

적층 구조의 공진기를 이용한 LTCC 대역통과 여파기의 설계

(Design of LTCC Bandpass Filter using Multilayer Resonators)

성 규 제 · 양 승 환
국립한경대학교

Abstract

The LTCC bandpass filter using multilayer resonators is made of combline type and interdigital type parallel coupled-lines. The equivalent circuits of parallel coupled-lines are analysed. They are applied to make an equivalent circuit of LTCC bandpass filter using multilayer resonators. The 3-pole bandpass filter of the center frequency of 2.45GHz with 250Hz bandwidth is designed and fabricated. The simulated result of the bandpass filter are presented.

1. 서 론

무선 단말기의 기능이 다양화되고 복잡적으로 되면서 단말기 부품의 소형화가 꾸준히 진행되고 있다. 급속한 시스템의 소형화에 따라 PCB 기반의 부품 개발은 시스템 집적화에서 한계에 부딪히고 있는 실정이다. 이러한 요구에 따라 기판 내부에 수동소자의 집적화가 가능한 저온 동시 소성 세라믹인 LTCC 기술이 마이크로파 소자에도 적용되었다.[1,2] LTCC 기술은 종래의 기술인 다층 PCB나 MCM 기술에 비해 우수한 배선 밀도와 전기적 특성을 가지고 있다. LTCC를 이용한 적층 필터는 유전체 필터의 일종으로 고온 동시 소성에 비해 원가를 절감 할 수 있으며, 회로 기판의 면적을 대폭적으로 줄일 수 있어서, 무선 단말기를 소형화하기 위한 핵심적인 부품으로 사용되고 있다.[3,4] 본 연구에서는 2.4GHz 대역의 대역통과 여파기를 적층 구조의 공진기를 이용하여 LTCC 기술로 구현하였다. Interdigital 형 평행 결합선로인 적층 구조의 공진기와 Combline 형 평행 결합선로인 공진기 사이의 결합 구조에 대한 등가회로를 유도하고, 이를 3단 대역통과 여파기에 적용하여 전체 여파기의 등가회로를 구성하였다. 결과적으로 여파기의 구조는 Combline의 형태가 된다. 각 전송선로의 선폭과 각 전송선로 사이의 간격을 각각 동일하게 하고 적층 공진기 사이의 두께를 일정하게 유지하여, 설계 패러미터를 최소화시켜 설계하였다.

2. 설 계

그림 1은 적층 구조의 공진기를 이용한 LTCC 3단 대역통과 여파기를 보여주고 있다. 각 단의 공진기는 위아래로 겹쳐지는 3층의 결합선로 구성된다. 따라서 각 공진기는 interdigital 형의 한쪽 끝이 단락된 평행 결합선로로 볼 수 있다. 또한, 각 공진기 사이의 결합 구조는 combline 형의 한쪽 끝이 단락된 평행 결합선로로 볼 수 있다

그림 2와 같은 한쪽 끝이 단락된 2-포트 평행 결합선로의 π 등가회로는 다음과 같이 구할 수 있다. 그림 2(a)의 combline 형 평행 결합선로에서 대칭면이 자계벽일 경우, 각 단자의 입력 어드미턴스는

$$Y_{oc} = -j Y_e \cot \theta \quad (1)$$

이다. Y_e 는 결합선로의 우모드 특성어드미턴스이다. 대칭면이 전계벽일 경우의 입력어드미턴스는

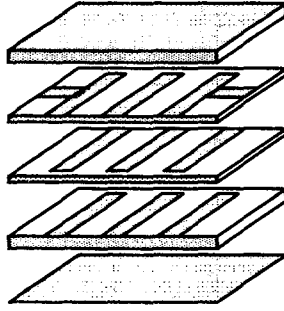


그림 1. 적층 구조의 공진기를 이용한 3단 LTCC 대역통과 여파기

$$Y_{sc} = -j Y_o \cot \theta \quad (2)$$

이다. Y_o 는 평행 결합선로의 기모드 특성 어드미턴스이다. 이를 그림 3의 π 등가회로로 변환하면 각 소자값은

$$Y_1 = Y_2 = Y_{oc} = -j Y_e \cot \theta \quad (3)$$

$$Y_3 = \frac{Y_{sc} - Y_{oc}}{2} = -j \frac{Y_o - Y_e}{2} \cot \theta \quad (4)$$

이다. 따라서, 그림 2(a)의 combline 형 평행 결합선로의 등가회로는 그림 3(a)와 같이 된다. 그림 2(b)의 interdigital 형 평행 결합선로의 어드미턴스 패라미터는

$$\begin{aligned} Y_{11} &= -j Y_e \cot \theta - j \frac{Y_o - Y_e}{2} \cot \theta \\ &= -j \frac{Y_o + Y_e}{2} \cot \theta = Y_{22} \end{aligned} \quad (5)$$

$$Y_{12} = -j \frac{Y_o - Y_e}{2} \csc \theta \quad (6)$$

이다. 이를 π 등가회로로 변환하면 각 소자값은

$$\begin{aligned} Y_1 = Y_2 = Y_{11} - Y_{12} \\ = -j Y_e \cot \theta + j \frac{Y_o - Y_e}{2} \tan \frac{\theta}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$Y_3 = Y_{12} = -j \frac{Y_o - Y_e}{2} \csc \theta \quad (8)$$

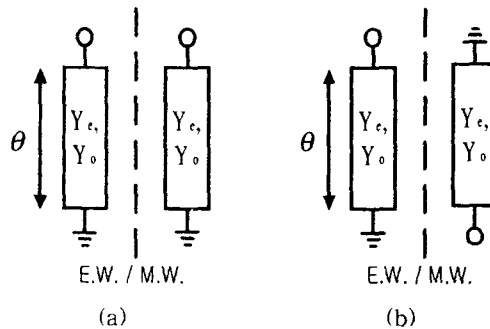


그림 2. 2-포트 평행 결합선로 (a) combline 형, (b) interdigital 형

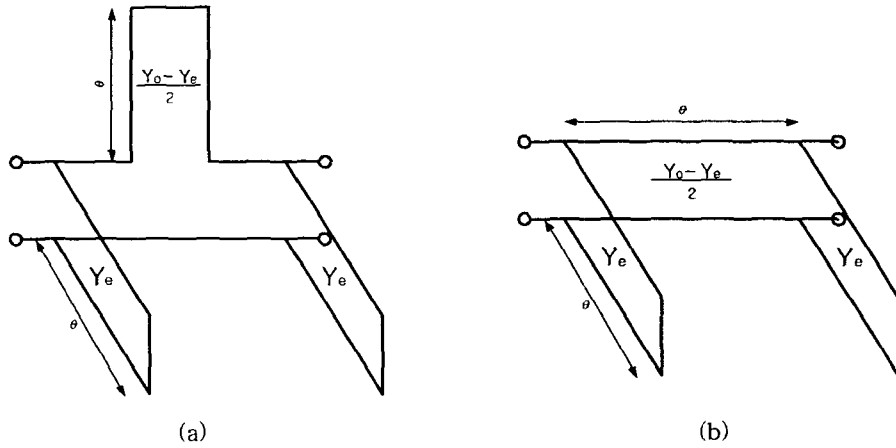


그림 3. 2-포트 평행 결합 선로의 등가회로
(a) combline 형 (b) interdigital 형

이다. 따라서, 그림 2(b)의 interdigital 형 평행 결합선로의 등가회로는 그림 3(b)와 같이 된다.

그림 1의 적층 구조의 공진기를 이용한 3단 LTCC 대역통과 여파기의 단면에서 각 결합선로사이의 선로 캐패시턴스를 표시하면 그림 4와 같다. 여기서 각 선로 캐패시턴스는 각 전송선로의 특성 어드미턴스에 대응된다. 따라서, 그림 1의 적층 구조의 공진기를 이용한 3단 LTCC 대역통과 여파기의 등가회로는 그림 3의 평행 결합선로의 등가회로를 적용하면 결과적으로 그림 5와 같이 된다. 등가회로 상의 각 전송선로의 특성 어드미턴스는 전송선로 사이의 대칭면에 전계벽과 자계벽을 가정하고 even/odd 모드 해석을 통해 계산할 수 있다.

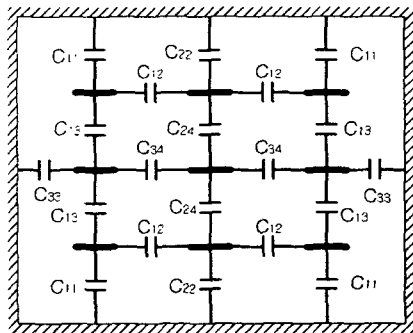


그림 4. 적층 결합선로의 선로 캐패시턴스

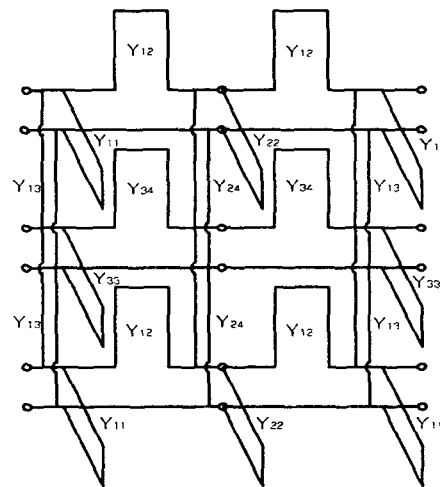


그림 5. 적층 구조의 공진기를 이용한 3단 LTCC 대역통과 여파기의 등가회로

3. 결과 및 고찰

앞 절의 설계 이론에 따라 적층 공진기구조를 이용한 3단 LTCC 대역통과 여파기를 표 1의 사양에 따라 설계하였다. 본 연구에서는 $\epsilon_r=32$ 인 유전체를 사용하였으며, 각 층의 두께가 0.365mm, 0.06mm 이고 평면 선로의 선폭 $w=28\mu\text{m}$ 인 적층 공진기를 구성하였다. 그림 6은 앞 절의 등가회로

를 이용하여 설계한 주파수 특성이다. 그림 7은 회로설계 결과를 토대로 한 구조설계 결과이다.

표 1. 설계 사양

항 목	사 양
Center Frequency	2.45 GHz
Band Width	250 MHz
Return Loss	15 dB min
Ripple	0.5 dB max
Size	2.5×2.0×1.0 mm ³

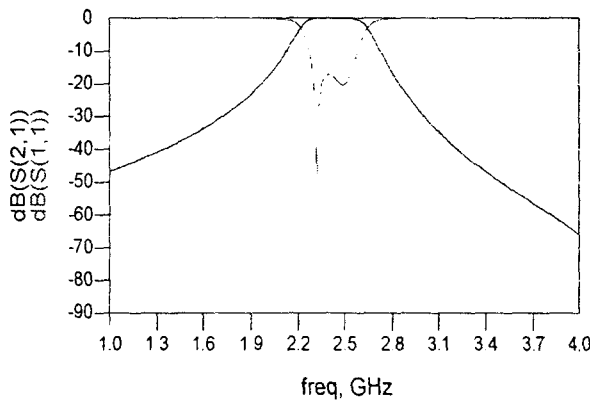


그림 6. 회로 설계 결과

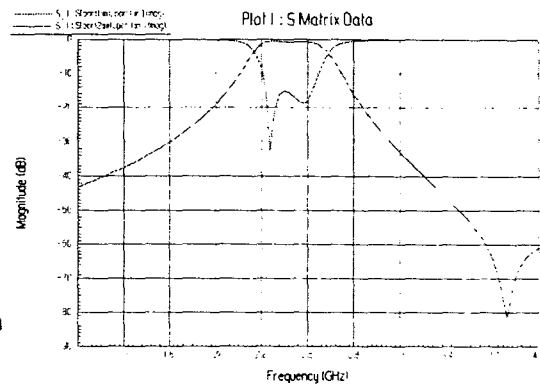


그림 7. 구조 설계 결과

4. 결 론

본 논문에서는 직층 구조의 공진기를 이용한 LTCC 3단 대역통과 여파기를 설계하였다. 직층 구조의 공진기는 LTCC 여파기 설계에 있어, 부품의 소형화에 따라 더욱 작아지는 한정된 공간을 활용하기에 적합한 구조이다. 직층 구조의 공진기의 등가회로를 제안하여 3단 대역통과 여파기의 설계에 적용하였다. 2.45GHz 대역에서 비유전율 $\epsilon_r=32$ 인 유전체를 사용하여 크기가 2.5×2.0×1.0 mm³ 인 3단 대역통과 여파기를 설계하여 설계 사양을 만족시키는 결과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] T. Ishizaki, "A Very Small Dielectric Planar Filter for Portable Telephones," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-42, No. 11, pp.2017-2022, Nov. 1994.
- [2] J. Sheen, "LTCC-MLC Duplexer for DCS -1800," IEEE Trans. on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-47, No. 9, pp.1833-1890, Sept. 1999.
- [3] 성규제, 여동훈 "λ/4 Hair-pin 공진기를 이용한 LTCC MLC 대역통과 여파기의 설계," 한국 전자과학회 논문지, Vol. 14, No. 1, pp.14-18, 200
- [4] 안순영, 이영신, 방규석, 김경철, 강남기, 송희석 "Compline 구조를 이용한 직층 LTCC 대역통과 필터의 설계 및 제작," 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, pp 628-631, 2003

- [5] G. L. Matthaei, "Comb-line Band-Pass Filters of Narrow or Moderate Bandwidth," *Microwave J.*, Vol. 6, pp.82-96, Aug. 1963.
- [6] M. Sagawa, "Geometrical Structures and Fundamental Characteristics of Microwave Stepped-Impedance Resonators," *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-45, No. 7, pp.1078-1085, July 1997.
- [7] S. B. Cohn, "Direct-Coupled Resonator Filters," *Proc. IRE*, Vol. 45, pp.187-196, Feb. 1957.
- [8] R. Levy, "Theory of Directed-Coupled- Cavity Filters," *IEEE Trans. on Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-15, No. 6, pp.340- 347, June 1967.
- [9] G. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance Mat- ching Networks*, McGraw Hill, 1980.