임의유전체 기판구조를 이용한 초고주파 증폭기의 소형화 설계

권경훈, 전역환, 구자경, 임종식, 한상민, 안달
순천향대학교

Size-Reduction of High Frequency Amplifiers Using Artificial Dielectric Substrate Structure

Kyunghoon Kwon, Yuckhwan Jeon, Jakyung Koo, Jongsik Lim, Sang-Min Han, and Dal Ahn

Soonchunhyang University

요 약

적층형 임의유전체 기판구조는 유효유전율과 유효투자율이 주어진 표준형 기판구조보다 증가하므로 결과적으로 전송선로의 길이를 줄일 수 있는 장점이 있다. 따라서 회로의 소형화에 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 한 예로써 임의유전체 기판구조를 이용한 초고주파 증폭기의 소형화에 대하여 기술한다. 표준형 기판구조와 임의유전체 기판구조를 이용하여 2GHz 대역에서 무선통신용 초고주파 증폭기를 설계하여 그 결과를 제시한다. 종래의 표준형 기판구조를 이용한 회로와 비교할 때, 동일한 성능을 유지하면서도 회로의 크기가 23%만큼 감소한 설계 결과가 제시된다.

1. 서 론

임의유전체 기판구조(Artificial Dielectric Substrate (ADS))는 서로 분리된 두 층의 유전체 기판을 하나로 합침으로써, 새로운 물리적 효과들을 유발시킬 수 있는 구조이다. 두 유전체 층 가운데 아래층에 다수의 비어홀을 삽입하면 기판구조의 중요한 물리적 파라미터 가운데 하나인 유효유전율과 유효투자율이 증가하게 된다. 보통 유효투자율의 변화는 심하지 않으므로 이를 고려하지 않더라도 단위길이당 캐피시턴스의 증가가 두드러져 유효유전율이 증가하게 된다.

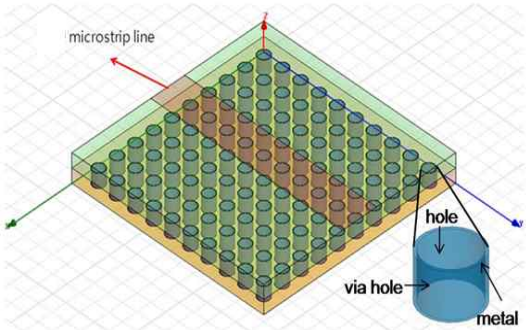
이런 임의유전체 기판구조에 대한 개념은 오래전에 일부 연구자들에 의해 제안된 적이 있으나, 초창기에는 회로의 구현방법이나 회로설계 분야의 연구가 활발하지 못하여 잘 알려지지 않았다[1]-[4]. 그러나 평면형 전송선로 구조에서 새로운 임의유전체 구조가 제안되었고, 마이크로파 회로용 전송선로의 설계에 응용되는 연구결과가 최근에 발표되었다[5],[6].

임의유전체 기판구조에서는 표준형 기판에 비하여 유효유전율이 증가하게 되므로 여기에 평면형 전송선로를 구현하면 무선통신용 초고주파 회로를 소형화할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 이를 실제로 마이크로파 회로에 응용하기 위한 사례로써 무선통신용 초고주파 증폭기의 소형화 설계에 대하여 기술한다. 설계되는 증폭기는 소형화 이전과 비교하여 유사한 성능이 유지되면서도 임의유전체 기판구조에 의한 유효유전율의 증가효과로 인하여 훨씬 크기가 줄어든 장점을 갖는다.

2. 임의 유전체 기판구조에서의 전송선로

임의 유전체 구조는 그림 1에 보인 것과 같이 아래층 기판에 이론적으로 무한개수의 비어홀이 등간격으로 삽입된다. 비어홀의 내부는 금속도금이 되어서 가장 바닥면에 넓게 펼쳐진 금속접지면과 연결된다. 윗층 기판의 윗면에는 보통의 마이크로스트립 전송선로가 구현되고 윗층 기판의 아랫면에 도포된 금속면은 제거된다. 윗층 기판이 아래층 기판 위에 놓이게 되면 윗층 기판의 아랫면에 노출된 유전체면은 아래층 기판에 구현된 다수의 비어홀 윗면에 놓이게 되어 서로 다른 두 유전체층을 접합되게 된다. 다수의 비어홀은 내부적으로 부가적인 캐패시턴스가 크게 인가되므로

유전체 기판이 본래 가지고 있는 유효유전율이 크게 증가하게 된다. 증가된 유효유전율은 비어홀의 크기나 간격에 따라서 서로 다른 값을 갖도록 조절이 가능하며, 본래보다 증가된 어떤 임의의 값을 갖게 된다. 평면형 전송선로를 구현함에 있어서 유전체 기판의 유전율이 높을수록 구현된 전송선로나 회로의 선폭과 길이가 줄어들므로, 결과적으로 회로의 소형화에 사용할 수 있다[7].



[그림 1] 임의유전체 기판구조와 마이크로스트립 전송선로

표 1에는, 한 예로서 비유전율이 2.2이고 윗층과 아래층의 기판 두께가 각각 5mils, 31mils인 두 기판으로 그림 1과 같은 임의유전체 기판구조를 형성하였을 때, 2GHz에서 50Ω을 갖는 두 전송선로의 선폭과 길이가 비교되어 있다. 80Ω의 표준형 마이크로스트립 전송선로에 해당하는 선폭(1.28mm)이 임의유전체 기판에서 50Ω의 마이크로스트립 전송선로 폭에 해당하는 것으로 확인되었다. 또한 표준형 선로의 경우보다 임의유전체 기판구조에서 선폭과 길이가 각각 54%, 23% 감소하였음을 알 수 있다. 따라서 증가한 만큼 회로의 소형화를 꾀할 수 있음을 예측할 수 있다.

[표 1] 표준형과 임의유전체 기판구조에서 50Ω 마이크로스트립 전송선로의 비교 (@2GHz)

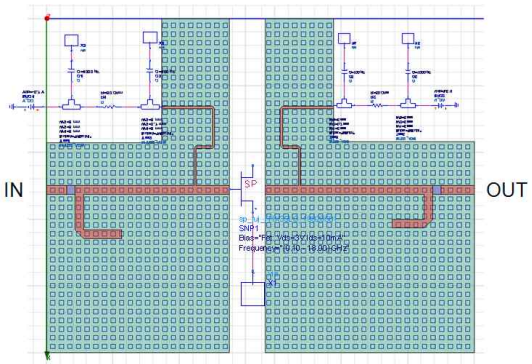
2GHz	표준형 기판	임의유전체 기판구조
선폭	2.77 mm	1.28 mm
2GHz에서 λ/4의 길이	27.37 mm	20.96 mm

3. 초고주파 증폭기의 소형화 설계

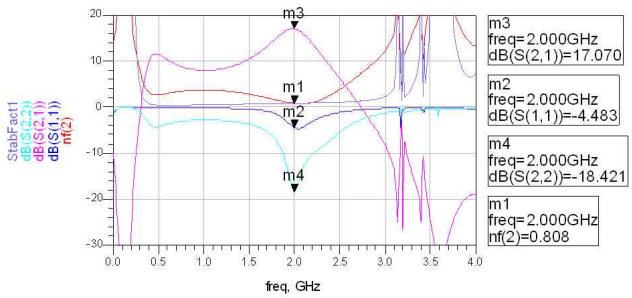
표 1에서 임의유전체 기판구조를 이용하면 전송선로의 크기가 줄어듦을 보았으므로 이제 이를 실제 회로에 적용하여 회로의 소형화 설계를 시도할 수 있다. 본 연구에서는 한 예로서 대표적인 초고주파 능동회로인 증폭기를 2GHz에서 임의유전체 기판구조로 설계하여 보았다. 본고에서는 자세하게 기술하지 않으나, 먼저 표준형 기판구조로 동일한 주파수에서 증폭기를 설계한 후 이를 소형화하는 과정을 밟았다.

그림 2는 임의유전체 기판구조로 설계된 2GHz 증폭기의 설계 레이아웃을 보여주고 있다. 임의유전체 구조에 의하여 표준형 회로설계 결과보다 약 23%만큼 크기가 감소되었다.

회로의 소형화의 장점은 단순히 크기만 줄이는데 있지 않을 것이다. 즉 원래의 특성이 그대로 유지되어야만 회로 소형화의 의미가 있다 할 것이다. 그림 3은 소형화 설계된 2GHz 증폭기의 시뮬레이션 성능을 보여주고 있다. 소형화 이전에 비하여 이득(S21)이 약18 dB로 큰 변화가 없으며, 입출력 정합계수도 소형화 이전과 유사함을 연구과정에서 확인하였다. 따라서 종래에 몇 번 시도된 적이 있는 초고주파 수동회로의 소형화는 물론, 능동회로의 소형화에도 임의유전체 기판구조를 적용할 수 있음을 확인하였다[8].



[그림 2] 임의유전체 기판구조에 설계된 초고주파 증폭기



[그림 3] 임의유전체 기판구조에 설계된 초고주파 증폭기의 성능

4. 결 론

본 연구에서는 임의유전체 기판 구조를 이용한 초고주파 대역 증폭기의 소형화 설계에 대하여 기술하

였다. 임의유전체 구조는 아래층 기판에 구현된 다수의 비어홀에 의하여 유효유전율이 표준형 기판보다 증가하는 효과를 가지고 있는데, 이를 이용하면 전송선로 및 전송선로로 이루어지는 초고주파 대역 회로를 소형화할 수 있다. 한 예로서 2GHz대 증폭기의 설계에 적용하여 소형화 이전에 비하여 약 23% 정도 회로의 크기가 줄어듦을 확인하였다. 소형화에도 불구하고 설계된 증폭기의 특성은 소형화 이전과 유사하게 유지되어 성공적인 소형화 설계가 이루어짐을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구결과임. (2012-0002905 및 KRF-2009-220-D00074)

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", *Proc. IEEE Int. Microw. Symp. Conf*, Philadelphia, PA, Jun. 9-13, 2003, pp. 1085-1088.

[7] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3/e. 3. Tramsmission Lines and Waveguides. pp. 143-149.

[8] 임종식, 구자경, 이준, 이재훈, 안달, “방향성결합기의 소형화를 위한 가유전체 기판구조의 응용", 한국산학기술학회논문지, 제 12권 제 7호, pp. 3169~3175, 2011년 7월.