

통과대역 내 평탄도를 개선한 휴대인터넷 대역 유전체 공진기 여파기 설계

이송이^o, 윤상원
서강대학교 전자공학과
songyi1365@hanmail.net

Design of a Dielectric Resonator Filter with Improved Flatness Passband for WiBro band

Song-Yi Lee, Sang-Won Yun
Department of Electronic Engineering, Sogang University

Abstract

Many mobile communication systems require bandpass filter with sharp skirt characteristics and consequently a filter was formed by more order. It needs to improve flatness in passband. In this paper, amplitude equalizer was used to improve the flatness of passband. We modified Chebyshev prototype filter by use of network synthesis and computed the prototype elements for Shaping filter. We designed and realized a 13-order combline bandpass filter and 4-order amplitude equalizer with coaxial dielectric resonators at WiBro band. The measured results show ± 0.82 dB amplitude difference in passband, 6 dB improved flatness.

Key words : dielectric resonator filter, passband flatness, amplitude equalizer, modified Chebyshev

I. 서론

이동통신에 대한 기대와 수요가 커지면서 통신 시스템의 수가 급증하고, 따라서 한정된 주파수 자원을 효율적으로 나누기 위해 스커트 특성이 우수한 필터가 요구되고 있다. 여파기의 스커트 특성을 향상시키기 위해 감쇄극 삽입, 타원함수 여파기의 설계 등 여러 가지 방법을 쓸 수 있으나 가장 순쉬운 방법은 차수를 늘리는 것이다. 그러나 설계 규격을 맞추기 위해 차수를 크게 늘릴 경우 통과대역 내 평탄도가 나빠져 채널 간 큰 전력 차이로 시스템 성능을 저하시키게 된다. 통과대역 내 진폭 크기를 균일하게 유지하는 것은

대역통과 여파기 뒤에 진폭 등화기(Amplitude Equalizer)를 직렬로 연결하여 해결할 수 있다^[1]. 이와 같은 방법은 주로 2단으로 설계되며 더 큰 리풀을 얻기 위해 입출력 정합을 깨뜨려 반복적인 시뮬레이션으로 소자의 값을 얻고 강제적으로 정합시켜 사용하였다. 체비셰프 여파기를 수정하여 진폭 등화기를 설계하는 방법이 제시되었지만^[2] 다양한 리풀의 진폭 등화기로 응용하기 어렵다.

본 논문에서는 기존의 연구를 토대로 체비셰프 저역통과 원형(Prototype) 여파기를 수정하여 진폭 등화기 설계를 위한 원형 소자 값을 확장하였으며, 이를 바탕으로 2.3 GHz 휴대인터넷 대역에서 평탄도를 개선한 대역통과 여파기를 설계 및 제작하였다.

II. 이론 및 해석

1. 진폭 등화기의 원리

본 논문의 진폭 등화기는 여파기의 대역 내 출력 크기를 일정하게 하여 평탄도를 향상시키는 역할을 하며 원리는 그림 1과 같다. 여파기를 제작하면 보통 중심 부분이 불록하게 되는데 이러한 여파기 뒤에 오목한 모양의 진폭 등화기를 연결함으로써 평탄한 특성을 얻을 수 있다^[1].

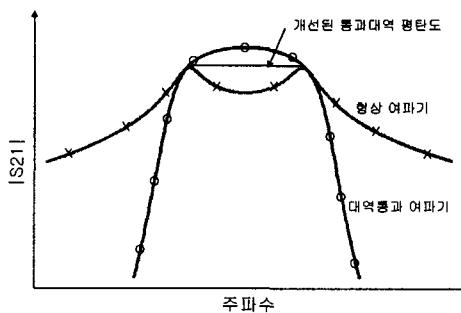


그림 1 진폭 등화기의 원리

진폭 등화기는 2개의 극점과 큰 리플을 갖는 대역통과 여파기로 해석할 수 있으며 짹수 차수의 여파기로 구현할 수 있다. 이러한 진폭 등화기의 모양을 결정하는 여파기를 상보형 여파기라고 하며, 통과대역 내 리플을 만들어주기 위해 체비세프 여파기를 선택하여 원형 여파기 소자 값을 수정하였다. 본 논문에서 언급하는 리플의 크기는 통과 대역폭 내의 최대값과 최소값의 차이로 정의한다.

2. 상보형 여파기의 원형

2차 상보형 여파기의 경우 2단 대역통과 여파기와 같아 기대할 수 있는 리플의 크기는 체비세프 원형 리플 크기에 한정되며, 지나치게 큰 리플을 선택하였을 경우 손실이 매우 크고 스커트 특성을 유지하기 힘들다. 그러나 4차 이상으로 설계 할 경우 5 dB 이상의 큰 리플도 설계가 가능하다.

체비세프 함수는 극점만을 갖는 함수로 식 (1)의 관계에 의해 그림 2의 (1)과 같이 타원 위에 극점들이 놓이게 되며, 통과대역 내 리플의 크기가 커질수록 장축과 단축의 비가 커진다. 진폭 등화기는 이러한 극점을 그림 2의 (2)와 같이 양 끝으로 모은 것이다. 본래의 체비세프 여파기의 스커트 특성을 유지하도록 하였으며, 식 (2)를 통해 $j\omega=1$ 근처로 옮겨 전달함수를 구한다. $j\omega=\infty$ 에 영점이 위치하므로 분자와 분모를 내림차순으로 정리한 후 연분수로 전개하여 상보형 여파기의 저

역통과 원형 소자 값을 얻는다^[3].

$$\frac{\sigma_k^2}{\sin^2(\nu)} + \frac{\omega_k^2}{\cosh^2(\nu)} = 1 \quad (1)$$

$$\nu = \frac{\operatorname{ArcSin}[1/L_A]}{n}$$

$$\sigma_k = -\sin \frac{(2k-1)\pi}{2n} \sinh(\nu), k=1,2,\dots,n \quad (2)$$

$$\omega_k = \cosh \frac{\pi}{2n} \cosh(\nu)$$

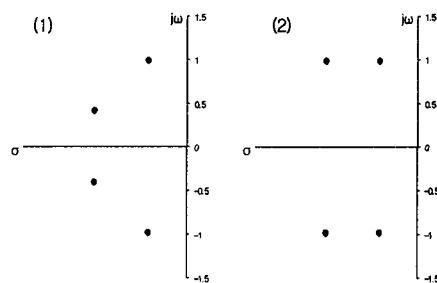


그림 2 (1) 4단 체비세프 저역통과 원형 여파기의 극점, (2) 상보형 여파기의 극점

$a_p[\text{dB}]$	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5
0.01	0.7128	0.4972	3.1253	0.1134	6.2858
0.05	0.9587	0.5372	4.9715	0.1036	9.2537
0.1	1.1088	0.5410	6.4331	0.0932	11.8904
0.5	1.6703	0.4939	14.9713	0.0551	30.3078
1	2.0990	0.4409	25.7583	0.0359	58.4212

표 1 체비세프 원형 리플 크기(a_p)에 대한 4단 상보형 여파기의 원형 소자 값

표 1은 4단의 체비세프 원형 소자 값을 수정한 상보형 여파기의 원형 소자 값이다. 공진기 간의 결합을 정량적으로 표시해 주는 결합계수 k 는 $g_m g_{(m+1)}$ 의 제곱근에 반비례하며, 제작 시 결합 정도에 따라 여파기의 리플과 대역폭이 달라진다^[4]. 따라서 원형 소자 값을 살펴 볼 필요가 있으며 체비세프 원형 소자 값 g 는 리플의 크기 a_p 의 영향을 받는다. g_0 는 모두 1로 같고 g_1 은 설계할 단수와 리플의 크기가 결정되면 고정되므로 수정 전과 후 모두 $g_0 g_1$ 이 서로 같다. 같은 단수, 같은 리플 크기에서 비교해볼 경우 체비세프 원형 소자 값 $g_m g_{(m+1)}$ 의 크기는 중심 값을 축으로 대칭적으로 커지다 작아진다. 그러나 극점의 위치를 옮겨 상보형 여파기로 합성할 경우 원형 소자 값은 $g_{(2m-1)} g_{2m}$ 은 작아지고 $g_{2m} g_{(2m+1)}$ 은 커져 텁니모양으로 변화한다. 따라서 다단의 상보형 여파기를 설계하기 위해서는 체계적인 설계 방법이 필요하며 위와 같은 원형 소자 값을 알면 일반적인 대

역통과 여파기 설계 방법으로 상보형 여파기를 설계할 수 있다.

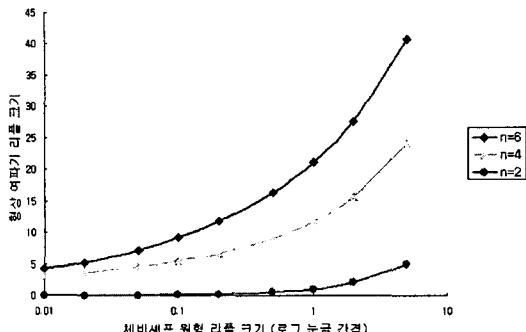


그림 3 체비세프 원형 리플 크기(a_p)에 대한 상보형 여파기의 리플 크기

이상적인 공진기와 변형된 원형 소자 값을 이용하여 상보형 여파기를 설계하였을 때 얻을 수 있는 리플의 크기는 그림 3과 같이 증가하며, 얻고자 하는 리플 크기의 적절한 차수와 설계 시 사용할 체비세프 원형 리플 크기를 선택할 수 있다. 상보형 여파기의 대역폭은 최대값을 갖는 두 극점의 폭으로 정의하며, 같은 차수와 리플로 설계된 대역통과 여파기의 대역폭과 일치한다.

3. 진폭 등화기의 구성

진폭 등화기의 산란계수 특성에서 알 수 있듯이, 통과대역 중심부분은 정합이 크게 벗어나 있으므로 통과대역 내 임피던스를 정합시키기 위해 상보형 여파기 전후로 증폭기나 감쇠기를 연결한다. 보통 그림 4의 (2)와 같이 증폭기를 통해 대역통과 여파기와 상보형 여파기의 손실을 만회하고 두 여파기를 격리하며, 감쇠기로서 이득의 크기를 조절하고 출력 측 반사 특성을 개선시킨다.

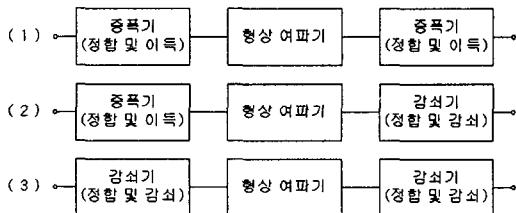


그림 4 진폭 등화기의 구성¹¹⁾

그림 4의 (2)의 구조로 설계할 경우 증폭기는 되도록 이득이 큰 것을 선택하여 여파기의 손실을 최대한 보상하고 감쇠기의 사용 효율을 높인다. 증폭기의 이득이 여파기의 손실 크기에 미치지 못할 경우 감쇠기를 이용한 정합이 어려우며, 그림 4의 (1)로 구성하여야 한다.

III. 설계 및 제작 결과

본 논문에서는 아래와 같은 주파수 규격을 갖는 휴대인터넷 대역 여파기를 유전체 공진기를 이용해 설계, 제작하였다.

- 중심 주파수 2345 MHz
- 통과 대역폭 27 MHz (1.15 %)

제작에 사용한 유전체 공진기는 내부지름 2.4 mm, 외부지름 6 mm의 동축형이며, 비유전율이 20이고 품질계수는 560이다. 정확도를 높이기 위해 비유전율 등의 유전체 공진기의 특성을 측정하여 시뮬레이션 하였으며 설계한 회로도는 그림 6과 같다. 대역통과 여파기는 리플이 0.1 dB인 13 차 체비세프 함수를 사용하였으며, 전계 결합의 콤라인 구조로 공진기 측면에 결합창을 내어 제작하였다.

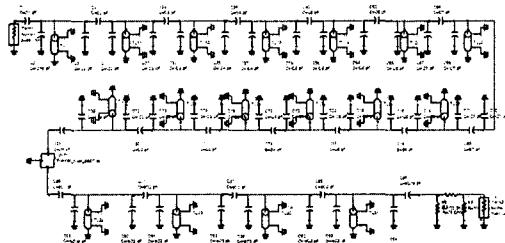


그림 5 제안한 구조의 시뮬레이션 회로도

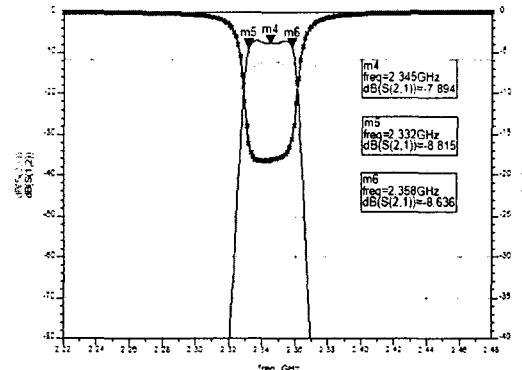


그림 6 (그림 5) 회로의 시뮬레이션 결과

13단 대역통과 여파기를 제작하여 측정한 결과는 그림 6과 같다. 통과대역 내의 진폭 차이는 7.3 dB이고, 이를 보상해 줄 진폭 등화기의 상보형 여파기는 그림 4를 통해 0.8 dB 4단으로 설계하였다. 그 결과 그림 7과 같은 산란계수 특성을 얻었고 리플의 크기는 8.2 dB이다.

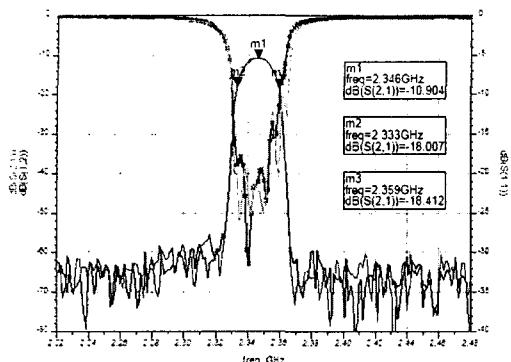


그림 7 대역통과 여파기의 제작 결과

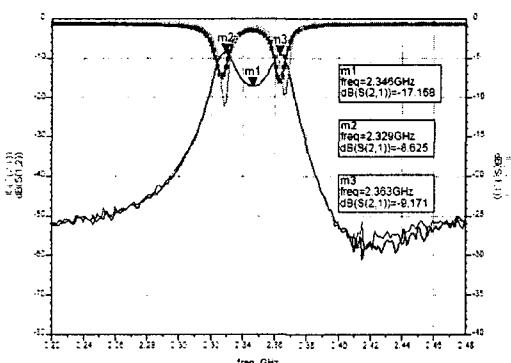


그림 8 상보형 여파기의 제작 결과



그림 9 제작된 여파기 (130 × 55 mm)

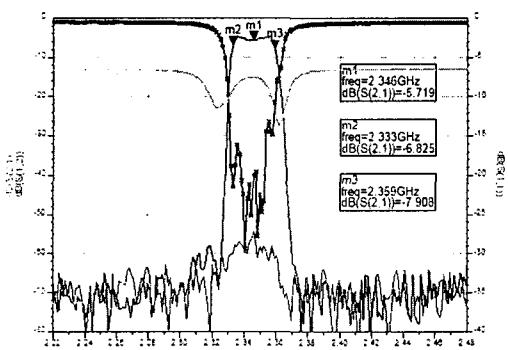


그림 10 제작된 여파기의 산란계수 특성

증폭기를 사용하여 23 dB의 이득을 얻었으며, 통과대역 내 손실 크기와 출력 반사특성을 고려하여 상보형 여파기 후단에 저항을 이용한 π 형 감쇠기를 연결하였다.

그림 9가 최종 측정 결과이며, -6 dB 반사손실에 ± 0.82 dB의 평탄도를 얻었다. 입력단 반사특성은 대역통과 여파기의 특성 그대로 <-13 dB이며, 출력단의 경우 <-7 dB이다.

III. 결론

본 논문에서는 통과대역 내 평탄도를 개선시키는 방법으로 진폭 등화기를 연결하였으며, 진폭 등화기의 핵심인 상보형 여파기의 원형 소자 값을 추출하였다. 체비셰프 짹수 차수의 여파기를 변형시켰으며, 차수와 리플의 크기를 변화시켜 상보형 여파기의 모양을 관찰하여 원하는 리플 크기의 진폭 등화기를 설계할 수 있도록 하였다. 또한 2.3 GHz 휴대인터넷 대역에서 콤라인 유전체 공진기 여파기를 설계, 제작하여 제시한 설계 방법이 응용 가능함을 확인하였다. 제작된 여파기는 0.1 dB 리플의 13단 여파기와 0.8 dB 4단 진폭 등화기로 구성하였고, ± 0.82 dB의 평탄도로 진폭 등화기를 연결하지 않은 여파기에 비해 6 dB가 개선되었다.

본문에서 제시한 진폭 등화기의 원형 소자 값은 진폭의 평탄도가 중요한 시스템에서 적절한 리플 크기를 선택하여 활용 가능하며, 체비셰프 여파기의 리플 크기와 상보형 여파기의 리플 크기의 관계를 체계적으로 관련지어 보다 용이한 설계법의 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] H. -Y. Hwang, J. -S. Chung and S. -W. Yun, "A New Type of Amplitude Equalizer for In-band Flatness Improvement", *Microwave Journal*, vol.45, No.2, February 2002.
- [2] Byung-Wook Kim, Du-Il Yun and Sang-Won Yun, "A Varactor-Tuned RF Tunable Bandpass Filter with Improved Passband Flatness", *Journal of KEEs*, Vol. 2, No. 2, pp.124~127, November 2002.
- [3] Gabor C. Temes and Jack W. LaPatra, *Introduction to Circuit Synthesis and Design*, McGraw-Hall, pp.164~531 1977.
- [4] G. L. Matthaei, L. Young and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance - Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, 1980.