

논문 2014-51-6-34

임피던스 부정합 및 SIR을 적용한 개방형 광대역 소형 스텝브 대역통과 여파기

(Compact UWB Band-pass Filter with Open-Stub Using Impedance
Mismatching and SIR)

이 원 석*, 윤 기 철**

(Won-Seok Lee and Ki-Cheol Yoon[Ⓢ])

요 약

본 논문은 여파기의 크기를 축소시키고 대역폭을 넓히기 위해 전송선로 및 개방형 스텝브(stub)에 임피던스(impedance) 부정합과 SIR(Stepped Impedance Resonator)을 적용하여 소형화된 초광대역 개방형 스텝브 대역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 제안된 대역통과 여파기의 대역폭 및 중심 주파수는 각각 103 % 및 11.2 GHz이고 통과대역 주파수는 4.8 GHz~16 GHz이며 저역 주파수 대역과 고조파를 적용하여 임피던스 부정합을 사용했을 때, 제안된 구조의 전송선로 길이는 일반적인 전송선로 길이 보다 약 절반의 수준으로 줄어들게 된다. 또한 개방형 스텝브의 크기를 줄이기 위해서는 SIR을 사용할 수 있으며 실험결과에서 삽입 및 반사손실은 각각 0.35 및 15.1 dB이고 여파기의 크기는 $8.92 \times 10.6 \text{ mm}^2$ 이므로 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, the UWB (Ultra Wide Band) band-pass filter (BPF) with compact-size using impedance mismatching in transmission line and SIR (Stepped Impedance Resonator) instead of open stubs is presented. The proposed BPF have 103 % of bandwidth and 11.2 GHz of center frequency, respectively. In additional, the operation frequencies of the suggested BPF are 4.8 GHz to 16 GHz. In this structure, the length of the transmission line is reduced to half compared with the original one by impedance mismatching technique with low frequency band (sub harmonics) and harmonic components. Also, the open stub can be used for SIR due to reduced size. Experimental results show that the insertion and return losses are 0.35 dB and 15.1 dB, respectively and the filter size is $8.92 \times 10.6 \text{ mm}^2$. The proposed BPF is in good agreement.

Keywords : impedance mismatching, SIR, UWB, compact size, stub

I. 서 론

21 세기 이 후, 교통의 혼잡성은 증가하고 차량 및 교통 이동 수단은 급속도로 발전하고 있다^[1]. 이러한 교통 혼잡을 효율적으로 해결하기 위해 교통관련 행정, 건설 교통공학, 자동차 산업, 신호 및 시스템 등이 융합 하면서 스마트(smart) 교통 전자통신 융합 기술로 재탄

* 정회원, 동양미래대학교 전기전자통신공학부
(Dongyang Mirae University, School of Electrical Engineering)

** 정회원, RFIC 연구센터 광운대학교
(RFIC Research Center, Kwangwoon University)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: kcyoon98@kw.ac.kr)
접수일자: 2014년04월17일, 수정일자: 2014년05월22일
수정완료: 2014년06월05일

생을 추구하고 있는 실정이다. 최근 지능형 교통시스템 시장은 효과적인 교통시스템을 실현시키기 위해 민간 및 정부기관이 협력하여 첨단기술을 추구하려는 목적을 가지고 있다^[1]. 특히, 첨단 전자통신기술을 접목시켜 현행 교통체계를 21세기에 맞는 첨단 교통체제로 전면 개편하기 위해 전국에 ITS를 구축하려는 계획을 세우고 있다^[2].

최첨단 도로 체계를 구축하기 위하여 유·무선 통합 네트워크의 확대가 절실히 요구되고 있으며 대표적인 사례로 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 시스템은 운전자에게 서비스를 제공하기 위한 새로운 통신 수단으로써, 차량 통행로 자동징수, 도로를 통한 교통정보 수집·가공 및 제공, 교통신호 전달 등의 서비스를 텔레매틱스로 이용하는 첨단통신 방식을 의미한다.

차량에서 수집된 데이터들은 라우터(Router)를 통하여 중앙처리 장치로 전송될 때, 해당 점유 채널의 대역폭을 갖고 전송하게 된다^[3]. 이러한 대역폭을 효율적으로 나누어 데이터를 전송하기 위하여 사용되는 부품은 대표적으로 대역통과 여파기가 있으며 여파기를 설계할 때 응답특성 고려도 중요하지만 사용되는 부품에 대한 단가와 크기, 대용량 영상 데이터 등을 처리 할 수 있는 광대역 그리고 경제적인 측면에서 고려되어야 한다^[3].

스터브(stub) 대역통과 여파기는 일반적으로 협대역 혹은 시스템에 적용하기 부적합한 넓은 대역폭을 소유하고 있으며 여기서 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 형태의 대역통과 여파기는 주파수에 의존하는 전기 및 물리적인 크기가 매우 크기 때문에 무선통신 시스템에서 PCB 기판에 적용하기에는 매우 제한적이다^[3]. $\lambda_g/4$ 단락형 스텐브 대역통과 여파기의 경우 스텐브의 길이는 절반 수준으로 줄일 수 있지만 낮은 임피던스(impedance)의 값을 가지고 있기 때문에 스텐브의 넓이가 증가하여 여파기의 가로 측이 증가하게 됨으로써 스텐브의 끝 부분에 비아(via)를 사용하기 때문에 그에 대한 손실도 발생하게 된다. 또한 스텐브의 길이를 절반으로 줄인다 해도 가로 측의 전송선로는 철저한 주파수에 의존하게 되기 때문에 크기를 줄이기에 한계성을 가지게 된다^[3].

고유전율 기판(Teflon)을 사용하여 여파기의 크기를 줄이는 방법은 있지만 이는 단가가 높아진다^[3]. 그러므로 스텐브 대역통과 여파기의 연구 핵심 주안점은 가로 및 세로의 길이를 절반의 수준으로 줄이는 것이 급선무

이다.

이를 보완하기 위해 본 논문은 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기에 임피던스 부정합을 이용하여 전송선로를 축소시킴과 동시에 스텐브 측에 SIR을 적용함으로써 스텐브의 길이를 절반 이상으로 줄이고 광대역(UWB:Ultra Wide Band)으로 동작하는 것을 목표로 하여 소형화된 개방형 광대역 스텐브 대역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 여파기 설계 시 시뮬레이션 tool 로써 IE3D (Ver. 12.0) 프로그램을 사용하였고, 측정은 회로망 분석기(HP-8510 C Vector Network Analyzer)를 사용하였으며 제작을 위해 유질을 2.54 그리고 기판 높이가 0.54 mm를 가진 테프론 (Teflon) 기판을 적용하여 음화필름 방식의 wet-etching을 수행하여 필터의 성능을 입증하였다.

II. $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기의 크기에 대한 비교 분석

1. 일반적인 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기
일반적인(Conventional) $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기는 그림 1과 같이 공진기로 동작하는 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브(stub)들과 스텐브 사이의 연결을 위한 어드미턴스(admittance) 인버터(J-Inverter)로 동작하는 $\lambda_g/4$ 전송선로로 구성 된다^[4].

그림과 같이 여파기의 전체 크기는 중심 주파수 5.8

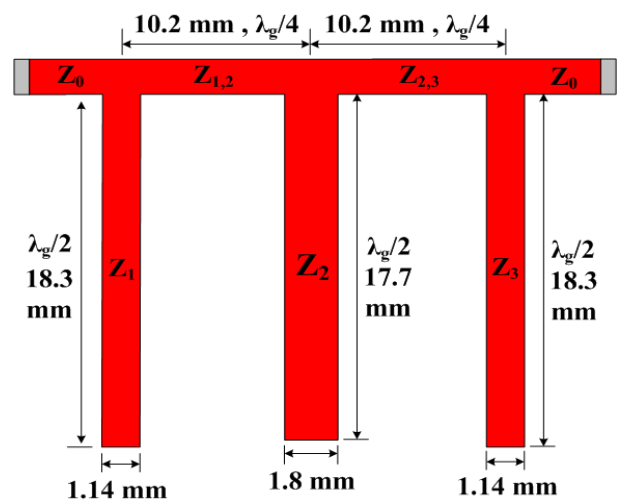


그림 1. 일반적인 $\lambda_g/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기의 구조

Fig. 1. Structure of a conventional band pass filter(BPF) with $\lambda_g/2$ open stubs.

GHz를 중심으로 했을 때, $21.6 \times 19.0 \text{ mm}^2$ 이며, 또한 전송선로에서 발생하는 중심 주파수는 스테르브에서 공진되는 공진 중심 주파수와 같으므로 이때, 전송선로 측에서 발생하는 주파수 대역에서는 양 측으로 저역 주파수 대역(sub harmonics)과 고조파(harmonics)가 함께 발생을 한다^[3].

그러므로 참고문헌 [3]의 경우 저역주파수 대역과 고조파를 통해 임피던스 부정합을 이용한 가로 측의 크기를 축소시킨 스테르브 대역통과 여파기에 대해 출간된 바가 있다.

2. 여파기의 전송선로 축소를 위한 임피던스 부정합 기술

저역 주파수 대역 및 고조파를 통해 임피던스 부정합을 적용하여 본래의 전송선로(여파기)의 길이를 1/2로 축소한 것에 대해 그림 2와 같이 간략히 소개를 한다^[3]. 이때, 스테르브 연결을 위한 전송선로는 그림 3과 같이 각각 90°로 이루어졌고, 전체의 길이는 180°로 구성되어

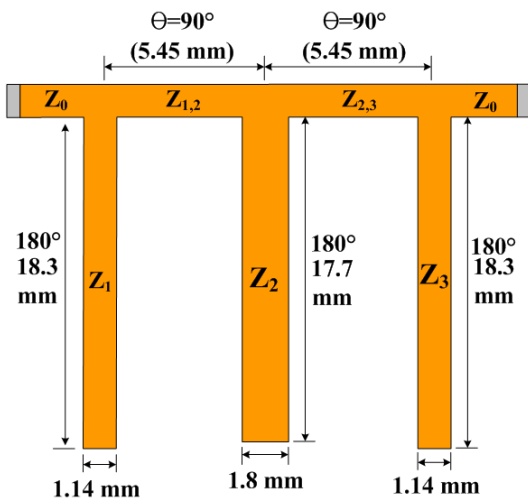


그림 2. 임피던스 부정합을 적용한 $\lambda_g/2$ 개방형 소형 스테르브 대역 통과 여파기

Fig. 2. A BPF with $\lambda_g/2$ open stubs using impedance mismatching.

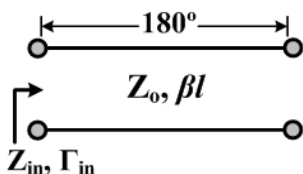


그림 3. 초고주파 회로 적용을 위한 전송선로의 구조
Fig. 3. Structure of the transmission line for microwave applications.

있으며 전송선로 측에서는 공진이 저역 주파수 대역부터 정수배로 발생하기 시작 한다^[3]. 그러므로 그림 4와 같이 전송선로 측에서 공진하는 주파수 대역에서는 사용하는 중심 주파수와 중심 주파수의 양측에 저역주파수 대역 및 고조파가 함께 발생하게 되므로 이와 같은 세 가지 대역을 이용하여 임피던스 부정합 기법을 적용하여 설계를 했을 때 전송선로의 길이는 기존 전송선로보다 약 1/2로 축소가 가능하다^[3]. 그 이유는 전송선로를 설계할 때 기존의 방식과 같은 원래의 중심 주파수에 맞추어 설계하지 않고, 2차 고조파 대역에 중심 주파수를 설정하여 설계를 하기 때문에 이때, 파장이 짧아짐에 따라 실제의 길이가 짧아질 수 밖에 없다^[3].

그러므로 길이가 짧아진 전송선로의 저역 주파수 대역은 본래의 중심 주파수가 되고 결국, 스테르브에서 공진하는 중심 주파수 대역과 같게 된다^[5]. 이 전송선로를 스테르브 사이에 각각 90°길이를 나뉘어 삽입했을 때 스

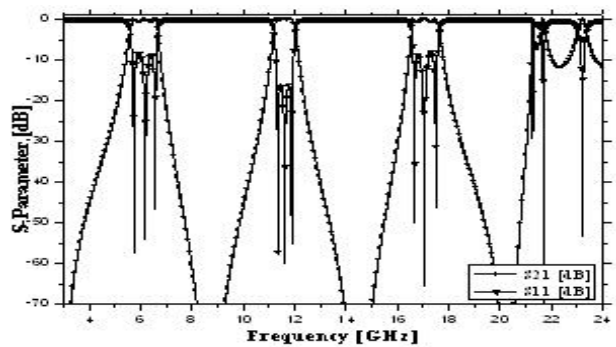
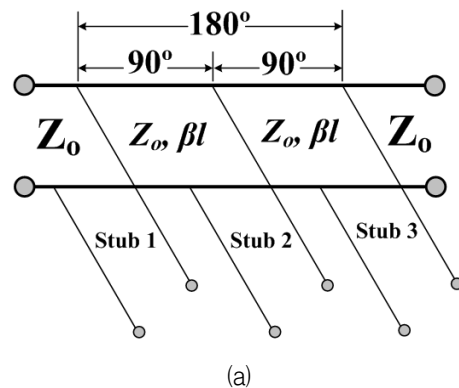


그림 4. $\lambda_g / 2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기의 전송선로에 대한 공진현상 (a) 180°길이를 갖는 전송선로, (b) 전송선로에서 발생하는 고조파

Fig. 4. Resonance condition of a BPF with $\lambda_g / 2$ open stubs at transmission line, (a) Transmission line with half-wavelength, (b) Harmonics from transmission line.

터브에서 공진하는 모든 전력들은 전송선로의 저역주파수 대역을 통해 임피던스 부정합을 이루어 전송하게 된다. 따라서 공진 주파수에 맞추어 설계된 전송선로를 이용한 기존의 대역통과 여파기와 비교를 했을 때, 제안한 여파기의 가로 축(전송선로)의 길이는 절반으로 감소되었으므로 실제의 길이는 $11.54 \times 19.9 \text{ mm}^2$ 이다^[3]. 그러나 본 절에서 소개되는 개방형 스테르브 대역통과 여파기는 가로 축의 크기를 축소 시켰지만 세로 축의 크기는 기존의 여파기와 여전히 동일한 것으로 파악되어 시스템에 적용하는데 번거로움이 따르게 되며 대역폭도 실제의 시스템에 적용하기에 부적절^[6]하므로 본 연구에서는 가로 축이 축소된 대역통과 여파기의 스테르브에 SIR(Stepped Impedance Resonator)를 적용하여 세로 축의 크기 축소는 물론 대역폭을 초광대역으로 넓히는 데 기여를 한다.

III. SIR의 적용을 통한 $\lambda g/2$ 개방형 스테르브의 축소 및 대역폭 증가

3-1. SIR 구조의 이론 및 분석

SIR 공진기는 주로 광대역 혹은 소형화 구현에 많이 적용되며 주로 개방형과 단락형의 SIR로 구분이 된다^[7]. 이때, SIR 공진기는 그림 5와 같이 180° 개방형 공진기들(Z_1, Z_2)과 90° 단락형 공진기(Z_{11}, Z_{22})로 구성 된다^[8].

이때, $\lambda/2$ 개방형 SIR 구조는 주로 대칭형(Symmetric)으로 구성되어 있고 중심에 위치하는 공진기(Z_2, Z_{22})와 맨 끝에 위치하는 공진기(Z_1, Z_1)의 관계는 그림 5 및 식(1)과 같이 해석되어지며 이 공진기들은 두 가지 형태의 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 의 SIR 구조로 해석 되어 진다^[6].

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

여기서, $\theta = \theta_1 = \theta_2$ 이고 이며, 실질적인 활용을 위해 간단히 할 수 있는 Y_i 는 식 (2)와 같이 해석 할 수가 있다^[8].

$$Y_i = jY_2 \frac{2(1 + R_z)(R_z - \tan^2 \theta) \tan \theta}{R_z - 2(1 + R_z + R_z^2) \tan \theta} \quad (2)$$

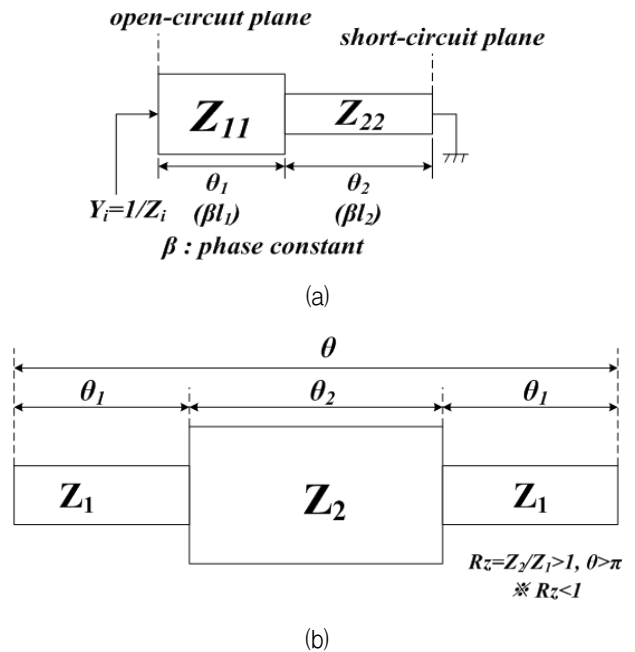


그림 5. SIR 구조

(a) $\lambda/4$ 단락형 구조, (b) $\lambda/2$ 개방형 구조

Fig. 5. Structure of the SIR, (a) a $\lambda/4$ shorted structure, (b) a $\lambda/2$ open structure.

여기서 $\theta = \tan^{-1} \sqrt{R_z}$ 표현된다. 식 (1)과 식 (2)는 주로 $\lambda/2$ 의 개방형 구조에 관한 어드미턴스의 식이고, $\lambda/4$ 의 단락형 구조에 관한 임피던스 해석은 다음 식(3)과 같이 해석되어 진다^[6].

$$Z_i = jZ_2 \frac{Z_1 \tan \theta_1 + Z_2 \tan \theta_2}{Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 \tan \theta_2} \quad (3)$$

이때, 공진일 경우, $Y_i=0$ 의 조건을 만족해야 하므로 식 (3)으로부터 기본 공진 조건은 식(4) 및 (5)와 같게 된다.

$$Z_2 - Z_1 \tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2 = 0 \quad (4)$$

$$\tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2 = Z_2 / Z_1 = R_z \quad (5)$$

이때, SIR 공진기는 그림 5 (b)의 개방형 형태를 토대로 그림 6과 같이 비대칭(Asymmetric) 구조인 2단 형태의 공진기로 재 구현 할 수 있게 되며 주로 대역폭을 증가시키거나 크기를 줄이는데 많이 사용하게 된다^[7].

표 1은 그림 6의 임피던스 및 전기적 길이에 대한 값들을 제시 하고 있으며 이때 서로 다른 임피던스 값을 가진 상태에서 전기적인 길이가 기존의 스테르브의 전기

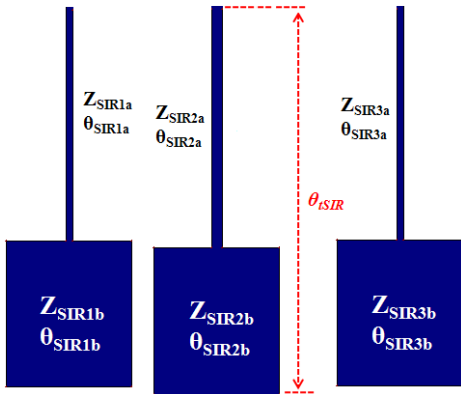


그림 6. 비대칭 2단 구조의 개방형 SIR
Fig. 6. Structure of the open SIR with two-stage in asymmetric.

표 1. SIR의 임피던스 및 전기적인 길이 값
Table 1. Value of the impedance and electrical lengths in the SIR.

Impedance, Z				Electrical lengths, θ				
$Z_{SIR_{1,3(a)}}$ [Ω]	$Z_{SIR_{1,3(b)}}$ [Ω]	$Z_{SIR_{2(a)}}$ [Ω]	$Z_{SIR_{2(b)}}$ [Ω]	$\theta_{SIR_{1,3(a)}}$ [$^\circ$]	$\theta_{SIR_{1,3(b)}}$ [$^\circ$]	$\theta_{SIR_{2(a)}}$ [$^\circ$]	$\theta_{SIR_{2,3(b)}}$ [$^\circ$]	θ_{SIR} [$^\circ$]
118	37.5	120	35.0	45.1	42.0	46.8	42.3	89.3

적인 길이보다 낮아졌기 때문에 만일 SIR을 스텐브에 적용하게 된다면 여파기 실제의 크기는 작아질 것으로 사료된다.

3-2. 소형 스텐브 대역통과 여파기의 설계 및 실험 결과

전송선로 측에 임피던스 부정합을 적용하고 스텐브에 SIR을 적용하게 된다면 여파기의 가로 및 세로의 크기는 절반 이상으로 줄어들게 된다. 그러므로 이를 적용 시킨 소형화된 개방형 스텐브 대역통과 여파기는 그림 7과 같이 구현된다.

제안한 여파기의 구조는 임피던스 부정합이 적용된 소형 전송선로와 2단 개방형 비대칭 SIR을 적용한 개방형 스텐브로 구성된다. 표 2는 제안된 스텐브의 임피던스와 물리 및 전기적인 길이에 대해 소개 되고 있다.

그림 8은 제안한 여파기의 시뮬레이션(simulation) 및 측정결과이며 중심 주파수는 10.2 GHz 그리고 대역폭은 3 dB 주파수를 기준으로 하였을 때 103% (4.8 GHz-16 GHz)를 가지고 있으며 삽입 및 반사손실은 시

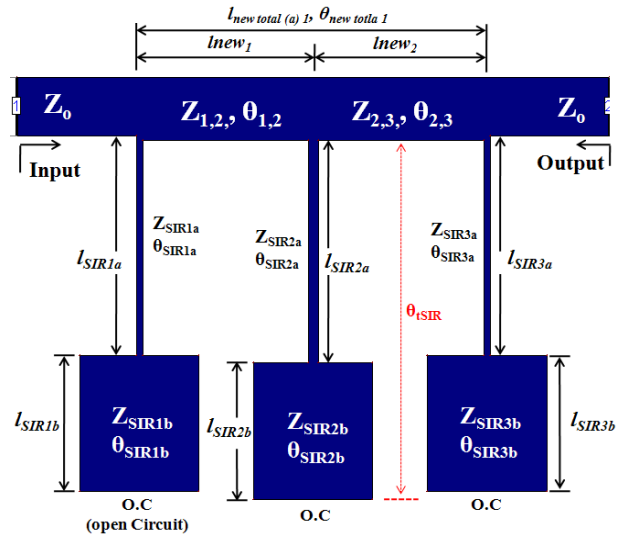


그림 7. 제안한 소형 스텐브 대역통과 여파기의 구조
Fig. 7. Structure of the proposed compact stub BPF.

표 2. 제안한 여파기의 물리/전기적인 길이 및 임피던스의 정보
Table 2. Information of the physical / electrical lengths and impedance on proposed BPF.

Physical lengths [mm]					
$l_{SIR_{1,3(a)}}$	$l_{SIR_{1,3(b)}}$	$l_{SIR_{2(a)}}$	$l_{SIR_{2(b)}}$	$l_{new_{1,2,3}}$	$l_{new,t}$
5.5	3.0	5.7	3.5	4.18	8.92
Electrical lengths [deg $^\circ$]					
$\theta_{SIR_{1,3(a)}}$	$\theta_{SIR_{1,3(b)}}$	$\theta_{SIR_{2(a)}}$	$\theta_{SIR_{2(b)}}$	θ_{SIR}	$\theta_{new_{1,2,3(tota)}}$
45.1	42.0	46.8	42.4	89.3	30(90)

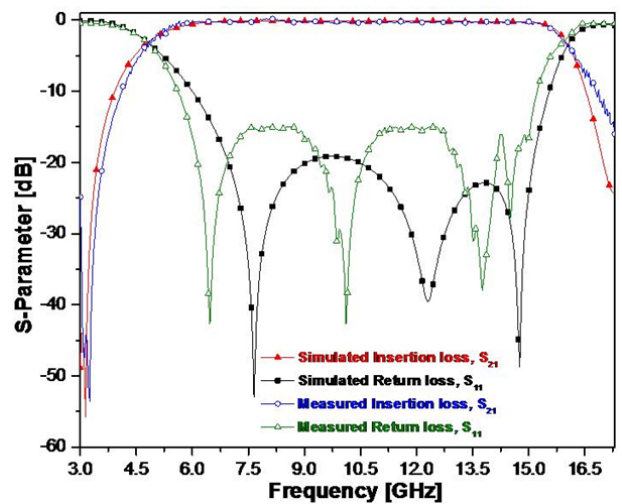


그림 8. 제안한 소형 스텐브 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과
Fig. 8. Simulation and measurement results for proposed compact stub BPF.

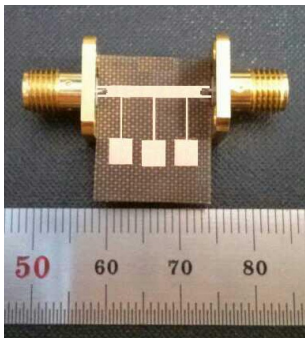


그림 9. 제안한 소형 스텝 대역통과 여파기
Fig. 9. The proposed compact stub BPF.

플레이션에서 0.17 dB 및 19.1 dB를 그리고 측정결과는 각각 0.35 dB 및 15.1 dB를 얻을 수 있었다.

그림 9는 제안한 대역통과 여파기이며 이때, 여파기의 크기는 $8.92 \times 10.6 \text{ mm}^2$ 이다.

IV. 협대역 소형 스텝 대역통과 여파기의 특징 및 비교분석

본 논문은 소형화 된 광대역 개방형 스텝 대역통과 여파기를 임피던스 부정합과 2단 구조의 개방형 SIR을 적용함으로써 여파기의 스텝과 전송선로의 길이를 줄임으로써 여파기의 전체 크기를 48 % 정도의 수준으로 축소 시켰다. 본래의 스텝 대역통과 여파기에서는 스텝의 크기를 줄이기 위해 주로 $\lambda g/4$ 단락형 스텝으로 구현하면서 비아를 사용하게 되는데 본 여파기의 경우 비아를 사용하지 않으므로 제작의 간편성과 비아로 인한 에너지의 손실이 없는 것으로 보였다^[4].

또한 낮은 유전율을 가진 Teflon PCB 기판과 분포정수소자(Distributed Element)를 사용하였기 때문에 가격 면에서 매우 경제적이라 할 수가 있다. 전송선로의 경우^[4] 실제의 크기는 절반의 수준이지만 전기적인 길이는 90° 이므로 만일 반사파가 발생한다 해도 180° 의 전기적인 길이로 인해 상쇄되는 효과를 가지고 있으므로 전송 성능 측면에서도 매우 우수하다고 판단된다.

제안한 필터의 크기에 대해 비교를 하여 표 3에 제시를 하였다. 표 3에서 내용을 분석하면, 참고문헌^[3]의 경우, 가로 크기는 줄어들었지만 세로의 크기는 기존의 크기와 일치하다. 참고문헌^[5]의 경우 스텝에 SIR을 적용하여 대역폭을 103 %의 초광대역으로 향상시켰지만 여파기의 크기는 참고문헌^[3]과 같이 일반적인 스텝

표 3. 여파기의 크기에 대한 비교

Table 3. Comparison for sizes of the BPFs.

참고문헌	크기 [mm]		유전율 ϵ_r	주파수 [GHz]		대역폭 [%]
	가로	세로		f_1	f_2	
새로운 여파기	8.92	10.6	2.54	4.8	16	103
임피던스 부정합 [3]	11.54	19.9	2.54	3.92	7.10	55
Conventional BPF [3]	21.6	19.0	2.54	4.12	7.17	53
[5]	21.6	17.8	2.54	2.84	8.66	103
[9]	16.2	20	3.38	3.17	10.65	108
[10]	22	10	2.2	3.15	10.62	116
[11]	23	20	2.2	3.10	10.6	118

브 대역통과 여파기의 크기와 일치하여 시스템에 적용하기에 번거로움이 따른다. 그러므로 본 논문에서 제안한 대역통과 여파기는 가로세로의 크기 축소는 물론 대역폭을 103%까지 증가시키는데 주안점을 두었다.

V. 결 론

본 논문은 소형화된 광대역 개방형 스텝(stub) 대역통과 여파기에 대해 제안을 했으며 크기를 줄이기 위해 임피던스 부정합 및 SIR(Stepped Impedance Resonator)을 접목 시키는 것으로 기여를 했다.

스텝 연결을 위한 전송선로의 길이는 각각 90° 이고 전체의 길이는 180° 로 구성된다. 전송선로의 중심 주파수를 기준하였을 때, 저역 주파수 대역과 고조파가 정수배로 함께 발생하게 되는데 이러한 고조파를 이용하여 2차 고조파를 중심 주파수로 결정하여 전송선로를 설계 했을 때, 실제의 길이는 파장에 비례하여 짧아짐을 알 수 있었다. 설계된 전송선로를 공진기로 동작하는 스텝 사이에 각각 연결을 했을 때, 기본과 중심 주파수에서의 공진하는 모든 전력들은 전송선로에서 발생하는 저역주파수 대역인 기본과 대역을 통해 전달이 가능하며 스텝들과 전송선로는 임피던스 조건 부정합을 통해 이루어지게 된다. 이때 전송선로 축의 기본과 대역 중심 주파수는 스텝에서 공진하는 중심 주파수와 같아지게 된다. 또한 스텝의 크기를 줄이기 위해 SIR을 접목 시켰고 스텝의 기본 크기는 $\lambda g/2(180^\circ)$ 의 개방형으로 구성되어 있지만 만일 SIR을 적용하여 스텝의 크기를 절반으로 나누어 각각의 길이를 약 43° 씩

인가를 했을 때 각각의 스텐브에 서로 다른 임피던스 차를 주면서 임피던스 비율을 적절히 맞추게 되면 스텐브의 크기는 절반 이상으로 줄어들게 된다. 따라서 제안한 소형 스텐브 광대역 대역통과 여파기의 중심 주파수 및 대역폭은 각각 10.2 GHz 및 103% (3 dB 주파수 기준 : 4.8 GHz-16 GHz) 이며 삽입 및 반사손실은 각각 0.35 dB 및 15.1 dB 이다. 제안한 소형 스텐브 대역통과 여파기는 반도체 공정을 통해 지능형 교통시스템 (ITS : Intelligent Transport System)에 적용이 가능할 것으로 기대 된다.

REFERENCES

- [1] Y. Jeong, H. S. Park, B. H. Kim, and Y. Kim, "Combined Filtering Model Using Voting Rule and Median Absolute Deviation for Travel Time Estimation," J. Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 12, no. 6, pp. 10-21, Dec. 2013.
- [2] E. Jeong, C. Oh, and S. Hong, "Prediction of Speed by Rain Intensity Using Road Weather Information System and Vehicle Detection System Data, J. Korea Institute of Intelligent Transport Systems," vol. 12, no. 4, pp. 44-55, Aug. 2013.
- [3] K. C. Yoon, S. Y. Oh, K. M. Oh, H. Lee, T. U. Hong, and J. C. Lee, "Compact Open-stub Band-pass Filter with Narrow Bandwidth Using impedance Mismatching of the Transmission-line, J. Korea Institute of Intelligent Transport Systems," vol. 7, no. 6, pp. 38-47, Dec. 2008.
- [4] J. S. Hong and M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, John Wiley & Sons, pp. 151-159, 2001.
- [5] K. C. Yoon, J. H. Kim, and J. C. Lee, "Compact Narrow Band-pass Filter with $\lambda_g/4$ Short Stubs Using Impedance Mismatching of the Transmission line," Microwave Opt. Technology Lett., vol. 52, no. 9, pp. 2002-2005, Sep. 2010.
- [6] K. C. Yoon, C. H. Kang, T. U. Hong, and J. C. Lee, "Design of an Ultra Wide Band Band-pass Filter with Open-Stubs," J. Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 12, no. 6, pp. 37-43, Dec. 2013.
- [7] M. Makimoto and S. Yamashita, Microwave resonators and filters for wireless communication, Theory, Design and Application, Springer, 2004.
- [8] J. H. Lee, T. U. Hong, and K. C. Yoon, "Compact Broad Band-pass Filter of Parallel Coupled Structure with SIR," J. Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 36, no. 4, pp. 403-413, Apr. 2011.
- [9] W. Tang, S. Yang, X. Wang, C. Wang, and Y. L. Chow, "A Novel UWB Bandpass Filter Using Highpass and Lowpass Filters," Int. High Speed Intelligent Communication Forum (HSIC), May 2012.
- [10] P. Sarkar, R. Ghatak, M. Pal, and D. R. Poddar, "Compact UWB Bandpass Filter with Dual Notch Bands Using Open Circuited Stubs," IEEE Microwave and Wireless Comp. Lett., vol. 22, no. 9, 453-455, Sep. 2012.
- [11] S. M. Kim and J. H. Song, "Miniaturized UWB BPF design that is applicable to Ultrafast Wireless Communication Systems," J. Korean Institute of Electronic Communication Society, vol. 5, no. 6, pp. 620-624, Dec. 2010.

— 저 자 소 개 —



이 원 석(정회원)

1977년 2월 광운대학교 응용전자
공학과 학사 졸업.

1979년 8월 한양대학교 전자통신
공학과 석사 졸업.

2001년 8월 광운대학교
전자공학과 박사 졸업.

1980년 3월~현재 동양미래대학교 전기전자통신
공학부 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 전자회로설계>



윤 기 철(정회원)

2007년 2월 광운대학교 전파공학과
공학석사 졸업

2011년 8월 광운대학교 전파공학과
공학박사 졸업.

2011년 8월~2012년 1월 전자부품
연구원 선임연구원.

2012년 2월~2013년 2월 한국과학기술원
선임연구원

2013년 3월~현재 광운대학교 전파공학과
(RFIC 연구센터) 교수

<주관심분야 : 전자파흡수, Bio-Medical, 재생에
너지, RF-MEMS>