

0도 CRLH 전송선로를 이용한 전력 분배기

Power Divider using Zero-Degree Composite Right/Left-Handed Transmission Line

김승환*, 김영*, 윤영철**

Seung-Hwan*, Young Kim* and Young-Chul Yoon**

요 약

본 논문은 윌킨슨 전력 분배기에서 고립 특성을 확보하기 위해 사용된 100오옴의 연결을 0도 CRLH 전송선로를 사용한 변형된 전력 분배기를 제안하였다. 여기서 사용된 0도 CRLH 전송선로는 위상이 음의 특성을 갖는 RH(Right-Handed) 전송선로와 양의 특성을 가지는 LH (Left-Handed) 전송선로의 결합하여 전체 전기적 길이가 0도가 되는 특성을 갖고 있다. 0도 CRLH 전송선로를 -30° 의 RH 전송선로와 $+30^\circ$ 의 LH 전송선로의 전기적 길이를 선택하여 2-way 전력분배기의 특성을 확인한 결과는 중심주파수 1GHz에서 -3.3dB 의 S21과 -27.5dB 의 S11 그리고 -25dB 이상의 S23특성을 얻었다. 이 특성은 기존의 RH 전송선로를 이용한 것과 동일함을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes a modified Wilkinson power divider using a zero-degree composite right/left-handed (CRLH) transmission line to obtain a isolation between ports. A zero-degree CRLH transmission line, which has a total electrical length of zero, consists of a RH(Right-Handed) transmission line of a negative phase characteristic and a LH (Left-Handed) transmission line of a positive phase characteristic. To validate a value of zero-degree CRLH transmission line, the electrical lengths of RH and LH transmission line select -30° and $+30^\circ$ and a 2-way Wilkinson divider designed, we are measured S21 of -3.3dB , S11 of -27.5dB and S23 of -25dB at 1GHz center frequency. These characteristics are same the conventional divider using RH transmission line.

Key words : CRLH transmission line, Divider, Zero-degree

I. 서 론

현대 이동통신 시스템에서 신호의 분배와 결합 역할을 하는 전력 분배기와 3dB 결합기, 방향성 결합기는 필수적으로 사용되며, 그 중에서도 1960년에 E. J.

Wilkinson에 의하여 제안된 윌킨슨 전력 분배기는 회로가 간결하고, S-파라미터 특성이 좋아서 널리 사용되고 있다. 그러나 윌킨슨 전력 분배기는 각 출력 포트 사이에 저항을 삽입하며, 이 저항의 한 단자를 공통으로 연결하는 문제 때문에 평면으로 구현하는 것

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

** 관동대학교 전자정보통신공학부(Department of Electric & Information Communication Engineering, Kwandong University)

· 제1저자 (First Author) : 김승환

· 투고일자 : 2009년 9월 12일

· 심사(수정)일자 : 2009년 9월 14일 (수정일자 : 2009년 10월 23일)

· 게재일자 : 2009년 10월 30일

에 어려움이 있다[1].

본 논문에서는 출력포트 사이의 저항 연결 문제를 해결하기 위하여 0도의 CRLH(Composite Right-/Left-Handed) 전송선로를 이용한 윌킨슨 전력 분배기를 제안하였다.

유전율과 투자율이 함께 음수가 되는 재질에서의 전자기적인 성질을 러시아 과학자 Veselago에 의하여 최초 제안되었고, 유전율과 투자율이 음의 값을 갖는 LH(Left-handed) 전송선로는 일반 물질과 다른 전자파 전파 특성을 가진다. CRLH 전송선로는 직렬 캐패시턴스와 병렬 인덕턴스의 등가회로로 구성된 LH 전송선로와 이 등가회로를 구성하는데 발생하는 기생 성분에 의한 RH (Right-Handed) 전송선로의 특성이 혼합되어 구성된다[2]-[3].

CRLH 전송선로는 집중 소자를 이용하여 구현할 경우, LH 전송선로의 양의 위상특성을 이용하면 기본회로와 동일한 특성을 가지면서 크기를 소형화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. CRLH 전송선로를 이용한 연구는 윌킨슨 전력 분배기와 링 하이브리드의 소형화를 하는 방법이 제안되었고, 결합형 전력 증폭기, 0도 전력분배기, 이중 대역 특성의 3dB 결합기 등 여러 연구가 진행되었다[4]-[7].

본 논문에서는 0도 CRLH 전송선로를 이용한 변형된 윌킨슨 전력 분배기를 제안하였고, 각 출력 포트 사이의 간격을 0도 CRLH 전송선로를 이용하여 평면으로 구현 가능함을 보였다.

II. 0도 전송선로를 이용한 전력 분배기

2-1 0도 전송선로

그림 1은 0도 전송선로의 등가회로를 보여주고 있다. RH 전송선로는 물리적 길이가 길어짐에 따라 음의 위상변화를 가지고 있고, LH 전송선로는 병렬 인덕턴스와 직렬 캐패시턴스 값에 의하여 양의 위상변화를 가진다. RH와 LH 전송선로의 등가 파라미터들을 주파수와 특성 임피던스에 관하여 정리하면 식 (1)과 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\Phi_{Zero, TL} = n \left(\omega \sqrt{LC} d_{TL} + \frac{-1}{\omega \sqrt{L_0 C_0}} \right) \quad (1)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2)$$

여기서 n은 단 수, L₀과 C₀는 LH 전송선로의 등가 소자, d_{TL}는 RH 전송선로의 길이, ω는 중심 주파수이다.

그림 2는 그림 1의 전송선로의 주파수에 따른 위상 특성을 보여주고 있다. RH 전송선로의 위상 변화는 주파수에 따라 선형 함수적으로 변하고, LH 전송선로는 비선형 함수로 변화한다. 0도 CRLH 전송선로의 위상 특성은 식 (3)과 같이 RH와 LH 전송선로의 위상 특성이 결합된 것을 보여주고 있다.

$$\Phi_{Tot} = \Phi_{RH} + \Phi_{LH} = 0 \quad (3)$$

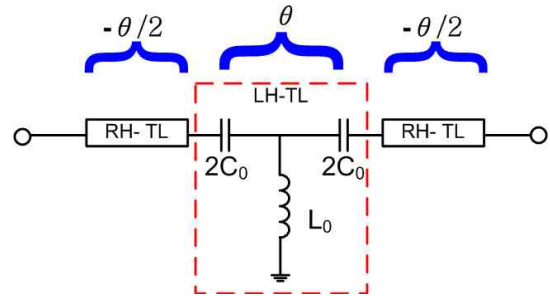


그림 1. 0도 CRLH 전송선로 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of zero-degree CRLH transmission line.

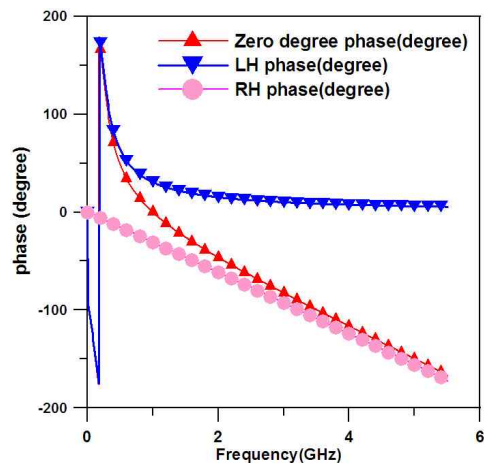


그림 2. 0도 CRLH 전송선로 위상특성

Fig. 2. Phase characteristic of zero degree CRLH transmission line.

2-2 0도 CRLH 전송선로를 이용한 전력 분배기

그림 3에서 일반적인 윌킨슨 전력 분배기와 제안한 전력 분배기를 보여주고 있다. 그림 3 (a)의 윌킨슨 전력 분배기는 우/기수 모드로 해석 가능하고, 대칭성을 가지고 있으며, 신호가 각 출력 포트에 동일 분배되기 위해서는 100Ω의 저항이 필요하게 된다. 이 때, 일정한 저항 물리적인 크기로 인하여 회로의 형태가 제한된다. 그림 3 (b)의 제안한 전력 분배기는 저항 양단에 물리적인 길이는 존재하지만 전기적 길이가 0도인 전송선로가 삽입된 구조로서, 기존의 분배기와 비교하여 회로 형태를 유연하게 설계할 수 있음을 보여주고 있다.

그림 4는 에질런트 사의 ADS 소프트웨어를 이용하여 그림 3의 회로들의 특성을 중심주파수 1GHz에서 시뮬레이션한 결과를 비교한 그래프이다. 시뮬레이션 조건은 유전율 4.3, 두께 1.6mm의 에폭시 기판을 사용한 것으로 설계한 결과로, 반사특성 S11은 -20dB이상, 전달특성 S21은 3.0±0.2dB의 전기적 특성을 얻어 1GHz 대역에서 동일한 것을 확인하였다.

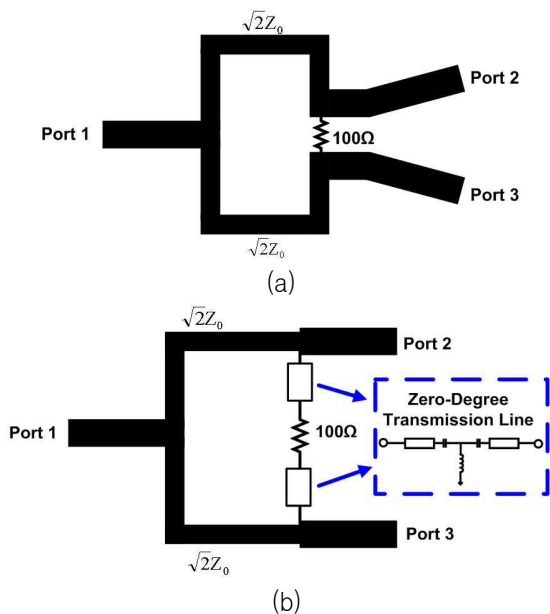


그림 3. (a) 윌킨슨 전력분배기 (b) 제안한 변형된 형태의 전력분배기

Fig. 3. (a) Wilkinson power divider (b) Proposed modified power divider.

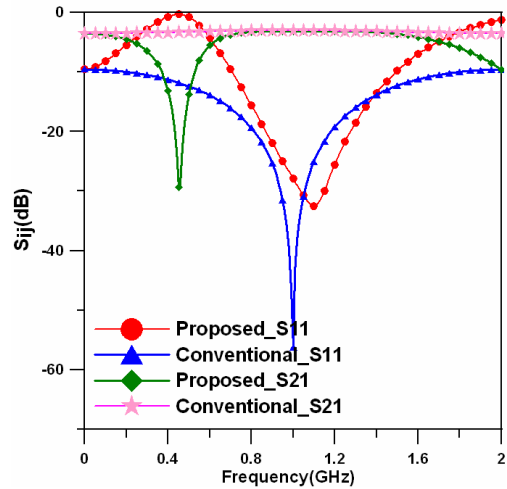


그림 4. 2-way 전력 분배기와 제안한 전력 분배기 모의실험 결과

Fig. 4. Simulation results of conventional and proposed 2-way power divider

그림 5는 제작된 2-way 전력 분배기 사진을 나타낸 것이다. 여기서 설계된 0도 CRLH 전송선로는 +30도의 LH 전송선로와 -30도의 RH 전송선로로 구성되었다. 여기서 ±30도의 전기적 길이를 선택한 것은 전기적인 길이가 ±45도를 기준으로 이것보다 크면 위상의 특성 변화가 크기 때문에 적절한 길이를 선택한 것이다. 이 때, LH 전송선로의 구현은 12pF의 직렬 캐패시터와 15nH의 병렬 인덕터값을 갖고 있다.

그림 6은 제작된 전력 분배기의 측정된 반사계수와 투과계수, 각 출력 포트 간의 격리도를 보여주고 있다. 중심 주파수 1GHz에서 반사계수(S11)은 -27.53 dB, 투과계수(S21)는 -3.3dB 그리고 출력 포트 간의 격리도 (S23)는 -31.8dB의 결과가 나온 것은 시뮬레이션 동일함을 알 수 있다.

또, 그림 7은 각 출력 포트 간의 위상을 비교한 것으로, 1GHz의 중심 주파수에서 두 출력 신호 사이의 위상 차이가 0.5°로 동일 위상의 출력 신호가 나오는 것을 나타낸 것이다.

이상에서 살펴본 전기적인 특성은 기존 윌킨슨 분배기와 동일함을 알 수 있으며, 0도 CRLH 전송선로를 이용한 설계의 편리성을 보여주었다.

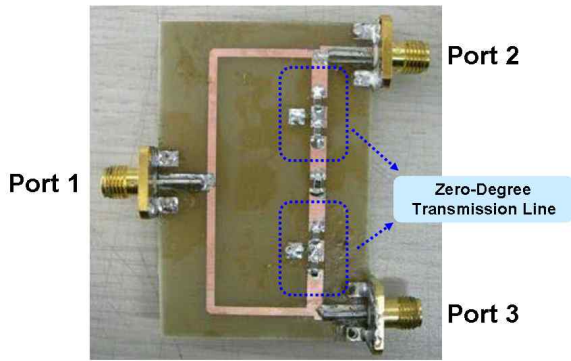


그림 5. 제작된 0도 CRLH 전송선로를 이용한 전력 분배기

Fig. 5. Fabricated power divider using zero degree CRLH transmission line.

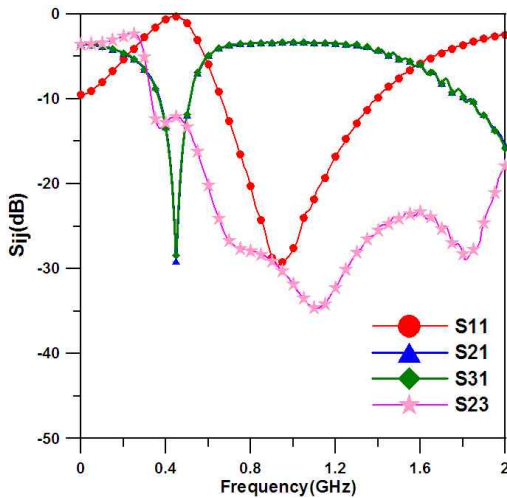


그림 6. 2-way 전력 분배기의 측정된 결과

Fig. 6. Measurement characteristic of 2-way power divider.

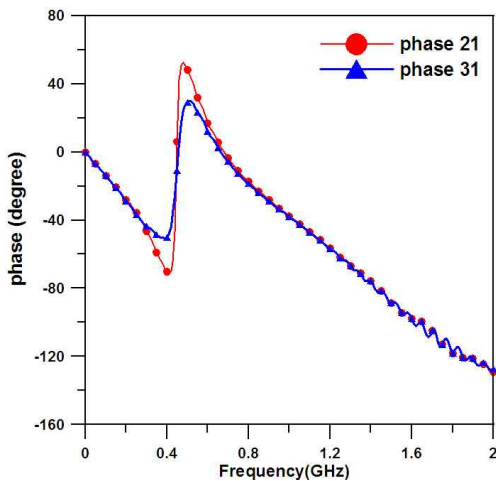


그림 7. 2-way 전력 분배기의 위상특성

Fig. 7. Phase characteristic of 2-way power divider.

2-3 0도 CRLH 전송선로를 결합한 4-way 윌킨슨 전력분배기 제작

2-way의 결과를 바탕으로 4-way 전력 분배기를 모의 실험하여 그림 8과 같은 결과를 확인하였다.

그림 8은 4-way 전력 분배기의 S-파라미터 특성을 보여주고 있고, 각 출력 신호(S21)는 -6.2dB, 반사계수 S11은 -30dB 이상 특성이 나옴을 알 수 있다.

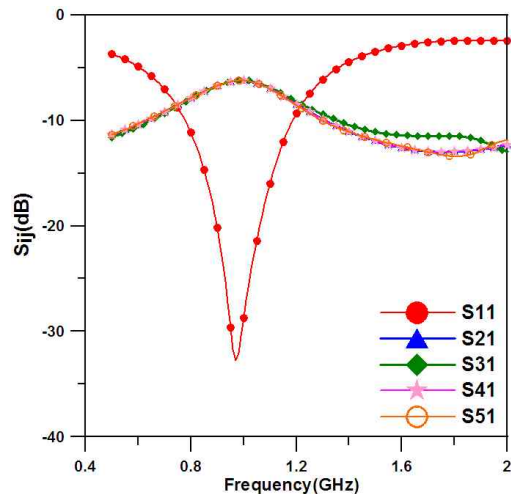


그림 8. 4-way 전력 분배기 모의실험 특성

Fig. 8. Simulation result of the proposed 4-way power divider.

그림 9는 제작된 4-way 전력 분배기의 회로를 보여주고 있다. 각 출력 포트 사이에 0도 CRLH 전송선로가 배치하여 출력 포트 사이의 간격이 분리되어 있어도 0도 CRLH 전송선로를 사용하여 제작된 것이다.

여기서 설계된 0도 CRLH 전송선로에서 RH 전송선로는 -30° 의 전기적 길이를, LH 전송선로는 $+30^\circ$ 의 전기적 길이를 갖도록 하였으며, 이것을 구현하기 위해서 12pF의 직렬 커패시터와 15nH의 병렬 인덕터를 이용하여 3단으로 설계하였다.

그림 10은 제작된 4-way 전력 분배기의 반사계수와 투과계수 특성을 보여주고 있다. 중심 주파수 1 GHz에서 반사계수는 -27.3dB, 투과계수는 각 출력 포트에서 -6.7 ± 0.2 dB를 만족하였다.

그림 11은 출력 신호들의 위상 특성을 보여주고 있고, 포트 2의 신호 위상을 기준으로 출력 포트 3, 4, 5의 신호 위상 차이가 $\pm 1.7^\circ$ 로 출력 포트에서 0도 CRLH 전송선로를 이용해도 동 위상 특성을 가짐을

알 수 있다.

그림 12는 각 출력 포트 사이의 격리도인 S32와 S23가 -15dB 이상을 나타내고 있음을 보여준다.

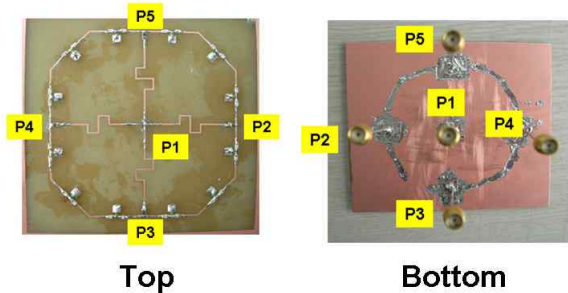


그림 9. 제작된 4-way 전력분배기
Fig. 9. Fabricated 4-way power divider.

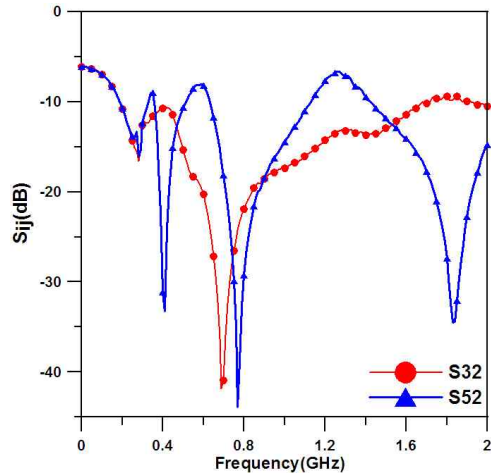


그림 12. 4-way 전력 분배기의 격리도 특성
Fig. 12. Characteristics of isolations of the 4-way power divider.

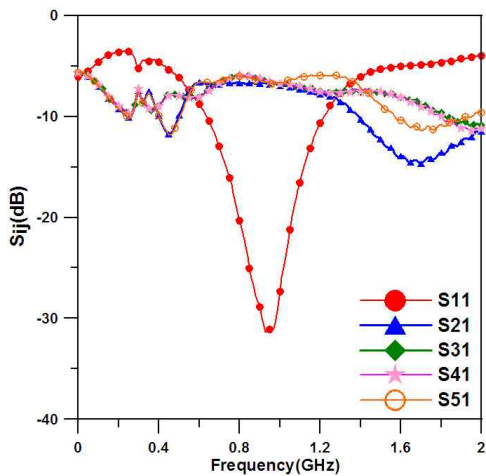


그림 10. 4-way 전력 분배기 측정 결과
Fig. 10. Measured results of the 4-way power divider.

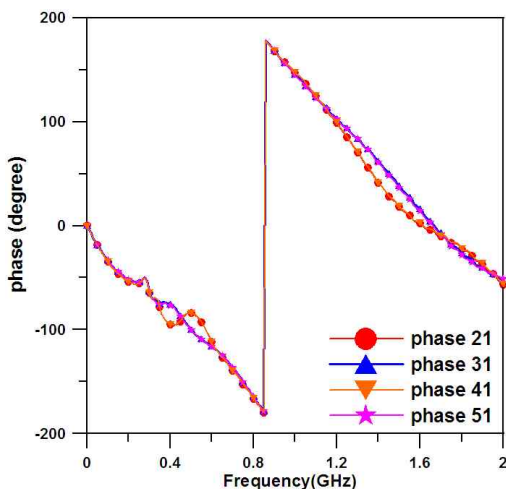


그림 11. 4-way 전력 분배기의 위상
Fig. 11. Characteristics of phases of the 4-way power divider.

III. 결 론

본 논문에서는 윌킨슨 분배기에서 고립도를 확보하기 위한 100옴 연결 지점을 0도 CRLH 전송선로를 이용함으로써 분배기 설계의 유연성을 확보하는 설계 방법을 제안하였다. 이러한 0도 CRLH 전송선로를 이용한 분배기는 기존의 RH 전송선로만으로 구현한 것과 동일한 전기적 특성을 얻었다.

고립도 확보를 위한 저항 연결에 0도 CRLH 전송선로를 이용함으로써 기존의 분배기가 갖고 있는 출력 포트 사이의 일정한 저항 간격이 유지되어야 하는 N-way 분배기 구성의 구현에 어려움을 해결하였고, 평면으로 설계가 가능하게 되었다.

참 고 문 헌

- [1] E. J. wilkinson, "An N-way hybrid power divider", *IRE Transaction on Microwave Theory and Technique*, vol. MTT-8, pp.116-118, Jan. 1960.
- [2] C. Caloz and T. Itoh, "Transmission line approach of left-handed(LH) materials and microstrip implementation of an artificial LH transmission line." *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol.52 no.5, pp.1159-1166, May 2004.

[3] V.G. Veselago, "The Electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ," *Soviet Physics Uspekhi*, vol.10, no.4, pp.509-514, Jan. 1968.

[4] C Caloz, T Itoh, *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*, Norwood, MA, New York, 2006.

[5] H. Okabe, C. Caloz, and T. Itoh. "A compact enhanced bandwidth hybrid ring using an artificial lumped-element left-handed transmission line section," *IEEE transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol.52, no.3, pp. 798-804, March 2004.

[6] K. W. Eccleston, "Application of left-handed media in distributed amplifiers" *Microwave and optical technology Letters*, vol.44, No.6, March 2005.

[7] Antoniadis, M. A. and G. V. Eleftheriades, "A broadband series power divider using zero-degree metamaterial phase-shifting lines," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 11, 808-810, 2005.

김 승 환 (金承煥)



2008년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 전자공학과(공학사)
 2008년 3월~ 현재: 금오공과대학교 대학원 전자통신공학과 재학 중
 관심분야 : RF 회로 설계, Metamaterial, 수동소자 회로 설계, 고 효율 전력 증폭기 설계

김 영 (金英)



1988년 2월: 서강대학교 대학원 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 조교수
 관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 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