

평행 결합을 이용한 광대역 소형 여파기 설계

Design of a Compact Broad Band-pass Filter Using Parallel Coupling

조 성 수* 양 성 현** 강 준 길***
(SeongSoo Cho) (Seung-Hyen Yang) (JuneGill Kang)

요 약

지능형 교통정보 시스템을 구성하기 위한 통신장비로 위성 및 무선 통신 시스템은 광범위한 도로에서 수집되는 정보를 전달하기 위해 광대역 특성이 요구된다. 이러한 통신 시스템에 사용되는 여파기 또한 광대역 대역통과 여파기가 요구되며, 본 논문에서는 이러한 통신 시스템에서 사용이 가능한 광대역 대역통과 여파기를 설계 하였다. 설계된 대역통과 여파기는 지금까지 광대역 구현이 어려웠던 평행결합선로의 대역통과 여파기로서 이 여파기를 광대역 및 소형화로 실현 가능하도록 설계하였다. 설계된 여파기는 중심 주파수 5.8 GHz에서 대역폭 60%, 삽입손실과 반사손실은 각각 0.4 dB, 17.4 dB의 결과 값을 얻었다.

Abstract

In order to organize the Intelligent Transport System(ITS) as a communication equipment, the satellite and wireless system demand broadband characteristics for collecting information from the wide road. Band-pass filters (BPF) or broad BPFs used in such communication system are required for broadband characteristics. This paper presents a design of such broad BPF which can be used in the system. Designed BPF which was difficult to get broadband characteristics after realization, become possible to realize filter with broad bandwidth and compact structure using parallel coupled line. The designed filter achieved the insertion losses improved by 0.4 dB and the return losses improved by 17.4 dB respectively with 60% of bandwidth at the 5.8 GHz of the center frequency, respectively.

Key words: DSRC, coupling, compact size, broad BPF, J-Inverter

이 논문은 2008년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었습니다.

* 주저자 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

*** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수(교신저자)

† 논문접수일 : 2008년 6월 20일

‡ 논문심사일 : 2008년 8월 25일(1차), 2008년 11월 11일(2차)

‡ 게재확정일 : 2008년 11월 12일

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

유비쿼터스(Ubiquitous) 시대를 선도하기 위해 전 세계 선진 국가들은 교통, 환경, 행정, 유통, 공항, 물류 등의 다양한 분야에서 지능화되고 융합되는 서비스를 제공하도록 노력하고 있다. 그중에서 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)은 가장 비중이 큰 분야로서 핵심 네트워크(Network)로 주목 받고 있다.

기존의 교통 정보 서비스 보다 더욱 다양한 서비스를 제공하기 위해 이동 및 위성 통신 분야의 동영상, 음성, 데이터 처리를 광대역으로 처리 할 수 있는 기술들이 요구되고 있다. 광대역 대역통과 여파기는 위성통신 및 무선 LAN 혹은 각종 ISM(Industrial Scientific and Medical) 밴드 등 다양한 분야에서 사용되고 있지만 광대역으로 통과 시키는데 있어 제한이 되는 여파기들도 있다 [1]. 대표적인 여파기는 평행 결합선로(Parallel Coupled line) 대역통과 여파기로서 이 여파기는 구조상 광대역 통과와 한계성을 갖고 있다 [2]. 평행결합선로 대역통과 여파기는 주파수가 높아지면 첫 번째와 마지막 단의 공진기 사이에 형성되는 갭(gap)의 거리가 매우 좁아지고 대역폭이 20% 이상 초과하면 임피던스 값이 매우 높아져서 각 공진기의 넓이가 상당히 좁아져 실제의 제작하는데 어려움이 따르게 된다.

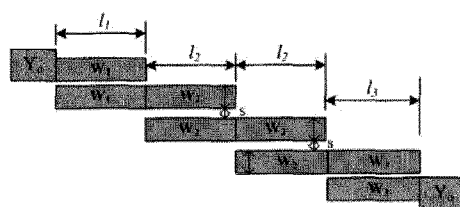
평행 결합선로의 대역통과 여파기는 주로 20% 이내의 대역폭에서 1~2 GHz 사이의 주파수를 갖는다 [1]. 이러한 한계성과 단점을 보완하기 위해 본 논문은 ABCD 매트릭스를 이용하여 여파기의 전달 특성을 해석하고 식과 정전용량(C: Capacitance) 및 높은 임피던스 값을 통해 넓은 대역폭을 갖는 대역통과 여파기를 설계 하였으며, 낮은 Q (Quality Factor)와 높은 결합도(Coupling)를 채택 하여 광대역의 응답특성을 얻는데 기여 하였다.

DSRC는 5.8 GHz의 중심주파수에서 반송파(carrier)로 사용되고 있고 대역폭은 한 채널당 10 MHz를 사용하여 높은 대역의 통신이 요구되는 것을 알

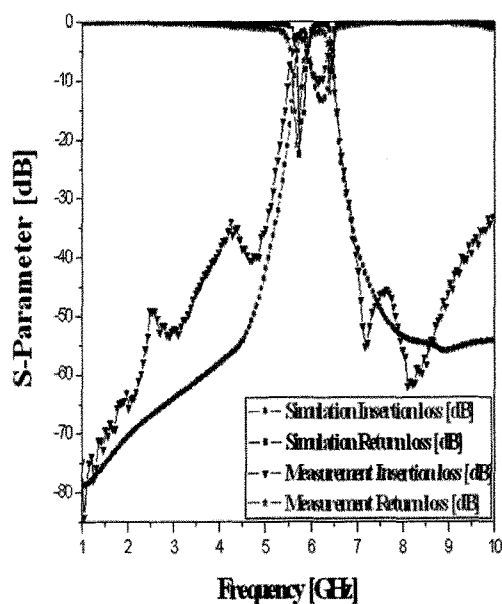
수 있으며 이들은 OSI 7계층인 물리 계층에서 처리된다 [3].

II. 결합 선로구조의 대역통과 여파기

일반적인 평행 결합선로 대역통과 여파기는 <그림 1>과 같이 180°의 공진기와 공진기 사이의 연결을 위한 평행결합(Coupling)으로 구성되어 있다 [1].



<그림 1> 평행 결합선로 대역통과 여파기의 구조
<Fig. 1> Structure of a band pass filter (BPF) with parallel coupled line



<그림 2> 평행 결합선로를 이용한 대역통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과 파라미터 (대역폭: 4.6%)
<Fig. 2> Simulation and measurement results of a BPF with parallel-coupled line, FBW = 4.6%

<표 1> 평행결합 대역통과 여파기의 결과
 <Table 1> Results of the BPF with parallel coupled line

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	모의실험 결과 [dB]		측정결과 [dB]	
		삽입 손실 S21	반사 손실 S11	삽입 손실 S21	반사 손실 S11
5.8	4.6	1.8	16	2.1	21.2

여기서 평행 결합은 J-인버터(Inverter)로 구성되어 있고 우(even) 모드(mode)와 기(odd) 모드로 형성되며 이를 통해 결합도(coupling)가 발생하여 공진기 사이를 연결 및 대역폭을 형성 시킨다. <그림 1>의 s 는 결합도를 통해 얻어진 갭(gap)을 의미하고, W 는 임피던스의 함수인 공진기의 길이, 1 은 공진기의 길이로써 주파수를 결정해준다 [1].

<그림 1>에서 제시한 여파기의 시뮬레이션 및 측정결과는 <그림 2>에 나타내었고, 이를 위해 모의실험(Simulation)은 IE3D(수치해석) 프로그램을 사용했으며, 측정은 HP-8510 CVNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 각각 결과를 얻어냈다 [4].

위와 같이 설계 및 제작된 여파기는 중심 주파수, 대역폭 그리고 응답으로 나타내어 있고 이 결과들은 <표 1>에 자세히 나타내었다.

III. 제안한 결합 선로구조를 갖는 광대역 대역통과 여파기의 설계

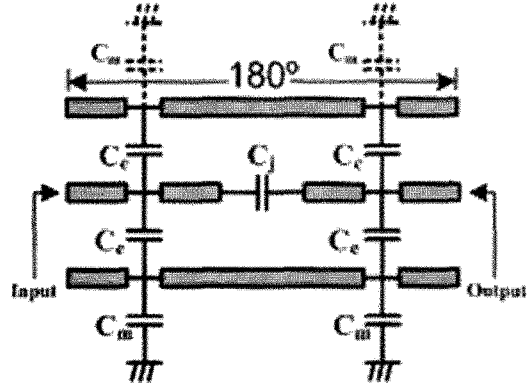
1. 평행 결합선로 광대역 대역통과 여파기의 이론 및 설계

새롭게 제안한 평행 결합선로를 갖는 광대역 대역통과 여파기는 <그림 3>과 같이 90° 길이와 180° 길이를 갖는 공진기들과 공진기 사이의 연결을 위한 J-인버터로 동작하는 결합(Coupling) 구조로 구성되어 있다.

제안한 여파기를 설계하기 위해 결합(Coupling)에 해당하는 J-인버터를 식 4와 같이 해석할 필요가 있고 이를 통해 광대역 여파기의 응답 특성을 얻어낼 수가 있다 [5].



(a) 평행 결합 광대역 대역통과 여파기의 구조
 (a) Structure of a Broad BPF with parallel coupled line



(b) 평행결합 광대역 대역통과 여파기의 등가회로
 (b) Equivalent circuit of a BPF with parallel coupled line

<그림 3> 새롭게 제안한 평행 결합선로 구조의 광대역 대역통과 여파기

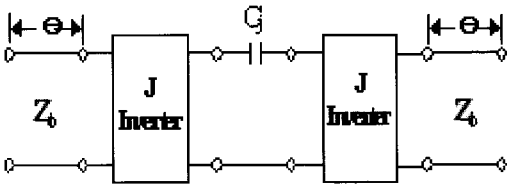
<Fig. 3> New proposed broad BPF with parallel-coupled line

$$\frac{J_{01}}{Y_o} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_o g_1}}$$

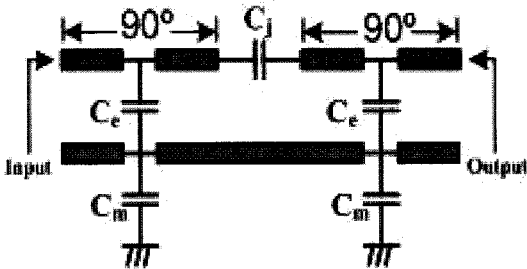
$$\frac{J_i, J_{i+1}}{Y_o} \Big|_{j=1} = \frac{\pi \Delta}{2 \omega'_c \sqrt{g_i g_{i+1}}} \tag{4}$$

$$\frac{J_{n,n+1}}{Y_o} = \sqrt{\frac{\pi \Delta}{2 g_n g_{n+1}}}$$

위의 식에서 인버터를 통해 대역폭과 공진기 사이의 결합을 얻어낼 수가 있고 <그림 4>와 같이 여파기를 구성할 수가 있다. <그림 4>에서 Cj는 갭(gap)을 형성 하면서 등가 직렬 정전용량(C)으로서 표현할 수가 있고 <그림 5>와 같이 해석할 수가 있다. 여기서 Cm은 기판의 전송선로와 접지 사이의 유전체에 의하여 형성된 기생 커패시턴스이고, 커패시턴스 값을 유도하기 위해 식 (5)와 같이 제시된다 [6].



<그림 4> J-인버터 등가회로
<Fig. 4> A J-inverter equivalent circuit



<그림 5> 기생 정전용량과 직렬 정전용량에 대한
평행결합 구조의 등가회로
<Fig. 5> Parasitic capacitance and series inductance
for the equivalent circuit with parallel coupled line

$$C_j = j Y_{oe} \tan \theta_e$$

$$C_m = j(Y_{oo}/2) \tan \theta_o - (Y_{oe}/2) \tan \theta_e$$

(5)

여파기를 설계하기 위해 식 (6)과 같이 공진기와 공진기 사이의 결합에 관련된 각각의 우 및 기 모드 특성 임피던스 값을 구할 수가 있고 이를 통해 여파기가 형성 된다 [7].

$$(Z_{oe})_{j,j+1} = Z_o(1 + aZ_o + a^2Z_o^2)$$

$$(Z_{oo})_{j,j+1} = Z_o(1 - aZ_o + a^2Z_o^2)$$

(6)

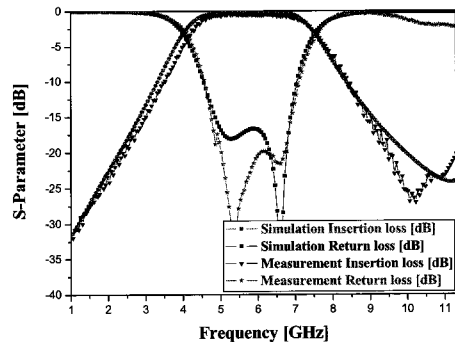
여기서 Z_o 는 특성 임피던스 이고, Z_{oe} 와 Z_{oo} 값은 곧 C_j 값과 같다. 식 (6)을 통해 구해진 여파기는 <그림 6>과 같이 설계 되었고, 이 여파기의 특징은 선로의 높은 임피던스 값과 선로 사이의 커패시턴스(C)로 표현되는 갭(gap)이 증가 되어 대역폭(FBW)을 넓히는데 기여하였다. 또한 <그림 3>과 같이 급전

선로와 공진기 사이의 갭 거리가 좁아지는 문제를 해결 할 수가 있었다.

2. 설계된 평행 결합선로 광대역 대역통과 여파기 결과

설계된 여파기의 설계 값을 구하기 위하여 ADS 에서 제공하는 EM 2006 툴을 이용하여 Gap 사이의 간격으로 인해 BW 결과를 얻기위해 EM 시뮬레이션을 실시하였다. 설계된 여파기는 선로의 임피던스 값이 매우 높아 낮은 Q값을 갖고 있고 또한 선로 사이의 갭(gap)은 좁아지면서 높은 Q값에 비례하는 정전용량(C) 값을 갖고 있어 대역폭(FBW)이 넓어지는 결과를 확인 하였다. 또 다른 한가지는 여파기의 크기가 기존 것 보다 가로 2/3, 세로 1/7으로 줄어들었다는 특징이다. <그림 6>은 제안한 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과에 대한 파라미터들을 보여주고 있고 여파기의 대역폭은 60% 에서 5.8 GHz의 중심 주파수를 갖고 있으며 시뮬레이션과 측정 결과에 대한 파라미터는 <표 2>에 제시된다.

<그림 7>은 제작된 여파기의 실제 사진을 보여 주고 있고 유전율 2.54, 높이 0.54 mm를 갖는 테프론(Tafron) 기판으로 구현하여 음화 필름을 사용하여 영상 촬영 후 dry-etching을 통해 공정을 하였다 [8,9].



<그림 6> 제안한 광대역 대역통과 여파기의
시뮬레이션 및 측정결과, (대역폭:60%)
<Fig. 6> Simulation and measurement results of a
proposed broad BPF, FBW : 60%

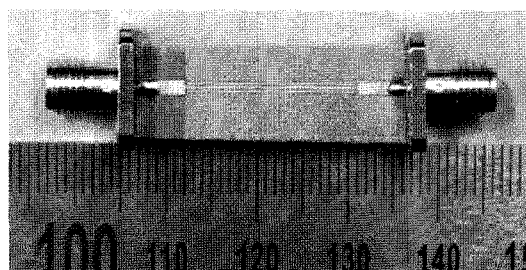
<표 2> 제안한 평행결합 구조의 광대역 대역통과 여파기의 결과

<Table 2> Results of the proposed broad BPF with parallel coupled line

중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	모의실험결과[dB]		측정결과 [dB]	
		삽입 손실 S21	반사 손실 S11	삽입 손실 S21	반사 손실 S11
5.8	60	0.26	16.7	0.4	17.4



(a) 평행결합 구조의 대역통과 여파기
(a) Conventional BPF with parallel coupled line



(b) 광대역 평행결합 구조의 대역통과 여파기
(b) New type of a broad BPF with parallel coupled line

<그림 7> 제작된 평행결합 구조의 대역통과 여파기
<Fig. 7> Photos of BPFs with parallel coupled line

V. 결 토

여파기를 설계할 때는 주로 1~2 GHz 사이에서 대역폭이 5%의 목표에 맞추어 설계 하게 되는데 그 이유는 주파수 혹은 대역폭이 넓어지면 선로에 대한 넓이와 첫번째와 마지막 단의 갭(gap)의 거리가 상당히 좁아져서 실제 제작하는데 어려움이 따르게

된다. 따라서 평행결합 여파기의 논문은 주로 4~5%의 대역폭과 2 GHz의 중심주파수의 목표를 맞추고 그에 대한 응답특성을 얻기 위해 여파기를 많이 설계한다. 제안한 본 여파기는 선로의 넓이를 최적으로 좁혀서 임피던스 값을 증가 시키고 선로사이의 갭(gap)을 형성하는 정전용량 값을 최적으로 증가 시켜서 대역폭을 넓힘과 동시에 첫 번째 단과 마지막 단의 갭에 대한 문제점을 해결하여 주파수를 높임과 동시에 여파기의 높이를 1/7로 줄이는데 목표하였다.

대역폭 4.6%를 갖는 기존의 여파기에서 새로운 방법을 접목시킬 때 광대역 대역통과 여파기로 변환되었고, 이 여파기의 대역폭은 60%까지 확대 되었다는 것을 증명하였다. 또한 기존 여파기의 크기는 34.1 × 7.03 mm 이었으며, 새로운 형태의 여파기의 크기는 18.5 × 1.0 mm 이었다. 새로운 여파기를 기존의 논문 [10]-[11]에 제시된 여파기들과 비교했을 때, 크기와 대역폭들을 고려하여 비교하였고, 이에 따른 비교 내용은 <표 3>에 제시 하였다.

<표 3>에서 언급된 논문을 살펴본 결과 평행결합 선로의 대역통과 여파기들은 <표 3>에 있는 [기존]의 대역통과 여파기와 별 차이성이 없었고, 대역폭과 크기 그리고 중심 주파수가 비슷했다. 특히 참고문헌 [10]은 제안한 여파기와 비교 했을 때 가로의 길이는 더욱 작지만 세로의 길이는 더욱 길고 또한 대역폭은 더욱 좁다. <표 5>에 언급하지 않았지만 참고문헌 [13]은 대역폭을 넓히기 위해 입·출

<표 3> 논문에 제시된 여파기들과 새롭게 설계된 여파기와의 비교특성

<Table 3> Comparison of characteristics for designed new type filter with other reported filters

참고 논문 [#]	중심 주파수 [GHz]	대역폭 [%]	크기 [mm]	측정 결과[dB]	
				삽입 손실 S21	반사 손실 S11
기존	5.8	4.6	34.1×7.03	2.1	21.2
제안	5.8	60	18.5×1.0	0.4	17.4
[10]	1.8	10	17.7×18.7	1.5	12
[11]	2.52	30	16×3	2	3
[12]	900M	10	162×12.1	1	29

력 단 스텔브의 중간에 탭(tap)선로를 추가하였는데 이 여파기의 특징은 탭 선로의 위치에 따라 대역폭은 변화

하겠지만 단점은 크기가 크다는 것을 논문을 통해 알 수 있었다. 이와 같이 제안한 여파기와 비교 하였을 때 기존 것과 논문을 통해 제시된 여파기들은 주파수와 대역폭 그리고 크기에 대한 차이성 및 해결성을 보이지 않았고, 대역폭은 넓혔으나 크기가 개선된 점은 보이지 않았다. 따라서 본 여파기는 크기가 작고 제안된 주파수대역을 초과했으며 대역폭이 증가했다는 특징을 선보이고 있다. 이 여파기를 다른 여파기와 비교 하였을 때 우수성이 충분하다는 것을 증명하고 있다.

VI. 결 론

본 논문은 대역폭이 넓어진 평행 결합구조를 갖는 광대역 대역통과 여파기를 제안하여 구현하였다. 기존의 평행 결합선로를 갖는 대역통과 여파기는 구조상 고주파 대역에서 협대역을 갖는데, 만일 그 이상의 주파수 대역과 대역폭을 요구하게 된다면 평행의 결합선로 간격의 문제로 인해 제작의 한계를 갖게 된다. 따라서 제안한 여파기는 이를 극복하기 위해 ABCD 매트릭스를 해석하고 결합에 대한 식을 이용하여 높은 결합도와 낮은 임피던스 값을 토대로 하여 광대역 대역통과 여파기를 설계하였다. 새롭게 구현된 여파기는 60%의 대역폭을 갖고 있고, 5.8 GHz의 중심주파수를 갖고 있으며 측정된 삽입손실과 반사손실은 각각 0.4 dB 및 17.4 dB를 나타내었다. 이 여파기를 무선통신 혹은 무선 LAN에 적용이 가능하리라 기대되며 또한 5.8 GHz 기저 대역에 채널당 10 MHz를 갖는 DSRC 통신 시스템에 적용하여 보다 높은 효율을 갖는 통신 처리가 가능할 것이라 기대된다.

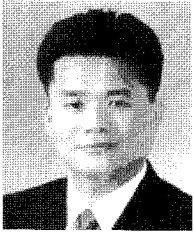
참고문헌

[1] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons,

2001.

- [2] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, 2005.
- [3] ISO Std ISO/DIS 15628, Transport Information and Control System(TICS) Dedicated Short- Range Communication (DSRC)-DSRC Application Layer, Oct. 2003.
- [4] IE3D ver. 12.0, Zeland Software Inc. Fremont, CA, 2004.
- [5] T. C. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design*, John Wiley and Sons Ltd, Network, pp. 221-230. 1981.
- [6] R. Compton, S. W. Wedge, and D. Rutledge, *PUFF : Computer Aided Design for Microwave Integrated Circuit*, California of Technology, Jan. 1990.
- [7] S. B. Cohn, "Parallel-coupled transmission-line-resonator filters," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*, pp. 223-232, April 1958.
- [8] K. C. Gupta, R. Garg, I. Bahl, and P. Bhartia, *Microstrip Line and Slotlines*, Artech House, 1996.
- [9] S. Franssila, *Micro Fabrication*, John Wiley & Sons, 2004.
- [10] R. Phromloungsri, M. Chongcheawchamnan, and I. D. Robertson, "Inductively compensated parallel coupled microstrip line and their applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 9, pp. 3271-3582, Sept. 2006.
- [11] J. Marimuthu and M. Esa, "Wide-band and harmonic suppression method of parallel coupled microstrip bandpass filter using centered single groove," *Proc. IEEE Int. Conf. Telecommunications and Malaysia Int. Conf. Communications*, pp. 622-626, May 2007.
- [12] P. Cheong, S. W. Fok, and K. W. Tam, "Miniaturized parallel coupled-line band-pass filter with spurious-response suppression," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, no. 5, pp. 1810-1816, May 2005.
- [13] G. C. Hock and C. K. Chakrabarty, "Design of a parallel coupled microstrip line bandpass filter on the R04003C ® substrate," *Proc. RF and Microwave Conf.*, pp. 267-271, Sept. 2000.

저자소개



조 성 수 (Cho, SeongSoo)

2006년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학 박사과정 재학중



양 성 현 (Yang, Seung-Hyen)

1991년~현재 : 광운대학교 전자공학부 교수



강 준 길 (Kang, JuneGill)

1972년~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수