

SIR형 Transversal 구조를 이용한 새로운 소형 초광대역 대역 통과 여파기의 설계

Design of the Novel Compact UWB Bandpass Filters Using the SIR-Type Transversal Structure

강 승 택 · 주 정 호*

Sungtek Kahng · Jeongho Ju*

요 약

본 논문에서는, 병렬 결합의 두 전송선으로 구성된 transversal 여파 특성 구조와 SIR 개념을 함께 이용하여, 급격한 차단 특성, 낮은 삽입 손실, 평탄한 군지연 특성을 가지는 새로운 소형 UWB 대역 통과 여파기가 개발된다. 요구되는 대역 특성을 얻기 위해, 매우 넓은 대역에서의 낮은 삽입 손실을 확보한 채, 다수의 차단용 극점들이 생성된다. 또한 상대적으로 작은 구조로써 높은 차수의 급격한 차단 특성을 구현하고, 동시에 UWB 응용에 적합하도록 완만한 군지연을 구현한 것이 장점이다. 제안한 기술의 타당성이 이론과 실험에 의해 증명된다.

Abstract

A new compact UWB bandpass filter with sharp-rejection, low insertion-loss and flat group-delay is developed in this paper, using the transversal filtering combined with SIR (stepped impedance resonator) concept. To form the required passband, multiple out-of-band transmission zeros are created around band-edges, securing very low insertion loss in the very wide frequency range. Also it is found to be beneficial to realize a sharp rejection of higher order with a relatively small overall size and simultaneously have very smoothly varying group-delay which is proper for the UWB applications. The validity of the proposed technique is proven theoretically and experimentally.

Key words : UWB Bandpass Filter, Transversal Filter, SIR (Stepped Impedance Resonator), Flat Group-Delay

I. 서 론

초고속 통신 시스템의 개발에서, 초광대역(UWB) 대역 통과 여파기는 3.1~10.6 GHz의 대역 통과 특성을 가지며, 경량화, 낮은 삽입 손실, 좋은 차단 특성, 낮은 군지연 변화(1 ns)를 가져야 한다^[1]. 특히 가파른 선택도 특성을 만족하기 위해서는 다단의 공진기가 필요하고, 대역 통과 여파기의 크기가 커지는 단점이 있다. 이러한 초광대역 대역 통과 여파기의 특성을 만족하기 위해서 많은 연구가 진행되어져

왔다. Dual-mode 특성을 이용한 원형 공진기 형태의 대역 통과 여파기는 설계는 효율적으로 이뤄질 수 있지만 대역 통과 영역 밖에서 발생하는 영점을 생성하기 위하여 스티브의 길이와 급전의 방향을 조절해야 하는 번거로움이 존재한다^{[2]~[5]}.

Transversal 구조를 응용한 대역 통과 여파기는 분기되는 두 개의 전송 선로를 이용하여 설계 의도에 따라 통과 대역 밖에 영점을 임의적으로 발생시켜 선택도를 향상시킬 수 있다^{[6],[7]}.

본 논문에서는 transversal 구조에 SIR 개념을 결합

인천대학교 정보통신공학과(Dept. of Info. & Telecomm. Eng., University of Incheon)

*한국전자통신연구원(Electronics & Telecommunication Research Institute)

· 논문 번호 : 20071130-02S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 12일

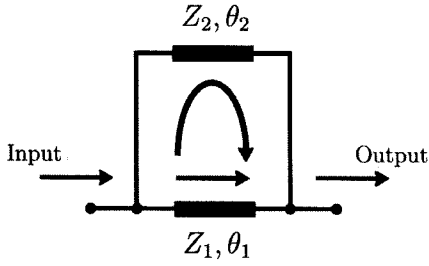


그림 1. Transversal 대역 통과 여파기의 기본 구조
Fig. 1. Basic unit of the transversal BPF structure.

하여, transversal 기법으로부터 높은 차단 특성을 위한 영점들을 얻고, SIR로써 설계 자유도를 높여 초광대역폭을 소형 구조에서 얻을 수 있게 하였다. 설계 방식은 모의실험과 제작/측정을 통해 입증하였다.

II. 이론

기본적인 transversal 형태의 대역 통과 여파기는 그림 1과 같다. 대역 통과 여파기는 두 개의 병렬 전송 선로로 구성된다. 각각의 전송 선로는 Z_1, Z_2 의 특성 임피던스와 θ_1, θ_2 의 전기적 길이를 가진다.

대역 통과 여파기의 물리적 동작 원리는 입력단에 신호를 인가하면 두 전송 선로에 신호가 흐르게 된다. 두 개로 분기된 신호는 대역 통과 내에서는 보강 간섭이 발생하게 되어 신호의 통과 특성이 나타나며, 대역 통과 밖에서는 상쇄 간섭으로 인하여 영점이 발생하게 되어 신호가 전달되지 못한다. 이러한 대역 통과 밖에서의 영점으로 인하여 대역 차단 특성을 향상시킬 수 있다.

S_{11} 과 S_{21} 은 Y-파라미터를 이용하여 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 S_{11} &= \frac{(Y_0 - Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) - Y_{12}Y_{21}}{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) - Y_{12}Y_{21}} \\
 S_{21} &= \frac{Y_0 Y_{21}}{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) - Y_{12}Y_{21}} \\
 Y_{11} = Y_{22} &= \frac{1}{jZ_1 \tan \theta_1} + \frac{1}{jZ_2 \tan \theta_2} \\
 Y_{12} = Y_{21} &= \frac{j}{Z_1 \sin \theta_1} + \frac{j}{Z_2 \sin \theta_2} \quad (1)
 \end{aligned}$$

여기서 $Y_0 = 1/Z_0$ 이다.

전송 선로의 임피던스 정합 조건으로 인하여 식

(2)와 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$Z_1 || Z_2 = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = Z_0 \quad (2)$$

식 (1), (2)에서 알 수 있듯이 대역 통과 여파기는 전송 선로의 임피던스와 전기적 길이로 결정된다.

영점은 $\theta_2 - \theta_1 = n\pi/2 (n=1, 3, 5 \dots)$ 에서 보강 간섭이 발생하고, $\theta_2 - \theta_1 = 2m\pi (m=1, 2, 3 \dots)$ 에서 상쇄 간섭이 발생하여 대역 통과 특성을 가진다.

III. 제안하는 구조와 설계 결과

제안된 소형 SIR형 transversal 초광대역 대역 통과 여파기의 기본형은 그림 2와 같다.

마이크로스트립 구조에서 선로를 두 경로로 분기 시키며, 이들의 위상차를 의도하는 대로 만든다. 즉, 통과 대역의 가장자리에 해당하는 주파수에서 감쇄가 급격히 일어날 수 있는 전기적 길이와 임피던스를 구해야 하는 것이다. 특히 각 분기 경로를 또 다시 조각들로 나누고, 다른 임피던스 값들을 할당한다. 이것이 SIR로써 transversal 구조에 결합되어 작지만 넓은 대역을 유지할 수 있게 한다. 본 논문에서는 모든 설계가 유전율은 10.2, 두께는 0.635 mm인 기판과 함께 이루어진다.

전기적 길이와 임피던스를 계산하여 물리적 치수로 바꾸면 UWB 대역 통과 여파기는 다음과 같은 주파수 특성을 보여준다.

설계 변수의 최적값이 얻어진 상태는 아니지만, 식 (1)과 (2)를 이용함에 있어 대략의 타당성을 확인할 수 있는 초벌 설계 결과를 얻을 수 있었다. 정확한 통과 대역과 우수한 반사 손실을 확보하기 위해

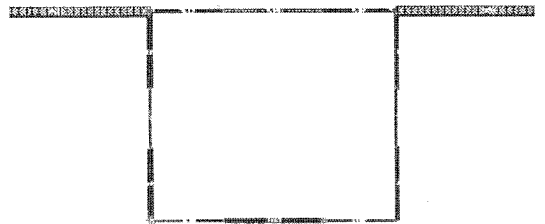


그림 2. 제안된 SIR형 transversal UWB BPF의 기본형
Fig. 2. Basic unit of the proposed SIR-type transversal bandpass filter.

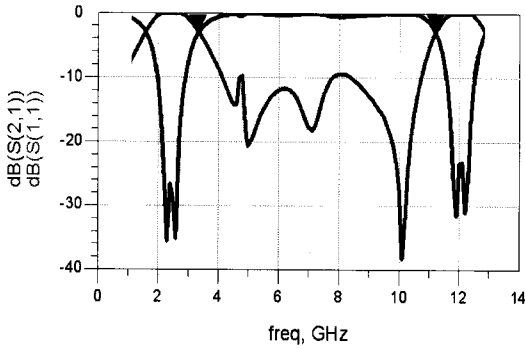


그림 3. UWB BPF 기본형의 산란 계수 설계 결과
Fig. 3. S-parameters of the designed basic SIR-type transversal bandpass filter.

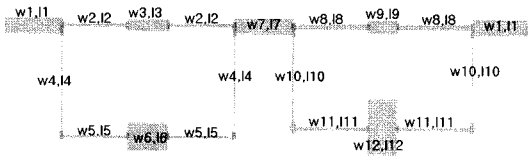


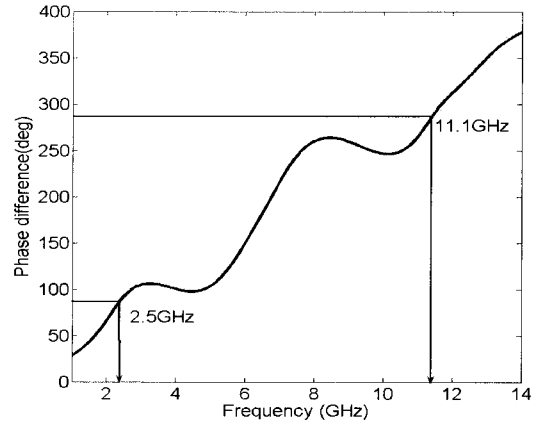
그림 4. 초광대역 대역 통과 여파기의 확장형
Fig. 4. Expanded version of the SIR-type transversal bandpass filter.

기본형을 2단으로 확장할 필요가 제기된다. 그림 4의 2단 초광대역 transversal 여파기를 전체로 보면 많은 설계 변수들을 가지나, 각각의 루프들을 분리

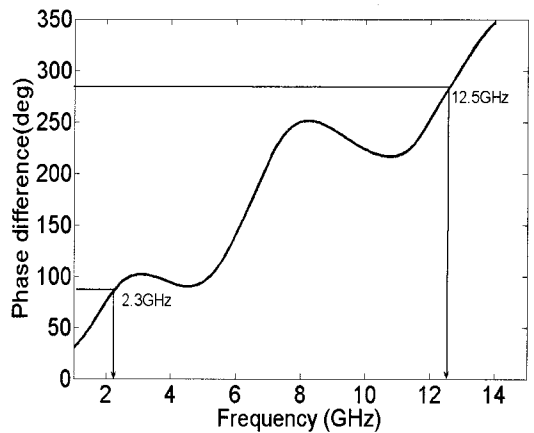
표 1. UWB 대역 통과 여파기의 임피던스와 전기적 길이

Table 1. Impedance and electrical length of the UWB bandpass filter.

Seg #	저항(Ω)	길이(Deg.)
1	50.42	99.13
2	93.37	103.88
3	57.62	66.98
4	93.37	81.68
5	93.37	102.05
6	35.74	70.37
7	50.42	101.28
8	88.93	118.42
9	52.58	48.5
10	93.37	73.93
11	80.38	119.44
12	21.95	52.94



(a) 첫 번째 공진 고리의 전송 선로 위상차
(a) Phase difference of the first resonant loop



(b) 두 번째 공진 고리의 전송 선로 위상차
(b) Phase difference of the second resonant loop

그림 5. UWB용 SIR-transversal BPF의 고리들의 위상 특성

Fig. 5. Phase behaviors of the loops of the proposed filter.

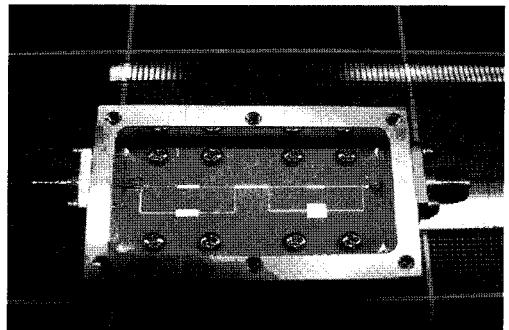
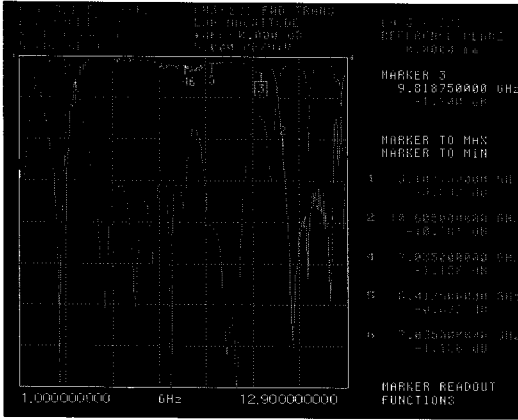
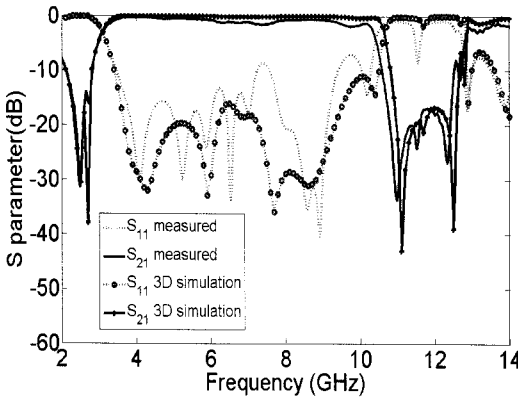


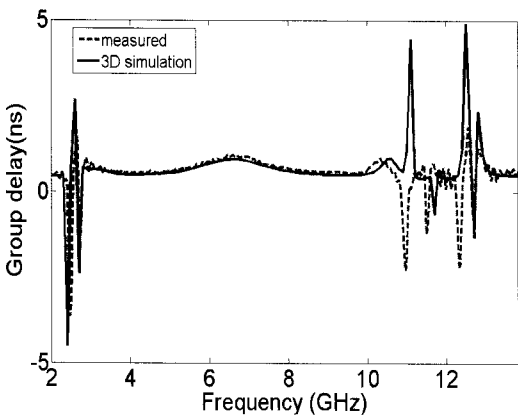
그림 6. 제작된 SIR형 transversal형 초광대역 여파기
Fig. 6. Fabricated SIR-type transversal UWB filter.



(a) 산란 계수(측정 화면)
(a) S-parameters(measurement displayed)



(b) 모의시험과 측정된 산란 계수
(b) Simulated and measured S-parameters



(c) 모의시험과 측정된 군지연
(c) Simulated and measured group-delay

그림 7. 제작된 초광대역 대역 통과 여파기의 측정 결과

Fig. 7. Measurement of the fabricated SIR-type transversal UWB bandpass filter.

하여 단일형에서 수행한 대로 주어진 대역폭과 반사 손실에 맞추면 2단에서는 특성이 중첩되어 향상된 결과를 얻는다.

표 1은 각 전송 선로의 임피던스와 전기적 길이를 보여준다.

초광대역 대역 통과 여파기를 구성하는 transversal 공진기의 상, 하 전송선의 위상차는 그림 5와 같다.

그림 5에서 보듯이 영점은 위상차가 90도 차이가 나는 2.3 GHz, 2.5 GHz에서 발생하며, 270도의 위상차가 생기는 11.1 GHz, 12.5 GHz에서도 발생한다. 그림 6는 제작된 초광대역 대역 통과 여파기이다. 구현 결과는 그림 7과 같다.

구현된 결과, 대역 통과 영역은 3.1~10.4 GHz였으며, 군지연 변화량은 0.8 ns이고, 삽입 손실은 -0.9 dB였다. 대역 통과 밖에서 생성되는 영점은 그림 5에서 보인 바와 같이 예측점과 잘 일치함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SIR형 transversal 구조로 3.1~10.6 GHz의 대역 통과 특성을 가지는 새로운 초광대역 대역 통과 여파기를 설계하였다. 제안된 여파기는 전송 선로 각 구간에 다르게 할당된 임피던스와 전기적 길이를 조절함으로써 영점을 대역 통과 밖에 위치시켜 우수한 차단 특성을 만족하면서도 최소의 단과 짧은 길이로써 넓은 대역에서 낮은 삽입 손실과 평탄한 군지연을 유지하도록 설계할 수 있었다. 측정 결과, 대역 통과 영역은 3.1~10.4 GHz였으며, 군지연 변화량은 0.8 ns 이하였다. 이를 통해 설계기법의 타당함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 강승택, 주정호, "초소형 메타 재질 구조와 스테브를 이용한 통과 특성과 차단 대역이 향상된 초광대역 대역 통과 여파기", 특허청 출원 번호: 10-2007-0097825.
- [2] A. C. Kundu, L. Awai, "Control of attenuation pole frequency of a dual-mode microstrip ring resonator bandpass filter", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, MTT-49, pp. 1113-1117. Jun. 2001.

- [3] Sungtek Kahng, M. Uhm, and S. Lee, "A dual-mode narrow-band channel filter and group-delay equalizer for a Ka-band satellite transponder", *ETRI Journal*, vol. 25, no. 5, pp. 379-386, Oct. 2003.
- [4] 강승택, "Ka-대역 군지연-등화 여파기용 SA 기법과 CG 기법의 하이브리드 설계 기법", 한국전자과학기술논문지, 15(8), pp. 775-780, 2004년 8월.
- [5] Sungtek Kahng, "Efficient design of waveguide filters reducing modal interference through cross-shaped slots", *Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 5 no. 1, pp. 21-25, 2005.
- [6] R. Gomez-Garcia, J. I. Alonso, "Design of sharp rejection and low-loss wide-band planar filters using signal-interference techniques", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, vol. 15, Issue 8, pp. 530-532, Aug. 2005.
- [7] R. Gomez-Garcia, J. I. Alonso, "High-selective microwave active bandpass filter using transmission line interference sections", *Microwave Conference, 34th European*, vol. 2, pp. 721-724, Oct. 2004.

강 승 택*



1996년 3월~2000년 2월: 한양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
 2000년 2월~2000년 4월: 한양대학교 산업과학연구소 연구원
 2000년 4월~2004년 2월: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원

2004년 3월~현재: 인천대학교 정보통신공학과 교수
 [주 관심분야] 초고주파 부품 및 안테나 최적 설계, Metamaterial 연구 및 응용, EMI/EMC 대책, 소자모델링, 전자파 수치해석기법 개발 및 응용

* 책임저자

주 정 호



2006년 2월: 인천대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2006년 3월~2008년 2월: 인천대학교 정보통신공학과 (공학석사)
 2008년 1월~현재: 한국전자통신연구원 원천기술연구팀 연구원
 [주 관심분야] Metamaterial, RF 부품소자, 안테나 개발