

능동픽셀센서 구동회로의 SPICE 모사 분석

남 형 진[†]

[†]충남 아산시 탕정면 갈산리 100 선문대학교 전자공학부

Characterization of Active Pixel Switch Readout Circuit by SPICE Simulation

Hyoung Gin Nam[†]

[†]Division of Electronic Engineering, Sun Moon University

ABSTRACT

Characteristics of an active pixel switch readout circuit were studied by SPICE simulation. A simple readout circuit consists of an operation amplifier, a diode, and a down-counter was suggested, and its successful operation was verified by showing that the differences in the detected signal intensity are accordingly converted to modulation of the voltage pulses generated by the comparator. A scheme to use these pulses to generate the original image was also put forward.

Key Words : Active pixel switch, Si PIN diode sensor, SPICE simulation

1. 서 론

최근 평면디스플레이, 디지털 카메라, 의료장비, 비파괴검사장비 등 다양한 분야에서 반도체 센서의 사용이 증대되고 있으며 이에 따른 연구가 활발히 진행되고 있다[1-6]. 반도체 센서는 CCD, CMOS, PIN 다이오드의 형태로 주로 제작되고 있으며 각 센서의 구동을 위한 구동회로는 크게 PPS회로와 Active Pixel Switch(APS) 회로가 있다. Passive Pixel Switch(PPS) 회로는 센서 하나에 스위치 용 트랜지스터 하나씩을 사용하는데, 처음 이 회로는 응답 속도가 빠르다는 장점에 의해 많은 이미지 센서 연구자들이 사용을 하였다. 하지만 시간이 지날수록 PPS 회로가 잡음대비 신호비율(S/N ratio) 즉 잡음에 매우 취약하다는 하다는 것을 알게 되었다. 이에 많은 연구자들이 시행착오를 겪으면서 개발해 낸 것이 APS 회로로 높은 대역폭과 신호처리를 위한 아날로그회로와의 연계가 용이한 것은[2] 물론 회로 자체에 미약한 신호에 대한 증폭작용이 있다는 것이 큰 장점이다. 아직도 이 부분의 개발은 활발히 이루어지고 있으며 각자만의 노하우에 의해 이미지 센서를 제작하고 있어 실용성 있는 센서 어레이 및 APS 회

로를 제작하는 기술의 확보가 용이하지만은 않다.

이에 본 연구에서는 실리콘 PIN 어레이 소자와 pMOSFET를 이용한 APS 회로를 따로 제작하여 bump bonding 기법으로 연결함으로써 실리콘을 사용한 센서 모듈을 제작하고자 하였다. 본 논문에서는 APS 회로 제작을 위하여 수행된 APS 회로에 대한 SPICE 모사 연구 결과에 대하여 서술한다.

2. 능동픽셀센서 및 구동회로의 구성

2.1. 능동픽셀센서

본 연구에서 분석한 APS회로는 p-channel MOSFET를 3개 이용하여 구성하였다. nMOS가 아닌 pMOS를 사용한 이유는 본 연구팀에 의해 개발되고 있는 실리콘 PIN 다이오드 형 센서의 능동영역이 defect gettering 효과를 증대하기 위해 p-type으로 형성되었기 때문이다[7]. 그림 1에 Reset 트랜지스터, Amp 트랜지스터, Read 트랜지스터라고 명명한 3개의 pMOSFET로 구성된 APS 회로를 제시하였다. 실리콘 PIN 다이오드 형 센서는 Reset 트랜지스터의 드레인에 연결되며 Read 트랜지스터의 출력은 각 행의 Bias 트랜지스터를 거쳐 최종 출력되게 된다.

APS회로의 동작 원리를 간단히 설명하면 우선

[†]E-mail : hgnam@sunmoon.ac.kr

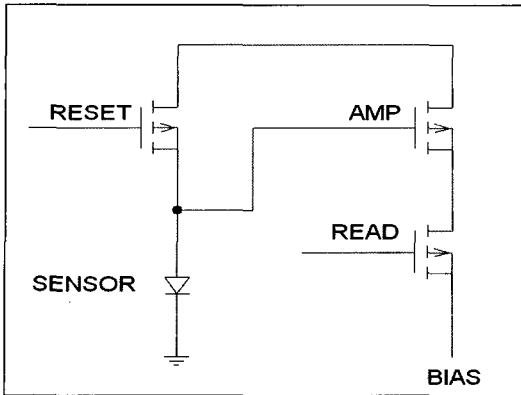


Fig. 1. APS circuit consists of three transistor, namely, Reset, Amp, and Read.

Reset 트랜지스터의 gate 단자에 적절한 전압을 인가하여 회로를 일정 시간 초기화 한 다음 게이트 전압을 제거하면 Reset 트랜지스터의 드레인 단자에 초기 전압 값 즉 센서의 구동전압이 설정되고 센서가 동작하게 된다. 이후 이 초기 전압은 센서에서 검출되는 신호의 크기에 따라 방전된다. 즉, 초기에 Amp 트랜지스터의 게이트 축전지에 저장된 전하는 센서가 검출한 신호가 클수록 빠른 시간에 방전되게 된다. Amp 트랜지스터의 채널 형성 정도는 이렇게 변화하는 게이트 전압에 의해 결정된다. 이러한 상태에서 Read 트랜지스터를 활성화하면 Amp 트랜지스터의 채널 형성 정도에 따라 증폭된 출력이 나오게 되는 것이다. 요약하여 말하면 Reset 트랜지스터는 픽셀의 초기화 및 센서 구동을 담당하게 되고 Read 트랜지스터는 픽셀의 구동을 담당하는 선택 스위치 역할을 하게 되며, Amp 트랜지스터는 Read 트랜지스터의 구동 시간에 따른 센서 검출 출력을 증폭하는 역할을 하게 되는 것이다.

2.2. 센서 구동회로

APS의 한 행마다 연결되는 센서 구동회로는 많은 경우 correlated double sampling(CDS) 기법을 채택하고 있으나 회로구현에 있어서는 다양한 형태에 대한 연구가 진행되고 있다. 그림 2에는 본 연구에서 구상한 구동회로를 제시하였다. 이는 Xu *et al.*[8]이 제안한 FVD(Fixed Voltage Difference) 기법을 보다 효율적으로 개선한 것이다. 즉, FVD의 문제는 두 개의 op-amp를 사용함에 따라 두 개의 참조 전압을 선정해야 하기 때문에 센서 노출시간이 증대되어야 한다는 것이다. 이런 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 op-amp 1개를 제거하였다. 이러한 경우 어레이 공정 상 각 센서의

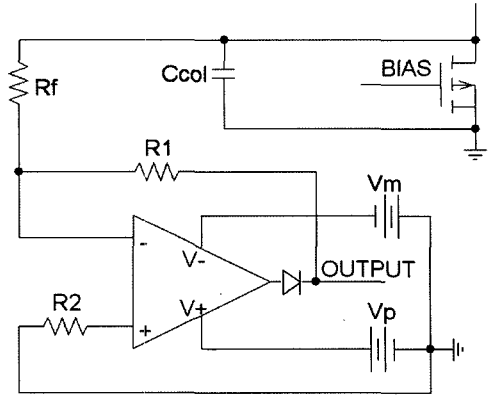


Fig. 2. Read-out circuit consists of an operational amplifier and a diode.

동작전압에 차이가 있을 수 있다는 문제는 있으나 다이오드를 op-amp의 출력단에 연결하여 전류의 역 흐름을 방지하였으며 회로의 크기를 크게 감소시킬 수 있다. 특히 펄스 폭 변조된 디지털 신호(그림 2에서의 OUTPUT)를 down-counter의 클럭으로 사용함으로써 counter값이 곧 감지된 신호의 크기를 나타내도록 하였다는 것이 큰 장점이라 하겠다.

동작원리는 개념적으로 비교기의 그것과 같아 센서 어레이의 각 열에서 출력된 신호는 column 축전지를 충전하고 여기서 축적된 전압은 op-amp의 참조전압과 비교되어 검출된 신호가 참조 전압보다 작은 시간동안 op-amp 동작전압에 해당하는 전압이 op-amp의 출력단에 나타나게 된다. APS회로의 Amp 트랜지스터 게이트 전압이 센서 센서가 검출하는 신호가 클수록 빨리 감소하므로 어레이의 각 열에서 출력되는 신호도 그 크기가 빨리 감소하게 되며 따라서 op-amp가 생성하는 출력의 폭도 감소하게 된다. 따라서 센서가 검출하는 신호의 세기는 구동회로 내 op-amp의 출력단에 생성된 신호의 폭에 반비례하게 되는 것이다.

본 연구에서는 이러한 출력신호의 폭을 측정하기 위하여 down-counter, 레지스터 등을 VHDL로 설계한 다음 FPGA로 구현하였다. 즉, op-amp의 출력 폭이 적을수록 counter는 큰 값을 갖게되는데 counter 값은 컴퓨터로 전송되어 모니터에 센서가 감지한 이미지로 재생되게 된다.

3. SPICE 모사 및 결과

3.1. SPICE 모사 환경 구축

능동 픽셀 및 구동회로 모사를 위한 환경 구축을 위

해 MicroSim 이라는 툴을 사용하여 4x4 센서 어레이 모듈을 구성하였다. 우선 Pixel 부분에서는 PIN 다이오드부와 APS 회로부가 존재하게 되는데 능동 픽셀 구동을 위한 reset 및 read 신호를 대신하여 펄스 전압원을 이용하였고 PIN 다이오드부는 PIN 다이오드의 특성 즉 전압이 인가된 상태에서 전류의 변화량이 출력으로 나오기 때문에 펄스 전류원 및 축전지와 저항으로 등가회로를 구성하였다. 한편 출력부는 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구진에서 구상한대로 한 개의 op-amp와 1개의 다이오드를 사용하여 구축하였다.

한 행에 가해지는 read 신호는 다음 행의 reset 신호로도 동작하도록 구성하였으며 reset 신호와 read 신호는 동시에 활성화되는 경우 없이 일정한 시간 동안 비활성화 상태로 머물고 있어 column line으로 이루어진 축전지에 축전된 전하들이 각 열에 하나씩 할당된 Bias 트랜지스터를 통해 방전될 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 수행 시에 reset은 0V와 -5V 사이를 toggle하도록 펄스를 설정하였고 Reset 트랜지스터의 인가 전압은 -2.5V, 기타 트랜지스터의 그것은 -0.7V로 설정하였다.

3.1.1. 모사 결과

그림 3에는 다이오드 센서의 구동에 따른 Amp 트랜지스터의 게이트 전압의 변화를 모사한 결과를 제시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 Reset 트랜지스터가 활성화되어 있는 동안에는 Amp 트랜지스터의 게이트 전압이 다이오드 센서의 구동전압으로 초기화되어 유지되는 것을 알 수 있다. Reset 트랜지스터가 비활성화 되고 Read 트랜지스터가 활성화 되면서 센서가 검출한 신호에 따라 Amp 트랜지스터의 게이트 전압이 방전되는 것을 알 수 있다. 이러한 모사 결과 초기화 시 Amp 트랜지스터의 게이트 전압은 센서 다이오드의 누설전류 및 저항에 의해 주로 결정이 되며 방전 특성 상 기

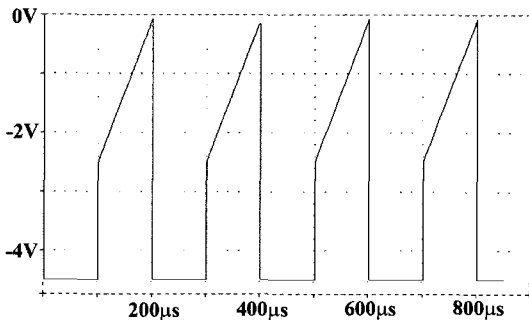


Fig. 3. Gate bias variation of Amp transistor with the operation mode and the current from the sensor diode.

울기는 다이오드의 저항 및 전류에, 방전 시간은 방사전 조사 시 다이오드에 흐르는 전류 값에 의해 주로 결정됨을 알 수 있었다.

그림 4에는 4x4 센서 어레이 중 하나의 행에서 출력되어 op-amp로 구성된 비교기로 입력되는 신호를 제시하였다. 본 시뮬레이션에서는 편의 상 같은 열에 있는 센서는 같은 크기의 신호를 감지한다고 가정하였으며 각 행 별로 센서에 의해 감지된 신호의 크기는 첫 번째 열이 가장 크며 아래 행으로 내려갈수록 작아진다고 가정하였다. 0.1 ms의 초기화 하는 시간을 포함하여 0.1 ms씩 각 열에 있는 센서의 신호가 출력되도록 Reset과 Read 트랜지스터의 게이트에 전압펄스를 인가하였으며 이러한 동작이 0.5 ms를 주기로 반복하도록 모사를 하였다.

그림에서 볼 수 있듯이 초기 0.1 ms 동안은 초기화가 이루어지는 구간으로 전압이 일정하게 유지되고 있다. 0.1 ms~0.2 ms 구간은 첫 번째 열에 있는 센서의 신호가 출력되며 따라서 전압이 매우 가파르게 0V로 방전되는 것을 알 수 있다. 센서 신호가 감소하는 아래 열의 Read 트랜지스터가 차례로 활성화되면서 비교기로 입력되는 신호가 방전되는 기울기가 완만하게 되는 것

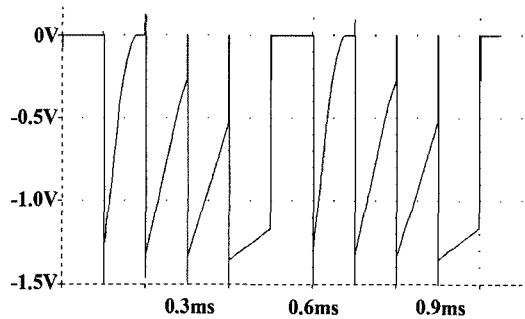


Fig. 4. Input signal to the comparator from a column of 4x4 sensor array module.

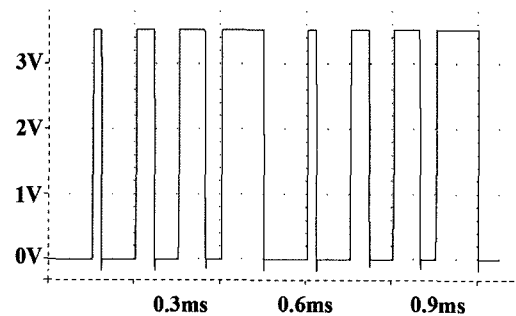


Fig. 5. Width variation of voltage pulses depending upon the signal intensity from sensors.

이 분명하게 나타난다. 즉, 센서가 감지하는 신호의 세기 차이가 방전되는 속도 차이로 나타나지는 것이다. 이러한 방전 기술기의 차이는 본 연구에서 구성한 출력단 회로에 의하여 디지털 펄스 폭의 차이로 변환된다.

그림 5에는 센서에 의해 감지된 신호 세기 차이가 디지털 펄스 폭으로 변환된 결과를 제시하였다. 비교기는 입력신호를 정해진 참조 전압과 비교하여 입력신호가 크면 0 작으면 약 3.5V를 출력하게 되어 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 첫 번째 열의 센서 신호가 출력되는 동안 펄스의 폭이 가장 좁고 아래 열로 내려가면서 펄스 폭이 증가한다.

Down-counter를 사용하여 펄스가 존재하는 동안 동작하게 한 다음 counter 값을 영상 처리하면 센서가 감지한 본래의 영상을 획득할 수 있게 되는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 실리콘 PIN 어레이 소자와 pMOS-FET를 이용한 APS 회로로 구성된 센서 모듈 및 센서 구동회로를 제작하기 위해 이들의 특성을 SPICE 모사로 분석하였다. 분석 결과 센서에서 감지된 신호의 크기에 따라 APS의 Amp 트랜지스터 게이트 전압이 변화함을 알 수 있었다. 또한 이러한 변화에 의해 감지 신호가 차등 증폭되어 비교기의 입력으로 전달되는 것을 보았다. 비교기는 본 연구진에 의해 하나의 op-amp와 하나의 다이오드로 구성된 비교적 단순한 형태로 구성되었으나 감지신호의 크기 차이를 디지털 펄스 폭의 차이로 잘 변환하는 것을 명확하게 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. M. L. La Haye, C. Jung, M. H. Izadi, G. H., Chapman, and K.S. Karim, "Noise Analysis of Fault Tolerant Active Pixel Sensors with and without Defects" Proc. SPIE Electronic Imaging, Sensors, Cameras, and Systems for Scientific/Industrial Applications VIII, vol.6068, 041-0411, San Jose, Jan 2006. "J. of The Korean Society of Semiconductor & Display Equipment Technology, Vol. 39, pp. 517-521, 2004.
2. V. Gruev, R. Etienne-Cummings, and T. Horiuchi, "Linear Current Mode Imager with Low Fix Pattern Noise", ISCAS, IV-860 (2004).
3. R. D. Burns, J. Shah, C. Hong, S. Pepic, J. S. Lee, R. I. Hornsey, and P. Thomas, "Object Location and Centroiding Techniques with CMOS Active Pixel Sensors", IEEE Trans. Elect. Dev. 50 (12), 2369 (2003).
4. K. Salama and A. E. Gamal, "Analysis of Active Pixel Sensor Readout Circuit", IEEE Trans. Circuits and Systems 50(7), 941 (2003).
5. Y. Muramatsu, S. Kurosawa, M. Furumiya, H. Ohkubo, and Y. Nakashiba, "A Single-Processing CMOS Image Sensor Using a Simple Analog Operation", IEEE J. Solid-State Circuits 38(1), 101 (2003).
6. Q. R. Morrissey, N. R. Waltham, R. Turchetta, M. J. French, D. M. Bagnall, and B. M. Al-Hashimi, "Design of a 3 μ m Pixel Linear CMOS Sensor for Earth Observation", Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 512, 350 (2003).
7. H. G. Nam, M. S. Shin, K. H. Cha, and N.-I. Cho, "Fabrication of a Silicon PIN Diode for Radiation Detection", J. Korean Phys. Soc. 48 (6), 1514 (2006).
8. C. Xu, S. Chao, and M. Chan, "A New Correlated Double Sampling(CDS) Technique for Low Voltage Design Environment in Advanced CMOS Technology", ESSCIRC, 117 (2002).