진폭 변조 거리 측정 시스템을 위한 정밀 위상차 측정부 개발

The Phase Difference Measurement Module Development for Amplitude Modulated Range Measurement System

노형우 · 박정호 · 강일흥 · 최문각 · 김강욱

Hyoung-Woo Noh · Jeong-Ho Park · Il-Heung Kang · Mun-Gak Choi · Kang-Wook Kim

요 약

진폭 변조를 이용한 거리 측정 시스템은 반송파를 진폭 변조하여 송수신한 신호의 진폭 변조 신호의 위상차를 사용하여 거리를 측정하게 된다. 진폭 변조 거리 측정 시스템에서 문제가 되는 안테나 간의 누설 신호 및 불요 신호에 의한 측정 오차를 최소화하기 위해 능동반사기를 사용하여 주파수 대역을 바꾸어 송신하는 방식이 제안되었다. 본 논문에서는 모호성이 없는 측정 거리를 확장하면서도 정밀한 측정을 가능하게 하는 새로운 위상 측정부의 구현에 대해 설명하고 있다. 즉, 8 MHz 및 1 MHz의 두 개의 변조 주파수를 교차적으로 선택하여 변조 함으로써, 150 m까지의 거리를 2 cm 이하의 오차로서 측정할 수 있게 하였다. 위상측정부는 정밀한 위상 측정을 위하여 높은 변조 주파수는 JK 플립플롭 위상차 측정기를 사용하고, 낮은 변조 주파수일 경우는 XOR 위상차 측정기를 사용하였다.

Abstract

A amplitude modulation(AM) range measuring system utilizes the phase difference of the modulated envelope of the reflected signal to measure the distance. It is known that the AM system has a problem in accuracy due to antenna leakage signals and spurious reflection signals, but an AM range measurement system using an active reflector, which shifts the frequency bands, has been proposed in order to minimize the measurement errors due to spurious signals. In this paper, a new phase measurement module for the AM range measurement system, which enables to measure long distance with good accuracy, is proposed. The modulation frequency is alternatively selected between 8 and 1 MHz, and the measured distance range with this module is up to 150 m within 2 cm accuracy. A JK flip-flop circuit is used for higher phase accuracy, and an XOR circuit is used to cover long distance.

Key words : Phase Difference, Range Measurement, Amplitude Modulated(AM), Phase Detector

I. 서 론

무선으로 거리를 측정하는 상용 시스템은 레이저, 적외선, 초음파, 전자파 등을 사용한다. 이 중 전자파를 사용한 거리 측정 시스템은 다른 시스템에 비해 안개나 서리가 자주 끼거나 비가 자주 오는 열악한 환경에 강하다는 장점이 있다^[1]. 이러한 이유로

어떠한 환경 속에서도 지속적으로 정확한 거리를 측정해야 하는 고층 빌딩 혹은 교량의 움직임을 파악이나, 비행기가 공항에 착륙할 때 정확한 위치를 파악하는 곳에 전자파를 사용하여 거리를 측정하는 시스템을 사용하고 있다.

전자파를 사용하여 거리를 측정하는 방식은 주파수를 스위칭하여 송수신 간의 주파수의 차를 측정하여

경북대학교 전자공학과(School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20101001-14S

· 교신저자 : 김강욱(e-mail : kang_kim@ee.knu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 12월 27일

거리를 구하는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식, 펄스를 주고 받아 시간 지연을 측정하여 거리를 구하는 펄스 방식, 반송파를 진폭 변조시켜 송수신 신호 간의 위상차를 측정하여 거리를 구하는 진폭 변조 방식이 있다. FMCW 방식은 국내 물체 감지 무선 센서용으로 허용된 24.05~24.25 GHz의 200 MHz 대역폭에서 수 cm의 거리 측정 정확도(range accuracy)를 가지려면 시스템이 복잡해지는 단점이 있다^{[2],[3]}. 그러나 진폭 변조 방식의 경우에는 대역폭에 의한 거리 측정 정확도의 한계에 얽매이지 않고 구현이 가능하다는 장점이 있지만, 안테나 사이에 커플링이 생기거나 다중 경로로 들어오는 누설 신호에 의하여 거리 측정 정확도가 낮아진다는 것과 변조 주파수의 360° 이상의 위상에 해당하는 거리의 물체를 측정할 수 없다는 단점이 있다^{[4],[5]}. 이러한 단점을 개선하기 위해 능동반사기를 이용하여 송수신하는 주파수 대역을 바꿈으로서 누설 신호에 의한 영향을 최소화하는 시스템을 제안하였다^[6].

본 논문에서는 능동반사기를 사용하는 진폭 변조 방식의 거리 측정 시스템의 위상차 측정부를 디지털 위상 검출기를 사용하여 정확하게 측정한 후 거리로 산출할 수 있도록 하였다. 또한, 정밀 측정을 위한 높은 변조 주파수와 장거리 측정을 위한 낮은 변조 주파수의 두 개의 변조 주파수를 교차적으로 사용하도록 하여 모호성 없는 측정 거리의 확장 및 정밀도를 개선할 수 있게 되었다. 논문의 순서는 먼저 진폭 변조를 사용한 거리 측정 시스템에 대하여 살펴본 후, 설계 시 고려된 사항들을 설명하며, 실제 제작된 모듈로 출력된 결과를 보여주는 순으로 되어 있다.

II. 진폭 변조 방식의 거리 측정 원리와 특징

2.1 진폭 변조 방식의 거리 측정 원리

진폭 변조 방식으로 거리를 측정하는 시스템의 구조를 그림 1에서 보여주고 있다. 신호발생부에서 발생하는 신호는 반송파 신호(f_0)에 변조 주파수(f_m)를 진폭 변조시켜서 나오는 신호로 되어 있다. 이렇게 진폭 변조된 신호는 아날로그 통신 DSB-TC(Double Sideband-Transmitted Carrier)의 신호와 동일하고, 식 (1)로 표현할 수 있다.

그림 1. 진폭 변조를 이용한 거리 측정 시스템 블록도
Fig. 1. Block diagram of the AM range measurement system.

$$S_{TX} = A[1 + m \cdot \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_0 t) \quad (1)$$

여기서 A 는 반송파 신호의 진폭을 나타내는 상수이다. 진폭 변조된 RF 신호는 거리 R 을 진행한 후 능동반사기에 수신이 되고, 능동반사기에서는 반송파 신호(f_0)를 다른 주파수(f_0')로 바꾸어 기준 모듈로 송신한다. 반송파 주파수를 바꿈으로서 안테나 사이의 커플링, 다중 경로, 다중 표적에 의한 누설 신호를 제거하여 거리 측정 정확도를 개선하도록 하였다. 능동반사기에서 출력된 신호는 다시 거리 R 을 진행한 후 거리 측정기에 수신된다. 이때 능동반사기로부터 수신된 신호는 능동반사기까지의 거리 R 을 왕복으로 전파하는 동안 위상 지연이 발생하게 되고, 수신된 신호를 전력 검파기 및 저역 대역 필터를 통과하게 하여 얻어지는 신호는 진폭 변조된 반송파의 포락선 신호로서 식 (2)으로 표현할 수 있다.

$$S_{FE} \approx B \cos\left(2\pi f_m t - \frac{4\pi f_m R}{c}\right) \quad (2)$$

이때 B 는 상수이다. 따라서 수신 신호의 포락선 신호와 기준 변조 신호의 위상을 비교하면 거리를 측정할 수 있다. 즉, 수신 신호의 포락선과 기준 변조 신호의 위상차는 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$\Phi_m = \frac{4\pi f_m R}{c} \quad (3)$$

따라서 위상차를 통하여 측정되는 거리 R 은 식 (4)로서 구할 수 있다.

$$R = \frac{c \cdot \Phi_m}{4\pi f_m} \quad (4)$$

2-2 진폭 변조 거리 측정 방식의 한계 및 극복

진폭 변조를 통한 거리 측정 시스템에서 거리 측정 오차는 식 (4)에서 볼 수 있듯이 위상 측정 오차가 일정하다고 할 때 변조 주파수(f_m)에 반비례한다. 즉, 위상 검출기에 입력되는 변조 주파수가 충분히 높아야 위상 측정 정밀도를 높일 수 있다. 그 이유는 논리 회로의 성능이 충분히 좋다고 할 경우 위상 측정 정밀도는 위상 검출기 뒷단의 ADC(Analog to Digital Converter)의 양자화 오차에 의하여 결정이 되기 때문이다. 그러나 진폭 변조 거리 측정 방식은 위상이 360° 이상이 되면 거리의 모호성이 발생하므로, 변조 주파수를 높게 하면 식 (4)에 의하여 그 주파수의 360° 에 해당하는 최대 측정 거리가 짧아지게 된다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 현상을 극복하기 위하여 정밀 측정을 위한 높은 변조 주파수와 장거리 측정을 위한 낮은 변조 주파수를 교차 연결하여 위상을 측정함으로써 두 변조 주파수에서의 장점을 취하게 하였다.

Ⅲ. 위상차 측정부 설계

본 측정부의 전체적 블록도는 그림 2와 같고, CP-

그림 2. 위상차 측정부 블록도
Fig. 2. Block diagram of the phase measurement module.

그림 3. AGC 블록도
Fig. 3. Block diagram of the AGC.

LD(Complex Programmable Logic Device) 소자가 있는 논리 회로부, CPU(Central Processing Unit) 및 LCD가 있는 연산 및 거리 출력부, 나머지 부분인 아날로그 회로부 3부분으로 나눌 수 있다.

3-1 아날로그 회로부

수신된 신호는 거리 및 환경 그리고 선형 검파기의 비선형성에 의해 진폭이 일정하지 않게 된다. 이러한 일정치 못한 진폭은 비교기에서 잘못된 위상으로 측정되어 거리에 비례하는 위상 값을 가진 구형파로 변형시킬 수 없다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 AGC(Automatic Gain Control)를 사용하였다. AGC는 그림 3과 같이 VGA(Variable Gain Amplifier)와 전력 검파기를 사용하였으며, 전력 검파기에서 나오는 신호를 CPU에서 읽어 들여 수신되는 신호의 전력이 약하거나 높을 때 LCD로 신호를 출력할 수 있도록 구현하였다. 그 결과, -15 dBm에서부터 14 dBm까지의 전력 변화에도 1° 이하의 오차를 나타내었다. AGC에서 나온 신호는 비교기를 통하여 불필요한 신호를 제거하여 논리 회로로 입력되게 하였다.

송신하는 신호는 CPLD에서 출력되는 신호를 비교기를 통하여 증폭시킨 후 감쇄기 및 필터를 통하여 원하는 대역폭과 전력을 만들어 보낼 수 있도록 구현하였다.

3-2 논리 회로부

논리 회로부는 XOR 논리를 사용하는 위상 검출기, JK 플립플롭을 사용하는 위상 검출기, 그리고 시스템을 제어하는 스위치 및 출력 주파수 제어하는 논리 회로 제어부 3부분으로 구성된다.

XOR 논리를 사용한 위상 검출기는 그림 4와 같이 구현하였다. 이 위상 검출기는 JK 플립플롭 위상

그림 4. XOR 위상 검출기의 블록도 및 출력 파형
Fig. 4. Schematic and output waveform of the XOR phase detector.

그림 5. JK flip-flop 위상 검출기의 블록도 및 출력 파형
Fig. 5. Schematic and output waveform of the JK flip-flop phase detector.

검출기보다 2배 높은 정확성을 가지지만 위상차가 0°인 부분과 180° 부분에서 기울기가 변하면서 측정 값의 모호성을 가지게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 그림 5와 같이 수신된 신호의 2배 높은 주파수를 기준 주파수로 받은 후 한 쪽의 XOR 위상 검출기에서는 직접 주파수를 1/2배로 낮추고, 다른 쪽의 XOR 위상 검출기는 2배 높은 주파수의 위상을 NOT 논리로 180° 바꾼 후 주파수를 1/2배로 낮춰 기준 주파수로 사용하도록 하였다. 이를 통하여 두 XOR 위상 검출기에 입력되는 기준 주파수가 서로 90°의 위상차가 나도록 하여 위상의 모호성을 주는 부분에는 다른 위상 검출기의 출력을 읽음으로서 단

점을 보완하였다. 본 방식의 단점으로는 출력되는 값이 입력되는 값의 두 배가 됨으로 인하여 좋은 성능의 논리 회로가 필요하게 되는 점이다.

JK 플립플롭을 사용한 위상 검출기는 그림 5와 같이 구현하였다. 여기서 시간 지연 부분은 RC필터를 사용하여 구현하였다. JK 플립플롭 위상 검출기는 시간 지연 부분에 의해 위상차를 360° 영역의 전 구간을 측정할 수는 없지만 위상차의 증가에 따라 출력되는 주파수의 듀티비가 선형적으로 증가한다. 이 위상 검출기는 출력 주파수가 두 배로 되는 XOR 위상 검출기와는 다르게 입력한 주파수에서 듀티비만 변하여 출력이 되므로 높은 주파수까지 선형적인 결과를 얻을 수 있다. 또한, 시간 지연 부분에 의하여 위상차를 측정할 수 없는 부분을 보완하기 위해 기준 주파수의 위상차가 180° 차이가 나는 JK 플립플롭 위상 검출기를 하나 더 사용하였다.

논리 회로 제어부에서는 외부에서 기준 주파수를 받거나, 모듈에 있는 수정발진기로부터 발생하는 변조 주파수를 높은 변조 주파수를 사용하는 정밀 측정의 경우 및 낮은 변조 주파수를 사용하는 장거리 측정의 경우, 두 가지 경우로 제어할 수 있도록 하였다. 또한, 입력되는 제어 신호에 따라 정밀 측정의 경우와 장거리 측정의 경우를 선택할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 모듈 내부에 있는 수정 발진기를 사용하여 정밀 측정할 경우에는 8 MHz로서 작동하도록 하였고, 장거리를 측정할 경우에는 1 MHz로 작동하도록 하였다. 이 후의 모든 측정은 모듈 내부의 수정발진기를 기준으로 하여 측정하였다.

3-3 연산 및 거리 출력부

연산 및 거리 출력부에서는 그림 6과 같이 모듈의 전체적인 시스템을 제어할 수 있도록 하였으며, LCD를 통하여 디지털 출력 값, 거리, 입력 전력을 출력할 수 있도록 하였다. 시스템의 동작이 시작되면 MCU에서 정밀 측정의 경우 및 장거리 측정의 경우를 교차적으로 선택하여 그에 맞는 값이 논리 회로부에서 출력되도록 한다. 논리 회로부에서 나온 신호는 RF단의 IF 신호로 입력되며, RF단을 거쳐 출력된 신호는 아날로그 회로를 거쳐 다시 논리 회로부로 입력된다. 논리 회로부에서 출력된 I와 Q 신호

그림 6. 위상차 측정부 구동 방식

Fig. 6. The circuit operation scenario for the phase difference measurements.

는 LPF를 통하여 듀티에 비례하는 전압 값으로 변환된 후 MCU에 내장되어 있는 10 bit ADC를 통과하여 전압 값을 디지털 값으로 변환시키도록 하였다.

디지털로 변환된 값은 정밀 측정의 경우에는 그림 7(a)의 점선 내에 들어가는 I 나 Q 값을 읽어 들인 후 측정된 결과를 기초로 만들어진 I 및 Q 에 대한 수식에 따라서 위상 값을 변환시킨다. 장거리 측정의 경우에는 그림 7의 (b)의 점선 내에 들어가는 I 나 Q 값을 읽어 들이면서 점선 내에 들어가지 않은 값이 점선 내에 들어가는 값보다 큰지 작은지 확인한 후 측정된 결과를 기초로 만든 수식에 따라 위상 값으로 변환시킨다.

구해진 위상 값은 식 (5)를 이용하여 거리로 환산한 후 LCD로 출력하도록 하였다. 또한, 아날로그 회로부의 AGC에서 나오는 입력 전력에 비례하는 DC 값을 ADC로 읽어 들여, 측정이 가능한 전력의 범위를 벗어날 경우에는 LCD에 경고 표시를 내도록 구현하였다.

(a) 정밀 측정의 경우

(a) The detailed measurement case

(b) 장거리 측정의 경우

(b) The long distance measurement case

그림 7. 각 모드의 유효 범위

Fig. 7. Valid range of the each mode.

IV. 위상차 측정부 제작 및 결과

4-1 위상차 측정부 제작

위상차 측정부는 그림 8과 같이 제작하였으며, 논리 회로부는 ALTERA사의 EPM3032를 사용하였고, CPU는 ATMEL의 ATmega8을 사용하여 구현하였다. 그리고 화면이 출력되는 LCD는 20*4 Characters LCD를 사용하여 디지털 출력, 위상차, 수신되는 신호의 전력이 허용 범위 안에 있는지를 출력할 수 있도록 하였다.

4-2 위상차 측정부 측정 결과

제작한 모듈을 함수 발생기를 통하여 정현파의

그림 8. 제작된 위상차 측정부 및 동작 모습
Fig. 8. Fabricated phase difference measurement module.

기준 신호 및 정현파의 수신 신호를 발생시켰다. 측정 시 수신 신호의 위상을 1° 씩 증가시키며 각각의 경우에 대한 측정을 하였다. 그 결과는 그림 9와 같다.

그림 9의 결과는 정밀 측정의 경우 8 MHz를 기준 주파수로 하여 측정을 하였으며, 장거리 측정의 경우에는 1 MHz를 기준 주파수로 하여 측정을 하였다. 정밀 측정의 경우에서 값이 0으로 출력되는 부분이 약 50° 정도 지속되는 구간이 있다. 이러한 현상은 JK 플립플롭 위상차 측정기의 clear 포트에 입력되는 펄스가 이상적인 임펄스가 아니고 시간 지연단을 통하여 구현되어 시정수에 의해 펄스폭이 넓어짐으로 인하여 생기는 현상이다.

각각의 경우에 대한 선형적으로 출력되는 유효 범위 내에 출력되는 디지털 값을 통하여 디지털 값을 위상 값으로 변화시키는 식을 구할 수 있었다. 그 식의 값과 그림 9의 결과 값의 차이를 비교한 결과, 그림 10과 같은 오차 값을 구할 수 있었다.

위의 결과에 따르면 정밀 측정의 경우 즉, 8 MHz 인 경우 JK 플립플롭 위상차 측정기에서 출력된 값은 0.4° 이하의 오차가 나타나 식 (5)에 의하여 약 2 cm의 거리 오차가 날 수 있다는 것을 알 수 있다. 장

(a) 정밀 측정의 경우
(a) The detailed measurement case

(b) 장거리 측정의 경우
(b) The long distance measurement case

그림 9. 각 모드의 디지털 값 출력
Fig. 9. Digital output of each mode.

(a) 정밀 측정의 경우
(a) The detailed measurement case

(b) 장거리 측정의 경우
(b) The long distance measurement case

그림 10. 각 모드의 위상 측정값 오차
Fig. 10. Phase difference error of each mode.

거리 측정의 경우 즉, 1 MHz인 경우 XOR 위상차 측정기에서 출력된 값은 0.15° 이하의 오차가 나타나

그림 11. 전체 위상차 예상 값
Fig. 11. Expected phase difference.

식 (5)에 의하여 약 6.25 cm의 오차가 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다. 그림 10(a)의 경우 오차가 0이 되는 부분이 있다. 이 부분의 거리를 측정하는 유효 범위 밖의 부분이므로 오차를 구하지 않았다.

그림 9의 결과를 토대로 실제 거리에 대한 디지털 출력 결과를 알 수 있으며, 이는 그림 11에 나타내었다.

그림 11을 통하여 JK 위상 검출기에서 출력되는 디지털 출력 값은 거리에 따라서 높은 기울기를 가져 높은 정확도로 거리를 측정할 수 있다는 것을 알 수 있지만, 측정이 가능한 거리가 짧다는 것을 알 수 있고, XOR 위상 검출기에서 출력되는 디지털 출력 값은 경사가 완만하여 낮은 정확도로 거리를 측정할 수 있지만, 측정이 가능한 거리가 넓다는 것을 알 수 있다. 또한, 4개의 디지털 출력 값이 150 m까지 겹치지 않아 위에서 제시한 위상차 출력부의 동작 방식을 통하여 150 m까지 2 cm 이하의 측정 거리 정확도로 측정할 수 있다는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 진폭 변조를 이용한 거리 측정 시스템을 위한 정밀 위상차 측정부를 구현하고 실험결과를 얻었다. 위상차를 측정할 경우, 변조 주파수가 높은 경우 높은 위상측정 정밀도를 얻을 수 있다는 장점과 낮은 변조 주파수를 사용할 경우, 최대 측정 거리가 늘어나는 장점 두 가지를 취합하기 위하여 정밀 측정의 경우, 장거리 측정의 경우 두 경우를 시간에 따라 교차하여 송수신함으로써 150 m의 거리까지 약 2 cm 이하의 측정 거리 정확도로 측정할 수 있도록 하였다. 측정하는 위상 검출기는 높은 주파

수까지 사용 가능한 JK 플립플롭 위상 검출기를 정밀 측정의 경우 사용하였고, 높은 위상 측정 정확도를 가지고 있는 XOR 위상 검출기를 장거리 측정의 경우에 사용하였다. 전력의 변화에 따른 위상 측정 오차를 줄이기 위하여 AGC를 사용하였으며 -15 dBm에서부터 14 dBm까지의 전력 변화에도 1° 이하의 오차로 위상차를 측정할 수 있었고, 허용범위 밖에 전력이 들어올 경우에는 에러 메시지를 출력하도록 하였다. 입력되는 기준 주파수는 20 MHz까지 선형적으로 위상차를 측정할 수 있었다.

향후, 논리 회로부에 사용하는 칩의 성능을 높임으로써 더 높은 변조 주파수를 사용하여 측정 가능하도록 하고, CPLD칩 내부에 PLL 회로를 구현하여 기준 변조 주파수를 임의로 선택할 수 있도록 제어하여 최대 측정 거리를 확장할 수 있도록 할 것이다. 또한, 비트 분해능이 높은 DAC를 사용하여 더욱 높은 위상 측정 정확도를 가지도록 할 것이다.

본 위상차 측정부는 전파에 최적화 되어 구현하였지만 H/W 및 S/W를 일부 변화시키면 진폭 변조 및 펄스 방식의 다양한 거리 측정 시스템에도 사용이 가능할 것이다. 또한, 두 개 이상의 변조 주파수를 순차적으로 선택하게 함으로써 측정 거리의 확장 및 정밀 거리 측정 시스템을 구현할 수 있을 것이다. 현재 전파로 진폭 변조를 이용한 거리 측정 시스템 RF부를 제작 중에 있으며, 직접 연결하여 사용할 예정이다. 따라서 능동반사기를 사용하는 진폭 변조 시스템이 완성되면 열악한 환경조건에서도 정확한 거리를 측정해야 하는 다양한 경우에 응용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] 이상성, 레이더 공학, 보성문화사, pp 17-18, 1999년.
- [2] 이엠와이즈통신(주), "폭변조 레이더 및 그 거리 측정 방법", Korea patent-pending #102009-0052-512, 2009년.
- [3] 방송통신위원회 고시, 제 2008-136호, "대한민국 주파수 분배표", 2008년.
- [4] Ole K. Nilsen, W. D. Boyer, "Amplitude modulated CW radar", *IRE Transactions on Aeronautical and*

Navigational Electronics, pp. 50-254, 1962.

- [5] 최문각, 우동식, 강일홍, 노형우, 김강욱, "거리 측정 정확도를 개선한 AM 레이더 모듈 설계", 한국전자과학회논문지, 21(8), pp. 911-919, 2010년.
- [6] 노형우, 최문각, 박정호, 강일홍, 김강욱, "능동반사기를 이용한 진폭 변조 방식의 거리 측정시스

템 개발", 한국전자과학회 마이크로파 및 전파전자 학술대회, p. 170, 2010년.

- [7] U. L. Rohde, *Microwave and Wireless Synthesizers*, Wiley, pp. 1-75, 1997.
- [8] Behzad Razavi, *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*, McGraw-Hill, pp. 532-576, 2000.

노 형 우

2009년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2009년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 및 디지털 회로 설계, 레이더 설계

강 일 홍

2010년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2010년 2월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 마이크로파 능동 소자 설계

박 정 호

2009년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 발진기 설계

최 문 각

2008년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
2010년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2010년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정
2010년 3월~현재: 이엠와이즈통신 선임연구원
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계, 근거리 레이더, 위상동기루프 응용 회로

김 강 욱

1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)

1987년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)

1996년 7월: University of California, Los Angeles. 전자공학과 (공학박사)

1987년~1990년: 한국전기연구소 연구원

1996년~1998년: University of California, Los Angeles. Post-Doctor 연구원

1998년~1999년: P-Com, Inc. 마이크로파 설계연구원

1999년~2001년: Narda DBS Microwave, RF 설계연구원

2001년~2005년: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수

2006년~현재: 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 부교수

2007년 5월~현재: 이엠와이즈통신(주) 대표이사

[주 관심분야] 마이크로파 통신시스템 및 서브시스템, 마이크로파 및 밀리미터파 부품 및 패키징, 무선 통신용 안테나, 전자기 상호 작용 및 전자기 수치 해석