

Coplanar Waveguide를 이용한 대역통과 필터 설계

김종국^{**}, 남윤권^{*}, 서종우^{*}, 박동철^{*}

*충남대학교 전자공학과

E-mail : jksunah@hanmail.net

Design of Bandpass Filter Using Coplanar Waveguide

Jong-Kuk Kim^{**}, Yun-Kwon Nam^{*}, Jong-Woo Seo^{*}, Dong-Chul Park^{*}

*Dept. of Radio Science and Engineering, Chungnam National University

요약

본 논문에서는 CPW(coplanar waveguide) 구조의 불연속을 3차원 유한차분법으로 해석하고 그 결과를 이용하여 대역통과 필터를 설계하였다. 대역통과 필터에 사용된 CPW 구조의 불연속은 신호선의 끊어짐에 의한 불연속이었고 10 GHz 의 중심주파수와 500 MHz 대역을 갖는 공진기가 3개인 대역통과 필터를 설계, 제작하여 비교하였다. CPW 구조의 불연속 해석결과는 제작된 필터의 측정결과를 통하여 대역통과 필터 설계이론에 적용할 수 있다고 확인할 수 있었다.

I. 서론

현대의 정보화 시대에는 많은 정보용량을 감당할 수 있는 시스템 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 시스템에는 필수적으로 높은 주파수대의 광대역을 갖는 수동소자들이 필요하다. 또한 대량생산을 위해 평판형 구조를 요구하고 있다. 평판형 구조에는 microstrip, slotline, coplanar strip, coplanar waveguide(CPW) 등이 있다. 그 중에서도 최근에는 평판형 구조이면서 신호선과 접지면이 동일면에 있어 다른 소자들과 연결할 때 via-hole 공정이 필요하지 않는 CPW 구조가 각광을 받고 있다. 또한 이 구조는 높은 주파수대에서 작은 방사 손실과 산란특성을 갖는 전기적인 이점도 있다. 이러한 이유로 인하여 CPW 구조를 이용한 방향성결합기[1], 혼합기[2], 평판형 안테나의 급전선[3], 대역통과 필터[4] 등과 같은 다양한 수동소자들이 개발되어 왔다.

본 논문에서는 대역통과 필터의 설계에 필요한 자료를 측정[4]을 통하지 않고 3차원 유한차분법으로 해석한 결과를 이용하여 대역통과 필터를 설계 및 제작하였다. 먼저 10 GHz 의 중심주파수와 500 MHz 대역폭을 갖는 대역통과 필터를 설계하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 대역통과 필터의 공진기는 3개이고 CPW의 공진기간의

gap 결함을 이용하였다. 이런 전기적 특성을 3차원 유한차분법[5]-[7]으로 해석하여 설계 시 필요한 자료들을 추출하였다. 추출된 자료들에서 설계조건에 맞는 자료만 선택하여 대역통과 필터의 배치도를 완성하였다. 설계한 구조는 사진 식각을 통하여 제작하였다. 그러나 공정의 한계치로 인해 정밀한 제작은 이루어지지 못했지만 제작한 필터를 시뮬레이션과 측정을 통해 공진기의 전기적 특성 해석결과가 대역통과 필터 설계이론[6]에 잘 적용되어지는 것을 확인할 수 있었다. 이런 방법은 CPW 구조를 이용한 초고주파회로 설계 시 유용하게 이용될 수 있다.

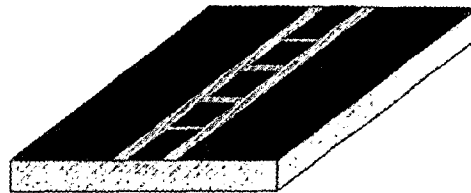


그림 1. CPW 대역통과 필터의 전체 구조

II. 본론

1. 대역통과 필터 설계이론

대역통과 필터의 설계조건은 중심주파수가 10 GHz 이고 대역폭은 500 MHz 이며 1 dB 리플크기를 갖고 공진기는 3개를 사용하고 특성 임피던스는 50 Ω 이다. 유전율은 10.2 이고 높이는 50 mil 인 기판을 이용해 제작하였다. CPW 구조를 이용한 공진기는 그림 2(a)에서 처럼 신호선간에 gap 결합을 이용하였다. 그리고 그림 2(b)에서처럼 공진기의 전기적 특성과 등가인 회로는 그림 2(c)의 어드미턴스 인버터로 대응되게 된다. 먼저 설계조건에 맞는 저역통과 원형필터소자[8] 값 ($g_0=1, g_1=2.0236, g_2=0.9941, g_3=2.0236, g_4=1$)과 fractional 대역폭 ($W=0.05$) 를 구하여 식(1)에 대입하면 각 단의 어드미턴스 인버터 값을 알 수 있다.

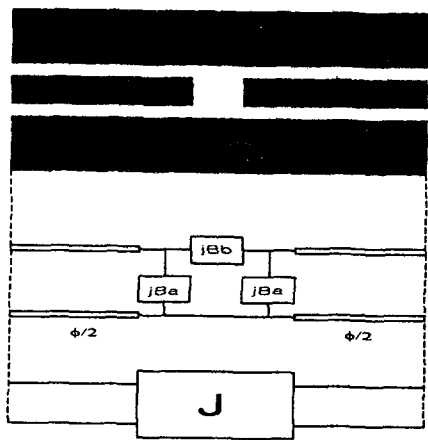


그림 2. 두 공진기 간격의 특성

$$J_{01}/Y_0 = J_{n,n+1}/Y_0 = \sqrt{\pi W(2g_0 g_1 w'_1)}$$

$$J_{j,j+1}/Y_0 = \pi W(2w'_j \sqrt{g_j g_{j+1}}), \quad j \neq 0, n \quad (1)$$

2. 공진기의 전기적 특성 해석 및 설계

우리가 설계하고자 하는 대역통과 필터의 전기적인 특성은 그림 2에서와 같이 두 공진기의 간격에 의해 결정된다. 그러므로 설계조건에 맞는 두 공진기의 간격을 알아야 한다. 그림 3은 3차원 유한차분법을 이용하여 두 공진기의 간격 변화에 따른 전기적인 특성을 해석한 구조와 결과이다. C_g 의 값들은 공진기과 공진기의 관계를 나타내며 C_p 는 공진기와 접지면의 관계를 나타낸다. 두 파라미터들에 설계 중심주파수를 고려하면 그림 2(b)의 등가회로를 구성하는 susceptances(B_b)는 C_g 와 관계되

고 되고 susceptances(B_a)는 C_p 와 관계된다. 이것을 식 (2)에 대입하면 공진기의 전기적인 길이를 구할 수 있고 식(3)에 대입하면 그림 2(c)의 두 공진기의 간격 변화에 따른 어드미턴스 인버터 값을 구할 수 있다.

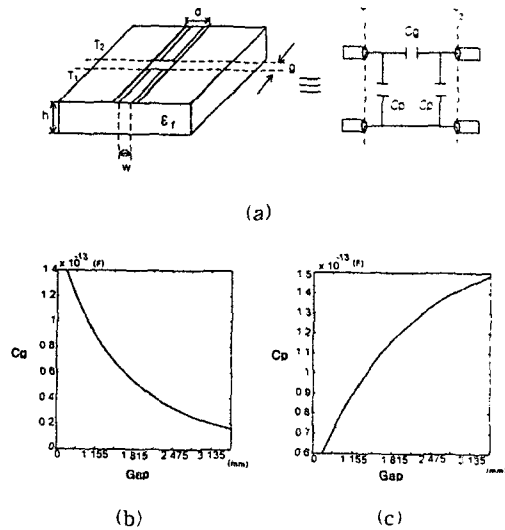


그림 3. CPW gap - 결합 전기적 특성

$$\phi = -\tan^{-1}(2B_b/Y_0 + B_a/Y_0) - \tan^{-1}(B_a/Y_0) \quad (2)$$

$$J/Y_0 = \{ \tan(\phi/2) + \tan^{-1}(B_a/Y_0) \} \quad (3)$$

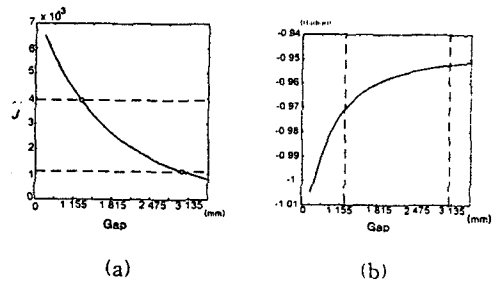


그림 4. 해석결과와 설계값

그림 4는 해석한 결과로부터 구한 두 공진기의 간격 변화에 따른 어드미턴스 인버터 값과 공진기의 전기적인 길이를 나타낸 그래프이다. 그림 4(a)의 점선은 설계하고자 하는 필터의 어드미턴스 인버터 값이고 실선은 두 공진기의 간격 변화에 따른 어드미턴스 인버터 값이다. 점선과 실선의 교차점에서의 두 공진기 간격이 설계조건을 만족하게 되는 간격이 된다. 또한 그림 4(b)를 통해 이 간격에 대한 공진기의 전기적인 길이를 결정한다. 설계조건에 맞는 J값들은 $J_{01}=0.0039, J_{12}=0.0011, J_{23}=J_{12}, J_{34}=J_{01}$ 이다. 그림 5의 두 공진기의 간격(G_1)은

J_{01} 인 단과 관계되고 두 공진기의 간격(G_2)은 J_{12} 인 단과 관계된다. 그리고 대칭구조이기 때문에 J_{23} , J_{34} 단과 관계된 두 공진기의 간격은 각각 G_1 과 G_2 와 같다.

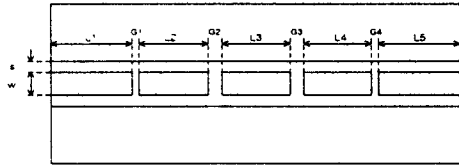


그림 5. 대역통과 필터의 배치도

그림 5에서 두 공진기의 간격들은 $G_1=1.2$ mm, $G_2=3.0$ mm, $G_3=G_2$, $G_4=G_1$ 이고 각 공진기의 길이는 $L_1=8.0$ mm, $L_2=4.8$ mm, $L_3=4.9$ mm, $L_4=4.8$ mm, $L_5=8.0$ mm 이다. 특성 임피던스를 50 Ω 으로 맞추기 위해서 공진기의 폭(w)은 2.0 mm, 공진기와 접지면의 간격(s)은 0.7 mm 로 하였다. 설계에 필요한 자료들을 직접 제작 측정[4]하여 추출하는 경우도 있으나 본 논문에서는 3차원 유한차분법을 이용한 해석결과를 통하여 설계조건에 맞는 대역통과 필터를 설계하였다. 공정상의 한계치가 0.3 mm 이므로 대역통과 필터의 설계치를 소수 첫째자리 까지 고려하여 제작하였다.

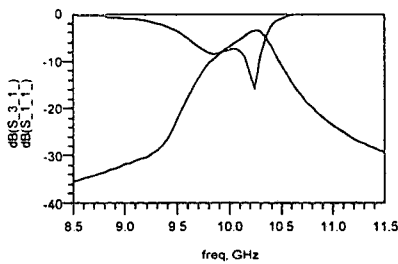


그림 6. ADS 시뮬레이션 결과

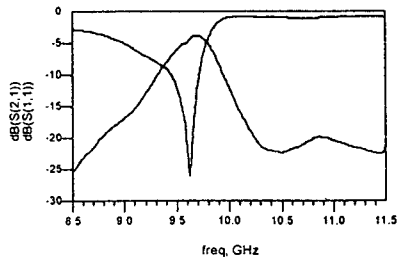


그림 7. 측정 결과

그림 6은 ADS 틀을 이용하여 시뮬레이션한 결과이다.

중심주파수는 10.25 GHz 로 높은 주파수대로 올라갔고 감쇠량은 -3.503 dB 이고 대역폭도 좁게 나타났다. 그림 7은 설계한 구조를 직접 제작하여 측정한 결과이다. 중심주파수는 9.6 GHz 로 낮게 나타났으며 감쇠량은 -3.8 dB 이고 감쇠 극점은 하나만 나타났다. 대역폭은 설계 조건보다 좁게 나타났다. 이런 특성이 나타난 이유는 첫째, 정교한 공정으로 제작하지 않아서이고 둘째, 측정시 측정 연결단자와 필터 패턴 사이의 불연속에 의한 결과로 볼 수 있다. 설계조건에 맞게 결과가 나오는 설계값의 조정이 필요했다. 먼저 중심주파수를 높은 주파수대로 이동시키기 위해 공진기의 길이를 좀더 짧게 조정하였으며 대역폭내의 감쇠량을 줄이기 위해 두 공진기의 간격을 좁혔다. 두 신호선의 간격은 $G_1=0.6$ mm, $G_2=2.4$ mm, $G_3=G_2$, $G_4=G_1$ 으로 조정하였고 공진기의 길이는 $L_2=4.6$ mm, $L_3=4.8$ mm, $L_4=L_2$ 로 조정하였다. 이런 조정은 ADS 틀을 이용하여 조정하였다.

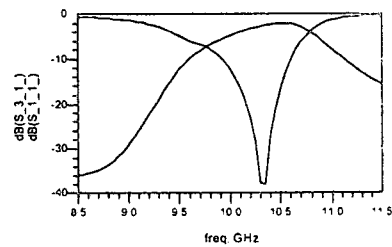


그림 8. ADS 시뮬레이션 결과

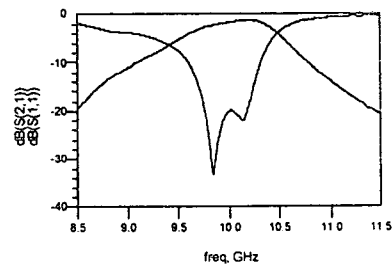


그림 9. 측정 결과

그림 8에서 중심주파수는 10.5 GHz 이고 감쇠량은 -2.054 dB 이고 대역폭은 0.5 GHz 로 나타났다. 그리고 그림 9에서 중심주파수는 10.07 GHz 이고 감쇠량은 -1.511 dB 이고 대역폭은 0.7 GHz 로 나타났고 감쇠 극점도 하나 더 발견되었다. 시뮬레이션과 측정치의 중심주파수는 약 0.5 GHz 의 차이를 보이고 대역폭은 약 0.2

GHz 의 차이를 보이고 있다. 이런 시뮬레이션과 측정치의 차이를 이용하여 설계값을 조정할 수 있다.

Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, New York: McGraw-Hill, 1964

III. 결론

10 GHz 대의 CPW 구조를 이용한 대역통과 필터를 3차원 유한차분법을 이용한 해석결과를 설계이론에 적용하여 제작, 측정하였다. 대역통과 필터에 이용된 전기적 특성은 두 공진기의 gap 결합을 이용한 것이다. 이 전기적 특성은 두 공진기의 간격 변화에 따라 3차원 유한차분법을 이용하여 자료들을 추출하였다. 설계조건에 맞는 설계값을 이들 자료들로 구할 수 있었고 시뮬레이션과 제작, 측정하여 잘 적용되는 것을 볼 수 있었다. 이런 방법으로 추출한 자료들은 초고주파 회로 설계 시 이용될 수 있다.

사의 : 본 논문은 한국과학재단 지정 밀리미터파 신기술 연구센터의 연구비 지원을 받아 수행되었음.

참고문헌

- [1] C. P. Wen, "Coplanar-waveguide directional couplers," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-18, pp. 318-332, June 1970.
- [2] L. Yuan, J. Paul, and P. Yen, "140 GHz quasi-optical planar mixer," in *Proc. IEEE MTT-S Int. Microwave Symp., 1982*, pp. 374-375.
- [3] A. Nestic, "Slotted antenna array excited by a coplanar waveguide," *Electron.Lett.*, vol. 18, no. 6, pp. 275-276, Mar. 1982.
- [4] D. F. Williams and S. E. Schwarz, "Design and performance of coplanar waveguide bandpass filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-31, no. 7, pp. 558-568, July 1983.
- [5] H. G. Green, "The numerical solution of some important transmission-line problems," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-13, pp. 676-692, Sept. 1965.
- [6] M. V. Schneider, "Computation of impedance and attenuation of TEM-lines by finite difference methods," *IEEE Trans. Microwave Theory Tesh.*, vol. MTT-13, pp. 793-800, Nov. 1965.
- [7] H. E. Stinehelfer, "An accurate calculation of uniform microstrip transmission lines," *IEEE Trans. Microwave Theory Tesh.*, vol. MTT-16, pp. 439-444, July 1968.
- [8] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones,