

전송선로의 임피던스 부정합을 이용한 협대역 개방형 소형 스티브 대역통과 여파기

Compact Open-stub Band-pass Filter with Narrow Bandwidth Using Impedance Mismatching of the Transmission-line

윤기철* 오승연** 오경민** 이현욱** 홍태의*** 이종철****

(Ki-Cheol Yoon) (Seung-Yeon Oh) (Kyoung-Min Oh) (Hyunwook Lee) (Tae-Ui Hong) (Jong-Chul Lee)

요약

본 논문에서는 $\lambda/2$ 개방형 협대역 소형 스티브 대역통과 여파기를 새롭게 제안한다. 이 여파기를 연구하는 목적은 전송선로에서 발생하는 2차 고조파를 이용하여 여파기의 가로 축 길이를 줄이는 것이고, 또한 동시에 공진부와 전송선로에서 발생하는 기본파를 이용하여 전력을 전달하기 위하여 임피던스 부정합 기법을 이용하는 것이다. 그러므로 여파기의 가로 축 길이는 기존에 비해 1/2로 축소되었다는 것을 확인할 수 있었다. 설계된 여파기의 대역폭은 10 % 이고, 중심 주파수는 5.8 GHz이며, 측정 결과의 삽입손실 및 반사손실은 각각 1.58 dB, 9.86 dB의 결과 값을 얻었고 크기는 $10.34 \times 18.56 \text{ mm}^2$ 이다.

Abstract

In this paper, the narrow band-pass filter with compact-size using the $\lambda/2$ open stubs is proposed. The filter size is reduced by realization of transmission line at second harmonics and at the same time the power can be transferred to the output by using the fundamental wave generated in the resonator and the transmission line in which the impedance mismatch technique is adopted. Thus, the proposed filter can be reduced to half-length of horizontal transmission line than the conventional one. The experimental results show that insertion loss is 1.58 dB and return loss is 9.86 dB, and the fractional bandwidth is 10 % at the center frequency of 5.8 GHz. The filter size is $10.34 \times 18.56 \text{ mm}^2$.

Key words: Narrow band, open stub, transmission line, mismatching, insertion and return loss

* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 수료

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정 수료

**** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 9월 25일

‡ 논문심사일 : 2008년 10월 24일

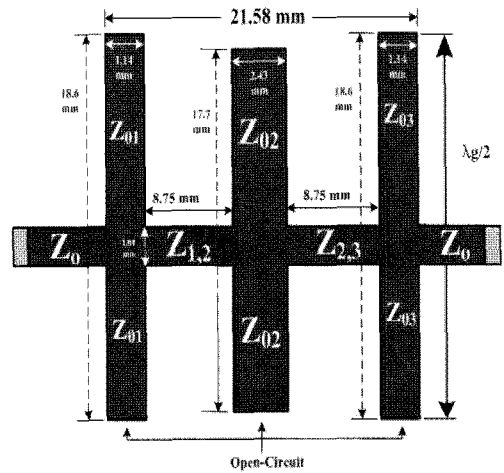
‡ 게재확정일 : 2008년 10월 27일

1. 서론

지능형 교통시스템 (ITS: Intelligent Transport System)은 교통 혼잡을 효율적으로 조정하기 위해 도로, 차량, 신호 시스템의 구성원들과 전자통신기술을 융합시킨 시스템으로 정의 한다 [1, 2]. 최근 ITS 시장은 효과적인 교통시스템을 실현시켜 기존의 교통체계를 개선하기 위하여 민간 및 정부기관의 협력 하에 첨단기술을 추구하고 있다 [3]. 특히, 첨단 전자통신기술을 접목시켜 현행 교통체계를 21세기에 맞는 첨단 교통체계로 전면 개편하기 위해 2010년까지 전국에 ITS를 구축하려는 계획을 세우고 있다 [4]. 최첨단 도로 체계를 구축하기 위하여 유·무선 통합 네트워크의 확대가 요구되고 있는데, 대표적인 사례로 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 시스템은 운전자에게 서비스를 제공하기 위한 새로운 통신 수단으로써, 차량 통행료 자동징수, 도로를 통한 교통정보 수집·가공 및 제공, 교통신호 전달 등의 서비스를 텔레매틱스로 이용하는 첨단통신 방식이다. 차량에서 수집된 데이터들은 라우터 (router)를 통하여 중앙처리 장치로 전송될 때, 해당 점유 채널의 대역폭을 갖고 전송한다. 이러한 대역폭을 효율적으로 나누어 데이터를 전송하기 위하여 사용되는 부품은 대표적으로 대역통과 여파기이고, 대역통과 여파기는 협대역과 광대역 대역통과 여파기로 나누어지며, 필요 대역폭에 따라 선택하여 사용할 수 있다 [5]. 여파기를 설계할 때 응답특성 고려도 중요하지만 사용되는 부품에 대한 단가와 크기는 경제적인 측면에서 고찰되어야 한다.

스텐브(stub) 대역통과 여파기는 일반적으로 광대역용으로 사용되며, 만일 협대역용으로 설계하게 된다면 스텐브의 임피던스 값이 매우 작아져 실제 제작하기가 매우 어려워진다는 단점을 갖고 있다 [6, 7].

이러한 단점을 보완하고 협대역으로 사용할 수 있는 스텐브 대역통과 여파기에 관한 연구가 최근 발표되었으나 [7], 이는 수치(EM) 해석을 통하여 임



<그림 1> 협대역 $\lambda/2$ 개방형 스텐브 대역통과 여파기의 구조

<Fig. 1> Structure of a narrow band pass filter (BPF) with $\lambda/2$ open stubs

피던스 값의 변화 없이 오직 스텐브의 위치만 변화시켜 Q_e (External Quality Factor) 값이 변화되면서 대역폭이 좁아지는 현상을 이용한 것이다. 또한 협대역 스텐브 대역통과 여파기는 제안한 대역폭과 응답특성이 중요하지만 크기의 축소 또한 중요한 요소이다.

크기를 줄이는 한 가지 방법은 여파기 설계 시 고 유전율 기판(tefron)을 사용하는 것이 일반적이지만, 이는 단가가 높다 [8]. 본 논문은 기존에 제안된 협대역스텐브 대역통과 여파기를 저 유전율 기판을 사용하여, 가로 측의 길이를 절반으로 줄인 것으로써 길이를 줄이기 위하여 스텐브 여파기 측의 전송선로를 부정합 기법을 활용하여 소형화가 가능한 협대역 스텐브 대역통과 여파기의 설계를 제안한다.

여파기 설계 시 시뮬레이션 tool 로서 IE3D (Ver. 12.0) 프로그램을 사용하였고, 측정은 회로망 분석기(HP-8510 C Vector Network Analyzer)를 사용하였다.

II. 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기

협대역 스테르브 대역통과 여파기는 <그림 1>과 같이 공진기로 동작하는 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브들과 스테르브 사이의 연결을 위한 인버터(J-inverter)로 동작하는 $\lambda_g/4$ 전송선로로 구성 된다 [6, 7]. 협대역 스테르브 대역통과 여파기에 포함되는 전송선로는 식 (1)과 같이 인버터를 사용하기 때문에 전기적 길이가 90° 이고 식 (2)와 같이 전송선로에 대한 어드미턴스 값을 추출할 수 있다 [6].

<표 1> 여파기의 전송선로 및 스테르브 임피던스 값
<Table 1> Impedance value of the filter in transmission line

주파수 [GHz]	대역폭 [%]	Z1,2[Ω]	Z1[Ω]	Z2[Ω]	Z3[Ω]
5.8	10	37.3	81.1	44.4	81.1

$$\frac{J_{1,2}}{Y_o} = g_o \sqrt{\frac{2g_1}{g_2}}, \quad \frac{J_{n-1,n}}{Y_o} = g_o \sqrt{\frac{2g_1 g_{n+1}}{g_o g_{n-1}}}$$

$$\frac{J_{i,i+1}}{Y_o} = \frac{2g_o g_1}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad \text{for } i=2 \text{ to } n-1 \quad (1)$$

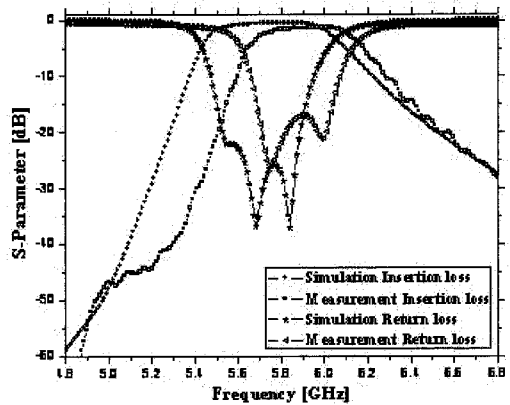
$$Y_{ia} = \frac{Y_i(a_i \tan^2 \theta - 1)}{(a_i + 1) \tan^2 \theta} \quad (2)$$

여기서, g_i 는 저역통과 기본형에서 주어지는 값이고, <표 1>은 식 (2)를 이용하여 어드미턴스 값을 실제의 길이 값으로 환산하여 임피던스로 변환한 값이다. <그림 2>는 협대역 스테르브 대역통과 여파기에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과이고, <표 2>는 <그림 2>로부터 얻어진 결과에 대한 파라미터 값들을 제시한다. 이때 전송선로의 중심 주파수는 스테르브에서 공진하는 중심 주파수와 같고 전송선로 측에서 중심 주파수를 기준 했을 때 저역 주파수 대역(기본파)과 고조파가 함께 발생하게 된다 [6, 9, 10].

III. 개방형 소형 스테르브 대역통과 여파기

본 논문은 개방형 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기에 관한 것으로써 스테르브 사이의 연결을 위한 전송선로의 길이를 $1/2$ 로 축소하는데 기여한다.

스테르브 연결을 위한 전송선로는 각각 90° 로 이루어졌고, 전체의 길이는 180° 로 구성되어 있어 전송선로에서 공진이 저역 주파수 대역부터 정수배로 발생한다. 이때, 전송선로 측에서 공진하는 주파수 대역에서는 사용하는 중심 주파수와 중심 주파수의 양측에 저역주파수 대역 및 고조파가 함께 발생하는 특징을 갖고 있다. 이러한 세 가지 대역을 이용하여 부정합을 통해 설계를 했을 때 전송선로의 길



<그림 2> 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과 (대역폭:10 %)

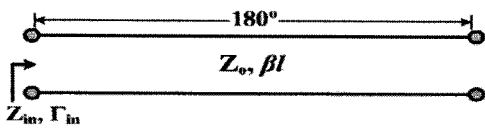
<Fig. 2> Simulation and measurement results of the narrow BPF with $\lambda_g/2$ open stubs (FBW:10 %)

<표 2> 협대역 $\lambda_g/2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기에 대한 실험 결과

<Table 2> Experimental results of a narrow BPF with $\lambda_g/2$ open stubs

중심 주파수 f_0 [GHz]	대역폭 [%]	시뮬레이션 결과 [dB]		측정결과 [dB]	
		삽입손실 S21	반사손실 S11	삽입손실 S21	반사손실 S11
5.8	10	0.6	18.5	1.5	17.5

이가 기존 것보다 1/2로 축소가 가능하다. 그 이유는 전송선로를 설계할 때 기존의 방식과 같은 원래의 중심 주파수에 맞추어 설계하지 않고, 2차 고조파 신호 주파수 대역의 중심 주파수에 맞추어 설계하게 된다. 따라서 파장이 짧아짐에 따라 실제의 길이가 짧아짐을 알 수가 있다. 이 전송선로를 스텐브 사이에 각각 90°길이로 나누어 삽입했을 때 스텐브에서 공진하는 모든 전력들은 전송선로의 저역주파수 대역을 통해 부정합을 이루어 전송하게 된다. 따라서 공진 주파수에 맞추어 설계된 전송선로를 이용한 기존의 대역통과 여파기와 비교 했을 때, 제안한 여파기의 가로 즉 길이는 절반으로 감소된 것을 실험을 통해 확인 할 수 있었다.



<그림 3> 초고주파 회로 적용을 위한 전송선로의 구조
 <Fig. 3> Transmission line structure for microwave circuit

1. 개방형 소형 스텐브 대역통과 여파기의 이론

일반적으로 공진을 위한 전송선로의 길이는 <그림 3>과 같이 180°로 구성된다.

여기서 Z₀는 전송선로의 특성 임피던스이고, Z_{in}와 Γ_{in}은 입력 임피던스 및 반사계수이다. 전송선로는 식 3과 같이 매트릭스 M으로 해석할 수가 있고, 식 (4), (5)는 입력 임피던스와 반사계수에 대한 식으로 표현된다.

$$M = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_1 \sin \theta_1 \\ jY_1 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Z_{in} = Z_0 \frac{(Z_L + Z_0)e^{-j\beta l} + (Z_L - Z_0)e^{j\beta l}}{(Z_L + Z_0)e^{j\beta l} - (Z_L - Z_0)e^{-j\beta l}} \quad (4)$$

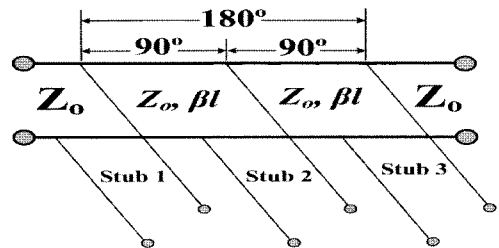
$$= Z_0 \frac{Z_L \cos \beta l + jZ_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + jZ_L \sin \beta l}$$

$$= Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_L \tan \beta l}, \quad @\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

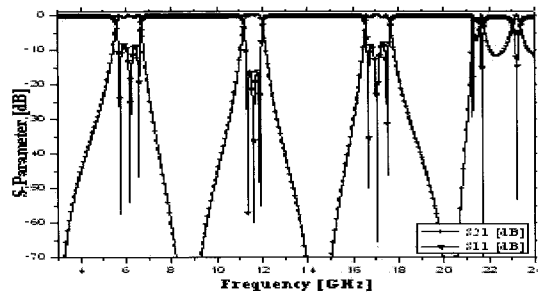
$$\Gamma_{in} = V_o^- \frac{e^{-j\beta l}}{V_o^+ e^{j\beta l}} = \Gamma_L e^{-2j\beta l} \quad (5)$$

스텐브 대역통과 여파기에서 스텐브 사이의 연결을 위한 전송선로의 길이는 각각 90°이고, <그림 4>와 같이 전체의 길이는 180°로 구성되며 기본파인 중심 주파수 f₀를 기준하였을 때, 저역주파수 대역과 고조파들이 정수배로 함께 발생 된다 [8].

이때 여파기의 스텐브들은 공진 주파수에 맞추어 동작되지만 전송선로는 공진 주파수가 아닌 2차 고조파의 중심 주파수에 맞추어 설계를 하여 파장의 길이에 따라 실제의 길이가 짧아짐을 식 (6)과

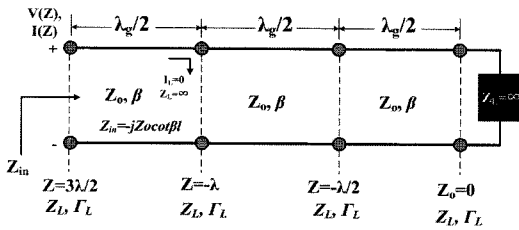


(a) 180° 길이를 갖는 전송선로
 (a) Transmission line with half-wavelength,



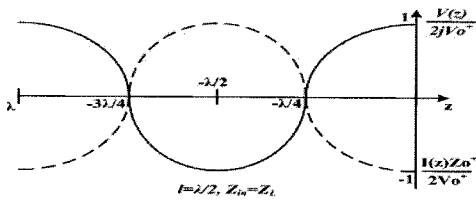
(b) 전송선로에서 발생하는 고조파
 (b) Harmonics from transmission line

<그림 4> 협대역 λ/2 개방형 스텐브 대역통과 여파기의 전송선로에 대한 공진현상
 <Fig. 4> Resonance condition of a narrow BPF with λ/2 open stubs at transmission line



(a) 주기 특성에 따른 전송선로의 구조

(a) Structure of transmission line by periodic characteristic,

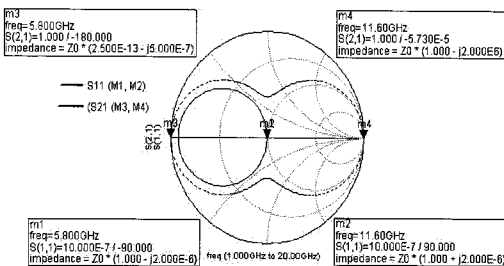


(b) 전송선로의 전압과 전류에 대한 변화

(b) The change of voltage and current in transmission line

<그림 5> 전송선로의 주기적인 특성변화

<Fig. 5> Periodic characteristics in transmission line



<그림 6> 180° 길이의 전송선로에 대한 기본파와 고조파의 주기적인 반복 정합특성

<Fig. 6> The repeated periodic matching characteristics of the fundamental wave and harmonics from transmission line with half-wavelength

같이 알 수가 있고, 전송선로의 저역 주파수 대역에 포함되는 스텐브와 같은 중심 주파수는 스텐브의 공진 주파수와 같다. 따라서 길이가 축소된 전송선로의 길이 β는 식 (7)과 같이 해석되어 지고, 스텐브에서 공진하는 전력들은 부정합을 이용하여 전송선로의 저역주파수 대역인 기본파 대역을 통해 전송된다.

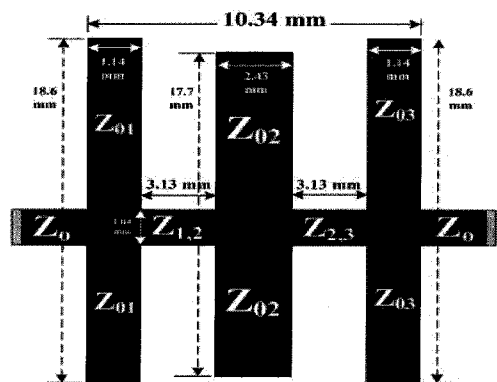
$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{LC}} \quad (6)$$

$$\beta l = n\pi/\beta = (\lambda/2\pi)(n\pi) = n\lambda/2 \quad (7)$$

여기서, β는 전기적인 길이이지만, l=nλ/2로서 주파수에 따라 결정되어진다.

따라서 <그림 5>와 같이 길이 l=nλ/2에 해당하는 지점의 부하에서 전압 반사계수 ΓL과 부하 임피던스 ZL 은 반복적인 현상으로 나타내어지며, 이는 선로 상에서 동일한 전압 반사계수와 임피던스가 나타나는 주기가 l=λ/2임을 알 수가 있다. 그러므로 이러한 특성은 스미스 도표로 확인할 수가 있고, <그림 6>과 같이 임피던스 도표 상에서 한 바퀴 일 주 한 거리는 l=λ/2가 됨을 알 수 있다. 이와 같이 180°의 길이를 갖는 전송선로에서는 중심 주파수를 비롯하여 배수에 해당하는 주파수에서 주기적으로 공진이 반복되는 현상을 보여주고 있다.

제안한 여파기는 이러한 특성을 고려하여 여파기의 신호 전력들이 전송선로에서 기본파 대역을 통해 전달되고 있고, 임피던스 상에서 부정합을 이용하게 된다. 따라서 전송선로는 공진 주파수보다 두 배에 해당하는 주파수에 맞추어 설계했기 때문



<그림 7> 설계된 협대역 λg/2 개방형 소형 스텐브 대역 통과 여파기

<Fig. 7> A narrow compact-size BPF with λg/2 open stubs

에 파장이 짧아짐에 따라 실제의 길이가 짧아져서 1/2만큼 축소되는 것을 실험을 통해 <그림 7>과 같이 확인 할 수가 있었다.

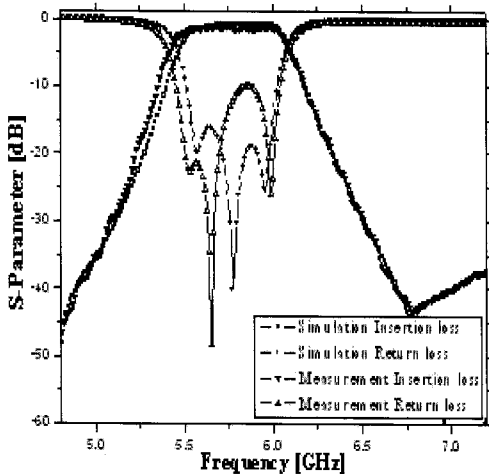
2. 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기의 설계 및 결과

제안한 협대역 소형 스테르브 여파기는 <그림 7>과 같이 가로 축의 길이가 기존의 여파기 보다 1/2

<표 3> 협대역 $\lambda/2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기의 크기 비교

<Table 3> Size comparison of narrow BPFs with $\lambda/2$ open stubs

여파기 종류	전송선로 길이 [mm]	여파기의 전체 크기	
		가로길이 [mm]	세로길이 [mm]
기존 여파기	8.75	21.58	18.56
제안한 여파기	3.13	10.34	18.56



<그림 8> 제안한 $\lambda/2$ 개방형 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과

<Fig. 8> Simulation and measurement results of the proposed narrow compact-size BPF with $\lambda/2$ open stubs

로 축소되었다. 제안된 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기의 가로 축 길이의 비교 차이성을 보여주고 있다.

<표 3>은 기존의 협대역 스테르브 대역통과 여파기와 설계된 개방형 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기에 대한 시뮬레이션 및 측정결과를 다음 <그림 8>에 나타내었다. <그림 8>과 같이 시뮬레이션과 측정결과에서 반사 손실이 차이가 나는 이유는 제작 상에서의 오차와 전송선로와 스테르브의 임피던스 부정합으로 생겨진 부작용이다. <표 4>는 본 논문에서 제안한 개방형 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기에 대한 시뮬레이션 및 측정결과에 대한 내용들이다. <그림 9>은 제작된 대역통과 여파기의 사진을 보여주고 있다. 사용한 기판은 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는 테프론(Teflon)기판이며, 음화 필름을 사용하여 wet-etching을 시도하였다 [11].

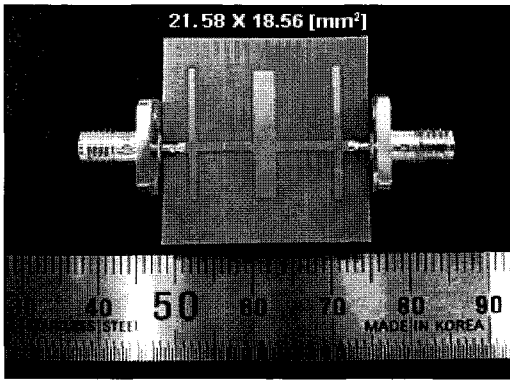
<표 4> $\lambda/2$ 개방형 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기의 실험결과

<Table 4> Experimental results for the compact-size narrow BPF with $\lambda/2$ open stubs

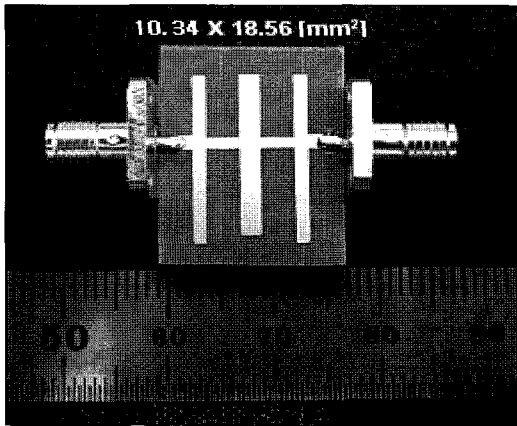
중심 주파수 fo [GHz]	대역 폭 [%]	시뮬레이션 결과 [dB]		측정결과[dB]	
		삽입손실 S21	반사손실 S11	삽입손실 S21	반사손실 S11
5.8	10	0.68	16.2	1.58	9.86

IV. 협대역 소형 스테르브 대역통과 여파기의 특징 및 비교분석

본 논문은 앞 절에서 언급 했듯이, $\lambda/2$ 개방형 스테르브 대역통과 여파기를 협대역으로 바꾸어 설계했다는 내용으로써, 공진기로 동작하는 스테르브와 스테르브 사이를 연결하는 전송선로를 부정합을 통해 전송선로의 길이를 1/2로 축소시켰다는 특징을 나타내고 있다. 또한 부정합을 통하여 발생된 일부 반사파들은 전송선로 축의 90°길이로 인해 상쇄 된다는 특징도 갖고 있다. 협대역 $\lambda/2$ 개방형 스테르브



(a) 협대역 스텐브 대역통과 여파기
(a) A narrow stub BPF,



(b) 제안한 구조의 협대역 소형 스텐브 대역통과 여파기
(b) Structure of a narrow compact-size with new stub BPF

<그림 9> 제작된 $\lambda/2$ 개방형 협대역 스텐브 대역통과 여파기

<Fig. 9> Photos for the narrow BPF with $\lambda/2$ open stubs

대역통과 여파기는 비아(Via)를 사용하지 않고 설계하기 때문에 제작하는데 편리함이 있고 비아 부품에 대한 단가를 줄일 수가 있으며, 다른 개별 부품은 사용하지 않고, 오직 도체만을 사용한 구조이므로 매우 간단하여 경제적이고 저렴하다는 장점이 내포되고 또한 주파수 응답특성도 우수하다.

이러한 도체만을 사용하여 설계된 여파기들은 기존의 논문에 많이 제시되어 왔지만 모두 여파기의 전체 크기를 줄이기 위하여 비아와 집중정수 소

<표 5> 논문에서 발간된 여파기들과 제안한 여파기의 전체 크기 비교

<Table 5> Size comparison of the proposed BPF with others

참고문헌	크기	
	가로 [mm]	세로 [mm]
새로운 여파기	10.34	18.56
[12]	46.35	6.3
[13]	26.5	17.5
[14]	9.5	16
[15]	21.6	14.2

자인 인덕터(inductor) 그리고 커패시터(capacitor)를 함께 사용하여 단가 상승 및 응답 특성 저하가 초래된다. 또한 기존에 제시된 여파기들은 본 논문에서 제안한 여파기 보다 여파기의 크기가 크다는 특징을 갖는다 [12]-[15]. 특히, 참고문헌 [12]의 경우는 인버터 구조에서 인덕터 사용 시, 오히려 단가 상승과 동시에 주파수 선택도가 떨어진다는 특징도 함께 갖고 있다. 참고문헌 [13]에서는 평행 결합구조를 사용하여 크기를 줄인 여파기인데 이 여파기의 특징은 오직 협대역에서만 사용이 가능하다.

그 이유는 만일 대역폭이 증가하게 된다면 결합구조의 양쪽 끝단이 붙어버리는 현상이 생겨나므로 실제 제작이 어렵다. 따라서 스텐브 대역통과 여파기는 협대역에서 광대역까지 유연성을 갖고 대역폭을 조절할 수 있다 [5, 7]. <표 5>는 위에서 언급한 내용들을 정리한 것이다. 과거에 발표한 논문의 경우, 협대역으로 구현이 가능했으나, 본래의 여파기와 비교를 했을 때 크기는 차이성이 없었다 [7]. 본 논문은 이러한 점을 고려하여 소형화에 중점을 두었다.

V. 결 론

본 논문은 $\lambda/2$ 개방형 협대역 소형 스텐브 대역통과 여파기의 설계에 관한 연구에 관한 것으로서 스텐브 사이의 연결을 위한 전송선로 길이를 $1/2$ 로

축소하는데 기여한다. 스테브 연결을 위한 전송선로의 길이는 각각 90° 이고 전체의 길이는 180° 로 구성된다. 전송선로의 중심 주파수를 기준하였을 때, 저역 주파수 대역과 고조파가 정수배로 함께 발생되는데 이러한 고조파를 이용하여 2차 고조파를 중심 주파수로 결정하여 전송선로를 설계 했을 때, 실제의 길이가 파장에 비례하여 짧아짐을 알 수 있었다. 설계된 전송선로를 공진기로 동작하는 스테브 사이에 각각 연결 했을 때, 기본파 중심 주파수에서 공진하는 모든 전력들은 전송선로에서 발생하는 저역주파수 대역인 기본파 대역을 통해 전달되며 스테브들과 전송선로는 부정합을 통해 이루어진다.

이때 전송선로 측의 기본파 대역의 중심 주파수는 스테브에서 공진하는 중심 주파수와 같게 된다. 따라서 여파기의 가로 측 길이가 축소된 여파기는 5.8 GHz의 중심 주파수에서 대역폭 10 %, 삽입 손실 1.58 dB 일 때, 반사손실 9.86 dB의 측정 결과를 얻었다. 제안한 협대역 스테브 대역통과 여파기는 전송선로와 스테브가 각각 넓이와 길이로 구성되어 있어 단가가 절감되고 높은 주파수와 상관없이 크기 감소와 집적성이 우수하여 소형화 시스템 구성에 기여하리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 국토개발연구원, 국가 ITS사업의 핵심공유 기반 기술 연구, 1997. 8.
- [2] 한국전산원, 지능형 교통시스템(ITS)의 효율적 추진방안, 1998. 6.
- [3] 문형돈, 이윤철, 이동일, “국내의 지능형 교통시스템[ITS] 시장동향,” 전자통신동향분석, 제17권, 제6호, pp. 48-58, 2002. 12.
- [4] 한국 전자통신 연구원, 50대 전략 부품기술/시장 보고서: ITS, 2001. 12.
- [5] 최영구, 김복기, “2차 고조파가 억제된 5.8 GHz 광대역 개방형 스테브 대역통과 여파기,” 한국전자과학회논문지, 제18권, 제10호, pp. 1107-1116, 2007. 10.
- [6] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.
- [7] 윤기철, 이일우, 한승현, 장광, 권성수, 박정근, 윤태순, 이종철, “ITS용 5.8 GHz 스테브 위치를 이용한 협대역 대역통과 여파기 설계,” 한국ITS학회 학술대회 논문집, pp. 175-178, 2006. 10.
- [8] 윤기철, 오승연, 이현욱, 홍태의, 이종철, “전송선로의 부정합을 이용한 소형 스테브 대역통과 여파기,” 한국ITS학회 학술대회 논문집, pp. 99-102, 2008. 5.
- [9] 윤기철, 이종철, “고조파가 억제된 5.8 GHz 협대역 대역통과 여파기,” 한국통신학회 논문지, 제33권, 제2호, pp. 167-173, 2008. 1.
- [10] K. C. Yoon and J. C. Lee, “Design of a narrow band-pass filter with second harmonics suppression using the open stubs,” *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 50, no. 7, pp. 1763-1766, April 2008.
- [11] S. Franssila, *Micro Fabrication*, John Wiley & Sons, 2004.
- [12] Y. S. Lin and C. H. Chen, “Novel compact microstrip parallel-coupled bandpass filters with lumped-element J-inverter,” *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, vol. 4, pp. 2160-2163, Dec. 2005.
- [13] J. S. Hong, and M. J. Lancaster, “Recent advances in microstrip filters for communications and other applications,” *IEE Colloquium*, pp. 2/1 - 2/6, May 1997.
- [14] C. Wu, J. Qin, and P. Cai, “A novel compact bandpass filter using hairpin microstrip folded lines configuration with transmission zeros,” *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, vol. 1, pp. 512-515, Dec. 2005.

[15] Y. Y. Liu, C. H. Wang, and C. H. Chen, "A novel parallel coupled-line microstrip band-pass filters with multiple transmission zeros for spurious

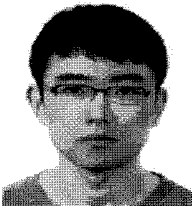
suppression," *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.*, vol. 1, pp. 512-515, Dec. 2005.

저자소개



윤 기 철 (Yoon, Ki-Cheol)

1998년 03월~2005년 02월: 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부 졸업 (공학사)
2005년 03월~2007년 02월: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 졸업 (공학석사)
2007년 03월~2008년 08월: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 박사과정 수료



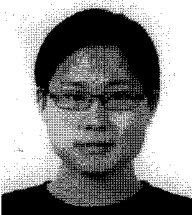
오 승 연 (Oh, Seung-Yeon)

2000년 03월~2007년 02월: 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부 졸업 (공학사)
2007년 03월~2008년 현재: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 석사과정



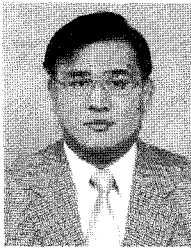
오 경 민 (Oh, Kyoung-Min)

2000년 03월~2007년 02월: 서경대학교 전자통신공학과 졸업 (공학사)
2007년 03월~2008년 현재: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 석사과정



이 현 옥 (Lee, Hyunwook)

2003년 03월~2007년 02월: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 졸업 (공학사)
2007년 03월~2008년 현재: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 석사과정



홍 태 의 (Hong, Tae-Ui)

1985년 02월: 인천대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1987년 08월: 인천대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
1992년 02월 ~ 2004년 02월: 전자부품연구원 책임연구원
2004년 03월 ~ 2005년 06월: 경운대학교 멀티미디어공학과 객원교수
2004년 09월 ~ 2006년 08월: 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 박사과정 수료
2005년 07월 ~ 2008년 현재: 요업기술원 원천기술개발 사업단 책임연구원



이 종 철 (Lee, Jong-Chul)

1983년 02월: 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1985년 02월: 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
1989년 12월: Arizona State Univ. EE Dept. 졸업(공학석사)
1994년 05월: Texas A&M Univ. EE Dept. 졸업 (공학박사)
1994년 06월 ~ 1996년 2월: 현대전자 광소자 개발실 선임연구원
1996년 03월 ~ 현재: 광운대학교 전파공학과 전임강사/조교수/부교수/교수