

Rectangular Ring 공진기와 Interdigital Capacitive 급전구조를 이용한 소형화된 이중대역통과필터의 설계 및 제작

† 윤현수* · 강상록** · 최병하***

*목포해양대학교 대학원 해양전자통신공학과, **(주)동강엠텍 기술지원팀 팀장, ***목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

Design and Fabrication of Miniaturized Dual-bandpass filter Using Rectangular ring resonator and Interdigital capacitive feeding-structure

† Hyun-Soo Yoon* · Sang-Rok Kang** · Byoung-Ha Choi***

*Division of Marine Electronic & Comm. Eng., Graduate school of Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

**Assistant Tech. Dept, Dong Kang M-Tech Co.,Ltd, Seoul 135-080, Korea

***faculty of Marine Electronic & Comm. Eng., Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

요 약 : 본 논문에서는 새로운 구조의 사각 링과 각지 긴 용량성 급전구조를 이용한 마이크로스트립 패치 대역통과필터를 설계 및 제작하였다. 필터의 크기를 줄이고 IEEE 802. 11에 부합하는 Wireless LAN영역(2.45GHz and 5.2GHz)에서 동작할 수 있도록 하기 위해서 패치 구조에서 변형된 사각 링과 각지 긴 용량성 급전구조를 적용하였다. 그 결과 설계와 제작이 간단하여 RF(Radio Frequency) 필터로 많이 사용되고 있는 병렬 끝단 결합 마이크로스트립 대역통과필터(Parallel Edge-coupled Microstrip Bandpass Filter)의 최소 단수로 계산되어진 회로에 비하여 60%이상의 크기 감소 효과를 가져왔다. 제작된 필터의 측정 결과, 중심주파수는 2.408GHz와 5.075GHz로 약간씩 하향되었으며, 입력 반사계수는 2.408GHz에서 -39.169dB, 5.075GHz에서 -40.922dB를 나타내었으며, 삽입손실은 2.408GHz에서 -0.437dB, 5.075GHz에서 -1.669dB로 매우 좋은 특성을 얻었다.

핵심용어 : 무선 LAN, IEEE 802. 11, 마이크로스트립 패치 공진기, 각지 긴 구조, 소형화 필터, 이중대역통과필터

Abstract : In this paper, we have designed and fabricated a new type of bandpass-filter that used rectangular ring and interdigital capacitive feeding-structure. The filter is applied the modified rectangular ring and interdigital capacitive feeding-structure in patch, which reduce the size of filter and IEEE 802. 11 correspond to Wireless LAN domain(2.45GHz and 5.2GHz) for operating. As a result, the design and fabrication process of the filter become simple and the size of it is reduced more than 60% compared with RF filter are available conventional PEMBF(Parallel Edge-coupled Microstrip Bandpass Filter) of accounted circuit by minimum stage. measurement result of fabricated filter, center frequency is down 2.408GHz and 5.075GHz. input return loss is -39.169dB at 2.408GHz, -40.922dB at 5.075GHz. insertion loss is -0.437dB at 2.408GHz, -1.669dB at 5.075GHz.

Key words : Wireless LAN, IEEE 802.11, Microstrip patch resonator, Interdigital, Miniaturization filter, Dual-bandpass filter

1. 서 론

고도화 정보 사회를 지원하는 정보통신 시스템 부문 중 무선통신망을 활용한 고속, 대용량 정보의 전송기술에 대한 필요성이 크게 대두되고 있는 추세이다. 이에 따라 무선통신 시스템에서 사용되는 주파수 대역 또한 점차 고주파의 활용이 가시화 되고 있다. 특히 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역으로 일컬어지는 2.45GHz 대역을 이용한 무선 네트워크 기술의 개발이 활발히 추진되어 왔으며, 점차 5.2GHz 대역을 이용하는 기술 개발 역시 가시화 되고 있다(김, 2002; 김, 1997).

이에 소형, 광대역 또는 협대역, 제작의 간편성, 낮은 제작

단가, 적은 삽입손실, 통과대역에서 선형적인 위상특성, 평탄한 군지연 특성을 갖춘 대역통과 필터를 필요로 하고 있다. 또한 무선 및 이동통신 시스템 등에서 사용되는 우수한 특성을 지닌 평면의 소형화된 RF 필터가 설계 되고 있으며 이를 위하여 마이크로스트립 구조를 많이 이용하게 된다. 마이크로스트립 구조는 소형화, 경량화, 제작의 간편성, 낮은 제작단가의 장점이 있다.

반과장 병렬 결합 마이크로스트립 필터의 경우 최근에 사용되는 시스템에서는 필터의 크기가 크므로 RF 필터의 크기를 소형화 시키는 것이 중요하다. 병렬 결합 반과장 선로 구조로부터 발전된 Hairpin Filter와 마이크로스트립 개방 루프 공

† 교신저자 : 윤현수(정회원), super_gain@mmu.ac.kr 061)240-7131

** okksr@nate.com 010-7565-0003

*** antenna@mmu.ac.kr 061)240-7117

진기 대역 통과 필터 등에서 크기 감소를 위한 연구가 진행되고 있다(Hong, 1996; Kuo, 2000).

한정된 주파수 자원에서 이용자 수가 많아지고 있으므로 주파수 간섭을 최소화하기 위해서 대역통과 필터에서는 다중 대역에서의 높은 주파수 선택도와 낮은 삽입손실이 필요하다. 이러한 필터를 설계하기 위해서는 입력단에서 출력단 사이에 신호가 하나의 경로가 아닌 다중경로를 부여함으로써 다중경로 효과를 만들어 내는 교차결합을 이용해야 한다.

따라서 본 논문에서는 2.45GHz와 5.2GHz의 ISM 이중대역에서 사용 가능한 마이크로스트립 필터를 설계함에 있어 주로 안테나 설계에 많이 쓰이는 마이크로스트립 패치를 대역통과 필터의 공진기로서 적용하였다. 이것은 Parallel Edge-coupled Microstrip Bandpass Filter에서의 $\lambda/2$ 공진기 대신에 마이크로스트립 패치 구조를 공진기로서 적용한 형태로서, Gap coupled feed antenna를 필터로 응용한 구조를 갖는다(Lei, 1999; Lei, 2000). 그러나 마이크로스트립 패치를 그대로 필터로 적용하면 손실이 많고, 크기도 많이 줄지 않는 단점이 있다. 따라서 이를 개선하기 위해 마이크로스트립 패치 구조에서 벗어난 사각 링 공진기와 짝지 긴 급진구조를 사용하여 공진주파수를 낮춤으로써 60%이상 소형화를 하였고, 삽입손실을 줄였다.

2. 공진기 구조

2.1 패치 공진기

먼저 안테나 설계에 주로 사용되는 마이크로스트립 패치 공진기를 응용하여 마이크로스트립 패치 대역통과 필터의 공진기를 구성하면 Fig. 1과 같다. 이때, 폭(W)과 길이(L)의 설계식은 다음과 같다(Balanis, 1997).

$$\text{폭} : W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\text{길이} : L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta l \quad (2)$$

$$\text{공진 주파수} : f_r = \frac{c}{2(L + 2\Delta l) \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (3)$$

공진 주파수가 f_r 일 때, 기판의 두께와 유전 매질의 특성으로부터 식 (1)과 (2)를 이용하여 패치의 W와 L를 계산한다. 여기서 ϵ_r 은 기판의 유전율, ϵ_{reff} 는 실효유전율, c는 자유공간 전파 속도 (3×10^8 m/s)이다.

패치 공진기의 길이와 폭이 유한하기 때문에 패치 공진기가장자리에서의 계는 프린징 효과(fringing effect)가 발생하게 된다. 총 프린징 효과는 패치의 크기와 기판의 높이에 대한 함수이며 기본 E-평면(x-y 평면)에서 프린징 효과는 기판의 높

이 h에 대한 길이 L의 비(L/h)와 기판의 유전율 ϵ_r 의 함수이다. 마이크로스트립 필터에서는 $L/h \gg 1$ 이므로 프린징 효과가 적지만 프린징 효과는 필터의 공진 주파수에 영향을 주기 때문에 고려해야 한다.

마이크로스트립 선로에서의 전기력선은 두 유전체(대표적으로 기판과 공기)의 비 균질선로로서 대부분의 전기력선은 기판에 존재하고 그 일부는 공기에 존재한다. 즉, $L/h \gg 1$ 이고, $\epsilon_r \gg 1$ 이므로 전기력선은 기판에 거의 존재한다. 이 경우 프린징 효과에 의해 마이크로스트립 선로가 물리적 크기에 비해서 전기적으로 더 길게 된다. 파의 일부는 기판에, 다른 일부는 공기로 진행하기 때문에 선로에서 프린징과 전파전파를 계산하기 위하여 실효유전율 ϵ_{reff} 을 도입한다.

$W/h > 1$ 인 경우 프린징 효과에 의한 실효 유전율과 특성 임피던스는 식(4), 식(5)와 같다.

실효유전율 :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

특성 임피던스 :

$$\begin{aligned} \frac{W}{h} < 1, Z_0 &= \frac{\eta_0}{2\pi \sqrt{\epsilon_{reff}}} l \frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W}{h} \\ \frac{W}{h} \geq 1, Z_0 &= \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \frac{W}{h} + 1.393 + \\ &0.667l \left(\frac{W}{h} + 1.444 \right)^{-1} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 l은 실효 길이를 나타낸다.

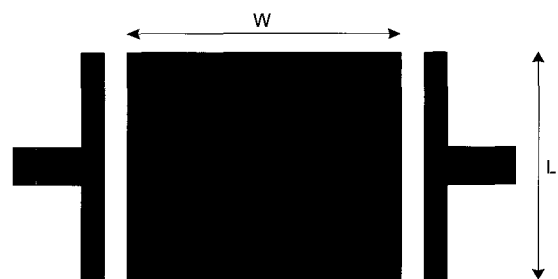


Fig. 1 Structure of microstrip patch bandpass filter

2.2 사각 링 공진기

마이크로스트립 패치 공진기를 사용하게 되면 공진기의 도체 표면 점유율이 증가하게 되어 삽입손실이 증가하고 통과대역이 너무 넓어지게 된다. 따라서 삽입손실을 줄이고 이중대역에서 필요 대역만을 통과시키기 위해 사각 링 공진기를 사용하였다. 사각 링 대역통과필터의 구조는 Fig. 2에 나타내었다. 길이 면에 대해 gap-coupled feeding을 하였을 때, 그 공진 주파수는 다음과 같다.

$$f_{0n} = nc / p(\sqrt{3(\epsilon_{reff})^2 - 1}) \quad (6)$$

여기서, f_{0n} 은 차수에 따른 주파수, nc 는 차수에 따른 자유 공간 전파속도, p 는 평균 둘레를 의미한다. 이 방정식으로부터 첫 번째 공진 주파수와 두 번째 공진 주파수를 2.45GHz와 5.2GHz로 고정을 시키고 평균 둘레의 값을 계산하면 폭(W)과 길이(L) 값을 구할 수 있다. 패치 공진기와와의 비교를 위하여 링 공진기의 W는 22.2mm, L은 16.8mm로 결정하였다.

주파수가 증가할수록 에너지가 링의 네 모서리에 집중하게 되고 이로 인하여 링의 길이를 증가시킬 경우 가장자리를 따라서 흐르는 전류의 지연효과가 발생하게 되어 공진 주파수가 낮아지는 효과를 얻게 된다.

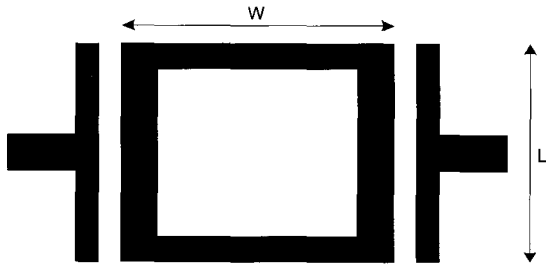


Fig. 2 Structure of rectangular ring bandpass filter

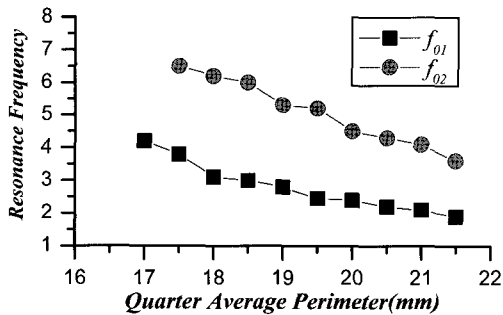


Fig. 3 Design curve of resonance frequency versus quarter average perimeter

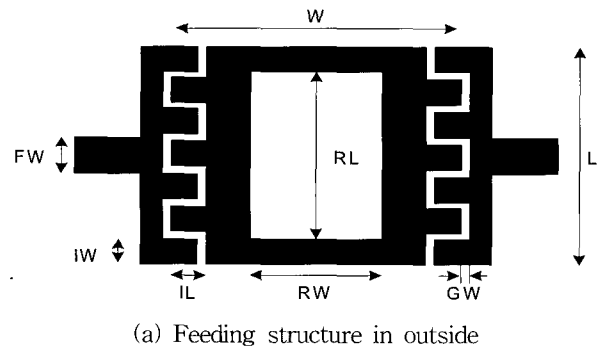
평균 둘레에 대한 공진 주파수의 비를 Fig. 3에 나타내었다. 여기서 가장 중요한 것은 평균 둘레가 증가할수록 첫 번째 공진주파수와 두 번째 공진주파수는 거의 일정한 비율로 감소한다는 것이다. 따라서 둘레의 비를 조절함으로써 원하는 주파수 통과 대역을 조절 할 수 있다.

3. interdigital capacitive 급전구조를 삽입한 공진기의 등가회로 및 특성

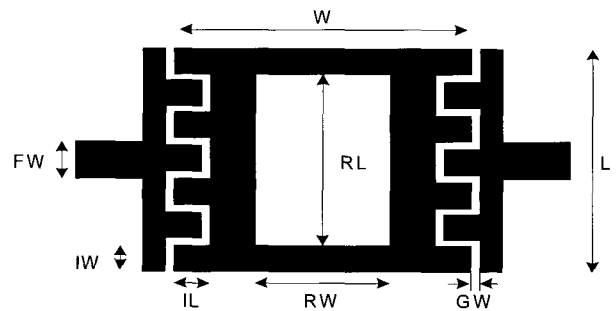
마이크로스트립 패치 공진기를 바로 필터로 적용하면 손실이 상당히 커지게 되고 손실을 줄이기 위하여 사각 링 구조를 사용하면 삽입손실은 작아지지만 불요 통과대역에서의 입출력 포트사이의 격리도가 매우 낮아 스푸리어스 응답특성이 나빠진

다. 따라서 삽입손실을 줄이고 입출력 포트사이의 격리도를 증가시켜 스푸리어스 응답특성을 좋게 하기위하여 inter digital capacitive 급전구조를 사용할 수 있다. 이 구조를 사용하게 되면 밀결합으로 인하여 공진주파수를 낮추는 효과도 있다. 이때, capacitor의 용량은 각지의 수를 증가시킴으로써 수십 pF까지 가능하지만 보통은 입출력 전송선로의 임피던스를 갖는 폭으로 각지 긴 부분을 만들기 때문에 각지의 수가 제한된다.

Fig. 4와 Fig. 5에서는 본 논문에서 제안된 대역통과 필터와 이에 사용된 interdigital capacitive feeding structure 의 등가회로를 보여주고 있다.



(a) Feeding structure in outside



(b) Feeding structure in inside

Fig. 4 Structure of bandpass filter using rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure

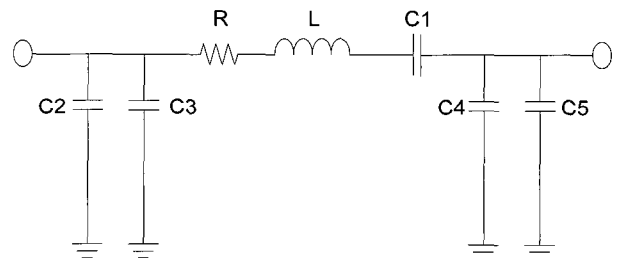
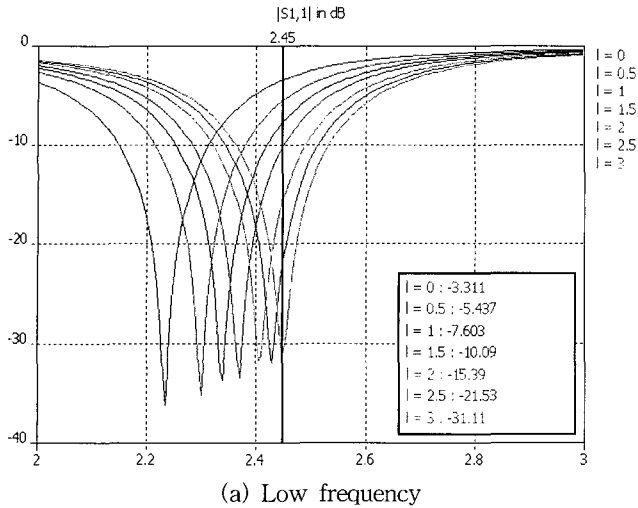


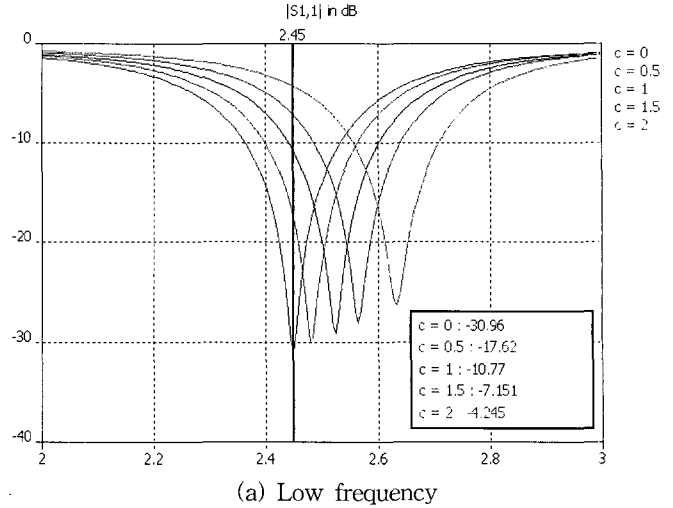
Fig. 5 equivalent circuit of single interdigital capacitive feeding structure

4. 필터의 설계 및 제작

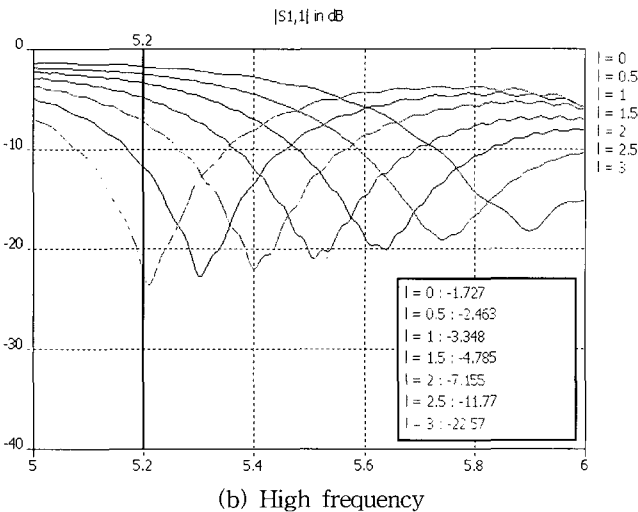
필터의 설계에 있어서 CST사의 MWS 5.0을 이용하여 설계변수를 가변하여 최적화하였고 Agilent사의 ADS 2003A를 이용하여 최종 설계하였다.



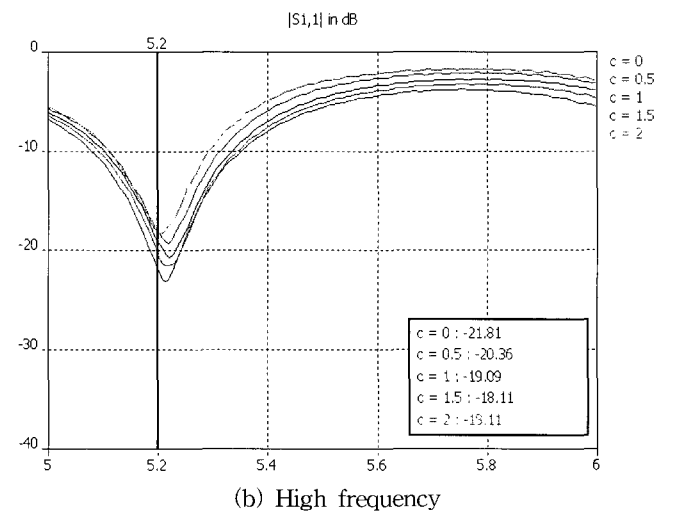
(a) Low frequency



(a) Low frequency



(b) High frequency



(b) High frequency

Fig. 6 Resonance frequency variation of reflection loss(S11) as length of L

Fig. 7 Resonance frequency variation of reflection loss(S11) as length of RW

필터의 크기를 고려하여 최초 설계변수를 지정하기 위해서 공진주파수를 4GHz로 설정하고 유전율이 4.7, 두께가 1.6mm인 FR4기판을 사용하였다. 식 (1), (2)를 이용하여 계산하면 패치 공진기의 W는 22.2mm, L은 16.8mm이 된다. 식 (4)를 이용하면 ϵ_{eff} 은 4.2가 되고 50Ω의 급전선로를 구성하였다. Fig. 4의 설계변수의 값은 다음과 같다.

공진 주파수를 결정해주는 W와 L은 22.2mm와 16.8mm로 하였고, 사각 링 공진기의 두께를 조정하는 RW와 RL은 18.2mm와 6.8mm로 하였다. Interdigital Finger의 폭과 길이인 IW와 IL은 모두 3mm로 하였으며, 50Ω 급전선로 폭을 결정하는 FW는 2.9mm로 하였다. 결합의 정도를 조절하는 gap 폭은 0.2mm로 하였다.

이 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안된 rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure를 이용한 대역통과필터의 설계변수를 MWS 5.0으로 최적화한 결과를 Fig. 6와 Fig. 7에서 보여주고 있다.

설계변수를 MWS 5.0으로 최적화하는 과정에서 L이 감소하면 낮은 공진주파수는 높아지고, 높은 공진주파수는 낮아지는 것을 알 수 있었고, RW가 감소하면 낮은 공진주파수는 높아지고, 높은 공진 주파수는 거의 일정 하다는 사실을 알 수 있었다. 또한, interdigital finger의 길이를 감소하는 경우 capacitor의 용량이 감소하여 공진주파수가 높아지고, interdigital finger의 수가 증가하는 경우 capacitor의 용량이 증가하여 공진주파수가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이를 바탕으로 최종 설계된 필터의 설계변수는 W와 L은 21.8mm와 13.8mm, RW와 RL은 18.2mm와 6.8mm, IW와 IL은 3mm, FW는 2.9mm, GW는 0.2mm로 하였다.

다음은 패치 대역통과필터, 사각 링 대역통과필터 그리고 마지막으로 본 논문에서 제안된 대역통과필터의 최종 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다.

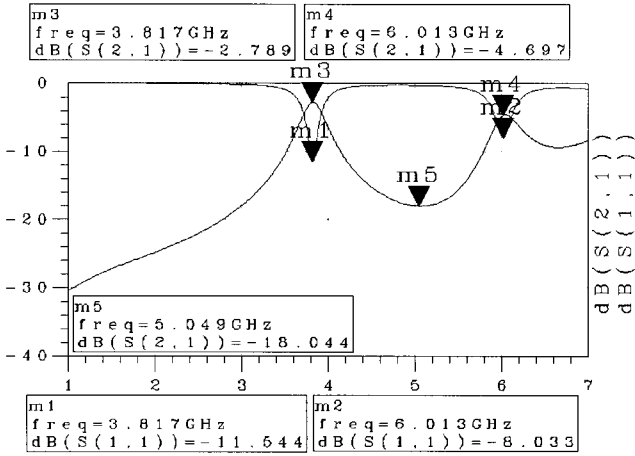


Fig. 8 Reflection loss(S11) and insertion loss(S21) of microstrip patch bandpass filter

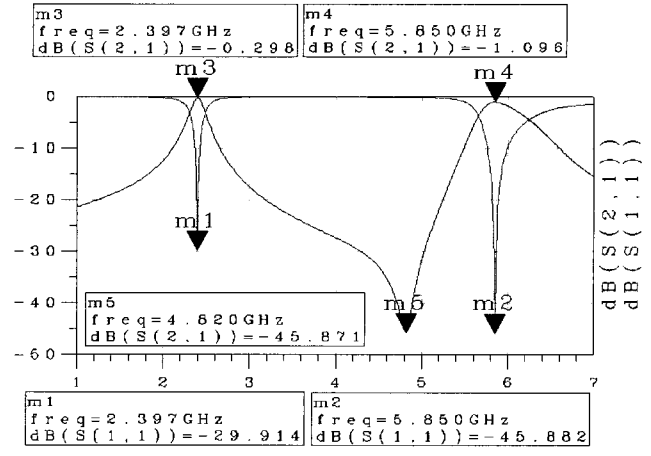


Fig. 11 Reflection loss(S11) and insertion loss(S21) of bandpass filter(b) using rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure

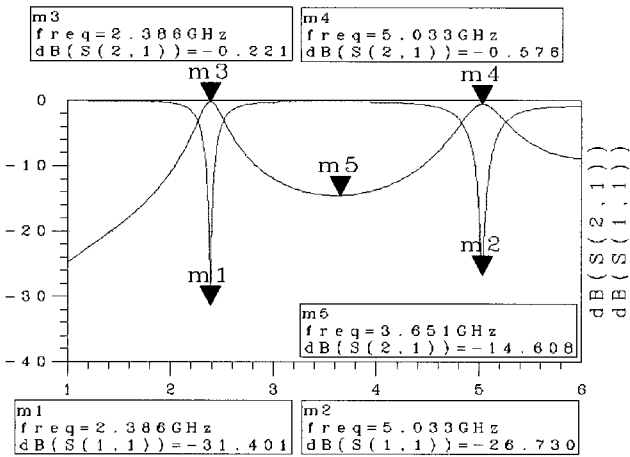


Fig. 9 Reflection loss(S11) and insertion loss(S21) of rectangular ring bandpass filter

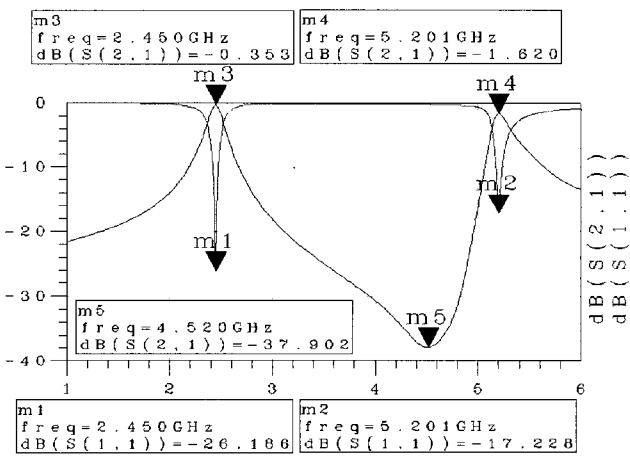


Fig. 10 Reflection loss(S11) and insertion loss(S21) of bandpass filter(a) using rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure

설계된 4GHz 패치 대역통과필터의 시뮬레이션 결과 중심주파수가 약간 변동 하였으며 입력 반사특성이 좋지 않고 삽입 손실이 매우 좋지 않았다. 사각 링 대역통과필터는 원하는 중심주파수대역 가까이에서 입력 반사특성과 삽입손실은 매우 좋아지지만 불요 통과대역에서의 입출력 포트사이의 격리도는 매우 낮아 스푸리어스 응답특성이 매우 좋지 않아져서 실제 사용에 있어서 효율성이 떨어진다. 이에 본 논문에서 제안된 필터의 설계 결과 원하는 중심주파수에서 입력 반사특성과 삽입손실은 사각 링 필터에 비하여 약간 떨어지지만 불요 통과대역에서의 입출력 포트사이의 격리도는 매우 좋아 스푸리어스 응답특성이 좋아져서 실제 사용에 있어서의 효율성이 좋다.

제안된 필터는 사진식각법에 의하여 제작하였다. Fig. 12는 본 논문에서 제안된 필터의 제작된 사진이며, Fig. 13은 제안된 필터의 측정 결과이다. 제작된 필터의 측정 결과, 중심주파수는 2.408GHz와 5.075GHz로 약간씩 하향되었으며, 입력 반사계수는 2.408GHz에서 -39.169dB, 5.075GHz에서 -40.922dB를 나타내었으며, 삽입손실은 2.408GHz에서 -0.437dB, 5.075GHz에서 -1.669dB로 매우 좋은 특성을 얻었다.

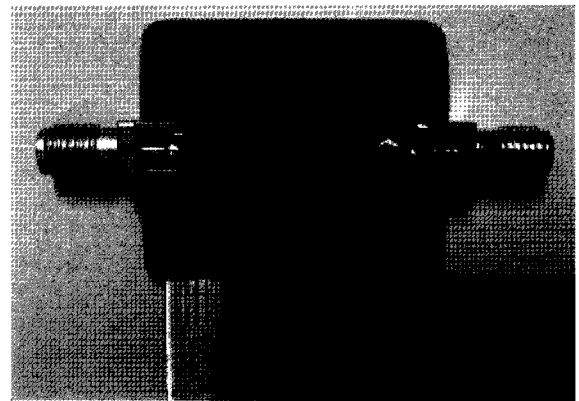


Fig. 12 Photograph of bandpass filter using rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure

참고 문헌

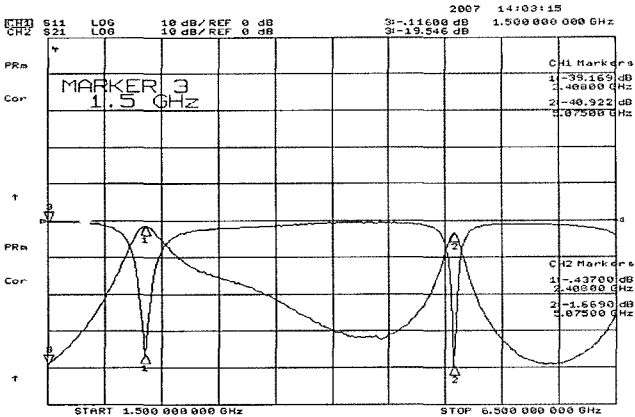


Fig. 13 Measured result of bandpass filter using rectangular ring resonator and interdigital capacitive feeding structure

5. 결론

본 논문에서는 새로운 구조의 사각 링과 각지 긴 용량성 급전구조를 이용한 마이크로스트립 패치 대역통과필터를 설계 및 제작하였다.

필터의 크기를 줄이고 IEEE 802. 11에 규합하는 Wireless LAN영역(2.45GHz and 5.2GHz)에서 동작할 수 있도록 하기 위해서 패치 구조에서 변형된 사각 링과 각지 긴 용량성 급전구조를 적용하였다. 제작된 필터의 측정 결과 중심주파수는 2.408GHz와 5.075GHz로 약간씩 하향되었다. 그 원인은 사각 링 구조와 interdigital 구조 사이에 존재하는 캐패시터 성분이 프로브에 의한 인덕터 성분을 보상하였기 때문이다. 공진주파수를 높이기 위해서 L을 줄이게 되면 필터가 더욱 작아질 수 있으므로 이는 장점으로 작용한다. 입력 반사계수는 2.408GHz에서 -39.169dB, 5.075GHz에서 -40.922dB를 나타내었으며, 삽입손실은 2.408GHz에서 -0.437dB, 5.075GHz에서 -1.669dB로 매우 좋은 특성을 얻었다.

설계와 제작이 간단하여 RF(Radio Frequency) 필터로 많이 사용되고 있는 Sheng(2005)이 제안한 병렬 끝단 결합 마이크로스트립 대역통과필터(Parallel Edge-coupled Microstrip Bandpass Filter)의 최소 단수로 계산되어진 회로에 비하여 최대 60%이상의 크기 감소 효과를 가져왔다. 또한 기존의 상용화된 대역통과 필터들과의 비교에 있어서 크기와 손실, 스푸리어스 응답특성에 있어서 매우 우수한 특성을 가지고 있음을 제작 및 측정을 통하여 확인하였다.

- [1] 김진웅, 김기홍, 윤영중, 석재호, 임재우, 신용섭. (2002), "실내 무선 랜 서비스를 위한 실내 전파 모델링", 한국전자과학회논문지 제13권 제5호, pp. 426-435.
- [2] 김현민, 고희화. (1997), "ISM용 주파수 대역의 이용방안 및 기술기준", 한국통신학회.
- [3] Balanis, C. A.(1997), "Antenna Theory : analysis and design", Johh Wiley & Sons , Inc., 2nd Edition.
- [4] Hong, J. S. and Michael, J. L. (1996b), "Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwave Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech, vol. MTT-44, pp. 2099-2108, Sept.
- [5] Kuo, J. T. and Maa, M. U. (2000), "A Microstrip Elliptic Function Filter with Compact Miniaturized Hairpin Resonators," IEEE Trans. Microwave and Guided Wave Letters., vol. 10. NO. 3, pp. 94-95, Sept.
- [6] Lei, Z. and Wecowski, P. M. (1999), "New Plannar Dual-Mode Filter Using Closs-Slotted Patch Resonator for Simultaneous Size and Loss Reduction", IEEE Trans. MTT., vol. 47, no. 5, May.
- [7] Lei, Z. and Ke, W. (2000), "Accurate Circuit Model of Int erdigital Capacitor and Its Application to design of New Quassi-Lumped Miniaturized Filters with Suppression of Harmonic Resonance", IEEE Trans. MTT., vol. 48, no. 3, March.
- [8] Sheng, S and Lei, Z. (2005), "Coupling Dispersion of Parallel-Coupled Microstrip Lines for Dual-Band Filters with Controllable Fractional Pass bandwidths", IEEE Trans. MTT-S, 12-17. June. no. pp.2195-2198

원고접수일 : 2007년 4월 7일
 원고채택일 : 2007년 6월 13일