

출력포트 사이의 물리적 격리도를 향상시킨 비대칭분배기

An Unequal Divider with Enhanced Physical Isolation Between Output Ports

김 영^{1*} · 윤영철²

¹금오공과대학교 전자공학과

²관동대학교 전자정보통신공학부

Young Kim^{1*} · Young-Chul Yoon²

¹Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyongsangbuk-do, 730-701, Korea

²Department of Electronic Engineering, Kwandong University, Gangwon-do, 210-701, Korea

[요 약]

본 논문은 출력 포트 사이의 물리적인 분리와 전기적 격리도를 개선시킨 비대칭 분배기기의 설계와 성능을 나타낸 것이다. 이 분배기는 입력 포트와 연결된 두 개의 $\lambda/4$ 전송선로의 중앙에 격리소자 저항 18Ω 과 캐패시터 0.7pF 를 직렬로 연결하여 출력 포트 사이에 격리도를 높였고, 출력 포트가 다른 회로에 연결이 쉽도록 하는 설계 방법을 제시하였다. 이러한 설계는 출력포트의 격리도를 물리적으로 향상시켜주며, 이 분배기와 다른 회로가 연결 될 때 별도의 전송선로가 필요 없이 연결할 수 있는 특징을 갖고 있다. 이러한 특성을 확인하기 위하여 중심 주파수 2GHz 에서 4:1 비대칭 분배기를 설계하였고 측정된 결과는 반사계수가 17dB 이상, 삽입손실은 1.5dB 와 7.7dB , 그리고 격리도는 18dB 이상 특성을 얻었다. 이러한 전기적 특성은 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인하였다.

[Abstract]

This paper presents the design and performance of an unequal divider with physical separation and electrical isolation. This divider has a series 18Ω resistor and 0.7pF capacitor circuit between two quarter-wave transmission lines at half phase angle from input terminal. This design method was improved a physical isolation between output ports and easy connected other circuit because of unnecessary of extra transmission line. To show the validity of the unequal divider with complex isolation components, a 4:1 ratio unequal divider was designed and measured at center frequency of 2GHz . The measured divider performances have the return loss of 17dB , insertion loss of 1.5dB and 7.7dB , and isolation of 18dB . Its performance is in good agreement with the simulated results.

Key word : Complex isolation component, Isolation technology, Passive circuit, Series R-C circuit, Unequal divider.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2014.18.4.359>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 10 July 2014; Revised 25 August 2014

Accepted (Publication) 21 August 2014(30 August 2014)

*Corresponding Author; Young Kim

Tel: +82-54-478-7506

E-mail: youngk@kumoh.ac.kr

I. 서론

RF 및 초고주파 영역의 전력 분배기에서 요구되는 기능은 두 출력 포트사이 물리적인 분리와 전기적 격리도를 갖고 같은 전력 또는 비대칭 전력으로 나누는 것이다. 전력 분배기는 어레이 안테나에서 방사 소자를 여기 시키기 위해 입력전력을 나누는 역할 그리고 평형 증폭기 또는 비대칭 도허티 증폭기에서는 전력 분배와 전력 합성에 사용된다[1],[2]. 윌킨슨 전력분배기는 포트 정합, 작은 삽입 손실 그리고 출력 포트 사이의 높은 격리도의 특성들을 만족하고 있다[3]. 또한, 윌킨슨 분배기는 평면으로 제작하기가 쉽기 때문에 초고주파 영역에서 초고주파 집적 회로에 적용하기가 용이하다.

이러한 윌킨슨 전력분배기의 작은 크기의 격리 저항은 두 $\lambda/4$ 전송선로와 근접하게 배치하여야 연결할 수 있다. 하지만 이러한 두 $\lambda/4$ 전송선로 근접성은 전력을 분배하기 위한 $\lambda/4$ 전송선로 사이의 전기적인 결합을 만들어내기 때문에 격리도 특성을 열화 시킨다. 또한, 격리 저항의 출력포트 근접성은 출력력을 다른 회로를 연결시키는 것을 어렵게 하며, 추가적인 전송선로가 필요하게 된다. 이것은 전력분배기 회로의 크기와 삽입손실을 증가시키고, 대역폭의 감소 결과를 가져온다[4]-[7]. C.J. Trantarella의 논문은 출력 포트사이의 추가적인 전송선로를 제거하고 격리도를 개선시키기 위해 $\lambda/4$ 전송선로 안에 격리 소자를 삽입하여 동일한 출력이 나오도록 한 분배기이다[8].

본 논문은 비대칭 전력 분배기가 전력을 분배하기 위한 $\lambda/4$ 전송선로 안에 격리 저항과 커패시터를 직렬 연결시킨 소자를 삽입하여 출력포트 사이의 전기적인 격리도와 물리적 분리를 개선시키는 구조를 제안하였다. 이렇게 제안한 분배기는 기존의 대칭 전력분배기의 해석 방법에서 몇 가지의 구조적 수정을 통하여 유도 할 수 있다.

II. 본론

본 논문에서는 최소의 전기적인 삽입손실을 갖추면서 출력 포트사이의 전기적, 물리적인 격리를 위하여 두 전송선로 사이 임의의 위치에 Z_{iso} 격리 소자를 삽입한 그림 1(a)와 같은 새로운 형태의 비대칭 윌킨슨 분배기를 제시하였다.

새로운 전력분배기는 전송선로의 임피던스가 Z_{o1} , Z_{o2} 인 두 개 전송선로가 병렬로 연결되어 있고, 입력 포트 P_1 의 임피던스는 Z_o 그리고 각 전송선로의 전기적인 길이는 90° 를 갖고 있다.

기존의 비대칭 분배기와 다른 것은 입력 포트 P_1 에서 전기적인 길이 θ , 단 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ 조건을 만족하는, 위치에 격리 소자 Z_{iso} 가 위치하는 것이다. 전력분배기 전송선로 내부에 전기적 길이 θ 위치에 격리 소자를 두는 것에 의해서 두 전송선로의 간격을 이격시켜서 설계가 가능하므로 출력 포트를 물

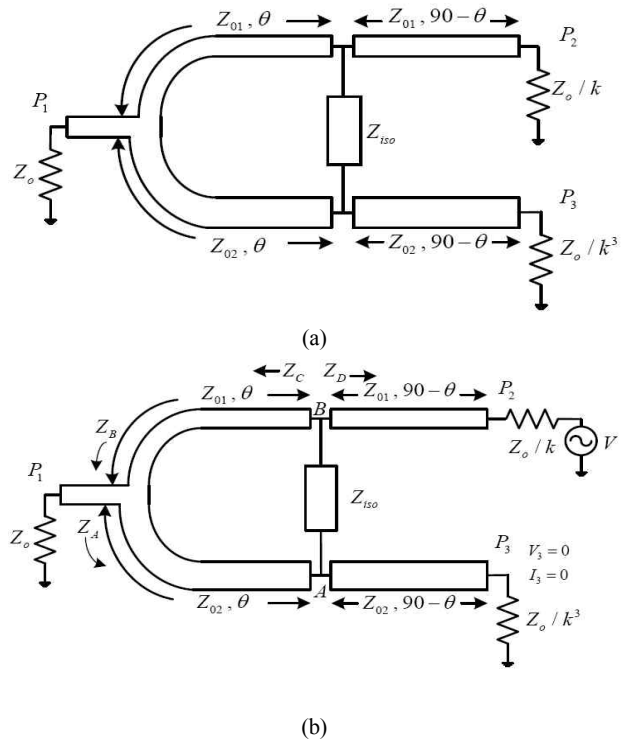


그림 1. (a)제안된 새로운 형태의 비대칭 윌킨슨 분배기 (b) 출력포트 2에서 입력할 때 등가회로
 Fig. 1. (a)The proposed unequal Wilkinson divider (b) Equivalent circuit when the port 2 excite.

리적으로 분리할 수 있다. 또한, 이 구조는 격리 소자와 출력 포트 연결 시 별도의 전송선로가 필요 없이 격리소자와 연결된 이후의 여분의 전송선로 전기적 길이 $90^\circ - \theta$ 를 이용하여 출력 포트와 연결하면 되므로 여타의 회로와 연결이 용이하고, PCB 제작 및 설계가 편리한 전력분배기를 구현할 수 있다.

그림 1(a)의 전력분배기는 입력 포트 P_1 으로 전력이 입력되면, 격리 소자는 기존의 비대칭 전력분배기와 동일하게 동작하여 두 출력 포트 사이의 전압이 동일하므로 인하여 개방 회로로 동작한다. 이렇게 동작하기 때문에 전력분배 비율 ($P_3/P_2 = k^2$)을 결정하게 되면 이것에 맞게 두 전송선로의 임피던스 값을 다음과 같이 결정할 수 있다[9].

$$Z_{o1} = \sqrt{\frac{1+k^2}{k}} Z_o \tag{1}$$

$$Z_{o2} = \sqrt{\frac{1+k^2}{k^3}} Z_o \tag{2}$$

식 (1), (2) 값으로 입력 포트는 완벽한 정합을 이룰 수 있고, 이 값은 격리 소자의 위치인 전기적인 길이 θ 와 무관하게 결정됨을 알 수 있다.

여기서 사용되는 격리 소자 $Z_{i,so}$ 는 출력 정합과 격리 특성을 만족한 전기적인 길이 θ 에 대한 함수로 결정된다. 이러한 특성을 확인하기 위해서, 그림 1(b)처럼 입력 전력을 P_2 에 연결했을 때, 완벽한 격리 특성을 만족하는 조건은 출력 P_3 에서의 전류와 전압이 영이 되어야 한다. 즉, $V_3 = 0$ 와 $I_3 = 0$ 인 상태를 만족해야 한다. 이러한 조건은 Z_{o2} 전송선로 전기적 길이 $90^\circ - \theta$ 의 위치인 A 지점에서 전압과 전류가 영이 되어야 함을 의미한다. 따라서 그림 1(b)의 A 지점은 가상적인 접지가 된다. 이러한 조건을 이용하여 그림 1 (b)에서 나타낸 임피던스 $Z_A \sim Z_D$ 의 값을 구하면 다음과 같다.

$$Z_A = jZ_{o2} \tan \theta \quad (3)$$

$$Z_B = \frac{jZ_o Z_{o2} \tan \theta}{Z_o + jZ_{o2} \tan \theta} \quad (4)$$

$$Z_C = Z_{o1} \frac{Z_B + jZ_{o1} \tan \theta}{Z_{o1} + jZ_B \tan \theta} \quad (5)$$

$$Z_D = Z_{o1} \frac{kZ_o + jZ_{o1} \tan(90 - \theta)}{Z_{o1} + jkZ_o \tan(90 - \theta)} \quad (6)$$

출력 포트 P_2 에서 정합을 만족하기 위해서는 그림 1(b)의 B 지점에서 다음과 같은 조건이 성립하여야 한다.

$$\frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_{i,so}} = \frac{1}{Z_D^*} \quad (7)$$

식 (7)의 조건을 만족시키는 격리 소자 $Z_{i,so}$ 는 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$Z_{i,so} = R + jX \quad (8)$$

여기서 R 과 X 는 격리 소자의 저항 값과 리액턴스 값을 나타낸 것이다.

앞의 식에서 나타낸 것처럼 격리 소자의 임피던스 R 과 X 값은 전기적 길이 θ 의 함수이며, 비대칭 전력분배기가 모든 포트에서 정합을 이루어주며 출력 포트 P_2 와 포트 P_3 사이의 전기적 격리를 만족시킨다.

그림 2는 전송선로의 전기적 길이 θ 가 변화에 따라서 격리 임피던스의 저항 값 R 과 리액턴스 X 값의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프는 중심주파수 2 GHz 에서 4:1 비대칭 분배기 설계 시 필요한 격리 소자 값을 계산한 값을 그래프로 나타낸 것이다. 이 그래프의 데이터를 보면 임피던스의 실수 값인 저항 값은 전기적인 길이에 비례해서 32 Ω 까지 증가하는 반면, 리액턴스 값은 $\theta = 45^\circ$ 일 때 -j49.4 Ω 값을 갖으면서 좌우가 대칭인 형태로 나타나는 것을 알 수 있다.

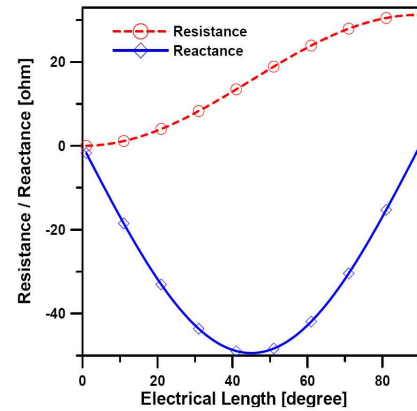


그림 2. 격리소자 위치 θ 변화에 따른 격리 저항 값 R 과 리액턴스 값 X 값의 변화

Fig. 2. Variation of resistance and reactance values when the isolation component position θ changes.

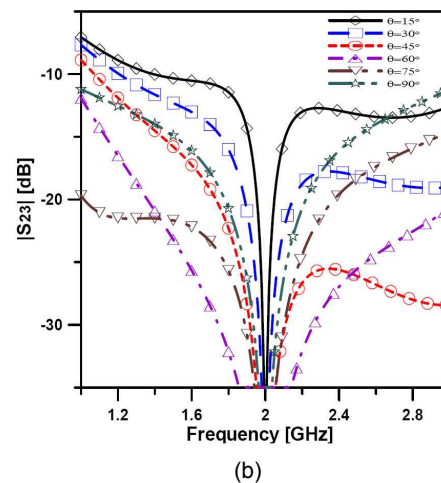
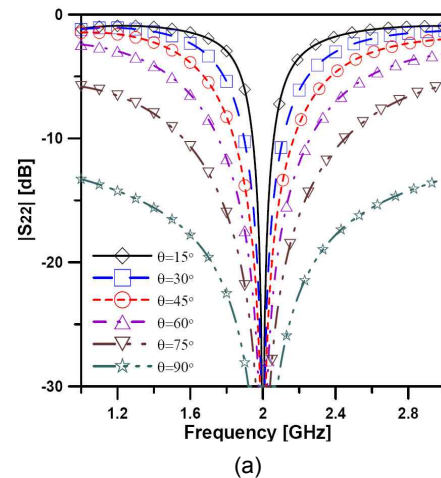


그림 3. θ 변화에 따른 4:1 비대칭 전력분배기 특성 (a) 반사계수 ($|S_{22}|$) (b) 격리도 ($|S_{23}|$)

Fig. 3. Characteristics of 4:1 unequal divider when the isolation component position θ changes (a) return loss ($|S_{22}|$) (b) isolation ($|S_{23}|$).

그림 3은 이상적인 소자를 이용하여 중심주파수 2 GHz 에서 설계한 4:1 비대칭 분배기가 전기적인 길이 θ 를 변화시킴에 따라서 나타나는 비대칭 전력분배기의 출력 포트 반사계수 S_{22} 그리고 격리도 S_{23} 특성을 나타낸 것이다. 이 때 전기적인 길이 θ 는 15° 에서 90° 까지 15° 간격으로 변화하였다.

그림 3 (a)에서 포트 P_2 의 출력 반사계수(S_{22})는 전기적인 길이 θ 에 비례해서 대역폭이 넓어지는 것을 나타내고 있지만, 격리도를 나타내는 $|S_{23}|$ 값은 전기적인 길이가 90° 에 가까이 가면 오히려 대역폭이 줄어드는 것을 알 수 있다. 그러므로, 기존의 비대칭 전력분배기 ($\theta = 90^\circ$)가 출력 반사계수는 크지만, 출력 포트 사이의 격리도는 상대적으로 작은 대역폭을 갖고 있음을 알 수 있다. 또한, 입력 반사계수(S_{11})는 전기적인 길이 θ 에 관계없으며, 기존 비대칭 전력분배기와 동일한 전기적인 특성을 갖고 있음을 확인하였다.

III. 실험결과

앞 장의 해석방법에 대한 타당성을 확인하기 위하여 중심주파수 2 GHz 에서 $Z_o = 50 \Omega$, $\theta = 45^\circ$ 인 4:1 비대칭 전력분배기를 설계하였다. 이때 격리소자의 임피던스 Z_{iso} 는 15.6 - j49.4 으로 계산되었다. 이때 시뮬레이션용 소프트웨어는 AWR사 Microwave Office 와 Matlab을 사용하였다.

이러한 계산 결과를 갖고 두께 0.8 mm, 유전체 상수 4.4인 에폭시 PCB를 사용하여 비대칭 전력분배기를 제작하였다.

그림 4는 4:1 비대칭 분배기의 제작된 사진을 나타낸 것으로, 이 사진에서 보듯이 격리 소자는 $\lambda/4$ 전송선로의 중앙에 위치하기 때문에 출력 포트 사이의 설계가 간편하고, 출력 포트 사이의 물리적인 분리가 되어 있어 전기적인 결합이 발생하지 않도록 물리적으로 분리되어 있음을 알 수 있다. 사진에서 Z_{03} , Z_{04} 임피던스 선로는 출력 포트와 정합시키기 위한 $\lambda/4$ 임피던스 변환기의 임피던스 값을 나타낸 것이다.

또, 그림 5는 4:1 비대칭 전력 분배기의 측정 결과를 나타낸 것으로, 이 그래프에서 보듯이 중심주파수 2 GHz에서 출력 포트의 삽입 손실은 1.5 dB, 7.7 dB을 얻었고, 18 dB 이상의 격리도 그리고, 입력 포트 반사계수는 20 dB 이상, 출력 포트 2와 3에서 반사계수는 17 dB 이상 확보됨을 알 수 있다. 이 때 사용한 격리 소자의 저항 값은 18Ω 과 캐패시터 값은 0.7 pF 을 사용하였다. 이상의 결과에서 보듯이 변형된 형태의 비대칭 분배기의 시뮬레이션과 측정 결과가 동일하게 나옴을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 무선통신에서 많이 사용되는 비대칭 전력분

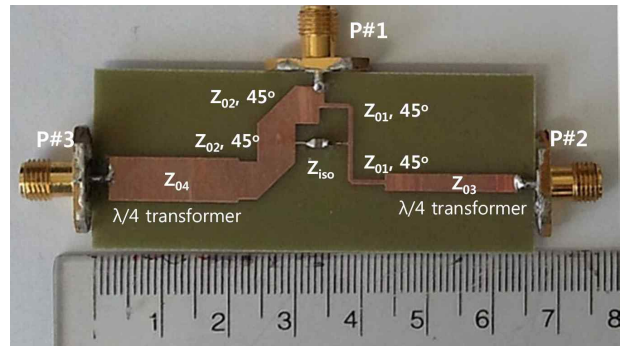
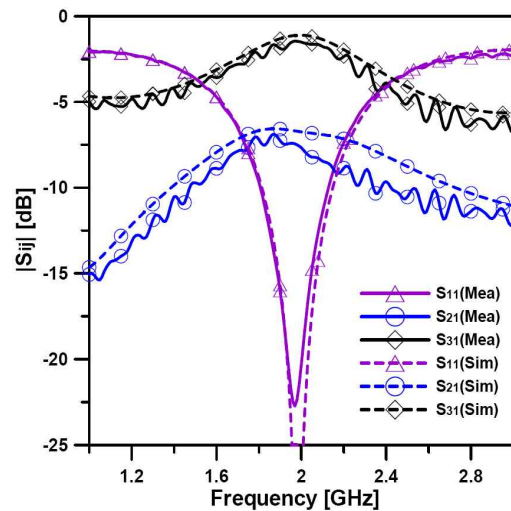
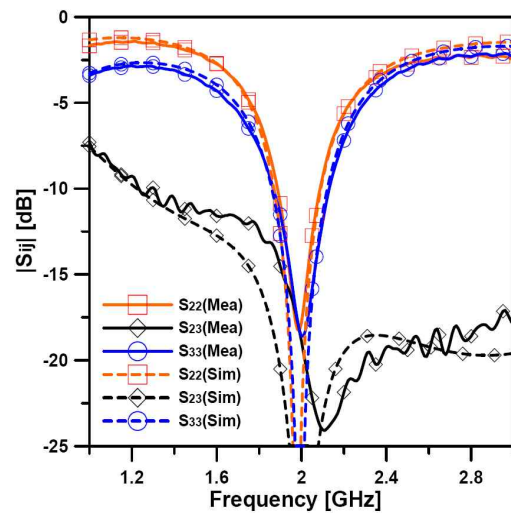


그림 4. 4:1 비대칭 분배기 제작 사진
Fig. 4. Photograph of fabricated 4:1 unequal divider.



(a)



(b)

그림 5. 제안된 방법의 4:1 비대칭 분배기 S-파라미터 특성 (측정값과 시뮬레이션 값)(a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ (b) $|S_{22}|$, $|S_{23}|$, $|S_{33}|$
Fig. 5. S-parameter characteristics of proposed 4:1 unequal divider (measured and simulated values) (a) $|S_{11}|$, $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ (b) $|S_{22}|$, $|S_{23}|$, $|S_{33}|$.

배기를 출력포트 사이의 물리적인 분리와 전기적인 높은 격리도를 만족시키기 위해서 먼저 $\lambda/4$ 전송선로의 중앙에 격리 소자 저항 18 Ω 와 캐패시터 0.7 pF를 직렬 연결하여 출력 포트 사이에 격리도를 높였고, 출력 포트가 다른 회로에 연결이 쉽도록 하는 설계방법을 제시하였다. 중심 주파수 2 GHz에서 제작된 분배기 특성은 삽입손실은 1.5 dB, 7.7 dB, 반사계수는 17 dB 그리고 격리도는 18 dB 이상 얻었고, 이렇게 설계된 비대칭 분배기는 기존의 비대칭 분배기와 특성이 동일함을 확인하였다.

이러한 설계 방법을 이용하면 MMIC 또는 기존에 사용되는 비대칭 분배기의 전기적 특성과 유사한 특성을 얻으면서 제작하기 쉬운 비대칭 전력분배기를 설계 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. G. Kim, H. S. Lee, H. S. Lee, J. B. Yoon, and S. C. Hong, "60 GHz CPW-Fed Post-Supported Patch Antenna Using Micromachining Technology," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 10, pp. 635–637, Oct. 2005.
- [2] J. H. Kim, J. H. Cha, I. D. Kim, and B. M. Kim, "Optimum Operation of Asymmetrical-Cells-Based Linear Doherty Power Amplifiers- Uneven Power Drive and Power Matching," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 53, No. 5, pp. 1802–1809, May 2005.
- [3] E. Wilkinson, "An N-way Hybrid Power Divider," *IRE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 8, No. 1, pp. 116–118, Jan. 1960.
- [4] M. Hamadallah, "Microstrip Power Dividers at mm-wave Frequencies," *Microwave Journal*, Vol. 31, No. 7, pp. 115–127, July 1988.
- [5] D. Antsos, R. Christ, and L. Sukamoto, "A Novel Wilkinson Power Divider with Predictable Performance at K and Ka-Band," *1994 IEEE MTT-S Symposium Digest*, pp. 907-909, May 1994.
- [6] S. Horst, R. Bairavasubramanian, M. Tentzeris, and J. Papapolymerou "Modified Wilkinson Power Dividers for Millimeter-wave Integrated Circuits," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 55, No. 11, pp. 2439–2446, Nov. 2007.
- [7] S. Kim, S. Jeon, and J. Jeong, "Compact Two-Way and Four-Way Power Dividers Using Multi-Conductor Coupled Lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 21, No. 3, pp. 130–132, March 2011.
- [8] C.J. Trantanella, "A Novel Power Divider with Enhanced Physical and Electrical Port Isolation," *2010 IEEE MTT-S Symposium Digest*, pp. 129-132, May 2010.
- [9] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York, NY: Wiley, 2005.



김 영 (Young Kim)

1988년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학석사), 2002년 8월 : 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 1월 ~ 1993년 5월 : 이즈텔시스템즈(주) 연구소 선임연구원
 1993년 6월 ~ 1998년 2월 : 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연구원
 1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학교 정보통신과 조교수
 2003년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
 ※관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계



윤 영 철 (Young-Chul Yoon)

1978년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
 1982년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
 1989년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
 1987년 9월 ~ 현재 : 관동대학교 전자정보통신공학부 교수
 ※관심분야 : RF 및 Microwave 회로설계