

DGS를 이용한 무선랜 대역 통과 여파기의 설계에 관한 연구

論 文

53C-3-11

A study on the design of band pass filter for wireless LAN using Defected Ground Structure

金 炯 碩* · 曹 永 鈞** · 宋 熹 碩*** · 朴 珪 豪***

(Hyeong-Seok Kim · Yeong-Kyun Cho · Hee-Seok Song · Kyu-Ho Park)

Abstract - In this paper, 2.4GHz WLAN BPF(Band Pass Filter) which has two DGS(Defected Ground Structure) unit cells was simulated and manufactured. To do this, a unit DGS resonator with resonant frequency is designed. Then the BPF for WLAN with the center frequency of 2.4GHz and the bandwidth of 200MHz is designed using two DGS resonator, finally this circuit is fabricated. We also proposed the equivalent circuit of the BPF employing two DGS resonator. The BPF with DGS was obtained experimental results with network analyzer Agilent 8510C. The measured result shows good agreement with simulated data. Experimental results show the center frequency of 2.45GHz, the insertion loss of 1.08dB, and the 3-dB bandwidth of 470MHz (19.5%). According to the measured values, it is found that the fabricated DGS BPF is available for wireless LAN.

Key Words : DGS, BPF, WLAN

1. 서 론

최근 다양한 형태의 식각패턴을 적용한 PBG (Photonic bandgap)구조와 DGS(Defected Ground Structure) 구조가 마이크로파 대역이나 밀리미터파 대역에서 그 응용범위를 넓혀가고 있다.

이러한 구조들은 전파지연효과와 전송선로의 유효 인덕턴스를 증가시키는 특성을 가지므로 부품의 크기를 줄일 수 있으며 우수한 저지 대역을 가진다. 그러나 PBG 구조는 주기적인 구조를 나열해야 하기 때문에 크기가 커지는 단점이 있다. 그에 비해 DGS 구조는 단지 하나 또는 몇 개의 식각패턴을 사용하면서도 특정주파수 대역에서 우수한 저지대역 특성을 갖기 때문에 상용 회로에서 요구하는 소형화에 더욱 유리하리라 사료된다. [1][2]

초고주파 대역에서 여파기는 회로의 성능에 많은 영향을 미치는 소자로서 그 중요성이 매우 크다. 일반적인 여파기는 그 특성을 개선시키기 위해 셀의 차수를 증가시켜야 하기 때문에 크기가 커지고 저지대역 내에 고조파 성분이 발생하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 DGS 구조를 이용하여 넓은 저지대역을 갖는 대역통과 여파기를 설계하였다. 이를 위해 접지 면에 특정 형태의 식각 패턴을 삽입하여 DGS 단위격자를 설계하였으며 이

격자를 적당한 형태로 배열하여 고조파 통과 대역의 저지 특성이 뛰어난 중심주파수 2.4GHz의 DGS 대역 통과 필터를 설계하고 제작하였다.

2. 본 론

2.1 DGS 단위 격자

DGS 구조는 PBG 구조와는 달리 하나 또는 몇 개의 식각패턴만을 이용하여 우수한 대역 특성을 얻을 수 있다. 이를 위해서 다양한 패턴의 식각 형태가 제안되고 있으며 점차 소형의 크기가 요구되어 지고 있기 때문에 격자의 수를 줄이는 노력이 필요하게 되었다. 이를 위해서는 단위격자 형태의 분석이 요구되며 본 논문에서는 U자 형태의 격자를 적용하여 그 형태의 변화에 따른 특성을 분석하였다. U자 형태의 단위격자를 Coupled Line 여파기에 응용하여 여파기의 성능을 향상시키는 기존의 연구가 있었다.[2] 본 논문에서는 U자형 단위격자만을 이용하여 단위 공진기를 설계하고 두 개의 단위격자 사이에 커플링을 유도하는 방법으로 간단한 구조의 대역통과 여파기를 설계하였다.

2.1.1 단위 DGS 격자의 구조

그림 1은 마이크로스트립 전송 선로와 사각형 모양의 단위 DGS의 도식적인 그림을 나타내고 있다.

* 正 會 員 : 中央大 工大 電子電氣工學科 部教授

** 正 會 員 : 中央大 工大 電子電氣工學科 碩士課程

*** 正 會 員 : 電子部品研究院 研究員

接受日字 : 2003年 12月 31日

最終完了 : 2004年 2月 23日

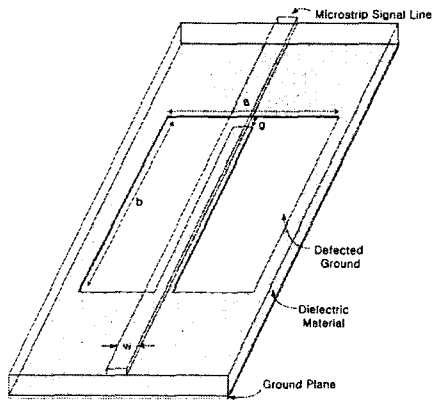


그림 1 논문에서 사용된 DGS 단위격자의 구조
Fig. 1 DGS unit Cell

그림 1에서 전송선로의 폭은 500 마이크로스트립 선로의 폭과 일치하며 마이크로스트립 전송 선로의 아래에 식각으로 인한 gap이 존재하는 것을 볼 수 있다. 또한 사각형 모양(a×b)의 식각 접지면이 전송선로의 좌우에 대칭으로 배치되어 있는 것을 보여주고 있다. 접지면 부분에 있는 식각 부분 중에서 마이크로스트립 선로의 아래에 위치하는 작은 간격(g)은 커패시턴스 성분에 관계하고 나머지 식각 부분에 의해 인덕턴스 성분이 발생하게 되어 특정 주파수에 대한 차단 특성이 발생하게 된다. 이 두 가지 특성은 서로 독립적으로 발생하는 것이 아니라 식각 구조 변화에 의해 상호 작용하며 변화한다. 식각 간격을 조절할 경우 주파수 특성의 변화가 작지만 식각 면적을 변화시킬 경우 큰 폭의 주파수 특성의 조절이 가능하다. 따라서, DGS 단위격자에서는 주로 식각 부분의 면적을 조절해서 공진주파수의 제어를 하게 된다.

2.1.2 DGS 단위격자의 주파수 특성

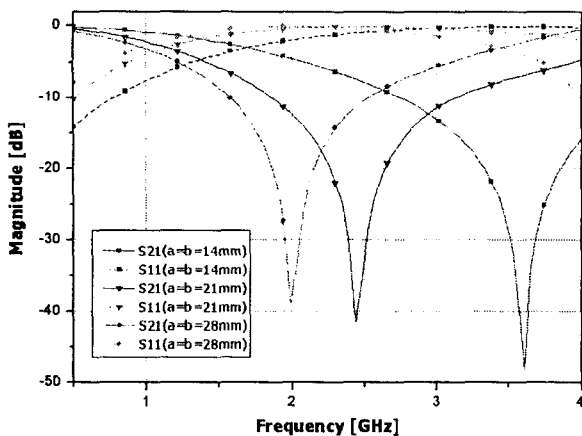


그림 2 격자의 면적(a×b)을 변화시킬 때의 공진 특성 (g=0.4mm)

Fig. 2 Resonance characteristics of DGS according to the cell dimension

그림 2는 전송선로 아래의 식각 간격(g)을 0.4mm로 고정시키고 격자의 면적(a×b)만 변화시키면서 DGS 단위격자의 특성을 살펴본 결과이다. 그림 2에서 격자의 크기가 커질수록 공진 주파수는 낮아지고 있음을 알 수 있다. 이는 격자의 면적이 커짐에 따라 유효 인덕턴스 성분이 증가함에 따라 일어나는 현상이다.

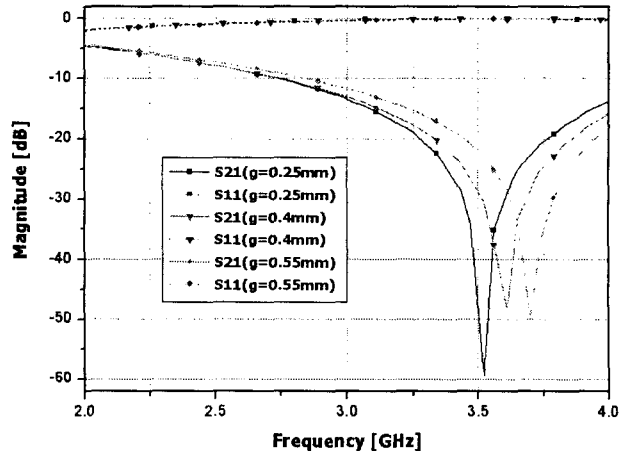


그림 3 전송선로 아래의 식각 간격(g)을 변화시킬 때의 공진 특성 (a=b=14mm)

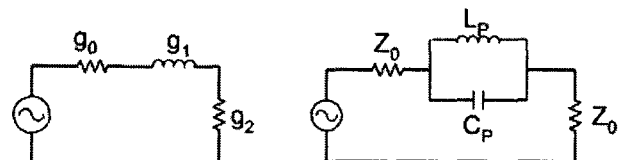
Fig. 3 Resonance characteristics of DGS according to the gap distance

그림 3은 식각 격자의 면적(a×b)은 각각 14mm로 고정시키고 전송선로 아래의 식각 간격(g)만 변화시켰을 때의 특성을 나타낸다. 여기서 간격이 좁아질수록 공진 주파수는 낮아짐을 확인할 수 있는데 이는 간격이 좁아질수록 커패시턴스 성분이 커지기 때문에 발생하는 특징이다.

그림 2와 그림 3에서 나타난 식각 패턴의 변화에 따른 주파수 특성을 이용하여 DGS 식각 패턴의 형태를 조절하므로써 목표로 하는 공진주파수 특성을 가지는 단위 공진기를 설계할 수 있다.

2.1.3 DGS 단위격자의 등가회로

격자의 면적과 신호선 아래의 식각 간격을 변화시킬 때 발생하는 위와 같은 특성 경향은 소자를 설계하는데 있어 유용하게 적용된다. 이 특성들을 면밀히 분석하기 위해 등가 파라미터를 추출함으로써 식각 격자의 변화에 따른 인덕턴스와 커패시턴스의 변화를 살펴보았다.



(a) prototype

(b) LC 등가회로

그림 4 단위격자의 등가회로

Fig. 4 The equivalent circuit of unit cell

그림 4의 (a)는 Butterworth Lowpass prototype 의 등가 회로를 나타낸 것이다. 직렬 리액턴스의 값은 Butterworth Lowpass prototype의 계수로부터 간단히 얻어 낼 수 있다.[3]

대역저지 형태로의 주파수 변환은 식 (1)을 통해 얻어낼 수 있다.

$$\Omega = \frac{\Omega_C B_F}{(w_0/w - w/w_0)}, \quad (1)$$

$$(w_0 = \sqrt{w_1 w_2}, B_F = \frac{w_2 - w_1}{w_0})$$

여기서 Ω 은 주파수 변환을 위한 주파수 변수이며 B_F 는 Fractional bandwidth를 나타낸다. w_0 는 공진지점의 각주파수이고 w_1 와 w_2 는 cutoff되는 지점의 각주파수이다. 식 (1)에 Lowpass prototype의 reactive 성분 g_1 을 적용하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$j\Omega g_1 \rightarrow \frac{1}{jw} B_F \Omega_C w_0 g_1 + jw \frac{B_F \Omega_C g_1}{w_0} \quad (2)$$

식 (2)에서 구한 Lowpass prototype의 인덕턴스와 커패시턴스 성분을 대역저지 여파기의 병렬 LC 공진회로로 변환시킬 때의 커패시터(C_P) 값을 구해보면 식(3)과 같이 된다.[4]

$$C_P = \left(\frac{1}{B_F w_0 \Omega_C} \right) \frac{1}{\gamma_0 g_1}, \quad (\gamma_0 = Z_0/g_0) \quad (3)$$

공진회로의 병렬 인덕터(L_P)의 값은 위에서 구한 병렬 커패시터 값을 식 (4)에 적용하여 쉽게 얻을 수 있다.

$$L_P = 1/(w_0^2 C_P) \quad (4)$$

위의 식(3)과 (4)를 이용하여 DGS 단위격자의 등가 파라미터를 추출하였고 그 결과를 표 1과 2에 나타내었다.

표 1. 식각 격자의 면적(a×b) 변화에 따른 등가파라미터 (g=0.4mm 일 때)

Table 1. Equivalent parameter according to the cell dimension

	DGS dimension		
	a=b=14mm	a=b=21mm	a=b=28mm
Inductance(nH)	7.1799	10.901	12.3853
Capacitance(pF)	0.2715	0.3919	0.5191
Cutoff Freq.(GHz)	1.72	1.14	0.0975
Resonant Freq.(GHz)	3.61	2.44	1.985

표 2. 전송 선로 아래의 식각 간격(g)을 변화시킬 때의 등가파라미터 (a=b=14mm 일 때)

Table 2. Equivalent parameter according to the gap

	DGS dimension		
	g=0.25mm	g=0.4mm	g=0.55mm
Inductance(nH)	7.3790	7.1799	7.3139
Capacitance(pF)	0.2778	0.2715	0.2537
Cutoff Freq.(GHz)	1.67	1.72	1.71
Resonant Freq.(GHz)	3.52	3.61	3.695

표 1은 식각 격자의 면적을 변화시킬 때 등가 파라미터 값을 나타낸 것이고 표 2는 신호선 아래의 식각 간격(g)을 변화시켰을 때의 등가파라미터 값을 나타낸 것이다.

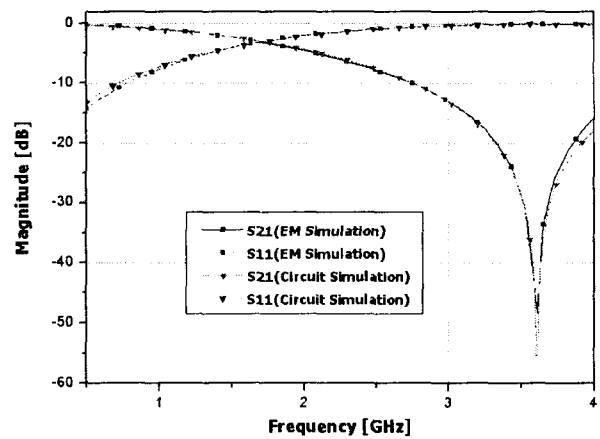


그림 5 DGS 단위격자의 EM 시뮬레이션과 그 등가회로의 Circuit 시뮬레이션 결과 비교

Fig. 5 Resonance characteristics of the equivalent circuit of DGS

그림 5는 DGS 단위격자를 HFSS 8.0을 이용하여 EM 시뮬레이션 한 결과와 추출해 낸 등가회로를 ADS를 사용하여 Circuit 시뮬레이션 한 결과를 비교한 그래프이다. 이 그래프를 통해 추출한 등가파라미터가 타당함을 확인할 수 있다.

2.2 2.4GHz 대역 통과 여파기 설계와 제작

그림 6은 설계된 대역 통과 여파기를 위에서 본 평면도와 실제 제작된 회로의 모습이다. 마이크로스트립 신호선이 비유전율 2.2의 RT/Duroid5880 기판 위에 놓여져 있다. 접지면에는 U자 모양의 식각 격자를 대칭 모양으로 배치하였고 신호선 중간에 간격을 두어 커플링이 일어나도록 설계하였다. 신호선 사이의 간격에 의해 직렬 커패시턴스 성분이 발생하고 접지면과 병렬 커패시턴스 성분이 발생하게 되므로 간격의 크기와 개별 공진기 사이의 거리를 조절함으로써 커플링 정도를 조절할 수 있다. Edge-Coupled 여파기의 형태로 동일한 특성을 얻기 위해서는 세 부분의 신호선이 필요하며 회로의 크기가 커지게 된다.

표 3. 대역통과여파기의 설계결과와 측정결과 비교

Table 3. Comparison of designed and measured data

항 목	단 위	설 계 결 과	측 정 결 과
통과대역	GHz	2.35~2.55	2.35~2.55
삽입손실	dB	0.85 max.	1.08 max.
감쇠량	dB	15(@1.5GHz)	17.5(@1.5GHz)
고조파억제	dB	37(@2f ₀)	41(@2f ₀)
대역평탄도	dB	0.2	0.5
반사손실	dB	13 min.	14 min.

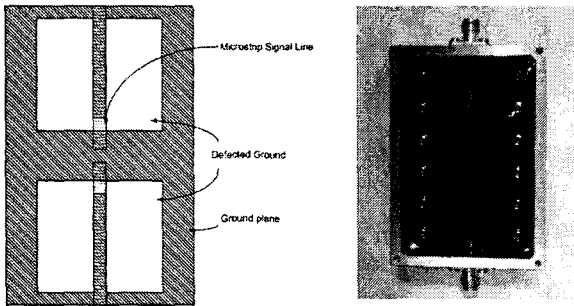


그림 6 대역통과 여파기의 평면도와 제작된 회로도
Fig. 6 Layout of filter and fabricated DGS filter

그림 7은 제안된 대역 통과 여파기의 등가회로이다. 단위 격자의 등가 파라미터 값을 이용하여 두 개의 단위격자 사이의 관계를 추출하였다. 그림에서와 같이 필터는 두개의 공진기 및 공진기간 전자기 커플링 회로로 구성되어 있다. 이 때 공진기간 커플링을 이용하여 특정 주파수에서 감쇄극을 형성시켜 설계 사양의 신호감쇄 특성을 맞추게 된다.

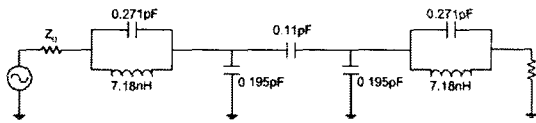


그림 7 대역 통과 여파기의 등가회로
Fig. 7 Equivalent circuit of the bandpass filter

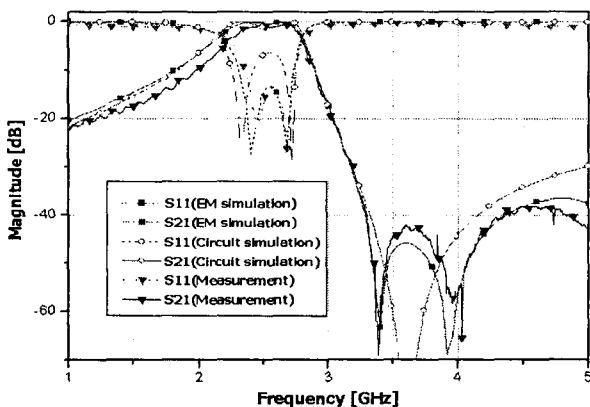


그림 8 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 특성과 측정 결과 비교

Fig. 8 Comparison of simulated and measured results

그림 8은 설계한 대역 통과 여파기를 HFSS 8.0을 이용하여 해석한 결과와 그 등가회로를 ADS에서 해석한 결과, 그리고 제작된 회로를 Network Analyzer로 측정된 결과를 보여주는 그래프이다. 이 그래프를 통해 해석 결과와 실제 제작된 회로의 측정 결과가 일치하고 있음을 볼 수 있다. 표 3에 대역통과 여파기의 설계 결과와 측정 결과의 데이터를 비교하여 나타내었다. 제안된 대역 통과 여파기의 중심주파수는 2.45GHz이고 삽입손실은 1.08dB이며 3-dB 대역폭은 470MHz(19.5%)이다. 이는 설계 목표였던 2.4GHz 대역의 무선랜 통신 장비에 적용 될 수 있는 대역 특성이다.

3. 결 론

본 논문에서는 DGS 단위격자의 기하학적 구조를 변화시키면서 그 특성의 변화를 살펴보고 2개의 단위격자를 이용하여 마이크로 스트립 구조의 대역 통과 여파기를 구현하였다. DGS의 각 요소를 변화시키면 유효 인덕턴스와 커패시턴스 값에 영향을 미친다는 사실을 확인하였다. 설계된 대역 통과 여파기를 실제 제작하여 Network Analyzer Agilent 8510C를 사용하여 측정한 결과 중심주파수 2.45GHz에 3-dB 대역폭이 470MHz (19.5%)였다. 삽입손실은 1.08dB로 작은 삽입손실을 나타내었다. 이는 2.4GHz 대역을 사용하는 무선랜 통신에 사용되어 질 수 있다. 향후 본 연구에서 제시된 DGS 식각 모델을 바탕으로 하여 소자의 크기를 소형화 하고 특성을 향상시키는 연구가 진행 중이다.

감사의 글

본 논문은 2003년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] F. R. Yang, Y. Qian and T. Itoh, "A Novel Uniplanar Compact PBG Structure for Filter and Mixer Applications", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, vol. 3, pp.912-922, June 1999.
- [2] J. S Park, J. S Yun, and D Ahn, "A Design of the Novel Coupled-Line Bandpass Filter Using Defected Ground Structure With Wide Stopband Performance", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, NO.9, September 2002.
- [3] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*. Addison-Wesley , pp.422~473, 1998
- [4] J. S Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, Wiley-Interscience, pp.29~56, 2001

저 자 소 개



김형석 (金炯碩)

1962년 10월 9일생, 1987년 2월 : 서울대학교 대학원 전기공학과(공학석사), 1990년 8월 : 서울대학교 전기공학과(공학박사), 1990년~2002년 : 순천향대학교 정보기술공학부 부교수, 1997년~1998년: R.P.I 미국 방문교수, 2002년~현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 부교수, 주관심분야 : RF 및 무선통신, 전자파 해석



송희석 (宋熹碩)

1997년 2월 : 서강대학교 전자공학(공학사), 1998년 7월~2000년 8월 : 서강대학교 대학원 전자공학과(공학석사), 1997년 1월~1998년 7월 : 현대전자 사원, 2000년 7월~현재 : 전자부품연구원 무선통신 연구센터 전임연구원, 주관심분야 : 적층 부품 및 모듈 설계



조영균(曹永鈞)

2002년 2월 : 중앙대학교 전자전기공학부(공학사), 2002년 3월~현재 : 중앙대학교 대학원 전자전기공학부, 주관심분야 : 마이크로파 여파기 설계



박규호 (朴珪豪)

1988년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학사) 1995년 7월~1997년 8월 : 서강대학교 대학원 전자공학과(공학석사), 2001년 2월~현재 : 서강대학교 대학원 전자공학과 박사수료, 1987년 12월~1994년 7월 : 금성통신(현 LG전자) 연구소 대리, 1994년 8월~1995년 7월:(주)홍창연구소 선임연구원, 1996년 2월~1996년 12월:KMW(주)연구소 선임연구원, 1997년 7월~현재 : 전자부품연구원 무선통신 연구센터 수석 연구원, 주관심분야 : 고출력 증폭기(LPA, HPA), PBG, DGS를 이용한 RF 부품연구, 이동통신용 세라믹 필터