

메타매질 전송선로를 이용한 불요 공진모드 제거용 마이크로스트립 대역통과 필터

Microstrip Bandpass Filter for Spurious Resonant Mode Rejection using Metamaterial Transmission Line

양두영*, 이민수**

제주대학교 통신공학과*, 대진대학교 통신공학과**

Doo-yeong Yang(yeongyd@jejunu.ac.kr)*, Min-soo Lee(lmssoo@daejin.ac.kr)**

요약

본 논문에서는 마이크로스트립 전송선을 이용하여 필터를 구현할 때 고조파 대역에서 나타나는 불요 공진모드 특성을 제거하도록 DCRLH 메타셀을 헤어핀 공진기와 결합하여 기본 통과대역 신호만을 전달하는 마이크로스트립 대역통과 필터를 설계하고 제작하였다. 대역통과 필터는 불요 고조파 통과특성을 제거하기 위한 DCRLH 메타셀 전송선로와 통과대역 신호를 잘 전달하기 위한 CCRLH 헤어핀 공진기로 구성하였다. DCRLH 성질을 갖는 인터디짓 메타셀(Interdigit Meta-cell)은 필터회로의 입력단과 출력단에 병렬로 삽입하였고, CCRLH 대역통과 성질을 갖는 헤어핀공진기(Hairpin Resonator)는 두개의 DCRLH 메타셀 사이에 설치하였다. 이렇게 구성함으로써 저지대역에서 나타나는 불요고조파신호를 억제시킬 수 있었고, 필터의 대역통과 성능을 개선할 수 있었다. WCDMA 이동통신과 WiBro 무선 인터넷 통신을 동시에 수행할 목적으로 제작된 마이크로스트립 대역통과 필터는 1.91GHz~2.41GHz의 통과대역에서 삽입손실은 0.2dB로 나타났고, 3GHz~7.5GHz의 저지대역에서 감쇄특성은 -30dB 이하로 양호한 성능을 나타내었다.

■ 중심어 : | 인터디짓 메타셀 | 헤어핀공진기 | 마이크로스트립 대역통과필터 | 불요고조파 대역저지 |

Abstract

In this paper, microstrip bandpass filter combined DCRLH metamaterial-cells with a hairpin resonator is designed and fabricated to be transferred only fundamental passband signal, and removed a spurious resonant mode occurring when filter design using a microstrip transmission line is done. The bandpass filter is composed of CCRLH hairpin resonator and DCRLH interdigit metamaterial-cells. The hairpin resonator with CCRLH property is implemented between two DCRLH interdigit metamaterial-cells with DCRLH property, which is parallel to input port and output port. The interdigit metamaterial-cells suppress spurious harmonics occurring on the higher order frequency and improve a filter performance. Insertion loss of the fabricated microstrip bandpass filter on the passband from 1.91GHz to 2.41GHz is 0.2dB, and attenuation on the stopband from 3GHz to 7.7GHz is bellow than -30dB. Therefore, this filter has a good performance for both mobile communications of WCDMA and wireless internet of WiBro.

■ keyword : | Interdigit Metamaterial-cell | Hairpin Resonator | Microstrip Bandpass Filter | Spurious Harmonic Suppress |

* 이 논문은 2009년도 대진대학교 학술연구지원비로 수행되었습니다.

접수번호 : #091013-007

접수일자 : 2009년 10월 13일

심사완료일 : 2009년 12월 01일

교신저자 : 이민수, e-mail : lmssoo@daejin.ac.kr

I. 서론

하나의 통신단말기를 가지고 다양한 주파수대역에서 이루어지는 고품질 정보통신 서비스를 제공받기 위해서는 기존의 통신부품과는 다른 새로운 기능을 담당하는 다중대역소자와 다기능 소자들이 필요하다. 특히 이동성이 요구되는 휴대용 무선통신 단말기들은 부가적인 주변장치의 구성없이도 작은 크기를 가지면서 다양한 기능을 제공할 수 있어야 한다. 최근에 기존의 기술을 극복하고 소형화와 다기능화를 동시에 이룰 수 있는 대안으로 메타매질(MTM: metamaterial)에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이에 따른 상용화 기술들이 개발되고 있다. 메타매질은 매우 특수한 방법으로 전자기 특성을 변경시킬 수 있도록 인공적으로 만들어진 복합 재료로써 유전율과 투자율이 동시에 음의 값을 갖는다[1]. 따라서 다양한 메타매질 구조를 사용하면 이전에는 불가능했던 전자파의 진폭, 위상, 주파수 및 파수를 제어할 수 있게 된다. 초고주파 신호를 전송하는 이상적인 무손실 전송선로는 등가적으로 직렬인덕턴스와 병렬 캐패시턴스의 구조를 지니므로 기본적으로 저역통과 전달특성을 갖게 되고, 전송선로 매질의 유전율과 투자율, 전자파의 위상속도와 군속도 모두 양의 값을 갖는다. 따라서 이러한 일반적인 전송선로 매질구조를 RH(Right Handed) 전송선로라 한다. 그러나 전송선로 매질의 구성을 상대적으로 바꾸어 등가적으로 직렬 캐패시턴스와 병렬 인덕턴스의 구조를 갖게 하면 고역통과 전달특성을 갖게 되고, 유전율과 투자율이 모두 음의 값을 갖는 NRI(Negative Refractive Index) 전송매질이 형성된다. NRI 매질 안에서 전자파는 RH 전송선로와 달리 전송방향과 반대인 음의 위상속도를 갖게 되므로 LH(Left Handed) 전송선로라고 한다[2][3].

일반적인 RH 전송선로에서는 전자파의 진행방향으로 비례하여 전기적 길이가 늘어나는 반면, LH 특성을 나타내는 메타매질 내에서는 전자파의 위상 흐름이 역방향으로 형성되기 때문에 회로의 소형화, 위상제어, 다중대역에서의 동위상 확보가 가능하므로 통신부품을 설계하는데 있어서 매우 다양한 응용성을 지닌다. 전자기적으로 균일성이 유지되는 순수한 LH 전송선로 물질

은 군속도의 한계가 제한되지 않아서 빛의 속도보다도 더 커 질수 있다. 그러나 인위적으로 구성된 LH 전송선로는 낮은 주파수대에서는 LH 성질을 주로 갖지만 높은 주파수에서는 RH 성질이 우세하게 되어 군속도를 제한하게 되므로 사실상 LH와 RH 전송선로가 혼재된 CCRLH(Conventional Composite Right and Left Handed) 전송선로이다[4][5]. 그러나 CCRLH 전송선로 구조와는 반대로 쌍대적으로 메타매질 구조를 구성하면 낮은 주파수에서는 RH 성질이 우세하고 높은 주파수에서는 LH 성질을 갖는 DCRLH(Dual CRLH) 구조가 된다[6][7].

본 논문에서는 일반적인 전송선로를 이용하여 필터를 구현할 때 배수차 주파수에서 반복적으로 나타나는 불요공진모드 특성을 제거할 수 있도록, 앞에서 언급한 두종류의 CRLH 마이크로스트립 전송선로를 결합시켜 저지대역에서 나타나는 고조파 성분들을 제거할 수 있는 마이크로스트립 대역통과 필터를 설계한다. 대역통과 필터는 고조파 통과특성을 제거하기 위한 DCRLH 전송선로와 통과대역 신호를 잘 전달하기 위한 CCRLH 전송선로를 복합적으로 사용하여 구성한다. 따라서 DCRLH 성질을 갖는 인터디짓 메타셀(Interdigit Meta-cell) 구조는 필터회로의 입력단과 출력단에 병렬로 삽입하고, CCRLH 대역통과 성질을 갖는 헤어핀공진기(Hairpin Resonator)는 두개의 DCRLH 메타셀 사이에 놓는다. 이렇게 구성하면 마이크로스트립 전송선로를 이용하여 대역통과 필터를 구성할 때 반복적으로 저지대역에서 나타나는 불요 고조파대역 공진모드 특성을 억제할 수 있고, 필터의 성능을 개선할 수 있다.

II. 불요 공진모드 제거용 메타매질 필터 구조

[그림 1]은 2GHz 주파수 대역에서 통신하는 WCDMA 이동통신과 WiBro 무선인터넷의 통신을 동시에 처리하기 위하여 DCRLH와 CCRLH 전송선로를 결합하여 구성된 대역통과 필터회로 패턴이다. 필터의 입력단과 출력단에는 마이크로스트립 필터를 구성할 때 나타나는 불요 고조파대역을 저지하기 위한

DCRLH 회로인 MTM 메타셀 대역저지회로가 연결되고, 중심부에는 통과대역을 형성하는 CCRLH 회로인 헤어핀공진기가 놓인다.

[그림 2]는 [그림 1]의 마이크로스트립 대역통과 필터를 DCRLH 성질을 갖는 인터디짓 MTM 구조인 전송선로와 헤어핀 공진구조인 CCRLH 전송선로의 등가회로를 나타낸 것이다.

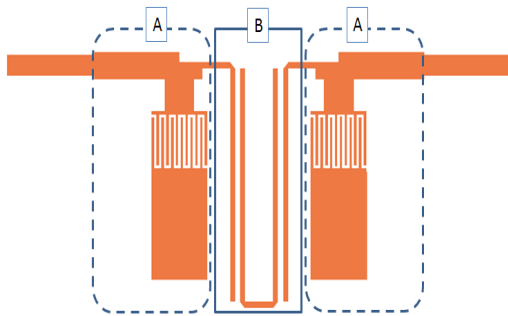


그림 1. DCRLH와 CCRLH 구조가 결합된 필터 회로

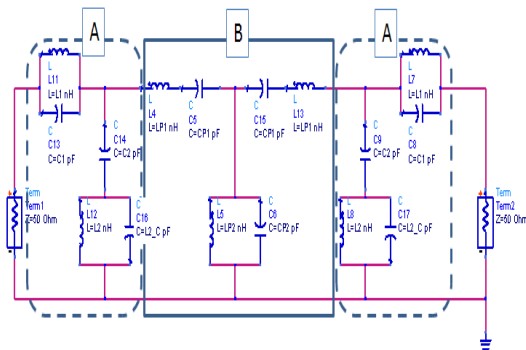


그림 2. 마이크로스트립 대역통과 필터의 등가회로

[표 1]은 [그림 2]에 나타낸 DCRLH 회로와 CCRLH 회로가 결합된 마이크로스트립 대역통과 필터의 등가회로 소자 값을 나타낸 것이다. 여기서 A는 [그림 1]과 [그림 2]의 DCRLH 메타셀을 나타낸 것이고, B는 CCRLH 특성을 갖는 커플링선로가 결합된 헤어핀 공진기를 나타낸 것이다.

표 1. 등가회로 회로소자 값

A: 메타셀(DCRLH)		B: 헤어핀공진기	
L1	0.3 nH	LP1	7.2 nH
C1	2.2 pF	CP1	0.9 pF
C2	1.4 pF	LP2	0.3 nH
L2	1.0 nH	CP2	17.2 pF
L2_C	0.1 pF		

[그림 3]은 헤어핀공진기로 구성된 CCRLH 전송선로의 신호전달 특성(S21)과 반사특성(S11)을 주파수축 상에 나타낸 것이다. 마이크로스트립 공진기의 반복적인 통과대역 특성으로 인하여 헤어핀 공진기의 기본 통과대역 주파수인 2.2GHz와 불요공진모드 주파수인 4.4GHz, 6.6GHz 등에서 고조파 통과대역 특성이 나타난다. 이러한 불요 공진모드 통과특성은 고조파 하모닉 성분들이 발생하는 통신회로에 있어서 신호전달에 나쁜 영향을 미치는 주요 원인이 된다. 따라서 기본대역 주파수인 2.2GHz를 제외한 불요 고조파 대역은 제거시켜야 한다. 일반적인 마이크로스트립 대역통과 필터회로에서 이러한 불요 공진모드를 제거하기 위해서는 고조파대역을 제거할 수 있도록 스키프 특성이 좋은 저역통과 필터(LPF)를 대역통과 필터(BPF)의 후단에 설치하여 대역통과 특성과 대역저지 성능을 향상시켜야 한다. 이렇게 구성되는 저역통과 필터는 차단 주파수 이상에서 감쇄특성이 크도록 설계해야하기 때문에 필터의 차수가 커지게 되고, 필터 전체의 규모가 커지는 원인이 된다.

[그림 4]는 마이크로스트립 대역통과 필터에서 나타나는 불요 고조파 대역을 대역저지하기 위하여 헤어핀 공진기 전단과 후단에 놓인 인터디짓 메타셀인 DCRLH 전송선로의 신호전달(S21)과 반사특성(S11)을 나타낸 그래프이다.

[그림 4]의 신호 전달(S21)과 반사 특성(S11) 그래프는 [그림 3]에서 반복적으로 나타나는 불요 공진모드인 4.4GHz, 6.6GHz의 고조파 통과대역을 제거하도록 설계하여 나타낸 것이고, 기본 통과대역인 2.2GHz 대역의 성능만을 향상시키도록 고안되었다.

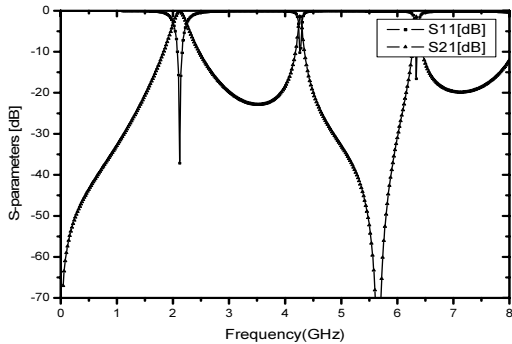


그림 3. CCRLH 헤어핀 공진기의 신호 전달 및 반사특성

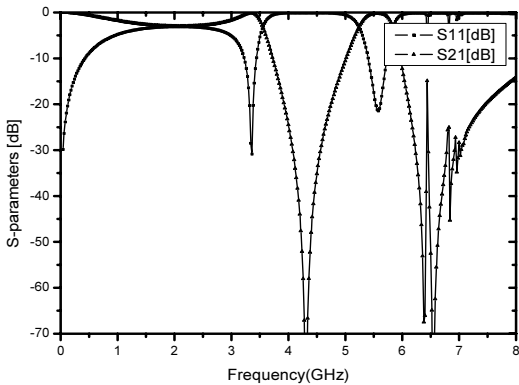


그림 4. DCRLH 인터디지트 MTM 메타셀의 신호 전달 및 반사특성

III. 메타매질 대역통과 필터 설계

[그림 5]는 초고주파 회로설계용 시뮬레이터인 ADS를 사용하여 [그림 1]의 회로 패턴을 갖도록 마이크로스트립 기판 상에 구성한 메타매질 대역통과 필터의 회로 설계도이다. 필터의 중심부에는 대역통과 특성을 갖는 헤어핀 공진기가 놓여있으며, 공진기의 입력단과 출력단에는 MTM 메타셀 회로가 연결되어 있다. 이 MTM 메타셀 회로는 마이크로스트립으로 대역통과 필터를 구현할 때 반복적으로 나타나는 불요 고조파 공진모드의 통과대역 특성을 억제시킨다. 설계과정에 있어서 필터의 통과대역 특성을 분석하기 위하여 입력신호원은 저주파에서부터 8GHz 이하에서 설정하였으며, 통

과대역내의 리플은 0.1dB, 저지대역에서의 감쇄특성은 -30dB 범위로 설정하였다. 그리고 8GHz 이하의 저지대역에서 나타나는 불요 고조파 공진모드는 모두 제거하도록 설계하였다.

[그림 6]은 [그림 5]의 회로설계 패턴이 양호한 특성을 갖도록 최적화 시뮬레이션을 통하여 계산한 대역통과 필터의 신호전달 특성과 반사 특성을 나타낸 것이다. 통과대역은 1.9GHz~2.4GHz이고, -30dB 이하의 감쇄손실을 기준으로 저지대역은 3GHz~7.7GHz로 나타났다. WCDMA 이동통신 주파수대역과 WiBro 무선인터넷 주파수 대역을 동시에 포함하고 있다. 통과대역내의 리플특성은 설계기준에서 설정한 0.1dB 이고, 저지대역의 감쇄특성은 -30dB 이하로 나타났다. 그리고 기본통과대역인 2.2GHz 대역은 대역통과 특성을 그대로 유지하면서 4.4GHz 와 6.6GHz의 불요 고조파 공진모드는 -30dB 이하로 억제시켰다.

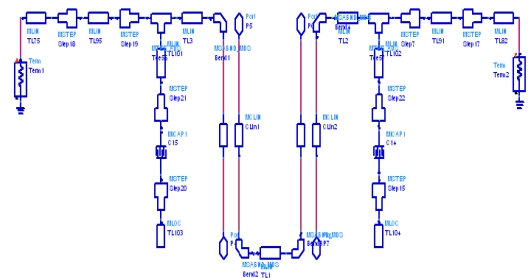


그림 5. 마이크로스트립 대역통과 필터 회로

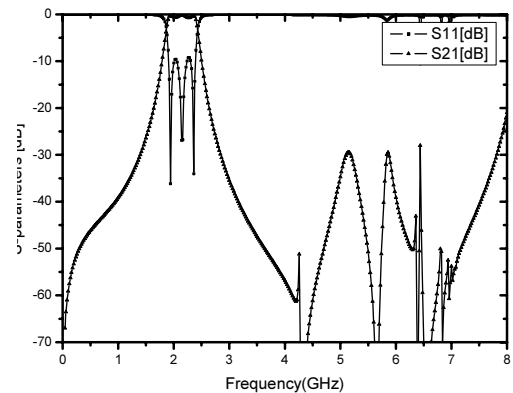


그림 6. 마이크로스트립 대역통과필터의 신호 전달 및 반사특성

IV. 필터 제작 및 특성 고찰

[그림 7]은 마이크로스트립 대역통과 필터의 레이아웃 패턴을 가지고 제작한 사진이다. 제작에 사용된 마이크로스트립기판은 비유전율이 3.5, $\tan\delta=0.0018$ 인 Taconic 사의 RF-35-0300을 사용하였고, 이 기판 위에 설계된 대역통과 필터의 회로 패턴을 감광, 현상, 그리고 에칭 과정을 통하여 제작하였다. 그리고 제작된 인쇄회로 기판(PCB)의 입출력 포트에 SMA 커넥터를 연결하여 필터를 완성하였다. 상기 과정을 거쳐 조립된 필터는 2.7cm*3.8cm의 소형화된 크기를 갖는다.

[그림 8]은 제작된 마이크로스트립 대역통과 필터를 가지고 VNA(Vector Network Analyzer)에 연결하여 측정된 실험 결과이다. 필터의 성능을 파악하기 위하여 입력신호원은 40MHz에서 8GHz 까지 인가하여 신호전달특성과 반사특성을 측정하였다. 측정결과 통과대역은 1.89GHz~2.41GHz에서 나타났고, 통과대역 내에서 삽입손실은 0.2dB, 통과대역내의 리플은 0.15dB, 그리고 3GHz~7.5GHz 대역에서 저지대역 특성은 -30dB 이하로 나타났다. 통과대역에서 설계치(1.89GHz~2.41GHz)와 측정치(1.89GHz~2.41)에 대한 통과대역 오차의 범위는 하한주파수와 상한주파수에서 ± 10 MHz를 벗어났고, 약 4% 정도의 대역이 넓어지는 현상이 나타났지만 통과대역 내의 삽입손실과 리플 특성 값은 0.2dB 이내로 양호한 값을 나타내었다. 따라서 이 논문에서 제안한 설계 방법을 이용하면 기본 통과대역 신호는 잘 전달시키면서 고조파 대역에서 발생하는 불요 고조파 공진모드는 효과적으로 억제시킬 수 있다.

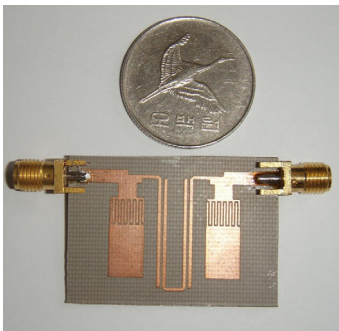


그림 7. 제작된 마이크로스트립 대역통과 필터 사진

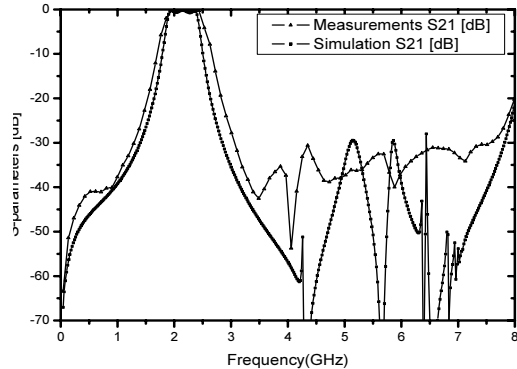


그림 8. 대역통과 필터의 신호전달 특성 비교

V. 결론

본 논문에서는 WCDMA 이동통신과 WiBro 무선인터넷통신 대역을 동시에 통과시킬 수 있는 마이크로스트립 대역통과 필터를 구현하였다. 일반적인 전송선로를 이용하여 필터를 구현할 때 배수차 주파수에서 반복적으로 나타나는 불요 고조파 공진모드 특성을 제거하기 위하여 헤어핀 공진기의 입력단과 출력단에 MTM 메타셀을 병렬구조로 연결하여 대역통과 필터를 설계하였고, 그 성능을 향상시켰다. 제작된 공진기의 개선된 필터의 성능을 측정된 결과, 1.89GHz~2.41GHz의 통과대역에서 삽입손실은 0.2dB 이내의 낮은 값을 나타내었으며, 저지대역의 감쇄특성은 -30dB 이하로 양호한 특성을 보였다.

본 논문에서 설계한 마이크로스트립 대역통과 필터는 2GHz 대역에서 무선통신을 담당하는 WCDMA 이동통신과 WiBro 무선 인터넷 통신을 동시에 수행할 목적으로 설계된 필터이다.

참고 문헌

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamic of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ", Soviet Physics Usp., Vol.10, No.4, pp.509-514, 1968(1).

[2] C. Caloz and T. Itoh, "Application of the transmission line theory of Left-Handed(LH) materials to the realization of a microstrip LH transmission line," IEEE-APS Int'l Symp., San Antonio, TX, Vol.2, pp.412-415, 2002(6).

[3] C. Caloz and T. Itoh, "Transmission line approach of left-handed materials and microstrip implementation of an artificial LH transmission line," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.52, No.5, pp.1142-1149, 2004(5).

[4] A. Sanada, C. Caloz, and T. Itoh, "Characteristics of the composite right/left-handed transmission lines," IEEE Microwave Wireless Compon. Lett., Vol.14, No.2, pp.68-70, 2004(2).

[5] L-H. Lin, M. D. Vincentis, C. Caloz, and Itoh, "Arbitrary dual-band components using composite right/left-handed transmission line," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.52, No.4, pp.1142-1149, 2004(4).

[6] C. Caloz, "Dual composite right/left-handed (D-CRLH) transmission line metamaterial," IEEE Microwave Wireless Comp. Lett., Vol.16, No.11, pp.585-687, 2006(11).

[7] C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic metamaterials: transmission line theory and microwave applications*, John Wiley & Sons, Inc., 2006.

저 자 소 개

양 두 영(Doo-Yeong Yang)

정회원



- 1984년 2월 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
- 1989년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)

▪ 1992년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 통신컴퓨터공학부 통신공학전공 교수

<관심분야> : RF회로 및 MMIC, 무선통신시스템

이 민 수(Min-Soo Lee)

정회원



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)

▪ 1995년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 통신공학과 교수

<관심분야> : 마이크로파 및 무선통신시스템, 안테나 및 전자파 전파