

우수한 차단 대역 특성과 통과 대역 내에 저지 대역을 갖는 UWB 대역 통과 필터 설계

A Design of the UWB Bandpass Filter with a Good Performance of the Stopband, and Notched Band in Passband

안재민 · 김유선 · 표현성 · 이해선 · 임영석

Jaemin An · Yuseon Kim · Hyunseong Pyo · Hyesun Lee · Yeongseog Lim

요 약

분산 소자로 이루어진 고역 통과 필터의 최적화된 응답을 이용하여 우수한 차단 대역 특성과 통과 대역 내에 저지 대역을 갖는 UWB 대역 통과 필터를 설계·제작하였다. 변형된 고역 통과 필터의 등가 회로를 분산 소자로 구성하고, 최적화를 통해 FBW 100 % 이상의 넓은 통과 대역을 갖도록 하였다. Desegmentation technique로 급전 선로간의 커플링 효과를 분석하고, 이를 이용하여 통과 대역 상, 하측의 우수한 차단 특성을 구현하였다. 또한, 최근 문제가 되고 있는 Wireless LAN과 Hyper LAN 대역(5.15~5.825 GHz)에서의 간섭 문제 해결을 위해, spurline을 추가하여 대역 저지를 실현하였다. 제작된 필터는 3.1~10.55 GHz의 통과 대역과 0.94 ns 이하의 평탄한 군 지연 응답을 보였고, 통과 대역 양단의 우수한 차단 대역과 5.2~6.12 GHz의 저지 대역이 측정되었다.

Abstract

In this paper, we designed and fabricated a ultra-wideband(UWB) bandpass filter with a good performance of a stopband, and a notched band in passband. The transformed equivalent circuit of the highpass filter was realized by distributed element. A wide-passband with 3-dB fractional bandwidth of more than 100 % was achieved by using optimum response of the HPF. For improving lower and upper stopband characteristic, a cross coupling between feed lines was employed, which was analyzed by desegmentation technique. In order to reject interference of Wireless LAN and Hyper LAN(5.15~5.825 GHz), the narrow notched(rejection) band was realized by a spurline. The fabricated BPF indicated the passband from 3.1 to 10.55 GHz and the flat group delay of less than 0.94 ns over the entire passband except the rejection band. The filter shown sharp attenuation both inside and outside the band and notched band from 5.2 to 6.12 GHz.

Key words : Ultra-WideBand(UWB), Bandpass Filter, I/O Cross Coupling, Desegmentation Technique, Spurline

I. 서 론

UWB 무선 기술은 2002년 미 연방통신위원회(FCC)에서 3.1~10.6 GHz의 광대역 사용을 허가한 이후로 많은 학문적 연구와 상업적 응용이 진행 중

이다^[1]. 초 광대역을 점유하면서도 저전력의 초고속 데이터 전송이 가능하고 기존의 무선장치들과 작은 상호 간섭 영향으로 주파수를 공유하여 사용할 수 있다는 장점때문에 새로운 방식의 근거리 무선 통신 기술로 급부상되고 있다. 이에 따라, UWB 시스템에

「이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-1408).」

전남대학교 전자컴퓨터공학과(Department of Electronic and Computer Engineering, Chonnam National University)

· 논 문 번 호 : 20090930-112

· 교 신 저 자 : 임영석(e-mail : limys@chonnam.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2009년 11월 18일

적용하기 위하여 안테나, 필터 등을 포함한 많은 RF 소자들에 대한 연구들이 진행되고 있으며, 특히 UWB 대역 통과 필터는 방사 스펙트럼 제한과 수신 잡음 제거를 위한 중요 소자로서, 지속적인 연구와 설계 방법이 제시되고 있다^{[3]~[7]}.

광대역 필터 설계에 있어서, 주파수 독립적인 인버터를 사용한 기존의 필터 설계 방법은 계산된 통과 대역의 응답과 측정된 응답 사이에 주파수 이동, 대역폭의 감소와 같은 오차가 발생하게 된다^[2]. 이러한 문제점을 개선하고자 광대역 필터 설계에 적합한 새로운 설계 공식들이 제안되었으나, 여전히 계산과 측정 결과 간에 대역폭 차이가 발생하였다^[3]. 그리고 LTCC 기술을 이용한 적층형 구조^[4]와 이중 모드 링 공진기를 통한 광대역 필터^[5]는 각각 높은 커플링 구현의 어려움으로 인한 협소한 대역폭, 다수의 공진기로 인한 크기 증가의 한계점을 보였다. 이후, 다중 모드(multiple mode) 공진기를 이용한 설계^[6]부터 저역 통과 필터와 고역 통과 필터의 합성을 통한 UWB 대역 통과 필터^[7]에 이르기까지 넓은 통과 대역과 작고 평탄한 군 지연 응답을 얻기 위한 노력들이 계속되고 있다.

본 논문에서는 통과 대역 양단의 우수한 차단 특성과 통과 대역 내에 저지 대역을 갖는 UWB 대역 통과 필터를 설계·제작하였다. 변형된 고역 통과 필터의 등가 회로를 분산 소자로 구성하여, 상측 3-dB 차단 주파수를 UWB 대역에 맞게 최적화^[8]하고, 3개의 스테브로 통과 대역 내에 7개의 폴을 발생시켰다. 그리고 desegmentation technique^[9]로 급전 선로간의 커플링 효과^[10]를 분석하여 우수한 차단 특성을 구현하였다. 또한, 최근 문제가 되고 있는 Wireless LAN과 Hyper LAN 대역(5.15~5.825 GHz)에서의 간섭 문제의 해결을 위해, spurline 구조를 추가하여 대역 저지를 실현하였다. 그림 1은 본 논문에서 설계·분석하고자 하는 UWB 대역 통과 필터의 설계 과정을 나타내고 있다.

II. UWB 대역 통과 필터 설계

2-1 기본 UWB 필터 설계

그림 1은 분산 소자로 구성된 고역 통과 필터의 최적화된 고조파 성분을 이용한 기본 UWB 대역 통

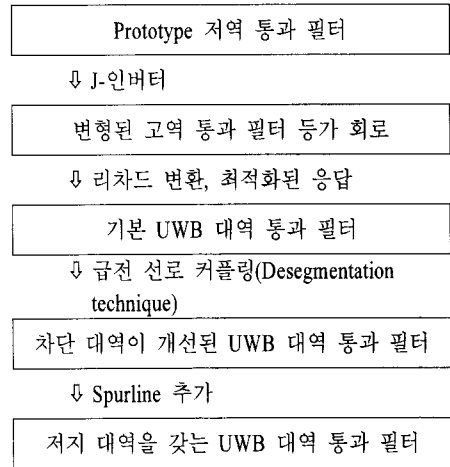


그림 1. 제안된 UWB 대역 통과 필터 설계 과정
Fig. 1. Design procedure of the proposed UWB band-pass filter.

과 필터의 설계 과정을 나타내고 있다. 먼저, prototype 저역 통과 필터를 동일한 prototype 값을 갖는 고역 통과 필터로 변환한다. 1.0-dB 통과 대역 리플을 갖는 3차 Chebyshev 저역 통과 prototype으로, 해당 파라미터 값은 $g_1=g_3=2.0237$, $g_2=0.9941$ 이다.

g_2 의 양단에 1의 값을 갖는 J-인버터를 사용하면 중앙의 직렬 인덕터는 병렬 커패시터로 바뀌어 리차드 변환을 통해 중단이 단락된 스테브로 구현이 가능하다^[11]. 하지만 2.0237의 값을 갖는 g_1 , g_3 는 리차드 변환을 사용하면 101.2 Ω의 높은 특성 임피던스를 갖게 되어, 보다 작은 값의 prototype 값이 필요하다. 보다 작은 스테브 특성 임피던스의 구현을 위해 g_1 , g_3 각각의 양쪽에 추가적으로 임의의 값을 갖는 J-인버터를 사용하여 g_1 , g_3 의 값을 조정하였다. 조정하기 전의 prototype, 인버터 값을 g_1 , g_3 , J 라 하고, 조정 후의 값을 각각 g_{1i} , g_{3i} , J_i 라 했을 때, 그림 2(a)와 (b)의 인버터 양단에서 본 어드미턴스 Y_1 과 Y_{1i} 가 같아야 하는 조건과 인버터의 정의에 의해 위 값들의 관계는 식 (1)과 같다.

$$J_i = \sqrt{\frac{g_1}{g_{1i}}}, \quad (g_1 = g_3, g_{1i} = g_{3i}) \quad (1)$$

설계의 편의를 위해 $g_{1i}=J_i$ 의 조건을 적용하면 변형된 고역 통과 필터 등가 회로의 g_{1i} , g_{3i} , J_i 의 값은 1.265로 63.3 Ω의 특성 임피던스를 갖는 스테브로

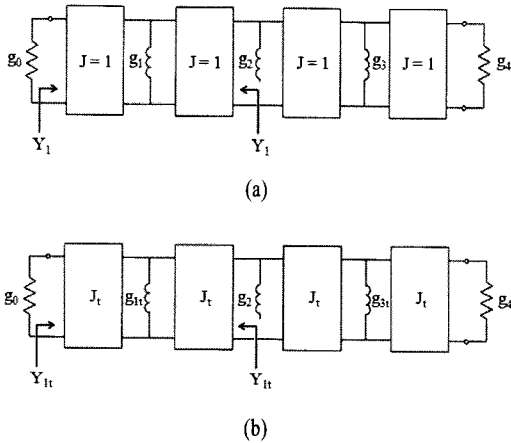


그림 2. (a) 고역 통과 필터 등가 회로, (b) 변형된 고역 통과 필터 등가 회로
 Fig. 2. (a) Equivalent circuit of the highpass filter, (b) Transformed equivalent circuit of the highpass filter.

구현이 가능하다. 조정된 prototype 값 g_{1t} , g_{3t} 와 인버터 J_t 는 각각 차단 주파수 $f_c=3.1$ GHz에서 45° 의 전기적 길이를 갖는 단락 스텐브와 90° 전기적 길이의 선로로 구성된다.

분산 소자로 구성된 필터는 주파수 주기적 특성 때문에 상측의 차단 주파수가 9.3 GHz에 발생하게 된다. 상측 차단 주파수를 10.6 GHz로 상향 조정하기 위해서, 각 스텐브와 선로의 특성 임피던스, 전기적 길이를 조절하였고^[8], 통과 대역 3.1~10.6 GHz의 최적화된 UWB 필터 응답을 얻었다. 그림 3은 최적화된 필터의 구조를 나타내고 있으며, 스텐브와 선로의 특성 임피던스, 전기적 길이는 표 1과 같다.

기존의 UWB 필터^[8]와 본 논문에서 제시된 필터의 주파수 응답을 전송 선로 이론을 바탕으로 계산하여 그림 4에 도시하였다. 스텐브 1과 3의 특성 임피던스 조정을 위해 추가한 선로로 인해 2개의 폴이 더해져, 통과 대역 내에 7개의 폴이 계산되었다. n 을 스텐브의 개수라 했을 때, 기존의 필터는 $2n-1$ 개의 폴이 발생^[8]한 반면 제안된 필터는 $2n+1$ 의 폴이 발생하게 된다. 이로 인해, 통과 대역 양단의 차단 특성이 개선되어 보다 선택도 높은 필터의 설계가 가능하다.

제안된 필터는 비유전율 2.4와 두께 0.79 mm의 Teflon 유전체에 도체부를 인쇄하여 제작하였다. 그

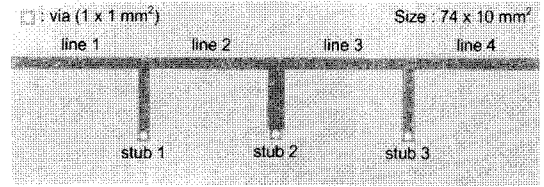


그림 3. 최적화된 UWB 대역 통과 필터
 Fig. 3. Optimized UWB bandpass filter.

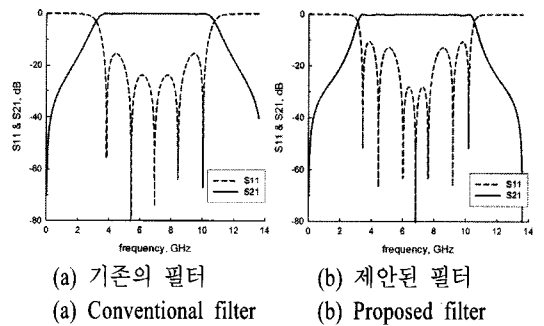


그림 4. 기존 필터와 제안된 필터의 주파수 응답 비교
 Fig. 4. Comparison of the frequency response between conventional and proposed UWB filter.

표 1. UWB 대역 통과 필터의 파라미터
 Table 1. Parameters for the UWB filter.

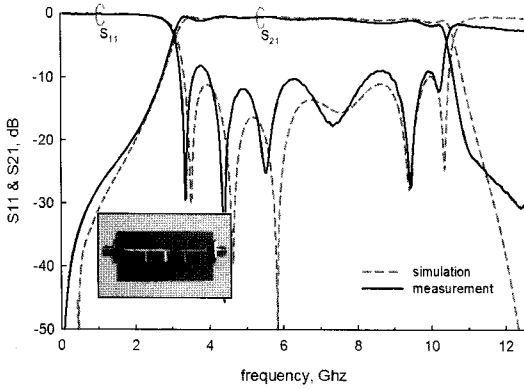
	특성 임피던스	전기적 길이(@ f_c)
스텐브 1, 3	63.3 Ω	41.03°
스텐브 2	49.1 Ω	41.03°
선로 1~4	63.3 Ω	82.06°

림 5는 제작된 필터의 주파수와 군 지연 응답을 보여준다. 중심 주파수 6.74 GHz, FBW=109.5 %의 주파수 응답과 통과 대역에서 평균 -0.8 dB의 삽입 손실, 0.96 ns 이하의 평탄한 군 지연 응답이 측정되었다. 또한, 3개의 스텐브와 추가된 선로로 6개의 폴이 측정되었으며, 이로 인해 통과 대역 양단의 개선된 차단 특성을 얻을 수 있었다.

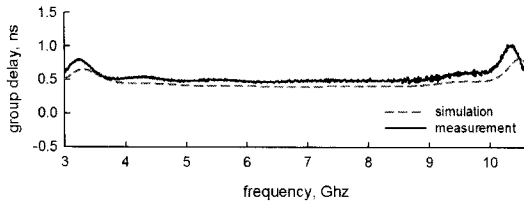
2-2 급전 선로 간의 교차결합 특성 분석

그림 6은 앞 절에서 설계한 필터의 변형된 구조를 나타내고 있다. 필터의 선로를 적절히 구부려 급전 선로 사이의 커플링을 유도하였다. 이와 같은 급전

우수한 차단 대역 특성과 통과 대역 내에 저지 대역을 갖는 UWB 대역 통과 필터 설계



(a) 주파수 응답의 측정 결과
(a) Measured frequency response



(b) 군지연 응답의 측정 결과
(b) Measured group delay response

그림 5. UWB 대역 통과 필터의 측정 결과
Fig. 5. Measured results for UWB bandpass filter.

선로 간의 커플링 효과는 통과 대역 양단에 전송 영점을 발생시켜, 차단 특성 개선을 가능하게 한다^[10].

그림 6의 구조는 대칭이기 때문에, Even-, Odd-mode 해석을 바탕으로 커플링 효과를 분석할 수 있다^[10]. 하지만, 많은 계산이 필요하고 비대칭 평행 결합 선로의 경우 분석의 한계가 있기 때문에, 네트워

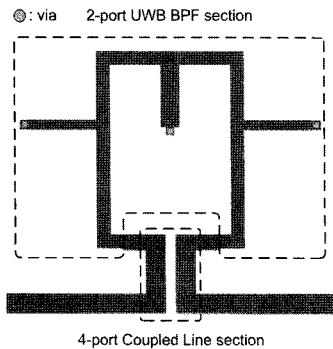


그림 6. 변형된 UWB 대역 통과 필터의 구조
Fig. 6. Transformed structure of the UWB BPF.

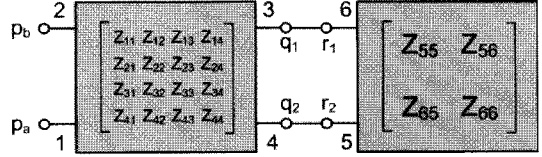


그림 7. 연결된 네트워크의 표현
Fig. 7. The illustration of the connected network.

크의 임피던스 행렬을 이용한 Desegmentation technique를 사용하였다. Desegmentation technique는 복잡한 전체 네트워크를 간단한 네트워크들의 결합으로 분석하여, 전체의 특성을 계산할 수 있게 한다^[9].

변형된 필터는 앞 절에서 설계한 UWB 필터(2-포트)와 평행 결합 선로(4-포트)가 연결된 네트워크이고, 그림 7과 같이 표현할 수 있다.

입력과 출력이 되는 포트를 각각 p_a, p_b 로, 연결된 포트 중 4-포트 네트워크의 것을 q_1, q_2 , 2-포트 네트워크의 것을 r_1, r_2 로 쓴다면 전체 네트워크의 임피던스 행렬은 식 (2)와 같다.

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_q \\ V_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{pp} & Z_{pa} & Z_{pr} \\ Z_{qp} & Z_{qa} & 0 \\ Z_{rp} & 0 & Z_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_q \\ I_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

위의 행렬을 정리하면 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$V_{pa} = Z_{p_a p_a} I_{p_a} + Z_{p_a p_b} I_{p_b} + Z_{p_a q} I_q \quad (3-1)$$

$$V_{pb} = Z_{p_b p_a} I_{p_a} + Z_{p_b p_b} I_{p_b} + Z_{p_b q} I_q \quad (3-2)$$

$$V_q = Z_{q p_a} I_{p_a} + Z_{q p_b} I_{p_b} + Z_{q q} I_q \quad (3-3)$$

$$V_r = Z_{rr} I_r \quad (3-4)$$

식 (3-3)과 (3-4)에 두 네트워크의 연결 조건 $V_q = V_r, I_q = -I_r$ 을 적용하면 전류 I_q 는 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$I_q = (Z_{qq} + Z_{rr})^{-1} (-Z_{q p_a} I_{p_a} - Z_{q p_b} I_{p_b}) \quad (4)$$

이를 이용하여 전체 네트워크를 입력(p_a)과 출력(p_b)의 임피던스 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} V_{p_a} \\ V_{p_b} \end{bmatrix} = [Z_T] \begin{bmatrix} I_{p_a} \\ I_{p_b} \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

$$[Z_T] = \begin{bmatrix} Z_{p_a p_a} & Z_{p_a p_b} \\ Z_{p_b p_a} & Z_{p_b p_b} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{p_a q} \\ Z_{p_b q} \end{bmatrix} [Z_{qq} + Z_{rr}]^{-1} \begin{bmatrix} -Z_{q p_a} & -Z_{q p_b} \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

식 (5-2)를 실제 네트워크에 대응되는 임피던스로 바꿔주면 전체 네트워크의 최종 임피던스 행렬은 식 (6)으로 귀결된다.

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_{13} & Z_{14} \\ Z_{23} & Z_{24} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_{33} + Z_{66} & Z_{34} + Z_{65} \\ Z_{43} + Z_{56} & Z_{44} + Z_{55} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -Z_{31}, & -Z_{32} \\ -Z_{41}, & -Z_{42} \end{bmatrix} \quad (6)$$

위의 식에서, $Z_{11} \sim Z_{44}$ 는 4-포트 평행 결합 선로의 임피던스 행렬 파라미터이고^[12], 2-포트 UWB 대역 통과 필터의 임피던스 행렬 파라미터($Z_{55}, Z_{56}, Z_{65}, Z_{66}$)는 2-1절에서 그림 4(b)를 도시하기 위해 계산한 것을 사용하였다.

식 (6)을 이용하여 계산한 전체 네트워크의 주파수 응답을 그림 8에 나타내었다. 결합 선로의 길이는 상부 구조에 영향을 미치지 않도록 중심 주파수 (6.85 GHz)의 82° 전기적 길이로 고정하고, 선로의 결합도 $C=(Z_{0e}-Z_{0o})/(Z_{0e}+Z_{0o})$ 를 변화시켰다. 이때의 선로 특성 임피던스 $Z_0 = \sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}$ 는 50 Ω이다.

하측의 전송 영점은 결합도가 증가할수록 1.72 GHz를 중심으로 양쪽으로 이동하는 추이를 보였으나, 상측의 전송 영점은 결합도의 증감에 관계없이 비슷한 위치에서 발생하였다. 또한, 결합이 전혀 없는($C=0$) 경우의 주파수 응답은 그림 4(b)와 같음을 알 수 있다. 그림 8을 바탕으로, 0.10~0.11의 결합도를 선택했을 때 통과 대역 양단에 우수한 차단 대역 특성을 얻을 수 있다.

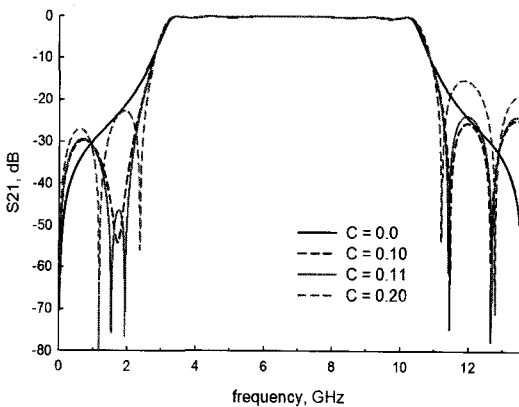


그림 8. 결합도(C)에 따른 주파수 응답 변화
Fig. 8. Calculated frequency responses with various coupling level(C).

2-3 대역 저지 구현

Wireless LAN과 Hyper LAN 대역(5.15~5.825 GHz) 저지는 그림 6의 필터에 spurline^[13]을 추가하여 구현하였다. 급전 선로 사이의 커플링 유도를 위해 구부린 선로에 중단이 개방된 스텐브를 추가하였다. 그림 9는 spurline이 추가된 UWB 대역 통과 필터와 spurline의 구조를 나타내고 있다.

대역 저지를 위한 개방 스텐브의 길이(SL)는 중심 주파수의 1/4 파장이 되고, 3-dB 차단 대역은 spurline의 폭(SW)과 spurline과 선로의 간격(SG)로 조절이 가능하다^[13]. 그림 10은 다양한 SW와 SG에 따른 FBW의 변화를 보여준다.

기본적으로 spurline의 폭 SW를 변화시켜 차단 대역을 조절할 수 있다. 그리고 선로 사이의 거리 SG를 변화시키면, 선로가 spurline에 미치는 결합량이 조절되어 차단 대역에 영향을 미치게 된다. 그림 10을 통해 SW와 SG가 작아질수록 차단 대역이 좁아져 협소한 대역 저지가 가능함을 알 수 있다. 5.15~5.825 GHz(FBW=12.4 %)의 대역 저지를 위한 구조 변수 SW와 SG, SL은 각각 0.3, 0.3, 9.63 mm이다.

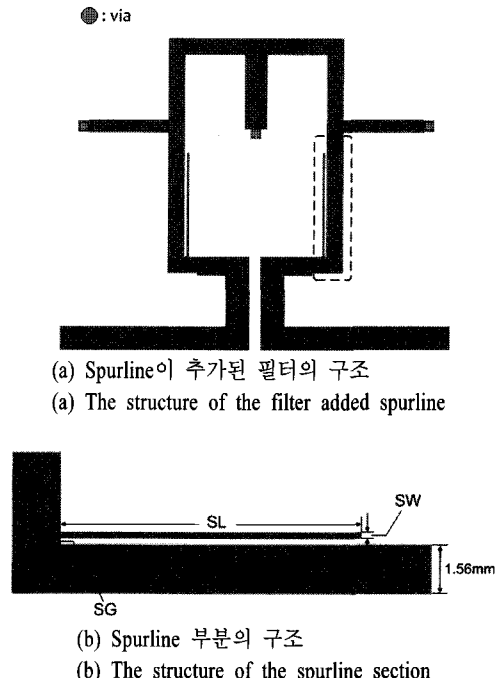


그림 9. Spurline이 추가된 UWB 대역 통과 필터
Fig. 9. UWB bandpass filter added spurline.

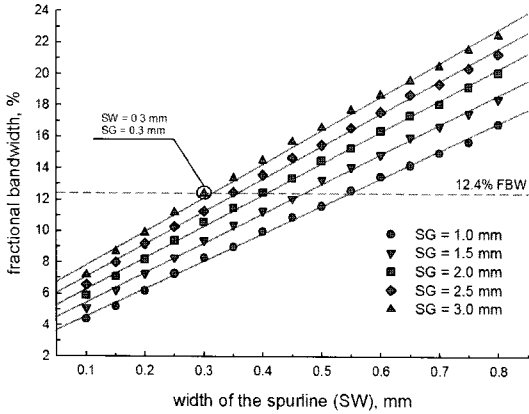


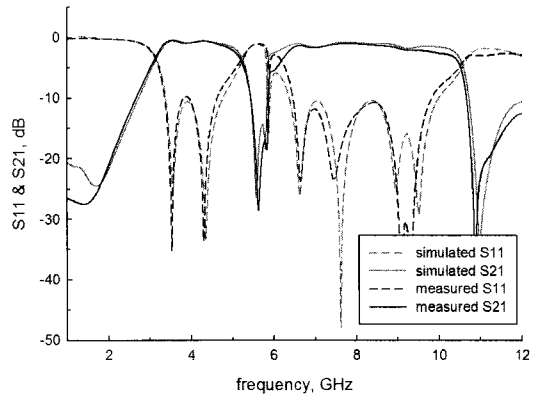
그림 10. SW와 SG에 따른 FBW의 변화
Fig. 10. FBW for spurline with various SW and SG.

III. 측정 및 결과

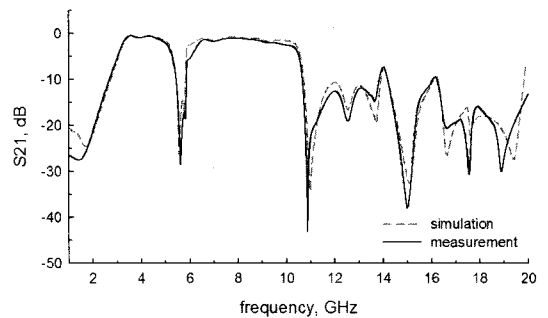
제안된 UWB 대역 통과 필터는 비유전율 2.4, 두께 0.79 mm의 Teflon 유전체를 사용하여 제작하였다. 그림 11은 제작된 필터의 외형을 보여주며, 그림 12와 그림 13은 각각 주파수, 군 지연 응답의 측정 결과를 나타낸다. 측정은 Agilent Technology社의 E5071C를 사용하였다.

측정된 통과 대역은 3.1~10.55 GHz로, 3-dB FBW 108.7%의 넓은 통과 대역이 구현되었다. 통과 대역 상, 하측에 전송 영점이 발생하여 우수한 차단 대역 특성이 관찰되었다. 특히 통과 대역 상측에 발생한 전송 영점들은 필터의 높은 선택도를 구현하였을 뿐만 아니라, 고조파 성분을 억제하여 통과 대역 이상의 주파수에서도 우수한 특성을 보였다.

그리고 통과 대역내의 저지 대역은 5.2~6.12 GHz로, Wireless LAN, Hyper LAN 대역을 만족한다. 하



(a) 통과 대역 내의 주파수 응답
(a) Frequency response in UWB pass band



(b) 광대역 주파수 응답
(b) Frequency response for wide band

그림 12. 주파수 응답의 측정 결과
Fig. 12. Measured frequency responses for UWB band-pass filter.

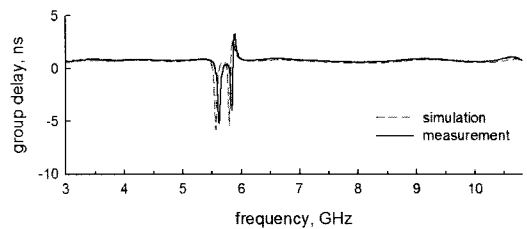


그림 13. 군 지연 응답의 측정 결과
Fig. 13. Measured group delay response for UWB bandpass filter.

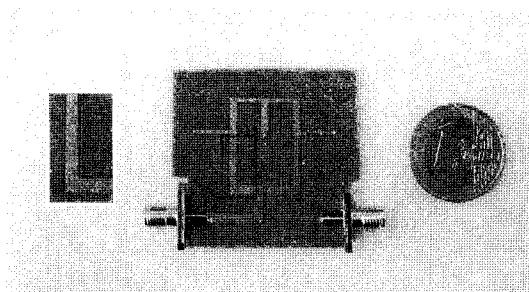


그림 11. 제작된 UWB 대역 통과 필터
Fig. 11. The fabricated UWB bandpass filter.

지만 통과 대역 내의 폴 위치와 대역 저지를 위한 전송 영점의 위치가 근접하므로, 저지 대역 부근의 주파수에서는 구조에 대한 민감도가 증가하게 된다. 이러한 이유로, 저지 대역 부근에서 미소한 측정 오차가 발생하였다. 군 지연은 저지 대역을 제외한 통과 대역 내에서 0.59~0.94 ns의 평탄한 응답이 측정되었다.

전체 필터의 크기는 $26.4 \times 29.6 \text{ mm}^2$ 로, 2-1절의 제작 필터($73.7 \times 10.0 \text{ mm}^2$)와 비교하여 크기의 증가없이 우수한 특성이 구현되었다.

IV. 결 론

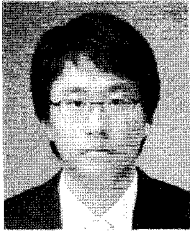
본 논문에서는 통과 대역 상, 하측의 우수한 차단 특성과 통과 대역 내의 저지 대역을 갖는 UWB 대역 통과 필터를 설계·제작하였다. 변형된 고역 통과 필터의 최적화된 응답을 이용하여, 3개의 단락 스텔브로 통과 대역 내에 7개의 폴을 발생시켰다. Desegmentation technique를 필터의 네트워크에 적용하여 급전 선로 사이의 커플링 효과를 분석하고, 이를 통해 통과 대역 상, 하측에 전송 영점을 발생시켜 필터의 선택도를 높이고 고조파 성분을 억제하였다. Spurline의 구조 변수를 변화시켜 차단 대역폭 조절이 가능함을 보였으며, 이를 이용하여 통과 대역 내에 선택적 대역 저지를 구현하였다.

제작된 필터는 3.1~10.55 GHz의 넓은 통과 대역과 5.2~6.12 GHz의 협소한 저지 대역이 관찰되었다. 군 지연 응답은 저지 대역을 제외한 통과 대역 내에서 0.59~0.94 ns로 나타나, UWB 통신 시스템에서 수신된 펄스 파형의 왜곡이 작을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Federal Communications Commission, "Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems", *Tech. Rep., ET-Docket 98-153, FCC 02-48*, Apr. 2002.
- [2] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. Jones, *Microwave Filters, Impedance-matching Networks, and Coupling Structures*, Artech-House, 1980.
- [3] K. S. Chin, L. Y. Lin, and J. T. Kuo, "New formulas for synthesizing microstrip bandpass filters with relatively wide bandwidths", *IEEE Microwave Wire-less Compon. Lett.*, vol. 14, no. 5, pp. 231-233, May 2004.
- [4] C. W. Tang, C. C. Tseng, H. H. Liang, and S. F. You, "Development of ultra-wideband LTCC filter", *IEEE ICU*, pp. 5-8, Sep. 2005.
- [5] H. Ishida, K. Araki, "Design and analysis of UWB bandpass filter with ring filter", *IEEE MTT-S Int. Dig.*, pp. 1307-1310, Jun. 2004.
- [6] L. Zhu, S. Sun, and W. Menzel, "Ultra-wideband (UWB) bandpass filters using multiple-mode resonator", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 15, no. 11, pp. 796-798, Nov. 2005.
- [7] C. L. Hsu, F. C. Hsu, and J. T. Kuo, "Microstrip bandpass filter for ultra-wideband(UWB) wireless communications", *IEEE MTT-S Int. Dig.*, pp. 679-682, Jun. 2005.
- [8] J. S. Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [9] K. C. Gupta, M. D. Abouzahra, *Analysis and Design of Planar Microwave Components*, IEEE Press, pp. 75-86, 1994.
- [10] H. Shaman, J. S. Hong, "A novel ultra-wideband (UWB) bandpass filter(BPF) with pairs of transmission zeros", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 17, no. 2, pp.121-123, Feb. 2007.
- [11] P. I. Richards, "Resistor-transmission-line circuits", *Proc. IRE*, vol. 36, no. 2, pp. 217-220, Feb. 1948.
- [12] E. M. T. Jones, J. T. Bolljahn, "Coupled-strip-transmission line filters and directional couplers", *IRE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-4, pp. 78-81, Apr. 1956.
- [13] Cam Nguyen, Kai chang, "On the analysis and design of spurline bandstop filters", *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. MTT-33, no. 12, pp. 1416-1421, Dec. 1985.

안 재 민



2009년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 소자 설계

이 혜 선



2009년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 소자 설계

김 유 선



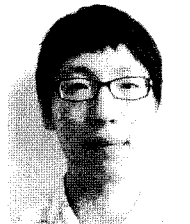
2004년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학사)
2006년 2월: 전남대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월~현재: 전남대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 소자 설계, 안테나

임 영 석



1980년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1982년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1989년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)
1984년 9월~현재: 전남대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 전자파 수치 해석, 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 소자 설계, 안테나

표 현 성



2009년 2월: 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계 및 해석, RF 소자 설계, 전자파 수치 해석