

비접촉식 자동차 전장용 자기신호 측정 장치

梁熒烈[†], 梁承學

Development of a Non-contact Type Magnetic Signal Monitoring Equipment for Automotive Electric Devices

Hyong-Yeol Yang, and Seung-Hak Yang

요 약

본 논문에서는 자동차의 전장용 자기신호를 측정할 수 있는 비접촉식 측정장치를 개발하였다. 자동차에는 솔레노이드, 릴레이, 모터, 인젝터 등 많은 자기적 에너지로 동작하는 액츄에이터들이 장착되어있다. 그러나 이 장치들은 커넥터로 모두 연결되어 있으므로 전선의 피복을 벗기지 않고는 동작여부를 확인하기가 매우 어렵다. 따라서 본 논문에서는 홀효과를 이용한 센서를 사용하여 비접촉으로 액츄에이터의 작동 여부를 판단할 수 있는 장치를 개발하였다. 개발된 장치는 비접촉식이므로 액츄에이터들이 동작상태에 있을 때 전선의 피복을 벗기지 않고도 작동 여부 판단을 쉽게 할 수 있는 장점을 가진다. 시뮬레이션과 실험을 통하여 개발된 장치의 성능과 유용성을 보여주었다.

ABSTRACT

A non-contact type magnetic signal monitoring equipment for automotive electric devices is proposed in this paper. There are many kinds of actuators in the car like solenoid, relay, motor, injector, etc which are operated by magnetic energy. It is difficult to find out whether the actuators operate well or not because the terminals of the actuators are combined to the connectors. In this paper a non-contact type magnetic signal monitoring equipment using Hall effect sensor is proposed to measure the magnetic signal of the actuators very easily to find out the actuators' operating status. The simulation and experimental results show that the developed equipment is very useful and has good performance.

Key Words : Magnetic signal monitoring, Hall effect sensor, Non-contact type, Magnetic actuators, Monitoring equipment

1. 서 론

자동차는 많은 전기장치를 포함하고 있으며 점차로 전기장치의 비율이 증가되고 있는 추세이다. 그러나 현재 전기장치의 고장으로 인한 자동차의 오동작으로

인해 사고의 위험을 많이 내포하고 있을 뿐만 아니라 각종 전기신호로 동작하는 기계부품의 고장을 유발하고 있다. 그러므로 정확하게 자동차의 전기신호를 측정하는 장비를 사용하여 고장을 정확하게 진단하여 수리함으로써 고장의 확대를 방지할 필요가 있다.

현재는 전자기적으로 동작하는 액츄에이터가 광범위하게 적용되고 있다. 이것은 회전형, 직선형, 연속동작형, 제한된 동작형 등이 있고, 코일 동작형, 자성체 동작형, 자석 동작형 등 다양하게 적용되고 있으며^[1], 전자기적인 액츄에이터의 디자인 기법도 연구되고 있다^[2].

[†]교신저자 : 정희원, 호남대 전기공학과 전임강사

E-mail : sfish2000@gmail.com

접수일자 : 2010. 7. 14

1차 심사 : 2010. 7. 20

2차 심사 : 2010. 8. 9

심사완료 : 2010. 8. 30

이와 같이 전자기적으로 동작하는 액츄에이터들의 역할이 매우 중요해지고 있으며^[3], 자동차에는 모터, 솔레노이드, 릴레이 등 이러한 전자기식 액츄에이터의 사용이 계속 점점 증가하고 있다. 그러나 현재 이들의 진단을 위해서 테스트기나 전압 측정장치 등을 사용하고 있기 때문에 측정을 위해서는 부품을 분해하여 테스트하거나 전선을 벗기고 측정해야 하는 불편함이 있다. 그러므로 사용자의 편의와 신속한 고장진단을 위하여 부품이나 전선을 분해하지 않고도 부품의 정상 동작 여부를 판단할 수 있도록 비접촉식으로 측정할 수 있는 기술 개발이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 홀센서를 이용한 비접촉식 자동차 전장용 신호 모니터링 장치를 개발하였다. 이는 시뮬레이션 과정을 통하여 회로가 설계되었으며 실험을 통하여 그 성능이 입증되었다.

2. 홀센서 및 프로브

홀센서를 이용한 IC는 Unipolar/Bipolar Hall Effect Switch IC, Linear Hall Effect IC, Two-phase Half wave Hall Effect IC, One-Phase Full Wave Hall Effect IC 등 여러 가지 종류가 있다. 하지만 홀센서의 동작 원리는 모두 동일하며 홀센서의 신호를 출력하는 방법에만 차이가 있을 뿐이다.

Switch IC는 신호가 구형파로 출력되어 영구자석형 동기전동기나 BLDC모터에 주로 사용된다^[4-6]. 그러나 본 논문에서는 신호의 강약을 측정해야 하므로 Linear Hall Effect IC를 사용하였다.

홀효과는 1879년 E.H. Hall에 의해서 Au를 이용하여 발견된 현상이다. 이 현상은 화합물 반도체가 실용화된 이전부터 응용되었다.

도전율 σ 인 물질을 자속밀도 \vec{B} 의 자장 내에 넣어 물질에 \vec{B} 와 수직으로 전류밀도 \vec{J} 를 흘리면 \vec{J} 및 \vec{B} 의 수직방향으로 전계 $\vec{\epsilon}$ 이 발생한다.

여기에서 도체에 전계를 가했을 때에 흐르는 전류밀도를 \vec{J} 라 하면

$$\vec{J} = \sigma \vec{\epsilon} \tag{1}$$

이 된다.

이 도체에 \vec{B} 를 가하면 도체 중의 하전체에 작용하는 힘 \vec{F} 는

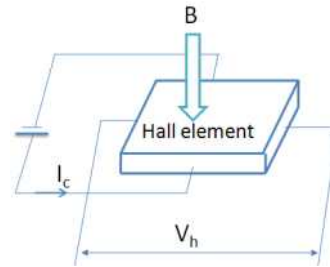


그림 1 홀센서
Fig. 1 Hall effect sensor

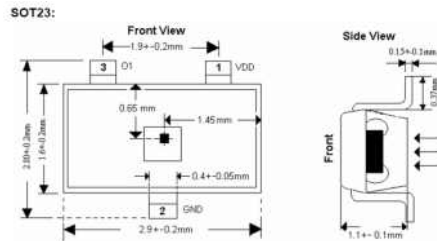


그림 2 홀센서 IC
Fig. 2 Hall effect sensor IC

$$\vec{F} = e \vec{v} \times \vec{B} \tag{2}$$

로 된다.

여기에서 e 는 하전체의 전하, \vec{v} 는 도체 중에 작용하는 하전체의 속도(m/s), \vec{B} 는 인가자속밀도(Weber/m²)이다^[7].

홀센서의 기본구조는 그림 1에서 보여주는 바와 같다.

그림 1과 같은 구조의 시편에 전류가 흐를 때 전자나 양공(hole)이 외부자기장에 의하여 로렌츠의 힘을 받게 되어 시편 양단에 전압(홀전압)이 발생하며, 홀전압 V_h 와 자기장 B 와의 관계는 다음과 같다.

$$V_h = K I_c B \tag{3}$$

여기서 K 는 적감도정수[mV/mA/KG], I_c 는 제어전류[A], B 는 자속밀도[G]를 나타낸다.

본 논문에서는 이러한 특징을 갖는 홀 소자를 이용한 프로브를 제작하여 모니터링장치를 구현하였다. 센서 IC는 그림 2와 같은 형태이며 그림 3과 같이 PCB에 장착하였다. 그리고 이것은 그림 4와 같이 몰딩작업을 통하여 제작되었다.

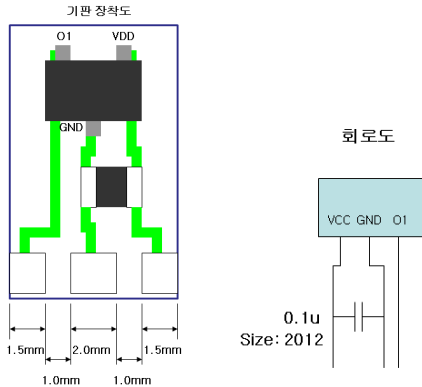


그림 3 홀센서 PCB 및 회로도
Fig. 3 Hall effect sensor PCB



그림 4 제작된 Hall 센서 프로브
Fig. 4 Hall sensor probe

3. 신호 모니터링 장치의 구조

자동차에는 모터, 인젝터, 릴레이, 솔레노이드 등 여러 종류의 자기적인 힘에 의해 동작하는 액츄에이터들 존재한다. 이들은 자동차에 접속된 상태에서 그 동작 여부를 확인해야 하므로 접촉식으로 측정하기에는 많은 불편함을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 홀효과 센서를 이용하여 비접촉식으로 그러한 액츄에이터들의 정상동작 여부를 모니터링 할 수 있도록 한다.

개발된 비접촉식 모니터링 장치는 홀센서와 간단한 회로로 구성되어있으므로 저가로 구현할 수 있다. 제작된 홀센서 프로브의 출력은 상시 2.55V를 유지하게 된다. 그리고 자계가 센서에 입력되면 그 자계의 세기와 방향에 따라서 2.55V 이상 또는 이하로 값이 변동하게 된다. 그리하여 자계의 입력 여부를 검출할 수 있도록 되어있다.

그러나 홀센서의 프로브 주위 온도에 따라서 그 값

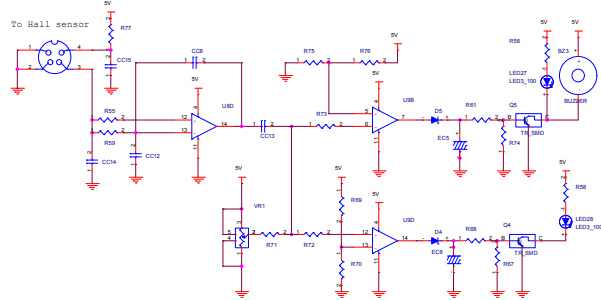


그림 5 제안된 장치의 회로도
Fig. 5 Circuit of the monitoring equipment

이 조금씩 변동하기 때문에 2.5V를 기준으로 자계세기 검출에 어려움이 있다. 따라서 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 미분회로를 적용하였다. 즉 기준 전압이 얼마이든지 상관없이 입력값이 변동하게 되면 미분회로를 통하여 전압 변동이 생기고 자계가 검출되고 있음을 알 수 있도록 하였다.

그림 5에서 회로를 보여주고 있다.

회로에서 볼 수 있는 바와 같이 제안된 방법은 홀센서의 신호를 미분함으로써 그 변화를 감지하여 동작의 변화를 모니터링 하는 것이다. 홀센서 신호가 입력되면 증폭기와 미분기를 거쳐서 신호의 변화분이 출력되고 그 신호는 정(+)-방향 비교기와 부(-)-방향 비교기를 거쳐서 출력신호를 발생시킨다. 이때 비교기에서 사용되는 기준값은 가변저항 VR1을 통해서 조절할 수 있으며 이것은 곧 감도를 조절하는 역할을 하게 된다.

그러나 자동차에서 발생하는 각종 노이즈는 회로의 오동작을 유발할 수 있다. 따라서 입력부에 캐패시터(CC14)를 추가하여 노이즈를 억제하였고, 홀센서에 인가되는 전원에 노이즈가 발생하여 신호가 왜곡되는 경우가 발생하므로 홀센서 전원 자체를 저항과 캐패시터(R77과 CC15)로 필터링하여 노이즈를 제거하였다.

출력측은 적색 LED와 녹색 LED를 통하여 나타나며 소리를 통해 인지할 수 있도록 부저가 부착되어있다. 또한 저항과 캐패시터를 이용한 지연회로를 추가하여 순간적인 짧은 신호에도 충분히 인지할 수 있도록 하였다.

4. 시뮬레이션

설계된 회로를 PSpice를 통하여 시뮬레이션하여 제안된 방법이 유용함을 검증하였다.

그림 6은 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 홀센서로부터의 입력은 2.55V를 기준으로 하여 N극의 자장

이 인가되면 상승하고 S극의 자장이 인가되면 하강하는 것으로 실제 센서의 출력과 같은 신호를 인가하였다. 첫 번째 증폭기와 캐패시터를 거쳐 나온 미분파형은 그림 6의 파형에서 나타나고 있으며 반전증폭되어 홀센서 신호가 상승할 때 하강하며 하강할 때 상승하는 것을 볼 수 있다.

출력에 있어서 비록 홀센서의 변화가 순간적으로 일어난다고 하더라도 그 변화는 눈으로 확인될 수 있어야 한다. 따라서 순간적인 변화를 길게 연장할 수 있는 회로를 첨부하여 20ms 이상 LED를 점등할 수 있도록 하였다. 이러한 회로를 거쳐 최종적으로 홀센서 신호간격이 50ms인 경우 LED 측에 출력되는 파형이 그림 6의 아래쪽 그래프에 나타나있다.

홀센서 신호 간격이 20ms로 짧은 간격으로 연속적으로 변할 때는 그림 7에서 보는 바와 같이 출력 두 개가 겹쳐짐을 알 수 있으며 이때는 두 개의 LED가 동시에 점등되어 빠르게 신호가 변화하고 있음을 알 수 있다.

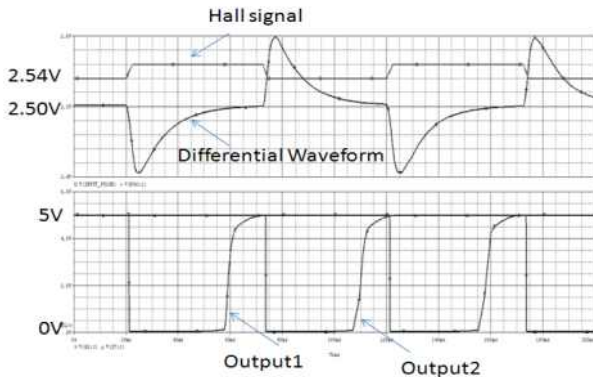


그림 6 시뮬레이션 결과(ON period: 50ms)
Fig. 6 Simulation results(ON period: 50ms)

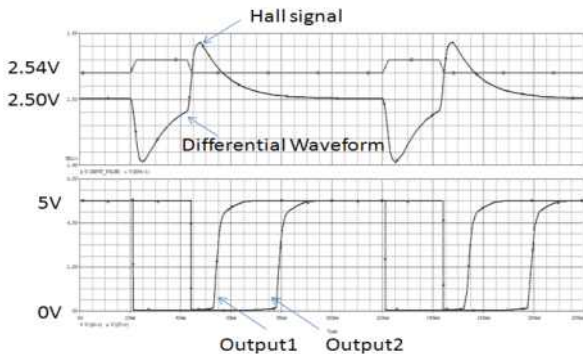


그림 7 시뮬레이션 결과(ON period: 20ms)
Fig. 7 Simulation results(ON period: 20ms)

5. 실험 및 결과

제안된 장치의 성능을 실험을 통하여 검증하였다. 홀센서는 WSH-136을 사용하였으며 이 센서는 2.55V를 기준으로 자속의 양에 따라서 선형적으로 전압이 변화되는 특성을 가지고 있으며, 3.3mV/G의 민감도를 가지고 있다.

제작된 비접촉식 자동차 전장용 신호 모니터링 장치를 그림 8에서 보여주고 있으며, 자기신호 측정은 그림 9에서와 같이 비접촉으로 이루어지고 있다.

홀센서는 프로브의 끝단에 장착되어 있으며 최종 출력으로 LED를 통하여 신호의 변화를 보여주게 된다. 실험은 자기적으로 동작하는 액추에이터를 2.5Hz로 구동하고, 홀센서 프로브를 액추에이터와 약 5mm 정도의 거리에 두고 측정한다.



그림 8 제작된 장치
Fig. 8 Proposed equipment



그림 9 자기신호 측정
Fig. 9 Measuring magnetic signal

실험결과는 시뮬레이션 결과와 매우 유사하게 나타났으며, 솔레노이드에서 발생하는 자장을 검출하여 동작상태를 정확하게 보여주었다.

그림 10은 홀센서의 입력신호를 나타내고 있으며 그 크기가 매우 작음을 알 수 있다. 그림 11은 이 신호를 미분하여 증폭한 파형을 보여주고 있다.

그림 12는 최종단의 출력파형으로서 모니터용 LED 측을 측정된 것이며 Low 신호가 검출되는 부분에서

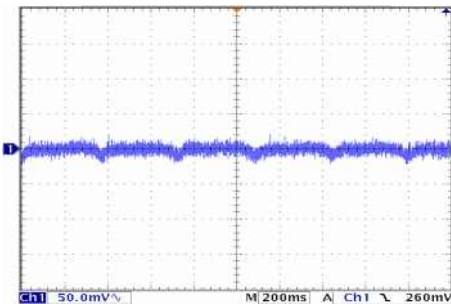


그림 10 홀센서 신호
Fig. 10 Signal of the Hall effect sensor

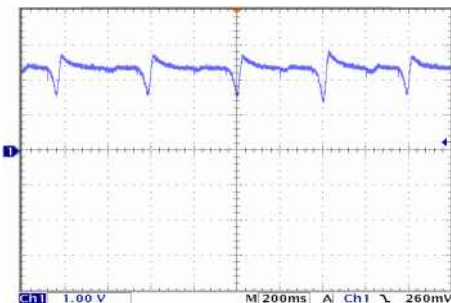


그림 11 홀센서 신호 미분파형
Fig. 11 Differential waveform of the Hall effect sensor signal

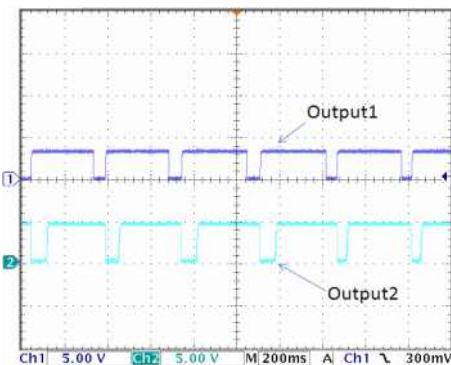


그림 12 출력 신호 1, 2
Fig. 12 Output signal 1 and 2

LED가 점등된다. 피측정 액추에이터는 약 2.5Hz 주기로 동작하고 있으며 측정자는 LED와 비프음을 통해 정상 동작여부를 파악할 수 있다.

솔레노이드뿐만 아니라 모터, Fuel injector, 릴레이 등에 대해서도 실험을 한 결과 비접촉으로 동작 여부 판단이 모두 가능하였다.

이로써 자동차 엔진에서 연료를 분사하는 4개 또는 6개의 Fuel injector 중 고장으로 인해 작동하지 않는 injector를 찾아낼 수 있게 되었으며, 각종 솔레노이드나 릴레이의 단선 상태를 비접촉으로 쉽게 체크할 수 있게 되었다.

6. 결 론

본 논문에서는 자동차 전기장치의 동작여부를 비접촉으로 모니터링할 수 있는 자동차 전장용 신호 모니터링 장치를 개발하였다.

개발된 장치는 프로브로서 홀센서를 이용하였으며 입력된 홀센서 신호의 변화분을 이용하여 피측정장치의 동작 상태를 표시하도록 하였다.

시뮬레이션과 실험을 통하여 자동차의 전기장치 중에서 자기적으로 동작하는 모든 장치에 대해 홀센서를 이용하여 정상동작 여부를 비접촉으로 측정 가능함을 증명하였다.

본 연구를 통하여 개발된 장치는 자동차의 인젝터, 모터, 릴레이, 솔레노이드 등이 동작 중에도 전선의 피복을 벗기지 않고도 비접촉으로 정상동작 여부를 파악할 수 있으므로 상품화될 경우에 매우 편리하게 자동차의 진단이 이루어질 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] D. Howe, "Magnetic actuators", Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 81, pp. 268-274, 2000.
- [2] Smith, D.S., Howe, D., and Jewell, G.W., "Limited motion actuators for automotive applications", Machines for Automotive Applications (Digest No. 1996/166), IEE Colloquium on, pp. 7/1-7/3, 1996.

- [3] Saldanha, R.R., Pelissier, S., Kadded, K., Yonnet, Y.P., and Coulomb, J.-L., "Nonlinear optimization methods applied to magnetic actuators design", *Magnetics, IEEE Transactions on*, Vol. 28, Issue 2, pp. 1581-1584, 1992.
- [4] 김병민, 이정효, 황춘환, 원충연, "구형과 2-Hall Sensor를 사용한 영구자석형 동기전동기의 센서리스 제어시의 위치오차 보상", *전력전자학회논문지*, 제14권, 제1호, pp. 82-88, 2009.
- [5] J.U. Kim, S.Y.Jung, and K.H. Nam, "PMSM Angle Detection Based on the Edge Field Measurements by Hall Sensors", *Journal of Power Electronics*, Vol. 10, No. 3, 2010, May.
- [6] 윤용호, 우무선, 김덕규, 원충연, 최유영, "2Hall-ICs를 이용한 저가형 PM Brushless DC Motor 속도 제어", *전력전자학회논문지*, 제9권, 제4호, pp. 311-318, 2004.
- [7] 한국산업기술센터, "자기센서의 회로설계", 월간계장기술, 2004.

저 자 소 개



양형열(梁煥烈)

1969년 5월 27일생. 1993년 전남대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~1994년 현대자동차(주) 사원. 2005년 10월~2006년 10월 미국 Virginia Tech. Post-Doc. 연구원. 2007년 3월~2009년 2월 호남대 전임강사. 2009년 3월~2009년 9월 지오토(주) 연구소장. 2009년 10월~현재 호남대 전임강사.



양승학(梁承學)

1958년 12월 6일생. 1982년 전남대 계측 제어공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 일본 동경대 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박). 1993년~1994년 동경대 생산기술연구소 특별 연구원. 2009년 7월~현재 지경부·교과부지정 산학협력중심 대학육성사업단장. 1995년 3월~현재 호남대 전기공학과 교수. 당 학회 부회장.