

IC 내부 온도측정이 가능한 MOS 온도센싱 회로에 관한 연구

강병준* · 이민우* · 김한솔* · 한정우**, 손상희** · 정원섭**

*청주대학교

A Study on the temperature sensing circuit using MOS applicable for the IC internal temperature measurement

Byung-jun Kang* · Min-woo Lee* · Han-seul Kim* · Jung-woo Han**, Sang-hee Son** ·

Won-sup Jung**

*Cheungju University

E-mail : kangcos@lycos.co.kr

요 약

본 논문에서는 MOSFET을 사용하여 IC내부의 온도를 측정해 전압을 출력으로 나타내는 온도감지회로를 제안하였다. 제안한 온도감지회로는 CMOS공정에서 구현하기 위해 MOSFET을 이용한 두 개의 전류미러 회로를 이용하여 설계하였고, 다양한 어플리케이션에 적용 가능하도록 하였다. 온도감지회로는 온도감지모드, 절전모드 두 가지 동작을 하며 각각의 모드 시뮬레이션 결과 온도감지모드에서는 0°C ~ 125°C 까지 스위칭했을 때 출력전압이 0V에서 1.2V까지 측정되었고, 절전모드에서는 출력전류가 100pA 이하로 흐르는 것을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, temperature sensing circuit using by MOS is proposed. It produces the voltage as output and is applicable for the internal IC temperature measurement. It is designed by two current mirrors using MOS to implement the IC in the CMOS fabrication and is applicable for the various applications. It operates in two mode, temperature mode and sleep mode. From the simulation results, output voltage is measured from 0V to 1.2V by sweeping 0°C ~ 125°C in temperature mode and output current flows under 100pA in sleep mode.

키워드

reference, PTAT(proportional to absolute temperature), CTAT(complementary to absolute temperature), current mirror

1. 서 론

본 논문에서는 여러 어플리케이션에 적용 가능한 온도 감지회로를 설계하고 제안하였다. 기기들이 소형화 되면서 발열에 매우 민감하게 반응하게 되는데 정상적인 IC동작 온도는 약 -50°C ~ 125°C 정도이다. 이 온도를 초과하게 되면 회로에 손상을 입게 되기 때문에 위의 온도 범위 내에서 동작할 수 있도록 온도센싱회로를 IC내에 내장하

도록 설계하였다. 제안한 온도센싱회로는 온도감지모드, 절전모드 두 가지 모드로 동작을 하게 된다. 온도감지모드의 경우는 온도의 변화에 따라 비례하여 출력전압이 발생하며, 절전모드의 경우 회로가 모두 차단되어 전류가 거의 흐르지 않게 된다. 따라서 온도가 상승하여 동작온도범위를 벗어나게 되면 절전모드로 들어가 회로를 보호하게 된다.[1]-[2]

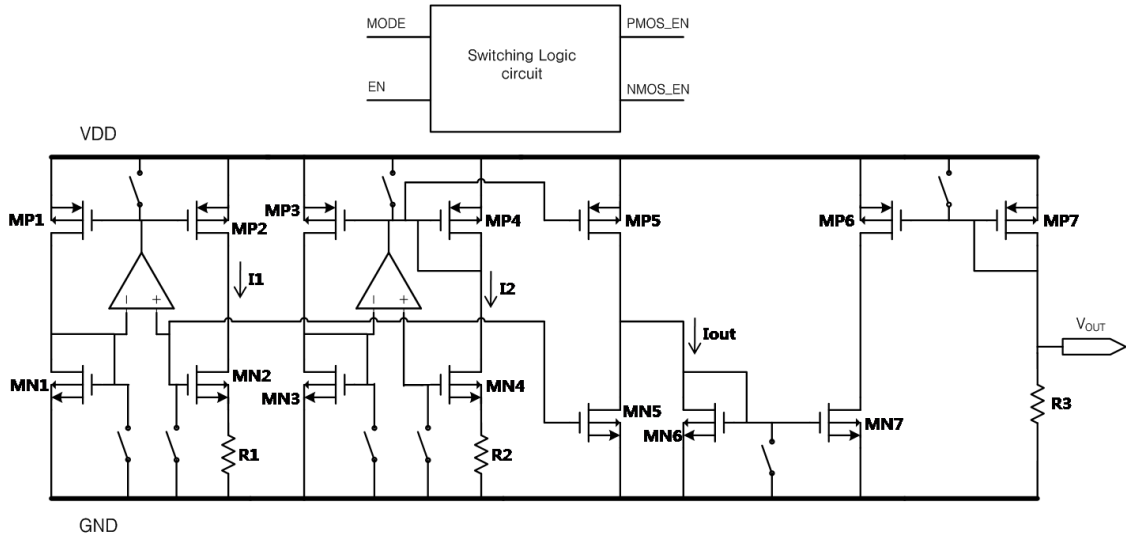


그림 1. 제안한 온도센싱 전체 회로도
Fig.1 Total schematics of proposed current sensing circuit

II. 본 론

본 논문에서 제안한 전체 회로도를 그림 1에 나타내었다. MODE, EN의 두 입력과 PMOS_EN, NMOS_EN 두 출력을 가진 스위칭 로직 회로와 온도센싱 동작을 하는 전체 회로도 구성되어 있다. 이 온도센싱회로는 온도감지모드와 절전모드 두 가지 모드로 동작을 하게 되고, 두 가지 모드는 MODE, EN 입력에 따라 결정이 된다.

EN 값과 MODE값이 모두 'LOW'일 경우 PMOS_EN의 값과 NMOS_EN의 값은 각각 'HIGH'와 'LOW'가 되고, 각 미러단에 있는 mos스위치가 모두 off가 되고 회로는 온도감지모드로 정상동작하게 된다.

표 1. MODE input에 대한 출력 및 상태
Table 1. Output and status by mode input

MODE input	PMOS_E	NMOS_E	operation mode
'LOW'	'HIGH'	'LOW'	temperature mode
"HIGH"	'LOW'	'HIGH'	sleep mode

EN 값이 'LOW'이고 MODE값이 'HIGH'가 되면, PMOS_EN의 값과 NMOS_EN의 값이 각각 'LOW'와 'HIGH'가 되어 스위치는 on이 되고 회로

는 절전모드로 동작하게 된다. 결국 EN입력이 계속해서 'LOW'라면 MODE 입력에 따라서 모드가 달라지게 된다. 모드 변화를 간략하게 표 1에 나타내었다.

MODE input 신호가 'LOW'이고 스위치가 모두 off가 되면, 문턱전압 아래에서 동작하는 MN1과 MN2, 그리고 MN3과 MN4에 의해 PTAT전류 I1과 I2가 흐르게 된다. 문턱전압 아래에서 동작하는 MOSFET의 I_D - V_{GS} 특성은 BJT의 지수함수 형태의 I_C/V_{BE} 관계와 유사하다. 이러한 특성으로 다음 식을 유도하였다. 식 (1)에서 $V_T=kT/q$ 은 열전압이고, I_{D0} 는 $V_{GS}=V_{th}$ 일 때와 $K=W/L$ 을 모두 만족시킬 때의 드레인 전류이다.[3]

$$I_D = I_{D0} \frac{W}{L} \exp\left(\frac{V_{GS} - |V_{th}|}{n V_T}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{-V_{DS}}{n V_T}\right)\right] \quad (1)$$

$$\cong I_{D0} \frac{W}{L} \exp\left(\frac{V_{GS} - |V_{th}|}{n V_T}\right)$$

이때 MN1, MN2 쌍과 MN3, MN4 쌍은 L/W 비에 차이를 두어 온도에 따른 전류변화의 기울기를 다르게 하였다.

III. 실험 결과

그림 2는 온도변화에 대한 출력 전압을 시뮬레이션을 통하여 나타내었다. 약 85°C에 약 800mV의 전압 그리고 150°C에 약 1.45V 정도의 출력전압을 갖는 것을 확인 할 수 있다. 그림 3은 절전모드로 동작했을 때 그에 따른 출력 전류 파형이다.

0°C에서부터 150°C까지 변화를 주었을 때 전류의 변화는 약 4pA ~ 6nA의 매우 미세한 전류가 흐른다는 것을 확인하였다.

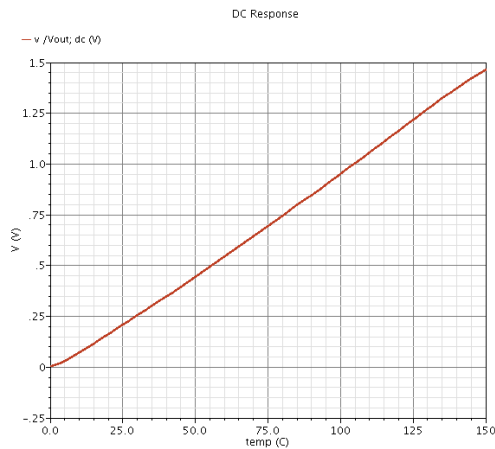


그림 2. 온도 변화에 따른 출력 전압
Fig. 2 Output voltage depending on the temperature variations

이 정도의 미세한 전류는 회로가 차단되었다고 봐도 무방하므로 절전모드에서 제대로 동작한다고 볼 수 있다. 시뮬레이션 결과 MODE의 'HIGH' 또는 'LOW'의 입력신호에 따라 온도감지모드, 절전모드로 정상 동작하는 것을 확인하였다.

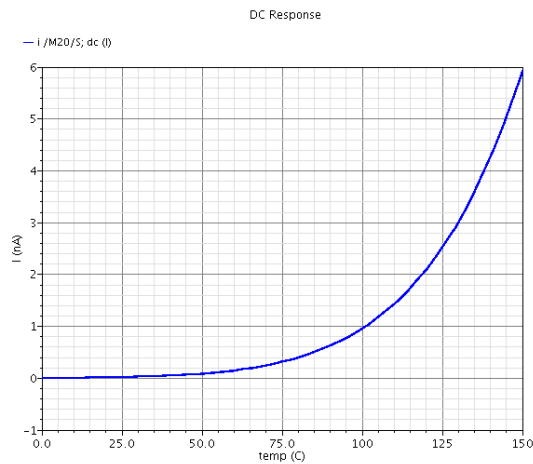


그림 3. 절전모드 출력 전류
Fig. 3 Output current in sleep mode

IV. 결 론

본 논문에서는 BJT를 이용하지 않고 MOSFET의 특성을 이용하여 온도의 변화를 선형적 형태의 전압으로 구현하였다. BJT를 사용하게 되면 CMOS 공정으로 구현이 어렵고, 레아웃시 상당한 면적을 차지하게 된다. 따라서 MOSFET을 이용한 온도 센싱 회로를 구현함으로써 BJT에 비해 CMOS공정으로 비교적 쉽게 구현이 가능하고 면적 또한 수배이상 줄어들게 되는 것을 확인하였다. 제한한 온도센싱회로는 무턱전압 아래영역에서 동작하는 전류미러단 두 개를 이용하여 온도변화에 비례하는 PTAT성분의 전류를 이용하였다. 두 미러단의 전류의 차를 이용해 최종적인 출력전류를 생성하고 그 전류를 전압으로 변환시켜 온도에 비례하는 출력전압을 가진 온도센싱 회로를 설계하였다. 출력 전압의 경우 85°C에서 800mV의 출력전압을 가지고 있고, 150°C에서는 1.45V의 출력전압을 가지고 있다. 따라서 85°C가 넘어가게 되면 HIGH의 전압이 출력이 되고 이 출력을 MODE입력에 피드백을 시키면 차단이 되게 된다. 절전모드의 경우 약 4pA ~ 6nA 정도의 전류가 흐르는 것을 확인했고, 거의 완벽하게 차단이 됨을 알 수 있었다.

감사의 글

2013년도 본 논문은(보고서는) 미래창조과학부 지원으로 수행한 ETRI SW-SoC융합 R&BD센터의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] K. Tanno, T. Makoto, H. Tamura, and O. Ishizuka, "High-Performance CMOS Temperature Sensor Circuit," Note on Multiple-Valued logic in Japan, Vol. 32, No. 9, pp. 1 - 6, Sep. 2009.
- [2] 오선영, 육대성, 손상희, "LCD 드라이버 IC에 적용 가능한 온도센서 설계에 관한 연구", 한국정보기술학회 논문지, 제 9권, 제 1호, pp. 1-9, 2011년 1월.
- [3] 전상욱, 위재경 "A Fully-MOSFET Bandgap Reference Circuit Using MOS PTAT Characteristic" 2007 SOC 학술대회, pp. 162-165, 2007년 5월