

## 메타 물질을 이용한 초소형, 광대역 90° 커플러

## Compact and Broadband 90° Coupler Using a Metamaterial

김 홍 준

Hongjoon Kim

## 요 약

메타 물질의 한 형태인 LHTL(Left-Handed Transmission Line)과 기존의 전송 선로 형태인 RHTL(Right-Handed Transmission Line)을 이용하여 광대역 I-Q 벡터 신호 생성을 위한 90° 커플러를 설계, 제작하고 측정을 하였다. LHTL과 RHTL 모두 커패시터와 인덕터를 이용하여 합성 전송 선로 형태로 구성함으로써, 그 크기를 최소화 하였다. 또한, 제안된 커플러 제작에 필요한 Wilkinson 전력 분배기를 합성 RHTL을 이용하여 간단하게 구현함으로써 전체 회로의 크기를 11 mm×12 mm로 만들 수 있었다. 주파수 범위 0.8~1.25 GHz에 대해 출력의 위상 차이가 90°±5°를 유지함으로써 광대역 90° 커플러를 작은 크기로 만들 수 있었다. 동 주파수 범위에 대해 삽입 손실을 1.6 dB 이하로, 반사 손실을 10.1 dB 이상으로 유지 가능했다. 필자가 아는 한 이는 그 주파수 대에서 가장 작은 광대역 90° 커플러이며, MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)로 만들 경우 그 크기를 훨씬 더 줄일 수 있을 것이다.

## Abstract

By using LHTL(Left-Handed Transmission Line) which is a form of a metamaterial and conventional RHTL (Right-Handed Transmission Line), we designed, fabricated and tested a broadband 90° coupler which is a basic circuit for I-Q vector signal generation. Synthetic LHTL and RHTL were implemented with capacitors and inductors only, that the size is minimized. Also, by implementing a Wilkinson power divider which is required for the suggested circuit using a synthetic RHTL, the size of whole circuit is only 11 mm×12 mm. For the frequency range 0.8~1.25 GHz, the phase difference at the outputs maintained 90°±5° and thus, a broadband 90° coupler could be made in a compact form. for the same frequency range, the insertion loss is less than 1.6 dB and return loss is more than 10.1 dB. To the best of our knowledge, this is the smallest and broadband 90° coupler for the frequency range and if the circuit is made with MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) technology, the size will be reduced much further.

Key words : RHTL, LHTL, Metamaterial, Quadrature, Broadband Coupler

## I. 서 론

3 dB 동등 전력분배기 종류 중에서 출력의 위상이 같은 경우, Wilkinson 분배기를, 90° 위상차를 위

해서는 Quadrature Hybrid를, 180° 위상차를 가지기 위해서는 Ring Hybrid 회로를 많이 이용해 왔다.

최근 메타 물질의 한 형태인 LHTL(Left-Handed Transmission Line)의 특성을 이용하여 광대역 180° 위

「이 연구는 2011년도 전력산업융합원천사업의 지원(한국에너지기술평가원 과제번호: 20111020400270)에 의해 이루어졌음.」

경북대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

· Manuscript received April 17, 2012 ; Revised May 15, 2012 ; Accepted May 24, 2012. (ID No. 20120417-044)

· Corresponding Author : Hongjoon Kim (e-mail : hongjoon@knu.ac.kr)

상차를 가지는 발룬(balun)을 소개하는 연구들이 진행되었다<sup>[1]~[4]</sup>. 이 LHTL은 기존의 RHTL(Right-Handed Transmission Line)과 달리, 위상의 전파 방향이 poynting 벡터의 반대방향으로 일어난다. 이러한 발룬들은 대부분의 경우, 많은 면적을 차지하는 Wilkinson 분배기를 이용하였고, 긴 마이크로스트립(microstrip) 라인을 이용하여서<sup>[1]~[3]</sup> 회로의 크기가 너무 커지는 단점들이 있었다. 참고문헌 [4]에서는 이러한 광대역 발룬을 Lumped 소자로 구성하여 회로 크기를 줄이려 하였다. 또한, 참고문헌 [5], [6]과 같이 Lumped 소자를 이용하여 그 크기를 줄이고, 광대역화 한 90° 커플러에 대한 논문들이 있으나, 본 논문과 같이 Wilkinson 디바이더와 RHTL과 LHTL의 특성을 이용하여 광대역, 초소형화한 논문은 찾아볼 수가 없었다.

본 논문에서는 기존의 LHTL과 RHTL의 특성을 이용한 광대역 발룬을 응용하여 광대역 90° 커플러를 설계 제작하였으며, 회로 구성에 필요한 Wilkinson 분배기를 비롯한 모든 TL(Transmission Line)을 커패시터와 인덕터로 조합된 합성 TL로 대체함으로써 그 크기를 획기적으로 줄였다.

## II. 합성 RHTL과 LHTL을 이용한 광대역 90° 커플러

### 2-1 합성 RHTL과 LHTL

합성 RHTL과 LHTL에 대한 이론은 참고문헌 [7]에서 자세하게 소개되어 있으므로 여기서는 광대역 90° 커플러를 이해하기 위한 간단한 이론만을 제시한다. 그림 1은 한 유닛 단위의 합성 RHTL의 구조를 보여준다. 이 유닛을 무한대로 직렬 연결하면 차단(cutoff) 주파수가 생기는데, 이를 합성 RHTL에서 Bragg 주파수라 하며, 아래와 같이 계산된다.

$$f_{Bragg}^{RH} = \frac{1}{\pi \sqrt{L_R C_R}} \quad (1)$$

합성 RHTL에서 주파수가 Bragg 주파수보다 훨씬 낮을 경우 특성 임피던스( $Z_{0R}$ )와 위상 계수( $\beta_R$ )는 다음식으로 각각 근사화 할 수 있다.

$$Z_{0R} \approx \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \quad (2)$$

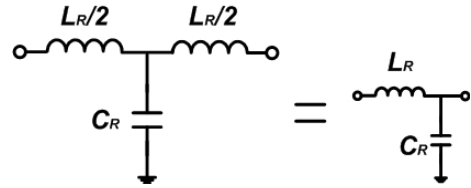


그림 1. 합성 RHTL의 구조  
Fig. 1. Structure of synthetic RHTL.

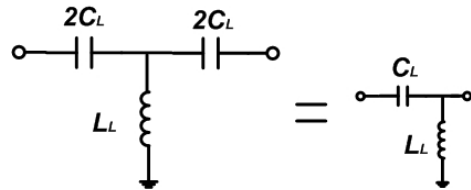


그림 2. 합성 LHTL의 구조  
Fig. 2. Structure of synthetic LHTL.

$$\beta_R \approx \omega \sqrt{L_R C_R} \quad (3)$$

한편, 그림 2는 한 유닛 단위의 LHTL 구조이며, 이 유닛을 무한대로 연결하면 합성 LHTL에서의 Bragg 차단 주파수가 생기는데 그 값은 아래 식 (4)와 같으며, 또한 특성 임피던스( $Z_{0L}$ )와 위상 변위 계수( $\beta_L$ )는 식 (5)와 식 (6)으로 각각 근사화 된다.

$$f_{Bragg}^{LH} = \frac{1}{4\pi \sqrt{L_L C_L}} \quad (4)$$

$$Z_{0L} \approx \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} \quad (5)$$

$$\beta_L \approx -\frac{1}{\omega \sqrt{L_L C_L}} \quad (6)$$

여기서 위상 계수가 음수이므로 위상의 전파가 전력의 전파 방향과 반대가 되므로 메타 물질의 한 형태가 된다.

### 2-2 RHTL과 LHTL을 이용한 광대역 90° 위상차

그림 3은 RHTL과 LHTL의 이론에 근거한 각각의 TL내에서의 위상의 전파와 그 둘의 위상 차이를 나타낸 그래프이다. 여기서  $L_R=6.6$  nH,  $C_R=2.7$  pF,  $L_L=12$  nH,  $C_L=5$  pF를 사용하였다. LHTL과 RHTL 각각 한 유닛만을 사용하였으며, 원하는 광대역 위상 차이를 얻기 위해서 이전 절에서 설명한 공식에 의거

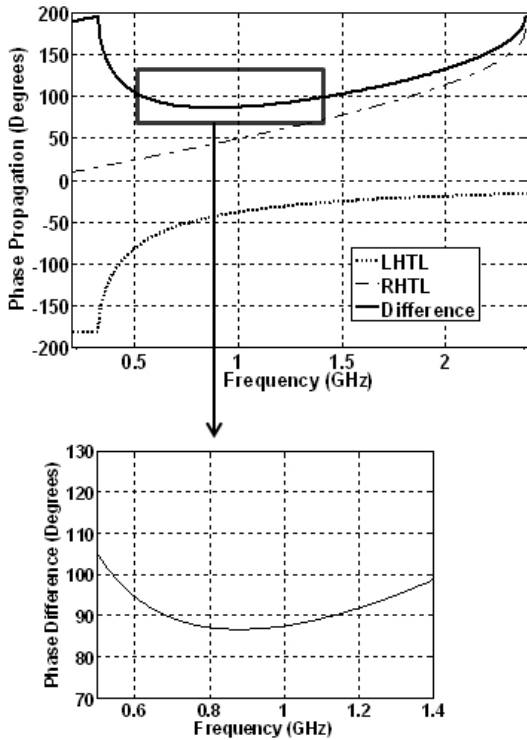


그림 3. 이론적 RHTL과 LH-TL의 위상 변위와 위상차  
Fig. 3. Theoretical phase variation of RHTL and LH-TL and the difference between them.

하여 적절한 인덕터와 커패시터 값을 찾아야 한다. 그림 3에서 보듯이 이론적으로 위에서 제시한 인덕터와 커패시터 값을 쓸 경우, 두 TL의 위상 차이가  $90^\circ \pm 5^\circ$ 가 되는 주파수가 0.6~1.3 GHz로써, 광대역으로 나타난다. 이는 LH-TL의 특이한 위상 전파 특성을 이용한 것이다.

2-3 RHTL을 이용한 Wilkinson 디바이더

실제 이러한 회로를 현대의 무선 통신 시스템이나 레이더 시스템에서 사용할 경우, 그 크기가 문제가 된다. 광대역  $90^\circ$  커플러를 만들 때 신호를 두 개로 나눈 후에 하나는 LH-TL을, 다른 하나는 RHTL을 통과시킨 후 그 위상 차이를 이용하는데, 광대역으로 신호를 분리할 수 있는 Wilkinson 디바이더가 필요하다.

Wilkinson 디바이더를 만들 때 두 개의  $\sqrt{2}Z_0$ ,  $\lambda/4$  라인이 필요한데, 이를 앞절에서 제시한 RHTL의 이론을 이용하여 합성 RHTL로 바꾸면 합성 RHTL

로 만든 초소형 Wilkinson 디바이더를 만들 수 있다. 실제 실험에서는  $L_R=8.2$  nH,  $C_R=1.8$  pF를 사용하였고, 두 개의 동일한 RHTL 유닛을 직렬 연결하여 만들었다. 따라서, 1 GHz 근처에서  $90^\circ$ 정도 위상이 전파되어 최고의 성능을 가질 수 있도록 설계하였다.

III. 실험 결과

그림 4는 제작된 광대역, 초소형  $90^\circ$  커플러를 보여준다. FR4 보드 위에, AVX Corporation의 ACCU-L0603KITL2킷 인덕터와 ACCU-P0603KITL1킷 커패시터를 사용하여 제작하였다.

2-3절에서 설명한 값의 인덕터와 커패시터를 이용하여 Wilkinson 디바이더를 합성 RHTL로 구성하였으며, 또한 2-2절에서 제시한 값들로 한 유닛의 RHTL과 LH-TL을 Wilkinson 디바이더의 출력에 각각 연결하여 두 포트 사이에서(포트 2와 3) 광대역,  $90^\circ$  위상차를 가지도록 하였다. 입력력부를 제외하고 순수한 회로의 크기는 11 mm×12 mm로 만들 수 있었다. 만약 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) 기술을 이용하여 만들 경우, 그 크기를 현저히 축소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

그림 5는 제작된 광대역, 초소형  $90^\circ$  커플러의 성능을 보여준다. 0.5 GHz에서 1.3 GHz까지 반사 계수는 10.1 dB 이상으로 유지할 수가 있었고, 삽입 손실은 0.7 dB에서 1.6 dB 사이였다. 하지만 위상차가

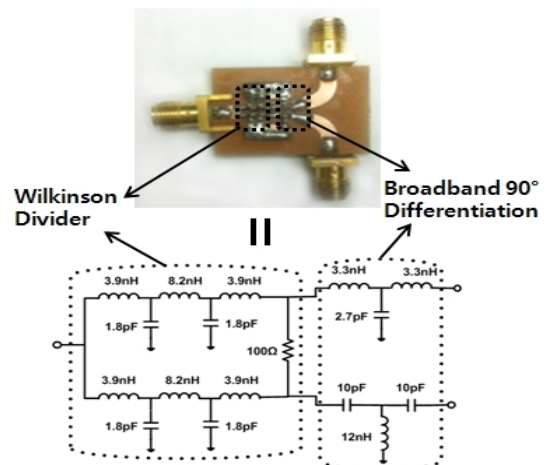
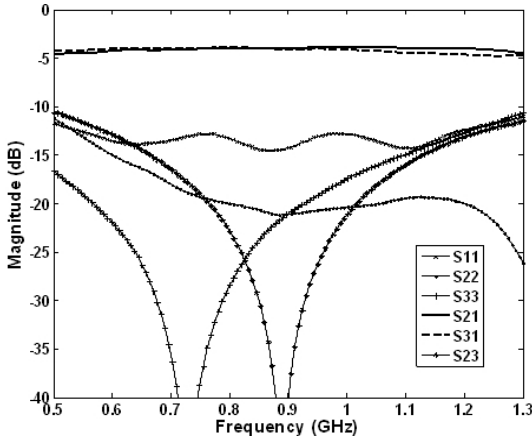
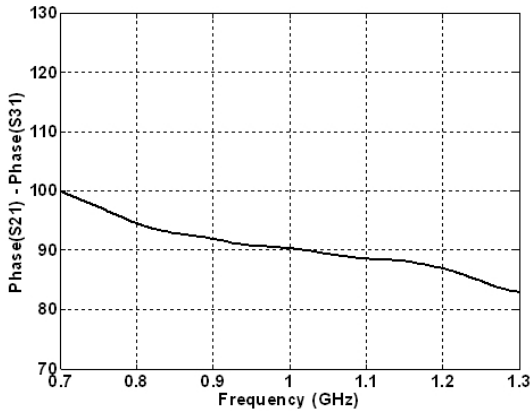


그림 4. 제작된 광대역, 초소형  $90^\circ$  커플러  
Fig. 4. Broadband and compact  $90^\circ$  coupler.



(a) S-parameter 크기  
(a) Magnitude of S-parameter



(b) 출력에서의 위상차  
(b) Phase difference at the output

그림 5. 광대역, 초소형 90° 커플러의 성능  
Fig. 5. Performance of broadband and compact 90° coupler.

90°±5°인 주파수가 0.8 GHz에서 1.25 GHz 사이로 그림 3의 이론치보다 조금 협대역으로 형성이 되었다. 오차의 범위를 축소시킬 경우, 좀 더 협대역이 되나, 기존의 Quadrature Hybrid보다는 광대역이며 소형으로 출력에서 90° 근처의 위상차를 유지하였다. 이론치와 실제치가 다른 이유는, 실제 제작시 납땜의 패러시틱(parasitic), Lumped 소자의 오차 등에서 기인한다고 보여진다. MMIC 기술을 이용하여 제작시 이러한 오차를 최소화 할 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

메타 물질의 한 형태인 LHTL의 특이한 위상 전파

특성을 이용하여 광대역 I-Q 벡터 변조기의 필수 회로인 광대역 90° 커플러를 제작하고 테스트 하였다. 광대역 90° 위상 차이를 가지기 위해, 합성 RHTL과 LHTL 회로에 관한 이론을 설명하였으며, 또한 제안된 커플러의 기본이 되는 Wilkinson 디바이더를 합성 RHTL로 소형화 할 수 있는 이론도 함께 제시하였다. 작은 크기와 뛰어난 성능으로 인해 무선 통신이나 레이더 시스템에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] M. Antoniadis, G. Eleftheriades, "A broadband Wilkinson balun using microstrip metamaterial lines", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 4, pp. 209-212, 2005.
- [2] Y. Ryu, J. Park, J. Lee, and H. Tae, "Broadband Wilkinson balun using pure left-handed transmission line", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, pp. 1665-1668, Apr. 2010.
- [3] C. Tseng, C. Chang, "Wide-band balun using composite right/left-handed transmission line", *Electronics Letters*, vol. 43, no. 21, pp. 1154-1155, Oct. 2007.
- [4] H. Yoo, S. Lee, and H. Kim, "Broadband balun for monolithic microwave integrated circuit application", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, pp. 203-206, Nov. 2011.
- [5] D. Andrews, C. Aitchison, "Wide-band lumped-element quadrature 3-dB couplers in microstrip", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, no. 12, pp. 2424-2431, Dec. 2000.
- [6] Z. Liu, R. Weikle II, "A compact quadrature coupler based on coupled artificial transmission lines", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 12, pp. 889-891, Dec. 2005.
- [7] H. Kim, S. Ho, M. Choi, A. Kozyrev, and D. van der Weide, "Combined left- and right-handed tunable transmission lines with tunable passband and 0 phase shift", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 12, pp. 4178-4184, Dec. 2006.