

크기가 축소된 S 형태의 Folded 커플링 구조를 이용한 $\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐브 대역통과 여파기

윤기철¹ · 김성철^{2*}

Miniaturized Narrow Band-pass Filter with $\lambda/4$ Short Stubs Using S-Shaped Folded Coupling Structure

Ki-cheol Yoon¹ · Seong-cheol Kim^{2*}

¹RFIC Research Center, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

²Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Daejeon 300-718, Korea

요 약

본 논문은 S 형태의 folded 커플링(coupling) 구조를 이용하여 세로 축의 크기를 줄인 $\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐브(stub) 대역통과 여파기에 대해 제안을 한다. 제안된 여파기는 스텐브의 구현을 위해 스텐브의 임피던스 값 변화 없이 스텐브의 위치를 변화시켜, 그에 따른 Q_e (External Quality Factor) 값을 이용하여 협대역 대역통과 여파기를 구현한다. 또한 협대역 대역통과 여파기의 전송선로 부분에 S 형태의 커플링(coupling) 구조를 집적시켜, 여파기의 가로 축 크기를 줄이도록 한다. 제안된 여파기의 중심 주파수는 5.8GHz, 대역폭은 3.4%이며, 삽입손실 및 반사손실은 각각 1.46 dB 및 16.5 dB의 측정결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, the reduced size in horizontal sizes of the narrow band pass filter (BPF) with $\lambda/4$ short stub using S shaped folded coupling structure is presented. This BPF with narrow bandwidth show flexible bandwidth with variation of the position of the stubs using the Q_e (external quality factor) without changing the impedance value. On the other hand, by replacing the horizontal quarter-wavelength transmission lines with the equivalent S shaped coupled line, the BPF with reduced the size of horizontal can be realized. The proposed BPF shows the insertion loss of 1.46 dB and the return loss of 16.5 dB with bandwidth of 3.4% at the center frequency of 5.8 GHz, respectively.

키워드 : 협대역, 단락형 스텐브, S 형태, 크기의 축소, 커플링 구조

Key word : Narrow Bandwidth, Short Stub, S-Shape, Miniaturized Size, Coupling Structure

Received 03 September 2015, Revised 15 September 2015, Accepted 30 September 2015

* Corresponding Author Seong-cheol Kim(E-mail:kmin@wsu.ac.kr Tel:+82-42-630-9393)

Department of Railroad Electrical System Engineering, Woosong University, Daejeon 300-718, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.10.2269>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

이동 및 위성통신 시스템에서 대역통과 여파기는 중요한 역할을 한다. 대역통과 여파기는 원하는 대역을 통과 시켜주고 그 외의 대역은 차단 시켜주는 역할을 함으로써 주로 협대역과 광대역의 대역통과 여파기로 구분되며 이때, 시스템의 요구 조건에 따라 선택적으로 사용할 수 있다[1].

그 중에서 스텐(stub) 대역통과 여파기는 스텐의 길이가 $\lambda/2$ 개방형(open)과 $\lambda/4$ 단락형(short) 구조 등이 있다[2].

$\lambda/2$ 개방형 구조는 설계 방법이 간단하고 단가 면에서 경제적인 반면에 2차 고조파(harmonics) 발생을 야기 시킨다 [2]. $\lambda/4$ 단락형 구조는 $\lambda/2$ 개방형 구조보다 크기가 절반의 수준이고 고조파도 2차가 아닌 3차에서 발생하기 때문에 여파기의 성능이 우수하다고 볼 수 있다[2].

하지만 스텐 대역통과 여파기의 구조적인 특성 때문에 주로 광대역으로 동작을 하게 된다[2]. 만일 스텐에 해당되는 식을 이용하여 협대역으로 설계를 하게 된다면 스텐의 임피던스(impedance) 값이 매우 낮아지게 되어 실제의 크기가 매우 커지는 현상이 벌어지게 된다[3].

그러므로 협대역으로 설계하기 위해서는 첫 번째, 기존의 해당 스텐 식을 사용하여 광대역으로 설계하는 방법과 같이 설계를 하고 두 번째, 광대역으로 동작하는 스텐의 위치를 급전선로(feeding line)를 중심으로 하여 이동시킴으로써 Q_e (External Quality Factor)값의 변화를 일으킴과 동시에 대역폭을 조절하는 방법을 가지고 설계에 접근 한다 [3].

그러나 스텐 대역통과 여파기는 스텐의 길이를 $\lambda/4$ 단락형으로 설계를 하여 세로 측의 크기를 줄일 수 있고 더불어 2차 고조파까지 억압을 시킬 수 있겠지만, 스텐 사이의 연결을 위한 전송선로의 가로 측 크기는 주파수 파장의 길이에 관계되어 있기 때문에 줄일 수 없다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 세로 측의 크기를 줄이기 위해서는 기존의 전송선로 대신 S 형태인 folded 커플링(coupling) 구조를 적용하여 크기를 줄일 수 있다는 방법에 대해 본 논문은 앞서 언급된 방법에 대해 제안하고자 한다.

II. $\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐 대역통과 여파기의 분석

$\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐 대역통과 여파기는 그림 1과 같이 $\lambda/4$ 단락형 스텐들 (θ_{01} to θ_{02})들과 스텐 사이의 연결을 위한 J-인버터(inverter)로 동작하는 $\lambda/4$ 의 길이를 가진 전송선로($\theta_{1,2}$ to $\theta_{2,3}$)로 연결되어 있으며 스텐의 끝 부분에는 비아(via)를 통해 접지로 연결되어 있다[3].

스텐 대역통과 여파기는 주로 광대역으로 특성을 갖게 되는데 만일, 스텐에 해당되는 임피던스 식을 이용하여 협대역으로 설계를 하게 된다면 표 1과 같이 스텐의 임피던스 값이 매우 낮아지게 되어 실제의 크기가 커지는 문제가 발생하게 된다.

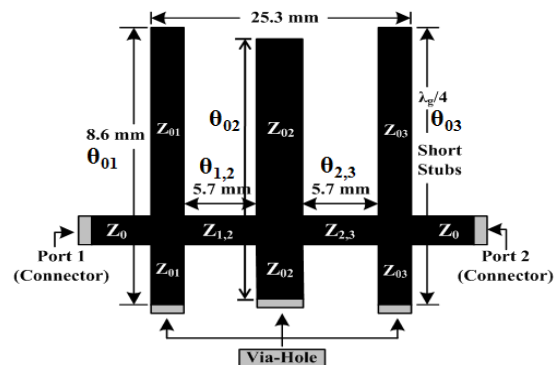


그림 1. $\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐 대역통과 여파기의 구조
Fig. 1 Structure of the narrow BPF with $\lambda/4$ short stubs

표 1. $\lambda/4$ 단락형 스텐에 대한 임피던스 계산 값
Table. 1 Numerical for variation of impedance for $\lambda/4$ short stubs

bandwidth [%]		50	10
impedance of the stub	Zo1 [Ω]	33.6	4.20
	Zo2 [Ω]	18.4	2.20
	Zo3 [Ω]	33.6	4.20

그러므로 스텐 대역통과 여파기를 협대역으로 구현하기 위해서는 광대역으로 동작하는 스텐의 임피던스 식을 그대로 활용한 후, 임피던스 값 변화 없이 오직 스텐의 위치만을 변화시켜 Q_e 값을 변화시킴과 동시에 대역폭을 조절하는 방법을 적용할 수밖에 없다

[3]. $\lambda/4$ 단락형 스텔브 대역통과 여파기는 $\lambda/2$ 개방형 스텔브에 비해 스텔브의 크기가 절반 수준이며 2차 고조파가 억압되는 성질을 가지고 있다. 하지만 위에서 언급된 여파기들의 단점은 가로 축 길이($\theta_{1,2}$ to $\theta_{2,3}$)는 주파수의 파장의 길이에 의존되어 있어 줄일 수 없다는 단점을 가지고 있다. 그러므로 이를 줄이기 위해서는 $\lambda/4$ 의 길이를 갖는 커플링 구조를 적용하는 방법에 대해 제안하고자 한다.

III. S 형태를 가진 커플링 구조의 이론

일반적으로 커플링 구조를 가진 전송선로는 그림 2와 같이 $\lambda/4$ 의 물리적인 길이(θ_{01} to θ_{02})를 가지고 있으며 이는 주로 DC Blocking 회로 혹은 대역통과 여파기의 설계에 적용 되고 있다[4]. 그러나 커플링 구조는 물리적인 길이가 주파수 파장에 의존되어 있어 주파수가 낮아질수록 실제의 크기가 커지는 단점을 가지고 있다. 그러므로 위의 크기를 줄이기 위해서는 S 형태를 가진 folded 커플링 구조로 설계하는 것이 적절하며 S 형태의 folded 커플링 구조는 그림 3과 같이 $\lambda/8$ (θ_c to θ_o)의 직렬 커플링 구조와 $\lambda/8$ 의 개방형 folded 형태의 구조로 구성되어 있다.

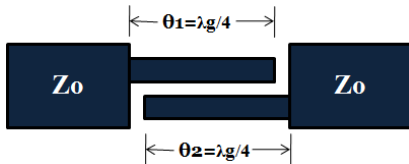


그림 2. 일반적인 $\lambda/4$ 커플링 전송선로 구조
 Fig. 2 Structure of the conventional transmission line with $\lambda/4$ coupling

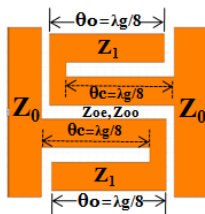


그림 3. S 형태를 가진 folded 커플링 전송선로 구조
 Fig. 3 Structure of the S shaped transmission line with folded coupling

커플링 구조의 길이는 그림 2와 같이 $\lambda/4$ 이지만 크기를 줄이기 위해서는 그림 3과 같이 $\lambda/8$ 로 줄일 필요가 있으며 그 외의 길이는 그림 4의 등가회로와 같이 정전용량(capacitor)의 값으로 대체를 하여 개방형 스텔브로 보상을 함으로써 전체의 길이를 $\lambda/4$ 길이로 가상 축출할 수 있다[4].

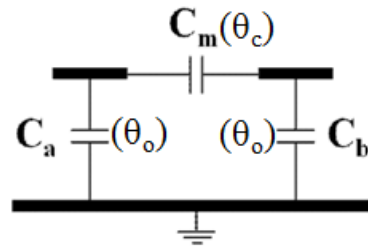


그림 4. folded 커플링 전송선로의 등가회로
 Fig. 4 Equivalent circuit of the transmission line with folded coupling

이때, 커플링 구조의 크기 조절을 위해 S 형태의 folded 구조로 변형 시킬 수 있다. 커플링 구조를 구현하기 위해서는 식(1), (2)와 같이 우(even) 모드(mode)와 기(odd) 모드(mode)의 임피던스 값을 구할 필요가 있고, 커플링 계수(k)를 통해 커플링의 면적(g:gap)을 구하기 위해서는 식 (3)을 사용할 수 있다[5].

$$Z_{oe} = \sqrt{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \sqrt{1 + \Omega^2}}{\Omega^2}} \left(1 - \frac{1}{S} \right) \right] Z_0 \quad (1)$$

$$Z_{oo} = \sqrt{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{1 + \sqrt{1 + \Omega^2}}{\Omega^2}} \left(1 - \frac{1}{S} \right) \right] Z_0 \quad (2)$$

$$k = \frac{Z_{oe} - Z_{oo}}{Z_{oe} + Z_{oo}} = \frac{C_m}{C_a + C_m} \quad (3)$$

위의 식(1), (2)에서 S는 VSWR(Voltage Standing Wave Ratio)을 의미 하고 Ω 은 대역폭(normalized)을 의미 한다[5]. 식(3) 에서 C_{ab} 및 C_m 은 개방형 스텔브에 해당되는 캐패시턴스(mutual capacitance)와 커플링에 관련된 캐피시턴스를 의미한다. 그림 5는 S 형태의 folded 커플링 구조에 대한 시뮬레이션 결과를 보여줌으로써 여파기에 적용이 가능한지에 대한 여부의 주파수 대역폭 결과에 대해 보여주고 있다.

이때, 중심 주파수는 5.8GHz 이며 삽입 및 반사 손실은 각각 1.24 dB 및 6.48 dB 이다.

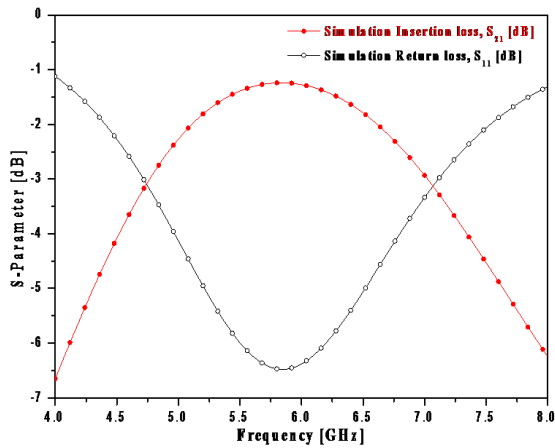


그림 5. S 형태의 foled 커플링 구조에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation results for S shaped folded coupling structure

IV. 소형 크기의 협대역 단락형 스텐브 대역통과 여파기의 설계

새롭게 제안된 $\lambda/4$ 단락형 협대역 스텐브 대역통과 여파기는 가로 축의 크기를 줄이기 위해 그림 6과 같이 스텐브 사이에 존재하는 $\lambda/4$ 의 전송선로 대신 S 형태의 folded 커플링 구조를 삽입을 하여 가능성에 대해 증명을 하였고 크기에 대한 정보는 표 2와 같이 제시를 한다.

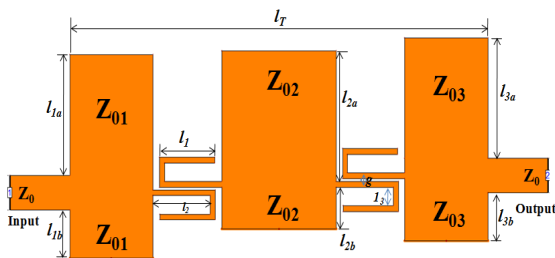


그림 6. 가로의 크기가 축소된 단락형 스텐브 협대역 대역통과 여파기의 구조
Fig. 6 Structure of the reduced size of the horizontal dimension for short stub narrow BPF

표 2. 제안된 협대역 여파기의 크기
Table. 2 Size of the proposed narrow BPF

stubs [mm]	$l_{1a}=l_{3a}$	$l_{1b}=l_{3b}$	l_{2a}	l_{2b}	l_T
	5.2	2.1	5.7	1.8	20.8
coupled line [mm]	l_1	l_2	l_3	g	
	2.75	2.85	0.69	0.12	

그림 7은 제안된 여파기의 제작된 사진이며, 여파기의 제작을 위해 유전율 2.54, 기판 높이 0.54 mm의 값을 가진 테프론(Teflon) 기판을 이용하여 Negative 방식의 음화필름을 적용한 후, wet-etching을 통해 제작을 시도 하였다.

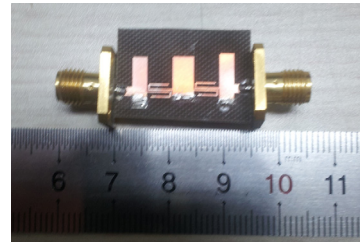


그림 7. 제작된 협대역 대역통과 여파기
Fig. 7 Fabricated on narrow BPF

그림 8은 제안된 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과 보여주고 있으며 표 3은 실험 결과에 대한 값을 보여주고 있다.

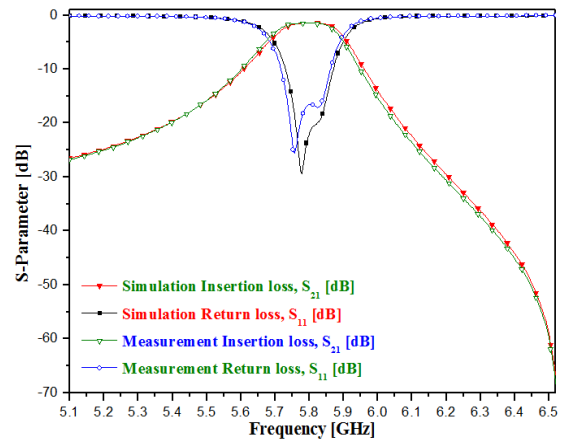


그림 8. 제안된 협대역 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과
Fig. 8 Simulation and measurement results of the proposed narrow BPF

표 3. 제안된 협대역 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과 값
Table. 3 Values of the simulation and measurement results for proposed narrow BPF

Simulation [dB]		Measurement [dB]	
Insertion loss (S_{21})	Return loss (S_{11})	Insertion loss (S_{21})	Return loss (S_{11})
1.41	21.1	1.46	16.5

표 4는 제안된 여파기와 최근 3년 이내의 게재된 논문들과의 크기에 대해 비교 제시를 한다.

표 4. 제안된 대역통과 여파기와의 크기 비교
Table. 4 Comparison for proposed BPF and others

ref [#]	f_c [GHz]	ϵ_r	sizes [mm ²]	types
This work	5.80	2.54	20.8×8.60	stub
[6]	6.85	2.55	14.3×12.6	ring
[7]	4.00	2.12	28.0×55.5	stub
[8]	8.75	2.20	30.2×6.30	hair-pin

제안된 여파기의 크기는 $20.8 \times 8.6 \text{ mm}^2$ 이며 표에서 제시된 여파기들 보다 17.8%의 크기 수준으로 축소되었다는 것을 확일 할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 $\lambda/4$ 단락형(short) 협대역 스텐브 대역통과 여파기에 S 형태의 foled 커플링(coupling) 구조를 적용하여 여파기 가로 크기를 줄이는데 제안을 하였다. 단락형 스텐브 대역통과 여파기의 장점은 개방형 스텐브 대역통과 여파기에 비해 세로의 크기가 작고 2차 고조파 억압이 용이하다.

하지만 가로 측의 크기는 주파수 파장에 의존되어 있어 크기를 줄이는데 매우 제한적이다. 그러므로 본 제안한 여파기는 가로 측의 크기를 줄이기 위해 커플링 구조를 적용하였으며 커플링 구조를 절반의 수준으로 줄이기 위해 S 형태의 folded 형태로 구현을 하여 여파기에 적용함으로써 크기가 작아지는 효과를 얻을 수 있었다.

제안한 협대역 단락형 스텐브 대역통과 여파기는 5.8 GHz의 중심 주파수와 3.4 %의 대역폭에서 삽입 및 반사 손실은 각각 1.46 dB 및 16.5 dB의 결과를 얻었다. 새롭게 설계된 대역통과 여파기는 지능형 교통시스템에 적용이 가능할 것으로 기대되며 향후 LTCC (Low Temperature co-Fired Ceramic) 혹은 IPD(Integrated Passive Device)와 같은 반도체 공정을 통해 저단가의 대량 생산이 가능할 것으로 사료 된다.

REFERENCES

- [1] Y. G. Choi and B. K. Kim, "Design of a 5.8 GHz broad band-pass filter with second of harmonics suppression using the open stubs," *J. Korean Ins. Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 10, pp. 1107-1116, Oct. 2007.
- [2] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons, 2001.
- [3] K. C. Yoon and J. C. Lee, "Design of a 5.8 GHz narrow band-pass filter with second harmonic suppression using the open stubs," *Microwave and Opt. Technology Lett.*, vol. 50, no. 7, pp. 1763-1766, Jul. 2008.
- [4] R. Mongia, I. Bahl, and P. Bhartia, *RF and Microwave Coupled-line Circuits*, Artech House, Inc, 1999.
- [5] S. H. Choi, J. Y. Lee, K. B. Lee, and D. H. Shin, "Design of miniaturized symmetric microstrip DC Block," *IEEE Proc. Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 1-4, Dec. 2007.
- [6] H. Zhu, Q. X. Chu, and X. K. Tian, "A UWB bandpass filter using slotline ring resonator with a notched band," *Int. Conference on Microwave and Millimeter Wave Technol.*, vol. 5, pp. 1-4, May 2012.
- [7] J. Oda, C. P. Chen, K. Kamata, T. Kato, N. Kato, T. Anada, and S. Takeda, "Design of wideband filters with high skirt-selectivity using improved parallel-coupled three-line units," *IEEE Proc. Asia Pacific Microwave Conference*, pp. 957-959, Nov. 2013.
- [8] J. Ye, D. Qu, X. Zhong, and Y. Zhou, "Design of X-band bandpass filter using hairpin resonators and tapped feeding line," *IEEE Symp. Computer Applications and Communications*, pp. 93-95, Jul. 2014.



윤기철(Ki-cheol Yoon)

2005년 02월 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부 공학사
2007년 02월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 공학석사
2011년 08월 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 공학박사
2012년 02월 ~ 2013년 02월 한국과학기술원 정보전자연구소 박사후 연구원
2013년 03월 ~ 현재 광운대학교 RFIC 연구센터 초빙교수
※관심분야 : Metamaterial, Radio Bio-Medical, RF-MEMS, IPD Design, Energy Harvesting



김성철(Seong-cheol Kim)

1987년 고려대학교 전자공학과 학사
1989년 고려대학교 전자공학과 석사
1989년 ~ 1994년: 삼성전자(주) 근무
1997년 고려대학교 전자공학과 박사
1997년 ~ 현재: 우송대학교 철도전기시스템학과 부교수
※관심분야 : CDMA 이동통신, 통신이론, 차세대 광대역 이동 멀티미디어 시스템