

비대칭 이중대역 집중소자 전력분배기

An Unequal Dual-Band Lumped Element Power Divider

류재현*, 김영*, 윤영철**

Jae-Hyun Yoo*, Young Kim* and Young-Chul Yoon**

요 약

본 논문은 집중소자를 사용한 이중대역 비대칭 전력 분배기를 제안 하였다. 분배기는 기존의 비대칭 윌킨슨 전력 분배기를 집중소자를 이용하여 단일대역에서 설계한 후, 여파기 변환 기법을 이용하여 이중대역 특성을 갖도록 설계하였다. 이러한 설계 방법의 특징은 비대칭 분배기 설계 시 마이크로스트립으로 구현이 어려운 높은 임피던스의 전송선로를 집중소자를 이용하여 쉽게 구현할 수 있고, 크기를 작게 할 수 있다는 것이다. 여파기 변환기법에 의한 이중대역 특성을 확인하기 위하여 전력 분배기를 880 MHz와 1650 MHz에서 동작하도록 제작하였으며, 전기적인 특성은 시뮬레이션 결과와 동일하였다.

Abstract

This paper presents the design and measured performances of an unequal dual-band power divider using lumped elements. After the divider is designed using the conventional single band Wilkinson topology with lumped elements, we obtained the dual band characteristics with filter conversion method. This design method has the features of compact size and easy fabrication, because the high impedance transmission line realizes the lumped elements of equivalent circuit. As an example, an 2:1 divider has been designed and measured at 880 MHz and 1650 MHz in order to show the validity of the proposed unequal divider. The measured performances of the unequal power divider agree with the simulation results.

Key words : Unequal divider, Wilkinson power divider, lumped element, size reduction

I. 서 론

전력 분배기와 결합기는 현대 무선통신 시스템의 전력 증폭기, 선형화기 그리고 많은 종류의 시험 장비에 사용되는 중요한 수동 소자이다. 여러 종류의 분배기중에서 비대칭 다중 섹션 분배기는 N 개의 전송선로를 이용한 분배 개념을 갖고 있다[1]. 이러한 분배기는 기본적으로 전송선로를 이용하여 구현되기

때문에 작은 시스템에 적용하는데 크기에 대한 제한을 갖고 있다. 이러한 크기 제한에 대한 것을 해결 방법으로 전송선로를 등가회로로 변환하여 집중소자를 이용하여 구현함으로써 크기를 작게 구현하였다 [2],[3]. 또한, 최근에는 Monzon's 해석 방법을 이용하여 이중대역 변환기[4]를 바탕으로, 이중 대역의 윌킨슨 전력분배기[5],[6],[7]가 다중 대역 응용에 적용되도록 개발되었다. 이러한 이중 대역 분배기 역시

* 금오공과대학교 전파통신과(Department of Radio Communication Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

** 관동대학교 전자정보통신공학부(Department of Electronics & Information Communication Eng., Kwandong University)

· 제1저자 (First Author) : 류재현

· 교신저자 : 김 영

· 투고일자 : 2011년 7월 12일

· 심사(수정)일자 : 2011년 7월 12일 (수정일자 : 2011년 8월 9일)

· 게재일자 : 2011년 8월 30일

전송선로로 구현되기 때문에 크기에 대한 제한이 존재하며 이러한 문제를 해결하기 위하여 집중소자를 이용한 이중 대역 균등 분배기[8]가 연구되었다. 하지만 다중 대역에서 사용되는 배열 안테나 등에서 사용되는 비대칭 이중대역 분배기는 마이크로스트립 선로로 제작되어 크기가 커서 시스템 구현 시 곤란한 문제가 존재하고 있으나 이것에 대한 해결 방법은 아직 연구되지 않고 있다.

본 논문에서는 전송선로를 사용하여 구현된 비대칭 다중 대역 분배기를 작은 크기로 구현하기 위해서 집중소자를 이용하였으며, 비대칭 이중 대역 전력 분배기를 설계하였다. 이러한 설계 방법으로 비대칭 분배기 설계 시 마이크로스트립 기술로 높은 선로 임피던스를 구현하기 어려운데 이러한 어려움을 해결 하였다.

이러한 설계 방법의 타당성을 보기 위하여 880 MHz 와 1650 MHz 두 주파수에서 동작하는 비대칭 분배기를 제작하여 그 특성을 확인하였다.

II. 비대칭 이중 대역 전력 분배기 설계

2-1. 집중소자를 사용한 전송선로의 등가회로

그림 1(a)의 전송선로는 비대칭 전력 분배기에서 사용되는 $\frac{\lambda}{4}$ 전송선로를 나타낸 것이다. 이 전송선로의 전송 파라미터는 다음과 같은 값을 갖는다.

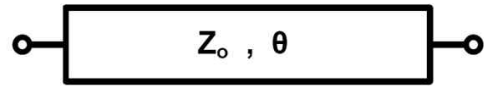
$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{TL} = \begin{pmatrix} 0 & jZ_o \\ jY_o & 0 \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 Z_o 는 전송선로의 특성 임피던스이다.

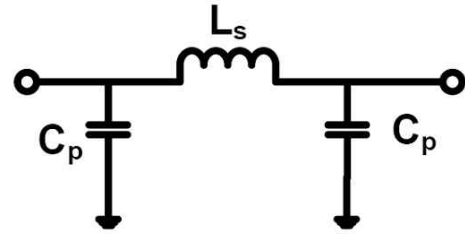
또한, 이 전송선로를 집중 소자를 이용한 π 형 등가 회로로 변환시킨 것은 그림 1(b)에 나타내었다.

이 회로의 전송 파라미터를 구하면 다음과 같이 나타 낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}_{EQCKT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_p & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & j\omega L_s \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_p & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$



(a)



(b)

그림 1. (a) 전송선로 (b) 집중소자에 의한 등가회로
Fig 1. (a) Transmission line (b) Equivalent circuit with lumped elements

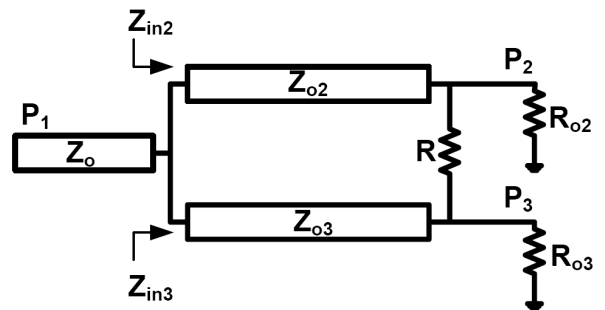


그림 2. 비대칭 윌킨슨 전력 분배기 회로도
Fig 2. An Unequal Wilkinson Power Divider

식 (1)과 (2)의 결과가 동일하면 등가 회로로 볼 수 있기 때문에 이러한 조건으로 식을 정리하면 다음과 같이 각각의 집중 소자 값을 구할 수 있다.

$$L_s = \frac{Z_o}{\omega} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{1}{\omega Z_o} \quad (4)$$

식 (3), (4)는 비대칭 분배기에서 사용되는 전송선로의 임피던스 값을 이용하여 π 형 등가회로로 변환 시 특정 주파수에서 인덕터와 캐패시터의 집중소자 값으로 설계할 때 사용되는 관계식이다.

2-2. 비대칭 전력분배기 설계

비대칭 전력 분배기의 전력 분배 비율이 $P_3/P_2 = k^2$ 일 때의 전체 회로도를 그림 2에 나타내었다. 여기서 두 개의 가지로 나누어지는 포트 1에서 바라본 입력 임피던스는 다음의 두 가지 조건을 만족하여야 한다.

$$R_{o2} = k^2 R_{o3}, Z_{in2} = k^2 Z_{in3} \quad (5)$$

또한, 포트 1의 특성 임피던스 Z_0 는 정합 조건을 만족하기 위해서 두 개의 전송선로 입력 임피던스와 다음의 관계를 만족하여야 한다.

$$Z_o = \frac{Z_{in2}Z_{in3}}{Z_{in2} + Z_{in3}} = \frac{k^2}{1 + k^2} Z_{in3} \quad (6)$$

위의 식 (5), (6)를 결합하면 포트 1과 연결된 두 개의 전송선로의 입력 임피던스를 구할 수 있다.

$$Z_{in2} = (1 + k^2)Z_o \quad (7)$$

$$Z_{in3} = \frac{1 + k^2}{k^2} Z_o \quad (8)$$

또한, 편리성을 위하여 R_{o2} 와 R_{o3} 는 다음과 같이 결정할 수 있으며, 고립도를 확보하기 위한 저항 값은 다음과 같다.

$$R_{o2} = kZ_o \quad (9)$$

$$R_{o3} = Z_o/k \quad (10)$$

$$R = \frac{1 + k^2}{k} Z_o \quad (11)$$

식 (9), (10), (11)과 식 (3), (4)을 결합하여 전송선로를 집중소자를 이용한 π 형 등가회로로 구현한 비대칭 전력 분배기의 회로도를 그림 3에 나타내었으

며, R_{o2} 와 R_{o3} 는 특성 임피던스 Z_0 와 정합시키기 위한 집중회로 등가회로를 삽입하였다.

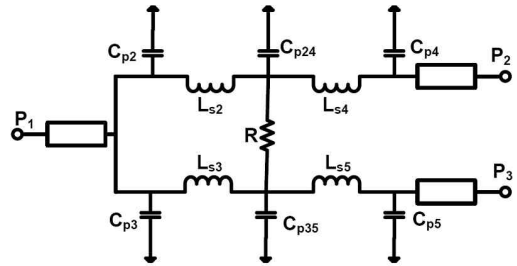


그림 3. 집중소자로 나타낸 비대칭 윌킨슨 전력 분배기 회로도

Fig 3. An unequal Wilkinson divider schematic with lumped elements

2-3. 이중 대역 비대칭 전력분배기 설계

앞 절에서 구현한 집중소자의 비대칭 전력 분배기를 이중대역으로 설계하기 위해서 그림 4와 같이 단일 대역의 집중소자를 이중대역에서 만족할 수 있도록 변환시켜주었다. 기본형의 집중소자 전력 분배기 소자 값을 여파기 변환기법을 이용하여 이중대역을 갖도록 소자 값을 변환하여 설계 하였다.

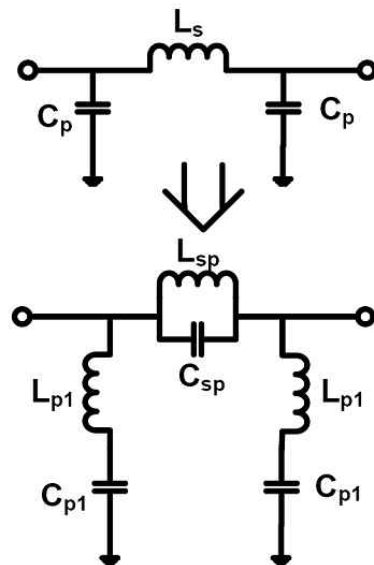


그림 4. 여파기 변환기법을 사용한 이중대역 구조의 등가회로.

Fig 4. Dual-band equivalent circuit using filter conversion method.

그림 4와 같은 변환은 아래와 같은 식을 이용하여 각 소자 값을 구할 수 있다.

$$f' = \frac{1}{\Delta} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right) \quad (12)$$

$$\Delta = \frac{f_2 - f_1}{f_0}$$

$$f_o = \sqrt{f_1 f_2}$$

여기서 f_1, f_2 는 설계하고자하는 이중대역의 중심 주파수를 나타낸다.

위의 식을 이용하여 그림 4의 각 소자 값을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{sp} = L_s \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1 \omega_2} \quad (13)$$

$$C_{sp} = \frac{1}{L_s} \frac{1}{\omega_2 - \omega_1} \quad (14)$$

$$L_{p1} = \frac{1}{C_p} \frac{1}{\omega_2 - \omega_1} \quad (15)$$

$$C_{p1} = C_p \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1 \omega_2} \quad (16)$$

위 식을 이용하여 880 MHz와 1650 MHz의 두 주파수에서 동일한 특성을 갖는 비대칭 전력 분배기를 설계 하였다. 여기서는 $k^2 = 2$ 인 분배기를 설계하기 위해서 먼저 비대칭 전력 분배기의 특성 임피던스를 계산하고, 그것을 바탕으로 집중소자 값을 구하고 그런 이후에 설계하고자 하는 이중 대역 주파수로 변환된 값을 표 1에 나타내었다.

표 1. $k^2 = 2$ 인 비대칭 분배기 설계 값
Table 1. Element values of unequal power divider at $k^2 = 2$

특성임피던스(Ω)	π 형 등가회로 소자 값		이중대역으로 변환 시 소자 값			
	L_s	C_p	L_{sp} (nH)	C_{sp} (pF)	L_{pl} (nH)	C_{pl} (pF)
102.99	102.98	0.0097	21.23	0.82	8.69	2.01
51.49	51.49	0.0194	10.64	1.64	4.35	4.01
59.46	59.46	0.0168	12.29	1.42	5.02	3.48
42.04	42.04	0.0238	8.69	2.01	3.55	4.92

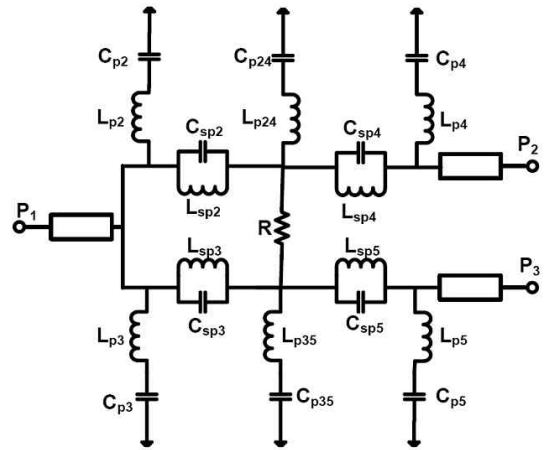


그림 5. 비대칭 이중대역 전력분배기 회로도
Fig. 5. Schematic of Dual-Band Unequal power Divider

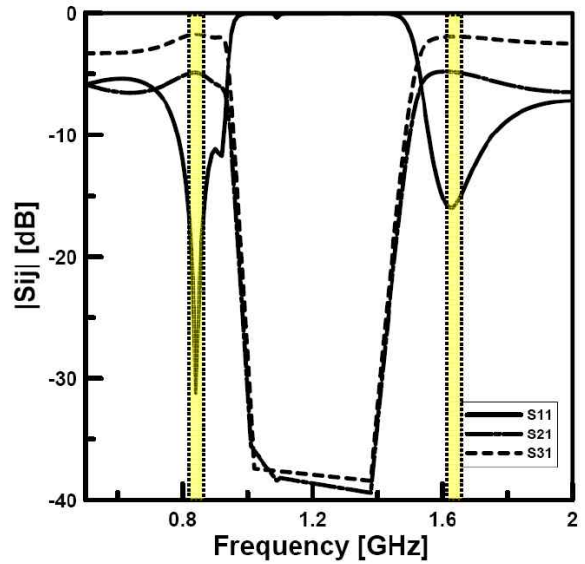


그림 6. 비대칭 이중대역 분배기 시뮬레이션 결과
Fig 6. Simulation results of dual-band unequal power divider

이 값을 이용하여 비대칭 전력 분배기 회로를 시뮬레이션하기 위하여 그림 5의 회로를 설계하였다. 위의 설계를 바탕으로 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 6은 비대칭 이중 대역 월킨슨 전력 분배기의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 여기서 설계한 이중대역 비대칭 전력분배기는 특성 임피던스가 Z2와 Z3인 $\lambda/4$ 전송선로와 특성 임피던스 50 Ω 에 정합하기 위해서 사용된 Z4와 Z5 $\lambda/4$ 변환기 전송선로 부분을 집중소자를 이용하여 변경된 구조이다.

시뮬레이션 결과는 이중 대역 880 MHz와 1650 MHz 주파수에서 2번 포트와 3번 포트에서 전력분배가 각각 3dB 차이가 발생하며, 그리고 880MHz에서 반사손실이 30dB, 1650MHz에서 반사손실이 15dB가 되는 것을 확인하였다.

III. 이중대역 비대칭 분배기 제작 및 측정

여기에서는 집중소자를 이용한 이중대역 비대칭 전력 분배기의 특성을 확인하기 위하여 그림 7과 같이 제작하였다. 여기에 사용된 PCB는 타코닉사의 유전율 $\epsilon_r = 2.5$, 두께 0.787mm의 테프론 기판을 사용하였다. 또 실제 사용된 소자 값은 표2에 나타내었다.

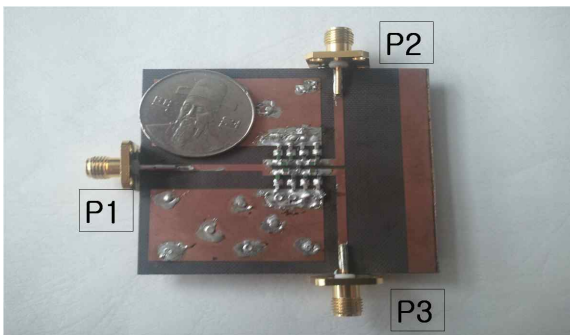


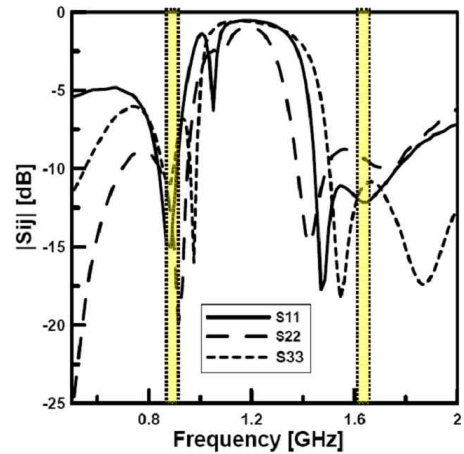
그림 7. 제작된 이중대역 비대칭 전력분배기.
Fig 7. Photograph of dual-band unequal power divider

그림 7에서는 제작한 비대칭 이중대역 전력분배기를 나타내었는데, 제작된 전력분배기는 각 포트에 매칭을 만족하기 위하여 출력 측에 $\lambda/4$ 전송선로를 삽

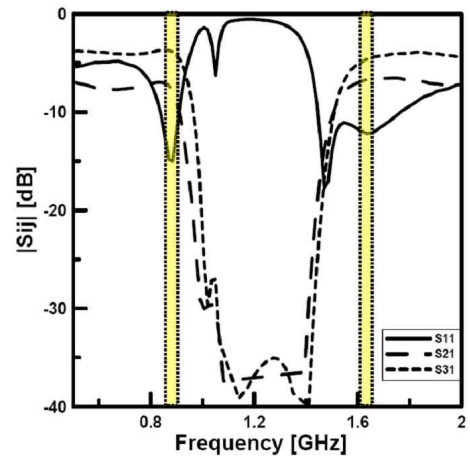
입하였으며, 이중대역 특성을 만족하도록 집중소자로 변환하여 특성을 확보하였다.

표 2. $k^2 = 2$ 분배기 제작 시 사용된 소자 값
Table 2. Element values of fabrication unequal power divider at $k^2 = 2$

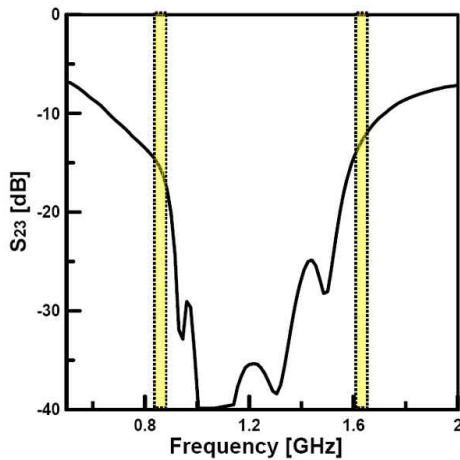
특성임피던스 (Ω)	이중대역으로 변환 시 소자 값			
	L_{sp} (nH)	C_{sp} (pF)	L_{pl} (nH)	C_{pl} (pF)
102.99	22	0.75	8.2	2.0
51.49	10	1.5	3.9	4.0
59.46	12	1.0	4.7	3.3
42.04	8.2	2.0	3.3	4.7



(a) 반사손실 특성
(a) Return Loss



(b) 삽입손실 특성
(b) Insertion Loss



(c)고립도 특성
(c) Isolation

그림 8. 이중대역 비대칭 전력 분배기 측정 결과
Fig 8. Measurement results of dual-band unequal power divider

반사손실 측정값은 그림 8.(a)에 나타내었으며, 측정값은 880 MHz에서 S11, S22, S33 은 각각 -16 dB, -12 dB, -13 dB 를 얻었고, 1650 MHz에서 각각 -11 dB, -13 dB, -10 dB 를 얻었다.

또한 그림 8(b)와 (c)에서 각 포트 사이의 전달 특성과 고립도 특성을 확인 하였다. 전달 특성 측정값은 880 MHz에서 S21, S31 은 각각 -7 dB, -3.8 dB 였고, 1650MHz에선 S21, S31은 각각 -6.5dB, -4dB를 얻었으며, 고립도 특성은 880 MHz에서 S23 은 각각 -17dB 였고, 1650MHz에선 S23 은 -11 dB 를 얻었다.

또한, 포트 길이를 제외한 회로 부분의 면적에서는 기존 비대칭 월킨슨 분배기(60 x 60 mm²)와 본 논문의 분배기(20 x 14 mm²)와 비교하여 13%의 회로 면적으로 감소됨을 확인하였다.

이 측정 결과를 보면 880 MHz와 1650 MHz에서 특성 차이가 발생함을 알 수 있는데, 이러한 특성은 여기서 사용된 집중소자가 이상적 소자가 아니고, 고주파에서 집중소자가 기생성분에 더 많은 영향을 받기 때문에 설계 값과 큰 오차가 발생하여 동일한 특성을 얻을 수 없었다.

여기에서 측정된 결과는 시뮬레이션과 유사한 특성이 나옴을 확인하였고, 제작된 분배기는 집중소자에 의한 손실 그리고 PCB 제작 손실 등이 추가가 되어 삽입손실이 증가되었다.

IV. 결 론

이 논문은 여파기 변환 방식을 이용하여 이중대역 월킨슨 전력분배기를 설계한 것이다.

집중소자를 이용하여 전력분배기를 제작함으로써 기존 분배기 크기의 13%로 소형화를 이루었고, 각 주파수에서 2:1 비율로 전력분배가 이루어지는 것을 확인 하였다. 또한, 이 분배기는 기존의 높은 임피던스 값에 의해서 마이크로스트립 제작이 어려운 전력 분배기의 단점도 극복하였다.

참 고 문 헌

- [1] H. Oraizi and A. R. Sharifi, "Design and Optimization of Broadband Asymmetrical Multisection Wilkinson Power Divider", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, No. 5. pp.2220-2231, May 2006.
- [2] F. Noriega and P.J. Gonzalez, "Designing LC Wilkinson Power Splitters," *RF interconnects /interfaces*, pp. 18-24, 2002.
- [3] Y. Wu and Y. Liu, "Closed-form design method for unequal lumped-elements Wilkinson power dividers," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 51, No. 5, May 2009.
- [4] C. Monzon, " A small dual frequency transformer in two sections," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 51, pp.443-450, 2003.
- [5] L.Wu, Z. Sun, H. Yilmaz, and M. Berroth, "A dual-frequency Wilkinson power divider," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, no. 1. pp.278-284, Jan. 2006.
- [6] Y. Wu and Y. Liu, Y. Zhang, J. Gao, and H. Zhou, "A dual band unequal Wilkinson power divider without reactive components," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 57, No. 1, pp.216-222, Jan. 2009.
- [7] C. Feng, G. Zhao, X.Feng, and F. Zhang, "A novel dual frequency unequal Wilkinson power divider," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, vol. 50, No. 6, June 2008.

- [8] T. Kawai, I. Ohta, and A. Enokihara, "Design method of lumped-element dual-band Wilkinson power dividers based on frequency transformation," *Proceeding of Asia-Pacific Microwave Conference*, pp.710-713, 2010.

류 재 현 (柳 在 賢)



2010년 2월 : 금오공과대학교
전자공학부 전자공학과(공학사)
2010년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교
대학원 전자통신공학과 재학 중
관심분야 : RF 회로 설계,
Metamaterial, 수동소자 회로 설계

윤 영 철 (尹永哲)



1978년 2월: 서강대학교 전자공학과
(공학사)
1982년 2월: 서강대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)
1989년 2월: 서강대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)
1987년 9월 ~ 현재 관동대학교
전자정보통신공학부 교수

관심분야 : RF 및 Microwave 회로설계

김 영 (金英)



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과
(공학석사)
2002년 8월: 서강대학교 대학원
전자공학과 (공학박사)
1988년 1월 ~ 1993년 5월: 이즈텔
시스템즈(주) 연구소 선임연구원
1993년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자
(주) 정보통신사업본부 선임연구원

1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수
2003년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 부교수
관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력
증폭기 및 선형화기 설계