

새로운 형태의 DGS를 이용한 저역통과 필터의 주파수 조정 설계

정회원 조영빈*, 김병수**, 전계석*

Frequency Tuning Design of LPF using Novel DGS

Young-Bin Cho*, Byung-Soo Kim**, Kye-Suk Jun* *Regular Members*

요약

일반적인 마이크로파 회로의 성능 향상과 소형화를 위해서 DGS 또는 PBG 구조를 이용한 마이크로파 회로 및 안테나 등에 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 DGS와 PBG 구조는 대역저지 주파수의 미세 조정이 어렵고, 주기적인 배열구조는 소형화에 걸림돌이 되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 대역저지 주파수 조정이 용이한 스텐브 구형 슬롯, I 형 슬롯, 그리고 스텐브 I 형 슬롯 DGS 구조 등의 3가지 형태를 제안하고 각각에 대한 대역 저지 특성을 분석하였다. 스텐브 구형 슬롯 구조는 저역 통과대역의 손실 없이 넓은 저지대역 특성을 조정할 수 있고 I 형 슬롯 구조는 급격한 대역 저지 특성을 갖는 차단 주파수를 세밀하게 조정할 수 있으며 스텐브 I 형 슬롯 구조는 급격한 대역 저지 특성과 넓은 저지대역 특성을 동시에 조정할 수 있다는 분석결과를 얻었다.

제안된 DGS 프로토타입으로 설계된 저역통과 필터는 3GHz에서 급격한 감쇠 특성과 넓은 저지대역 특성을 갖도록 DGS를 조정하면서 설계하고 제작하였다. 제작된 저역통과 필터의 측정결과는 차단 주파수는 2.665GHz이고 사용하려는 IMT-2000 통과대역에서의 삽입손실과 반사손실은 모의 실험 결과와 일치하고 있다.

ABSTRACT

For the performance improvement and down-sizing the microwave circuits and antennas using DGS or PBG structure. However, the existing DGS and PBG types are difficult to tune the stopband frequency exactly, and are not easy to down-size the circuit.

In this paper, We propose three DGS prototypes -Stub Rectangular Slot, I type Slot, and Stub I type Slot and analyze the each characteristics of the stop band that the "Stub Rectangular Slot" might be broadly tuned in pass-band without loss, the "I type Slot" might be tuned fully to the sharp attenuation pole of the stop-band frequency, and the "Stub I type Slot" could tuned to the attenuation pole and the broad stop-band simultaneously.

The LPF using the proposed DGS prototypes has been designed and implemented to have the sharp attenuation pole at 3GHz and the broad stop-band property. The measurement results of the low-pass filter have the cut-off frequency of 2.665GHz, and the insertion loss and the return loss are in correspondence with the simulation results in IMT-2000 pass-band.

I. 서론

PBG구조는 특정한 주파수 대역에서 전자기파의 전파를 효과적으로 차단하는 주기적인 구조로서 다

층기판의 주기적인 천공이나 여러 가지 적절한 도체나 유전체 구조를 배열시킴으로서 형성시킬 수 있다.^{[1][2][3]} 이러한 배열이 자연적 결정(Crystal)의 주기적 반복 구조와 유사하여 전자기적 결정

* 경희대학교 전자공학과 마이크로파 연구실(ybcho@khu.ac.kr),
논문번호 : 020392-0907, 접수일자 : 2002년 9월 7일

** 신성대학 전자정보통신계열

(electromagnetic crystals)이라고 부르기도 하며, PBG구조의 표면은 그 구조의 밴드갭 사이에 자기 도체(magnetic conductors)를 포함한 것과 같은 형태를 가지기 때문에 slow-wave 특성과 위상속도의 저하로 소형화할 수 있는 특징과 저지대역을 갖는 특성으로 인해 마이크로파 및 밀리미터파 분야에 많은 응용이 되고 있다.^{[4][5][6][7]} PBG구조가 마이크로파에서 응용이 되면서 주기적인 배열구조가 아닌 접지면내의 단일구조 슬롯 형태로 구성된 것을 DGS(Defected Ground Structure)라고 하고 다양한 형태의 구조들이 제안·연구되고 있다.

DGS의 특징은 특정 주파수 대역의 전파를 저지시키는 특성을 갖는 것으로 연구되었으며 일반적인 마이크로파 회로에 비교해서 소형화 구현이 가능하여 다양한 회로에 응용하고 있다.^{[8][9][10]} 일반적으로 마이크로파 능동소자의 비선형 영역은 부품의 포화 영역이 존재하기 때문에 불요파와 고조파 성분이 발생되어 회로의 성능 저하가 유발된다. 따라서 마이크로파 능동회로 및 능동안테나의 불요파와 고조파 성분을 억제함으로써 회로의 성능을 향상시키기 위한 DGS 혹은 PBG 구조의 저역통과 필터 [5][11][12]와 넓은 저지대역 특성을 고려한 대역통과 필터, 임피던스 정합 회로, 발진기 등의 다양한 연구가 이루어지고 있다.^{[13][14][15][16]}

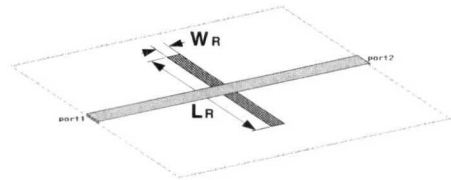
본 논문에서는 IMT-2000 기지국에 사용할 수 있도록 넓은 저지대역을 가지며 소형화가 가능한 새로운 DGS로 저역통과 필터를 설계하였다. 제안된 DGS 저역통과 필터는 3개의 슬롯과 전송선로의 길이 및 폭의 변화를 주는 형태로서 저지대역의 특성 변화가 거의 없이 주파수 조정이 용이한 특징을 가지고 통과대역에서의 삽입손실이 우수한 장점을 갖도록 설계하였으며, 제작과 측정을 통하여 제안된 DGS 저역통과 필터의 특성을 평가하고자 한다.

II. 일반적인 DGS의 특성

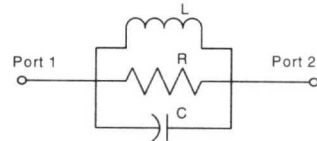
2.1. 기본적인 구형 슬롯 구조의 특성

기본적인 DGS 형태는 그림 1(a)와 같이 기판의 접지면에 직사각형 개구면 형태로 식각(구형 슬롯)되고 윗면은 50 Ω 인 마이크로스트립 전송선로로 구성된다. 이러한 구조는 주파수 영역에서 대역저지 특성을 보이므로 등가회로로 그림 1(b)와 같이 입출력 단에 직렬로 연결된 병렬 공진회로로 표현된다.

대역저지 특성은 그림 1의 등가회로에서 인덕턴스 L과 커패시턴스 C에 의해 결정되며 이러한 L과



(a) 구형 슬롯의 구조



(b) 구형 슬롯의 등가회로

그림 1. 구형 슬롯의 구조와 등가회로

C는 그림 1(a)에서 구형 슬롯의 면적을 구성하는 폭 W_R 과 길이 L_R 에 의해 결정된다. 본 논문에서는 설계된 모든 회로는 Taconic사의 Teflon TLX-9 기판($\epsilon=2.5$, $h=0.7874\text{mm}$, $t=0.018\text{mm}$)을 사용하여 설계하였으며 구형 슬롯의 면적을 구성하는 폭 W_R 과 길이 L_R 의 변화에 따른 각각의 주파수 특성을 그림 2와 그림 3에 보였다.

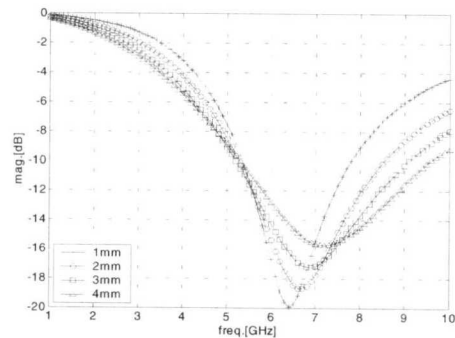


그림 2. 구형 슬롯의 길이 W_R 변화에 따른 주파수 특성

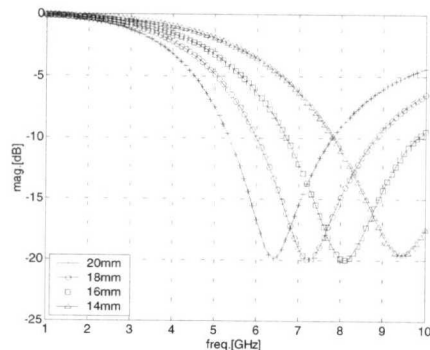


그림 3. 구형 슬롯의 폭 L_R 변화에 따른 주파수 특성

그림 2에서 구형 슬롯의 길이 W_R 이 증가함에 따라 대역저지 주파수가 높은 주파수로 조금씩 이동하면서 저지대역 폭이 증가되므로 주로 커패시턴스 C 성분이 감소됨을 알 수 있지만 저역통과 대역에서 감쇠가 발생된다. 또한 그림 3에서 구형 슬롯의 폭 L_R 이 증가함에 따라 대역저지 주파수가 낮은 주파수로 이동하므로 병렬공진 등가회로의 성분 중에서 주로 인덕턴스 L 성분만이 증가된다고 볼 수 있다. 따라서 구형슬롯의 크기 변화에 의해 저지대역 주파수와 저지대역 폭의 조정은 가능하지만 저역 통과대역의 감쇠가 발생되는 단점이 있다.

2.2. 일반적인 DGS의 특성

최근에 통용되고 있는 DGS의 구조는 그림 4와 같이 윗면의 전송선로를 기준으로 접지면의 정사각형 슬롯이 대칭적으로 배열시킨 형태이다. 정사각형 슬롯사이의 연결부분의 폭 s 는 변화가 가능하고 연결부분의 길이는 전송선로의 폭 W_0 와 동일하게 고정하여 사용한다.

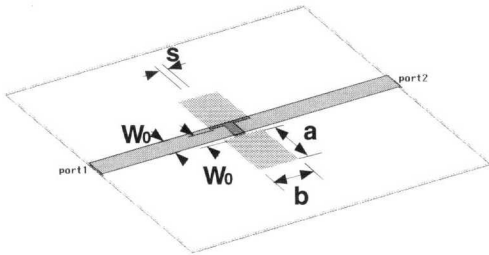


그림 4. 상하대칭인 정사각형 슬롯의 구조

이러한 DGS 관련 논문^{[8][9]}에서는 상하 대칭인 정사각형 슬롯구조를 제안하고 응용하는 연구가 진행되었으며 정사각형 슬롯의 폭($a=b$)을 변화시켜 저지대역의 공진 주파수를 조정한다. 그림 4와 같은 DGS 슬롯의 특성을 확인하기 위해서 연결부분의 폭은 50 Ω 선로의 폭과 동일하게 하고 길이는 0.5 mm로 고정하고 정사각형 슬롯의 폭을 6mm, 5mm, 4mm로 축소함에 따라 각각의 저지대역 주파수 특성을 그림 5에 보였다. 그림 5에서 정사각형 슬롯의 폭을 1mm 변화 될 때마다 공진 주파수의 특성이 1.5GHz 이상 변화됨을 보인다. 이러한 특성은 공진 주파수를 500MHz 정도 변화시키기 위해서는 정사각형 슬롯의 폭을 0.3mm 정도 변화시켜야 되므로 제작상의 문제가 발생됨을 의미한다. 그러므로 이러한 DGS 슬롯의 구조는 공진 주파수의 미세한 조정이

어렵고 다양한 특성을 얻기에는 한계가 있다.

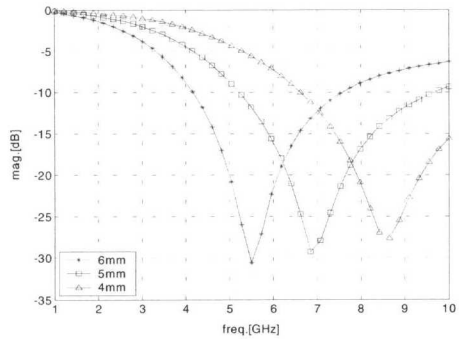


그림 5. 정사각형 슬롯의 a=b폭 변화에 따른 주파수특성

III. 제안된 DGS의 특성

앞에서 2 가지 기본적인 형태의 DGS를 소개하였다. 이러한 DGS를 사용하여 필요한 저지대역 주파수의 위치를 설계할 수 있지만 저지대역 주파수의 미세한 조정 및 정밀한 제작상의 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 저지대역 주파수의 미세한 조정이 가능하며, 제작의 어려움이 없도록 기존의 DGS 형태를 변형시킨 3가지의 구조를 제안한다.

3.1. 스테브 구형 슬롯 구조 및 특성

첫 번째로 제안하는 스테브 구형 슬롯 구조는 앞서나온 그림 1의 구형 슬롯 DGS 형태에 마이크로 스트립 전송선로 스테브를 추가한 모양으로서 그림 6과 같다. 제안된 구조의 특성을 평가하기 위해서, 접지면 상에 식각된 구형 슬롯의 크기($W_{SR}=1mm$, $L_{SR}=18mm$)는 고정하고 추가된 스테브의 길이 L_S 변화에 따른 주파수 특성을 그림 7에 보였다.

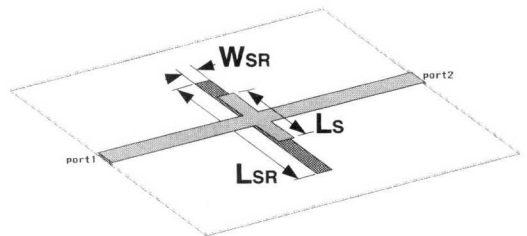


그림 6. 스테브 구형 슬롯의 구조

그림 7에서 스테브의 길이가 증가함에 따라 대역저지 주파수가 높은 주파수로 이동하면서 넓은 저지대역 특성을 갖게 되므로 병렬공진 등가회로의

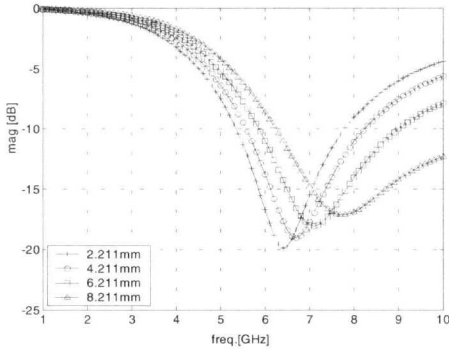


그림 7. 스텐브 구형 슬롯의 LS 길이 변화에 따른 주파수 특성

커패시턴스 성분이 감소한다는 것은 기존의 구형 슬롯 구조의 주파수 특성은 그림 3과 유사하지만 저역 통과대역의 감쇠가 없다. 그러므로 접지면에서 구형 슬롯의 길이 L_{SR} 에 의해 대역 저지의 중심주파수를 결정하고 상단의 전송선로 스텐브의 길이 L_S 로 넓은 저지대역과 저지대역 중심주파수를 미세하게 조절할 수 있게 된다.

3.2. I 형 슬롯의 구조 및 특성

두 번째로 제안된 I 형 슬롯구조는 마이크로스트립 기판의 접지면을 I자 형태로 식각한 형태로 그림 8 과 같다. 제안된 I 형 슬롯구조의 전체 폭 W_I 와 길이 L_I 는 동작 주파수에 따라 고정되고 중앙부분의 슬릿 길이 L_{slit} 과 슬롯 간격 S_I 가 가변 되도록 구성 된다. 전체적인 I 형 슬롯구조의 주파수 특성을 분석하기 위해서 슬롯의 전체 폭 W_I 와 길이 L_I 를 각각 6mm, 18mm 로 고정하고 슬롯의 중앙부분의 슬릿 길이 L_{slit} 과 간격 S_I 를 가변시켰다. 먼저 L_{slit} 을 10.211mm 로 고정하고 S_I 를 각각 0.5mm, 1.5mm, 2.5mm, 3.5mm 로 점차적으로 증가시켰을 때, 각각의 주파수 특성은 그림 9와 같이 등가회로의 인덕턴스 성분이 일정하게 증가되는 반면에 커패시턴스 성분이 로그 스케일로 감소하여 공진주파수가 증가되는

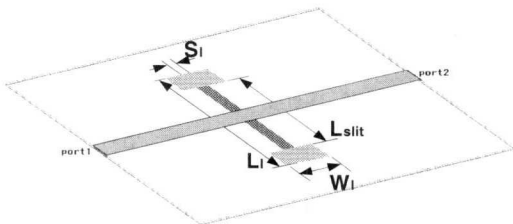


그림 8. I 형 슬롯의 구조

동시에 대역폭도 증가하는 특성을 보인다.

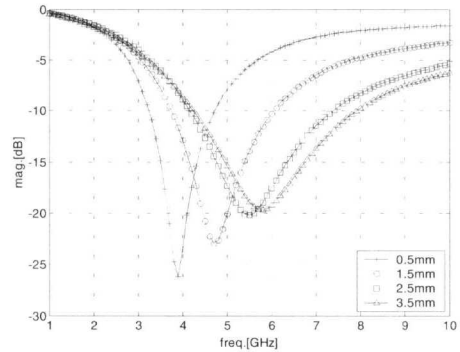


그림 9. I 형 슬롯의 SI길이 변화에 따른 주파수 특성

다음으로 S_I 를 0.5mm로 고정하고 L_{slit} 을 각각 12.211mm, 10.221mm, 8.211mm, 6.211mm, 4.211mm, 2.211mm로 축소시켰을 때, 각각의 주파수 특성은 그림 10과 같이 커패시턴스 성분이 증가되었지만 주로 인덕턴스 성분이 감소하여 공진 주파수가 미세하게 증가하는 상반되는 특성을 보인다. 그러므로 제안된 I 형 슬롯구조의 특징은 커패시턴스와 인덕턴스 성분이 상보관계를 가지게 되며, 이러한 특징을 이용하여 중앙부분의 길이를 축소하여 급격한 저지특성을 갖는 대역저지 중심주파수(극점)를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 중앙부분의 폭을 조절하면 공진 주파수의 미세 조절이 가능하다는 장점을 갖게 된다.

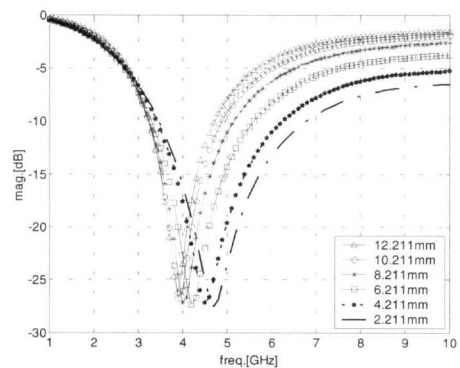


그림 10. I 형 슬롯의 Lslit길이 변화에 따른 주파수 특성

또한 제안된 구조는 전체적인 크기의 변화 없이 극점(저지대역 중심주파수) 조절이 가능하므로 기존에 통용되는 그림 1과 그림 4의 DGS 형태와 비교해서 설계상의 용이성과 함께 소형화가 가능하게 된다.

3.3. 스테르브 I 형 슬롯구조 및 특성

세 번째로 제안된 스테르브 I 형 슬롯구조는 기판 접지면의 I 형 슬롯 위에 전송선로 스테르브가 추가된 형태로서 그림 11과 같다.

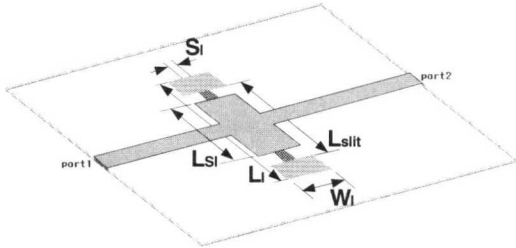


그림 11. 스테르브 I 형 슬롯의 구조

전송선로 스테르브를 추가한 이유는 앞에서 논의된 I 형 슬롯구조에 의해 급격한 저지대역 특성과 더불어 스테르브에 의해 커패시턴스 성분을 증가시켜 넓은 저지대역을 갖도록 하기 위해서이다. 제안된 스테르브 I 형 슬롯구조에서 접지면 상의 I 형 슬롯은 급격한 대역 저지 특성을 갖도록 전체 폭 W_1 와 전체 길이 L_1 는 각각 6mm, 20mm로 정하며 슬롯 간격 S_1 와 슬릿길이 L_{slit} 은 0.5mm, 20mm로 설정하고, 추가된 스테르브의 길이 L_{SI} 의 변화에 따른 특성을 그림 12와 같이 확인하였다. 그림 12에서 스테르브의 길이 L_{SI} 가 증가함에 따라 저지대역 특성이 개선되었으며 스테르브의 길이 L_{SI} 가 I 형 슬롯의 슬릿길이 L_{slit} 보다 조금 작을 경우에 최적의 저지대역 특성을 얻을 수 있었다.

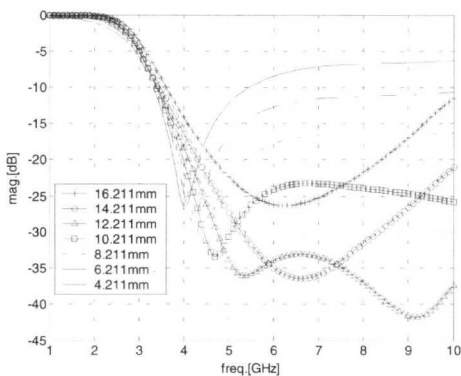


그림 12. 스테르브 I 형 슬롯의 LSI 길이 변화에 따른 주파수 특성

IV. 저역통과 필터의 설계 및 측정

4.1. 저역통과 필터의 차단 주파수 특성 조정

손실이 없고 평탄한 저역통과 대역과 넓은 저지대역 주파수 특성을 갖는 스테르브 구형 슬롯 구조와 급격한 대역저지 특성 및 넓은 저지대역 특성을 갖는 스테르브 I 형 슬롯구조를 조합하여 저역통과 필터의 설계에 사용하였다. 저역통과 필터의 소형화 및 저지대역 특성의 개선을 위해 본 논문에서 사용된 저역통과 필터의 구조는 그림 13과 같이 2개의 구형 슬롯사이에서 스테르브 I 형 슬롯을 직렬로 배열한 형태이며 슬롯간의 간격 d 는 제작상의 최소거리인 0.5mm를 사용하였다. 제안된 DGS 저역통과 필터의 최적설계를 위해서 스테르브 I 형 슬롯의 간격 S_1 와 스테르브 구형 슬롯의 길이 L_{S2} 의 변화에 대한 저역통과 필터의 주파수 특성 및 주파수 조절 기능을 분석한다.

먼저 I 형 슬롯의 길이 S_1 을 제외하고 필터를 구성하는 크기는 표 1과 같이 고정하고 S_1 의 길이를 각각 0.5mm, 1.5mm, 2.5mm, 3.5mm로 점차적인 증가에 따른 각각의 필터의 특성이 그림 14와 같이 분석되었다.

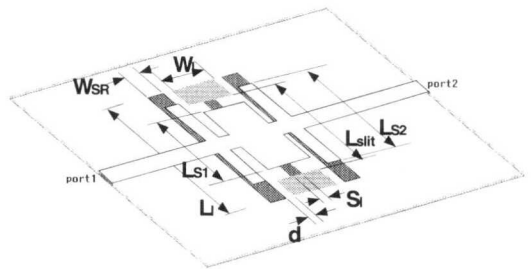


그림 13. 제안된 저역통과 필터의 구조

그림 14에서 5GHz 이상의 저지대역에서는 큰 변화가 없고 I 형 슬롯의 S_1 의 간격을 변화시킴에 따라 3GHz에서 5GHz에서 저지대역 특성과 차단 주파수가 조정이 가능하며 I 형 슬롯의 S_1 가 0.5mm와 1.5mm 사이에서 급격한 저지 특성을 얻었다.

다음으로 스테르브 I 형 슬롯의 간격 S_1 를 그림 14의 결과에 따라 0.5mm로 고정하고 L_{S2} 의 길이를 1.211mm에서부터 12.211mm까지 2.0mm 간격으로 증가시키면서 각각의 특성을 그림 15에 보였다.

그림 15에서 스테르브의 길이 L_{SI} 를 변화시킴에 따라 3GHz에서 5GHz에서 차단 주파수와 저지대역 특성이 조정되며 스테르브의 폭이 4.211mm와 10.211mm 사이에서 급격한 대역 저지 특성과 함께 3GHz에서 10GHz의 대역에 걸쳐서 20dB 이하의 넓은 저지대역 특

성을 얻었다.

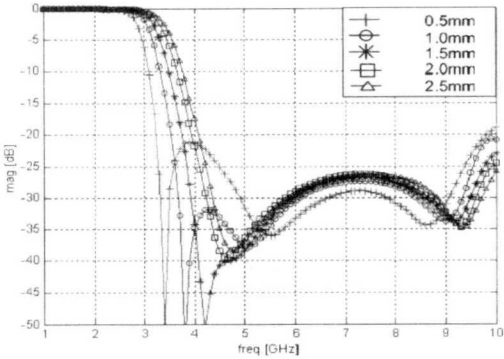


그림 14. 제안된 저역통과 필터의 SI 길이 변화에 따른 주파수 특성

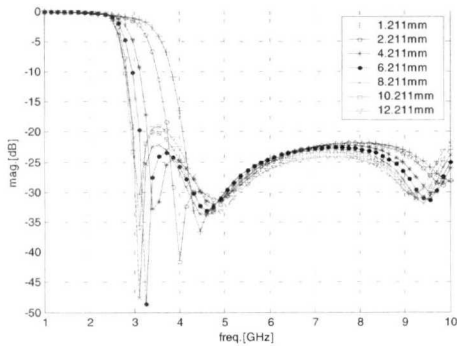


그림 15. 제안된 저역통과 필터의 LSI의 길이에 따른 주파수 특성

결과적으로, I 형 슬롯의 길이와 구형 슬롯의 스테르브 폭을 적절하게 변화시켜 다양한 대역 저지 특성과 저지대역의 대역폭의 조정이 가능하므로 설계자가 원하는 주파수 특성을 얻을 수 있게 된다.

본 논문에서는 Ansoft 사의 Ensemble 시뮬레이터를 사용하여 저역통과 필터의 통과대역 2.10 ~ 2.14 GHz에서의 삽입손실 특성과 2차 고조파 대역 4.20 ~ 4.28 GHz에서 저지대역 특성이 최적이 되도록 I 형 슬롯의 길이와 구형 슬롯의 스테르브 폭을 조절하

표 1. 제안된 저역통과 필터의 구조 조정

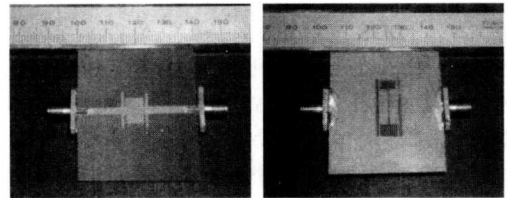
필터 구성	스테르브 구형 슬롯 [mm]			스테르브 I 형 슬롯 [mm]				
	슬롯 폭 W_{SR}	슬롯 길이 L_1	스테르브 폭 LS_2	슬롯 폭 W_1	슬롯 길이 L_1	연결슬롯 길이 L_{slit}	연결슬롯 폭 S_1	스테르브 폭 LS_1
연결슬롯의 폭	1.0	18.0	11.611	6.0	18.0	10.211	○	8.211
스테르브의 폭	1.0	18.0	○	6.0	18.0	10.211	0.5	8.211

였다. 그 결과, 필요한 주파수 특성을 갖는 최적 설계 결과를 표 2와 같이 얻을 수 있었다.

4.2. 제작 및 측정

표 2의 최적 설계결과로 DGS 저역통과 필터를 그림 16과 같이 테프론 기판 상에 제작하였으며 제작된 필터의 크기는 9×18mm로 소형화되었다.

제작된 저역통과 필터의 주파수 특성은 HP 8510C 벡터 네트워크 분석기를 사용하여 측정하고 그림 17에 모의실험 결과와 비교하여 보였다.



(a) 앞면 (a) 뒤면

그림 16. 제안된 스테르브 슬롯 격자의 저역통과 필터

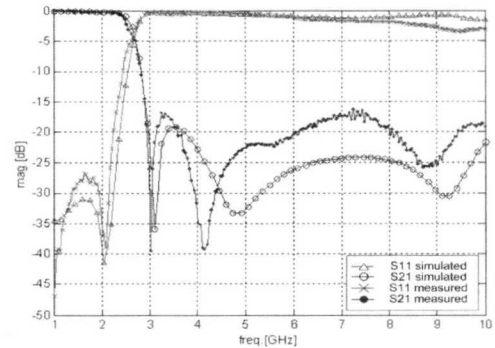


그림 17. 저역통과 필터의 측정치와 모의실험 결과와의 비교

그림 17의 측정결과는 사용하려는 통과대역 2.10 ~ 2.14 GHz에서의 삽입손실은 -0.115 ~ -0.127 dB로 양호한 결과를 보여주고 있으며, 차단 주파수는 2.665 GHz이고 첫 번째 극점은 3 GHz로 모의실험 결과와 측정 결과가 일치하고 있다. 그러나 4 GHz에서 10 GHz 사이의

저지대역에서 측정치와 모의실험 결과가 평균 5 dB 정도 차이가 발생되는데 두 번째와 세 번째 극점이 700MHz 정도 이동되었기 때문이다. 이는 기판의 앞면과 뒷면 에칭과정에서 발생된 제작상의 오차와 DGS 슬롯에서 방사되는 전자파 영향으로 인한 측정오차로 여겨지며 이러한 오차를 고려한다면 측정치와 모의실험 결과가 전체적으로 일치하고 있다.

V. 결론

일반적인 마이크로파 회로의 성능 향상과 소형화를 위해서 DGS 또는 PBG 구조를 이용한 필터, 임피던스 정합 회로, 발진기, 그리고 능동 안테나 등에 많은 연구가 진행되고 있다. 기존에 사용되는 DGS 구조는 대역저지 주파수의 미세한 조정이 어렵고 PBG의 주기적인 배열구조는 소형화에 걸림돌이 되고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 대역저지 주파수 조정이 용이한 스테브 구형 슬롯, I 형 슬롯, 그리고 스테브 I 형 슬롯 DGS 구조 등의 3가지 형태를 제안하고 각각의 구조에 대해서 대역 저지 특성을 분석하였다. 스테브 구형 슬롯 구조는 저역통과 대역의 손실 없이 넓은 저지대역 특성을 조정할 수 있고 I 형 슬롯 구조는 급격한 대역 저지 특성을 갖는 차단 주파수를 세밀하게 조정할 수 있으며 스테브 I 형 슬롯 구조는 급격한 대역 저지 특성과 넓은 저지대역 특성을 동시에 조정할 수 있다는 분석결과를 얻었다.

또한 소형화하기 위해서 차단 주파수는 2.665GHz 이고 단일 혹은 배열 DGS를 이용하는 기존의 방법을 사용하지 않고 제안된 스테브 구형 슬롯 구조와 스테브 I 형 슬롯 구조를 조합하여 새로운 형태의 저역통과 필터를 구현하였다. 새로운 형태의 저역통과 필터는 구형 슬롯의 스테브 폭과 I 형 슬롯의 연결 폭을 조정하여 최적의 저지대역 주파수 특성을 갖도록 설계하고 제작하였다.

제작된 저역통과 필터의 측정결과는 차단 주파수는 2.665GHz 이고 사용하려는 통과대역 1.920~1.940GHz와 2.110~2.130GHz에서의 삽입손실은 -0.115~-0.127 dB이고 반사손실은 -27 dB로 양호한 결과를 보여주고 있으며, 3GHz 에서 10GHz 까지 넓은 저지대역 특성을 갖는 모의실험 결과와 일치하고 있다. 따라서 본 논문에서 제안된 DGS 구조는 저지대역의 주파수를 조정할 수 있는 특징을 갖고 있으며 단일 구조 또는 조합된 구조를 사용하여 소형화가 가능

함을 보였으며 이 저역통과 필터는 IMT-2000용 기지국 및 중계기의 모듈에 장착되어 고조파와 불요파를 제거함으로써 시스템 효율의 개선에 사용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

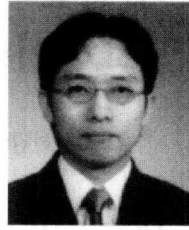
- [1] Vesna Radisic, Yongxi Qian, Roberto Coccioli, Tatsuo Itoh, "Novel 2-D Photonic Bandgap Structure for Microstrip Lines," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 8, no. 2, pp. 69-71, Feb., 1998.
- [2] M.P. Kesler, J.G. Maloney, B.L. Shirley, "Antenna design with the use of photonic bandgap material as all dielectric planar reflectors," *Microwave Opt. Tech. Letter*, vol. 11, no. 4, pp. 169-174, Mar. 1996.
- [3] D. Maystre, "Electromagnetic Study of Photonic Band Gaps," *Pure Appl. Opt.*, vol. 3, no. 6, pp.975-993, Nov. 1994,
- [4] T.J. Ellis, G.M. Rebeiz, "mm-wave tapered slot antenna on micromachined photonic bandgap dielectrics," *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1157-1160, June, 1996,
- [5] Vesna Radisic, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "Broad-Band Power Amplifier Using Dielectric Photonic Bandgap Structure," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 13-14, Jan., 1998,
- [6] Fei-Ran Yang, Roberto Coccioli, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "Planar PBG Structures: Basic Properties and Applications," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E38-C, no. 5, pp. 687-696, may, 2000.
- [7] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi, "Harmonic Control by Photonic Bandgap on Microstrip Patch Antenna," *IEEE MGWL*, Vol.9, No.1, pp. 13-15, Jan. 1999.
- [8] Chul-Soo Kim, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Jae-Bong Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 10, No. 4, pp.131-133, Jan., 2000.
- [9] Dal Ahn, Jun-Seok Park, Chul-Soo Kim, Juno Kim, Yongxi Qian, Tatsuo Itoh, "A Design of

the Low-Pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure”, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 49, No. 1, pp.86-93, Jan., 2001.

- [10] Jun-Sik Yun, Geun-Young Kim, Jun-Seok Park, Dal Ahn, Kwang-Yong Kang, Jae-Bong Lim, “A design of the novel coupled line bandpass filter using defected ground structure,” *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, pp. 327-330, 2000.
- [11] Jong-Sik Lim, Ho-Sup Kim, Jun-Seek Park, Dal Ahn, Sangwook Nam, “A power amplifier with efficiency improved using defected ground structure”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, no. 4, pp. 170-172, April 2001.
- [12] Si-Gyun Jeong, Do-Kyeong Hwang, Yong-Chae Jeong, Chul-Dong Kim, “Amplifier design using $\lambda/4$ high impedance bias line with defect ground structure(DGS)”, *2002 IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 2, pp. 1161-1164, 2002.
- [13] Siou Teck Chew; Itoh, T., “PBG-excited split-mode resonator bandpass filter”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.11, no. 9, pp. 364-366, Sept. 2001.
- [14] Rui Qiang; Yunyi Wang; Duxin Chen, “A novel microstrip bandpass filter with two cascaded PBG structures”, *2001 IEEE AP International Sym. Dig.*, vol. 2, pp. 510-513, 2001.
- [15] Rahman, M.; Stuchly, M.A., “Wideband microstrip patch antenna with planar PBG structure”, *2001 IEEE AP International Sym. Dig.*, vol. 2, pp.486-489, 2001.
- [16] Young-Taek Lee, Jong-Sik Lim, Jun-Seok Park; Ahn, D., Sangwook Nam, “A novel phase noise reduction technique in oscillators using defected ground structure”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol.12, no.2, pp.39-41, Feb. 2002.

조 영 빈(Young-Bin Cho)

정회원



1996년 2월 : 경희대학교

물리학과 졸업

1998년 2월 : 경희대학교

전자공학과 석사

1998년 3월~현재 : 경희대학교

전자공학과 박사과정

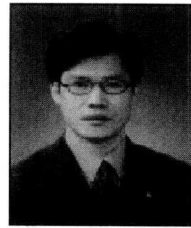
2002년 9월~현재 :

전자부품연구원 위촉연구원

<주관심 분야> 안테나, 마이크로파 능동 및 수동 회로 설계, 전자파 해석

김 병 수(Byung-Soo Kim)

정회원



1993년 2월 : 경희대학교

전자공학과 졸업

1995년 2월 : 경희대학교

전자공학과 석사

2002년 2월 : 경희대학교

전자공학과 박사

1998년 12월~현재 : 신성대학

전자정보통신계열 교수

<주관심 분야> 전자파해석, RF 회로설계, RCS 분야

전 계 석(Kye-Suk Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제26권 제9B호 참조