

UWB용 대역 저지 필터 설계

Design of a Band-Stop Filter for UWB Application

노양운 · 홍석진* · 정경호** · 정지학* · 최재훈*

Yang-Woon Roh · Seok-Jin Hong* · Kyung-Ho Chung** · Ji-Hak Jung* · Jae-Hoon Choi*

요 약

본 논문에서는 초광대역(UWB: Ultra-Wideband) 무선 통신 시스템에 적합한 소형의 마이크로스트립 대역 저지 필터를 제안한다. 제안된 필터는 50 Ω 마이크로스트립 선로 좌측에 단락 스텐브(short-circuited)를 이용한 고역 필터와 우측에 결합 공진기를 이용한 대역 저지 필터를 합성하였다. 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 초광대역 특성을 갖는 고역 필터를 설계하기 위해서 the mixed lumped/distributed(L/D) 방법을 이용하였다. 또한 원하는 주파수 대역의 협대역 저지 필터를 설계하기 위해서 3개의 결합 공진기(coupled resonator)를 이용하였다. 공진기를 미앤더(meander) 형태로 구현함으로써 L-형태의 공진기에 비해 면적을 29 % 정도 소형화시켰다. 측정 결과 3-dB 삽입 손실을 기준으로 146.7 %(2.1 GHz~10.15 GHz)의 광대역 통과 특성을 얻었으며 10.04 %(5.2 GHz~5.75 GHz)의 저지 대역을 나타내었다. 측정된 군 지연(group delay) 특성은 저지 대역을 제외한 주파수 대역에서 0.7 ns 미만이다.

Abstract

A compact microstrip band-selective filter for ultra-wideband(UWB) radio system is proposed. The filter combines the traditional short-circuited stub highpass filter and coupled resonator band-stop filter on both sides of the mitered 50-ohm microstrip line. To realize the pseudo-highpass filtering characteristic over UWB frequency band(3.1 GHz to 10.6 GHz), a distributed highpass filter scheme is adopted. Three coupled resonators are utilized to obtain the band stop function at the desired frequency band. By meandering the coupled resonators, there is 29 % size reduction in footprint compared to the traditional band-stop filter using L-shaped resonators. The measured results show that the filter has a wide passband of 146.7 %(2.1 GHz to 10.15 GHz) with low insertion loss and the stop band of 10.04 %(5.2 GHz to 5.75 GHz) for 3-dB bandwidth. The measured group delay is less than 0.7 ns within the passband except the rejection band.

Key words : Band-Stop Filter, Band Stop Filter, Microstrip Filter, UWB

I. 서 론

최근 들어 UWB 통신은 센서(sensors), 레이더(radar), 의료 분야(medical applications)에 이르기까지 근거리 초고속 무선 통신 서비스의 화두로 떠오르고 있다. 이러한 UWB 통신이 신뢰성 있는 서비스를 제

공하기 위해서는 안테나, 필터, 저잡음 증폭기(LNA: Low Noise Amplifier)와 같은 RF 소자들에 대한 연구가 선행되어야 한다.

이미 3.1~10.6 GHz의 주파수 대역에서 사용 가능한 다양한 UWB 안테나들이 제안되었다^{[1]~[3]}. 그러나 UWB 통신의 광대역 주파수 범위에서 사용 가능

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구 센터 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음 (IITA-2005-(C1090-0502-0030)).」
삼성전자 무선사업부(Mobile Communication Division Telecommunication Network Business, Samsung Electronics Co., LTD.)

*한양대학교 전자통신컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University)

**LG 전자 기술원 소자 재료연구소(RF Group, Devices & Material Lab., LG Electronics Institute of Technology)

· 논문 번호 : 20051105-01S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 4일

한 필터의 설계에 대한 연구는 아직 미비한 실정이다. 또한 최근 문제가 되고 있는 wireless LAN과 hiper LAN의 주파수 대역(5.15 GHz~5.825 GHz)에서의 간섭 문제로 인해 해당 대역에서 대역 저지 특성을 보이는 필터의 설계가 요구되고 있다.

기본적인 필터의 설계에 대한 연구는 Matthaei와 Young에 의해서 이루어졌다^[4]. Hong은 마이크로스트립 구조를 이용하여 다양한 필터 설계 기법을 제시하였다^[5]. UWB용 필터는 Wang에 의해서도 소개되었다^[6]. 하지만 일반적인 $\lambda/4$ 스테브의 사용으로 인해 저지 대역폭이 불필요하게 넓다는 문제점이 있다. 따라서 5 GHz 부근에서는 협대역 저지 특성을 가지는 새로운 형태의 필터의 설계가 필요하다.

본 논문에서는 마이크로스트립 구조에 세 개의 단락 스테브와 세 개의 미앤더 형태의 공진기를 이용하여 UWB 통신용 필터를 설계하였다. 제안된 필터는 50 Ω 마이크로스트립 선로 좌측에 단락 스테브를 이용한 고역 필터와 우측에 결합 공진기를 이용한 대역 저지 필터를 합성하였다. 각각의 필터는 Hong^[5]에 의한 설계 방법을 따랐으며, 이후 3차원 설계 툴을 이용하여 설계한 후 파라미터들을 변화시켜 최적의 특성을 나타내도록 하였다.

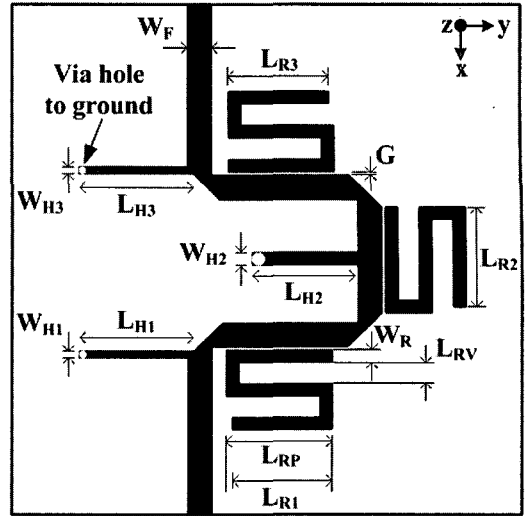
II. 구조 및 설계

그림 1은 제안된 필터의 기본 구조 및 고역 필터와 대역 저지 필터의 등가 모델을 나타낸다. 제안된 필터는 5 GHz 부근에서 협대역 저지 특성을 유도하기 위해 고역 필터의 구조에 결합 공진기를 적용하였다.

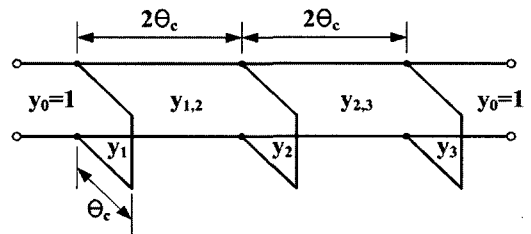
설계된 대역 선택 필터는 두께가 30 mil, 비유전율 (ϵ_r)이 3.48인 Rogers RO4350 기판을 사용하였으며, Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structure Simulator) 툴을 이용하여 모델링하였다^[8].

먼저 3.1 GHz에서 10.6 GHz까지의 초광대역 특성을 갖는 고역 필터를 설계하기 위해서 the mixed lumped/distributed(L/D) 방법을 이용하였다^[7]. 제안된 고역 필터는 차단 주파수 f_c 에서 전기적 길이 θ_c 를 가지는 3개의 병렬 단락 스테브들로 구성된다. 고역 필터의 전달 함수, 필터 특성은 식 (1), (2)로 계산된다.

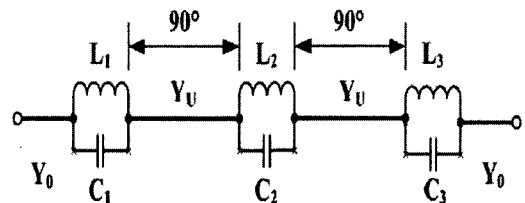
$$|S_{21}(\theta)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 F_M^2(\theta)} \quad (1)$$



(a) 제안된 필터 구조
(a) Geometry of the proposed filter



(b) 고역 필터의 등가 전송 선로 모델
(b) Equivalent transmission line model for the highpass filter



(c) 대역 저지 필터의 등가 회로 모델
(c) Equivalent circuit model for the band-stop filter

그림 1. 제안된 마이크로스트립 필터
Fig. 1. The proposed microstrip filter.

$$F_N(\theta) = \frac{(1 + \sqrt{1 - x_c^2}) T_{2n-1}(\frac{x}{x_c}) - (1 - \sqrt{1 - x_c^2}) T_{2n-3}(\frac{x}{x_c})}{2 \cos(\frac{\pi}{2} - \theta)} \quad (2)$$

위의 식 (1), (2)에서 ϵ 는 대역 통과 상수, θ 는 전기적 길이, $T_n(x)$ 는 n차 체비셰프(Chevyshev) 함수이다. 주어진 종단 임피던스 Z_0 에 대한 각 선로 임피던스는 식 (3), (4)와 같다.

$$Z_i = Z_0/y_i \quad (3)$$

$$Z_{i,i+1} = Z_0/y_{i,i+1} \quad (4)$$

결과적으로 계산된 스텐브들의 특성 임피던스는 각각 $Z_1 = Z_3 = 82.7 \Omega$, $Z_2 = 58.5 \Omega$, $Z_{1,2} = Z_{2,3} = 49.1 \Omega$ 이고 θ_c 는 40.68° 의 길이를 가지며 스텐브의 간격은 $2\theta_c$ 이다. 그림 2는 최종적으로 설계된 고역 필터의 시뮬레이션된 S-parameter 특성을 나타낸다.

다음으로 협대역 저지 필터를 설계하기 위하여 통과 대역 삽입 손실 값이 0.1 dB인 3차 체비셰프 저역 통과 필터가 사용되었다^[5]. 공진기 간의 간격은 중심 주파수 5.49 GHz를 기준으로 약 $\lambda_g/4$ 이고 공진기들의 길이는 약 $\lambda_g/2$ 이다.

협대역 저지 필터를 설계하기 위해 먼저 커플링 갭(coupling gap)의 변화에 따른 50 Ω 마이크로스트립 선로에 커플링된 미앤더 형태의 공진기의 중심 주파수와 정규화된 리액턴스(reactance) 값을 알아보았다.

그림 3에서 알 수 있듯이 커플링 갭의 간격이 좁아질수록 감쇄 폴(attenuation pole)은 높은 감쇄율과 함께 저주파 대역으로 이동하는 특성을 보인다.

설계 절차를 간단히 하기 위해 커플링 갭을 1 mm로 고정한 후 공진기 수에 따른 대역 저지 특성을 그림 4에 나타내었다.

최종적으로 설계된 세 개의 공진기를 가진 대역 저지 필터는 5.65 GHz에서 최대 49.2 dB의 감쇄율을 보이며 3-dB 저지 대역폭은 5.2 GHz~5.75 GHz이다.

마지막으로 설계된 두 필터를 결합하여 시뮬레이

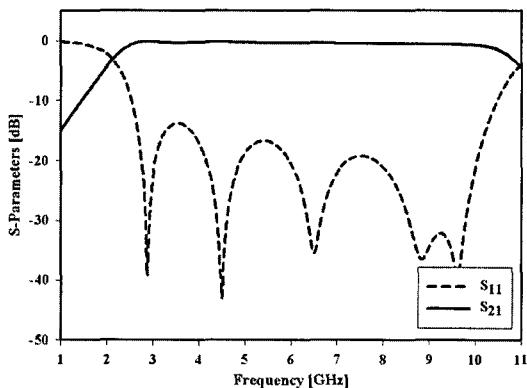


그림 2. 고역 필터의 시뮬레이션된 S-parameter 특성
Fig. 2. The simulated S-parameters characteristics of the designed highpass filter.

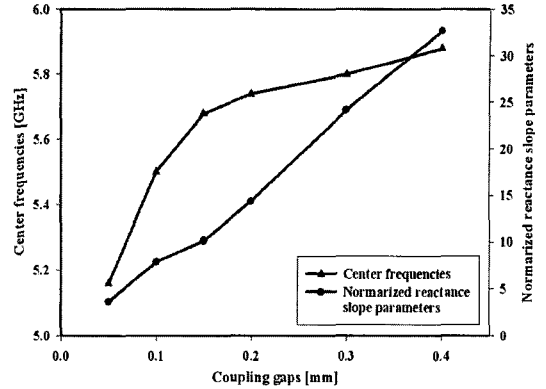


그림 3. 커플링 갭 간격에 따른 중심 주파수와 정규화된 리액턴스 기울기 값

Fig. 3. Center frequencies and normalized reactance slope parameters against different coupling gaps.

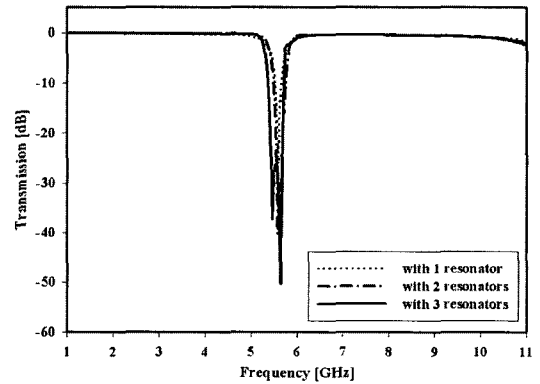


그림 4. 제안된 대역 저지 필터의 시뮬레이션된 삽입 손실

Fig. 4. The simulated transmission response of the designed band-stop filter.

션된 결과를 그림 5에 나타내었다. 설계 과정을 통하여 최적화된 대역 저지 필터의 파라미터는 표 1에 요약하였다.

III. 제작 및 측정

시뮬레이션 결과를 통하여, 제안된 대역 선택 필터는 Rogers RO4350 기판을 이용하여 제작하였다. 제작된 대역 선택 필터의 전체 크기는 30 mm×30 mm이다. 제작된 대역 선택 필터는 Agilent사의 8719ES 벡터 회로망 분석기로 측정하였다.

그림 6은 제작된 대역 저지 필터의 측정된 S-para-

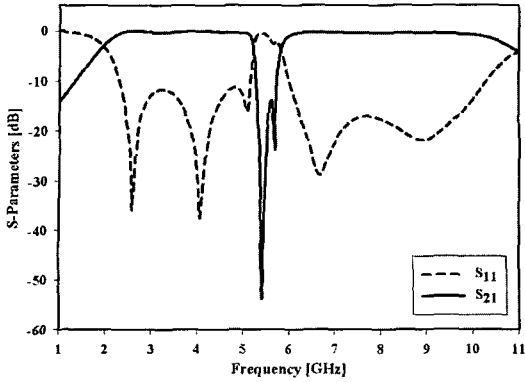


그림 5. 제안된 대역 저지 필터의 시뮬레이션된 S-parameter 특성

Fig. 5. Simulated S-parameters characteristics of the designed band-stop filter.

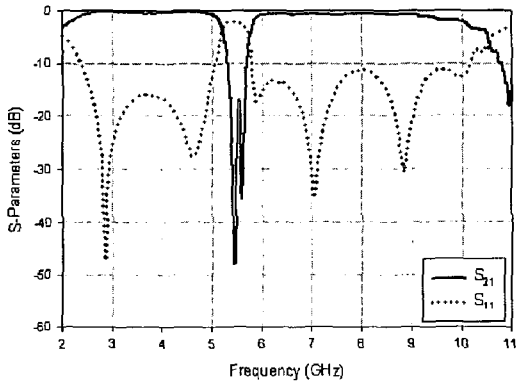


그림 6. 측정된 대역 저지 필터의 S-parameter 특성
Fig. 6. Measured S-parameters characteristics of the designed band-stop filter.

표 1. 필터의 최적화된 설계 파라미터 값
Table 1. Parameters of the designed band-stop filter.
(unit: mm)

W_{H1}	W_{H2}	W_{H3}	L_{H1}	L_{H2}	L_{H3}	W_R
0.2	0.4	0.2	7.5	7	7.5	0.5
L_{R1}	L_{R2}	L_{R3}	L_{RV}	L_{RP}	G	W_F
5.26	5.46	5.36	1	5.76	0.1	1.7

meter 특성을 보여준다. 측정 값과 시뮬레이션 값이 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나 측정된 값의 감쇄율이 시뮬레이션 결과보다 다소 좋지 않음을 알 수 있다. 이것은 시뮬레이션시 고려하지 않았던 금속의 두께, 에칭 오차, 솔더링(soldering) 등의 영향 때문이

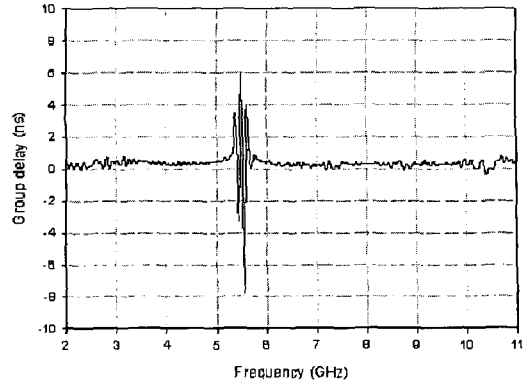
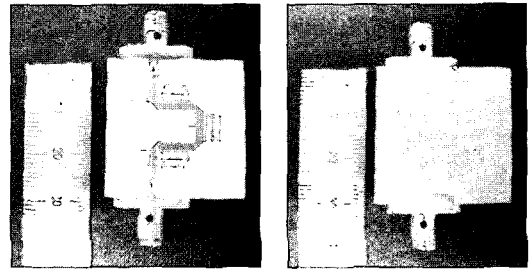


그림 7. 대역 저지 필터의 측정된 군 지연 특성
Fig. 7. Measured group delay characteristics of the band-stop filter.



(a) 윗면 (a) Top view
(b) 뒷면 (b) Bottom view

그림 8. 제작된 대역 저지 필터의 사진
Fig. 8. The picture of the manufactured band-stop filter.

라고 판단된다.

측정된 대역 통과 주파수 대역은 2.8 GHz~10.1 GHz이며 3-dB을 기준으로 저지 대역폭은 5.2 GHz~5.75 GHz이다.

그림 7은 측정된 군 지연이다. 측정 결과 저지 대역을 제외한 UWB 주파수 범위 내에서 0.7 ns 이하이다. 마지막으로 제작된 필터를 그림 8에 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 소형 마이크로스트립 대역 저지 필터를 제안하였다. 5 GHz 부근에서 선택적 저지 특성을 구현하기 위해서 고역 필터와 대역 저지 필터를 하나의 마이크로스트립 기판 위에 구현하였으며 커플링 갭, 리액턴스 기물기 값, 중심 주파수와 3-dB 대역폭 사이의 관계를 알아보았다. 미앤더 형태의 결

합 공진기를 사용함으로써 L-형태의 대역 저지 필터에 비해 공진기의 크기를 29 % 감소시켰으며, 측정된 결과는 HFSS 툴을 사용한 이론적 결과와 거의 유사함을 확인하였다. 또한 제작된 필터는 UWB 주파수 대역에서 협대역 저지 특성을 갖기 위해 UWB 안테나와 연결하여 사용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] M. J. Ammann, Z. N. Chen, "A wide-band shorted planar monopole with bevel", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 4, pp. 901-903, Apr. 2003.
- [2] K. Chung, T. Yun, and J. Choi, "Wideband CPW-fed monopole antenna with parasitic elements and slots", *Electronic Letters*, vol. 40, no. 17, pp. 1038-1040, Aug. 2004.
- [3] S. Y. Suh, W. L. Stutzman, and W. A. Davis, "A new ultrawideband printed monopole antenna: the planar inverted cone antenna(PICA)", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 5, pp. 1361-1364, May 2004.
- [4] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching and Coupling Structure*, Norwood, MA: Artech House, 1980.
- [5] J. S. Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, New York: Wiley, 2001.
- [6] C. J. Wang, C. H. Lin, and J. W. Wu, "A microstrip filter utilized in ultra-wideband antennas", *Micro-wave Opt. Technol. Lett.*, vol. 41, no. 4, pp. 248-251, May 2004.
- [7] R. Levy, "A new class of distributed prototype filters with applications to mixed lumped/distributed component design", *IEEE Trans., Microw. Theory Tech.*, pp. 1064-1071, Dec. 1970.
- [8] Ansoft High Frequency Structure Simulator(HFSS), Ver. 9.2, Ansoft Corporation.

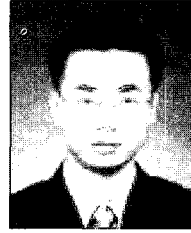
노 양 운



2004년 2월: 명지대학교 전자정보
통신공학부 (공학사)
2006년 2월: 한양대학교 전자통신
전파공학과 (공학석사)
2005년 12월~현재: 삼성전자 무선
사업부
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나

설계, EMC

정 지 학



1999년 2월: 청주대학교 반도체공
학과 (공학사)
2002년 2월: 동국대학교 전자공학
과 (공학석사)
2002년 3월~현재: 한양대학교 전
자통신전파공학과 박사과정
[주 관심분야] RF 소자 및 시스템

설계, 안테나 설계 등

홍 석 진



2002년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터
전기제어공학부 (공학사)
2005년 3월~현재: 한양대학교 전자
통신컴퓨터공학과 석박사통합과정
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나
설계

최 재 훈



1980년: 한양대학교 전자공학과 (공
학사)
1986년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학석사)
1989년: 미국 Ohio State University
전기공학과 (공학박사)
1989년~1991년: 미국 Arizona State

University 연구 교수

1991년~1995년: 한국통신 위성사업본부 연구팀장
1995년~현재: 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 및 마이크로파 회로 설계, EMC

정 경 호



2000년 2월: 한양대학교 전자통신전
파공학과 (공학사)
2002년 2월: 한양대학교 전자통신전
파공학과 (공학석사)
2006년 2월: 한양대학교 전자통신전
파공학과 (공학박사)
2006년 1월~현재: LG 전자기술원

소자재료 연구소

[주 관심분야] RF 소자 및 안테나 설계, EMC