

결합된 결합 접지면 구조(C-DGS)를 이용하여 향상된 차단 특성을 가지는 대역 저지 여파기

A Bandstop Filter with Improved Slope Characteristics Using C-DGS(Coupled-Defected Ground Structure)

정 상 운 · 임 영 광 · 이 해 영

SangWoon Jung · Young-Kwang Lim · Hai-Young Lee

요 약

본 논문에서는 DGS 사이의 거리를 좁힌 C-DGS(Coupled-Defected Ground Structure)를 제안하고, 이를 이용하여 차단 특성이 향상된 BSF(Bandstop Filter)를 제안하였다. 제안된 C-DGS는 각 DGS가 가지고 있는 인덕턴스 성분에 자체 결합을 발생시켜, 주기적인 구조를 가진 DGS와 비교해서 차단 특성이 향상된다. 또한, 제안된 C-DGS를 기존 보고된 양면 BSF에 적용시킨 새로운 BSF를 제작 및 측정하였다. C-DGS를 이용한 BSF는 3.8 GHz에서 15.5 GHz의 -20 dB 저지 대역을 가지며, 차단 특성은 110.8 dB/GHz로 기존 양면 대역 저지 여파기와 비교해서 차단 특성을 7.6배 향상시켰다. 제안된 C-DGS는 DGS를 이용한 고성능 여파기 설계에서 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

Abstract

A coupled-defected ground structure(C-DGS) having closely-located DGS cells is proposed for high performance bandstop filter applications. The negative coupling of ground currents between adjacent DGS cells greatly improves the stopband characteristics. We have measured the attenuation slope of 110.8 dB/GHz and -20 dB rejection band from 3.8 GHz to 15.5 GHz. Compared to the double-plane BSF, the proposed BSF improved the sharp cutoff response 7.6 times. We expect the C-DGS be helpful to improve the performance of DGS application circuits and also to extend the possible DGS applications.

Key words : BSF, C-DGS, DGS, PBG

I. 서 론

DGS(Defected Ground Structure)는 전송 선로의 접지면에 식각된 결합 패턴을 갖는 구조로 추가적인 자속에 의한 인덕턴스(L), 식각면 사이 간격(gap)에 의한 커패시턴스(C)로 분석되었으며^[1], 최근에는 단일 식각 구조를 ABCD-Matrix로 해석하여, N개의 식각 구조에 대해 분석한 연구도 진행되었다^{[2],[3]}. 특

히, DGS를 이용한 주기적인 구조는 차단 특성 및 저지 대역을 향상시켜 증폭기 및 혼합기의 성능을 개선한 연구 결과들이 발표되었다^{[4]~[6]}. 또한, DGS에 의해 증가된 인덕턴스 및 커패시턴스에 의한 slow wave 효과를 이용하여 초고주파 회로의 소형화 연구도 활발히 진행되었다^[7].

일반적으로 차단 특성 및 저지 대역을 향상시키기 위해서는 높은 차수(order)의 여파기를 사용해야

아주대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20061220-06S

· 수정완료일자 : 2007년 6월 29일

하기 때문에 크기가 커지는 단점이 있다. 이에 본 논문에서는 DGS 사이의 거리를 좁혀 단일 DGS가 가지고 있는 인덕턴스에 자계 결합을 발생시킨 결합 DGS(Coupled-Defected Ground Structure)를 제안하고 이를 이용하여 차단 특성이 향상된 BSF(Bandstop Filter)를 제안한다. 제안된 C-DGS는 DGS 사이에서 발생하는 자계 결합의 영향으로 추가적인 감쇄극을 가지며, 이는 기존 ABCD-matrix 해석 방법으로는 설명할 수 없기에 자계 결합을 고려한 등가 회로로 해석하였다. C-DGS를 이용한 BSF는 기존 양면 BSF의 주기적인 DGS 부분을 C-DGS 형태로 바꿔줌으로서 차단 특성을 향상시킨 것으로 3.8 GHz에서 15.5 GHz의 -20 dB 저지 대역을 가지며, 차단 특성은 110.8 dB/GHz이다. 특히, 기존 양면 BSF^[8]와 차단 특성을 비교해 보면 동일한 크기에서 차단 특성을 7.6배 향상시켰다. 제안된 C-DGS 테크닉을 DGS를 이용하여 여파기에 적용할 경우 차단 특성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

II. 본 론

2-1 결합된 DGS(C-DGS)의 구조 해석

그림 1은 일반적인 DGS의 2셀 구조를 나타낸 것으로 DGS의 2셀 구조는 단일 DGS가 가지고 있는 인덕턴스(L)와 커패시턴스(C) 그리고 식각된 구조에서의 손실 및 방사 손실을 나타내는 저항(R)을 셀 사이의 전기적 길이를 고려해서 그림 2와 같은 등가 회로로 표현되며, 이는 ABCD-Matrix로 해석할 수 있다. 각각의 값은 해석 도니 주파수 응답 특성으로부터 다음과 같이 계산된다^{[1]-[3]}.

$$C = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} \quad (2)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega)|^2} - \left[2Z_0\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\right]^2 - 1}} \quad (3)$$

여기에서, ω_0 는 저지 대역의 중심 각 주파수($1/\sqrt{LC}$), ω_c 는 3 dB 차단 각 주파수, $S_{11}(\omega)$ 은 해석된 S_{11} 을 나타낸다.

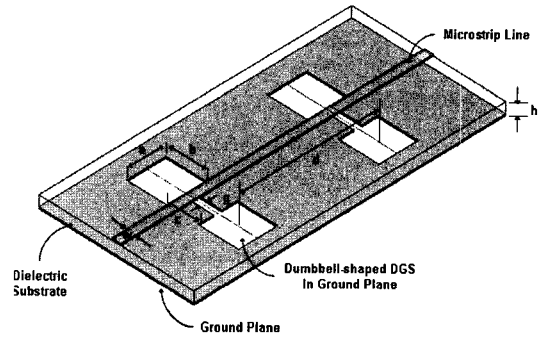


그림 1. 일반적인 DGS 2 셀 구조
Fig. 1. Conventional 2 cell DGS structure.

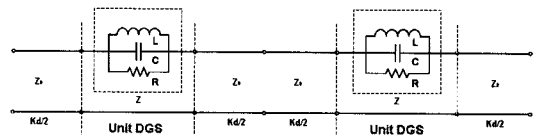


그림 2. 2 셀 DGS의 등가 모델
Fig. 2. Equivalent circuit of 2 cell DGS.

계산된 단일 DGS의 R, L, C와 DGS 셀 간의 거리를 고려하여 등가 모델을 만들 수 있으며, 등가 모델은 식 (4)의 ABCD-matrix를 통해서 해석할 수 있다^[9]. 여기에서, kd 는 DGS의 전기적 길이(electrical length), Z_0 는 전송 선로의 특성 임피던스, Z 는 DGS의 임피던스를 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \frac{kd}{2} & jZ_0 \sin \frac{kd}{2} \\ jY_0 \sin \frac{kd}{2} & \cos \frac{kd}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{kd}{2} & jZ_0 \sin \frac{kd}{2} \\ jY_0 \sin \frac{kd}{2} & \cos \frac{kd}{2} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd & \frac{Z}{2} \cos kd + jZ_0 \sin kd + \frac{Z}{2} \\ \frac{Z}{2Z_0} \cos kd + \frac{j}{Z_0} \sin kd - \frac{Z}{2Z_0} & \cos kd + \frac{jZ}{2Z_0} \sin kd \end{bmatrix}$$

그림 2를 ABCD-matrix를 이용하여 해석한 결과를 S-parameter로 변환시킬 수 있으며, 이에 대한 결과를 확인하기 위해 DGS 2셀 구조를 전자장 수치 해석 프로그램인 HFSS V10을 사용하여 해석하였다. 해석에 사용된 기판은 Rogers Duroid 6010 ($\epsilon_r=10.2$), $h=0.635$ mm이고, $a=2.5$ mm, $b=2.6$ mm, $c=2$ mm, $g=0.5$ mm, $w=0.58$ mm 그리고 DGS 중심에서 중심까지의 셀 사이 간격 $d=10$ mm이다.

그림 3은 ABCD-matrix를 이용한 주파수 응답 특성 및 해석 결과 그리고 측정 결과를 나타낸다. 식 (4)를 이용한 주파수 응답 특성 및 해석 결과 그리고

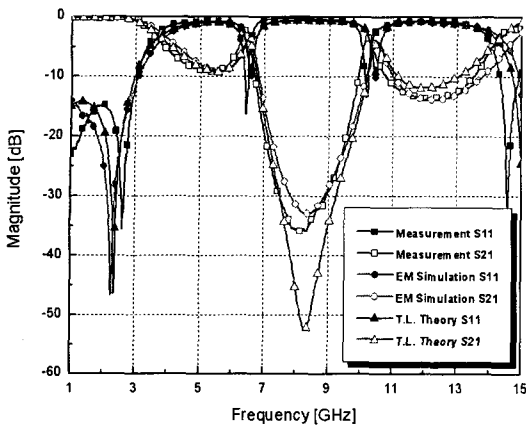
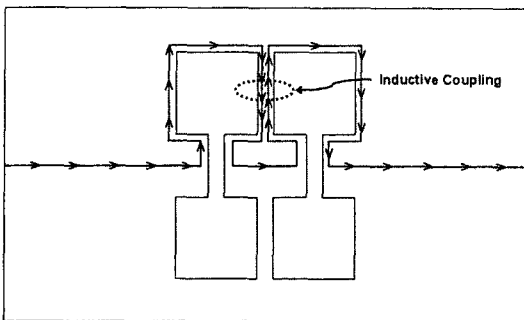
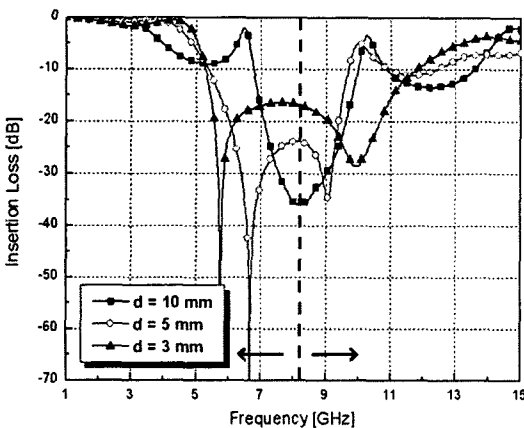


그림 3. $d=10$ mm에서 측정 및 해석 결과
Fig. 3. Measured and simulated result at $d=10$ mm.



(a) C-DGS의 전류 흐름
(a) Current flow of the C-DGS



(b) 자계 결합의 효과
(b) Inductive coupling effect

그림 4. C-DGS의 자계 결합 및 자계 결합의 효과
Fig. 4. Inductive coupling of the C-DGS and inductive coupling effect.

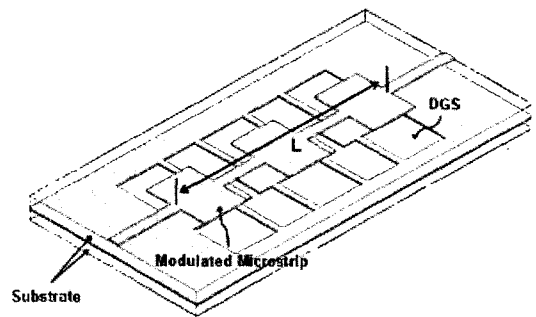
측정 결과가 일치함을 확인하였다.

제안된 C-DGS는 단일 DGS가 가지고 있는 인덕턴스 성분 사이에 자계 결합을 발생시키기 위해서 DGS 사이의 거리를 좁힌 구조이다. 그림 4는 C-DGS의 전류 흐름 및 DGS 거리에 따른 주파수 응답 특성을 나타낸 것으로 DGS 사이의 거리를 좁힐 경우 전류의 흐름이 서로 결합 상태가 되어 새로운 감쇄극을 발생시키며, 이를 측정을 통해서 확인하였다.

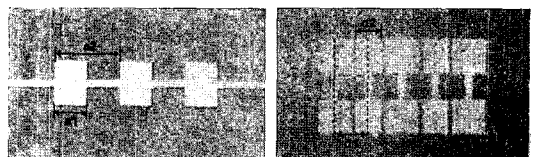
일반적으로 DGS 사이의 간격이 좁혀지면 단일 DGS가 가지고 있는 인덕턴스 성분 및 추가적으로 큰 인덕턴스 성분으로 인하여 전체 인덕턴스가 커져 차단 특성이 완만해져야 한다. 하지만, 제안된 C-DGS는 DGS 사이의 거리를 줄임으로써, 차단 특성이 점점 향상되기 때문에 자계 결합을 고려하여 등가 모델화 하여야 해석이 가능하다.

2-2 제안된 C-DGS를 이용한 대역 저지 여파기 (Bandstop Filter: BSF)

그림 5는 제안된 C-DGS를 이용하여 설계된 BSF를 나타낸 것으로 변형된 마이크로스트립과 C-DGS가 서로 중첩된 구조를 가진다. 제작 및 해석을 위해



(a) C-DGS BSF 구조
(a) C-DGS BSF structure



(b) 신호선
(b) Signal line
(c) 접지면
(c) Ground plane

그림 5. 제안된 C-DGS를 이용한 BSF
Fig. 5. Proposed BSF using the C-DGS.

결합된 결합 접지면 구조(C-DGS)를 이용하여 향상된 차단 특성을 가지는 대역 저지 여파기

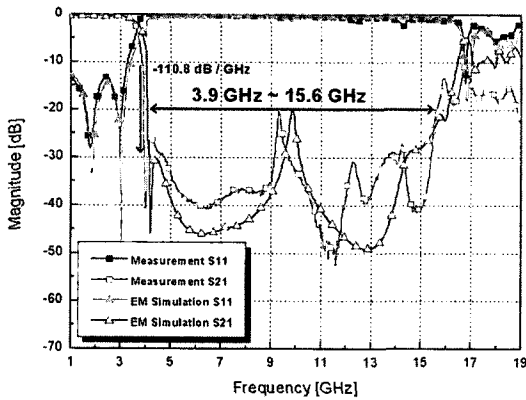


그림 6. 측정 및 해석된 주파수 응답 특성
Fig. 6. Measured and simulated S -parameters.

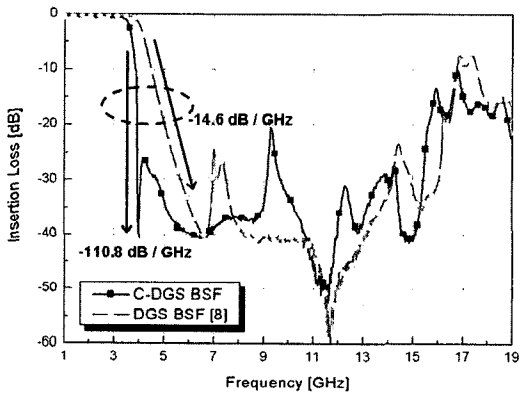


그림 7. Bragg 법칙을 이용한 DGS BSF^[8]와 C-DGS BSF의 삽입 손실 비교
Fig. 7. Comparison of insertion loss of DGS BSF and C-DGS BSF.

서 $a_1=2.5$ mm, $a_2=3$ mm, $b_1=2.5$ mm, $b_2=1.9$ mm 그리고 $L=12.5$ mm로 설정해 주었으며, DGS의 직렬 커패시턴스를 증가시키기 위해서 추가적인 유전 기판을 DUT 아래에 부착하였다^[8].

C-DGS BSF의 해석 및 측정 결과를 그림 6에 나타낸다. C-DGS BSF는 3.8 GHz에서 15.5 GHz의 -20 dB 저지 대역을 가지며, 차단 특성은 110.8 dB/GHz를 가진다. 또한, 통과 대역에서의 삽입 손실은 평균 0.4 dB 이내의 평탄한 통과 대역 특성을 유지하고 있으며, EM 해석 결과와 측정 결과가 잘 일치하고 있음을 확인하였다. 그림 7은 Bragg 법칙을 이용한 양면 DGS BSF와 C-DGS BSF의 3 단 및 5 단 구조에 대한 삽입 손실을 비교한 그래프를 나타낸다. 차단

특성을 살펴보면 Bragg 법칙을 만족시킨 양면 DGS BSF^[8]의 차단 특성은 -14.6 dB/GHz로 DGS를 C-DGS로 바꿔줌으로써, 전체 크기는 유지한 상태에서 차단 특성을 각각 7.6배 향상시켰다. 이는 C-DGS의 차단 특성이 BSF 설계에 그대로 반영되었다는 것을 의미한다.

III. 결론

본 논문에서는 자계 결합을 발생시키기 위해 DGS 사이의 거리를 좁힌 C-DGS를 제안하고 이를 이용하여 차단 특성이 향상된 BSF를 제안하였다. 제안된 C-DGS는 단일 DGS가 가지고 있는 인덕턴스 사이에 자계 결합을 발생시켜 추가적인 감쇄극을 만들었으며, 이를 해석 및 측정을 통해서 확인하였다. 또한, 제안된 C-DGS BSF는 3.9 GHz에서 15.6 GHz의 -20 dB 저지 대역을 가지며, 차단 특성은 -110.8 dB/GHz를 가진다. 특히, 기존 Bragg 법칙을 이용한 기존 양면 DGS BSF와 차단 특성을 비교해서 차단 특성을 7.6배 향상시켰다.

본 논문에서 제안하는 C-DGS를 이용하여 여파기를 설계할 경우, DGS 사이에서 발생하는 자계 결합에 의한 영향으로 날카로운 차단 특성을 가지는 여파기를 설계할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure", *IEEE Tran. Microwave Theory and Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [2] I. S. Chang, B. S. Lee, "Design of defected ground structures for harmonic control of active microstrip antenna", *IEEE, AP-S Int. Symp.*, vol. 2, pp. 16-21, Jun. 2002.
- [3] H. M. Kim, B. S. Lee, "Bandgap and slow/fast-wave characteristics of defected ground structures(DGSs) including left-handed features", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 54, no. 7, pp. 3113-3120, Jul. 2006.
- [4] T. Kim, C. Seo, "A novel photonic bandgap struc-

ture for los-pass filter of wide stopband", *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 13-15, Jan. 2000.

[5] Y. S. Cha, B. G. Kang, Y. T. Kim, S. H. Kim, J. S. Park, and J. B. Lim, "A new design method for performance improvement of high power amplifier by using the matching circuit of defected ground structure", *Eur. Microwave Conf.*, vol. 3, pp. 1341-1344, Oct. 2003.

[6] K. B. Kim, T. S. Yun, and J. C. Lee, "A single balanced diode mixer with defected ground structure(DGS) lowpass filter(LPF)", *Eur. Microwave Conf.*, vol. 1, pp. 197-200, Oct. 2004.

[7] Jong-Sik Lim, Young-Taek Lee, Chul-Soo Kim, Dal Ahn, and Sang-wook Nam, "A verically periodic defected ground structure and its application in reducing the size of microwave circuits", *IEEE Trans. Microwave and Wireless Component Lett.*, vol. 12, no. 12, pp. 479-481, Dec. 2002.

[8] Jin-Yang Kim, Hai-Young Lee, "Wideband and compact bandstop filter structure using double-plane superposition", *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, vol. 13, no. 7, pp. 279-280, Jul. 2003.

[9] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Second Edition, John Wiley, pp. 206-213, 1998.

정 상 운



2006년 2월: 서경대학교 정보통신 공학과 (공학사)
 2006년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 초고주파 수동회로 설계, SI/EMC

이 해 영



1980년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1982년~1986년: 국방부 연구사무관
 1989년 12월: The University of Texas at Austin (공학박사)

1990년~1992년: LG 기술원 (기초 1실장)
 1992년~현재: 아주대학교 전자공학부 정교수
 [주 관심분야] 고속/고밀도 System in Package, RF 소자 및 광전소자의 설계/측정, 고속 반도체 테스트 기술

임 영 광



2005년 2월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2005년 3월: 아주대학교 전자공학과 석, 박사 통합과정
 [주 관심분야] 초고주파 회로 설계, MMIC 패키징