

마이크로스트립 선로를 이용한 광대역 차단특성을 가지는 저역통과 필터 설계

최동묵* · 심준환** · 전중성* · 김동일**

*한국해양대학교 부설 산업기술연구소, **한국해양대학교 전파·정보통신공학부

Design of Lowpass Filter With the Wide Stopband Characteristics Using Microstrip Line

Dong-Muk Choi* · Joon-Hwan Shim** · Joongn-Sung Jeon* · Dong-Il Kim**

*Research Institute of Industry Technology, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Department of Radio and Information Communication Engineering, National Korea Maritime University,
Pusan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 광 대역 저지대역특성을 가지는 저역통과필터를 마이크로스트립 선로를 이용하여 설계 및 제작하였다. 개방회로 스텐트를 이용한 L-C ladder형 저역통과 필터의 입·출력단에 길이가 $\lambda_g/4$ 인 개방 스텐트를 부가함으로써, 광대역 차단특성을 가지는 필터를 개발하였다. 필터의 전체길이를 줄이기 위해 고 임피던스 마이크로스트립 라인을 미앤더(meander) 구조로 제작하였다. 제작된 필터는 차단주파수가 2.3 GHz의 저역통과필터였고, 측정된 결과는 전산모의실험에서 예측된 값들과 잘 일치함을 알 수 있었다.

핵심용어 : L-C ladder형 저역통과필터, 마이크로스트립라인, 개방스텐트

Abstract : In this paper, we designed and fabricated the lowpass filter with the wide stopband characteristics using microstrip line. Adding the $\lambda_g/4$ open stub at the input and output ports, we developed the L-C ladder type lowpass filter using the open stub which has wide stopband characteristics. In order to reduce the entire size of this filter, the high impedance microstrip lines were made with the meander structure. The lowpass filter was fabricated with the cutoff frequency 2.3 GHz and its measured frequency responses agree well with the simulation results.

Key words : L-C ladder lowpass filter, Microstrip line, Open stubs

1. 서 론

최근에 RF 및 마이크로파에서 동작하는 소형화된 고성능 필터가 마이크로스트립 라인을 이용하여 제작되고 있다(Hong & Lancaster, 2002; Bahl & Bhartia, 2003). 그 중에서 마이크로스트립 선로를 이용한 저역통과 필터는 계단형 임피던스와 개방 스텐트를 이용한 L-C ladder형 필터가 많이 이용되고 있다(Matthaei et al., 1964; Hong & Lancaster, 2001). 위의 두 가지 형태의 필터는 구조가 단순하고 설계하기가 쉽지만, 필터의 길이가 길어지기 때문에, 필터의 전체 길이가 길어진다. 또한 저지대역에서 감쇄특성이 나빠며, 광대역 주파수 응답특성이 좋지 못하다는 단점이 있다.

저역통과필터의 차단대역특성을 개선시키는 방법에는 여러 가지 방법이 있다. 첫 번째는 필터의 차수를 높이는 방법이 있

지만, 이 방법은 필터의 전체길이가 길어지고 통과대역에서의 삽입손실이 커진다는 단점이 있다. 두 번째로 저역통과필터의 직렬가지(serial branches)에 병렬로 공진기를 삽입하거나, 병렬가지(shunt branches)에 직렬로 공진기를 삽입함으로써 타원 또는 준 타원 함수형 저역통과필터로 설계하는 것이다(Hong & Lancaster, 2001). 하지만 이 방법은 위에서 언급한 체비세브형 필터(Matthaei et al., 1964)보다 설계식이 복잡해지고, 각 단에 공진기를 추가시킴으로써 구조가 복잡해지는 단점이 있다. 세 번째로는 Levy에 의해 개발된 방법으로 한 쌍의 감쇄극점을 가진 저역통과필터를 설계하여 기존의 체비세브형 필터의 특성을 개선시키는 방법이 있다(Levy, 1976; Hong & Lancaster, 2000). 하지만 이 필터는 다수의 공진기가 필요하고, 그 개수가 짝수일때만 구현가능하다는 단점이 있다.

* 대표저자: 최동묵(정회원), dmchoi@bada.hhu.ac.kr 051)410-4786

** 정회원, jhsim@bada.hhu.ac.kr 051)410-4811

* 정회원, jsjeon@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4788

** 중신회원, dikim@hanara.kmaritime.ac.kr 051)410-4314

본 논문에서는 기존의 L-C ladder형 저역통과필터보다 크기가 소형이고, 광대역에 걸쳐 차단특성을 가지는 저역통과필터를 설계하였다. 설계식이 계단형 임피던스 L-C ladder형 저역통과필터보다 간단하고, 응답특성 또한 개선된 개방회로 스테르브를 이용한 L-C ladder형 저역통과필터의 입·출력단에 길이가 $\lambda_g/4$ 인 개방 스테르브를 부가함으로써 저지대역내에서 두 개의 공진점을 생성시킴으로써 차단주파수에서 개선된 감쇄특성과 광대역 저지특성을 가지는 필터를 제작하였다. 이 필터의 차단주파수는 2.3 GHz였고, 측정된 결과는 전산모의 실험결과와 잘 일치하였다.

2. 필터설계

Fig. 1은 차수(N)가 5이고, 차단주파수(f_c)가 2.3 GHz, 통과대역 리플이 0.1 dB, 입·출력단 임피던스가 50 Ω인 체비셰브 응답특성을 가지는 L-C ladder형 저역통과필터 회로이고, Fig. 2는 이들을 마이크로스트립 라인을 이용하여 구현한 것이다.

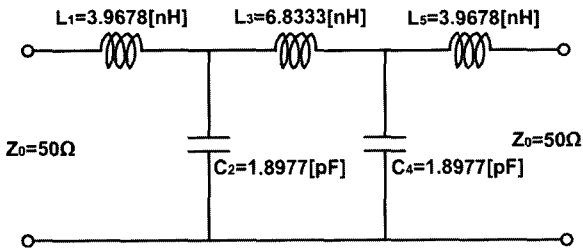


Fig. 1 L-C ladder type circuit of a 5-pole lowpass filter

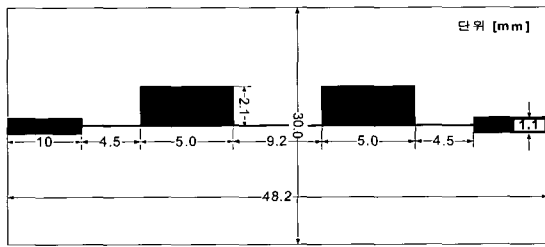


Fig. 2 Layout of a 5-pole lowpass filter using open stubs

Fig. 1에서의 L과 C 값은 식(1), (2)을 이용하면 구할 수 있다(Hong & Lancaster, 2001).

$$L_i = \left(\frac{Z_0}{g_0}\right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c}\right) g_i \quad (1)$$

$$C_i = \left(\frac{g_0}{Z_0}\right) \left(\frac{\Omega_c}{2\pi f_c}\right) g_i \quad (2)$$

여기서 Ω_c 는 정규화된 차단주파수로 1이다. g_i 값은 체비셰브형 저역통과필터 설계값으로 차수(N)가 5이고, 통과대역 리플이 0.1 dB 일때 주어지는 값들이다. Fig. 2에서 나타나는 고

임피던스(high-impedance) 선로(l_L)와 개방 스테르브(open stub) 선로(l_C)의 길이는 식(3), (4)를 이용하여 구하였다(Hong & Lancaster, 2001).

$$l_L = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\omega_c L}{Z_{0L}}\right) \quad (3)$$

$$l_C = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \tan^{-1}\left[Z_{0C}(\omega_c C + \frac{2}{Z_{0L}} \times \tan\left(\frac{\pi L}{\lambda_{gL}}\right))\right] \quad (4)$$

여기서 λ_{gC} 는 개방 스테르브(open stub)선로의 관내파장(guided wavelength)이고, λ_{gL} 는 고 임피던스 선로의 관내파장을 나타낸다. 식(4)에 의해 계산된 l_C 값은 개방 스테르브 선로의 단축효과를 고려한 값인 Δl_C 만큼 줄어들게된다(Garg & Bahl, 1978).

$$\frac{\Delta l_C}{h} = 0.412 \frac{\epsilon_{re} + 0.3}{\epsilon_{re} - 0.258} \left[\frac{W/h + 0.264}{W/h + 0.8} \right] \quad (5)$$

여기서 h 는 기판의 높이이고, ϵ_{re} 는 유효 유전율을 나타낸다. W 는 개방 스테르브 선로의 선폭을 나타낸다. l_L 와 l_C 값들을 계산하기위해 고 임피던스 선로의 선폭은 1[mm], 개방 스테르브 선로의 선폭은 5[mm]로 선택하였다. 설계에 사용된 기판은 유전율이 10.8이고, 높이가 1.27[mm]인 RT/duroid 6010LM이었다.

Fig. 3은 Fig. 2에서 설계한 필터를 모멘트 방법을 이용하여 제작한 상용 전자파 해석툴인 Sonnet을 이용하여 전산모의 실험한 것이다(Sonnet, 2002). Fig. 3에서 보여주는 필터특성은 차단주파수에서의 차단율(cutoff rate) 특성이 양호하지 못하고, 주파수가 5 GHz를 넘어감에 따라 의사(spurious) 통과대역이 생김을 알 수 있다. 이러한 특성을 개선하기 위해 저지대역내에 감쇄극점(Attenuation pole)을 생성시키면 차단율 특성 및 고역에서의 의사통과대역을 제거할 수 있게 된다.

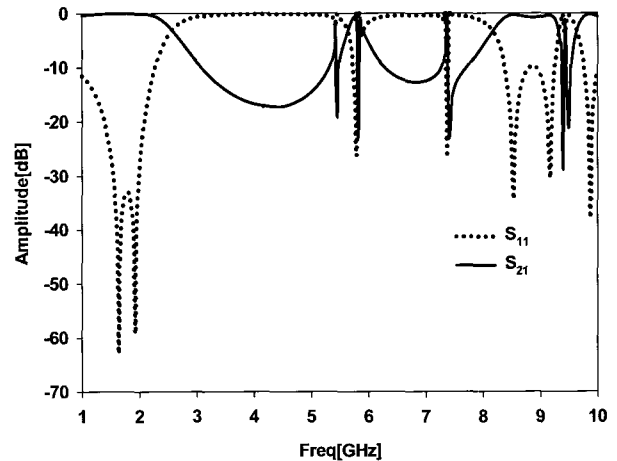
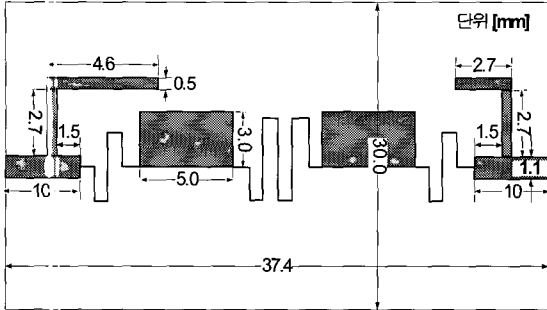
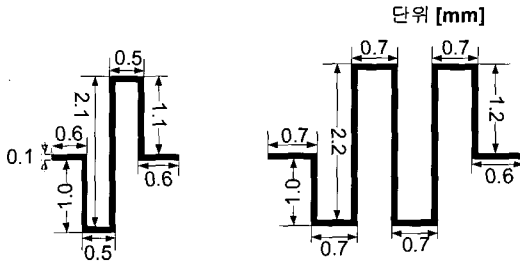


Fig. 3 Simulated S-parameters characteristics of the L-C ladder type of LPF using open stubs

저지대역내에 감쇄극점을 생성시키기 위해 Fig. 2에서 설계된 필터의 입·출력단에 길이가 $\lambda_g/4$ 인 공진기를 부가시켰다. 여기서 λ_g 는 입·출력단에 부가된 마이크로스트립 선로의 관내파장이다. Fig. 4는 제안된 필터의 구조를 보여주고 있다.



(a) Geometry of the proposed filter



(b) Geometry of the high-impedance line

Fig. 4 The proposed microstrip line filter

Fig. 2에서 설계한 필터의 입·출력단에 3.9 GHz와 5.9 GHz에서 감쇄극점을 가지는 두 개의 공진기를 부가한 후 전산모의 실험을 하였더니, 차단주파수가 우측으로 200 MHz정도 편이 되어 있음을 확인하였다. 이는 부가된 공진기와 개방 스텐브 간의 상호작용에 의해 생긴 현상으로 판단된다. 고 임피던스 선로와 개방 스텐브 선로의 길이를 조정하면서 전산모의 실험한 결과 차단주파수가 1.7 GHz인 저역통과필터에 3.9 GHz와 5.2 GHz에서 감쇄극점을 가지는 공진을 부가하였더니, 2.3 GHz에서 차단주파수를 가지는 광대역 저역통과필터 특성을 얻을 수 있었다. Fig. 5는 Fig. 4에서 설계된 필터의 전산모의 실험결과를 보여주고 있다.

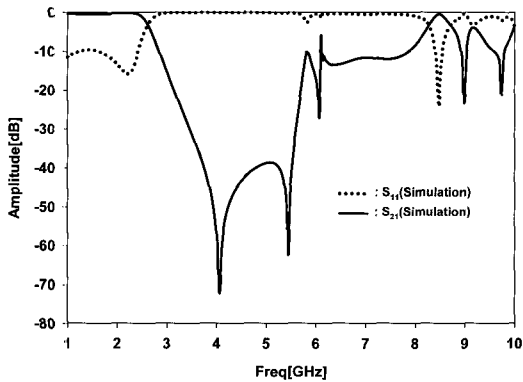


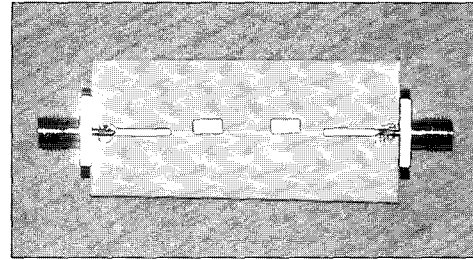
Fig. 5 Simulated S-parameters characteristics of the proposed LPF

예측한대로 2.3 GHz 부근에서 차단특성을 가지며, 설계된 감쇄극점 부근에서 감쇄가 일어남을 알 수 있다.

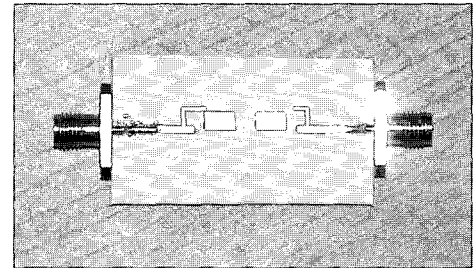
3. 특성측정 및 평가

전산모의 실험결과, 기존의 L-C ladder형 필터와 제안된 저역통과필터는 기판의 유전율이 10.8이고, 높이가 1.27[mm]인 RT /duroid 6010LM을 사용하여 제작하였다. 제작된 필터의 전체길이는 각각 56[mm]×25[mm]와 44[mm]×25[mm]이었다. 제작된 필터는 HP8722ES 회로망 분석기를 이용하여 측정하였다.

Fig. 6은 기존의 개방 스텐브를 이용한 L-C ladder형 필터와 본 논문에서 제안한 광대역 차단특성을 가지는 필터의 제작사진을 보여주고 있다.



(a) The manufactured L-C ladder type LPF



(b) The manufactured wideband LPF

Fig. 6 The manufactured microstrip line LPF

Fig. 7과 Fig. 8은 기존의 필터와 제안된 저역통과필터의 전산모의 실험결과와 측정결과를 보여주고 있다.

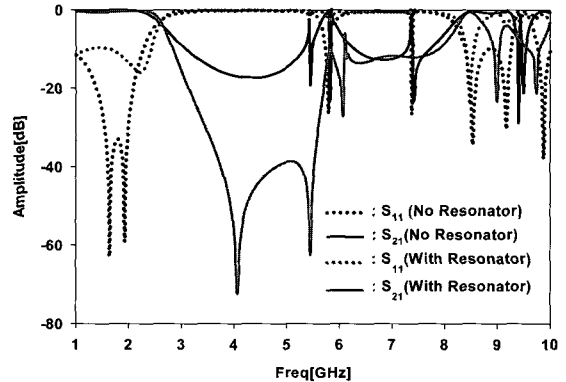


Fig. 7 Simulated S-parameter characteristics of the LPF

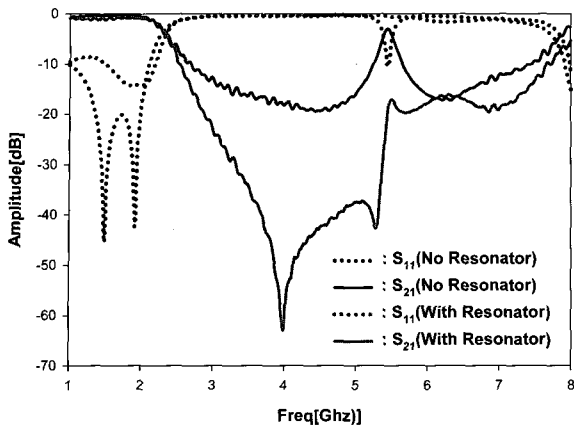


Fig. 8 Measured S-parameter characteristics of the LPF

전산모의 실험한 값과 설계치와 잘 일치함을 보여주고 있다. 그러나 측정된 값과 전산모의 실험한 값은 차단주파수에서 100MHz 정도의 차이를 보여주고 있으며, 저지대역에서도 약간의 오차를 보여주고 있다. 이는 에칭오차와 필터의 입·출력단과 SMA 컨넥터 사이에 약간의 부정합 때문에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 8에서 보여주는 것과 같이 2.3 GHz 부근에서 저지율 특성이 상당히 개선된 저지특성이 나타나고 있음을 보여주고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 기존의 개방 스테브를 이용한 L-C ladder형 저역통과필터의 입·출력단에 길이가 $\lambda_g/4$ 인 두 개의 공진기를 부가시킴으로써 차단주파수에서의 저지율 특성과 광대역에 걸쳐 개선된 저지특성을 구현한 필터를 구현하였다. 또한 임피던스 라인을 미앤더(Meander) 구조로 설계함으로써 필터의 전체적인 길이를 감소시켰다.

측정된 결과는 상용 소프트웨어인 Sonnet을 이용하여 이론적인 결과와 거의 유사함을 확인하였다. 제작된 필터는 광대역 저지특성을 요구하는 소형 해상통신 장비의 송·수신단에 적용되는 저역통과필터 제작에 유용하게 응용될 것으로 예상된다.

후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (KRF-2005-005-J0050 2)

참 고 문 헌

- [1] Bahl, I. and Bhartia, P.(2003), "Microwave Solid State Circuit Design", John Wiley & Sons, New Jersey.
- [2] Garg, R, Bahl, I. J.(1978), "Microstrip Discontinuities," Int. J. Electron., vol. 45, pp. 81-87.
- [3] Hong, J. S. and Lancaster, M. J.(2000), "Design of highly selective microstrip bandpass filters with a single pair of attenuation poles at finite frequencies", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-48, no. 7, pp. 1098-1107.
- [4] Hong, J. S. and Lancaster, M. J.(2001), "Microwave Filters for RF/Microwave Applications", John Wiley & Sons, New York.
- [5] Hong, J. S. and Lancaster, M. J.(2002), "Recent progress in planar microwave filters," International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, pp. 1134-1137.
- [6] Levy, R.(1976), "Filters with single transmission zeros at real and imaginary frequencies," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. MTT-24, no 4, pp. 172-181.
- [7] Matthaei, G. L., Young, L. and T Jones, E. M. (1964), "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", McGraw-Hill, New York.
- [8] Sonnet Suite, Ver. 8.0(2002), Sonnet Software, Liverpool, NY.

원고접수일 : 2006년 5월 18일

원고채택일 : 2006년 6월 12일