

이중 스퍼라인과 커플링 오픈스터브를 이용한 광대역 대역저지 필터

이현승¹, 최지환¹, 김철영^{*}
¹충남대학교 전자공학과, ²한국항공우주연구원

Wideband Bandstop filter Using Dual Spurline and Coupling Open Stubs

Hyun-Seung Lee¹, Jee-Hwan Choi², Choul-Young Kim^{1*}

¹Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

²NARO Space Center, Korea Aerospace Research Institute

요약 본 논문은 마이크로스트립을 이용한 대역저지 필터의 저지 대역을 확장시키기 위하여 끝단이 전기적으로 커플링된 오픈 스텐브 대역저지 필터에 이중 스퍼라인을 결합하는 구조를 제안한다. 먼저 시뮬레이션을 통해 대칭 이중 스퍼라인 구조와 비대칭 이중 스퍼라인 구조의 S21을 비교해보았을 때 대칭 이중 스퍼라인 구조가 비대칭 이중 스퍼라인 구조에 비해 저지 대역폭이 더 넓게 확장됨을 알 수 있었다. 그러므로 대칭 이중 스퍼라인을 하나의 마이크로스트립 전송선로 위에 병렬로 위치한 두 개의 오픈 스텐브의 끝단을 전기적으로 커플링시킨 대역저지 필터에 결합시킴으로써 필터의 크기를 그대로 유지하면서도 저지 대역폭을 크게 확장시켰다. 본 논문에서 제안한 대역저지 필터의 저지 대역폭은 3.1 GHz로 스퍼라인이 없는 병렬 오픈 스텐브 필터에 비해 약 244 % (역압값: -20dB 이하) 까지 확장되는 것을 확인할 수 있었다.

Abstract In this paper, we propose a wideband band-stop filter (BSF) in order to extend the stopband of the band-stop filter using a symmetric dual spurline and the coupled open stub. First, we know that the symmetric dual spurline structure is advantageous in widening the stopband, as compared to the asymmetric dual spurline structure. So we designed a band-stop filter that combines the electrically coupled open stub (ECOS) band-stop filter with a symmetric dual spurline. We can greatly extend the stopband, when it is combined with the dual spurline and electrically coupled open stub on a microstrip transmission line, without any size increment. The stopband of the proposed band-stop filter is extended by approximately 244% (rejection depth: -20 dB) compared with a band-stop filter without a dual spurline.

Keywords : Bandstop filter, Coupling, Open Stub, Spurline, Wideband

1. 서론

종래의 대역저지 필터는 마이크로스트립만으로 설계되는 병렬 오픈 스텐브(Fig. 1(a))와 마이크로 스트립 선로에 홈을 판 스퍼라인(spurline) 형태의 대역저지 필터가 있었다. 그런데, 이러한 형태의 필터는 저지 대역폭

이 매우 작다는 단점이 있었다[1]. 때문에, 이러한 단점을 보완하기 위해서 Fig. 1(b)와 같이 대역폭을 넓히기 위해 오픈 스텐브를 $\lambda/4$ 간격으로 이격시켜 병렬로 여러개를 연결하거나 오픈 스텐브와 스퍼라인을 혼합하는 방법을 이용한다. 그러나 이러한 방법들도 대역폭을 효과적으로 넓히지 못한다[2,3]. 이런 문제점을 해결하기

이 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음

*Corresponding Author : Choul-Young Kim(Chungnam National University)

Tel: +82-42-821-5663 email: cykim@cnu.ac.kr

Received September 20, 2016

Revised (1st November 16, 2016, 2nd December 6, 2016)

Accepted February 3, 2017

Published February 28, 2017

위해 최근에는 Fig 1(c), (d)와 같이 오픈 스텐브 두 개의 끝단을 결합(Coupling)시켜 필터의 대역폭을 넓게 하고, 오픈 스텐브 끝단의 간격(Gap)을 조절함으로써 주파수 대역폭과 억압값을 조절 할 수 있도록 한 Electrically coupled open stubs(ECOS) 대역저지 필터가 개발되었다[4]. 본 논문에서는 ECOS 대역저지 필터에 이중 스퍼라인을 결합하여 필터의 크기를 그대로 유지하면서도 저지 대역폭을 더 효과적으로 확장시킬 수 있는 구조를 제안하였다.

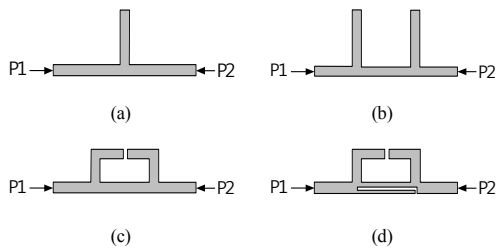


Fig. 1. BSF using Open stub and spurline (a) open stub filter (b) a shunt quarter-wavelength open stub filter (c) electrically coupling open stub filter (d) ECOS filter with spurline[4]

2. 설계 및 제작

2.1 설계

본 논문에서는 필터의 크기를 확장시키지 않으면서도 저지 대역을 확장시키기 위해 오픈 스텐브의 끝단을 전기적으로 커플링 시킨 ECOS 대역저지 필터와 스퍼라인 두 개를 커플링 한 이중 스퍼라인 대역저지 필터를 결합한 구조를 갖는 광대역 소형 대역저지필터를 설계하였다. Fig. 2(a)는 대칭 이중 스퍼라인 구조이며, Fig. 2(b)는 비대칭 이중 스퍼라인 구조이다. Fig. 2(c)와 같이 두 구조의 S_{21} 값을 비교해 보았을 때 대칭 이중 스퍼라인 구조가 비대칭 이중 스퍼라인 구조에 비해 저지대역폭이 넓은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 대칭 이중 스퍼라인을 ECOS 대역저지 필터에 결합해 광대역 대역저지 필터를 설계했다. Fig. 3(a)는 본 논문에서 제안한 ECOS 대역저지 필터에 이중 스퍼라인을 결합한 구조를 보여준다. 오픈 스텐브 끝단의 Gap은 0.4 mm이고 오픈 스텐브의 폭은 1.7 mm이고 길이는 9.8 mm이다. Table 1에는 제안된 대역저지 필터의 파라미터를 나타

내었다. Fig. 3(b)는 제안된 필터의 간략화 된 전기적 모델을 보여준다. Fig. 3(c)는 시뮬레이션 된 S 파라미터를 보이고 있다.

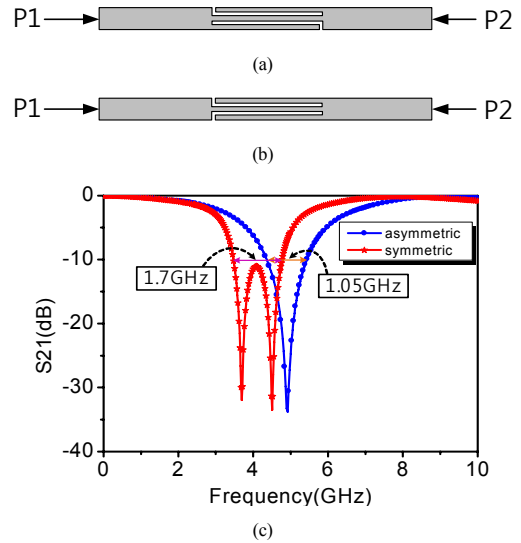


Fig. 2. BSFs with dual spurline (a) geometry of symmetric dual spurline (b) geometry of asymmetric dual spurline (c) the comparison of S_{21} (simulation)

제안된 대역저지 필터는 Fig. 3(b)와 같이 U, S 의 두 부분으로 나눌 수 있고, 전체 Y 파라미터는 식 (1)로 부터 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y_{11,T} & Y_{12,T} \\ Y_{21,T} & Y_{22,T} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11,U} & Y_{12,U} \\ Y_{21,U} & Y_{22,U} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{11,S} & Y_{12,S} \\ Y_{21,S} & Y_{22,S} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Fig. 3(b)의 U 부분은 식 (2)로 부터 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} Y_{11,U} & Y_{12,U} \\ Y_{21,U} & Y_{22,U} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D_U}{B_U} & \frac{B_U C_U - A_U D_U}{B_U} \\ -1 & \frac{A_U}{B_U} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,

$$\begin{bmatrix} A_U & B_U \\ C_U & D_U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_L & B_L \\ C_L & D_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_C & B_C \\ C_C & D_C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_R & B_R \\ C_R & D_R \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} -\sin\theta & jZ_0\cos\theta \\ jY_0\cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -j\frac{Z_0}{(1+\frac{2}{\pi}\theta)b_c} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin\theta & jZ_0\cos\theta \\ jY_0\cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix}$$

를 통해 구할 수 있고,

$$\text{또한, } \theta = \frac{\pi}{2} \frac{f - f_0}{f_0}, l_L = l_R = \frac{\lambda_0}{4},$$

$B_c = \omega C = (1 + \frac{2}{\pi}\theta)b_c Y_0$, $b_c = (2\pi f_0 C)Z_0$ 를 통해 계산할 수 있다.

Fig. 3(b)의 S 부분은 식 (3)으로 부터 구할 수 있다 [9-11].

$$\begin{bmatrix} Y_{11,S} & Y_{12,S} \\ Y_{21,S} & Y_{22,S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D_S}{B_S} & \frac{B_S C_S - A_S D_S}{B_S} \\ -1 & \frac{A_S}{B_S} \end{bmatrix} \quad (3)$$

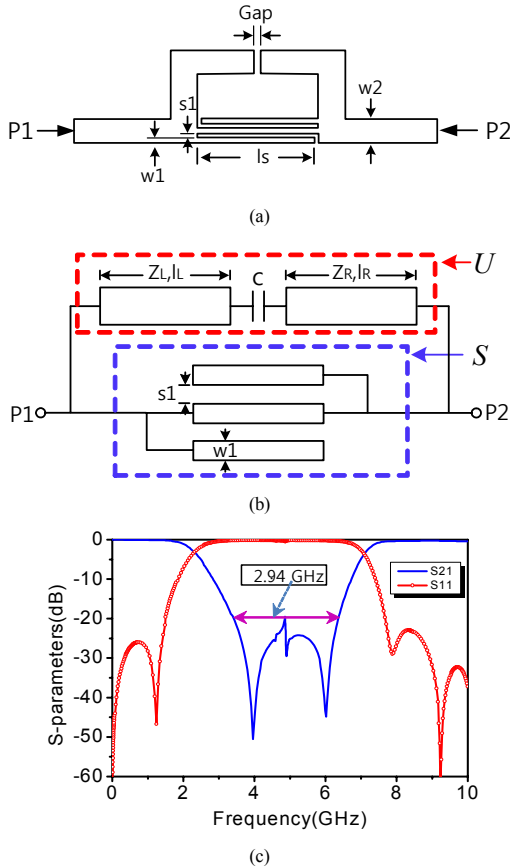


Fig. 3. Proposed ECOS BSF with dual spurline (a) geometry (b) schematic of the proposed BSF (c) S-parameters (simulation)

Table 1. Parameters of the proposed BSF

Parameter	Value [mm]
Gap	0.4
w1	0.34
w2	1.7
s1	0.34
ls	9.66

Fig. 4는 기존의 대역저지 필터들과 본 논문에서 제안한 필터의 S_{21} 을 시뮬레이션을 통해 예측 비교해 보았다. 제안한 이중 스퍼라인을 결합한 ECOS 대역저지 필터의 저지 대역폭은 2.94 GHz로, Fig. 1(b)와 같이 병렬로 연결된 오픈스터브 필터의 저지 대역폭(1.07 GHz) 보다 약 175%(억압값: -20 dB 이하) 까지 확장되는 것을 확인할 수 있다.

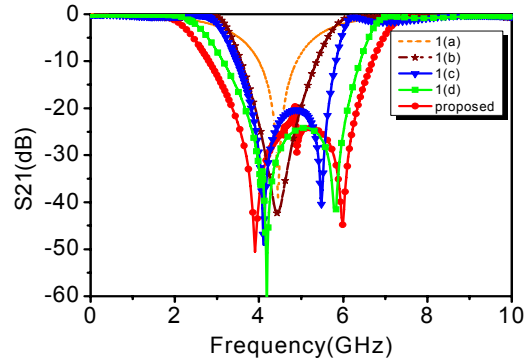
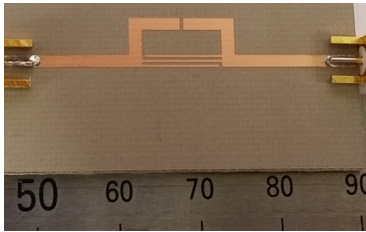


Fig. 4. Simulation result (S_{21}) of proposed bandstop filter and conventional bandstop filters.

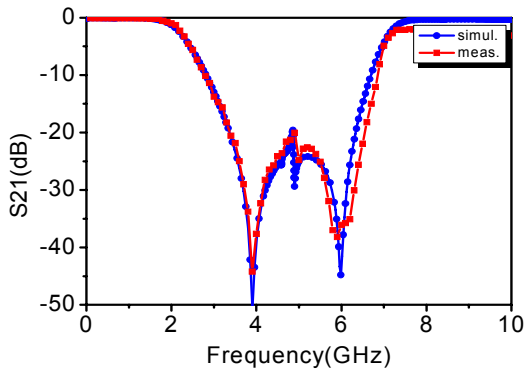
2.2 제작 및 측정

시뮬레이션을 통하여 설계한 대역저지 필터를 유전율 3.5, 높이 30 mil인 테프론 RF-35 기판을 이용하여 제작하였다. 제작된 대역저지 필터는 Agilent사의 8719ES 벡터 회로망 분석기로 측정하였다. Fig. 5(a)는 제작된 대역저지 필터를 보여 준다. Fig. 5(b)는 제작된 대역저지 필터의 S_{21} 에 대한 예측값과 측정값을 비교한 것이다. 저지대역에서는 거의 일치하며 주파수가 8 GHz 이상에서는 측정값이 -4 dB의 손실을 보이는데 이것은 측정상의 오차로 사료된다. Fig. 6은 기존의 대역저지 필터((a)~(d))와 본 논문에서 제안한 대역저지 필터((e))의 삽입손실을 비교한 그림이다. 비교 결과 값을 Table 2에

나타내었다. 제안한 필터((e)의) 저지 대역폭이 3.1 GHz 까지 광대역으로 확장되었으며, 커플링 시키지 않은 병렬 오픈 스텐브 필터((b)의) 저지 대역폭(0.9 GHz) 대비 약 244%(억압값:-20 dB 이하) 까지 확장되는 것을 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 5. A Photograph of the fabricated bandstop filter with dual spurline (a) Fabricated the bandstop filter (b) S-parameters(S_{21})

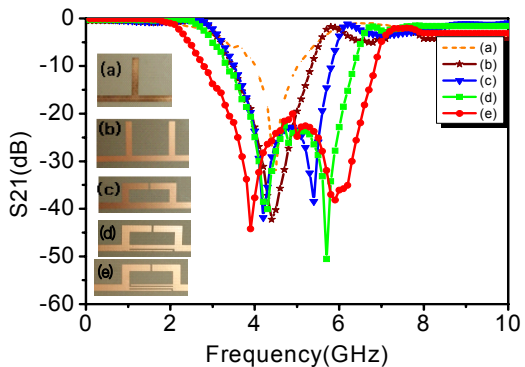


Fig. 6. A Photograph of comparison S_{21} of BSFs

본 논문에서 제안한 필터에 대한 크기와 저지 대역폭 특성을 References 논문의 대역저지 필터들과 Table 3에

비교해 보았다. 크기와 S_{21} 을 비교해 보았을 때, 크기는 다른 대역저지필터에 비해 크지 않았으며 특별히 저지 대역폭의 특성이 다른 필터들보다 우수함을 알 수 있었다.

Table 2. Comparison with the BSF of size, stopband and stopband bandwidth

BSF	Size [mm]	Stopband (rejection depth:-20 dB) [GHz]	Stopband bandwidth (relative rates) [GHz]
(a) Open stub	11.7×12	4.4~4.6	0.2 (-78%)
(b) Dual open stubs	23×12	4.0~4.9	0.9 (0%;Reference)
(c) ECOS	23×7	4.0~5.5	1.5 (66%)
(d) ECOS & Spurline	23×7	3.9~6.0	2.1 (133%)
(e) ECOS & symmetric dual spurline	23×7	3.4~6.5	3.1 (244%)

Table 3. Comparison with the references of BSFs

	References [6]	References [12]	This work
Size [mm]	21×8.1	31×20.6	23×7
Stopband bandwidth [GHz]	2.7	2.8	3.1

3. 결론

본 논문에서는 하나의 마이크로스트립 전송선로 위에 병렬로 위치한 두 개의 오픈 스텐브의 끝단을 전기적으로 결합시킴으로 대역저지 필터의 특성을 구현한 ECOS 대역저지 필터에 대칭 이중 스퍼라인을 결합시킴으로 필터의 크기를 그대로 유지 하면서도 대역 저지폭을 크게 확장시켰다. 먼저 대칭 이중 스퍼라인 구조와 비대칭 이중 스퍼라인 구조에 대한 S_{21} 시뮬레이션을 해보았을 때 대칭 이중 스퍼라인 구조가 비대칭 이중 스퍼라인 구조에 비해 대역 저지폭이 더 넓은 것을 확인할 수 있었고, ECOS 대역저지 필터에 대칭 이중스퍼라인을 삽입하여 설계 제작했을 때 스퍼라인이 없는 병렬 오픈 스텐브 필터에 비해 저지 대역폭이 3.1 GHz로 약 244% (억압 값:-20 dB 이하) 까지 확장되는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] J. S. Hong, M. J. Lancaster, "Microstrip Filters for RF/Microwave Applications," John Wiley, New York, 2001.
DOI: <https://doi.org/10.1002/0471221619>
- [2] A. Gorur, C. Karpuz, "Uniplanar compact wideband bandstop filter," IEEE Microw. Wirel. Compon Lett, vol. no. 13, pp. 114 - 116, Mar. 2003.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LMWC.2003.810114>
- [3] M. Hsieh, S. Wang, "Compact and wideband microstrip bandstop filter," IEEE Microw. Wirel. Compon Lett, vol. 15, no. 7, pp. 472 - 474. Jul. 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1109/LMWC.2005.851572>
- [4] H. S. Lee, W. G. Lim, C. Y. Kim, "Compact wideband bandstop filters with electrically coupled open stubs," Microw. and Opt. Technol. Lett, vol. 55, no. 11, pp. 2701-2703, Nov. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1002/mop.27922>
- [5] M. K. Mandal and S. Sanyal, "Compact bandstop filter using signal interference technique," IET Electron Lett, vol. 43, no. 2, pp. 110 - 111, Jan. 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1049/el:20072547>
- [6] W. H. Tu, K. Chang, "Compact microstrip bandstop filter using open stub and spurline," IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett., vol. 15, no. 4, pp. 268-270, Apr. 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LMWC.2005.845739>
- [7] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 3rd ed. ch. 7, pp. 333-337, New York: Wiley, 2005.
- [8] C. Nguyen, "Microstrip spurline band-pass filters," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, vol. 1, pp. 206-209, July 1999.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/APS.1999.789117>
- [9] J. L. Allen, "Non-symmetrical coupled lines in an inhomogeneous dielectric medium," Int. J. Electronics, vol. 38, pp. 337-347, Mar. 1975.
DOI: <https://doi.org/10.1080/00207217508920406>
- [10] V. K. Tripathi, "Equivalent circuits and characteristics of inhomogeneous nonsymmetrical coupled-line two-port circuits," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-25, pp. 140-142, Feb. 1977.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.1977.1129054>
- [11] C. Nguyen, K. Chang, "On the Analysis and Design of spurline Bandstop Filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-33, pp. 1416-1421, Dec. 1985.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.1985.1133233>
- [12] Y. Z. Wang, M. L. Her, "Compact microstrip bandstop filters using stepped-impedance resonator (SIR) and spur-line sections," IEEE Proc.-Microw. Antennas Propag., vol. 153, no. 5, Oct. 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-map:20050204>

이 현 승(Hyun-Seung Lee)

[정회원]



- 2000년 2월 : 원광대학교 원광대학 원 전자공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 충남대학교 충남대학 원 전자공학과 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 (박사 후 과정)

<관심분야>

안테나, 필터, 레이더, 추적 알고리즘

최 지 환(Jee-Hwan Choi)

[정회원]



- 2016년 2월 : 충남대학교 공과대학 원 전자공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국항공우주 연구원 선임연구원

<관심분야>

레이더, 추적 알고리즘

김 철 영(Choul-Young Kim)

[정회원]



- 2004년 2월 : 한국 과학기술원 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 한국 과학기술원 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 2011년 2월 : 미국 캘리포니아 샌디에고(UCLA) 전자 및 컴퓨터공학과 (박사 후 과정)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

근거리 레이더 및 위상배열 안테나 응용을 위한 MMIC 및 시스템