

위치민감형 광다이오드 검출기의 신호처리회로 개발과 적용

- Development of Signal Process Circuit for PSAPD Detector -

고려대학교 보건과학대학 방사선학과

윤도균·이원호

— 국문초록 —

본 연구는 위치 민감형 광 증폭 다이오드로부터 나오는 신호를 증폭 및 파형 변화 후 신호의 크기를 검출하여 일정시간 동안 유지시키는 뒷단 회로 개발에 관한 연구이다. 신호발생기에서 발생한 소신호를 증폭 소자를 통한 안정적인 증폭 후 미분회로를 통하여 신호 파형을 검출하기 수월한 형태로 변형 하고, peak/hold 회로에서 피크의 최대점을 일정시간 유지하여 신호의 수집을 원활하게 하였다. 본 회로에 대한 독립적인 성능 평가를 위하여 상용 장비로부터의 검사신호를 입력으로 사용하였다.

중심 단어: 위치민감형 증폭 광 다이오드, 증폭 회로, 미분 회로, 최대값 고정 회로

I. 서 론

증폭 광다이오드 (Avalanche Photodiode: APD)는 일반 광다이오드처럼 빛을 전기신호로 효과적으로 변환시키는 기능을 가지고 있으면서 신호를 자체 증폭시킬 수 있는 소형 광소자이다. 이 APD의 기능에 다이오드 내에 광반응의 위치를 계산해 낼 수 있도록 고안된 것이 위치민감형 증폭 광다이오드(Position Sensitive APD)이다. PSAPD에서의 전기적 신호를 Data Acquisition Board(DAQ)에서 수집을 할 수 있도록 크기 형태상 알맞은 파형으로 만드는 것이 본 연구 논문의 목표이다. PSAPD로부터 나오는 신호의 크기는 기존의 PM (Photomultiplier tube)에

비해 매우 작을 뿐만 아니라 주변에 동반되는 잡음과 함께 출력되는 경우가 흔하여 해당되는 신호만을 잡아 증폭시키고 파형을 변형시켜 신호를 얻을 필요가 있다¹⁾. 본 연구에서는 신호의 증폭과 파형 재형성 및 최대값 유지에 대해 초점을 두어 회로를 개발하였으며 이를 위해 신호발생기로부터 입력신호를 받아 개발된 회로에서 예상대로 파형이 형성되는지를 평가하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구 과정에서 소개 되는 회로들은 검출기 신호획득부, 증폭, 파형형성부 그리고 최대 피크고정부로 크게 4부분으로 나누어져 있다. Fig 1, 2에서와 같이 LYSO와 PSAPD로 이루어진 검출기의 각 신호선 들에는 축전소자와 저항이 연결되어 있어 검출기로부터의 신호만 통과시키면서 DC 신호를 없애도록 하였다. 뒷단에 연결되는 증폭회로는 각 포트 수에 맞게 배치되어 포트마다 나오는 신호를 증폭하게 하였으며 축전소자의 경우 “-1700V”의 높은 전위차로부터 오는 소자 및 회로의 손상을 막기

* 접수일(2012년 8월 28일), 1차 심사일(2012년 11월 13일), 확정일(2012년 12월 6일)

* 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (2012-0006399)

교신저자: 이원호 (136-703) 서울시 성북구 정릉3동
고려대학교 보건과학대학 방사선학과
TEL: 02-940-2826, Fax: 02-940-2829
E-mail: wonhol@korea.ac.kr

위해 고전압 전용 축전소자를 사용하여 검출기의 신호 획득부에 대한 PCB의 설계가 완료되었다^{2,3)}. 본 연구에서는 신호발생기로부터의 입력신호를 사용하여 회로에 대한 성능을 평가하였다.

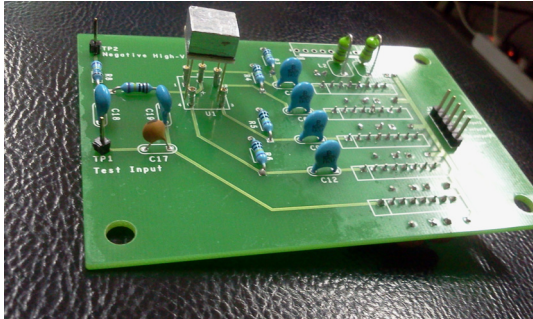


Fig 1. Circuit for detector input signal

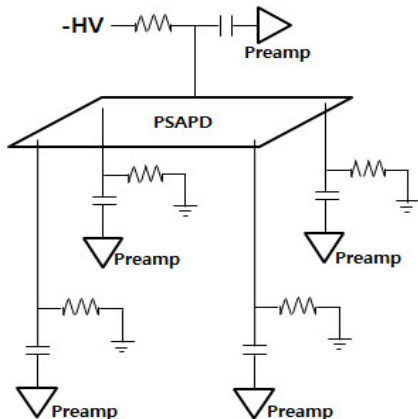


Fig 2. Schematic diagram of detector input signal

대다수의 PSAPD 자체에서 나오는 신호의 세기는 노이즈와 구분하기 어려운 정도의 작은 피크 값으로 출력된다. 따라서 이 작은 신호를 그대로 변형시켜서 최대값을 측정하여 신호 처리를 하는 것은 사실 상 불가능하므로 피크점에 해당하는 부분을 증폭시켜주는 소자가 필요한데 본 연구에서 사용된 전치 증폭 소자로 CR-110을 사용하였다. 이 전치증폭 소자는 “100 mV” 수준에 머무는 최대 피크 값을 대략 “3~4 V” 정도로 이끌어 올려준다. 이 소자의 특성은 전하민감형 증폭기로 설명이 가능한데 소

자 안에 복수의 OP-amp(AD847, AD843), 저항, 축전소자들이 연결되어 제작되었으며 지정된 저항과 축전소자로 결정되는 시정수에 따라 파형의 대역대에 맞는 소자를 사용해야 한다.

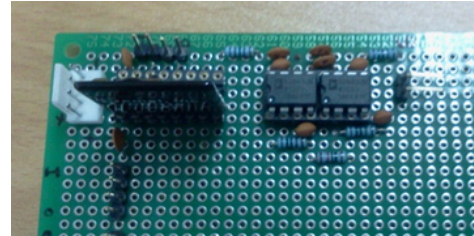


Fig 3. Amplifier & Differential shaping circuit

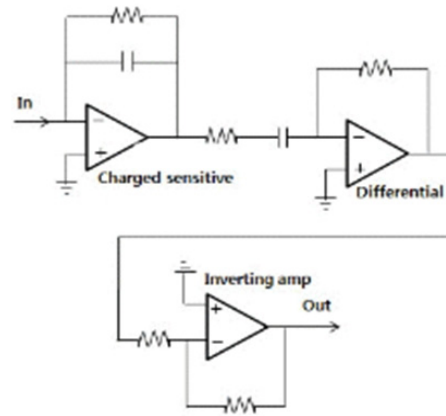


Fig 4. Schematic diagram of Amplifier & Differential shaping part

Fig 3, 4에서처럼 증폭부로부터 증폭된 파형은 미분 회로를 거치게 되는데 미분 회로의 주된 기능은 늘어진 파형을 날카롭게 만들어주는 역할을 한다. CR-110로부터 증폭되어 나온 원 피크의 파형은 ms 단위로 읽어들 일 만큼 파형이 길게 퍼져서 나오는데 이를 μs 단위로 줄여 최대 피크 값을 유지하고 파형의 하강 시간을 비약적으로 줄여 보다 효율적인 신호 수집에 기여할 수 있도록 해주는 회로이다. 미분 회로 역시 전하민감형 증폭기처럼 저항과 축전소자의 배치를 통해 설계하였다. 소자로부터 연결되는 전선으로 인한 노이즈의 양을 줄이기 위하여 사용되는 소자의 개수를 최소화하였다. 본 회로도의 마지막 부분인 반전 증폭기는 본 회로의 출력극성과 뒷단 회로의 입력극성이 반대일 경우 출력극성을 바꾸기 위한 소자이다.

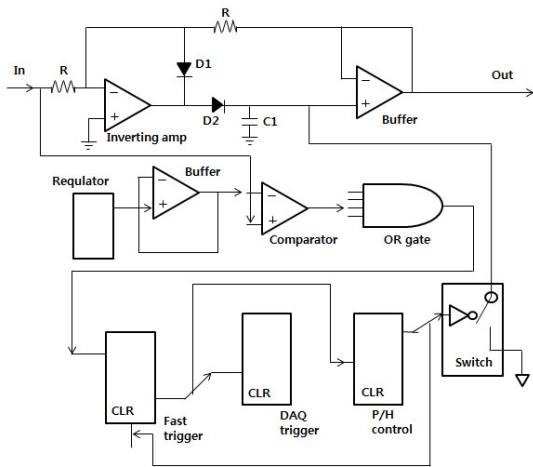


Fig 5. Schematic diagram of P/H circuit

Fig 5에서처럼 파형 형성부인 미분 회로를 거친 파형은 최대 피크 고정부인 peak & hold (P/H)회로로 들어가 피크의 최대 지점을 잡아 그 최대값이 유지된 상태의 파형으로 출력된다. P/H회로는 반전증폭기(AD847, AD843), 버퍼(AD790), 트리거(CD4538B 3개), OR 게이트(CD4072), 스위치(ADG201) 그리고 비교기로 구성된다. 윗 단의 증폭 및 최대값을 유지 시켜주는 부분과 뒷단의 타이밍을 결정하는 부분으로 설계되어있다. 앞단에 있는 다이오드 두 개는 방향성을 결정하게 되는데 신호 전압이 증가함에 따라 전하는 다이오드(DIN4148)와 축전소자를 통하여 순방향으로 흐르게 되며 신호가 감소할 경우는 역방향으로 전하가 흐르지 못하기 때문에 축전소자에 충전 된 전하를 보존함으로써 최대값을 유지하게 된다. 또한 최대값의 유지시간은 타이밍 스위치로 결정할 수 있다. 오실로스코프(Agilent Technologies, United States)에서 최종적으로 확인해야하는 파형은 총 5개로 입력 파형과 출력파형 및 Fast trigger 신호, DAQ trigger 신호, 스위칭 신호이다⁴⁾. 들어오는 입력 파형은 빠른 상승 시간으로 인해 상승 시간 바로 이후에 신호가 최대치에 도달한다. 이때 비교기에서 펄스와 기준전압과의 비교를 통해 일정 전압이상이 되면 디지털신호를 발생하여 Fast trigger소자에 보내게 되고 Fast trigger소자에서 펄스의 시작 시간을 정하게 된다⁵⁾. 이 펄스의 시작 시간으로부터 일정시간이 지나 펄스가 최대점에 도달한 후의 시간만큼 기다린 후에 DAQ 보드에서 신호의 최대값을 읽도록 DAQ trigger에서 DAQ보드로 신호를 보낸다. 이어서 DAQ 과정이 끝날 정도로 충분히 시간이 흐른 후에 P/H control에서 switch

소자에 신호를 보내서 윗 단의 최대값 유지용 축전소자를 방전시키도록 한다. 각 trigger소자의 triggering시간은 각 소자에 연결된 가변저항으로 변화시킬 수 있다.

버퍼들의 경우 신호의 형태와 크기를 그대로 유지하면서 입력신호와 출력신호를 분리함으로써 입력단의 다른 소자에 영향 받지 않고 출력신호를 그대로 유지하는 역할을 하고 있다⁶⁾.

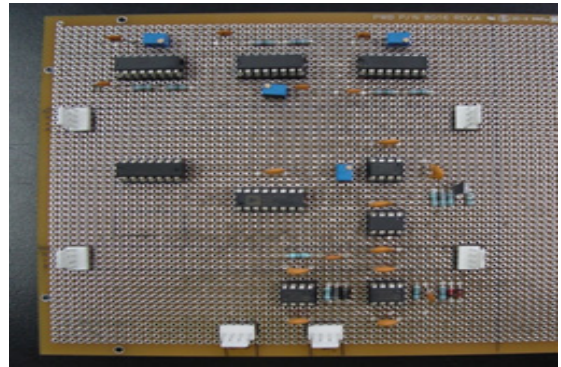


Fig 6. Actual P/H circuit prototype

III. 결 과

Fig 7에서처럼 원래의 피크는 크기가 “200 mV” 정도의 최대 크기를 갖는 모습을 보여준다. 증폭부를 거친 파형은 그 피크의 크기가 대략 “5 V” 가 조금 넘는 모습을 보여주고 있다.

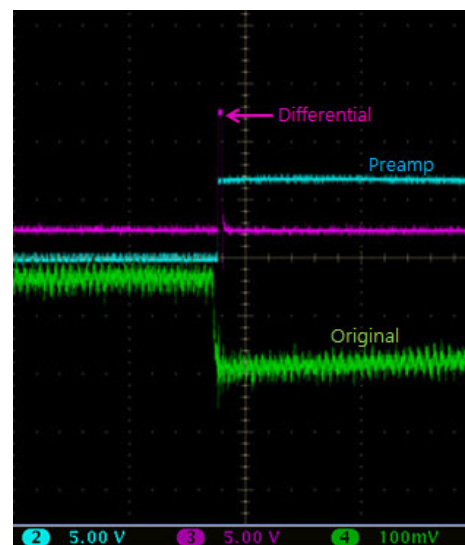


Fig 7. Oscilloscope wave form from amplifier and differential shaping part

또한 원신호와 마찬가지로 증폭후의 파형은 길게 늘어진 모습으로 관찰되고 있다. 이것을 앞서 설명한 미분 회로로 최대 피크 값은 유지한 채 파형을 날카롭게 재형성하였는데 이를 통하여 증폭기로부터 나오는 신호의 꼬리부분을 크게 줄임으로서 연속신호가 들어 왔을 때 pile up⁷⁾으로 인한 신호의 변형을 최소화 할 수 있다.

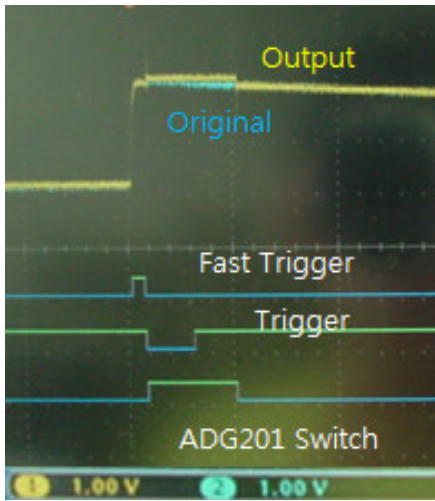


Fig 8. Oscilloscope wave form from P/H circuit and each trigger signals

최대값을 가지고 날카롭게 형성된 파형은 최대 피크 고정부 회로로 신호가 들어가게 되는데 여기서는 앞서 거론된 대로 신호의 최대값 도달 후의 최대 피크값 유지 시간은 P/H 소자에 달린 가변저항 값의 조절을 통하여 결정할 수 있다. Fig 8 위쪽 부분에서처럼 최대값 부분이 지난 후에 원 신호(하늘색)는 감소하는 반면 회로의 출력(노란색)은 ADG201 switch값이 높음(High)를 유지하는 동안 최대값이 유지된다.

Fig 8의 아랫부분에는 회로의 동작을 위한 trigger소자들의 디지털 출력신호를 보여주고 있으며 계획대로 Fast trigger는 원 신호의 시작시간에, DAQ trigger신호는 시작 시간과 최대값이 유지되는 사이에 동작하며 switch신호의 변화는 최대값의 유지시간과 일치하는 것을 알 수 있다.

IV. 고찰 및 결론

본 연구의 목표는 초소형 방사선 검출기를 개발하기 위한 PSAPD의 출력신호처리 회로 개발이다. 증폭부와 파형

형성부에서 볼 수 있는 파형의 출력은 입력 파형의 대략 20~30배 정도가 증폭되어 미분파형으로 변환되었으며, P/H회로에서 신호시작시점을 기준으로 가변저항 값의 변화를 통해 DAQ 신호 처리시간 동안 신호의 최대값이 유지되었다. 현재 손에 들어갈 만한 크기의 휴대용 방사선 검출 장비는 많이 개발 되었으나, 휴대용 크기에 방사선원의 위치와 크기 및 에너지 정보를 한 번에 표시해 줄 수 있는 영상화 장비는 아직 개발 단계에 있다. 본 논문에서는 회로 자체의 크기와 부피를 줄이고자 최소한의 소자 사용으로 간단하게 회로를 구성하였으며 신호발생기로부터의 입력 신호를 정상 처리함을 확인하였다.

참고 문헌

1. Philippe Despr'es, William C. Barber, Tobias Funk, et al: Investigation of a Continuous Crystal PSAPD-based Gamma Camera, IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, Puerto Rico, 2005
2. W.K. Warburton, P.M. Grudberg et al: Current trends in developing digital signal processing electronics for semiconductor detectors, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section, 568(1), 350-358, 2006
3. Karplus et al: United States Patent, US 6,781,133 B2, Aug, 24, 2004
4. Wonho Lee, David K. Wehe, Manhee Jeong, et al: A Dual Modality Gamma Camera Using LaCl3 Scintillator, IEEE Transactions on Nuclear Science, 56(1), 308-314, 2009
5. Jin Zhang, Peter D. Olcott, et al: A New Positioning Algorithm for Position-Sensitive-Avalanche Photodiodes, IEEE Transactions on Nuclear Science, 54(3) 433-437, 2007
6. V.Ch. Spanoudaki, D.P. McElroy, S.I. Ziegler et al: An analog signal processing ASIC for a small animal LSO-APD PET tomograph, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section, 564(1), 451-462, 2006
7. Glenn F. Knoll: Radiation Detection and Measurement 4th ed, Wiley, Hoboken, 336, 2010

•Abstract

Development of Signal Process Circuit for PSAPD Detector

Do-kun Yoon · Won-ho Lee

Dept. of radiologic science, College of health science, Korea University

The aim of this study was to develop a signal process circuit for a position sensitive avalanche photo-diode detector. The circuit parts consisted of amplification, differential and peak/hold circuit. This research was the baseline to develop highly compact radiation detector. The signal was amplified by an amplification chip and its shape was changed in a differential circuit to minimize the pulse tailing. The peak/hold circuit detect the peak of the signal from the differential circuit and hold the amplitude of the peak for data acquisition. In order to test the intrinsic function of the circuit, the input signal was transmitted from a commercial pulse generator.

Key Words : PSAPD, Amplification Circuit, Differential Circuit, Peak & Hold