

SIR을 이용한 평행결합 선로의 소형 광대역 대역통과 필터

정희원 이 정 훈*, 홍 태 의**, 윤 기 철***

Compact Broad Band-pass Filter of Parallel Coupled Structure with SIR

Jeong-Hun Lee*, Tae-Ui Hong**, Ki-Cheol Yoon*** *Regular Members*

요 약

본 논문은 평행결합 선로의 구조를 갖는 크기가 작아진 광대역 대역통과 필터로서 커플링 계수에 따라 협대역에서 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 헤어핀(hair-pin)의 U-형태 개방형 스텐브 그리고 세로 형태의 구조를 적용하여 기존의 필터 보다 크기가 작아짐은 물론 커플링 계수에 따라 대역폭의 조절이 자유롭다는 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 24.5 dB의 결과 값들을 얻었다.

Key Words : SIR, broad band, coupling coefficient, compact size, ABCD matrix

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), U-shaped open stub with hair-pin and vertical-type structure 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 24.5 dB with bandwidth of 60 % at the center frequency of 5.8 GHz, respectively.

1. 서 론

무선통신 분야 에서 음성 및 각종 정보들을 광대역으로 처리할 수 있는 데이터 전송의 수요가 급증하면

서 광대역 정보들을 전송할 수 있는 기술들이 요구 되고 있다. 특히, 소형, 광대역 또는 협대역, 평면 기판 위에 제작의 간편성, 적은 제작 단가, 작은 삽입 손실, 전송대역에서 선형 응답 특성 등 갖춘 대역통과 필터

* 한국철도차량엔지니어링 검사본부(anytimejjang@roteco.or.kr), ** 한국세라믹기술원 기술기획팀(hongtu2002@yahoo.co.kr)

*** 광운대학교 전파공학과(kyoon98@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-09-449, 접수일자 : 2010년 9월 13일, 최종논문접수일자 : 2011년 3월 8일

표 1. 평행결합 대역통과 필터의 결과
Table 1. Results of BPF with parallel coupled line

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	모의실험 결과 [dB]		측정결과 [dB]	
		삽입손실 S ₂₁	반사손실 S ₁₁	삽입손실 S ₂₁	반사손실 S ₁₁
5.8	4.6	1.8	16	2.1	21.2

(BPF : Band-pass Filter)를 필요로 하고 있다¹⁻⁴⁾. 반파장 병렬 결합 마이크로스트립(Microstrip) 필터(filter)의 경우, 크기가 너무 크므로 이를 최소화 시키는 연구가 활발히 진행 되고 있다⁴⁾. 또한 대역통과 필터는 메시지 및 각종 동영상과 같은 데이터들을 전송 시켜주기 위해 처리 할 수 있는 대역폭이 넓을수록 유리하는데 반면, 광대역으로 통과 시키는데 제한이 되는 필터들도 있다. 그 중에서 대표적인 필터가 바로 평행 결합선로 필터(Coupled Line Filter)이다. 이 필터는 구조상 20 % 이내에서 대역폭을 통과 시켜줄 수 있을 뿐, 그 이상의 대역폭은 통과 시켜주는데 제한이 된다⁵⁾. 만일, 이 필터를 광대역 대역통과 필터로 설계 하게 된다면 마지막 단인 급전선로와 첫 번째 공진기 사이의 결합선로 간격이 매우 좁아져서 실제로 제작 하는데 어려워진다는 단점을 갖게 된다⁵⁾. 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. 이때, 필터에 존재하는 갭(gap)의 간격을 조절함으로써 커플링(coupling)계수에 따라 대역폭이 변화되는 것을 확인 할 수가 있었다. 또한 필터의 구현을 세로 축으로 적절히 배열하였다. 그 이유는 기존의 필터는 가로 축으로 집중되어 있어 필터의 길이가 길어지는 현상이 발생하는데 제한한 필터의 경우는 이를 방지하기 위해 세로의 형태로 나열하여 균형을 유지하도록 하였고, 가로 축으로 길어지는 현상을 방지 하였다.

뿐만 아니라, SIR(Stepped Impedance Resonator) 구조와 SIR의 양 끝 단에 위치하는 헤어핀(hair-pin) 모형과 같은 U-형태(Shaped)의 개방형 스텝를 추가 연결 하여 필터의 크기를 줄일 수가 있었고 조절이 가능하면서 필터 크기의 변화에 따라 비례 변화되는 중심 주파수를 원래의 위치로 복원 시키는 기술적인 방향으로 이끌도록 제한하였다. 광대역 필터를 설계하기 에 앞서 가능성에 대하여 실험하기 위해 문헌에 제시 된 기존의 필터를 4.8 %의 대역폭을 갖도록 먼저 설계를 한 후, 새롭게 제한한 광대역 대역통과 필터를

설계하여 대역폭을 60 % 대역으로 넓힘 과 동시에 필터의 크기를 기존의 필터 보다 1/5의 크기로 작게 구현했다는 특징과 가능성에 대해 소개 하도록 한다. 제한한 필터는 대역폭을 조절을 하여 각 종 시스템에 맞도록 응용 할 수가 있다.

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 있다⁶⁾.

그림 1의 s는 커플링에 대한 갭(gap)을 의미 하고, W는 임피던스의 함수인 공진기의 넓이, l은 공진기의 길이로서 주파수를 결정 해 준다⁶⁾. Y₀는 필터 종단에 위치하는 급전선의 특성 어드미턴스를 의미한다. 그림 1과 표 1은 제시 한 필터의 실험결과이고, 이 결과들은 그림 2 에서 보여 주고 있으며, 수치해석을 통하여 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 IE3D tools을 사용하였

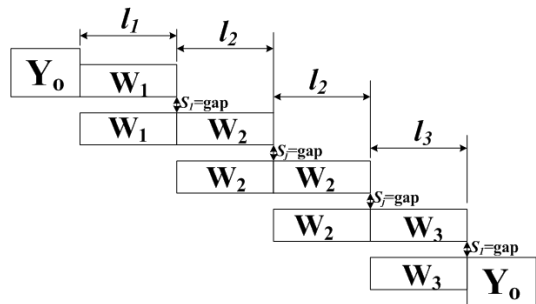


그림 1. 평행 결합선로 대역통과 필터의 구조
Fig. 1. Structure of a band pass filter(BPF) with parallel coupled line

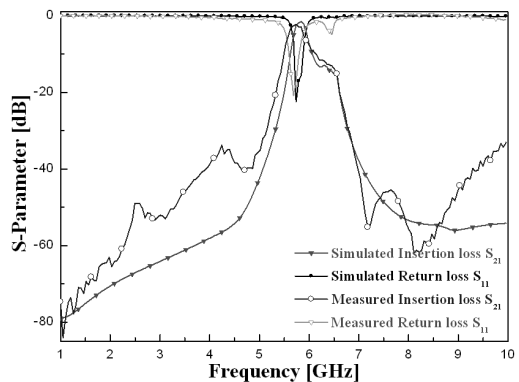


그림 2. 평행 결합선로를 이용한 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정결과 파라미터 (대역폭 : 4.6 %)
Fig. 2. Simulation and measurement results of a BPF with parallel-coupled line, (FBW= 4.6 %)

다. 뿐만 아니라 측정 결과를 얻기 위해 HP-8510 C의 VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 각각의 결과들을 얻었다⁷⁾.

III. 결합 선로 구조를 갖는 SIR 광대역 대역통과 필터

제III장에서는 크기가 작고 협대역에서 광대역 까지 대역폭 조절이 가능한 광대역 평행 결합 선로의 소형 대역통과 필터에 대하여 제안 하였다.

본 필터는 대역폭을 조절하기 위해 커플링 양을 변화 시킬 수가 있고 크기를 줄이기 위해 높은 임피던스를 갖는 개방형 스테브와 SIR을 적용 하였으며, 대칭형 (Symmetric) 구조로 설계를 하였다.

3.1 소형화를 위한 SIR 이론 및 설계

단단 결합선로를 갖는 소형 광대역 대역통과 필터는 그림 3과 같이 SIR로 구성된 180° 개방형 공진기들(Z_1 , Z_2)과 90° 단락형 공진기(Z_{11} , Z_{22})로 구성되면서 90°를 갖는 공진기 사이에는 갭(g)이 형성되어져 있다. 또한 공진기(Z_1) 양 끝단에는 개방형 스테브가 헤어핀 형태의 U-형태로 추가 연결되어져 있다. 그림 3에서 제시되는 필터는 Z_{11} 과 Z_{22} 의 공진기를 기준했을 때, Z_1 과 Z_2 의 공진기들은 서로 대칭형(Symmetric)이 되고 중심에 위치하는 공진기(Z_2 , Z_{22})와 맨 끝에 위치하는 공진기 (Z_1 , Z_2)의 관계는 그림 4 및 식 (1)과 같이 해석되어지며 이 공진기들은 두 가지 형태의 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 의 SIR 구조로 해석 된다⁸⁾.

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

여기서, $\theta = \theta_1 = \theta_2$ 이고 $R_z = \frac{Z_2}{Z_1} = \tan\theta_1 \cdot \tan\theta_2$ 이며, 실질적인 활용을 위해 간단히 할 수 있는 Y_i 는 식

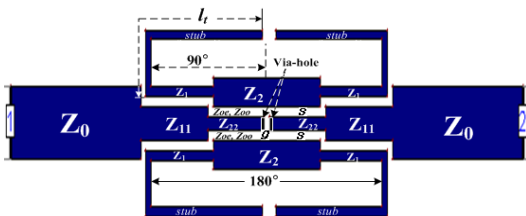
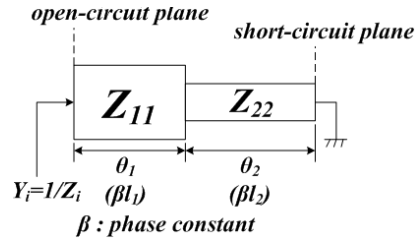
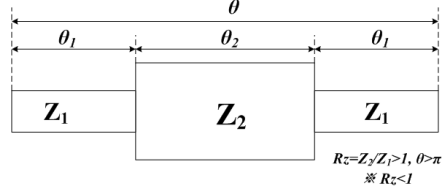


그림 3. 제안한 평행 결합선로 구조 와 SIR 구조를 갖는 소형 광대역 대역통과 필터
Fig. 3. Proposed of a compact broad BPF with parallel-coupled line using SIR structure



(a) $\lambda/4$ 단락형 구조



(b) $\lambda/2$ 개방형 구조

그림 4. SIR 구조
Fig 4. Structure of the SIR

(a) a $\lambda/4$ shorted structure, (b) a $\lambda/2$ open structure

(2)와 같이 해석 할 수가 있다.

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

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

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

이때, 공진일 경우에는 $Y_i=0$ 의 조건을 만족해야 하므로 식 (3)으로부터 기본 공진 조건은 식 (4), (5)와 같다.

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

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

이 SIR 공진기들의 사이에 존재하는 결합의 형태인 갭(gap) S는 J-인버터로 동작하면서 상호 연결을 하게 되지만, 만일 대역폭이 필요 이상으로 넓어지게 된다면 그림 1과 같이 S의 간격이 매우 좁아져서 실질적으로 제작하기가 매우 어렵게 된다. 그러므로 급전

선로(Z_0)와 공진기 사이의 S_1 간격인 커플링 계수에 의존 안 하고 세로 형태로 구현하면서 광대역 응답 특성을 얻기 위해서는 아래와 같이 ABCD 매트릭스로 해석하면서 J-인버터의 식을 활용해야 한다. ABCD 매트릭스는 식 (6)과 같이 해석된다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (jY_o)\cos\theta\sin\theta & j(jY_o^2\sin^2\theta + \frac{\cos^2\theta}{J}) \\ j(jY_o^2\sin^2\theta + j\cos^2\theta) & (jY_o - jY_o)\cos\theta\sin\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

광대역 대역통과 필터에 관련되는 J-인버터는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \frac{J_{o1}}{Y_o} &= \sqrt{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \frac{BW}{g_0g_1}} \\ \frac{J_{j,j+1}}{Y_o} &= \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 BW \frac{1}{\sqrt{g_jg_{j+1}}}, \\ \frac{J_{n,n+1}}{Y_o} &= \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_n g_{n+1}}} \end{aligned} \quad (7)$$

J-인버터의 식에서 명시된 구조는 그림 5와 같이 병렬 구조로 구성 되어 있어 위상차가 -90° 의 성질을 갖게 되고, 전체 공진기의 길이는 180° 로 구성되어진다. 필터의 구조에서 해당하는 우 및 기 모드는 식 (8)과 같이 해석되어지고, 여기서 Z_{oe} 와 Z_{oo} 는 우 및 기 모드에 대한 특성 임피던스 이며 Z_0 는 급전선로(Feeding-line)의 특성 임피던스 이다^[9].

$$Z_{oe}, Z_{oo} = \frac{j(1/Y_o^2)\sin\theta}{\sin^2\theta \pm (jY_o\cos\theta)^2} [j(1/Y_o + jY_o)\sin\theta - 1] \quad (8)$$

표 2와 그림 6은 갭의 넓이(거리)에 따라 변화 되는 대역폭의 실험 결과를 보여주고 있고 실험을 하기 위해 EM 시뮬레이션(simulation)인 IE3D tool(Ver. 12.0)을 사용하여 결과를 얻었으며 이는 갭의 거리와 대역폭이 비례 관계로 형성 되면서 거리가 가까워질수록 대역폭이 넓어진다는 결과를 확인할 수 가 있었다. 실험을 통해 설계된 대역통과 필터는 현대역에서 광대역 까지 변화 과정을 관찰했을 때, 5% 를 기준을 하여 60% 까지 대역폭 변화가 가능 해서 새로운 구조의 제안한 광대역 대역통과 필터가 구현되면서 적용 시킨 SIR과 세로 형태로 나열함으로 크기가 상당히 작아졌다는 특징을 나타내고 있다. 또한 제안한 대역통과 필터에서는 SIR구조의 특성 임피던스를 이용하여 필터의 크기를 줄이는 것이 주안점 이지만 만일

표 2. 갭의 거리 값에 따라 변화되는 대역폭
Table. 2. Bandwidth Variation with value of gap-distance

대역폭 [%] (f_1, f_2)	S[m] 간격
5	0.85
10	0.65
20	0.45
30	0.35
40	0.28
50	0.21
60	0.15

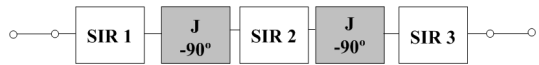


그림 5. 광대역 대역통과 필터의 J-인버터 등가회로
Fig. 5. Equivalent circuit of a J-inverter with broad BPF

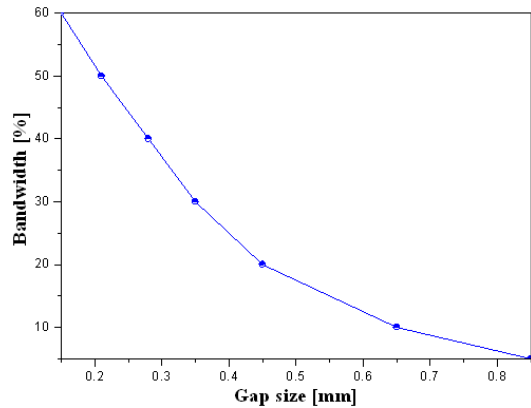


그림 6. 갭의 거리에 따른 대역폭 변화의 그래프
Fig. 6. Graph of the bandwidth variable in distance of gap

특성 임피던스 값을 조절하여 필요 이상으로 크기를 줄이기 원한다면 물리적인 길이 변화에 따라 중심 주파수도 함께 변화하게 될 것이다. 이때 그림 3에서 보는 바와 같이 헤어핀과 같은 U-형태의 개방형 스텐브의 길이(l)를 조절함으로써 변화되는 중심 주파수를 원래의 위치에 되돌아오도록 복원 시킨다. 즉, 필터의 구조가 작아지면 주파수가 상승하게 될 것이다. 이때 길이 l 를 증가 시키면 길이 l 에 해당되는 상대적인 인덕턴스(inductance) 값이 증가하게 되어 상승했던 주파수는 다시 낮아지게 되면서 원래의 중심 주파수로 되돌아오게 된다. 이러한 원리를 증명하기 위하여 실험 결과를 그림 7과 같이 제시를 하였다. 표 3은 그림 3에서 설계된 대역통과 필터에 관한 임피던스 값에 대하여 제시하였다.

표 3. 설계된 필터의 임피던스 값
Table. 3. Value of Impedances for designed filter

Z		Value [Ω]
Zo		50
Z1,	Zoe	120
Z11	Zoo	35
Z2,	Zoe	75
Z22	Zoo	25

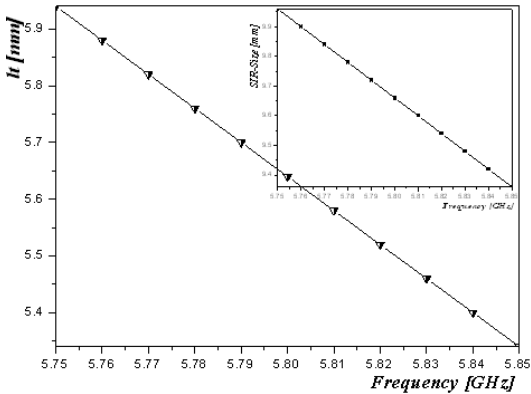


그림 7. SIR과 스테브의 길이 l_t 변화에 따른 주파수의 변화
Fig. 7. Variation of the frequency as function of SIR and stub length, l_t

3.2 제작 및 실험결과

그림 3 에서 제시한 설계된 소형 광대역 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정 결과는 그림 8과 같이 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 얻기 위해 IE3D (Ver. 12.0)를 통하여 결과를 얻을 수가 있었고, 측정 결과를 얻기 위해 HP-8510 C의 회로망 분석기를 이용하여 결과를 얻을 수가 있었다. 표 4는 제안한 필터

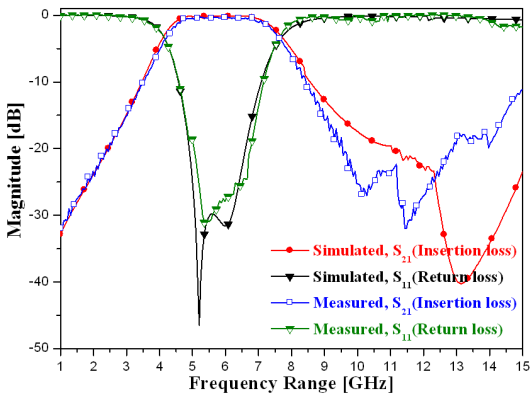


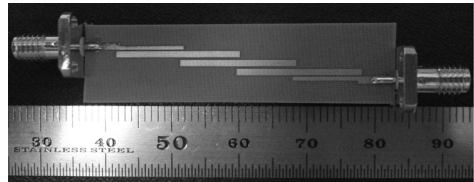
그림 8. 제안한 광대역 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정 결과, (대역폭: 60%)
Fig. 8. Simulation and measurement results of a proposed broad BPF, (FBW:60%)

의 시뮬레이션 및 측정결과에 대한 파라미터로서, 각각의 결과 값에 대한 내용들이 제시되고 있다.

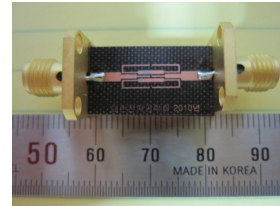
그림 9는 제작된 필터의 실제 사진을 보여주고 있다. 제작을 위해 사용되는 테프론(Teflon) 기판은 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는다^[10].

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]	
		삽입손실 S ₂₁	반사손실 S ₁₁	삽입손실 S ₂₁	반사손실 S ₁₁
5.8	60	0.17	29.8	0.42	24.5



(a) 평행결합 구조의 대역통과 필터



(b) 광대역 대역통과 필터

그림 9. 제작된 평행결합 구조의 대역통과 필터
Fig 9. Fabricated BPF with parallel coupled line
(a) Parallel coupled line structure of a BPF, (b) New type of a broad BPF

IV. 고 찰

평행 결합 선로를 갖는 SIR 광대역 대역통과 필터는 주로 분포 정수 소자를 사용하여 부품에 대한 단가를 줄일 수가 있고 세로 형태와 SIR 구조 및 헤어핀의 U-형태인 개방형 스테브를 적용함으로써 부품의 크기를 줄일 수가 있었고 커플링 양에 따라 대역폭 조절을 할 수가 있었다. 또한 대역폭의 증가에 따라 급전선로와 공진기 사이의 간격 차로 인해 제작하기가 어려웠던 문제점을 해결 할 수가 있었다. 표 5는 제안한 필터와 기존의 논문에서 게재된 필터의 크기를 비교 하여 본 필터의 우수성을 제시하였다. 표에서 언급하는 [11]은 결합 구조를 이용한 대역통과 필터로서 크기를 줄이

표 5. 필터의 크기 비교
Table 5. Comparison for size of the filter

참고문헌 [#]	중심 주파수 [GHz]	크기 [mm]	
		세로	가로
This work	5.8	3.84	9.67
Conventional	5.8	7.03	34.07
[11]	5.8	1.0	18.52

는 기술을 제안 하였지만 가로 측의 길이가 매우 길다. 뿐만 아니라, 필터 전체의 크기를 자유적으로 줄이게 된다면 주파수가 변화하기 때문에 어느 필요 이상으로 줄이기가 어렵다.

또한 표에 언급되어 있지는 않지만 참고문헌 [8] (pp.71, chap. 4.1.3)에서 의 경우는 SIR을 사용하였는 데도 불구하고 세로 측의 길이가 길 뿐만 아니라 광대역으로 응용하기에는 적합하지가 않다. 그 이유는 앞서 서론에서 언급한 내용과 같이 급전선로와 공진기 사이의 간격이 매우 좁아짐으로 실제의 제작이 어려워진다는 특징을 갖는다. 그러나 본 제안한 필터는 메트릭스 합성 방법을 고안하여 커플링 계수를 조절하여 대역폭을 결정 할 수가 있고 SIR 구조와 세로 형태의 나열 구성법을 적용하여 크기를 줄일 수가 있으며 헤어핀 모양과 같은 U-형태를 갖는 개방형 스테브의 길이를 조절함으로써 크기에 따라 변화 되는 중심 주파수를 복원 시킬 수 있다는 특징을 실험의 토대로 나타내고 있다.

V. 결 론

본 논문은 크기가 작고 평행 결합구조를 갖는 협대역에서 광대역 까지 대역폭을 조절 할 수 있는 광대역 대역통과 필터에 대해 제안 하였다. 기존의 평행 결합선로를 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 합성법 이론을 고찰하여 간격에 제한 없이 커플링 계수를 조절하여 대역폭을 늘릴 수가 있고 필터의 크기를 줄이기 위하여 세로의 형태와 SIR구조를 적용하였으며 헤어핀 모양의 U-형태를 갖는 개방형 스테브 길이를 조절하여 중심 주파수를 복원 및 고정 시키는 방안을 제안하였다.

새롭게 구현한 필터의 특징은 커플링 계수에 따라 대역폭을 유연하게 조절을 할 수가 있으며, 5 %의 대

역폭을 기준 했을 때, 조절 값에 따라 60 %까지 조절이 가능하여 넓은 대역폭을 얻어낼 수가 있도록 구현하였다. 새롭게 구현된 대역통과 필터는 최대 대역폭 60 % 에서 중심 주파수 5.8 GHz로 측정된 삽입손실과 반사손실이 각각 0.42 dB 및 24.5 dB의 결과를 얻었다. 이러한 광대역 대역통과 필터는 ISM밴드 와 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 기대 된다.

참 고 문 헌

- [1] 박인규, “DSRC 전략과 향후의 ITS”, 한국전자공학회, 제43권, TC편 제4호, 105-1109쪽, 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 성능 평가 및 분석,” 한국통신학회 논문지, 제25권, 제8A호, 1186-1197 쪽, 2000년 2월
- [4] 남훈, 임영석, “소형화된 구형 SIR을 이용한 대역 통과필터 설계 및 제작,” 대한전자공학회논문지, 제38권, 제TC-2호, pp.55-60.
- [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 and S. Yamashita, Microwave resonators and filters for wireless communication, Theory, Design and Application, Springer, 2004.
- [9] K. C. Gupth, R. Garg, I. Bahl, and 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 광대역 소형 필터 설계” 한국 ITS 학회 논문지, 제7권, 제6호, 31-37쪽, 2008년 12월.

이 정 훈 (Jeong-hun Lee)

정회원



2005년 2월 우송대학교 컴퓨터 전자정보공학부 공학사
 2007년 2월 한밭대학교 전자공학과 공학석사
 2003년 6월~현재 한국철도 차량엔지니어링 검사본부
 <주관심분야> 초고주파공학 수동소자 및 회로설계, 무선전력전송기술, 철도무선전력전송기술

홍 태 의 (Tae-Ui Hong)

정회원



1985년 2월 인천대학교 전자공학과 공학사
 1987년 8월 인천대학교 전자공학과 공학석사
 2010년 2월 광운대학교 전파공학과 공학박사
 1992년 2월~2004년 2월 전자부품연구원0580사업단 책임연구원
 2004년 3월~2005년 6월 경운대학교 멀티미디어공학과 객원교수
 2005년 7월~현재 한국세라믹기술원 기술기획팀 책임연구원
 <주관심분야> 락테나 및 무선전력전송기술, 부품소재기술기획, 정보통신기술

윤 기 철 (Ki-Cheol Yoon)

정회원



2005년 2월 우송대학교 컴퓨터 전자정보공학부 공학사
 2007년 2월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 공학석사
 2008년 8월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 박사 수료
 2009년 3월~현재 동양공업 전문대학 전기전자통신학부 외래교수
 <주관심분야> Metamaterial, 초고주파공학 능동회로, 전자파 재생에너지소자 개발, 레이더 시스템, 전자파생체의학기술