

평면의 적층구조를 이용한 저지대역 특성을 향상시킨 소형화된 대역통과 필터

°최 오 석*, 남 훈**, 임 영 석*

*전남대학교 전자공학과, **(주)LG 전자

전화 : (062)530-0752 / 팩스 : (062) 530-1752

Miniaturized Bandpass Filter with Improved Stopband Characteristics using planar multilayer structure

Ohseog Choi*, Hun Nam**, Yeongseog Lim*

* Dept. of Electronics Engineering Chonnam National University

E-mail : coss2001@hanmail.net

Abstract

The rapid growth of wireless and mobile communications has stimulated the development of multilayer filter technology. In this paper, one type of aperture-coupled microstrip interdigital-loop resonators in a multilayer structure are proposed and investigated for the applications to the design of a new class of compact microstrip bandpass filter. The new filter configuration consists of two arrays of microstrip interdigital-loop resonators that can be coupled through the apertures on the common ground plane. Depending on the arrangement of the apertures, different filtering characteristics can easily be realized. The results of measurement are almost similar to those of simulation.

Key word : microstrip bandpass filter, aperture-coupled, multilayer structure, microstrip interdigital-loop resonators.

I. 서론

최근 위성 및 무선 통신 수요의 급격한 증가로 사용 주파수 대역이 점점 높아지고 있으며, 특히 소형, 광대역 또는 협대역, 제작의 간편성, 낮은 제작 단가, 적은 삽입손실, 통과대역에서 선형적인 위상특성, 평탄한 군지연 특성을 갖춘 대역 통과 필터를 필요로 하고 있다. 또한 무선 및 이동 통신 시스템 등에서 사용되는 우수한 특성을 지닌 평면의 소형화된 RF 필터가 설계 되고 있다. 반파장 병렬 결합 마이크로스트립 필터의 경우 최근에 사용되는 시스템에서는 RF 필터의 크기를 소형화시키는 것이 중요하다. 병렬 결합 반파장 선로 구조로부터 발전된 Hairpin Filter와 마이크로스트립 개방

루프 공진기 대역 통과 필터 등에서 크기 감소를 위한 연구가 진행되고 있다^{[1]-[3]}.

그러나 IMT-2000 통신에는 음성뿐만 아니라 동영상 등의 데이터를 포함한 많은 부품이 실장 될 것으로 예상되어 부품의 소형화가 더욱 절실히 요구되고 있다. 이러한 요구에 충족할 수 있는 새로운 필터로서, 기존의 평면형, 조합형 구조를 이용한 필터류 보다는 소형화된 적층구조^{[4]-[6]}의 필터 개발이 시급한 상황이다.

본 논문에서는 Interdigital 회로를 사용한 소형화된 공진기를 이용하여 IMT-2000에 적용 가능한 중심 주파수가 1.95 GHz이고 통과 대역폭이 60 MHz인 대역 통과 마이크로스트립 적층 필터를 Aperture 결합을 이용하여 설계 및 제작하였다.

II. 소형화된 공진기 등가회로 및 특성

마이크로스트립 공진기의 소형화를 위해서는 공진기의 끝단에 캐패시턴스 특성을 갖는 성분을 부가적으로 삽입함으로써 공진 주파수를 낮은 주파수로 이동시키고 스푸리어스 응답특성을 향상시키는 효과를 얻을 수 있다^[7]. 그림 1(a)은 Interdigital 공진기 구조이며 그림 1(b)는 등가회로이다. 그림 1(b)에서 Interdigital 캐패시터는 직렬 캐패시터 C_s 로 나타낼 수 있다. Interdigital Finger의 길이 l 에 따른 기본 공진 주파수를 시뮬레이션 결과를 그림 2(a)에 나타내었다. 여기서 Interdigital Finger 길이 l 이 길어질수록 공진 주파수가 낮은 주파수쪽으로 이동함을 알 수 있다.

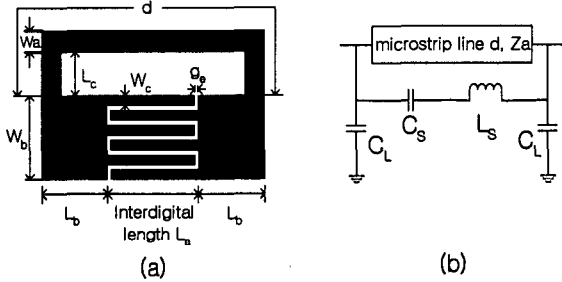


그림 1. 소형화된 마이크로스트립 공진기구조 및 등가회로

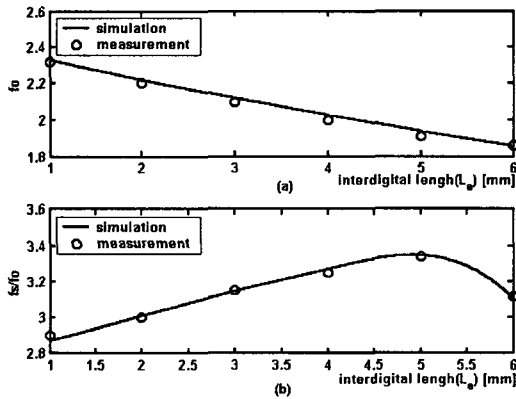


그림 2. 기본 공진 주파수와 정규화된 스푸리어스 공진 주파수

그림 2(b)는 기본 주파수와 첫 번째 스푸리어스 비를 나타낸 것으로 Interdigital Finger 길이 5 mm에서 기본 주파수가 1.937 GHz이고 최대 3.34 f_0 의 우수한 스푸리어스 억압특성을 가짐을 확인할 수 있다. 하지만 Interdigital Finger의 길이 l 이 길어지면

Interdigital Finger가 지니고 있는 인덕턴스 L_s 성분을 무시할 수 없으므로 직렬 인덕턴스 L_s 성분을 포함한 등가회로를 그림 1(b)에 나타내었다. Interdigital 회로를 삽입한 공진기를 사용하면 공진기의 크기를 줄일 수 있으며 또한 우수한 스푸리어스 특성을 가진다. 설계한 공진기의 크기는 12.5 mm × 7.55 mm이며, Interdigital Finger의 갯수는 6개, $g_e = 0.25$ mm, $W_a = 1.1$ mm, $W_b = 4.25$ mm, $W_c = 0.5$ mm이며 그림 1(a)에 나타내었다.

III. 4-극 교차 결합구조와 결합계수

4-극 마이크로스트립 단층 필터를 새로운 소형 마이크로스트립 대역통과 필터 설계에 적용하기 위해 그림 3에서 제안한 Mixed coupling Aperture 결합을 이용한 마이크로스트립 Interdigital-loop 공진기 형태의 적층 구조를 제안한다. 이 필터의 배치는 Interdigital-loop 공진기 2개의 층을 Common ground 상에 Aperture을 통해 공진기간의 결합력을 얻는다.

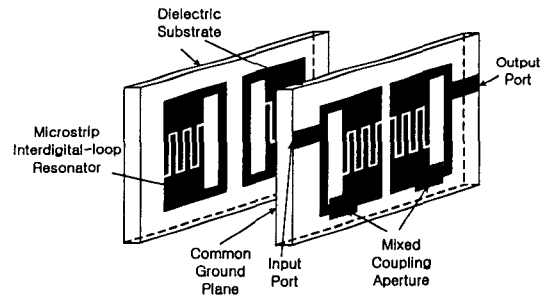
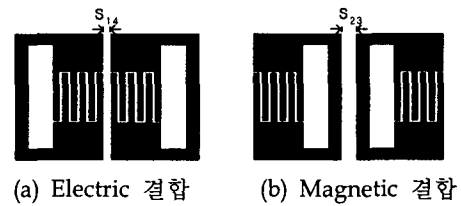
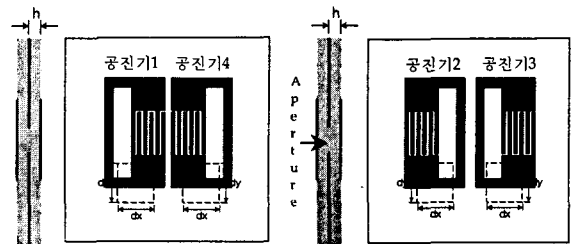


그림 3. 새로운 적층 구조의 마이크로스트립 대역통과 필터



(a) Electric 결합 (b) Magnetic 결합



(c) Aperture을 통한 Mixed 결합

그림 4. 적층필터의 결합구조

그림 4는 적층 필터의 결합구조로써, 그림 4(a)는 동일 층에서 공진 주파수가 공진기의 스테브 끝에서 최대 전계 프린징 필드의 세기를 가지므로 Electric 결합이며, Interdigital을 사용한 스테브 반대쪽에서 즉 공진기의 중간 지점에서 최대 자계 프린징 필드의 세기를 가지므로 그림 4(b)는 Magnetic결합이다. 그리고 그림 4(c)는 2개의 기판을 적층하여 Aperture를 통해서 Electric과 Magnetic 결합을 동시에 가지므로 Mixed 결합으로 간주되어진다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 3가지 결합구조는 동일 층에서 S₁₄와 S₂₃, 2개의 기판을 적층하여 Common ground상의 Aperture 크기를 가변시키는 dx, dy를 가지고 있다. 각각의 결합 구조는 전자계의 프린징 필드의 영향으로 두 개의 공진 주파수를 가지고 있다. 두 공진 주파수에서 낮은 주파수를 f_a, 그리고 높은 주파수를 f_b라고 하면 다음과 같은 식(1)에서 결합 계수를 계산할 수 있다.

$$M_{ij} = \pm \frac{f_b^2 - f_a^2}{f_b^2 + f_a^2} \quad (1)$$

여기서 (+)기호를 갖는 사이 결합은 S₁₂(2개의 기판을 적층하여 Common ground상의 Apertured 결합을 이용한 공진기1, 공진기2), S₃₄(2개의 기판을 적층하여 Common ground상의 Apertured 결합을 이용한 공진기3, 공진기4)와 동일 층에서 S₂₃이며, (-)기호를 갖는 교차 결합은 S₁₄이다. 본 논문에서 제시한 마이크로스트립 결합구조와 결합간격 S를 변화시킨 결합계수의 결과를 바탕으로 설계 사양에 맞는 적절한 필터 합성법을 적용한다. 따라서 설계 사양에 맞는 결합계수의 값을 Interdigital-loop 공진기를 사용하여 구현함으로써 대역통과 필터를 제작 하였다.

IV. 필터 설계 및 제작

필터의 설계사양은 중심 주파수가 1.95 GHz, 3 dB 대역폭은 60 MHz(FBW=0.03077), 중심 주파수의 ±50 MHz에서 20 dB 이상의 저지대역 감쇄특성을 갖도록 설계 하였다. III장에서 구한 결합계수를 이용한 교차 결합 마이크로스트립 대역통과 적층 필터를 4극 준-타원 함수를 이용하여 설계 및 제작하였다.

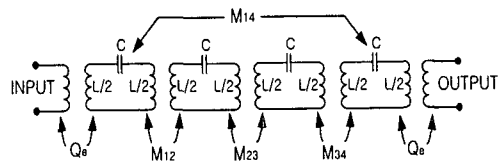


그림 5. 4-극 교차 결합 필터의 등가회로

필터에 사용한 등가회로는 그림 5에 나타내었고, 입력과 출력의 공진기 사이의 교차 결합은 M₁₄로 표기하였다. 필터 합성에 사용되는 저역 통과 프로토타입은 그림 6에 제시하였으며, 단일 전송 영점을 가진 필터의 합성법을 이용하여 구한 상수 값들은 g₀ = 0, g₁ = 0.95826, g₂ = 1.40972, J₁ = -0.19685, J₂ = 1.10048 이며, 아래와 같은 식(2)으로 대역 통과 필터 결합계수를 계산하였다.

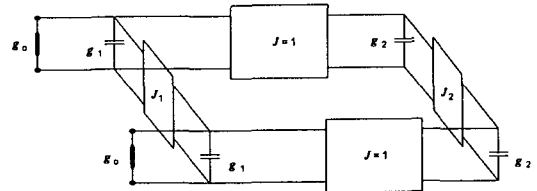
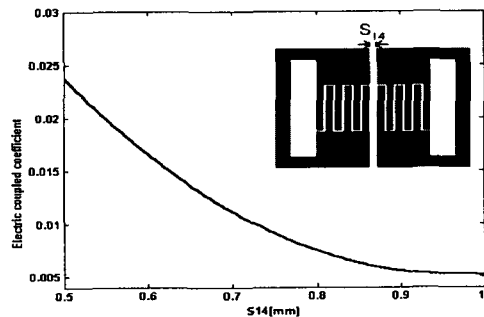
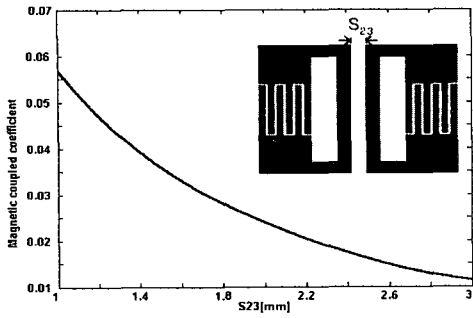


그림 6. 저역 통과 프로토타입

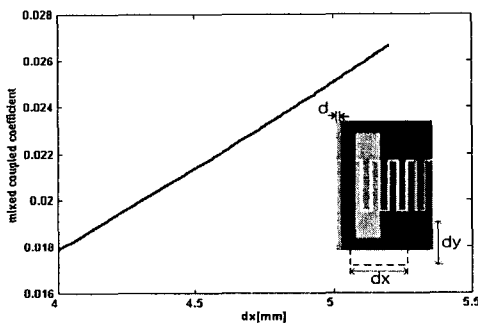
$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{g_0 g_1}{FBW} = 31.14 \\ M_{12} &= M_{34} = \frac{FBW}{\sqrt{g_1 g_2}} = 0.02647 \\ M_{23} &= \frac{FBW \cdot J_2}{g_2} = 0.02402 \\ M_{14} &= \frac{FBW \cdot J_1}{g_1} = -0.0063 \end{aligned} \quad (2)$$



(a) electric coupling



(b) magnetic coupling



(c) mixed coupling

그림 7. 결합 간격 S의 변화에 의한 결합 계수

먼저 식(2)의 결과를 근거하여 III장에서 설명한 결합구조에서 M_{23} , M_{14} 에 값을 시뮬레이션 결과인 그림 7(a)~(b)의 결합 간격 S의 변화에 따른 결합 계수에서 S_{23} 와 S_{14} 의 결합 간격을 구할 수 있다. M_{12} 와 M_{34} 의 결합 계수는 2개의 기판을 적층하여 Common ground상의 Aperture를 통해 오프셋 d를 두고 dy축을 3.0 mm으로 고정, dx축을 가변시켜 시뮬레이션 하여 결합 간격 $S_{12} = S_{34}$ 를 결정하였다. 또한 양의 결합 계수를 갖는 M_{23} 와 $M_{12}=M_{34}$ 는 S_{23} 과 $S_{12}=S_{34}$ 로 구현하였으며, 음의 결합계수 M_{14} 는 S_{14} 로 구현하였다. 마지막으로 Single-loaded external Q_e 값은 Tapped-line feed를 사용하여 설계하였다^[8].

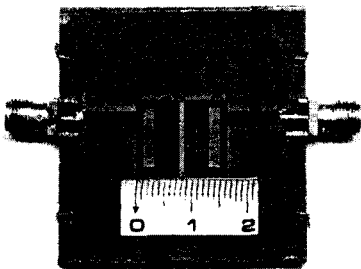


그림 8. 4-극 마이크로스트립 적층 필터 제작 사진

그림 8은 4-극 마이크로스트립 적층 필터 제작 사진이며, 필터 제작에 사용된 기판은 두께 0.78 mm, 상대 유전율이 2.6인 teflon기판을 사용하였다. 설계된 필터의 특성은 ADS momentum으로 시뮬레이션 했으며, 측정에는 Anritsu사의 vector network analyzer (model 37325A)로 측정하였다. 전체 필터의 크기는 16.31 mm × 12.5 mm 이다. 시뮬레이션 결과와 실험 측정값은 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 시뮬레이션 결과는 중심 주파수 1.95 GHz대역에서 3 dB통과 대역폭이 60 MHz이며, 전송영점은 통과대역 밖의 낮은 주파수 1.905 GHz에서 -29.2 dB, 높은 주파수에서는 2.05 GHz에서 -30.7 dB이다. 실제 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 보이며, 삽입 손실은 2.34 dB값으로 측정되었다. 이는 도체 손실로 기인한다. 그림 10은 스퓨리어스 응답 특성 측정 결과로써 6.5 GHz에서 -10 dB이하의 값을 나타내고 있다. 이는 기본 공진 주파수의 3.33 f_0 에서 제2고조파가 나타나 우수한 스퓨리어스 억압 특성을 보인다.

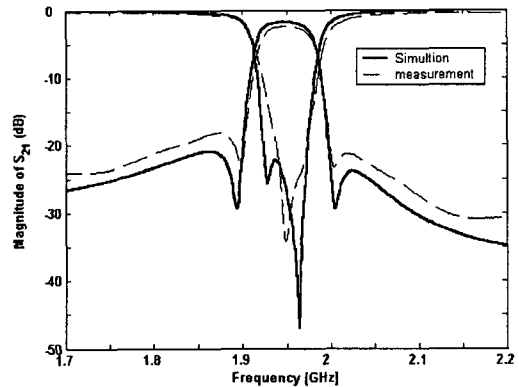


그림 9. 시뮬레이션 및 실험 측정결과

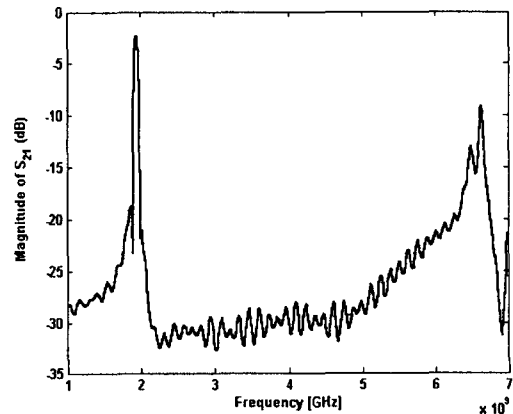


그림 10. 적층 필터의 스퓨리어스 응답 측정

V. 결 론

본 논문은 소형화된 마이크로스트립 공진기를 이용하여 MIC 및 MMIC에 응용 가능한 평면형 적층 구조를 갖는 IMT-2000에 적용할 수 있는 4극 준-타원 함수 대역통과 적층 필터를 설계 및 제작하였다. Interdigital-loop 공진기를 이용한 단층 필터를 새로운 소형 필터 설계에 적용하기 위해 2개의 기판을 적층하여 Common ground상의 Aperture 결합을 이용하여 마이크로스트립 Interdigital-loop 공진기 형태의 적층 구조를 제안하고 연구하였다. 제안된 필터는 기존의 적층 구성보다 간단하고 제작하기 편하다는 장점과 단층 필터보다 크기는 50% 감소하며, 시뮬레이션과 측정결과 모두 4극 마이크로스트립 단층 필터와 거의 일치하는 필터특성과 스푸리어스 응답을 보인다.

참고문헌

- [1] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster, "Cross-Coupled Microstrip Hairpin-Resonator Filters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-44, pp. 2099-2108, 1996. Sept.
- [2] Jen-Tsai Kuo, M-U Maa, and P-H Lu, "A Microstrip Elliptic Function Filter with Compact Miniaturized Hairpin Resonators", *IEEE Trans. Microwave and Guided Wave Letters.*, vol. 10. NO. 3, pp. 94-95, 2000. Sept.
- [3] 최오석, 남 훈, 장행종, 임영석, "고조파 억압 특성이 있는 대역통과·교차 결합 필터 설계", 2002년 대한전자공학회 추계 학술대회 논문집, 이화여자대학교, pp. 791-794, 2002년 11월
- [4] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster, "Back-to-Back microstrip open-loop resonator filters with aperture coupling", *IEEE Trans. International Microwave symposium Digest*, vol. 3, MTT-S, pp. 1239-1242, 1999.
- [5] Jia-Sheng Hong and Michael J. Lancaster, "Aperture-coupled microstrip open-loop resonators and their application to the design of novel microstrip bandpass filters", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-47, pp. 1848-1855, 1999. Sept.
- [6] W. Schwab, F. Boegelsack, and W. Menzel, "Multilayer suspended stripline and coplanar line filters", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 42, pp. 1403-1406, 1994. July.
- [7] 최오석, 남 훈, 임영석, "감쇠극을 갖는 마이크로스트립 듀플렉서 설계," *한국전자파학회 논문지*, vol. 14, No. 9, pp. 924-930, 2003년 9월
- [8] Ralph Levy, "Filters with Single Transmission Zeros at Real or Imaginary Frequencies," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-24, pp. 172-181, 1976. Feb.