

적층형 가유전체 구조를 이용한 소형화된 저대역 통과 여파기 설계

구자경, 이재훈, 임종식, 안 달
순천향대학교 전기통신공학과
e-mail :tigerjk999@nate.com

Design of Size Reduced Low Pass Filter Using Substrate Integrated Artificial Dielectric (SIAD)

Jakyung Koo, Jaehoon Lee, Jongsik Lim and Dal Ahn
SoonChunHyang University

요 약

적층형 가유전체 구조는 유효유전율과 유효투자율은 주어진 표준형 전송선로의 경우보다 증가하므로 결과적으로 전송선로의 길이를 짧게 할 수 있는 장점이 있다. 따라서 회로의 소형화에 유용하게 사용될 수 있는데, 본 논문에서는 한 예로써 대표적인 무선 회로인 방향성 결합기의 소형화된 회로에 대하여 기술하고 있다. 표준형 회로와 적층형 가유전체 구조를 이용하여 소형화한 방향성 결합기를 2GHz 대역에서 설계하여 실제로 제작하여 측정한 결과를 제시한다. 종래의 표준형 회로와 비교할 때, 동일한 성능을 유지하면서도 회로의 크기가 49.4%만큼 감소한 결과가 소개된다.

1. 서론

적층형 가유전체(Substrate Integrated Artificial Dielectric, 이하 SIAD) 구조는 서로 분리된 두 층의 유전체 기판을 하나로 합침으로써, 결과적으로 나타나는 물리적 효과들로 인하여 회로의 크기를 감소하는데 사용할 수 있는 구조이다. 적층되는 두 개의 유전체 층에서 생기는 고유의 전기적 특성이 합성되어 하나의 새로운 유전체로서의 특성이 도출되는데 대표적으로 유효유전율과 유효투자율이 증가하고 이 두 물리량의 곱인 유효굴절율이 증가하는 특성을 보인다.

가유전체 구조는 Kock, Chon, Collin, Cheng 등의 연구자들에 의하여 오래전부터 그 개념이 연구되어 왔는데 [1]-[4], 초창기에는 부피가 크고 설계가 복잡하여 응용분야가 매우 제한적이어서 잘 알려지지 않았다. 그러나 최근에 평면형 구조에서 새로운 가유전체 구조가 제안되었고, 마이크로파 기판을 이용한 적층형 회로를 구성하는 방법들이 제안되었다[5],[6].

본 논문에서는 적층형 가유전체 구조의 구조와 현상에 관한 간단한 소개를 하고, 이를 실제로 마이크로파 회로에 응용하기 위한 사례로써 무선통신용 월킨슨 전력분배기의 소형화에 대하여 기술한다. 사용되는 적층형 가유전체 구조는 레이저 드릴 공정과 메탈 도금 공정을 통하여 제작되는데, 표준형 마이크로스트립 선로를 이용한 경우와 비교하여 동일주파수 동일성능을 유지하면서도 크기가 훨씬 작은 회로

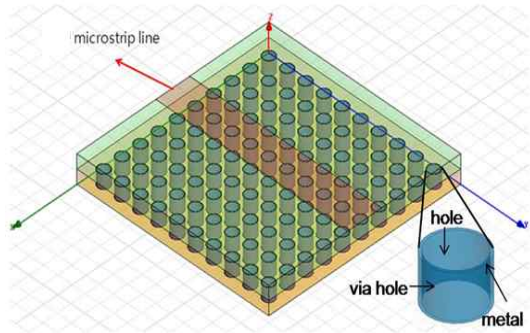
를 얻을 수 있음이 설명된다.

2. 적층형 가유전체 전송선로의 구조

그림 1은 적층형 가유전체(SIAD) 전송선로 구조의 3차원적인 구조를 보여주고 있다. 전송선로 주변에 다수의 비어홀이 존재하는 모습을 보이고 있다. 이 구조에서 윗층 기판의 상면에는 전송선로의 신호선 패턴이 구현되고, 윗층 기판의 하면 도체층은 제거된다. 아래층 기판의 경우 상면 도체는 제거되나 하면 도체층은 마이크로스트립 전송선로의 접지면 도체층을 위하여 남겨진다. 이 때 중요한 것은 아래층 기판의 유전체 사이에 무수히 많은 금속 비어홀이 2차원적인 주기구조를 형성하며 일정 간격으로 배열된다.

SIAD 구조에서는 다수의 비어홀에 의한 단위 길이당 캐패시턴스의 증가로 인한 유효유전율(effective permittivity, ϵ_{eff})의 증가와, 단위 길이당 전류의 분산효과로 인한 유효 인덕턴스의 증가 및 이로 인한 유효투자율(effective permeability, μ_{eff})이 증가하는 현상을 얻을 수 있다. 따라서 유효유전율과 유효투자율의 증가로 인하여 결과적으로 $\eta_{eff} = \sqrt{\epsilon_{eff}\mu_{eff}}$ 로 표현되는 유효굴절율이 증가하게 된다. 이 때의 전송선로에서 관내 파장은 $\lambda_g = \lambda_0/\eta_{eff}$ 인데 표준형 전송선로와 비교할 때

$(\lambda_0/\eta_{eff}) < (\lambda_0/\eta_{standard})$ 의 관계가 있다. 또한 유효 특성 임피던스는 $Z_{0,eff} = \sqrt{\mu_{eff}/\epsilon_{eff}}$ 으로 표현되어, 표준형 전송선로보다 더 낮아지는 경향이 있다[5].



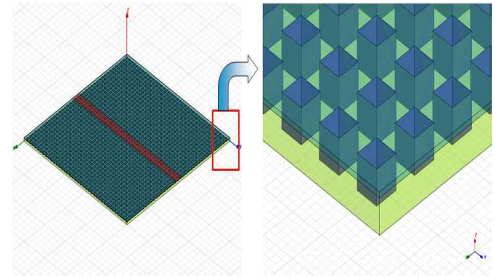
[그림 1] 적층형 가유전체 전송선로 구조

3. 적층형 가유전체 전송선로의 설계

본 논문에서는 우선 여러 가지 임피던스 중에 가장 기본이 되는 50Ω 선로를 설계하여 보았다. 비어홀은 제작시 원형으로 제작되는데, 시뮬레이션 과정에서 원형 비어홀은 메쉬 사이즈가 극히 많으므로 계산시간이 매우 길어진다. 그래서 얻게 되는 효과 대비 설계 cost가 매우 높아지는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 개선하고자 원형 비어와 전송특성이 비슷한 정사각형 비어의 크기를 결정하는 방법을 연구하고 그 결과를 이용하여 계산시간을 최소로 하면서도 효과적으로 비어를 시뮬레이션 할 수 있는 구조를 선택하였다.

예로써 그림 2는 사각형 비어를 이용한 적층형 가유전체 구조의 50Ω 전송선로의 레이아웃이다. 50Ω 전송 선로의 폭과 길이를 찾기 위해서 기본구조에서 값들을 추출하였다. 사용한 유전체 기판으로는 기판의 높이(H)가 36mils이고 (아랫층 기판 31mils + 윗층 기판 5mils), 유전율이 2.2인 기판을 선택하였다. 설계 결과 기본 마이크로스트립 전송선로 구조에서 80Ω의 임피던스가 적층형 가유전체 구조에서는 50Ω의 임피던스를 지닌 선로의 역할을 하는 것으로 확인되었다.

표 1에는 2GHz에서 50Ω을 갖는 두 전송선로의 선폭과 길이를 비교되어 있다. 기본구조의 경우보다 적층형 가유전체 구조에서는 폭과 길이가 각각 54%, 23% 감소했음을 알 수 있다. 또한 전체적으로 유효굴절률은 32%가 증가함을 보여주고 있다. 따라서 증가한 만큼 회로의 소형화를 꾀할 수 있음을 알 수 있다.



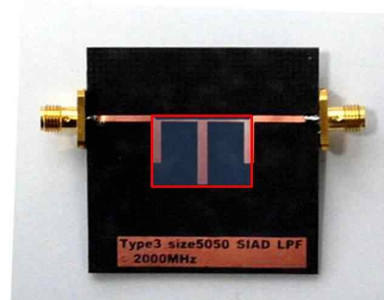
[그림 2] 적층형 가유전체 구조의 전송선로 설계를 용이하게 하기 위한 등가의 사각형 비어홀

[표 1] 적층형 가유전체 구조와 기본구조에서 50Ω 마이크로스트립 전송선로의 비교 (@2GHz)

	기본 구조	가유전체 구조
width	2.77 mm	1.28 mm
length ($\lambda/4$)	27.37 mm	20.96 mm
$\eta_{eff} = \sqrt{\epsilon_{eff}\mu_{eff}}$	1.37	1.81

4. 저대역 통과 여파기 설계

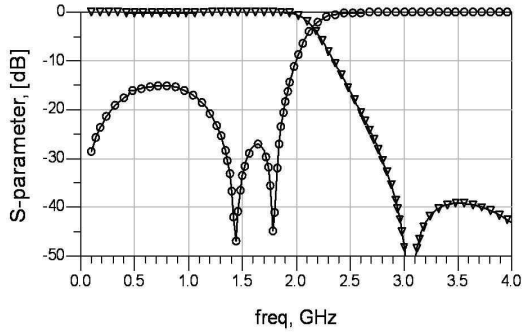
적층형 가유전체 구조를 이용하여 전송선로를 설계하고 이를 이용하여 중심주파수가 2GHz인 저대역 통과 여파기를 설계, 제작하였다. 그림 3에는 소형화된 저대역 통과 여파기의 제작 사진이 제시되어 있다. 이 그림에서 사각형 박스 부분이 입출력 연결 선로를 제외한 순수한 저대역 통과 여파기인데, 표준형 마이크로스트립 선로(기준 구조)로 설계했을 경우에는 면적이 653.71 mm²였으나, 적층형 가유전체 구조로 설계했을 경우에는 330.7mm²에 불과하였다. 따라서 약 50.6%의 면적이 감소되었음을 알 수 있다.



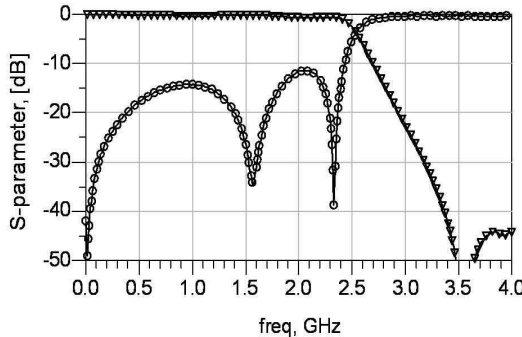
[그림 3] 적층형 가유전체 마이크로스트립 선로를 이용하여 소형화된 저대역 통과 여파기의 제작 사진

그림 4와 그림 5는 각각 적층형 가유전체 마이크로스트립 선로를 이용하여 소형화된 저대역 통과 여파기의 시뮬레이션 성능과 측정 성능을 보여주고 있다. 소형화된 저대역 통과 여파기는 시뮬레이션과 유사하며 소형화된 이후에도 여파기로서 매우 우수한 성능을 가지고 있음을 알 수 있다. 표 2에는

HFSS 및 ADS Momentum로 시뮬레이션한 표준형 결합기와 적층형 가유전체 기판으로 소형화된 결합기의 시뮬레이션 및 측정 성능이 정리되어 있다. 측정된 성능의 경우, 두 경로로의 여파기 오차가 0.1~0.3dB 이내일 정도로 우수한 결과를 보여준다.



[그림 4] 적층형 가유전체 구조의 저대역 통과 여파기의 시뮬레이션 성능



[그림 5] 적층형 가유전체 구조의 저대역 통과 여파기의 측정 성능

[표 2] 저대역 통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과 비교 (@ 2GHz)

	표준형 결합기 시뮬레이션	소형화된 결합기 시뮬레이션	소형화된 결합기 측정
S(1,1) [dB]	-19.818	-15.058	-11.408
S(2,1) [dB]	-0.419	-0.544	-0.854

5. 결론

본 논문에서는 적층형 가유전체 기판의 유효굴절률의 증가로 인한 전송선로의 소형화 및 이를 응용한 소형화된 저대역 통과 여파기에 대하여 언급하였다. 제작된 2GHz 저대역 통과 여파기는 분배기로서의 우수한 특성을 유지한 채 표준형 회로보다 면적이 약 50.6% 감소하였다. 측정된 여파기의 성능은 S(2,1) 이 -0.854dB, 1 단자에서의 반사도는 -10dB 이상으로 우수한 성능을 보여주었다.

본 논문에서 제안된 적층형 가유전체 구조를 이용한 다양한 임피던스 선로 및 이를 활용한 무선회

로의 소형화 연구는 본 연구팀에 의하여 향후에 다양한 무선회로의 소형화에 적용될 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단(또는 한국과학재단)의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0074874)

참고문헌

- [1] W. E. Kock, "Metallic delay lenses," Bell Syst. Tech. J., vol. 27, pp. 58-82, 1948.
- [2] S. B. Cohn, "Analysis of the metal strip delay structure for microwaves lenses," J. Appl. Phys., vol. 20, pp. 257 - 262, Mar. 1949.
- [3] S. B. Cohn, "The electric and magnetic constants of metallic delay media containing obstacles of arbitrary shape and thickness," J. Appl. Phys., vol. 22, pp. 628 - 634, May 1951.
- [4] S. B. Cohn, "Microwave measurements on metallic delay media," Proc. IRE, vol. 41, pp. 1177 - 1183, Sep. 1953.
- [5] Martin Coulombe, Hoang V. Nguyen, and Christophe Caloz, "Substrate Integrated Artificial Dielectric (SIAD) Structure for Miniaturized Microstrip Circuits", IEEE. Ant. and Wir. Prop. Lett. vol. 6, pp. 575-579, 2007.
- [6] I. Awai, H. Kubo, T. Iribe, D.Wakamiya, and A. Sanada, "An artificial dielectric material of huge permittivity with novel anisotropy and its application to a microwave BPF", in Proc. IEEE Int. Microw. Symp. Conf., Philadelphia, PA, Jun. 9-13, 2003, pp. 1085-1088.
- [7] David M. Pozar, Microwave Engineering, 3/e. 3. Transmission Lines and Waveguides. pp. 143-149.
- [8] N. J. Kolettis and R. E. Collin, "Anisotropic properties of strip-type artificial dielectric", IRE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-9, no. 5, pp. 436-441, Sep. 1961.
- [9] M.-K. Hu and D. K. Cheng, "A new class of artificial dielectrics", in WESCON/58 Conf. Record, Aug. 1958, vol. 2, pp. 21-25.