

논문 2010-47TC-5-9

# CRLH 전송선을 이용한 소형 이중 대역 대역저지 여파기

## ( A Compact Arbitrary Dual-Band Band-stop Filter Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines )

정 승 백\*, 양 승 인\*\*

( Seungback Jung and Seung-In Yand )

### 요 약

본 논문에서는 CRLH 전송선을 이용하여 임의의 주파수 두 곳에서 저지 특성을 갖는 소형 이중대역 저지대역 여파기를 제안한다. 제안된 여파기는 CRLH 전송선을 단락된 병렬 스텐브로 사용하였으며 CRLH 전송선의 비선형적인 위상응답을 이용하여 이중대역 저지 특성을 구현하였다. CRLH 전송선은 마이크로 스트립과 집중소자를 이용하여 구현되었다. 이 여파기는 작은 크기이며 저지되는 두 개의 주파수를 임의로 조절할 수 있다. 본 논문에서는 GPS대역과 ISM 대역을 저지하는 여파기를 설계하였으며 GPS대역에서는 -30dB, ISM대역에서는 약 -29dB 의 저지 특성을 확인하였다. 제작된 여파기의 크기는 10mm\*15mm로 소형이다.

### Abstract

In this paper, we proposed a compact arbitrary dual-band band-stop filter using CRLH transmission line. The proposed filter used CRLH transmission line as stub and it developed dual-band band-stop characteristics using non-linear phase response of CRLH transmission line. The size of proposed filter is compact. And it can control arbitrary dual stop band. In this paper, designed band-stop filter at GPS band and ISM band As result, the  $S(2,1)$  is about -30dB at GPS band and about -29dB at ISM band. The fabricated filter is very compact. Its dimension is 10mm\*15mm.

**Keywords :** UWB, BPF, Notched Filter, DGS, CRLH, Metamaterial

## I. 서 론

1968년 러시아의 물리학자 Veselago는 메타 물질의 이론적인 특성에 관한 결과를 발표하였다. 그 후 음의 유전율을 얻을 수 있는 매질에 대한 연구가 진행 되었고 이후 2001년 Pendry에 의해 인류 최초로 음의 투자율 매질(SRR: Split-Ring Resonator)이 제안되기까지 거의 30년 동안 별다른 진전이 없었다<sup>[1~3]</sup>.

특히 LHM(Left Handed Material) 특성을 보이는 물

질과 RHM(Right Handed Material)의 특성을 보이는 물질을 혼합한 CRLH(Composite Right/Left Handed) 구조를 이용하여 기존의 소자들의 성능을 향상시키면서 크기를 감소시키는 연구가 진행 중이다. 특히 무선 통신 기술이 발전하면서 한 기기 안에서 다양한 무선 서비스의 사용이 가능해 지고 있다. 그러나 각각의 무선 서비스들은 서로 다른 주파수를 사용하고 있으며 이를 위해 여러 개의 안테나, 여파기, 전력 증폭기 등이 필요하게 되었다. 또한 여러 주파수 대역의 서비스로 인하여 서로 인접한 주파수를 사용하는 서비스들끼리의 혼선이 야기되기도 한다. 따라서 한 서비스에서 주파수 송출시 다른 서비스의 주파수를 저지하고 해당하는 주파수만을 송출해야 하는 필요성이 요구된다. 또한 휴대용 기기의 발달로 소형크기의 소자들이 필요하게 되었다. 여러 가지 조건 중 특히 다중 대역에서 동작하

\* 정회원, \*\* 평생회원, 숭실대학교

(School of Electronic Eng., Soongsil University)

※ This work was supported by the IT R&D program of MKE/IITA. [2009-F-033-01, Study of technologies for improving the RF spectrum characteristics by using the meta-electromagnetic structure]

접수일자: 2010년2월16일, 수정완료일: 2010년5월18일

는 소자는 CRLH 구조의 비선형 위상응답을 이용하면 해결이 가능하다<sup>[4]</sup>.  $\lambda/4$  전송선의 중간에 CRLH 구조를 설치하여 위상이  $-90^\circ$  와  $-270^\circ$ 인 주파수에서 위상 천이가 발생하게 된다. 일반적인 경우라면 주파수는 정수배의 관계를 가지게 된다. 그러나 CRLH 전송선의 경우는 LHM 영역으로 인하여 고주파가 정수배가 아닌 인위적으로 조정가능한 주파수를 얻을 수 있는 특징이 있다<sup>[4]</sup>. 이러한 특징을 이용하여 이중 대역 VCO (Voltage Controlled Oscillator), WPD(Wilkinson Power Divider), PA(Power Amplifier) 등등 여러 곳에서 응용되어 지고 있으며 응용분야는 지속적으로 확대되고 있다.

본 논문은 비선형적 위상응답 특성이 있는 CRLH 전송선을 이용하여 이중 대역을 저지하는 대역 저지 여파기를 제안한다. 설계 대상 주파수 대역은 GPS(Global Positioning System) 주파수 대역(중심 주파수: 1.575GHz)와 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역(중심주파수:2.45GHz)에서 작동하는 대역 저지 여파기이다.

## II. Composite Right/Left-Handed Transmission Line 설계

본 장에서는 본 논문이 제안하는 CRLH 전송선을 설계한다. 기존에 이중 대역 저지 여파기를 구현하기 위해서 CRLH 구조와 D-CRLH(Dual Composite Right/Left-Handed) 구조를 합성하여 설계한 방법이 제시되고 있다<sup>[6]</sup>. 그러나 본 논문에서는 보다 간단하고 크기가 작은 구조인 CRLH 구조의 전송선만을 사용하여 이중 대역에서 위상 천이가 발생하는 전송선을 설계한다.

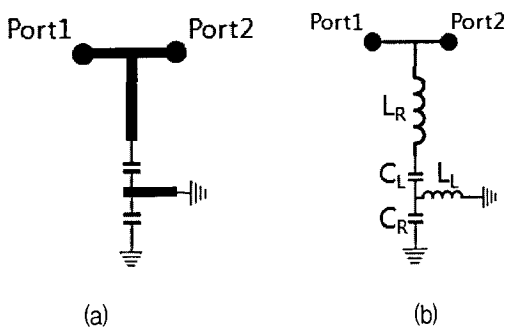
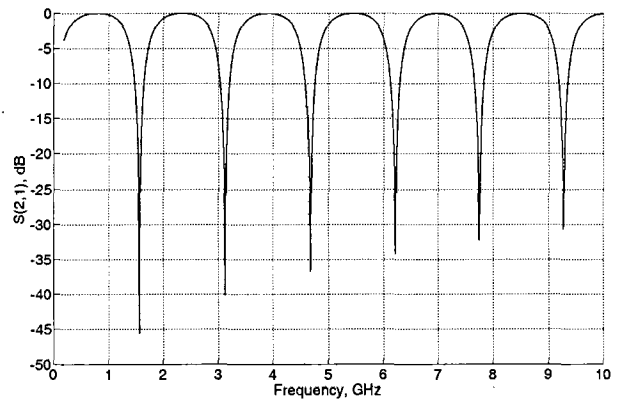


그림 1. (a)제안하는 대역저지여파기의 구조.  
(b)등가회로  
Fig. 1. (a) Proposed band-stop filter.  
(b) Equivalent circuit.

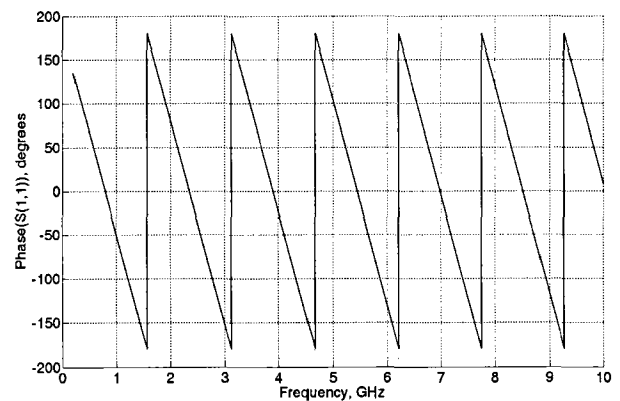
일반적으로 CRLH 구조의 전송선을 이용한 소자를 설계할 경우에는 참고문헌<sup>[4]</sup>와 같이  $\lambda/4$  길이의 마이크로스트립 전송선 중간에 CRLH 구조를 설치한 구조이다. 이때 CRLH 구조는 집중소자를 이용하여 구현되었다. 그러나 본 논문에서 제안하는 CRLH 전송선은 그림 1(a)와 같이 CRLH구조가 마이크로스트립 전송선의 끝에 설치한 구조이다. 그림 1(b)는 제안하는 여파기의 등가회로이다. 그림 1(a)에서 마이크로스트립을 이용한 부분은 인덕터로 대신할 수 있으며 이때 생기는 병렬 커패시턴스는 매우 작기 때문에 무시하기로 한다.

일반적으로 마이크로스트립만으로 설계된 단락된 병렬 스텐브를 이용한 공진기의 경우 그림 2(a)와 같이 주기적인 주파수 응답을 얻게 된다.

이때 단락된 스텐브만을 따로 분리하여 바라본 S(1,1)의 위상응답은 그림 2(b)와 같다. 일반적으로 주기적인 주파수 응답과 위상응답이 나타나며  $180^\circ$  위상



(a)



(b)

그림 2. a) 단락된 병렬 스텐브의 주파수 응답.  
(b) 단락된 병렬 스텐브의 위상응답  
Fig. 2 (a) Frequency response of shorted shunt stub  
(b) Phase response of shorted shunt stub.

천이가 발생하는 주파수에서 공진이 발생하는 것을 알 수가 있다. 또한 이러한 구조는  $\lambda/4$  길이의 스테브를 구현해야 하기 때문에 공진 주파수가 낮아질수록 크기가 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서 설계목표로 정한 GPS대역이나 ISM대역일 경우  $\lambda/4$  길이는 각각 약 47.7mm, 31.2mm 로 매우 긴 길이의 스테브가 설계 되어야만 한다.

본 논문은 스테브의 끝에 LHM영역을 추가하여 CRLH 전송선을 구현하였다. CRLH 전송선을 추가할 경우 일반적 전송선의 주기적 특성이 아닌 비주기적 특성을 나타낼 수 있다. 만약 저지하고자 하는 주파수를  $\omega_1, \omega_2$  라고 하면 각 소자의 값은 식(1)~(4)를 응용하여 근사 값을 구할 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$L_R \approx \frac{Z_t \pi [(\omega_1/\omega_2) + 1.75]}{2N\omega_2 [1 - (\omega_1/\omega_2)^2]} \quad (1)$$

$$C_R \approx \frac{\pi [(\omega_1/\omega_2) + 1]}{2N\omega_2 Z_t [1 - (\omega_1/\omega_2)^2]} \quad (2)$$

$$L_L \approx \frac{2NZ_t [1 - (\omega_1/\omega_2)^2]}{\pi\omega_1 [1 + (\omega_1/\omega_2)]} \quad (3)$$

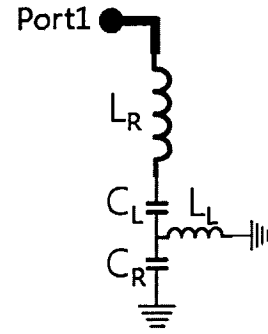
$$C_L \approx \frac{2N[0.75 - (\omega_1/\omega_2)^2]}{\pi\omega_1 Z_t [1 + (\omega_1/\omega_2)]} \quad (4)$$

상기 식을 바탕으로 추출된 소자 값들로 회로를 구성 하였으며 이때 CRLH전송선의 구조와 S(1,1)의 위상응답은 그림 3(a)와 그림 3(b)와 같다. 그림 3에서 본 논문에서 설계 목표로 한 GPS 대역과 ISM 대역에서 위상 천이가 일어나는 것을 알 수 있다. 마지막으로 제작을 위해 최적화 과정을 거쳐 최종적인 소자 값은 표 1과 같으며 설계된 CRLH 전송선의 분산특성은 그림 4와 같이  $\beta$ 값이 음수인 영역이 확인되고 있으며 이는 Left-Handed 특성이 있음을 의미한다.  $\beta$ 값은 식(5)~(7)로 구할 수 있다<sup>[4]</sup>.

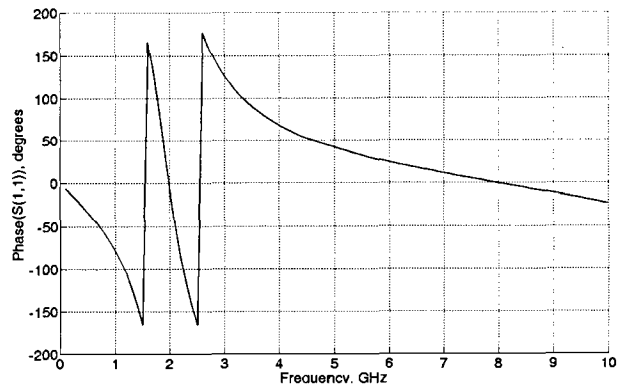
$$\beta^{PRH} = \omega \sqrt{L_R C_R} \quad (5)$$

$$\beta^{PLH} = -\frac{1}{\omega \sqrt{L_L C_L}} \quad (6)$$

$$\beta^{CRLH} = \omega \sqrt{L_R C_R} - \frac{1}{\omega \sqrt{L_L C_L}} \quad (7)$$



(a)



(b)

그림 3. (a) CRLH 전송선의 구조  
(b) CRLH 전송선의 위상응답  
Fig. 3. (a) Structure of CRLH Transmission line  
(b) Phase response of CRLH Transmission line.

표 1. 집중소자의 값  
Table 1. Values of the lumped elements.

소자	값	소자	값
$L_R$	6.2 nH	$L_L$	1.2 nH
$C_R$	2.2 pF	$C_L$	2.7 pF

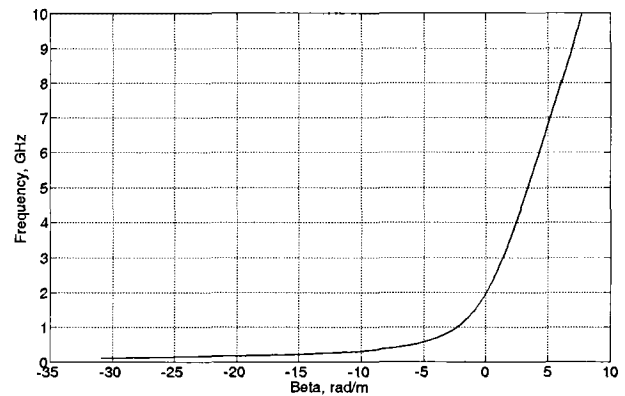


그림 4. 분산곡선  
Fig. 4. Dispersion curve.

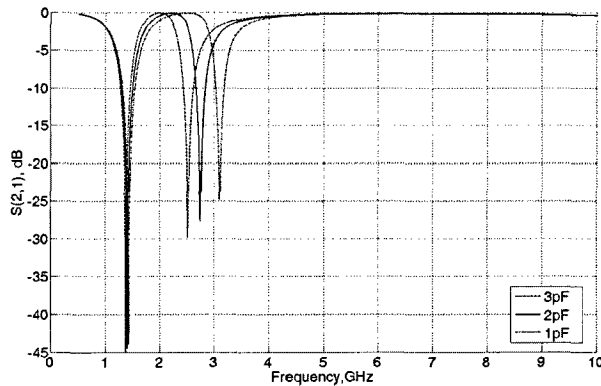
### III. 대역 저지 여파기 설계

본 장에서는 앞 장에서 설계된 CRLH 전송선을 이용하여 대역저지 여파기를 설계한다. 설계된 여파기는 그림 1(a)와 같이 CRLH 전송선을 단락된 병렬 스트리프로 사용하여 원하는 주파수에서 저지대역을 형성하였다.

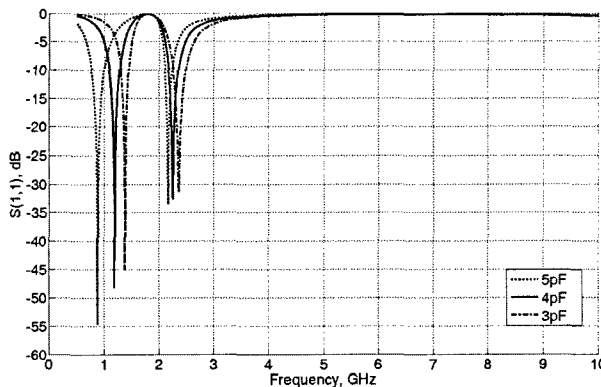
사용된 기판은 (주)타코닉사의 TLC-32 기판을 사용하였으며, 기판의 유전율은 3.2, 손실 탄젠트 0.0018, 유전체의 두께는 0.767mm이다.

먼저  $C_R$ 과  $C_L$ 의 값의 변화에 따른 주파수 응답을 모의실험 하였으며 그 결과는 그림 5(a)와 그림 5(b)에 나타 내었다. 그림 5(a)는  $C_R$ 에 의해 변화하는 주파수 변화를 볼 수 있다.  $C_R$ 이 변화함에 두 개의 주파수중 높은 주파수에서의 변화폭이 낮은 주파수에 비하여 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

반대로  $C_L$ 이 변화함에 따라 낮은 주파수의 변화율이



(a)



(b)

그림 5. (a)  $C_R$  변화에 의한 주파수 변화, (b)  $C_L$  변화에 의한 주파수 변화  
Fig. 5. (a) Frequency response with parameter of  $C_R$  ( $C_L=4pF$ ), (b) Frequency response with parameter  $C_L$  ( $C_R=3pF$ )

높은 주파수의 변화율 변화보다 상대적으로 큰 것을 알 수 있다. 즉 두 개의 주파수를 어느 정도 서로 독립적으로 조절하여 원하는 주파수 대역을 저지할 수 있음을 알 수 있다.

다음은 본 논문에서 제안한 여파기를 제작하였다. 제작을 위해서 인덕턴스 성분인  $L_L$ 과  $L_R$ 은 마이크로스트립 전송선을 사용하여 구현하였으며 커패시턴스 성분인  $C_L$ 과  $C_R$ 은 집중소자를 사용하여 제작하였다. 이때 마이크로스트립으로 구현한 인덕터의 경우 집중소자와의 관계는 식 5와 같다<sup>[6]</sup>.

$$L(nH) = 2 \times 10^{-4} \left[ \ln\left(\frac{l}{W+t}\right) + 1.193 + 0.2235 \frac{W+t}{l} \right] K_g \quad (5)$$

여기서  $K_g = 0.57 - 0.145 \ln \frac{W}{h}$  이다.

최종적으로 설계된 여파기의 구조는 그림 6과 같으며 제작을 위한 크기는 표 2에 나타내었다. 제작된 여파기의 측정결과는 그림 7에서 보인다. GPS대역에서는 약 -35dB의 저지 특성을 확인했으며 ISM 대역에서는 약 -29dB의 저지 특성이 있는 것을 확인하였다.

그림 8은 제작된 여파기의 실제 모습이다. 제작된 여파기의 크기는 10\*15mm로 매우 작은 크기이다. 만일 GPS대역을 저지하기 위해 일반적인 마이크로스트립 전송선을 사용할 경우 약  $\lambda/4 = 47.7mm$ 이며 ISM 대역인 경우 약  $\lambda/4 = 31.2mm$ 의 길이를 가져야 한다. 그러

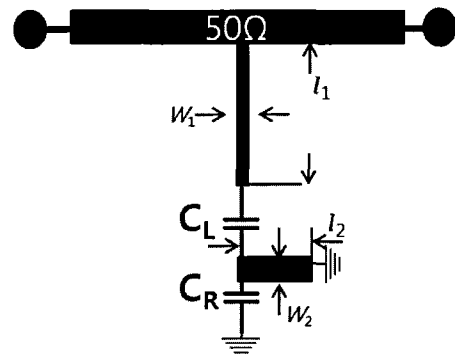


그림 6. 설계된 여파기의 구조  
Fig. 6. Structure of designed filter.

표 2. 설계된 여파기의 크기  
Table 2. Dimension of designed filter.

소자	값	소자	값
$W_1$	0.3 mm	$l_1$	3.2 mm
$W_2$	0.5 mm	$l_2$	2.8 mm
$C_R$	2.2 pF	$C_L$	2.7 pF

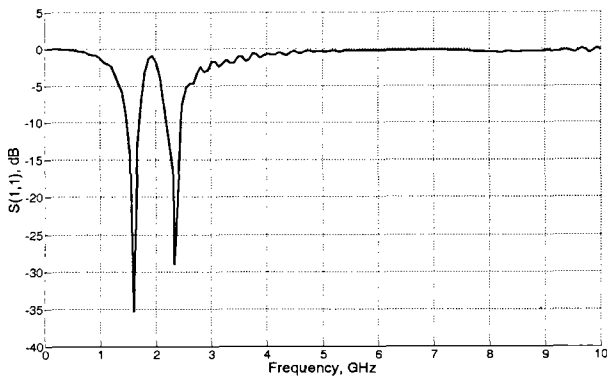


그림 7. 제작된 여파기의 주파수 응답  
 Fig. 7. Frequency response of the fabricated filter.

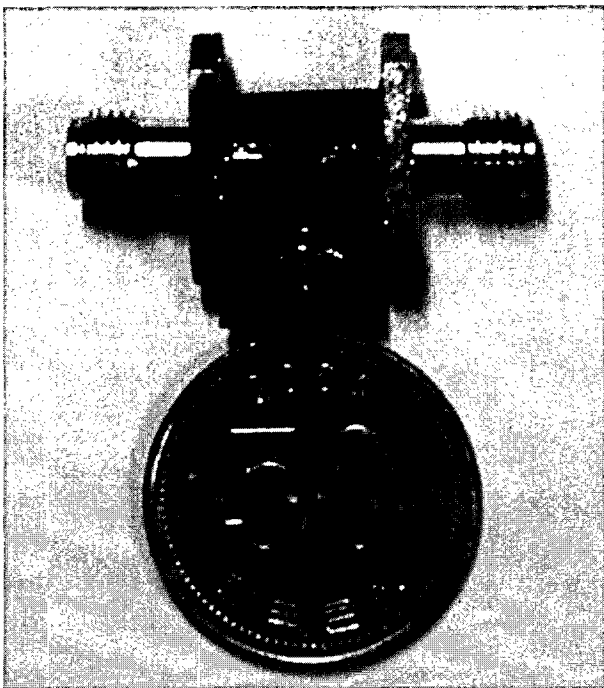


그림 8. 제작된 여파기의 사진  
 Fig. 8. Picture of the fabricated filter.

나 본 논문에서 제안한 구조에서 스티브의 길이는 집중 소자의 크기를 모두 합하여도 6.8mm로 매우 작은 크기임을 확인할 수 있다. 또한 전압에 따라 커패시턴스가 변하는 벡터 다이오드 등을 사용하면 가변적인 저지 대역을 형성하는 것으로 응용가능하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 집중 소자를 사용하여 비주기적인 두 개의 주파수 대역에서 저지 특성이 있는 대역 저지 여파기를 제안하였다. 제안된 여파기는 집중소자를 이용한 CRLH 전송선을 이용하였으며 그에 따라서 사용자

가 원하는 두 곳의 주파수 대역에서 저지 특성을 실제 제작하여 확인하였다. CRLH 전송선은 기존에 제안되었던  $\lambda/4$  전송선의 중간에 위치하는 것이 아니라 마이크로스트립 전송선의 끝부분에 설치하기 때문에 크기가 매우 작게 설계할 수 있다. 실제 제작된 여파기의 측정 결과 설계 목표로 삼았던 GPS대역에서 약 -35dB 그리고 ISM 대역에서 -29dB로 각각 두 개의 저지 특성을 확인하였다. 또한 여파기의 전체 크기가 10\*15mm로 매우 소형임을 확인하였다. 이 같은 크기는 소형 통신기기, 휴대폰과 같은 휴대용 기기에 적용될 수 있을 것으로 생각 된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of  $\epsilon$  and  $\mu$ ", *Soviet Phys. Usp.*, vol. 10, pp. 509-514, Jan.-Feb. 1968.
- [2] J. B. Pendry, A. J. Holden, W. J. Stewart, and I. Youngs, "Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures", *Phys. Rev. Lett.*, vol. 76, no. 25, pp. 4773-4776, Jun. 1996.
- [3] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Magnetism from Conductors and Enhanced Non-linear Phenomena", *IEEE Trans. Microwave and Tech.*, vol. 47, no. 11, pp. 2075-2084, Nov. 1999.
- [4] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, 2004.
- [5] 오희석, 남상욱, "Metametaterial 전송선을 이용한 이중 대역 저지 필터", *한국전자과학회논문지*, 제 20권, 제 2호, pp.124~128, 2009.02
- [6] Inder Bahl and Prakash Bhartia, *Microwave Solid State Circuit Design Second Edition*, Wiley-Interscience, 2003.

## — 저 자 소 개 —



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

<주관심분야 : 초고주파 회로설계, 초광대역 여파  
 기 설계, 메타물질>



양 승 인(평생회원)  
 1974년 2월 서울대학교  
 전기공학과 공학사  
 1976년 2월 한국과학기술원  
 전기공학과 공학석사  
 1987년 8월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 공학박사

1978년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 교수

2004년1월~2005년 12월 한국전자과학회 회장

2006년~현재 한국전자과학회 명예회장

<주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 고이득 안테  
 나, 전자파 산란, 메타물질 >