

## Fabrication of high-temperature superconducting low-pass filter for broad-band harmonic rejection

### 광대역 고조파 제거를 위한 고온초전도 저역통과필터의 제작

M.H. Kwak,<sup>a</sup> S.K. Han,<sup>b</sup> K.Y. Kang,<sup>b</sup> D. Ahn,<sup>c</sup> J. S. Suh,<sup>d</sup> C. K. Choi,<sup>d</sup> S.H. Kim,<sup>a</sup>

곽민환\*,<sup>a</sup> 한석길,<sup>b</sup> 강광용,<sup>b</sup> 안달,<sup>c</sup> 서준석,<sup>d</sup> 최춘근,<sup>d</sup> 김상현,<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Department of Electrical Eng. Gyeongsang National Uni. Chin-Ju, Gyeongnam, 660-701, Korea

<sup>b</sup> ETRI, <sup>c</sup> Soonchunhyang Univ, <sup>d</sup> Telwave Inc

<sup>a</sup> 경상대학교 전기공학과, <sup>b</sup> 한국전자통신연구원, <sup>c</sup> 순천향대학교, <sup>d</sup> ㈜텔웨이브

#### Abstract

A new type low-pass filter design method based on a coupled line and transmission line theory is proposed to suppress harmonics by attenuation poles in the stop band. The design formula are derived using the equivalent circuit of a coupled transmission line. The new low-pass filter structure is shown to have attractive properties such as compact size, wide stop band range and low insertion loss.

The seventh-order low-pass filter designed by present method has a cutoff frequency of 0.9 GHz with a 0.01 dB ripple level. The coupled line type low-pass filter with strip line configuration was fabricated by using a high-temperature superconducting (HTS :  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) thin film on MgO(100) substrate. Since the HTS coupled line type low-pass filter was proposed with five attenuation poles in stop band such as 1.8, 2.5, 4, 5.5, 6.2 GHz. The fabricated low-pass filter has improved the attenuation characteristics up to seven times of the cutoff frequency.

*Keywords:* low-pass filter, HTS low-pass filter, coupled line low-pass filter

#### I. 서론

다양한 무선 통신 서비스의 발달로 인하여 셀룰러, PCS 등 서비스 상호간의 송.수신 간섭을 줄이고 깨끗한 통신 품질을 위해서 통신소

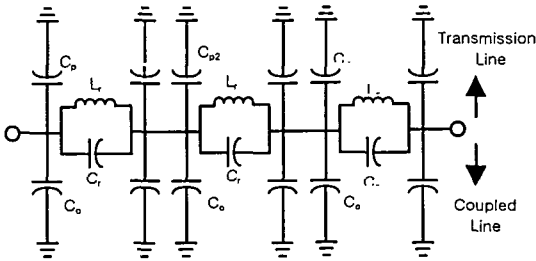
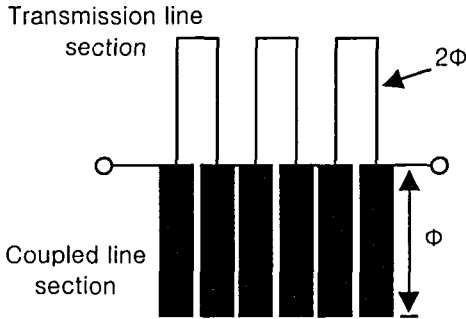
자의 작은 삽입손실, 높은 선택도, 작은 크기 등 여러 가지 초고주파 성능 개선에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 다양한 설계방법에 대한 연구와 고온초전도 등을 이용한 재료적인 측면에서도 연구가 활발히 진행되고 있다. 저역통과필터는 믹서, VCO 등의 통신소자 등에서 고조파나 스퓨어리스를 제거하는데 일반적으로 사용되지만,

\*Corresponding author. Fax: +82 42 860 6836 (8pt)

e-mail: mhkwak@ceccc-1.gsnu.ac.kr

Open-stub, step-impedance 형태를 갖는 저역통과필터의 경우 저지대역이 좁기 때문에 넓은 주파수 영역에서 뛰어난 저지대역을 갖는 새로운 형태의 저역통과필터가 요구되고 있다.

본 연구에서는 다섯개의 감쇄극에 의해서 넓은 저지대역을 갖는 저역통과필터의 새로운 형태를 제시하고 할로우 캐소드 스퍼터링 장치



를 이용하여 MgO(100) 기판 위에  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) 박막을 성장하였다. 증착된 YBCO 박막으로 설계된 저역통과필터를 제작하고, 주파수 특성을 측정하였으며, 차단주파수의 7배에 이르는 저지대역에서 뛰어난 감쇄특성을 보였다.

## II. 필터설계 및 시뮬레이션

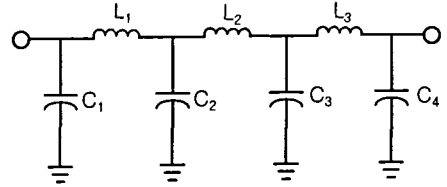
제안된 7극 저역통과필터는 전송선로 부분과 결합선로 부분으로 이루어져 있다.(그림 1)

그림 1에 나타난 저역통과필터의 등가회로는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림 2에

서 위부분은 transmission line의  $\pi$ -형 등가 회로이고 아래 부분은 coupled line의  $\pi$ -형 등가 회로이다.[1][2]

$$j\omega_0 C_{rn} = j \frac{Y_{oo} - Y_{oe}}{2} \tan \phi \quad (1)$$

$$j\omega_0 C_{cn} = jY_{oe} \tan \phi \quad (2)$$



$$j\omega_0 L_{rn} = jZ_0 \sin \beta \quad (3)$$

$$j\omega_0 C_{pn} = jY_0 \tan \frac{\beta}{2} \quad (4)$$

여기서

$\phi_n$  : n번째 Coupled line의 전기적 길이

$Y_{oe}, Y_{oo}$  : Coupled line의 Even, odd mode 어드미턴스

$\beta$  : 전파상수

$Z_0$  : 전송선로의 특성 임피던스

이다.

그림 2의 회로는 그림 3의 prototype 저역통과필터와 등가이며 다음 식에서 소자의 값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} j\omega_0 C_n &= j\omega_0 C_{cn} + j\omega_0 C_{pn} \\ &= jY_{oe} \tan \phi_n + jY_0 \tan \frac{\beta}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

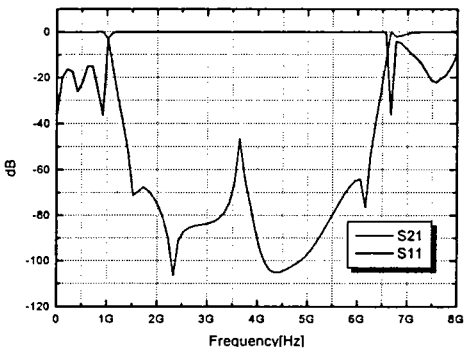
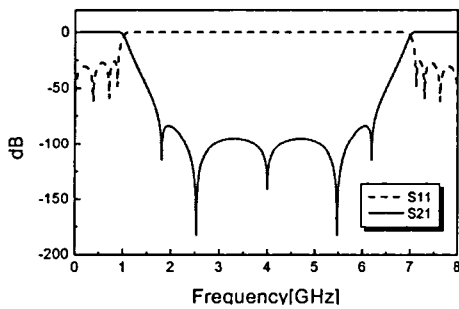
$$j\omega_0 L_n = \frac{1}{j\omega_0 C_{rn} + \frac{1}{j\omega_0 L_{rn}}} \quad (6)$$

위의 식들을 transmission line과 coupled line 이론을 이용하여 서셉턴스 관계식으로 유도하면 다음과 같다.[3][4]

$$\frac{1}{j\omega_0 L_n} = j \frac{Y_{oo} - Y_{oe}}{2} \tan \phi - jY_0 \csc 2\phi \quad (7)$$

$$j\omega_0 C_n = jY_{oe} \tan \phi + jY_0 \tan \frac{\phi}{2} \quad (8)$$

여기에서 transmission line과 coupled line의 전기적 길이에 의해 3개의 감쇄극이 나타나는데 그 위치는 식 7의 series element의 서셉턴스가 0이 되는 두 점과 식 8의 parallel element의



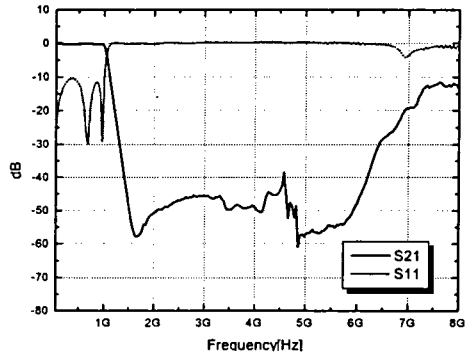
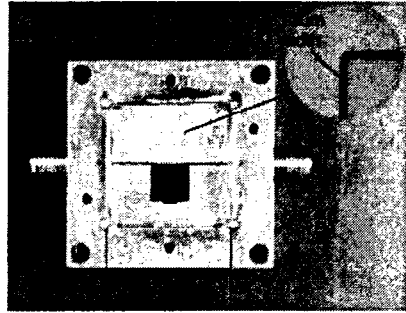
서셉턴스가 무한대가 되는 점이다.

제안된 방법을 이용하여 0.01dB 리플 레벨, 차단주파수 900MHz의 7극 coupled line 저역통과필터를 설계하였다. 설계된 저역통과필터는 각각 1.2GHz, 2.5GHz, 4GHz, 5.5GHz, 6.2GHz에서

감쇄극을 가지도록 설계하였으며, 시뮬레이션한 것을 그림 4에 나타내었다. 이 결과를 바탕으로 소자의 실제 제작을 위하여 EM 시뮬레이터를 통하여 시뮬레이션을 하였으며 결과를 그림 5에 나타내었다.

### III. 필터 제작 및 결과

소자 제작을 위한  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  고온초전도 박막은 20 mm × 20mm 크기의 MgO(100) 기판 위에 할로우 캐소드 스퍼터링 장치를 이용하여 증착하였으며, 증착된 박막은 일반적인 사진식각공정을 이용하여 패턴을 제작하였다.(그림 6)



소자의 구조는 strip-line 형태로 제작하였으며 저지대역 특성을 관찰하기 위하여 50MHz에서 8GHz까지 극저온냉각 장치와 연결된 HP 8510 vector network analyzer를 이용하여 측정하였다.

측정한 고온초전도 coupled line 저역통과필터의 삽입손실은 77 K, 55 K, 35 K에서 각각 0.39 dB, 0.35dB, 0.39dB로 측정되었고, 반사손실은 10.9 dB, 10.6dB, 10.4 dB로 측정되었다. (그림 7)

저지대역특성은 시뮬레이션 값과 비교하여 감쇄극이 이동하였으나 저지대역특성은 약 7GHz까지 저지대역 특성을 보임으로써 완전한 strip 구조를 구현하기 어려운 고온초전도 박막을 이용한 소자임을 고려할 때 설계값과 비교적 일치한 값을 얻었다.

#### IV. 결론

일반적인 저역통과 필터의 단점인 좁은 저지대역 특성을 개선하고 소자의 크기를 줄일 수 있는 coupled line 구조를 응용한 저역통과필터의 설계 방법을 제시하였다. 제안된 설계방법에 의해서 0.01dB 리플 레벨에서 0.9GHz의 차단주파수를 가지며 각각 1.2GHz, 2.5GHz, 4GHz, 5.5GHz, 6.2GHz에서 감쇄극을 가지는 7극 저역통과필터를 설계하였다.

설계된 저역통과필터는 MgO(100) 기판 위에 증착된 YBCO박막으로 제작하였다. 제작된 저역통과 필터는 일반적인 open-stub 형태의 저역통과필터에 비교하여 매우 작은 크기를 가지면서 차단주파수의 일곱배에 이르는 우수한 저지대역 특성을 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] Brian C. Wadell "Transmission Line Design Handbook" Artech House, pp. 199-219, 1991
- [2] David M. Pozar "Microwave Engineering" Addison-Wesley Publishing Company pp. 486-517, 1990
- [3] George L. Matthaei, Leo Young, E. M. T. John "Microwave Filters, Impedance Matching Networks and Coupling Structures", Artech House pp. 217-228, 1980
- [4] J. A. G Malherbe "Microwave Transmission Line Filter" Artech House, pp. 1-38, 1979