
대칭형 결합선로를 이용한 BPF의 설계 및 구현

강상기* · 최홍택** · 이재명***

Design and Implementation of BPF Using a Symmetric Coupled Line

Sang-Gee Kang* · Heung-Taek Choi** · Jae-Myung Lee***

요 약

마이크로스트립 인터디지털(interdigital) 여파기는 공진기의 폭, 길이, 공진기 사이의 간격과 탭의 위치로 설계하는데, 설계파라미터의 수를 줄이는 것이 구현 측면에서 유리하다. 본 논문에서는 마이크로스트립 인터디지털 여파기의 설계파라미터 중에서 공진기의 폭을 고정시킨 것과 서로 다른 폭을 갖는 두 종류의 여파기를 국내 UWB(Ultra Wide-Band) 주파수 대역에서 설계 및 구현하였다. 여파기의 성능 측정 결과 공진기의 폭을 고정한 low-band high 여파기의 삽입손실은 1.49dB, -10dB 대역폭은 720MHz였고, 4.8GHz에서 -35.7dB의 감쇄특성을 가졌으며, S11은 -13dB 이하로 측정되었다. 공진기의 폭이 서로 다른 low-band 여파기는 삽입손실 1.6dB, -10dB 대역폭은 1.63GHz로 측정되었고, S11은 -8dB 이하로 측정되었다.

ABSTRACT

Microstrip interdigital filter is designed with the width and length of a resonator, the gap distance between resonators and the location of a tap. When designing filters, it is a benefit to design with few design parameters comparing to many design parameters. In this paper we design and implement two microstrip interdigital filters operating in the UWB(Ultra Wide-Band) frequency band, one using a fixed width of a resonator and the other using a different width of resonators. The test results of the implemented filters show that the low-band high filter with a fixed width has the insertion loss of 1.49dB, -10dB bandwidth of 720MHz, -35.7dB attenuation at 4.8GHz and below -13dB of S11. The filter with a different width of resonators has the insertion loss of 1.6dB, -10dB bandwidth of 1.63GHz and below -8dB of S11.

키워드

대역통과여파기(Band Pass Filter), 인터디지털여파기(Interdigital filter), 초광대역(UWB:Ultra Wide-Band)

* 군산대학교
** (주)이엔에스 웨이브
*** (주)Roswin

접수일자 2009. 03. 11
심사완료일자 2009. 05. 30

I. 서론

초기에 군사적인 목적으로 개발된 UWB 시스템은 점유대역폭이 넓기 때문에 많은 량의 정보를 전송할 수 있을 뿐만 아니라, 임펄스와 같은 신호를 전송함으로써 위치추적, 감시 및 경찰의 용도로도 사용할 수 있다[1,2]. UWB는 응용 분야가 아주 넓기 때문에 세계 각국에서 활발한 연구개발이 진행되고 있으며, 우리나라도 통신용 UWB와 일부 비통신용 UWB에 대한 주파수가 할당됨으로써 활발한 연구개발이 진행되고 있다[3].

모든 무선통신 시스템은 불요파의 방사와 불필요한 신호의 수신을 억제하기 위해서 여파기를 사용한다. UWB 시스템용 여파기는 광대역 특성을 가져야 하기 때문에 설계와 제작이 다른 여파기에 비해서 상대적으로 어렵다. 마이크로스트립 여파기는 구성형태를 변경해서 스트립형태의 여파기로도 제작할 수 있기 때문에 다층 PCB(Printed Circuit Board) 내에 삽입함으로써 시스템의 크기를 줄일 수 있는 장점도 있다. 참고문헌 [4]에서는 공진기의 폭, 공진기들 사이의 간격, 공진기의 길이 그리고 탭의 위치를 가지고 인터디지털 대역통과여파기를 설계하였다.

일반적으로 설계 파라미터의 수가 적어야 구현에서 유리하다. 본 논문에는 참고문헌 [4]의 결과를 바탕으로 설계 파라미터를 줄이기 위해서 공진기의 폭을 하나의 값으로 고정시키고, 공진기의 길이와 공진기 사이의 간격 그리고 탭의 위치만으로 인터디지털 여파기를 설계하였다. 또한 본 논문에는 공진기의 폭을 고정한 것과 공진기의 폭이 서로 다른 두 가지 방법으로 설계한 여파기에 대한 시험결과가 기술되어 있다.

II. 설계 및 구현

인터디지털 여파기는 중심주파수에서 공진기의 전 기적인 길이가 90°이고, 공진기는 한쪽이 단락되어 있고 다른 한쪽은 개방되어 있는 형태를 갖는다. 이와 같은 구조는 스트립형태의 여파기를 구현할 때 구조적으로 유리하다. 또한 공진기의 단락 포트와 개방 포트의 방향이 그림 1과 같이 교대로 위치하는 구조를 갖는다. 인터디

지털 여파기는 높은 주파수에서 감쇄가 가파른 특성을 갖는다. 그림 1은 설계하려는 인터디지털 여파기의 구조이다. 그림 1과 같은 구조를 갖는 인터디지털 여파기의 설계 파라미터는 공진기의 폭(W_1, W_2, \dots, W_n), 공진기들 사이의 간격($S_{1,2}, S_{2,3}, \dots, S_{n-1,n}$), 공진기의 길이(l_1, l_2, \dots, l_n) 그리고 입출력 정합을 위한 탭의 위치(θ_t)이며, 다음과 같이 계산된다[5,6].

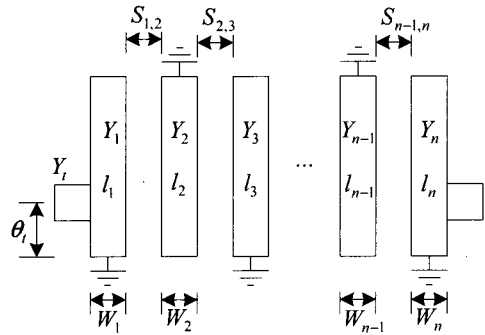


그림 1. Interdigital 여파기의 구조
Fig 1. The configuration of the interdigital filter

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{FBW}{2} \right), Y = \frac{Y_1}{\tan \theta} \tag{1}$$

$$J_{i,i+1} = \frac{Y}{\sqrt{g_i g_{i+1}}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1 \tag{2}$$

$$Y_{i,i+1} = J_{i,i+1} \sin \theta, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n-1 \tag{3}$$

$$Y_t = Y_1 - \frac{Y_{1,2}^2}{Y_1} \tag{4}$$

$$\theta_t = \frac{\sin^{-1} \left(\sqrt{\frac{Y \sin^2 \theta}{Y_0 g_0 g_1}} \right)}{1 - \frac{FBW}{2}} \tag{5}$$

$$C_t = \frac{\cos \theta_t \sin^3 \theta_t}{\omega_0 Y_t \left(\frac{1}{Y_0^2} + \frac{\cos^2 \theta_t \sin^2 \theta_t}{Y_t^2} \right)} \tag{6}$$

여기서 FBW는 fractional 대역폭, g_i 는 prototype 저역 통과 여파기의 소자값, Y_i 는 탭(tap)이 있는 공진기의 입·출력단의 어드미턴스, C_i 는 탭에 의해서 입·출력 공진기에 부가되는 캐패시턴스이다. 결합 선로의 even 모드 임피던스와 odd 모드 임피던스는 다음과 같이 구할 수 있다[7].

$$Z_{0e1,2} = \frac{1}{Y_1 - Y_{1,2}}, \quad Z_{0o1,2} = \frac{1}{Y_1 + Y_{1,2}} \quad (7)$$

$$Z_{0ei,i+1} = \frac{1}{2Y_1 - 1/Z_{0ei-1,i} - Y_{i,i+1} - Y_{i-1,i}}, \quad i = 2, 3, \dots, n-2 \quad (8)$$

$$Z_{0oi,i+1} = \frac{1}{2Y_{i,i+1} + 1/Z_{0ei,i+1}}, \quad i = 2, 3, \dots, n-2 \quad (9)$$

$$Z_{0en-1,n} = \frac{1}{Y_1 - Y_{n-1,n}}, \quad Z_{0on-1,n} = \frac{1}{Y_1 + Y_{n-1,n}} \quad (10)$$

여기서 $Z_{0ei,i+1}$ 과 $Z_{0oi,i+1}$ 은 각각 i 번째 공진과 $i+1$ 번째 공진기에 의해서 구성되는 결합 선로의 even 모드 임피던스와 odd 모드 임피던스이다. 공진기의 넓이를 고정하면, 식 (7) ~ (10)으로 계산되는 even 모드 임피던스와 odd 모드 임피던스를 얻을 수 없다. 따라서 다음을 만족하도록 결합선로의 간격을 조절한다.

$$k_{i,i+1} = \frac{Z_{0ei,i+1} - Z_{0oi,i+1}}{Z_{0ei,i+1} + Z_{0oi,i+1}} \quad (11)$$

여기서 $k_{i,i+1}$ 는 i 번째 공진과 $i+1$ 번째 공진기 사이의 결합계수이다. 결합 선로의 공진기의 길이는 다음으로부터 구할 수 있다[8].

$$l_i = \lambda_{g0i}/4 - \Delta l_i \quad (12)$$

$$\lambda_{g0i} = \lambda_0 (\sqrt{\epsilon_i^e \epsilon_i^o})^{-1/2}$$

$$l_1 = l_n = \lambda_{g01}/4 - \Delta l_1 + \Delta l_c \quad (13)$$

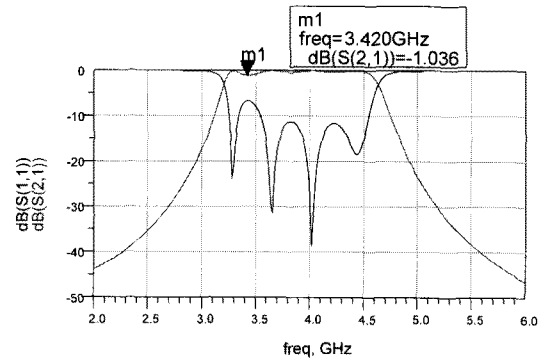
$$\Delta l_c = \frac{\lambda_{g01}}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2\pi f_0 C_t}{Y_1} \right)$$

$$l_t = \frac{\theta_t}{2\pi} \lambda_{g01} \quad (14)$$

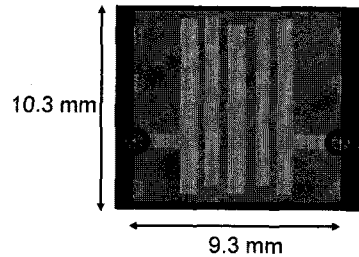
여기서 λ_{g0i} 는 도파선로의 파장, Δl_i 는 i 번째 공진기의 open end 효과에 의한 등가 선로의 길이, λ_0 는 자유공간에서 파장이며, $\epsilon_i^e, \epsilon_i^o$ 는 각각 i 번째 공진기의 even과 odd 모드 유효유전율이다.

III. 설계 및 시험 결과

여파기의 설계 및 제작에는 Rogers 사의 R4003(유전율: 3.38, h: 0.508mm) 기판을 이용하였다. 그림 2에는 3.2 ~ 4.8GHz(low band) 대역에서 이용할 수 있도록 설계한 여파기의 S21과 S11 그리고 물리적인 크기를 나타내었다.



(a)



(b)

그림 2. Low-band 마이크로스트립 여파기 시뮬레이션 결과(a) 및 크기(b)

Fig. 2 Simulation results(a) and the dimension(b) of the designed microstrip filter for low-band

그림 2의 여파기는 일반적인 인터디지털 여파기로 공진기의 넓이는 서로 다르다. 설계한 여파기의 삽입 손실은 -1.036dB 이며, S_{11} 은 대부분의 주파수에서 -10dB 이하를 유지하도록 설계하였다. 그림 3에는 공진기들의 넓이를 고정시키고 설계한 인터디지털 여파기의 S_{21} 과 S_{11} 특성 그리고 물리적인 크기를 나타내었다. 그림 3의 여파기는 $4 \sim 4.8\text{GHz}$ (low band high) 대역에서 이용할 수 있도록 설계한 여파기이다. 광대역 여파기를 설계하기 위해서는 공진기들 사이의 간격이 좁게 설계되어야 커플링 값이 커져서 광대역 특성을 가질 수 있다. 그림 2와 그림 3을 비교해 보면 두 여파기의 가로로 크기가 2.3mm 정도 차이가 있지만, 그림 3의 경우에는 공진기의 폭을 고정함으로써 크기에서 이점을 얻을 수 있었다. 즉 공진기의 폭을 고정된 경우에 설계파라미터의 수 뿐만 아니라 여파기의 크기도 줄일 수 있다.

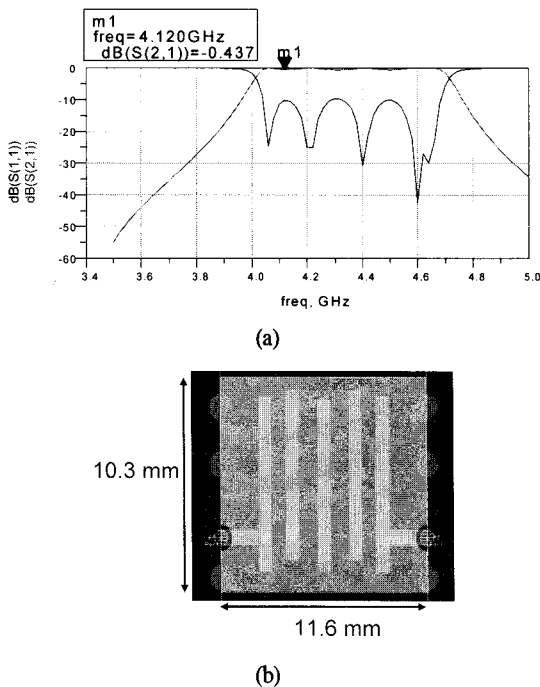


그림 3. Low-band high 마이크로스트립 여파기 시뮬레이션 결과 및 크기
Fig. 3 Simulation results(a) and the dimension(b) of the designed microstrip filter for low-band high

그림 4와 그림 5는 각각 low-band high 대역의 여파기와 low-band 대역의 여파기의 특성을 측정된 결과이다. 구현한 여파기의 사진은 그림 6과 같다. 측정결과 low-band high 여파기의 삽입손실은 1.49dB , -10dB 대역 폭은 720MHz 이고 4.8GHz 에서 -35.7dB 의 감쇠특성을 가졌으며, S_{11} 은 -13dB 이하로 측정되었다. Low-band 여파기는 삽입손실 1.6dB , -10dB 대역폭은 1.63GHz 로 측정되었고, S_{11} 은 -8dB 이하로 전체적으로는 -10dB 이하로 측정되었다.

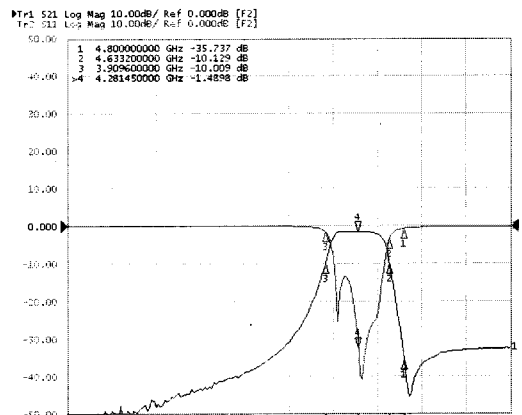


그림 4. Low-band high 여파기의 S_{21} 과 S_{11} 측정 결과
Fig. 4 S_{21} and S_{11} of the implemented filter for low-band high

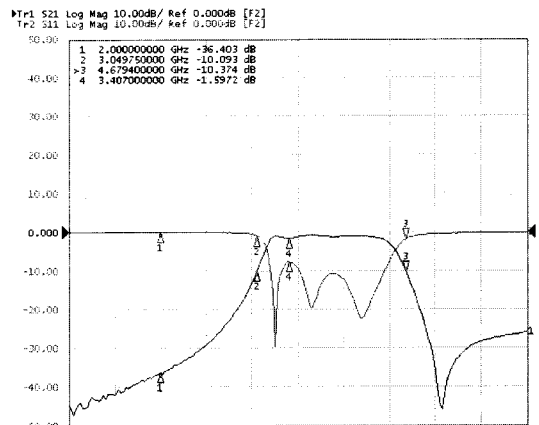
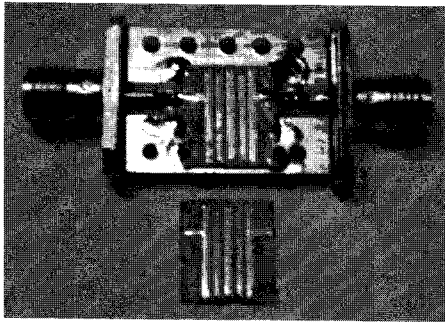
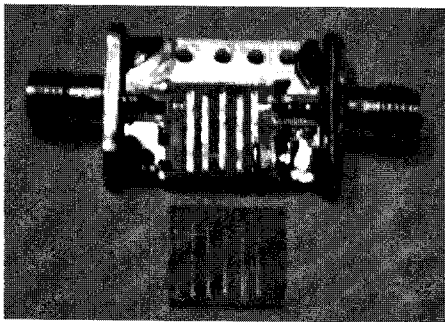


그림 5. Low-band 여파기의 S_{21} 과 S_{11} 측정 결과
Fig. 5 S_{21} and S_{11} of the implemented filter for low-band high



(a)



(b)

그림 6. 제작된 low-band high 및 low-band 여파기의 사진

Fig. 6 The picture of the implemented filter for low-band(a) and low-band high(b)

IV. 결론

본 논문에서는 공진기의 폭을 고정한 것과 서로 다른 폭을 갖는 두 종류의 마이크로스트립 인터디지털 여파기를 설계 및 구현하였다. 구현한 인터디지털 여파기의 측정결과 공진기의 폭을 고정한 low-band high 여파기의 삽입손실은 1.49dB, -10dB 대역폭은 720MHz이고 4.8GHz에서 -35.7dB의 감쇠특성을 가졌으며, S11은 -13dB 이하로 측정되었다. 공진기의 폭이 서로 다른 low-band 여파기는 삽입손실 1.6dB, -10dB 대역폭은 1.63GHz로 측정되었고, S11은 -8dB 이하로 측정되었다. 공진기의 폭을 고정한 여파기의 경우에는 공진기의 폭을 변화시키는 경우에 비해서 작게 구현 가능함을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] FCC, Part 15 - Radio Frequency Devices, Feb. 2006.
- [2] EN 302 065, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters(ERM); Ultra WideBand technologies for communication purposes; Harmonized EN covering sequential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive," ETSI, April 2007.
- [3] 방송통신위원회 고시 제2008-74호: 신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국용 무선기기
- [4] 강상기, 이재명, 홍성용, "UWB용 BPF의 설계 및 구현," 한국해양통신학회논문지, 12권 5호, pp. 815-820, 2008. 05.
- [5] G.L. Matthaei, "Interdigital Band-pass Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 10, no. 6, pp. 479-491, Nov. 1962.
- [6] S. Caspi and J. Adelman, "Design of combline and interdigital filters with tapped-line input," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 36, no. 4, pp.759-763, April 1988.
- [7] V. K. Tripathi, "Asymmetric Coupled Transmission Lines in an Inhomogeneous Medium," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 23, no. 9, pp. 734-739, Sep. 1975,
- [8] Jia-Sheng Hong and M. J. Lancaster, Microstrip Filters for RF/Microwave Applications, Jhon Wiley & Sons, 2001.

저자소개



강 상 기(Sang-Gee Kang)

1988년 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 삼성전자체통신
 1989 ~ 1992년 해군통신장교
 1994년 단국대학교 전자공학과(공학석사)
 2004년 충남대학교 전파공학과(공학박사)
 1994 ~ 2005년 한국전자통신연구원 선임연구원
 2005년 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 조교수
 ※관심분야: RF/MW 부품 및 시스템



최 흥 택(Heung-Taek Choi)

1984년 고려대학교 전자공학과
(공학사)
1986년 고려대학교 통신공학과
(공학석사)

1994 고려대학교 통신공학과(박사수료)
1987 ~ 1994년 한국전자통신연구원 선임연구원
1995 ~ 1997년 코오롱그룹 부장
1997 ~ 2000년 팬택 & Motorola 부장
2000 ~ 2003년 (주)아이티모바일 대표이사
2004 ~ 2005년 (주)아이티모바일시스템즈 대표이사
2006 ~ 2008년 BcNE Global 전무이사
2008 ~ 현재 (주)이앤에스 웨이브 전무이사
※관심분야: RF/MW 부품 및 시스템, 이동통신



이 재 명(Jae-Myung Lee)

1993년 단국대학교 전자공학과
(공학사)
2004년 단국대학교 정보통신공학과
(공학석사)

1997년 ~ 현재 (주)로스윈 이사
※관심분야: 초고주파 회로, 부품 및 시스템