

중심주파수에서 원하는 위상변위가 가능한 대역통과 필터

A Bandpass Filter with a Desired Phase Shift at The Center Frequency

김 홍 준*
 (Hongjoon Kim)

Abstract - By cascading RHTL (Right-Handed Transmission Line) and LH TL (Left-Handed Transmission Line), we fabricated a BPF (Band Pass Filter) in which the phase propagation at the pass band center frequency is fixed as we want. We utilized a positive phase propagation of a RHTL which is a form of LPF (Low Pass Filter) and negative phase propagation of LH TL which is a form of HPF (High Pass Filter). Therefore, if RHTL and LH TL are cascaded, a BPF can be constructed and the phase propagation inside the passband is decided by the number of RHTLs and LH TLs. In this paper, we provide a detailed theory related to it and proved the theory with an actual experiment. In the experiment, we fabricated two BPFs with similar passband. One with 90° phase shift and the other with -90° phase shift at the center of passband. The result of simulation and actual experiment agrees well. This proves the suggested theory is correct and feasible.

Key Words : RHTL, LH TL, BPF, Metamaterial, Phase shift

1. 서 론

BPF(Band Pass Filter)는 현대의 무선통신이나 레이더 시스템에서 원하는 신호를 뽑아내고 잡음을 걸러내기 위한 회로이다. 많은 종류의 BPF가 있지만 가장 기본이 되는 것은 인덕터와 커패시터의 조합으로 만들어진 BPF이다.

최근 메타물질의 1차원적 형태인 LH TL (Left-Handed Transmission Line)을 이용한 새로운 고주파 회로들이 선보이고 있다.[1]-[5] 이 특수형태의 메타물질 내에서는 위상이 부(-)의 방향으로 전파를 하며, 커패시터가 직렬로 연결되어 있고 인덕터가 병렬로 삽입되어있는 구조이므로 HPF(High Pass Filter) 형태의 구조이다.

기존의 TL(Transmission Line)은 위상이 정(+)의 방향으로 전파하며, Lumped 소자로 만들 경우 인덕터가 직렬로 연결되어있고, 커패시터가 병렬로 삽입되는 구조이므로 LPF(Low Pass Filter) 형태의 구조가 된다. 새로운 LH TL과 구분하기 위하여 기존의 TL을 RHTL(Right-Handed Transmission Line)이라 한다[5]

본 논문에서는 RHTL과 LH TL을 직렬 연결하여 BPF를 구성하였으며, 각 TL의 특성을 이용하여 중심주파수에서 원하는 만큼의 위상변위가 일어나도록 설계하였다. 특히 위상 변위, 차단주파수 (Cut-off frequency)와 특성임피던스와의 관계를 이론적으로 설명하고 실험적으로 이를 증명 하였다.

2. 원하는만큼의 위상변위가 가능한 BPF 이론

2.1 RHTL과 LH TL의 이론

그림 1의 (a)와 (b)는 RHTL과 LH TL의 구조를 각각 나타낸다. 그림 1(a)의 RHTL은 LPF형태이므로, 같은 형태로 계속 직렬 연결할 경우 주기적인 차단 (cutoff) 주파수가 생기는데 이를 Bragg 차단 주파수라고 하며, 그 값은 아래와 같다.

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

여기서 L_R 은 직렬 인덕터이고 C_R 은 병렬 커패시터이다. 이 합성 TL에서 특성임피던스 Z_{0R} 은 다음과 같이 근사화 된다.

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

여기서 위상 변위 계수(β_R)을 계산하면[5]

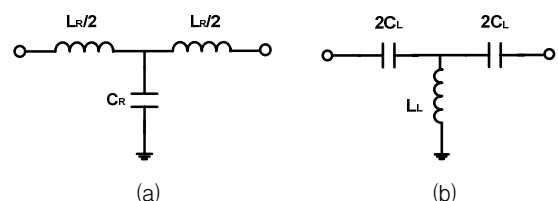


그림 1 RHTL과 LH TL의 구조. (a) RHTL (b) LH TL
 Fig. 1 Structure of RHTL and LH TL. (a) RHTL (b) LH TL

* 정 회 원 : 경북대학교 전기공학과 교수

E-mail : hongjoon@knu.ac.kr

접수일자 : 2012년 5월 23일

최종완료 : 2012년 6월 26일

$$\cos(\beta_R) = 1 - (2\pi f)^2 \frac{L_R C_R}{2} \quad (3)$$

와 같이 된다. 여기서 β_R 이 180° 가 되는 주파수가 Bragg 차단 주파수가 된다.

한편 그림 1의 (b)의 LHTL은 HPF 형태이고 같은 모양을 직렬 연결하면 Bragg 차단 주파수와 특성 임피던스(Z_{0L})와 위상 변위 계수(β_L)는 다음과 같이 계산된다.

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

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

$$\sin(\beta_L/2) = -\frac{1}{4\pi f \sqrt{L_L C_L}} \quad (6)$$

여기서 β_L 이 -180° 가 되는 주파수가 Bragg 차단 주파수가 되며 위상이 부(-)전파를 하므로 메타물질의 한 형태가 되며 1차원적 전송선로 구조이므로 LHTL이라고 한다.

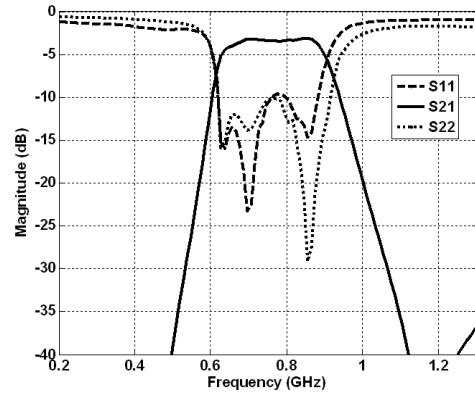
2.2. 원하는 만큼의 위상변위가 가능한 BPF

기본적으로 몇 개 섹션의 RHTL과 몇 개 섹션의 LHTL을 직렬 연결하면 BPF가 된다. BPF의 좌, 우측 차단 주파수는 식 (4)와 식 (1)에서 각각 계산할 수 있다. 개수가 많을수록 차단주파수에서의 스킵트 특성이 좋아지지만 대역통과 주파수에서 삽입손실이 커지게 된다.

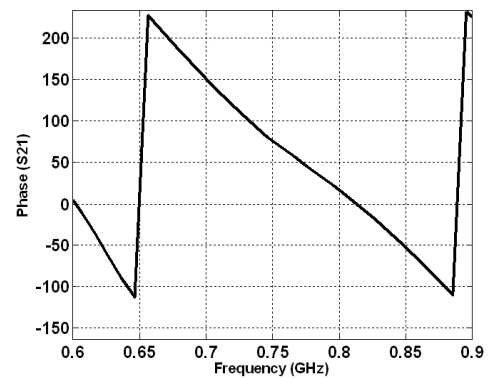
양 (+)위상 전파를 하는 RHTL과 음 (-)위상 전파를 하는 LHTL을 적절히 조합함으로써, BPF의 중심 주파수에서 원하는 만큼의 위상 변위를 조절 할수 있다. 즉 $0^\circ \pm 180^\circ$ 의 위상을 중심 주파수에서 원하는 만큼 가질수 있게 되며, 위상변위 각도는 RHTL과 LHTL의 갯수, L_R , C_R , L_L , C_L 의 값에 따라 달라지게 된다. 설계시 차단주파수와 중심주파수에서의 위상변위, 드리고 필터의 특성임피던스등을 고려하여 설계 하여야 한다.

3. 실험 결과

두 종류의 BPF를 LHTL과 RHTL을 이용하여 구성하였다. 둘 다 거의 비슷한 차단주파수를 가지도록 설계하였으나, 하나는 중심주파수 근처에서 90° 위상변위를 (BPF_A라 한다), 다른 하나는 -90° 의 위상 변위를 (BPF_B라 한다) 가지도록 하였다. BPF_A는 3개의 RHTL 섹션과 4개의 LHTL로, BPF_B는 4개의 RHTL 섹션과 3개의 LHTL로 각각 구성 하였다. RHTL과 LHTL을 구성하기 위해 $L_R = 15$ nH, $C_R = 6.8$ pF, $L_L = 6.8$ nH $C_L = 2.7$ pF을 각각 사용 하였다. RHTL과 LHTL 각각 식 (2)와 식 (5)에 따라 특성임피던스를 50Ω 정도로 맞추기위해 L과 C값을 선택하였고, FR4 보드위에 Johanson Technology의 L603DC 인덕터 킷의 인덕터와 S603DS 커패시터 킷의 커패시터를 각각 사용 하였다. 시뮬레이션 결과 BPF_A는 중심주파수에서 총 위상 전파가 -90° (90° 위상 지연)가 되었고, BPF_B는 중심주



(a)



(b)

그림 2 중심주파수에서 90° 위상변위를 가지는 BPF (BPF_A). (a) 삽입과 반사 손실 (b) 위상 변위

Fig. 2 A BPF with 90° around passband center frequency (a) Insertion and return loss (b) phase shift

파수에서 총 위상 전파가 90° (-90° 위상 지연)임을 알수 있었다.

그림 2는 중심주파수 근처에서 90° 위상 변위가 일어나도록 만든 BPF (BPF_A)의 결과이다. 그림 2의 (a)에서 보듯이 Passband를 -6 dB로 설정할 경우 Passband는 0.62 GHz \sim 0.90 GHz이다. 따라서 0.76 GHz가 중심 주파수이며 동주파수에서의 위상변위는 68° 였으며, 정확히 90° 인 주파수는 0.74 GHz였다.

그림 3은 중심주파수 근처에서 -90° 위상 변위가 일어나도록 만든 BPF이다. 그림 3의 (a)에서 보듯이 Passband를 -6 dB로 설정할 경우 Passband는 0.62 GHz \sim 0.87 GHz이다. 따라서 0.745 GHz가 중심 주파수이며 동주파수에서의 위상변위는 -116° 였으며, 정확히 -90° 인 주파수는 0.73 GHz였다.

따라서 두 BPF는 서로 비슷한 Passband를 가지나, BPF_A는 0.74 GHz에서 90° 의 위상 변위를, BPF_B는 그 근처인 0.73 GHz에서 -90° 의 위상변위를 가질 수 있게 되었다.

한편 BPF_B의 저지대역 스킵트 특성이 BPF_A보다 좀더 나빠 보이는데, 이는 더많은 수의 RHTL과 LHTL을 사용함으로써 해결할 수 있으나, 이 경우 통과대역에서의 삽입손실이 더욱 커질 것으로 보인다.

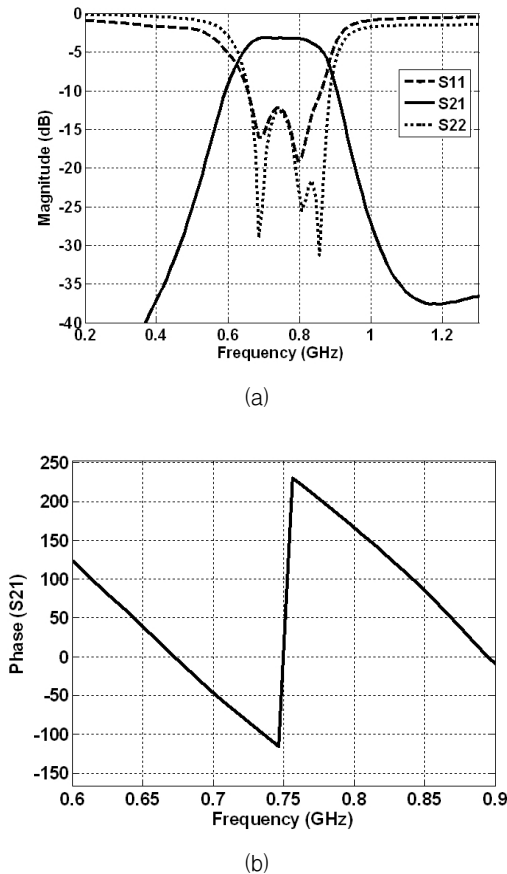


그림 3 중심주파수에서 -90° 위상변위를 가지는 BPF (BPF_B). (a) 삽입과 반사 손실 (b) 위상 변위
 Fig. 3 A BPF with -90° around passband center frequency (a) Insertion and return loss (b) phase shift

4. 결 론

RHTL의 LPF특성과 양(+) 위상전파의 특성을 이용하고 또한 LH TL의 HPF특성과 음(-) 위상전파의 특성을 이용하여, Passband 중심주파수에서 원하는 만큼의 위상변위가 가능한 BPF를 선 보였다. 필자가 아는한 이는 다른 어떤 논문에서도 보지 못한 RHTL과 LH TL의 특성을 이용하였으며, 무선통신과 RADAR등의 시스템에서 필터링과 원하는 만큼의 위상변위가 동시에 요구될 때 하나의 부품으로 두가지의 효과를 볼수 있도록 하는 회로이다.

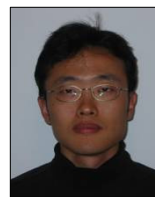
감사의 글

본 연구는 2011년도 전력산업융합원천사업 (한국에너지 기술평가원 과제번호: 20111020400270)의 지원에 의해 이루어 졌음.

참 고 문 헌

- [1] Hongjoon Kim, Alexander B. Kozyrev, Abdolreza Karbassi and D. W. van der Weide, "Linear Tunable Phase Shifter Using a Left-Handed Transmission Line," IEEE Microwave Wireless Comp. Lett. Vol.15, no.5, pp. 366-368, May. 2005.
- [2] C. Caloz, A. Sanada, and T. Itoh, "A novel composite right-/left-handed coupled-line directional coupler with arbitrary coupling level and broad bandwidth," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.52, no.3, pp. 980-992, March 2004.
- [3] M. A. Antoniadis and G. V. Eleftheriades, "Compact linear lead/lag metamaterial phase shifters for broadband applications," IEEE Antennas and Wireless Propagation Lett., vol.2, pp.103-106, 2003.
- [4] A. B. Kozyrev, D. W. van der Weide, "Nonlinear Wave Propagation Phenomena in Left-Handed Transmission Line Media," IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech ,vol.53, no.1, pp. 238-245, Jan. 2005.
- [5] Hongjoon Kim, Sung-Jin Ho, Min-Ki Choi, Kozyrev, A.B, van der Weide, D.W, "Combined Left- and Right-Handed Tunable Transmission Lines With Tunable Passband and 0° Phase Shift," Microwave Theory and Techniques, IEEE Trans. on , vol.54, no.12, pp.4178-4184, Dec. 2006.

저 자 소 개



김 홍 준 (金 洪 俊)

1972년 10월 4일생. 1997년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1999년 University of Southern California 전기공학과 졸업(공학 석사). 2006년 University of Wisconsin-Madison 전기공학과 졸업(공학박사). 2006.9~2011.2 미국 City university of New York 조교수. 2011.3~현재 경북대학교 전기공학과 조교수
 Tel : 053-950-5601
 Fax : 053-950-6600
 E-mail : hongjoon@knu.ac.kr