

# 이동 통신 단말용 센서 시스템을 위한 신호 잠금 방식의 검출 회로

## Signal lock-in detection circuit for mobile device sensor systems

정인일, 손호현, 최영완\*

(In-II Jung, Hohyun Son, Young-Wan Choi\*)

**Abstract :** In this paper we propose a lock-in detection method for portable sensor systems and demonstrate with the portable detection module that has high sensitivity and robustness against the noise. The simple portable sensor module is manufactured using MCU(Micro Control Unit), OPAMP, MOSFET and a pair of infrared sensor. Manufactured sensor module is testified in the noisy environment caused by an external light and an white noise source. Without any type of band pass filters, we recover a signal of 33 mV<sub>p-p</sub> in 80 mV<sub>p-p</sub> white noise and get the DR(Dynamic Reserve) of 14 dB.

**Keywords:** lock-in method, infrared sensor, detection module, portable sensor system

### I. 서론

복지 사회를 지향하고 삶의 질 향상에 높은 관심으로 건강 및 의료 서비스에 대한 수요가 크게 증가하고 있으며, 이를 위하여 개인별 건강 상태를 파악하고 대처할 수 있는 휴대용 건강 및 질병 측정 센서 단말기가 요구된다. 휴대용 센서 단말기는 일상생활에서 용이하게 사용되어야 하므로 고감도의 검출 성능뿐만 아니라 외부 영향으로 인한 잡음 신호에 매우 견고해야 한다. 기존의 센서 신호 검출 방식은 센서에 직류 전압 혹은 직류 전류를 인가한 후 발생하는 출력 신호의 변화를 측정하였으나 그림 1에서와 같이 주파수가 낮을수록 잡음의 영향이 커지므로 이 같은 방식은 정확도가 떨어진다.<sup>[1]</sup> 또한 측정 장치 이외에 특정 주파수 성분을 이용하는 통신 장비나 전자 장치들의 영향이 존재하므로 영향을 받지 않는 주파수 대역을 선택해야한다. 신호 잠금 기법은 센서를 구동하는데 직류를 이용하지 않고 변조된 신호를 이용함으로써 그림 1과 같이 잡음의 영향이 적은 주파수를 이용할 수 있다.<sup>[2]</sup>

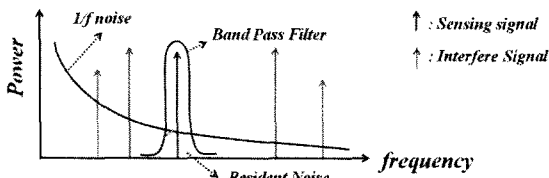


그림 1. 주파수에 따른 노이즈 분포  
Fig. 1. Noise profile on frequency domain

변조된 신호를 사용하면 대역 통과 필터(Band Pass Filter)를 이용하여 다른 주파수 영역의 잡음을 제거할 수 있다. 하지만 필터의 통과 대역 내부에 존재하는 잡음은 제거가 불가능하며 결과적으로 검출되는 값의 오차로 나타나므로 잡음의

대역폭을 최대한 줄여주어야 한다.<sup>[3]</sup> 잡음의 대역폭을 줄이려면 높은 Q(Quality Factor) 값의 필터를 사용해야 한다. 여기서 Q는 필터의 성능을 나타내는 지표로 필터를 통과하는 신호의 중심 주파수( $f_c$ )와 통과 신호가 -3 dB 감쇠되는 대역폭(Bandwidth)으로 표현되며 아래의 식1에 나타내었다.

$$Q = \frac{f_c}{\text{Bandwidth}} \quad (1)$$

하지만 일반적인 LC 필터는 필터를 구성하는 L과 C 소자들의 오차에 의하여 통과 대역의 중심 주파수가 이동하므로 신호의 손실이 발생하게 된다. 그림 2에 100의 Q 값을 갖는 필터에서 L과 C가 0.1 %의 오차를 가질 때 필터의 중심 주파수의 변화와 신호의 손실에 대한 계산을 하였다. 0.1 % 오차에 대해 중심주파수는 0.01 MHz 변하고, 이에 따른 신호의 손실은 4.251 dB이다. 일반적인 L과 C 소자의 오차는 1~10 % 이므로 L과 C를 이용하여 높은 100 이상의 Q 값을 갖는 필터를 제작하는 것이 어려움을 알 수 있다.

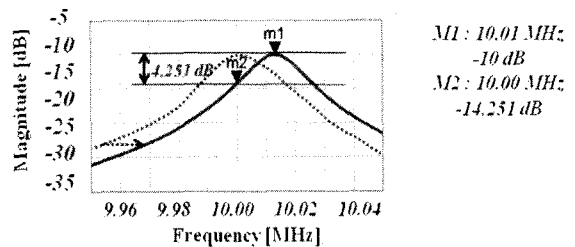


그림 2. L과 C 소자의 오차에 따른 LC 필터의 중심 주파수 이동과 신호의 손실

Fig. 2. Center frequency drift following errors of inductance and capacitance value

반면에 저역통과 필터는 필터를 구성하는 L과 C의 소자 값이 설계 값이 변동하더라도 통과 주파수가 0, 즉 직류성분만을 통과시키며 대신 통과 주파수 신호가 -3 dB 감쇠하는 차단 주파수(Cutoff frequency)가 변동한다. 따라서 저역 통과 필터를 이용하면 대역 통과 필터의 통과 대역폭을 줄이는 한계를 극복할 수 있다. 그림 3과 같이 변조신호의 중심 주파

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 7. 25, 채택확정 : 2007.7.25

정인일, 손호현, 최영완 : 중앙대학교 전자전기 공학부

(eenil@wm.cau.ac.kr, shh663@nate.com, ychoi@cau.ac.kr)

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 “첨단의료영상기술 개발 혁신 클러스터”의 지원을 받아 연구되었음.

수를 직류 성분으로 이동시키면 대역 통과 필터 대신 저역 통과 필터를 사용할 수 있다. 이와 같은 방식으로 변조신호를 이용해 센서를 구동하고, 센서의 출력 신호를 직류 성분으로 주파수 이동하여 저역통과 필터를 이용하는 방법을 신호 잠금 검출 기법(Lock-in Detection Technique)이라 한다.<sup>[4]</sup>

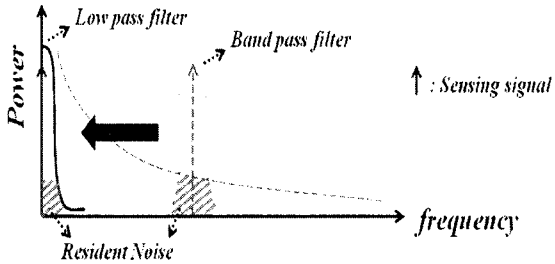


그림 3. 중심 주파수를 이동하여 저역통과 필터를 사용하는 신호 잠금 검출 기법

Fig 3. Lock-in detection method by moving the center frequency of signal

본 논문에서는 휴대용 센서 시스템에 적용 가능한 소형이면서 잡음에 강한 신호 검출 회로를 신호 잠금 기법을 이용하여 구현하였다.

## II. 신호 잠금 검출 회로 제작과 실험 결과

### 1. 제작된 신호 잠금 검출 회로

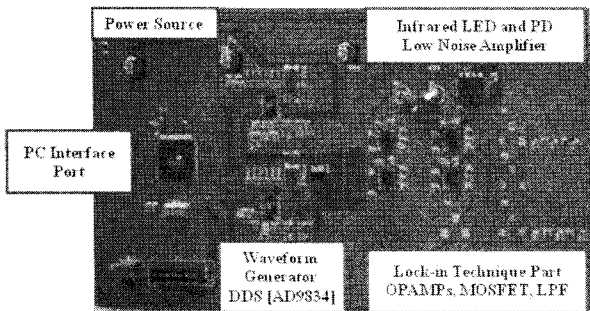


그림 4. 제작된 신호 잠금 기법의 신호 검출 회로  
Fig. 4. Implementation of a hybrid circuit using signal lock-in detection method

그림 4의 제작된 신호 검출 모듈은 센서 신호 송신회로와 신호 검출 회로로 구성된다. 센서 신호 송신회로는 디지털 신호로 주파수와 위상이 제어되는 파형 발생기와 파형 발생기를 제어할 수 있는 마이크로 컨트롤러로 적외선 LED를 변조신호로 구동한다. 신호 검출 회로는 적외선 PD에서 검출된 미세한 출력 신호를 증폭하기 위한 저잡음 증폭기와 변조된 검출 신호를 주파수 이동하여 직류 신호로 바꾸어 신호 잠금 방식을 구현하기 위한 OPAMP, MOSFET로 구성된다.

### 2. 외부 영향에 의한 잡음과 신호 잠금 기법

신호 잠금 기법의 잡음 제거 성능을 검증하기 위하여 잡음

이 많이 발생하는 센서를 선택하여 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 적외선 검출 PD는 그림 5<sup>[5]</sup>에서 보는 바와 같이 적외선 LED에서 발생하는 950 nm의 적외선뿐만 아니라 가시광선에도 영향을 받는다. 때문에 태양광, 실내등, 디스플레이 장치 등 여러 종류의 빛들이 잡음으로 작용한다. 제작된 검출 회로는 잡음 억제 성능을 평가하기 위하여 fluorescence 발광과 백색잡음을 인위적으로 발생시킨 상태에서 출력 결과를 관찰하였다.

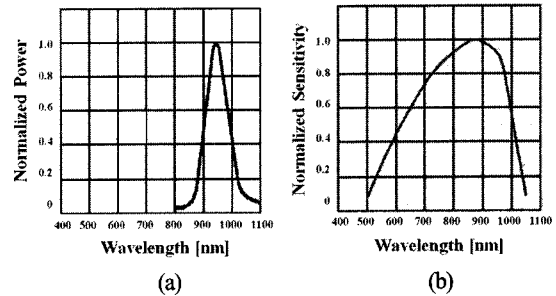


그림 5. 적외선 LED 출력 파장 범위(a)와 PD의 수신 파장 범위(b)

Fig. 5. Output wavelength range of a infrared LED (a) and input wavelength range of a PD (b)

첫째로 380 ~ 800 nm 의 파장의 빛을 발생시키는 fluorescence 발광을 이용하여 잡음을 발생시킨 후 신호 잠금 기법을 적용해 보았다. 또한 측정 결과를 비교하기 위하여 직류를 사용한 기존의 검출 방식도 실험하였다. PD는 입력되는 빛이 없을 때 +10 V의 출력을 가지며, 수신되는 빛의 세기가 강해질수록 출력 전압이 낮아진다. 직류를 이용하였을 경우 그림 6<sup>[6]</sup>에서 보는 바와 같이 fluorescence 발광을 Off 했을 경우 약 9.5 V, On 했을 경우 약 8.5 V의 신호가 검출 되었다. 0.5 V에 해당하는 신호가 적외선 LED로부터 입력되었지만 소스 이외의 빛에 의해 생성된 잡음의 영향으로 신호의 크기를 크게 뛰어넘는 1 V의 오차가 발생하였다. 이 경우 직류를 사용한 측정 방식은 사용할 수 없다.

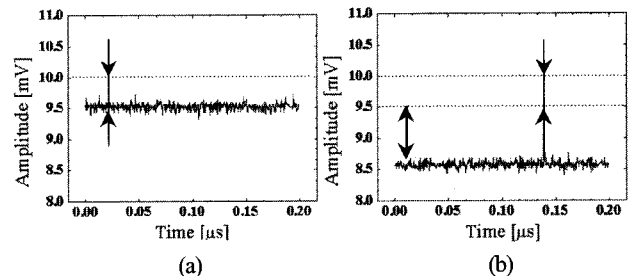


그림 6. 직류를 이용한 측정에서 fluorescence 발광 빛의 영향이 없을 때(a)와 있을 때(b) 출력 결과

Fig. 6. Results using DC light (a)without influence and (b)with by the fluorescence light

신호 잠금 기법을 사용하여 직류 측정과 동일한 거리에서 fluorescence 발광의 영향을 주었을 때 실험 결과를 그림 8에 보였다. 그림 7의 (a)와 (b)는 각각 fluorescence 발광의 영향이 있을 때와 없을 때 PD의 출력신호를 측정된 것이다. 그림 8

의 (a)에서 5.6 mV의 오프셋 전압과 10 kHz를 이용한 130 mV<sub>pp</sub> 신호가 검출되었고, 70 kHz 대역에서 fluorescence 발광의 영향으로 31.5 mV<sub>pp</sub>의 잡음 신호가 검출 되었다. 큰 잡음이 더해졌지만 그림 7의 (c)와 (d)에서 보는 바와 같이 신호 잠금 기법을 적용하면 fluorescence 발광에 의한 영향이 없을 때와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 때 잡음 측정 감도와 잡음의 비율을 나타내는 DR(Dynamic Reserve)은 -6.3 dB이고 관계식은 식 4에 나타내었다.<sup>[6]</sup>

$$DR(Dynamic Reserve) = 20 \log \frac{V_{noise}}{V_{signal}} \quad (4)$$

위와 같은 실험 결과는 신호 잠금 기법이 직류 잡음과 고주파 잡음의 영향을 효율적으로 억제할 수 있음을 나타낸다.

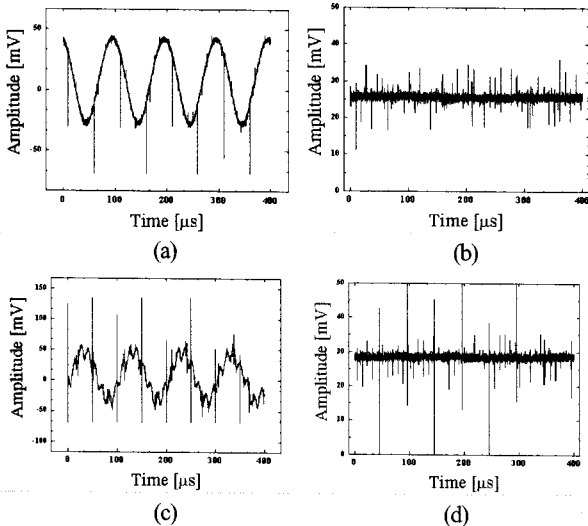
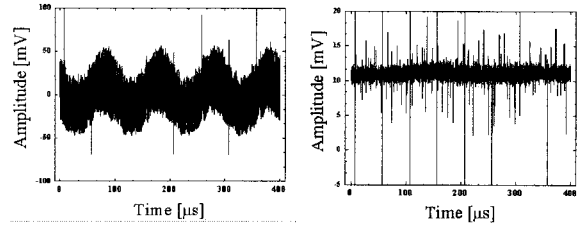
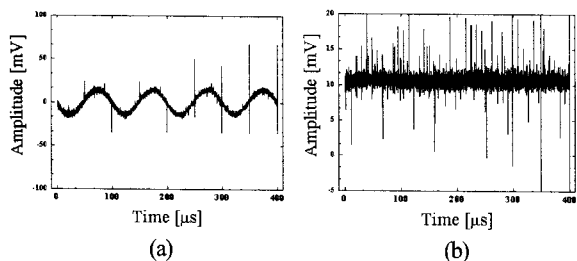


그림 7. 신호 잠금 검출 실험결과, 외부 빛의 영향이 없을 경우(a), (b)와 fluorescence 발광의 영향이 있을 때(c), (d) 여기서 (a), (c)는 PD에서의 검출 신호이고, (b), (d)는 신호 잠금 검출을 한 경우

Fig. 7. Results using lock-in detection method (a), (b) without influence and (c), (d)with by the fluorescence light (a), (c) are signals at the PD and (b), (d) are signals with lock-in detection method

두 번째로 특정 주파수 성분의 잡음이 아닌 백색잡음이 더해진 신호에 대하여 신호 잠금 기법을 적용하였고, 그 결과를 그림 8에 보였다. 그림 8의 (a)는 PD에서 검출한 33 mV<sub>p</sub> 신호이고 그림 8의 (c)는 80 mV<sub>pp</sub>의 백색잡음이 더해진 신호이다. 검출 신호의 형태를 알아볼 수 없을 정도로 잡음에 묻혀있지만 신호 잠금 기법을 그림 8의 (b)와(d)를 살펴보면 백색잡음이 없을 때와 동일함을 알 수 있다. 이때 DR은 14 dB이다.



(c) (d)  
그림 8. 신호 잠금 검출 실험결과, 백색잡음의 영향이 없을 경우 (a), (b)와 백색잡음의 영향이 있을 때 (c), (d), 여기서 (a), (c)는PD에서의 검출 신호이고, (b), (d) 는 신호 잠금 검출을 한 경우

Fig. 8. Results using lock-in detection method (a), (b) without influence and (c), (d)with by the fluorescence light (a), (c) are signals at the PD and (b), (d) are signals with lock-in detection method

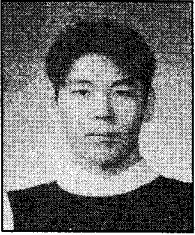
#### IV. 결론

본 논문에서는 잡음에 강한 휴대용 센서 시스템을 위하여 신호 잠금 검출 기법의 적용을 제안하였다. 신호 잠금 기법의 이론적 배경에 대하여 논의하였다. 신호 잠금 검출 기법을 적용한 휴대 가능한 크기(17cm × 23 cm)의 적외선 신호 검출 회로를 설계 및 제작하였다. 제작된 검출 시스템의 잡음 제거 성능을 검증하기 위하여 fluorescence 발광을 이용하여 인위적인 잡음을 더하였고, 이 때 직류를 이용한 검출 방식은 신호의 크기가 500 mV, 잡음의 크기가 1000 mV로 2배 크게 나타나 신호 검출이 불가능하였다. 하지만 신호 잠금 방식을 이용하면 5.6 mV의 오프셋 전압과 31.5 mV<sub>pp</sub>의 70 kHz 잡음 속에서 130 mV<sub>pp</sub> 신호를 잡음이 더해지지 않았을 때와 동일하게 검출하였다. 또한 백색 잡음 제거 성능을 알아보기 위하여 33 mV<sub>pp</sub>의 검출 신호에 80 mV<sub>pp</sub>의 백색 잡음을 발생시켰을 때에도 백색 잡음이 더해지지 않았을 때 동일한 결과를 보여 14 dB의 DR(Dynamic Reserve) 성능을 보였다.

#### 참고문헌

- [1] Bentham Instruments Ltd., "Lock-in Amplifier", <http://www.bentham.co.uk>
- [2] Adrian A. Dorrington and Rainer Künnemeyer, "A simple microcontroller based digital lock-in amplifier for the detection of low level optical signals", *Electronic Design, Test and Applications*, 2002. Proceedings. The First IEEE International Workshop on 29-31 Jan. 2002 p.486 - 488.
- [3] A. Mandelis. Signal-to-noise ratio in lock-in amplifier synchronous detection: A generalized communications system approach with applications to frequency, time, and hybrid (rate window) photothermal measurements.. *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 65, pp. 3309-3323, 1994.
- [4] Falconi, C., Martinelli, E., Di Natale, C., D' 'Amico, A., Maloberti, F., Malcovati, P., Baschiroto, A., Stornelli, V., Ferri, G., "Electronic Interfaces" ", *Sensors and Actuators B*, vol. 121, (2007), pp. 295-329.
- [5] Kodenshi Korea Corporation, ST-1KLA and EL-1KL2 datasheet, <http://www.kodenshi.co.kr>
- [6] Ferri, G, De Laurentiis, P., Di Natale, C., D' 'Amico, A., "A low voltage integrated CMOS lock in amplifier prototype for LAPS

applications" ", Sensors and Actuators, vol.92 (2001), pp. 263-272



**정 인 일**

2006년 중앙대학교 전자전기공학부  
학사

2008년 중앙대학교 전자전기공학부  
석사

2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학부  
박사과정

관심분야는 Analog CMOS circuit design.



**손 호 현**

2008년 중앙대학교 전자전기공학부  
학사

2008년~현재 중앙대학교 전자전기공학  
부 석사과정

관심분야는 Analog CMOS circuit design.



**최 영 완**

1985년 서강대학교 전자공학과 학사

1987년 버팔로 뉴욕주립대 전기 및  
컴퓨터공학과 석사

1992년 버팔로 뉴욕주립대 전기 및  
컴퓨터공학과 박사

1992~1995 한국 전자 통신 연구원  
선임연구원

1995~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수

관심분야는 Microwave-Photonics, Optical Interconnection,  
광스위칭 시스템 및 소자