

통과대역 평탄도를 개선한 대역 통과 여파기의 설계

황희용(黃熙容), 김민지(金玟池), 김윤조(金玟照), 윤상원(尹相元), 장익수(張益洙)

서강대학교 전자공학과

hyhwang@eemic.sogang.ac.kr

A Design of BPF improved passband flatness

Hee yong Hwang, Min ji Kim, Yun jo Kim, Sang won Yun, Ik su Chang

Dept. of electronics Engineering, Sogang University

Abstract

In mobile communication repeaters, very small size with sharp skirt response is needed as the BPF performances. The passband flatness of the proper BPF becomes very bad due to the low value of the resonator Q-factor used in the BPF. Which could give serious level unbalance between channels. This flatness problem can be solved by a kind of compensated filter, which has 'reverse-curve' or 'concave shape' as the passband response.

In this paper, the design method of the proposed 'concave bandpass filter' without matching and loss problems is presented. The designed and fabricated filter can properly and easily compensate the convex or bad flat passband response.

I. 서론

오늘날 개인용 휴대형 단말기 보급의 양적 성장에 이어 무선 통신 서비스의 질적 향상을 위하여 각종 대형 건물, 지하 등에 대한 소형 중계기 수요가 폭증하고 있다. 중계기는 소형이면서도 작은 기지국과 같은 역할을 수행해야 하므로 그 주파수 선택도에 대한 요구가 엄격하다. 주파수 선택도는 여파기의 단수를 증가시키면 어느 정도 해결할 수 있지만, 여파기 단수의 증가에 따른 통과 대역의 평탄도는 심하게 훼손되어 채널간의 전력차가 심하여 중계기의 품질을 심하게 손상시킬 수 있다. 이와 같은 문제는 여파기의 평탄도를 보상하는 새로운 여파기 블록의 직결에 의해 해결할 수도 있을 것이다.

일반적으로 여파기에 널리 사용되는 체비세브 함수는 경우 손실이 없는 경우, 여파기 단수의 증가에 따라 통과 대역의 평탄도는 훼손되지 않고 작은 파동을 가진 직선의 모양이 유지된다. 그러나 중계기에서와 같이 한정된 품질계수의 공진기를

사용해야하는 경우에는 중심주파수에서 대역 양단으로 갈수록 증가하는 삽입손실 특성 때문에 통과대역 평탄도는 볼록한 모양을 가지게된다. 이는 오목한 모양의 통과대역 특성을 가지는 보상 여파기를 구성하여 직렬 연결한다면 해결될 수 있을 것이다.

이 경우 통과 대역 내에서의 임피던스 매칭 문제와 삽입 손실의 증가문제에 직면하게 되고, 부가적인 회로를 구성하여야 해결할 수 있다.

II. 평탄도 개선 여파기의 설계

손실이 큰 여파기의 일반적인 주파수 응답 특성은 그림 1과 같이 통과 대역에서 볼록한 모양을 갖는다. 그 곡율은 사용된 공진기의 품질 계수가 작을수록 더욱 심화된다.

이와 같이 왜곡된 통과 대역의 전송 특성을 보상하기 위해서는 그림 2와 같은 상보적인 오목 모양의 음(-)의 곡율을 갖는 여파기를 생각할 수 있다. 그림 1의 여파기와 그림 2의 상보적인 여파기를

직렬 결합하면 그림 3과 같은 통과 대역에서 평탄한 특성의 여파기를 얻을 수 있고 skirt 특성도 개선 될 수 있을 것이다.

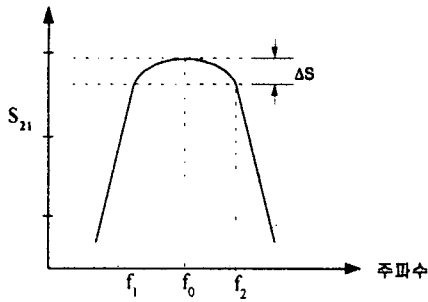


그림 1. 손실이 큰 체비세프 대역 통과 여파기의 일반적인 주파수 특성

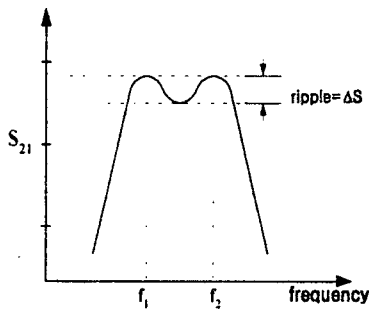


그림 2. 상보적인 여파기의 특성

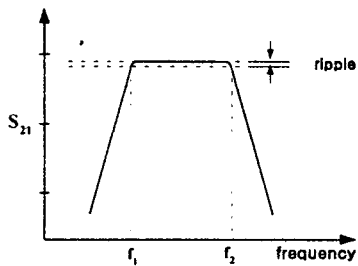


그림 3. 그림 1의 여파기와 그림 2의 여파기의 결합 특성

이와 같은 상보형 여파기는 2단 또는 4단 등 짝수개의 공진기를 이용하여 설계할 수 있고, 2단의

경우는 그림 4의 일반적인 여파기 회로에서 식 (1)-(3)^{[1][2]}을 이용하고 n=2로 하면 설계할 수 있다.

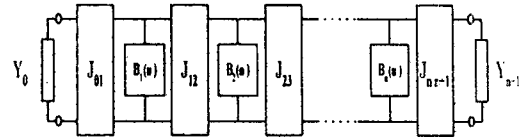


그림 4. 어드미턴스 인버터를 이용한 BPF^{[1][2]}

$$J_{0,1} = \sqrt{\frac{Y_0 W B_1}{\omega_1 g_0 g_1}} \quad (1)$$

$$J_{j,j+1} = \frac{W}{\omega_1} \sqrt{\frac{B_j B_{j+1}}{g_j g_{j+1}}} \quad j = 1..n-1 \quad (2)$$

$$J_{n,n+1} = \sqrt{\frac{Y_{n+1} W B_n}{\omega_1 g_n g_{n+1}}} \quad (3)$$

이때, 통과 대역의 오목한 특성을 체비세프 함수의 리플값(ripple value)으로 정의할 수 있다. 이 리플값은 보상 대상이 되는 여파기의 평탄도 ΔS 와 동일하게 된다.

$$\Delta S = S(f_0) - S(f_c) \quad (4)$$

여기서, $S(f_0)$ 는 중심주파수에서의 삽입 손실이고 $S(f_c)$ 는 통과 대역 가장자리(edge) 주파수 f_1 또는 f_2 에서의 삽입 손실이다.

보상형 여파기는 통과 대역에서의 반사특성이 나빠지게 되므로 그림 5의 전체 블록도에서와 같이 증폭기회로와 감쇄회로를 상보형 여파기 전후로 배치하여 전체 노이즈(Noise figure)와 입력 및 출력의 반사 계수(return loss) 특성을 유지할 수 있다.

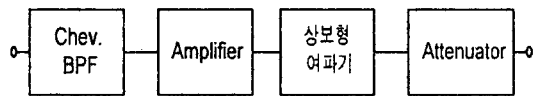


그림 5. 여파기 전체에 대한 블록도

그림 6과 그림 7은 공진기의 품질계수가 약 500일 때, 9단의 체비세프형 800MHz대 대역통과 여파기의 측정된 주파수 특성 및 군 지연 특성이다.

공진기의 품질계수가 높지 않으므로 8MHz 대역폭에서 통과 대역의 평탄도는 3dB 이상으로 심하게 훼손되어 둥근 모양을 하고 있다.

균지연 특성은 70nsec. 정도의 값을 보인다.

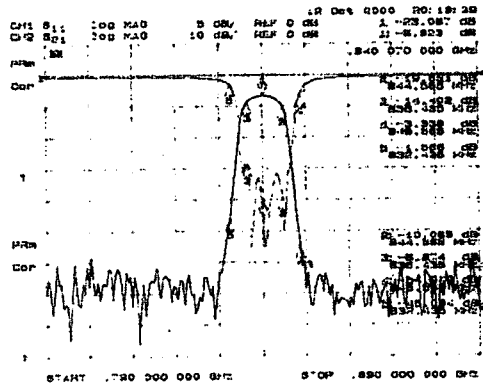


그림 6 품질 계수 500의 공진기를 사용한 9단 여파기의 특성

회로의 특성을 그림 8과 같이 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 특성과 측정된 특성들은 그림 9-12이다.

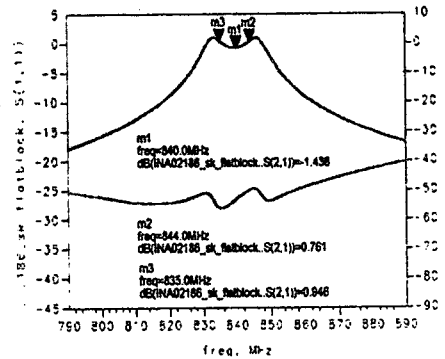


그림 9 그림 8의 시뮬레이션 결과

그림 10의 실제 측정된 주파수 특성은 삽입손실 약 0dB와 반사손실 약 25dB, 리플값 2.5dB 등이 시뮬레이션된 특성을 나타내는 그림 9와 잘 일치하고 있다.

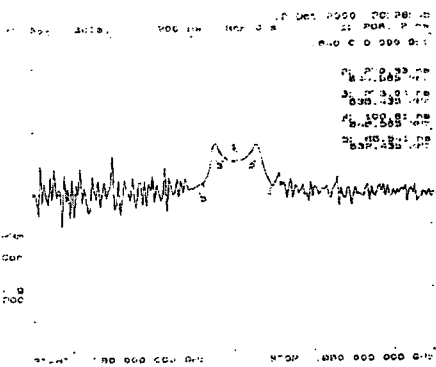


그림 7 체비세프 9단 여파기의 균지연 특성

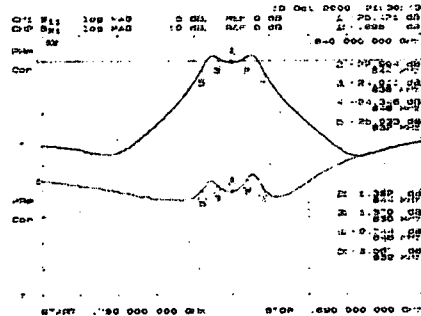


그림 10 그림 8의 측정된 특성

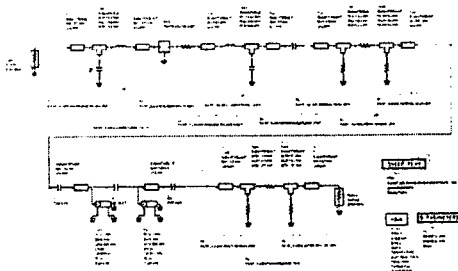


그림 8 전체 여파기에서 9단여파기를 제외한 전체 시뮬레이션 회로도

통과 대역 평탄도를 개선한 여파기의 전체 블록도를 보여주는 그림에서 9단 여파기만을 제외한

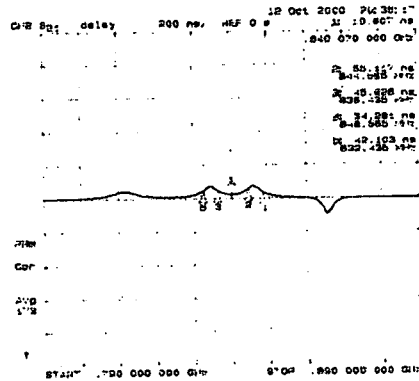


그림 11 그림 8의 측정된 균 지연 특성

직렬 연결된 블록들의 전체 노이즈 특성(Noise figure)은 식(5)로 주어지는데 그림 5의 전체 여파기 구성에서 체비세프 여파기 블록의 위치를 감쇄기 다음 단으로 하면 여파기 블록의 삽입손실이 Amp. 블록의 이득으로 나누어지므로^[3] 전체 노이즈 특성은 우수할 수 있다.

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} \dots \quad (5)$$

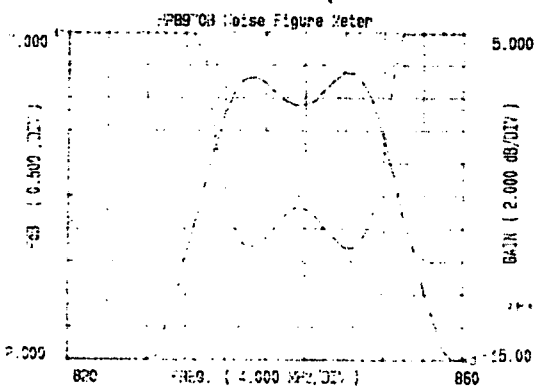


그림 12 그림 8의 측정된 노이즈 특성

그러나 증계기 또는 단말기 전체로 보면 이 여파기 전체 블록이 또 다른 이득단 다음에 연결되므로 큰 의미는 없다.

최종적으로 전체 여파기의 특성은 그림 13과 같이 1dB 이내의 아주 우수한 통과 대역 평탄도를 보여준다.

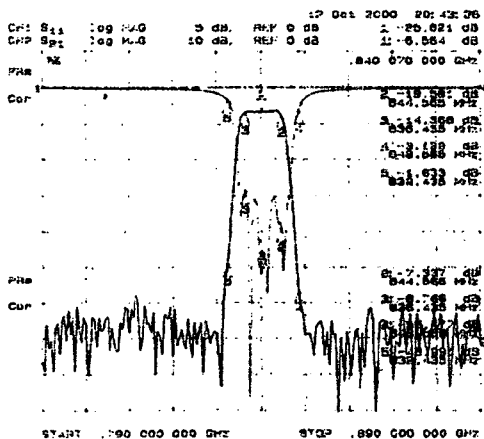


그림 13 전체 여파기 주파수 응답

또한 전체적으로 9단 여파기에 2단 여파기가 추가된 형태이므로 전체 여파기의 skirt 특성은 그림 13과 같이 단일 체비세프 여파기인 그림 6에 비해 5dB 이상 개선된다. 군지연 특성은 그림 14와 같이 90nsec. 정도의 값이 되어 skirt 특성의 개선에 따라 70nsec보다 다소 증가한다.

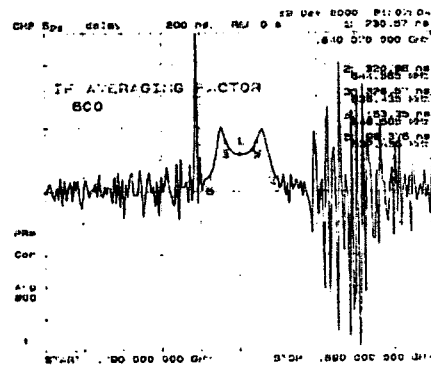


그림 14 전체 여파기 군지연 특성

IV. 결론

일반적으로 증계기 또는 단말기용 여파기들은 소형으로 만들어야하므로 공진기의 크기가 작아서 여파기의 통과 대역의 평탄도가 심하게 훼손된다. 이의 개선을 위하여 통과대역의 평탄도가 음수(-)인 보상형 여파기를 설계 제작하였다. 그 특성은 삽입손실은 그대로 유지되고, 평탄도가 1dB 이내인 대역통과 여파기를 만들수 수 있었다. 저지대역 특성도 보상형 여파기의 공진기수 만큼 더 개선되는 부가적인 효과가 있다.

참고문헌

- [1] G.Matthaei,et.al.,*Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures*. Artech House,1980.
- [2] Robert E. Collin, *Foundations for microwave engineering 2-nd Edition*, McGraw-Hill, 1992.
- [3] Guillemo Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers analysis and design*, 2nd Ed, Prentice Hall 1997.