

논문 2010-47TC-8-10

# LC공진기와 DGS구조를 이용한 5.8GHz에서 저지대역을 갖는 소형 초광대역 대역통과 여파기

( Ultra-Wideband Band-Pass Filter with Notched Band at 5.8GHz using  
the LC Resonators and DGS )

정 승 백\*, 양 승 인\*\*

( Seungback Jung and Seung-In Yand )

## 요 약

본 논문에서는 LC공진기를 이용하여 5.8GHz 대역에서 저지대역을 형성하는 초광대역 대역통과 여파기를 제안한다. 통과대역 이후 대역에서 높은 대역차단 특성을 얻고 여파기의 크기가 증가되는 것을 막기 위해 DGS(Defected Ground Structure) 구조를 사용하였다. 또한 LC공진기는 매우 작은 크기의 스티브와 라디얼 스티브로 설계되어 제안하는 여파기를 매우 작은 크기로 제작할 수 있다. 측정결과 전체 통과 대역은 2.21GHz~10.92GHz 이고 삽입손실은 최대 0.5dB, 반사손실은 최소 16dB, 군 지연 변화폭은 0.29ns였으며 5.2GHz~6.2GHz 의 저지대역을 형성하였다.

## Abstract

In this paper, a compact Ultra-Wideband band-pass filter with notched band at 5.8GHz by using LC resonator is proposed. The structure of the proposed band-pass filter is very simple, and the DGS(Defected Ground Structure) is used to get the low-pass filter characteristics and the LC resonator is used to get the notched filter. The proposed band-pass filter can be much smaller than a cascaded filter type. The LC resonator is designed with a radial stub and small stub. As a result of measurement, the insertion loss is less than 0.5dB throughout the pass-band of 2.21GHz~10.92GHz, the return loss is more than 16dB and the maximum variation of group delay is 0.29ns and a notched band is 5.2GHz~6.2GHz.

**Keywords :** UWB, band-pass filter, notched filter, DGS

## I. 서 론

2002년 2월 미국의 FCC에서 민간에게 허용한 3.1GHz~10.6GHz까지의 초광대역 통신 주파수 대역은 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 초광대역 통신을 하기 위해서는 초광대역 전력증폭기, 초광대역 발진기 등의 능동소자가 필요하다. 그러나 이러한 능동소자의 경우

초광대역의 매우 넓은 대역폭을 지원해주는 트랜지스터 등 소자의 부재로 인하여 그 연구가 지지 부진하다. 그러나 안테나와 여파기와 같은 수동 소자의 경우 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 논문은 초광대역 통신을 위한 대역통과 여파기를 제안하고자 한다. 초광대역을 위한 소자의 경우 휴대용 단말기를 위해서 매우 소형으로 제작 가능해야 한다. 또한 초광대역의 넓은 대역폭뿐만 아니라, 낮은 삽입손실과 높은 반사손실 특성으로 요구하고 있으며 특히 넓은 대역폭에 따른 신호의 변화가 없어야 하기 때문에 매우 낮은 군 지연 변화율을 유지해야 한다. 그리고 한 가지 중요한 문제점은 넓은 대역폭으로 인해 다른 무선통신 시스템과의 혼선이 야기되는

\* 정희원, \*\* 평생회원-교신저자, 송실대학교 정보통신 전자공학부

(School of Electronic Engineering,  
Soongsil University)

접수일자: 2010년6월10일, 수정완료일: 2010년8월13일

문제점이 있다. 특히 5.8GHz 대역의 무선 랜 서비스와 의 주파수 간섭은 매우 큰 문제점으로 야기되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다양한 논문에서 5.8GHz대역을 저지하는 연구가 발표되고 있다.<sup>[2~6]</sup> 그러나 이러한 여파기는 충분한 대역폭과 높은 저지 특성을 얻기 위하여 여러 개의 공진기를 사용하거나 또는 높은 반사손실을 위해서 여러 개의 스테르브<sup>[2]</sup> 사용하여 여파기의 크기가 커지는 단점이 있다. 그러나 UWB통신에서의 소자들은 휴대용 통신을 위해서 작은 크기여야 한다. 또한 통과대역이후에는 넓은 차단대역을 가져야 하기 때문에 저역통과 여파기 역시 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[3~7]</sup>. 본 논문에서는 DGS구조의 저역통과 여파기와 LC공진기를 제안한다. DGS 구조는 접지 면에 식각되기 때문에 여파기의 크기 증가 없이도 원하는 특성을 얻을 수 있으며 LC공진기는 매우 간단한 구조이기 때문에 대역저지를 원하는 주파수를 매우 쉽게 선택할 수 있다. 본 논문에서 제안한 구조의 여파기를 검증하기 위해 제작에 사용된 기판은 비유전율 3.2인 타코닉 사의 TLC-32 기판을 사용하였으며, 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 저지대역이 없는 대역통과 여파기를 알아본다. 그리고 III장에서는 저지대역을 만들기 위한 공진기를 설계하고 IV장에서 저지대역을 갖는 초광대역 대역통과 여파기를 설계 및 제작하고 마지막으로 V장은 본 논문의 결론을 이야기 한다.

II. 저지대역이 없는 대역통과 여파기

본 논문에서 제안한 대역통과 여파기를 위해서 먼저 저지대역이 없는 초광대역 대역통과 여파기를 설계한다. 일반적으로 대역통과 여파기의 특징을 얻기 가장 쉬운 방식은 그림 1과 같이 고역통과 여파기와 저역통

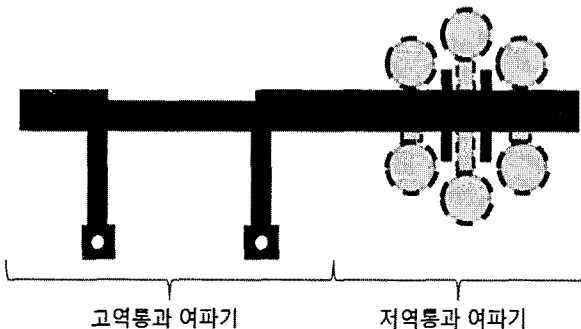


그림 1. 초광대역 대역통과 여파기의 구조  
Fig. 1. Structure of a UWB band-pass filter.

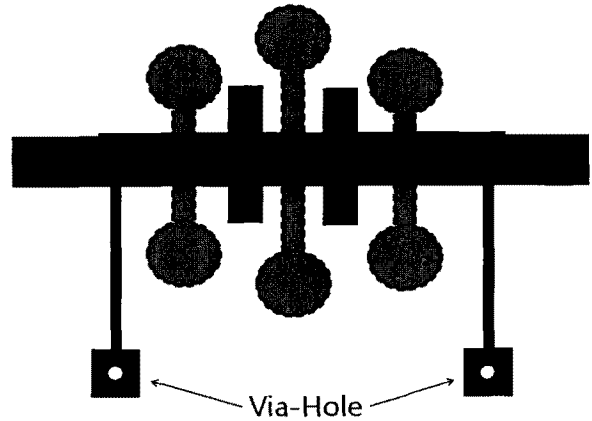


그림 2. 초광대역 대역통과 여파기의 구조  
Fig. 2. Structure of a UWB band-pass filter.

과 여파기를 순차적으로 연결하는 것이다. 그러나 이러한 설계 방법은 여파기의 크기를 증가 시키는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 고역통과 여파기와 저역통과 여파기가 하나의 구조로 합성된 소형 초광대역 대역통과 여파기의 구조를 기본 구조로 적용하여 설계하였다.<sup>[3]</sup>

그림 2는 본 논문에서 사용하고 있는 대역통과 여파기의 기본 모델이다. 두 개의 단락된 스테르브 사용하여 고역통과 여파기의 특성을 얻었으며 4개의 오픈 스테르브와 접지 면에 식각된 DGS (점선영역)를 통하여 저역통과 여파기의 특성을 얻었다. 고역통과 여파기는  $\lambda/4$  길이의 단락된 병렬 스테르브 두 개를  $\lambda/2$  길이로 연결된 구조이다.

이러한 여파기의 구조는 넓은 대역을 얻을 수 있으면서도 소형이며 매우 우수한 성능을 갖는다. 저역통과 여파기가 두 개의 단락된 스테르브 사이에 위치하고 접지 면에 식각되기 때문에 여파기 전체의 크기는 변화가 없는 것을 알 수 있다. 결과에서 삽입손실은 0.5dB이하로 매우 낮으며 반사손실은 20dB 이상으로 매우 우수한 성능을 나타낸다.<sup>[3]</sup>

III. 대역 저지를 위한 공진기의 설계

이번 장에서는 5.8GHz 무선 랜 대역에서 저지대역을 만들기 위해서 LC공진기를 제안한다. 제안하는 LC공진기는 그림 1에서 단락된 스테르브의 끝에 설치한다. 그림 1의 단락된 스테르브는 폭이 0.3mm 매우 좁기 때문에 스테르브로 인해 생성되는 병렬 커패시턴스는 매우 작은 값을 가지기 때문에 무시한다. 그렇다면 스테르브는 인덕터

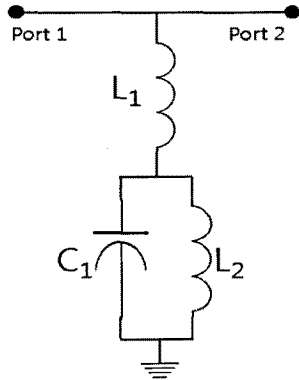


그림 3. 저지대역 형성을 위한 공진기의 등가회로

Fig. 3. Resonator's equivalent circuit for the notched band.

로 등가할 수 있으며 그 끝에 본 논문에서 제안하는 LC공진기를 연결하면 그림 3과 같은 등가 회로를 얻을 수 있다.

그림 3 회로의 모의실험 결과는 그림 4와 같으며 저지하고자 하는 주파수에서 병렬 스텐브의 입력 임피던스는 0을 가져야 하기 때문에 식 (1)을 결정할 수 있다. 식 (1)을 전개하면 식 (2)와 같으며 이 식을 풀면 식(3)을 구할 수 있다. 식 (3)을 이용하여 각 소자의 값을 결정할 수 있다.

$$j\omega L_1 + (j\omega L_2 // \frac{1}{j\omega C_1}) = 0 \quad (1)$$

$$j\omega(L_1 + \frac{L_2}{1 - \omega^2 L_2 C_1}) = 0 \quad (2)$$

$$f = \frac{\sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_1}}}{2\pi} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 5.8GHz의 저지대역을 형성하기 위한 소자들의 값은  $L_1=1.7852\text{nH}$ ,  $L_2=1.3877\text{nH}$ ,  $C_1=0.9644\text{pF}$ 이다.

그림 4의 결과에서 5.8GHz에서 -32.68dB의 대역저지 특성이 있는 것을 확인하였다. 그러나 저지 대역이 5.7GHz ~ 5.9GHz로 매우 협대역인 것을 알 수 있다.

이것은 실험 조건이 매우 이상적인 소자를 가정하여 한 것이기 때문이다. 그러나 실제 구현을 위해서 마이크로스트립을 이용해서 설계하면 대역폭은 넓어질 것이다. 최종적으로 식 (3)과 실험을 통하여 구한 소자 값을 이용하여 그림 5와 같은 여파기를 설계하였다. 그림 3

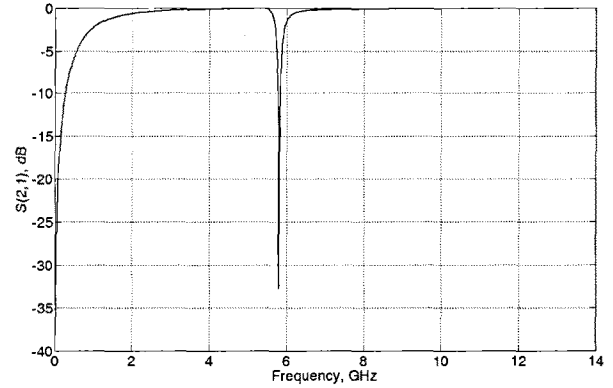


그림 4. 공진기의 모의실험 결과

Fig. 4. Simulation result of resonator.

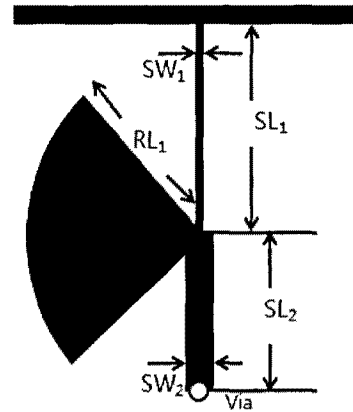


그림 5. 저지대역이 있는 고역통과 여파기

Fig. 5. High-pass filter with the notched band.

에서  $L_1$  부분은 병렬 커패시턴스가 매우 작은 마이크로스트립 라인으로 구현하였으며  $C_1$ 과  $L_2$ 의 병렬 공진부는 라디얼 스텐브와 단락된 스텐브로 구현하였으며  $L_2$ 의 단락을 위하여 Via를 이용하였다.

#### IV. 저지대역을 갖는 대역통과 여파기

이번 장에서는 앞 장에서 설계한 대역통과 여파기와 5.8GHz에서 대역저지를 위한 공진기 그리고 통과대역 이후의 대역저지를 위해서 DGS구조<sup>[3]</sup>를 이용한 저역통과 여파기를 합성하여 실험하였다. 최종적으로 본 논문에서 제안하는 여파기의 모습은 그림 6과 같다.

식 (3)을 이용하여 구해진 소자 값을 구현하기 위하여 각각의 마이크로스트립을 이용한 분산 소자는  $SW_1=0.3\text{mm}$ ,  $SW_2=0.5\text{mm}$ ,  $SL_1=3.5\text{mm}$ ,  $SL_2=3.0\text{mm}$ ,  $RL_1=3.5\text{mm}$ , Radial Angle=100°로 설계하였다. 이렇게 초기 설계된 값을 이용하여 모의 실험한 결과는 그림 7

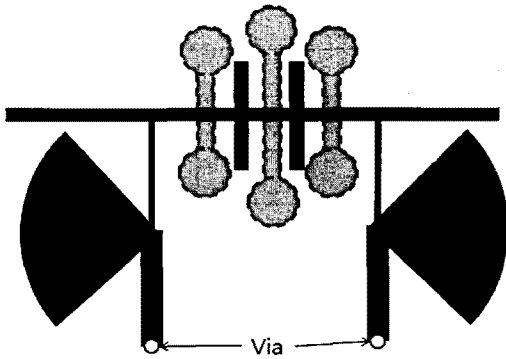


그림 6. 저지대역이 있는 초과대역 대역통과 여파기의 구조  
 Fig. 6. Structure of an ultra-wideband band-pass filter with notched band.

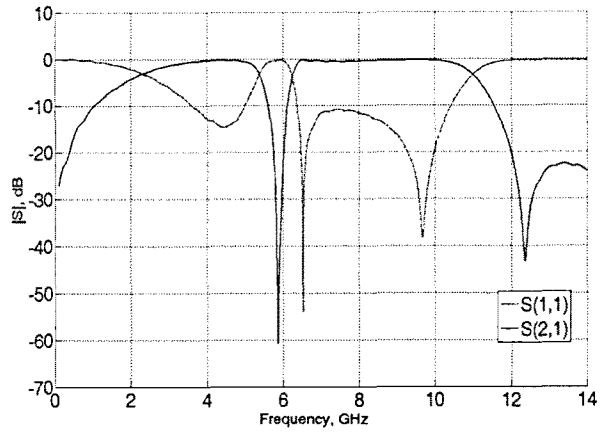
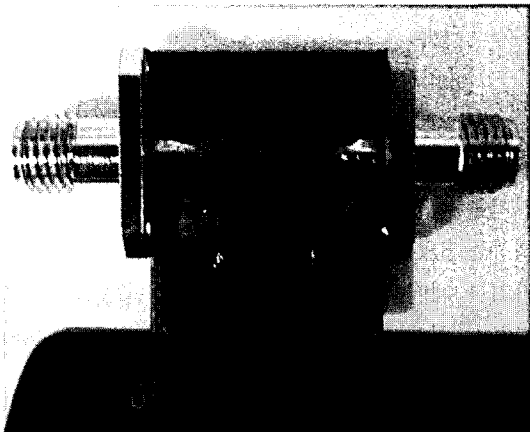
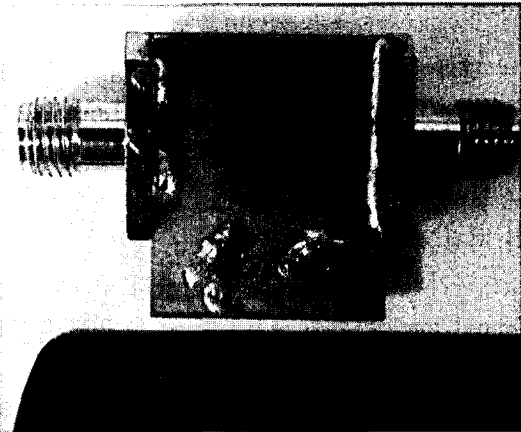


그림 7. 초기 모델의 모의실험 결과  
 Fig. 7. Simulation results of prototype.



(a)



(b)

그림 8. 제작된 초과대역 여파기: (a)윗면, (b)아랫면  
 Fig. 8. Fabricated Ultra-Wideband Band-Pass Filter. (a) top view (b) bottom view.

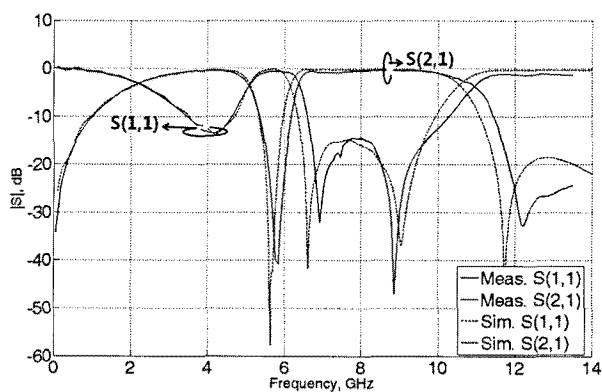


그림 9. 저지대역이 있는 초과대역 대역통과 여파기의 모의실험과 측정 결과  
 Fig. 9. Simulation and measurement results of an ultra-wideband band-pass filter with notched band.

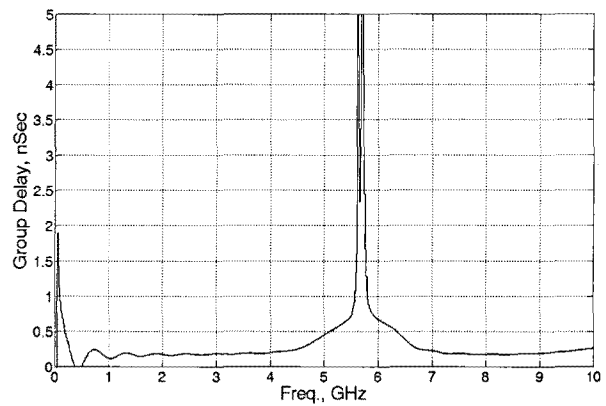


그림 10. 제안한 여파기의 군 지연 특성  
 Fig. 10. Group delay characteristics of a proposed ultra-wideband band-pass filter.

표 1. 성능 비교

Table 1. Performance comparison.

| Ref.                         | Ours      | [4]      | [5]     | [6]       |
|------------------------------|-----------|----------|---------|-----------|
| 통과대역(GHz)                    | 2.2~10.92 | 3.1~10.1 | 2.8~9.8 | 2.1~10.15 |
| 저지 대역 앞쪽 반사손실 (dB)           | 16        | 9        | 26      | 15        |
| 저지 대역 앞쪽 삽입손실 (dB)           | 0.4       | 0.7      | 2       | Nan       |
| 저지 대역 뒤쪽 반사손실 (dB)           | 21        | 10.5     | 12.5    | 10.5      |
| 저지 대역 뒤쪽 삽입손실 (dB)           | 0.5       | 0.7      | 2       | Nan       |
| 저지 대역 삽입 손실 (dB)             | 40        | 23       | 10      | 48        |
| 군 지연 변화 (ns)                 | 0.22      | 0.5      | 0.4     | 0.7       |
| 크기 (가로*세로)(mm <sup>2</sup> ) | 17*17     | 30*30    | 50*50   | 30*30     |

과 같으며 결과에서 5.8 GHz에서 -61dB 만큼의 대역저지 특성이 있는 것을 확인하였다. 그러나 삽입손실 및 반사손실의 성능이 좋지 않아서 최적화 과정을 거쳐서 설계를 마무리하였다.

최적화 과정 후 최종적으로 제작된 여파기는 그림 8과 같다. 여파기의 전체 크기는 100원 짜리 주화보다도 작은 17mm\*17mm 로 매우 소형임을 알 수 있다.

그림 9는 제작된 여파기의 측정 결과와 모의실험 결과를 비교한 것이다. 측정 결과 10.9GHz에서 차단 주파수를 형성하였으며, 5.9GHz에서 -40dB의 대역저지 특성이 있음을 확인했으며 저지 대역은 5.3GHz~6.2GHz이다. 저지대역 기준 앞쪽 영역(2.21GHz~5.3GHz)에서의 삽입손실은 0.3dB, 반사손실은 14dB로 측정되었으며 저지대역 이후의 영역(6.2GHz~10.9GHz)에서는 최대 0.5dB의 삽입손실과 15dB이상의 반사손실을 확인하였다. 그리고 차단 주파수 이후 대역에서 -20dB 이상의 넓은 저지대역을 확인하였다. 그리고 그림 10은 제작된 여파기의 군 지연 특성을 보여준다. 측정결과 통과대역 안에서 0.19ns~0.48ns로 최대 변화폭 0.29ns로 매우 평탄한 특성을 보이고 있다.

표 1은 본 논문을 작성하면서 참고한 문헌들과의 성능 비교를 통하여 본 논문에서 제안한 여파기의 우수성을 보였다. 본 논문에서 제안한 여파기의 면적이 참고 문헌의 논문들 보다 최소 1/4 이하의 크기로 매우 작은 장점이 있으며 가장 작은 군 지연 변화율, 그리고 높은 대역저지 특성을 확인할 수 있다. 또한 가장 작은 삽입손실과 우수한 반사손실 특성을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 대역통과 여파기와 대역저지를 위한 LC공진기를 합성하여 초광대역 통신에서 주파수 간섭이 발생하는 5.8GHz 대역을 저지하는 초광대역 대역통과 여파기를 제안하였다. 본 논문에서는 원하는 주파수를 저지하기 위해 매우 간단한 형태의 공진기를 이용하였다. 측정결과 -3dB 기준 2.2GHz~10.9GHz의 통과 대역을 확인하였으며 통과대역 내에서 0.5dB 이하의 낮은 삽입손실과 16dB 이상의 반사손실 그리고 0.29ns의 매우 낮은 군 지연 변화폭을 확인하였다. 그리고 5.2GHz~6.2GHz의 저지 대역을 확인하였으며 저지 특성은 -41dB 이다. 제안된 여파기의 성능은 참고문헌 여파기들과의 성능비교를 통하여 그 우수함을 알 수 있다. 또한 17mm\*17mm의 매우 작은 크기로 제작되어 휴대용 기기에 사용하기 적합할 것으로 생각된다.

## 참 고 문 헌

- [1] FCC Notice of Proposed Rule Making, "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission System", *ET-Docket*, pp. 98-153, 2002.
- [2] Lei Zhu, Sheng Sun, and Wolfgang Menze, "Ultra-Wideband (UWB) Bandpass Filters Using Multiple-Mode Resonator", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 11, pp. 1~3, November 2005.

- [3] 정승백, 양승인, "DGS구조를 이용한 초광대역 대역통과 여파기", *대한전자공학회논문지*, 제46권, 제5호, pp.162~167, 2009년 5월.
- [4] Hussein Shaman, Jia-Sheng Hong, "Ultra-Wideband(UWB) Bandpass Filter With Embedded Band Notch Structures", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 17, No. 3, pp. 193-195, Mar. 2007.
- [5] 노양운, 홍석진, 정경호, 정지학, 최재훈, "UWB용 대역 저지 필터 설계", *한국전자과학회논문지*, 제17권, 제2호, pp.89-94, 2006년 2월.
- [6] 노진원, 황희용, "저지대역을 갖는 UWB용 CPW 대역통과 여파기의 설계", *한국전자과학회논문지*, 제18권, 제7호, pp.704-709, 2007년 7월.
- [7] 강승택, 임동진, 장건호 "차단특성의 초소형 메타물질구조 여파기", *대한전자공학회논문지*, 제46권 TC 편, 제12호, pp.59~64, 2009년 12월.

저 자 소 개



정 승 백(정회원)  
 2004년 2월 숭실대학교 산업기술  
 정보통신대학원 정보통신  
 공학과 공학석사  
 2009년 8월 숭실대학교  
 전자공학과 공학박사  
 2009년 8월~현재 숭실대학교  
 박사후 과정

<주관심분야 : 초고주파 회로설계, 초광대역 여파기 설계, 메타물질>



양 승 인(평생회원)  
 1974년 2월 서울대학교  
 전기공학과 공학사  
 1976년 2월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 공학석사  
 1987년 8월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 공학박사  
 1978년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 교수

2004년 1월~2005년 12월 한국전자과학회 회장  
 2006년~현재 한국전자과학회 명예 회장  
 <주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 고이득 안테나, 전자파 산란, 메타물질 >