

SIR 구조를 이용한 초광대역 대역 통과 여파기의 설계

정회원 신승하*, 최창호*, 종신회원 전계석**

The Implementation of UWB Bandpass Filter using SIR(Stepped Impedance Resonators) Structure

Seung Ha Shin*, Chang Ho Choi* *Regular Members*, Kye Suk Jun** *Lifelong Member*

요약

본 연구에서는 병렬 결합된 전송 선로에 SIR 구조를 결합하여 가파른 차단 특성과 낮은 삽입 손실을 갖는 소형 UWB 대역 통과 여파기를 설계하였다. 대역통과 여파기는 시뮬레이터를 이용하여 최적 설계하였으며, 제작된 대역통과 여파기의 통과대역은 3.1GHz~10.6GHz이고 삽입손실은 8.3GHz에서 0.39dB이며, 반사손실은 9.37GHz에서 12.394dB의 특성을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안된 대역통과 여파기는 경량화이면서도 높은 차수가 가지는 가파른 차단 특성이 요구되는 초고속 통신 시스템에 적용될 수 있다.

Key Words : SIR, Stepped Impedance Resonators, UWB, Bandpass Filter, Taperd Lines

ABSTRACT

A new compact UWB bandpass filter with sharp-rejection and low insertion-loss is designed in this paper, using the parallel transmission line with SIR structure. An Example filter is firstly theoretically designed by the proposed synthesis procedure, the optimized by EM simulator, fabricated in microstrip line and finally characterized by a network analyzer. A good agreement between the simulation results and prototype validates the proposed UWB bandpass filter. The designed filter also realized a sharp rejection of higher order with a relatively small size which is proper for the UWB communication system.

I. 서론

초광대역(UWB) 대역 통과 여파기는 가파른 차단 특성과 낮은 삽입 손실을 가지면서도 소형화를 구현하기 위한 기술로 SIR(Stepped Impedance Resonators)가 각광을 받고 있다. SIR 구조는 분기되는 전송선로에 결합하여 대역 통과 여파기의 대통과 대역 밖에 영점을 생성하므로 선택도를 향상시킬 수 있어 상대적으로 작은 구조로 높은 차수의 여파기가 가지는 가파른 차단 특성을 구현할 수 있다^[1]. 하지만 단일형 구조에서는 주어진 대역폭과 반사 손실에서 제한적인 특성을 보이므로 2단으로 확장하거나^[2] 스텝(stub), 결합 선로와 같은 부가적인 구조가 추가됨

으로서 여파기 구조가 복잡해지고 유전율이 10 이상의 기판에 구현되고 있다^[3-5]. 본 논문에서는 SIR 구조가 결합된 병렬 선로를 세 경로를 통해 단일형 구조가 제한적 대역 통과 특성을 보완하기 위해 보강 간섭과 상쇄 간섭을 강화하기 위해 세 개로 분기된 대역 통과 여파기를 제안하고자 한다.

II. 이론

마이크로스트립 SIR 구조는 Makimoto^[1]가 처음으로 제안하였으며 그림 1에서 보여주는 바와 같이 서로 다른 Z_1 , Z_2 로 구성된다. 마이크로스트립 선로가 갖는 불연속의 영향을 무시하면, 개방된 종단을 가지

* 경희대학교 전자공학과(jazzinseoul@hotmail.com), ** 경희대학교 전자·전파공학과
논문번호 : KICS2010-11-521, 접수일자 : 2010년 11월 2일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 12일

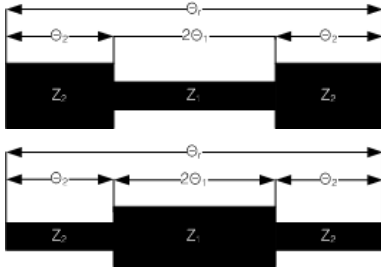


그림 1. SIR의 기본 구조
Fig. 1. Structures of the SIR

는 공진기의 어드미턴스 Y_i 는 다음과 같다.

$$Y_i = jY_2 \cdot \frac{2(K \tan \theta_1 + \tan \theta_2) \cdot (K - \tan \theta_1 \tan \theta_2)}{K(1 - \tan^2 \theta_1)(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 + K^2) \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (1)$$

여기서 K 는 임피던스 비(Z_1/Z_2)이다.

공진 조건은 $Y_i = 0$ 이므로 식(1)로부터 공진조건을 구하면 다음 식과 같다.

$$K = \tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2 \quad (2)$$

공진 길이 θ_T 와 θ_1 의 관계는 식 (2)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tan \frac{\theta_T}{2} = \frac{1}{1-K} \left(\frac{K}{\tan \theta_1} + \tan \theta_1 \right) \quad (K \neq 1 \text{ 일 때}) \quad (3)$$

$$\theta_T = \pi \quad (K=1 \text{ 일 때}) \quad (4)$$

공진 길이 θ_T 는 임피던스 비인 $0 < K < 1$ 일 때의 SIR 기본 구조를 그림 1에 나타내었다. 식 (4)를 θ_1 에 관하여 미분하면

$$\frac{1}{1-K} (\tan^2 \theta_1 - K) \cdot \sin^2 \theta_1 = 0 \quad (5)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(\sqrt{K}) = \theta_2 \quad (6)$$

위 식은 임피던스 비인 K 값에 따라 θ_T 의 최대 혹은 최소값이 결정된다. 실질적인 활용에서는 설계 방식의 간편함을 고려해서 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ 라고 놓으며 이때 식 (2)과 식 (3)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y_i = jK_2 \frac{2(1+K) \cdot ((K - \tan^2 \theta) \cdot \tan \theta)}{K - 2(1+K+K^2) \cdot \tan^2 \theta + K \tan^4 \theta} \quad (7)$$

기본 공진주파수 f_o 에서 공진기의 길이 θ_o 를 사용하면, 주어진 공진 조건은 다음과 같이 주어진다.

$$\tan^2 \theta_o = K \quad (8)$$

$$\text{또는 } \theta_o = \tan^{-1} \sqrt{K}$$

S_{11} 과 S_{21} 은 Y-파라미터를 이용하여 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$S_{11} = \frac{(Y_0 - Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) + Y_{12} Y_{21}}{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) + Y_{12} Y_{21}}$$

$$S_{21} = \frac{Y_0 Y_{21}}{(Y_0 + Y_{11})(Y_0 + Y_{22}) - Y_{12} Y_{21}}$$

$$Y_{11} = Y_{22} = \frac{1}{jZ_1 \tan \theta_1} + \frac{1}{jZ_2 \tan \theta_2}$$

$$Y_{12} = Y_{21} = \frac{j}{Z_1 \sin \theta_1} + \frac{j}{Z_2 \sin \theta_2} \quad (9)$$

여기서 $Y_0 = 1/Z_o$ 이다.

전송 선로의 임피던스 정합 조건을 사용하여 식 (10)과 같은 관계식을 유도 할 수 있다.

$$Z_1 \parallel Z_2 = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} = Z_o \quad (10)$$

식 (9), (10)에서 알 수 있듯이 대역 통과 여파기는 전송 선로의 임피던스와 전기적 길이로 결정된다.

그림 2는 계단형 임피던스와 SIR의 결합으로 제안된 UWB 대역통과 여파기의 기본 구조이다.

III. 제안한 구조의 설계 및 시뮬레이션 결과

그림 2는 SIR형 구조가 결합된 마이크로스트립 선로는 대칭된 세 경로로 분기시키며 각 분기 경로를 분기하여, 다른 임피던스 값들을 할당한다. 할당된 임피던스 값들은 대역통과 내에서는 보장간섭이 발생하고 대역통과 밖에서는 상쇄간섭으로 인해 작지만 넓은 대역을 유지 할 수 있는 새로운 형태의 UWB 대역 통과 여파기이다.

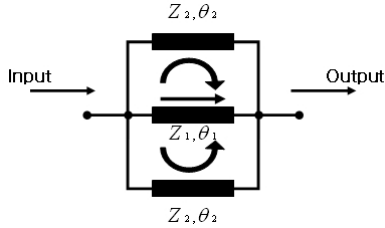


그림 2. 제안된 SIR형 대역 통과 여파기의 구조
Fig. 2. Proposed unit of the SIR BPF Structure

전기적 길이와 임피던스를 계산하여 물리적 치수로 바꾸면 UWB 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 결과는 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

시뮬레이터는 Agilent사의 ADS2008 Momentum과 Ansoft사의 HFSS 10을 이용하였으며, 선로 손실을 고려하지 않기 위해서 유전체 손실(dielectric loss tangent) 및 도선손실(conductor loss)을 제외 하였다.

그림 3은 Agilent사의 ADS2008 Momentum를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 1~12GHz의 주파수 범위에서 시뮬레이션 한 결과 UWB BPF 대역인 3.1~10.6GHz의 대역을 가지며 반사 손실은 9.49GHz에서 10.445dB인 시뮬레이션 결과를 얻었다. Ansoft사의 HFSS 10을 이용하여 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 Agilent사의 ADS2008 Momentum를 이용한 시뮬레이션을 동일한 조건하에서 시뮬레이션 하였으며, 그림 4와 같이 3.3~10.6GHz의 대역을 가지며 반사 손실은 9.20GHz에서 14.01dB의 시뮬레이션 결과를 얻었다.

이를 통해 설계 변수의 최적화한 상태는 아니지

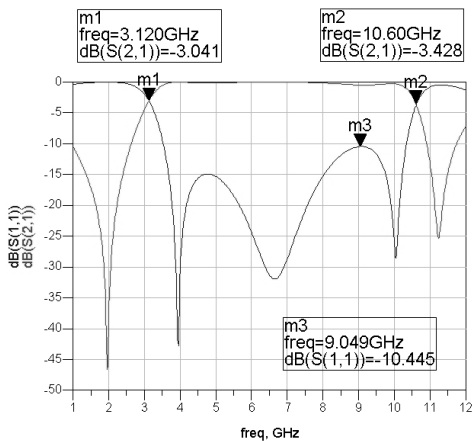


그림 3. 제시된 SIR형 UWB BPF ADS2008 Momentum 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The suggested SIR-type UWB BPF ADS2008 Momentum simulation results

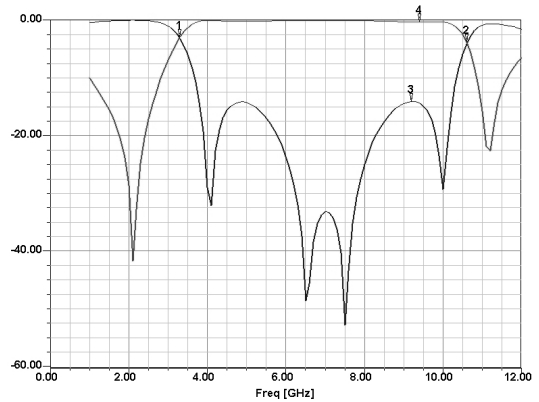


그림 4. 제시된 SIR형 UWB BPF의 HFSS 10 시뮬레이션 결과
Fig. 4. The suggested SIR-type UWB BPF HFSS 10 simulation results

표 1. UWB 대역 통과 여파기의 설계 변수
Table 1. Design parameter of UWB BPF

[mm]					
W1	1.7	W5	3	L3	7.4
W2	1.5	W6	9.6	L4	7.3
W3	2.5	L1	3	L5	2
W4	0.3	L2	4.8	L6	6.6

만, 식 (9)와 (10)를 이용함에 있어 대략의 타당성을 확인 할 수 있는 초벌 설계 결과를 얻을 수 있었다.

표 1은 각 전송 선로의 임피던스와 전기적 길이를 보여준다.

IV. 제안한 구조의 구현 및 결과 비교

본 논문에서는 Agilent사의 ADS2008 Momentum와 Ansoft사의 HFSS 10을 이용한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 제작된 새로운 형태의 SIR형 대역 통과 여파기는 두께 $h=0.254$ mm 이고, 전체적인 크기는 가로 23mm, 세로 30mm 이며, 비유전율은 $\epsilon_r = 2.2$ 인 Rogers Ro5880 기판에 설계하였다.

그림 5는 3.1~10.6GHz의 통과 대역을 갖는 UWB 대역 통과 여파기의 최적화된 설계의 결과이다. 그림 6은 그림 5와 같이 최적화된 설계를 제작하여 Network Analyzer를 이용하여 측정된 결과를 나타 내었다.

제작된 UWB 대역 통과 여파기의 측정 주파수 범위는 2~12GHz이며 측정결과 8.3GHz에서 삽입 손실이 0.39dB 이며, 반사 손실은 9.37GHz에서 12.394dB의 측정 결과를 얻었다. 시뮬레이션 결과는 식 (9)와 (10)을 이용하여 초벌 설계의 결과로 최적화한 상태

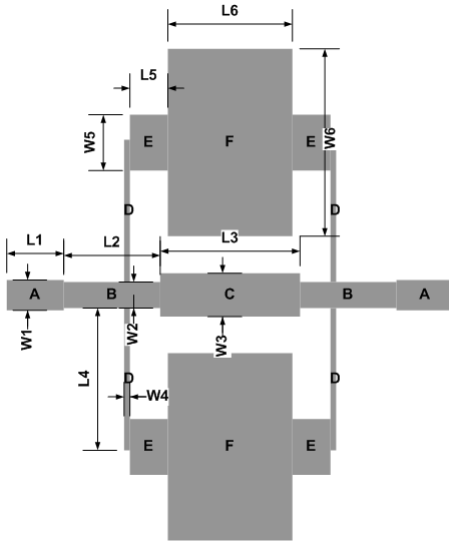


그림 5. 제작된 SIR형 UWB 대역 통과 여파기
Fig. 5. Fabricated SIR-type UWB BPF

의 제안된 구조의 구현의 측정에서 보다 넓은 대역 폭과 삽입 손실을 가지는 결과를 얻었다. 하지만 손실을 고려하지 않은 조건하의 시뮬레이션을 통해 얻

어진 결과와 실제 제작된 UWB 대역 통과 여파기의 측정결과가 일치하고 있음을 볼 수 있다.

전송 선로의 각 구간에 다르게 할당된 임피던스와 전기적인 길이를 조절함으로써 넓은 대역에서 낮은 삽입 손실을 유지하기 위해 단일형 구조를 2단으로 확장하거나^[2]나 스텔트와 링 공진기 등과 같은 부가적인 구조를 삽입하는^{[3][4]} 연구에 비해 단일형 구조로서 비교적 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 SIR형 구조로 3.1GHz~10.6GHz의 대역 통과 특성을 가지는 새로운 형태의 초광대역 대역 통과 여파기를 설계하였다. 제안된 여파기는 세 개로 분기된 SIR 구조를 통해 대역 통과 내에서는 보강 간섭을, 대역 통과 밖에서는 상쇄 간섭을 강화하여 가파른 차단 특성과 낮은 삽입 손실을 가지면서도 소형화되도록 하였다. 이는 MIC/MMIC, RFIC 등 다양한 초광대역 대역 통과 여파기를 필요로 하는 시스템에 소형화된 구조로 적용이 가능하다.

참고 문헌

- [1] R. Gomez-Garcia, J. I. Alonso, "Design of sharp rejection and low-loss wide-band planar filter using signal-interference techniques", *Microwave and Wireless Components Letters, IEEE*, Vol.15, Issue.8, pp.530-532, Aug., 2005.
- [2] 강승택, 주정호, "SIR형 Transversal 구조를 이용한 새로운 소형 초광대역 대역 통과 여파기의 설계", *한국전자과학회지*, 19권, 2호, pp.102-106, Feb., 2008.
- [3] Mitsuo Makimoto, Sadahiko Yamashita, "Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators", *Transactions on Microwave Theory and Tech, IEEE*, Vol.MTT-28, No.128, pp.1413-1417, Dec., 1980.
- [4] M. Dhieb, M. Ketata, M. Lahiani, H. Ghariani, "Microstrip Bandpass Filters for Ultra Wide Band(UWB)", *International Journal of Information Systems and Telecommunication Engineering*, Vol.1, Issue.2, pp.60-68, Aug., 2010.
- [5] Chun-Ping Chen, Hiroshige Nihei, Zhewang Ma, "Synthesis of compact UWB bandpass filter with improved performances", *Microwave and Optical*

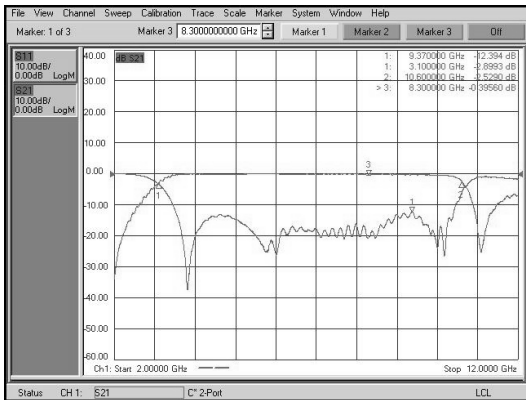


그림 6. 제작된 SIR형 UWB BPF의 산란 계수
Fig. 6. S-parameters of the fabricated SIR-type UWB BPF

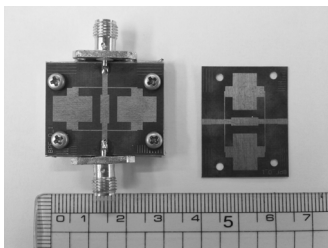


그림 7. 제작된 SIR형 UWB 대역 통과 여파기
Fig. 7. Fabricated SIR-type UWB BPF

Technology Letters, IEEE, Vol.52, No.6, pp.1268-1271, June, 2010.

전 계 석 (Gye-Suk Jun)

중신회원



1983년 2월 연세대학교 전자공학
학과(공학박사)

2002년 한국통신학회 회장

1979년 3월~현재 경희대학교 전
자·전파공학과 교수

<관심분야> 초음파 및 마이크로
파 통신시스템, 초음파 및 마

이크로파 영상시스템

신 승 하 (Seung-ha Shin)

정회원



1992년 2월 경희대학교 전자공
학과(공학사)

1994년 2월 경희대학교 전자공
학과(공학석사)

2002년 3월~현재 경희대학교
전자공학과 박사과정

현재 M&M links 수석연구원

<관심분야> 광대역 회로설계, 레이더 송수신기

최 창 호 (Chang-ho Choi)

정회원



2002년 2월 경희대학교 전자공
학과(공학사)

2005년 2월 경희대학교 전자공
학과(공학석사)

2005년 3월~현재 경희대학교
전자공학과 박사과정

<관심분야> 마이크로파 소자 설
계, 초음파 및 마이크로파 영상시스템