

중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로 설계

강상구, 김병혁, 이희철

한국과학기술원 전자전산학과, 대전 305-701

전화 : 042-869-8046 / 핸드폰 : 016-436-2605

Readout Circuit Design for Dual Band IR Detector

Sang Gu KANG, Byung Huck KIM, Hee Chul LEE

Electrical Engineering & Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305-701

E-mail : kangsg@pretty.kaist.ac.kr

Abstract

A readout circuit for Dual band IR detector was proposed and designed. Designed circuit provide to detector a stable diode bias and high injection efficiency using Buffered Direct Injection (BDI) input circuit. Then, amplifier in the unit cell is operated when cell is selected in order to minimize the power consumption. We could confirm through the simulation that designed circuit integrate and output simultaneously the signal generating from the dual band IR detector.

I. 서론

PV형태(photo-voltaic type)의 적외선 감지소자는 입사되는 적외선의 세기에 비례하여 광전류를 발생시킨다. 이 때 적외선 감지소자에서 발생하는 광전류는 상온의 물체에 대하여 수십nA까지 변화하게 되고, 이 전류의 변화를 전압으로 변환 증폭하여 순차적으로 출력에 나타내는 일을 readout 회로에서 수행하게 된다. 즉, readout 회로는 적외선 감지소자 어레이로부터 발생되어지는 전류를 적분하고 증폭하며, 전압으로 변환한 후, 신호처리(signal processing)까지의 일을 수행하

게 된다.

중적외선(MWIR : Mid-Wave InfraRed)과 원적외선(LWIR : Long-Wave InfraRed)을 동시에 검출하는 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로는 두 개의 서로 다른 대역의 적외선 감지소자에 대해, 위에 언급한 readout회로의 특성을 모두 만족시켜야 한다. 특히, 중·원 적외선 동시 검출기는 두 대역의 적외선 감지소자가 하나의 노드(node)를 공유하기에, 두 감지소자의 전류가 합쳐져서 출력 될 수 있으므로 이 전류를 각각 분리 할 수 있어야하며, 한 적외선 감지소자의 바이어스(bias) 전압이 흔들릴 경우 다른 감지소자의 특성에 영향을 끼칠 수 있다. 따라서, 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로는 안정적인 바이어스 유지 특성과, 두 적외선 감지소자의 전류 분리 특성을 위한 입·출력단의 설계가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 이러한 readout회로의 특성을 만족하는 회로를 제안하고자 한다.

II. 본론

중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로의 구조는 그림1과 같다. Readout회로와 결합되어질 중·원 적외선 동시 검출기는 중적외선 감지소자와 원적외선 감지소자가 하나의 노드(node)를 공유하는 구조로

되어있다. 이를 위한 readout회로는 각각의 적외선 감지소자에서 발생하는 전류를 분리하여 그 신호를 적분하고 감지소자의 바이어스를 유지시키는 입력회로와 주기적으로 단위 셀을 선택하고 버퍼링(buffering)을 해주는 출력단으로 구성되어 있다.

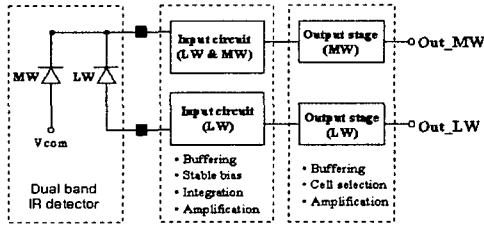


그림1 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로의 구조

Readout 회로의 성능을 가장 크게 좌우하는 것은 입력회로 부분이다. 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 입력회로는 큰 dynamic resistance를 갖는 중적외선 감지소자 뿐만 아니라, 비교적 작은 dynamic resistance를 가지는 원적외선 감지소자의 특성도 만족시킬 수 있는 구조를 가져야 한다. 이러한 입력회로는 두 적외선 감지 소자에 낮은 임피던스(impedance)를 제공함으로써, 안정적인 바이어스 특성 및 높은 주입효율(injection efficiency)을 제공할 수 있게 된다. 만약 입력회로의 입력 임피던스가 적외선 감지소자의 dynamic resistance보다 무시할 수 없을 만큼 크다면, 발생되어진 전류가 입력회로로 모두 전달되어지는 것이 아니라, 적외선 감지소자의 dynamic resistance을 따라 흘러 버리게 되어서, 신호의 손실로 인해 SNR 측면에서 특성저하를 가져오게 된다.

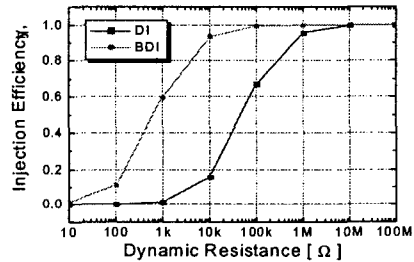
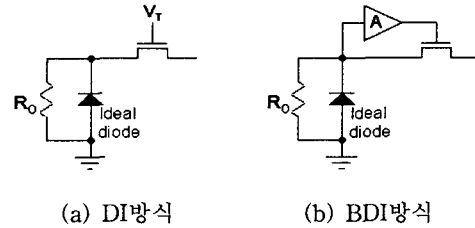
일반적인 DI(Direct Injection)방식의 입력회로는 그림2 (a)와 같은 구조로 이루어져 있으며, 주입효율(injection efficiency)은 식(1)처럼 표시된다. 작은 dynamic resistance을 가진 적외선 감지 소자에 대해서는 입력회로의 입력 임피던스를 무시할 수 없게되어 주입효율이 작아져서, 발생되어진 전류 모두를 입력회로 쪽으로 주입시킬 수 없게되어 신호의 손실이 발생하게 된다.^[1]

$$Injection\ efficiency = \frac{I_{int}}{I_{ph}} = \frac{R_{det} \cdot g_m}{1 + R_{det} \cdot g_m} \quad - (1)$$

그림2 (b)에 보인 BDI(Buffered Direct Injection)방식의 입력회로는 위 식의 g_m 대신에 식(2)를 넣어 주면 된다.

$$g_m' = g_m \cdot (1 + A) \quad - (2)$$

따라서 BDI방식을 사용함으로써, 사용되어지는 증폭기의 이득에 의한 입력 임피던스 감소 효과를 얻을 수 있어서, 그림2 (c)에 보인 것처럼 DI방식의 입력회로보다 우수한 주입효율 특성을 가질 수 있게 된다. 그래서, 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout회로는 BDI방식의 입력 회로를 선택하였다. 실제 90% BLIP(Background Limited Infrared Photo-diode)조건을 만족하기 위해 필요한 적외선 감지소자의 dynamic resistance는 중적외선 감지소자와 원적외선 감지소자에 대해서 각각 $5M\Omega$ 과 $400k\Omega$ 인데, simulation결과 BDI방식을 사용함으로써 주입효율이, 두 경우 모두 1에 가까운 값을 얻을 수 있었다. 또한, 적외선 감지소자의 전류가 $50nA$ 까지 변화하더라도 바이어스 전압이 $20\mu V$ 이내로 변화하여서, 안정적인 바이어스 특성 또한 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.



(c) 주입효율(Injection efficiency)

그림2 DI방식의 입력회로와 BDI방식의 입력회로 비교

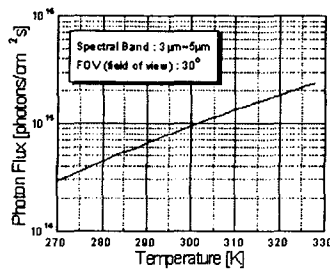
중·원 적외선 동시 검출기는 중적외선 감지소자와 원적외선 감지소자가 하나의 노드를 공유하기에 각각의 적외선 감지소자에서 발생되어지는 전류를 동시에 적분하기 위해서 각각을 위한 integration capacitor를

중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로 설계

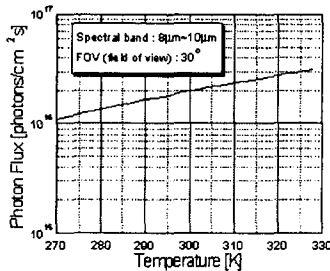
두었다. 실제 증적외선 감지소자에서는 상온의 물체를 바라보았을 때, 식(3)과 그림3의 photon flux의 양을 이용해서 발생할 전류를 계산해보면 10nA정도의 전류가 발생할 것으로 예상된다. 따라서, 250 μs의 적분시간을 감안하여 integration capacitor의 용량을 3pF으로 하였으며, 원적외선 감지소자에서도 같은 방법으로 150nA정도의 전류가 예상되어지기에 integration capacitor의 용량을 20pF으로 결정하여 설계를 하였다.

$$I_{det} = q \cdot A \cdot FF \cdot \eta \cdot \Phi_F \quad - (3)$$

여기서, FF 는 fill factor를 의미하며, Φ_F 는 photon flux의 양을 의미한다.



(a) 증적외선



(b) 원적외선

그림3 파장대에 따른 Photon Flux의 양

위와 같은 설계를 바탕으로 해서 그림4와 같은 회로를 제안하였다.^[2] 설계한 회로는 BDI방식의 입력회로를 사용하였으며, 각각의 integration capacitor에 적분되는 신호는 단위셀 증폭기(unitcell amp)를 거쳐서 bus line을 타고 출력단 증폭기로 전달되어진다. 단위셀 증폭기는 그림5와 같이 전력 소모를 작게 하기 위해서, 단위셀이 선택되어졌을 때에만 동작하도록 하여 저 전력 특성을 갖도록 하였다. 출력단의 증폭기는 100pF의 load capacitance에 대해서 2 μsec 이하의 settling time을 갖도록 설계하였다.

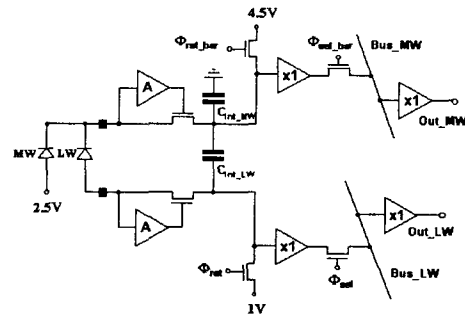


그림4 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로

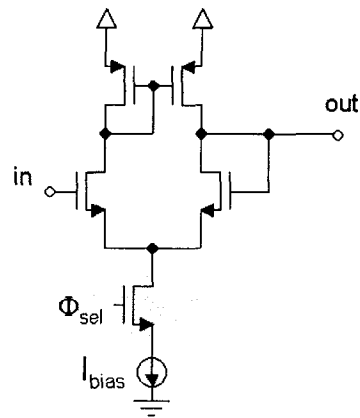


그림 5 단위 셀 증폭기의 회로도

회로의 동작을 살펴보면, 두 적외선 감지소자에서 발생되어지는 전류가 BDI방식의 입력회로를 거쳐서 integration capacitor에 저장이 되게 되고, 주기적으로 selection switch에 의해서 선택이 되어져서 출력으로 나오게 되며, 선택이 된 후에는 reset switch에 의해서 integration capacitor는 일정한 전압으로 reset이 되게 되고, 이와 같은 동작을 반복하게 된다. 그림6의 simulation 결과를 보면 발생되어지는 전류가 integration capacitor에 적분이 되고 주기적으로 출력으로 내보내지며, reset이 되는 것을 확인할 수 있다.

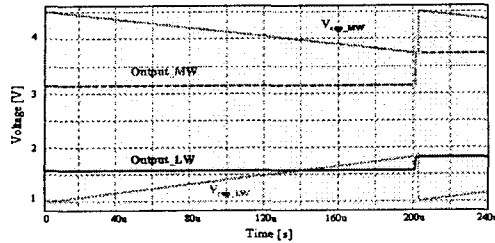


그림6 그림4의 중·원 적외선 동시 검출기를 위한 Readout 회로의 simulation 결과

III. 결론

중·원 적외선 동시 검출기를 위한 readout 회로 구조를 제안하고 설계하였다. 설계한 회로는 입력회로로서 BDI방식을 사용하였고, 중적외선 감지소자와 원적외선 감지소자에서 나오는 신호를 분리하여 동시에 적분할 수 있는 구조를 갖도록 설계하였다. 또한 단위셀의 증폭기를 switching함으로써 저 전력 특성을 갖게 하였다. Simulation결과 제안되어진 회로는 높은 주입효율 특성을 갖으며, 두 파장대에서 나오는 신호를 동시에 적분하고 주기적으로 출력하는 것을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Jerris F. Johnson, "Direct injection readout circuit model", SPIE, Vol. 2226, 1994.
- [2] Allen W. Hairston and Andover, "Double Direct Injection Dual Band Sensor Readout Input Circuit", US Patent 5523570, 1994