

원하는 주파수에 감쇄극을 갖는 유전체 대역통과 필터 설계 및 구현

正會員 이 문 규*, 남 상 욱*

Design and Realization of Dielectric Band-Pass Filter with Attenuation Poles at Desired Frequencies

Moon-Que Lee*, Sangwook Nam* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 원하는 주파수에서 감쇄극을 갖는 유전체 대역통과 필터의 해석적 설계이론을 제안한다. 감쇄극으로 인한 통과대역에서의 일정리플의 붕괴를 보상하는 방법으로 주파수변환 함수를 이용하여 각 공진기의 초기 병렬공진 주파수를 다르게 계산하는 방법을 취하였다. 1900 MHz대역에서 4가지의 준 타원 필터를 설계하여 설계의 타당성을 검증하였다. 필터를 구현하는 방법으로는 오차 파라미터 최적화(Error Parameters Optimization)를 이용하여 결합 패턴을 구현하였다.

ABSTRACT

An analytic design method is proposed for a miniaturized dielectric band-pass filter with attenuation poles at desired frequencies. It is calculated the parallel resonance frequencies of the various resonators used in filter to compensate the breakdown of constant ripples in pass-band due to attenuation poles in stop-band. Four types of quasi-elliptic band-pass filters are designed in 1900 MHz band to verify the proposed design method. EPO(Error Parameters Optimization) is used to realize the coupling pattern between the resonators.

I. 서 론

개인휴대단말기에서 필터의 부피는 유전체 공진기의 크기와 개수에 의해 좌우된다. 따라서 필터의 크기

를 줄이기 위해서는 고유전을 분말을 사용하여 손실이 적은 공진기를 만드는 제조기술과 적은 공진기의 개수로 높은 cutoff-rate를 얻을 수 있는 필터의 설계 기술이 동시에 요구된다[1]. Chebyshev 특성의 대역통과 필터를 수정하여 원하는 주파수에 감쇄극을 두는 비대칭 대역통과 필터는 기존 필터에 비해 공진기의 개수를 적게 할 수 있고, 원하는 대역 내에서 높은

*서울대학교 전기공학부
論文番號: 97354-1001
接受日字: 1997年 10月 1日

cut-off rate를 얻을 수 있다[1-5]. 이러한 특성은 단말기의 가장 중요한 사양인 소형화의 요구에 부합하므로 비대칭 필터는 듀플렉서용 필터로 많이 이용되어진다. RF주파수 대역에서 필터의 구조는 구현상의 어려움으로 인하여 구조적으로 제한을 받는다. 감쇄극을 갖는 대역통과필터에 있어서 prototype으로 cut-off rate가 우수한 elliptic filter를 이용하기 어려운 것도 또한 구현상의 어려움으로 인한 문제이다. 본 논문에서 설계하려는 구조는 유전체 공진기에 직렬공진을 추가하여 감쇄극을 만든 다음 결합 패턴으로 감쇄극을 구현하는 구조이다. 일반적으로 감쇄극은 공진기에 직렬로 코일이나 칩형태의 inductor 또는 MIM형태의 capacitor를 삽입하거나, 직렬로 연결된 소자값을 이웃하는 인버터 값과 회로적으로 변환시켜 결합 pattern으로 구현한다[5]. 비대칭 필터의 특성은 통과대역 안에서는 리플을 일정하게 유지해야 하고, 통과대역 밖에서는 cut-off rate를 높여야 하므로 감쇄극이 통과대역 내에서 영향이 적어야 한다.

기존의 Chebyshev 필터 설계이론을 이용하면서, 정지대역에서 감쇄량을 높이고, 구현 가능한 형태의 필터 설계를 위해서는 한 필터 내에서 여러 가지 공진기를 동시에 이용하는 필터의 설계이론이 필요하다. 한 종류의 공진기를 사용하는 일반적인 필터는 주파수 변환함수를 이용하여 통과대역과 저지대역의 특성을 정확하게 예측을 할 수 있다. 하지만 필터에 사용되는 공진기의 종류가 서로 다르고, 한정된 개수의 감쇄극을 원하는 공진기에 두는 대역통과 필터의 경우, 대역에서의 리플과 대역 밖에서 어느 정도 감쇄량을 예측할 수 있는 구조는 회로 simulator의 최적화에 의존하고 있다. 수학적으로 여러 가지 공진기를 사용하는 구조로 통과대역 내에서는 Chebyshev 특성을 유지하고, 정지대역에 감쇄극을 추가하는 것은 배평함수는 존재하지 않는다.

본 논문에서는 비대칭 필터에 사용되는 3가지 형태의 공진기에 대해 주파수 변환함수로부터 초기공진 주파수를 계산하여 감쇄극을 갖는 공진기와 감쇄극이 없는 공진기가 혼용되는 구조에서 통과대역내의 리플을 근사적으로 일정하게 유지할 수 있는 설계이론을 제안하고 유전체 공진기를 사용하여 설계한 회로를 제작하여 제안한 설계이론을 검증한다.

II. 설계이론

(1) 공진기

본 논문에서 사용하려는 공진기는 그림 1의 구조를 갖는 정방향 공진기이다. 공진기의 특성임피던스는 근사적으로 다음과 같이 주어진다.

$$Z_0 = \frac{138.0}{\sqrt{\epsilon_r}} \log(1.0787 \frac{D}{a}) \Omega \quad (1)$$

여기서, ϵ_r 은 유전체의 상대유전율, D 는 공진기의 바깥쪽 모서리의 길이, a 는 내부 동공의 직경이다. 유전체 공진기는 그 구조상 완전한 TEM mode를 형성되지 않지만 근사적으로 주 모드를 TEM mode로 생각하여 전송선 개념을 도입하여 등가회로를 구한다. 본 논문에서 사용한 유전체의 유전율은 34이고, 전송선로의 길이는 관심주파수에서 1/4 파장($\lambda/4$)이고, 종단이 단락된 형태의 공진기로 중심주파수에서는 병렬 공진현상을 갖는다. 전송선로의 등가회로를 수식전개의 편의상 집중소자값(R, L, C)으로 다시 특성화시킬 때 특성임피던스, Q 값과의 관계는 다음과 같다.

$$B_{in} = j\omega_0 C \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \quad (2)$$

$$C = \frac{\pi}{4} \frac{1}{\omega_0 Z_0} \quad (3)$$

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} \quad (4)$$

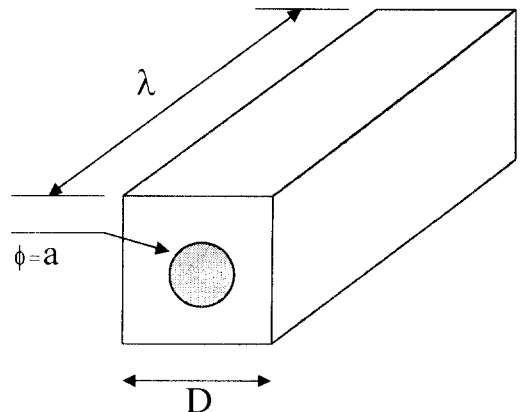


그림 1. 정방향 공진기의 모양
Fig. 1 The shape of rectangular resonator

$$R = \frac{Z_0}{\alpha l} \quad (5)$$

$$Q = \omega_0 RC = \frac{\pi}{4\alpha l} = \frac{\beta}{2\alpha} \quad (6)$$

여기서, α 는 공진기 표피에 의한 conductor loss, 유전체 손실, 방사 손실의 합으로 표현되는 감쇄계수이고, B_{in} 는 공진기의 서셉턴스이다.

공진기의 특성임피던스는 식(2)을 이용하여 측정에 의해 구하거나, 식(1)에 의해 이론적으로 구할 수도 있다. 공진기의 경우 유전체 전송선로 외에도 단자가 붙어 있고, 전송선로가 정확히 TEM mode가 아니므로 주파수에 의존하는 특성임피던스를 갖는다. 따라서 정확하게 공진기를 모델링을 하기 위해서는 측정에 의한 식인 (2)을 의존하는 것이 좋다. 측정에 의해 특성임피던스를 구하는 방법은 우선 공진주파수를 필터의 중심주파수 근처로 tuning을 하고, 대역통과 주파수 대역의 모서리 주파수($\pm(\omega_2 - \omega_1)/2 + \omega_0$)에서 서셉턴스 값을 측정한다. 이 서셉턴스 값을 (2)에 대입하면 필터의 주파수 대역에서 C값을 얻을 수 있고, C값으로부터 Z_0 (식3), L(식4)을 구할 수가 있다.

본 논문에서 설계하려는 비대칭 필터는 기존의 대역통과 필터의 공진기에 직렬 공진을 돕으로서 정지대역의 주파수에 감쇄극을 두려는 구조이다. 통과대역주파수가 협소대역(narrow band, 10%이내의 주파수대역)을 갖는다면 전송선로 형태의 공진기는 병렬 공진 주파수 근방에서 집중소자로 표현된 공진기로 나타낼 수 있다. 따라서 비대칭 필터에 이용되는 공진기는 그림 2의 3가지 형태로 볼 수 있다. 그림 2에서 (a)는 직렬 공진을 갖지 않는 일반적인 병렬 공진 회로이고, (b)는 직렬공진주파수가 병렬공진주파수보다 더 높은 곳에 놓이는 경우이고, (c)는 직렬공진주파수가 병렬공진주파수보다 더 낮은 곳에 놓이는 경우이다. 통과대역보다 높은(낮은) 곳에 감쇄극을 두고자 할 때에는 (b)의 공진기((c)의 공진기)와 (a)를 혼용하여 설계한다. 그림 1에서 병렬 공진기(C_0, L_0)는 유전체 공진기로 구현하고 직렬공진은 집중소자 캐패시터(C_s)인 경우 직접 구현하거나, 회로변환(T- Δ 변환)을 사용하여 기판위에 결합구조로 간접 구현한다. 그림 2의 3가지 형태의 공진기 서셉턴스는 다음과 같이 표현할 수 있다.

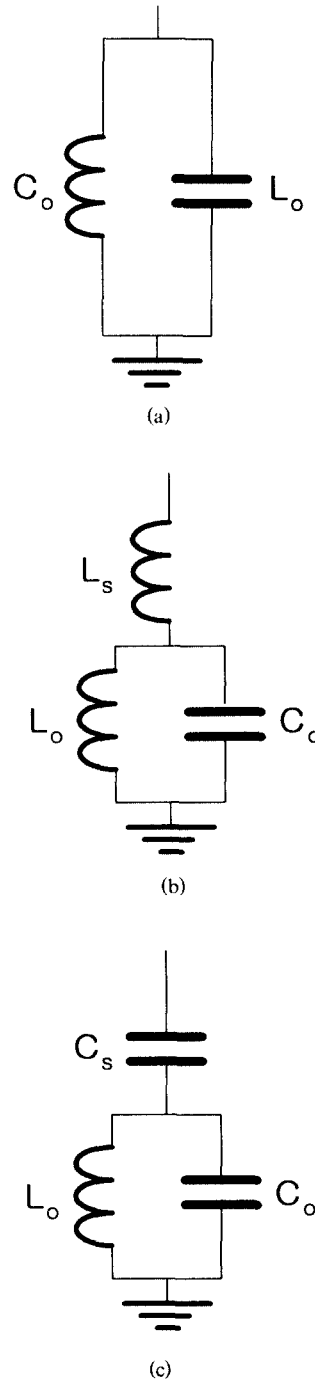


그림 2. 비대칭 필터에 사용되는 3가지 형태의 공진기
Fig. 2 Three types of resonators used in asymmetric band-pass filter

$$B = j\omega_0 C_0 \frac{x}{K_i(\omega)} \quad (7)$$

여기서, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_0 C_0}}$, $x = \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right) \approx 2 \frac{(\omega - \omega_0)}{\omega_0}$

이고, K의 첨자 i는 그림 2의 (a), (b), (c)에 대해 o, u, l이라 할 때 $K_i(\omega)$ 은 다음과 같다.

$$K_o(\omega) = 1 \quad \text{(a)의 경우} \quad (8-a)$$

$$K_u(\omega) = 1 - \left(\frac{L_s}{L_0} \right) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) x \quad \text{(b)의 경우} \quad (8-b)$$

$$K_l(\omega) = 1 + \left(\frac{C_0}{C_s} \right) \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right) x \quad \text{(c)의 경우} \quad (8-c)$$

$K_i(\omega)$ 는 병렬공진주파수만을 갖는 그림 2의 (a)의 LC공진기에 대해 주파수의존 특성의 변화를 나타내는 factor이다. 그림 3은 그림 2의 3가지 공진기에 대한 서셉턴스의 특성을 보여준다.

(2) 비대칭 필터의 설계

비대칭 필터의 설계는 기존의 Chebyshev Polynomial을 이용하고, 통과대역 밖에서 직렬공진을 갖는 공진기(그림 2의 (b)와 (c))를 사용하여 설계를 한다(그림 4). 감쇄극을 갖지 않는 필터의 경우 인버터를 합성하기 전의 공진기의 공진주파수(초기공진주파수)는 전체 대역의 중심주파수와 같다. 초기공진주파수는 지역 통과 필터에서 대역통과 필터로 변환하는 다음과 같은 주파수 변환 함수에 의해 결정이 된다[6].

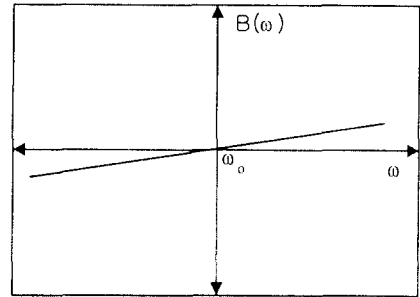
$$F(\omega) = \frac{B_n(\omega)}{B_i(\omega_2)} \quad (9)$$

여기서, ω_2 는 대역통과 필터의 상한 angular cut-off frequency이다. 식(9)의 주파수 변환함수로부터 초기 공진주파수는 다음 식으로부터 계산이 된다.

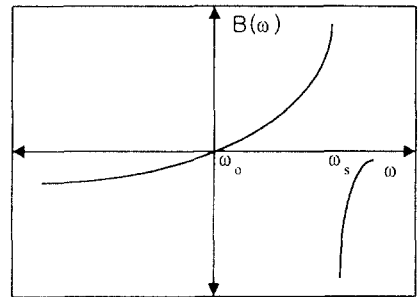
$$F(\omega_1) + F(\omega_2) = 0 \quad (10)$$

여기서, ω_1 은 대역통과 필터의 하한 angular cut-off frequency이다. 식(10)으로부터 공진기의 초기 공진 주파수는 공진기의 주파수 의존성에 의해서 결정이 됨을 알 수 있다.

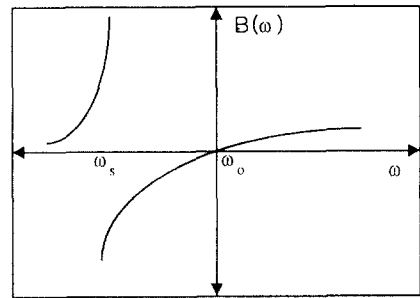
그림 2의 3가지 형태의 공진기에 대해 초기 공진



(a)



(b)



(c)

그림 3. 비대칭 필터에서 사용되는 공진기의 서셉턴스 (a) 병렬공진만을 갖는 공진기, (b) 통과대역 위쪽에 직렬공진을 갖는 공진기, (c) 통과대역 아래쪽에 직렬공진을 갖는 경우

Fig. 3 The susceptance of resonators used in asymmetric band-pass filter (a) parallel resonance resonator, (b) resonator with a series resonance in upper side band, (c) resonator with a series resonance in lower side band

주파수(병렬공진 주파수)를 구하면 다음과 같다.

그림 2의 (a) 공진기에 대해

$$\omega_{01} = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (11)$$

병렬공진만 갖는 LC공진기의 경우, 초기공진주파수는 통과대역의 기하평균으로 주어지게 된다.

그림 2의 (b)와 (c)의 공진기의 경우 (a)에 비해 좀더 복잡한 중심주파수를 갖는다. (b)공진기의 경우 통과대역보다 높은 주파수에 감쇄극을 갖는 경우로 식 (2)의 $K_i(\omega)$ 는 다음과 같다.

$$K_o(\omega) = 1 - \left(\frac{L_s}{L_o} \right) \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) x$$

$$= 1 + \left\{ \frac{1}{\left(\frac{\omega_s}{\omega_0} \right)^2 - 1} \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \right\}$$

with L_s for series resonance at ω_s , (12)

직렬공진주파수 ω_s 는

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{C_o(L_o/L_s)}} \quad (13)$$

이 공진기의 초기공진주파수를 직렬공진주파수와 통과대역의 cut-off주파수로 표현하면 다음과 같다.

$$\omega_{02} = \sqrt{\frac{\omega_1^2(\omega_1 + \omega_2) - \omega_1\omega_2(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_s^2\left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2}\right) - \left(\frac{\omega_1^2}{\omega_2} + \frac{\omega_2^2}{\omega_1}\right)}}$$

$$\approx \frac{\omega_1^2(\omega_1 + \omega_2) - \omega_1\omega_2(\omega_1 + \omega_2)}{2\omega_s^2 - (\omega_1^2 + \omega_2^2)}$$

for case Fig. 2-(b)

(14)

(c)의 주파수 의존성을 표현하는 $K_i(\omega)$ 는

$$K_i(\omega) = 1 + \left(\frac{C_o}{C_s} \right) \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right) x$$

$$= 1 + \left\{ \frac{1}{\left(\frac{\omega_0}{\omega_s} \right)^2 - 1} \right\} \left\{ 1 - \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right\}$$

with C_s for series resonance at ω_s , (15)

직렬공진 주파수 ω_s 는

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{(C_s + C_o)L_o}} \quad (16)$$

(b)와 비슷한 방법으로 (c)공진기의 초기 공진 주파수는

$$\omega_{03} = \sqrt{\frac{\frac{(\omega_1 + \omega_2)}{\omega_s^2} - \left(\frac{\omega_1}{\omega_2^2} + \frac{\omega_2}{\omega_1^2} \right)}{\frac{1}{\omega_s^2} \left(\frac{1}{\omega_1} + \frac{1}{\omega_2} \right) - \left(\frac{1}{\omega_1 \omega_2^2} + \frac{1}{\omega_1^2 \omega_2} \right)}}$$

$$\approx \frac{\omega_1^2 \omega_2^2 (\omega_1 + \omega_2) - \omega_s^2 (\omega_1^2 + \omega_2^2)}{2\omega_1^2 \omega_2^2 - \omega_s^2 (\omega_1^2 + \omega_2^2)}$$

for case Fig. 2-(c)

(17)

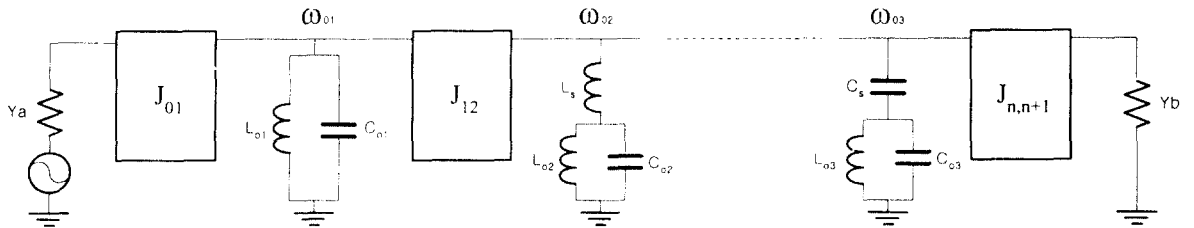


그림 4. 3가지 형태의 공진기를 이용하여 비대칭 필터를 구현하는 회로.

Fig. 4 Asymmetric band-pass filter using three types of resonators

각 공진기의 초기공진주파수를 구한 다음 어드미턴스 인버터의 값은 다음의 식으로부터 구한다.

$$J_{0,1} = \sqrt{\frac{B_{r1}(\omega_2)}{\omega'_1 g_1} \frac{Y_a}{g_0}}$$

$$J_{i,i+1} = \sqrt{\frac{B_{ri}(\omega_2)}{(\omega'_1 g_i)} \frac{B_{n+1}(\omega_2)}{(\omega'_1 g_{i+1})}} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$J_{n,n+1} = \sqrt{\frac{B_n(\omega_2)}{\omega'_1 g_n} \frac{Y_b}{g_{n+1}}}$$

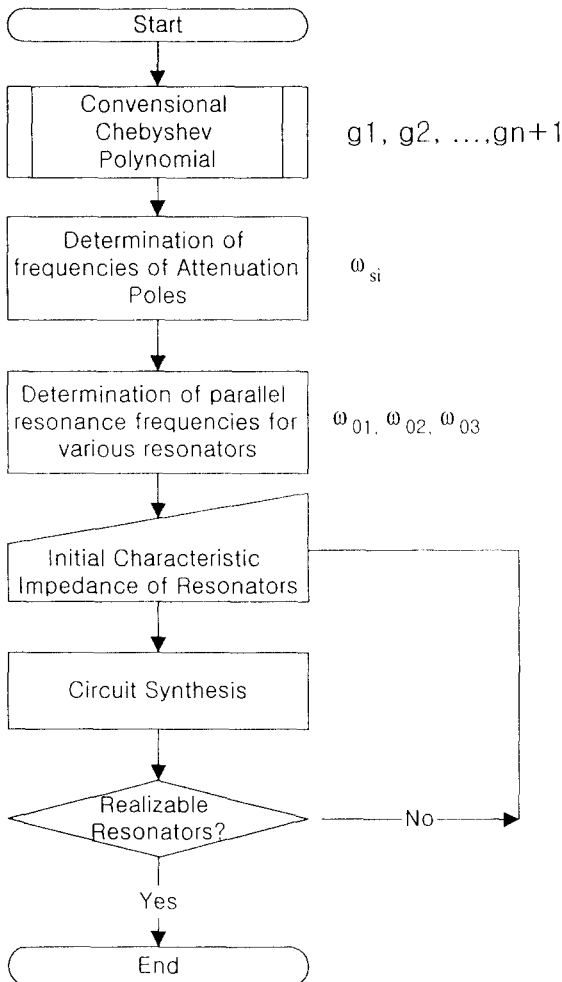


그림 5. 감쇄극을 갖는 대역통과 필터의 설계 흐름도
Fig. 5 Design flow chart of band-pass filter with attenuation poles

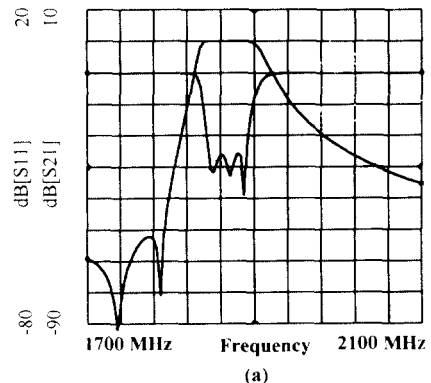
어드미턴스 인버터는 capacitor와 inductor를 이용하여 구현을 할 수가 있다. 인버터와 공진기와의 회로 합성은 쌍극변환(Dipole Transformation)을 이용하여 합성할 수 있다. 회로의 합성 후에는 공진기의 특성 임피던스가 처음 공진기의 임피던스와 달라지기 때문에, 초기의 값을 적절히 선정하여 최종 회로합성 후 특성임피던스가 구현하고자하는 공진기의 특성 임피던스가 되도록 한다. 필터 설계과정에 대한 흐름도는 그림 5와 같다.

(3) 통과대역밖에 감쇄극을 갖는 필터의 설계

본 절에서는 원하는 주파수에 감쇄극을 갖는 필터를 4종류 설계하여 (2)절에서 제시한 방법의 타당성을 확인한다. 먼저 설계의 사양은 다음과 같다.

- 통과대역: 1850 MHz – 1890 MHz
- Ripple: 0.001 dB
- 차수: 4차 Chebyshev 필터
- 감쇄극의 위치
 - (a) $\omega_{s1} = 1790$ MHz, $\omega_{s2} = 1740$ MHz
 - (b) $\omega_{s1} = 1950$ MHz, $\omega_{s2} = 2000$ MHz
 - (c) $\omega_{s1} = 1790$ MHz, $\omega_{s2} = 1950$ MHz
 - (d) $\omega_{s1} = 1740$ MHz, $\omega_{s2} = 1790$ MHz, $\omega_{s3} = 1950$ MHz

감쇄극은 (a), (b), (c)의 경우 첫 번째와 네 번째 공진기에 삽입하였고, (d)의 경우 첫 번째, 두 번째, 네 번째 공진기에 감쇄극을 삽입하였다. 그림 6은 위의 설계 스펙으로 설계한 필터의 주파수 응답을 보여준다. 4개의 설계 예로부터 알 수 있듯이 본 논문에서 사용



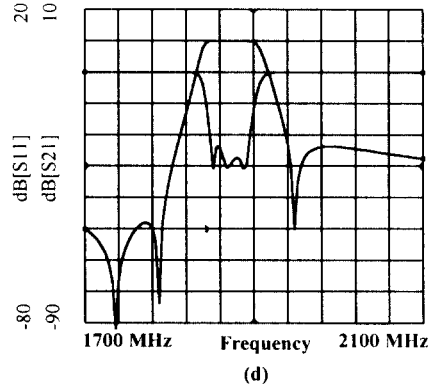
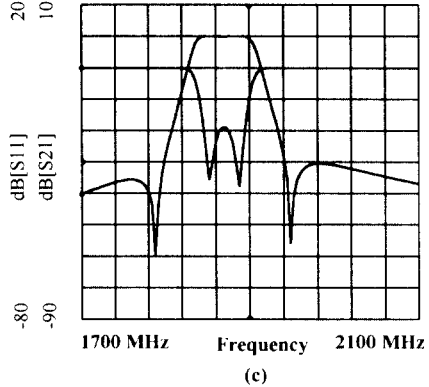
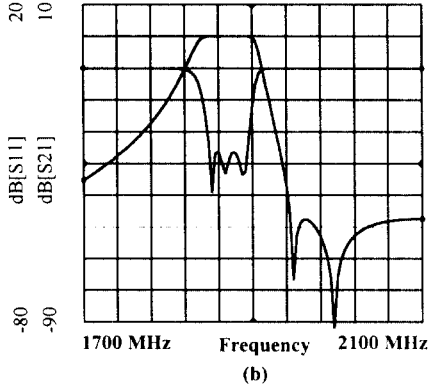


그림 6. 통과 대역(1850 MHz~1890 MHz)밖에 감쇄극을 갖는 필터의 설계 예 : 감쇄극의 위치
 (a) $\omega_{s1} = 1790$ MHz, $\omega_{s2} = 1740$ MHz
 (b) $\omega_{s1} = 1950$ MHz, $\omega_{s2} = 2000$ MHz
 (c) $\omega_{s1} = 1790$ MHz, $\omega_{s2} = 1950$ MHz
 (d) $\omega_{s1} = 1740$ MHz, $\omega_{s2} = 1790$ MHz, $\omega_{s3} = 1950$ MHz

Fig. 6 Design example of band-pass(1850 MHz~1890 MHz) filter with attenuation poles in stop band

하는 방법은 통과대역밖에 감쇄극을 두는 필터에 적합하게 사용되어질 수 있음을 알 수 있다.

그림 7은 본 절의 설계에 이용된 3가지 형태의 공진기의 서셉턴스 특성을 보여준다. 통과대역내에서 Chebyshev 특성에 가장 근접한 결과를 얻기 위해서는 공진기의 초기 중심주파수(그림에서 원으로 표시)를 보정해야 한다. 만일 Type-(b)와 Type-(c)의 공진기의 초기 공진주파수를 Type-(a)의 공진주파수와 같다고 한다면, ω_1 와 ω_2 근처에서 리플의 특성이 악화된다. 통과대역 내에서 리플의 특성이 Chebyshev 특성에 가장 근접한 특성은 식(10)으로부터 구한 중심주파수를 각 공진기에 적용하는 것이다.

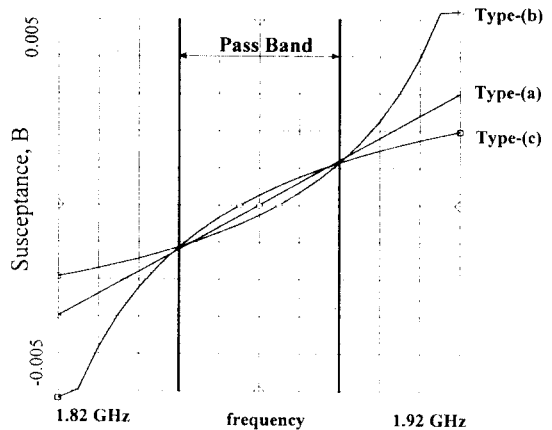


그림 7. 매핑함수를 이용하여 3가지 공진기의 초기 공진주파수를 보정하였을 때의 서셉턴스 변화 type-(b): $\omega_k = 1.95$ GHz, type-(c): $\omega_k = 1.79$ GHz

Fig. 7 The susceptance curves of three types of resonators corrected by mapping functions; type-(b): $\omega_k = 1.95$ GHz, type-(c): $\omega_k = 1.79$ GHz

III. 필터의 구현 및 제작

본 장에서는 II 장의 설계이론을 이용하여 감쇄극을 갖는 필터를 설계하고, 유전체 공진기와 결합패턴용 알루미늄 기판, 코일을 이용하여 구현하였다. 설계한 필터의 스펙은 다음과 같다.

- 통과대역: 1850MHz-1950MHz
- 감쇄극: 2050 MHz

- 통과대역내 리플: 0.001dB
- 구성: 4단 Chebyshev필터

설계한 회로의 집중소자 값과 공진기의 공진주파수 값은 그림 8에 도시하였다. 공진기의 특성임피던스는 측정으로 구하였고, 감쇄극은 4번째 공진기에 삽입하였다. 필터의 집중소자의 구현방법은 다음과 같다.

- L01: line inductor
- C12: interdigital capacitor
- C23: interdigital capacitor
- Zab: MIM capacitor
- Zbc: coil
- Zca: MIM capacitor

공진기의 TEM mode의 type을 사용하였고, 유전율은 34. 공진기의 특성임피던스는 II-(1)의 방법으로 측정하여 13Ω을 얻었다. II 장의 설계이론으로부터 구한 각 공진기간의 결합소자의 값은 집중소자 값으로 1800MHz대역에서 구현하는데에는 많은 어려움이 따른다. 1800MHz대역에서 이 결합소자의 값은 결합량에 해당하는 회로소자의 값을 직중형 기판으로 구현하는 것이 필요하다. 집중소자를 분포소자로 정확히 구현하기 위해서는 평면 구조로 되어있는 결합 pattern에 대해 field simulator(예: Sonnet, HP-Momentum)를 이용하여 해석하는 것이 필요하다. 이때의 문제점은 회로의 구현을 위해 이용되는 EM 해석은 회로 해석기(예: HP-MDS, HP-Touchstone)를 소요되는 시간에 비해 많은 시간과 노력이 요구된다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 사용되는 개념이 공간 변환(Space Mapping)이다[7][8]. 본 논문에서는 결합패턴 설계에 Circuit Optimizer인 Libra를 이용하여 Error Parameter Optimization 방법으로 구현하였다[5][9]. EPO의 개념을 이용하기 위해서는 우선 초기의 결합 pattern을 EM simulator(Sonnet™)를 이용하여 해석하여 해석결과를 n-port data file(S, Y, Z-parameters)을 얻는다. 이 때 port의 수는 공진기를 붙일 수 있는 단자의 수에 입력과 출력으로 이용되는 단자수를 더한 수가 된다. 이 n-port data file은 그림 9과 같이 circuit simulator(HP-Libra)의 data file로 정의하고, 각 port에 공진기와 입력과 출력단자를 붙인

다. 이때 각 단자사이에는 구현하려는 집중소자의 값과 EM simulator에 의해 해석된 pattern의 data file사이의 error값을 표시하는 capacitor나 inductor를 삽입한다. 이 값을 error parameters로 정의의를 한다. 그림 10은 집중소자에 의해 구현된 회로(그림 8)의 전력 전달특성과 반사특성(|S₁₁|, |S₂₂|)과 결합 pattern의 EM simulation data file로 구성된 회로(그림 9)의 최종적인 최적화 결과를 보여준다. 최적화 수행 후 error parameters인 각 공진기 사이의 값들과 공진기의 공진주파수를 얻는다. error parameters는 초기 EM pattern을 수정하는 data로 이용된다. error parameters는 EM 영역(EM pattern)에서 선형변환함수를 이용하여 구현한다[4]. 최종 Pattern은 4번의 반복설계를 통하여 얻었다. Zbc의 Coil은 외부에서 부착하는 방법으로 구현하였고, 다른 결합 값은 결합기판 위에서 pat-

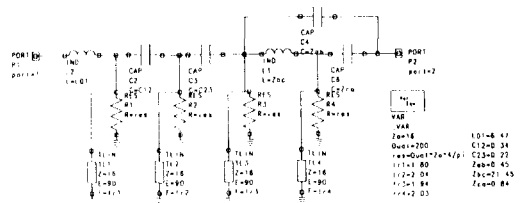


그림 8. 통과대역: 1850MHz-1950MHz, 감쇄극: 2050 MHz을 갖는 4-pole 대역통과 필터의 집중소자 값과 공진기의 공진 주파수

Fig. 8 The values of lumped elements and resonance frequencies of 4-pole band-pass filter; pass band: 1850MHz-1950MHz, attenuation pole: 2050 MHz

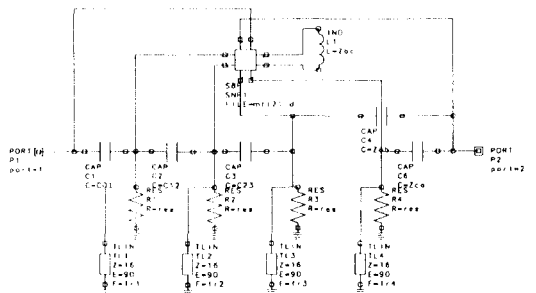


그림 9. 결합패턴을 구현하기 위한 EPO 기법
Fig. 9 EPO technique for the design of the coupling pattern

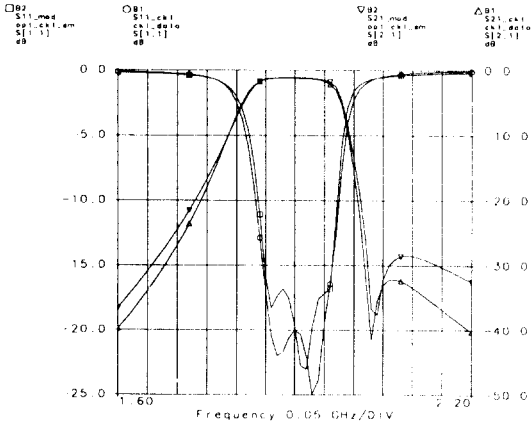
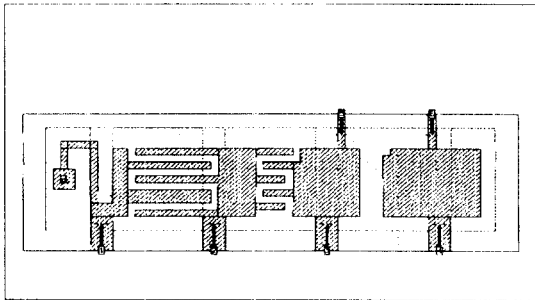
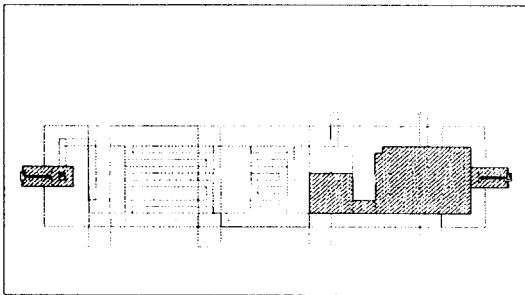


그림 10. EPO를 수행하여 얻은 EM pattern에 공진기를 부착한 회로의 주파수 응답특성
 Fig. 10 Frequency response of the dielectric band-pass filter with EM coupling pattern designed by EPO



(a) First layer pattern



(b) 2-nd layer pattern

그림 11. 알루미나 기판 위의 pattern모양. (양면기판구조)
 Fig. 11 The shape of coupling pattern on the alumina substrate(double side layers)

tern으로 구현하였다. 그림 11은 결합패턴의 layout을 보여주는 그림이다. layout에는 via hole을 포함하여 line 인덕터, inter-digital capacitor, MIM capacitor를 구현하였고, 외부에서 coil을 연결할 수 있도록 단자 두 개를 더 가지고 있다. 그림 12와 그림 13은 측정결과를 보여준다. 그림 12, 그림 13의 측정결과는 공진기의 공진주파수만을 trimming을 통하여 얻은 결과로 제작과 측정이 비교적 잘 일치하고 있음을 보여준다.

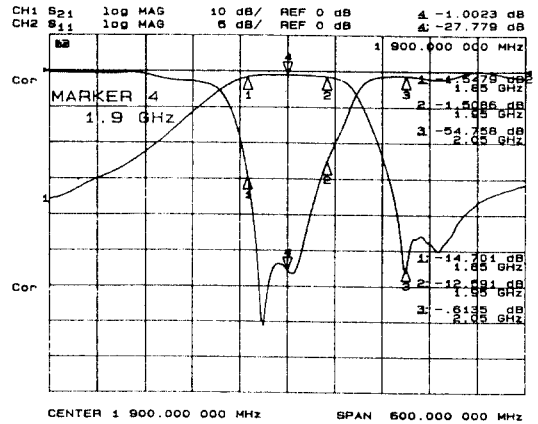


그림 12. 제작한 필터의 측정 결과: 통과대역 근처의 특성
 Fig. 12 Measured data of implemented filter: around the pass-band

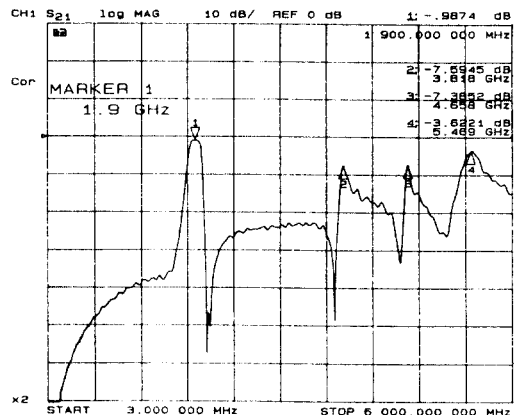


그림 13. 제작한 필터의 하모닉 특성
 Fig. 13 Harmonic response of implemented filter

IV. 결 론

본 논문에서는 일정리플을 갖는 Chebyshev 필터의 저지대역에 감쇄극을 넣는 필터의 설계이론을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 유한개의 감쇄극을 갖는 대역통과 필터의 설계방법은 기존의 인버터 이론을 이용한 대역통과 필터의 이론을 그대로 이용하면서 공진기의 적절공진주파수를 삽입하는 방법으로 통과대역내의 Chebyshev 필터의 특성을 잘 유지하고 있다. 본 논문의 설계 방법은 한 필터에서 여러 종류의 공진기를 사용하는 협대역 필터의 설계에 성공적으로 적용될 수 있으리라고 생각된다. 회로의 구현 방법으로는 EPO개념을 이용하여 EM결합 pattern을 얻었고, 2-layer의 알루미늄 기판으로 제작하고 실험하였다.

감사의 글

본 논문의 설계이론에 대해 귀중한 조언을 해주신 순천향 대학교의 안달교수님과 필터의 제작에 도움을 준 단암산업(주)와 한국쌍신전기 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. T. Nishikawa, "RF front end circuit components miniaturized using dielectric resonators for cellular portable telephones", *IEICE Trans.*, vol E74, No. 6, pp. 1556-1562, June 1991.
2. Haruo Matumoto *et al*, "Miniaturized duplexer using rectangular coaxial dielectric resonators for cellular portable telephone", *IEICE Trans.* vol E74, No. 5, pp. 1214-1225, May 1991.
3. Jeong-Soo Lim and Dong Chul Park, "A modified Chebyshev bandpass filter with attenuation poles in the stopband," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 45, No. 6, June, 1997, pp. 898-904.
4. 이문규, 남상욱, "원하는 주파수에 감쇄극을 갖는 유전체 대역통과 필터 설계 및 구현," 1997년 추계 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, Vol. 20, No. 2, 1997년 9월, pp. 84-87.
5. 이문규, 남상욱, 염경환, 홍성용, "감쇄극을 갖는 소형 유전체 여파기의 CAD 설계", 한국통신학회 논문지, Vol. 21, No. 9, 1996, pp. 2481-2493.

6. 안달, "인버터의 주파수 특성을 이용한 대역통과 여파기 설계에 관한 연구," 1989년 서강대학교 박사학위논문.
7. J. W. Bandler, R. M. Biernacki, S. H. Chen, R. H. Hemmers, and K. Madsen, "Electromagnetic optimization exploiting aggressive space mapping," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, No. 12, Dec. 1995, pp. 2874-2882.
8. J. W. Bandler, R. M. Biernacki, and S. H. Chen "Fully automated space mapping optimization of 3D structures," *1996 IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 753-756.
9. Moon-Que Lee and Sangwook Nam, "Efficient coupling patterns design of miniaturized dielectric filter using EM simulator and EPO technique," *1996 IEEE Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 737-740.



이 문 규(Moon-Que Lee) 정회원
 1969년 5월 24일생
 1988년~1992년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사
 1992년~1994년: 서울대학교 전자공학과 석사
 1994년~현재: 서울대학교 전자공학과 박사과정
 ※주관심분야: 마이크로파 수동 및 능동 부품 설계, 고주파 발진기 설계, 유전체 필터, 뉴플렉서 설계

남 상 욱(Sangwook Nam) 정회원
 1959년 2월 2일생
 1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 학사
 1983년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1983년 2월~1986년 8월: 금성사 중앙연구소 주임 연구원
 1989년 5월: 미국 Texas 주립대학교 전기공학과 박사
 1989년 6월~1989년 9월: 미국 Texas 주립대학교 Post-Doc. 연구원
 1989년 9월~1990년 1월: 금성정밀 연구소 선임연구원
 1990년 2월~현재: 서울대학교 공과대학 전기공학부 교수
 ※주관심분야: 전자파 수치해석, 마이크로파 측정 및 회로 설계