

# 저지 대역을 갖는 UWB용 CPW 대역 통과 여파기의 설계

## A Design of CPW Band-Pass Filter with Rejection Band for Ultra-Wideband System

노진원 · 황희용

Jin-Won No · Hee-Yong Hwang

### 요약

본 논문에서는 UWB 시스템에 적용하기 위한 CPW 대역 통과 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기는 특성 임피던스 50 Ω을 갖는 전송 선로에 슬롯만을 형성하여 대역 통과 특성을 갖도록 구현하였다. 설계된 대역 통과 여파기는 무선 랜 주파수 대역에서의 협대역 저지 특성을 얻기 위해 CPW 접지면에 두 쌍의 반파장 슬롯 공진기를 이용한 대역 저지 여파기와 결합하였다. 제작된 대역 통과 여파기는 15.35×13.60 mm의 작은 크기로 주파수 통과 대역은 3-dB 삽입 손실을 기준으로 2.8~9.8 GHz이며 5.15~5.71 GHz의 협대역 저지 대역을 갖는다. 또한, 군 지연 특성은 저지대역을 제외한 통과 대역 내에서 400 psec 이하를 나타낸다.

### Abstract

In this paper, a CPW band-pass filter with a rejection band is proposed for UWB(Ultra-Wideband) communication systems. The proposed filter has a band-pass characteristic of wide-band by inserting only a slot in 50 Ω transmission line. To obtain the band-rejection function at WLAN frequency band(5.15~5.725 GHz), the designed filter is combined with folded slot resonators on the ground plane of the CPW structure. The fabricated CPW band-pass filter shows a compact size of 15.35×13.60 mm, a wide passband of 2.8 GHz to 9.8 GHz and the narrow stop-band of 5.15 GHz to 5.71 GHz for 3-dB bandwidth. Also, the measured group delay is less than 400 psec throughout the operation frequency band except the rejection band.

Key words : CPW Band-Pass Filter, Band-Rejection Filter, Slot Resonator, UWB

### I. 서론

최근 초고속 멀티미디어 시스템의 발달과 수요 증가에 따라 UWB(Ultra-Wide Band) 무선 기술이 제안되어 각광을 받고 있다. UWB 무선 기술은 2002년 미국 FCC(Federal Communication Commission)에서 fractional bandwidth가 20 % 이상이거나 500 MHz 이상의 RF 대역폭을 갖는 시스템으로 정의하였으며, 통신용으로 3.1~10.6 GHz 대역에서 사용이 허가되었다. 이에 따라 UWB 시스템에 적용하기 위하여

안테나, 필터 등을 포함한 많은 RF 소자들에 대한 연구들이 진행되고 있다. 특히 UWB용 대역 통과 여파기를 설계하기 위하여 다양한 방법들이 제시되었다<sup>[1]~[3]</sup>. 통과 대역이 수 GHz인 UWB 여파기를 설계 하는데 있어 정확한 대역 설계의 어려움으로 고역 통과 여파기와 저역 통과 여파기를 결합함으로써 구현할 수 있다<sup>[1]</sup>. 또한, 단락 스테브를 이용한 고역 통과 여파기를 사용하여 UWB 대역 통과 여파기를 구현할 수 있다<sup>[2]</sup>. 하지만 이 방법들은 마이크로스트립 구조로서 via를 사용하는 단점과 크기가 큰 문제점

강원대학교 전기전자공학과(Department of Electrical & Electronics Engineering, Kangwon University)

· 논문 번호 : 20070314-033

· 수정완료일자 : 2007년 7월 9일

이 있다. 최근에는 via를 사용하지 않고 신호선과 접지면 사이의 용량성 결합을 보다 쉽게 얻을 수 있는 CPW 구조를 이용하여 여파기를 구현하는 연구들<sup>[4],[5]</sup>이 활발히 진행되고 있으며, multiple-mode 공진기를 이용하여 CPW 대역 통과 여파기<sup>[3]</sup>를 구현할 수 있다. 하지만 이러한 여파기들은 사용 주파수 대역 내에서 wireless LAN과 hiper LAN의 주파수 대역(5.15~5.825 GHz)에서 간섭 문제가 발생할 수 있다. 이러한 문제는 UWB 대역을 2개의 대역으로 나누어서 서로 다른 대역의 여파기를 설계하거나<sup>[6]</sup>, 해당 대역의 저지 특성을 갖는 여파기를 설계하여 결합<sup>[7]</sup>함으로써 간섭 문제를 방지할 수 있다. 협대역 저지 특성을 갖는 여파기는  $\lambda/4$  간격의 반파장 공진기를 전송 선로와 커플링을 통한 설계 방법<sup>[8]</sup>으로 구현할 수 있다.

본 논문에서는 CPW 구조로서 전송 선로에 슬롯라인을 형성하여 UWB 대역 통과 여파기를 설계하고, 5 GHz 부근의 협대역 저지 특성을 얻기 위해 참고문헌 [8]에 의한 설계 방법을 CPW 접지면의 슬롯공진기로 응용하여 여파기와 결합함으로써 대역 저지 특성을 갖는 초광대역 대역 통과 여파기를 설계한다.

## II. UWB CPW 대역 통과 여파기의 설계

그림 1은 open-end CPW 스텔브<sup>[9]</sup>의 그림과 등가 회로이다. CPW 전송 선로에 슬롯을 삽입하여 스텔브를 형성하면 기본적인 용량성  $\Pi$ 형 회로에 슬롯의 폭과 길이에 따라 직렬의 인덕터 성분이 추가되어 그림 1(b)와 같은 등가 회로로 나타낼 수 있다<sup>[9]</sup>. 이 구조를 살펴보면 스텔브의 길이와 슬롯 간격에 따른 직렬 공진을 가지고 있으며, 신호선과 접지면의 간격에 따라 병렬 캐패시턴스 값의 조절이 가능함을 알 수 있다. 따라서 동일한 구조를 대칭으로 연결하여 직렬 공진을 추가하고, 인버터로서 연결 선로의 폭과 간격을 조절하여 대역 통과 여파기로 구현할 수 있다. UWB 대역(3.1~10.6 GHz)의 광대역 통과 특성을 얻기 위하여 우선 open-end CPW 스텔브를 설계하여야 한다. 이때, 공진 주파수는 UWB 대역의 중심 주파수에 해당하는 약 7 GHz로 설계한다. 다음으로 동일한 open-end CPW 스텔브를 대칭으로 연결하여 직렬 공진을 추가하고, 인버터로서 연결 선로의

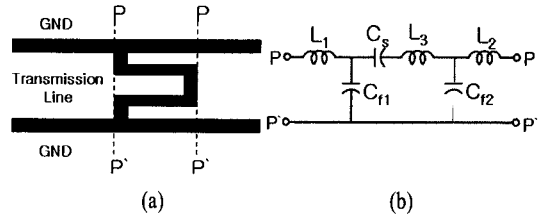


그림 1. (a) Open-end CPW 스텔브, (b) 등가 회로  
Fig. 1. (a) The open-end CPW stub, (b) Equivalent circuit.

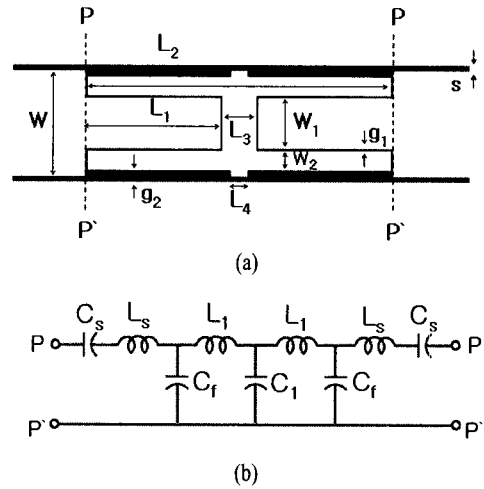


그림 2. (a) 제안된 CPW 대역 통과 여파기, (b) 등가 회로  
Fig. 2. (a) The proposed CPW band-pass filter, (b) Equivalent circuit.

표 1. 제안된 CPW 대역 통과 여파기의 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of the proposed CPW\_BPF.

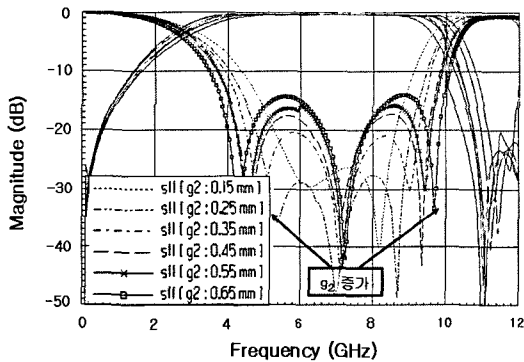
Para.	$W$	$W_1$	$W_2$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	$L_4$	$s$	$g_1$	$g_2$
[mm]	5.00	2.40	0.90	6.50	14.60	1.60	0.80	0.25	0.10	0.55

폭과 간격을 조절하여 원하는 대역폭을 설계할 수 있다. 위의 설계 방법을 이용하여 제안한 대역 통과 여파기는 그림 2에 나타냈으며, 설계 파라미터는 표 1과 같다.

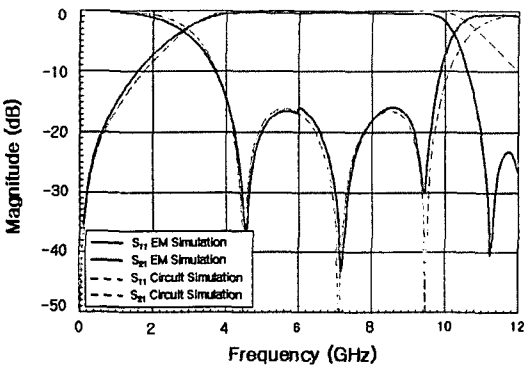
제안한 여파기의 슬롯( $g_1$ )의 폭은 0.1 mm로 그림 1(b) 등가 회로에 해당하는  $L_1$ 과  $C_{n1}$ 의 값은 무시할 정도로 작으며, 연결 선로는 T형 회로로 변환하여 그림 2(b)의 등가 회로로 표현할 수 있다. 등가 회로의  $L, C$  소자 값은 EM 시뮬레이션의  $S$  파라미터 결

과 값을 이용하여 최적화하는 방법<sup>[4],[5],[9]</sup>을 통하여 추출할 수 있다. 추출된 등가 회로의  $L, C$  소자 값은 각각  $L_s=1.45$  nH,  $C_s=0.75$  pF,  $C_f=0.42$  pF,  $L_1=0.92$  nH,  $C_1=0.11$  pF이다. 제안된 여파기는 50-Ohm을 갖는 CPW 전송 선로에 슬롯만을 삽입한 구조로서 슬롯 간격( $g_1$ )과 스텔브의 길이( $L_1$ )에 따라 통과 대역의 직렬 공진을 형성하며, 인버터로서 선로와 접지면의 간격( $g_2$ ), 연결 선로의 폭( $L_4$ )을 조절함으로써 대역폭을 확장시켜 대역 통과 여파기를 구현할 수 있다. 선로와 접지면의 간격( $g_2$ )에 따른 대역폭의 변화는 그림 3(a)에 나타내었으며, 그림 3(b)는 제안한 CPW 대역 통과 여파기의 EM 시뮬레이션 결과와 등가 회로의 회로 시뮬레이션 결과를 보여준다. 시뮬레이션 결과, 제안한 대역 통과 여파기의 3-dB 대역폭은 2.8 ~ 10.2 GHz로서 광대역 통과 특성을 갖는다.

설계된 여파기는 두께 0.762 mm, 비유전율( $\epsilon_r$ )



(a)



(b)

그림 3. (a) 간격  $g_2$ 에 따른 반사 손실, (b) CPW 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3. (a) The return loss against different gap( $g_2$ ), (b) Simulation result of the CPW\_BPF.

3.48의 Teflon 기판을 사용하였으며, EM 시뮬레이션은 Ansoft社의 HFSS 툴을 이용하였고, 회로 시뮬레이션은 Agilent 社의 ADS 툴을 이용하여 설계 및 제작하였다.

### III. 대역 저지 특성

UWB 통과 대역 여파기는 앞서 언급한 무선 랜 대역의 간섭을 피하기 위하여 5 GHz 부근의 협대역 저지 특성을 갖도록 설계되어야 한다. 협대역 저지 특성을 얻기 위하여 마이크로스트립 대역 저지 여파기 설계 방법<sup>[8]</sup>을 응용하여 CPW 구조의 접지면이 슬롯 공진기로 구성하였다. 공진기의 크기를 줄이기 위해 슬롯은 접힌 구조로 구성하였으며, 슬롯 공진기 간의 길이는 그림 4와 같이 중심 주파수 5.4 GHz의 약  $\lambda_g/2$ 로, 공진기 사이의 간격( $L_r$ )은  $\lambda_g/4$ 로 설계하였다.

슬롯 공진기와 전송 선로 사이의 커플링 갭( $g$ )은 간격이 좁아질수록, 공진기의 수가 증가할수록 높은 감쇄율을 보이게 된다<sup>[8]</sup>. 본 논문에서는 커플링 갭( $g$ )을 0.25 mm로 고정한 후 두 쌍의 공진기를 사용하여 그림 5와 같이 3-dB 대역폭 5.25~5.6 GHz의 대역 저지 특성을 얻었다. 슬롯 공진기의 설계 파라미터는 표 2와 같으며, 이 구조는 앞서 설계한 대역 통과 여파기와 결합함으로써 무선 랜 대역의 간섭을 피할 수 있다.

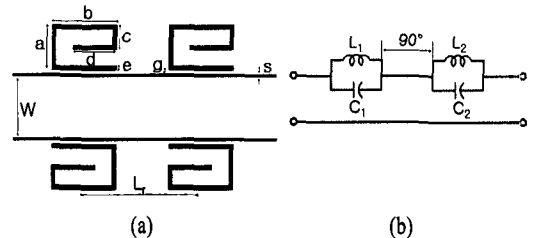


그림 4. (a) 제안된 대역 저지 여파기, (b) 등가 회로  
Fig. 4. (a) The proposed band-rejection filter, (b) Equivalent circuit.

표 2. 제안된 CPW 대역 저지 여파기의 설계 파라미터  
Table 2. Design parameters of the proposed CPW\_BRF.

Para.	a	b	c	d	e	g	$L_r$	W	s
[mm]	3.80	5.60	2.10	3.80	0.40	0.25	10.0	5.00	0.25

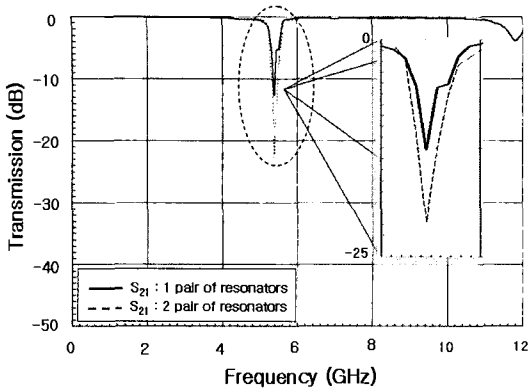


그림 5. 대역 저지 슬롯 여파기의 삽입 손실  
Fig. 5. The insertion loss of the slot band-rejection filter.

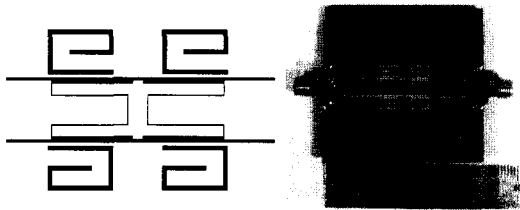


그림 6. 제안된 CPW 대역 통과 여파기 전체 구조  
Fig. 6. The entire layout of the proposed CPW\_BPF.

#### IV. CPW 대역 통과 여파기와 대역 저지 여파기의 결합

앞서 설계한 CPW 대역 통과 여파기와 대역 저지 여파기를 결합함으로써 그림 6의 대역 저지 특성을 갖는 초광대역 대역 통과 여파기를 구현하였다. 여파기 각각의 설계 파라미터는 앞서 제시한 파라미터와 동일하며, 전체적인 여파기의 크기는  $15.35 \times 13.60$  mm로 기존 연구된 비슷한 성능의 여파기<sup>[7]</sup>보다 작은 크기를 갖는다. 그림 7은 제안한 UWB 대역 통과 여파기의 EM 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션 결과, 각각 독립된 대역 통과 여파기(그림 3(b))와 대역 저지 여파기(그림 5)의 특성과 비교하여 3-dB 통과 대역폭과 저지대역폭, ripple은 거의 변화가 없으며,  $S_{11}$  주파수 특성은 통과 대역 내에서 5% 이내로 큰 변화 없다.

그림 8은 제작된 여파기의 측정 결과를 나타낸다.

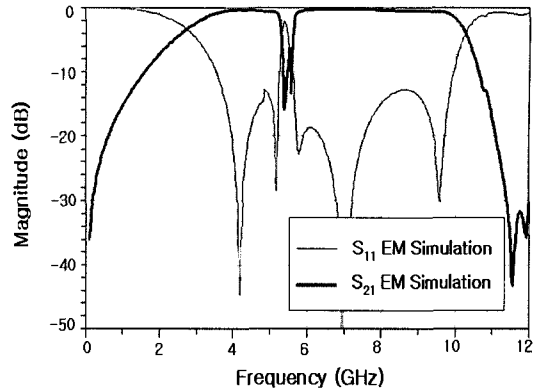


그림 7. 제안된 CPW 대역 통과 여파기의 EM 시뮬레이션 결과  
Fig. 7. The EM simulation result of the proposed CPW\_BPF.

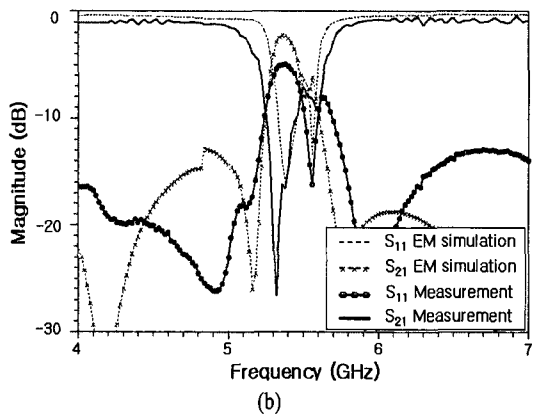
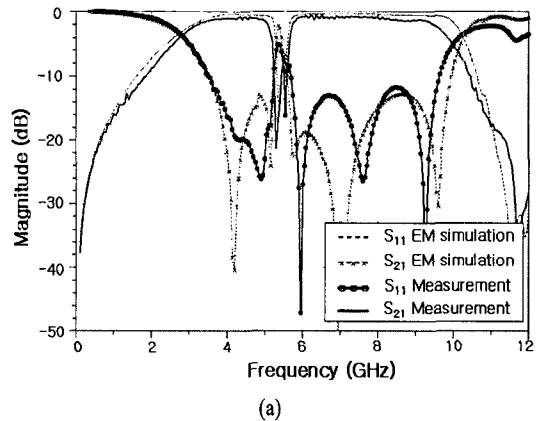


그림 8. (a) 제작된 여파기의 측정 결과, (b) 저지 대역 측정 결과  
Fig. 8. (a) Measured result of the CPW\_BPF, (b) Measured result of the rejection-band.

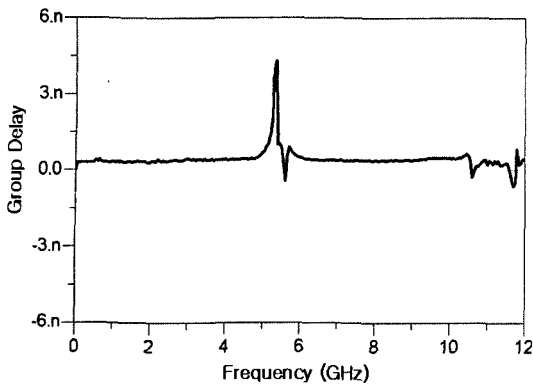


그림 9. 군지연 측정 결과  
Fig. 9. Measured result of the group delay.

측정 결과, 통과 대역은 3 dB 삽입 손실을 기준으로 2.8~9.8 GHz이며, 통과 대역 내에서 반사 손실 -12 dB 이하, 1.5 dB 이하의 삽입 손실을 갖는다. 주파수 통과 대역은 제작상의 에칭 한계로 미국 FCC에서 규정한 UWB 전체 주파수 대역(3.1~10.6 GHz)을 만족하지 않지만 상대적 대역폭 111%의 초광대역 통과 특성을 확인하였다. 또한, 저지 대역폭은 5.15~5.71 GHz로 약 10 dB의 감쇄율을 갖는다. 하지만 측정 값은 시뮬레이션 값과 비교하여 9.5 GHz 근처에서 약 2 dB 차이의 감쇄를 보인다. 또한, 통과 대역은 약 200 MHz 감소하였으며, 저지 대역은 약 4% 확장되었다. 이것은 시뮬레이션 시 고려하지 않은 유전체 및 도체 손실, 금속의 두께, 에칭 오차 등의 영향 때문이라고 판단된다.

그림 9는 제안한 대역 통과 여파기의 군지연의 측정 결과로 저지 대역을 제외한 통과 대역 내에서 상대적 차이 400 psec 이하이다. 측정은 Anritsu社의 VNA 37397C를 사용하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 무선 랜 주파수 대역(5.15~5.725 GHz)의 협대역 저지 특성을 갖는 UWB 대역 통과 여파기의 설계 방법을 제안하였다. 제안된 여파기는 CPW 구조로 via나 병렬 스텐더브를 사용하지 않고 특성 임피던스 50-ohm을 갖는 전송 라인에 슬롯만을 형성한 open-end CPW 구조를 이용하여 초광대역 대역 통과 특성을 갖도록 설계하였다. 따라서 기존의

대역 통과 여파기에 비하여 쉽게 구현할 수 있으며, 동시에 작은 크기를 갖는 장점을 갖는다. 설계된 대역 통과 여파기는 CPW 접지면에 두 쌍의 반파장 슬롯 공진기를 이용한 대역 저지 여파기를 설계하여 결합함으로써 무선 랜 주파수 대역의 협대역 저지 특성을 갖는다.

제작된 대역 통과 여파기는 15.35×13.60 mm의 작은 크기로 주파수 통과 대역은 2.8~9.8 GHz이며 3-dB을 기준으로 5.15~5.71 GHz의 저지 대역폭을 갖는다. 또한, 군지연 특성은 저지 대역을 제외한 통과 대역 내에서 400 psec 이하의 특성을 나타낸다. 제안된 크기 면에서 이전의 UWB 대역 통과 여파기에 비해 작으면서도 넓은 통과 대역을 구현하였다. 따라서 제안한 여파기는 UWB 시스템에 적용 가능한 형태로서, MIC/MMIC, RFIC 등 다양한 초고주파 회로 설계에 응용될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. L. Hsu, F. C. Hsu, and J. T. Kuo, "Microstrip bandpass filters for ultra-wideband(UWB) wireless communications", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, CDROM, 2005.
- [2] W. T. Wong, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, "High selective microstrip bandpass filters for ultra-wideband(UWB) applications", *IEEE Microwave Conference Proceedings, Asia-Pacific Conference Proceedings*, 2005.
- [3] J. Gao, L. Zhu, W. Menzel, and F. Bogelsack, "Short-circuited CPW multiple-mode resonator for ultra-wideband(UWB) bandpass filter", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 16, no. 3, Mar. 2006.
- [4] 노진원, 최경, 황희용, "고조파 제거 특성을 갖는 DGS 형태의 CPW 저역 통과 여파기의 설계", *한국전자과학회논문지*, 17(2), pp. 177-123, 2006년 2월.
- [5] J. W. No, H. Y. Hwang, "A design of cascaded CPW low-pass filter with broad stopband", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 17, no. 6, Jun. 2007.

[6] B. S. Kwon, S. S. Myoung, Y. H. Kim, and J. G. Yook, "Co-planar waveguide filter with ground perforation for ultra-wideband system", *IEEE Microwave Conference Proceedings, Asia-Pacific Conference Proceedings*, 2005.

[7] 노양운, 홍석진, 정경호, 정지학, 최재훈, "UWB용 대역 저지 필터 설계", *한국전자과학회논문지*, 17(2), pp. 89-94, 2006년 2월.

[8] J. S. Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for*

*RF/Microwave Applications*, New York: Wiley, 2001.

[9] N. I. Dib, L. P. B. Katehi, G. E. Ponchak, and R. N. Simons, "Theoretical and experimental characterization of coplanar waveguide discontinuities for filter applications", *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 39, no. 5, May 1991.

노진원



2005년 2월: 강원대학교 전기전자  
정보통신공학부 (공학사)  
2007년 2월: 강원대학교 전기전자  
공학과 (공학석사)  
[주 관심분야] 초고주파 수동 소자  
및 시스템 설계

황희용\*



1992년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1995년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
2000년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
2001년 3월~2002년 4월: University  
of Maryland Research Scholar

2002년 5월~2003년 4월: (주)아모텍 연구소장  
2003년 2월~현재: 강원대학교 전기전자정보통신공학부  
부교수  
[주 관심분야] RF, Microwave, Millimeter Wave 분야의 부  
품 및 시스템

\*책임저자