Journal of KIIT. Vol. 23, No. 3, pp. 127-134, Mar. 31, 2025. pISSN 1598-8619, eISSN 2093-7571 **127** http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2025.23.3,127

결함 마이크로스트립 구조와 3-arm Branch Line Hybrid Coupler를 이용한 마이크로파 평형증폭기의 설계

박정호*, 임종식**¹, 이길영***, 한상민****, 안달**²

Design of a Microwave Balanced Amplifier using a 3-arm Branch Line Hybrid Coupler and Defected Microstrip Structures

Jeongho Park*, Jongsik Lim**¹, Gil-Young Lee***, Sang-Min Han****, and Dal Ahn**²

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학석사연계ICT핵심인재양성사업(IITP-2025-RS-2024-00436500)과 순천향대학교의 지원으로 수행하였음

요 약

본 논문에서는 결함 마이크로스트립 구조(DMS, Defected Microstrip Structure)를 적용하여 3-arm BLHC(Branch Line Hybrid Coupler)를 설계하고, 이를 마이크로파 평형증폭기 설계에 응용한 결과를 기술한다. 3-arm BLHC는 120.8û의 매우 높은 임피던스 선로를 필요로 하므로 선폭이 가늘어져서 구현이 어렵다. 본 논문 에서는 DMS로 120.8û 선로를 설계하여 선폭이 더 넓은 3-arm BLHC를 구현하고, 이를 3.5GHz 마이크로파 평형 증폭기(BA, Balanced Amplifiers)에 응용한다. 설계된 BA는 단일증폭기(SEA, Single-Ended Amplifier)에 비해, 20% 이상의 대역폭에서 -20dB 이하의 우수한 반사 특성을 보인다. 이를 실험적으로 검증하기 위해 BA를 제작, 측정한 후, 시뮬레이션과 비교하였다. 측정된 반사계수도 광대역에 걸쳐 -20dB 이하로 나타났다. 전체적인 측정 데이타도 시뮬레이션과 유사하게 나타났는데, 이는 제안한 3-arm BLHC과 BA 설계의 타당성을 보여준다.

Abstract

In this paper, a 3-arm Branch Line Hybrid Coupler(BLHC) is designed by applying a Defected Microstrip Structure(DMS), and applied to design a microwave Balanced Amplifier(BA). 3-arm BLHCs require a very high impedance line of 120.8Ω , making it difficult to implement due to the very thin line width. In this work, the 120.8Ω line is designed using DMS to implement the 3-arm BLHC with a wider line width, and adopted to the 3.5GHz microwave BA. The designed BA shows an excellent reflection characteristics of less than -20dB at a bandwidth of more than 20% compared to the Single-Ended Amplifier(SEA). To verify this experimentally, the designed BA has been manufactured, measured, and compared with simulation. The measured reflection coefficient is also found to be less than -20dB over the wide band. In addition, the overall measurement data are very similar to the simulation results, which shows the validity of the proposed 3-arm BLHC and BA design.

			Ke	ywor	ds			
defected	microstrip	structures,	branch	line	hybrid	couplers,	balanced	amplifiers

* 순천양대학교 대학원 ICI 응압학과 적사과정 - ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5395-8576 ** 순천향대학교 전기공학과 교수(** ¹ 교신저자) - ORCID ¹ : https://orcid.org/0000-0003-0556-0771 *** 공군사관학교 전자통신공학과 교수 - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4656-4162 **** 순천양대학교 정보봉신공학과 교수 - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-856-0771 **** 운건양대학교 정보봉신공학과 교수 - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-856-0771 **** 운건양대학교 정보봉신공학과 교수 - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4656-4162 **** 순천양대학교 정보봉신공학과 교수 - ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4656-4162

I.서 론

초고주파 무선통신 시스템에서 송신단과 수신단 에서 입력 신호를 원하는 크기로 증폭하여 출력하 기 위해서는 마이크로파 증폭기가 널리 사용된다 [1]. 단일증폭기(SEA, single-ended amplifiers)은 중심 주파수 주변에서 집중적으로 증폭기능을 하기 때문 에 상대적으로 좁은 대역폭을 가지고 있다. 더 넓은 동작대역폭을 갖도록 하기 위하여 평형증폭기(BA, balanced amplifiers) 구조가 널리 채택된다[2].

그림 1은 광대역 특성을 얻어내기 위한 평형증폭 기의 일반적 구성과 신호 흐름을 보여준다. 평형증 폭기의 경우 AMP1과 AMP2에 동일한 특성을 갖는 증폭기를 사용한다면, 두 증폭기의 반사파가 상쇄되 기 때문에 정합도와 반사특성이 크게 개선된다. 입 력단자(P1)에서 입사된 신호는 3dB 90° Coupler(1)을 거쳐 두 갈래로 분배되고, AMP1과 AMP2를 거쳐 다시 3dB 90° Coupler(2)를 통하여 출력된다. 이 과 정에서 두 신호(Sig1, Sig2)는 동일한 크기를 가지면 서 90°의 위상차를 보인다. 이후 3dB 90° Coupler(2) 를 거치게 되면 두 신호(Sig1', Sig2)는 P2에서 동위 상을 갖게 된다. 이때, 출력단의 ISOout에서 AMP1 과 AMP2를 통해 출력되는 신호(Sig1, Sig2')가 180° 의 위상차를 보이게 되고 이로 인해 두 신호가 상 쇄되게 된다. 최종적으로 P2에서 AMP1과 AMP2를 거친 신호는 동위상으로 합쳐지고, 광대역에 걸쳐 동일한 이득특성을 보이게 된다. 이때 이득 측면에 서는 동일한 값을 갖지만, 출력전력의 크기 측면에 서는 각각의 출력이 동위상으로 합성되므로 선형적 인 동작 영역 안에서 신호의 크기가 2배가 된다.

BA에 사용되는 3dB coupler로 초고주파 BLHC(Branch Line Hybrid Coupler)가 널리 사용돼 왔다[3]. 만약에 BLHC의 대역폭을 종래의 기본형 회로보다 더 넓힐 수 있다면 BA의 대역폭에 좀 더 유리하게 작용할 것이다. 기본형 BLHC는 약 10%의 대역폭에서 신뢰할 만한 특성을 보이는데, 동작 대 역폭을 25% 정도로 넓힌 3-arm BLHC 구조가 제안 된 적이 있다[4].

하지만 3-arm BLHC는 매우 높은 임피던스를 갖 는 전송선로가 필요한데, 선폭이 매우 좁아지므로 실제 구현을 하기에는 현실적인 어려움이 있다. 따 라서 높은 선로 임피던스에 해당하는 좁은 선폭을 넓힐 수만 있다면 이 문제를 해결하는데 조금이라 도 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 동일한 임피던스라 해도 선폭을 더 넓힐 수 있는 결함 마이크로스트립 구조(DMS, Defected Microstrip Structure)를 이용하여 3-arm BLHC를 상대적으로 더 쉽게 구현한 연구결과를 제 시한다. 전송선로 내부에 DMS를 삽입하면 등가의 인덕턴스가 크게 증가하여 동일한 선로 임피던스일 때 기준형에 비하여 선폭이 크게 증가하는 효과가 있다[5][6]. 이런 특성을 활용하여 3-arm BLHC 회로 를 설계하고, 이를 평형증폭기 설계에 응용한 연구 결과를 제시하고자 한다.



Fig. 1. Signal flow of balanced amplifiers

11. 3-arm BLHC의 설계

그림 2(a)는 마이크로파 대역에서 널리 사용되는 기본형 BLHC의 구성과 각 선로의 임피던스 값을 보여주고 있다. BLHC는 두 출력단자(P2와 P3) 사이 에 90°의 위상차가 있는 수동소자로 평형증폭기 설 계에서 필요한 3dB 90° Coupler로 흔하게 사용된다.

하지만 BLHC는 중심주파수를 기준으로 약 10% 정도의 대역폭을 갖는데, 보통 평형증폭기에 기대되 는 대역폭은 10% 이상인 경우가 많다. 따라서 BLHC의 대역폭을 넓혀야 한다는 요구가 뒤따른다.

그림 2(b)는 이에 대한 해결책의 하나로 BLHC 두 개를 다단으로 연결한 형태인 3-arm BLHC의 구 성을 보여준다. 이렇게 구성하면 대역폭이 약 25% 까지 확장된다.





그러나 3-arm BLHC의 구성 소자중에서 그림에서 보였듯이 120.8Ω이라는 상당히 높은 임피던스를 갖 는 전송선로가 포함되어야 한다. 마이크로파 회로 설계시 유전체 기판을 사용하는 전송선로에서 120Ω 이 넘는 임피던스는 상대적으로 높은 값이다. 그래 서 이에 해당하는 선폭이 보통 매우 좁아서 구현하 기가 현실적으로 어려워진다.

본 연구에서는 마이크로스트립 전송선로에 결함 마이크로스트립 구조(DMS)를 결합시킴으로써 동일 한 선로 임피던스를 가질 때 선폭을 크게 넓히는 방법을 이용하여 이 문제를 해결한다. DMS는 마이 크로파 전송선로용 섭동구조(Perturbation structure) 가운데 하나이다. 선로 내부에 1개 이상의 임의의 기하학적 섭동구조가 식각되면, 이에 의하여 발생하 는 등가의 기생 인덕턴스나 커패시턴스에 의하여 특성 임피던스가 달라진다. 보통 인덕턴스의 증가가 커패시턴스의 증가보다 우세해서 동일한 선폭일 때 특성 임피던스가 증가하는데, 만약에 특성 임피던스 를 같게 유지하려면 선로의 폭이 더 넓어지게 된다. 따라서 이런 원리를 이용하여 본 연구에서는 DMS 패턴을 삽입하여 동일한 120.8Ω의 특성 임피던스를 유지하면서 선폭을 더 넓히므로 높은 임피던스 선 로라고 해도 구현가능성이 크게 높아지는 것이다.

그림 3은 본 연구에서 사용한 DMS 단위소자를 보여준다[5]. 임의의 DMS 패턴이 가능하지만, 선행 연구에서 이미 제시한 대로 필요한 단위 소자에 대 한 등가회로 및 길이에 대한 결정 과정을 거쳐, 본 연구에서는 적절한 수준의 등가 인덕턴스가 구현되 어 특성 임피던스가 높아지도록 대칭형 T자형을 사 용하였다. 본 연구에서 사용하고자 하는 유전체 기 판은 비유전율(er)이 4.5이고, 두께가 0.8mm인 기판 이다. 이 기판으로 그림 2(b)에 보인 120.8û의 선로 임피던스를 설계하면 선폭이 0.17mm로 상당히 좁은 값이 된다. 그런데 그림 3의 DMS 단위 소자를 포함 하는 전송선로를 설계하면 같은 임피던스에 대하여 0.25mm의 선폭을 갖는다. 이는 기존 마이크로스트립 선로 대비 47%의 선폭 증가효과를 갖는다. 따라서 선폭이 더 넓어지므로 구현 가능성이 더 높아진다.





그림 4는 그림 3의 단위소자를 포함하는 120.82 전송선로의 전자기적(EM, Electromagnetic) 시뮬레이 션 결과를 DMS가 없는 기본형 전송선로의 특성과 함께 비교하여 보여주고 있다. 마이크로파 회로를 실제 제작 및 측정하기에 앞서서 전자기적 시뮬레 이션을 통하여 그 특성을 먼저 살펴보는 것은 연구 과정에서 매우 유용하다[7][8]. 본 연구에서는 DMS 단위소자 2개를 연결하여 120.82 마이크로스트립 선로를 설계하였다. DMS 소자를 사용하여 설계한 전송선로의 S-파라미터는 [S]DMS, 기본형 마이크로 스트립 선로의 S-파라미터는 [S]DMS, 기본형 마이크로 스트립 선로의 S-파라미터는 [S]micr로 표현하였다. 각각의 반사특성(S11)과 전달특성(S2)이 서로 유사 함을 확인할 수 있다. 따라서 DMS 패턴을 삽입하 여 설계한 전송선로의 특성 임피던스가 원하는 값 인 120.82 근처임을 알 수 있다.



이제 120.8 의 DMS 전송선로가 얻어졌으므로 이를 이용하여 3-arm BLHC를 설계할 수 있다. 그 림 5는 한 예로써 중심주파수 3.5 GHz에서 설계한 3-arm BLHC의 레이아웃이다. 3-arm BLHC의 설계 를 위해 그림 2(b)의 120.8 전송선로를 그림 4의 레이아웃으로 대체하여 설계하였다.



그림 5. DMS 전송선로를 이용한 3-arm BLHC의 레이아웃 Fig. 5. Layout of the 3-arm BLHC using DMS transmission line

그림 6은 설계한 3-arm BLHC의 EM 시뮬레이션 에 의한 성능을 보여주고 있다. 먼저 그림 6(a)에 보인, EM 시뮬레이션에 의한 S-파라미터 특성을 살 펴보자. 중심주파수 3.5GHz를 기준으로 두 출력단 자간 절반씩의 전력분배 기능을 하고 있는데 25% 이상의 광대역 특성을 보이고 있다. 또한 그림 6(b) 에 보인 두 출력단자간 위상차 특성을 보면, 25% 이상의 광대역에서 90°의 위상 차이를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 기본형 BLHC과 동일한 특성 을 가지면서도 더 넓은 주파수 대역에서 동작함을 보이는 것이다.



(a) S-parameters (b) Phase difference between output ports



이제 본 장에서는 상기에서 설계한 3-arm BLHC 를 이용하여 설계한 평형증폭기에 대하여 설명하도 록 하겠다. 평형증폭기를 구성하기 위해서는 여기에 필요한 단일증폭기(SEA)가 먼저 설계되어야 한다.

그림 7은 대표적으로 구성되는 SEA의 블록 다이 어그램이다. 일반적으로 증폭기는 하나의 입력과 하 나의 출력 단자를 갖기 때문에 입력단자(P1)를 통해 신호가 들어간 후 트랜지스터(TR)를 통해 증폭되고 출력단자(P2)를 통해 출력된다. 따라서 증폭기를 설 계할 때는 회로 설계자가 원하는 특성을 만족시키 기 위하여 마이크로파 트랜지스터의 정합점(ZS, ZL) 을 선택하고 입력정합회로(IMN, Input Matching Network)와 출력정합회로(OMN, Output Matching Network)를 설계함으로써 단자 임피던스(Zo)와의 정 합을 진행한다[9].



Fig. 7. Block diagram of single-ended amplifiers

그림 8은 중심주파수 3.5GHz에서 설계한 SEA의 S-파라미터 특성을 보여준다. 증폭기의 설계를 위해 FHX35LG라는 마이크로파 대역 트랜지스터를 사용 하였다. 이 트랜지스터의 바이어스 조건은 Vds=3V, Ids=10mA이다. 위에서 3-arm BLHC의 설계할 때 사 용한 동일한 유전체 기판으로 증폭기를 설계하였다. 그림 8에 의하면 설계된 SEA는 중심주파수에서 약 15dB의 이득을 가지고 있으며 입출력 정합 특성도 대체적으로 양호한 특성을 보여주고 있다. 하지만 SEA의 한계로 인해 중심주파수를 벗어나면 정합특 서이 나빠지는 협대역 특성을 보인다.



그림 8. 설계된 단일증폭기의 S-파라미터 Fig. 8. S-parameters of the designed single-ended ampliifer

그림 9는 설계하고자 하는 평형증폭기(BA)의 구성 이다. 2개의 3dB 90° Coupler는 위에서 설계한 3-arm BLHC로 구성되고, 2개의 단일증폭기(AMP)는 그림 8 의 S-파라미터 특성을 갖는 SEA로 구성하였[10].

그림 10은 중심주파수 3.5GHz에서 설계한 BA의 S-파라미터 특성이다. 중심주파수에서 13.5dB의 이 득 특성을 보이고 있고, 3.05GHz~3.75GHz 사이의 광대역에서 12dB 이상의 이득을 갖는다. SEA와 BLHC를 이용하여 BA 구조로 구성하면, 두 SEA의 입력단에서 반사된 신호가 동일 위상으로 합쳐져 격리저항(isolation resistor)에서 소모되기에 정합특성 이 개선되는 일반적인 현상이 여기서도 관찰되는데, 그림 10에서도 20% 이상의 광대역에서 우수한 정 합특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.



Ⅳ. 제작 및 측정 성능

이제 본 장에서는 DMS를 삽입하여 중심주파수 3.5GHz에서 설계한 3-arm BLHC와 평형증폭기를 실 제로 제작하고 그 성능을 측정한 결과에 대하여 언 급하고자 한다. 먼저 그림 11(a)는 실제로 제작한 3-arm BLHC의 사진을 보여주고 있다. 상기에서 언 급한 유전체 기판(비유전율 4.5, 두께 0.8mm)으로 회로를 제작하였다.

그림 11(b)는 3-arm BLHC의 실제 측정 성능을 보 여준다. BLHC가 기본적으로 4단자 회로이지만, 평형 증폭기 구성시 실제 사용 조건인 3단자로 구성하여 측정하였다. 따라서 입력단자에 대한 격리단자(그림 5에서 P4)는 정합단락(Termination)으로 처리하였다.

피할 수 없는 약간의 손실이 존재하나, 중심주파수 주변의 넓은 대역에서 11.5dB 이상의 이득 특성을 보이고 있다. 또한 단자 정합 특성도 우수하다. 이 는 동작 대역이 더 넓어진 3-arm BLHC를 채택함으 로써 평형증폭기도 동작대역폭이 더 넓어진 효과라 고 할 수 있다. 또한 전체적으로 시뮬레이션된 특성 과 비교적 매우 유사하게 측정되어, 제안한 평형증 폭기의 구성이 타당함을 보이는 것이라 할 수 있다.



V.결 론

본 연구에서는 DMS를 이용하여 대역폭이 넓어 진 3-arm BLHC를 설계하고, 이를 이용하여 평형증 폭기까지 설계하는 연구 결과를 기술하였다.

평형증폭기의 설계를 위해서는 증폭기의 앞단과 뒷단에 3dB 전력분배를 하는 90° Coupler가 필요하 다. 기본형 BLHC의 경우 중심주파수를 기준으로 10%의 대역 내에서만 동작하는 협대역 문제를 갖 는다. 광대역 특성을 얻어내기 위해서는 다단형태로 BLHC를 구성하여야 하는데, 이때 120오 이상의 높 은 임피던스를 갖는 전송선로를 포함해야 한다.







그림 11(c)는 두 출력단자에서 측정된 위상차 특 성을 보여준다. 이상적인 결과와 유사하게 90도의 위상차가 매우 선명하게 나타난다. 이처럼 3-arm BLHC의 특성을 측정한 결과, 그림 11(b)에 보인 것 처럼 20% 이상의 넓은 주파수 대역에서 우수한 전 력분배비와 단자 정합 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 평형증폭기의 특성도 종래보다 더 넓 어질 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

그림 12(a)는 제작한 평형증폭기의 사진을 보여 주고 있다. 상기에서 설계한 3-arm BLHC를 이용하 여 그림 9처럼 구성하였다. 그림 12(b)는 실제로 측 정된 평형증폭기의 성능을 보여준다. 측정과정에서 그러면 선폭이 매우 좁아지게 되므로, 구현상의 문제를 해결하기 위해서 DMS를 전송선로 내부에 포함시켜 동일한 임피던스 대비 선폭이 넓어진 효 과를 얻었다. 설계한 3-arm BLHC는 중심주파수 기 준 25%의 광대역 특성을 보이면서도 절반씩의 전 력분배, 그리고 출력단자간 90°의 위상차를 가졌다.

설계한 3-arm BLHC를 실제로 제작하여 그 성능 을 측정하였고, 이를 토대로 평형증폭기를 설계하였 다. 먼저 이상적으로 15dB의 이득을 갖는 단일증폭 기를 설계한 후, 여기에 3-arm BLHC를 연결하였다. 평형증폭기를 직접 제작하여 측정한 결과, 시뮬레이 션과 매우 유사하였으며, 20% 이상의 넓은 주파수 대역폭에서 우수한 이득 및 단자 정합 특성이 측정 되었다. 따라서 본 연구를 통하여 설계한 3-arm BLHC의 실제 동작 특성과, 이를 평형증폭기에 응 용하여 대역폭이 더 넓어진 증폭기를 얻은 연구 결 과가 타당하다고 할 수 있다.

References

- S. Cripps, "RF Power Amplifiers for Wireless Communications", Norwood, Artech House, MA, 2006.
- [2] G. Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design(2/e)", Ch. 4, Prentice Hall, NJ, pp. 323-351, 1997.
- [3] D. M. Pozar, "Microwave Engineering(4/e)", Ch. 7, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 343-347, 2012.
- [4] H. C. Chen and C. Y. Chang, "Modified Vertically Installed Planar Couplers for Ultrabroadband Multisection Quadrature Hybrid", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 16, No. 8, pp. 446-448, Aug. 2006. https://doi.org/10.1109/LMWC.2006.879491.
- [5] J. Park, J. Lim, S. M. Han, D. Ahn, and G. Y. Lee, "Design of Low Pass Filters Using a Symmetrical T-Shaped Defected Microstrip Structure", Transactions of the KIEE, Vol. 73, No. 5, pp. 811-818, May 2024. https://doi.org/10.5370/ KIEE.2024.73.5.811.

- [6] G. Chaudhary, Y. Jeong, J. Lim, C. D. Kim, D. Kim, J.-Ch. Kim, and J.-C. Park, "DMS harmonic termination load network for high efficiency power amplifier applications", Proc. of the 40th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 946-949, Sep. 2010. https://doi.org/10.23919/EUMC.2010. 5616995.
- [7] J. S. Lim, Y. T. Lee, C. S. Kim, D. Ahn, and S. Nam, "A Vertically Periodic Defected Ground Structure and Its Application in Reducing the Size of Microwave Circuits", IEEE Microw. Wireless Compon. Lett., Vol. 12, No. 12, pp. 479-481, Dec. 2002. https://doi.org/10.1109/LMWC.2002.805941.
- [8] J. Park, H. Mun, G. Y. Lee, S. M. Han, J. Lim, and D. Ahn, "Extraction of Equivalent Circuits of Microstrip Discontinuity Elements Utilizing Electromagnetic Simulation", Journal of KIIT, Vol. 21, No. 3, pp. 83-91, Mar. 2023. https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.3.83.
- [9] A. B. Ibrahim, M. N. Husain, A. R. Othman, and M. S. Johal, "Simulation of single stage cascode low noise amplifier at 5.8GHz using t-matching network", 2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 1-5, May 2011. https://doi.org/10.1109/ICMSAO.2011.5775557.
- [10] A. F. Osman and N. M. Noh, "Wideband LNA design for SDR radio using balanced amplifier topology", 2012 4th Asia Symposium on Quality Electronic Design (ASQED), Penang, Malaysia, pp. 86-90, Jul. 2012. https://doi.org/10.1109/ACQED. 2012.6320481.

저자소개

박정호 (Jeongho Park)



2023년 2월 : 순천향대 전기공학과 졸업(공학사) 2023년 2월 : 순천향대 대학원 ICT융합학과 졸업(공학석사) 관심분야 : 초고주파 능동·수동 회로 설계

임 종 식 (Jongsik Lim)



1991년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사) 1993년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과(공학석사) 2003년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부(공학박사) 1993년 2월 ~ 1999년 2월,

2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원

2005년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기공학과 교수 관심분야 : 초고주파 및 무선통신용 회로·부품 설계, 능동·수동 소자 모델링 및 회로 응용, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용

이 길 영 (Gil-Young Lee)



1997년 3월 : 공군사관학교 전자공학과(공학사) 2004년 2월 : 서울대 대학원 전기컴퓨터공학부(공학석사) 2012년 3월 : 美 Ohio 주립대 전기컴퓨터공학부(공학박사) 2018년 7월 ~ 2020년 6월 : 美

공군사관학교 전기컴퓨터공학부 교환교수 2007년 6월 ~ 현재 : 공군사관학교 전자통신공학과 교수 관심분야 : 항공전자 시스템, 전자전 시스템, 레이다 시스템, 안테나 설계 및 측정, 전파환경 분석

한 상 민 (Sang-Min Han)



1996년 2월 : 고려대 전파공학과 (공학사) 1998년 8월 : 고려대 대학원 전파공학과(공학석사) 2003년 8월 : 고려대 대학원 전파공학과(공학박사) 2003년 10월 ~ 2004년 11월 :

UCLA Post Doctoral Research Fellow 2005년 1월 ~ 2007년 8월 : 삼성종합기술원 전문연구원 2007년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 교수 관심분야 : RF 시스템, Low power RF Transceivers, Active Integrated Antenna Systems

안 달 (Dal Ahn)



1984년 2월 : 서강대 전자공학과 (공학사) 1986년 2월 : 서강대 대학원 전자공학과(공학석사) 1990년 8월 : 서강대 대학원 전자공학과(공학박사) 1990년 8월 ~ 1992년 8월 :

한국전자통신연구원 선임연구원 1992년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 전기공학과 교수 관심분야 : RF, 마이크로파 수동소자 해석 및 설계