
접지면의 슬롯을 이용한 마이크로파 집적회로용 가변 감쇠기의 설계

김기래

A Design of Variable Attenuator for MMIC using Slot in the Ground Plane

Gi-rae Kim

요약

마이크로스트립 선로의 접지면에 슬롯이 있는 SGPS (Split Ground Plane Structure) 구조는 등가적으로 병렬공진 특성을 갖는다. 슬롯의 길이가 특정 주파수의 반파장과 같으면 큰 감쇠특성을 나타낸다. 본 연구에서는 SGPS 구조의 슬롯 중앙에 저항을 두고 저항 값을 가변하면 공진주파수에서 감쇠특성이 변하는 원리를 이용하여 MMIC용 가변 감쇠기를 설계하였다. 이 감쇠기에서 저항대신 PIN 다이오드를 이용하면 송수신기에서 자동이득조절(AGC) 회로에 응용할 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, the electric characteristic of the SGPS with slot in the ground plane is similar to the parallel resonant circuit. When the slot length in SGPS is equal to the half wavelength of specific frequency, the characteristic of SGPS represent the large attenuation at the specific frequency. We found out the relation between attenuation and resistor on the slot in SGPS and we designed the variable attenuator for MMIC using the variable resistor. This attenuator can be applied to AGC circuit in transceiver if the PIN diode is used replace for resistor.

키워드

마이크로파 감쇠기, MMIC, SGPS

1. 서론

본 연구에서 응용되는 분리 접지면 구조 (SGPS : Split Ground Plane Structure)와 유사한 구조는 몇 가지 분야에서 응용되어 왔다. 첫 번째로 전자회로 패키징 분야에서 아날로그와 디지털 회로의 간섭을 줄이기 위해 사용되었다[1][2]. 아날로그와 디지털 회로가 동일한 보드내에 패키징 될 경우 공통 접지에 의한 간섭을 줄이기 위해 접지면에 여러 형태의 슬롯을 두어 아날로그 부와 디지털 부의 접지

를 AC적으로 분리시킴으로써 간섭을 최소화하였다. 둘째로 안테나 분야에서 소형의 마이크로파 광대역 마이크로 스트립 안테나에 응용되었다[3][4].

마이크로 스트립 피더 라인과 방사 패치 사이의 접지면에 여러 가지 형태의 슬롯을 이용하여 다양한 빔 패턴과 광대역 특성의 안테나를 구현하였다. 세 번째로 그림 1과 같이 마이크로 스트립 선로 밑의 접지면에 슬롯을 두면 이 슬롯은 등가적으로 병렬 공진 특성을 나타낸다. 이 공진 특성을 이용하여 필터 회로 및 마이크로파 회로 설계

* 신라대학교 공과대학 컴퓨터공학부
접수일자 : 2003. 8. 28

에 응용되었다[5][6]. 본 논문에서는 슬롯의 병렬 공진 특성을 이용하여 가변 감쇠기를 설계한다. 슬롯 길이는 공진 주파수를 결정할 수 있으며 슬롯 위에 가변 저항을 두어 감쇠량을 조절할 수 있다. 슬롯의 모양을 변화시키면 다소 광대역 특성을 얻을 수 있으며, 단일 슬롯으로는 최대 25dB 정도의 감쇠를 가지는데, 연속적으로 슬롯을 2단, 3단을 이용하면 더 큰 감쇠특성을 얻을 수 있다. 본 연구의 결과는 초고주파 믹서 회로에서 영상신호와 같은 불요파를 억압하는데 이용할 수 있으며, 이 감쇠기에서 저항대신 PIN 다이오드를 사용하면 마이크로파 송수신기에서 자동이득조절(AGC) 회로 등에 응용할 수 있다.

II. SGPS의 전송특성

본 연구에서 제안하는 접지면 슬롯을 이용한 감쇠기의 기본 구조는 그림 1과 같은 분리 접지면 구조(SGPS : Split Ground Plane Structure)이다. 접지면의 슬롯은 슬롯 안테나와 같이 동작하여 슬롯의 길이가 특정 주파수의 반파장의 정수배가 되면 이 주파수는 슬롯을 통과하여 방사된다. 회로적인 특성은 윗면의 전송 선로에 대해 밑면의 슬롯은 병렬공진 특성을 갖게되어 집중소자 등가 모델은 그림 2와 같이 나타내어진다. 여기서 R은 슬롯에 대한 내부 저항을 나타내고, C는 슬롯의 간격에 따른 캐패시턴스 성분이며, L은 전류가 접지면을 통해 되돌아올 때 슬롯에 의해 우회하게 되므로 생기는 인덕턴스 성분이다. 그리고 전송 특성을 분배소자 등가 회로로 나타내면 그림 3과 같이 선로에 직렬로 단락 스텐브 두 개가 병렬로 연결된 구조로 모델링 된다.

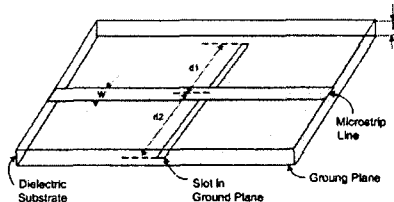


그림 1. SGPS의 구조
Fig. 1 Structure of the DGS

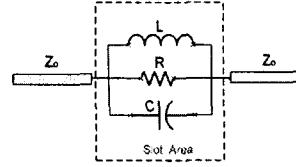


그림 2. 집중소자 등가회로
Fig. 2. Lumped element Equivalent circuit

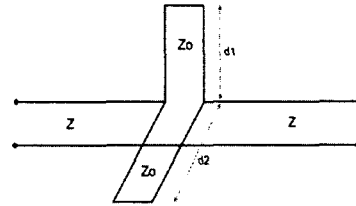


그림 3. 분배 소자 등가모델
Fig. 3. Distributed element Equivalent circuit

선로의 임피던스를 Z 라고 하고, 슬롯에 대한 스텐브(stub)의 임피던스를 Z_o ($Z_o = \sqrt{L/C}$)라고 하면 전송선로의 입력임피던스는 식(1)과 같이 주어진다. 여기서 스텐브가 단락되어 있으므로 길이가 각각 d_1, d_2 인 스텐브의 임피던스는 식(2)과 같이된다. 그리고 스텐브 두 개가 병렬로 연결되어 있으므로 전체 임피던스는 식(3)과 같다. 여기서 $\beta (=2\pi/\lambda)$ 는 선로의 위상정수이며, d_1 과 d_2 는 슬롯의 양쪽 길이를 각각 나타낸다.

$$Z_i(l) = Z_o \frac{Z_L + j Z_o \tan(\beta l)}{Z_o + j Z_L \tan(\beta l)} \quad (1)$$

$$Z_i(d_1, d_2) = j Z_o \tan(\beta d_1, \beta d_2) \quad (2)$$

$$Z_s = \frac{Z_i(d_1) Z_i(d_2)}{Z_i(d_1) + Z_i(d_2)} \quad (3)$$

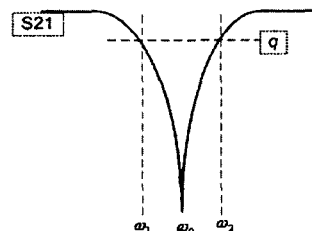


그림 4. 전송 특성
Fig. 4 Transmission Characteristic

그림 2와 3의 등가모델에 대한 전송 특성 (S_{21})은 그림 4와 같이 나타난다. 이 특성 결과로부터 등가 모델의 R, L, C 파라미터를 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 2의 등가 회로로부터 S_{21} 을 계산하면 식(4)와 같다.

$$|S_{21}|^2 = \frac{4 Z_o^2 [R^2(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2]}{4 Z_o^2 R^2(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 L^2(R + 2Z_o)^2} \quad (4)$$

공진 주파수에서는 S_{21} 은 간략히 나타내어지며, 이것으로부터 내부 저항 R과 S_{21} 의 관계를 계산하면 식(5)와 같다.

$$|S| = \frac{2 Z_o}{R + 2Z_o} \quad (5a)$$

$$R = 2 Z_o \left(\frac{1}{|S_{21}|} - 1 \right) \Big|_{\omega = \omega_o} \quad (5b)$$

주파수 $\omega = \omega_1 = \omega_2$ 에서 $S_{21}=q$ 가 되는 주파수 대역폭을 설정하여 C를 구하면 식(6)과 같다.

$$C = \frac{\sqrt{q^2(R + 2Z_o)^2 - 4 Z_o^2}}{2 Z_o R \sqrt{1 - q^2(\omega_2 - \omega_1)^2}} \quad (6)$$

그리고 식(6)으로부터 식(7)에 대입하여 L을 계산할 수 있다.

$$L = (\omega_o^2 C)^{-1} \quad (7)$$

III. SGPS 시뮬레이션 및 측정 결과

본 연구에서 제안하는 감쇠기는 SGPS의 접지면 슬롯 위에 저항을 두어 저항값에 따라 감쇠 특성이 변하는 성질을 이용한 것이다. 본 절에서는 SGPS의 특성을 분석하기 위해 HFSS를 이용한 시뮬레이션 결과와 Agilent의 Network Analyzer 8510C를 이용한 측정 결과를 나타내었다. 실험과 해석에 사용된 기판은 비유전율(ϵ_r)이 2.33, 유전체의 두께는 31.0 mil (0.7874mm)의 것을 사용하

였고, 선로의 임피던스는 50Ω 으로 하였다.

그림 5(a)와 같이 슬롯의 모양이 직사각형인 SGPS의 전송특성을 주파수 영역에서 해석하고, 실험 결과와 비교하여 그림 5(b)에 나타내었다.

슬롯의 폭(w)이 0.2mm 이고 길이(D)가 28mm인 SGPS에 대해 해석한 결과 S_{21} 에 대한 측정 결과와 전자파 해석에 의한 결과가 일치하였으며 등가 회로에서 $D (= d_1 + d_2)$ 의 길이가 신호의 1/2파장이 될 때 임피던스가 무한대가 되어 이론적으로 Port 1에서 Port 2로 신호가 전송되지 않는다. 그림 5(b)의 특성에서와 같이 주파수 4.38GHz에서 -17.58dB, 측정에서는 4.42GHz에서 -19.36 dB의 감쇠를 갖는다. 그리고 이 공진 주파수의 3배되는 주파수, 즉 해석에서는 13.14GHz에서 -14.18dB 그리고 측정에서는 13.26GHz에서 -16.5dB의 감쇠를 갖게된다. 그러나 공진 주파수는 슬롯의 길이(D)에 따라 결정되지만 폭(w)에 따라서는 변화가 크지 않다.

SGPS의 직사각형 슬롯의 모양에 따른 전송특성의 변화를 알아보기 위해 그림 6에 각각 슬롯의 폭과 길이에 따른 해석 결과를 나타내었다. 그림 6(a)에는 슬롯 폭을 0.2mm로 고정하고 슬롯의 길이가 각각 28, 24, 20, 16mm에 대한 S_{21} 의 변화를 비교하여 나타내었다. 앞에서 언급한 슬롯의 길이가 주파수의 반파장일 때 공진이 일어남을 확인할 수 있다. 그림 6(b)에는 슬롯의 길이를 28mm로 고정하고 슬롯 폭이 0.2, 0.6, 1.4, 2.2mm에 대한 S_{21} 의 변화를 비교하여 나타내었다. 슬롯의 길이를 고정하였으므로 공진 주파수는 일정해야 하지만 슬롯의 폭에 따라 약간 변화함을 알 수 있다. 슬롯의 폭이 넓을 수록 공진 주파수가 조금씩 올라가며, 슬롯의 면적이 커지므로 인해 신호 전력이 많이 누설됨을 의미한다. 0.2mm와 2.2mm를 비교하면 통과 대역에서 약 2.5dB 차이를 나타낸다.

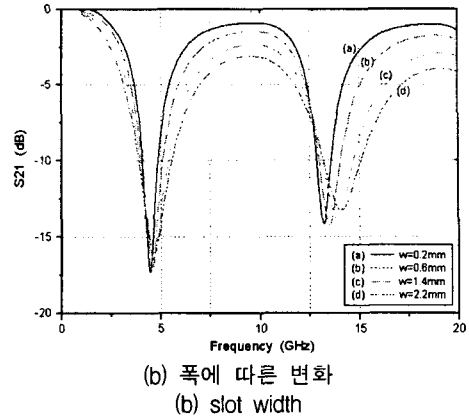
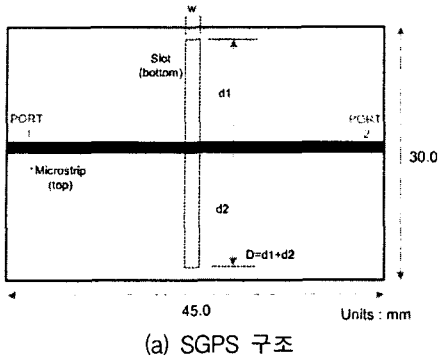


그림 6. 슬롯 구조에 따른 전송특성
Fig. 6 Characteristic for slot dimension

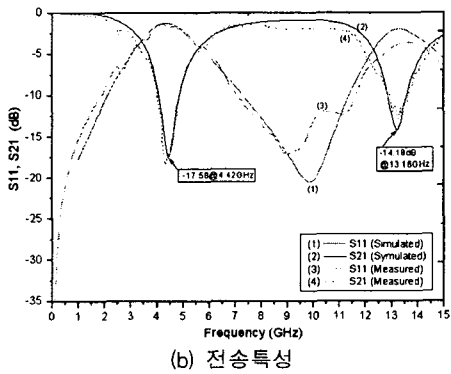


그림 5. 사각형 슬롯 SGPS 구조 및 전송특성
Fig. 5 Structure and Transmission characteristic of SGPS with rectangular slot

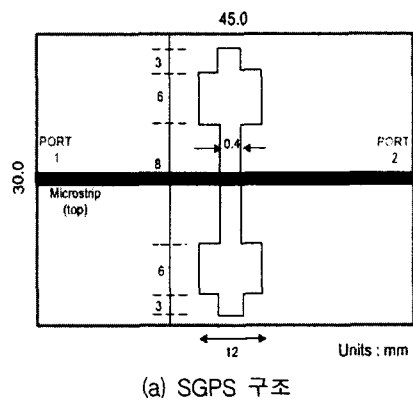
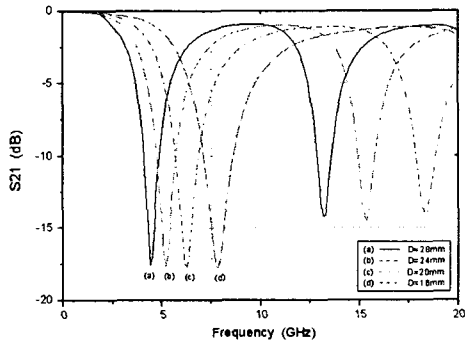
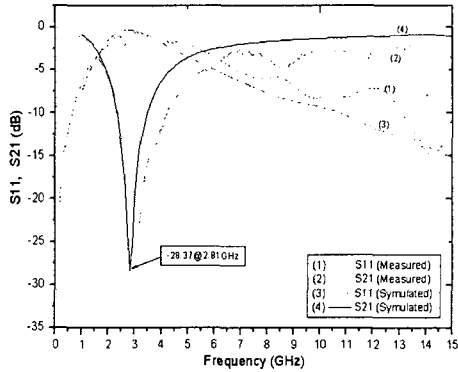
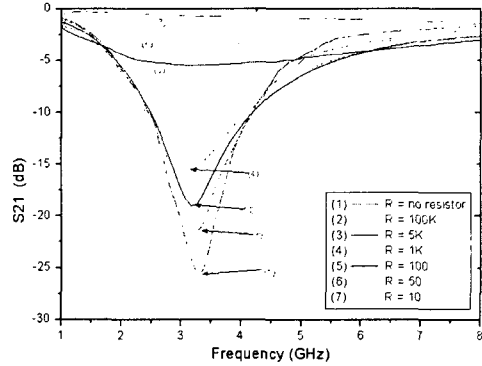


그림 5(a)와 같은 사각형 슬롯 SGPS는 상대적으로 대역폭이 좁고 기본 공진 주파수 외에 공진 주파수의 기수배에 해당하는 주파수에서 공진이 연속해서 일어난다. 이 특성을 감쇠기에 이용하기 위해서는 기수차 하모닉 특성을 제거해야하며 다소 광대역 특성을 가져야하기 때문에 슬롯의 모양을 여러 형태로 변경하여 해석 검토한 결과, 슬롯의 모양을 그림 7(a)와 같이 Dumbell 모양으로 했을 때 그림 7(b)에 나타난 바와 같이 기수차 하모닉에 대한 특성이 나타나지 않으며 감쇠 특성이 약 9dB 이상 개선되었고, 상대적으로 광대역 특성을 얻을 수 있었다.



(b) 전송특성

그림 7. Dumbell형 슬롯 SGPS 구조 및 전송특성
Fig. 7 Structure and Transmission Char. of the SGPS with Dumbell shaped slot



(b) 감쇠기의 특성

그림 8. 감쇠기의 구조 및 특성
Fig. 8 Structure and Characteristics of SGPS Attenuator

IV. 가변 감쇠기 설계 및 특성

본 연구에서 감쇠기 설계를 위한 기본 SGPS 구조는 상대적으로 대역폭이 넓고 하모닉을 제거할 수 있는 그림 7(a)의 Dumbell형으로 하였다. 감쇠기의 원리는 식(5)에서 나타낸 바와 같이 S21과 저항은 반비례 관계에 있으므로 슬롯 위에 저항을 추가하면 S21의 특성을 변화시킬 수 있다. 저항에 따른 S21의 특성 변화를 그림 8에 나타내었다. 슬롯 위에 저항을 두지 않은 경우는 26dB의 감쇠를 가지며, 저항이 100kΩ인 경우는 24dB의 감쇠를 가지며, 저항이 1kΩ인 경우는 15dB의 감쇠를 나타내었다. 이 결과를 정리하여 저항값에 대한 감쇠량의 관계를 그림 9에 나타내었다.

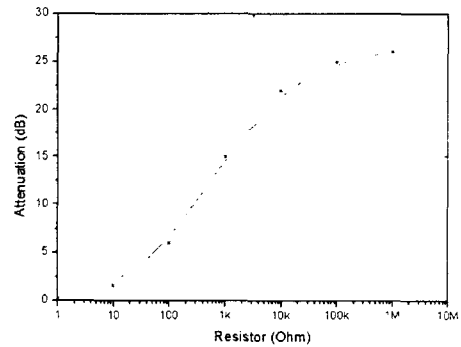


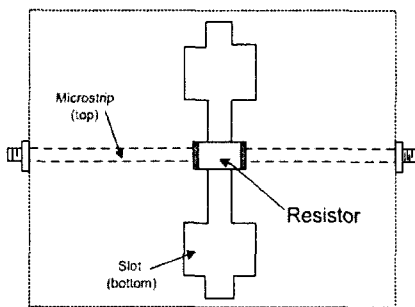
그림 9 저항과 감쇠량의 관계

Fig. 9. Relation between attenuation and resistance

V. 결론

본 논문에서는 접지면에 슬롯이 있는 SGPS의 병렬공진 특성을 이용하고 슬롯 위에 저항을 두어 가변 감쇠기를 설계하였다. Dumbell형 슬롯은 사각형 슬롯에 비해 기수차 하모닉을 제거할 수 있으며 다소 광대역 특성을 가지므로 이를 사용하였다.

Dumbell 형 단일 슬롯으로는 최대 25dB 정도의 감쇠를 가지는데, 슬롯을 2단, 3단으로 연속적으로 두면 더 큰 감쇠특성을 얻을 수 있다. 본 연구의 결과는 초고주파 믹서 회로에서 영상신호와 같은 불요파를 억압하는데 이용할 수 있으며, 이 감쇠기에서 저항대신 PIN 다이오드를 사용하면



(a) SGPS 감쇠기의 구조

마이크로파 송수신기에서 자동이득조절(AGC) 회로 등에 응용할 수 있다.

저자 소개

참고 문헌

- [1] M. I. Montrose, Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance, 2nd edition, IEEE Press, 2000, New York.
- [2] Orhanovic, N. Raghuram, R., and Matsui, N., Signal propagation and radiation of single and differential microstrip traces over split image planes, Electromagnetic Compatibility Symposium, Washington DC, Aug. 2000, pp.339-343.
- [3] K.S. Kuo and K.L.Wong, "A compact micro-strip antenna with meandering slots in the ground plane," Microwave Opt. Technology Lett. No.29, pp95-97, 2001.
- [4] K.L. Wong and H.C. Tung, "A compact patch antenna with an inverted U-shaped radiating patch," 2001 IEEE Antennas Propagation Soc. Int. Symp. Dig., pp. 728-731.
- [5] 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 Trans. Microwave Theory Tech., vol. 49, No. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [6] C. C. Chang, C. Caloz, and T. Itoh, Analysis of a Compact Slot resonator in the Ground Plane for Microstrip Structure, Proc. APMC 2001, pp.1100-1103.



김기래(Gi-rae Kim)

1986. 2 서강대학교 전자공학과 (학사) 1988. 2 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1998. 2 경남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1988-1993 : 삼성전자(주) 통신 연구소 선임연구원

1993.3-1999.2 마산대학 정보통신과 조교수

1999.3-현재 신라대학교 컴퓨터정보공학부 2002. 7-2003. 7 미국 UCLA, Post-Doc 과정 (한국과학재단 지원)

※ 관심분야 : 마이크로파 회로, MMIC 패키징 해석, 전자파해석, 다층기판 Crosstalk 해석, Interconnection