

저지대역 특성을 개선한 LTCC 대역 통과 여파기 설계

°김영주, 박준석, 임재봉, 조홍구
국민대학교 전자정보 통신공학부
ju7112@empal.com

Design of LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) Bandpass Filter to Improve Characteristic of Rejection Band

°Young-Ju Kim, Jun-Seok Park, Jae-Bong Lim, and Hong-Goo Cho
School of Electrical Engineering, kookmin Univ.

Abstract

In this paper, a design of multi-layered BPF(bandpass filter) using LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) process by a lumped-elements is proposed for SOP(system-on-a-chip) of wireless communication systems. The proposed BPF improved a characteristic of rejection band to build an attenuation pole caused by structurally adjacent co-inductance and coupling. The simulation data shows a bandwidth of 90MHz from a center frequency of 2.4GHz, a return loss of 27dB, an insertion loss of 3.2dB, and an attenuation of at least 20dBc at $f_0 \pm 250\text{MHz}$. Simulations have used serenade circuit simulation and HFSS EM simulation.

Key words: LTCC, SOP, BPF, rejection band

I. 서론

무선통신 기술의 급격한 발전과 정보화 시대의 고속화로 이동통신 시스템의 수요가 급증함에 따라 RF 부품소자의 소형화, 저가격화 및 고기능화가 크게 요구 되고 있다. 시스템의 중요 부분인 필터에 대한 소형화 필요성이 대두 되고 있는 가운데, 시스템의 소형화 및 신뢰성 향상을 위해 소자의 소형화 연구와 더불어 최근 저손실, 고밀도 집적, 고신뢰성을 갖는 회로 및 부품의 대량 생산성의 장점을 가지고 있는 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술을 이용한 다층구조로 이들 소자를 집적화 하여 모듈을 구성하는 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]~[4] 수동필터는 인덕터와 커패시터 같은 집중소자나 스트립라인과 같은 분포소자로 구성된다. 본 논문에서는 LTCC의 다층 구조를 적용한 밀집된 공간에서의 집중소자를 이용 3-pole 대역통과 여파기를 설계하였다.[5] 다층 구조가 크기를 소형화 시킬뿐만 아니라, 대칭적인 구조에서 직렬 인

덕터의 상호 인덕턴스 성분에 의하여 생성된 감쇄극과 구조의 인접성으로 인한 L,C 공진기의 커패시터의 커플링에 의하여 감쇄극이 형성되어 저지대역 내에서의 감쇄 특성이 개선된다. 회로 시뮬레이션은 안소프트사의 세레나데를 이용하였고, 전자장 시뮬레이션인 안소프트사의 HFSS를 이용하여 검증하였다. LTCC 설계 공정 규칙은 (주)필코의 공정규칙을 준수 했으며, Green Sheet는 두께가 50 μm , 유전율 5.2, 금속의 재질로는 도전을 4.1 $\times 10^7$ s/m을 사용하였다. 크기는 2.5 $\times 2.1 \times 1.19\text{mm}$ 이다.

II. 설계 이론

일반적으로 LTCC를 이용한 다층 구조에서는 분포소자인 스트립라인을 이용하여 공진기를 구현한다. 단락회로가 없고 삽입손실이 낮으며 제작이 용이 하기 때문이다. 본논문에서는 날카로운 스킵트 특성을 구현하기 위해 L,C 공진기를 이용하여 대역통과 여파기를 설계 하였다. 여파기의 인접 선로간의 간섭, 대칭적 다층구조상의 커플링 등을 조절하

여 감쇄극을 형성해, 스킨트 특성을 좋게 하였다.

J-inverter 이론을 적용하여 LC 공진기를 이용한 3-pole 대역통과 여파기를 그림 1. 과 같은 절차로 설계하였다. [6] 기존 J-inverter는 초단이 캐패시터 이었으나, 초단을 L로 변환하여 전자장 시뮬레이션에서 상호 인덕턴스가 발생되게 구성하였다.

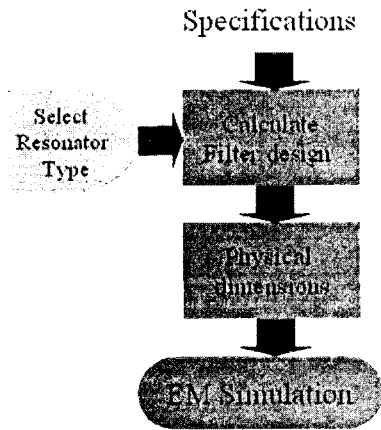


그림1. LTCC를 이용한 BPF 설계 절차

그림2. 는 이상적인 3-pole 대역통과 여파기의 회로도이다. 이와같은 이상적인 회로도에서는 감쇄극의 특성이 나타나지 않는다. 전자장 시뮬레이션 상의 상호 대칭적인 구조에서의 밀집된 지역의 라인으로 구현된 직렬 L과, C의 성분에 의한 감쇄극을 회로로 표현한 것은 그림3과 같이 나타내었다.

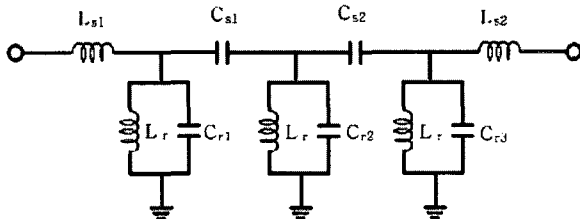


그림2. LC공진기를 이용한 3-Pole BPF 회로도

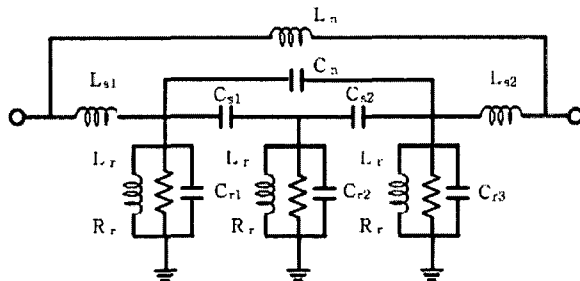


그림3. Attenuation pole과 삽입손실을 고려한 3-pole BPF 회로도

Spec.	
Center Frequency	2440MHz
Bandwidth	±45MHz
Insertion Loss	3.5dB(Max)
Return Loss	20dB(Min)
Attneuation (@f ₀ ±250MHz)	20dB(Min)

표1. 설계 규격

본 논문에서는 WLAN과 같은 무선 통신 시스템의 RF 모듈화를 위한 소형화된 우수한 감쇄특성을 갖는 여파기를 제작하기 위하여, LC공진기 구조의 여파기를 LTCC Green Sheet에 적층하여 그림4. 와 같은 구조로 설계하였다. 다층구조의 설계로 인하여 측정포트와 그라운드면 사이에서 발생하는 Shunt C, Via에 의한 인덕턴스 성분 등으로 인하여 삽입 손실과 반사 손실 등의 특성이 저하 되었다.

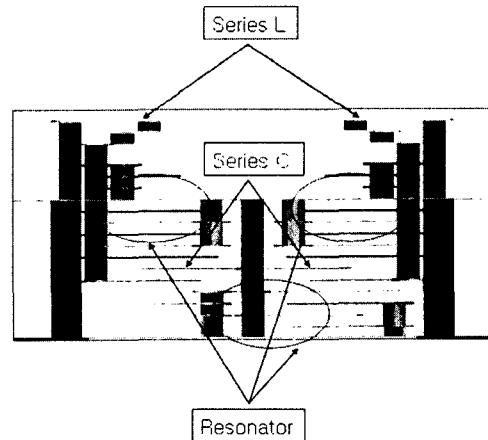


그림4. 설계된 LTCC BPF의 단면도

설계 규격은 표 1과 같다. 감쇄극 형성을 위한 LC공진기는 작은 사이즈에서 구현하기에는 layer의 수가 많아지기 때문에 삽입손실이 다른 구조에 비해 나빠진다. 소형화 하기위한 전자장 시뮬레이션상의 다층구조에서 생긴 감쇄극 특성을 회로도로 표현한 그림 3. 에서 집중소자 Ln에 의해서 2.9GHz근방에 감쇄극이 생기고, 또한 Cn에 의해서 2.2GHz근방에서 감쇄극이 형성된다.[7] 또한 LC 공진기 사이의 저항 Rr로 삽입 손실을 표현하였다. 여기서 삽

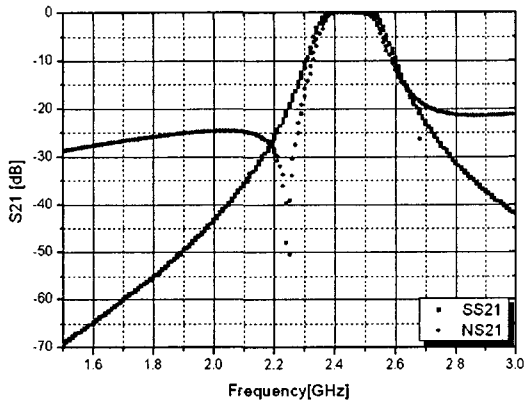
입 손실에 관한 설계 공식은 아래와 같이 주어진다.

$$R = 2\pi f_c \times L \times Q \quad (1)$$

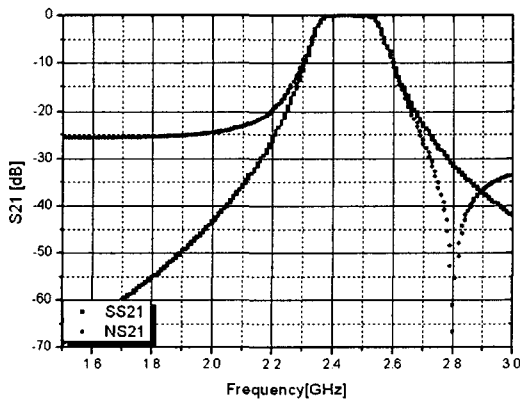
$$Q = \frac{4.343 \times f_c}{\text{Bandwidth} \times \text{center loss}} \times \sum g_i \quad (2)$$

여기서 Center Loss는 삽입손실에서 대역내의 리플을 뺀 값이다. 설계시 edge loss가 spec보다 많이 나왔을 때는 저항 값을 높여주면 된다.

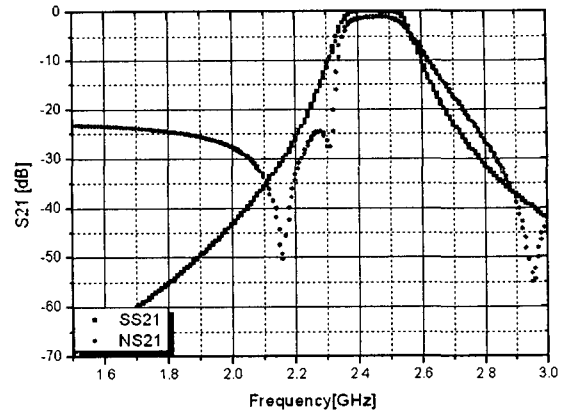
그림 5에서는 제시된 L,C공진 구조의 3-pole 대역통과 여파기를 전자장 시뮬레이션 상의 대칭적 구조에서 상호 인덕턴스와 커플링에 의한 감쇄극의 형성 및 삽입손실을 회로도상에서 구현 비교한 것이다. 그림5. 의 (d)에서는 이상적인 회로도와 결과 비교 하였다. 저지대역 내에서의 감쇄 특성이 좋아 짐을 알 수 있다.



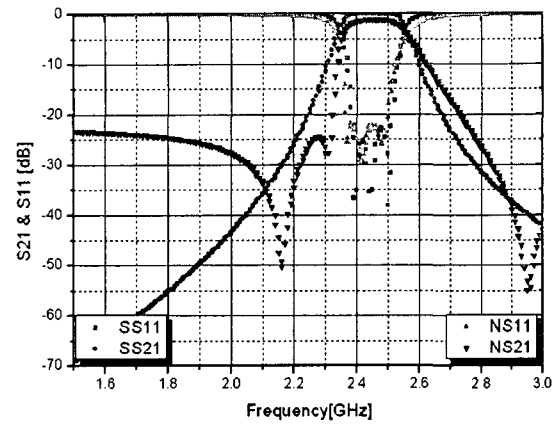
(a)



(b)



(c)



(d)

그림5. Attenuation pole과 삽입손실을 고려한 이상적인 3-pole 대역통과 여파기 설계

(a) C_n 에 의한 Attenuation pole의 형성.(b) L_n 에 의한 Attenuation pole의 형성.(c)저항 R_r 에 의한 삽입손실의 변화. (d)이상적인 회로도와 Attenuation pole과 삽입손실을 고려한 회로도와의 비교 파형.

다층으로 이루어진 상호 대칭적인 설계 구조로 인한 근접된 직렬 인덕터간의 상호 인덕턴스 성분 및, 캐패시터성분을 고려한 실제구조상의 시뮬레이션은 전자장 시뮬레이션 툴인 안소프트사의 HFSS를 이용하여 설계 및 검증하였다.

그림6.은 이상적인 회로도와 전자장 시뮬레이션 결과 파형을 비교 제시한 것이다. 전자장 시뮬레이션 결과는 인접 선로 간에 커플링과 상호 인덕턴스 그리고 via 효과를 무시한 serenade 등가회로 시뮬레이션과 차이가 있지만 저지대역내에서의 우수한 감쇄 특성을 보인다.

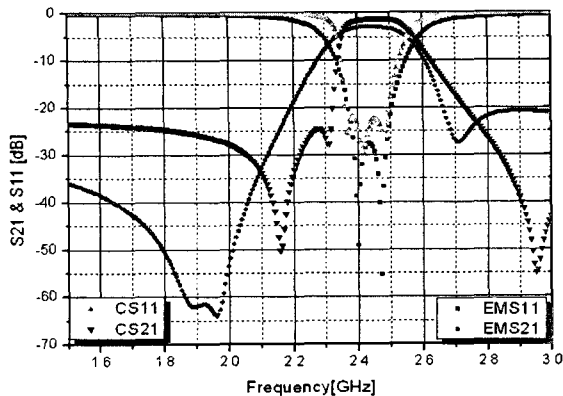


그림6. 회로 시뮬레이션과 전자장 시뮬레이션 결과 비교 파형

III. 결론

본 논문에서는 2.4GHz대역에서 사용할 수 있는 저지대역 감쇄 특성을 개선하기 위한 L,C 공진기 구조의 대역통과 여파기를 LTCC 기법을 이용하여 WLAN과 같은 무선통신시스템의 RF모듈화를 위하여 2.5mm×2.1mm×1.19mm의 소형화된 대역통과 여파기를 설계하였다. 설계된 대역통과 여파기는 통과 대역에서 25dB(min)의 반사손실과 3.2dB의 삽입손실, 그리고 @ $f_0 \pm 250\text{MHz}$ 에서의 20dB(min)이상의 감쇄 특성을 갖는다. 본 설계기법은 2.4GHz 대역통과 여파기뿐만 아니라 설계 구조의 변화를 통하여 밀리미터파대의 응용에도 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

[1] Jun Hayashi and Yoshio Nickawa, "Improvement of Characteristics Using Cross Patch in the LTCC Filter", Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-s International, Vol. 1, 8-13 June 2003

[2] Alex bailey, Wes Foley, Mike Hageman, Carson Murray, Andrew Piloto, Keith Sparks and Kawthar Zaki, " Miniature LTCC Filters for Digital Receivers", Microwave Symposium Digest, 1997., IEEE MTT-s Internatioanl, vol. 2, 8-13 June 1997

[3] S.Consolazio, K.Nguyen, D. Biscan, K.Vu, A.Ferek, A. Ramos, " Low Temperature Co-fired Ceramic for Wireless Applications",

Technologies for Wireless Applications, 1999. Digest. on, 21-24 Feb. 1999

[4] Hun Park, Kuen-hwan Kim, Kyung-sik Yoon, Young-chul Lee, Chul Soon Park, " Design of Miniaturized Multi-layer BPFs Using LTCC for Wireless LAN Applications", KICS '03-8 vol.28 No.8A

[5] Lap Kun Yeung, and Ke-Li Wu, "A compact Second-order LTCC bandpass filter with two finite transmission zeros.", IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,vol. 51, No. 2, Feb 2003.

[6] George L. Matthaei, Leo Young, E.M.T. Jones, " Microwave filters, impedance-matching networks, and coupling structures", Artech House, pp. 481-490, pp.674-680, 1980.

[7] J. Brian Thomas,"Cross-Coupling in coaxial cavity filter-A Tutorial Overview", IEEE Trans. Microwave Theory Tech.,vol. 51,NO.4, Apr 2003.