

감쇠극을 갖는 마이크로스트립 인터디지털 대역통과필터 설계

Design of Microstrip Interdigital BPF with attenuation poles

김진현 · 유종원 · 이문규

(Jin-Hyun Kim · Jong-Won Yu · Moon-Que Lee)

Abstract

In this paper, a new interdigital bandpass filter with attenuation poles is presented. The coupled open stubs are used to generate attenuation poles at both sides of the passband. Therefore, the proposed bandpass filter provides not only compactness but also the improvement of the skirt characteristics. The advantage of this technique is that the attenuation pole can be easily realized simply by inserting the coupled stub into the resonator gap.

Key Words : transmission zeros, attenuation poles, interdigital filter

1. 서론

최근 무선 통신 기술에 대한 관심이 커지면서 다양한 성능을 가진 무선 통신 부품의 개발이 요구되고 있다. RF필터는 무선 통신 시스템의 성능을 결정하는 중요한 부품이며, 소형화, 높은 선택도(selectivity), 낮은 삽입손실을 갖는 필터개발이 중요한 이슈가 되고 있다. 특히 최근에는 필터의 선택도를 증가시키기 위하여 통과대역 양 끝단에 감쇠극(attenuation poles)을 두어 차단 특성을 높이게 하는 필터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

일반적으로 전송영점(transmission zeros)을 갖는 필터의 설계는 인접하지 않는 공진기들을 교차결합(cross-coupling)시키는 방법들이 널리 알려져 있다.[1],[2] 또 CQ필터(cascaded quadruplet filter)나 CT필터(cascaded triplet filter)를 응용하면 감쇠극의 숫자나 위치를 다양하게 제어할 수도 있다. 하지만 이러한 구조들은 해석이 어렵고, 개발시간이 오래 걸린다는 단점이 있다.

그림1은 일반적인 마이크로스트립 인터디지털 대역통과필터(interdigital bandpass filter)를 나타낸 구조이다. 한 쪽은 단락되고 다른 한 쪽은 개방된 $\lambda/4$ 길이의 공진기들이 연속적으로 결합된 모습을 보이고 있다. 기존의 $\lambda/2$ 결합방식에 비해 크기가 작아 소형화가 가능하며, 스푸리어스 특성이 좋기 때문에 상업적으로 많이 이용되고 있다.[3] 또 마이크로스트립 전송라인을 이용하였기 때문에 값이 싸고, 제작이 용이하다는 장점이 있다.

전송영점을 갖는 인터디지털 타입의 대역통과필터에 대한 연구가 다양하게 진행되어 왔다.[4] 하지만 이러한 내용들은 해석이 어렵고, 일반 CAD 툴로는 쉽게 설계하기 힘들다는 단점이 있다. 본 논문에서는 기존의 인터디지털 대역통과필터에 간단히 개방 스틱브를 삽입함으로써 전송영점을 만들 수 있음을 보였으며, 또 표준이 될 수 있는 구조를 제시하였다. 주파수 대역은 현재 미국, 캐나다 등에서 무선CATV 방송 수신용으로 서비스되고 있는 MMDS(Multichannel

Multipoint Distribution System) 2500~2686MHz 대역에서 설계하였다.

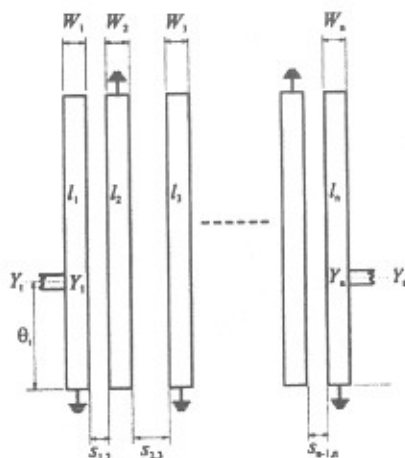


그림 1 일반적인 인터디지털 대역통과필터의 구성

2. 감쇠극을 갖는 인터디지털 필터 설계

Eagleware사의 Genesys를 이용하여 통과대역이 2500 ~ 2686MHz이고 단수가 5단인 탭을 가진 인터디지털 대역통과필터(tapped interdigital bandpass filter)를 설계하였다. 0.8mm 테플론 기판을 사용하였으며 그림2와 같은 레이아웃을 얻을 수 있었다. 그림3은 ADS에서 최적화한 후 EM 시뮬레이션한 결과이다.

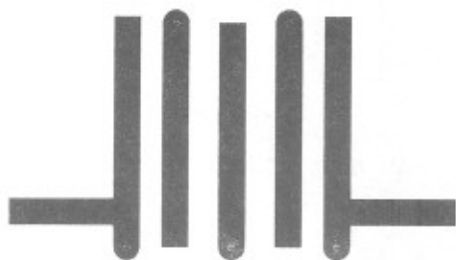


그림 2 설계된 인터디지털 필터의 레이아웃

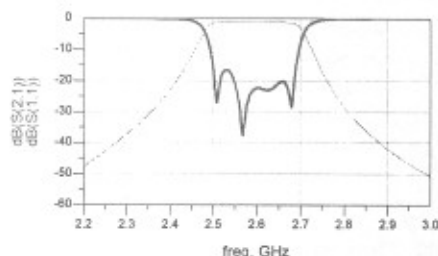
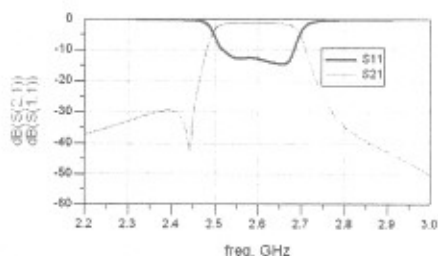
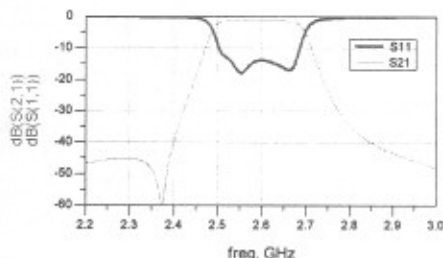


그림 3 설계된 인터디지털 필터의 시뮬레이션 결과



(a) 그림4(a)의 시뮬레이션 결과



(b) 그림4(b)의 시뮬레이션 결과

그림 5 결합면적에 따른 감쇠극 형성 시뮬레이션 결과

2.1 감쇠극 형성 구조 분석

2.1절에서는 결합 스테브를 인터디지털 필터에 다양한 구조에 삽입해보고 감쇠극 형성에 영향을 주는 요인들을 확인하였다. 그림4처럼 기존의 인터디지털 필터에 길이가 $\lambda/2$ 이고 두께가 0.2mm인 개방 스테브를 공진기 사이의 gap에 삽입하였다. 그림4(a)에서는 스테브를 공진기 사이에 완전히 삽입하였고, 그림4(b)에는 스테브를 절반 정도 삽입하였다.

그림5는 그림4의 EM 시뮬레이션 결과이다. 그림5(a)는 결합 스테브를 완전히 삽입한 구조에 대한 해석이며, 그림5(b)는 결합 스테브를 절반 삽입한 구조에 대한 해석이다. 각각의 시뮬레이션 결과 공진기 사이에 개방 스테브를 삽입함으로써 필터의 통과대역 왼쪽에 감쇠극이 형성되었음을 확인할 수 있었다. 또 스테브를 깊게 삽입할 수록 필터의 스킵트 특성은 좋아졌으며 감쇠극 위치도 통과대역에 가까워졌다. 하지만 그림4의 구조들은 필터의 반사손실이 나빠지는 단점도 발생하였다.

2.2 다양한 결합 구조에 대한 해석

2.2.1 한 개의 결합 스테브를 갖는 구조

2.1절에서는 인터디지털 필터의 공진기 사이에 개방 스테브를 삽입함으로써 감쇠극이 형성됨을 확인하였다. 2.2절에서는 개방 스테브를 다양하게 삽입해보고 최적의 성능을 나타낼 수 있는 구조를 시뮬레이션을 통해서 찾아내었다.

본 논문에서는 개방 스테브를 공진기 사이에 절반 정도 삽입한 뒤 각각의 gap에 삽입해 보았다. 그림6과 7은 입력 포트로부터 개방 스테브를 연결한 구조이다. EM 시뮬레이션 결과 그림6의 (a), (b)와 같이 세 번째와 네 번째 gap에서 감쇠극이 형성되었다. 각각 통과대역의 왼쪽에서 감쇠극이 형성되었으며, 특히 네 번째 gap에 삽입한 그림6(a) 구조에서 스킵트 특성이 가장 좋았다.



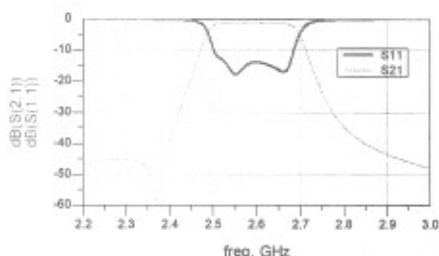
(a) 깊게 삽입한 구조 (b) 절반 삽입한 구조

그림 4 스테브의 결합면적이 감쇠극 형성에 주는 영향

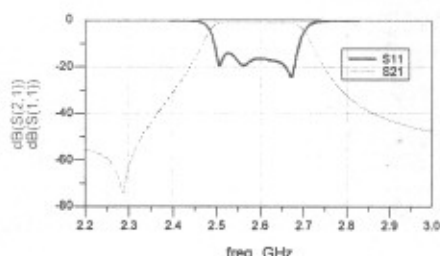


(a) (b)

그림 6 한 개의 스테브를 입력포트로부터 연결된 구조

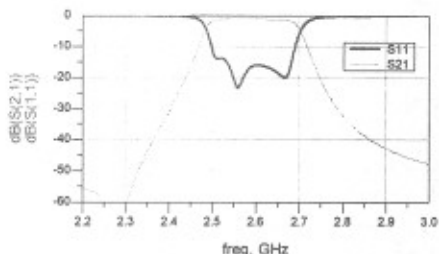


(a) 그림6(a)의 시뮬레이션 결과



(b) 그림7(b)의 시뮬레이션 결과

그림 9 한 개의 스테브를 출력포트로부터 연결된 구조



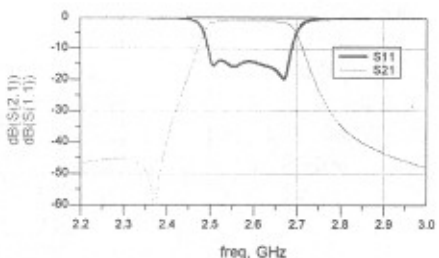
(b) 그림6(b)의 시뮬레이션 결과

그림 7 한 개의 스테브를 입력포트로부터 연결된 구조

그림8과 그림9는 출력포트로부터 개방 스테브를 연결한 구조이다. EM 시뮬레이션 결과 그림8의 (a), (b)와 같이 첫 번째와 두 번째 gap에서 감쇠극이 형성되었다. 각각 통과 대역의 왼쪽에서 감쇠극이 형성되었으며, 특히 첫 번째 gap에 삽입한 그림8(a) 구조에서 스킵트 특성이 가장 좋았다.



그림 8 한 개의 스테브를 출력포트로부터 연결된 구조



(a) 그림7(a)의 시뮬레이션 결과

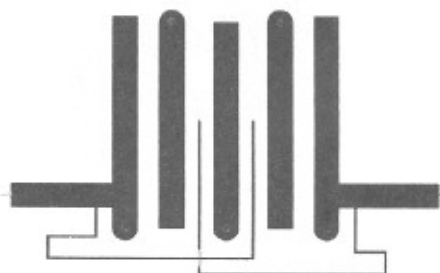


그림 10 제안된 감쇠극을 갖는 대역통과필터

2.2.2 두 개의 결합 스테브를 갖는 구조

2.2.1에서는 한 개의 결합 스테브만을 공진기 사이에 다양하게 결합시키고 감쇠극을 형성시켜 보았다. 그 결과 개방 스테브를 입력포트에 연결할 수도 있고, 출력포트에 연결할 수도 있었다. 또 그림6과 그림7과 같이 스테브가 연결된 포트로부터 멀리 떨어져 있는 두 개의 gap에서만 감쇠극이 형성되었다.

2.2.2에서는 두 개의 결합 스테브를 입력포트와 출력포트로부터 각각 연결하고 다양한 구조에 대하여 해석하였다. EM 시뮬레이션 결과 2.2.1의 결과가 그대로 적용됨을 확인하였다. 즉 입력포트로부터 연결된 개방 스테브가 세 번째 또는 네 번째 gap에서 결합하거나, 출력포트로부터 연결된 개방 스테브가 첫 번째 또는 두 번째 gap에서 결합된 구조의 경우 필터의 통과대역 왼쪽에서 한 개의 감쇠극을 확인할 수 있었다. 또 두 가지 조건을 모두 만족하는 구조의 경우는 필터의 통과대역 오른쪽에서도 감쇠극을 확인할 수 있었다. 이러한 구조들 중 그림10과 같은 구조가 가장 특성이 좋았다.

그림10은 본 논문에서 제안한 통과대역 양단에 감쇠극을 갖는 인터디지털 형태의 대역통과필터이다. 그림11은 그림10의 EM 시뮬레이션 결과이다. 통과대역 왼쪽에서 하나의 감쇠극과 오른쪽에서 두 개의 감쇠극을 얻을 수 있었다. 시뮬레이션 상의 삽입손실은 약 -1dB이다.

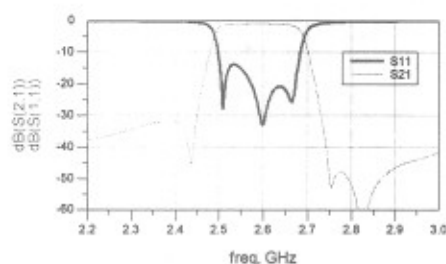


그림 11 그림10의 EM 시뮬레이션 결과

3. 제작 및 측정

시뮬레이션 설계를 바탕으로 통과대역 양단에 감쇠극을 갖는 그림10의 인터디지털 필터를 제작하였다. 결합 스티브는 0.2mm 폭과 $\lambda/2$ 길이를 갖도록 각각의 포트방향에서 연결하여 삽입하였다. 테플론 기판을 사용하였으며 시뮬레이션 설계에 따른 dimension 값을 표1에 제시하였다.

order	width	gap	length
1	2.21mm	1.86mm	19.48mm
2	2.23mm	2.52mm	18.95mm
3	2.22mm	2.52mm	18.95mm
4	2.23mm	1.86mm	18.95mm
5	2.22mm		19.48mm

표1 인터디지털 대역통과필터 dimensions

그림12는 실제 제작한 필터의 사진이며, 그림13은 제작한 필터에 대한 실제 주파수 특성이다. 원하는 주파수 차단 효과를 얻을 수 있었으며, 통과대역 양단에 감쇠극도 확인할 수 있었다. 통과대역에서 삽입손실은 -2dB에서 -5dB였으며, 반사손실은 약 -5~-10dB였다.

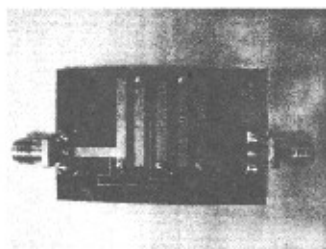


그림12 실제 제작 사진

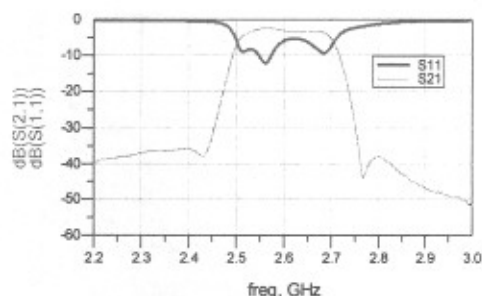


그림13 측정된 인터디지털 대역통과필터의 주파수 특성

4. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 라인을 이용한 인터디지털 대역통과필터를 설계하고 제작하였다. 시뮬레이션을 기반으로 설계하였으며, 기존의 인터디지털 필터보다 차단특성이 좋은 필터를 제안하였다. 그 결과 본 논문에서는 통과대역 양단에 감쇠극을 갖고, 스킵트 특성이 뛰어난 대역통과필터를 제작하였다.

필터의 통과대역은 MMDS 다온컨버터용에 해당하는 2500~2686MHz이며, 값이 싸고 제작이 쉬운 마이크로스트립 라인을 이용하였다. 따라서 대량으로 제품의 상용화도 기대된다. 또한 본 논문의 방식은 간단히 결합 스티브만을 삽입하기 때문에 기존의 다른 인터디지털 필터들의 특성도 보다 쉽게 향상시키게 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Kurzok, "General four-resonator filters at microwave frequencies" IEEE Trans., MTT-14, 295-296, 1966
- [2] R. Levy, "Filters with single transmission zeros at real and imaginary frequencies" IEEE Trans., MTT-24, 1976, 172-181
- [3] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-matching Network, and Coupling Structures" McGraw-Hill, pp. 614-625, 1980
- [4] Cheng-Chung Chen, Yi-Ru Chen, and Chi-Yang Chang "Miniaturized Microstrip Cross-Coupled Filters Using Quarter-Wave or Quasi-Quarter-Wave Resonators" IEEE Trans. MTT-51, pp. 120-131, Jan. 2003.