

광대역 저지특성을 갖는 반파장 저역통과 여파기 설계

김영태*, 김영주**, 박준석**, 김형석***, 임재봉**, 조흥구***
 순천향대학교 정보기술공학부*, 국민대학교 전자정보 통신공학부**, 중앙대학교 전자공학과***

Design of Half-Wavelength Low-PASS Filter with Wideband Rejection Characteristic

Young-Tae Kim, Young-Ju Kim, Jun-Seok Park, Hyeong-Seok Kim,
 Jae-Bong Lim and Hong-Goo Cho
 Soonchunhyang University, Kookmin University, Chungang University

Abstract - In this paper, planar harmonic rejection low-pass filter is proposed to effectively suppress spurious response in stop-band. For suppress the unwanted signal, such as spurious and harmonics, we presented a new design method controlled the higher order modes. The proposed low-pass filter was shown to suppress the spurious response by more than 20~40dB compared with conventional microstrip low-pass filters. The filter is evaluated by experiment and simulation with good agreement and shown to have attractive properties such as wide stop band range and low insertion loss.

1. 서 론

저역통과 여파기는 파워 앰프, 믹서, 전압조정 발진기등을 설계하는데 있어서 고조파 성분을 제거하는데 널리 쓰인다. 일반적으로 흔히 사용되는 저역통과 여파기의 구조로는 스텝형 저역통과 여파기, 개방선로 여파기등이 널리 쓰인다. 하지만 RF 대역에서 제작상의 편리성에 의해 가장 널리 쓰이는 분포소자 형태의 마이크로스트립 구조를 갖는 저역통과 여파기는 차단 대역 내에서 고조파 성분이 발생하여 광대역 저지특성이 요구되는 시스템에 적용하기가 매우 힘들다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 여러 다양한 설계 방법들이 제시되어왔다.[1]-[3]. 최근에는 기판의 접지면을 다양한 형태와 크기로 식각하여 고조파 성분을 억제하는 DGS나 PBG를 이용하여 고조파 성분을 억제하는 방법[4]-[6]들이 제시되었다. 이러한 설계방법은 일정한 주파수 영역에서 고조파를 억제하는 데는 효과적이지만 광대역 차단특성이 요구되는 시스템에서는 적용하기가 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 광대역 저지특성을 갖는 저역통과 여파기를 설계하기 위해서 반파장 마이크로스트립 형태의 스텝 구조를 갖는 저역통과 여파기[7]-[8]를 설계하였다. 하지만 통신시스템의 효율적 적용을 위해 여파기를 하우징(housing)한 결과 저지대역 내에서 고조파 성분의 발생함을 확인할 수 있었다. 고조파 성분의 근본적인 발생 원인을 파악하기 위해서 하우징에 따른 전송선로를 전자장 시뮬레이션 한 결과 Quasi-Tem 구조인 마이크로스트립 구조임에도 불구하고 도파관 고차모드(higher mode)들이 발생하여 저지대역 내에서 고조파 성분이 발생함을 확인할 수 있었다. 발생한 고조파 성분의 억제를 위해서 전자장

시뮬레이션에 통해 마이크로스트립 선로와 하우징 사이의 간격을 최적화하여 도파관 모드를 제거하는 새로운 방법을 제시하였다. 그 결과 저역통과 여파기의 저지특성이 차단 주파수의 4배 이상되는 저역통과 여파기를 설계하였다.

2. 본 론

2.1 반파장 저역통과 여파기 설계 이론

광대역 특성을 갖는 스텝형태의 반파장 저역통과 여파기를 설계하기 위해서 Rhodes의 공식을 사용한 설계방법[9]을 이용하였다. 분포정수 원형여파기는 원형여파기의 전송선로의 길이를 나타내는 전기각이 1차 고주파대역의 중심주파수에서 π (rad)의 값을 가져야 하므로 전기각 θ 와 관내파장 사이에 다음과 같은 매핑 함수 관계를 갖는다.

$$\theta = \frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_g} \quad (1)$$

여파기의 대역폭을 결정해주는 α 는 차단주파수에서의 전기각에 해당하는 θ_0 의 함수로서 다음과 같이 결정된다.

$$\alpha = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{1}{\sin \frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g1}}} \quad (2)$$

따라서 저역통과 여파기의 설계 시 여파기의 대역폭 스케일링 파라미터인 α 를 저역통과 여파기의 차단주파수와 원형여파기의 전송선로의 길이에 대한 함수로 나타내어야 하고, 이에 앞서 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 분포정수 원형여파기를 사용하여 여파기를 설계하려면 주어진 여파기의 사양을 만족하는 원형여파기의 소자값, 즉 전송선로의 특성 임피던스 값을 결정하여야 하고 그리고 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 이러한 전송선로의 길이는 1차 고조파대역의 중심주파수를 결정하므로 넓은 저지대역 특성을 갖는 저역통과 여파기를 설계하기 위해서는 1차 고주파대역의 저역통과 대역폭의 통과대역과 충분히 멀리 떨어지게 전송선로의 길이를 결정하여야 한다. 본 논문에서는 전송선로의 길이 즉 1차 고조파대역의 중심주파수에서의 관내파장 λ_{g0} 를 다음과 같이 결정하였다.

$$\lambda_{g0} = \frac{\lambda_{g1}}{m} \quad (3)$$

여기서 λ_{g1} 는 저역통과 여파기의 차단주파수에서의 관내파장이고 m 은 상수이다. 그리고 이때 차단주파수를 나타내는 전기각 θ_0 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$\theta_0 = \frac{\pi\lambda_{g0}}{\lambda_{g1}} = \frac{\pi}{m} \quad (4)$$

저역통과 여파기는 식(5)과 같은 삽입손실 특성을 갖는다.

$$L_m = 10 \log_{10} \left[1 + \epsilon^2 T_n^2 \left\{ \sin \frac{\pi\lambda_{g1}}{m\lambda_g} / \sin \frac{\pi}{m} \right\} \right] \quad (5)$$

2.2 저역통과 여파기의 여파기 특성

위에서 제시한 저역통과 설계식을 이용하여 차단 주파수 3GHz를 갖고 고조파 억제특성이 차단주파수의 4배이상 특성을 갖는 반파장 저역통과 여파기를 설계하였으며 9단 저역통과 여파기의 각 선로에 대한 임피던스는 표 1과 같이 계산하였다. 각 선로에 해당하는 선로 임피던스를 이용하여 회로 시뮬레이션을 한 결과 그림 1에서 볼 수 있듯이 광대역 저지 특성을 갖는 저역통과 여파기 특성을 확인 할 수 있었다.

표 1. 반파장 저역통과 여파기 선로 파라미터

| 선로 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 임피던스 | 23.263 | 161.349 | 11.7011 | 204.181 | 10.9867 | 204.181 | 11.7011 | 161.349 | 23.2632 |

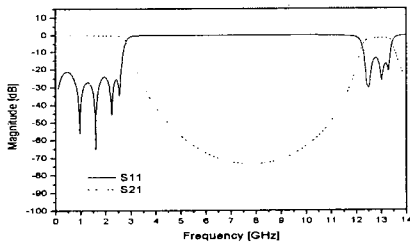


그림 1. 회로 시뮬레이션을 통한 반파장 저역통과 여파기의 산란 행렬 특성

그림 2는 하우징의 크기가 폭 32.52488 mm 와 높이 3mm를 갖는 반파장 저역통과 여파기의 형상이다. 반파장 저역통과 여파기를 전자장 시뮬레이터인 AnSoft사의 HFSS 8.5을 이용하여 시뮬레이션 및 직접 제작하여 측정한 결과 그림 3에서 보는 바와 같이 그림 1에서 볼 수 없었던 고조파 성분이 5.04GHz, 6.75GHz 와 8.875GHz에서 발생함을 확인 할 수 있었다.

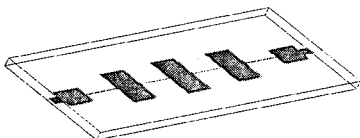


그림 2. 반파장 저역통과 여파기 형상

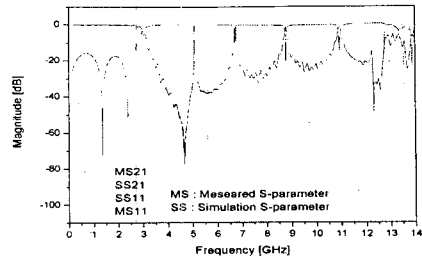


그림 3. 하우징에 의한 반파장 저역통과 여파기 특성

고조파 성분의 발생 원인을 정확히 파악하기 위해서 저역통과 여파기의 각 선로에 대한 전파모드 특성을 파악하였다. 각 선로에 대한 선로 특성을 파악하기 위해서 상용전자장 프로그램인 Ansoft사의 HFSS 8.5를 사용하여 계산하였다. 표 2는 동작 주파수 13GHz에서 각 선로에 대한 고차모드들의 특성을 나타낸 것이다.

표 2. 각 선로에 해당하는 전파모드 특성

| 선로 폭 | 모드 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|------|---------|----------|---------|---------|------------|
| 2.52248mm | 감쇄상수 | 0.36315 | 635.181 | 881.694 | 1180.83 | 1227.1 |
| | 전파상수 | 351.787 | 0 | 0.01274 | 0 | 0.0042123 |
| 6.25231mm | 감쇄상수 | 0.23582 | 569.62 | 877.023 | 1109.40 | 1176.17 |
| | 전파상수 | 357.601 | 0.00495 | 0.00474 | 0 | 0.00731446 |
| 0.41650mm | 감쇄상수 | 0.18088 | 555.665 | 1007.70 | 1097.66 | 1274.48 |
| | 전파상수 | 374.639 | 0.01916 | 0.00422 | 0 | 0.00447211 |
| 12.4041mm | 감쇄상수 | 0.08752 | 0.01164 | 163.211 | 449.117 | 809.289 |
| | 전파상수 | 387.395 | 194.614 | 0.13170 | 0.00954 | 3.18049 |
| 0.19894mm | 감쇄상수 | 0.08313 | 0.09534 | 376.681 | 249.345 | 332.797 |
| | 전파상수 | 388.283 | 301.018 | 186.774 | 0.05933 | 0.0144194 |
| 13.6079mm | 감쇄상수 | 0.08240 | 0.09561 | 0.03872 | 178.092 | 283.339 |
| | 전파상수 | 389.665 | 314.5744 | 206.195 | 0.09617 | 0.0197417 |

저역통과 여파기 설계 시 하우징에 의한 도파관 고차모드 생성에 의해서 고조파 성분을 발생된다고 가정한다면 하우징의 크기를 조절함으로써 고차모드의 생성을 억제하여 고조파 성분을 감쇄시킬 수 있을 것이다.

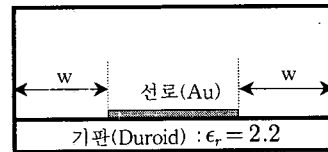


그림 4. 하우징된 각 선로의 단면 형상

그림 4에의 선로와 하우징의 간격 w 를 줄임으로써 고차모드가 생성되는 것을 억제할 수 있는 것을 확인할 수 있었다. 표 3은 가장 높은 두 선로의 w 을 줄인 고차모드가 표 2와는 달리 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

표 3. 마이크로스트립에서의 고차모드 억제 특성

| 선로 폭 | 모드 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.19894mm | 감쇄상수 | 0.36315 | 635.181 | 881.694 | 1180.83 | 1227.1 |
| | 전파상수 | 351.787 | 0 | 0.01274 | 0 | 0.00442 |
| 0.41650mm | 감쇄상수 | 0.23582 | 569.620 | 877.023 | 1109.40 | 1176.17 |
| | 전파상수 | 357.601 | 0.00495 | 0.00477 | 0 | 0.00731 |

그림 5에서 볼 수 있듯이 가장 높은 임피던스를 갖는 선로의 고차모드를 억제한 경우 기존의 반파장 저역통과 여파기에서 발생한 여러 개의 고조파 성분이 8.3GHz에서만 발생함으로써 고차모드의 억제에 의해서 상당히 개선된 산란행렬 특성을 확인 할 수 있었다. 8.3GHz에서 발생한 고조파 성분을 억제하기 위해서 임피던스가 두 번째 높은 선로의 고차모드 또한 위에서 언급한 방법을 이용하였다.

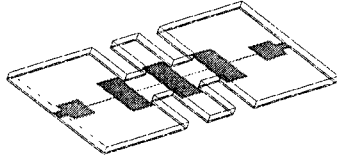


그림 5. 가장 높은 임피던스 선로에서 고차모드를 억제를 위한 저역통과 여파기 형상

그림 6. 가장 높은 임피던스 선로에서 고차모드를 억제한 산란특성

그림 7은 표 3에서 제시된 두 선로의 고차모드를 억제한 형상이다. 그 결과 그림 8에서 볼 수 있듯이 차단주파수의 4배 이상되는 12.5GHz까지 삼입손실이 40dB이상되는 광대역 저지특성을 갖는 저역통과 여파기를 설계할 수 있었다.

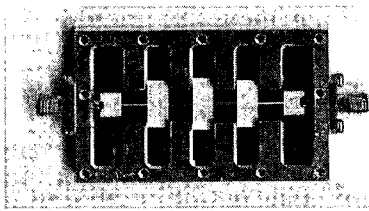


그림 7. 고 임피던스 선로의 고차모드를 억제한 반파장 저역통과 여파기 형상.

그림 8. 고 임피던스 선로의 고차모드를 억제한 산란특성

3. 결 론

본 논문에서는 광대역 저지특성을 갖는 반파장 저역통과 여파기를 설계하였다. 저역통과 여파기의 고조파 성분이 도파관 고차모드에 의해 발생함을 확인 하였으며 고차모드의 억제를 위해 저역통과 여파기의 하우징 크기를 조절함으로써 고차모드를 차단할 수 있었으며 그 결과 일반적인 스텝형 구조의 저역통과 여파기에서 발생하는 고조파 성분을 차단 주파수의 4배까지 억제하는 뛰어난 저지특성을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 새롭게 제시된 고조파 억제 설계방법은 광대역 저지특성이 필요한 통신 시스템에 적용에 매우 적합할 것으로 생각된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y.W. Lee, S.M. Cho, G.Y Kim, J.S. Park, D. Ahn, J.B. Lim, "A design of the harmonic rejection coupled line low-pass filter with attenuation poles," *IEEE Internation Microwave Symposium*, pp.682-685, Jun. 1999.
- [2] J. W. Shen, "A compact semi-lumped low-pass filter for harmonics and spurious suppression," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol.10, No.3,pp.92-93,Mar.2000.
- [3] M.Q. Lee, K.K. Ryu, I.B Yom, S.P. Lee, "Novel low-pass filter for broad-band spurious suppression," *IEEE Internation Microwave Symposium*, pp.1797-1800, Jun. 2002.
- [4] Y.Qian and T. Itoh, "Microwave applications of photonic band-gap (PBG) structures," *1999 IEEE International Microwave Symposium*, pp.35-38, Jun. 1999.
- [5] T.Kim and C. Seo, "A novel photonic bandgap structure for low-pass filter of wide stopband," *IEEE Microwave and Guided Wave Letters*, Vol. 10, No.1, pp.13-15, Jan, 2000
- [6] D.Ahn, J.S. Park,., C.S. Kim, Y. Qian, T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE MTT*, Vol.49, Jan. 2001.
- [7] J. S. Park and J. B. Lim, " A Novel CAD algorithm for corrugated harmonic rejection filters based on the synthesis procedures combined with the cutoff frequency correction method." *Proc. 25th European Microwave Conference*, Bologna, Sep. 1995, pp.975-980.
- [8] J. S. Park and J. B. Lim, " An improved Harmonic Rejection Characteristics of Corrugated Lowpass Filters based on the Synthesis Procedures combined with the Cutoff Frequency Corrected Method." *Proc. Asia Pacific Microwave Conference*, Taejon, Oct. 1995, pp.291-294
- [9] J.D Rhodes, "Theory of Electrical Filters", John Wiley & Sons, pp.134-149