

감마선용 고속 피크홀드회로의 개발

Development of High Speed Peak-hold Circuit for Gamma-ray

최기성¹·최규식^{2*}

¹건양대학교 정보보호학과

²(주)우진엔텍 기술연구소

Ki-seong Choi¹ · Gyu-shik Che^{2*}

¹Department of Information Security, Konyang University, Chungcheongnam-do 32992, Korea

²R&D Center of Woojintec Inc., Gyeonggi-do 18481, Korea

[요 약]

감마선이 존재하는 시설물에서는 발생 즉시 이를 발견하여 처리해야 하며 이와 관련하여 무작위적으로 발생하는 신호를 처리하는 소프트웨어적인 방법을 사용하기도 하나 소프트웨어의 메모리 용량과 처리시간이 커지게 된다. 한편 하드웨어적인 방법으로 신호처리할 수 있는 회로가 일반화되어 있으나 발생 신호의 크기가 미약하고 속도가 고속인 경우에는 이에 대응하지 못한다. 하드웨어적으로 효과적으로 신호처리하려면 값이 매우 비싼 부품과 복잡한 회로를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 크기는 미약하지만 속도가 고속인 감마선 발생신호에 대해서 하드웨어적으로 간단한 피크홀드 회로를 개발하여 피크 시점에서 ADC가 신호값을 직접 읽어냄으로써 감마선 신호의 피크치를 검출하는 회로를 연구, 개발하였다. 이러한 방법으로 하면 복잡한 소프트웨어 신호처리 방법을 사용하지 않고도 고속 발생신호를 효과적으로 포착할 수 있으므로 감마선의 존재가 농후한 방사능 환경에서 이를 사용하기에 적합하다.

[Abstract]

Gamma-ray must be detected and processed immediately after generation of it in the circumstances where it exists. Software methodology may be used to process randomly generated signals, but its memory size and processing time become large. By the way, the hardware circuit to detect randomly generated signals is generalized in industrial site, while those circuits are not able to answer to the cases whose amplitude are very small and also speed high. We researched and developed hardware based peak-hold circuit that is able to detect peaks of gamma-ray signals through direct reading out their values by ADC at the time of maximum reaching for the small amplitude and high speed signals, and proposed and estimated its results in this paper. This peak-hold circuit is adequate to use in the radiation circumstances in which the gamma-rays are heavy because its circuit can catch high speed signals efficiently without software signal processing supports.

Key word : Analog-to-digital converter, Gamma ray, Peak-hold circuit, Radiation.

<https://doi.org/10.12673/jant.2016.20.6.612>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 21 September 2016 Revised 25 November 2016
Accepted (Publication) 29 December 2016 (30 December 2016)

*Corresponding Author; Gyu-shik Che

Tel: +82-31-379-3629

E-mail: che@konyang.ac.kr

1. 서 론

우라늄 연료를 이용하여 전력을 생산하는 원자력 발전소나 환자의 치료용으로 각종 방사선을 취급하는 병의원, 원자력을 연구하는 방사선 시설 등에서는 방사선, 그 중에서도 특히 감마선의 발생과 누출이 문제가 된다.

감마선이 존재하는 시설물에서는 이를 검출하여 처리하는 효과적인 수단이 필요하며 이와 관련하여 그동안 진행된 연구로서는 검출 신호를 처리하기 위해 디지털 처리부분이나 소프트웨어 처리부분에서 발생된 감마선 파형을 처음부터 끝까지 읽어들이어서 잡음을 스무딩하게 처리한 후 피크값을 가려내는 연구[1]가 있다. 이처럼 소프트웨어적으로 검출신호를 처리하는 대신 하드웨어에 의한 방법을 제시한 가스전자증배기로 검출한 50-100 ns(nanosecond) 범위의 비교적 짧은 펄스를 이중 가스검출기가 받아서 피크치를 일정하게 유지시켜 ADC(analog-to-digital converter)가 그 값을 읽어낼 수 있도록 한 연구[2], 검출기를 통하여 이온화된 양자입자와 전자들을 포착하여 AmpTek의 A206, A225, PH300을 이용하여 크기를 키우고 펄스의 지속시간을 늘려서 신호처리를 하는 방법[3], ms(millisecond) 단위로 검출되는 긴 펄스파형을 μ s(microsecond) 단위로 줄여서 피크값을 유지하고 파형의 하강시간을 비약적으로 줄여 보다 효율적인 신호수집을 하는 연구[4] 등이 있다.

본 연구에서는 크기는 미약하지만 속도가 고속인 감마선 발생신호를 소프트웨어적으로 전부 읽어서 피크치를 찾아내는 방법이 아니라 하드웨어적으로 피크홀드 회로를 개발하여 피크 시점에서 ADC가 신호값을 직접 읽어냄으로써 감마선 신호의 피크치를 검출하는 회로를 연구, 개발하는 것이다.

본 논문의 2항에서는 원자력관련 감마선 파형의 모습을 보이고 3항에서는 기존방식의 대표적인 검출회로를 이용하여 감마선을 검출하는 방법을 소개하였으며, 4항에서는 본 논문에서 제안한 고속 감마선 검출회로를 소개하였다. 5항에서는 모의파형을 이용하여 기존방식에 의한 감마선 검출 방식과 제안된 방식의 검출방식을 이용한 시뮬레이션으로서 두 방식을 비교하였다. 6항에서는 결론으로서 시뮬레이션 결과를 바탕으로 기존 방식과 제안된 방식을 비교하였다.

II. 감마선 파형

현장에서 감마선 검출장비로 발생된 감마선의 신호는 아래 그림 1과 같은 형태를 취하고 있다. 그림 1(a)에서는 어느 한 신호에 대해서 서로 다른 두 채널에서 검출된 전기신호이다. 위의 작은 신호는 먼 채널에서 관찰된 파형이며 밑의 큰 신호는 가까운 채널에서 관찰된 파형이다.

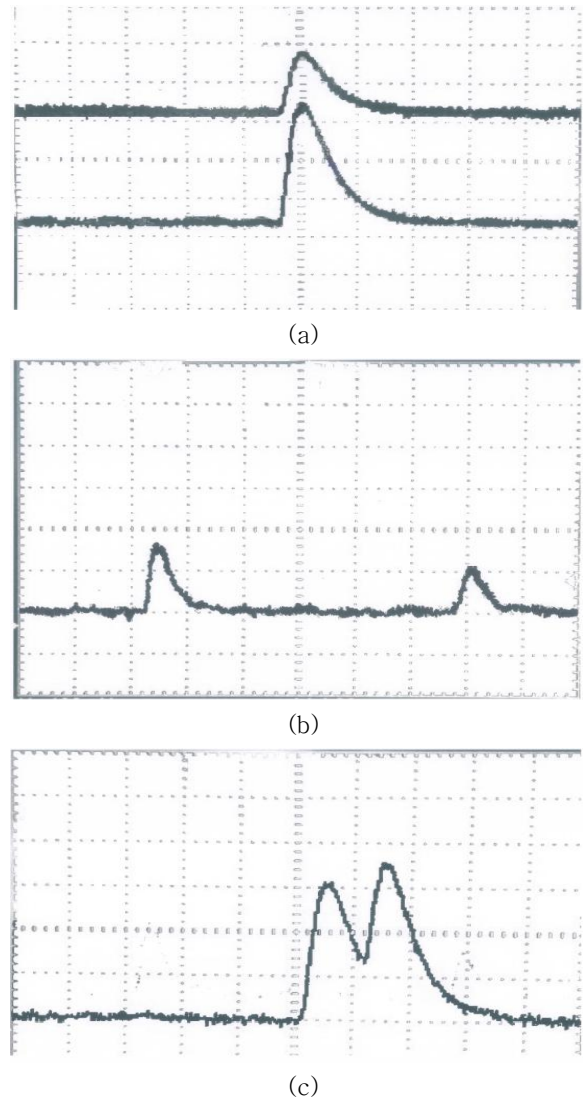


그림 1. 감마선 발생 신호 파형
Fig. 1. gamma-ray signal pattern.

그림 1(b)의 경우는 어느 한 채널에서 관찰된 두 개의 파형으로서 앞의 신호는 채널 가까운 데서 발생된 파형으로서 비교적 크기가 크고 뒤의 파형은 먼 곳에서 발생된 파형으로서 비교적 작다. 그림 1(c)의 경우는 어느 한 파형이 발생되어 소멸되기 전에 다른 파형이 중복되어 검출되는 중첩파형을 보여주고 있다.

III. 기존의 신호 검출법

방사선이 발생되는 현장에서 감마선이 발생되면 이를 감마선 카메라로 포착하여 그 크기를 읽어들이어야 한다. 그런데 파형이 극히 짧은 시간동안 무작위로 발생되기 때문에 이를 읽어내는 방법이 쉽지 않다. 예로서 감마카메라의 아날로그 부분에

서 파형을 필요한 만큼 증폭시켜 디지털 처리부분이나 소프트웨어 처리부분에서 파형을 처음부터 끝까지 읽어들이며 최고 높은 값을 가려내는 방법을 쓰는 수도 있으나 잡음을 가려내기 위한 노력은 물론 이를 처리하기 위한 메모리 용량이 급격하게 커지거나 처리량이 많아서 처리속도가 늦어지는 한편, 소자의 발열량이 심하여 문제를 일으킬 수 있다.

하드웨어적으로 신호를 검출하는 방법을 살펴보면, 검출된 신호를 증폭시켜 파형을 정형한 후 피크홀더 (P/H; peak holder)에서 충전캐패시터를 이용하여 그 값을 일정한 시간동안 피크값을 유지하도록 하여 후속 ADC에서 이 피크값을 판독한 후 방전신호부에서 발생한 방전신호로서 캐패시터를 방전시킨다. 방전 후에는 새로운 파형이 들어오기를 기다려서 파형이 들어올 경우 다시 충전을 시작하여야 하므로 피크치를 판독한 후 이를 신속하게 방전시켜 새로운 파형을 충전시키는 일이 중요하다. 아래 그림 2는 그동안 일반적으로 적용되던 대표적인 피크홀더[5]이다. 전단의 A1 회로는 다이오드 D4를 이용한 반파정류회로로서 다이오드의 순방향전압에 의한 레벨전이 (level shift)를 보상하고 있다. 또한 후단의 연산증폭기 A2는 입력임피던스가 매우 크고 이득이 1인 전압팔로워를 버퍼회로로 사용하고 있다. 즉, 홀드캐패시터 C1의 전하가 누설되지 않도록 누설저항으로 입력임피던스를 이용하는 것이다. 충전이 끝나서 원하는 충전값을 읽은 후에는 캐패시터를 방전시켜 다음 신호에 대비한다. 따라서 짧은 시간동안 캐패시터를 충전시켜 그 값을 후단의 ADC로 읽은 후에 시정수가 극히 작은 방전 회로를 통하여 급속 방전시켜서 후속되는 파형을 읽어들이어 충전시키는 방식이다. 그러나 이 회로는 파형의 발생 및 지속시간이 ms 이상인 경우에는 신뢰성을 확보할 수 있으나 μs 단위의 신호에 대해서는 이에 대응하지 못한다.

이러한 기능을 가진 장치로서는 그림 3에서 보인 바와 같은 단일소자도 있으나 이 또한 μs 단위의 고속 신호에 대해서는 대응이 어렵다.

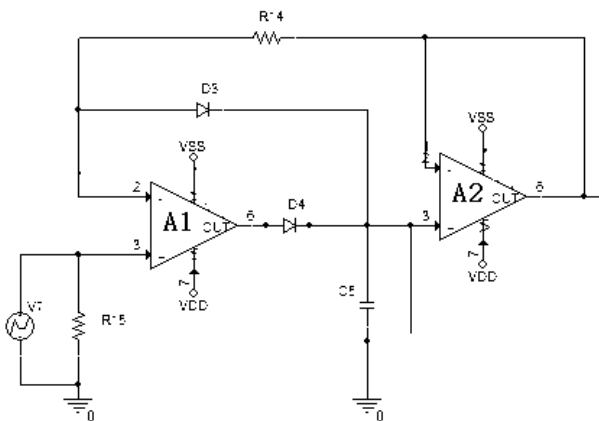


그림 2. 기존의 피크신호검출회로[5]
Fig. 2. existing peak signal detection circuit[5].

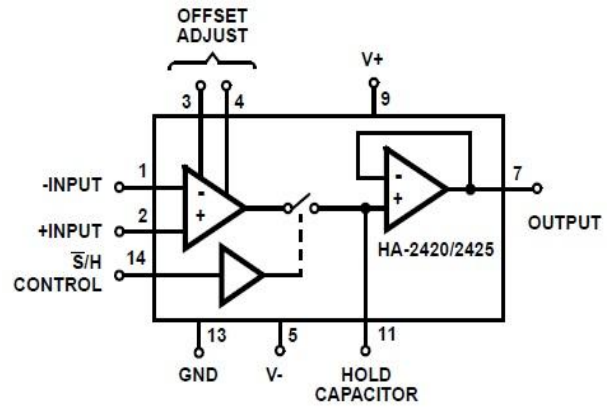


그림 3. interasil의 HA-2420/2425 블록도[6]
Fig. 3. block diagram of interasil HA-2420/2425[6].

IV. 제안된 고속 감마선 신호 검출 회로

기존의 신호 검출회로가 고속의 감마선 신호를 검출하지 못하는 단점을 해결하기 위한 그림 4와 같은 회로를 제안한다.

이 회로는 비교기 A1의 음입력(-)에 자체의 기준전압을 생성하여 동작한다. 비교기의 양입력(+)이 음입력보다 크면 출력이 H가 되어 캐패시터 C1이 충전되기 시작하여 그 값이 양입력보다 상당히 커질 때까지 충전된다. 그 다음에는 사이클이 반복될 때까지 충전이 중단된다. 이러한 동작으로 인하여 유지 캐패시터 C1의 전압이 비교기 입력전압의 피크치와 거의 동일하게 된다.

증폭기의 출력에서 D2와 D3의 접점으로 귀환되는 것이 D3가 off일 때 D3를 0V로 유지되게 한다. 그렇게 해서 D3를 통한 역방향 누설을 방지한다. 비교기의 출력이 L로 되어 있을 때 귀환 신호가 D2의 역방향바이어스를 제공한다. A3 입력 OP 앰프는 입력바이어스전류가 적어서 충전펄스 사이에서 C1을 방전시키지 않는다. R40은 입력신호가 없어졌을 때 C1을 방전시키기 위한 저항이다. AC 입력이 없어진 후 2-3초 안에 무시할 수 있을 정도의 레벨로 출력을 감쇠시킨다.

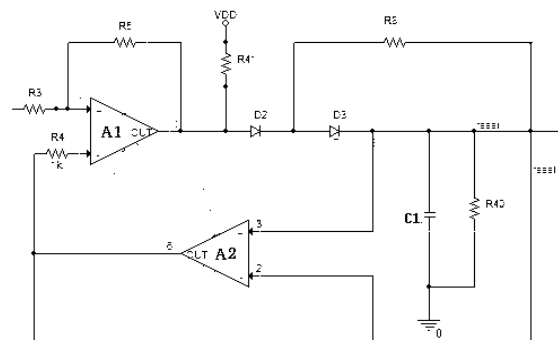
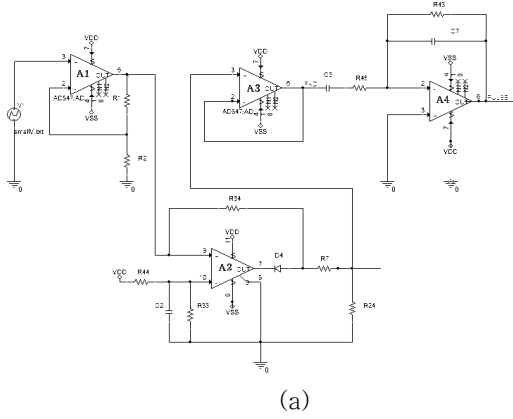
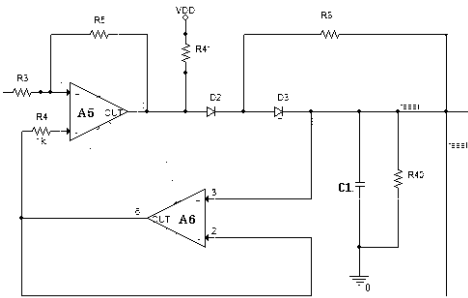


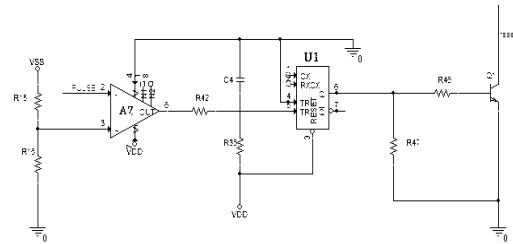
그림 4. 제안된 피크검출회로
Fig. 4. proposed peak detection circuit.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 피크 검출 구현 회로
Fig. 5. peak detection implemented circuit.

본 논문에서는 그림 4와 같은 제안회로를 이용하여 연구 및 설계한 회로를 그림 5에 보였다.

검출되는 감마선의 파형이 그 크기가 100-350 mV 정도의 미약한 신호이므로 그림 5(a)에서는 이를 증폭기 A1을 이용하여 Volt 단위의 전압으로 증폭시키고 A2로 잡음을 제거하며 미분기 A4를 이용하여 신호를 예리하게 만들어준다.

그림 5(b)는 제안된 상기 그림 4와 동일한 회로로서 이를 좀 더 구체화한 것이다. 그림5(c)는 충전캐패시터 C1의 전압을 읽어낸 후 곧바로 방전시키기 위한 스위칭회로이다.

V. 모의파형을 이용한 감마선 검출 시뮬레이션

본 논문에서는 그림 6과 같은 실제 파형에 가까운 모의파형을 만들어서 회로의 시뮬레이션에 사용하였다. 그림에서 ①번

파형은 먼 채널에서 검출되는 작은 파형, ②번 파형은 가까운 채널에서 검출되는 큰 파형, ③번과 ④번은 짧은 시간간격으로 중첩되는 파형이며 ⑤번 파형은 중간크기의 파형이다.

이 신호를 기존방식인 그림 2와 제안된 방식인 그림 5에서 보인 P/H 회로에 적용하여 시뮬레이션한 결과는 아래 그림 7과 같다. 단, 신호의 크기가 매우 작아서 그대로 신호처리하기에는 어려움이 있으므로 두 가지 경우에 대해서 원래의 신호를 크게 증폭시켰다. 그림에서 신호파형은 미약하게 입력되는 감마선파형을 일정한 크기로 증폭한 파형이며 피크홀드파형이란 피크검출기 회로의 충전캐패시터에 의하여 충전되어 일정 시간 동안 그 값을 유지하는 파형이다. 피크포착파형은 캐패시터가 유지하고 있는 전압을 ADC에서 읽어내도록 그 시점을 포착하는 신호이다.

그림 7(a)의 경우 앞에서 언급한 것처럼 신호의 주기가 짧아서 피크값을 유지시키지 못하여 피크값을 읽지 못하며, 피크 시점이 지난 어느 시간 후에 원래의 파형을 읽어야 하는 경우가 된다. 따라서 본래의 피크값을 읽어낼 수가 없다.

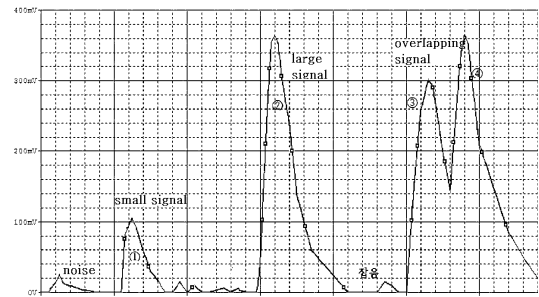
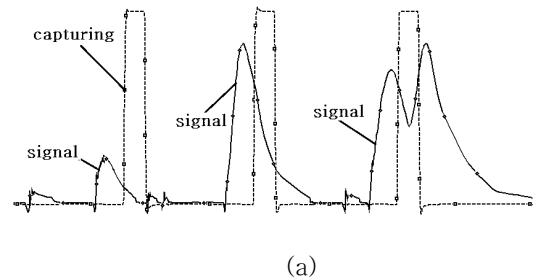
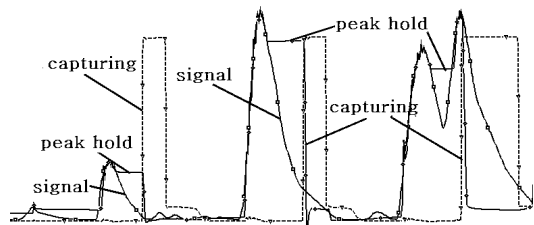


그림 6. 모의 감마선 파형
Fig. 6. simulated gamma-ray signal pattern.



(a)



(b)

그림 7. 시뮬레이션 결과
Fig. 7. simulation results.

이에 반하여 그림(b)의 경우는 피크홀드형태로 피크치를 얻는 짧은 시간동안 유지(holding)시킬 수가 있으므로 ADC가 피크포착신호(매 신호가 발생되어 상승하기 시작하는 시점)에 의해서 피크치를 읽어낼 수가 있다. 그리고 판독 후에 스위칭회로를 이용하여 캐패시터를 재빨리 방전시켜 그 다음 입력신호의 충전에 대비할 수 있다. 단, 이 경우에도 피크치에서 약간 늘어난 파형을 읽게 되나 이 값은 극히 적은 값이어서 피크치를 판독하는 데에 지장을 주지 않는다. 이 방법에 의하면 크기가 매우 미약하나 속도는 고속인 무작위 감마선 파형을 효과적으로 포착하여 그 발생시각과 크기를 판독할 수 있기 때문에 소프트웨어를 이용한 복잡한 신호처리방식을 채용하지 않아도 된다는 장점이 있다.

VI. 결 론

감마선이 존재하는 환경에서 감마선 신호의 값을 읽어내는 방법으로서 무작위로 발생하는 짧은 주기의 신호를 판독하기 위해 신호의 발생이 지속되는 시간동안 일정한 간격으로 그 각각의 값을 전부 읽어서 그 중 최대값을 찾아내는 소프트웨어적인 방법이 있으나 비효율적이다. 반면 하드웨어적으로 판독하는 방법이 제시되기는 했지만 μs 단위의 짧은 시간동안 무작위적으로, 그리고 고속으로 발생하는 파형을 읽어내는 것이 어렵다.

본 연구에서는 소프트웨어적인 방법이 아니라 하드웨어적인 방법으로 작고 미약한 반면 고속으로 그리고 무작위적으로 발생하는 파형을 포착하여 ADC가 이를 읽어내는 방법을 개발하였다. 그리고 실제와 동일한 모의파형을 이용하여 시뮬레이션함으로써 이의 성능을 검증하였다.

이러한 방법으로 하면 복잡한 소프트웨어 신호처리 방법을 사용하지 않고도 고속 발생신호를 효과적으로 포착할 수 있으므로 감마선의 존재가 농후한 방사능 환경에서 이를 사용하기에 적합하다.

이 방법에서 주의해야 할 점은 입력신호가 고속이므로 짧은 시간동안 신호파형을 유지시키는 충전캐패시터의 충전늘어짐 현상이 없어야 한다는 것이다.

참고 문헌

- [1] J. M. Lee, Y. K. Kim, K. S. Park, J. M. Kim, K. S. Lee, and J. H. Joung, "Development of a spectrum analysis software for multipurpose gamma-ray detectors," *Korean Society of Radiological Science*, Vol. 33, No. 1, pp. 51-59, March 2010
- [2] C. H. Hahn, I. G. Kim, S. T. Park, W. J. Kim, B. S. Moon, D. S. Yoo, S. Y. Ha, B. J. Ahn, Y. J. Ha, and C. Y. Jung, "First observation of signals due to KAERI's 10MeV electron beam by using GEM detector," *Journal of Korean Physical Society*, Vol. 50, No. 4, pp. 961-976, April 2007
- [3] S. T. Park, C. H. Kim, D. S. Yoo, B. S. Moon, and K. W. Jang, "Fabrication of a GEM detector and its signal readout with a homemade readout board," *Journal of Korean Physical Society*, Vol. 51, No. 5, pp. 1649-1653, November 2007
- [4] D. K. Yoon, and W. H. Lee, "Development of signal process circuit for PSAPD detector," *Korean Society of Radiological Science*, Vol. 35, No. 4, pp. 315-319, December 2012.
- [5] G. De Geronimo, P. O' Connor, and A.Kandasamy, "Analog CMOS peak detect and hold circuits, Part 2. The two-phase offset-free and derandomizing configuration," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, A 484, pp544-556, Sep. 2002.
- [6] D. Jones, A. Little, Applications of monolithic sample-and-hold amplifiers, intersil, 1001 Murphy Ranch Road, Milpitas, CA 95035, Application note AN517.0, pp1-5, August, 2005.



최기성 (Ki-seong Choi)

1990년 2월 : 연세대학교 대학원 수학과 (이학박사)
 1991년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 정보보호학과 교수
 ※ 관심분야 : 해석학, 확률론, 네트워크 및 취약점 진단



최규식 (Gyu-shik Che)

1973년 서울대학교 공과대학 전기공학과 (공학사),
 1993년 명지대학교 전기공학과 (공학박사),
 1993년 ~ 2014 건양대학교 의공학과 교수,
 2015~ 현재 (주)우진엔텍 고문
 ※ 관심분야 : 전자회로 원자력

1983년 뉴욕공과대학 전기공학과 (공학석사)
 1978년 ~ 1993년 한국전력기술 중앙연구소 책임연구원
 2014~2015 맥스파워 연구소장