

## DGS를 이용한 Kuroda 저역통과여파기 설계

정치현<sup>1</sup>, 윤화영<sup>1</sup>, 박광식<sup>1</sup>, 임종식<sup>1</sup>, 최흥택<sup>2</sup>, 안달<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>순천향대학교 전기통신공학과, <sup>2</sup>BcNE Global Co.

### A Design of Kuroda Low-pass filter Using DGS

Chi-Hyun Jung<sup>1</sup>, Hwa-Young Yoon<sup>1</sup>, Kwang-Sik Park<sup>1</sup>, Jong-Sik Lim<sup>1</sup>,

Heung-Taek Choi<sup>2</sup> and Dal Ahn<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Soonchunhyang University, <sup>2</sup>BcNE Global Co.

**요약** 본 논문은 구로다 저역통과여파기의 개방 스텐브에 결함 접지 구조(Defected Ground Structure; DGS)를 적용한 새로운 구조를 제시하였다. 이를 위하여 130ohm의 특성 임피던스를 갖는 개방 스텐브에 DGS를 삽입한 등가 구조를 구하였다. 이 방법은 선로의 폭을 확장하여, 구현이 어려운 구로다 저역통과여파기의 제작을 가능하게 하였다. 130ohm의 개방 스텐브는 비유전율 4.8, 기판의 두께 0.7874mm인 기판에 구현할 때 선폭이 0.1mm 이하로 구현되어야 하는데, DGS를 삽입하여 0.5mm의 폭으로 5배 이상 확장하였다. 이를 적용한 5단 구로다 저역통과여파기는 설계와 측정 결과가 매우 잘 일치함을 보여 주었다.

**Abstract** This paper presents a new open stub structure of Kuroda low-pass filter using DGS(Defected Ground Structure). The open stub having 130ohm is made with equivalent new structure using DGS. This method enable to the fabrication of Kuroda low-pass filter by extending width of the line. In case of FR4( $\epsilon_r=4.8$ ,  $h=0.7874$ mm), the width of open stub(130ohm) is under 0.1mm. But, the width of open stub using DGS can extend to the width of 0.5mm. 5th order Kuroda low-pass filter design using open stub with DGS shows excellent agreement between theoretical simulation and experimental results.

**Key Words** : Kuroda low-pass filter, DGS

### 1. 서론

최근에 DGS는 구조의 단순함, 병렬 공진회로의 쉬운 등가화, 전파지연 구조에 기인한 소자의 소형화, 높은 임피던스 마이크로스트립 전송선로의 광폭 구현 가능하게 한다. 또한 이로 인한 신호 처리 능력 개선, 매우 작은 소자값의 구현 가능 등 많은 장점으로 다종의 수동소자로부터 능동소자에 이르기까지 고주파 회로에 광범위하게 응용되고 있다 [1].

일반적으로 저역통과여파기를 설계할 때 차수를 높일수록 차단특성이 좋아지고 넓은 저지대역을 갖지만 회로의 크기가 커지는 단점이 있다[2].

Richard 변환 - Kuroda 공식을 적용하여 저역통과여파기를 설계하면 차수를 높이지 않고도 일반적인 체비세프 저역

통과여파기보다 차단특성이 좋고 넓은 저지대역을 갖는 여파기를 설계할 수 있다[3]. 이러한 이유에서 여파기를 설계하는 데 Richard 변환 - Kuroda 공식이 많이 응용되고 있다. 다만, Richard 변환 - Kuroda 공식이 적용된 저역통과여파기(이하 구로다 저역통과여파기)의 최외곽 개방 스텐브는 임피던스가 크므로 인해 매우 협소한 폭의 스텐브로 구현되어야 하는 어려움이 있다[4].

한편, DGS를 이용한 마이크로 스트립 선로는 일반적인 기판상에 구현하는 선로의 특성 임피던스보다 훨씬 더 높은 특성 임피던스의 구현을 가능하게 하는 연구들이 이루어져 왔다[1-2], [5-9]. 따라서, 본 논문에서는 향상된 차단특성과 넓은 저지대역을 갖는 5단의 구로다 저역통과여파기를 설계하고 임피던스가 매우 커서 구현이 어려운 개방 스텐브에 DGS를 삽입하여 보다 넓은 폭을 가지는 등가 구조를 찾고,

\*교신저자 : 안달(dahnkr@sch.ac.kr)

접수일 09년 03월 18일

수정일 09년 04월 21일

게재확정일 09년 04월 22일

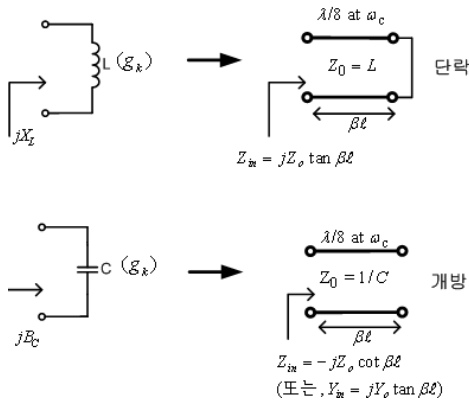
위의 여파기에 적용하여 제작하고자 한다.

## 2. 설계 이론

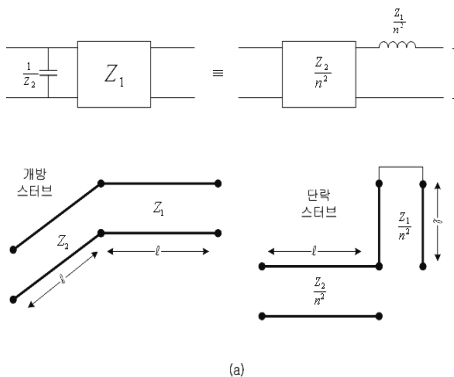
### 2.1 Richard 변환 -Kuroda 공식

집중소자 설계방식은 일반적으로 제한된 범위의 주파수에 대해서만 유용하고 UHF대역 이상의 주파수에서 구현하기가 어려우므로 분포 정수회로 소자를 가지고 근사화해야 한다. 집중소자 여파기를 분포소자 여파기로 변환할 때에는 그림 1의 Richard 변환공식과 그림 2의 Kuroda 공식을 이용하는데, 집중소자를 전송선로부로의 변환할 때는 전자들, 전송선로부를 사용하여 여파기 소자들을 분리하고자 할 때는 후자를 사용한다. 여기서 생기는 부가선로부들은 여파기 응답 특성에 영향을 미치지 않는다[3].

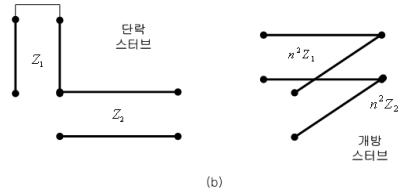
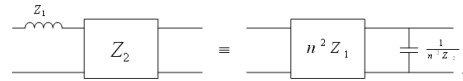
그림 3의 집중소자를 이용한 저역통과여파기를 위에서 언급한 공식을 이용하여 그림 4와 같은 분포소자로 실현할 수 있는 스티브 회로로 변환 한다[3-4].



[그림 1] Richard 변환공식

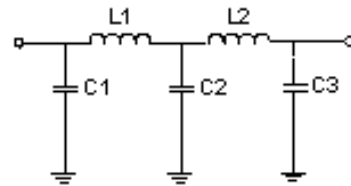


(a)

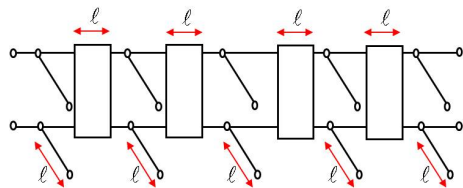


(b)

[그림 2] Kuroda 공식

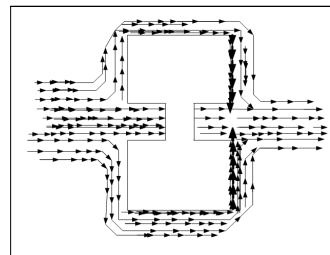


[그림 3] 집중소자를 이용한 5단 저역통과여파기



[그림 4] Richard 변환-Kuroda공식을 적용한 저역통과여파기

### 2.2 DGS 이론



[그림 5] 접지면에서의 전류 흐름

그림 5은 접지면에서의 전류 흐름을 나타낸다. 아령모양으로 식각된 패턴은 그라운드 전류 흐름을 방해하여 그림에서 화살표 방향과 같이 전류가 우회하여 흐른다. 즉, DGS는 그라운드 전류의 흐름을 식각된 크기만큼 우회시켜 전송선로의 유효 인덕턴스를 증가시키고 갭(g) 크기에 따라 커패시턴스가 나타나는 구조이다[5]-[7].

DGS를 삽입한 전송선로를 시뮬레이션하고, 그 파라미터 값을 아래 식(1)-(3)에 대입하면 DGS를 삽입한 전송선로의 L과 C의 값을 알 수 있다.[5]

$$X_{LC}|_{w=w_c} = X_L|_{w=w_c} \quad (1)$$

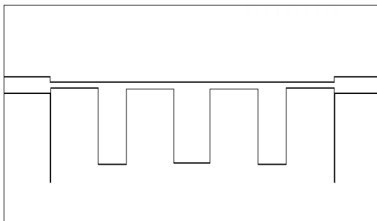
$$C = \frac{w_c}{Z_0 g_1} \cdot \frac{1}{w_o^2 - w_c^2} \quad (2)$$

$$L = \frac{1}{w_o^2 \cdot C} \quad (3)$$

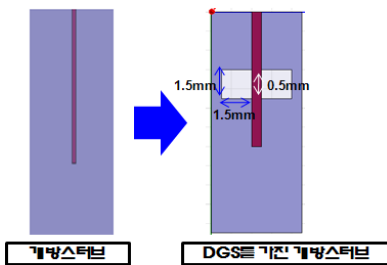
### 3. 시뮬레이션 및 제작

#### 3.1 구로다 지역통과여파기 설계

앞의 과정을 통해 중심주파수가 3GHz, 리플이 0.5dB 인 5단의 구로다 지역통과여파기를 그림 6과 같이 비유전율 4.8, 기판의 두께가 0.7874mm인 FR4 기판에 설계하였다. 최외곽의 개방 스테르브는 130ohm의 임피던스를 가지며, 0.1mm의 폭으로 구현된다. 이것을 실제로 제작하기에는 스테르브의 폭이 너무 얇아 어려움이 있다. 따라서 개방 스테르브에 DGS를 적용하여 선로의 폭을 그림 7과 같이 넓혀 구현하였다.



[그림 6] microstrip 구로다 지역통과여파기



[그림 7] DGS 삽입 후 Kuroda 선로의 비교

개방 스테르브에 1.5mm×1.5mm의 패턴과 0.5mm의 갭

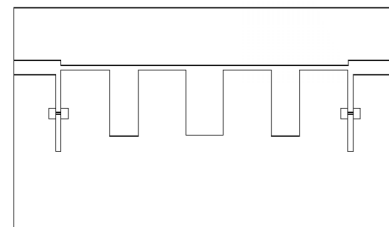
크기를 가지는 DGS를 적용하면 기존의 폭보다 5배 증가한 0.5mm의 폭에서 130ohm의 특성 임피던스를 나타낸다. 또한 전파 지연 특성으로 인해 스테르브의 길이도 줄여주는 효과가 있다.

표 1은 Ansoft HFSS V11으로 DGS의 덤벨 크기 및 갭 간격을 변화하며 시뮬레이션 한 것이다. 개방 스테르브의 임피던스와 공진 주파수는 시뮬레이션을 통해 알 수 있고, 이것을 통해 DGS를 적용한 스테르브를 등가적으로 구현할 수 있다.

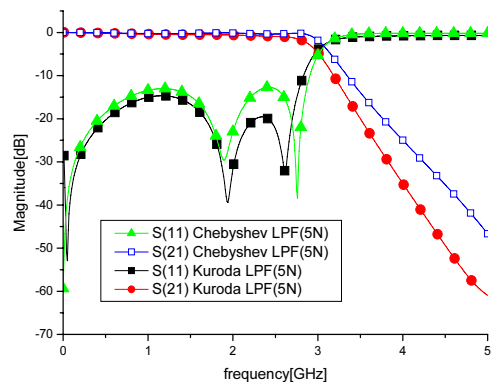
DGS를 적용하여 등가적으로 구한 개방 스테르브를 그림 8과 같이 구로다 지역통과여파기에 적용하고 시뮬레이션 하였다.

[표 1] DGS dumbbell size 및 gap에 따른 변화

LINE	gap (mm)	DGS (mm)	F <sub>c</sub> (Ghz)	F <sub>reson</sub> (Ghz)	dB	C(pF)	L(nH)
7mm 0.5mm	0.3	1.5	4.77	5.62	-24.27	0.673	1.402
	0.5	1	4.81	5.81	-27.04	0.627	1.386
	0.5	1.5	4.73	5.70	-26.37	0.626	1.457
	0.5	1.8	4.64	5.63	-26.55	0.618	1.489
	0.7	1.5	4.85	5.77	-21.27	0.602	1.438

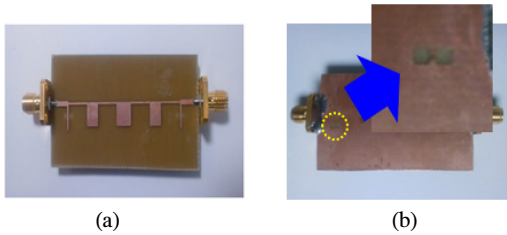


[그림 8] DGS를 삽입한 구로다 지역통과여파기

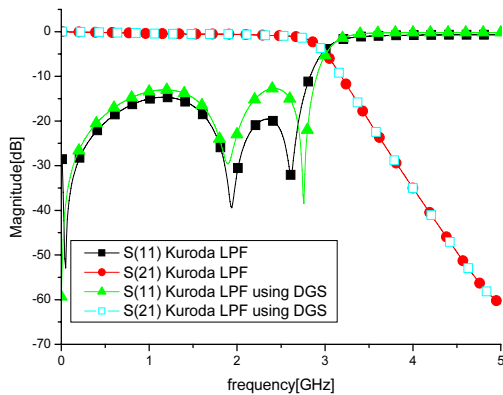


[그림 9] 구로다 지역통과여파기 및 체비셰프 지역통과여파기의 특성 비교

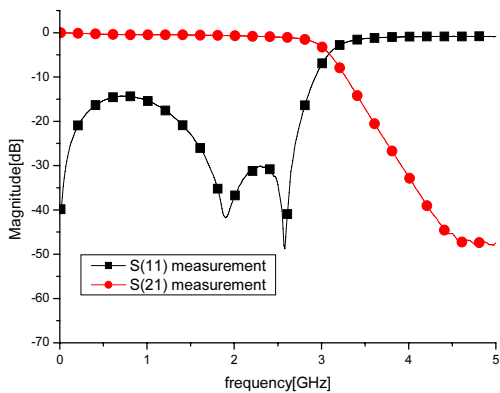
5단 구로다 저역통과여파기와 체비셰프 저역통과여파기의 S-파라미터를 비교하면 저지대역이 넓고, 차단특성이 우수한 것을 그림 9에서 볼 수 있다. 또한 구로다 저역통과여파기의 최외곽 개방 스테르브에 DGS를 적용하여 0.1mm의 폭을 0.5mm의 폭으로 5배 정도 넓게 구현할 수 있었다. 이 때 시뮬레이션 결과는 그림 11과 같다. 이것을 실제 제작하고 측정기로 측정한 결과는 그림 10과 12에서 보여준다.



[그림 10] FR4 기판으로 제작한 구로다 저역통과여파기 (a) 앞면 (b) 뒷면



[그림 11] 구로다 저역통과여파기와 DGS를 적용한 구로다 저역통과여파기 비교



[그림 12] 구로다 저역통과여파기의 측정 결과

## 4. 결론

본 논문에서는 차단 특성이 우수하고 넓은 저지대역을 갖는 구로다 저역통과여파기에 DGS를 이용하여 구현이 용이한 새로운 구조를 제안하였다. 앞에서 설계한 구로다 저역통과여파기의 최외곽 개방 스테르브는 130Ω의 특성 임피던스를 가지며, 비유전율 4.8, 기판의 두께 0.7874mm에서 폭이 0.1mm이하로 구현이 어려웠다. 이를 해결하기 위해 개방 스테르브 접지면에 DGS를 삽입하여 0.5mm의 폭으로 5배 확장한 등가 구조를 구하였고, 이것을 구로다 저역통과여파기에 적용하여 설계 및 제작하였을 때, 측정결과가 일치하였다.

## 참고문헌

- [1] 김인선, 김종욱, 안달, “결함 기저면 구조를 이용한 일반화된 체비셰프 저역 통과 필터 설계”, 한국전자파학회 논문지, vol. 17, no. 7, pp. 673-683, 2006.
- [2] 정상운, 임영광, 이해영, “결합된 결합 접지면 구조 (C-DGS)를 이용하여 향상된 차단 특성을 가지는 대역 저지 여파기”, 한국전자파학회 논문지, vol. 18, no. 7, pp. 834-838, 2007.
- [3] D. M. Pozar, 초고주파공학, 대영사, pp. 525-550, 1994.
- [4] Reinhold Ludwig, Ravel Bretchko, RF Circuit Design, international edition, pp. 241-253, 2000.
- [5] 김철수, “결함기저면 구조의 모델링과 마이크로파 회로 응용에 관한 연구”, 순천향대학원 박사학위 논문, pp. 3-13, 2001.
- [6] J. S. Lim, C. S. Kim, Y. T. Lee, D. Ahn, and S. Y. Nam, “A new type of lowpass filter with defected ground structure”, *in Proc. 32<sup>nd</sup> Euro. microwave conference*, pp. 32-36, September, 2002.
- [7] 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 transactions on microwave theory and techniques*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, January, 2001.
- [8] 허근창, “DGS 공진기를 이용한 3GHz 대역통과 여파기 설계방안 연구”, 충남대 대학원 석사학위 논문, pp. 1-19, 2006.
- [9] 임중식, 김철수, 안달, 정용채, 남상욱, 김광수, “결함 접지 구조를 이용한 새로운 5-단 저역 통과 여파기”, 한국전자파학회 논문지 vol. 16, no. 6, pp. 594-602, 2005.

**정 치 현**(Chi-Hyun Jung)

[정회원]



- 2009년 2월 : 순천향대학교 전기통신공학과 (공학사)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 설계 및 해석 등

**윤 화 영**(Hwa-Young Yoon)

[정회원]



- 2009년 2월 : 순천향대학교 전기통신공학과 (공학사)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 설계 및 해석 등

**박 광 식**(kwang-Sik Park)

[정회원]



- 2005년 2월 : 순천향대학교 전기통신공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신공학과 (공학석사과정)

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 설계 및 해석 등

**임 종 식**(Jong-Sik Lim)

[종신회원]



- 1991년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학사)
- 1993년 2월 : 서강대학교 전자공학과(공학석사)
- 2003년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부(공학박사)
- 1993년 2월 ~ 1999년 3월 : 한국전자통신 연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원

- 2003년 3월 ~ 2003년 7월 : 서울대학교 Bk21 정보기술사업단 박사후 연구원
- 2003년 7월 ~ 2005년 9월 : 특허청 특허심사관
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 디지털방송통신구단 전파기술연구그룹 선임연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기 통신시스템공학과 교수

<관심분야>

초고주파 무선 회로/부품 설계, 능동/수동 소자 모델링 및 회로응용, 주기 구조의 모델링 및 회로응용

**최 흥 택**(Heung-Taek Choi)

[정회원]



- 1984년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 고려대학교 전자공학과(공학석사)
- 1994년 3월 : 고려대학교 전자공학과(공학박사수료)
- 1987년 9월 ~ 1994년 12월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

- 2000년 5월 ~ 2003년 12월 : (주)아이티모바일 대표이사
- 2004년 1월 ~ 2005년 12월 : (주)아이티모바일시스템즈 대표이사
- 2006년 11월 ~ 현재 : BcNE Global Co. 전무

<관심분야>

RF통신회로설계, 이동통신 시스템설계 등

**안 달(Dal Ahn)**

**[종신회원]**



- 1984년 2월 : 서강대학교 전자공학(공학사)
- 1986년 2월 : 서강대학교 전자공학(공학석사)
- 1990년 8월 : 서강대학교 전자공학(공학박사)
- 1990년 8월 ~ 1992년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1992년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기통신시스템공학과 교수

<관심분야>

RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계 등