

논문 2016-53-5-16

십자형 CMOS 홀 플레이트 및 오프셋, 1/f 잡음 제거 기술 기반 자기센서 신호처리시스템 설계

(A Design Of Cross-Shaped CMOS Hall Plate And Offset,
1/f Noise Cancellation Technique Based Hall Sensor
Signal Process System)

허용기*, 정원재*, 이지훈*, 남규현*, 유동균*, 윤상구*, 민창기*, 박준석*

(Yong-Ki Hur, Won-Jae Jung, Ji-Hun Lee, Kyu-Hyun Nam,
Dong-Gyun Yoo, Sang-Gu Yoon, Chang-Gi Min, and Jun-Seok Park[©])

요약

본 논문은 CMOS 자기센서(hall Sensor)의 오프셋 및 1/f 잡음 제거기술 기반 고성능 자기센서 신호처리장치를 제안한다. 제안하는 자기센서는 자계(magnetic Field)를 감지하여 자계의 변화량에 따른 홀 전압(hall Voltage)을 출력하는 홀 플레이트(hall Plate)와 홀 플레이트 출력 신호의 오프셋과 1/f 잡음 제거 및 디지털화를 위한 자기센서 신호처리시스템으로 구성된다. 자기센서 신호처리 시스템은 스피닝 전류 바이어싱(spinning current biasing)을 통해 자기신호로부터 오프셋과 1/f잡음 성분을 분리하고, 초퍼 및 증폭기를 통해 자기신호를 100 kHz 주파수 대역으로 변조한다. 60 kHz 차단주파수를 갖는 고역통과필터(highpass filter)를 사용하여 오프셋 및 1/f 잡음을 제거한 뒤 ADC(analog to digital converter)를 통해 자기신호만을 디지털 변조한다. 증폭기 및 고역통과필터 출력은 자기신호 -53.9 dBm @ 100 kHz, 잡음성분은 -101.3 dBm @ 10 kHz이다. 최종적으로 ADC를 통과한 자기센서 출력은 -5.0 dBm @ 100 kHz이고, 오프셋 및 1/f 잡음은 -55.0 dBm @ 10 kHz이다.

Abstract

This paper describes an offset and 1/f noise cancellation technique based hall sensor signal processor. The hall sensor outputs a hall voltage from the input magnetic field, which direction is orthogonal to hall plate. The two major elements to complete the hall sensor operation are: the one is a hall sensor to generate hall voltage from input magnetic field, and the other one is a hall signal process system to cancel the offset and 1/f noise of hall signal. The proposed hall sensor splits the hall signal and unwanted signals(i.e. offset and 1/f noise) using a spinning current biasing technique and chopper stabilizer. The hall signal converted to 100 kHz and unwanted signals stay around DC frequency pass through chopper stabilizer. The unwanted signals are blocked by highpass filter which, 60 kHz cut off frequency. Therefore only pure hall signal is enter the ADC(analog to digital converter) for digitalize. The hall signal and unwanted signal at the output of an amplifier and highpass filter, which increase the power level of hall signal and cancel the unwanted signals are -53.9 dBm @ 100 kHz and -101.3 dBm @ 10 kHz. The ADC output of hall sensor signal process system has -5.0 dBm hall signal at 100 kHz frequency and -55.0 dBm unwanted signals at 10 kHz frequency

Keywords : Hall Sensor, Spinning Current Biasing, Hall Signal Conditioner, Offset, 1/f noise

I. 서론

자기센서(Hall Sensor)는 자기장(Magnetic Field)를

감지하여 전압 및 전류와 같은 전기적 신호로 변환하는 소자이다. 자기센서는 비접촉 방식으로 물리적 변화량을 감지할 수 있어 자동차 전장품, 가전기기 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히, 안전하고 편리한 친환경 자동차에 대한 요구 증가로 스마트 전기자동차의 전자 부품의 집적화 및 성능 고도화를 위한 연구개발이 진행되고 있으며^[1], 이와 함께 자기센서의 선형성 향상을 위

* 정회원, 국민대학교 (Kookmin University)

[©] Corresponding Author(E-mail : jspark@kookmin.ac.kr)

Received : March 30, 2016 Revised : April 11, 2016

Accepted : May 1, 2016

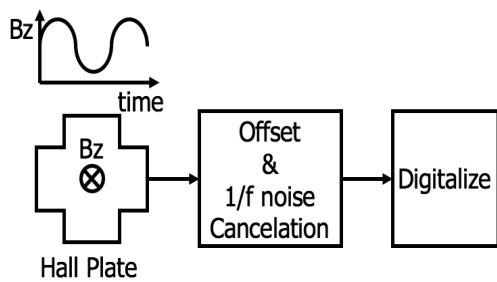


그림 1. 자기센서(hall sensor)의 구성
Fig. 1. The simplified block diagram of the hall sensor.

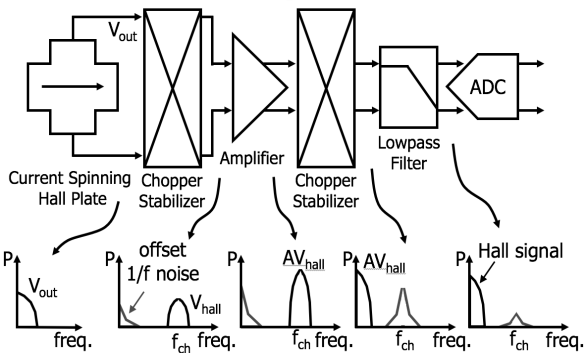


그림 2. 기존 자기센서 신호처리시스템의 오프셋 및 1/f 잡음 제거기술
Fig. 2. The offset and 1/f noise cancellation technique of the general hall sensor signal process system.

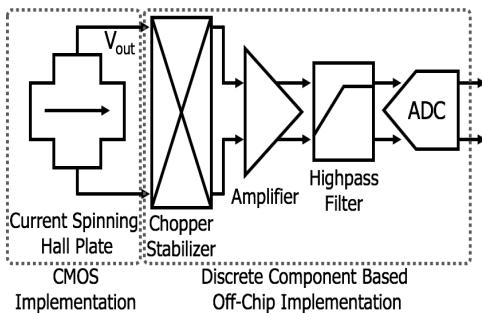


그림 3. 제안하는 자기센서 신호처리시스템
Fig. 3. The proposed hall sensor signal process system.

한 연구가 진행되고 있다^[2]. 자기센서는 자동차의 가속/감속 페달 감도 감지, 핸들 조향각 감지, 기어위치 감지, 모터 및 바퀴의 회전각 및 속도 감지 등 다양한 용도로 사용된다^[3]. 자기센서는 그림 1과 같이 자기장의 변화량을 전기적 신호로 변환하는 홀 플레이트(hall plate)와 잡음을 포함하고 있는 홀 플레이트 출력으로부터 순수한 자기신호(hall signal)를 추출하여 디지털 신호로 변조하는 자기센서 신호처리시스템으로 구성된다. CMOS 공정을 사용하여 구현한 홀 플레이트는 수십 mV의 홀 전압(hall voltage)을 출력하며, 공정 변수로 인한 비대

칭성으로 잡음성분(오프셋 및 1/f 잡음)을 동반한다^[4]. 홀 플레이트의 오프셋 및 1/f 잡음은 수십 mV로 낮은 홀 전압 출력 환경에서 센서의 정확도를 감소시키는 핵심요소이다. 이러한 오프셋 및 1/f 잡음을 감소시키기 위해 다양한 구조의 홀 플레이트 연구^[5], 두 개 이상의 홀 플레이트 어레이(orthogonal array) 기반 불균등 저항성분 제거기술^[6] 및 전류 스피닝(current spinning) 기반 잡음성분 제거기술^[7] 등 다양한 연구가 진행되었다. 하지만, 홀 플레이트 어레이 기반 불균등 저항성분 제거 기술은 예측 불가능한 불균등 저항성분의 크기 및 홀 플레이트의 비대칭성으로 잡음성분의 제거에 한계가 있다. 그림 2는 일반적인 전류 스피닝 기반 오프셋 및 1/f 잡음 제거기술을 설명한다. 전류 스피닝을 통해 홀 플레이트 출력신호로부터 자기신호를 DC 주파수 대역, 잡음성분을 높은 주파수 대역으로 분리한다. 그 후, f_{ch} 의 초평 주파수를 갖는 초퍼 및 증폭기를 통과하며 자기신호를 f_{ch} 주파수로 이동시키고, 잡음성분은 DC 주파수대역으로 이동시키며, 낮은 자기신호를 증폭한다. 그 후 다시 초퍼를 통해 자기신호를 DC 주파수 대역으로 이동시키며, f_{ch} 주파수를 갖는 잡음성분은 저역통과필터(lowpass filter)를 사용하여 제거한다. 이 방법은 최소 5개 이상의 시스템 블록이 필요하며 높은 차수의 저역통과필터를 요구하여 시스템의 크기 및 복잡도를 향상시킨다. 또한, 자기센서신호를 DC 주파수 대역으로 이동시키는 과정에서 잔여 잡음성분이 남아 있을 수 있어 효과적이지 못하다.

본 논문은 기존의 전류 스피닝 기반 오프셋 및 1/f 잡음 제거 기술을 사용하여 간단한 구조를 갖으며 잡음성분 제거 능력이 우수한 새로운 자기센서 신호처리시스템 구조를 제안한다(그림 3). 홀 플레이트 출력의 자기신호를 100 kHz의 초평 주파수(f_{ch}) 대역으로 이동시키고, DC 주파수 대역의 잡음성분을 고역통과필터(highpass Filter)로 제거한다. 최대 4개의 시스템 블록만으로 쉽게 구현이 가능하며, 효과적으로 잡음성분을 제거할 수 있다. 본 논문의 2장에서 오프셋을 최소화할 수 있는 CMOS 홀 플레이트 설계 기법과 자기센서 신호처리시스템의 설계 및 시뮬레이션결과를 설명한다. 3장에서는 측정환경 구축 및 제안하는 자기센서 신호처리시스템의 성능 실험 결과를 통해 검증한다.

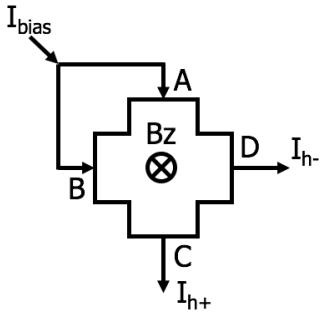


그림 4. 홀 효과 기반의 자기센서 동작
Fig. 4. The operation of the hall effect based hall sensor.

$$I_{h\pm} = \frac{I_{bias}}{2} \pm \frac{I_{hall}}{2} \tag{1}$$

$$I_{hall} = \frac{\beta B_z I_{bias}}{1 - (\beta B_z)^2} \tag{2}$$

$$\beta = \frac{R_{(B_z)} - R_{(B_z=0)}}{R_{(B_z=0)} B_z} \tag{3}$$

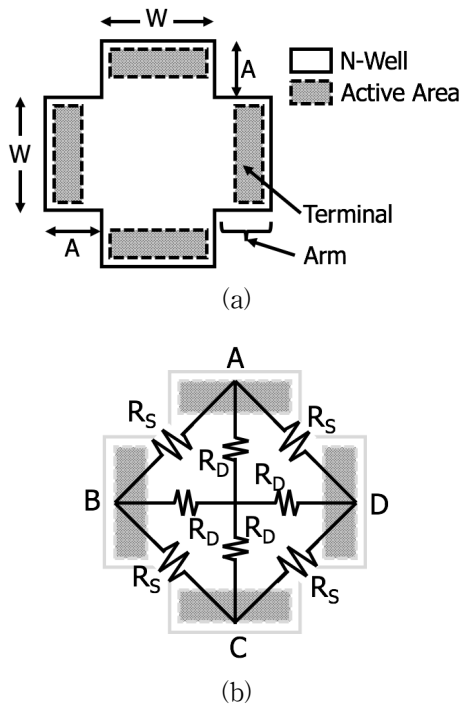


그림 5. 제안하는 십자형(cross shaped) 홀 플레이트 (a) 구조 및 (b) 간략화 모델링
Fig. 5. The proposed cross shaped hall plate (a) structure, and (b) simplified model.

제안하는 홀 플레이트는 십자형(cross shaped)으로 그림 5 (a)와 같이 N-Well과 4개의 터미널로 구현된다. 또한, 십자형 홀 플레이트는 그림 5 (b)와 같이 모델링할 수 있다^[9]. 홀 플레이트 모델의 R_D 는 돌출부분(arm)을 제외한 정사각형 N-Well의 저항성분이며, R_S 는 돌출부분의 저항성분이다. 본 논문에서 사용한 0.18 μm BCDMOS N-Well의 단위면적당 저항은 450 Ω/sq 이다 ($\text{sq}=1 \mu\text{m}^2$). 또한, 터미널의 단위면적당 저항은 1 k Ω/sq 이다. 십자형 홀 플레이트의 홀 전류는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다(V_{OS} 는 오프셋 전압).

$$I_{hall} = V_{OS} \frac{R_S + 3R_D}{R_S R_D} \tag{4}$$

본 논문은 전류 바이어싱을 위한 LM433을 사용하였으며, 전류잡음(current noise)은 10 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ 이다. 또한, 전류 스피닝 바이어싱의 전류 회전 주파수는 100 kHz로 홀 전류는 최소 6.3 nA가 되어야 한다. 본 논문은 홀 플레이트의 오프셋 최소화를 위해 $W/A=100/10$ 의 비율로 십자형 홀 플레이트를 구현하였으며, 이때 발생하는 오프셋은 약 3.89 μV 이다.

2. 전류 스피닝 기반 오프셋 및 1/f 잡음 제거

가. 전류 스피닝 회로 설계

그림 6은 8개의 MOSFET의 조합으로 구성된 전류 스피닝회로이다. 스위칭 신호(CLK_{sp})에 따라 MOSFET이 On 또는 Off 된다. CLK_{sp} 가 High일 때, M1, M4가 On 되어 홀 플레이트의 A, B 터미널에 전류가 흐르게 되며, M5 및 M7이 Turn On되어 B, D 터미널을 통해 홀 플레이트 신호가 출력된다. 반대의 경우, M2, M3가 Turn On되어 홀플레이트에 전류를 바이어싱 하고, M6, M8이 Turn On되어 출력을 발생시킨다. 전류 스위칭 주파수(f_{sp})에 따라 그림 7과 같이 자기신호와 잡음성분이 분리된다. 일반적인 f_{sp} 는 100~1000 kHz이다.

II. 본 론

1. CMOS 홀 플레이트(hall plate) 설계

자기센서는 홀 플레이트의 홀 효과(hall effect)^[8]를 사용하여 바이어스 전류 및 입력 자기장에 수직인 전압을 발생하는 자기장 센싱 소자이다. 그림 4와 같이 A, B 터미널에 전류를 인가하면 D, C터미널로 $I_{h\pm}$ 의 전류가 발생한다(식 1). I_{bias} 는 바이어스 전류, I_{hall} 은 홀 플레이트 출력전류(홀 전류, hall current)로 식 2와 같이 표현된다. 식 2의 B_z 는홀 플레이트에 수직으로 인가되는 자속밀도, β 는 자기장에 의한 저항지수이다(식 3).

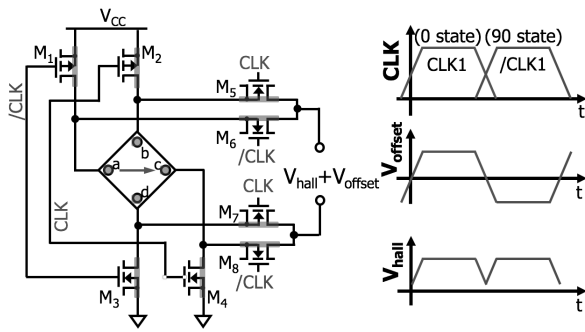


그림 6. 전류 스피닝회로
Fig. 6. Schematic of the current spinning circuit.

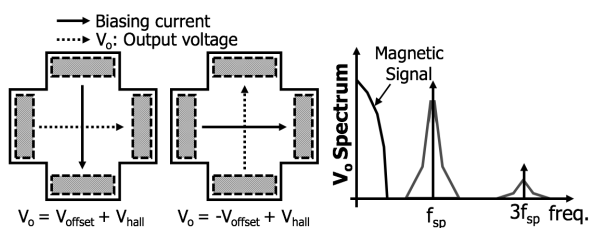


그림 7. 전류 스피닝에 따른 자기신호 및 잡음성분의 주파수 이동
Fig. 7. The hall signal, offset and 1/f noised frequency shift due to current spinning.

나. 초퍼(chopper) 안정화 증폭기 설계

그림 8 (a)는 4개의 MOSFET 스위치 및 커패시터로 구성된 초퍼(chopper) 회로이다. 초퍼는 샘플 앤 홀드 (sample and hold) 역할을 수행하며, 그림 8 (b)와 같이 자기신호를 초핑 주파수(f_{ch}) 대역으로 이동시키며, 잡음 성분을 DC 주파수 대역으로 이동시킨다.

다. 기존의 오프셋 및 1/f 잡음 제거 기술

자기센서의 오프셋 및 1/f 잡음을 제거하기 위한 전류 스피닝 기반 자기센서 신호처리시스템의 구성은 그림 2에서 설명하였다. 홀 플레이트 출력신호의 오프셋 및 1/f 잡음을 전류 스피닝을 통해 전류 스위칭 주파수 대역(f_{sp})으로 이동하고 DC 주파수 대역에 물리량 변화 정보를 담고있는 자기센서 신호를 이동시킨다. 초퍼와 증폭기를 통과하며 초핑 주파수(f_{ch})대역으로 자기신호가 이동한다(잡음성분은 DC 주파수 대역으로 이동). 그 후 출력단의 2번째 초퍼를 통해 DC 주파수 대역으로 자기신호를 이동시키며, 초핑 주파수(f_{ch}) 대역의 잡음성분은 저역통과필터를 통해 제거된다. 이때, DC 주파수 대역의 잔여 오프셋 및 1/f 잡음이 전체 자기센서 시스템에 영향을 미칠 수 있다. 또한 4차 이상의 저역통과 필터가 요구되어 시스템 크기가 증가하는 단점이 있다.

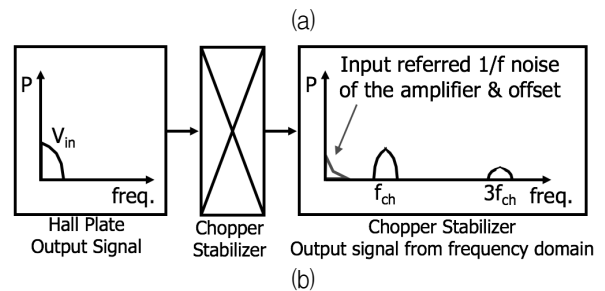
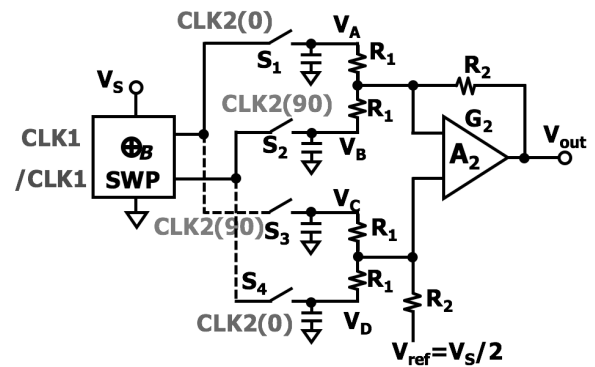


그림 8. 초퍼(chopper) (a) 회로도 (b) 주파수 성분
Fig. 8. The chopper (a) circuit, and (b) frequency elements.

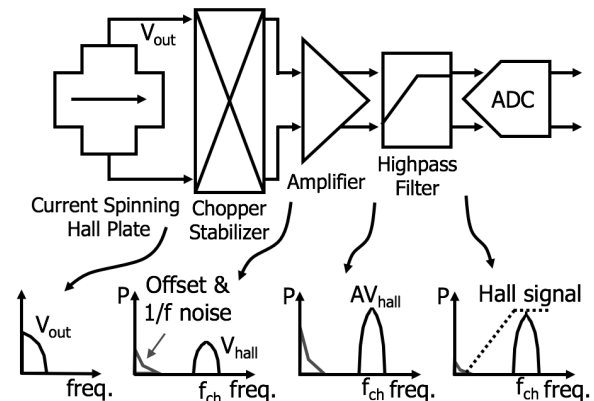


그림 9. 제안하는 자기센서 신호처리시스템의 블록별 출력의 주파수 성분
Fig. 9. The frequency elements of the each stage output of the proposed hall sensor signal process system.

라. 새로운 오프셋 및 1/f 잡음 제거 기술

기존의 잡음성분 제거 기술의 한계를 극복하기 위해 그림 9와 같은 간단한 구조의 오프셋 및 1/f 잡음 제거 기술을 제안한다. 제안하는 새로운 구조의 자기센서 신호처리시스템은 십자형 홀플레이트, 전류 스위칭 시스템, 초퍼, 증폭기 및 고역통과필터와 ADC(Analog to Digital Converter)로 구성된다. 홀 플레이트 출력신호는 전류 스위칭 시스템을 통해 자기신호와 잡음성분으로 분리되며 초퍼와 증폭기를 통과한다. 전류 스위칭 주파수(f_{sh})와 초핑 주파수(f_{ch})는 100 kHz이며, 증폭기

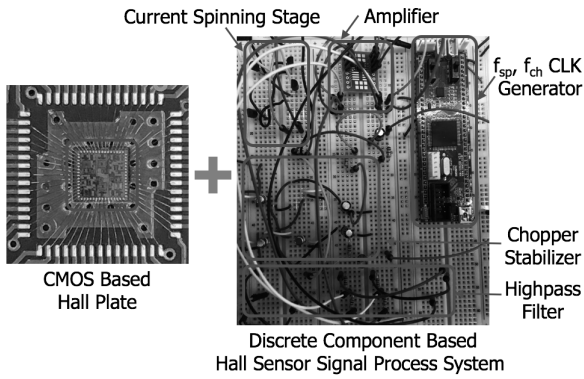
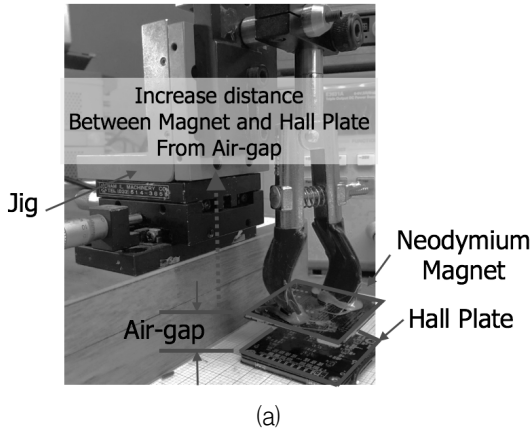


그림 10. 제안하는 자기센서 신호처리시스템의 구현
 Fig. 10. Prototype of the proposed hall sensor signal process system.

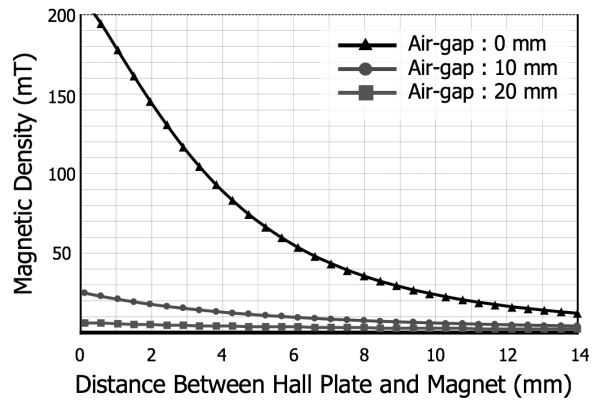


(a)

를 통과한 자기신호는 100 kHz 대역에 위치한다. 60 kHz 차단주파수를 갖는 고역통과필터를 사용하여 DC 주파수 근처의 오프셋 및 1/f 잡음을 제거한다. 순수한 자기신호는 ADC를 통과하여 디지털화 된다(그림 9).

3. 자기센서 신호처리시스템 프로토타입 구현

그림 10은 제안하는 잡음성분 제거기술이 적용된 자기센서 신호처리시스템 프로토타입이다. 홀 플레이트는 0.18 μm BCDMOS 공정을 사용하여 구현하였으며, 홀 플레이트 칩의 크기는 500 μm²이다. 전류 바이어싱을 위해 LM433을 사용하였으며, 전류 스위칭 및 초퍼의 MOSFET은 F0215A를 사용하였다. 또한, 제안하는 시스템의 잡음성분 감쇄능력 확인을 위해 증폭기는 2.5 μV의 초저 오프셋을 갖는 Av=100인 ADA4528을 사용하였다. 고역통과필터는 60 kHz의 차단 주파수를 갖으며, 통과대역의 삽입손실은 -5.0 dB이다. 자기신호의 디지털화를 위한 ADC는 9bit 해상도와 10MPSPS 이상의 고속 ADS58B19모델을 사용하였다.



(b)

그림 11. 자기센서 신호처리시스템 (a) 실험환경, (b) 자석과 홀 플레이트 거리에 따른 자속밀도
 Fig. 11. Evaluation (a) environment and conditions, and (b) magnetic density variation versus distance between magnet and hall plate.

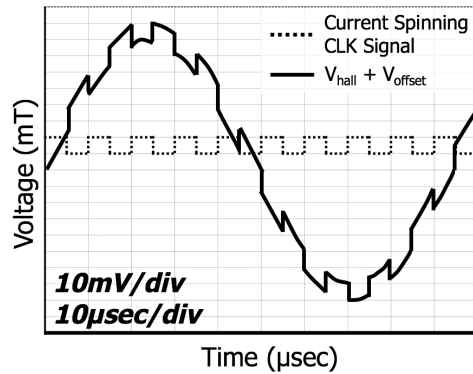


그림 12. 전류 스피닝 회로의 출력신호
 Fig. 12. Output signal of the current spinning circuit.

III. 실험

1. 자기센서 신호처리시스템 실험환경 구축

그림 11 (a)는 자기장을 생성하는 최대 220 mT 자속 밀도를 갖는 네오디움 자석(Neodymium Magnet)과 홀 플레이트 사이의 거리를 제어할 수 있는 지그를 사용한 실험 환경이다. 고정된 홀 플레이트로부터 네오디움 자석이 움직이는 시작점의 거리를 에어갭(Air-gap)이라고 한다. 그림 11 (b)는 0, 10, 20 mm의 에어갭을 기준으로 0.5 mm 간격으로 자석을 상향조정 했을 때, 자석의 이동거리에 따른 자속밀도의 변화량을 나타낸다. 에어갭이 0 mm인 경우, 자석과 홀 플레이트 거리변화에 따른 자속밀도 변화량이 크기 때문에 오프셋의 감쇄효과를 측정하기 어렵다. 따라서, 본 논문은 자속밀도 변화량이 작은 10 mm 에어갭을 기준으로 실험을 진행하였다.

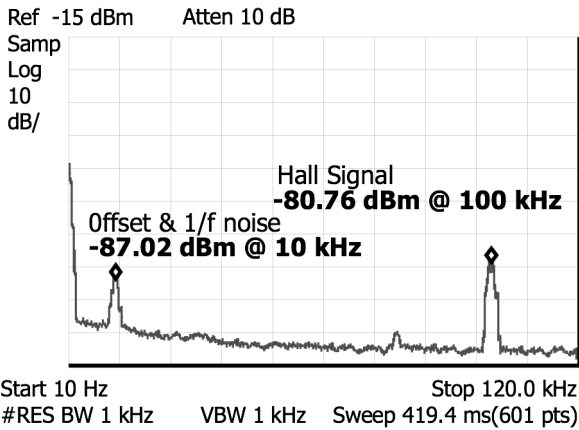


그림 13. 주파수 도메인에서의 초퍼 출력
Fig. 13. Chopper output from frequency domain.

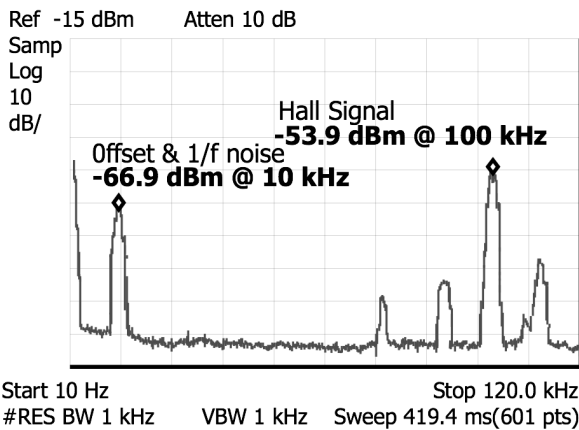


그림 14. 주파수 도메인에서의 증폭기 출력신호
Fig. 14. Amplifier output from frequency domain.

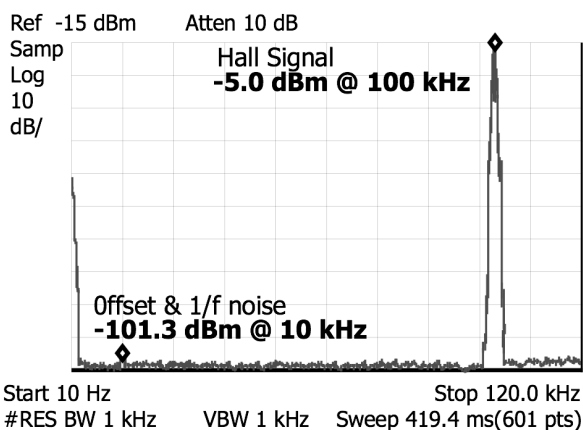


그림 15. ADC출력
Fig. 15. Output of the ADC.

2. 자기센서 신호처리시스템 동작 검증

그림 12는 구현한 십자형 홀 플레이트의 출력신호로부터 전류 스위칭을 통해 자기신호와 잡음신호를 분리한 파형이다. 오프셋 및 1/f 잡음은 전류 스위칭 주파수

표 1. 자기센서 신호처리시스템 측정결과 요약

Table 1. Summary of the proposed hall sensor signal process system.

Parameter		특성	단위
홀 플레이트	공정	0.18 μm BCDMOS	-
	DIE 크기	500 × 500	μm^2
	입력전압	6	V
	바이어스 전류	8	mA
	전류 스피닝 주파수	100	kHz
	오프셋	20 @ 10 kHz	mV
	실험 시, 자속밀도	16.89 @ 10 mm Airgap	mT
자기센서 신호처리 시스템	초핑 주파수	100	kHz
	증폭기 이득	최대 40	dB
	고역통과필터 차단주파수	60	kHz
	고역통과필터 삽입손실	최대 5	dB
최종 출력단 특성	ADC	9	bit
	자기신호 전력	-5	dBm
	잡음성분 전력	-101.3	dBm
	잡음성분 제거	34.4 (증폭기 출력단 잡음성분 - 최종 잡음성분)	dB

100 kHz를 갖으며, 자기신호는 10 kHz를 갖는다. 분리된 자기신호와 잡음신호를 초퍼에 입력하면, 그림 13과 같이 자기신호는 초핑 주파수 100 kHz로 이동하며, 나머지 잡음성분은 10 kHz대역에서 나타난다. 자기신호의 크기는 -80.8 dBm @ 100 kHz이고, 잡음성분의 크기는 -87.0 dBm @ 10 kHz이다. 작은 레벨의 자기신호 증폭을 위해 20 dB 이득의 증폭기를 사용하였으며, 그 출력은 그림 14와 같다(자기신호 -53.9 dBm @ 100 kHz, 잡음성분 -66.9 dBm @ 10 kHz). 고역통과회로를 통과한 잡음성분은 -101.3 dBm @ 10 kHz으로 감쇄하고 통과대역의 자기신호는 필터의 삽입손실만큼(-5.0 dB) 감쇄하여 -58.9 dBm @ 100 kHz 이다. 자기신호와 잡음성분의 크기 차이는 42.4 dB이며, 고역통과 회로의 Q 값이 높을수록 향상된다. 하지만, 본 논문에서는 시스템의 간소화를 위해 3차 필터로 구성하였다. 자기신호의 디지털화를위한 ADC를 통과한 결과는 그림 15에 나타났다. 자기신호는 100 kHz 대역에서 -5.0 dBm의 크기로 측정되고, 오프셋은 10 kHz대역에서 -55.0 dBm의

크기로 측정된다(자기신호와 잡음성분의 차이 50 dB). 표 1은 제안하는 자기센서 신호처리시스템의 측정결과를 정리한 요약표이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 CMOS기반 자기센서 홀 플레이트의 비대칭으로 필연적으로 발생하는 오프셋 및 1/f 잡음을 제거할 수 있는 기술과 그를 활용한 자기센서 신호처리시스템을 제안하고 검증하였다.

앞에서 설명한 바와 같이, 기존의 자기센서 신호처리시스템은 2개 이상의 초퍼 블록의 사용으로 크기가 커지며, 다시 자기신호를 DC 주파수로 내리는 과정에서 잡음성분이 더해질 수 있는 한계가 있다. 반면, 제안하는 새로운 구조의 자기센서 신호처리시스템은 홀 플레이트, 전류 스피닝회로, 초퍼, 증폭기 및 고역통과필터로 구성이 간략하고 구현이 용이하다. 또한, 높은 주파수의 자기신호를 다시 DC 주파수로 내리지 않고 잡음성분을 제거하며, 이를 ADC로 디지털화 하기 때문에, 오프셋 및 1/f 잡음의 감소에 효과적이다. 측정결과 입력자계의 세기가 16.89 mT일 때, 전류 스피닝 및 초퍼를 통해 분리된 자기신호 크기는 -80.8 dBm이고, 오프셋 및 1/f 잡음의 크기는 -87.0 dBm이다. 증폭기 및 고역통과필터를 통과한 자기센서 출력은 -53.9 dBm이고, 오프셋 및 1/f 잡음은 -101.3 dBm이다. 자기센서 신호처리시스템의 최종 출력단의 자기센서 신호는 -5.0 dBm @ 100 kHz, 오프셋 및 1/f 잡음은 -55.0 dBm @ 10 kHz이다. 자기센서 신호 대비 잡음성분의 전력 차이는 -50.0 dB이다.

본 논문은 제안하는 시스템의 선 검증을 위해 홀 플레이트만을 CMOS 공정을 통해 구현하였다. 향후 전류 스피닝 회로부터 ADC까지 전체를 One-chip으로 구현한 프로토타입의 개발이 필요하다. 또한, 전기 자동차와 같은 고전압을 사용하는 전장품의 적용을 위한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 예측된다.

ACKNOWLEDGEMENT

“본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT융합고급인력과정지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2015-H8601-15-1010)

“본 연구는 한국연구재단의 신진연구지원사업의 연구결과로 수행되었음” (2015R1C1A101054385)

REFERENCES

- [1] Namkyu Cho, “Electronic Trends Required & Sensors Prospect of Automotive System,” journal of KSAE, vol. 30, no. 3, pp. 36-41, June 2008.
- [2] Manyala, J.O., Fritz, T., Atashbar, M.Z., “Integration of Triaxial Hall-Effect Sensor Technology for Gear Position Sensing in Commercial Vehicle Transmissions,” IEEE Tran. on Instrumentation and Measurement, vol. 61, no. 3, pp. 664-672, March 2012.
- [3] Si-Dong Kim, Byung-Woo Kim, “Trend of Environmental Sensor Technologies for Automobile,” journal of KSAE, vol. 30, no. 3, pp. 22-28, June 2008.
- [4] Yue Xu, Hong-Bin Pan, Shu-Zhuan He, Li Li, “A Highly Sensitivity CMOS Digital Hall Sensor for Low Magnetic Field Applications,” Journal of Sensors, vol. 12, no. 2, pp. 2162-2174, Feb. 2012.
- [5] M. Cornils, M. Doelle, O. Paul, “Sheet Resistance Determination Using Symmetric Structure With Contacts of Finite Size,” Tran. on Electronic Devices, vol. 54, no. 10, pp. 2756-2761, Oct. 2007.
- [6] H. Heidari, E. Bonizzoni, U. Gatti, F. Maloberti, “A CMOS Current-Mode Magnetic Hall Sensor With Integrated Front-End,” Tran. on Circuits and System, vol. 62, no. 5, pp. 1270-1278, May 2015.
- [7] A. Bilotti, G. Monreal, “Monolithic Magnetic Hall Sensor Using Dynamic Quadrature Offset Cancellation,” J. of Solid-State, vol. 32, no. 6, pp. 829-836, June 1997.
- [8] J. O. Manyala, T. Fritz, M. Z. Atashbar, “Integration of Triaxial Hall-Effect Sensor Technology for Gear Position Sensing in Commercial Vehicle Transmissions,” Tran. on Instrumentation and Measurement, vol. 61, no. 3, pp. 664-672, Mar. 2012.
- [9] M. A. Paun, J. M. Sallese, M. Kayal, “Comparative Study on the Performance of Five Different Hall Effect Devices,” Journal of Sensors, Vvol. 13, no. 12, pp. 2093-2112, Feb. 2013.

저 자 소 개



허 용 기(정회원)
2014년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2016년 국민대학교 보안 스마트 전기자동차학과 석사 졸업.
<주관심분야: Analog IC 설계, IT 융합, RF공학>



정 원 재(정회원)
2010년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2012년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업.

2012년~현재 국민대학교 보안 스마트 전기자동차 학과 박사과정.
<주관심분야: 무선전력전송 시스템, RFIC>



이 지 훈(정회원)
2012년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2014년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업.

2014년~현재 국민대학교 보안 스마트 전기자동차학과 박사과정.
<주관심분야: IT융합, RF공학, 무선전력전송>

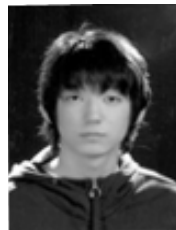


남 규 현(정회원)
2012년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2014년 국민대학교 보안-스마트 전기자동차학과 석사 졸업.

2014년~현재 국민대학교 보안 스마트 전기자동차학과 박사과정.
<주관심분야: Analog IC 설계, RFIC>



유 동 균(정회원)
2014년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2016년 국민대학교 보안-스마트 전기자동차학과 석사 졸업.
<주관심분야: RF공학, RFIC>



윤 상 구(정회원)
2014년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2016년 국민대학교 보안-스마트전기자동차학과 석사 졸업.
<주관심분야: RF공학, RFIC>



민 창 기(정회원)
2016년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업.
2016년~현재 국민대학교 보안 스마트 전기자동차학과 석사과정
<주관심분야: Analog IC 설계, RFIC>



박 준 석(정회원)
1991년 국민대학교 전자공학과 학사 졸업
1993년 국민대학교 전자공학과 석사 졸업
1996년 국민대학교 전자공학과 박사 졸업

1998년~2003년 순천향대학교 정보기술공학부 조교수
2003년~현재 국민대학교 교수
<주관심분야: IT 융합기술, RFIC, 무선전력전송>