

---

# 고정밀 레이저 거리 측정기용 디지털 복조 회로 개발에 관한 연구

배영철\* · 박종배\* · 조의주\* · 강기웅\* · 강건일\*\* · 김현우\*\*\* · 김은주\*\*\*\*

The Development of DDC system for High Precision Laser distance instrument

Youngchul Bae\* · Jongbae Park\* · EuiJoo Cho\* · Kiwoong Kang\* · Keon il Kang\*\* ·  
Hyeonwoo Kim\*\*\* · Eunju Kim\*\*\*\*

## 요 약

기존의 크리스탈 주파수 발진기는 주파수를 자유롭게 변경하지 못할 뿐만 아니라 이들 사이의 동기화에 대한 어려움이 존재한다. 이를 극복하는 새로운 디지털 복조 회로(DDC; Digital Demodulation Circuit) 시스템을 제안하고 이를 구현하였다. 구현한 디지털 복조 회로는 소수점 두 자리까지 자유롭게 주파수를 생성할 수 있다. 또한 레이저 거리 측정기에서 사용하는 많은 소자들이 요구하는 주파수 클럭 생성과 오차 저감이 가능하여 고정밀 거리 측정이 가능한 시스템에 적용할 수 있다.

## ABSTRACT

We proposed and implemented new DDC system which overcomes the difficulties including lack of flexibility of modifications of frequency which is the problem of previous frequency oscillator and synchronization. New DDC system can create frequency in two decimal points. Moreover, due to its usage in adjusting to frequency clock which is required by many consumers, laser distance instrument can reduce its error; thus, implementation of system is capable of high precision distance measurement can be performed.

## 키워드

레이저 거리 측정기, 디지털 복조 회로, 주파수 클럭

## I. 서 론

공장자동화 등에서 사용하는 레이저 거리 측정 기술은 측정하고자 하는 표적으로 레이저를 발생 시킨 후 표적에서 되돌아오는 레이저의 파장을 측정하여 레이저

를 발생시킨 장소와 목표물까지의 거리를 원격으로 측정하는 기술을 말한다. 레이저 측정 기술은 산업용, 과학용으로 원격 표적 거리에서 무접촉 측정을 수행하는데 폭넓게 사용되고 있다. 현재 상업적으로 유용한 측정 기술들은 장거리 측정에 적합한 시간-비행 기법(time-

---

\* 전남대학교 공학대학 전기전자통신컴퓨터공학부

\*\* 전기공학과

\*\*\* 해양토목공학과

\*\*\*\* KISTI

of-flight methods) 을 적용하거나 단거리 측정에 더욱 적합한 삼각 측량기법(triangulation)을 적용하고 있다.[1,2] 레이저 측정 기술은 주로 군사용 목적으로 사용되었으나 산업 현장에서 자동화 및 무인화의 영향으로 산업용에 적용하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 산업용의 경우 무인화 시스템, 선박 접안 시 배의 파손을 막기 위한 거리 측정, 무인 과속 감지기, 차량 충돌 방지 시스템, 토목 공사 현장에서의 측량 등에 적용 가능하며 이에 대한 수요도 증가하고 있는 추세이다. 레이저 거리 측정기를 산업용으로 이용하기 위해서는 초고정밀성, 높은 신뢰성, 소형화 및 경량화가 필수적으로 요구되고 있다. 산업용 레이저 거리 측정기의 경우 거리가 1km 이내, 측정 오차도 1-10 mm 이내를 요구하고 있다[3].

일반적으로 레이저 측정기에 사용하는 소자로는 레이저 다이오드(LD), 주 제어 장치(MCU), 각종 신호들을 혼합하는 혼합기, 전치 증폭기, 카운터 이외에 많은 소자들이 사용되고 있다. 이들 소자들을 사용하기 위해서는 각 소자마다 소자들의 클럭을 처리하기 위한 발진기를 부착해야 한다. 예를 들어 지금까지 개발한 대부분의 레이저 측정기들은 카운터용 1개, 주 제어 장치용 1개, 레이저 다이오드의 송수신용 각 1개씩 적어도 4개 이상의 주파수 발진기를 이용하여 구현하고 있다. 주파수 발진기는 일단 한번 고정시키면 주파수를 마음대로 만들 수 없고 주파수 발진기가 많아지면 이들 발진기에서 발생하는 주파수를 동기화시키기 어려워 정밀한 레이저 거리 측정에서 오차가 발생하는 문제점이 있다.[3]

이에 본 연구에서는 기존의 주파수 발진기의 문제점인 주파수를 자유롭게 변경하지 못하고 여러 개를 사용함으로써 나타나는 동기화에 대한 어려움을 극복하는 새로운 디지털 복조 회로(DDC; Digital Demodulation Circuit) 시스템을 제안하고 이를 구현하였다. 이 새로운 디지털 복조 회로는 소수점 두 자리까지 자유롭게 주파수를 생성할 수 있다. 또한 레이저 거리 측정기에서 사용하는 많은 소자들이 요구하는 주파수 클럭을 맞추는데 사용할 수 있어 오차를 줄일 수 있으며 이에 따라 고정밀 거리 측정이 가능한 시스템을 구현할 수 있다.

## II. 레이저 거리 측정기

### 2.1 레이저 거리 측정기의 원리[4]

레이저 거리 측정기는 외부 간섭계 즉 렌즈, 프리즘, 거울로 구성된 광학 트랜스듀서에 의존하며 이들은 레이저 빛이나 백색광을 이용하여 판독한다. 즉 광주파수에서 레이저 빛의 위상 변위 차인 주파수 변화를 측정함에 의해 표적과의 거리를 측정하는데 사용한다.

레이저 거리 측정기의 원리는 일반적으로 주파수에서의 변화는 원래의 레이저 주파수와 동일하거나 또는 거의 근접한 상수 주파수의 빛을 가진 산란된 빛의 혼합에 의한 호모다인(homodyne) 또는 헤테로다인(heterodyne) 기법을 이용하여 측정한다. 호모다인 시스템은 마이켈슨 간섭기 (Michelson interferometer) 또는 마하젠더 간섭기 (Mach-Zehnder interferometers) 기초하여 설계된다[5].

레이저 거리 측정기는 레이저 즉 레이저 다이오드에서 발생시킨 레이저 빛을 표적을 향해 발생시키면 빛은 빔 분리기(beam splitter)에 의해 2 방향으로 나뉘어 진행된다. 한 방향은 빛의 일부분(보통 전체 빛의 5% 미만)은 빔 분리기를 통하여 반사거울(mirror)로 향한 후 반사되어 다시 빔 분리를 통하여 광검출기로 되돌아오며 이 신호를 기준신호라고 부른다. 빛의 다른 한 방향은 빛의 대부분(95%)이 빔 분리기를 통하여 표적을 향해 비행한 후 표적에 닿으면 반사되어 다시 빔 분리기로 되돌아와 빔 분리기를 통하여 광검출기에 도착하게 된다. 광검출기에서는 반사경을 통하여 되돌아 온 기준 신호와 표적을 통하여 반사되어 온 빛의 위상차를 계산하여 거리를 구하게 된다. 일반적인 레이저 거리 측정기의 원리를 그림 1에 나타내었다.

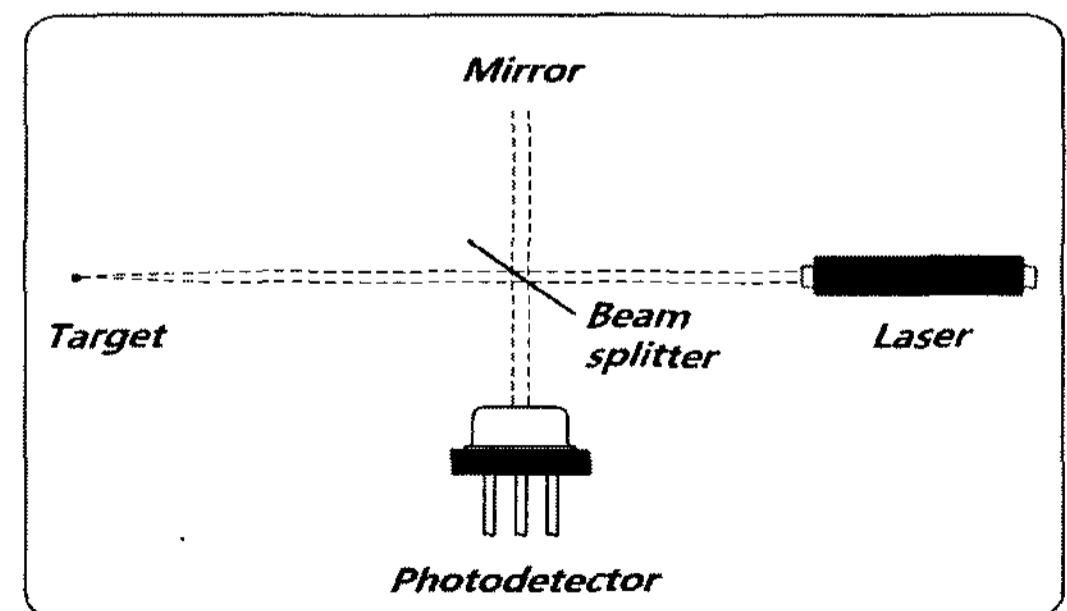


그림 1. 레이저 거리 측정기의 기본 원리  
Fig. 1 The Basic principle of laser distance measurement

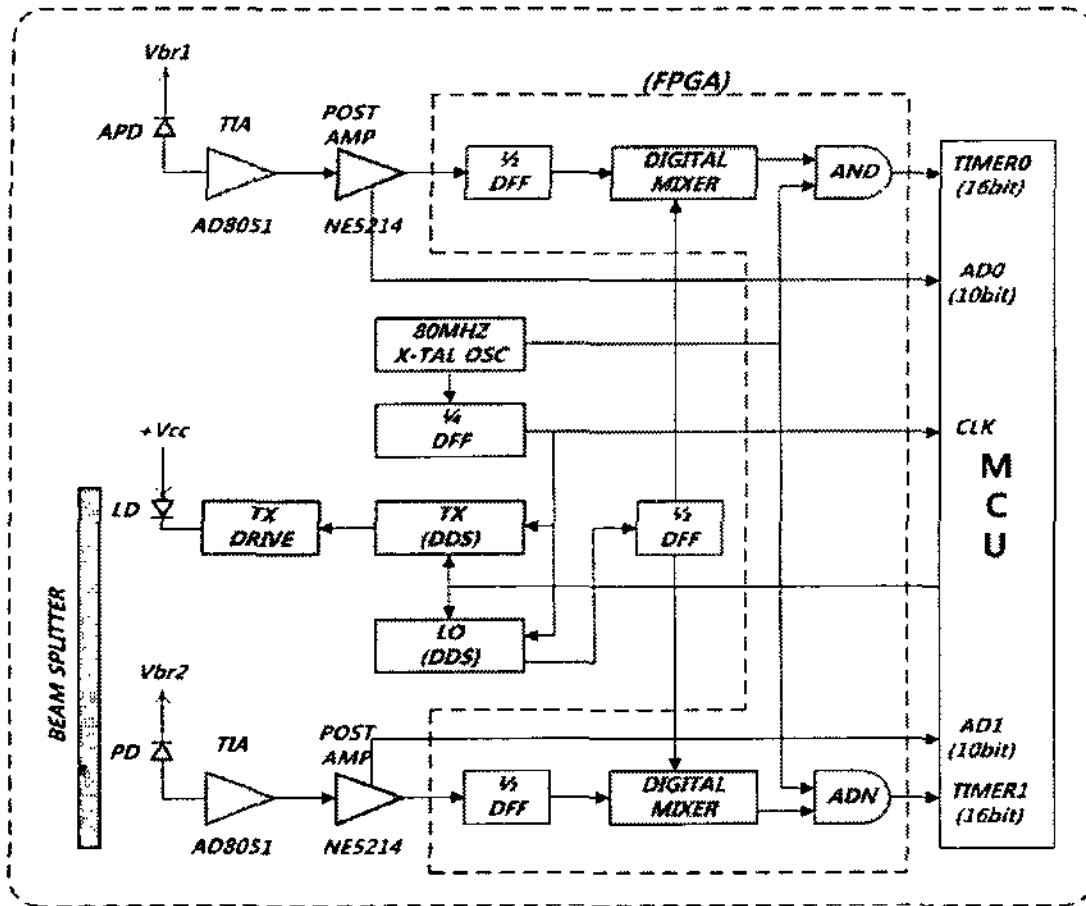


그림 2. 고정밀 산업용 레이저 거리측정기의 기본 구조

Fig. 2 The Basic structure of high precision of laser finder ranger for industrial

레이저 광은 반사경과 표적을 통하여 반사될 때 빛이 산란되어 광량이 감소하게 되어 광검출기에 도착한 빛의 세기는 목표물의 거리에 따라 달라져 거리 측정의 오차 원인이 된다.

2.2 고정밀 산업용 레이저 거리 측정기의 기본구성

고정밀 산업용 레이저 거리 측정기는 일반적인 레이저 거리 측정기의 원리를 기반으로 디지털 혼합기를 포함한 FPGA, 레이저 구동부, APD(Avalanch Photo Diode)와 전치 증폭부, 위상 출력부, 레이저 송수신부 구동부, 제어부와 이를 연결하여 전체 레이저 거리 측정기를 제어하는 MCU로 구성되며 이를 그림 2에 나타내었다.

2.3 클럭 시스템[3]

그림 2의 기본적인 레이저 거리 측정기에서 일반적으로 MCU, 카운터, 레이저의 송신 및 수신 구동부에 적어도 1개의 클럭 즉 적어도 4개 이상의 클럭 발생 회로가 필요하다. 또한 각 클럭 발생회로들은 서로 다른 클럭 주파수를 생성하기 위한 회로로 크리스탈 발진기를 사용한다.그러나 크리스탈 발진기는 주파수 변동을 허용하지 않는 고정 방식으로 원하는 주파수를 변경하기 어렵다는 문제점을 가지고 있으며 고정밀 산업용 레이저 거리 측정기에서와 같이 여러 개의 클럭을 사용할 경우 각 클럭의 주파수에 대한 상호간 동기를 맞추기 어려워 고정밀 측정에 장애가 된다는 문제점을 가지고 있다.

2.3.1 MCU와 카운터 클럭 시스템

일반적으로 MCU와 카운터는 레이저 거리 측정기에서 모든 신호처리 및 데이터 처리에 따른 거리 측정 계산을 담당한다. MCU와 카운터에서 데이터 처리는 클럭 발생 속도에 따라 처리 속도가 달라진다. 이들의 클럭은 설계자에 따라 클럭을 선택하여 설계 특성이 맞게 사용할 수 있다.

이전 버전[3]에서는 MCU의 경우 20MHz대의 클럭을, 카운터 클럭 시스템의 경우 60MHz를 사용하였으며 실장 사례를 그림 3에 나타내었다.

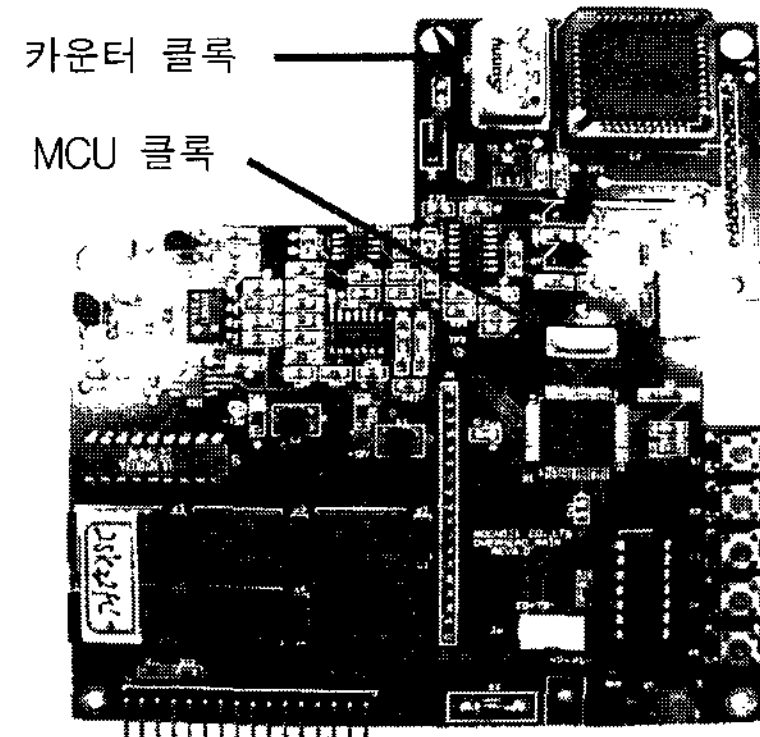


그림 3. MCU, 카운터 클럭 시스템  
Fig. 3 Clock System of MCU and counter

2.3.2 송수신 클럭 시스템

송신과 수신 클럭은 빔 분리기에서 분리된 레이저 빛의 송수신을 위해 사용하며 각각 30MHz±15KHz의 주파수 대역을 가진 클럭을 사용하였다. 이전[3] 송수신 클럭의 실장 사례는 그림 4와 같다.

이상에서 설명한 클럭들을 살펴보면 클럭의 개수와 각각의 클럭 주파수가 서로 다름을 확인할 수 있다. 클럭의 경우 크리스탈 발진기를 이용하기 때문에 고정된 주파수만을 생성하게 되어 클럭의 주파수를 임의로 변경하지 못하는 문제점을 가지게 되었다. 이 경우 새로 회로를 구성하여 설계를 해야 하므로 원가상승의 원인이 되며 개발 시간이 더 많이 요구되어 개발자의 입장에서 경제적인 손실이 크게 된다.

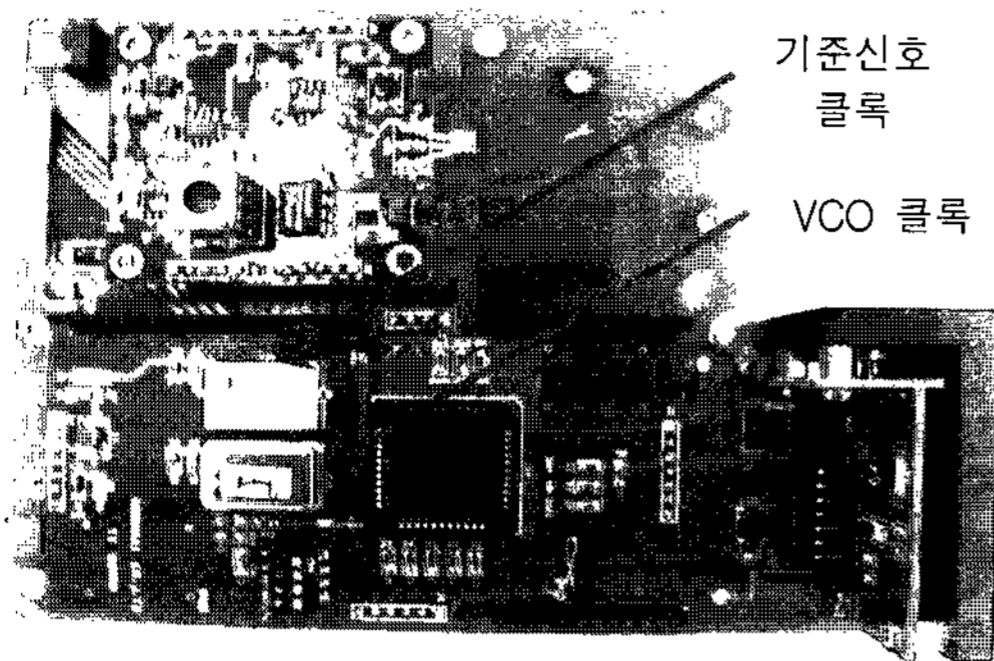


그림 4. 카운터 클록 시스템  
Fig. 4 Counter Clock System

### 2.4 제안한 클록 시스템

앞서 설명한 각각의 클록과 클록에서 발생하는 주파수를 개선하기 위하여 4개의 클록을 하나의 클록 시스템으로 구성하여 공동으로 사용하는 기법을 그림 5와 같은 원리로 제시한다. 제시된 기법은 1개의 클록만을 사용함으로써 회로가 간단하고, 클록간의 동기화를 맞추는 필요가 없으며 소수점 2자리까지의 주파수를 계산하여 사용할 수 있을 뿐만 아니라 원하는 주파수 대역의 클록을 마음대로 제작할 수 있다는 장점을 가진다.

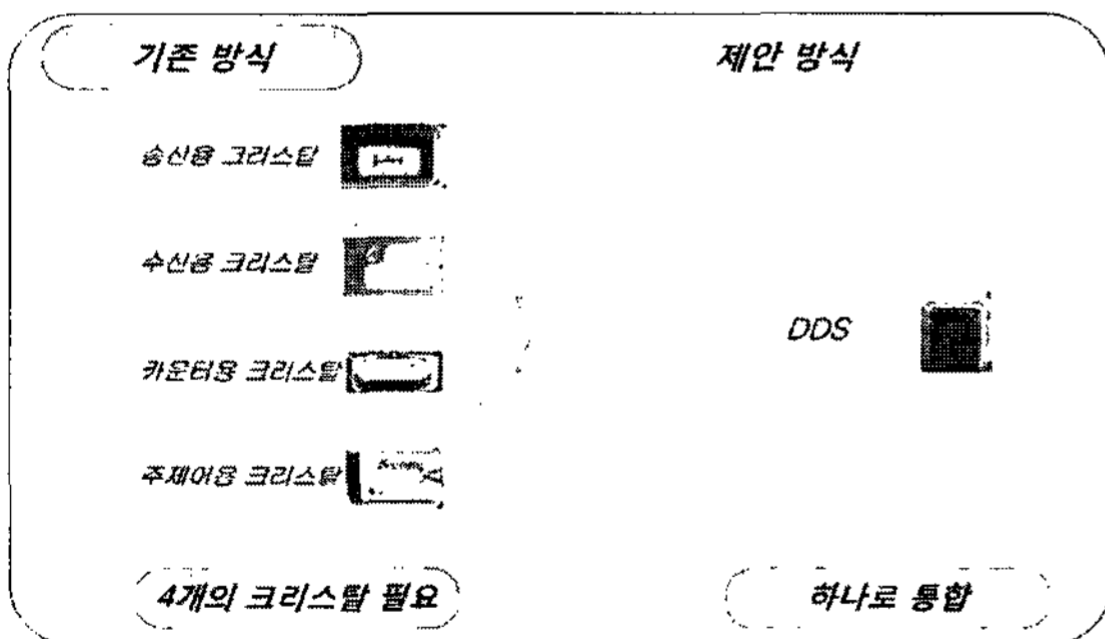


그림 5. 통합 클록 시스템  
Fig. 5 Integrated clock system

## III. 복조 회로

### 3.1 아날로그 복조 회로

기본적인 아날로그 복조 회로를 그림 6에 나타내었다.

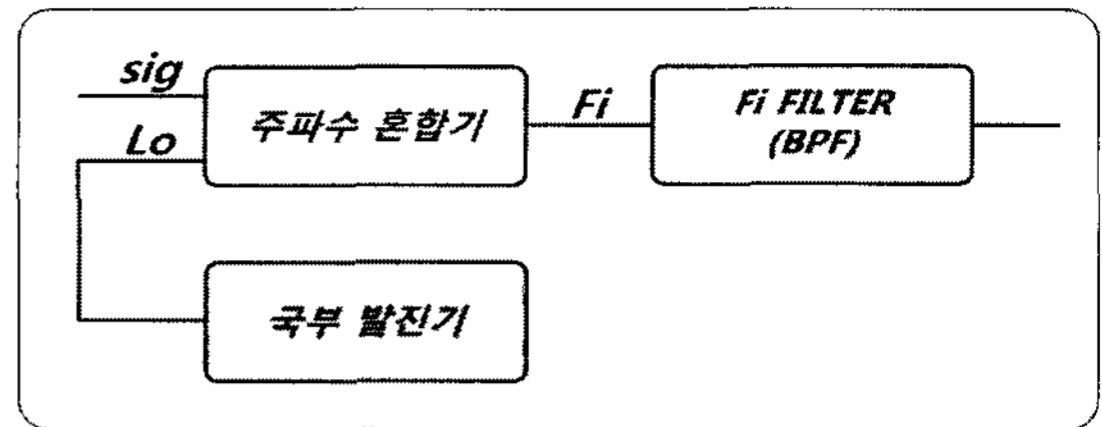


그림 6. 아날로그 복조 회로  
Fig. 6 Analogue demodulation circuit

그림 6과 관련된 식을 식(1)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 F_i &= \sin(\omega t \text{ sig}t) \sin(\omega L_0 t) \\
 &= 1/2 [\cos \omega L_0 t - \omega \text{ sig}t] \\
 &\quad - \cos(\omega L_0 t + \omega \text{ sig}t) \quad (1)
 \end{aligned}$$

식(1)에서 확인하듯이 신호파(sig)와 국부발진(Lo) 파형이 사인파 일 때 주파수 혼합기의 비 직선성을 이용하여 두 주파수의 차를 구하고자 하면 가장 이상적인 중간 주파수를 구할 수 있다.

그러나 레이저 거리계에서의 송신 파형을 사인파를 이용하면 송신회로에 필터회로가 부가되어야만 한다. 이에 레이저 거리계에서는 송신파형과 국부발진 파형을 주로 구형파(Square wave)를 사용하고 있으나 정확한 주파수의 위상을 요구하는 특성상 파형의 찌그러짐을 일으키는 구형파로 인하여 거리편차가 심해지는 단점이 있다. 주파수 혼합기의 출력신호(중간주파수)에는 식(1)과 같이 Lo-sig파와 Lo+sig파가 혼재되어 있으므로 대역통과필터를 사용하여 필터링을 해주어야 한다. 2 주파수 또는 3 주파수를 사용하고자 할 때 이 대역통과필터회로로 인하여 회로가 복잡해질 뿐만 아니라 2 또는 3의 중간주파수가 하나의 필터를 통과할 경우에는 신호 대 잡음비(S/N)가 매우 낮아지는 단점이 있다.

신호 대 잡음비(S/N)를 개선하기 위해서는 중간주파수가 일치하도록 해야 하며 이를 위해서는 국부발진 주파수를 가변 해야 하는 복잡성이 따른다.

### 3.2 새로운 디지털 복조 회로 제안

디지털 복조회로에서 가장 중요한 요건 중에 하나로써 sig 와 Lo의 구형파 듀티(duty) 비가 50.000% 정도의 정밀도가 필요하다. 이는 오차율 0.02% 이내를 의미한다. 송신 및 수신파의 듀티비를 50.000% 정도의 정밀도

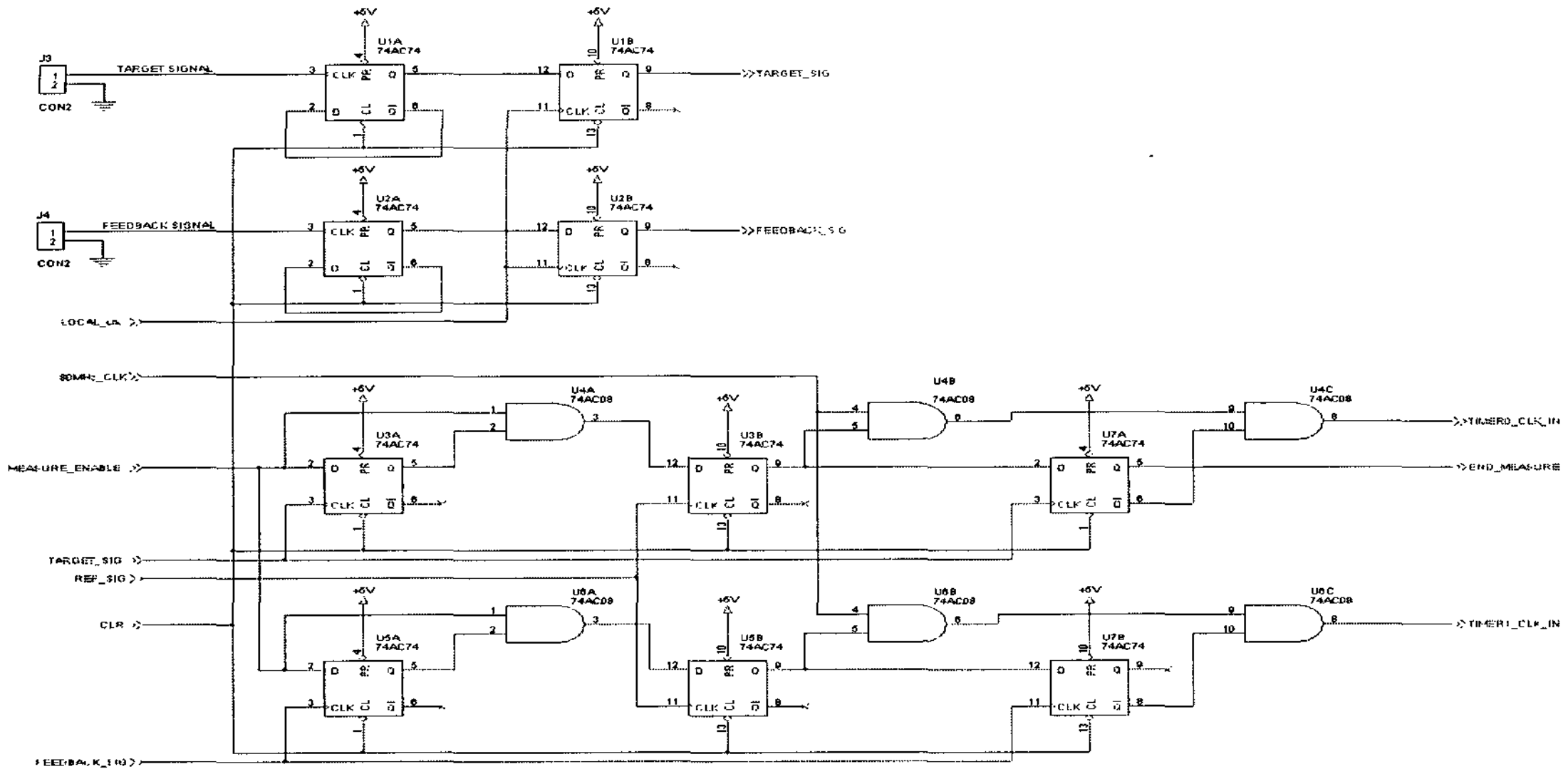
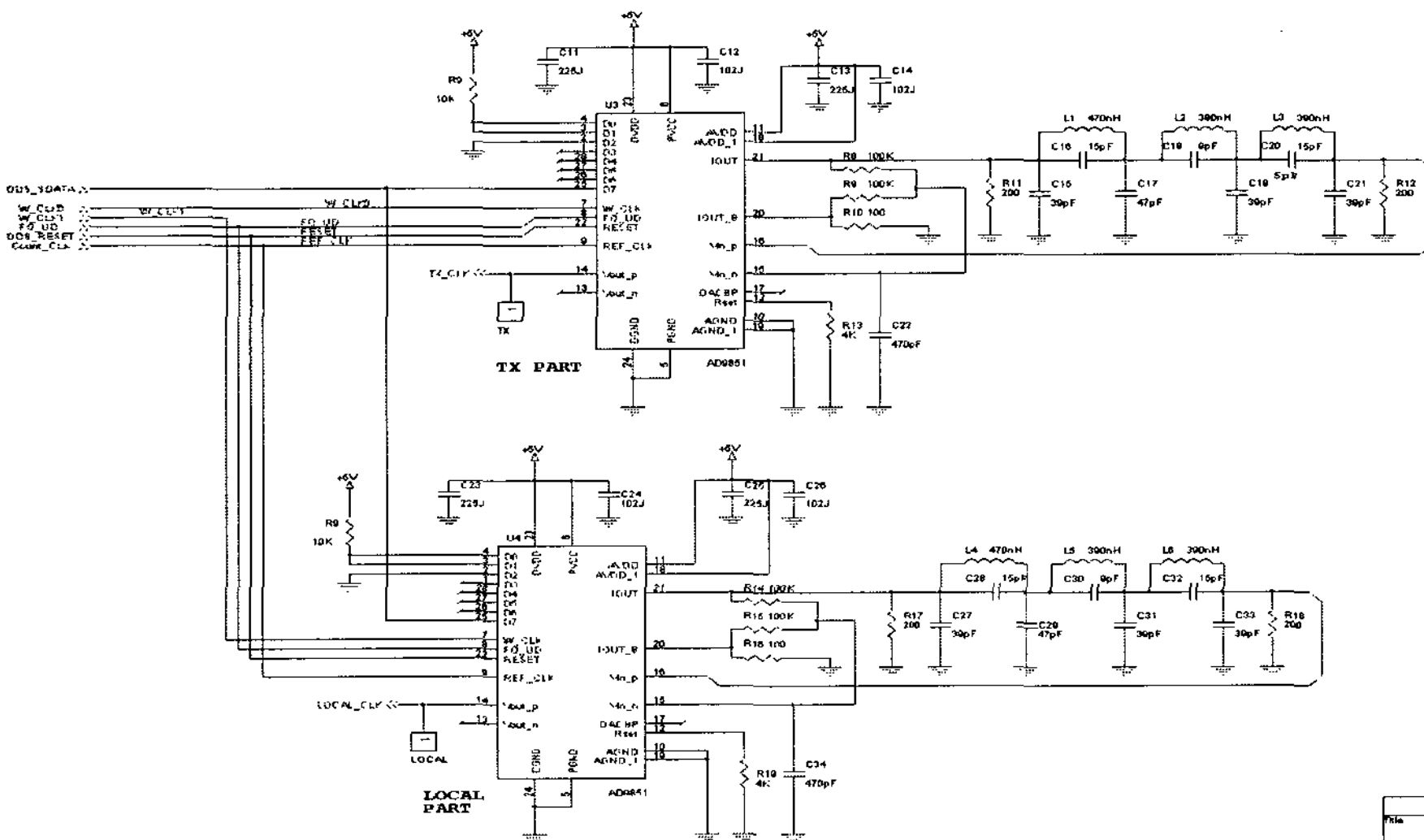


그림 7. 디지털 복조 회로  
Fig. 7 Digital demodulation circuit

를 갖도록 하는 것은 매우 어려운 문제이다. 본 연구에서는 이를 해결하고자 DDC로서 듀티비가 50.000% 되도록 구형파를 정형화하여 sig와 Lo의 주파수차 및 위상차를 구하였다. 이를 구현하기 위한 디지털 복조회로와 신호 발생회로를 각각 그림 7과 8에 나타내었다. 그림 7의 회

로에서 U1A와 U2A가 듀티비를 정형화 하는데 사용한다. U1B와 U2B는 sig와 Lo의 주파수 차를 구하는 기능이다. 또한 그림 8의 회로도 하단부는 측정거리와 비례하는 위상차를 구하는 기능을 하고 있다.



File	LASER RANGE FINDER	
Site	Document Number	Rev
Part	MAIN_DDS_FREQUENCY_GENERATOR	
Date	Thursday, November 20, 2007	Sheet 1 of 1

그림 8. 신호 발생 회로  
Fig. 8 Signal generation circuit

#### IV. 실험 및 고찰

그림 7과 그림 8의 회로를 기초로 디지털 복조 시스템을 그림 9와 같이 구현하였다. 본 연구에서는 PLD 디바이스는 원칩 할 수 있어 제품의 소형화 및 저가격화가 가능하기 때문에 아날로그 복조회로에서 발생하는 위상오차 및 편차 값을 개선하도록 EPM7032SLC44-10 PLD 디바이스를 이용하였다.

디지털  
복조  
시스템  
클록

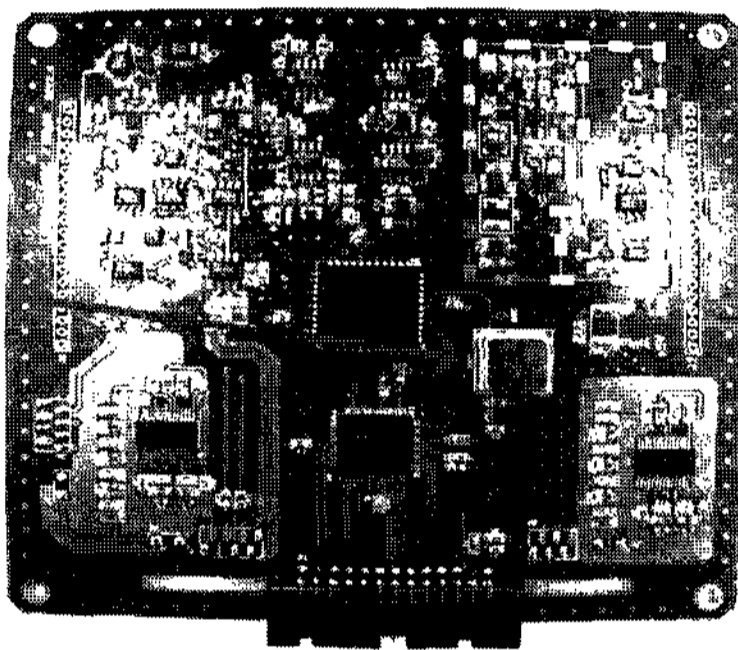


그림 9. 디지털 복조 시스템 구현

Fig. 9 Implementation of digital demodulation system

##### 4.1 국부 주파수와 송신 주파수 출력 파형에 대한 실험 결과

국부 1주파수와 Tx 주파수 출력 파형 값을 각각 Tx 주파수 29.970494MHz, 국부 주파수 Tx 주파수 + 3KHz = 29.973494MHz 표시했을 때의 주파수 파형을 그림 10에 나타내었다.

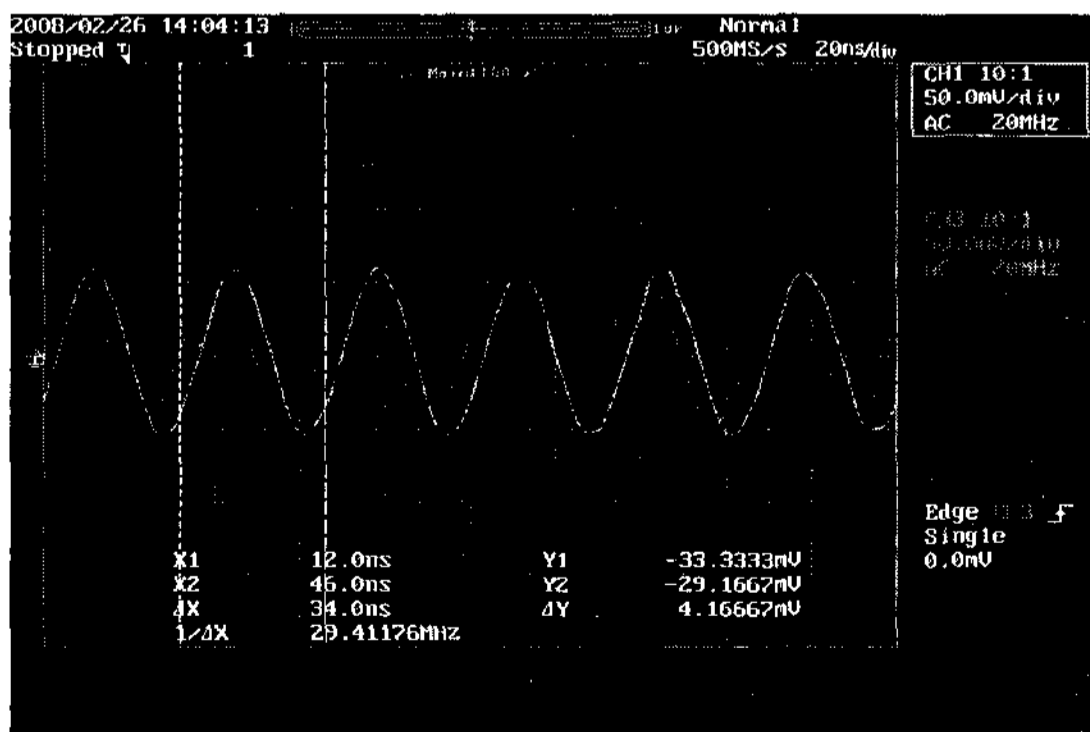


그림 10. 국부 주파수와 송신 주파수의 출력 값

Fig. 10 Output signal of local frequency and transmit frequency

그림 10를 통하여 국부 주파수와 송신 주파수의 출력을 비교한 결과 원하는 주파수 영역을 생성해 내었음을 확인할 수 있다.

##### 4.2 중간 주파수의 사인파와 비교기의 출력 파형에 대한 실험 결과

중간주파수를 3KHz로 했을 때 사인파와 비교 출력 파형을 그림 11에 나타내었다.

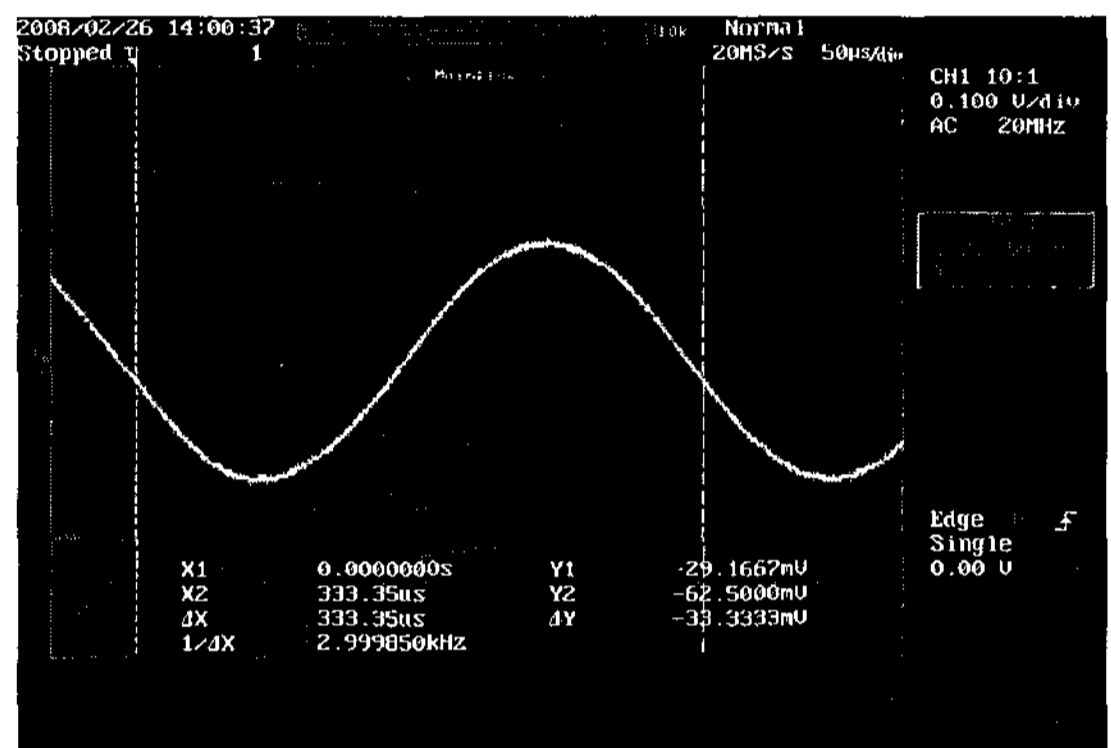


그림 11. 중간주파수의 사인파와 비교기의 출력 파형  
Fig. 11 Output signal of inter frequency and sine wave

그림 11을 통하여 중간주파수의 사인파와 비교기의 출력을 비교한 결과 정확한 출력이 나타남을 확인할 수 있다.

#### V. 결 론

본 연구에서는 주파수 발진기의 문제점인 주파수를 자유롭게 변경하지 못하고 여러 개를 사용함으로써 나타나는 동기화에 대한 어려움을 극복하는 새로운 디지털 복조 회로(DDC; Digital Demodulation Circuit) 시스템을 구현하고 이를 검증하였다. 이 새로운 디지털 복조 회로는 소수점 두 자리까지 자유롭게 주파수를 생성할 수 있으며 레이저 거리 측정기에서 사용하는 많은 소자들이 요구하는 주파수 클록을 맞추는데 사용할 수 있음을 보이고 오차 또한 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] S. Donati, *Electro-Optical Instrumentation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-hall, 2004.
- [2] M. C. Amann, T. Bosch, M. Lescure, R. Myllyla, and M. Rioux, "Laser ranging: A critical review of usual techniques for distance measurement," *Opt. Eng.*, vol. 40, no. 1. pp. 10-19, 2001.
- [3] 배영철, 김이곤, 박종배, 김천석, 조의주, 서종주, 이지모프, 구영덕, "고정밀 레이저 거리 계측기 개발에 관한 연구", *한국해양정보통신학회논문지*, 10권 12호, pp. 2296-2302, 2006.
- [4] M.J. Rudd, "A laser Doppler velocimeter employing the laser as a mixer-oscillator", *J. of Phys. E*, vol. 1, pp. 723-726, 1968.
- [5] J. W. Foreman, E. W. George and R. D. Lewis, "Measurement of localized flow velocities in gases with a laser Doppler flowmeter", *Appl. Phys. Lett.* vol. 7, pp.77-78, 1965.

저자소개

배 영 철 (Youngchul Bae)



1984년 2월 광운대학교  
전기공학과 졸업  
1986년 2월 광운대학교대학원 전기  
공학과 졸업(공학석사)  
1997년 2월 광운대학교대학원 전기공학과 졸업  
(공학박사)  
1986-1991 한국전력공사  
1991-1997 산업기술정보원 책임연구원  
1997- 2006 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수  
2006- 현재 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부  
부교수