

π -형 병렬 스텐브 전송선로를 이용한 WLAN용 이중대역 Wilkinson 전력 분배기에 대한 연구

A Study on dual-band Wilkinson power divider with π -shaped parallel stub transmission lines for WLAN

조원근*
(Won-Geun Jo)

김동식**
(Dong-Seek Kim)

하동익***
(Dong-Ik Ha)

조형래****
(Hyung-Rae Cho)

요약

최근, 무선통신 시스템의 발전으로 다중대역을 위해 광대역에서 동작하는 회로들이 소개되었다. 하지만 광대역에서 동작하는 회로들은 필연적으로 크기가 증가하는 단점이 있다. 이중대역에서 동작하는 회로는 원하는 두 주파수에서만 동작하기 때문에 불필요한 소자들의 감소로 소형화가 가능하다. Wilkinson 전력 분배기는 무선통신시스템에서 전력분배를 위해 일반적으로 사용되는 소자로써, 이 또한 최근 이중대역이 요구되어지고 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.11n WLAN을 위하여 2.45GHz와 5.2GHz에서 동작하는 소형화된 이중대역 Wilkinson 전력 분배기를 제안한다. 제안된 Wilkinson 전력 분배기는 일반적인 Wilkinson 전력분배기의 $\lambda/4$ 파장 부분을 π -형 병렬 스텐브 라인으로, 전기적 길이와 임피던스를 변환하여 수행되었다.

Abstract

Recently, wireless communication systems have been developed and the circuits which operate with the broad-band for multiband uses were introduced. However, broad-band circuits have problems that inevitably increase the size. Dual-band circuit operates only two frequency, therefore, it will be able to miniaturize through unnecessary decreased elements. The Wilkinson power divider is the one of the most commonly used components in wireless communication system for power division. Nowadays, the Wilkinson power divider is also demanded dual-band.

In this paper, I propose miniaturized dual-band Wilkinson power divider operating at 2.45 GHz and 5.2 GHz for IEEE 802.11n standard. Proposed dual-band Wilkinson power divider is used in parallel stub line. The design is accomplished by transforming the electrical length and impedance of the quarter wave sections of the conventional Wilkinson power divider into dual band π -shaped sections.

Key words : Dual-band, wilkinson power divider, π -shaped, parallel stub transmission line, WLAN

* 주저자 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
** 공저자 : 한국해양대학교 전파공학과 박사과정
*** 공저자 : 인트라스 대표이사
**** 공저자 및 교신저자 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
† 논문접수일 : 2010년 11월 9일
† 논문심사일 : 2010년 12월 10일
† 게재확정일 : 2010년 12월 12일

I. 서론

최근 이동성과 휴대성이 뛰어난 모바일기기의 보급이 확산됨에 따라 언제 어디서나 누구든지 자유롭게 통신망에 접속하여 음성, 데이터 및 영상의 초고속 통신이 가능한 고도 지식정보사회로 발전해 가고 있으며 무선통신 기술 또한 이러한 사회적 욕구를 충족시키기 위하여 발전해 가고 있다.

무선통신 시스템은 이러한 대용량의 정보교환이 이뤄지면서 더욱 빠른 전송속도가 필요로 하게 되었으며, 그에 따라 WLAN의 규격은 기존의 최대 54 Mbps 전송속도를 갖는 IEEE 802.11a(5.2 GHz), IEEE 802.11b(2.45 GHz)에서 최대 600 Mbps의 전송속도를 자랑하는 IEEE 802.11n(2.45 GHz, 5.2 GHz)규격으로 변화하며 보급되고 있다. 무선통신 시스템에서 전력분배를 위해 일반적으로 사용되는 Wilkinson 전력 분배기 또한 WLAN의 IEEE 802.11n 규격인 2.45 GHz와 5.2 GHz에서 동작하도록 요구되어지고 있다[1].

기존에 제시된 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 구조는 다단 전송선로와 집중소자의 추가적인 사용으로 인해 크기의 증가 및 설계나 회로 배치에서의 자유도가 매우 부족한 단점을 가지고 있다. 최근에는 Kwok-Keung M. Cheng과 Fai-Leung Wong에 의해 L과 C와 같은 집중소자대신 단락/개방 가능한 스테브로 구성되는 이중대역 전력 분배기가 제안되었다. 두 개의 스테브는 전력 분배기 중앙 내부에 한 개의 스테브로 병렬 합성을 통해 구현 가능하여 크기적인 장점을 지닌다. 하지만 여전히 다단 전송선로의 존재로 이중대역 Wilkinson 전력 분배기는 큰 면적을 지니고 있다[2-4].

본 논문에서는, 이러한 단점을 개선하여 이중대역에서 동작하도록 하기 위해 일반적인 Wilkinson 전력 분배기의 $\sqrt{2}Z_0$ 특성임피던스를 갖는 선로들을 π -형 등가회로로 변환한다. 변환된 등가회로는 두 주파수대역에서 $\sqrt{2}Z_0$ 의 특성임피던스와 $\lambda/4$ 의 길이를 갖는 전송선로와 동일한 특성을 보인다.

II. 이중대역 π -형 전송선로

두 각주파수 w_1 과 w_2 에서 동작하기 위해 π -형 등가회로로 변환되어진 전송선로가 두 각주파수에서 요구하는 임피던스와 전기적 길이를 갖게 하는 방법을 설명한다[5].

1. π -형 등가회로 직렬성분

ABCD-parameter를 이용하여 Z_0 의 특성 임피던스와 θ 의 전기적 길이를 갖는 일반적인 전송선로를 <그림 2>의 특성 임피던스 Z_s 와 전기적 길이 θ_s 를 갖는 선로와 서셉턴스 jB 를 갖는 π -형 전송선로로 만들 수 있다[6, 7].

먼저 <그림 1>의 일반적인 전송선로에 대한 ABCD-parameter는 식 (1)과 같다.

$$[line]_{Z_0, \theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & jZ_0 \sin \theta \\ jY_0 \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (1)$$

<그림 2>의 π -형 회로에 대한 ABCD-parameter는

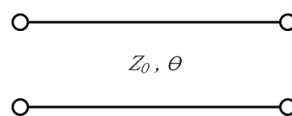
$$[\pi]_{Z_s, \theta_s} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jB & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_s & jZ_s \sin \theta_s \\ jY_s \sin \theta_s & \cos \theta_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ jB & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

이며, 두 회로가 동가가 되기 위해서는 각 성분들의 ABCD-parameter가 같아야 하기 때문에 식 (3)-(5)와 같이 정리할 수 있다.

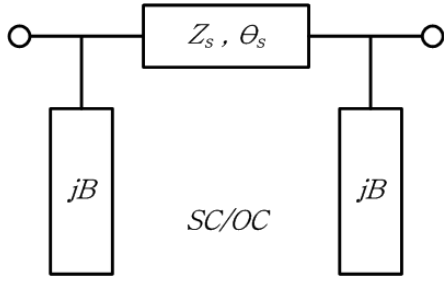
$$\cos \theta = \cos \theta_s - BZ_s \sin \theta_s \quad (3)$$

$$jZ_0 \sin \theta = jZ_s \sin \theta_s \quad (4)$$

$$jY_0 \sin \theta = jY_s \sin \theta_s + jB(2\cos \theta_s - BZ_s \sin \theta_s) \quad (5)$$



<그림 1> 일반적인 전송선로의 등가모델
(Fig. 1) Equivalent circuit model of general transmission line



〈그림 2〉 π-형 전송선로의 등가모델
 〈Fig. 2〉 Equivalent circuit model of π-shaped transmission line

일반적인 Wilkinson 전력 분배기는 λ/4 전송선로를 사용하기 때문에 식 (6)~(8)과 같이 정리된다.

$$\cos\theta_s - BZ_s\sin\theta_s = 0 \quad (6)$$

$$jZ_s\sin\theta_s = jZ_0 \quad (7)$$

$$jY_s\sin\theta_s + jB(2\cos\theta_s - BZ_s\sin\theta_s) = jY_0 \quad (8)$$

식 (6)~(7)로부터 서셉턴스 B, 특성임피던스 Z_s 및 전기적 길이 θ를 식 (9)~(11)과 같이 계산할 수 있으며, 대역폭을 δ는 식 (12)와 같다.

$$B = \frac{\cos\theta_s}{Z_s\sin\theta_s} \quad (9)$$

$$Z_s = \frac{Z_0}{\sin\theta_s} \quad (10)$$

$$\theta_s = \sin^{-1}(Z_0/Z_s) \quad (11)$$

$$\delta = \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \quad (12)$$

π-형 회로가 두 주파수 f₁과 f₂에서 일반적인 전송선로와 등가가 되어야 하기 때문에, 식 (7)에서

$$Z_0 = Z_s\sin\theta_{s,\omega_1} = Z_s\sin\theta_{s,\omega_2} \quad (13)$$

이고, 전기적 길이에 대한 관계식은 식 (14)와 같다.

$$\theta_{s,\omega_1} + \theta_{s,\omega_2} = \pi \quad (14)$$

전기적 길이의 비는 주파수의 비와 동일하므로, 식 (14)를 전기적 길이 θ_{s,ω₁}과 θ_{s,ω₂}에 대하여 정리하면 식 (15)~(16)과 같다.

$$\theta_{s,\omega_1} = \frac{\pi}{2}(1 - \delta) \quad (15)$$

$$\theta_{s,\omega_2} = \frac{\pi}{2}(1 + \delta) \quad (16)$$

식 (15)~(16)을 통해 원하는 두 주파수를 대입하여 전기적 길이를 구하고, 그 값을 식 (10)에 대입하면 등가회로의 특성임피던스 Z_s를 구할 수 있다. 서셉턴스 B_{ω₁}는 특성임피던스 Z_s와 전기적 길이 θ_{s,ω₁}을 식 (9)에 대입하여 계산할 수 있다. 여기서 B_{ω₂}를 계산해 보면, 식 (17)과 같은 관계임을 알 수 있다.

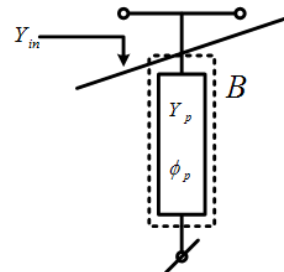
$$B_{\omega_1} = -B_{\omega_2} \quad (17)$$

2. π-형 등가회로 병렬성분

1) 개방 스텐브 전송선로

〈그림 3〉과 같은 개방 스텐브 전송선로에서 입력 어드미턴스 Y_{in}의 값은 식 (18)과 같다.

$$Y_{in} = jB = jY_p \tan\phi_p \quad (18)$$



〈그림 3〉 개방 스텐브 전송선로의 등가모델
 〈Fig. 3〉 Equivalent circuit of open stub transmission line

식 (9)에 식 (10)을 대입하여 정리하면,

$$B = \frac{\cos \theta_s}{Z_0} \quad (19)$$

이고, 식 (18)에 식 (19)를 대입하여 정리하면 식 (20)과 같다.

$$Y_p = \frac{\cos \theta_s}{Z_0 \tan \phi_p} \quad (20)$$

두 주파수에서 크기가 같고 부호가 다른 어드미턴스(서셉턴스)가 되려면 식 (21)~(22)와 같다.

$$B_{\omega_1} = Y_p \tan \phi_{p,\omega_1} \quad (21)$$

$$B_{\omega_2} = Y_p \tan \phi_{p,\omega_2} \quad (22)$$

전기적 길이 ϕ 의 관계 ($\phi_{p,\omega_1} + \phi_{p,\omega_2} = \pi$)로부터 그 값을 계산하면 식 (23)~(24)와 같이 직렬선로의 전기적 길이와 동일한 관계식을 얻을 수 있다.

$$\phi_{p,\omega_1} = \frac{\pi}{2}(1 - \delta) \quad (23)$$

$$\phi_{p,\omega_2} = \frac{\pi}{2}(1 + \delta) \quad (24)$$

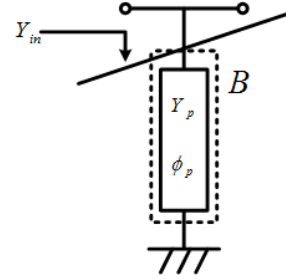
2) 단락 스텐브 전송선로

<그림 4>과 같은 단락 스텐브 전송선로를 들여다 본 입력 어드미턴스 Y_{in} 의 값은 식 (25)와 같다.

$$Y_{in} = jB = -jY_p \cot \phi_p \quad (25)$$

마찬가지로, 식 (19)를 식 (25)에 대입하여 정리하면 식 (26)과 같다.

$$Y_p = -\frac{\cos \theta_s}{Z_0 \cot \theta \phi_p} \quad (26)$$



<그림 4> 단락 스텐브 전송선로의 등가모델
<Fig. 4> Equivalent circuit of short stub transmission line

크기가 같고 부호가 다른 어드미턴스(서셉턴스)의 값을 갖기 위해서는 다음의 관계식 식 (27)~(28)을 만족해야 한다.

$$B_{\omega_1} = -Y_p \cot \phi_{p,\omega_1} \quad (27)$$

$$B_{\omega_2} = -Y_p \cot \phi_{p,\omega_2} \quad (28)$$

여기서 전기적 길이 ϕ_{p,ω_1} 과 ϕ_{p,ω_2} 에 대한 관계식은 식 (29)와 같다.

$$\phi_{p,\omega_1} + \phi_{p,\omega_2} = 2\pi \quad (29)$$

식 (29)의 관계로부터 단락 스텐브 선로의 전기적 길이에 대한 관계식을 정리하면 식 (30)~(31)과 같다.

$$\phi_{p,\omega_1} = \pi(1 - \delta) \quad (30)$$

$$\phi_{p,\omega_2} = \pi(1 + \delta) \quad (31)$$

III. 제작 및 측정

IEEE 802.11n 규격을 만족하는 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 설계조건은 다음 <표 1>과 같으며, 모든 시뮬레이션은 비유전율 3.5와 두께 0.76 mm의 Teflon microstrip 기판으로 진행하였다. 설계조건에서 두 동작주파수를 식 (12)에 대입하면 대역폭을

<표 1> 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 설계조건

<Table 1> Design qualification of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines

Parameter	Value	Unit
f_1	2.45	[GHz]
f_2	5.2	[GHz]
Z_0	50	[Ω]

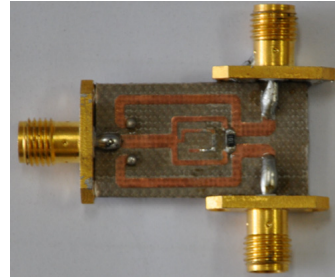
δ 는 0.3595이다. 이 값으로부터 각 선로들의 파라미터를 알아보면 병렬선로의 임피던스가 208.5925 Ω 이 계산된다. 이 값은 microstrip 구조로 구현하기 어려운 값이므로 제작을 위해서 입력 단자 쪽에 위치한 개방 종단형 스텐브는 병렬 합성으로 계산하여 임피던스를 줄였고, 출력 단자 쪽에는 단락 종단형 스텐브로 하여 microstrip 구조로 구현 가능한 임피던스가 되도록 하였다.

회로설계를 위한 설계조건들은 앞서 정리된 수식을 통해 각 소자 값들을 계산하였다. 계산된 직렬선로의 특성 임피던스(Z_s)와 첫 번째 동작 주파수에서의 전기적 길이(θ_{s,ω_1}), 병렬로 연결된 개방 종단형 스텐브 선로의 특성 임피던스(Z_{p1})와 전기적 길이(ϕ_{p1,ω_1}), 병렬로 연결된 단락 종단형 스텐브 선로의 특성 임피던스(Z_{p2})와 전기적 길이(ϕ_{p2,ω_1})의 값들을 <표 2>에 정리하였다.

<표 2> 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 설계 파라미터

<Table 2> Parameter of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines

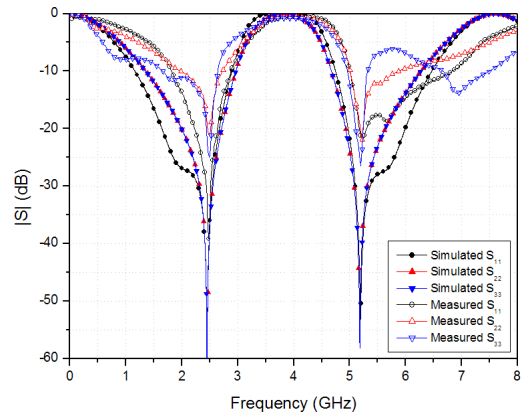
Parameter	Value	Unit
Z_s	83.7043	[Ω]
θ_{s,ω_1}	57.6471	[deg]
Z_{p1}	208.5925	[Ω]
ϕ_{p1,ω_1}	57.6471	[deg]
Z_{p2}	62.4441	[Ω]
ϕ_{p2,ω_1}	115.2941	[deg]



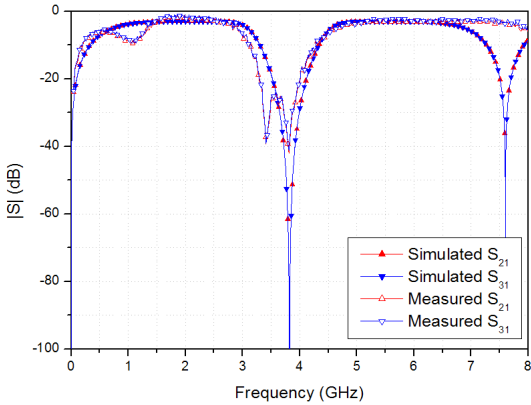
<그림 5> 제작된 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기

<Fig. 5> Photograph of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines

제작된 이중대역 전력 분배기의 측정 결과는 시뮬레이션 결과와 비교하여 <그림 6~9>에 보이고 있다. <그림 6>에서는 두 출력 단자에서 측정된 삽입손실과 입력측 반사손실을 나타낸다. 첫 번째 동작 주파수 2.45 GHz에서 입력정합은 -32.046 dB (S_{11})이고, 출력정합은 -21.291 dB(S_{22})와 -24.967 dB(S_{33})이다. 두 번째 동작 주파수 5.2 GHz에서 입력정합은 -21.615 dB(S_{11})이고, 출력정합은 -20.368 dB(S_{22})와 -26.461 dB(S_{33})의 양호한 결과 값을 얻었다. 측정결과가 두 주파수에서의 시뮬레이션 결과 값과 비슷하게 나타난다.



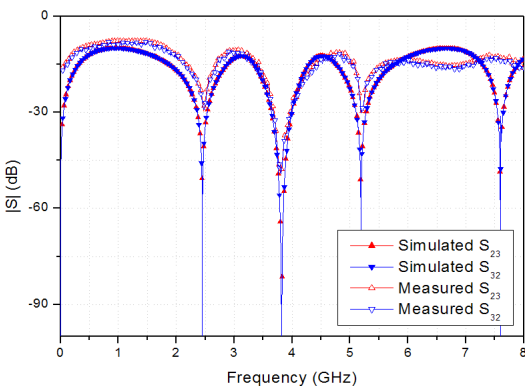
<그림 6> 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 입,출력정합
<Fig. 6> Input and output matching of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines



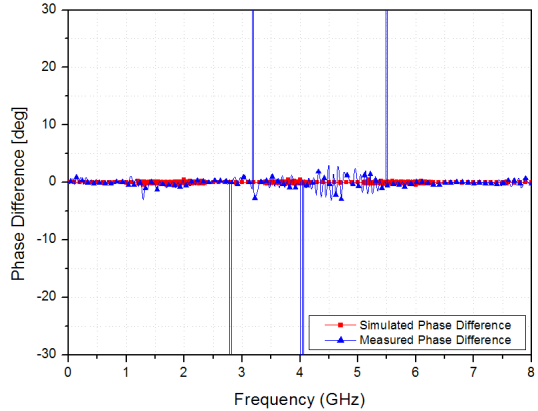
〈그림 7〉 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 삽입손실
 〈Fig. 7〉 Insertion loss of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines

〈그림 7〉에서는 두 출력 단자에서 측정된 전달 계수를 나타낸다. 첫 번째 동작 주파수 2.45 GHz에서 전달계수는 $-3.203 \text{ dB}(S_{21})$ 와 $-3.108 \text{ dB}(S_{31})$, 두 번째 동작 주파수 5.2 GHz에서 전달계수는 $-3.192 \text{ dB}(S_{21})$ 와 $-3.117 \text{ dB}(S_{31})$ 의 값이 측정되었다.

출력 포트간의 격리특성은 〈그림 8〉에서 보여진다. 첫 번째 동작 주파수 2.45 GHz에서 격리도는 $-25.76 \text{ dB}(S_{23})$ 와 $-26.133 \text{ dB}(S_{32})$ 이고, 두 번째 동작 주파수 5.2 GHz에서 격리도는 $-29.284 \text{ dB}(S_{23})$ 와 $-29.624 \text{ dB}(S_{32})$ 이다. 두 출력 단자 사이의 위상 차이는 약 3° 이하로 〈그림 9〉에서 보이고 있다.



〈그림 8〉 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 격리도
 〈Fig. 8〉 Isolation of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines



〈그림 9〉 스텐브 전송선로를 이용한 이중대역 Wilkinson 전력 분배기의 출력단 위상차이
 〈Fig. 9〉 Output phase difference of dual-band Wilkinson power divider with stub transmission lines

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 단일 주파수에 동작하는 Wilkinson 전력 분배기의 $\lambda/4$ 전송선로를 병렬성분을 갖는 π -형 등가회로로 구조로 설계하여 이중대역으로 동작하게 하였다. 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 π -형 등가회로 구조를 사용함으로써 기존의 전력분배기의 단점인 집중소자, 다단 전송선로의 사용을 줄여 회로를 최소화하는 방법을 제시하였다.

제안된 이중대역 Wilkinson 전력 분배기는 WLAN의 IEEE 802.11n 규격을 위하여 2.45 GHz와 5.2 GHz에서 동작하도록 설계, 제작하였고 측정을 통하여 타당성을 입증하였다. 스텐브 전송선로를 사용한 이중대역 전력 분배기는 최대 -3.203 dB 의 삽입손실과 최소 -20.368 dB 의 반사손실을 가지며, 최소 -25.76 dB 의 격리도를 갖는다.

본 논문에서 제시된 이중대역 Wilkinson 전력 분배기는 단일 회로로 이중대역에서 동작하며, 소자의 개수가 적고 그에 따라 회로의 소형화를 이루었기 때문에 앞으로 많은 활용을 기대할 수 있을 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] A. Afsahi, A. Behzad, V. Magoon and L. E. Larson, "Linearized dual-band power amplifiers with integrated baluns in 65 nm CMOS for a 2×2 802.11n MIMO WLAN SoC," *IEEE J. Solid-state Circuits*, vol. 45, no. 5, pp.955~966, May 2010.
- [2] T. Kawai, J. Yamasaki, Y. Kokubo and I. Ohta, "A design method of dual-frequency Wilkinson power divider," *Microwave Optical Technol. Lett.*, vol. 50, no. 6, pp.1678~1682, June 2008.
- [3] L. Wu, Z. Sun, H. Yilmaz and M. Berroth, "A dual band frequency Wilkinson power divider," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 1, pp.278~284, January 2006.
- [4] K. Cheng and F. Wong, "A new Wilkinson power divider design for dual band application," *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 17, no. 9, pp.664~666, September 2007.
- [5] C. Caloz and T. Itoh, "Transmission line theory and microwave applications," *Electromagnetic Metamaterials, Chemphyschem : a European J. Chemical Physics and Physical Chemistry*, vol. 8, no. 4, pp.618~619, March 2007.
- [6] X. Li, Y. J. Yang and L. Yang, "Design of unequal Wilkinson power divider for dual-band operation with isolation stubs," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 24, pp.1245~1246, November 2009.
- [7] A. S. S. Mohra, "Compact dual band Wilkinson power divider," *Microwave Optical Technol. Lett.*, vol. 50, no. 6, pp.1678-1682, June 2008.

저자소개



조 원 근 (Jo, Won-Geun)

2009년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 석사과정
2005년 3월 ~ 2009년 2월 : 한국해양대학교 공학사(전파공학전공)



김 동 식 (Kim, Dong-Seek)

2005년 3월 ~ 2007년 2월 : 한국해양대학교 박사과정 수료(전파공학전공)
2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 한국해양대학교 공학석사(전파공학전공)
1995년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국해양대학교 공학사(전파공학전공)



하 동 익 (Ha, Dong-Ik)

1981년 2월 : 홍익대학교 공과대학 도시공학과 졸업
1983년 2월 : 홍익대학교 대학원 도시공학과 공학석사
1992년 1월 : Polytechnic Institute of New York, U.S.A. 교통공학박사
2000년 8월 ~ 현재 : 인트라스 대표이사



조 형 래 (Cho, Hyung-Rae)

1996년 4월 ~ 현 재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 연세대학교 공학박사(통신공학전공)

1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 연세대학교 공학석사(통신공학전공)

1978년 3월 ~ 1982년 2월 : 광운대학교 공학사(전자공학전공)

2004년 4월 ~ 2007년 3월 : (재)한국조선기자재연구원 원장

1984년 1월 ~ 1990년 6월 : LG전자(주) 연구소 선임연구원