

멤돌이형 DGS를 이용한 증폭기의 소형화

*임종식[○], **정용채, *이영택, ***안달, *남상욱

*서울대학교 전기,컴퓨터공학부, **전북대학교 전자정보공학부, ***순천향대학교 정보기술공학부

Size-Reduction of Amplifiers Using Spiral-Shaped Defected Ground Structure

*Jong-Sik Lim[○], **Yong-Chae Jeong, *Young-Taek Lee, ***Dal Ahn, and *Sangwook Nam

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

**Division of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University

***Division of Information Technology Engineering, SoonChunHyang University

Abstract

A new method to reduce the size of amplifiers and reject harmonics using spiral-shaped defected ground structure (Spiral-DGS) is presented. Spiral-DGS microstrip line provides increased slow-wave factor (SWF) and excellent rejection characteristics like band rejection filters. The reduced line lengths by Spiral-DGS are 39% and 44% of the original lengths in input and output matching networks, respectively. It is shown that the measured S-parameters of the reduced amplifier agree well with those of the original amplifier. The measured second harmonic of the reduced amplifier is much less than that of the original amplifier by at least 10dB.

I. 머리말

마이크로파 증폭기 설계에서 가능한 한 소형화하는 것이 중요한 설계 목표중의 하나이다. 이 때 기본적인 전제가 되는 것은, 소형화에 따른 심각한 성능 저하가 있어서는 안된다는 것이다. 이미 설계된 증폭기 회로에 대하여 소형화와 동시에 이같은 목표를 달성시키는 대표적인 방법으로, 정합 회로 내의 전송선로에 주기 구조를 삽입하여 전파 지연 효과(slow-wave effect)를 증가시키는 방법을 들 수 있다. PBG(photonic bandgap), DGS(defected ground structure)와 같은 주기 구조를 결합시킨 평면형 전송선로가 표준형 전송선로보다 더 큰 전파 지연 상수(slow-wave factors, SWF)를 갖는다는 사실이 이미 잘 알려져 있다[1-3].

DGS의 경우, 기존에 아령형보다 더욱 증가한 등가 인덕턴스를 갖는 멤돌이형 DGS(Spiral-DGS)가 제안되기도 하였다[4,5]. Spiral-DGS를 지니는 전송선로는 표준형 전송선로보다 더욱 큰 SWF를 갖기 때문에 매우

흥미롭다. 그래서 Spiral-DGS가 증폭기의 정합회로 내에 응용된다면, 회로의 크기가 크게 줄어들 것으로 기대할 수 있다. 또한 기존의 아령형 DGS로 길이를 줄인 증폭기보다도 더욱 작은 크기로 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 더구나, Spiral-DGS가 어떤 특정 주파수에서 매우 급격한 대역 차단 특성(band rejection characteristic)을 갖기 때문에 증폭기 하모닉 성분 제거에도 탁월한 효과를 나타낼 것으로 예측할 수 있다.

II. Spiral-DGS를 지니는 마이크로스트립 전송선로의 특성

그림 1은 표준형 마이크로스트립, 아령 모양(dumb-bell)의 DGS, 그리고 Spiral-DGS를 지니는 마이크로스트립 선로들을 보여주고 있다. G와 S는 결합 부분의 면적으로, 비교를 위하여 같은 면적을 취하였다. A, B, C는 G와 같은 길이를 갖는 기준면이다. W1과 W2는 멤돌이형 결합의 제거되는 부분과 남는 부분의 선포이

고, SW 는 연결 슬롯의 폭이다. W50 은 50Ω 마이크로 스트립 선로의 선폭이다.



그림 1. (a) 표준형 마이크로스트립 선로 (b) 아령형 DGS 를 지나는 마이크로스트립 선로 (c) 맴돌이형 DGS 를 지나는 마이크로스트립 선로(기판 두께=20mils, $G=S=A=B=C=2\text{mm}$, $SW=W1=W2=0.2\text{mm}$, $\epsilon_r=2.6$)

Fig. 1. (a) A standard microstrip line (b) A microstrip line with unit dumb-bell shaped DGS (c) A microstrip line with unit Spiral-DGS ($G=S=A=B=C=2\text{mm}$, $SW=W1=W2=0.2\text{mm}$, $\epsilon_r=2.6$, Substrate thickness=20mils)

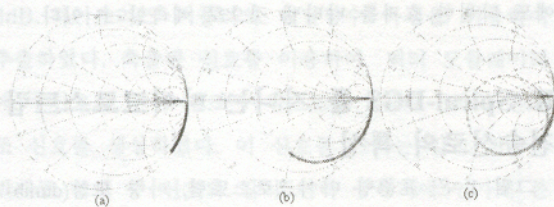


그림 2. 마이크로스트립 선로의 전기적 길이(10GHz 까지) (a) 기준면 "A" (b) 기준면 "B" (c) 기준면 "C"

Fig. 2. Electrical lengths of three microstrip lines up to 10GHz over (a) the plane "A" (b) the plane "B" (c) the plane "C"

마이크로스트립 선로의 길이는 "L"로 같지만, 그림 1(b)의 전기적 길이(θ')가 그림 1(a)의 전기적 길이(θ)보다 길다. DGS 에 의한 등가회로 성분이 부가되었기 때문이다. 마찬가지로 그림 1(c)의 전기적 길이(θ'')가 θ' 보다 길다. 그래서 θ'' 가 가장 크게 되는데, 이것은 그림 1(c)의 SWF가 가장 크다는 것과 같은 의미이다.

그림 2 는 세 마이크로스트립 선로를 2mm 길이를 갖는 기준면 A, B, C 까지 디임베딩(de-embedding)하여 S_{21} 의 위상을 10GHz 까지 그려본 것이다. 예상대로 세 번째 것의 전기적 길이가 가장 길게 나타나고 있다. 이로부터, 만약에 어떤 증폭기의 정합회로 내에 포함된 표준형 마이크로스트립 선로의 접지면에 Spiral-DGS 를 삽입한다면 정합회로의 크기를 크게 줄일 수 있음을 알 수 있다.

그림 3 은 그림 1의 세 마이크로스트립 선로의 기준면 A, B, C 에서의 SWF 를 보여주고 있다. 예상대로 Spiral-DGS 를 지나는 선로의 SWF가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 Spiral-DGS 를 지나는 짧은 선로가, 동일한 전기적 길이를 지니면서 물리적으로는 훨씬 긴 표준형 전송 선로를 대신할 수 있다.

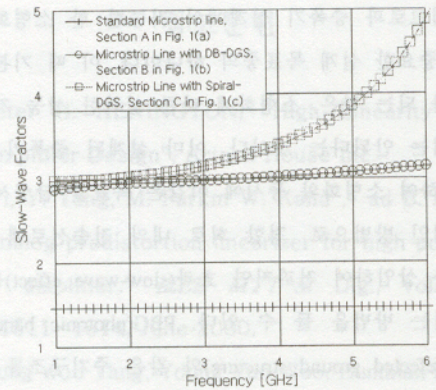


그림 3. 세 마이크로스트립 선로의 전파지연상수

Fig. 3. Slow-wave factors of three microstrip lines

III. Spiral-DGS 를 이용한 증폭기의 소형화와 성능

그림 4(a)는 소형화된 증폭기의 비교 대상이 되는 표준형 마이크로스트립 선로를 갖는 증폭기(원증폭기)

이다. 입,출력 정합회로의 L1 (=13mm), L2 (=18mm)로 표현된 직렬 선로 부분이 Spiral-DGS 를 이용한 길이 축소 대상이 된다.

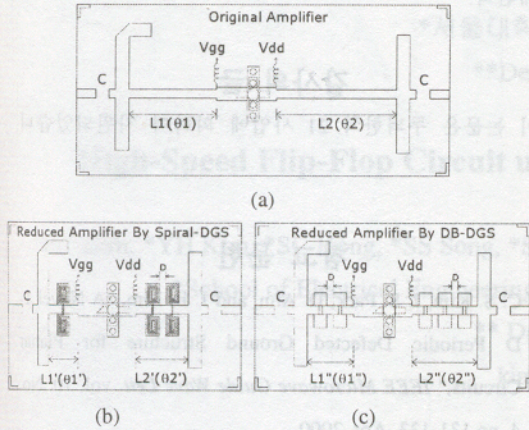


그림 4. 증폭기의 레이아웃 (a)원증폭기 (b)맴돌이형 DGS 에 의하여 소형화된 증폭기 (c)아령형 DGS 에 의하여 소형화된 증폭기 (D=1mm)

Fig. 4. Layout of the (a) original amplifier (b) reduced amplifier by Spiral-DGS and (c) reduced amplifier by DB-DGS (D=1mm)

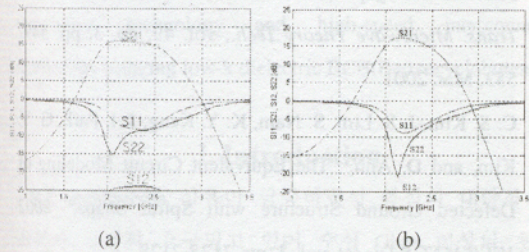


그림 5. 측정된 성능 (a)원증폭기 (b)소형화된 증폭기
Fig. 5. Measured performances of the (a) original amplifier and (b) size-reduced amplifier by Spiral-DGS

그림 4(b)는 정합회로에 Spiral-DGS 를 지나는, 소형화된 증폭기의 레이아웃을 보여주고 있다. 그림 1(c)의 결합 집지면 영역(2mm x 2mm)이, 보다 큰 SWF 를 위하여 2mm x 3.4mm 로 변경되었다. 소형화를 시도한 결과, L1, L2 는 각각 L1'(=5mm), L2'(=8mm)로 줄어들었다. L1', L2'를 L1, L2 와 비교하면 불과 39% (=5mm/13mm),

44% (=8mm/18mm) 밖에 안된다. 그림 4(c)는 기존에 제시된 방법인, 아령형 DGS 를 이용하여 길이를 소형화한 증폭기의 예를 보여주고 있다[6]. L1'', L2''가 각각 7mm, 10mm 의 값을 갖는다. 따라서 Spiral-DGS 를 이용한 소형화가 더욱 효과적임을 알 수 있다.

비록 길이가 줄었다고 하지만, 원증폭기의 정합과 성능에 있어서 큰 손실이 없어야 한다는 사실이 매우 중요하다. 이것을 확인하기 위하여 S-parameter 를 측정하여 그림 5 에 나타내었다. 두 증폭기는 서로 유사한 이득과 정합특성을 갖는 것으로 측정되었다. 이것은 Spiral-DGS 를 삽입하여 소형화하더라도, 증폭기의 성능이 그대로 유지되고 있음을 증명하는 결과이다.

IV. Spiral-DGS 를 이용한 하모닉 차단

길이 L2 로 표시된 표준형 마이크로스트립 선로는 이론적으로는 전대역 통과 특성을 갖는다. 그림 6(a)는 측정된 S-parameter 를 보여주고 있다. 만약에 증폭기의 동작주파수(F_0)가 2GHz 근처라면, 2차 하모닉($2F_0$) 주파수는 4GHz 근처이다. 이에 비하여 Spiral-DGS 가 삽입된 선로는 부가적인 등가 소자 때문에 어느 특정 대역에서 차단 대역이 형성된다. L2'로 표시된 Spiral-DGS 선로만의 측정된 S-parameter 특성이 그림 6(b)에 나타나 있다. 이 그림에 의하면, $2F_0$ 신호에 대하여 대역저지 여파기와 같은 특성을 보이고 있어서 그림 6(a)와 크기 다를 수 있다. 이로부터, Spiral-DGS 를 포함하는 출력측 정합회로는 근원적으로 하모닉 차단 능력을 갖고 있다고 말할 수 있다. 이것은 Spiral-DGS 에 의하여 소형화된 증폭기의 큰 장점이다. 이를 위하여, 원하는 하모닉 주파수에서 차단 특성을 갖는 Spiral-DGS 의 크기를 결정해 주는 것이 필요하다.

그림 7 은 기본주파수 대비 2차 하모닉 성분의 크기를 측정하여 표시한 그림이다. F_0 와 $2F_0$ 의 비를 $F_0/2F_0$ (dBc)로 나타낸 이 그림에서 매우 의미 있는 차이가 발견된다. 소형화된 증폭기의 2차 하모닉의 크기가 원증폭기보다 크게 줄어들었음을 측정결과가 분명하게 보여 주고 있다. 소형화 과정에서 Spiral-DGS 를 삽입한 것 외에는, 어떤 다른 추가적인 조치들을 취하지

않았는데도 2 차 하모닉의 크기가 크게 줄어들었다.

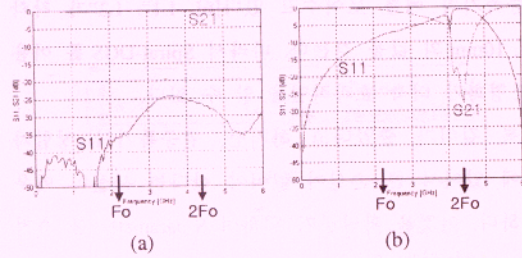


그림 6. (a)L2 로 표시된 표준형 선로의 측정된 성능
b)L2'로 표시된 맵돌이형 DGS 를 지니는 선로

Fig. 6. Measured characteristics of the (a) standard microstrip line(L2) and (b) Spiral-DGS line(L2')

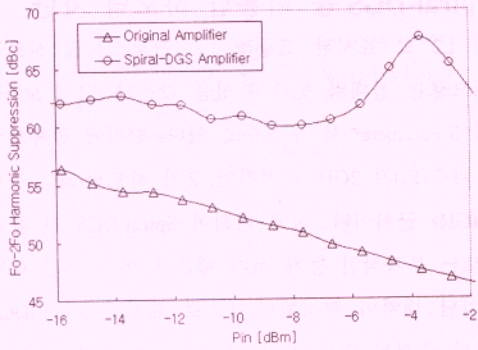


그림 7. 측정된 2 차 하모닉 성분의 크기(Fo-2Fo)

Fig. 7. Measured ratios of "Fo-2Fo"

VI. 맺음말

Spiral-DGS 를 삽입하여 증폭기를 소형화하는 방법이 제시되었다. Spiral-DGS 를 지니는 마이크로스트립 선로의 증가된 전기적 길이와 SWF 로 인하여, 원증폭기의 소형화가 시도되었다. 이 과정에서 증폭기의 이득이나 정합 특성에 심각한 손실이 발생하지 않았다.

또한 Spiral-DGS 에 의한 부가적인 등가 소자 때문에 어느 특정한 주파수에서 차단 대역이 형성되는 성질을 이용하여, 별도의 추가적인 노력 없이도 출력 정합회로에 의하여 근원적으로 2 차 하모닉의 차단 특성이 뛰어난 증폭기를 얻을 수 있음을 예측하고, 측정을 통하여 확인하였다.

제시된 방법을 용량이 보다 큰 고출력증폭기나 다른 마이크로파 회로에 응용하면, 소형화 되었으면서도 하모닉 성분이 우수한 회로를 설계할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습니다.

참고 문헌

- [1] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and J. B. Lim, "A Novel 1-D Periodic Defected Ground Structure for Planar Circuits," *IEEE Microwave Guide Wave Lett.* vol. 10, No. 4, pp.131-133, Apr. 2000.
- [2] F. R. Yang, K. P. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "A Uniplanar Compact Photonic-Bandgap (UC-PBG) Structure and its Applications for Microwave Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 47, No. 8, pp. 1509-1514, Aug. 1999.
- [3] T. Y. Yun and K. Chang, "Uniplanar One-Dimensional Photonic-Bandgap Structures and Resonators," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 49, no. 3, pp. 549-553, Mar. 2001.
- [4] C. S. Kim, J. S. Lim, S. Nam, K. Y. Kang, J. I. Park, G. Y. Kim, and D. Ahn, "The Equivalent Circuit Modeling of Defected Ground Structure with Spiral Shape," *2002 IEEE MTT-S Digest*, vol. 3, pp. 2125-2128.
- [5] J. S. Lim, C. S. Kim, Y. T. Lee, D. Ahn, and S. Nam, "A Spiral-Shaped Defected Ground Structure for Coplanar Waveguide," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 12, no. 9, pp. 330-332, Sep. 2002.
- [6] J. S. Lim, J. S. Park, Y. T. Lee, D. Ahn, and S. Nam, "Application of Defected Ground Structure in Reducing the Size of Amplifiers," *IEEE Microwave and Wireless Component Letters*, vol. 12, no. 7, pp. 261-263, Jul. 2002.