

Design of BPF Using A New DGS Resonator

尹 莊 埴* · 鄭 明 燮** · 朴 准 奭† · 朴 天 錫***

(Jang-Sik, Yoon · Myoung-Sub Joung · Jun-Seok Park · Cheon-Seok Park)

Abstract - In this letter, we proposed a novel DGS (Defected Ground Structure) microstrip resonator. The proposed DGS resonator has the resonant and anti-resonant characteristic that is very similar to those of a SAW resonator or a FBAR. In order to confirm the validity of the proposed resonator, we designed and implemented bandpass filters by using series and parallel resonators.

Key Words : DGS(Defected Ground Structure), Resonator, Bandpass Filter

1. 서 론

현재 마이크로파 영역에서의 활용분야가 증가됨에 따라 여파기, 안테나, 전력 증폭기등 다양한 무선 통신 부품에 응용하려는 연구가 활발하게 진행 되고 있다. 이들 연구의 대부분의 목적은 이동통신 기기의 소형화가 매우 중요하게 여겨지고 있다. 소형화를 위한 방법의 하나로 접지 면에 몇 개의 식각 패턴을 갖는DGS(Defected Ground Structure)를 갖는 마이크로 스트립 선로와, 이를 응용한 회로의 소형화 연구가 최근에 활발하게 진행되고 있다.[1]-[4]

기존의 DGS구조는접지면을인위적으로식각하여,전송선로의 인덕턴스와 캐패 시턴스 값에 변화를 줌으로써 저역 통과 여파기의 특성을 나타내었다. 마이크로 스트립 선로에 DGS를 넣어줌으로써 전파지연 특성과 특정 대역에서의 저지특성과 같은 다양한 현상을 얻을 수 있다. 이 중에서 전파지연 특성은 고주파 집적회로에서 분포소자와 전송선로길이를 줄이는데 이용될 수 있고, 특정 대역에서의 저지 특성은 증폭기에서의 고조파제거나 여파기 설계에 응용 될 수 있다. DGS 패턴은 기존의 마이크로스트립선로의 접지면의 식각을 통해 구현되고, 또한 구조를 쉽게 조정 할 수 있고 고주파 회로의 구성에 가장 널리 사용되고 있는 마이크로스트립 회로의 소형화에 용이하다.

본 논문에서는 기존의 저역통과 여파기의 특성을 가진 DGS구조에서 신호 선에 갭을 주어 대역통과 여파기 특성을 가진 새로운 DGS 공진기를 제안하였다. LC공진기에서 L에 해당하는 부분에 C를 구현함으로써 새로운 DGS 공진기는

SAW나 FBAR와 같이 공진 폴과 감쇄 극을 가지고 있다. 새로운 DGS공진기를 EM시뮬레이션의 결과로 회로 해석적인 방법으로 직렬공진기와 병렬공진기로 나누어서 각각의 등가회로를 구현하고, 각각의 공진기를 사용하여 대역 통과 여파기를 설계 하고 제작함으로써 등가회로의 타당성을 증명 하였다. 직렬 공진기만을 사용한 대역통과 여파기는 중심주파수를 6.9GHz에서 구현하였고, 병렬 공진기만을 사용한 대역 통과 여파기는 6.1GHz에서 구현 하였다. 대역폭은 모두 200MHz로 구현 하였고, 리플은 0.01dB 이하, 삽입 손실은 1.5dB 이하로 설계 및 제작 하고,크기는 각각 가로 세로 2cm로 제작 하고 나서 시뮬레이션과 측정을 통하여 각각의 특성을 비교 분석 하였다.

2. 본 론

2.1 새로운 DGS공진기와 공진 특성을 이용한 파라미터 값의 추출

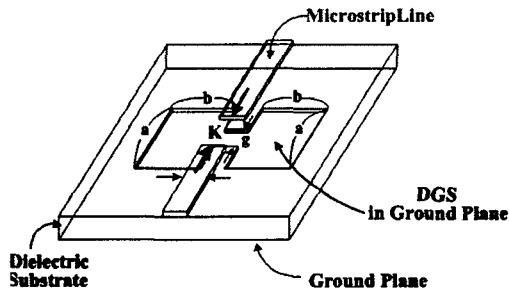
마이크로 스트립 선로에서 기존의 DGS 공진기 구조는 접지 면을 아령 모양으로 식각 한 모양으로 구현 하였다. 등가회로는 LC공진회로에 병렬 캐패시턴스를 양쪽에 붙인 모양으로 저역통과 여파기 형태다. 이번에 제안된 DGS 공진기의 구조는 기존의 공진기구조에서 신호 선에 갭“K”를 줌으로써, 기존의 DGS 등가회로에서 L옆에 C를 구현 함으로써 감쇄극과 공진폴을 가지는 공진기를 구현 하였다. Fig 1 과 같은 모양으로 각각 직렬공진기(a)와 병렬공진기(b)로 구현 하였다.

회로 해석적인 방법으로 말하자면, 기존의 저역 통과여파기 특성을 가지는 DGS 공진기특성에서 신호선에 갭을 줌으로써 저주파를 차단함으로써 대역통과 여파기 특성으로 구현 하였고, 등가회로는 Fig 2.와 같이 직렬 공진기(a)와 병렬 공진기(b)를 각각 구현 하였다.

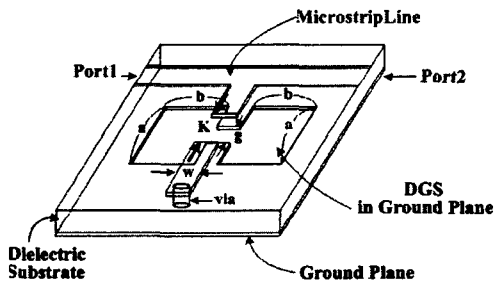
등가회로를 보면 MBVD(Modified Buttterworth-Van Dyke) 모델과 매우 유사하다. 이 구조는 SAW(Surface Acoustic

† 교신저자, 正會員 : 國民大學 電子工學科 助教授 · 工博
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr
* 學生會員 : 成均館大學 電子電氣 工學科 碩士課程
** 學生會員 : 國民大學 電子工學科 工博
*** 學生會員 : 成均館大學 電子 電氣 工學科 正教授 · 工博
接受日字 : 2004年 11月 10日
最終完了 : 2004年 12月 28日

Wave) 와 FBAR(Film Bulk Acoustic Resonator)를 모델링 하는데 사용된다.

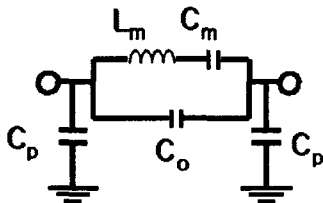


(a) 직렬 공진기
(a) Series resonator

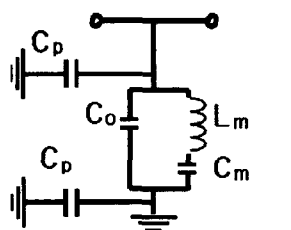


(b) 병렬 공진기
(b) Parallel resonator

그림 1. 제한된 DGS 공진기의 구조
Fig. 1 Schematic of the proposed DGS resonator

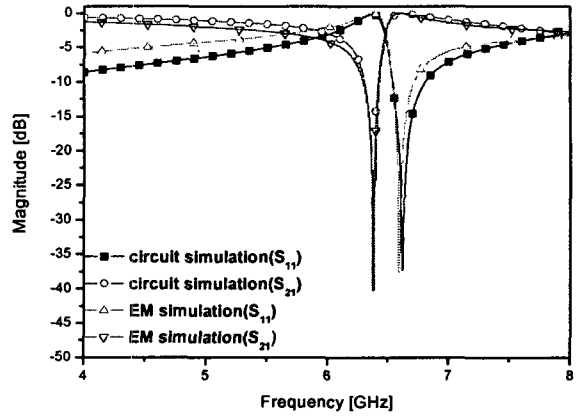


(a) 직렬 공진기
(a) Series resonator

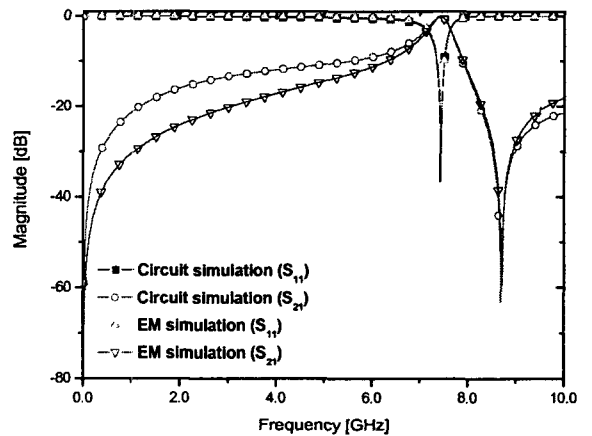


(b) 병렬 공진기
(b) Parallel resonator

그림 2 제안된 DGS 공진기의 등가 회로.
Fig. 2 Equivalent circuit of proposed DGS microstrip resonator



(a) 직렬 DGS 공진기
(a) Series DGS microstrip resonator



(b) 병렬 DGS 공진기
(b) Parallel DGS microstrip resonator

그림 3 회로와 EM시뮬레이션의 S파라미터 비교..

Fig. 3 Comparison of circuit and Em-simulated S-parameters for series and parallel DGS microstrip resonator

새로운 DGS 공진기는 Fig.3에서 보는 바와 같이 공진 주파수와 감쇄극을 포함한 두개의 공진 특성을 가지고 있으며, 직렬 DGS 공진기의 경우에는 공진 주파수가 감쇄극 보다 저주파 쪽에서 형성되고, 반대로 병렬 DGS공진기의 경우에는 공진 주파수가 감쇄극 보다 고주파 쪽에 위치한다.

3D EM시뮬레이션과 회로 시뮬레이션 데이터 값을 가지고, Fig.2의 등가 회로와 공진 특성을 가지는 각각의 파라미터 값을 구하였다. 등가회로 공진기 양쪽에 있는 병렬 Cp값은 공진주파수와 감쇄극의 위치에 영향을 주지 않기 때문에 Cp값을 빼고 계산 하였다. 우선 직렬 공진기의 파라미터 값을 구해 보자. 직렬 공진기의 리액턴스를 구해 보면 식(1) 과 같다.

$$jX_r = j \frac{\omega^2 L_m C_m - 1}{\omega C_m - \omega C_o (\omega^2 L_m C_m - 1)} \quad (1)$$

식(1)을 통하여 공진 주파수(ω_o)와 감쇄 극(ω_h)을 유도 할 수 있다. 리액턴스가 0이 될 때, 공진 주파수(ω_o)를 구할 수 있고, 리액턴스가 무한대(∞)가 될 때, 감쇄 극(ω_h)을 구할 수 있다. 등가 회로와 공진 특성에 의해서 다음과 같이 파라미터 값을 유도 하였다.

$$X_r = \infty : \omega_h^2 = \omega_o^2 \left(\frac{C_m}{C_o} + 1 \right) \quad C_m = C_o \left(\frac{\omega_h^2}{\omega_o^2} - 1 \right) \quad (2)$$

$$X_r = 0 : \omega_o^2 = \frac{1}{L_m C_m} \quad L_m = \frac{1}{\omega_o^2 C_m} \quad (3)$$

병렬DGS 공진기의 파라미터를 구해보자, 공진기의 서셉턴스를 구하면 식(4)와 같다.

$$jB_r = j \frac{\omega C_o (\omega^2 L_m C_m - 1) - \omega C_m}{\omega^2 L_m C_m - 1} \quad (4)$$

직렬 공진기와는 달리 서셉턴스가 무한대(∞)가 될 때, 공진 주파수(ω_o)를 구할 수 있고, 서셉턴스가 0이 될 때, 감쇄극(ω_h)을 구하고, 등가 회로와 공진 특성에 의해서 다음과 같이 파라미터 값을 유도 하였다.

$$B_r = 0 : \omega_L^2 = \omega_o^2 \left(\frac{C_m}{C_o} + 1 \right) \quad C_m = C_o \left(\frac{\omega_o^2}{\omega_L^2} - 1 \right) \quad (5)$$

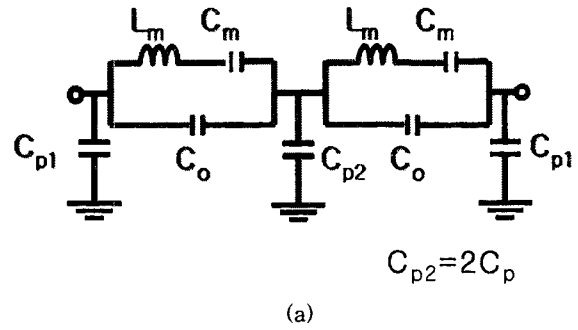
$$B_r = \infty : \omega_L^2 = \frac{1}{L_m C_m} \quad L_m = \frac{1}{\omega_L^2 C_m} \quad (6)$$

새로운 단일 DGS 공진기의 모델은 3D EM 시뮬레이션에 의해 주로 설계되었으며, 등가회로의 파라미터 값 중 C_o 와 C_p 는 기존의 DGS 공진기에서 계산한 방법과 같은 방법으로 계산 하였다.[3],[4] 그리고 나서 남은 파라미터 값, C_m 과 L_m 은 식(3)과 식(6)에서 잘 계산 되어 졌다. 여기에서 구한 파라미터 값으로 두개의 공진특성을 이용한 대역 통과 여파기를 직렬공진기와 병렬공진기 만 을 사용한 각각의 대역통과 여파기를 구현 하였다.

2.2 직렬 DGS 공진기를 이용한 대역통과 여파기의 설계

대역통과 여파기를 설계 하는데 크게 두가지 방법이 있다. 하나는 영상 파라미터에 의한 방법으로 본 논문에서는 직렬 DGS 공진기에 사용 하였고, 두 번째로는 삽입손실에 의한 방법으로 본 논문에서는 병렬 DGS 공진기에 설계 하였다. 우선 직렬 DGS 공진기를 가지고 영상 파라미터 방법으로 설계 하였다. 직렬 DGS 공진기를 이용하여 중심 주파수가 6.9GHz에 고주파 쪽에 감쇄극을 가지고 두개의 폴을 형성 한 대역통과

과 여파기를 설계 하였다. 대역폭은 200Mhz 이며, 리플은 0.01dB로 설계 하였다. DGS 공진기에 의해서 감쇄극은 7.4GHz에 형성 되도록 설계 하였다. Fig.4는 실제 설계된 대역통과 여파기 이다. 직렬 공진기를 영상 파라미터 방법에 의하여 연결 하고, 각각의 소자 값을 추출 하였다.



L_m	4.22417nH
C_m	0.14609pF
C_o	0.41718pF
C_p	0.2501pF
C_{p1}	0.177384pF

그림 4. 2개의 폴을 가진 대역통과 여파기의 회로도(a)와 파라미터 값(b)

Fig 4. The schematic of the 2-pole bandpass filter with the series DGS resonator(a) and parameter value(b)

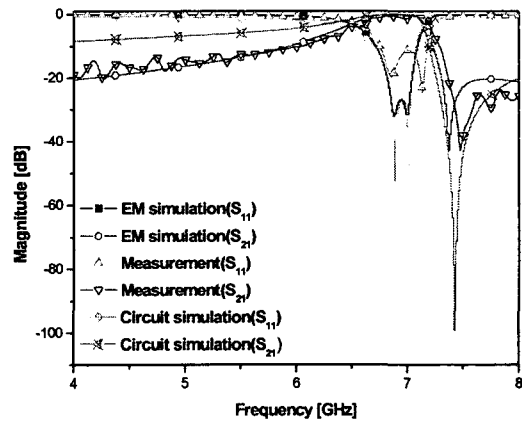


그림 5. 직렬 DGS 공진기를 이용한 대역통과 여파기의 시뮬레이션 값과 측정치의 비교

Fig. 5. Comparison of simulations and measurements for the designed 2-pole bandpass filter with the series DGS resonator only.

Fig. 5는 직렬 공진기를 이용한 대역통과 여파기로서 시뮬레이션과 실제 측정된 결과 값을 비교 분석 하였다.

삽입 손실이 1.5dB 이하 이고, 대역과 중심 주파수는 일치함을 보여 줌으로써 DGS 공진기를 대역통과 여파기로 설계함으로 공진기의 모델과 등가회로의 타당성을 증명하였다. 아래 Fig.6 은 직렬 DGS 공진기만으로 구현한 두개의 폴을 가진 대역통과 여파기이다.

50Ω의 신호선과 접지면에 IDT형태로 되어 있는 것을 볼 수 있다. 높은 캐패시턴스 값을 구현하려다 보니, 식각된 접지면과 신호 선의 겹 부분을 IDT 형태로 바꾸었고, 또한 공진기 두개를 직렬로 연결할 때 식각된 접지면의 영향을 최소화하기 위하여 사진과 같이 구현하였다. 기판은 유전율이 2.5이고, 유전체 두께가 0.7874인 TLX-9-0310기판을 사용 하였고, 가로, 세로의 길이는 각각 2Cm 이다.

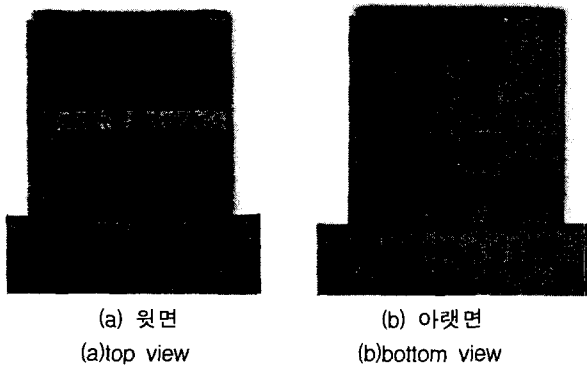
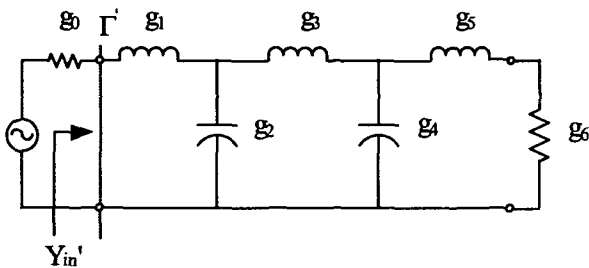


Fig. 6 직렬 공진기로 제작된 2개의 폴을 가진 대역통과 여파기의 사진
Fig. 6 Photographs of the fabricated 2-pole bandpass filter having only parallel DGS resonators.

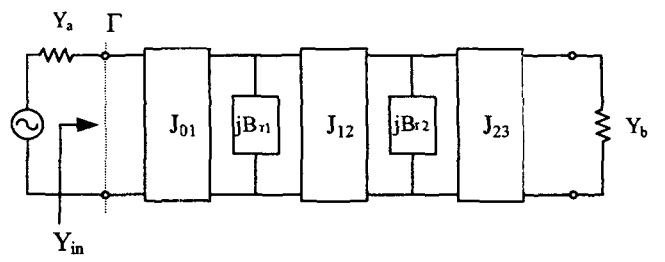
2.3 병렬 DGS 공진기를 이용한 2-pole 대역통과 여파기의 설계

병렬 DGS 공진기만을 가지고 2-pole 대역통과 여파기를 설계 하였다. 우선 병렬 DGS 공진기로 중심 주파수를 공식으로 식(7)과 같이 유도 하였다.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\omega_1^2 \omega_2^2 + \omega_1 \omega_2 \omega_L^2 - (\omega_1^2 + \omega_2^2) \omega_L^2}{\omega_1 \omega_2 - \omega_L^2}} \quad (7)$$



(a) 저역통과 여파기의 기본형
(a) LPF prototype



(b) J인버터를 이용한 대역통과 여파기타입
(b) BPF type using J-Inverter

그림 6. 병렬 DGS 공진기를 이용한 대역통과 여파기의 회로도
Fig. 6. The schematic of the 2-pole bandpass filter with the parallel DGS resonator

Fig. 6은 저역통과 여파기에서 대역통과 여파기로 변환 할 때 회로도 이다. 인버터의 J01, J12과 J23의 값을 식(8)과 같이 각각유도 하였다. Br은 병렬 DGS 공진기의 서셉턴스다. 그리고 Ya와 Yb는 각각 소스와 부하 어드미턴스를 의미한다.

$$J_{01} = \sqrt{\frac{Y_a B_r(\omega_2)}{g_0(\omega'_1 g_1)}} \quad J_{12} = \frac{B_r(\omega_2)}{\omega'_1 \sqrt{g_1 g_2}} \quad J_{23} = \sqrt{\frac{B_r(\omega_2) Y_b}{(\omega'_2 g_2) g_3}} \quad (8)$$

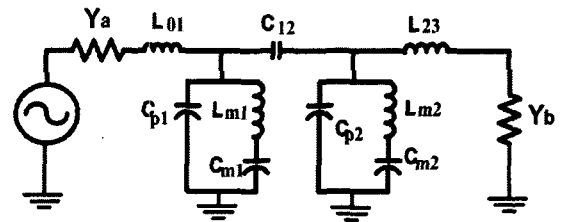


그림 7. J 인버터를 이용한 2-pole 대역통과 여파기의 회로도
Fig. 7. The schematic of the 2-pole bandpass filter using J-Inverter

여러 가지 인버터 중에서 여기에서 사용된 인버터는 Fig 7.에서 보는 바와 같이 π형 인버터인 (-C)-C-(-C)인버터와 L-C-L 인버터를 사용하여 각각의 파라미터의 값을 구하였다. (a)에서 양쪽의 C는 제거 시킬 방법이 없으므로 (c)와 같이 변형된 등가회로를 이용한다. 등가회로 조건에 의해서 식(9)와 같은 파라미터 값을 유도 하였다.

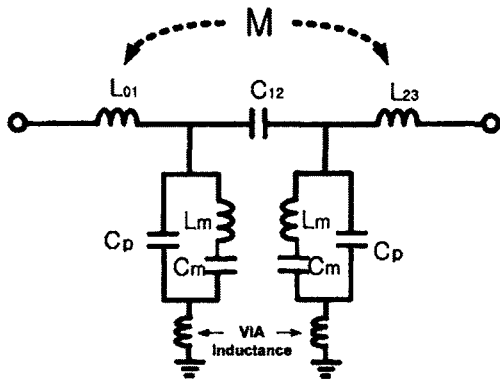
$$L_{01} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{J_{01}}{Y_a}\right)}}{\omega_0 J_{01}} \quad C_{12} = \frac{J_{12}}{\omega_0} \quad L_{23} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{J_{23}}{Y_a}\right)}}{\omega_0 J_{23}}$$

$$C_{p1} = C_{r1} + C_{01}^e - C_{12}$$

$$C_{p2} = C_{L2} + C_{23}^e - C_{12} \quad (9)$$

Fig. 7에서 Cp1과 Cp2의 값과 L01, C12, L23의 값을 구하였다. 또한 Fig 8.는 구현한 회로와 각각의 파라미터 값이다. 3D

EM시뮬레이션 결과 상호 인덕턴스(M)가 생성 되는 것을 발견하였다. 상호 인덕턴스의 생성으로, 고주파 쪽에서 감쇄극이 발생 하였고, 감쇄극이 통과 대역 양쪽에 생기므로 저지 대역의 특성이 좋아 졌다. 상호 인덕턴스를 이용하여, 직렬 공진기보다 저지대역의 특성이 훨씬 좋게 만들 수 있었다. 중심 주파수는 6.1GHz 이고, 대역폭은 3%이고, 리플은 0.01dB로 설계 하였다.



Lm	3.22 nH	L01,23	5.15 nH
Cm	0.606 pF	L(VIA)	5.15 nH
Cp	0.375 pF	C12	0.034 pF
M(mutual inductance)	24.9nH		

그림 8 J인버터를 이용한 2개의 폴을 가진 대역통과 여파기의 회로도 와 각각의 소자값

Fig. 8. Schematic of 2-pole DGS bandpass filter with admittance J-inverter and parameter value.

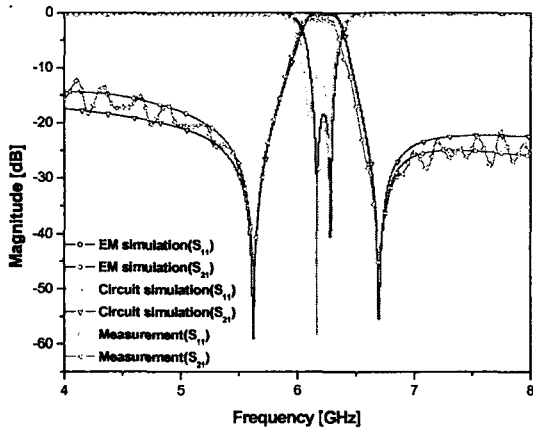
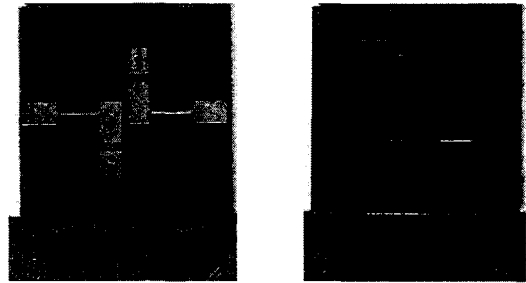


그림 9. 병렬 DGS 공진기를 이용한 대역통과 여파기의 시뮬레이션 값과 측정치의 비교

Fig 9. Comparison of simulations and measurement for the designed 2-pole bandpass filter with the parallel DGS resonators only.

Fig 9.은 제작된 대역통과 여파기의 시뮬레이션 값과 측정 값을 비교 분석 하였다. 삽입 손실이 1.5dB 이하이고, 그림에

서 보는 바와 같이 통과 대역 양쪽에 감쇄극이 생기는 것을 볼 수가 있다. Fig 10.은 실제 제작된 대역통과 여파기의 사진이다. 크기는 가로, 세로 2cm의 크기를 가지고 있다.



(a)윗면
(a)top view

(b)아랫면
(b)bottom view

그림 10. 병렬 공진기로 제작된 2개의 폴을 가진 대역통과 여파기의 사진

Fig. 10. Photographs of the fabricated 2-pole bandpass filter having only parallel DGS resonators.

3. 결 론

본 논문에서 DGS(defected ground structure)구조에 대한 새로운 등가회로 구조와 모델링 방법을 제안 하였다. 제시한 등가회로 구조는 넓은 대역에서 시뮬레이션 값 과 실제 측정 값이 일치함을 보여 줌으로써 제안된 등가회로의 타당성을 입증 하였다. 본 논문에서 DGS공진기는 감쇄극을 가지기 때문에 차단 특성이 우수 하고 다단 구조에 대한 정확한 모델링과 감쇄극을 주어 여파기의 차단 특성을 더욱 좋게 하는 장점이 있다. 본 논문에서 제시한 등가회로는 DGS공진기를 이용한 다양한 회로설계에 응용 될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. S. Joung, J. O. Kim, J. S. Park, J. B. Lim, and H. G. Cho, "A design of the Self Oscillation Mixer Using a Novel DGS," *Asia Pacific Microwave conference*, Vol.02, pp.886-889,Nov.2003
- [2] M. S. Joung, J. O. Kim, J. S. Park, J. B. Lim, and H. G. Cho, "A Novel Defected Ground Structure and Its Application to A Microwave Oscillator" *33th European Microwave conference*, pp.781-784, Oct.2003
- [3] 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. on Microwave Theory and Techniques*, Vol.50, No.9, Sept. 2002, pp.2037-2043.
- [4] J.S. Park, "An equivalent circuit and modeling method for defected ground structure and its application to the design of microwave circuits," *Microwave Journal*, Nov. 2003.

저 자 소 개



윤 장 식(尹 莊 埴)
2003년 세명 대학교 전자공학과 학사
2004년 성균관 대학교 전자전기공학과 석사 과정 재학 중
주요연구분야 : 마이크로파 소자
E-mail : goldfist@empal.com



박 준 석(朴 准 奭)
1991년 : 국민대학교 전자공학과 학사
1993년 : 국민대학교 전자공학과 석사
1996년 : 국민대학교 전자공학과 박사
경력 및 활동 : Dept. of EE, UCLA/P.D. Fellow(97~98), 순천향 대학교 정보기술 공학부/조교수(03), (주) 아모텍/기술고문(00~현재), (주) Wavics/기술고문(01~현재), 국민대학교 공과대학 전자정보통신 공학부/ 조교수(03~현재)
주요연구분야 : RFIC, MMIC, LTCC 기술을 이용한 RF/Microwave 하이브리드 모듈 디자인 및 해석
Tel : 02-910-4829
Fax : 02-910-4646
E-mail : jspark@kookmin.ac.kr



정 명 섭(鄭 明 燮)
1996년 : 홍익대학교 전기제어공학과 학사
1999년 : 국민대학교 전자공학과 석사
2004년 : 국민대학교 전자공학과 박사
경력 및 활동 : 현광전자 통신 연구소 근무(99~02)
주요연구분야 : MMIC 기술을 이용한 RF/Microwave 하이브리드 모듈 디자인
Tel : 02-910-5069
Fax : 02-910-4646
E-mail : smrlab@kookmin.ac.kr



박 천 석(朴 天 錫)
1988년 2월 : 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1990년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
1995년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
1995년~현재 : 성균관대학교 정보통신공학과 정교수
주 관심분야 : 마이크로파 능동 및 수동 소자, 안테나, 전력 증폭기 및 선형화기 설계