

논문 23-2-1

기준신호 보상회로를 이용한 더블 샘플링 방식의 비냉각형 볼로미터 검출회로 설계에 관한 연구

A Study on Double Sampling Design of CMOS ROIC for Uncooled Bolometer Infrared Sensor using Reference Signal Compensation Circuit

배영석¹, 정은식¹, 오주현¹, 성만영^{1,a}
(Young-seok Bae¹, Eunsik Jung¹, Juhyun Oh¹, and Man Young Sung^{1,a})

Abstract

A bolometer sensor used in an infrared thermal imaging system has many advantages on the process because it does not need a separate cooling system and its manufacturing is easy. However the sensitivity of the bolometer is low and the fixed pattern noise(FPN) is large, because the bolometer sensor is made by micro electro mechanical systems(MEMS). These problems can be fixed by using the high performance readout integrated circuit(ROIC) with noise reduction techniques. In this paper, we propose differential delta sampling circuit to remove the mismatch noise of ROIC itself, the FPN of the bolometer. And for reduction of FPN noise, the reference signal compensation circuit which compensate the reference signal by using on-resistance of MOS transistor was proposed.

Key Words : ROIC, FPN, Differential delta sampling, Reference signal compensation circuit

1. 서론

적외선 영상 시스템에 활용되는 적외선 검출기는 크게 광전형과 열전형으로 구분된다. 열전형은 입사광의 포톤을 이용하는 광전형에 비해 감도가 낮고 응답 속도가 msec 단위로 느리나 제작이 용이하고, 별도의 냉각장치가 필요치 않아 가격이 저렴하다는 장점이 있어 많이 활용되고 있다. 열전형 검출기는 온도변화에 따른 저항 변화를 이용한 볼로미터형, 유기되는 기전력을 이용하는 열전퇴형, 그리고 유전체의 표면 전하의 변화를 이용하는 초전기형 등으로 구분되며 특히, 이 중에서 볼로미터형 검출기가 제작의 용이성 때문에 널리 사용되고 있으며 관련된 많은 연구가 활발히 진행 중이다.

하지만 MEMS 공정으로 제작되는 볼로미터 센서는 균일성이 열악하여 고정패턴잡음(Fixed pattern

noise, FPN)이 발생하는 단점이 있다. FPN과 같은 잡음은 검출기에서 발생한 전기적 신호를 영상 신호에 적합하도록 처리하는 검출회로에 그대로 전달되어 최종 데이터에 영향을 미쳐 적외선 영상 시스템의 신뢰성을 떨어뜨리는 원인이 된다. 그러므로 이와 같은 문제점을 해결하기 위해선 검출회로 설계 시, FPN을 보상할 수 있도록 설계해야 한다[1].

본 논문에서는 비냉각형 볼로미터 적외선 센서의 FPN뿐만 아니라 검출회로 자체에서 발생하는 잡음을 최소화하기 위해 더블 샘플링 방식의 차동 델타 샘플링(Differential delta sampling, DDS) 회로를 설계하였으며 더블 샘플링 방식에 필요한 일정한 기준신호를 만들기 위해 고정바이어스 방식의 신호 검출기인 기준신호 보상회로를 설계하였다. 또한 적외선 입사에 의한 미세한 검출신호를 극대화하기 위해 가변 이득 증폭기(Variable gain amplifier, VGA)를 설계하였다. 설계한 검출회로의 성능을 파악하기 위해 실제 제작된 볼로미터의 측정 데이터를 기준으로 시뮬레이션을 수행하였다.

1. 고려대학교 전기공학과

(서울시 성북구 안암동 5가 1)

a. Corresponding Author : semicad@korea.ac.kr

접수일자 : 2009. 12. 1

1차 심사 : 2010. 1. 15

심사완료 : 2010. 1. 21

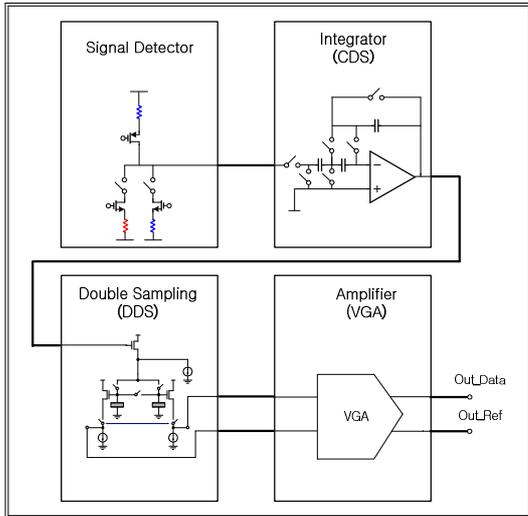


그림 1. 제안한 검출회로의 구성도.
Fig. 1. Block diagram of proposed ROIC.

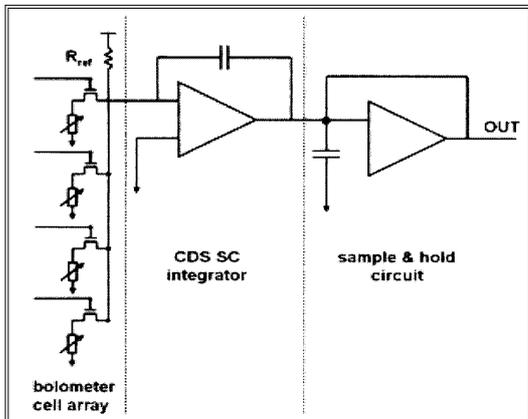


그림 2. 기존 검출회로의 구성도.
Fig. 2. Block diagram of conventional ROIC.

2. 제안 회로 및 구조

2.1 제안 회로의 구성

그림 1은 본 논문에서 제안하는 더블 샘플링 방식 CMOS 검출회로의 전체적인 구성도이다. 그림 2의 기존 검출회로[1]와는 달리 적외선 입사 에너지를 전압 신호로 검출하는 신호 검출기와 신호 검출기로부터 안정적인 출력과 미세 신호의 증폭 역할을 하는 적분기, 적분된 두 신호를 샘플링하는 더블 샘플링 회로, 그리고 샘플링 회로의 미세한 출력을 증폭하기 위한 증폭기로 구성된다.

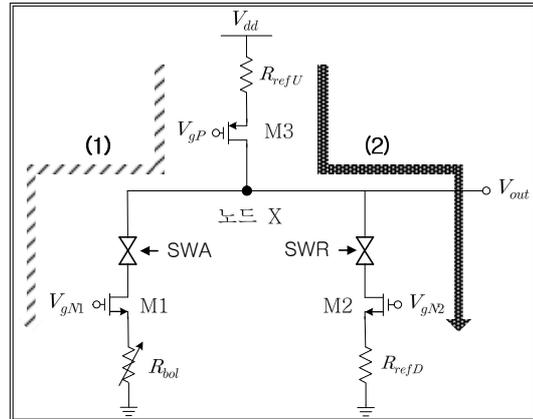


그림 3. 기준신호 검출회로.
Fig. 3. Reference signal compensation circuit.

2.2 기준신호 보상회로의 설계

적외선 센서에서 신호를 검출하는 신호 검출기는 방식에 따라 크게 두 가지로 나뉜다. 이는 볼로미터에 일정한 전압을 인가하여 입사된 적외선 에너지에 따른 저항변화를 전압 신호로 검출하는 고정바이어스 방식과 볼로미터에 일정한 전류를 흘려주어 생성된 전압 신호를 검출하는 고정전류 방식이다.

본 논문에선 전압감응도가 낮으나 구현하기 쉬운 고정바이어스 방식으로 신호 검출기를 설계하였으며 기존의 검출회로에서 문제가 되었던 FPN에 의한 잡음이 검출신호에 포함되어 검출 능력을 떨어뜨리는 문제점을 보상할 수 있도록 설계하였다. 제안한 기준신호 보상회로는 그림 3과 같으며 일반적인 고정바이어스 방식의 회로와 달리 nMOS와 pMOS가 각각 볼로미터(R_{ref})와 기준저항(R_{refU})에 직렬 연결되어있다. 또한 더블 샘플링에 필요한 기준신호의 형성을 위해 추가적인 기준저항(R_{refD})이 볼로미터에 병렬 연결되어있다.

더블 샘플링 기법을 사용한 검출회로에서 안정적인 신호 검출을 위해 기준이 되는 데이터가 일정해야한다. 즉, 제안한 검출회로에서 신호를 안정적으로 검출하기 위해선 (1)방향을 통해 발생하는 기준 전압이 일정해야 한다. 만약 이 값이 일정하지 않다면 (2)방향을 통해 샘플링되는 검출신호와의 차이에 변화가 발생하며 이로 인해 검출된 최종 출력의 신뢰성이 떨어지기 때문이다.

본 논문에서 제안된 회로는 FPN에 의한 기준신호의 변화를 보상하기 위해 각 볼로미터에 MOSFET를 연결하여 FPN에 의한 볼로미터 저항값의 변화

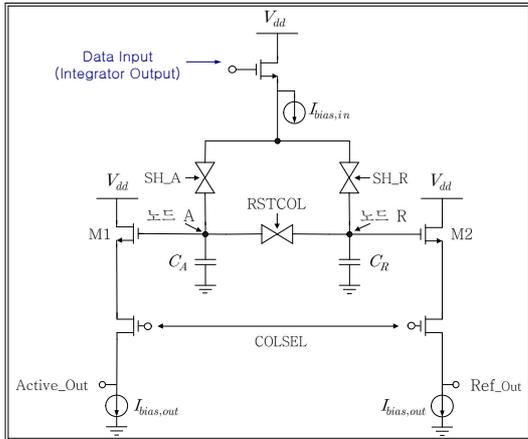


그림 4. 차동 델타 샘플링 회로.
Fig. 4. Differential delta sampling circuit.

량에 해당하는 잡음효과를 MOSFET의 저항으로 보정할 수 있게 설계하였다. 즉, 노드 X에 일정한 전압($V_{dd}/2$)이 인가되기 위해서 각 볼로미터에 가변저항을 연결한 것이다. 각 MOSFET는 트라이오드 영역의 온 저항으로 사용되며 저항값은 게이트 전압에 의해 조절된다.

2.3 더블 샘플링 회로 설계

본 논문에서는 MEMS 공정으로 제작되는 볼로미터 센서에서 발생하는 FPN뿐만 아니라 검출회로 자체에서 발생하는 잡음 효과를 줄이기 위해 차동 출력 방식인 더블 샘플링 회로를 제안하였다. 그림 4는 본 논문에서 제안한 더블 샘플링 회로로 두 샘플링된 신호의 차이를 데이터로 출력하는 DDS 회로이다.

DDS의 입·출력 과정을 간단하게 살펴보면 다음과 같다. 적분기를 통해 적분된 기준신호와 검출신호는 각각의 스위칭 신호에 의해서 DDS 입력단인 소스 폴로워에 전달된다. 입력된 각각의 데이터는 다시 DDS 내부의 스위칭 신호(SH_A, SH_R)에 의해서 각각의 커패시터(C_A , C_R)에 저장되고 저장된 데이터는 출력 신호(COLSEL)에 의해 두 번째 소스 폴로워를 통해 동시에 출력된다. DDS 회로는 위와 같이 기준신호와 검출신호를 동시에 출력하기 때문에 두 신호간의 차이를 통해 적외선 입사 에너지에 따른 볼로미터의 저항 변화를 데이터화할 수 있다. 이와 같은 차동 출력은 잡음 효과에 의한 영향을 제거할 수 있게 해준다.

또한 DDS 회로는 커패시터에 저장되었던 신호들을 리셋하는 과정에서 발생할 수 있는 리셋잡음을 최소화하기 위해 커패시터의 리셋을 “0” 전위가

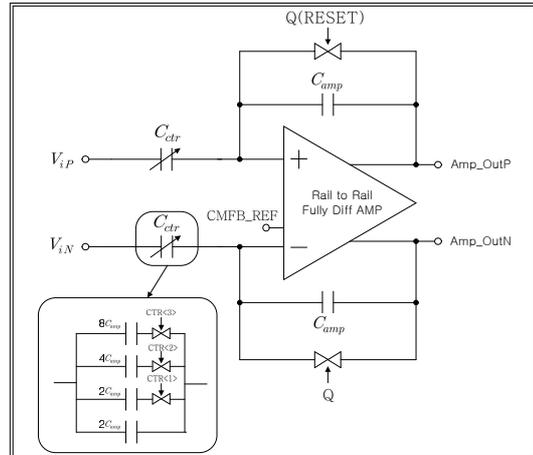


그림 5. 가변 이득 증폭기.
Fig. 5. Variable gain amplifier.

아닌 두 커패시터의 중간 전위로 리셋 시키는 방식을 사용하였다. 그림 4에서 볼 수 있듯이, 리셋 신호(RSTCOL)를 통해 노드 A와 노드 R을 연결시킬 수 있게 하였다.

2.4 증폭기 설계

볼로미터를 센서용 적외선 검출회로는 입사되는 적외선 에너지에 의한 볼로미터 저항의 변화가 미세하기 때문에 검출회로의 증폭능력을 향상시키는 것이 매우 중요하다. 이에 따라 본 논문에서는 증폭능력의 유연성을 향상시키고 다이내믹 레인지를 증가시키기 위해, 외부에서 이득 조절이 가능한 증폭기인 VGA를 설계하였다[2]. VGA의 이득은 클럭(CTR<1>~CTR<3>)을 조절하여 최소 2배에서 최대 16배까지 조절할 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과

제안된 검출회로의 성능을 살펴보기 위해 기준 저항에 임의로 5% 이내 FPN을 적용하여 시뮬레이션 하였다. 온도에 따라 선형적인 출력 특성이 나타나도록 볼로미터의 저항을 설정하였다. 그림 6(b)와 같이 제안한 검출회로는 선형적인 출력 특성을 보였으며 이를 통해 FPN에 의한 잡음이 보상되었음을 알 수 있었다.

4. 결론

적외선 열영상 시스템에 사용되는 볼로미터 센서는 냉각장치가 따로 필요치 않아 제작이 용이하

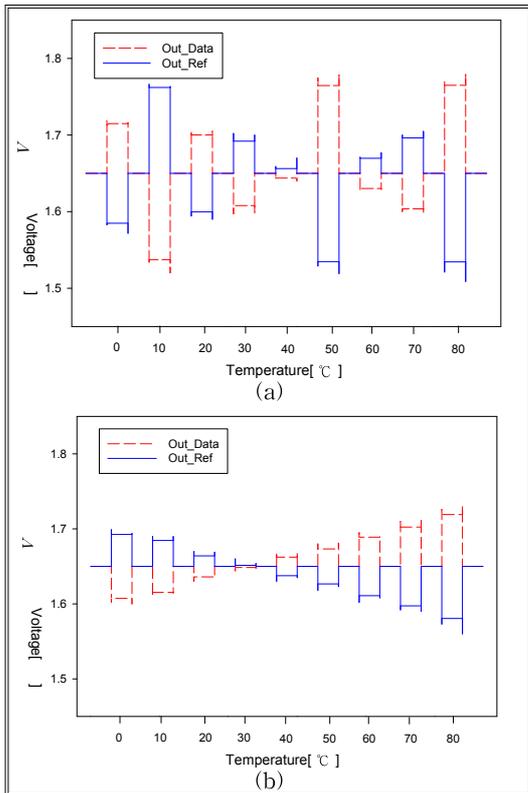


그림 6. (a) 기존회로와 (b) 제안회로의 전체 칩 시뮬레이션.

Fig. 6. Full chip simulation of (a) Conventional circuit, (b) Proposed circuit.

다는 장점이 있지만, FPN이 심하다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 볼로미터의 이러한 문제점을 검출회로의 특성 향상을 통해 해결하고자 하였다.

고정바이어스 방식의 기준신호 보상회로와 더블 샘플링 방식의 DDS 회로를 사용하여 검출회로 자체에서의 부정합에 의한 잡음과 볼로미터의 FPN의 억제 방안에 대하여 살펴보았다. 또한 이득이 최대 256배까지 조절 가능한 VGA회로를 사용하여 미세한 신호의 증폭을 극대화 하였다.

시뮬레이션 결과 제안한 회로가 FPN에 의한 잡음을 효과적으로 보정 할 수 있었다. 또한 설계한 회로는 삼성 0.18 μm 표준 CMOS 공정을 통해 칩으로 제작되었다. 그림 7(a)의 테스트 보드로 볼로미터 대신 가변저항을 사용하여 테스트를 하였다. 그림 7(b)와 같이 테스트 결과도 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 FPN이 보상된것을 확인하였다.

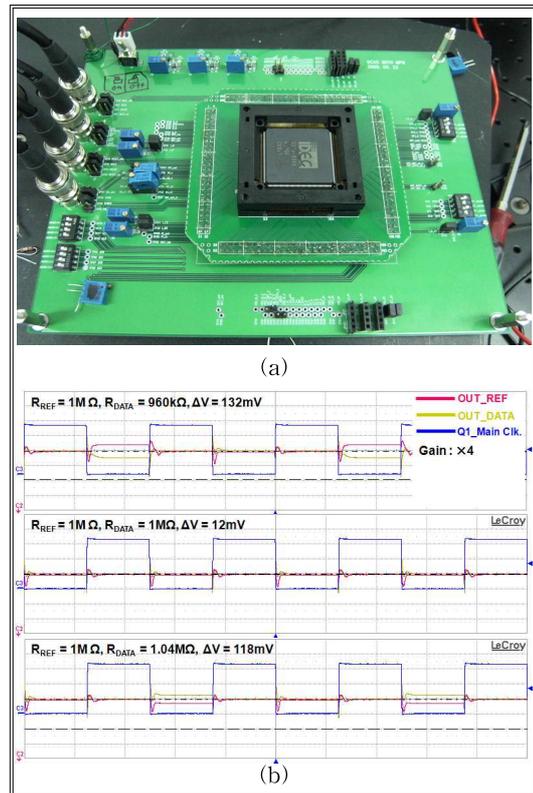


그림 7. (a) 테스트 보드와 칩, (b) 칩 테스트 결과.
Fig. 7. (a) Test board with Chip, (b) Chip test Result.

감사의 글

본 연구는 (주)오카스와 공동 연구로 진행되었고 IDEC MPW 칩 제작 지원을 받았습니다.

참고 문헌

- [1] H. H. Shin, S. J. Hwang, E. S. Jung, S. W. Yu, and M. Y. Sung, "A readout IC design for the FPN reduction of the bolometer in an IR image sensor", Trans. Electr. Electron. Mater., Vol. 8, No. 5, p. 196, 2007.
- [2] S. G. Kang, D. H. Woo, and H. C. Lee, "Multiple integration method for high signal-to-noise ratio readout integrated circuit", IEEE Transactions on Circuits and Systems, Vol. 52, No. 9, p. 553, 2005.