

DGS 공진기를 이용한 소형 마이크로스트립 대역통과 필터의 설계

정회원 조영빈*, 전계석**

Design of the Compact Microstrip Bandpass Filter by using DGS Resonator

Young-Bin Cho*, Kye-Suk Jun** *Regular Members*

요약

본 연구에서는 인덕턴스와 커패시턴스 특성을 동시에 갖는 DGS 슬롯을 이용하여 공진기를 설계하고 I형 DGS 슬롯의 공진 특성과 open-loop 공진기를 결합한 새로운 형태의 C 스텐브-I형 DGS 공진기를 제안하였으며, 이를 이용한 대역통과 필터를 설계하였다. 이 구조는 통과대역에서 반사손실의 조정이 용이한 특징을 갖는다 그리고 기존 필터에 비해 초소형화가 가능하며 부품 실장에 유리하고, IMT-2000 대역의 하모닉 성분 및 불요파 제거 등 다양한 응용을 기대할 수 있다.

Key Words : DGS, defected ground structure, PBG, photonic bandgap, BPF, Band pass filter, resonator, steep slope, attenuation pole

ABSTRACT

In this paper, we have proposed a novel DGS(Defected Ground Structure) resonator and has designed the band-pass filter using the proposed C stub-I type DGS resonator. This structure has strong advantages that can vary the return loss at the passband freely and also can easily tune the attenuation pole frequency at the stopband. The bandpass filter can be made more smaller than the existing filters and be used to find the various applications for eliminating the harmonics and spurious mode at IMT-2000 band.

I. 서론

최근에 photonic bandgap(PBG) 구조와 같은 전송선로 구조를 이용하여 마이크로파 혹은 밀리미터 파 대역의 다양한 회로를 설계하는 연구가 많이 진행되고 있다. PBG 구조는 주기적인 배열을 통한 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시킴으로써 slow-wave 특성과 대역 저지특성을 보여주며 유전체 기판의 유전율을 변화시키는 방법^[1]이나 1차원, 2차원적인 도체 결합^[2]을 만들어서 원하는 대역특성을 가

질 수 있다. 즉, 주기적인 구조를 갖는 전송선로의 경우 유한한 통과대역과 저지대역을 가짐으로써 저역통과 필터의 특성을 구현할 수 있다.

주기적인 구조의 PBG 구조가 slow-wave 효과의 증가와 부가적인 등가회로 효과를 가지게 됨으로써 매우 높은 임피던스를 얻을 수 있고 회로의 크기도 감소시킬 수 있다. 하지만 수평으로 주기적인 결합 구조를 구현하는 것보다 수직으로 구현하는 형태는 수평의 PBG 구조보다 더 높은 SWF(slow-wave factor)와 더 짧은 전기적 길이를 회로상에 구현할

* LG 이노텍(ybcho8@freecal.com), ** 경희대학교 전자공학과 마이크로파 연구실

논문번호 : KICS2005-01-038, 접수일자 : 2005년 1월 20일

※본 연구는 경희대학교 학술진흥 특별연구지원과제 지원으로 수행되었습니다

수 있다^[3].

한편 DGS 구조는 PBG 구조와 같이 금속 접지면이 식각된 구조이다. 이는 접지면의 식각 구조가 접지면에 흐르는 전류의 분산을 방해하여 전송선로의 유효 임피던스를 증가시킴으로써 특정 주파수 대역에서 저지대역을 발생시킨다. 이러한 특성을 활용함으로써 전송선로의 커패시턴스와 인덕턴스를 변화시켜 전송선로의 특성을 변경할 수 있다^{[4][5]}.

PBG와 DGS의 대역저지 특성 및 slow-wave 특성은 기존의 마이크로파 및 밀리미터 회로의 형태를 혁신적으로 변화시켰을 뿐만 아니라 소형화에 기여하였다. 이러한 특성을 이용하여 전력 증폭기 모듈, 평판 안테나, 전력 분배기, 그리고 필터 등을 설계할 수 있다.

본 연구에서는 인덕턴스와 커패시턴스 특성을 동시에 갖는 I형 DGS 슬롯을 이용하여 공진기를 설계하고 I형 DGS 슬롯의 공진특성과 open-loop 공진기를 결합한 새로운 형태의 공진기를 이용하여 대역통과 필터를 설계하였다.

II. 설계 이론

2.1 전송선로 공진기의 설계

전송선로 이론에서 무손실 선로의 전파상수는 $\beta = \omega_0 \sqrt{LC}$ 이다. 여기서 ω 는 각주파수이고 L 과 C 는 각각 단위길이 당 분포정수 직렬 인덕턴스와 단위길이 당 분포정수 병렬 커패시턴스이다^[6]. 특히 전송선로에서 L 과 C 의 값이 증가함에 따라 위상 속도는 감소하고 slow-wave 특성을 가지기 때문에 전파상수 β 는 큰 값을 가지게 된다. 이를 SWF라고 표현하여 그 정도를 비교하게 된다. 즉 DGS 필터의 설계에 있어서 slow-wave 특성을 갖도록 전송선로 상의 변화를 주는 것이 필수적이며 이를 위해서는 인덕턴스와 커패시턴스를 증가시키기 위한 구조적인 형태를 개발하여 필터의 크기를 줄이는 것이 중요하다.

한편 낮은 저지대역의 스킨트 특성을 가질 수 있도록 하기 위해서 감쇠극을 삽입할 수 있어야 한다. 그림 1은 낮은 저지대역에 감쇠극을 갖는 공진기의 등가회로를 보여주고 있으며 그 구조에 따른 서셉턴스는 다음 식 (1)과 같다.

$$B_r = \frac{\omega C_{pr}}{1 - \omega C_{pr} Z_A \tan \theta_r} \quad (1)$$

여기서 ω 는 공진주파수, Z_A 는 전송선로 공진기의 특성임피던스, θ_r 은 공진기의 전기적 길이, 그리고 C_{pr} 은 커패시턴스를 나타낸다.

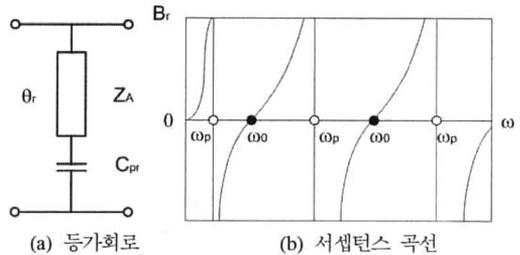


그림 1. 낮은 저지대역에 감쇠극을 갖는 공진기의 등가회로 및 서셉턴스 곡선

감쇠극이 생기도록 하려면 서셉턴스의 값이 무한대가 되어야 하므로 식 (1)로부터 감쇠극 주파수는 다음과 같다.

$$\omega_p = \frac{1}{C_{pr} Z_A \tan \theta_r}, \quad \infty \quad (2)$$

여기서 θ_p 는 감쇠극 주파수에서 공진기의 전기적 길이를 나타낸다. 한편, 공진주파수에서 서셉턴스는 0이어야 하기 때문에 다음과 같은 식을 얻을 수 있다. 즉 커패시턴스가 크면 감쇠극 주파수는 낮아지고 그 반대로 커패시턴스가 작아지면 감쇠극 주파수는 높아지면서 스킨트 특성은 개선된다.

$$\omega_0 = 1, \quad \omega(\theta_r = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots) \quad (3)$$

여기서 θ_r 는 공진 주파수에서 공진기의 전기적 길이를 나타낸다.

2.2 DGS 공진기의 설계

공진부로 사용될 I형 DGS 슬롯은 마이크로스트립 기판의 접지면을 I자 형태로 식각한 형태로 그림 2와 같다.

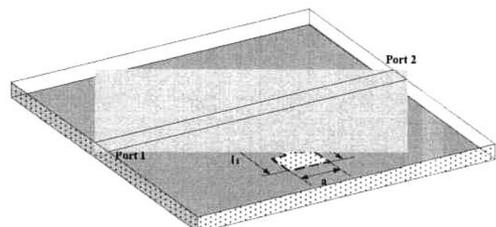


그림 2. I형 DGS 슬롯의 구조

I형 DGS의 주파수 특성을 분석하기 위해서 50Ω 전송선로 하단 접지면에 슬롯의 전체 폭 a 와 길이 l_1 를 각각 6 mm, 18 mm로 고정하고 슬롯의 중앙부분의 슬롯길이 l_{g2} 와 간격 S_1 를 가변시켰다 먼저 l_{g2} 를 10.211 mm로 고정하고 S_1 를 각각 0.5 mm, 1.5 mm, 2.5 mm, 3.5mm로 점차적으로 증가시켰을 때, 각각의 주파수 특성은 그림 3과 같이 등가회로의 인덕턴스 성분이 일정하게 증가되는 반면에 커패시턴스 성분이 로그 스케일로 감소하여 공진주파수가 증가되는 동시에 대역폭도 증가하는 특성을 보인다.

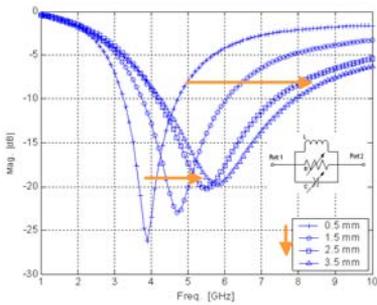


그림 3. 길이 S_1 의 길이 변화에 따른 주파수 응답특성

이번에는 S_1 을 0.5mm로 고정하고 l_{g2} 을 12.2mm에서 2.2mm까지 2mm 간격으로 축소시켰을 때, 각각의 주파수 특성은 그림 3과 같이 커패시턴스 성분이 증가되기도 하지만, 주로 인덕턴스 성분이 감소하여 공진 주파수가 미세하게 증가하는 상반되는 특성을 보인다 따라서 제안된 I형 슬롯구조의 특징은 커패시턴스와 인덕턴스 성분이 상보관계를 가지게 되며, 이러한 특징을 이용하여 중앙부분 슬롯의 길이를 감소시켜 급격한 저지특성을 갖는 대역저지 중심주파수를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 중앙부분 슬롯의 폭을 조절하면 공진 주파수의 미세 조정이 가능하다는 장점을 가지게 된다 또한 이 구조는 전

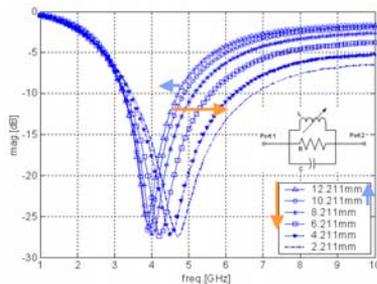


그림 4. I형 DGS 슬롯의 l_{SLR} 의 길이 변화에 따른 주파수 응답특성

체 크기의 변화가 없이 저지대역 중심주파수 조절이 가능하므로 기존에 통용되는 회로 구조와 비교해서 설계가 용이하다.

III. 대역통과 필터의 설계

3.1 Coupling DGS 구조

I형 DGS 병렬 공진기가 직렬회로로 연결된 형태로서 대역저지 특성을 갖는데 이를 대역통과 특성을 갖도록 하기 위해서는 병렬회로 구조를 갖도록 설계하여야 한다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 전송선로 상단면에서는 Gap coupling 구조로 제안하였으며, 접지면에는 상단면의 폭과 동일한 I형 DGS를 식각하여 결합효과를 개선시킬 수 있도록 하였다

I형 DGS를 일정한 갭을 두고 설계하고 전송선로의 폭은 전형적인 50Ω 마이크로스트립 선로의 폭에서 얻어질 수 있다

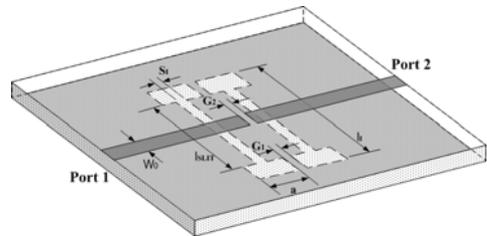


그림 5. I형 DGS 공진기를 이용한 Microstrip Gap Coupling 구조

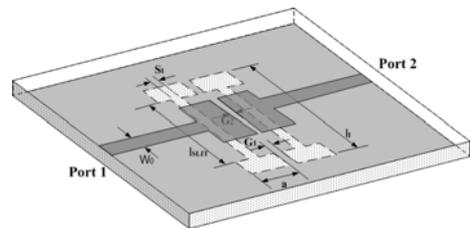


그림 6. Stub-I형 DGS 공진기를 이용한 Microstrip Gap Coupling 구조

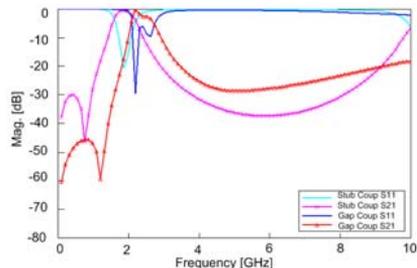


그림 7. Gap Coupling과 Stub Coupling의 모의실험 결과 비교

식(2)에 따라서 커패시턴스가 크면 감쇠극 주파수는 낮아지고, 공진주파수도 낮아지게 되므로 Gap Coupling보다는 Stub Coupling이 동일한 크기에서 더 낮은 주파수로 이동하는 것이 매우 쉬운 구조적인 특징을 갖는다 이는 일반적으로 동작주파수를 낮추기 위해 공진기의 크기를 크게 해야 하는 기존의 필터구조보다 월등히 나은 장점이다

3.2 제안된 C 스테브-I형 DGS 대역통과 필터의 설계

통과대역 내에서의 삽입손실과 반사손실을 개선하기 위해서는 상단면의 스테브의 커패시턴스가 크면 특성이 좋지 못하다. 따라서 커패시턴스를 줄이면서 I형 DGS와의 커플링 효과를 약화시키지 않는 구조의 설계가 필요하다 따라서 본 논문에서는 그림 8과 같은 C 스테브-I형 DGS 공진기를 제안한다. 그림 9는 제안된 대역통과 필터의 각 파라미터를 나타내며, 표 1에 길이를 보여준다 참고로 C 스테브의 폭은 모두 d_2 의 폭을 갖는다

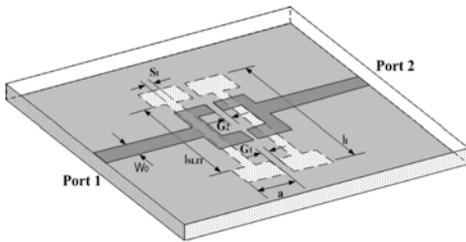
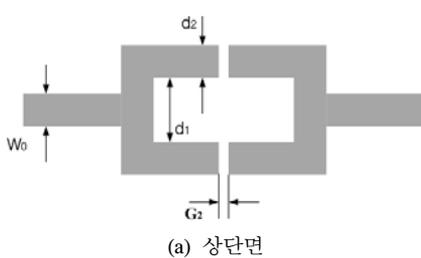
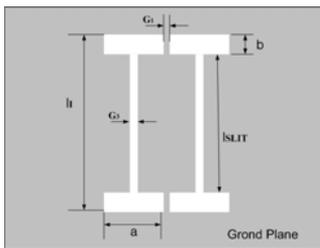


그림 8. C 스테브-I형 DGS 공진기를 이용한 대역통과 필터의 구조



(a) 상단면



(b) 하단면

그림 9. 제안된 DGS 대역통과필터의 구조 layout

표 1. 설계된 필터의 길이

파라미터	길이	파라미터	길이
a	6 mm	G ₁	0.5 mm
b	4 mm	G ₂	0.5 mm
c	4 mm	G ₃	0.5 mm
d	4 mm	l ₁	22 mm
l _{SLIT}	14 mm	W ₀	1.5 mm

표 1은 설계된 C 스테브-I형 DGS 필터의 각 부분의 길이를 나타내고 있으며 시뮬레이션 툴은 Ansoft사의 Ensemble 7.0을 사용하여 필터의 특성을 분석하였다 그림 10에서는 스테브-I형 DGS 필터의 주파수 특성과 C 스테브-I형 DGS 필터의 주파수 특성을 비교하였다 그림에서도 알 수 있듯이 10 GHz 부근에서 고조파 성분이 검출이 되지만 C 스테브-I형 DGS는 스테브-I형보다는 높은 주파수 측의 저지대역 특성을 더욱 넓게 가질 수 있음을 알 수 있다 이는 기존의 필터들이 공진주파수의 체배 주파수에서 다시 공진을 하게 되는 것과는 다른 뛰어난 성능임을 보여준다

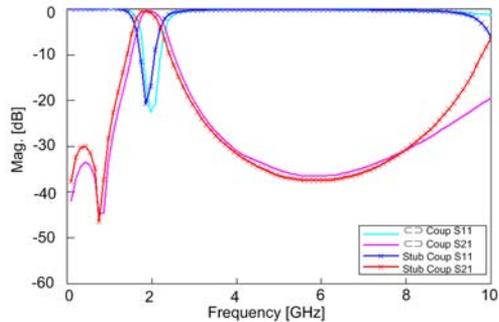


그림 10. C 스테브-I형 DGS 필터와 스테브-I형 DGS 필터의 주파수 특성 비교

그림 11은 상단면의 d_2 가 I형 DGS 슬롯의 l_{SLIT} 과 동일한 길이가 될 때까지 1 mm씩 길이 변화를 줬을 때의 상태를 서로 비교하여 상단면의 중첩에 따른 효과를 살펴보았다. 그림 6에서 보는 바와 같이 0.25 mm 더 겹쳐진 상태일 경우 최적의 삽입손실을 보여준다 또한 상위 주파수에서의 대역폭 변화와 중심주파수 변화를 조절할 수 있음을 알 수 있다.

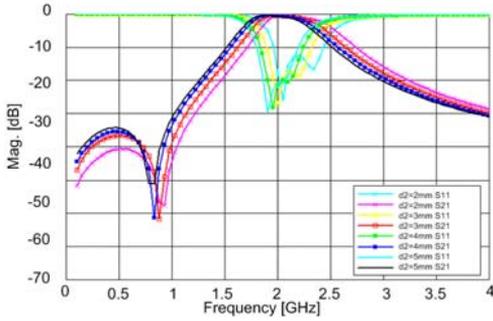


그림 11. d_2 를 1mm 간격으로 증가시켰을 때의 주파수 특성($d_1=4$ mm)

l_1 를 14 mm로 고정하고 l_{SLIT} 을 줄이면서 b 의 길이를 조절하면 상단면의 C 스테브와 중첩을 많이 이루게 된다. 그림 12에서 보이는 바와 같이 중심주파수에서의 크기변화는 크지 않으면서 낮은 저주파수 영역에 있는 감쇠극이 점점 중심주파수에 가까워짐에 따라 스킵트 특성이 개선된다. 하지만 높은 저주파수 영역의 특성은 나빠지는 것을 볼 수 있다. 즉, b 의 길이를 증가시킴으로써 하단면의 DGS와 상단면의 C 스테브의 중첩영역이 커지면 식각된 부분으로의 전파방사로 인한 커패시턴스가 작아지면 감쇠극 주파수는 높아지면서 스킵트 특성은 개선된다. 따라서 감쇠극의 주파수를 쉽게 조절할 수 있다.

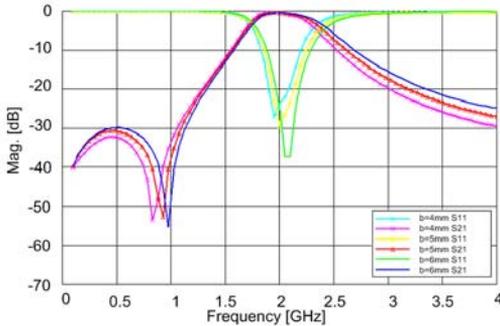


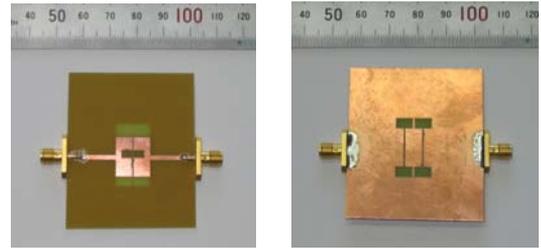
그림 12. b 를 1mm 간격으로 증가시켰을 때의 주파수 특성($l_1=14$ mm)

3.2 제안된 C 스테브-I형 DGS 대역통과 필터의 설계

표 1의 최적 설계결과로 DGS 대역통과 필터를 그림 13과 같이 FR4 기판 상에 제작하였으며 제작된 필터의 크기는 10×14 mm²로 소형화되었다.

제작된 대역통과 필터의 주파수 특성은 HP 8510

벡터 네트워크 분석기를 사용하여 측정하고 그림 14에 모의실험 결과와 비교하여 보였다



(a) 상단면

(b) 접지면

그림 13. 제안된 C 스테브-I형 DGS 필터

측정결과는 그림 14에서 보여주며 통과대역은 1.8036 GHz~2.29 GHz에서의 삽입손실은 -1.3 dB로 양호한 결과를 보여주고 있으며 중심 주파수는 1.904 GHz이고 극점은 0.7 GHz로 모의실험 결과와 좋은 일치를 보여준다.

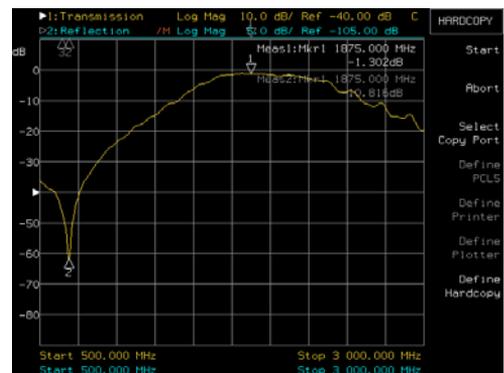


그림 14. C 스테브-I형 DGS 필터의 측정결과

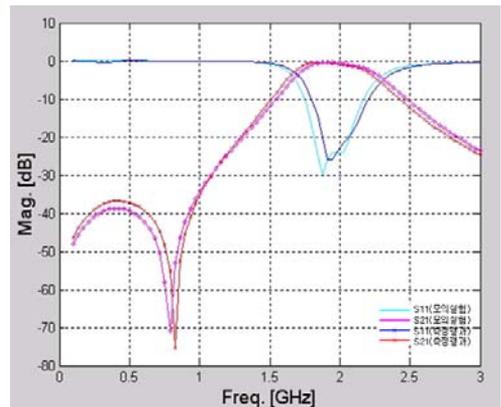


그림 15. C 스테브-I형 DGS 필터의 측정결과와 모의실험의 비교

IV. 결론

본 논문에서는 대역저지 주파수 조정이 용이한 I형 DGS 슬롯과 스테브가 추가된 I형 슬롯 DGS 구조를 제안하고 각각의 구조에 대해서 대역저지 특성을 분석하였다. 분석결과 I형 DGS 슬롯구조는 중앙의 연결 슬릿의 간격 등의 변화를 통해 급격한 대역저지 특성을 갖는 차단 주파수를 세밀하게 조정할 수 있으며 스테브I형 DGS 슬롯 구조는 급격한 대역저지 특성과 원하는 주파수 대역 특히 고주파 성분에서의 감쇠극을 용이하게 만들 수 있다는 분석결과를 얻었다. 이 결과를 이용하여 인덕턴스와 커패시턴스 특성을 동시에 갖도록 I형 DGS 슬롯의 공간특성과 open-loop 공진기를 결합한 새로운 형태의 공진기를 이용하여 대역통과 필터를 설계하였다.

제작된 대역통과 필터의 주파수 특성은 측정결과 1.803~2.29 GHz 대역폭을 가지며 대역 내에서의 반사손실은 -20 dB 이상의 특성을 갖는다 또한 낮은 주파수 대역에서의 감쇠극을 삽입함으로써 스킨트 특성을 개선할 수 있었다

참고 문헌

[1] H. Y. D. Yang, N. G. Alexopoulos, and E. Yablonovitch, "Photonic bandgap materials for high-gain printed circuit antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol.AP-45, Jan. 1997, pp. 185-187.

[2] F. R. Yang, Y. Qian, R. Coccioli, and T. Itoh, "A novel low-loss slow-wave microstrip structure", *IEEE Trans. Microwave Guided Wave Letter*, vol.8, Nov. 1998. pp. 372-374.

[3] Jong-sik Lim, Young-Taek Lee, Chul-Soo Kimm Dal Ahn, Sang-wook Nam, "A vertically periodic defected ground structure and its application in reducing the size of microwave circuits", *IEEE Trans. Microwave and wireless component letters*, vol.12, no. 12, Dec. 2002, pp. 479-481.

[4] D. Ahn, J. S. Park, C. S. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected

ground structure", *IEEE Trans. on MTTs.*, vol.49, Jan. 2001, pp.86-93.

[5] J. S. Lim, S. W. Lee, C. S. Kim, J. S. Park, D. S. Nam, "A 4:1 unequal wilkinson power divider", *IEEE Trans. Microwave and wireless component letters*, vol.11, no.3, March. 2001.

[6] R. E. Collin, "Foundations for Microwave Engineering", New York: Mc-Graw-Hill, 1966.

[7] Jeong-Soo Lim, Dong-Chul Park, "A modified chebyshev bandpass filter with attenuation poles in the stopband", *IEEE Trans. on MTTs.*, vol.45, no.6, June 1997, pp.898-904.

[8] 조영빈, 김병수, 전계석, "새로운 형태의 DGS를 이용한 저역통과 필터의 주파수 조정 설계", *한국통신학회 논문지*, 제 27권 제 12A호, 2002년 12월, pp. 101-108.

조영빈(Young-Bin Cho)

정회원



1996년 2월 경희대학교 물리학과 졸업
1998년 2월 경희대학교 전자공학과 석사
2004년 2월 경희대학교 전자공학과 박사
2004년 3월~현재 LG 이노텍

책임연구원

<관심분야> 안테나, 마이크로파 능동 및 수동회로 설계, 전자파 해석

전계석(Kye-Suk Jun)

정회원

한국통신학회 논문지 제 26권 제9B호 참조