

## 고정패턴잡음 제거를 위한 적외선 이미지 센서용 CMOS 검출회로 설계에 관한 연구

신호현, 황상준, 유승우, 성만영  
고려대학교 전기공학과

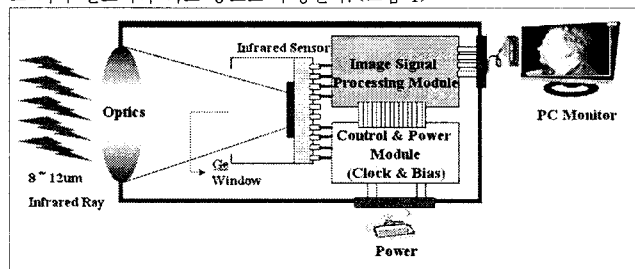
### A Design of CMOS ROIC with Reduced Fixed Pattern Noise for Infrared Image Sensor Applications

Ho Hyun Shin, Sang Jun Hwang, Seung Woo Yu, and Man Young Sung  
Department of Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - 적외선 이미지 센서용으로 사용되는 마이크로 볼로미터 센서는 process variation으로 인하여 모든 볼로미터 센서의 셀이 정확한 저항값을 갖지 못하여 입력신호에 왜곡을 가져 온다. 본 논문에서는 적외선 이미지 센서용 CMOS 검출회로를 설계하는 데 있어, 이러한 볼로미터 셀 어레이의 고정패턴잡음(Fixed Pattern Noise)을 최소화하는 방법에 대해 연구하였다. 기존의 단일 입력 방식 검출회로는 볼로미터 셀어레이의 고정패턴잡음을 보정하기 위하여 추가적인 보정 회로를 필요로 하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 차동 입력 방식 검출회로를 제안하였으며, 이를 적용하여 출력에 살펴본 결과 추가적인 보정회로 없이 20%의 노이즈 감쇠효과를 얻을 수 있다. 연구 결과를 바탕으로 32 X 32 크기를 갖는 셀어레이의 볼로미터를 구성하여 전체 칩을 설계하였으며 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 결과를 분석하였다.

#### 1. 서 론

외부로부터 빛의 공급 없이 물체에서 방출되는 복사 에너지를 모아 피사체의 영상을 얻는 장비를 통칭하여 적외선(Infrared : IR) 열상 장비(Thermal Imaging System)라고 하며, 현재 산업, 군사, 의학 등 많은 분야에서 활용되고 있다. 적외선 열상 장비는 크게 에너지를 흡수하는 광학계, 적외선을 감지하여 전기적 신호로 바꾸는 적외선 검출기(IR Detector), 검출기에서 발생한 신호를 영상 신호에 적합하도록 처리해주는 검출 회로, 그리고 기타 신호처리 회로 등으로 구성된다.<그림 1>



<그림 1> 적외선 영상 검출 시스템의 구성도

입사된 적외선 에너지를 전기적 신호로 바꾸기 위해서 사용되는 볼로미터 센서는 여러 개의 셀어레이로 구성되고, 각각의 볼로미터 센서는 입사된 적외선 에너지에 반응하여 일정한 저항값을 갖게 된다. 변화된 저항값은 기준 저항(Reference Resistor)과 비교되어 전압 분배 법칙에 의해 전압 신호를 발생시킨다. 이 전압 신호는 검출회로(Read-Out Integrated Circuit)의 입력단으로 전달되어 적분기에 의해 증폭된다.[1]

그러나 볼로미터 센서 셀 어레이 각각의 저항값이 process variation으로 인하여 모두 같은 값을 갖지 못하게 되어 고정패턴잡음(Fixed Pattern Noise)을 발생시키고 결국 검출기에 입력되는 신호에 왜곡을 일으키게 된다. 본 논문에서는 이러한 고정패턴잡음을 최소화하기 위하여 검출회로의 입력단을 차동 형태로 구성하는 방법을 모색하였으며 기존의 단일 입력 형태 검출회로와 시뮬레이션 결과를 비교, 분석하였다[2, 3].

이어지는 본론에서는 차동 입력 방식 검출회로의 구성 및 특성에 대해 먼저 살펴보고 각 방식을 적용하였을 때의 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였다.

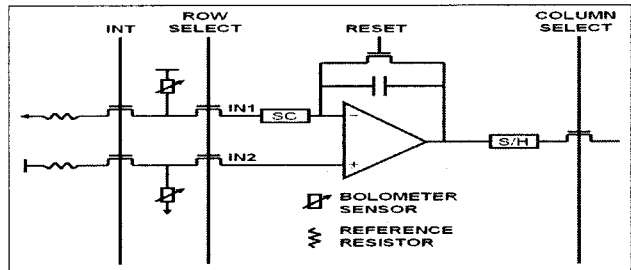
#### 2. 본 론

##### 2.1 차동 입력 방식 검출 회로의 구성

차동 입력 방식 적외선 센서 검출 회로는 <그림 2>와 같이 구성된다. 볼로미터 센서 셀 어레이 내의 인접한 셀은 각각  $V_{DD}$ 와  $V_{SS}$ 에 연결되며 기준 저항과 직렬로 연결된다. 볼로미터 센서 셀과 기준 저항 사이의 연결노드에서 각각의 저항값 차이에 의한 전압 신호가 발생된다.(1)

$$V_{IN1} = \frac{(V_{DD} + V_{SS})R_{REF}}{(R_{BOL} + R_{REF})} \quad (1)$$

$$V_{IN2} = \frac{(V_{DD} + V_{SS})R_{BOL}}{(R_{BOL} + R_{REF})}$$



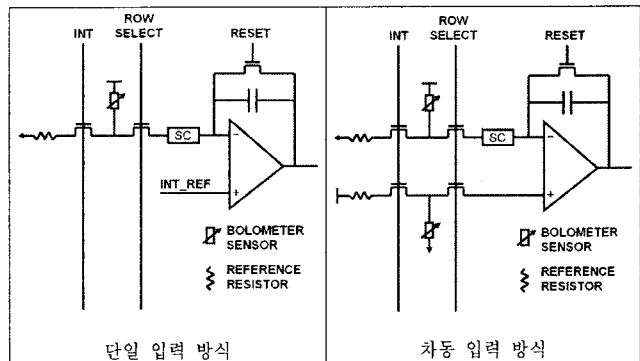
<그림 2> 적외선 센서 검출 회로의 구성

셀어레이에서 형성된 전압 신호는 적분 신호(INT) 및 행선택 신호(ROW SELECT)를 받아 switched capacitor 형태로 구성했기 때문에 적분기 구동을 위해서는 추가적인 클럭신호가 필요하며 적분기의 전달특성 식은 (2)와 같다.[4]

$$V_o(z) = -\frac{C_1}{C_2} \frac{1}{1-z^{-1}} V_i(z) + \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \frac{1}{1-z^{-1}}\right) E_{an}(z) \quad (2)$$

입력된 신호는 적분기에 의해 증폭되어 이어지는 SAMPLE and HOLD 회로에 전달된다. SAMPLE and HOLD 회로는 적분이 완료되었을 때의 신호를 저장하고 있다가 최종 COLUMN 신호를 받아서 출력으로 내보내는 역할을 한다. 지금까지 살펴본 차동 입력 방식 검출회로의 동작을 바탕으로 다음 장에서는 기존의 단일 입력 방식 회로와 비교 분석하겠다.

##### 2.2 단일 입력 방식 검출회로와의 비교



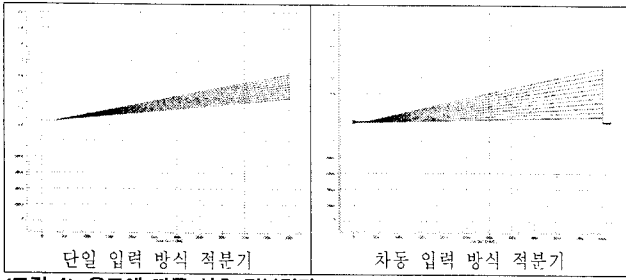
<그림 3> 단일 입력 방식과 차동 입력 방식 입력단 및 적분기 구성

<그림 3>과 같이 단일 및 차동 입력 방식에 대한 검출회로의 특성을 비교하기 위하여 입력단과 적분기를 구성하였다. 단일 입력 방식 적분기의 (+) 단자에는  $V_{DD}$ 와  $V_{SS}$ 의 중간값(INT\_REF)이 인가되고 적분기는 이 값을 기준으로 (-)단자로 입력되는 전압신호를 적분하게 된다. 반면에 차동 입력 방식 적분기의 (+) 단자에는 (-) 단자에 연결된 볼로미터 센서 셀의 인접 셀이 연결되어 있어, 두 셀 중 어느 하나의 셀에 고정패턴잡음이 발생하면 잡음에 의한 왜곡을 줄여주고 전체적인 증폭률을 상승시키는 역할을 하게 된다.

볼로미터 센서의 온도에 따른 저항값은 <표 1>과 같으며 30℃일 때 1MΩ을 기준으로 10℃ 상승할 때마다 2kΩ씩 감소하게 된다. 각각의 적분기를 동일한 볼로미터 환경하에서 시뮬레이션한 결과는 <그림 4>와 같다.

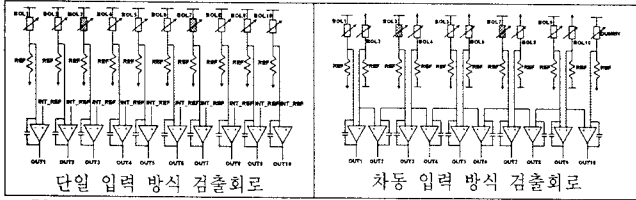
<표 1> 온도에 따른 볼로미터의 저항값

온도(℃)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
저항(kΩ)	1006	1004	1002	1000	998	996	994	992	990	988	986



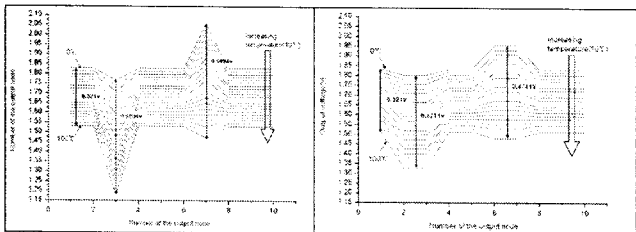
〈그림 4〉 온도에 따른 신호 적분결과

고정패턴잡음 감쇠효과를 확인하기 위하여 위에서 설명한 적분기를 바탕으로 <그림 5>와 같이 10개의 셀과 적분기를 구성하였으며 3번 셀과 7번 셀의 볼로미터 센서 셀은 1%의 고정패턴잡음을 가지고 있다고 가정하였다.



〈그림 5〉 단일 입력 방식과 차동 입력 방식 검출회로의 구성

<그림 6>은 위에서 구성한 단일 입력 방식과 차동 입력 방식 검출회로에 대한 시뮬레이션 결과 그래프이다. x축은 OUT1부터 OUT10까지 출력 단자의 번호이고, y축은 각각의 단자에서의 출력전압이다. 0°C부터 100°C까지 10°C 간격으로 온도를 변화시키며 시뮬레이션을 수행하였으며 단일 입력 방식과 차동 입력 방식의 검출회로의 증폭률이 같기 때문에 각각의 회로에 대해서 고정패턴잡음이 없는 정상적인 셀의 경우, 0°C와 100°C에 해당하는 출력전압 값의 차는 0.321V이었다. 그러나 볼로미터 센서에 고정패턴잡음이 1% 발생한 경우 단일 입력 방식의 0°C와 100°C에 해당하는 출력전압 차이는 0.5894V, 차동 입력 방식에서는 0.4741V로 나타났다. 따라서, 검출회로를 차동 입력 방식으로 구성하면 공정변화에 의해 발생하는 고정패턴잡음은 약 20% 개선되는 것을 알 수 있다.



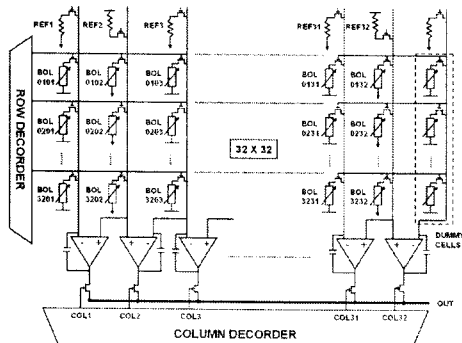
〈그림 6〉 단일 입력 방식과 차동 입력 방식의 시뮬레이션 결과

아래 장에서는 이렇게 고정패턴잡음을 개선하기 위해서 제안한 차동 입력 방식의 검출회로에 대한 구성 및 설계 방법에 대해서 알아보았다.

## 2.3 검출회로의 제작 및 특성

### 2.3.1 검출회로의 구성

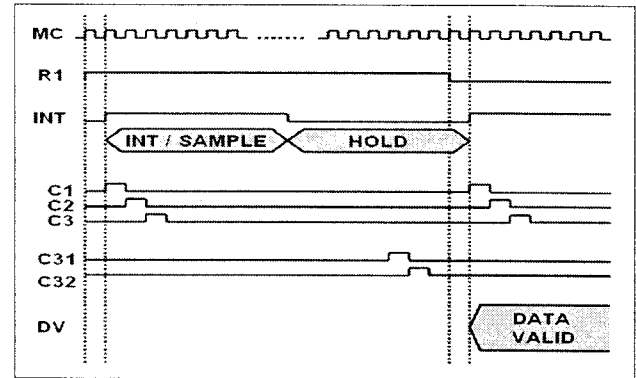
검출회로는 <그림 7>에서 나타내는 것과 같이 크게 적외선 신호를 전기적 신호로 바꾸어 주는 볼로미터 센서 셀어레이, 입력된 전기적 신호를 증폭시켜 주는 적분기 및 Sample & Hold 회로, 그리고 영상시스템으로 신호를 전달하기 위한 디코더로 구성이 된다. 본 연구에서는 32 X 32 볼로미터 셀어레이를 구성하였다. 따라서 32개의 적분기와 ROW 디코더 및 COLUMN 디코더를 설계하였다.



〈그림 7〉 차동 입력 방식 검출회로의 구성

### 2.3.2 Timing Diagram

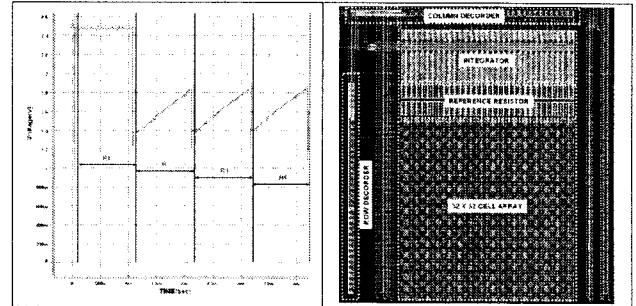
Row신호 구간 내에는 적분신호 및 sample and hold 신호, 32개의 column 신호가 필요하며 이러한 신호들은 외부에서 인가되는 MC(Master Clock)를 이용해서 생성하는데, 이 때 MC 신호의 주기는 초당 frame 수 및 셀어레이의 크기에 따라 결정된다. 신호 증폭을 위한 적분 신호가 인가되는 동안 sample and hold 회로는 sampling 동작을 하며 적분 및 sampling이 끝나면 그 시점의 출력 신호를 holding하게 된다. 이렇게 holding 된 신호는 column 신호를 받아서 최종적으로 출력된다.



〈그림 8〉 Timing Diagram

### 2.3.3 Full Chip Simulation

Full chip을 시뮬레이션 하기 위해서, 우리는 볼로미터 센서에 입사되는 적외선 에너지가 센서의 오른쪽과 아래로 갈수록 온도가 2.5°C씩 감소하도록 입사된다고 가정하였다. <그림 9>는 시뮬레이션 결과로서 시간에 따른 출력 신호의 전압을 나타낸 것이다. R1 신호 구간에서는 첫번째 행의 신호가 적분되고 있어 출력으로 나오는 값은 없으며, R2 신호 구간에서부터 첫번째 행의 신호가 적분된 값이 출력되고 있다. 또한, 셀어레이의 오른쪽으로 갈수록 온도가 낮아지고 있어서 출력값이 점점 상승하여 나타나는 것을 볼 수 있으며 셀어레이의 아래로 갈수록 온도가 낮아지므로 R3구간에서 나오는 출력값이 R2에서 나오는 출력값보다 전체적으로 높은 것을 알 수 있다.



〈그림 9〉 시뮬레이션 결과

〈그림 10〉 Layout

[그림 11]은 칩 제작을 위해서 Layout을 한 모습이며 0.25um CMOS 공정을 기준으로 설계를 하였다. 기준저항은 저항값의 정확도를 높이기 위해서 polysilicon resistor를 이용하였으며 마이크로 볼로미터가 올라갈 자리에는 최상위 패달부분을 PAD OPEN 하였다.

## 3. 결 론

본 논문에서 제시한 차동 입력 방식의 검출회로를 통해서 우리는 기존의 단일 입력 방식 검출회로가 갖고 있던 고정패턴잡음에 의한 왜곡 효과를 20% 줄일 수 있었다. 이러한 차동 입력 방식 검출회로를 구성하는 방법과 설계방법에 대해서 연구하고 실제로 칩으로 제작하여 현재 공정 중에 있다. 앞으로의 연구는 적분기 자체 노이즈를 줄이고 증폭률을 안정적으로 향상시키기 위한 방향으로 이루어 질 것이다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Kawai, N., Kawahito, S., Electron Devices, IEEE Transactions, vol. 51, no. 2, pp.185-194
- [2] C.Jansson, U.Ringh, and K. Liddiard, Proc. SPIE, vol 2552, pp.644-652
- [3] Sang Won Park, Sang Jun Hwang, Seung Woo Hong, Man Young Sung, 2005 IEEE Midwest Symposium on Circuits and Systems
- [4] 박홍준, CMOS 아날로그 집적회로 설계(하), 시그마프레스, pp.910