

높은 주파수 선택도와 소형화된 12 단 interdigital BPF 설계

강태훈*, 강현덕**, 손호경**, 정영준**, 안달*

*순천향대학교, **한국전자통신연구원
forever_idea@sch.ac.kr

Design of 12th order compact Interdigital Bandpass Filter with High selectivity

Taehoon Kang*, Hyunduk Kang, Hokyung Son, Youngjun Chong, Dal Ahn*

*Soonchunhyang Univ., **Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 높은 주파수 선택도와 소형화된 12 단의 interdigital bandpass filter 를 제안한다. insertion loss 개선을 위해 cover 를 덮은 구조로 설계된다. 제안한 filter 는 coupling matrix 를 통해 설계된다. 공진기의 길이를 감소시키기 위해 유전율 10.2 의 기판이 사용되며, 크기는 $9 \times 24 \times 4.8$ mm 로 확인된다. 제안된 filter 는 중심주파수 3.9GHz 에 2GHz 대역폭으로 설계된다. 제안된 구조는 EM simulation 과 제작을 통해 일치하는 것이 확인된다.

I. 서 론

최근 무선통신시스템은 소형화 및 높은 특성의 Bandpass filter 를 많이 요구하고 있다. Bandpass filter 의 종류로는 parallel coupled line BPF, combline BPF, interdigital BPF 가 있다.[1] Parallel coupled line BPF 는 사이즈가 큰 문제, Combline BPF 는 집중소자 캐패시터가 공진기 끝에 연결되어 설계된 성능을 동일하게 얻기 어려운 문제가 있다. interdigital BPF 는 앞서 언급한 크기 및 성능에 대한 문제를 보완할 수 있고 많은 연구가 진행되고 있다.[2-4]

본 논문은 높은 주파수 선택도를 가지는 12 단 interdigital bandpass filter 를 제안한다. 제안된 filter 는 소형화 및 insertion loss 를 개선하기 microstrip 구조에 cover 가 덮여진 구조로 설계된다. 12 단의 interdigital BPF 는 coupling matrix 를 통해 설계된다. [5] 각각의 공진기의 길이를 감소시키기 위해 유전율 10.2 의 기판에서 설계 및 제작된다.

II. 본론

표 1 은 제안한 필터의 specifications 이며, 식 (1)은 표 1 을 만족하는 normalized 14×14 coupling matrix 를 나타낸다. 식 (1)은 12 개의 공진기와 source 및 load 를 포함하여 14 개의 행과 열로 구성된다. 첫 번째 및 마지막 행과 열은 source 및 load 를 나타내며, 이를 제외한 행과 열은 각각의 공진기를 의미한다. 첫번째 공진기와 source 사이, 마지막 공진기와 load 사이의 coupling 을 external Q 로 나타낸다. 식 (2)와 식(3)을 통해 external Q 와 공진기 사이의 coupling 값은 설계 주파수 대역으로 mapping 된다.

Table I 제안한 BPF 의 specifications

Order	6	
Return loss[dB]	14	
Center frequency[MHz]	3900	
Bandwidth[MHz]	2000	
Attenuation	<2400MHz	-56[dB]
	>5300MHz	-50[dB]

$$Q_e = 1/(FBW \times m_{s1}^2) \quad (2)$$

$$k_{ij} = FBW \times M_{ij} \quad (3)$$

External Q 는 단일 공진기와 feeding line 을 통해 s11 의 group delay 로 추출된다. Group delay 는 단일 공진기와 feeding line 이 연결되는 높이에 따라 조절된다. Group delay 를 통해 추출되는 external Q 는 식 (4)으로 나타낸다.

$$Q = \frac{\omega_0 \times \tau|_{s_{11}(\omega_0)}}{4} \quad (4)$$

진기 사이의 coupling 값은 각각의 공진기 사이에 간격에 따른 s21 의 크기가 peak 가 되는 2 개의 주파수를 통해 추출된다. 2 개의 주파수를 통해 추출되는 coupling 값은 식 (5)으로 나타낸다.

$$k_{i,i+1}|_{(i=1,2,\dots,n-1)} = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_2^2 + f_1^2} \quad (5)$$

그림 1 은 추출된 external Q 값과 coupling 값의 구조를 배열시킨 후 미세 tuning 을 한 interdigital BPF 를 나타낸다. in/output port 의 위치를 기판 중앙으로 배열시키기 위해 feeding line 이 연장된다.

$$[m] = \begin{bmatrix} 0 & 0.8580 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.8580 & 0 & 0.7206 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7206 & 0 & 0.5443 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5443 & 0 & 0.5266 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5266 & 0 & 0.5175 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5175 & 0 & 0.5139 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5139 & 0 & 0.5129 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5129 & 0 & 0.5139 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5139 & 0 & 0.5175 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5175 & 0 & 0.5266 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5266 & 0 & 0.5543 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5543 & 0 & 0.7206 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7206 & 0 & 0.8580 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8580 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

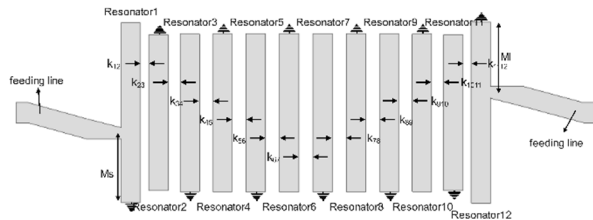


Figure 1 제안한 12 단 interdigital BFP

External Q 값을 정확하게 조절 및 대역폭을 확장하기 위해 첫 번째 공진기가 연결되는 feed 라인의 폭은 점점 감소되는 것이 확인된다. 공진기의 길이를 추가적으로 감소시키기 위해, 유전율은 10.2 인 기판이 사용되며, 크기는 $9 \times 24 \times 4.8\text{mm}$ 로 확인된다. 그림 2 는 제안한 필터의 simulation 및 측정 결과를 나타낸다.

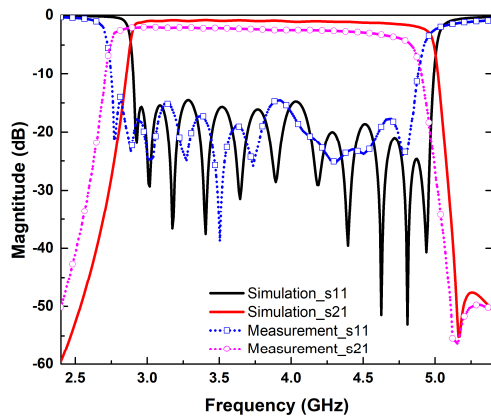


Figure 2 제안한 BPF 의 simulation 및 measurement 결과

측정결과는 simulation 에 비해 lower 쪽 rejection 특성이 -50dB 로 확인된다. 이는 통과대역이 저주파 쪽으로 130MHz 정도로 shifting 되었고 대역폭인 upper 주파수 기준 50MHz 정도 감소하는 현상에 의한 결과이며 제작 과정 중 발생한 공차로 확인된다. 이를 제외한 upper rejection 및 return loss 는 제안한 specification 에 만족하는 것이 확인된다.

III. 결론

본 논문은 높은 주파수 선택도와 소형화를 위해 microstrip 구조의 12 단 interdigital bandpass filter 를 제안된다. insertion loss 를 개선하기 위하여 microstrip 구조 위해 cover 을 덮은 구조로 설계된다. 제안된 filter 는 Coupling matrix 를 통해 BPF 원소인 external Q 및 coupling 계수를 각각 추출 후 결합하는 방식으로 설계된다. In/output port 의 위치를 고려하였을 때 기판의

중앙까지 Feeding line 의 길이가 연장되며, feeding line 의 폭은 넓은 대역폭 및 external Q 를 위해 일정하게 감소된다. 제안된 filter 는 Simulation 및 측정 결과를 통해 확인되며 주어진 성능에 만족하는 것이 확인된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 사공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] HONG, Jia-Shen G.; LANCASTER, Michael J. Microstrip filters for RF/microwave applications. John Wiley & Sons, 2004.
- [2] G. R. K. Dora, R. C. Biradar and M. Prakruthi, "Design and development of Interdigital Band pass filter for L-Band Wireless Communication Applications," 2022 IEEE Fourth International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAEECC), 2022, pp. 1-5
- [3] D. Cai, X. Ma, K. Xiao and S. Chai, "Design of 2GHz Interdigital Hairpin Microstrip Bandpass Filter," 2021 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (iWEM), 2021, pp. 1-3
- [4] F. Wang, K. Zhang, X. Yin, N. Yu and Y. Yang, "A Miniaturized Wideband Interdigital Bandpass Filter With High Out-Band Suppression Based on TSV Technology for W-Band Application," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 30, no. 7, pp. 989-992, July 2022
- [5] Cameron, Richard J., Chandra M. Kudsia, and Raafat R. Mansour. Microwave filters for communication systems: fundamentals, design, and applications. John Wiley & Sons, 2018.