

성능이 향상된 Stack Monitoring System의 설계

Design of Stack Monitoring System with Improved Performance

장 경 옥*, 이 주 현*, 이 승 원*, 이 승 호**★

Kyeong-Uk Jang*, Joo-Hyun Lee*, Seong-Won Lee*, Seung-Ho Lee**★

Abstract

In this paper, we designed the stack monitoring system with improved performance. To block the incoming pulse noise to the amplifier, shield and the power supply impedance are reduced and the power circuit is isolated. The control unit is developed with variable high voltage, adaptive gain, offset and threshold in order to match the scintillation detector characteristic to the apparatus. 300-1500V variable high voltage power circuit is configured applicable to various scintillation detector. Stack monitoring system with improved performance guarantee the efficiency and the reliability by considering the characteristic of various scintillation detector. Developed stack monitoring system is evaluated with certified testing equipment and shows excellent performance with respect to the uncertainty of the sensor test results.

요 약

본 논문에서는 성능이 향상된 Stack Monitoring System을 설계한다. Stack Monitoring System의 증폭기(AMP)에 들어오는 펄스성 잡음을 차단하기 위하여, 차폐 및 전원부 임피던스를 낮추고 전원회로를 분리하여 노이즈를 차단한다. 신틸레이션 검출기 특성을 최대한 장치에 매칭하기 위한 가변 고전압, 이득(Gain), 상쇄(Offset), 한계(Threshold) 등을 설정 할 수 있는 제어부를 설계한다. 또한 300 ~ 1,500V의 가변 고전압 전원회로를 구성하여 다양한 신틸레이션 검출기에 적용가능 한 가변 전압 공급 장치를 설계한다. 성능이 향상된 Stack Monitoring System은 다종의 신틸레이션 검출기가 각각의 특성을 고려하여 동작하게 함으로서 효율적이고 높은 신뢰성을 보장한다. 개발된 Stack Monitoring System의 측정 불확도에 대하여 공인 시험기관의 장비를 사용하여 실험한 결과 우수한 성능을 나타내었다.

Key words : Stack Monitoring System, Scintillation Detector, Variable High Voltage, AMP, Embedded Control Board

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University, 042-821-1423

** Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

shlee@cad.hanbat.ac.kr, 042-821-1137

※ Acknowledgment

This work was supported by the Human Resource Training Program for Regional Innovation and Creativity through the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea(NRF-2015H1C1A1035818)

Manuscript received Aug. 16, 2016, revised Sep. 29, 2016, accepted Sep. 29, 2016

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.

I. 서론

기존에 개발되었던 Stack Monitoring System에 구성되어 있는 Pre-AMP, Main AMP, 고전압 발생장치 등에 전원 노이즈 및 각 AMP의 발전요소 등이 있는 실정이다. 따라서 각 AMP를 차폐하여 발전 및 외부로부터의 노이즈 요소를 줄이기 위한 노력을 하고 있으나, 기 설계된 하드웨어의 특성상 차폐에 한계가 있어 노이즈를 감소시키는 데에 한계를 가지고 있다[1]. 또한 SMPS (Switched Mode Power Supply)를 사용하여 디지털 제어부와 AMP 등을 위해 전원 인가해주는 경우에 전원 주파수 인 60Hz와 전원장치가 가지는 100Khz 대의 노이즈가 Pre-AMP 및 Main AMP 등에 영향을 주어 입력단의 미세한 노이즈가 증폭되어 정확도 및 정밀로들 떨어뜨리는 요인이 되고 있다[2][3]. 신틸레이션 검출기의 경우 300 ~ 1,500V까지의 가변 고전압 전원 공급이 필요하지만 일반적인 Stack Monitoring System은 700V의 전원을 공급하여 동작되도록 구성되어 있어 고전압 가변에 따른 신틸레이션 검출기의 최적 동작 설정에 제약을 가지고 있다[4][5][6][7].

따라서 본 논문에서는 Stack Monitoring System의 증폭기(AMP)에 들어오는 펄스성 잡음을 차단하기 위하여, 차폐 및 전원부 임피던스를 낮추고 전원회로를 분리하여 노이즈를 차단한다. 신틸레이션 검출기 특성을 최대한 장치에 매칭하기 위한 가변 고전압, 이득(Gain), 상쇄(Offset), 한계(Threshold) 등을 설정 할 수 있는 제어부를 설계한다. 또한 300 ~ 1,500V의 가변 고전압 전원회로를 구성하여 다양한 신틸레이션 검출기에 적용가능한 가변 고전압 전원회로를 설계한다. 이렇게 개발된 성능이 향상된 Stack Monitoring System은 효과적인 비용절감, 기술의 국산화, 효율적이고 안전한 방사선 관리를 하는데 효율적이다.

II. 본론

1. 전원 노이즈 및 증폭회로의 발전 등을 해결하기 위한 회로 설계

Charge Sensitive AMP는 매우 빠르게 입력 펄

스를 처리하기 때문에 펄스성 잡음에 영향을 많이 받게 된다. 잡음은 주파수 성분이 매우 높아 전계 필드 방사 형태로 전달되는데 이의 영향을 줄이기 위해서는 거리를 멀리하거나 전계에 대한 차폐, 회로 내의 임피던스를 낮추는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 잡음의 영향을 줄이기 위해 차폐, 신호를 처리하는 각 단간의 전원을 통한 궤환(Feedback)을 줄이기 위해 전원부 임피던스를 최대한 낮추고 전원회로를 분리하는 방법으로 설계한다. 그림 1은 전원 노이즈 및 증폭회로의 발전 등을 해결하기 위한 회로도이다.

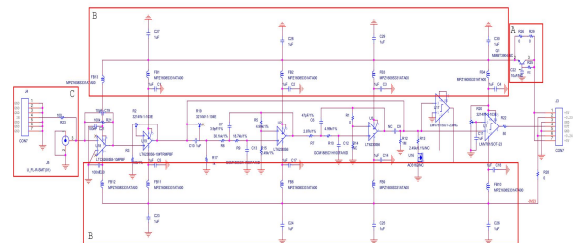


Fig. 1. Circuit of the AMP with Noise Reduction and Oscillation Robustness

그림 1. 노이즈 및 증폭회로의 발전 등을 해결하기 위한 회로도

2. 신틸레이션 검출기의 특성을 최대한 장치에 매칭하기 위한 제어부 설계

그림 2는 측정된 방사선에 의한 출력 신호에 대하여 신호의 증폭, 가우시안 펄스로의 변형, 노이즈 등을 제거하고 각 펄스의 수를 측정하도록 설계된 신호의 특성을 개선한 하드웨어 블록도이다. 하드웨어 블록도는 검출부, Charge Sensitive AMP, Pulse Shaping AMP, Discriminator, Embedded Control Board부로 구성된다.

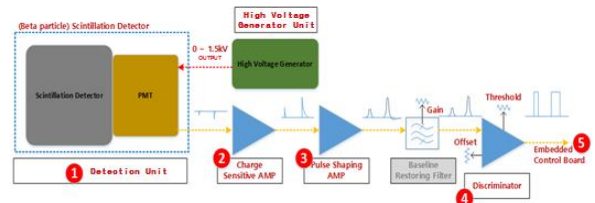


Fig. 2. Block Diagram of the improved signal characteristic Hardware.

그림 2. 신호 특성을 개선한 하드웨어 블록도

검출부는 카트리지에 포집된 Beta particulate를 측정하기 위한 신틸레이션 검출기를 사용한다.

PMT에 고압을 인가하고, Scintillator에 입사된 방사선을 증폭하여 미세한 전기신호로 출력한다. Charge Sensitive AMP는 검출부로부터 출력된 미세 펄스신호를 증폭한다. Charge Sensitive AMP로 입력된 미세 펄스신호의 Peak에 비례하며, 폭이 넓은 파형을 획득한다. Charge Sensitive AMP 회로에서 임펄스의 전하를 적분하며, 전하가 계속 누적되지 않도록 방전시키는 역할을 수행한다. Pulse Shaping AMP부는 4차 LPF로 구성되어 회로를 설계하여 펄스 파형을 Gaussian 모양으로 정형화한다. Discriminator부는 Pulse Shaping AMP부를 통해 정형화된 펄스를 특정 전압을 기준으로 해서 디지털 신호로 변환한다. 기준 전압은 작을수록 좋지만 너무 작으면 각종 잡음을 신호로 변환하기 때문에 상황에 맞게 조절한다. Embedded Control Board부는 Ethernet Port를 통해 원격의 PC와 통신한다. 방사선 조사 실내에 작업자가 수시로 출입하며 설정 및 조절을 하지 않고 원격에서 전압 및 캘리브레이션 설정을 조정한다.

3. 가변 고전압 전원회로 설계

300 ~ 1,500V의 가변 고전압 전원 회로의 중요한 요소는 필요한 고전압을 원격으로 명령하는 대로 생성하는 것이며, 검출기의 펄스 출력 빈도가 높을 때에도 전압이 떨어지지 않을 정도의 전류를 공급할 수 있어야 한다. PMT의 특성상 고전압 offset은 센서의 동작에 크게 문제되지 않지만, 고압측에서 센서가 방전시 발생하는 순간적인 전압 차이를 이용하여 신호를 얻으므로 고압측의 잡음 특성은 매우 중요한 설계 요인이 된다. 그림 3은 가변 고전압 전원의 블록도를 나타낸다.

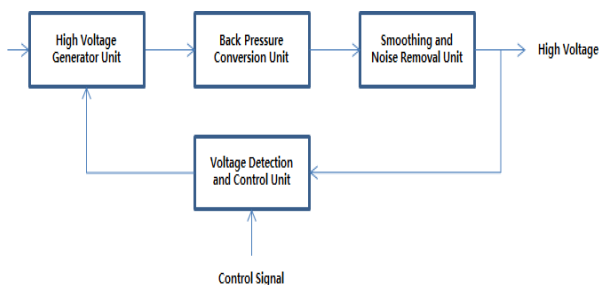


Fig. 3. Block Diagram of the Variable High Voltage Power Supply.

그림 3. 가변 고전압 전원의 블록도

고압발생부는 저압으로부터 고압을 얻은 기능을 하며, capacitor와 스위치를 이용하여 전압을 올리는 방법, 변압기를 이용하여 올리는 방법, 교류를 배압 정류하여 올리는 방법 등이 많이 사용된다. 본 논문에서는 필요한 특성을 충족하면서 소규모로 만들기 위해 변압기와 배압 정류를 혼합한 방법을 사용한다. 한편, 보편적으로 스위칭 전원에서 많이 사용하는 전압 변환 회로는 주 전원 전류를 스위칭 하여 단속시 2차측 코일에 나타나는 임펄스 형태의 파형을 정류하여 고압을 얻는다. 고압전원 배압변환부는 트랜스 2차측의 AC 전압을 최대치의 7배 전압으로 정류하는 회로인데, 트랜스 2차측 핀의 전압 변동 폭이 가장 커서 주 EMI 방출원이 된다. 따라서 배압 정류의 배율만큼 2차측 전압이 낮도록 설계하여 EMI 측면에서 유리하도록 한다. 평활 및 노이즈 제거부는 출력 DC 전압으로 부터 AC성분(노이즈)를 제거하기 위한 회로이다. 스위칭 주파수와 고조파를 포함하면 100KHz에서 수 GHz대에 이르는 노이즈가 나오므로 반도체를 사용한 액티브 필터보다는 수동 소자를 사용한다. 한편, 잡음을 효과적으로 제거하기 위해 다단의 LC 필터를 사용하며, 목표 전압에 도달한 후 전압 검출에 의해 고압발생이 ON/OFF 되며 발생하는 리플을 제거하기 위하여 리플 필터를 사용한다. 또한 HV_CK의 스위칭에 의해 발생하는 높은 주파수의 잡음을 제거하기 위하여 RC 필터를 사용한다. RC 필터는 저항 대신에 인덕터를 사용할 수도 있으나, 권선 간의 기생 용량으로 인해 자체 공진 주파수 이상의 고주파 성분은 충분히 차단하지 못하는 단점이 있으므로 기본구성은 저항으로 한다. 전압검출 및 제어부는 출력 전압을 감시하여 고압 발생기를 동작시킬지 여부를 결정하는 회로로서 고전압을 약 $1/(500*7)$ 로 줄여 기준 전압과 비교한다.

4. 성능 실험

본 논문에서 개발된 성능이 향상된 Stack Monitoring System을 교정기관이 표면 오염 측정을 위해 보유하고 있는 기준 검사 방사능 소스를 활용하여, 그림 4와 같이 정상 범위에서의 동작함이 확인되었다.



Fig. 4. Operational screen shot of the Stack Monitoring System

그림 4. 성능이 향상된 Stack Monitoring System 동작 화면

또한 성능이 향상된 Stack Monitoring System의 불확도에 대하여 그림 5와 같이 공인 시험기관의 장비를 사용하여 실험한 결과 우수한 성능을 나타내었다.

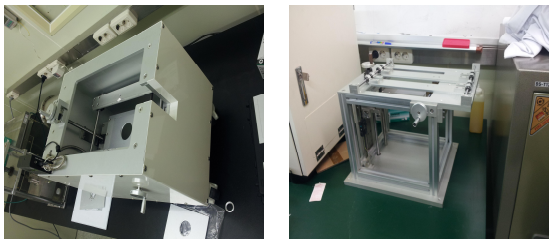


Fig. 5. Certified Measurement Equipment for the uncertainty test

그림 5. 불확도 측정을 위한 공인 시험기관의 장비

표 1과 같이 표준선원인 ⁹⁰Sr, ³⁶Cl를 사용하여 표준선량값을 가지고 측정 불확도를 측정하였다. 실험 결과 측정된 불확도는 5.5% 이하로 측정되어서, 기존의 불확도 15% 보다 우수하게 나타남이 확인되었다.

Table 1. Experimental Results on the Measurement Uncertainty Rate.

표 1. 측정 불확도에 대한 실험 결과

Sample	Reference Dose	Measurement Uncertainty Rate
	⁹⁰ Sr	5.4%
ENVST002	³⁶ Cl	5.5%

한편 가변 고전압 전원 회로에서는 정상적으로 300 ~ 1,500V의 가변 고전압이 공급됨을 자체 테스트로 확인하였다.

III 결론

본 논문에서는 성능이 향상된 Stack Monitoring System을 개발 하였다. 전원 노이즈 및 증폭회로의 발진 등을 해결하기 위한 회로 설

계 및 보드 제작(Shield CAN)을 통해 Stack Monitoring System의 신호의 특성을 개선하도록 회로를 개선 설계하였다. 또한 300 ~ 1,500V 가변 고전압 전원회로를 통해 광범위한 전압범위를 갖는 신틸레이션 검출기의 전원 공급에 효과적으로 대응하여 운용 및 효율성을 극대화하였다. 성능이 향상된 Stack Monitoring System의 불확도에 대하여 공인 시험기관의 장비를 사용하여 실험한 결과 우수한 성능을 나타내었다. 향후 시스템의 안정화 및 정확도를 높이는 방법에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

References

[1] Humpherys, Ko C., and A. D. Kantz., "Radiachromic: a radiation monitoring system.," *Radiation Physics and Chemistry*, pp. 737-747, 1977.

[2] Whittington, Herbert William, Brian W. Flynn, and Donald Ewen Macpherson., "Switched mode power supplies: design and construction.," *Power Engineering Journal*, pp. 87-87, 1998.

[3] Xin, Wu, et al., "A study of common mode noise in switching power supply from a current balancing viewpoint.," *IEEE 1999 International Conference*, pp. 2. 1999.

[4] Wong, W-H., and Hondi Li., "A scintillation detector signal processing technique with active pileup prevention for extending scintillation count rates.," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, pp. 838-842, 1998.

[5] Kastalsky, A., S. Luryi, and B. Spivak., "Semiconductor high-energy radiation scintillation detector.," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, pp. 650-656, 2006.

[6] Lee, Joo-Hyun, and Seung-Ho Lee, "A Study On Radiation Detection Using CMOS Image Sensor.," *Journal of IKEEE*, pp. 193-200, 2015.

[7] Jang, Kyeong-Uk, Joo-Hyun Lee, and Seung-Ho Lee, "A Study On Hardware Design for High Speed High Precision Neutron Measurement.," *Journal of IKEEE*, pp. 61-67, 2016.