

CRLH 전송선로 대칭구조의 이중모드 평형 필터

Dual-Mode Balanced Filter in Symmetric Composite Right/Left-Handed Transmission Line Structure

김 영*, 심석현*, 윤영철**

Young Kim*, Seok-Hyun Sim* and Young-Chul Yoon**

요 약

본 논문은 대칭 구조의 CRLH 전송선로를 바탕으로 이중모드에서 동작하는 평형 필터 설계를 제안한 것이다. 기존의 대칭 구조와는 다르게 이 구조에서는 공통 모드와 차동 모드의 이중모드에서 동작한다. 이러한 성질은 이 구조의 대칭면에 단락회로를 그라운드 비아에 의해서 동작되도록 구현하였다. 이렇게 하면 공통 모드와 차동 모드에서 모두 동작하는 특성을 얻을 수 있으며, 이러한 성질을 이용하여 평형 필터를 구현하였다. 이러한 특징들을 확인하기 위하여 5개의 대칭 CRLH 단위 셀로 시뮬레이션, 제작 및 측정을 하여 공통 모드와 차동 모드에서 동일하게 동작하는 평형 필터의 특성을 얻었다.

Abstract

In this paper, a dual-mode balanced filter with symmetric coupled composite right/left-handed transmission line is introduced. Unlike the other symmetric structure, this configuration has the ability to operate under both common- and differential-mode excitation. These properties are achievable through providing physical short circuit by means of ground vias at the center of each unit-cell along the symmetry plane of the structure. Because the CRLH unit-cells are operated under both common- and differential-mode excitation, we implemented a balanced filter using these properties. To validity these features, a five-cell four port coupled CRLH-TL is simulated, fabricated and measured and the obtained performances agree with the simulation results under both common- and differential-mode excitation.

Key words : Composit right/left-handed transmission line (CRLH-TL), Common-/differential-mode, Dual-mode, Balanced filter

I. 서 론

빠른 동작과 더욱 컴팩트한 전자제품들의 요구는 끊임없이 증가하고 있다. 최근 메타 재질은 CRLH 전송선로 개념이 등장하여 이것을 바탕으로 설계된 다중 기능과 컴팩트한 무선 소자들이 등장하게 되었다

[1]. 이러한 CRLH 전송선로를 이용한 응용분야를 살펴보면, 먼저 CRLH 전송선로를 이용한 리키웨이브 안테나는 전방과 후방의 넓은 스캐닝 범위와 광대역 대역폭의 특징을 갖고 있다 [2],[3]. 또한, 대칭적인 CRLH 전송선로의 개념을 이용한 분야에서는 광대역 발룬 [4]과 차동 모드에서 동작하는 안테나를 바탕으

* 금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

** 관동대학교 전자정보통신공학부(Department of Electronics & Information Communication Eng., Kwandong University)

· 제1저자 (First Author) : 김 영(Kim Young, tel: +82-54-478-7506, email : youngk@kumoh.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 2월 27일 · 심사(수정)일자 : 2013년 2월 27일 (수정일자 : 2013년 4월 17일) · 게재일자 : 2013년 4월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.2.196>

로 한 평형 믹서[5]등에 사용되어 컴팩트한 회로를 구현하고 있다.

대칭적으로 결합된 CRLH 전송선로[6],[7]는 차동 모드에서 이 구조의 대칭면에서 가상 단락으로 동작하기 때문에 이 구조는 정상적인 CRLH 전송선로로 이용할 수 있는 특징을 갖고 있다. 하지만, 공통 모드에서 이 구조는 대칭면에서 단선이 되어 정상적인 CRLH 전송선로로 동작하지 않는다. 이것은 결국 RH (Right-Handed) 영역에서는 동작하지만, LH (Left-Handed) 영역에서는 차단되는 특성을 나타내는 것이다.

본 논문에서는 위에서 나타낸 문제점들을 보완하기 위해서 대칭적으로 결합된 CRLH 전송선로의 대칭면에 비아를 이용하여 그라운드와 연결시키면 두 가지 모드에서 즉, 공통 모드와 차동 모드에서 정상적인 CRLH 전송선로로 동작하도록 하였다. 이렇게 두 모드에서 동작하는 대칭적으로 결합된 CRLH 전송선로를 이용하여 600 MHz ~ 2.0 GHz까지 동작하는 평형 필터를 구현하였다. 여기서 언급되는 메타 재질을 이용한 이중 모드에서 동작하는 평형 필터를 이용한 수신 시스템의 블록 다이어그램은 그림 1에 나타내었다.

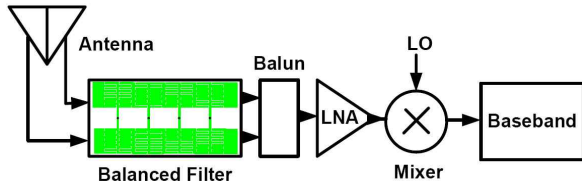


그림 1. 이중모드 평형 필터를 이용한 수신 시스템 블록 다이어그램

Fig. 1. Block diagram of receive system using dual-mode balanced filter.

II. 이중모드 평형필터 이론

기존의 전송선로의 등가회로는 직렬로 인덕터 성분(L_R)과 병렬 캐패시터(C_R)로 구성되어 있다. 이 논문에서 언급하는 CRLH 전송선로는 기존 전송선로에 직렬 캐패시터(C_L)과 병렬 인덕터(L_L) 성분이 추가

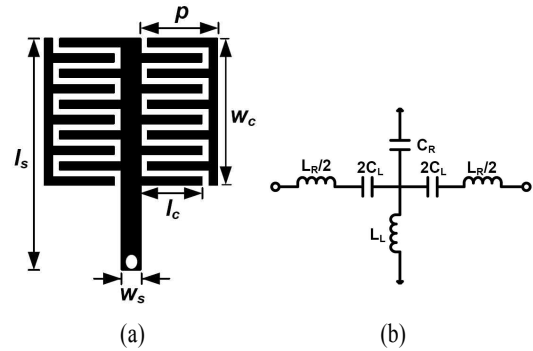


그림 2. 기존의 CRLH 전송선로 단위 셀 (a) 마이크로스트립으로 구현 (b) 등가회로

Fig. 2. Conventional CRLH unit-cell (a) microstrip implementation and (b) Equivalent circuit.

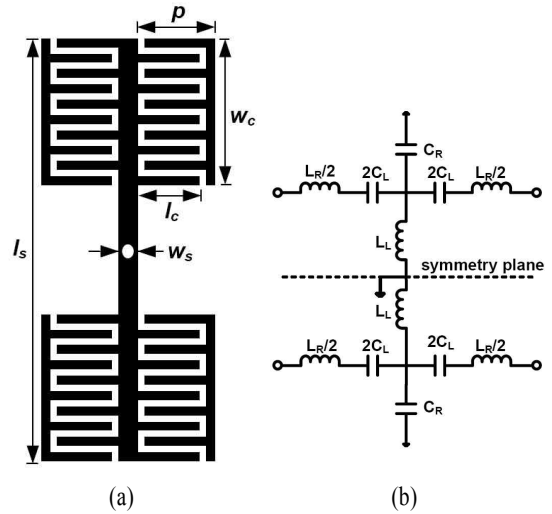


그림 3. 대칭구조의 CRLH 전송선로 단위 셀 (a) 마이크로스트립으로 구현 (b) 등가회로

Fig. 3. Symmetric CRLH unit-cell (a) microstrip implementation and (b) Equivalent circuit.

된 등가회로 표현된다. 이러한 전송선로를 마이크로 스트립으로 구현했을 때의 회로는 그림 2(a)에 나타내었다. 또한, 이 회로의 등가회로는 그림 2(b)에 나타내었다. 마이크로스트립으로 구현된 인터디지털 캐패시터는 직렬 캐패시터 (C_L)를 그리고 병렬 오픈 스테브는 병렬 인덕터(L_L)을 나타내며, 직렬 인덕터 (L_R)과 병렬 캐패시터(C_R)은 인터디지털 캐패시터와 오픈 스테브 구현 시 나타나는 파라스틱 성분을 나타낸다.

본 논문에서 사용하는 대칭적 CRLH 단위 셀은 그림 2(a) 회로를 대칭적으로 연결하여 병렬 오픈 스테브가 연결된 지점에 그라운드와 연결되도록 비아를 사용한 4-포트 회로로 만든 그림 3(a)와 같은 구조이

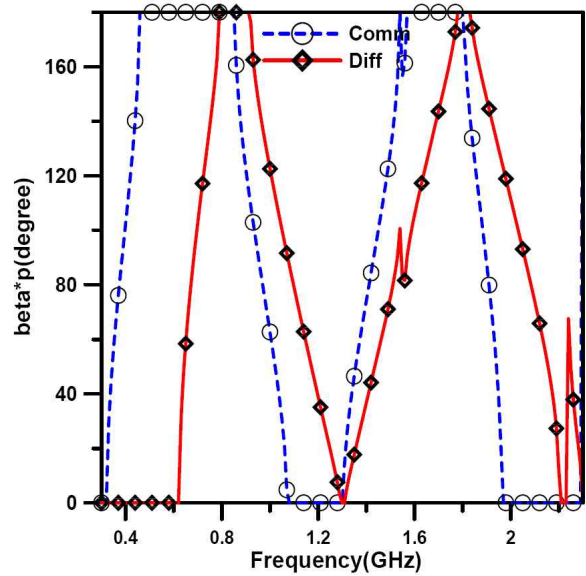
며, 이것의 단위 셀 등가회로는 그림 3(b)에 나타내었다.

이 회로는 공통 모드에서 대칭 구조의 중심 지점이 오픈되지만 그 중심에 비아로 그라운드와 연결시켰기 때문에 정상적인 CRLH 단위 셀 구조로 동작하며, 또한 차동 모드에서는 대칭 구조의 중심 지점이 단락되어 정상적인 CRLH 단위 셀로 동작하게 된다. 결국 중심 지점에 그라운드와 연결된 비아가 존재하는 대칭 구조 CRLH 단위 셀은 이중 모드에서 정상적인 CRLH 단위 셀로 동작하는 것을 알 수 있다.

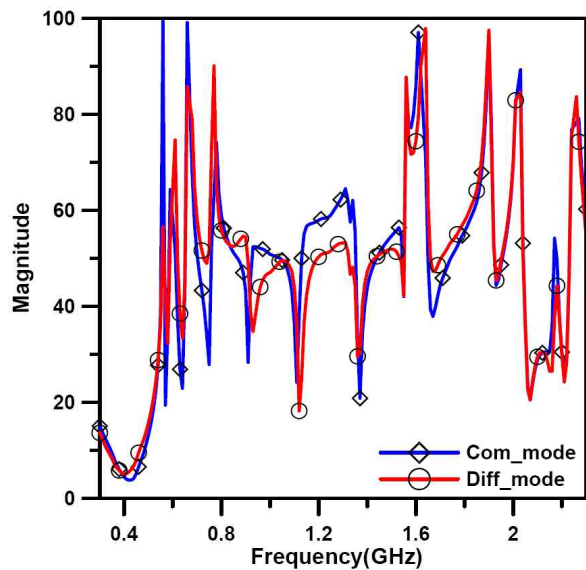
여기서 사용된 소프트웨어는 AWR사의 Microwave Office 2011을 이용하여 회로와 EM 시뮬레이션을 통해서 대칭 구조 CRLH 단위 셀의 설계와 해석을 수행하였다.

그림 4(a)는 대칭형 CRLH 단위 셀의 분산 다이어그램을 나타낸 것으로 이 그래프를 보면 1.30 GHz를 중심으로 $0.6 \text{ GHz} < f < 1.30 \text{ GHz}$ 주파수 영역에서는 LH 영역으로, 그리고 $1.30 \text{ GHz} < f < 2.6 \text{ GHz}$ 주파수 영역에서는 RH 영역으로 동작하는 것을 알 수 있으며, 이때의 Bloch 임피던스는 1.30 GHz 발란스 주파수에서 차동 모드와 공통 모드에서 $48 \sim 58\Omega$ 사이의 특성 임피던스를 갖는 것을 알 수 있다. 이것은 발란스 주파수에서 임피던스 값을 50Ω 으로 설계하여도 되는 것을 의미한다.

이러한 특성은 대칭면이 그라운드와 연결되는 비아가 없을 때[8]의 특성을 보면 공통 모드에서는 발란스 주파수 보다 작은 주파수 영역에서 즉 LH영역에서는 전달 특성이 차단되어 신호가 전달되는 것이 없었으며, RH 영역에서는 정상적인 CRLH 전송선로의 특성을 얻을 수 없었다. 하지만 그림 3(a)처럼 대칭면에 비아가 존재하면 공통 모드와 차동 모드 모두에서 정상적인 CRLH 전송 선로 단위 셀로 동작하는 것을 알 수 있다. 또한, 대칭형 CRLH 전송선로 단위 셀의 Bloch 임피던스는 그림 4 (b)에 나타내었고, 이것은 참고 문헌 [8]에서는 공통 모드에서는 0Ω 값을 나타내었지만, 이 논문에서는 공통과 차동 모두 모두에서 50Ω 에 가까운 값을 나타내고 있다.



(a)



(b)

그림 4. 대칭구조의 CRLH 전송선로 단위 셀 (a) 분산 다이어그램 (b) Bloch 임피던스
Fig. 4. Symmetric CRLH-TL unit-cell (a) Dispersion diagram and (b) Bloch impedance.

그림 3에서 구현한 마이크로스트립으로 구현한 대칭형 CRLH 전송선로 단위 셀의 파라미터 값은 $p = 20.3 \text{ mm}$, $l_s = 57.31$, $w_s = 4.2 \text{ mm}$, $l_c = 19.7 \text{ mm}$, $w_c = 4.80 \text{ mm}$ 그리고 인터디지털의 5개 핑거 쌍은 0.38 mm 의 폭과 0.26 mm 의 간격을 갖고 있다. 또한, 이것으로부터 추출한 S-파라미터에서 파라미터 변환에 의해서 추출된 등가회로 소자 값은 $C_L = 2.48 \text{ pF}$, $L_R = 6.11 \text{ nH}$, $C_R = 2.82 \text{ pF}$ 그리고 $L_L = 0.16 \text{ nH}$ 이다,

III. 실험결과

이중 모드로 동작하는 대칭 구조 CRLH 전송선로 평형 필터는 그림 3의 평형 CRLH 단위 셀을 직렬로 5개를 연결한 형태로 구현하였다. 이중 모드 평형 필터 설계 PCB는 그림 5에 나타내었으며, 유전율 $\epsilon_r = 2.2$, 두께 $h = 1.578 \text{ mm}$ 인 로저스 TLY-5 기판을 사용하여 제작하였다.

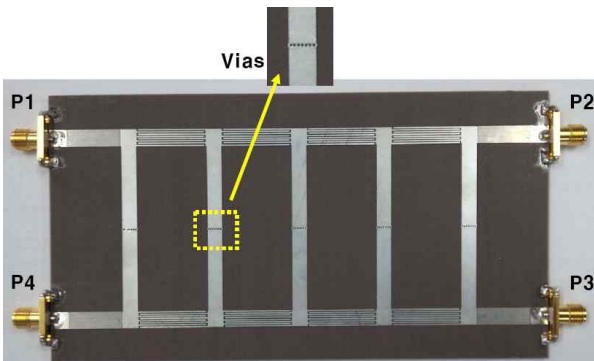
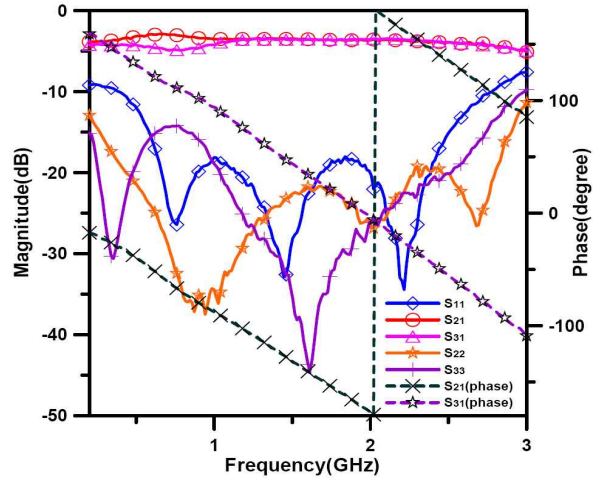


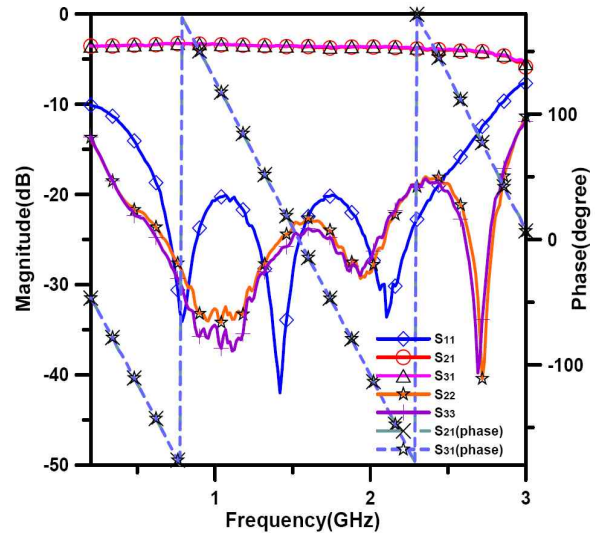
그림 5. 제작된 이중 모드 평형 대역통과 필터의 PCB 사진
Fig. 5. Photograph of the fabricated five-cell dual-mode balanced filter.

4-포트 이중 모드 평형 필터의 특성을 확인하기 위해서 200 MHz ~ 3 GHz까지 동작하는 광대역 분배기와 발룬을 제작하여 사용하였다. 공통 모드에서 특성을 확인하기 위한 분배기는 중심주파수 1.30 GHz에서 S_{21} 은 3.54 dB 그리고 S_{11} 은 26 dB의 특성을 얻었고, 차동 모드에서 특성을 확인하기 위한 발룬은 중심주파수 1.30 GHz에서 S_{21} 은 3.51 dB 그리고 S_{11} 은 24 dB의 특성을 확인하였다. 그림 6은 제작된 분배기와 발룬의 특성을 나타낸 그래프이다. 이 그래프에서 보면 평형 필터의 특성을 보기에는 충분한 대역폭을 갖고 있음을 알 수 있다.

그림 5에서 살펴보면 대칭면에 비아를 7개를 만들었는데 이것은 대칭면에 정확한 단락회로를 구현하기 위한 것이며, 비아 숫자가 적어서 단락이 정확히 되지 않으면 공통 모드와 차동 모드에서 동작하는 평형 필터의 특성을 얻을 수 없음을 확인 하였다.



(a)

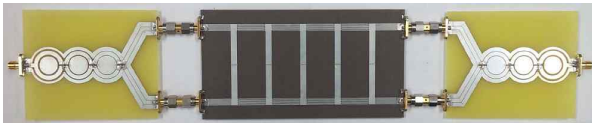


(b)

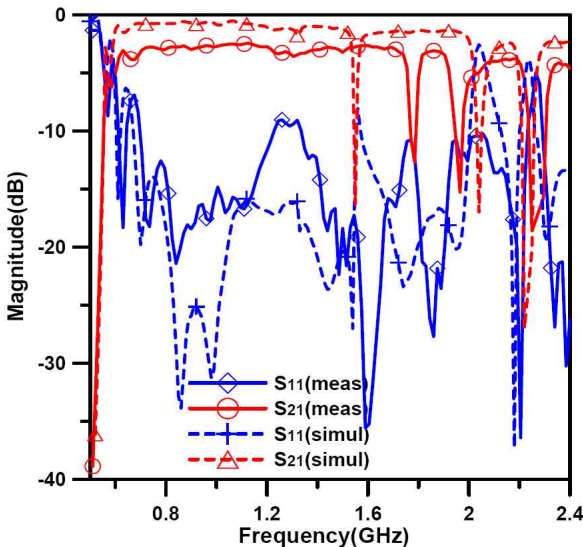
그림 6. 광대역 (a) 발룬과 (b) 분배기 특성
Fig. 6. Characteristics of broadband (a) Balun and (b) Divider.

이 평형 필터의 동작을 확인하기 위하여 먼저, 공통 모드에서 동작을 확인하기 위해서 입력과 출력부에 광대역 분배기를 연결하였고, 이 회로는 그림 7(a)에 나타내었으며, 시뮬레이션과 측정값을 비교한 특성 그래프는 그림 7(b)에 나타내었다. 또한, 차동 모드에서 동작을 확인하기 위해서 입력과 출력부에 광대역 분배기를 연결한 회로는 그림 8(a)에 나타내었고, 그때의 특성을 시뮬레이션과 측정값을 비교한 그래프는 그림 8(b)에 나타내었다.

이중 모드에서 동작하는 평형필터의 특성은 시뮬레이션과 측정값이 대체적으로 일치하는 것을 알 수 있다.



(a)



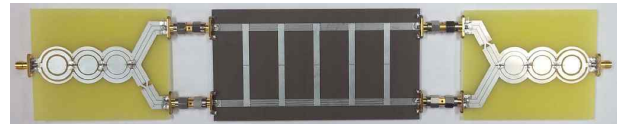
(b)

그림 7. (a) 공통 모드 측정 회로 (b) 공통 모드에서의 시뮬레이션과 측정 결과 비교

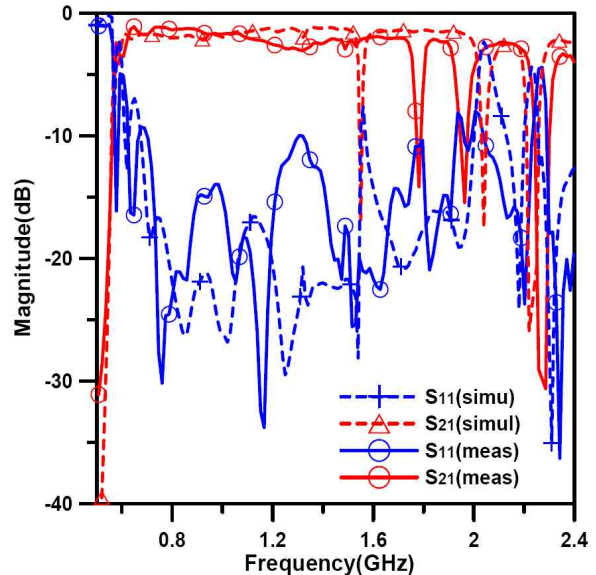
Fig. 7. (a) Measurement configuration of common mode (b) Compare simulation with measurement results.

일부 주파수에서 손실 특성 값이 차이가 나는 것은 CRLH 전송선로 제작 시 과도한 에칭으로 인한 특성 열화 때문으로 판단된다.

그림 7과 8에서 특성을 보면 주파수 0.6 GHz ~ 2 GHz에서 필터의 특성이 나타남을 알 수 있으며, 공통 모드에서 전달 특성은 1.5 dB 손실이 시뮬레이션보다 더 발생하는 것을 볼 수 있으며 또한, 발란스 주파수 1.30 GHz 부근에서 반사계수가 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 이것은 광대역 분배기와의 정합문제로 생기는 것으로 판단된다, 또한, 차동 모드에서의 특성 결과를 살펴보면 동작 주파수 범위는 공통 모드일 때와 동일함을 알 수 있으며 삽입손실은 특정 주파수 범위에서 시뮬레이션과 0.5 dB 차이가 나는 것을 볼 수 있으며, 반사계수 특성은 공통 모드와 거의 동일함을 알 수 있다. 이것도 공통 모드와 동일하게 광대역 발룬과 정합문제로 생기는 것으로 판단된다,



(a)



(b)

그림 8. (a) 차동 모드 측정 회로 (b) 차동 모드에서의 시뮬레이션과 측정 결과 비교

Fig. 8. (a) Measurement configuration of differential mode (b) Compare simulation with measurement results.

또한, 그림 7(b)와 8(b)로부터 인터디지털 캐패시터의 셀프 공진현상은 시뮬레이션일 경우는 1.55 GHz에서, 측정할 때는 1.78 GHz와 1.96 GHz에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 이러한 효과는 인터디지털 캐패시터 핑거사이에 본드 와이어로 연결시키는 기술을 이용함으로써 제거할 수 있다[9].

IV. 결 론

이 논문은 대칭 구조의 CRLH 전송선로의 단위 셀을 이용하여 이중 모드에서 동작하는 평형 필터를 구현한 논문이다. CRLH 전송선로 단위 셀을 대칭적으로 연결하고 대칭 중심면에 그라운드를 시키기 위한 비아를 사용하여 공통 모드와 차동 모드에서 모두 CRLH 전송선로로 동작할 수 있도록 대칭적 구조를 만들었으며 이것을 이용하여 0.6 GHz ~ 2.0 GHz에서

이중모드에서 삽입손실은 3.2 dB 이하의 특성을 갖는 것을 확인하였다.

이러한 이중모드에서 동작하는 평형 필터는 컴팩트한 전자기기나 모바일 시스템, 항행 시설등 유용한 응용분야에 활용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

Reference

- [1] C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials : Transmission Line Theory and Microwave Applications*. New York: John Wiley &, Sons, 2004.
- [2] M.R. Hashemi and T. Itoh, "Dispersion Engineered Metamaterial-based Transmission Line for Conformal Surface Application," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.* Jun. 2008.
- [3] W. Fan, et al, "Mixed-Mode S-Parameter Characterization of Differential Structures," *IEEE 5th Electron. Packag. Technol. Conf.* 2003.
- [4] Changjun Liu, and Wolfgang Menzel, "Broadband Via-Free Microstrip Balun using Metamaterial Transmission Lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, 2008.
- [5] Y. Kim, E. Kim, A. Lai, D.S. Goshi and T. Itoh, "Integrated Mixer based on Composite Right/Left-Handed Leaky-Wave Antenna," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.*, Jun. 2008.
- [6] M.R. Hashemi and T. Itoh, "Dual Mode Leaky Wave Excitation in Symmetric Composite Right/Left-Handed Structure with Center Vias," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp.* Jun. 2010.
- [7] D.E. Bockelman, and W.R. Eisenstadt, " Combined Differential and Common-mode Scattering Parameters: Theory and Simulation," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 43, no. 7, pp.1530-1539, July 1995.
- [8] Y. Kim, J.H. Yun, and Y. C. Yoon, "Common-Mode Suppression Balanced Filter based on Composite

Right/Left-Handed Transmission Line," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15-4, Aug. 2011.

- [9] F. Casares-Miranda, P. Otero, E. Mrquez-Segura, and C. Camacho-Pealosa, "Wire Bonded Interdigital Capacitor," *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 10, pp.700-702, Oct. 2005.

김 영 (Young Kim)



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1988년 1월 ~ 1993년 5월: 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원
1993년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연구원

1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수
2003년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 부교수
관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계

심 석 현 (Seok-Hyun Sim)



2013년 3월 : 금오공과대학교 전자공학부 재학 중
관심분야 : RF 및 Microwave 회로 설계, Metamaterial

윤 영 철 (Young-Chul Yoon)



1978년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1989년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
1987년 9월 ~ 현재 관동대학교 전자

정보통신공학부 교수
관심분야 : RF 및 Microwave 회로설계