮬레이션을 통해 3GHz에서 기존 구조와 동작 특성을 비교하며 5GHz에서 설계 및 제작하여 회로의 특성을 확인한다. 참고로, 5GHz 대역은 면허가 불필요한 국가 정보 기간망 (UNII: Unlicensed National Information Infrastructure) 대역이어서 향후에도 보다 폭넓게 사용될 것으로 기대되고 있다.

2. 설계 이론

2.1. 브랜치 라인 하이브리드 커플러

브랜치 라인 하이브리드 커플러는 통과 단자와 결합 단자의 출력 간에 90° 위상차가 생기는 3dB 방향성 결합기이다. 그림 1과 같이 $\lambda/4$ 전송선로 4개로 결합되어 있다. Z_{01} 과 Z_{03} 의 임피던스는 $Z_0/\sqrt{2}$, Z_{02} 와 Z_{04} 의 임피던스는 Z_0 이다.



[그림 1] 브랜치 라인 하이브리드 커플러의 구조

그림 1의 구조에 대한 동작을 살펴보자. 모든 단자(port)를 정합시켰을 때 단자 1에 입사된 신호는 단자 2와 3으로 90°의 위상차를 가지고 등분된다. 단자 4에는 신호가 전달되지 않는다. 따라서 [S] 파라미터는 수식(1)과 같이 정리된다. 그

리고 우모드-기모드 해석을 통해 각 신호의 크기를 B1부터 B4라 하고 정리하면 표 1과 같다.

$$[S] = \frac{-1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & j & 1 & 0 \\ j & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & j \\ 0 & 1 & j & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

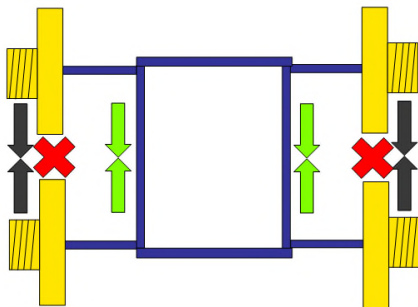
[표 1] 각 단자에서 나타나는 신호의 크기 비율

B1	B2	B3	B4
0	$-\frac{j}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	0

표 1에 의하면 이상적인 회로 기준에서 단자 1은 정합되며 단자 4로는 신호전달이 없다. 신호전력의 절반은 B2와 B3로 나누어지는데, 이때 B2는 입력신호 대비 -90도의 위상차로 나타나며 B3는 180도의 위상차로 나타난다.[2]

2.2. 제안하는 하이브리드 커플러 구조

기존 브랜치 라인 하이브리드 커플러의 표준형 구조는 커넥터 크기에 따라서 3.5GHz 이상의 주파수에서 구현이 어렵다는 단점이 있다. 그런데 주파수가 높아질수록 전송선로의 길이가 짧아지게 된다. 따라서 기존 표준형 구조에서는 그림 2와 같이 전송선로의 길이가 짧아지면 커넥터 크기 때문에 단자간 물리적인 간격이 역시 줄어들어 구현하기 어려워진다. 또한 어렵사리 제작하더라도 단자 선로가 평행하기 때문에, 단자 선로 간 커플링 문제가 발생하게 된다.[3,4]

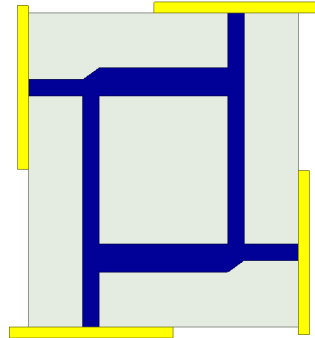


[그림 2] 커넥터 사용시 표준형 하이브리드 커플러 회로 구조의 문제점

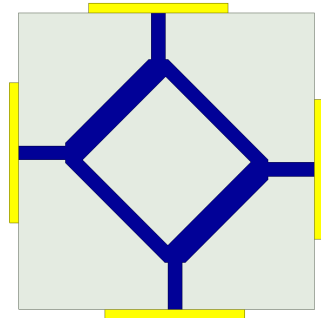
이러한 단점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 높은 주파수 대역에서도 구현이 가능한 변형된 구조를 제안한다. 먼저 전송선로의 길이에 따라 단자가 겹치는 문제를 해결하기 위해 그림 3과 같이 각 단자 선로를 수직으로 배치시켰다.

하지만 이는 커넥터가 기판을 벗어나는 문제를 갖기 때문에 이를 해결하기 위해선 단자 선로를 최대한 기판 중앙에 위

치시키는 것이 바람직하다. 따라서 브랜치 라인 하이브리드 회로를 그림 4와 같이 45° 회전시켰다.

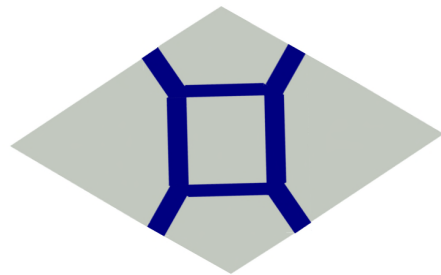


[그림 3] 단자 선로를 수직으로 배치한 구조



[그림 4] 제안하는 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조

기존의 사각형 정선(junction)은 두 꼭짓점의 각도가 45°인 삼각형 정선으로 대체하여 한쪽 면은 전송선로의 폭과 같게 설계한다. 이 때 삼각형 정선과 전송선로간 작은 공백이 생기는데 이는 사각형 정선으로 대체한다. 이렇게 구성한 정선은 선로의 임피던스, 즉 두께에 대응되므로 기존 정선과 크기가 같다. 만약 두 꼭짓점의 각도가 45°인 삼각형 정선을 이용하지 않고, 그림 5와 같이 두 꼭짓점의 각도가 각각 30°, 60°인 정선을 이용해 구현한다면 각 단자 선로 간 수직 구조를 유지할 수 없고, 기판의 크기도 커지기 때문에 목표한 작은 크기의 회로를 구현할 수 없다.



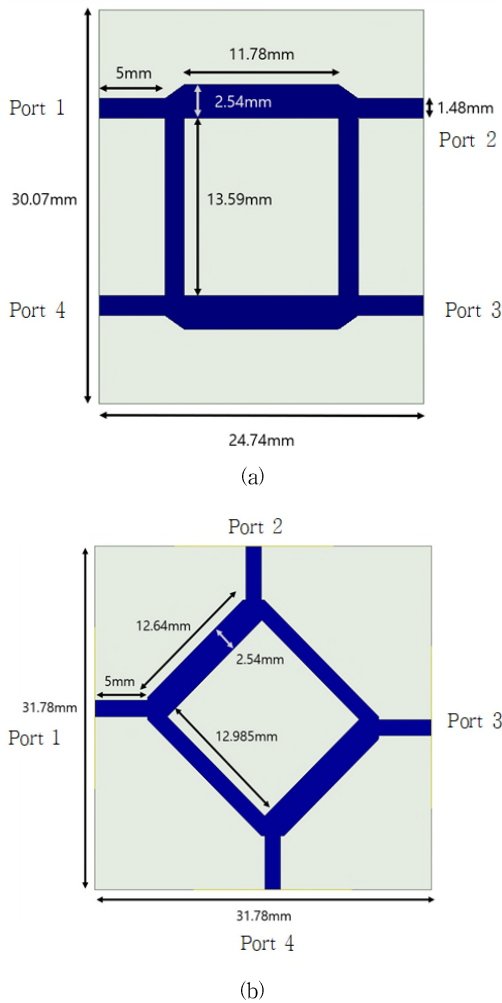
[그림 5] 두 꼭짓점의 각도가 30° 60°인 삼각형 정선을 이용한 회로

결과적으로 각 단자가 직각의 방향성을 갖기 때문에 높은

주파수에서 $\lambda/4$ 전송선로 길이가 줄어들 때 구현하기 힘든 회로가 되는 단점이 효과적으로 개선되며 나아가 단자 선로 간 커플링이 일어날 가능성을 줄여준다. 또한 기존 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조에서 출력단에 추가적으로 회로를 결선하는 경우, 공간이 협소하여 복잡한 회로를 결선하기 힘든 단점이 효과적으로 개선된다.[2]

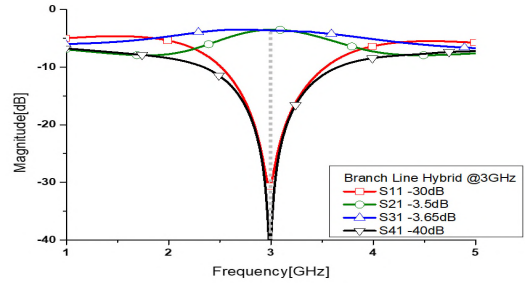
3. 설계 및 시뮬레이션

5GHz에서 동작하며 동일한 단자를 사용하는 기존 브랜치 라인 하이브리드 커플러는 위와 같은 문제가 있어서 비교를 할 수 없으므로, 단지 특성 비교를 위하여 그림 6처럼 3GHz에서 두 커플러를 설계하고 특성을 살펴보았다. HFSS(high frequency structure simulator)로 전자기적 시뮬레이션(electromagnetic(EM) simulation)을 실시하여 기존 구조와 제안한 구조를 비교하였다.

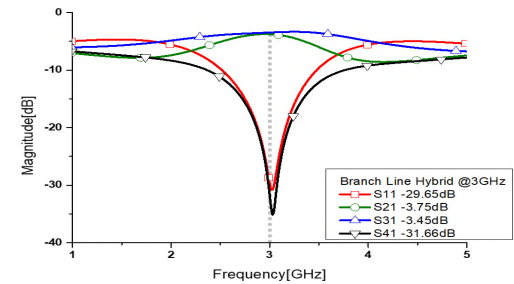


[그림 6] 브랜치 라인 하이브리드 커플러의 레이아웃 (a)기존 구조 (b)제안한 구조

파라미터 성능으로 나타낸 것이다. 동일한 주파수에서 $\pm 0.5\text{dB}$ 의 허용 가능한 오차 범위 내에서 거의 동일한 전력분배 성능을 가지며, S(1,1), S(4,1)도 -25dB 이하여서 반사 특성과 격리 특성도 우수하다.



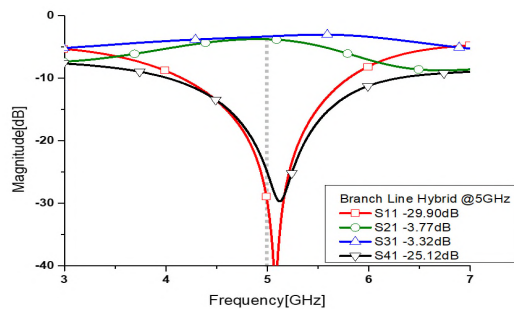
[그림 7] 기존의 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조의 EM 시뮬레이션



[그림 8] 제안한 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조의 EM 시뮬레이션

4. 제작 및 측정

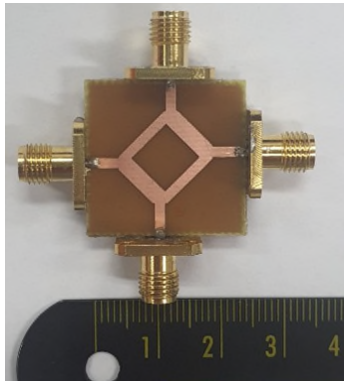
이제 5GHz 대역에서 브랜치 라인 하이브리드 커플러를 설계하고 실제로 제작 및 측정된 결과를 보이도록 하겠다. 그림 9는 5GHz에서 설계한 브랜치 라인 하이브리드 커플러 회로의 시뮬레이션 결과이다. $\pm 0.5\text{dB}$ 의 허용 가능한 오차범위 내에서 거의 동일한 전력분배 성능을 가지며, S(1,1), S(4,1) 역시 -25dB 이하로 우수한 반사특성과 격리특성을 가짐을 알 수 있다.



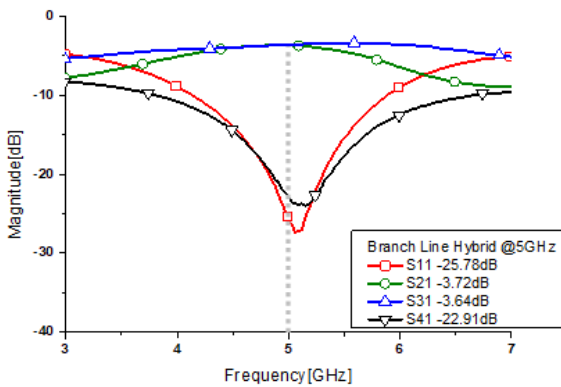
[그림 9] 5GHz 하이브리드 커플러 회로의 EM 시뮬레이션 성능

그림 7과 그림 8은 두 구조의 EM 시뮬레이션 결과를 S-

그림 10은 제작한 5GHz 브랜치 라인 하이브리드 커플러 회로를 보여주고 있다. 비유전율이 4.4이고 두께가 31mils인 FR-4 기판을 사용하였다.

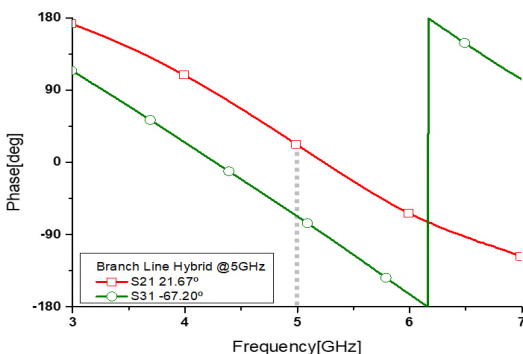


[그림 10] 5GHz 하이브리드 커플러 회로의 제작된 사진



[그림 11] 측정된 S-parameter 성능

그림 11은 제작한 5GHz 브랜치 라인 하이브리드 커플러 회로의 측정된 S-파라미터 성능을 보여준다. $\pm 0.5\text{dB}$ 의 허용 가능한 오차 범위 내에서 거의 동일한 전력 분배 성능을 가지고 있고, S(1,1), S(4,1)의 측정값이 -23dB 이하임을 알 수 있다. 또한 그림 12는 측정된 두 출력 단자 간 위상차인데, 이상적인 브랜치 라인 하이브리드 커플러의 특성 값인 90° 와 유사함을 알 수 있다.



[그림 12] 측정된 두 출력단자간 위상차

5. 결론

본 연구에서는 브랜치 라인 하이브리드 커플러 구조에서 연결단자의 방향을 45° 회전시키고 각 단자 선로를 수직으로 배치하여 높은 주파수에서 구현이 가능한 회로를 제안하였다. 기존의 구조와 동작 특성이 일치함을 확인하기 위해서 3GHz에서 EM 시뮬레이션을 통해 비교하였고 그 결과 허용 오차 범위 내에서 일치함을 확인하였다.

변형된 구조의 브랜치 라인 하이브리드 커플러가 높은 주파수 대역에서도 잘 동작하는지 확인하기 위하여 5GHz에서 설계, 제작 및 측정하였다. 측정 결과 허용오차 범위 내에서 우수한 특성을 가짐을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 이용하면, 높은 주파수의 무선회로 설계시 커넥터의 물리적 충돌에 의한 회로 구현 과정에서의 문제점을 해결하면서도 우수한 특성을 갖는 회로를 구현할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 현장맞춤형 이공계 인재양성지원사업(2019H1D8A1105622)의 지원으로 수행되었음

참고문헌

- [1] Young-Hun Lee, "Characteristics of High Efficiency Wideband Microstrip Band Pass Filter", Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering 13(4), 2009.
- [2] D. M. Pozar, "Microwave Engineering" 4/e, Ch. 7 John Wiley and Sons, Inc., New York, 2011.
- [3] Kae-Oh Sun, Sung-Jin Ho, Chih-Chuan Yen, and Daniel van der Weide, Member, IEEE, "A Compact Branch-Line Coupler Using Discontinuous Microstrip Lines", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 15, No. 8, Aug. 2005.
- [4] Shry-Sann Liao, Member, IEEE, Pou-Tou Sun, Nien-Chung Chin, and Jen-Tee Peng, "A Novel Compact-Size Branch-Line Coupler", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 15, No. 9, Sep. 2005.