

---

# IC내부 온도 측정이 가능한 온도센서회로 설계

강병준\*\* · 김한슬\* · 이민우\*\* · 손상희\*\* · 정원섭\*\*

\*청주대학교

Design of temperature sensing circuit measuring the temperature inside of IC

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

Cheongju University

E-mail : kangcos@lycos.co.kr

## 요 약

본 논문에서는 온도변화에 따른 회로 손상이나 성능 저하를 피하기 위해서 회로 안에 내장할 수 있는 온도 센서 회로를 설계하였다. 일반적인 PTAT회로를 사용하여 온도감지를 하고, 스위치를 내장시켜 회로 동작이 불가능할 정도로 IC 내부 온도가 높을 때는 절전모드로 동작하게 하였다 또한, 전류미러 및 캐스코드회로를 사용함으로써 전류 정합특성을 향상시켰다. 시뮬레이션 결과 75°C일 경우 약 1V, 130°C일 경우 1.75V를 출력전압을 발생하였으며, 절전모드의 경우 0V~ 7uV까지 즉 거의 0V에 가까운 출력전압을 발생함을 확인 할 수 있었다

## ABSTRACT

To avoid the damage to circuit and performance degradation by temperature changes, temperature sensing circuit applicable to the IC is proposed in this paper. Temperature sensing is executed by PTAT circuit and power saving mode is activated by internal switch if internal temperature is in high. Also, characteristics of current matching are increased by using current mirror and cascode circuits. From the simulation results, this circuit is operating in action mode if input signal is in low. But it immediately goes into power saving mode if output signal is in high. It shows the output voltage of 1V at 75°C and 1.75V at 125°C in action mode and near 0 V(0V~ 7uV) in power saving mode.

## 키워드

PTAT, bandgap reference, bias reference, temperature sensing circuit

---

\* 청주대학교 대학원 전자공학과

\*\* 청주대학교 반도체설계공학과

## I. 서 론

IC들의 집적도가 높아지고 소형화됨에 따라 IC 내부온도는 쉽게 증가를 하고 또한 온도에 따라 특성이 민감하게 반응을 한다. 이러한 온도를 감지하지 않으면 회로 전체가 파괴될 수도 있기 때문에 IC내부회로의 온도를 감지하는 것은 매우 중요하다. [1]~[3]

본 논문에서는 회로내부의 온도를 측정할 수 있는 설계를 하였다. 이 논문은 온도를 측정하기 위한 IC를 별도로 추가하는 것이 아니고 일반적인 IC내부회로 안에 온도 센싱을 하는 회로를 추가하여 온도에 비례하는 전압을 출력함으로써 온

도센서 역할을 하는 회로이다. 회로는 두 가지 동작을 하는데, 온도를 센싱하는 온도감지모드와 회로를 차단하는 절전모드로 나눌 수 있다. 두 가지 모드는 스위칭 회로의 두 입력 핀 TEST와 EN에 의해 결정되는데 EN의 값은 항상 HIGH로 동작하게 된다. 결국 TEST핀에 의해 모드가 결정이 되는데 TEST핀에 HIGH값이 들어가게 된다면 절전모드로서 동작을 하게 되고, LOW값이 들어가게 되면 온도감지모드로 동작을 하게 된다. HIGH레벨의 전압은 약 1 ~ 2V정도이고, LOW레벨의 전압은 약 0 ~ 0.9V정도이다. 이번 논문에서는 75°C일 때 출력값이 1V가 되게 설계하였다. 따라서 내부온도가 75°C가 넘어 1V의

출력이 나오게 되면 TEST핀에 출력전압이 인가 되고 결국 절전모드로 동작을 하여 회로 파괴를 방지한다. 그리고 능동캐스코드 구조를 추가하여서 출력저항을 높이고 전류 정합특성을 좋게 만들었다.

## II. 본 론

### II-1. 제안한 회로의 블록 다이어그램

온도센서 블록다이어그램을 그림 1에 나타내었다. bias reference회로는 증폭기에 필요한 바이어스 전압을 위한 회로이고 스위칭 logic회로는 두 가지 모드 동작을 위한 회로이고 PTAT&BGR 회로는 온도변화에 비례하는 PTAT전류와 온도변화에 무관한 일정한 전류를 생성하여 온도를 센싱하는 회로이다. 능동 캐스코드단은 기준전류와 PTAT전류의 차이를 생성하여 전압으로 나타낸다.

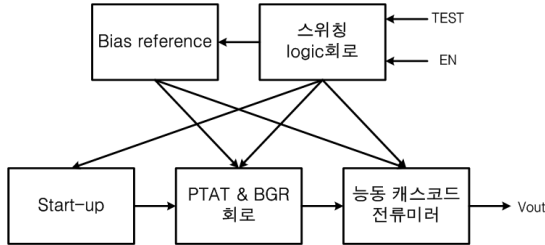


그림 1. 온도센서회로 블록다이어그램

### II-2 Bias reference 회로

안정적인 바이어스를 위해 온도변화에 의존하지 않는 바이어스 기준회로를 설계하였다. 그림 2는 온도변화에도 일정한 전압 전류를 발생시키는 bias reference 회로이다. 온도에 비례하는 전류를 발생시키는 PTAT단과 온도에 반비례하여 전류를 발생시키는 CTAT단으로 나뉘어져 있다. 이 두 개의 단에서 발생된 전류는 전류미러를 통해 합쳐지게 되는데 이때  $I_1$ 과  $I_2$ 가 합쳐져서 기준전류를 만들게 된다.

온도에 비례하는 전류에 관한 식은 다음과 같다.

$$I_1 = \frac{2}{R_1 \beta_3} \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{k}} \right)^2 \quad (1)$$

온도에 반비례하는 전류에 관한 식은 다음과 같다.

$$I_2 = \frac{1}{R_2} \left( V_{THN} + \sqrt{\frac{2I_3}{\beta_9}} \right) \quad (2)$$

식 (1)과 (2)가 더해져 온도변화에도 일정한 기준전류가 만들어진다.

$$I_{ref} = I_1 + I_2 = \frac{2}{R_1 \beta_3} \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{k}} \right)^2 + \frac{1}{R_2} \left( V_{THN} + \sqrt{\frac{2I_3}{\beta_9}} \right) \quad (3)$$

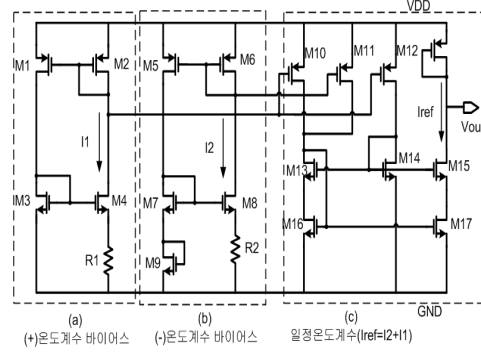


그림 2. Bias reference 회로

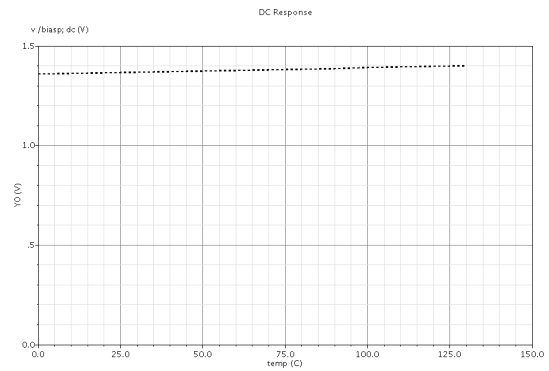


그림 3. 온도에 따른 바이어스 출력 전압  
II-3 PATA & BGR 회로

그림 2는 PTAT & BGR 전류 생성 회로이다. 온도에 비례하는 PTAT전류와 온도에 무관한 BGR전류를 생성한다. Q1에 의하여 M2에 온도에 비례하는 PTAT전류가 생성이 되고 Q2에 의하여 온도에 반비례하는 전류가 M8에 생성이 된다. 전류 미러에 의하여 각각 M3 과 M4에 흐르게 된다.

/°C가 되어 온도가 증가하면  $I_{BE}$ 는 감소한다. 따라서 온도에 일정하게 증가하는  $I_{PTAT}$ 와 일정하게 감소하는  $I_{BE}$ 가 만나 밴드갭 레퍼런스 전류인  $I_{REF}$ 를 생성하게 된다.

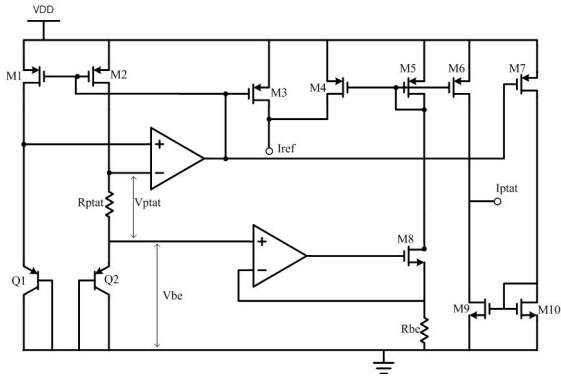


그림 4. PTAT & BGR 전류 생성 회로

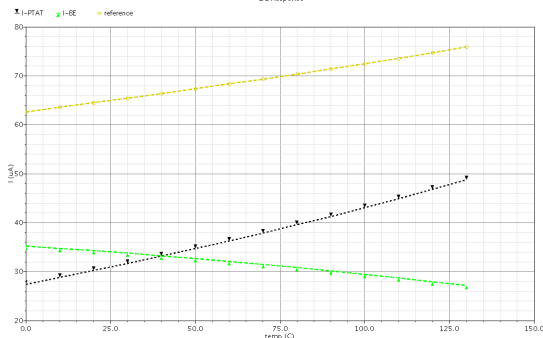


그림 5. PTAT & BGR 전류 및 reference 전류

II-4 능동 캐스코드를 이용한 전류미러단

그림 6은 능동 캐스코드를 추가한 전류미러단이다. IPTAT 전류와 IREF 전류는 PTAT&BGR 회로에서 생성된 전류들이다. M10에 흐르는 전류는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{M10} = I_{PTAT} - I_{REF} \quad (10)$$

전류 미러단에서 M11은 M10의 n배이고 M11의 배수 조절로 IM10의 온도계수를 조절할 수 있다.

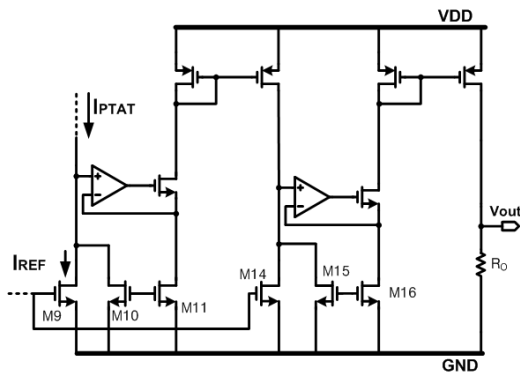


그림 6. 능동캐스코드를 이용한 전류미러

II-5 전체 온도센서의 동작

그림 7은 그림 1에서 보여준 블록다이아그램의 세부적인 전체회로도이다. TEST와 EN값이 모두 LOW이면 TMP\_EN은 LOW가 들어가게 되고 TMP\_ENb는 HIGH가 들어가게 된다. 따라서 각각의 스위치들은 OFF가 되고 온도감지모드로서 회로가 정상동작하게 된다. TEST에 HIGH가 들어가고 EN에 LOW가 들어가게 되면 TMP\_EN은 HIGH가 들어가게 되고 TMP\_ENb에는 LOW가 들어가게 된다. 그렇게 되면 각 스위치들이 ON상태가 되어 회로가 차단된다. 따라서 절전모드로 동작을 하게 된다

III. 온도센서 시뮬레이션 결과 및 분석

이번에 설계한 회로는 TSMC 0.18um 공정을 이용하여 spectre로 시뮬레이션을 하였다. mos는 2V소자를 사용했다. 입력신호에 변화를 주어 두 가지 모드로 동작하게 하였고 온도의 변화를 주어 각 출력 파형을 확인하였다.

표 1 시뮬레이션 결과

TEST	공급전압	값
입력신호	공급전압	2V
HIGH (절전모드)	출력전류	0 ~ 4nA
LOW (온도감지)	출력전압	75°C = 1V
		130°C = 1.7V

그림 8은 TEST에 LOW신호를 주고 온도를 0°C 부터 130°C까지 변화시켜서 출력 전압을 나타낸 것이다. 75°C일 때 약 1V 그리고 130°C 일 때 약 1.7V가 나오는 것을 확인할 수 있다. 그림 9는 TEST에 HIGH신호를 주고 0°C부터 130°C까지 변화시켰을 때 0 ~ 4nA 정도의 전류가 발생된다는 것을 확인했다.

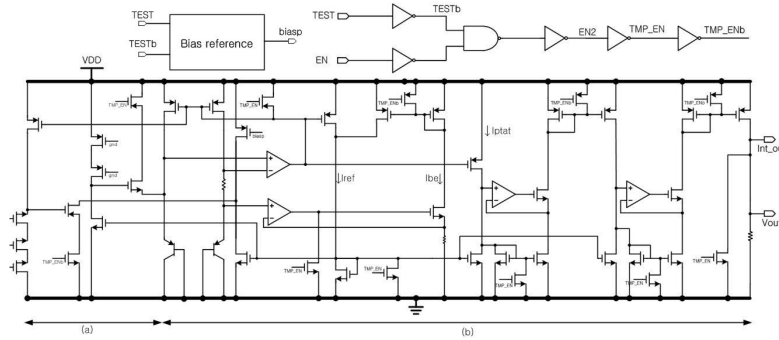


그림 7. 온도센서 전체회로도

드로 완벽하게 동작하는 것을 확인하였고, 설계한 온도센서회로가 내장형 온도센서로 충분히 활용 가능성이 있다는 것을 확인하였다. 앞으로 PTAT&BGR회로에서 I<sub>REF</sub>의 전류가 온도의 변화에도 거의 완벽한 일정 전류를 내보내는 것과 bias reference회로의 출력전압을 negative특성으로 변환하여 좀 더 안정적이고 정확한 회로 개발에 대한 연구를 진행할 예정이다.

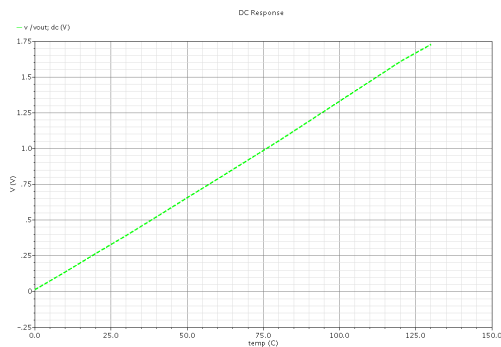


그림 8. 온도 감지모드시 온도에 따른 출력 전압

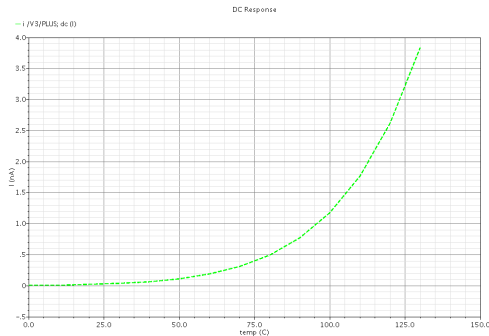


그림 9. 절전모드시 출력 전류

### V. 결 론

본 논문에서는 별도의 온도센서IC를 사용하지 않고 IC내부의 온도를 전압으로 변환시켜서 온도를 감지하는 회로를 설계하였다. HIGH 입력신호에 의해 절전모드로 동작을 하게 되고 출력전압의 경우 약 7uV 전류의 경우 약 4nA 가 흐르고 이 정도의 전압과 전류는 곧 회로가 동작을 하지 않고 거의 0에 가까운 절전모드로 동작함을 알 수 있다. 또한 LOW모드의 입력신호에 의해 온도감지모드로 동작을 하게 되고 75°C 일 때 약 1V 130°C일 때 약 1.7V의 출력전압을 확인할 수 있었다. 시뮬레이션 결과로 두 가지 모

### 참고문헌

- [1] M.A.P. Pertijs, A. Niederkorn, Xu Ma, B. McKillop, A. Bakker, and J.H. Huijsing, "A CMOS smart temperature sensor with a 3σ inaccuracy of ±0.5°C from -55°C to 125°C", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol.40, No.2. pp. 454-461, Feb., 2005.
- [2] M. Tuthill, "A switched-current, switched-capacitor temperature sensor in 0.6μm CMOS", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 33, No. 7, pp. 1117-1122, Jul., 1998.
- [3] A. Bakker and J. H. Huijsing, "Micropower CMOS temperature sensor with digital output", *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 31, No. 7, pp. 933-937, Jul., 1996.
- [4] 박홍준, "CMOS 아날로그 회로 설계(상)", 도 시그마프레스, pp. 489-506, Feb., 1999

### 감사의 글

본 논문은(보고서는) 지식경제부 출연금으로 ETRI SW-SoC융합 R&BD센터에서 수행한 시스템반도체 설계인력양성사업의 연구결과입니다.