논문 2011-48TC-3-10

FLCLM과 평행 결합 선로를 이용한 협대역 소형 개방형 스터브 대역통과 필터

(Compact Narrow Open-stub Band-pass Filter using FLCLM and Parallel Coupled line)

홍 태 의*

(Tae-Ui Hong)

요 약

본 논문은 평행 결합 선로와 FLCLM(Frquency Locked Controlled Length Method)을 이용하여 저주파의 기생 신호 와 2차 고조파가 억압된 소형 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터에 대하여 새롭게 제안 하였다. 평행 결합 선로의 특징은 저파주 대역의 기생 신호와 2차 고조파를 억압 할 수가 있다. 최종 설계한 필터의 실험 결과에서 사용되는 대역의 중심 주파수는 5.8 GHz 이고 대역폭 10 % 이며 삽입 및 반사 손실은 각각 1.2 dB 및 14.8 dB 이다. 추가적으로 저주파 및 고조파 억제는 각각 28.9 dB 및 28.8 dB 이다.

Abstract

In this paper, a compact-narrow open stub band-pass filter with parasitic-signal of low frequency range and second harmonics rejected using the parallel coupled line and FLCLM(Frquency Locked Controlled Length Method) is proposed. The characteristic of the parallel coupled line can be rejection for parasitic-signal of low frequency range and second harmonics. In last filter of experimental results show that insertion loss is 1.2 dB and return loss is 14.8 dB, and the fractional bandwidth is 10 % at the center frequency of 5.8 GHz. In additional, the rejection for parasitic-signal of low frequency range and second harmonics are 28.9 dB and 28.8 dB, respectively.

Keywords : narrow band, open stub, parallel coupled line, FLCLM, rejection

Ⅰ. 서 론

최근 이동통신의 급속한 발달로 인하여 보다 많은 채널이 요구됨에 따라 각 채널간의 간격이 점점 좁아지고 있는 반면에 광대역으로 동작 할 수 밖 에 없는 필터를 협대역으로 동작이 가능하도록 제안하는 연구가 많이 시도되고 있다[1]. 그 중에서 반파장의 길이를 갖는 개방형 스터브(stub) 대역통과 필터는 일반적으로 광대역용으로 사용되며, 만일 협대역용으로 설계하게 된다면 스터브의 임피던스 값이 매우 작아져 실제 제작하기가 매우 어려워진다는 단점을 갖게 된다[2]. 따라서, 이러한 단점을 보안하고 협대역 으로 사용할 수 있는 스터브 대역통과 필터에 관한 연구가 최근 발표되었다[2]. 이 필터는 수치(EM) 해석을 통하여 임피던스 값 변화 없이 오직 스터브의 위치만 변화 시켜 Qe (External Quality Factor)값이 변화 되면서 대역폭이 좁아지는 현상을 이용한 것이다[2].

반파장의 길이를 갖는 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터는 스터브 사이에 전송선로가 삽입되어져 있는데 이 전송 선로는 90°의 전기적인 길이와 어드미턴스-인버터(inverter)의 동작 특성을 갖고 있다[3]. 이러한 필터의 단점은 저주파와 고조파의 억제특성이 좋지 않다

* 정회원, 한국세라믹기술원 기술기획팀
(Technology Planning Team, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology)
접수일자: 2010년11월5일, 수정완료일: 2011년3월17일

는 점이다. 만일 저주파 대역의 기생 성분과 2차고조파가 발생하게 된다면 사용 주파수 대역과의 간섭으로 인해 필터의 품질이 저하 될 수가 있다[3]. 따라서 저주파 대역의 기생성분과 고조파를 억압 시킬 필요가 있다. 그러므로 저주파 대역과 고조파가 함께 억압된 개방형 스터브 대역통과 필터가 최근에 발표 되었다[4]. 이 필터는 저주파와 고조파의 억제 특성이 매우 우수하다. 그 이유는 기존의 협대역 필터에서 전송선로를 제거하고 그 부분에 결합 선로를 적용하였기 때문에 필터의 우수한 특성을 얻게 되었다. 그러나 필터에서는 응답특성도 중요하지만 부품에 대한 크기 또한 중요하다. 크기를 줄이는 방법은 유전율이 높은 기판을 사용하면 되겠지만 이는 단가가 상승하게 된다[5]. 본 논문에서는 최근에 발표[4]된 저주파와 고조파 억압 특성이 우수한 반파장의 길이를 갖는 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터를 유전율이 낮은 기판을 사용하면서 가로 측의 길이를 줄일 수 있는 방법에 대하여 제안 하였다. 논문의 구성은 스터브 필터에 적용 시키고자 하는 평행 결합 선로(Ⅱ)와 평행 결합 선로를 적용한 개방형 스터브 대역통과 필터(Ⅲ)에 대해 간단히 고찰 및 실험 한 후 가로의 길이를 줄인 스터브 대역통과 필터(Ⅳ)에 대하여 소개하도록 한다.

Ⅱ. 평행 결합 선로

어드미턴스-인버터로 동작하는 평행 결합 선로에 대한 기본 이론을 제시하여 설계 및 실험 한 후 필터의 응답 특성에 관하여 관찰 한다.

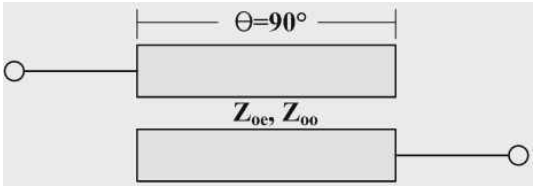
1. 평행 결합 선로

평행 결합 선로는 그림 1과 같이 어드미턴스-인버터로 동작 한다.

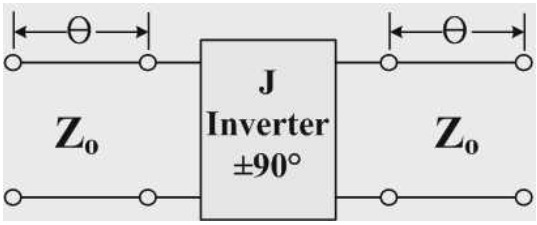
그림에서 Zo는 평행 결합 선로의 특성 임피던스이고 Θ는 전기적 길이 이다. Zoe 와 Zoo는 평행 결합 선로의 우(even) 및 기(odd) 모드(mode)의 특성 임피던스 이며 식 (1)과 같이 제시 된다[6].

$$\frac{Z_{oe}}{Z_o} = \frac{1+(J/Y_o)\mathrm{cosec}\theta+(J/Y_o)^2}{1-(J/Y_0)^2\cot^2\theta} \qquad (1)$$

$$\frac{Z_{oo}}{Z_o} = \frac{1-(J/Y_o)\mathrm{cosec}\theta+(J/Y_o)^2}{1-(J/Y_0)^2\cot^2\theta}$$



(a) 평행 결합 선로의 구조



(b) J-인버터의 등가회로

그림 1. 평행 결합 선로와 어드미턴스-인버터
Fig. 1. Parallel coupled line and J-inverter.
(a) structure of the parallel couplled line,
(b) Equivalent circuit of the J-inverter

기본공진 주파수의 FBW(Fractional Bandwidth) 및 단수(n)가 결정된다면 체비셰프(chebyshev) 저역통과 대역 기본형(g)이 결정되면서 식 (2)를 이용하여 어드미턴스-인버터의 값을 결정할 수가 있고, 대역통과 필터를 설계 할 수가 있다[6].

$$J_{01} = Y_o\sqrt{\frac{2w\theta_o}{g_o g_1}},$$

$$J_{j,j+1} = Y_o\frac{2w\theta_o}{\sqrt{g_j g_{j+1}}} \quad (j=1 \sim n-1) \qquad (2)$$

$$J_{0n,n+1} = Y_o\sqrt{\frac{2w\theta_o}{g_n g_{n+1}}}$$

2. 평행 결합 선로의 실험 결과

평행 결합 선로는 식 (1)과 (2)를 이용하여 설계를 할 수 있다. 설계에 관한 실험 결과는 그림 2와 같다.

평행 결합 선로의 전기적인 길이는 90°이고 결합 선로 사이의 간격을 위한 우 및 기 모드의 특성 임피던스 값은 각각 125 Ω 및 20 Ω 이며, 이는 결합 임피던스의 특성에 의해 대역통과 공진 특성을 나타나게 되면서 다른 대역들은 차단 특성을 갖게 된다. 실험결과에서 알 수 있듯이 평행 결합 선로는 구조적인 특성으로 인하여 기본파를 제외한 저주파(-15.2dB @ 1.32GHz)와 고조파(-15.6dB @ 11.6GHz-13.7 GHz) 특성이 억압되는 것을 [4]와 같이 유사하게 확인 할 수가 있었다. 이러한 특성

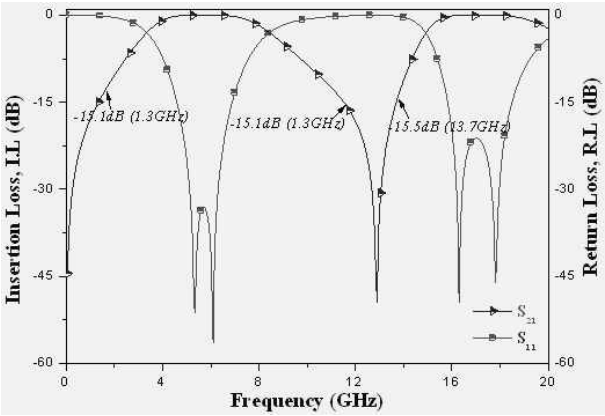


그림 2. 설계된 평행 결합 선로의 실험결과
Fig. 2. Experimental result of the designed parallel coupled line.

때문에 결합 선로를 필터에 적용하게 되면 저주파는 물론 고조파도 함께 억압할 수가 있다[4].

Ⅲ. 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터

반파장의 길이를 갖는 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터에서 어드미턴스-인버터와 90°의 전기적인 길이로 동작하는 전송선로를 제거 후 그림 3과 같이 전송선로와 특성이 같은 평행 결합 선로를 삽입하여 설계 하여 저주파의 기생 신호 와 고조파가 함께 억압되는 것을 그림 4와 같이 확인 하였다[4]. 그림 4의 실험 결과에 파라미터는 표 1과 같이 제시 된다. 이때, 중심 주파수(f_0)는 5.8 GHz 그리고 대역폭(BW)은 10 %이다. 여기서 협대역이 10%라는 의미는 참고문헌 [3]에서 제시한

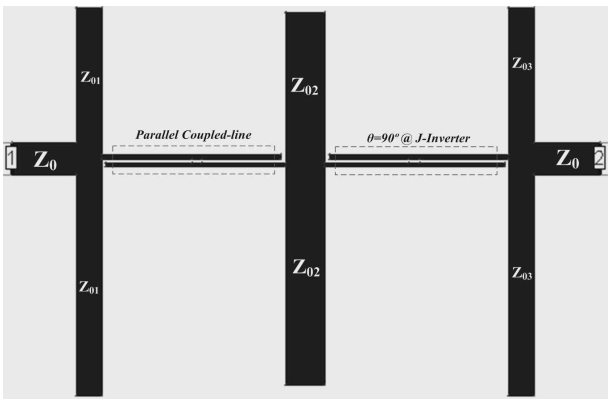


그림 3. 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터
Fig. 3. A narrow band-pass filter with half-wavelength open stubs usign the parallel coupled-line.

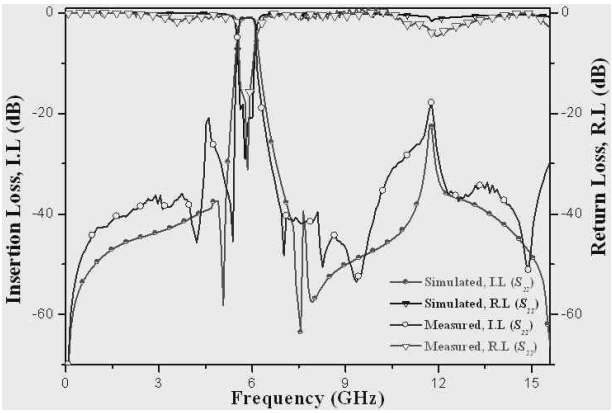


그림 4. 평행 결합 선로를 갖는 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정결과
Fig. 4. Simulation and measurement results of the bandpass filter with parallel coupled line.

표 1. 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터에 대한 실험 결과
Table 1. Experimental results of a narrow bandpass filter with half-wavelength open stubs usign parallel coupled line.

f_0 [GHz]	BW [%]	모의실험[dB]		측정[dB]	
		I.L (S21)	R.L (S11)	I.L (S21)	R.L (S11)
5.8	10	0.83	18.4	0..94	16.3

필터에 비하여 협대역을 갖는다는 의미이다.

시뮬레이션 결과에서 저주파 및 2차 고조파 억압(S_{21})의 손실 값은 주파수 4.72 GHz 및 11.73 GHz에서 각각 38.4 dB와 22.6 dB의 값을 얻었으며 측정 결과에서 저주파 및 2차 고조파 억압(S_{21})은 주파수 4.52 GHz 및 17.9 GHz에서 각각 20.7 dB와 18.0 dB의 값을 얻었다.

그림 5는 제작된 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터에 관한 사진을 보여주고 있다. 필터의 크기는 21.0 X 18.2 이다.

Ⅳ. FLCLM을 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터

평행 결합 선로의 길이를 축소시키기 위하여 FLCLM (Frequency Locked Controlled Length Method)을 적용 시킨 반파장의 길이를 갖는 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터를 그림 6과 같이 제시한다. 평행 결합 선로의 양 끝 부분에 개방형 스터브를 연결함 으로 평행 결합 선로의 길이를 줄일 때마다 개방형 스터브의 길이를 함께 조절하여 중심 주파수가 변화하는 것을 방지하였다.

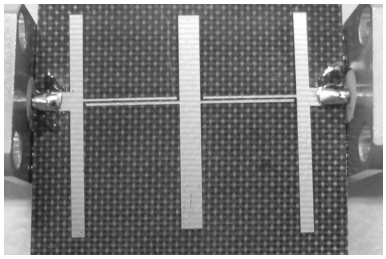


그림 5. 제작된 평행 결합 선로를 이용한 스터브 대역통과 필터

Fig. 5. Fabricated on stub bandpass filter using parallel coupled line.

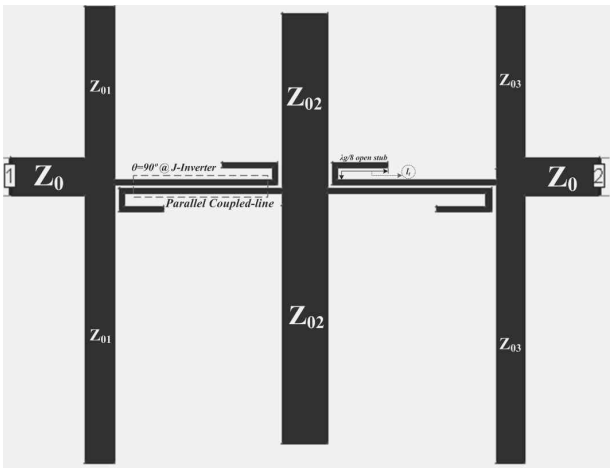


그림 6. FLCLM과 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터

Fig. 6. A half-wavelength open stub band-pass filter using FLCLM and parallel coupled-line.

만일 평행 결합 선로의 특성 임피던스 값을 조절하여 크기를 줄이게 된다면 크기의 변화에 따라 중심 주파수도 함께 변화하게 될 것이다. 그러므로 중심 주파수를 고정한 상태에서 평행 결합 선로의 크기를 줄이기 위해서는 선로를 줄인 만큼 그림 5에서 보여주고 있는 개방형 스터브의 길이 *los*를 증가를 시켜서 중심 주파수를 고정 시킨다. 예를 들면, 평행 결합 선로의 길이를 줄인 만큼 필터의 중심 주파수가 상승하게 될 것이다. 이때, 길이 *los*를 증가 시키면 길이 *los*에서 높은 임피던스로 인하여 상대적인 인덕턴스 값이 증가하게 되어 상승했던 중심 주파수는 다시 낮아지게 되어 원래의 위치로 되돌아오게 된다. 이때 평행 결합 선로의 길이는 줄어들게 되므로 고유의 전기적 길이(90°)는 어긋나게 된다. 그러므로 평행 결합 선로의 길이를 줄인 만큼 개방형 스터브의 길이 *los*를 늘이게 된다면 평행 결합 선로의 전기적 길이(90°)는 보상(*los* 를 늘인 만큼)하게 된다. 이러한 방법을 주파수 고정용 길이 조

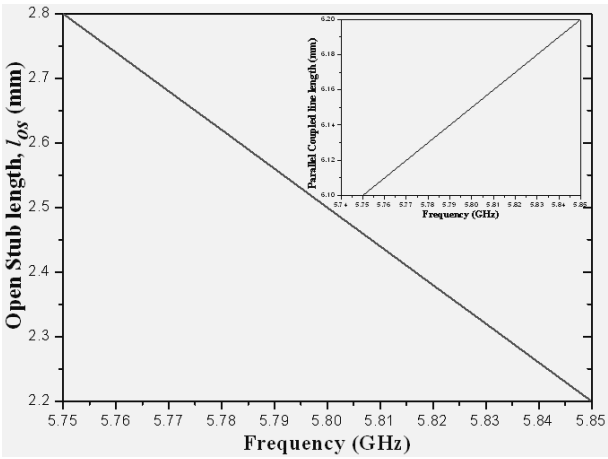


그림 7. 평행 결합 선로와 FLCLM의 길이 변화에 따른 중심 주파수의 변화 특성

Fig. 7. Variation of the center frequency as lenths of parallel coupled line and FLCLM.

절 방법(FLCLM: Frequency Locked Controlled Length Method)이라 하며 그림 7은 FLCLM과 중심 주파수의 관계에 대한 실험결과에 대하여 제시를 한다. 실험 결과에서 내부에 있는 그래프는 평행 결합 선로의 변화에 따라 중심 주파수가 변화하는 파라미터를 보여주고 있고 외부의 그래프는 FLCLM의 길이가 변화 할 때 마다 중심 주파수가 변화하는 것을 보여주고 있다. 평행 결합 선로가 변화 할 때 마다 FLCLM 및 중심 주파수가 동시에 변화하는 것을 확인 할 수가 있다. 또한 FLCLM을 이용한 대역통과 필터도 평행 결합 선로를 이용하였으므로 저주파 대역의 기생 신호와 고조파가 함께 억압된 것을 확인 할 수가 있었다. 뿐만 아니라 FLCLM을 사용하였기 때문에 가로 측의 길이

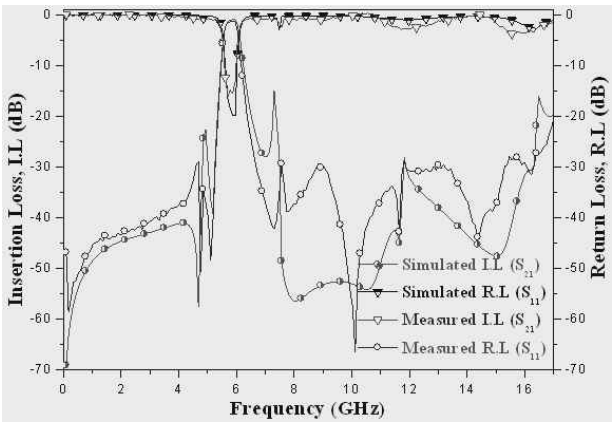


그림 8. FLCLM을 이용한 스터브 대역통과 필터의 시뮬레이션 및 측정결과

Fig. 8. Simulation and measurement results of the stub bandpass filter using FLCLM.

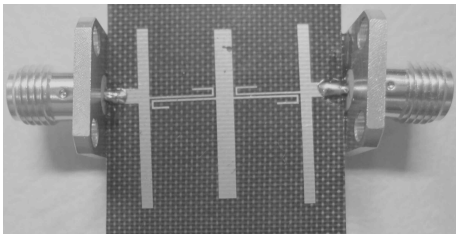


그림 9. 제작된 FLCLM과 평행 결합 선로를 이용한 스터브 대역통과 필터
Fig. 9. Fabricated on stub bandpass filter using FLCLM and parallel coupled line.

표 2. FLCLM을 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터에 대한 실험 결과
Table 2. Experimental results of a narrow bandpass filter with half-wavelength open stubs using FLCLM.

f_0	BW	모의실험[dB]		측정[dB]	
[GHz]	[%]	I.L (S21)	R.L (S11)	I.L (S21)	R.L (S11)
5.8	10	0.86	18.3	1.2	14.8

가 짧아짐을 확인 할 수가 있었다.

그림 8은 FLCLM을 이용한 평행 결합 선로의 대역통과 필터에 관한 실험결과 이다.

그림 8의 실험 결과에 대한 파라미터는 표 2와 같이 제시 된다. 이때, 중심 주파수는 5.8 GHz 그리고 대역폭은 10 %이다. 시뮬레이션 결과에서 저주파 및 2차 고조파 억압(S_{21})의 손실 값은 주파수 4.89 GHz 및 7.3 GHz에서 각각 23.3 dB 와 16.0 dB의 값을 얻었으며 측정 결과에서 저주파 및 2차 고조파 억압(S_{21})은 주파수 4.62 GHz 및 11.7 GHz에서 각각 28.9 dB 와 28.8 dB의 값을 얻었다.

그림 9는 제작된 FLCLM와 평행 결합 선로를 이용한 협대역 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터에 관한 사진을 보여주고 있다. 필터의 크기는 17.6 X 18.2 이다.

V. 협대역 소형 스터브 대역통과 필터의 특징 및 비교분석

본 논문은 앞 절에서 언급 했듯이, 반파장 개방형 스터브 대역통과 필터에서 전송선로의 부분을 평행 결합 선로로 적용 시켜서 저주파의 불필요한 신호와 고조파를 억압하였고 FLCLM을 이용하여 평행 결합 선로의 길이를 줄이는 방법에 대하여 실험을 하였다. 필터의 특징은 평행 결합 선로에서 기존의 전송선로의 전기적 및 회로적인 특성이 유사하여 적용시키는데 용이함과 제작하는데 비교적 간단하다. 뿐만 아니라 FLCLM을 이용하여 평행 결합 선로를 손쉽게 줄일 수가 있다는 장점이 포함된다. 제안한 필터의 또 다른 장점은 집중 정수 소자와 비아(via)를 사용하지 않고 분포 정수 소자 및 스터브를 적용했기 때문에 단가 면에서도 매우 경제적이다. 본 필터의 설계를 위해 수동 소자 시뮬레이션 전용 툴(tools)인 IE3D를 사용하였고 제작을 위해 wet-etching을 수행하였으며 유전율 2.5와 높이 0.55mm를 갖는 마이크로스트립 기판을 이용하여 HP-8510 C 회로망 분석기를 통해 측정 결과를 얻었다. 표 3은 기존에 게재된 논문들과 본 논문에서 제안한 필터의 고조파 억압 특성과 크기에 대하여 비교를 하였는데 기존에 게재된 논문들의 공통적인 특징은 고조파만 억압 되었을 뿐 저주파의 불필요한 신호의 억압한 결과에 대해서는 확인 되지가 않다.

표 3. 논문에서 게재된 필터들과 제안한 필터의 전체 크기 비교
Table 3. Size comparison of the proposed BPF with others.

참고문헌	주파수 [GHz]	기판유전율	크 기		고조파 억압 S_{21}[-dB]
			가로[mm]	세로[mm]	
This work	5.8	2.5	17.6	18.2	28.8
[7]	1.6	2.2	63.3	38.9	20
[8]	1.95	3.0	12.95	25.54	20

VI. 결 론

본 논문은 반파장의 길이를 갖는 협대역 개방형 스터브 대역통과 필터에 평행 결합 선로를 적용하여 저주파의 불필요한 신호 및 고조파를 억압하였고 FLCLM을 적용 시켜서 평행 결합 선로의 길이를 줄이는데 기여하였다. 기존의 스터브 대역통과 필터에 적용되는 전송선로는 평행 결합 선로의 회로 및 전기적인 특성과 매우 유사하기 때문에 본 필터에서는 전송선로의 위치에 평행 결합 선로를 적용시켜서 신호 응답 특성을 관찰하는 것이다. 뿐만 아니라 평행 결합 선로에 FLCLM을 이용하여 평행 결합 선로의 길이를 줄이는 효과에 대하여 실험적으로 관찰 하였고 평행 결합 선로의 특징은 원하는 기본파만 통과 시켜주고 저주파 및 2차 고조파 대역의 신호들은 억압 시키는 성질이 있어 그 구조를 필터에 적용 시킨다면 필터에서 원하는 신호만 통과 시켜주고 나머지의 주파수 대역들은 차단 시켜주는 효과를 갖

고 있다. FLCLM을 이용한 최종 필터의 실험 결과에서는 중심 주파수 5.8 GHz 그리고 대역폭 10 %이고 삽입손실과 반사손실은 각각 1.2 dB 및 14.8 dB 이며 저주파 와 고조파 억업 특성(S_{21})은 각각 28.9 dB(4.62 GHz) 및 28.8 dB(11.7 GHz)의 값을 얻었다. 뿐만 아니라 크기는 17.6 X 18.2 이다. 본 대역통과 필터는 W-LAN (Wireless-LAN) 혹은 지능형 교통시스템에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 최동묵, 김당오, 조남이, 김채영, "나선형 공진기를 이용한 소형 협 대역통과 필터설계 및 제작," 대한전자공학회 논문지, 제47권 TC편, 제 4호, 38-42쪽, 2010년 4월.

[2] 윤기철, 이일우, 한승현, 장팡, 권성수, 박정근, 윤태순, 이종철, "ITS용 5.8 GHz 스터브 위치를 이용한 협대역 대역통과 필터 설계," *한국ITS학회 학술대회 논문집*, pp. 175-178, 2006. 10.

[3] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.

[4] 이동기, 윤기철, 남희, 전병국, Li Meng, 최교순, 이재영, 이종철, "간섭 신호의 억압을 위한 평행결합 선로의 개방형 스터브 대역통과 여파기 설계," *한국ITS학회 학술대회 논문집*, pp. 141-148, 2010. 10.

[5] Ki-Cheol Yoon, Seung-Yeon Oh, Hyun-Wook Lee, Kyoung-Min Oh, and Jong-Chul Lee, "Design of a Compact Broad Band-pass Filter Using Parallel Coupled Line Structure," IEEE Proc. Asia-Pacific Microwave Conference, to be published, Dec. 2008.

[6] M. Makimoto and S. Yamashita, *Microwave Resonators and Filters for Wireless Communications-Theory and Design*, Springer, 2001.

[7] 이재곤, 이정해, "평행 결합 Mushroom 구조를 이용한 대역통과 여파기의 고조파 성분 억제," 한국전자파학회논문지, 제 18권 제 2호, pp. 118-125, 2007년 2월.

[8] P. Akkaraekthalin, S. Hongdamnuen, and V. Vivek, "A Bandpass Filter with Cross-Coupled L-Shape Folded resonators for Compact Size and Spurious Suppression," Proc. Asia-Pacific Micrwave Conf., pp. 1162-1165, Dec. 2006.

저 자 소 개

홍 태 의(정회원)

1985년 2월 인천대학교 전자공학과 공학사

1987년 8월 인천대학교 전자공학과 공학석사

2010년 2월 광운대학교 전파공학과 공학박사

1992년 2월～2004년 2월 전자부품연구원0580 사업단 책임연구원

2004년 3월～2005년 6월 경운대학교 멀티미디어공학과 객원교수

2005년 7월～현재 한국세라믹기술원 기술기획팀 책임연구원

<주관심분야 : 렉테나 및 무선전력전송기술, 부품소재기술기획, 정보통신기술>