

논문 2010-47TC-11-13

SIR 평행결합 선로를 갖는 소형 광대역 대역통과 필터

(Compact Broad Band-pass Filter with SIR-Parallel Coupled Structure)

홍 태 의*, 이 정 훈**, 윤 기 철***

(Tae-Ui Hong, Jeong-Hun Lee, and Ki-Cheol Yoon)

요 약

본 논문은 평행결합 선로의 구조를 갖는 크기가 작아진 광대역 대역통과 필터로서 커플링 계수의 양에 따라 협대역 에서 광대역 까지 자유롭게 조절이 가능하도록 제안 하였다. 기존의 필터는 구조의 특성상 협대역으로만 동작이 가능한데, 만일 그 이상의 대역폭을 요구하게 된다면 급전선로와 공진기 사이의 커플링 양으로 인해 실제의 구현이 어렵다는 단점을 갖게 된다. 이러한 단점을 극복하고 새로운 방법을 도입했을 때 제안한 필터는 SIR 구조와 복층 형으로 구성되어 있어 기존의 필터 보다 크기가 작아짐은 물론 커플링 계수의 양에 따라 대역폭을 자유롭게 조절이 가능하다는 특징을 갖게 된다. 본 논문에서 최종 제시한 필터는 광대역 필터의 결과로서 중심 주파수 5.8 GHz에서 대역폭 60 %, 그리고 삽입손실과 반사손실은 각각 0.42 dB 및 20.9 dB의 결과 값들을 얻었다.

Abstract

In this paper, the reduced size of broad bandpass filter with parallel coupled line structure is presented. This proposed filter can control bandwidth of narrow to broadband by adjusting the coupling coefficient. The conventional filter is operated with a narrow band. If a higher bandwidth is desired than the conventional narrow bandwidth, it is hard to realize due to the coupling coefficient between feeding line and resonator. In this paper, to overcome this limitation, a proposed bandpass filter is designed with reduced size due to SIR(Stepped Impedance Resonator) and multi-grade type structures than conventional one, and it has characteristics of adjusting bandwidth freely as per quantity of coupling coefficient. The proposed bandpass filter that, experimental results of insertion and return losses are 0.42 dB and 20.9 dB with bandwidth of 60 % at the center frequency of 5.8 GHz, respectively.

Keywords : SIR, broad band, coupling coefficient, compact size

I. 서 론

무선 및 위성통신 분야 에서 동영상 음성 및 각종 데이터들을 광대역으로 처리할 수 있는 정보전송의 수요가 급증하면서 광대역 정보들을 전송할 수 있는 기술들

이 요구 되어가고 있으며 특히, 소형, 광대역 또는 협대역, 평면 기판 위에 제작의 간편성, 적은 제작 단가, 작은 삽입 손실 및 우수한 반사 손실 통과대역에서 선형적인 응답 특성 등 갖춘 대역통과 필터를 필요로하고 있다^[1~4]. 반파장 병렬 결합 마이크로스트립 필터(microstrip filter)의 경우 최근에 사용되는 시스템에서는 필터의 크기가 너무 크므로 RF 필터의 크기를 소형화 시키는 것은 중요시 되고 있다^[4]. 병렬 결합 반파장 선로 구조로부터 발전된 Hairpin 필터와 마이크로스트립 개방 루프(loop) 공진기 대역통과 필터 등에서 크기 감소를 위한 연구가 진행되고 있다^[4]. 또한 대역통과 필터는 메시지 및 각종 동영상과 같은 데이터들을 전송

* 정회원, 한국세라믹기술원 기업협력센터
(KOREA INSTITUTE OF CERAMIC
ENGINEERING AND TECHNOLOGY)

** 정회원, 한국철도차량 엔지니어링 검사본부
(ROTECO)

*** 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Kwangwoon University)

접수일자: 2010년9월13일, 수정완료일: 2010년11월10일

시켜주기 위해 처리 할 수 있는 대역폭이 넓을수록 유리하는데, 광대역으로 통과 시키는데 있어 제한이 되는 필터들도 있다. 그 중에서 대표적인 필터는 평행 결합선로 필터(Coupled Line Filter)로써 이 필터는 구조상 20 % 이내에서 대역폭을 통과 시켜줄 수 있을 뿐, 그 이상의 대역폭은 통과 시켜주는데 제한이 된다^[5]. 만일, 이 필터를 광대역 대역통과 필터로 설계하게 된다면 마지막 단의 결합선로 간격이 매우 좁아져서 실제로 제작하는데 어려워진다는 단점을 갖게 된다^[5]. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 어드미턴스(J) 인버터(Inverter)를 사용하고, ABCD 매트릭스(matrix)를 해석 하여 이 매트릭스를 합성 한 후, 임피던스(impedance) 값을 나타내어 광대역 대역통과 필터로 설계 하는데 기여한다. 또한 필터의 형태를 복층형으로 구현하고 각 공진기들을 SIR(Stepped Impedance Resonator)을 적용하여 필터의 전체 크기를 줄이는데 핵심적인 역할을 수행 하도록 하였다. 광대역 필터를 설계하기에 앞서 가능성에 대해 실험하기 위하여 문헌에 제시된 기존의 필터를 4.8 %의 대역폭을 갖도록 먼저 설계를 한 후, 새롭게 제안한 광대역 대역통과 필터를 설계하여 대역폭을 60 % 대역으로 넓힘 과 동시에 필터의 크기를 기존의 필터 보다 1/5의 크기로 작게 구현했다는 특징과 가능성에 대해 제시를 한다.

II. 결합 선로 구조의 대역통과 필터

평행 결합선로 대역통과 필터는 그림 1과 같이 180°의 공진기들과 공진기 사이를 연결하기 위한 평행결합(Coupling) 선로로 구성 되어 있다^[6]. 여기서 평행결합은 J-인버터로 구성되어 있고 우(Even) 모드(Mode)와 기(Odd) 모드로 형성되어 있어 이를 통해 커플링(Coupling)이 발생하여 공진기 사이를 연결 해 줌과 동시에 대역폭을 형성 시켜준다. 그림 1의 s는 커플링에 대한 갭(gap)을 의미 하고, W는 임피던스의 함수인 공진기의 길이, l은 공진기의 길이로서 주파수를 결정해준다^[6]. 평행결합 구조를 해석하기 위해 식 (1)과 같이 ABCD 매트릭스로 해석할 수가 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \quad (1)$$

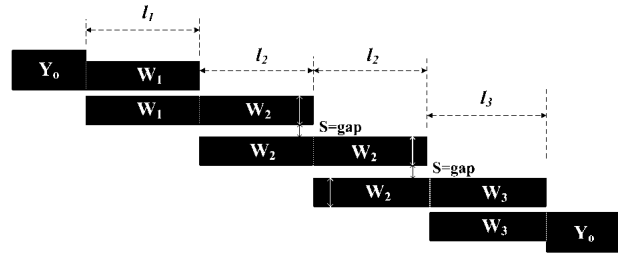


그림 1. 평행 결합선로 대역통과 필터의 구조
Fig. 1. Structure of a band pass filter(BPF) with parallel coupled. line.

$$\begin{bmatrix} \frac{Z_{oe} + Z_{oo} \cos \theta}{Z_{oe} - Z_{oo}} \cos \theta & -\frac{j}{2} \left\{ -(Z_{oe} - Z_{oo}) \sin \theta + \frac{4Z_{oe}Z_{oo} \cos^2 \theta}{Z_{oe} - Z_{oo}} \sin \theta \right\} \\ j \frac{2}{Z_{oe} - Z_{oo}} \sin \theta & \frac{Z_{oe} + Z_{oo}}{Z_{oe} - Z_{oo}} \cos \theta \end{bmatrix}$$

또한 매트릭스를 통해 식 (2)와 같이 커플링을 구성 하기 위해서는 J-인버터를 사용하게 된다. 여기서 Δ는 대역폭(FBW), g_j 는 저역통과(Low-pass) 기본형(Prototype)에서 제시하는 소자 값을 의미하게 된다^[6].

$$\begin{aligned} \frac{J_{01}}{Y_o} &= \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_{0,1}}} \\ \frac{J_{i,i+1}}{Y_o} &= \frac{\pi \Delta}{2} \frac{1}{\sqrt{g_j g_{j+1}}} \\ \frac{J_{n,n+1}}{Y_o} &= \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_n g_{n+1}}} \end{aligned} \quad (2)$$

J-인버터를 통하여 공진기들은 상호 연결이 가능해 지고 공진기 사이의 커플링 값과 물리적 넓이 및 길이 값은 식 (3), (4)을 통해 우 및 기 모드로 해석되어진다.

$$(Z_{oe})_{j,j+1} = \frac{1}{Y_o} \left[1 + \frac{J_{j,j+1}}{Y_o} + \left(\frac{J_{j,j+1}}{Y_o} \right)^2 \right] \quad j=0 \text{ to } n \quad (3)$$

$$(Z_{oo})_{j,j+1} = \frac{1}{Y_o} \left[1 - \frac{J_{j,j+1}}{Y_o} + \left(\frac{J_{j,j+1}}{Y_o} \right)^2 \right] \quad j=0 \text{ to } n \quad (4)$$

여기서, Z_{oe} 와 Z_{oo} 는 공진기에 해당하는 우 및 기 모드에 대한 특성 임피던스이고, Y_o 는 필터 종단에 위치하는 급전선의 특성 어드미턴스(admittance)를 의미한다. 위의 식들을 통해 얻어진 우 및 기 모드의 값은 표 1과 같이 제시 된다. 위의 식들을 통해 그림 1에서

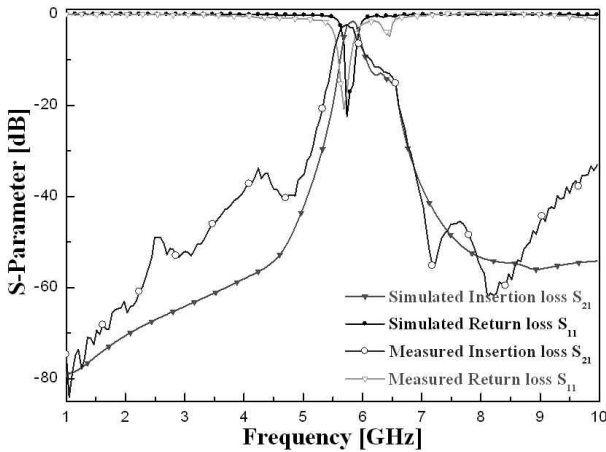


그림 2. 평행 결합선로를 이용한 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정결과 파라미터 (대역폭 : 4.6 %)

Fig. 2. Simulation and measurement results of a BPF with parallel-coupled line(FBW= 4.6 %).

표 1. 평행결합 필터의 우 및 기 모드 특성 임피던스
Table 1. Characteristic of even and odd mode at parallel coupled line BPF.

Mode	Impedance	Value [Ω]
even	Z_{oe01}	87.5
	$Z_{oe1,2}$	62.0
	$Z_{oe2,3}$	62.0
	Z_{oe03}	87.5
odd	Z_{oo01}	37.5
	$Z_{oo1,2}$	42.0
	$Z_{oo2,3}$	42.0
	Z_{oo03}	37.5

표 2. 평행결합 대역통과 필터의 결과
Table 2. Results of BPF with parallel coupled line.

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	모의실험 결과 [dB]		측정결과 [dB]	
		삽입 손실 S21	반사 손실 S11	삽입 손실 S21	반사 손실 S11
		1.8	16	2.1	21.2

제시 한 필터의 시뮬레이션 및 측정결과는 그림 2에서 보여 주고 있고, 수치해석을 통하여 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 *Zeland IE3D tools*을 이용하였으며, 측정 결과를 얻기 위해 HP-8510 C의 회로망 분석기(VNA: Vector Network Analyzer)를 사용하여 각각의 결과들을 나타내었다^[7]. 표 2는 설계 및 제작된 필터의 중심 주파수와 대역폭 그리고 시뮬레이션 및 측정 결과 값들에 대하여 제시를 한다.

III. 결합 선로 구조를 갖는 광대역 대역통과 필터

평행 결합선로를 갖는 대역통과 필터를 크기가 작고 협대역에서 광대역 까지 대역폭 조절이 가능한 대역통과 필터를 제안 하였다. 본 필터는 대역폭을 조절하기 위해 커플링 양을 변화 시킬 수가 있고 크기를 줄이기 위해 SIR 기법을 활용하였으며, 대칭형 (Symmetric) 구조로 설계를 하였다.

1. 이론 및 설계

크기가 작아진 다단 결합선로를 갖는 광대역 대역통과 필터는 그림 3과 같이 SIR로 구성된 180° 공진기들과 90°를 갖고 단락형으로 구성된 SIR의 공진기들이 각각 연결되어져 있다. 위의 그림 3과 같이 공진기 Z_{11} 과 Z_{22} 를 기준했을 때, Z_1 과 Z_2 의 공진기 들은 서로 대칭형 (Symmetric)이 되고 중심에 위치하는 공진기(Z_3, Z_{22})와 맨 끝에 위치하는 공진기 (Z_1, Z_2)의 관계는 그림 4 및 식 (5)와 같이 해석되어지며 이 공진기들은 두 가지 형태의 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 의 SIR 구조로 해석된다^[8].

$$\frac{2(R_z \tan \theta_1 + \tan \theta_2)(R_z - \tan \theta_1 \tan \theta_2)}{R_z(1 - \tan^2 \theta_1)(1 - \tan^2 \theta_2) - 2(1 - R_z^2) \tan \theta_1 \theta_2} Y_i = jY_2 \quad (5)$$

여기서, $\theta = \theta_1 = \theta_2$ 이고 $R_z = \frac{Z_2}{Z_1} = \tan \theta_1 \cdot \tan \theta_2$ 이며, 실질적인 활용을 위해 간단히 할 수 있는 Y_i 는 식 (6)과 같이 해석 할 수가 있다.

$$Y_i = jY_2 \frac{2(1 + R_z)(R_z - \tan^2 \theta) \tan \theta}{R_z - 2(1 + R_z + R_z^2) \tan \theta} \quad (6)$$

여기서 $\theta = \tan^{-1} \sqrt{R_z}$ 표현된다.

식 (5)와 (6)는 주로 $\lambda/2$ 의 개방형 구조에 관한 어드미턴스의 식이고, $\lambda/4$ 의 단락형 구조에 관한 임피던스

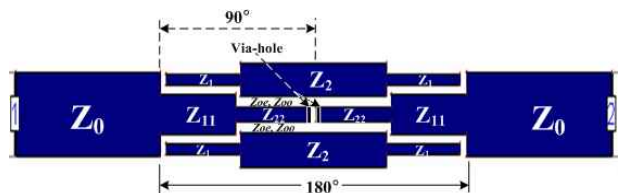
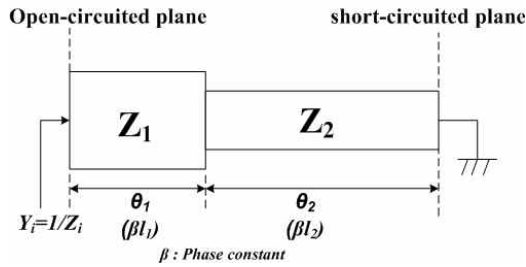
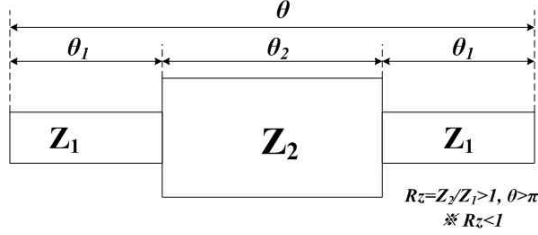


그림 3. 제안한 평행 결합선로 구조와 SIR 구조를 갖는 소형 광대역 대역통과 필터

Fig. 3. Proposed of a compact broad BPF with parallel-coupled line using SIR structure.



(a)



(b)

그림 4. SIR 구조 (a) λ/4 단락형 구조, (b) λ/2 개방형 구조

Fig. 4. Structure of the SIR (a) λ/4 shorted structure, (b) λ/2open structure.

해석은 다음과 같이 해석된다.

$$Z_i = jZ_2 \frac{Z_1 \tan\theta_1 + Z_2 \tan\theta_2}{Z_2 - Z_1 \tan\theta_1 \tan\theta_2} \quad (7)$$

이때, 공진일 경우에는 $Y_i=0$ 의 조건을 만족해야 하므로 식 (7)로부터 기본 공진 조건은 식 (8), (9)와 같다.

$$Z_2 - Z_1 \tan\theta_1 \cdot \tan\theta_2 = 0 \quad (8)$$

$$\tan\theta_1 \cdot \tan\theta_2 = Z_2/Z_1 = R_z \quad (9)$$

이 SIR 공진기들의 사이에 존재하는 결합의 형태인 갭(gap)은 J-인버터로 동작하면서 상호 연결을 하게 되지만, 만일 대역폭이 필요 이상으로 넓어지게 된다면 공진기의 양 끝 단의 커플링 갭이 매우 좁아져서 실질적으로 구현하기가 어렵게 된다. 그러므로 공진기의 양 끝단의 커플링 값에 의존 안 하고 복층형인 병렬 구조로 구현하면서 광대역 응답 특성을 얻기 위해서는 아래와 같이 ABCD 매트릭스로 해석하면서 J-인버터의 식을 활용해야 한다. ABCD 매트릭스는 식 (10)과 같이 해석된다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (JY_o)\cos\theta\sin\theta & j(JY_o^2\sin^2\theta) + \frac{\cos^2}{J} \\ j(JY_o^2\sin^2\theta + j\cos^2\theta) & (JY_o - JY_o)\cos\theta\sin\theta \end{bmatrix} \quad (10)$$



그림 5. 광대역 대역통과 필터의 J-인버터 등가회로
Fig. 5. Equivalent circuit of a J-inverter with broad BPF.

광대역 대역통과 필터에 관련되는 J-인버터는 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\frac{J_{01}}{Y_o} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{BW}{g_0 g_1}}, \quad \frac{J_{j,j+1}}{Y_0} = \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 BW \frac{1}{\sqrt{g_j g_{j+1}}}$$

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_o} = \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_n g_{n+1}}} \quad (11)$$

J-인버터의 식에서 명시된 구조는 그림 5와 같이 병렬 구조로 구성 되어 있어 위상차가 -90°의 성질을 갖게 되고, 전체 공진기의 길이는 180°로 구성되어 진다.

필터의 구조에서 해당하는 우 및 기 모드는 식 (12)와 같이 해석되어지고, 여기서 Z_{oe} 와 Z_{oo} 는 우 및 기 모드에 대한 특성 임피던스 이며 Z_o 는 급전선로(Feeding-line)의 특성 임피던스 이다^[9].

$$Z_{oe}, Z_{oo} = \frac{j(1/Y_o^2)\sin\theta}{\sin^2\theta \pm (jY_o \cos\theta)^2} [J(1/Y_o + jY_o)\sin\theta - 1] \quad (12)$$

따라서 갭의 넓이(거리)에 따라 대역폭이 변화하는 모습은 표 3과 그림 6 과 같이 제시 되면서 EM시뮬레이션의 실험을 통해 보여주고 있다. 표 3과 그림 6에서는 갭의 거리 및 대역폭이 비례 관계로 형성 되면서 거리가 가까워 질수록 대역폭이 넓어진다는 결과를 확인할 수 가 있다.

실험을 통해 설계된 대역통과 필터는 협대역 에서 광대역 까지 변화 과정을 관찰했을 때, 5 % 를 기준을 하여 60 % 까지 대역폭 변화가 가능 해져서 새로운 구조

표 3. 갭의 거리 값에 따라 변화되는 대역폭
Table 3. Bandwidth Variation with value of gap-distance.

대역폭 [%] (f_1, f_2)	S [mm] 간격
5	0.87
10	0.67
20	0.47
30	0.37
40	0.3
50	0.23
60	0.17

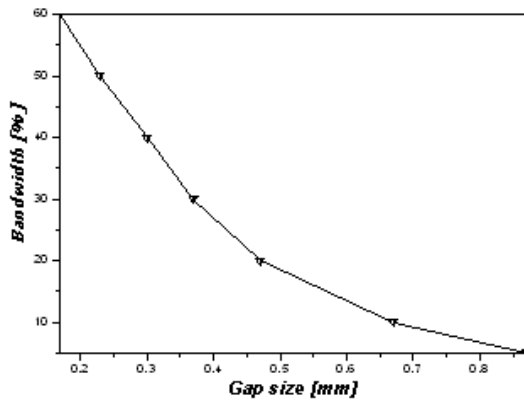


그림 6. 갭의 거리에 따른 대역폭 변화의 그래프
Fig. 6. Graph of the bandwidth variable in distance of gap.

의 제안한 광대역 대역통과 필터가 구현되면서 SIR과 복층형으로 구성되어 있어 크기가 상당히 작아졌다는 특징을 나타내고 있다.

2. 제작 및 실험결과

그림 3에서 제시한 설계된 소형 광대역 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정 결과는 그림 7과 같이 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 IE3D (Ver. 10.0)를 통하여 결과를 얻을 수가 있었고, 측정결과를 얻기 위하여 HP-8510 C의 회로망 분석기를 이용하여 결과를 얻을 수가 있었다.

표 4는 제안한 필터의 시뮬레이션 및 측정결과에 대한 파라미터로서, 각각의 결과 값에 대한 내용들이 제시되고 있다. 그림 8은 제작된 필터의 실제 사진을 보여주고 있다. 제작을 위해 사용되는 테프론(Teflon) 기판은 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는다^[10].

표 4. 제안한 평행결합 구조의 광대역 대역통과 필터의 결과

Table 4. Results of proposed a broad BPF with parallel coupled line.

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	모의실험 결과 [dB]		측정결과 [dB]	
		삽입 손실	반사 손실	삽입 손실	반사 손실
		S21	S11	S21	S11
5.8	60	0.17	28.7	0.42	20.9

IV. 고찰

평행 결합 선로를 갖는 대역통과 필터는 주로 분포

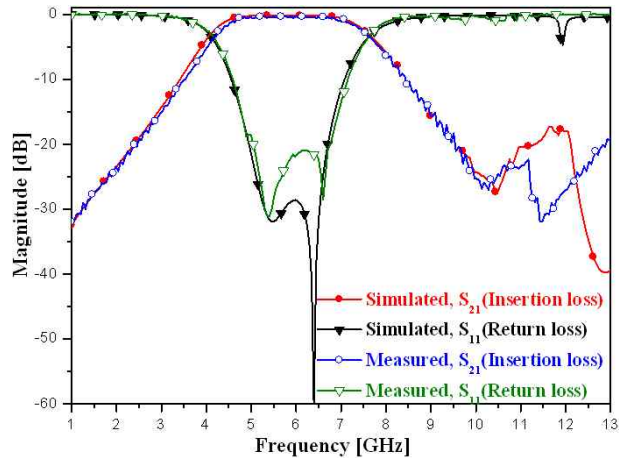
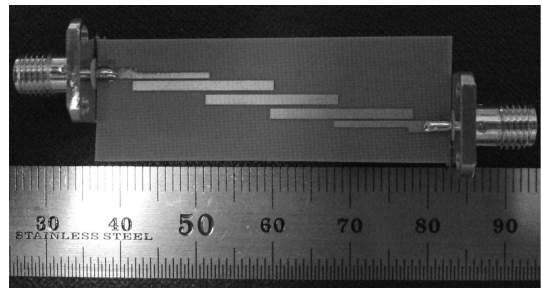
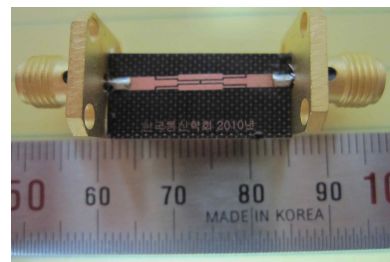


그림 7. 제안한 광대역 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정결과, (대역폭: 60%)

Fig. 7. Simulation and measurement results of a proposed broad BPF, (FBW:60%).



(a)



(b)

그림 8. 제작된 평행결합 구조의 대역통과 필터
(a) 평행결합 구조의 대역통과 필터,
(b) 광대역 대역통과 필터

Fig. 8. Fabricated BPF with parallel coupled line
(a) Parallel coupled line structure of a BPF,
(b) New type of a broad BPF.

정수 소자를 사용하여 부품에 대한 단가를 줄일 수가 있고 복층형과 SIR 구조를 적용함으로써 부품의 크기를 줄일 수가 있었다. 또한 대역폭의 증가에 따라 양 끝단의 결합 선로 간격이 매우 좁아지면서 제작하는데 어려움이 따르던 기존의 필터를 새로운 방법으로 제시하여 대역폭이 그 이상으로 넓어질 수 있게 제안한 것

표 5. 평행 결합 선로 대역통과 필터의 크기

Table 5. The size of bandpass filter with parallel coupled line.

종류	크기 [mm]	
	가로	세로
Conventional	34.07	7.03
New type	10.52	1.84

표 6. 필터의 크기 비교

Table 6. Comparison for size of the filter.

참고문헌 [#]	중심 주파수 [GHz]	크기 [mm]	
		세로	가로
This work	5.8	1.84	10.52
[11]	5.8	1.0	18.52

이 특징이다. 본 필터의 크기는 표 5와 같이 제시된다. 표 6은 기존의 논문에서 제시한 필터의 크기를 비교하여 본 필터의 우수성을 제시한 것이다. 표에서 언급하는 [11]은 결합 구조를 이용한 대역통과 필터로서 크기를 줄이는 기술을 제안 하였지만 가로 축의 길이가 매우 길다.

또한 표에 언급되어 있지는 않지만 참고문헌^{[8](pp. 71, chap. 4.1.3)}에서 의 경우는 SIR을 사용하였는데도 불구하고 세로 축의 길이가 길 뿐만 아니라 광대역으로 응용하기에는 적합하지가 않다. 그 이유는 앞서 서론에서 언급한 내용과 같이 공진기 양 끝단의 커플링 값이 매우 커지므로 실제의 제작이 어려워진다는 특징을 갖는다.

V. 결 론

본 논문은 크기가 작아진 평행 결합구조를 갖는 협대역에서 광대역 까지 대역폭을 조절 할 수 있는 광대역 대역통과 필터에 대해 제안 하였다. 기존의 평행 결합 선로를 갖는 대역통과 필터는 구조의 특성상, 협대역을 갖는데, 만일 그 이상의 주파수 대역과 대역폭을 요구하게 된다면 평행의 결합선로 간격의 문제로 인하여 제작의 한계성을 갖게 된다. 따라서 제안한 필터는 이를 극복하기 위해 ABCD 매트릭스 및 J-인버터를 해석하고 결합에 대한 식을 이용하여 높은 커플링 계수 와 임피던스 값을 토대로 하여 광대역 대역통과 필터를 설계하였고 또한 필터의 크기를 줄이기 위하여 SIR 구조를

적용하였다. 새롭게 구현한 필터의 특징은 커플링 계수의 양에 따라 대역폭을 유연하게 조절을 할 수가 있으며, 5 %의 대역폭을 기준 했을 때, 조절 값에 따라 60 %까지 조절이 가능하여 넓은 대역폭을 얻어낼 수가 있도록 구현 하였다.

이러한 광대역 대역통과 필터는 ISM밴드와 무선 랜 (LAN) 그리고 지능형 교통시스템에 적용이 가능할 것으로 기대되면서 데이터 량에 따라 필터의 대역폭을 조절하여 그 시스템에 적용이 가능하리라 기대 될 뿐만 아니라, 크기가 작아져서 향후 MMIC로 공정했을 때 어느 시스템에 적용이 가능하리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 박인규, "DSRC 전략과 향후의 ITS", 전자공학회 논문지, 제43권 TC편, 제 4호, 105-109쪽, 2006년 9월.
- [2] H. Oh, C. Yae, D. Ahn and H. Cho, "5.8 GHz DSRC packet communication system for ITS services," IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 223-227, September 1999.
- [3] 정영욱, 정재승, 박성진, 임춘식, 오현서, 이병섭, "5.8 GHz 단거리전용 통신(DSRC) 시스템 성능평가 및 분석," 한국통신학회 논문지, 제 25권, 제 8A호, 1186-1197 쪽, 2000년 2월
- [4] 남현, 임영석, "소형화된 구형 SIR을 이용한 대역 통과필터 설계 및 제작," 전자공학회논문지, 제 38 권 제 TC편, 제2호, 55-60쪽, 2001년 2월.
- [5] K. C. Yoon, S. Y. Oh, H. Lee, K. M. Oh and J. C. Lee, "Design of a compact broad band-pass filter using parallel coupled structure," in Proc. Asia-Pacific Microwave Conf., pp. 1-4, December 2008.
- [6] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip filters for RF/Microwave applications*, John Wiley & Sons, 2001.
- [7] IE3D.ver. 12.0, Zeland software Inc. Fremont CA, 2004.
- [8] M. Makimoto, S. Yamashita, *Microwave resonators and filters for wireless communication, Theory, Design and Application*, Springer, 2004.
- [9] K. C. Gupt, R. Garg, I. Bahl, P. bhartia, *Microstrip lines and slot lines*, Artech House, INC 1996.
- [10] S. Franssila, *Micro Fabrication*, John Wiley & Sons, 2004.
- [11] 조성수, 양성현, 강준길, "평행 결합을 이용한 광대

역 소형 필터 설계” 한국 ITS 학회 논문지, 제 7권, 제 6호, 31-37쪽, 2008년 12월.

— 저 자 소 개 —



홍 태 의(정회원)

1985년 2월 인천대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1987년 8월 인천대학교
전자공학과 석사과정
졸업 (공학석사)
2010년 2월 광운대학교
전파공학과 박사과정
졸업(공학박사)

1992년 2월~2004년 2월 전자부품연구원
0580사업단 책임연구원
2004년 3월~2005년 6월 경운대학교 멀티미디어
공학과 객원교수
2005년 7월~현재 한국세라믹기술원 기업협력
센터 책임연구원
<주관심분야 : 액테나 및 무선 전력전송기술, 부
품소재 기술기획, 정보통신기술>



이 정 훈(정회원)

2005년 2월 우송대학교
컴퓨터전자정보공학부
졸업(공학사)
2007년 2월 한밭대학교
전자공학과 석사과정
졸업(공학석사)

2003년 6월~현재 한국철도차량엔지니어링 검사
본부

<주관심분야 : 초고주파공학 수동소자 및 회로설
계, 무선전력전송기술, 철도무선전력전송기술>



윤 기 철(정회원)

2005년 2월 우송대학교 컴퓨터
전자정보 공학부 졸업
(공학사)
2007년 2월 광운대학교 전자정보
공과대학 전파공학과
석사과정 졸업(공학석사)

2008년 8월 광운대학교 전자정보공과대학
전파공학과 박사과정 수료
2008년 8월~현재 광운대학교 전자정보공과대학
전파공학과 연구(박사)과정
2009년 3월~현재 동양공업 전문대학 전기전자
통신학부 외래교수
<주관심분야 : Metamaterial, 초고주파공학 능동
회로, 밀리미터파 수동소자 및 집적회로, 액테나
응용회로, 레이더 및 송수신 시스템, 전자파생체
의학기술>