

구형 공진기와 계단 임피던스 개방 스티브를 사용한 고효율 광대역 대역 통과 필터 특성

Characteristics for High Efficiency and Wideband Band Pass Filter Using Rectangular Resonator and Step-Impedance-Open-Stubs

이 영 훈 · 권 원 현*

Younghun Lee · Wonhyun Kwon*

요 약

본 논문에서는 구형 공진기와 SIOS(Step-Impedance-Open-Stub)를 사용하여 삽입 손실이 적고, 차단 특성이 아주 좁고, 광대역 특성을 갖는 대역 통과 필터를 연구하였다. SIOS는 일반 0.25λ 개방 스티브보다 약 30%의 길이를 줄일 수 있고, 또한, SIOS의 길이에 따라 임피던스 값을 조정함으로써 필터의 특성 개선에 적용할 수 있다. 본 논문의 객관성을 입증하기 위해서 이중 모드 구형 공진기를 사용한 최적화된 광대역 대역 통과 필터를 구현하였다. 전송 선로 모델을 사용하여 계산한 주파수 특성 결과는 실험값과 아주 잘 일치하였다. 본 논문에서 구현된 필터의 주파수 특성은 필터의 3 dB 대역폭은 51.75%(3.206 GHz)이고, 삽입 손실은 0.44 dB, 30 dB 차단 특성은 저 주파수 대역에서 221 MHz(4.326~4.587 GHz), 고주파수 대역에서 181 MHz(7.739~7.954 GHz)이다. 최대 차단 특성은 저주파 대역에서 -61.8 dB, 고주파 대역에서 -76.3 dB이다.

Abstract

This paper presents a compact, low insertion loss, sharp rejection and wide band microstrip band pass filter that is composed rectangular loop resonator and Step-Impedance-Open-Stub(SIOS). The SIOS can be reduce length about 30% more than general 0.25λ open stub. And the stub can the advantage of tuning impedance magnitude. In order to demonstrate agreement of this paper prove, the optimized wide band pass filters are realized and experimented. A transmission line model used to calculate the frequency response of the new filters shows good agreement with measurements. The filter has 3 dB fractional bandwidth of 51.75%(3.206 GHz), an insertion loss of better than 0.44 dB from 4.587 GHz to 7.793 GHz, and two rejection of greater than 30 dB within 221 MHz(4.326~4.587 GHz) at low frequency band, 181 MHz(7.739~7.954 GHz) at high frequency band. Maximum rejection characteristics of the filter are -61.8 dB at low frequency and -76.3 dB at high frequency.

Key words : Wide Bandpass Filter, Step-Impedance-Open-Stub, Perturbation, Sharp Rejection

I. 서 론

현재 통신 사업은 무선과 유선이 결합되고, 방송과 통신이 결합되고, 산업 간의 결합을 통하여 새로운 산업을 창출하고 있다. 특히 무선 분야에서 무선

데이터 통신 시스템과 RF 계측기 등에서 시스템의 광대역, 고성능화, 소형화, 저가격 등을 요구하고 있다. 아울러 RF 시스템에서 중요한 역할을 하는 마이크로파 대역의 필터는 광대역, 고효율을 가지면서 동시에 저렴한 가격으로 구현이 가능한 필터가

금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

*안양대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication, Anyang University)

· 논문 번호 : 20081128-21S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 3일

필요하다. 이러한 요구는 마이크로스트립 구형 공진기를 사용함으로써 가능하다. 그러나 일반적인 결합 구조를 갖는 필터는 높은 삽입 손실 특성을 갖고 있다. 삽입 손실의 크기를 줄이기 위해서 공진기 간의 결합 구조를 변경하고, 수동 소자를 사용하여 필터의 특성을 개선하였다^{[1]-[10]}. 특히 필터의 삽입 손실과 특성 개선을 위하여 공진기는 HTS(High Temperature Superconductor) 특성을 이용하여 구현하였다^[7].

본 논문에서는 구형 공진기와 계단 임피던스 개방 스테르브(Step-Impedance-Open-Stub: SIOS)를 사용하여 삽입 손실이 작고, 차단 특성이 아주 좁고, 광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 대역 통과 필터를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 계단 임피던스 스테르브는 일반 0.25λ 보다 작고, 또한 스테르브의 임피던스의 값을 조정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한, 구형 공진기에 두 개의 계단 임피던스 개방 스테르브를 적용하여 광대역 특성을 갖는 필터에 관하여 연구하였으며, 구형 공진기의 이중 모드 특성을 사용하여 필터의 특성을 개선하였다. 그리고 구형 공진기와 급전 구조는 결합 구조를 사용하지 않고 직접 결합 구조를 사용하여 필터의 삽입 손실을 줄일 수 있는 구조를 제안하였다.

II. SIOS 특성

스테르브는 필터 및 증폭기 등에서 아주 중요한 소자로 사용하고 있다. 특히 필터에서 스테르브는 공진기 사이에서 K-inverter로 사용되며, 스테르브의 길이를 변화시켜서 저지 대역에서 Notch 주파수를 조정하는데 사용된다^[1]. 즉, 스테르브의 특성 임피던스를 사용하여 감쇄 극점을 통과대역으로 이동시킬 수 있다.

그림 1은 서로 다른 특성 임피던스와 전송 선로 길이를 갖는 SIOS이다. 좁은 선로는 특성 임피던스는 Z_1 이고, 전기적인 선로 길이는 θ_1 이고, 넓은 선로는 특성 임피던스는 Z_2 이고, 전기적인 선로 길이는 θ_2 이며, 오른쪽 끝은 개방되어 있다. 선로의 불연속과 개방면의 영향을 무시하였을 때, 좁은 선로의 왼쪽 끝에서의 SIOS의 입력 임피던스는

$$Z_{in} = -jZ_1 \frac{Z_2 \cot \theta_2 - Z_1 \tan \theta_1}{Z_1 + Z_2 \tan \theta_1 \cot \theta_2} \quad (1)$$

이다. SIOS의 공진은 $Y_{in}=1/Z_{in}=0$ 일 때이다.

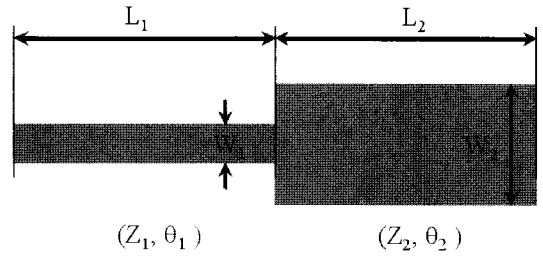


그림 1. SIOS 구조
Fig. 1. Structure of SIOS.

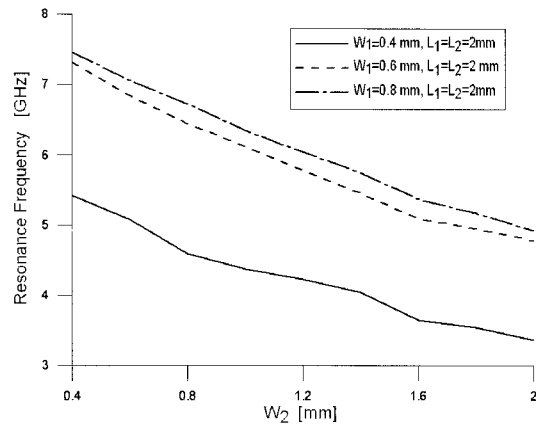


그림 2. SIOS의 선로 폭 W_1 의 변화에 의한 공진 주파수
Fig. 2. Resonance frequency varying line width W_1 of SIOS.

그림 2는 유전율이 9.5, 두께가 0.64 mm, 유전 손실이 0.0035인 기판을 사용하여 수치 해석한 결과이다. 그림 1에서 SIOS의 $L_1=L_2=2$ mm이고, W_1 가 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm인 각각의 경우에 W_2 를 0.4 ~ 2 mm 변화하였을 때의 전체 스테르브 공진 길이에 대한 공진 주파수를 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 개방 스테르브의 0.25λ 의 공진 길이는 5.23 mm이다. 그러나 본 논문에서 제안한 SIOS를 사용하면 전체 스테르브의 길이를 30 % 이상 줄일 수 있음을 알 수 있다^{[9],[10]}.

III. 구형 공진기와 SIOS를 이용한 필터 특성

3-1 구형 공진기와 한개의 SIOS를 갖는 구조의 특성

간접 결합 구조를 갖는 구형 공진기에 0.25λ 의 조정 스텐브(tuning stub)를 사용한 특성에 대한 특성은 연구하였다^[8]. SIOS의 길이와 폭을 변화함으로써 구형 공진기의 공진 특성 변화에 대하여 고찰한다. 그림 3은 구형 공진기에 한 개의 SIOS를 $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$ 에 부착하였을 때의 구조이며, 구형 공진기의 한 변의 중간에 SIOS를 부착함으로써 비대칭 구조를 갖게 되므로 공진기에서 축퇴 모드를 발생한다.

그림 4는 구형 공진기에 하나의 SIOS를 $\theta=90^\circ$ 에 놓고, 그림 1의 SIOS 구조의 크기는 $W_1=0.4$ mm, $L_1=2$ mm, $W_2=0.8$ mm이고, L_2 길이는 $0.8\sim 3.2$ mm이고, $L_f=5$ mm, $W_f=0.6$ mm일 때 S_{21} 이다. 그림 4에서 SIO의 L_2 의 길이에 대한 공진기의 기본 모드와 축퇴모드의 공진 주파수를 나타내고 있다. 즉, SIOS의 길이가 증가함으로써 발생하는 축퇴 모드(degenerate modes)는 낮은 주파수와 높은 주파수로 이동하고, 기본 모

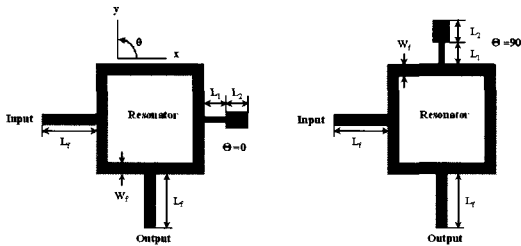


그림 3. 하나의 SIO를 갖는 구형 공진기 구조
Fig. 3. Rectangular resonator structure having a SIO.

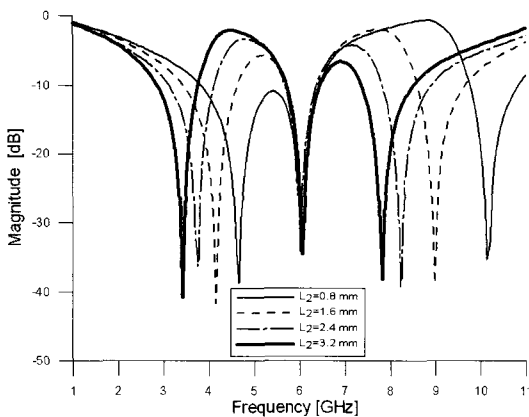


그림 4. $\theta=90^\circ$ 에서 하나의 SIOS를 갖는 구형 공진기 구조의 S_{21} 특성
Fig. 4. S_{21} characteristics of rectangular resonator having a SIO at $\theta=90^\circ$.

드는 6 GHz에서 동작하며, 이러한 특성은 SIOS의 임피던스 특성에 의한 것이다. 즉, L_2 의 길이가 0.8 mm에서 3.2 mm로 증가함으로써 낮은 주파수에서의 축퇴 모드 공진 주파수는 4.66 GHz에서 3.41 GHz로 이동하였고, 높은 주파수에서의 축퇴 모드 공진 주파수는 10.14 GHz에서 7.83 GHz로 이동하였다. $L_2=1.88$ mm인 크기의 SIOS가 있는 경우에 세 개의 감쇄 극점은 $f_1=4.015$ GHz에서 -41.9 dB, $f_2=6.075$ GHz에서 -33.4 dB, $f_3=8.793$ GHz에서 -36.6 dB이다.

3-2 구형 공진기와 두 개의 SIOS를 사용한 필터 특성

그림 5는 하나의 구형 공진기에 두 개의 SIOS를 $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$ 에 부착한 구조이다. 입/출력 포트와 두 개의 SIOS로 나누어지며, 대칭 구조이다. 두 개의 SIOS를 조정함으로써 공진기의 주파수 특성을 조정할 수 있다.

그림 6은 $W_1=0.4$ mm, $L_1=2$ mm, $W_2=0.8$ mm, $L_2=2.18$ mm일 때 삽입 손실이 1 dB 이하, 30 dB 스퀘트 특성이 400 MHz 이하, 대역폭이 3 GHz를 갖는 최적화된 대역 통과 필터의 주파수 특성이다. 구현된 필터의 3 dB 대역은 4.361~8.169 GHz이고, 대역폭은 3.808 GHz(60.7%)이다. 주파수 극점은 3.925 GHz에서 -48.0 dB, 8.615 GHz에서 -40.1 dB이다. 30 dB 차단 특성은 낮은 대역에서 0.305 GHz이고, 높은 대역에서 0.343 GHz이다. 그리고 계산된 결과와 실험 결과의 차이는 입/출력 포트의 커넥터와 스트립 선로

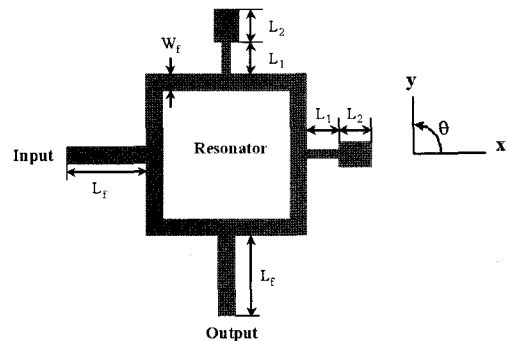


그림 5. 두 개의 SIOS와 구형 공진기를 이용한 필터 구조
Fig. 5. Filter configuration structures having two SIOS and a rectangular ring resonator.

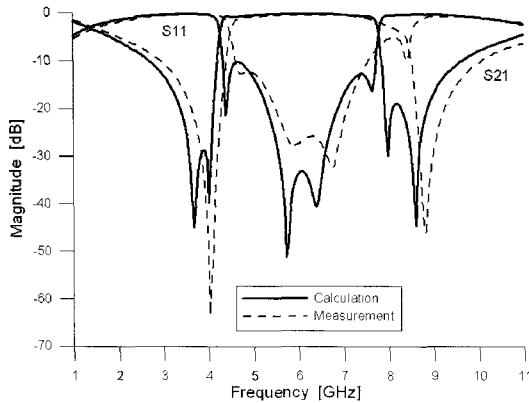


그림 6. $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$ 에서 $L_2=2.12$ mm의 대역 통과 필터 특성

Fig. 6. Band pass filter characteristics of $L_2=2.12$ mm at $\theta=0^\circ$, $\theta=90^\circ$.

의 부정합 특성과 제작 과정에서 스트립 선로의 불균일성에 의한 결과로 사료된다.

표 1은 $L_2=1.88$ mm, 2.12 mm, 2.18 mm에서 필터의 대역폭, 삽입 손실, 극점 주파수, 30 dB 스키트 대역폭에 대한 필터의 계산값과 실험값이다. 대역폭의 이론값은 3,099~4,467 GHz이고, 실험값은 3.462~3.808 GHz이다. 삽입 손실은 이론값이 0.16 dB, 실험값은 0.38 dB이다. 30 dB 스키트 특성은 이론값이

0.221~0.381 GHz이고, 실험값은 0.306~0.341 GHz이다. 표 1의 이론값과 실험값은 대체적으로 일치하였으며, 오차는 커넥터와 기판의 제작상의 오차로 예상된다.

IV. 구형 공진기의 듀얼 모드를 이용한 광대역 필터 특성

4.1 듀얼모드 특성

그림 6에서 두 개의 SIOS를 사용한 구형 공진기의 주파수 특성은 차단 특성이 우수함을 나타내고 있다. 아주 좁은 차단 특성을 갖기 위해서는 구형 공진기의 듀얼 모드 특성을 사용해서 구현할 수 있다^[8]. 구형 공진기에 모드 발생 스테르브(perturbation stub)를 45°에 첨가함으로써 구형 공진기는 듀얼 모드로 동작한다.

본 논문에서는 그림 7와 같이 구형 공진기에 45°에서 사각형 스테르브를 사용하였다. 모드 발생 스테르브는 구형 공진기의 전자계 특성을 교란시킴으로써 구형 공진기는 듀얼 모드로 동작하고, 발생한 듀얼 모드는 대역 통과 필터의 감쇄 특성을 개선시키는 역할을 한다. 모드 발생 스테르브의 크기를 증가시키거나 감소시킴으로써 스테르브의 리액턴스 값이 변함으로써 대역 통과 필터의 차단 특성을 변경할 수 있다.

표 1. 두 개의 SIOS와 구형 공진기를 이용한 필터 특성

Table 1. Filter characteristics having two SIOS and a rectangular ring resonator.

L_2 (mm)	구분	대역폭 (GHz)	최소 삽입 손실 (dB)	극점 주파수(GHz)		30 dB 스키트 특성(GHz)	
				저 주파수 대역	고 주파수 대역	저 주파수 대역	고 주파수 대역
1.88	이론 값	4.916~8.015 BW=3,099	-0.16	4.115(-42.1 dB)	8.839(-44.3 dB)	4.135~4.316 BW=0.381	8.015~8.159 BW=0.144
	측정 값	4.537~8.049 BW=3,512	-0.48	4.026(-63.4 dB)	8.910(-45.9 dB)	4.196~4.537 BW=0.341	8.049~8.692 BW=0.643
2.12	이론 값	4.291~7.753 BW=3,462	-0.16	4.015(-63.4 dB)	7.984(-30.0 dB)	4.063~4.291 BW=0.255	7.753~7.984 BW=0.201
	측정 값	4.531~8.051 BW=3,520	-0.31	4.026(-63.4 dB)	8.815(-45.9 dB)	4.196~4.531 BW=0.335	8.051~8.691 BW=0.640
2.18	이론 값	4.286~7.753 BW=3,467	-0.16	4.015(-39.8 dB)	7.984(-30.1 dB)	4.065~4.268 BW=0.221	7.753~7.984 BW=2310
	측정 값	4.361~8.169 BW=3,808	-0.38	3.925(-48.0 dB)	8.615(-40.1 dB)	4.056~4.361 BW=0.306	8.169~8.512 BW=0.443

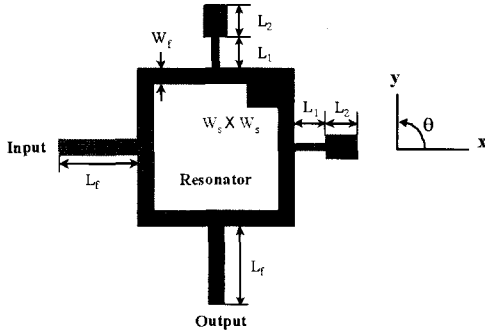


그림 7. 두 개의 SIOS와 듀얼 모드 구형 공진기를 이용한 필터 구조

Fig. 7. Filter configurations having two SIOSs and a dual mode rectangular resonator.

그림 8은 그림 7에서 2개의 SIOS와 듀얼 모드 구형 공진기의 S_{21} 에 대한 주파수 특성이다. SIOS의 길이는 듀얼 모드 발생하는 스텐브의 크기는 $W_s \times W_s = 0.5 \times 0.5$ mm이고, $L_1 = 2$ mm, $W_1 = 0.4$ mm, $W_2 = 0.8$ mm이며, $L_2 = 1 \sim 5$ mm에 따른 주파수 특성을 나타내고 있다. 길이가 증가함으로써 극점과 대역폭이 변화함을 알 수 있다. 표 2는 L_2 의 길이 크기에 따른 저 주파수 대역과 고 주파수 대역에서 극점의 위치를 나타내고 있다. L_2 의 길이가 증가함으로써 극점의 위치가 낮은 주파수로 이동함을 알 수 있다.

4-2 세 개의 듀얼모드 구형 공진기와 6개의 SIOS를 사용한 필터 특성

본 논문의 객관성을 입증하기 위해서 그림 9와 같

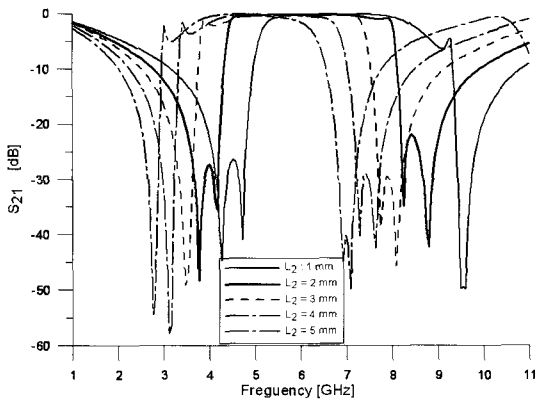


그림 8. L_2 길이에 따른 필터의 S_{21} 특성
Fig. 8. S_{21} characteristics of the filter varying L_2 length.

표 2. 두 개의 SIOS와 듀얼 모드 구형 공진기를 이용한 필터의 극점

Table 2. Poles of filters having two SIOSs and a dual mode rectangular resonator.

L_2	F_L pole	F_H pole
1 mm	4.165 GHz(-42.9 dB)	9.79 GHz(-42.5 dB)
2 mm	3.663 GHz(-47.2 dB)	8.08 GHz(-28.7 dB)
3 mm	3.360 GHz(-46.3 dB)	7.58 GHz(-31.2 dB)
4 mm	3.010 GHz(-49.1 dB)	7.08 GHz(-31.6 dB)
5 mm	2.758 GHz(-40.4 dB)	6.72 GHz(-30.1 dB)

이 3개의 구형 공진기를 사용하여 최적화된 광대역 대역 통과 필터 3가지를 구현하였다. 구형 공진기는 주파수 6 GHz에서 설계하였으며, 공진기 전체 길이의 크기와 폭은 23.48 mm, 0.64 mm, 입출력 급전선의 길이와 폭은 5 mm, 0.64 mm, 모드 발생 스텐브는 0.5×0.5 mm, SIOS의 길이와 폭은 $W_1 = W_3 = W_5 = 0.4$ mm, $L_1 = L_3 = L_5 = 2$ mm, $W_2 = W_4 = W_6 = 0.8$ mm, $L_2 = 2.16$ mm, $L_4 = 1.96$ mm, L_6 는 2.1 mm, 2.16 mm, 2.20 mm에 대하여 최적화된 결과값을 도출하였다.

그림 10은 $L_6 = 1.96$ mm, 2.10 mm, 2.16 mm일 때 구현된 필터의 주파수 특성이다. 그림 9(c)는 $L_6 = 2.16$ mm일 때, 듀얼 모드 발생 스텐브에 의하여 발생한 극점은 저 주파수 대역에서 2.959 GHz(-65.5 dB),

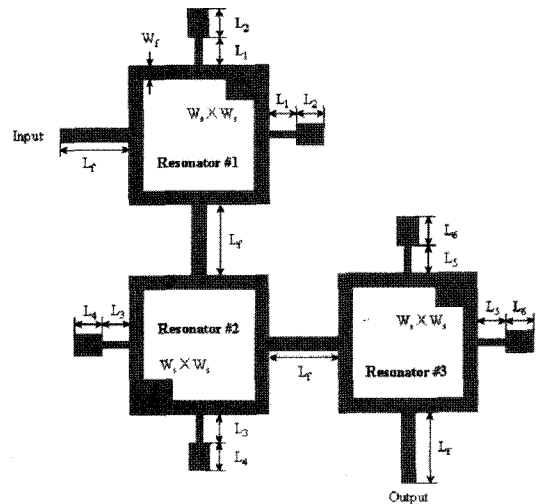


그림 9. 제안한 대역 통과 필터 구조
Fig. 9. Proposed band pass filter configurations.

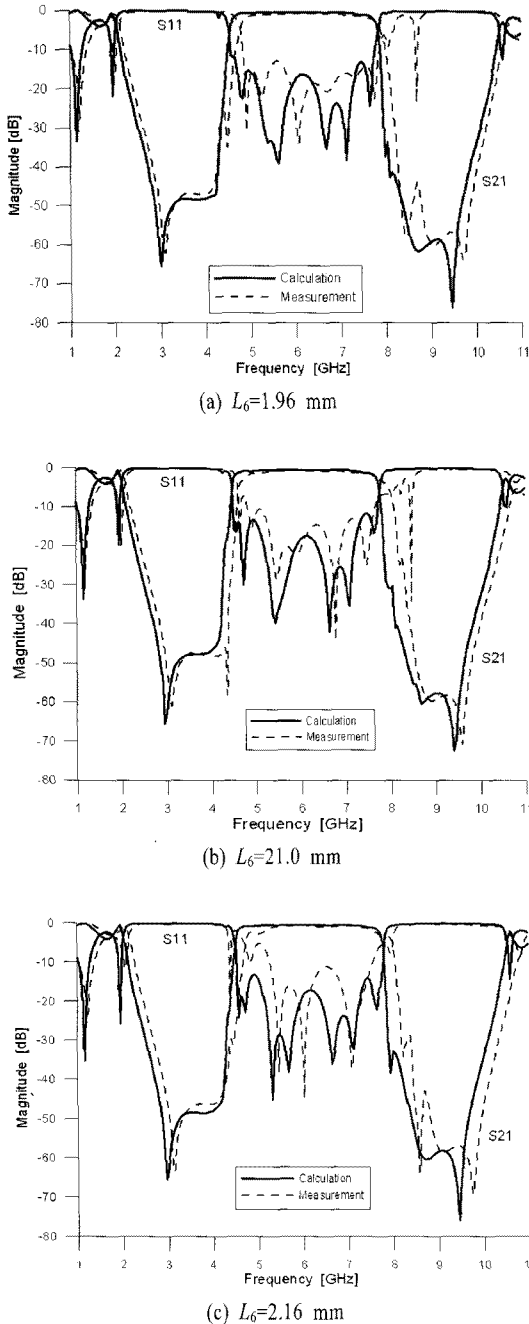


그림 10. 제안한 필터 주파수 특성
Fig. 10. Proposed filter frequency characteristics.

고주파수 대역에서 9.442 GHz (-75.9 dB)이다. 필터의 3 dB 대역폭은 52.3 % (2.916 GHz)이고, 삽입 손실은 0.81 dB, 30 dB 차단 특성은 저 주파수 대역에서 321 MHz, 고주파수 대역에서 471 MHz이다. 일반적

으로 필터의 차단 특성을 개선하기 위해서 다수의 공진기를 이용하여 필터를 구현하지만 삽입 손실이 증가하는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 제안한 구조는 필터 특성이 다른 구조에 비하여 아주 우수한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 표 3은 본 논문에서 구현한 최적화된 RF 필터의 계산값과 실험값이다. 이론값과 실험값 사이의 오차는 커넥터와 기판의 제작상의 오차로 예상된다.

표 3은 $L_6=1.96$ mm, 2.10 mm, 2.16 mm에서 필터의 대역폭, 삽입 손실, 극점 주파수, 30 dB 스퀘트 대역폭에 대한 필터의 계산값과 실험값이다. 대역폭의 이론값은 3,206~3,216 GHz이고, 실험값은 2.916~3.0268 GHz이다. 삽입 손실은 이론값이 0.44 dB, 실험값은 0.81 dB이다. 30 dB 스퀘트 특성은 이론값이 0.221~0.331 GHz이고, 실험값은 0.432~0.646 GHz이다. 표 3의 이론값과 실험값은 대체적으로 일치하였으며, 오차는 커넥터와 기판의 제작상의 오차로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 통신 및 계측기 시스템에 사용할 수 있는 구형 공진기와 SIOS를 사용하여 삽입 손실이 작고, 차단 특성이 아주 좁고, 광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 대역 통과 필터를 제안하였다. 제안한 계단 임피던스 스테르브는 일반 0.25λ 보다 30%의 길이를 줄일 수 있고, 또한 스테르브의 임피던스의 크기를 변경할 수를 줄일 수 있는 장점이 있음으로 필터의 특성 개선에 적용할 수 있다. 또한, 구형 공진기에 두 개의 계단 임피던스 개방 스테르브를 적용하여 광대역 특성을 갖는 필터에 관하여 연구하였으며, 구형 공진기의 이중 모드 특성을 사용하여 필터의 특성을 개선하였다. 그리고 구형 공진기와 급전 구조는 결합 구조를 사용하지 않고 직접 결합으로써 필터의 삽입 손실을 줄일 수 있는 구조를 제안하였다.

본 논문의 객관성을 입증하기 위해서 세 개의 공진기로 구성된 최적화된 광대역 대역 통과 필터를 3가지를 구현하였다. 구형 공진기는 주파수 6 GHz에서 설계하였으며, 공진기 전체 길이의 크기와 폭은 23.48 mm, 0.64 mm, 입출력 급전선의 길이와 폭은

표 3. 제안한 필터 특성

Table 3. Proposed filter characteristics.

L_6 (mm)	구분	대역폭 (GHz)	최소 삽입 손실 (dB)	극점 주파수(GHz(dB))		30 dB 차단 특성(GHz)	
				저주파수대역	고주파수대역	저주파수대역	고주파수대역
1.96	이론 값	4.587~7.793 BW=3.206	-0.44	2.959(-61.8)	9.440(-76.3)	4.326~4.587 BW=0.221	7.739~7.954 BW=0.181
	측정 값	4.837~7.801 BW=2.964	-0.85	3.084(-62.1)	9.697(-63.9)	4.517~4.837 BW=0.481	7.801~8.214 BW=0.581
2.10	이론 값	4.507~7.723 BW=3.216	-0.44	2.959(-65.4)	9.391(-72.3)	4.246~4.507 BW=0.291	7.723~7.934 BW=0.271
	측정 값	4.747~7.773 BW=3.026	-0.82	3.104(-61.1)	9.577(-70.8)	4.416~4.747 BW=0.432	7.773~8.234 BW=0.441
2.16	이론 값	4.527~7.735 BW=3.208	-0.44	2.959(-65.5)	9.442(-75.9)	4.286~4.527 BW=0.331	7.735~7.886 BW=0.180
	측정 값	4.797~7.713 BW=2.916	-0.81	3.124(-63.5)	9.757(-69.4)	4.476~4.797 BW=0.646	7.713~8.184 BW=0.314

5 mm, 0.64 mm, 모드 발생 스테브는 0.5×0.5 mm, SIOS의 길이와 폭은 이 $W_1=W_3=W_5=0.4$ mm, $L_1=L_3=L_5=2$ mm, $W_2=W_4=W_6=0.8$ mm, $L_2=2.16$ mm, $L_4=1.96$ mm, L_6 는 2.1 mm, 2.16 mm, 2.20 mm이다. $L_6=2.16$ mm인 경우에 모드 발생 스테브에 의한 극점은 저주파수 대역에서 2.959 GHz(-65.5 dB), 고주파수 대역에서 9.442 GHz(-75.9 dB)이다. 필터의 3 dB 대역폭은 46.6 %(2.916 GHz)이고, 삽입 손실은 0.81 dB, 30 dB 차단 특성은 저주파수 대역에서 321 MHz, 고주파수 대역에서 471 MHz이다. 일반적으로 차단 특성을 개선하기 위해서 다수의 공진기를 이용하여 필터를 구현하지만 삽입 손실이 증가하는 단점을 가지고 있다.

참 고 문 헌

[1] J. R. Lee, J. H. Cho, and S. W. Yun, "New compact bandpass filter using microstrip $\lambda/4$ resonators with open stub inverter", *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 10, no. 12, pp. 526-527, Dec. 2000.

[2] L. -H. Hsieh, K. Chang, "Compact dual-mode elliptic-function bandpass filter using a single ring resonator

with one coupling gap", *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 19, pp. 1626-1627, Sep. 2000.

[3] W. C. Jung, H. J. Park, and J. C. Lee, "Microstrip ring bandpass filters with new interdigital side-coupling structure", in *Asia-Pacific Microwave Conf.*, vol. 3, pp. 678-681, 1999.

[4] L. Zhu, K. Wu, "A joint field/circuit model of line-to-ring coupling structures and its application to the design of microstrip dual-mode filters and ring resonator circuits", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1938-1948, Oct. 1999.

[5] M. Matsuo, H. Yabuki, and M. Makimoto, "Dual-mode stepped impedance ring resonator for bandpass filter applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, pp. 1235-1240, Jul. 2001.

[6] L. -H. Hsieh, K. Chang, "Dual-mode quasi-elliptic-function bandpass filters using ring resonators with enhanced-coupling tuning stubs", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, pp. 1340-1345, May 2002.

[7] J. S. Hong, M. Lancaster, D. Jedamzik, and R. B. Greed, "On the development of superconducting mi-

crostrip filters for mobile communications applications", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, pp. 1656-1663, Sep. 1999.

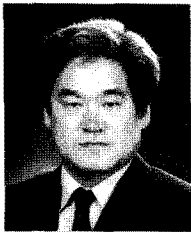
[8] K. Chang, *Microwave Ring Circuits and Antennas*. New York: Wiley, 1996.

[9] 이영훈 외, "무선데이터 통신을 위한 고효율 광대역 마이크로스트립 대역통과 필터 특성에 관

한 연구", *한국전기전자학회논문지*, 12(4), pp. 225-232, 2008년 12월.

[10] 이영훈 외, "구형 공진기와 계단 임피던스 개방 스테르브를 사용한 고효율 광대역 마이크로스트립 대역통과 필터 특성에 관한 연구", *한국전자과학회 종합학술발표회논문집*, 18(1), pp. 140, 2008년 11월.

이 영 훈



1986년 2월: 광운대학교 전자공학과 (공학사)

1988년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1995년 3월~2002년 2월: 호남대학교 전파공학과 부교수

2002년 3월~현재: 금오공과대학교 전자공학부 조교수

2003년 2월~현재: 한국전자과학회 논문지 편집위원 및 영남지부 부지부장

[주 관심분야] RF 수동 및 능동 부품 설계, RFIC, EMI/EMC, 안테나 해석 및 설계 등

권 원 현



1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1984년 3월~1994년 2월: 삼성전자 무선연구실 개발팀장

1994년 3월~현재: 안양대학교 정보통신공학과 교수

[주 관심분야] 이동통신, 초소형 RF 부품, RFIC, 안테나 해석 및 설계 등