
MCS선로를 이용한 스텝 임피던스 저역필터

이승엽* · 이성재* · 김온*

Stepped Impedance LPF using MCSI

Seungyeop Rhee* · Seongjae Lee* · On Kim*

<요약>

MCS(Micro-coplanar strip) 선은 전부터 분석되어 왔었다. 등각 지도로 나타낸 방법은 MCD 선의 준정적인 효과적인 유전율 그리고 독특한 임피던스를 산출하기 위하여 이용되곤 했다. 현재 이용되는 모든 성과들은 상업적인 S/W, IE3D를 사용하여 얻어진 결과와 비교할 때 유리한 계약에 있기 위해서이다. 그리고 이 부분에서, 적합한 임피던스 저역 원반꼴 안테나 여파기는 주파수 응답 개량을 위한 MCS 선으로 디자인되고 날조되었다. LPF는 구조는 또한 디자인되고 정지하여 있는 예리한 뭉음성 특성이 유지하기 위하여 끈을 실행할 수 있도록 하였다. 가장 끝과 측량 결과에서의 결과는 실행한 LPF로 확인할 수 있다.

ABSTRACT

The MCS(Micro-coplanar strip) line has been analyzed. The conformal mapping method is used to calculate the quasi-static effective permittivity and characteristic impedance of this MCS line. The computed results of the present work are found to be in good agreement when compared with the results obtained using commercial S/W, IE3D. And in this paper, the stepped-impedance low pass microstrip filter is designed and fabricated with MCS lines for improving the frequency responses. The LPF proposed structure has been also designed and implemented to have the sharp attenuation characteristics in stop band. The agreement between simulation and measurement results verify the implemented LPF.

키워드

MCS선로, CPW, MCS, ACPW

1. 서론

MMIC에서 주로 사용하고 있는 선로는 마이크로스트립 선로나 CPW(Coplanar Waveguide)를 기본으로 한 선로를 많이 사용하고 있다.[1~4].

특히, CPW는 마이크로스트립 선로에 비해 단일 평면내에 접지 면과 선로가 같이 있어 병렬 연결하는 소자를 쉽게 연결할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에

많이 사용되고 있다. 그러나 전력손실특성이 나쁘다는 단점과 기계적으로 약하다는 단점을 가지고 있다. 따라서 CPW 단점을 개선하기 위한 여러 가지 방법을 사용하고 있는 데 이 중 하나가 CPW에 도체접지면을 추가하는 것이다. 이런 선로를 접지면을 갖는 CPW(conductor-backed CPW)라고 한다. 이렇게 함으로써 전력손실 뿐만 아니라 주변 환경의 영향을 작게 받으며, 높은 기계적강도의 장점을 구현할 수 있다. 그러나 집적

* 전남대학교 전기전자컴퓨터공학부 전자통신공학과
접수일자 : 2008. 08. 04

도를 높일 때 나타나는 선로 근처의 접지와 결합으로 인한 효과 “근접 효과(Proximity Effect)”로 인해 선로 자체 특성 변화가 있어 이 효과에 대한 영향을 예측하는 것은 매우 중요하다.[3] 따라서 본 논문에서는 등각 사상(Conformal mapping)법을 사용하여 그림 1과 같이 두개의 접지면이 근접한 MCS(micro-coplanar strip)라고 불리는 선로를 해석함으로써 근접효과에 대한 영향을 계산하고자 한다.

무선통신의 급격한 발전으로 저역통과 필터는 좀 더 엄격한 사양을 요구 받고 있다. 즉 소형, 경량, 저가격은 물론이고 넓은 저지 대역, 급격한 차단 특성 등이 저역 통과 필터의 중요한 설계 조건으로 대두되고 있다. 여기서는 인덕터와 커패시턴스부분을 ACPW선로를 이용하여 스텝 임피던스 필터를 구현하였다. 이 구조를 적용한 저역 필터는 3GHz의 최대 통과 주파수를 갖도록 설계하였으며 기본 저역 필터 설계값은 0.5dB 리플을 갖는 3차 chebyshev 필터를 기본으로 하였다. 그리고 제안된 저역 통과 필터는 상용 프로그램으로 필터의 주파수 특성을 해석하였고 제작된 필터의 실험치와 비교하여 응답특성을 분석하였다.

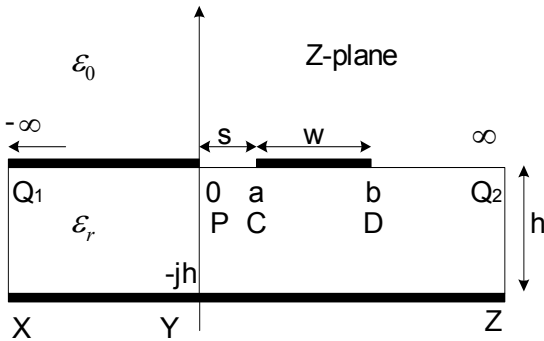


그림 1. 접지면을 갖는 MCS선로 구조
Fig. 1 Structure of MCS line with ground

II. 등각사상법에 의한 접지면을 갖는 MCS선로 해석

각상방법은 해석하기 어려운 구조를 Schwarz-Christoffel 변환처럼 적당한 변환함수를 사용하여 해석하기 쉬운 간단한 구조로 바꾸어 특성을 바꾸는 방법으로 변환가능하기만 하면 어떤 복잡한 구조에 대해서도 적

용할 수 있고 결과를 얻기 위해 반복적인 과정을 수행할 필요가 없고 결과적으로 결정된 수식으로 간단하게 주어지므로 쉽고 빠르게 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.

이런 등각사상법은 준정적(quasi static)해석 방법 중의 하나로 주파수에 대해서는 고려를 하지 않지만 마이크로파 대역에서 만족할 만큼의 정확성을 얻을 수 있어 현재도 많이 사용되고 있는 해석 방법이다.

해석하고자 하는 선로 구조는 그림 1과 같다. 선로는 크게 접지면을 갖는 ACPW로서 바닥에 접지면과 폭이 w 인 도체선로와 동일 평면에 근접하여 무한 접지면으로 이루어진 구조이다. 각 도체들의 두께는 무시할 정도로 얇다고 가정한다. 또한 공기와 유전체사이의 경계면은 완전 자계벽(Neumann 경계조건)으로, 도체면은 완전 전계벽이라고 가정한다. 선로의 특성을 계산하기 위해 필요한 단위길이당 선로의 총 커패시턴스는 공기 쪽 윗면의 커패시턴스와 유전체 기판쪽 아랫부분의 커패시턴스의 합으로 구한다. 각 커패시턴스를 C_1 과 C_2 로 표시하면 총 커패시턴스는 다음과 같다. 먼저 커패시턴스를 구하기 위해 선로 윗부분을 평행판으로 바꾸기 위해 다음과 같은 변환함수를 사용한다.

$$w = A \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{t(t-a)(t-b)}} + B \tag{1}$$

t 평면의 사각형 모양에 대한 가로와 세로의 비는 다음과 같이 타원적분으로 나타내진다.

$$\frac{K(k)}{K(k')} \tag{2}$$

여기서, $K(k)$ 는 제1종 타원 적분함수이다. 그리고 $k = \sqrt{a/b} = \sqrt{s/(s+w)}$ 이고 $k' = \sqrt{1-k^2}$ 이다.

따라서 C_1 은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$C_1 = \epsilon_0 K(k)/K(k') \tag{3}$$

선로의 아랫부분에 대한 커패시턴스 C_2 도 C_1 를 구하는 같은 방법을 적용하면 쉽게 구할 수 있다. 이 때 파라미터는 다음과 같다.

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_r K(k_1) / K(k'_1) \quad (4)$$

$$\text{여기서, } k_1 = \sqrt{s_1 / (s_1 + w_1)}$$

$$t = \exp(z\pi/h),$$

$$s = C_t - P_t = \exp(s\pi/h) - 1,$$

$$w_1 = D_t - C_t = \exp(s\pi/h) [\exp(w\pi/h) - 1] \quad \text{이다.}$$

따라서 총 커패시턴스 C는 두 커패시턴스임으로 다음과 같다.

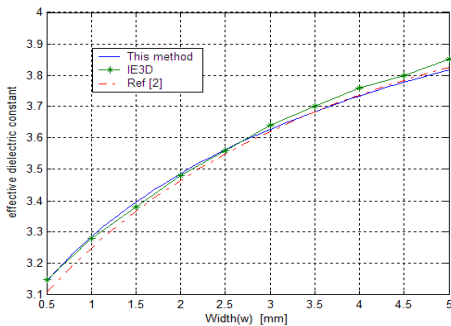
$$C = C_2 = \epsilon_0 K(k) / K(k') + \epsilon_0 \epsilon_r K(k_1) / K(k'_1) \quad (5)$$

이것으로부터 유효유전률 및 특성임피던스를 구하면 다음과 같다.

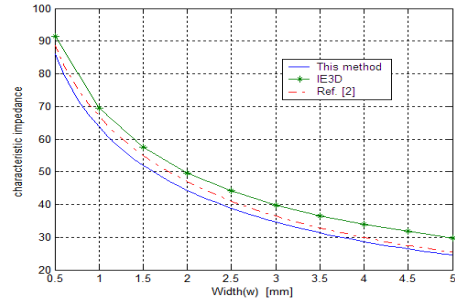
$$\epsilon_{eff} = C(\epsilon_r) / C(\epsilon_r = 1) = \frac{1 + \epsilon_r \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \frac{K(k)}{K'(k)}}{1 + \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \frac{K(k)}{K'(k)}} \quad (6)$$

$$Z_o = 1 / (V_{ph} C) = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \frac{1}{\frac{K'(k)}{K(k)} + \frac{K'(k_1)}{K(k_1)}} \quad (7)$$

위 식에 대한 정확도는 $h > (s+w)$ 인 경우에 만족할 만한 정확도를 얻을 수 있다.



(a) 유효유전율



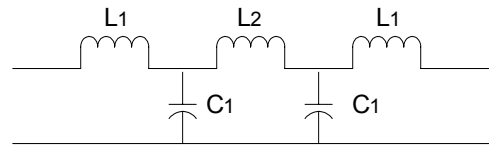
(b) 특성임피던스

그림 2. 접지면을 갖는 MCS선로에 대한 결과 비교
Fig. 2. Compared results of MCS lines with ground

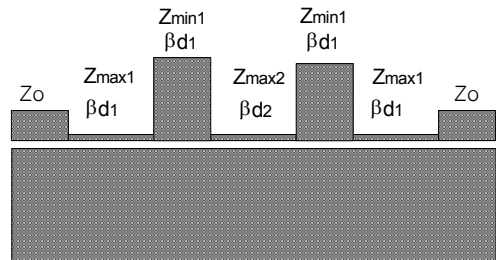
그림3은 유도된 위 식들에 대한 비교 분석을 위한 것으로 결과로 적분법을 기반으로한 상용 프로그램인 IE3D 프로그램의 결과와 비교한 것이다. 유전율 4.6과 두께 1.0mm인 기판에 선로와 접지간의 거리가 0.5mm(s)일 때 선로 폭(w)가 0.5~5.0mm까지 변할 때 유전율과 임피던스 값을 비교한 것이다. 그림 3의 결과에서 알 수 있듯이, 상용프로그램에서 구한 값과 등각사상법으로 구한 값은 거의 일치함을 볼 수 있다.

III. 필터 제작 및 실험

위의 결과를 사용한 필터 설계 과정은 그림 3과 같다.



(a) 집중소자를 이용한 필터



(b) 접지면을 갖는 ACPW선로를 이용한 필터



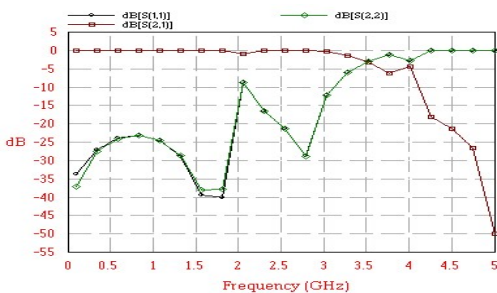
(c) 제작된 필터

그림 3. 접지면을 갖는 ACPW를 이용한 제작된 저역통과 필터

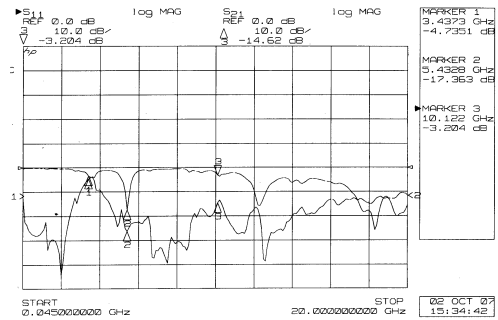
Fig. 3. fabricated low pass filter with conductor-backed ACPW

그림 3a는 최대 통과 주파수는 3GHz까지 이며 저지 주파수 대역에서는 20dB이하의 감쇄를 갖도록 사양을 갖는 3차 chebyshev 필터를 집중소자로 구현한 것이다.[5,6] 그림 3b는 집중 소자로 구현된 필터의 구성 요소를 스텝 임피던스 구조로 바꾸어 필터를 구현한 것이다. 여기서는 기본적으로 IE3D 프로그램을 사용하였다.[7] 그림 3c는 제작된 필터 사진으로 필터 설계 및 제작에 사용된 기판은 유전율이 4.4이고, 두께1.5mm의 범용FR4기판을 사용하였다.

각 필터의 측정 결과를 그림 4에 나타내었다. 각 필터는 높은 임피던스와 낮은 임피던스를 사용해 제작되었고, 집중소자를 이용한 필터와 비교하였다. 설계된 필터를 상용 프로그램을 이용한 이론치와 제작된 필터를 HP8510C 네트워크 분석기를 이용한 측정치의 주파수 응답특성을 비교 분석하였다.



(a) 모의 실험한 필터 특성



(b) 제작된 필터 특성

그림 4. 필터의 주파수 응답

Fig. 4 frequency responses of the fabricated low pass filter using MCS lines

그림 3b에서 커패시턴스 성분인 낮은 임피던스의 전송선로의 치수는 폭(Wc)이 5.0mm이고 길이(Lc)는 5.5mm이다. 인덕턴스 성분인 높은 임피던스의 전송선로의 치수는 폭(Wl1)이 0.5mm이고 길이(Ll1)는 3.5mm와 길이(Ll2)는 6.5mm이다. 그리고 50Ω 급전선의 선로 폭은 2.0mm로 최적화하였다. 낮은 임피던스 전송선로와 인덕턴스 크기의 초기값은 산란계수로부터 등가 회로소자값을 추출하는 방법을 이용하여 선정하였다.[6]

제작된 필터의 통과 대역에서 삽입손실은 0.5dB이며, 반사손실은 -20dB이하로 측정되었다. 그리고 차단 대역에서의 신호 차단특성은 -15dB로 측정되었다.

측정 결과 필터의 크기는 크게 변함이 없고, 기존의 마이크로스트립 선로로 만든 필터와 큰 차이는 없으나 향상된 차단 특성을 보이고 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 접지면 MCS선로를 이용하여 스텝임피던스 저역통과 필터의 특성을 향상시키는 연구를 수행하였다. 특히 통과대역에서 차단 특성은 많은 개선을 보였다. 기존의 5차 스텝임피던스 저역필터 특성과 비교해 보면 저지 대역의 밴드 폭, 통과대역의 삽입손실과 반사손실 등에서도 좋은 특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Won No. and H. Yong Hwang,, "A design of cascades CPW low-pass filter with broad stopband ,"IEEE Microwave and Wireless Componets Lett. ., vol. 17 ,no.61, pp.427-429, June., 2007.
- [2] Kee Woon Tan and Uysal,"analysis and Design of Conductor-Backed Asymmetric Coplanar Waveguide Lines Using Conformal Mapping Techniquess and Their application to end-Coupled Filters," IEICE Trans. Electron., Vol. E82-C,No. 7, pp. 1098-1103,July 1999
- [3] Y. Qian and E. Yamashita, "Additional approximate formulars and experimental data on micro-coplanar striplines,", IEEE Trsans. Microwave Theory Tech., vol. 38, no. 4 ,pp. 443-445, Apr., 1990.
- [4] G. Ghino and C. U. Naldi,"Coplanar waveguide for MMIC application:Effect of upper shielding, conductor backing, finite-extent ground planes, and line-to-line coupling," IEEE Trsans. Microwave Theory Tech.,vol. 35, no. 3,pp.260-267, March, 1987.
- [5] David M. Pozar, "Microwave engineering ", Addison-Wesley, Massachusetts, 1990
- [6] J. Hong and M. J. Lancaster, " Microstrip filters for RF/microwave applications,"John Wiley & Son, INC.,2001.
- [7] IE3D manual, Zealand software

저자 소개



이승엽(Seung-Yeop Rhee)

1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 8월 : 연세대학교 전자공학과(공학박사)

1993년 9월 ~ 2006년 2월 : 국립여수대학교 전자통신공학과 교수

2004년 7월 ~ 2005년 8월 : Syracuse 대학교 방문교수
2006년 3월 ~ 현재 전남대학교 전자통신공학과 교수

※ 주 관심분야 : 안테나 해석 및 설계, 초고주파 회로 설계, 전자파 해석



이성재(Seong-Jae Lee)

2004년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학사)

2007년 8월 : 전남대학교 전자통신공학과(석사과정)

※ 주 관심분야 : 안테나 해석 및 설계



김 온(On Kim)

1994년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학사)

2002년 2월 : 여수대학교 전자통신공학과(공학석사)

2007년 2월 : 전남대학교 전자통신공학과(공학박사)

2001년 4월~현재 : 프로닉스 대표

2006년 3월~현재 : 전남대학교 전자통신공학과 겸임교수

※ 주 관심분야 : 마이크로프로세서 및 안테나공학