Journal of Radiation Industry 14(1) : 9~12(2020)

방사선 계측 계수율 향상을 위한 자가 초기화 전치 증폭기

권 인 용[1,*]

[1]한국원자력연구원 사고감시대처연구실

Self-Reset Switching Preamplifier for Improvement of Counting Rate

Inyong Kwon[1,*]

[1]*Accident Monitoring Research Team, Korea Atomic Energy Research Institute, 111, Daedeok-daero, 989 beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34057, Republic of Korea*

Abstract - This work presents a self-reset configuration of front-end circuits for radiation sensors to reduce pile-up events and measurement time while maintaining energy information. The proposed system includes delay circuit, comparator, and switch transistor to detect the falling time moment and then immediately send a reset signal to a switch transistor connected on the feedback loop of a preamplifier. When the op-amp starts generating a normal output signal induced from a radiation detector, the delayed circuit will also get the preamplifier output as an input signal to produce a delayed signal. Then, the comparator compares both of the normal output and delayed signal to generate on- and off-signals for a transistor switch. Finally, the normal output would instantly return to a baseline and be prepared state for the next radiation impact event on the detector instead of decaying away with a long trail. This self-reset technique would dramatically reduce the dead time to 137 ns which can be used in direct radiation measurements under high activity environments. This technique can be adopted in many applications that require a high speed measurement systems, for instance, patient and cargo scanning technologies, radiation monitoring in nuclear plant facilities or developing advanced high energy physic experimental facilities.

Key words : Self-reset preamplifier, Radiation detector, Readout circuit, Integrated circuit, Direct measurement, Nuclear decommissioning

서 론

노후화된 원전의 등장과 함께 원전 해체사업의 중요성이 대두되고 있으며 관련 기술개발이 시급히 요구된다. 특히, 원전 해체사업은 작업자의 방사선 피폭의 위험성으로 인해 효율적이고 체계적인 작업 수행이 이루어져야 하며 원자력 시설마다 방사선학적 특성이 다르기 때문에 이를 위한 기술 개발이 선행되어야 한다.

원전 해체는 방사선 축적량 평가, 제염, 폐기물 처리 및 관리로 구성된다. 이 가운데 방사선 축적량 평가는 작업자의 안전과 직접적인 연관뿐만 아니라 원자력시설 특성에 맞는 해체 계획 수립을 위해 필수적이다. 일반적으로 방사능의 오염정도를 측정하는 방법으로는 표면에 직접 접촉하여

* Corresponding author: Inyong Kwon, Tel. +82-42-868-4925, Fax. +82-42-868-8034, E-mail. ikwon@kaeri.re.kr

측정하는 직접법과 시료를 채취하여 측정하는 간접법이 있다(Ifergan *et al*. 2016). 간접법은 시료 채취의 어려움과 훼손 및 면적에 따른 측정의 오차가 발생하여 일관되고 정확한 측정이 힘들다. 또한 직접법 역시 중성자 방사화로 인한 다양한 핵종(^{14}C, ^{55}Fe, ^{65}Zn, ^{152}Eu, ^{60}Co, ^{63}Ni, ^{58}Co) 및 높은 수준의 activity를 갖는 주변 방사선의 영향으로 방사능의 오염정도를 측정하기 어렵다(Ji *et al*. 2018).

본 연구에서는 다양한 핵종 및 높은 activity를 갖는 주변 방사선에 의한 계측 신호 중첩(pile-up) 및 dead time을 줄일 수 있는 자가 스위칭 전치증폭기 방식을 제안한다. 이는 효과적인 방사선 축적량 평가를 가능케 한다.

재료 및 방법

방사선센서로부터 나오는 신호는 미약하여 신호처리를 위해 사용될 수 없다. 이에 따라 센서 신호의 초단 증폭을 목적으로 하는 회로가 전치증폭기이다. 전치증폭기의 성능은 전체 신호처리 시스템에 중대한 영향을 미치며 주로 선형성이 좋은 Fig. 1의 Charge Sensitive Amplifier (CSA) 방식이 널리 사용되고 센서의 커패시턴스를 줄여주는 기술 등도 연구되어 왔다(Kwon *et al*. 2015).

CSA 방식으로 신호를 증폭할 경우 피드백 저항이 클 경우와 작을 경우 trade-off 관계가 존재한다. 먼저, 피드백 저항이 큰 값을 가지면 커패시턴스로 흐르는 신호가 증가하게 되어 신호의 증폭률이 커지지만, RC delay로 인해 pile-up 문제가 가중된다. 반면 피드백 저항이 작은 값을 가지면 피드백 커패시터에 충전되는 전하량이 감소하여 신호의 증폭이 줄어들게 된다. 이를 해결하기 위해 펄스를 이용한 reset 방법이나 continuous reset 방식들이 고안되어 피드백 저항을 스위치로 대체하려는 노력이 이루어져 왔다(Fiorini 2005; Boiano and Bassini 2007; Pullia and Zocca 2010). 하지만 스위치 사용 시 charge injection 문제와 회로의 복잡성 및 정확한 스위칭 시간을 얻는 것이 주된 문제가 되었다(Gu 1996).

Fig. 2의 제안된 회로는 비교기와 지연회로를 추가하여 정확한 시점의 스위칭으로 기존 CSA 방식의 단점을 개선하는 아이디어이다. 지연회로는 일반적인 RC 딜레이 회로로 CSA 출력신호를 수십 nanosecond 지연하여 비교기의(−) 입력신호가 된다. 비교기는(+) 신호가(−) 입력신호보다 클 때 펄스 신호를 출력한다. 비교기의 출력인 펄스 신호는 피드백 스위치를 동작시킨다. 이에 따라 피드백 커패시턴스

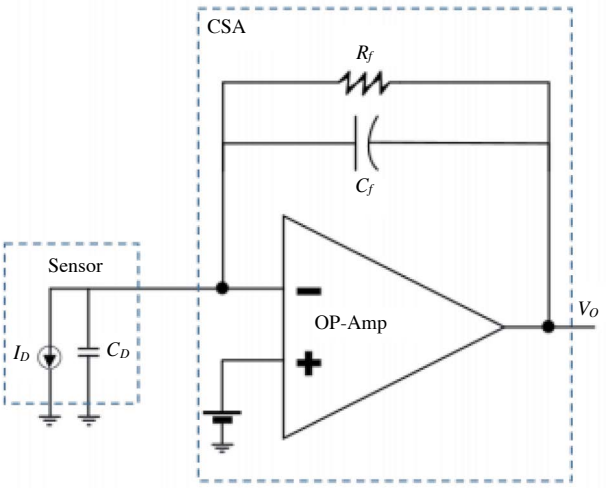

Fig. 1. Configuration of a conventional charge-sensitive preamplifier.

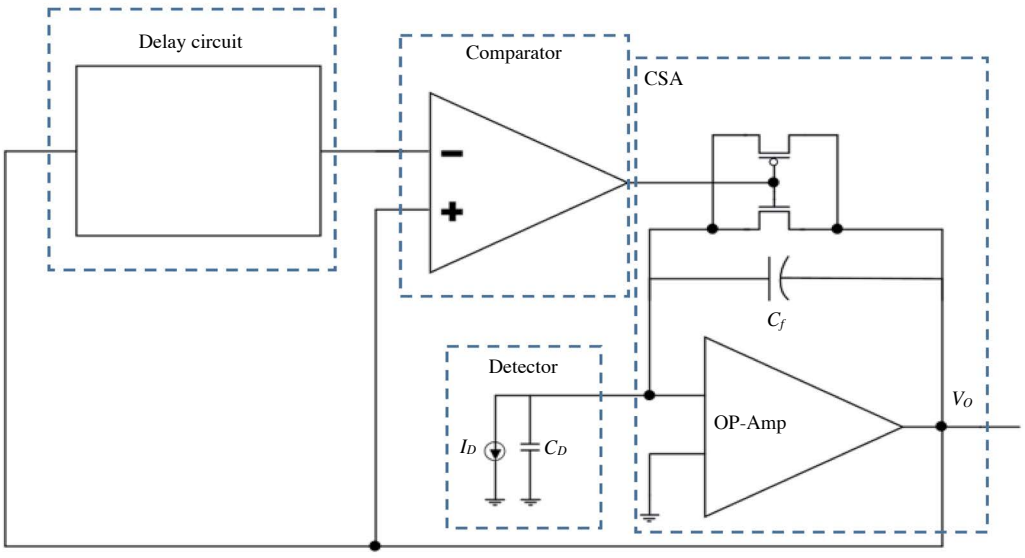

Fig. 2. Configuration of the proposed self-switching CSA.

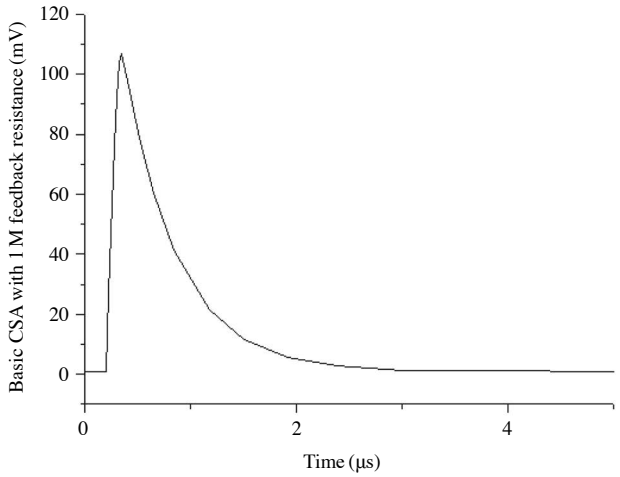

Fig. 3. An output signal of the conventional CSA with 1 MΩ feedback resistor.

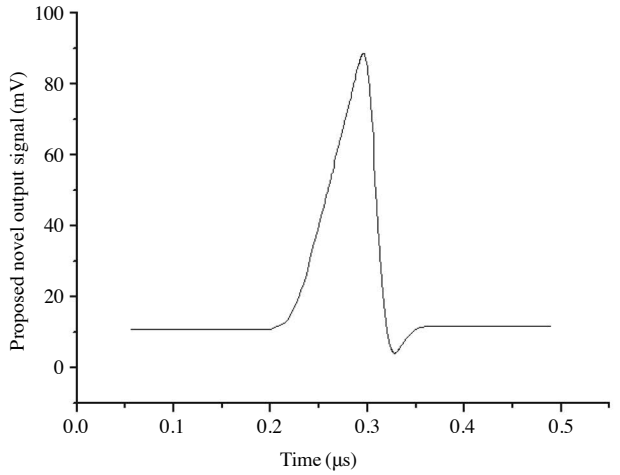

Fig. 4. An output signal of the proposed CSA with the self-reset technique.

(Cf)에 충전된 전하는 양단의 동일한 전위차로 인해 초기 상태로 돌아간다. 이러한 회로의 동작은 정확한 스위칭 시간을 제공하며 짧은 dead time으로 신호의 pile-up을 발생시키지 않는다.

결 과

제안된 회로는 통계적 기법을 근간으로 하는 SPICE 회로 시뮬레이션을 사용하여 디자인되었다. 일반적인 180 nm CMOS 공정의 트랜지스터 소자를 사용하였다. 자가 스위칭 기술이 적용되지 않은 일반적인 전치 증폭기는 two-stage op-amp 구조에 1 MΩ의 피드백 저항을 갖는 일반적인 CSA로 설계 되었으며 방사선 센서의 입력을 주었을 때의 출력 신호는 Fig. 3과 같은 펄스 모양을 보인다. 가파른 상승곡선 부분과 긴 꼬리를 가지면서 떨어지는 하강 부분을 모두 포함하는 시간은 다음 계측을 위한 일종의 dead time으로서 약 4 μs을 보였다. 반면 자가 스위칭 기술이 적용되어 출력 신호가 발생하자마자 일정 시간의 딜레이 후 신호를 자체적으로 리셋시키게 되면 Fig. 4의 펄스 모습과 같이 하강 신호 부분의 초입에서 파로 리셋이 되어 해당 출력신호는 약 137 ns의 dead time을 갖게 되어 pile-up을 약 30배 줄일 수 있게 된다. 지연 시간은 방사선 센서의 내부 커패시터 및 저항 값과 연동이 되기 때문에 사용하는 센서에 따라 지연 시간을 조정해야 한다. 본 결과에서는 기존 CSA 출력이 최고로 도달하는 지점보다 조금 이르게 reset이 되어 max amplitude가 감소하였지만 이는 조절이 가능한 부분이다.

고 찰

본 연구 방법론을 통하여 자가 스위칭을 통하여 방사선 계측 시간을 줄일 수 있는 집적회로 전치증폭기 설계 구조를 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 그 기능과 동작 원리를 입증하였으며 이를 활용하면 매우 높은 activity의 환경에서 방사선 계측이 필요한 의료, 원전 중대사고 대응, 원전 해체 분야에 사용되는 기기에서 출력 신호의 처리 시간을 획기적으로 줄여 총 계측 시간 및 직접 계측에 의한 중복 데이터 등의 손실을 줄일 수 있다. 후에 실제 제작된 자가 스위칭 전치증폭기의 동작을 실험적으로 관측하기 위하여 ^{60}Co나 ^{137}Cs 등 표준 선원을 사용하고 방사선 계측센서와 결합해 신호를 획득할 계획이다.

결 론

본 연구는 자가 스위칭을 통한 전치증폭기 회로를 제안하였다. 기존의 CSA 방식은 수 μs의 dead time으로 주변의 다양한 핵종과 높은 수준의 activity로 인해 직접법으로 방사선 오염도를 측정하는 데 한계가 있었다. 반면 제안된 회로는 시뮬레이션 결과 137 ns의 dead time을 갖는다. 따라서 신호의 pile-up 가능성을 현저하게 줄이며 직접법의 단점을 개선한다. 이를 활용하면 고선량 방사선 환경인 원전 해체, 원전 중대사고 대응, 최첨단 의료영상기기 등의 방사선 측정 및 축적량 평가를 위한 시스템의 전치증폭기로서 사용이 가능하다.

해당 기술은 일반 전치증폭기의 출력 신호를 리셋시켜주는 것으로서 범용적으로 다양한 전치증폭기에 적용할 수 있다. 이에 따라 본 논문에 언급하지 않은 다른 성능들, 선형성, 노이즈, 감도 등은 사용되는 전치증폭기의 성능에 따라

달라지게 된다. 본 논문에서 제안된 자가 스위칭 회로 기술을 더욱 보완 및 발전시키고 최적화를 통하여 실질적인 응용분야에 쓰일 수 있도록 관련 연구를 지속할 계획이다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부 지원으로 수행되었습니다 (NRF- 2017M2A8A4017932, 2020M2A8A1000830).

참 고 문 헌

Boiano C and Bassini R. 2007. A Smart Reset Circuit for Low-Noise Preamplifiers of X-Ray Sensor Signals. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **54**(1):197-201.

Fiorini C. 2005. A charge sensitive preamplifier for high peak stability in spectroscopic measurements at high counting rates. *IEEE Transactions on Nuclear Science* **52**(5):1603-1610.

Gu YB. 1996. A New Quantitative Model for Weak Inversion Charge Injection in MOSFET Analog Switches. *IEEE Tran. Electron. Devices* **43**(2):295-302.

Ifergan Y, Dadon S, Ocherashvili A, Israelashvili I, Yehuda-Zada Y, Smadja D, Carmel L,Knafo Y, Ginzburg D, Osovizky A, Atias R, Kadmon Y, Cohen Y and Mazor T. 2016. Development of a Thin, Double-Sided Alpha/Beta Detector for Surface-Contamination Measurement. *IEEE Transactions on Nuclear Science* **63**(2):634-638.

Ji Y, Choi H, Lee W, Kim C, Chang H and Chung K. 2018. Application of a LaBr3 (Ce) Scintillation Detector to an Environmental Radiation Monitor. *IEEE Transactions on Nuclear Science* **65**(8):2021-2028.

Kwon I, Kang T, Wells BT, D'Ariesc LJ and Hammig MD. 2015. Compensation of the detector capacitance presented to charge-sensitive preamplifiers using the Miller effect *Nucl. Instrum. Meth. A.* **784**(1):220-225.

Pullia A and Zocca F. 2010. Automatic Offset Cancellation and Time-Constant Reduction in Charge-Sensitive Preamplifiers. *IEEE Transactions on Nuclear Science* **57**(2):732-736.

Received: 8 January 2020
Revised: 22 January 2020
Revision accepted: 13 February 2020