

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.6.169>

IIBC 2014-6-25

캐비티 가변필터의 구현을 위한 필터뱅크 설계 및 제작

Design and Fabrication of Filter Banks for Implementation of Cavity Tunable Filter

신연호*, 강상기**

Yeonho Shin*, Sanggee Kang**

요약 다양한 서비스에 대한 사용자의 욕구를 충족시키고, 주파수를 효율적으로 사용하기 위해서 여러 통신방식을 하나의 플랫폼에서 제공할 필요가 있다. 다양한 통신방식을 수용하는 광대역 무선통신시스템을 구현하기 위해서는 통신시스템 전단부에 반드시 대역가변필터를 사용해야 한다. 본 논문에는 캐비티 공진기의 구조를 갖는 800 MHz ~ 1600 MHz 범위의 대역가변필터의 구현 가능성을 확인하기 위해서 동일한 동작주파수 범위를 갖는 필터뱅크를 설계 및 제작하였다. 필터뱅크는 원하는 동작주파수 범위에서 5개의 대역통과필터로 제작하였고, 제작한 필터뱅크의 삽입손실은 최대 0.326 dB, 대역폭은 37 MHz ~ 84 MHz 그리고 감쇠특성은 대역 가장자리 ± 60 MHz 지점에서 최소 19.974 dB와 최대 37.812 dB로 측정되었다.

Abstract In order to satisfy user's requirements of needs for various services and to efficiently use of frequency, a communication system using one platform can support many communication services. Tunable filters must be used in the front end of broadband communication systems which provide and support various communication methods. In this paper we design and implement a filter bank to verify the feasibility of cavity tunable filter with the operation frequency of 800 MHz ~ 1600 MHz. The filter bank is composed of five bandpass filters and each bandpass filter has the same operation frequency band of the tunable filter. The implemented filter bank has the maximum insertion loss of 0.326 dB, the bandwidth of 37 MHz ~ 84 MHz, and the attenuation of minimum 19.974dB and mximum 37.812dB at the band edge ± 60 MHz over the operating frequency band.

Key Words : Tunable Filter, Filter Bank, Cavity Filter, Bandpass Filter, External Q, Coupling Coefficient

1. 서론

무선통신 시스템이 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 여러 통신 방식을 하나의 플랫폼에서 제공해야 한다. 많은 수요를 창출하는 스마트폰은 GPS, Wi-Fi, Bluetooth, Cellular 등의 여러 서비스를 하나의 플랫폼에

서 제공한다. 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 다수의 대역통과필터가 필요하며, 필터의 수가 증가하게 되면 시스템을 구현하기 위한 단가와 시스템의 재구성 측면에서 불리하다. 때문에 광대역 무선통신시스템을 구현하기 위해서는 대역가변필터가 반드시 필요하며^[1,2,3], 대역가변필터를 구현하기 전에 필터뱅크를 제작하여 가변

*준회원, 군산대학교 정보통신공학과

**정회원, 군산대학교 정보통신공학과(교신저자)

접수일자: 2014년 8월 24일, 수정일자: 2014년 10월 6일

게재확정일자: 2014년 12월 12일

Received: 24 August, 2014 / Revised: 6 October, 2014

Accepted: 12 December, 2014

**Corresponding Author: skkang@kunsan.ac.kr

Kunsan National University, Dept. of Information & Telecommunication Engineering, Korea

필터의 구현 가능성을 확인할 필요가 있다.

II. 필터 뱅크의 설계 및 제작

1. 필터의 설계

주파수 가변형 필터로는 YIG 필터, 능동필터(active filter) 등이 있는데 YIG 필터는 크기와 가격면에서 단점을 가지며, 능동필터는 잡음지수와 취급전력 그리고 온도보상 측면에서 단점이 있다^[4, 5]. 본 논문에서는 삽입손실과 감쇠특성 그리고 취급전력에 장점이 있는 캐비티 가변필터의 구현 가능성을 확인하기 위해서 필터뱅크를 설계 및 제작하였으며, 대역통과필터의 구조는 일반적으로 가장 많이 사용하는 컵라인 구조를 적용하였다. 컵라인 캐비티 필터는 $\lambda/4$ 동축 공진기의 입력단과 출력단을 자체결합하는 구조이므로 손실과 대역폭이 비교적 작은 대역통과 필터에 적합하다.

동축공진기의 초기 치수를 구하기 위해 동축선로의 특성임피던스 Z_0 를 구해야하며, 동축선로에서 내경의 지름이 d 이고 외경의 지름이 b 이면, 특성임피던스 Z_0 는 다음과 같다^[6].

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{d} \Omega \quad (1)$$

여기서 ϵ_r 은 상대유전율이다. 실제 설계에서는 공진기의 정확한 특성을 확인하기 위해서 전자장 시뮬레이션의 고유공진모드로 공진기의 구조에 대한 최적화된 값을 찾아야 한다.

필터의 설계에는 삽입손실법, 어드미턴스를 사용하는 방법 등이 있지만 본 논문에서는 외부 Q(External Q)와 결합계수를 이용해서 캐비티 필터를 설계한다.

$$Q_{e1} = \frac{g_0 g_1}{FBW}, \quad Q_{en} = \frac{g_n g_{n+1}}{FBW} \quad (2)$$

$$M_{i,i+1} = \frac{FBW}{\sqrt{g_i g_{i+1}}} \text{ for } i = 1$$

여기서 Q_{e1} 는 입력측 외부 Q 값이며, g_0, \dots, g_{n+1} 은 기본형 저역통과필터(Prototype LPF)의 소자 값이다. 그

리고 $M_{i,i+1}$ 은 i 번째 공진기와 $i+1$ 번째 공진기의 결합 계수이며, FBW 는 비대역폭이다.

외부 Q 값은 공진기의 입출력단의 탭(Tap)의 위치와 연관이 있으며, 그림 1은 탭의 위치를 변화에 따른 외부 Q 값을 시뮬레이션해서 얻은 결과를 나타낸 것이다

컵라인 캐비티 필터의 공진기 사이의 구조는 입출력 포트가 없는 구조이기 때문에 고유공진모드의 첫 번째 공진주파수(f_1)과 두 번째 공진주파수(f_2)를 이용해서 다음과 같이 결합계수를 계산할 수 있다^[7].

$$k_E = \frac{f_m^2 - f_c^2}{f_m^2 + f_c^2} = \frac{C_m}{C} \quad (3)$$

여기서 k_E 는 결합계수, C_m 은 결합캐패시턴스 그리고 C 는 자기캐패시턴스이다. 제작의 편의를 위해서 인덕티브 윈도우 구조를 사용하는 것으로 하고, 결합 윈도우의 넓이에 따른 결합계수에 변화를 시뮬레이션한 결과는 그림 2와 같다.

필터의 설계과정은 다음과 같다. 우선 설계규격으로부터 기본형 저역통과필터의 단수가 결정되면, 그에 따른 외부 Q와 결합계수를 식 (2)로 계산한다. 다음으로는 탭의 위치와 윈도우의 넓이에 따른 외부 Q와 결합계수를 그림 1과 그림 2와 같이 시뮬레이션을 통해서 얻는다. 시뮬레이션 결과인 그림 1과 그림 2에서 식 (2)로 계산한 결과값에 맞는 필터의 물리적인 치수를 결정함으로써 필터의 설계가 완료된다.

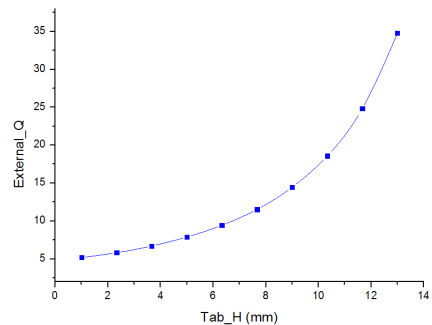


그림 1. Tab의 위치에 따른 External Q값
Fig. 1. External Q according to the position of Tab

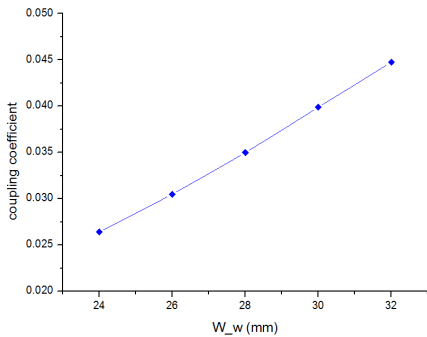


그림 2. 결합 윈도우 너비의 변화에 따른 결합계수
 Fig. 2. Coupling coefficient according to the width of the Coupling window

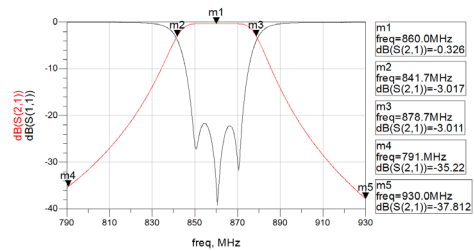
2. 제작 및 측정

필터뱅크의 설계 규격은 표 1에 나타내었다. 우선 필터뱅크는 하나의 물리적인 치수를 갖도록 설계하고, 튜닝봉의 높낮이만을 조절함으로써 필터의 대역통과특성을 가변시킬 수 있도록 설계해야한다. 표 1에 기술한 설계 규격에서 대역가장자리에서 ± 60 MHz 이격된 주파수에서 최소 20 dB의 감쇠특성을 갖는 것으로 되어 있기 때문에 기본형 저역통과필터는 3단 체비세프 필터를 선택하였다. 이를 토대로 식 (2), 그림 1과 그림 2의 시물레이션 데이터로부터 필터뱅크의 물리적인 치수를 결정하였다.

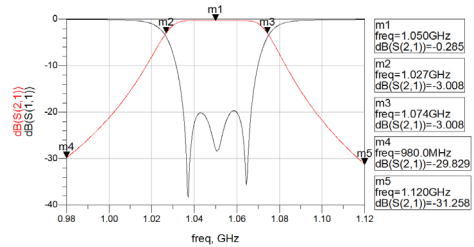
시물레이션 결과를 토대로 800 MHz ~ 1600 MHz의 주파수 범위에서 원하는 성능을 갖는 캐비티 가변필터의 구현을 위한 필터뱅크를 제작하였다. 그림 3에는 800 MHz ~ 1600 MHz를 5대역으로 나누어 제작한 필터뱅크의 성능 측정 결과를 나타내었다. 그림 3의 (e)에서 감쇠특성은 1620 MHz에서 19.974 dB로 설계 목표인 최소 20 dB 감쇠특성을 만족하지 못하였다. 이것은 필터의 중심주파수가 올라갈수록 동작주파수의 시작 주파수인 800 MHz 보다 동작주파수의 최고주파수인 1600 MHz에서 60 MHz는 상대적으로 매우 가까운 주파수 이격에서 감쇠특성을 측정하기 때문이다. 즉 그림 3의 (e)의 1660 MHz에서 이격거리 60 MHz는 약 3.6 %의 비대역 이격 거리를 갖는 반면에 그림 3의 (a)의 대역 가장자리는 870 MHz로 이 주파수에서 이격거리 60 MHz는 약 6.9 %의 비대역 이격거리를 갖게 된다. 만약 그림 3의 (a)와 동일한 비대역 이격거리 6.9 %를 (e)의 1660 MHz에 적용한다면, 대역 가장자리에서 114 MHz 떨어진 지점인 1774 MHz에서는 42.064 dB로 감쇠규격 20 dB를 충분히 만족

한다. 제작한 필터뱅크의 측정결과는 표 1에 필터의 규격과 함께 요약해서 나타내었다.

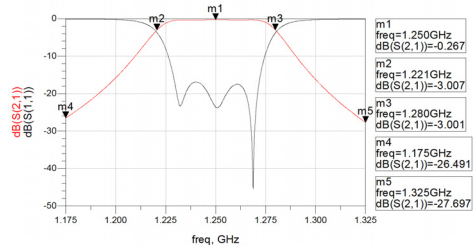
제작한 필터의 겉모양과 내부의 사진은 그림 4와 같다. Q_c 값이 27.05이므로 공진기의 아래에서 12mm 되는 지점에 연결을 하였으며, 결합계수는 0.029이므로 윈도우의 넓이를 26mm가 되도록 하였다. 그림 4의 (a)로부터 5개의 필터들은 물리적인 치수가 모두 동일함을 알 수 있다. 필터뱅크에 튜닝봉은 가변필터에서 물리적으로 위치를 조정해야할 대상이며, 그림 4의 (b)에서 볼 수 있듯이 중심주파수에 따라서 튜닝 봉들은 일정한 높이로 조절된다. 따라서 본 논문의 캐비티형 대역통과기에서 튜닝 봉을 전기적으로 조절할 수 있다면, 800 MHz ~ 1600 MHz에서 동작하는 캐비티형 가변필터로 제작이 가능함을 알 수 있다.



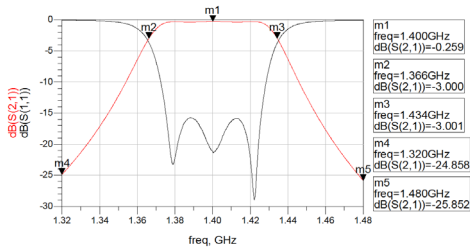
(a) 850 ~ 870 MHz



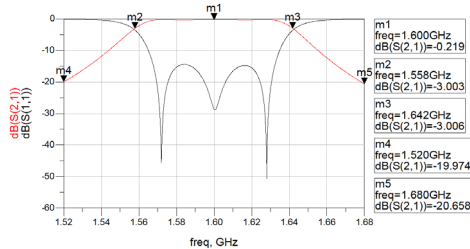
(b) 1040 ~ 1060 MHz



(c) 1235 ~ 1265 MHz



(d) 1380 ~ 1420 MHz



(e) 1580 ~ 1620 MHz

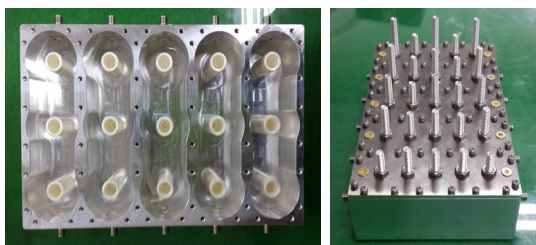
그림 3. 제작한 필터뱅크 측정 결과

Fig. 3. Measurement results of the implemented filter bank

표 1. 규격과 제작한 필터뱅크의 측정 결과 요약표

Table 1. Specifications and summary of the measurement results of the filter bank

| 구분 | 주파수범위 | 대역폭 | 삽입손실 | 감쇠특성 |
|-------|-------------|-----------|------------|------------------------------|
| 설계 목표 | 800~1600MHz | 100MHz 이내 | 1.5dB Max. | 20dB Min. @ Band Edge ±60MHz |
| (a) | 850~870 | 37 | 0.326 | 35.22 |
| (b) | 1040~1060 | 47 | 0.285 | 29.829 |
| (c) | 1235~1265 | 59 | 0.267 | 26.491 |
| (d) | 1380~1420 | 68 | 0.259 | 24.858 |
| (e) | 1580~1620 | 84 | 0.219 | 19.974 |



(a) 제작한 필터 내부

(b) 제작한 필터 외부

그림 4. 제작한 필터뱅크 사진

Fig. 4. The photograph of the implemented filter bank

III. 결론

본 논문에서는 800 MHz ~ 1600 MHz에서 동작하는 캐비티 가변필터의 구현을 위해서 필터뱅크를 설계하고 제작하였다. 제작한 필터뱅크는 800 MHz ~ 1600 MHz에 가변범위를 만족하고 삽입손실은 최대 0.326 dB, 대역폭은 37 ~ 84 MHz로 측정되었다. 감쇠특성은 대역 가장자리 ± 60 MHz 지점의 감쇠량은 최소 19.974 dB와 최대 37.812 dB의 감쇠특성을 보였다. 본 논문의 설계과정은 캐비티 가변필터의 설계에 적용할 수 있으며, 향후 본 논문의 연구결과를 바탕으로 튜닝봉을 전기적으로 위치 제어를 하는 캐비티 가변필터를 연구할 계획이다.

References

- [1] M. Kmec, M. Helbig and J. Sachs, "Integrated Ultra-Wideband Hardware for MIMO Sensing Using Pn-sequence Approach," IEEE ICUBW, Sep. 2012.
- [2] C.-H. Yang, T.-H. Yu and D. Marković, "A 5.8mW 3GPP-LTE Compliant 8×8 MIMO Sphere Decoder Chip with Soft-Outputs," IEEE VLSIC, June. 2010.
- [3] Won-Hui Lee and Tae-Jin Chung, "Implementation of Ultra-Wideband Microstrip Bandpass Filter for 10 Gb/s Wireless Transmission THz Transmitter and Receiver," JIIBC, vol. 11, no 4, pp. 1-8, August 2011.
- [4] B. W. Kim and S. W. Yun, "Varactor-tuned combline bandpass filter using step-impedance microstrip lines," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 52, pp. 1279 - 1283, 2004.
- [5] S.R. Chandler, I.C. Hunter and J.G. Gardiner, "Active varactor tunable bandpass filter," IEEE Microwave and Guided Wave Letters, vol. 3, no 3, pp. 70 - 71, March 1993.
- [6] G. L. Matthaei, L. Young and E. M. T. Jones, *Microwave Filters: Impedance-Matching Networks: and Coupling Structures*, Artech House, 1964.
- [7] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, "Couplings of microstrip square open-loop resonators for

- cross-coupled planar microwave filters," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 44, pp. 2099 - 2109, 1996.
- [8] Keehong Um, Sooyeup Yoo, Chairat Pinthong, "Derivation of Zeros from Externally-loaded Feed-forward Element of Filter Network," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 6, No. 1, pp. 13 - 15, 2012.
- [9] Jinyoung Kim, Changwon Jung, "Broad Band Stop Filter Using Frequency Selective Surface Embedded in Microwave Transmission Line," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol. 13, No. 12, pp. 6620 - 6626, 2012.

저자 소개

신 연 호(정회원)



- 2009년 : 군산대학교 전자정보공학부 (공학사)
 - 2009년 ~ 2011년 : 육군통신장교
 - 2014년 : 군산대학교 전자정보공학부 (공학석사)
- <관심분야 : RF, M/W 부품 및 시스템>

강 상 기(정회원)



- 1989년 : 삼성반도체통신
 - 1989년 ~ 1992년 : 해군통신장교
 - 2004년 : 충남대학교 전파공학과 (공학박사)
 - 1994년 ~ 2005년 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 - 2006년 ~ 2008년 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2005년 ~ 현재 : 군산대학교 정보통신공학과 부교수
<관심분야 : RF, M/W 부품 및 시스템>