

삽입손실 개선을 위한 링 접촉식 구조의 L대역 로터리조인트 설계

나재현* · 노돈석** · 김동길***

Design of the L-band Rotary Joint in Ring Contact Type to Improve Signal Insertion Loss

Jae-Hyun Na* · Don-Suk Roh** · Dong-Gil Kim***

요약

본 논문에서는 추적 레이더시스템의 핵심부품인 L대역 로터리조인트의 설계를 다룬다. 로터리조인트는 추적 시스템 안테나 회전부에 장착되어 회전하는 안테나와 고정된 신호처리부를 연결하는 구성품으로 안테나의 회전 시에도 꼬임이 없이 RF신호를 원활하게 전달하는 주요부품이다. 로터리조인트의 신호 삽입손실을 개선하기 위해, 유전체 종류, 급전분배링 형상 및 유전체 형상 등을 다양하게 수정하였다. 제안한 로터리조인트는 해외 도입 품과 비교하여 향상된 성능을 확인하였다. 도입품 로터리조인트의 최대 삽입손실은 1.26dB이었으나, 본 논문에서 제안한 로터리조인트의 최대 삽입손실은 0.68dB로 도입품 대비 약 46%정도 개선되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper deals with the design of the L-band rotary joint, which is a core part of the tracking radar system. The rotary joint is a part that is mounted on the rotating parts of the tracking system antenna, which smoothly transmits RF signals with minimizing signal insertion loss. To improve the insertion loss of rotary joint, 1) dielectric materials, 2) design of distribution ring and 3) dielectric shape are studied. The performance of proposed rotary joint is compared with the conventional product. The prototype rotary joint showed a max insertion loss of 0.68dB, that is improved about 46% compare with conventional product which insertion loss was 1.26dB.

키워드

Dielectrics, Insertion Loss, L-band, Rotary Joint, Tracking Radar
유전체, 삽입 손실, L대역, 로터리 조인트, 추적 레이더

1. 서론

추적레이더는 표적에서 반사되어 돌아오는 전파를 수신하여 표적의 고도, 방위, 속도 정보를 산출하는 기능을 수행한다. 일반적으로 탐지거리에 따라 다양한

주파수 대역의 레이더가 표적의 탐지 및 추적에 사용되고 있다[1-2]. 기계적으로 회전하면서 표적의 거리와 방향을 산출하는 레이더 시스템은 로터리조인트(Rotary joint)가 필수적으로 사용되고 있다[3]. 로터리조인트는 그림 1과 같이 고정된 송신기와 빔

* 국방기술품질원 연구원(njh1222@dtqa.re.kr)

** (주)엘트로닉스 연구소장(dialroh@eltronix.co.kr)

*** 교신저자 : 경일대학교 로봇공학과

• 접수일 : 2018. 09. 19

• 수정완료일 : 2018. 12. 02

• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Sep. 19, 2018, Revised : Dec. 02, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019

• Corresponding Author : Dong-Gil Kim

Dept. of Robotics Engineering, Kyungil Univ.

Email : eastroad@gmail.com; dgkim@kiu.kr

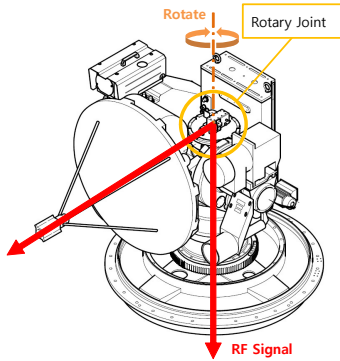


그림 1. 로터리조인트의 부착 위치 및 역할
Fig. 1 Install position and role of rotary joint

지향을 위해서 기계적으로 회전하는 안테나를 기계적 및 전기적으로 연결하는 장치로, 레이더의 안테나 회전부에 장착되어 회전하는 안테나와 고정된 신호처리부를 연결하여 RF 신호를 손실 없이 전달하는 역할을 수행한다[3, 4].

근래의 레이더체계에 사용되는 로터리조인트는 제한된 크기에서 1)위상변화를 최소화하면서 손실없이 신호를 전달해야하며, 2)다중 주파수 대역 및 다수의 신호채널을 확보해야한다[5]. 특히, 로터리조인트는 다수의 채널이 기구적으로 결합되어 있지만 전기적으로는 분리되어있어 각각의 신호가 누설 및 간섭을 야기하지 않아야 한다. 로터리조인트 설계와 관련된 선행 연구를 살펴보면, Deng Bin 등은 C대역(5.45 GHz) 신호를 90° 꺾인 원형 도파관을 통과하는 구조를 설계하였으며, 모드 변환과 불요 고조파 발생을 억제하는 구조를 제안하였다[6]. Antonio Morini는 X대역과 Ka 대역에 대한 다중 대역 단일 로터리조인트를 설계하였으며, X대역은 원형 도파관의 일종인 동축선으로 구현하였으며, Ka대역은 내심이 없는 원형 도파관으로 구현하여 다중대역 특성을 만족하도록 설계하였다[7]. Zhang Qiang은 17개 채널을 가지는 로터리조인트를 제안한 바가 있다[8].

앞서 언급한 로터리조인트 구현은 기술적 어려움으로 인해, 대부분 해외에서 도입하여 사용되고 있는 실정이다. 현재 추적레이더에 사용되고 있는 해외 도입 L대역 로터리조인트는 2채널로 구성되어 10MHz ~ 1.6GHz 대역에 대해서 동작하며, 각 채널의 주파수 대역은 아래의 표 1과 같다[9].

표 1. L대역 로터리조인트 채널별 주파수 대역
Table 1. Frequency range of L-band rotary joint channel

Channel	Frequency Range
Channel 1	10MHz ~ 1.4GHz
Channel 2	1.4GHz ~ 1.6GHz

본 논문에서는 도입품과 비교하여 낮은 신호 손실 특성을 가지는 L대역 다채널 로터리조인트를 제안하였다. 구체적으로는, 링 접촉형 구조의 L대역 로터리조인트를 설계하고, 낮은 신호 손실 특성을 만족하기 위해서, 1) 유전체 종류, 2) 급전분배링 형상, 3) 유전체 형상 등을 다양하게 변경함으로써 넓은 주파수 대역에서 낮은 손실을 만족하도록 설계하였다. 제안한 로터리조인트는 도입품 대비 46% 정도 신호 손실이 개선되는 것을 확인하였다. 아울러 제안한 L대역 로터리조인트는 도입품 보다 넓은 10MHz ~ 2GHz 대역까지 낮은 삽입손실을 유지하는 것을 확인하였다.

II. L대역 로터리조인트 설계 개선 및 해석

2.1 L대역 로터리조인트 도입품 성능 분석

L대역 로터리조인트 도입품은 그림 2와 같은 구조의 2채널로 구성되어 있으며 송신기에 고정된 고정부와 안테나와 연결된 회전부로 구성된다.

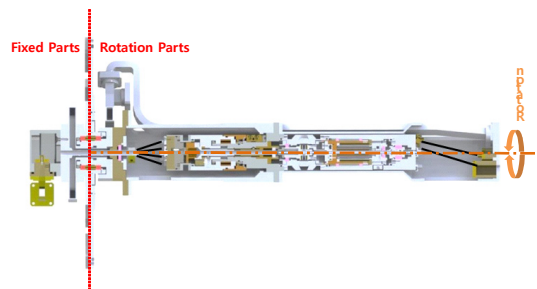
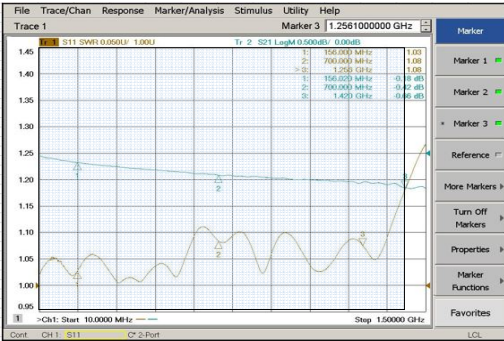
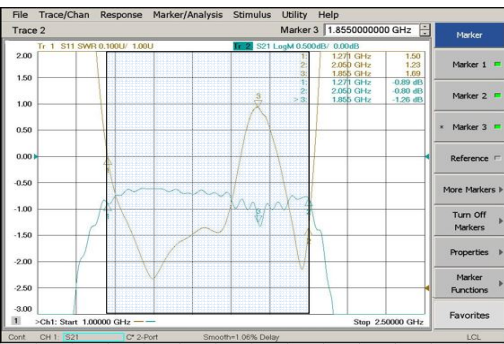


그림 2. L대역 로터리조인트의 단면도
Fig. 2 Sectional view of L-band rotary joint



(a) 채널 1의 삽입손실 측정결과
(a) Measurement result of channel 1 insertion loss



(b) 채널 2의 삽입손실 측정결과
(b) Measurement result of channel 2 insertion loss

그림 3. 도입품 로터리조인트 삽입손실 측정결과
Fig. 3 Measurement result of insertion loss for rotary joint(imported)

L대역 로터리조인트 도입품에 대해 삽입손실을 측정하였으며, 그 결과는 그림 3과 같다. 각 채널의 최대 삽입손실은 채널 1은 0.66dB, 채널 2는 1.26dB로 각각 측정되었다.

2.2 L대역 로터리조인트 설계 개선

링 접촉형의 낮은 신호 손실을 갖는 L대역 로터리조인트를 설계하기 위해서 1) 유전체 종류, 2) 급전분배링 형상, 3) 유전체 형상 등을 다양하게 변경함으로써 삽입손실, 주파수 대역 등을 개선하였다.

2.2.1 유전체 변경

그림 4는 로터리조인트의 전반적인 설계 형상이다. 설계 형상을 토대로 폴리아미드 유전체(유전율 4.3)를

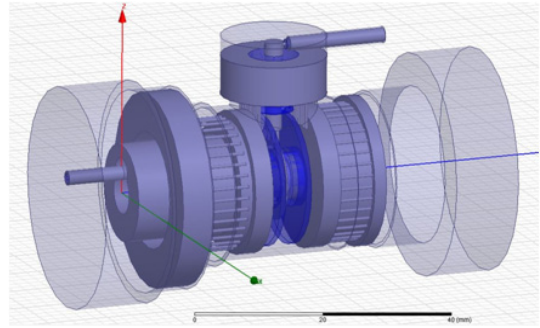


그림 4. 로터리조인트 설계형상
Fig. 4 Figure of rotary joint design

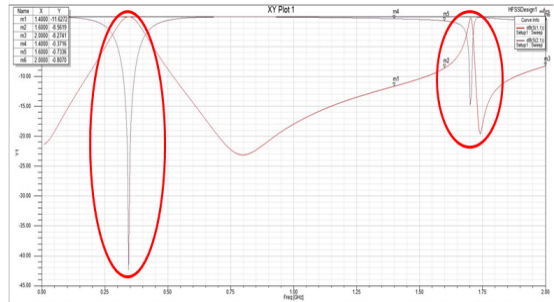


그림 5. 폴리아미드 유전체를 사용한 로터리조인트의 삽입손실 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result for rotary joint with polyamid dielectric

사용하여 제작한 로터리조인트에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 그림 5와 같이 삽입손실이 클 뿐만 아니라 L대역 내에서 공진이 발생하는 것을 확인하였다.

공진 주파수를 L대역 밖으로 제거하고 삽입손실을 개선하기 위해서, 폴리아미드보다 유전율이 낮은 테프론(유전율 2.1)을 사용하여 제작하는 것으로 설계를 변경하였다. 테프론 유전체를 사용하여 제작한 로터리조인트 시뮬레이션 결과는 그림 6과 같으며, 삽입손실이 낮아지고 L대역 내에서 발생했던 공진도 제거되는 것을 확인하였다.

2.2.2 급전분배링 형상 변경 설계

급전분배링은 로터리조인트의 유전체에 위치하여, L대역 신호의 정합을 위해 2개로 분배하고 다시 합치

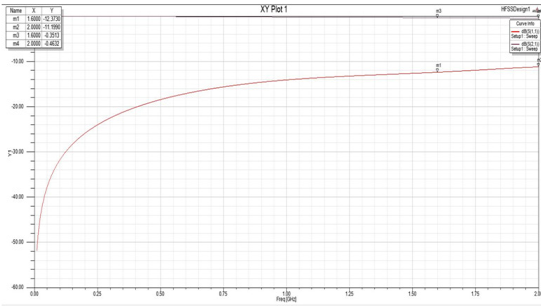


그림 6. 테프론 유전체를 사용한 로터리조인트의 삽입손실 시뮬레이션 결과
 Fig. 6 Simulation result in rotary joint with teflon dielectric

는 역할을 한다. 그림 7과 같이, a와 b점점에서 c점점까지의 도달거리가 증가하도록 형상을 변경하면서 시뮬레이션을 수행하였다.

급전분배링의 형상 변경에 따른 시뮬레이션 결과, 1.6GHz까지는 삽입손실이 개선되었으나, 그 이상의 주파수 대역은 삽입손실이 개선되지 않았다. 삽입손실이 개선되지 않은 1.6GHz 이상의 주파수 대역은 최종 설계 형상을 기준으로 회전부와 고정부의 설계 최적화를 통해 보완하였다.

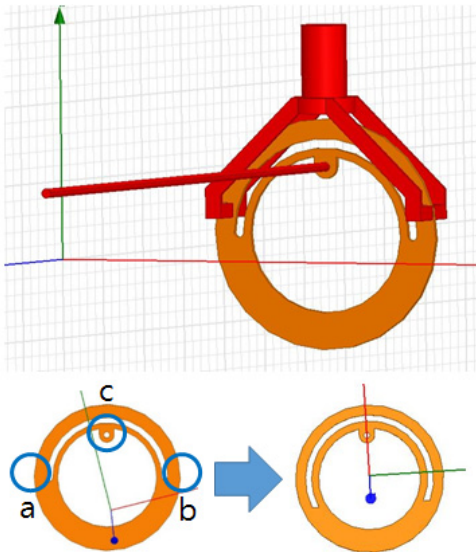
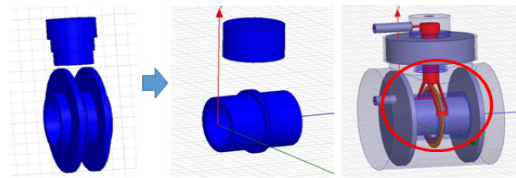


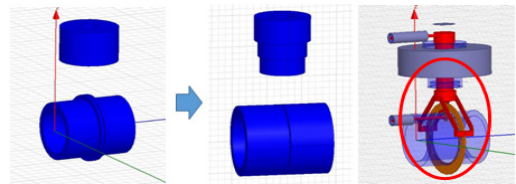
그림 7. 급전분배링 형상 변경
 Fig. 7 Shape change of distribution ring

2.2.3 유전체 형상 변경 설계

그림 8 (a)의 초기 유전체 형상을 그림 8 (b)와 같이 유전체 길이를 증가하면서, 급전분배링을 고정하기 위한 부분을 축소하는 형상으로 변경하였다. 이러한 형상변경을 통한 전송선로의 유전율 조절을 이용하여 L대역의 삽입손실을 개선하였다. 그림 9는 유전체 형상변경에 따른 삽입손실 시뮬레이션 결과로, 1.5GHz 이상의 주파수 대역에서 7dB 정도 삽입손실이 개선되는 것을 확인하였다.



(a) 로터리조인트의 초기 유전체 형상
 (a) Initial dielectric shape of rotary joint



(b) 로터리조인트의 개선된 유전체 형상
 (b) Improved dielectric shape of rotary joint

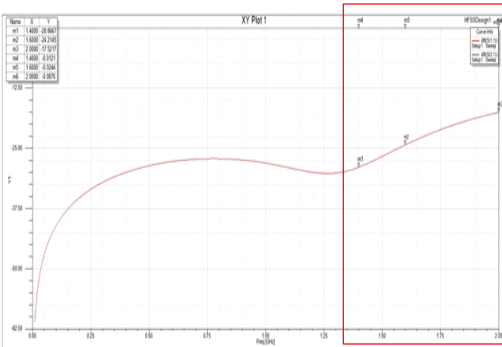
그림 8. 유전체 형상 변경
 Fig. 8 Alteration of dielectric shape

2.3 개선 로터리조인트 L대역 최종설계

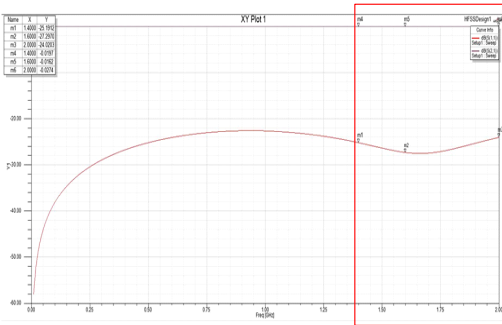
유전체 변경, 급전분배링 형상변경, 그리고 유전체 형상변경을 통하여 로터리조인트의 최종 형상을 모델링하였으며, 시뮬레이션을 통하여 제안한 L대역 로터리조인트가 구조적으로 50Ω 정합이 되도록 회전부와 고정부의 설계를 최적화 하였다.

III. 제안한 로터리조인트 제작 및 측정

L대역 로터리조인트의 유전체 종류, 급전분배링 형상 및 유전체 형상의 개선사항을 적용하여 그림 10과 같은 시제를 제작하였다. 제작한 시제에 대해서 삽입



(a) 초기 유전체 형상의 시뮬레이션 결과
(a) Simulation result for initial dielectric shape



(b) 개선된 유전체 형상의 시뮬레이션 결과
(b) Simulation result for improved dielectric shape

그림 9. 유전체 형상변경에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 9 Simulation result for different dielectric shape

손실을 측정하였으며, 그 결과는 그림 11과 같다. 각 채널의 주파수 범위보다 넓은 범위에서 3개의 주요 주파수를 선정하여 삽입손실을 측정하였으며, 그 결과를 표 2 - 표 3에 정리하였으며, 주파수가 증가할수록 삽입손실도 증가하는 것을 확인할 수 있다.

채널 1의 경우 도입 로터리조인트의 최대 삽입손실은 0.66dB였으나, 제안한 로터리조인트의 최대 삽입손실은 0.48dB로 감소되어 약 0.18dB정도 개선되었다. 채널 2에 대해서는 도입 로터리조인트의 최대 삽입손실은 1.26dB로 측정되었으나, 제안한 로터리조인트의 최대 삽입손실은 0.68dB로 측정되어, 0.58dB정도 개선되었다. 현재 해외에서 도입하여 사용하고 있는 로터리조인트와 비교하였을 때, 제안한 로터리조인트는 표 4와 같이 삽입손실이 46% 정도 개선되는 것을 확인하였다.

표 2. 로터리조인트 채널 1의 삽입손실
Table 2. Insertion loss of proposed rotary joint channel 1

Frequency	Insertion Loss
156 MHz	-0.15dB
700 MHz	-0.32dB
1.4 GHz	-0.48dB

표 3. 제안한 로터리조인트 채널 2의 삽입손실
Table 3. Insertion loss of proposed rotary joint channel 2

Frequency	Insertion Loss
1.27 GHz	-0.50dB
1.80 GHz	-0.54dB
2.00 GHz	-0.68dB

표 4. 로터리조인트 채널별 최대 삽입손실 비교
Table 4. Comparison of maximum insertion loss for each channel of rotary joint

	Imported Rotary Joint	Proposed Rotary Joint	Rate(%)
Channel 1	-0.66dB	-0.48dB	-27%
Channel 2	-1.26dB	-0.68dB	-46%

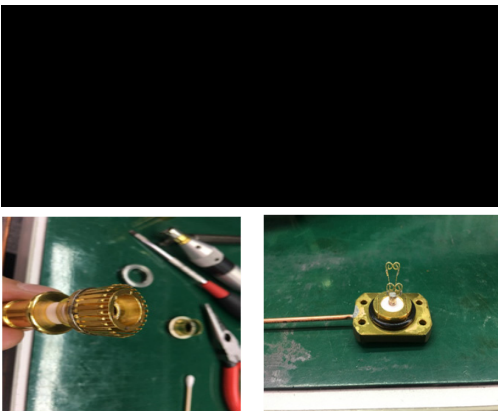
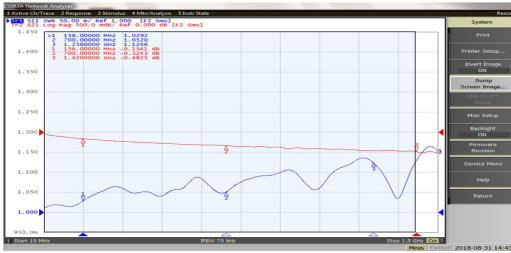
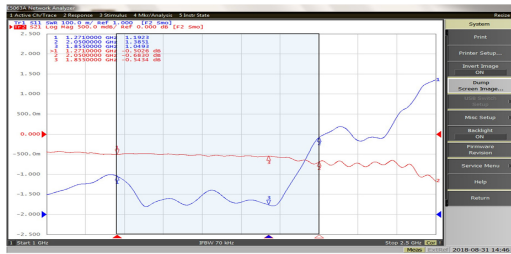


그림 10. 제안한 로터리조인트 시제 형상
Fig. 10 Prototype of proposed rotary joint



(a) 채널 1의 삽입손실 측정결과
(a) Measurement result of channel 1 insertion loss



(b) 채널 2의 삽입손실 측정결과
(b) Measurement result of channel 2 insertion loss

그림 11. 제안한 로터리조인트 삽입손실 측정결과
Fig. 11 Measurement result of insertion loss for proposed rotary joint

IV. 결 론

본 논문에서는 낮은 수준의 삽입손실을 갖는 L대역 로터리조인트를 설계하기 위해서 1)유전체 재질, 2)급진분배링 형상, 3)유전체 형상을 다양하게 변경하였고, 시제품 제작을 통하여 그 결과를 확인하였다. 현재 해외 도입하여 사용하고 있는 로터리조인트의 삽입손실은 각각 채널 1은 0.66dB, 채널 2는 1.26dB로 측정이 되었으나, 제안한 L대역 로터리조인트는 채널 1은 0.48dB, 채널 2는 0.68dB로 삽입손실이 측정되었다. 도입품 로터리조인트를 기준으로, 제안한 L대역 로터리조인트는 삽입손실이 약 46%정도 개선된 것을 확인하였다. 본 논문을 통해 로터리조인트의 삽입손실에 미치는 설계 요소가 확인되었으며, 국방용 무선신호 전달용 로터리조인트의 기본설계 기술력이 확보될 것으로 판단되며, 향후 레이더 시스템 개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2015년 핵심부품국산화 개발예산 지원에 의한 논문임

References

- [1] D. An and J. Rhee, "Low Conversion Loss and High Isolation W-band MMIC Mixer Module," *J. of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 52, no. 2, Feb. 2015, pp. 232-236.
- [2] K. Kim, J. Kim, and M. Bae, "The Study on the implementation and design of the RF transceiver for fast frequency hopping," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11, no. 6, June 2016, pp. 591-596.
- [3] P. Wade, "Rectangular Waveguide to Coax Transition Design," *QEX*, Nov./Dec. 2006, pp. 10-17.
- [4] C. Jung, J. Sung, J. Beak, K. Lee, C. Park, and J. Kwon, "A Study on the High-power Low-loss Dual Axes Waveguide Rotary Joint for Ka-Band Millimeter-Wave Small Radar," *J. of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, vol. 18, no. 1, Feb. 2018, pp. 91-96.
- [5] S. Kim, C. Lee, D. Han, D. Roh, and S. Kang, "The Band-Broadening Design of the Rotary Joint Transition for the X-Band Microwave Channel," *J. of the Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 66, no. 3, Jan. 2017, pp. 557-562.
- [6] D. Bin, H. Zhang, and M. Hu, "An analysis of circular waveguide Rotary Joint design with coupling TM01 mode," *Proc. of 2011 IEEE CIE International Conf. on Radar*, Chengdu, China, Oct. 2011, pp. 1224-1227.
- [7] A. Morini, "Design of a Dual-Band Rotary Joint Operating in X- and Ka-Bands," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 59, no. 6, June 2011, pp. 1461-1467.

- [8] D. Bin and Z. Qiang, "A novel multi-channel and high-power microwave rotary joint," *Proc. of the Asia-Pacific International Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Shenzhen, China, May 2016, pp. 1071-1074.
- [9] J. Na, D. Roh, and D. Kim, "Fin-Line Balanced Mixer Design for Ku-band Tracking Radar Receiver," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 4, Apr. 2018, pp. 685-694.



김동길(Dong-Gil Kim)

2006년 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 졸업(공학사)
2008년 경북대학교 대학원 전자학과 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
2015년 ~ 2016년 국방기술품질원 선임연구원
2017년 ~ 현재 경일대학교 로봇공학과 조교수
※ 관심분야 : 무선통신시스템, 고장진단, 고장대처 제어

저자 소개



나재현(Jae-Hyun Na)

2012년 서원대학교 컴퓨터교육과 졸업(이학사)
2015년 아주대학교 대학원 시스템공학과 졸업(공학석사)

2015년~현재 국방기술품질원 연구원
※ 관심분야 : 레이더 RF system, 통신시스템, 요구도 분석



노돈석(Don-Suk Roh)

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년~2000년 (주)삼성 항공/전자,탈레스 선임연구원
2000년~2002년 (주)텔웨이브 무선사업 부장
2002년~현재 (주)엘트로닉스 연구소장 및 사업 본부장
※ 관심분야 : 레이더 RF System, 통신/위성 송수신기, 차기 이동통신

