

4단자 자기 귀환 방식 이중대역 대역통과 여파기의 2단자로의 변환

임지은, 남민희, 최한울 정회원, 이재현 종신회원

Transformation of 4-port Self-feedback Dual-band Bandpass Filter into 2-port

Jieun Lim, Minhee Nam, Hanol Choi *Regular Members*, Jaehyun Lee *Lifelong Member*

요 약

현대 통신 시스템에서 다중대역 RF 프론트엔드의 필요성은 급속하게 증가하고 있다. 예를 들면, 위성시스템의 주파수 배치가 복잡하기 때문에, 각 통신 채널에 적합한 많은 필터가 필요하게 된다. 하지만, 시스템의 크기와 탑재체를 줄이기 위하여 전체 채널 필터 기능을 대신할 수 있는 하나의 필터 모듈로 대체하는 것이 이상적이다. 본 논문에서 기존 4단자 평형 이중대역 대역통과 여파기에 발룬을 이용하여 2단자 대역통과 여파기로 변환하는 방법을 제안한다. 입력과 출력에 발룬이 위치하고, 기본 주파수가 2.5 GHz 이고, 첫 번째 고조파가 5.7 GHz인 2단자 평형 이중대역 대역통과 여파기를 제작하고 측정하였다. 계산된 결과와 측정된 결과가 잘 일치한다.

Key Words : Dual band bandpass filter, SIR, Balanced filter, Balun, Filter synthesis

ABSTRACT

The need for multiband RF front-end in modern communication system is growing rapidly. For example, satellite system always uses a complex arrangement of frequency plans and consequently needs filters for each communication channel and it will be ideal to have a single filter module that does jobs of all those channel filters to reduce the size and payload of the system. In this paper, a new method to transform four-port self-feedback balanced dual-band bandpass filter into two-port is proposed. The two-port balanced dual-band bandpass filter which has baluns at the input and output ports and the fundamental frequency at 2.5 GHz and the first harmonic frequency at 5.7 GHz is fabricated and measured. Good agreement between measured and simulated results was achieved.

I. 서 론

무선 셀룰러와 광대역 네트워크의 급속한 발전으로 대역통과 여파기의 소형화 및 경량화가 요구되어 지고 있다. 또한, 많은 무선 시스템이 두 개 이상의 주파수 대역을 이용하고 있다. 예를 들면, WLAN 규격 IEEE 802.11은 2.4-2.45 GHz와 5.15-5.85 GHz 대역을 사용하고, WiMAX 규격 802.16 은 2.3-2.7 GHz, 3.3-3.9 GHz, 5.15-5.85 GHz 대역을 사용하고 있다. 따라서 이중대역 대역통과 여파기는 다중 대역을 분리하기 위한 중요한 부품으로 자리 잡고 있다. 일반적으로 다중 대역 시스템은 두 개의 단일 대역 대역통과 여파기를 결합하여 스위칭

시킴으로써 구현할 수 있다 [1]. 이러한 구조는 크기, 비용, 전력 소비가 크다. 이중대역 여파기는 하나의 회로에 각각의 대역통과 여파기 특성을 통합함으로써 추가적인 손실이나 크기, 비용의 증가 없이 원하는 두 대역에서 통과 대역을 형성할 수 있다.

이러한 장점으로 인해 이중대역 대역통과 여파기 설계 연구의 활발히 진행되고 있다 [2]. 계단형 임피던스 공진기는 고조파 응답을 조정할 수 있는 특성을 가지고 있기 때문에 이중대역 여파기 연구에 광범위하게 응용되고 있다 [3]. 계단형 임피던스 공진기 각 선로의 특성 임피던스와 전기적 길이를 조절하면, 두 번째 통과대역은 첫 번째 대역의 배수가 아닌 원하는 주파수 대역으로 조정할 수 있다. 고전적인 결합 방법에서는 고조파 주파수의 대역

*충남대학교 YY소속 ZZ연구실 (abc@dd.ac.kr), **AA연구소 BB연구실(def@gg.re.kr)

접수일자 : 2010년 8월 14일, 수정완료일자 : 2010년 8월 25일, 최종게재확정일자 : 2010년 9월 25일

폭과 결합계수는 첫 번째 대역의 대역폭과 결합 계수에 따라 제한적인 값을 갖는다. 내부 공진기 결합 계수는 이중대역 여파기 설계에 있어서 두 번째 대역의 대역폭을 조절하는 필수적인 역할을 한다.

반파장 계단형 임피던스 공진기와 개방 루프 공진기를 기반으로 한 이중대역 대역통과 여파기를 제안하였다 [4]. 이 여파기는 소형화 및 경량화 되었지만 평형 구조로서 4-포트 구조를 가지기 때문에 실제 RF 시스템에서 다른 RF 소자와 연결하기에는 어려움이 따른다. 따라서 본 논문에서는 발륜을 이용하여 4-포트 여파기를 2-포트 여파기로 변환하기 위한 방법을 제안한다.

II. 이중 대역 여파기

그림 1에 4-포트 평형 이중대역 여파기를 나타내었다 [4]. 여파기는 두 개의 반파장 계단형 임피던스 공진기(공진기 1과 공진기 4)와 두 개의 개방 루프 공진기(공진기 2와 공진기 3)로 구성된다.

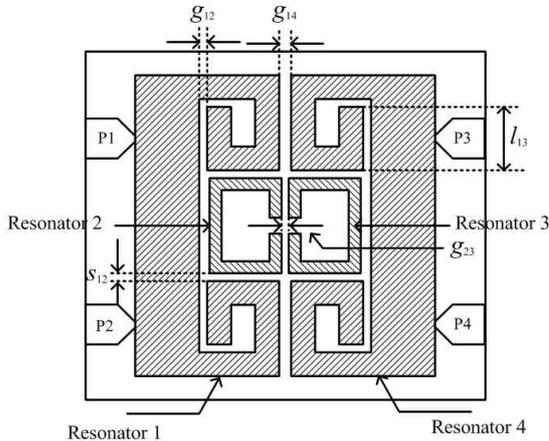


그림 1. 이중대역 대역통과 여파기의 구조

그림 2에 기본 반파장 계단형 임피던스 공진기 구조를 나타내었다. 계단형 임피던스 공진기는 각 선로의 특성 임피던스 Z_1 , Z_2 그리고 전기적 길이 θ_1 , θ_2 를 갖는다.

대칭적인 구조 때문에 차동 모드로 여기되면 대칭선에 PEC(perfect electric conductor) 벽이 나타나고, 공통 모드로 여기될 경우 대칭선에 PMC(perfect magnetic conductor) 벽이 나타나 각 모드에서의 공진 조건이 달라진다.

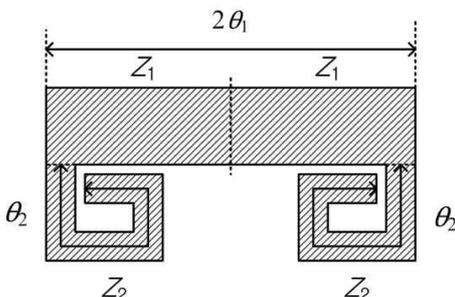


그림 2. 기본 계단형 임피던스 공진기 구조

그림 3은 두 번째 대역의 대역폭을 조절시키기 위한 추가적인 개방 루프 공진기이다. 계단형 임피던스 공진기와 추가된 개방 루프 공진기 간의 결합간격(g_{12} , g_{23})을 조절하면 두 번째 대역의 대역폭을 조절 할 수 있다.

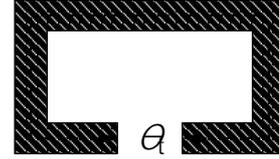


그림 3. 개방 루프 공진기

각 모드의 공진 주파수 비를 그림 4에 나타내었다. fd_1 , fd_2 는 차동 모드에서의 첫 번째와 두 번째 공진주파수이고 fc_1 은 공통모드에서의 첫 번째 공진 주파수 이다. 계단형 임피던스 공진기의 임피던스 비($R_z = Z_1/Z_2$)와 길이 비($U = \theta_2/(\theta_1 + \theta_2)$)를 조정하면 각 모드의 공진주파수를 조절할 수 있다. fc_1/fd_1 이 fd_2/fd_1 에 비해 낮게 나타나는 것을 볼 수 있다.

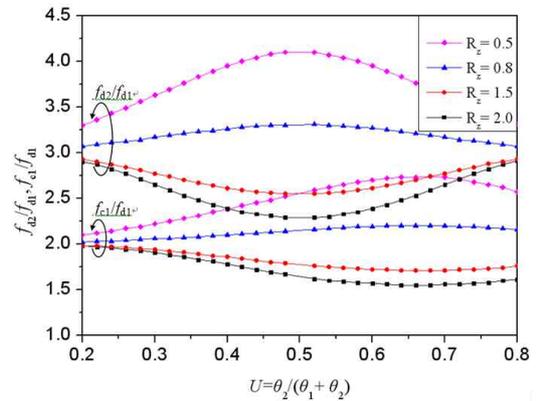


그림 4. R_z 와 U 에 대한 각 모드의 공진 주파수비

III. 여파기 설계

제안된 4-포트 평형 이중대역 대역통과 여파기는 첫 번째 대역과 두 번째 대역에서 다음과 같은 설계 조건을 따른다.

$$f_{a1} = 2.4 \text{ GHz, FBW}_1 = 12.5 \%$$

$$f_{a2} = 5.6 \text{ GHz, FBW}_2 = 25 \%$$

(FBW = Fractional Bandwidth)

설계 조건에 따라, fd_2/fd_1 는 2.2로 $R_z=2$, $U=0.58$ 로 결정된다. fc_1/fd_1 는 1.5로 fc_1 은 3.6 GHz에서 나타나게 된다.

위의 설계 조건에 따라 결합계수와 외부 Q 인자를 계산하여 표 1에 나타내었다 [5].

공진기 1과 공진기 2 사이의 간격(g_{12})에 대한 M_{12} 와 공진기 2와 공진기 3 사이의 간격(g_{23})에 대한 M_{23} 을 통

해 두 번째 대역의 대역폭을 조절하였다.

각 공진기의 결합간격과 입력 및 출력 포트의 위치는 full-wave simulator인 HFSS를 이용하여 얻었다.

표 1. 여파기의 설계 파라미터

Band	소자 값	설계 파라미터
1	$g_0=g_3=1,$ $g_1=g_2=1.4142$	$M_{14}=0.085,$ $Q_{ei}=Q_{eo}=11.78$
2	$g_1=0.94982,$ $g_2=1.35473,$ $J_1=-0.12333,$ $J_2=1.0181$	$M_{12}=0.220, M_{23}=0.220,$ $M_{14}=-0.032,$ $Q_{ei}=Q_{eo}=3.799$

여파기는 유전율 $\epsilon_r=4.4$, 두께 $h=1.6\text{mm}$, 손실 탄젠트 $\tan\delta=0.02$ 인 FR-4 기판을 이용하여 제작하였고, 전체 사이즈는 $23.55\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 이다.

IV. 여파기 응답

4-포트 S 파라미터는 벡터 회로망 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 2-포트 차동 모드와 공통 모드 S 파라미터는 각 모드에 대한 연산을 통해 얻어진다[6].

그림 5에 4-포트 이중 대역 대역통과 여파기의 차동 모드 응답을 나타내었다. 첫 번째 대역의 중심주파수는 2.5 GHz로 삽입손실은 2.17 dB를 갖고 3 dB-FBW는 2.30 GHz에서 2.63 GHz로 13 %이고, 두 번째 대역의 중심주파수는 5.7 GHz로 삽입손실은 1.85 dB를 갖고 3 dB-FBW는 4.99 GHz에서 6.49 GHz로 27 %이다. 시뮬레이션과 측정된 결과가 잘 일치하였다.

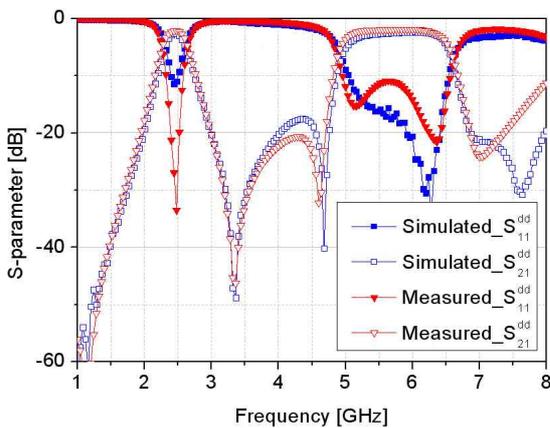


그림 5. 이중 대역 여파기의 차동 모드 응답

발룬은 TDK 사의 HHM1595A1이고 가용 주파수는 3 GHz에서 8 GHz이다. 발룬에 대한 응답 특성은 그림 6에 나타나있다.

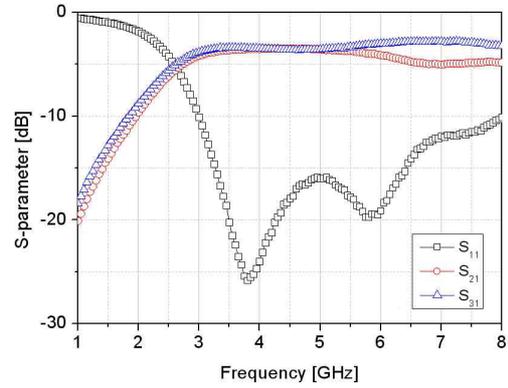
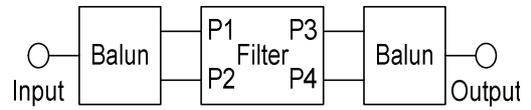
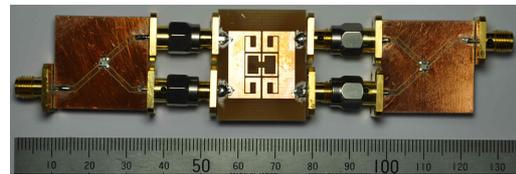


그림 6. 발룬 응답 특성

시스템 적용을 위해 발룬을 이용하여 4-포트 이중 대역 여파기를 2-포트 이중대역 여파기로 변환시킨 그림을 그림 7에 나타내었다.



(a) 블록 다이어그램



(b) 사진

그림 7. 2-포트로 변환한 여파기

그림 8에 측정 결과를 나타내었다. Balanced S 파라미터는 4-포트 평형 여파기를 측정된 결과이고, Single-ended S 파라미터는 발룬과 여파기를 결합한 2-포트 여파기를 측정된 결과이다. 3 GHz 이하 대역에서 응답 특성이 악화됨을 알 수 있다. 특성 악화의 원인은 3 GHz 이하에서의 발룬의 특성이 악화되기 때문이다. 따라서 가용 범위가 2 GHz를 포함하는 광대역 발룬을 이용하면 특성을 개선시킬 수 있다.

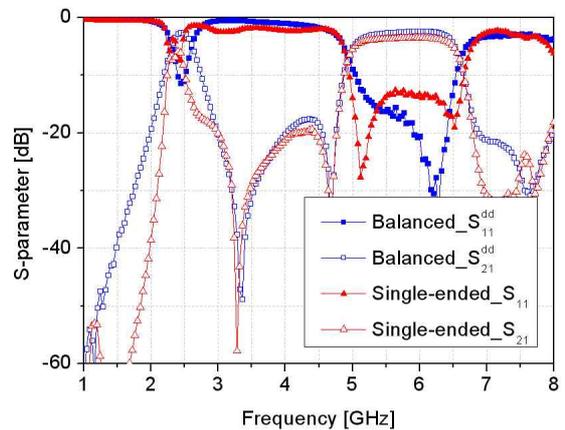


그림 8. 여파기 응답 특성

V. 결론

본 논문에서는 계단형 임피던스 공진기를 기반으로 한 이중대역 4-포트 평형 여파기에서 2-포트 여파기로 변환하기 위한 방법을 제안하였다. 계단형 임피던스 공진기는 조정 가능한 고조파 주파수 특성 때문에 이중대역 여파기에 광범위하게 이용된다. 계단형 임피던스 공진기는 첫 번째 대역과 두 번째 대역의 중심주파수 및 첫 번째 대역의 대역폭을 설정하기에 충분하다. 하지만 두 번째 대역의 대역폭을 임의로 조정할 수 없다. 따라서 두 번째 대역의 대역폭을 조정하기 위해 5.6 GHz에서 반과장이 되는 개방 루프 공진기를 계단형 임피던스 공진기 내부에 추가하였다.

또한 실제 RF 시스템에 적용하기 위해, 발륜을 이용하여 4-포트 이중대역 여파기를 2-포트 여파기로 변환하였다. 측정된 여파기의 중심 주파수는 2.5 GHz, 5.7 GHz이고 삽입 손실은 2.17 dB, 1.85 dB이다. 가용 범위가 3 GHz-8 GHz인 발륜을 이용하면서 3 GHz 이하 대역의 응답 특성이 악화되었다. 3 GHz 이하 대역에서 좋은 특성을 갖는 발륜을 이용하면 응답 특성을 개선시킬 수 있다.

참 고 문 헌

[1] H. Miyake, S. Kitazawa, T. Ishizaki, T. Yamada, Y. Nagatomi, "A miniturized monolithic dual band filter using ceramic lamination technique for dual mode portable telephones", IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp. 789-792, Denver, CO, Jun. 1997.

[2] C. Quendo, E. Rius, and C. Person, "An original topology of dual-band filter with transmission zeros," IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., vol. 2, pp. 1093-1096, Jun. 2003.

[3] S.-F. Chang, J.-L. Chen, and S.-C. Chang, "New dual-band bandpass filters with step-impedance resonators in comb and hairpin structures," AsiaPacific Microwave Conf., pp. 793-796, 2003.

[4] X. Chen, G. Han, R. Ma, J. Gao, and W. Zhang, "Design of balanced dual-band bandpass filter with self-feedback structure," ETRI Journal, Vol. 31, No. 4, pp.475-477, Aug. 2009.

[5] G. Matthaei, L. Young and EMT Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures", New York, McGraw-Hill, pp 98-432, 1964.

[6] D. E. Bockelman and W. R. Eisenstant, "Combined differential and common-mode

scattering parameters: Theory and simulation", IEEE Trnas. Microw. Theory Tech, vol. 43, no. 7, pp.1530-1539, Jul. 1995.

저 자

임 지 은 (Jieun Lim) 학생회원



2010년 2월 : 충남대학교
전과공학전공 학사졸업
2010년 3월~현재 : 충남대학교
전과공학전공 석사과정

<관심분야>

남 민 희 (Minhee Nam) 학생회원



2010년 2월 : 충남대학교
전과공학전공 학사졸업
2010년 3월~현재 : 충남대학교
전과공학전공 석사과정

<관심분야>

최 한 울 (Hanul Choi) 학생회원



2010년 2월 : 충남대학교
전과공학전공 학사졸업
2010년 3월~현재 : 충남대학교
전과공학전공 석사과정

<관심분야> EMI/EMC

이 재 현 (Jaehyun Lee) 정회원



1978년 2월 : 인하대학교
전자공학 과 학사졸업
1985년 2월 : 한국과학기술원 전기 및
전자과 석사졸업
1993년 2월 : 한국과학기술원 전기 및
전자과 박사졸업
1991년 2월~2001년 2월 : 한국전자
통신연구원 책임연구원

2001년 2월~현재 : 충남대학교 전과공학과 교수