

팬 모터 구동을 위한 집적화된 홀 센서 IC의 제작 및 특성

이 철 우

페어차일드 코리아 반도체(주)

전화 : 032-680-1382 / 핸드폰 : 019-471-8662

Fabrication and Characteristics of the Integrated Hall Sensor IC For Driving Fan Motors

Cheol Woo Lee

Fairchild Korea Semiconductor

E-mail : hbanner@fairchildsemi.co.kr

Abstract

In this paper we present an integrated Hall sensor IC for fan motors, fabricated in industrial bipolar process. As a discrete Hall sensor and signal processing circuitry in the fan motor system were integrated into single chip a temperature dependence of Hall sensitivity and Hall offset voltage can be compensated and cancelled by on-chip circuitry. We propose a novel temperature compensation of Hall sensitivity with negative temperature coefficient(TC) using the differential amplifier gain with positive TC. After a package of the chip was sealed using a plastic package 20 pins, the thermal and magnetic characteristics were investigated. The obtained experimental results are in agreement with analytical predictions and have more excellent performance than conventional the fan motor system using discrete Hall sensor.

1. 서론

최근 각 분야에서 자기센서를 이용한 적용분야가 증가하고 있는 가운데 브러쉬리스 팬 모터에 적용되는 자기센서의 사용량이 증가하고 있다.[1] 팬 모터는 회전하는 영구자석의 자극 위치를 홀 센서를 통해 검출하는 감지부와 이 신호를 입력으로 받아 모터를 구동

하는 구동부로 구성된다.[2] 개별소자 형태의 홀 센서를 신호 처리회로와 단일 칩으로 집적화하여 외부의 온도변화에 대해 홀 센서의 감도 의존성 및 오프셋전압을 회로적으로 보상할 수 있을 뿐 아니라 소형, 단순화함으로 고신뢰성 및 제조 원가를 낮출 수 있다.

본 논문에서는 팬 모터용 집적화된 홀 센서 IC의 제작에 관한 연구로 바이폴라 공정상의 에피택셜 층을 홀 센서로 이용하고 홀 센서 감도의 온도보상은 홀 센서와 동일 재료인 에피택셜 층의 저항을 차동증폭기의 이득 결정저항으로 이용하여 구현하였으며 저항 트림을 통해 홀 센서의 오프셋 저항이 보상되도록 설계하였고 이를 바이폴라 공정을 이용하여 IC칩으로 제작한 후 그 특성을 조사하였다.

II. 홀 센서 IC의 제작

집적화된 홀 센서 IC의 주요소자는 NPN, Lateral PNP, 홀 센서, 베이스 저항, 에피 저항 그리고 커패시터로 구성되어 있다. 그림 1에는 바이폴라 공정을 이용하여 제조된 홀 센서와 NPN TR의 단면구조를 나타내었다.

표준 바이폴라 IC 공정 기술을 이용해 결정면이 (100)이고 비저항이 $3.5\Omega\cdot\text{cm}$ 인 5", P형 실리콘 기판 위에 $11\mu\text{m}$ 의 n-epi층을 성장시켜 홀 센서의 활성영역으로 사용하였다. 각 소자를 격리시키기 위하여 고농도의 붕소(B)로 확산하여 홀 센서의 측면은 p-wall 구조로 다른 소자와 격리하였다.

본 연구에서는 홀 센서의 최적의 크기를 결정하기 위해 여러 크기 및 패턴의 홀 센서를 설계 제작하여 전기, 자기적 특성을 평가하였다. 홀 센서 IC에 사용된 단일 홀 센서의 크기는 $220 \times 220 \mu\text{m}^2$ 으로 정방형 모양의 홀 센서를 사용하였다. 정방형 홀 센서는 높은 감도는 얻을 수 없으나 낮은 오프셋 전압을 가진다. 팬 모터 구동용 홀 센서 IC의 경우 홀 오프셋 전압으로 인해 전체 동작 특성에 영향을 받음으로 홀 오프셋 전압을 감소시키기 위해 quadrature offset cancellation 방법을 사용하여 4개의 동일한 홀 센서를 90°C 회전시켜 병렬로 연결하였다.[3]

제작된 홀 센서 IC의 칩 사이즈는 $1100 \times 800 \mu\text{m}^2$ 이며 홀 센서의 감도는 $18.7 \mu\text{V/G}$ 이고 홀 오프셋 전압은 약 $300 \mu\text{V}$ 이다. 그림 2에는 제작된 홀 센서 IC의 칩 사진을 나타내었다.

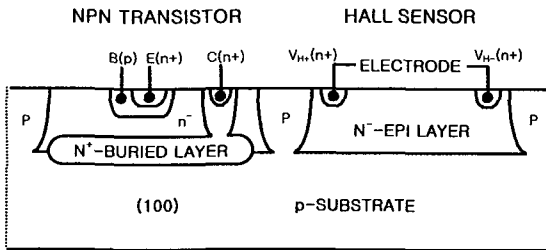


Fig. 1. Cross-sectional structure of Hall sensor and NPN TR fabricated by bipolar process.

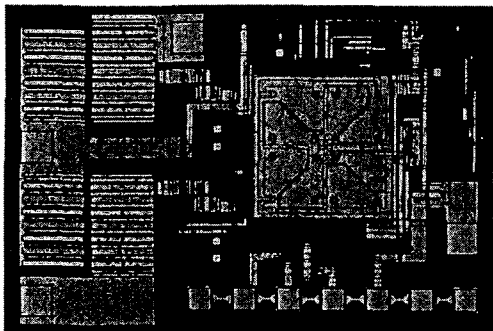


Fig.2. Photograph of Hall sensor IC chip (Chip size : $1100 \times 800 \mu\text{m}^2$)

III. 동작 원리 및 회로 설계

3.1 홀 센서

일반적으로 홀 센서의 출력 전압은[4]

$$V_H = \frac{R_H G I B}{t} = \frac{G \gamma_n I B}{q n t} \quad (1)$$

이며 여기서 R_H 는 Hall 계수, G 는 형상 보정 인자 (geometric correction factor), B 는 인가 자장, γ_n 은 산란 인자(scattering factor), I 는 인가전류 그리고 t 는 소자의 두께를 나타낸다.

홀 센서에 인가되는 전압에 대하여 홀 감도를 나타내면[4]

$$S_V = \frac{V_H}{B V} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있으며 V 는 홀 센서에 인가한 전압이다. 불순물 반도체인 경우, S_V 는[4]

$$S_V = \gamma_n \mu_n \left(\frac{G W}{L} \right) \quad (3)$$

이며 여기서 W 는 소자의 너비, L 은 소자의 길이, μ_n 는 드리프트 이동도를 나타낸다.

S_V 의 온도 의존성을 분석하기 위해 식(3)을 온도에 대하여 미분하면

$$\frac{\partial S_V}{\partial T} = \alpha \times \frac{\partial \mu_n}{\partial T} \quad (4)$$

여기서 $\alpha = \frac{G W}{\gamma_n L}$ 이다.

$$\frac{\partial S_V}{\partial T} \propto \frac{\partial \mu_n}{\partial T} \quad (5)$$

식(5)에 의해 홀 감도는 드리프트 이동도, μ_n 의 온도계수에 비례한다.

홀 센서와 같은 에피층을 이용하는 에피 저항은

$$R_{EPI} = \frac{L_{EPI}}{W_{EPI}} \times \frac{1}{q \mu_n N_D t_{EPI}} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있으며 여기서 L_{EPI} 는 저항의 길이, W_{EPI} 는 저항의 너비, N_D 는 n형 도핑 농도를 나타낸다. 식(6)을 온도에 대하여 미분하면

$$\frac{\partial R_{EPI}}{\partial T} = \kappa \frac{\partial (\mu_n^{-1})}{\partial T} \quad (7)$$

$$\kappa = \frac{L_{EPI}}{W_{EPI}} \frac{1}{q N_D t_{EPI}} \quad (8)$$

$$\frac{\partial R_{EPI}}{\partial T} \propto \frac{\partial (\mu_n^{-1})}{\partial T} \quad (9)$$

가 되며 식(9)에 의해 에피 저항의 온도 계수는 드리프트 이동, μ_n 의 온도계수에 반비례하는 것을 알 수 있다.

3.2 회로 설계

그림 3에는 홀 센서 IC를 이용한 팬 모터 시스템 구성을 나타내었다. 홀 센서 IC를 이용한 팬 모터의

동작원리는 전체 4극으로 자화된 영구자석의 자극이 홀 센서 위를 회전할 때 각 자극의 세기 및 위치는 홀 센서에 의해 감지되어 이에 비례한 홀 전압을 발생시킨다. 발생한 홀 전압은 차동증폭기의 입력에 인가되어 온도 보상과 오프셋 전압이 제거된 홀 전압만이 차동 증폭된다. 증폭된 홀 전압은 온도 보상된 기준 전압과 비교되어 히스테리시스를 가지며 영구자석을 회전시키는 코일에 전류가 흐르는 시간을 결정한다.

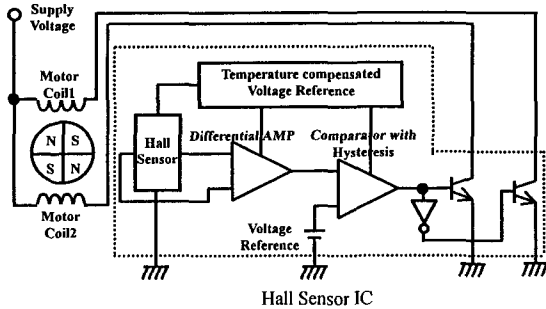


Fig.3. Block diagram of the fan motor system using Hall sensor IC.

그림 4는 홀 센서 출력을 증폭하는 차동증폭단 및 출력단 스위칭 회로를 나타내었다. 그림4의 VREF, IREF는 각각 온도 보상된 정전압, 정전류이며 VS는 전원전압이고 REPI, RBASE는 각각 에피저항과 베이스저항이며 에피저항인 R1과 R2는 동일한 저항값을 가진다. 차동증폭기가 선형영역에서 동작한다고 가정하면 그림 4의 차동증폭기 출력전압인 VA와 VB 사이의 전압차는 [5]

$$V_{AB} = \alpha_F I_4 R_{EPI} \left(\frac{-V_{id}}{2V_T} \right) \quad (10)$$

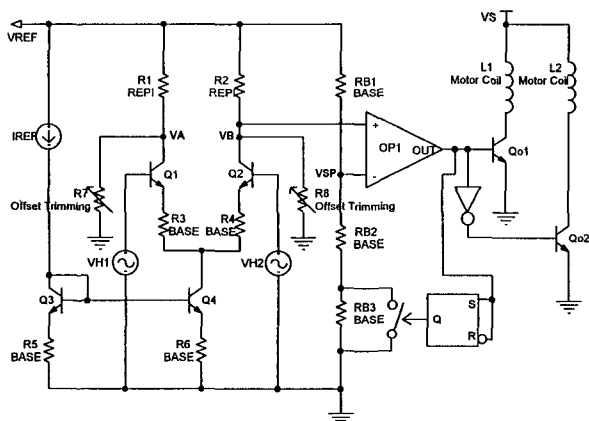


Fig.4. Diagram of flow angle setting circuit and switching circuit.

로 나타낼 수 있으며 I_4 는 Q_4 의 컬렉터 전류로 온도 보상된 전류이며, α_F 는 유효 공통 베이스 전류 이득 (effective common-base current gain), V_T 는 열적 전압(thermal voltage), V_{id} 는 차동증폭기의 입력 전압이다. 홀 센서의 출력전압은 각각 VH1과 VH2이며 홀 전압차는

$$V_H = VH1 - VH2 \quad (11)$$

이며 차동증폭기의 입력에 V_H 가 인가될 경우 식(10)에서 V_{id} 를 V_H 로 바꾸면

$$V_{AB} = \alpha_F I_2 R_{EPI} \left(\frac{-V_H}{2V_T} \right) = \alpha_F I_2 B V R_{EPI} \left(\frac{-S_V}{2V_T} \right) \quad (12)$$

가 되며 여기서 $V_H = B \cdot V \cdot S_V$ 이다.

V_{AB} 의 온도 계수는

$$\frac{\partial V_{AB}}{\partial T} = -\alpha_F I_2 B V \times \left[\left(\frac{S_V}{2V_T} \right) \frac{\partial R_{EPI}}{\partial T} + \left(\frac{R_{EPI}}{2V_T} \right) \frac{\partial S_V}{\partial T} + (R_{EPI} S_V) \frac{\partial (V_T^{-1})}{\partial T} \right] \quad (13)$$

온도에 의존적인 홀 감도를 보상하기 위해 식(13)은 아래의 식(14)를 만족해야 한다.

$$\frac{\partial V_{AB}}{\partial T} = -\alpha_F I_2 B V \left(K_1 \frac{\partial R_{EPI}}{\partial T} + K_2 \frac{\partial S_V}{\partial T} + K_3 \frac{\partial (V_T^{-1})}{\partial T} \right) \cong 0 \quad (14)$$

식(14)의 $\frac{\partial R_{EPI}}{\partial T}$ 는 양의 값을 가지며 $\frac{\partial S_V}{\partial T}$, $\frac{\partial (V_T^{-1})}{\partial T}$ 는 음의 계수를 가지므로 홀 감도의 온도 보상이 이루어진다.

IV. 측정 결과

홀 센서 IC의 특성을 측정하기 위해 제작된 칩은 20핀의 플라스틱 패키지로 조립하였다. 온도 및 전기, 자기적인 측정을 하기 위해 소규모의 진공 chamber안에 홀 센서 IC를 장착하여 chamber를 전자석 중앙에 위치시키고 chamber안의 상태를 진공으로 유지하면서 측정을 하였다. 또한 홀 센서 IC에 가해지는 자장을 관찰하기 위해 가우스미터를 진공 chamber옆에 위치시켰다.

그림 5는 온도를 변화시키며 홀 센서의 출력 전압을 측정한 결과이다.

그림 6에는 회전하는 영구자석의 자기적인 신호를 홀 센서 IC 내부의 홀 센서에 의해 전압 파형으로 나타낸 것이다.

그림 7에는 홀 센서 IC의 출력 파형을 나타낸 것으로 온도 보상된 홀 센서 IC와 보상되지 않은 일반적인 모터 구동 IC의 출력 전압을 측정한 것이다.

V. 결론

기존의 개별소자 형태의 홀 센서를 사용하던 팬 모터 시스템을 바이폴라 표준 공정을 이용해 홀 센서와 구동부를 집적화하여 단일 칩으로 제작하고 그 특성을 분석하였다. 집적화된 홀 센서의 감도는 $18.7\mu\text{V/G}$ 로 개별소자의 홀 센서에 비해 4배 감소하였으나 차동 증폭 회로를 통해 홀 센서 신호를 증폭하였으며 이와 동시에 온도 보상 및 오프셋 보상을 통해 $-40^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$ 에서 정확하고 신뢰성 있는 동작 특성을 보였다. 또한 실험적인 측정 결과를 통해 제안한 홀 센서 감도의 온도보상이 잘 이루어지고 있는 것을 확인하였다.

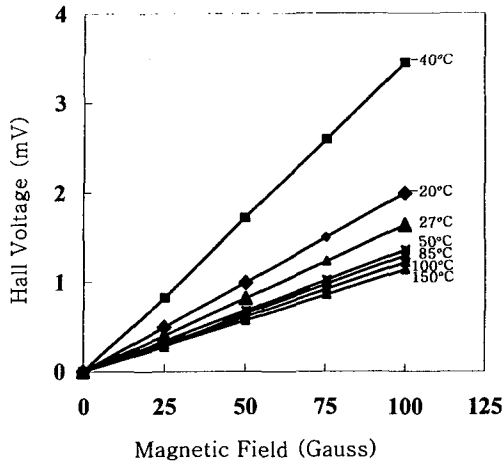


Fig.5. Hall sensitivity according to temperature

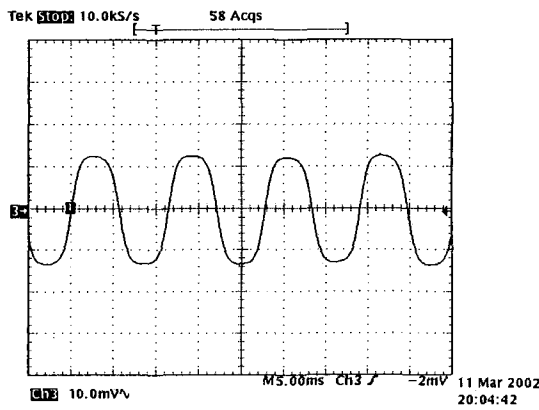


Fig.6. Hall voltage generated by the motor rotor(permanent magnet).

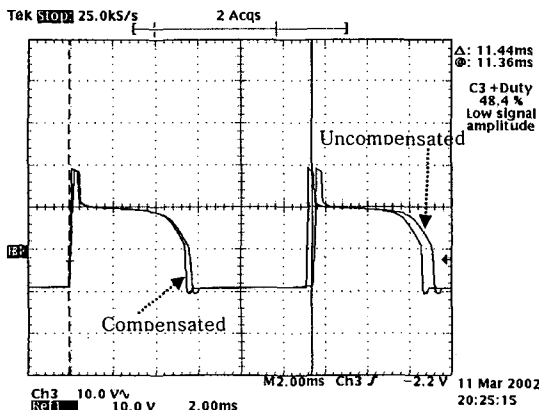


Fig.7. Output waveforms of the Hall power IC

Reference

- [1] T. Nakamura, K. Maenaka "Integrated Magnetic Sensors," *Sensors and Actuators*, A21-A23, pp.762-769, 1990.
- [2] Y. Kanda, M. Migitaka, "Silicon Hall-Effect Power IC's for Brushless Motors" *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. ED-29, no.1, January 1982.
- [3] S. Kordic. "Ingrated Silicon Magnetic-Field Sensors" *Sensors and Actuators*, 10, pp.347-378, 1986
- [4] S. M. Sze. "Semiconductor Sensors," Wiley, New York, 1994, Ch.5.
- [5] P. Gray, R. Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits," Wiley, New York, 2001, Ch. 3.