

성능이 향상된 면적선량계(DAP) 개발

Development of Enhanced DAP(Dose Area Product)

이 영 지*, 이 상 현**, 이 승 호***★

Young-Ji Lee*, Sang-Heon Lee**, Seung-Ho Lee***★

Abstract

In this paper, we propose enhanced DAP(Dose Area Product). The development of enhanced DAP proposed in this paper has optimized the area dose meter that was developed previously. The development of enhanced DAP performed Optimized design of charge integrator and ADC circuit, optimization of line transceiver for RS-485 communication, optimization of display circuit, and optimization of PC-based control program for interlocking and aging. As a result of evaluating the performance of the proposed system in an accredited testing laboratory, Radiation dose dependence and Radiation quality dependence were measured to be 4.2%, which is below $\pm 15\%$ of international standard. Energy range/Tube voltage was confirmed in the range of 30~150kV. The sensitivity difference between sensor field and sensor field area dose sensitivity was measured to be 4.3%, and it was confirmed that it operates normally under $\pm 15\%$ of international standard. In order to measure the reproducibility of the area dosimeter, it was confirmed that it was 0% and it was operated normally at less than 2% of IEC60580 recommendation. Digital resolution was confirmed to be a minimum unit of $0.01\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ within the error range for the reference dose per hour.

요 약

본 논문에서는 성능이 향상된 면적선량계(DAP)를 제안한다. 본 논문에서 제안한 성능이 향상된 면적선량계는 기존에 개발되었던 면적선량계를 최적화하였다. 성능이 향상된 면적선량계는 전하 적분기 및 ADC 회로의 최적화 설계, RS-485 통신용 Line transceiver의 최적화 설계, Display 회로의 최적화 설계, 연동 및 에이징을 위한 PC 기반 제어 프로그램 최적화 등을 수행하였다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과는 Radiation dose dependence와 Radiation quality dependence는 4.2%의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Energy range/Tube voltage는 30~150kV 구간에서 반응이 확인되었다. 센서필드간 감도차이와 센서필드간 면적선량 감도차이는 4.3%의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 면적선량계의 재현성을 측정하기 위하여 10회 반복하여 측정한 결과 0%로 확인되어서 IEC60580 권고 사항인 2% 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Digital resolution은 시간당 기준선량에 대해 오차 범위 내에서 $0.01\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ 의 최소단위로 측정되는 것을 확인되었다.

Key words : Enhanced DAP, Optimized Charge Integrator and ADC Circuit, Optimized Line Transceiver Circuit for RS-485 Communication, Optimized Display Circuit, Optimized PC Based Control Program

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University
** DAON Technology Co. Ltd
*** Dept. Electronics&Control Engineering, Hanbat National University
★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received June. 4, 2019, revised June. 12, 2019, accepted June. 12, 2019.

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

일본 후쿠시마 원전사고를 계기로 방사선 피폭에 대한 우려와 관심이 커지고 있는 가운데 의료용 방사선 발생장치로 인한 방사선 피폭 문제 또한 매우 심각한 수준인 것으로 알려지면서 선진국을 중심으로 방사선 피폭관리시스템 구축을 위한 움직임이 일제히 추진되고 있는 상황이다. 세계 각국이 방사선 피폭 방지에 적극 나서면서 관련시장도 주목을 받고 있는데 방사선 발생장치에 방사선 피폭량 측정기기를 의무적으로 장착시키려는 정부정책에 따라 현재 가장 적합한 측정법인 면적선량계(DAP Meter)가 대두되고 있다[1][2]. 본 논문에서는 기존에 개발되었던 면적선량계의 성능을 향상시키기 위한 최적화된 방법을 제안한다[3].

패시터를 늘리고 전원을 분리하여 스위칭 잡음을 줄였다. 또한, 수동필터와 능동 필터를 추가하여 잡음 제거성능을 향상하였다. 그림 2는 최적화된 RS-485 통신용 Line transceiver 회로를, 그림 3은 최적화된 바이어스 전압 발생부 회로를 나타내고 있다.

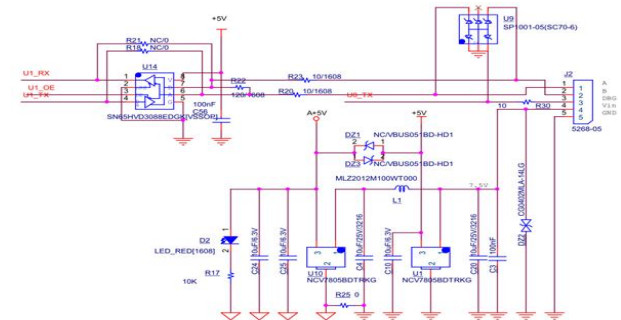


Fig. 2. Optimized Line Transceiver Circuit for RS-485 Communication.

그림 2. 최적화된 RS-485 통신용 Line transceiver 회로

II. 본론

1. 전하 적분기 및 ADC 회로의 최적화 설계

ADC 회로 보안을 위해 입력단자에 10M옴을 사용하였으나, 오차가 커지는 문제가 발생하여 입력 저항을 100옴으로 줄여 정확도를 향상하였다. 또한, 적분기가 발열되는 현상을 줄이기 위해 적분기에 흐르는 전류를 측정하여 latch-up이 판단되면 동작 전류를 차단하고 복구하기 위해 직렬로 스위치를 사용하여 발열을 줄였으나 GND 필터를 PCB 패턴으로 적용하여 반복 실험을 한 후 과전류 문제가 발생하지 않아 스위치를 제거하였다. 그림 1은 최적화된 전하 적분기 및 ADC 회로를 나타내고 있다.

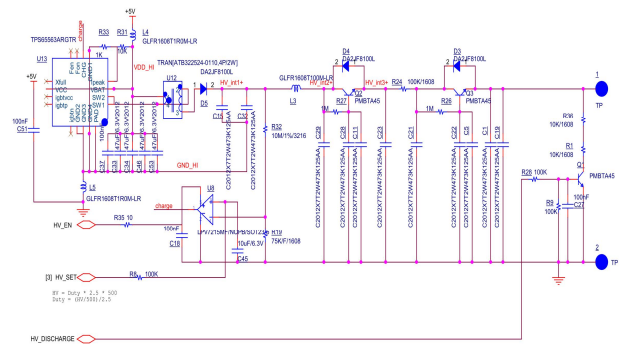


Fig. 3. Optimized Bias Voltage Generator Circuit.

그림 3. 최적화된 바이어스 전압 발생부 회로

3. Display 회로의 최적화 설계

Display Unit과 DAP 사이의 거리 문제로 인하여 전압이 낮게 전달되는 것을 방지하기 위해 12V를 9V로 선형으로 변환해서 DAP에 전달하는 구조로 변경하여 전원공급 및 잡음을 줄이는 성능을 향상시켰다. 그림 4는 최적화된 12V 입력 및 DAP용

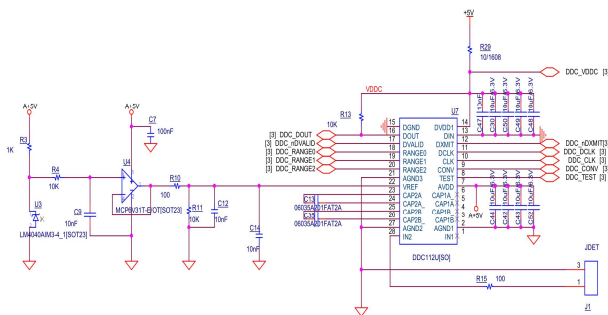


Fig. 1. Optimized Charge Integrator and ADC Circuit.

그림 1. 최적화된 전하 적분기 및 ADC 회로

2. RS-485 통신용 Line transceiver의 최적화 설계

고전압 발생부 스위칭 잡음이 Analog 접지로 넘어가는 것을 줄이기 위해 고전압 발생부의 전원 캐

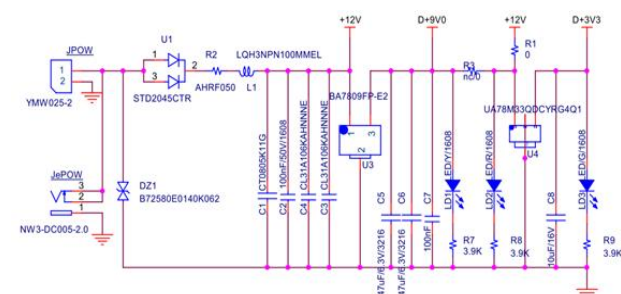


Fig. 4. Optimized Power Supply Circuit.

그림 4. 최적화된 전원부 회로

9V 전원부 회로를 나타내고 있다.

측정 데이터의 빠른 전송을 위해 921,600bps를 사용하도록 고속 트랜시버 설계를 하였으며, 전송선 특성 임피던스와 매칭하여 신호 품질을 향상시켰다. 기존에 설계한 MCU, LED, Ethernet을 모두 제어할 수 있는 모듈을 제작하여 입출력과 통신기능을 지원할 수 있도록 설계하였다.

PoE-PD 전원회로는 IEEE803.af를 만족하는 IC를 사용하여 10W까지 출력이 가능한 절연타입으로 설계하였다. 그림 5는 최적화된 바이어스 전압 발생부 회로를 나타내고 있다.

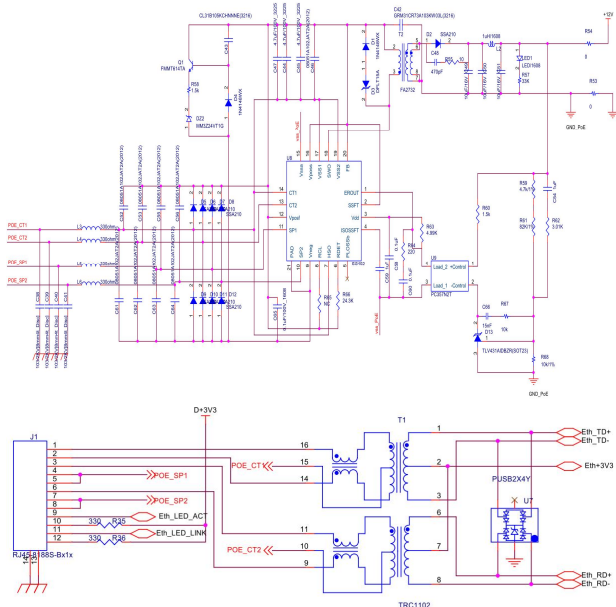


Fig. 5. Optimized POE-PD Power Supply, Connector Circuit. 그림 5. 최적화된 POE-PD 전원부, 연결부 회로

이더넷 통신이 길어지면 반복적인 정전기로 인한 IC 손상이 발생하여 50MHz RGMII 방식 연결을 적용하여 최대 100Mbps까지 지원하도록 구성하여 IC 손상을 개선하였다. 그림 6은 최적화된 바이어스 전압 발생부 회로를 나타내고 있다.

4. 연동 및 에이징을 위한 PC 기반 제어 프로그램 최적화

X-선 발생장치와의 연동 시 측정 중 연결이 끊어지는 현상이 있어 Serial parameter 설정을 최적화하였으며, 측정값의 그래프 Scale을 자동으로 설정될 수 있도록 하였다[4][5]. 테스트를 진행하면서 필요한 설정부 UI를 추가하였으며, 측정부와 설정부를 구분하여 측정결과 확인이 용이하도록 UI를

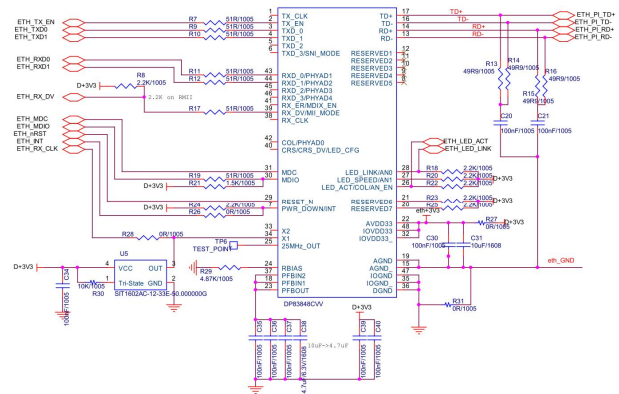


Fig. 6. Optimized Ethernet PHY Circuit. 그림 6. 최적화된 Ethernet용 PHY 회로

구성하였다. 또한, 의료진단용 X-선 촬영실의 구조상 촬영장비 밖에서 프로그램 운영이 가능하여 Display 정보를 운영프로그램에서 확인할 수 있도록 설계하였으며, 측정된 X-선의 그래프뿐 아니라 사용자가 원하는 단위의 결과를 직관적으로 확인할 수 있도록 표현하였다. 그림 7은 최적화된 PC 기반 제어 프로그램을 나타내고 있다.



- ① Computer communication setup
- ② Measurement button (On/Stop)
- ③ High voltage setting
- ④ Graph settings
- ⑤ Select log
- ⑥ Setting measurement cycle
- ⑦ Measurement result
- ⑧ Enter device information
- ⑨ Measured value graph
- ⑩ Debugging log screen

Fig. 7. Optimized PC Based Control Program. 그림 7. 최적화된 PC 기반 제어 프로그램

5. 성능 실험 5.1. 실험 방법

본 논문에서 제안한 면적선량계(DAP) 성능을 평가하기 위해 공인 시험기관으로부터 측정의 소급성이 확보된 X-선 조사장치를 이용하여 엑스선을 측정기에 조사하고 30kV, 60kV, 100kV, 150kV 구간과 kV별 5mA, 10mA에서 기준선량률과 측정기 지시치를 측정 실험하였다.

5.2. 실험 결과

실험 결과는 표 1과 같이 Radiation dose dependence와 Radiation quality dependence는 4.2%의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Energy range/Tube voltage는 30~150kV 구간에서 반응이 확인되었다. 센서 필드간 감도차이와 센서필드간 면적선량 감도차이는 4.3%의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 면적선량계의 재현성을 측정하기 위하여 10회 반복하여 측정된 결과 0%로 확인되어서 IEC60580 권고 사항인 2% 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Digital resolution은 시간당 기준선량에 대해 오차 범위 내에서 $0.01\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ 의 최소단위로 측정되는 것을 확인하였다.

Table 1. Experimental Results of Enhanced DAP.

표 1. 성능이 향상된 면적선량계 실험 결과

Experimental Items	Unit	Experimental Results
Radiation dose dependence	%	4.2%
Radiation quality dependence	%	4.2%
Energy range/Tube voltage	kV	30~150kV
Sensitivity difference between sensor fields	%	4.3%
Difference in area dose sensitivity between sensor fields	%	4.3%
Reproducibility	%	0%
Digital resolution	$\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$	$0.01\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$

III. 결론

본 논문에서는 성능이 향상된 면적선량계(DAP) 개발을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 성능이 향상된 면적선량계는 기존에 개발되었던 면적선량계를 최적화하였다 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 공인시험기관에서 실험한 결과는 Radiation dose dependence와 Radiation quality dependence는 4.2%의 측정 불확도가 측정되어 국제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Energy range/Tube voltage는 30~150kV 구간에서 반응이 확인되었다. 센서필드간 감도차이와 센서필드간 면적선량 감도차이는 4.3%의 측정 불확도가 측정되어 국

제 표준인 $\pm 15\%$ 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. 면적선량계의 재현성을 측정하기 위하여 10회 반복하여 측정된 결과 0%로 확인되어서 IEC60580 권고 사항인 2% 이하에서 정상동작 됨이 확인되었다. Digital resolution은 시간당 기준선량에 대해 오차 범위 내에서 $0.01\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ 의 최소단위로 측정되는 것을 확인되었다. 향후 연구과제로는 한국표준연구원의 X-ray 조사로 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2$ 단위의 측정이 가능하도록 하는 방법에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

References

- [1] Bogaert, E. V. E. L. I. E. N., Klaus Bacher, and Hubert Thierens. "A large-scale multicentre study in Belgium of dose area product values and effective doses in interventional cardiology using contemporary X-ray equipment," *Radiation protection dosimetry*, Vol.128, No.3 pp.312-323, 2007. DOI: 10.1093/rpd/ncm379
- [2] Hart, D., D. G. Jones, and B. F. Wall. Estimation of effective dose in diagnostic radiology from entrance surface dose and dose-area product measurements, *National Radiological Protection Board*, Vol.25, No.16, p57, 1994.
- [3] Dong-Hoon Kwak, Sang-Heon Lee, Seung-Ho Lee. "Development of DAP(Dose Area Product) for Radiation Evaluation of Medical and Industrial X-ray generator," *Journal of the Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol.22, No.2, pp. 495-498, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.2.495
- [4] Tae-Young Ko, Joo-Hyun Lee, Seung-Ho Lee. "Development of Neutron, Gamma ray, X-ray Radiation Measurement and Integrated Control System," *Journal of IKEEE*, Vol.21, NO.4, pp. 408-411, 2017. DOI: 10.7471/ikeee.2017.21.4.408
- [5] Tae-Young Ko, Joo-Hyun Lee, Seung-Ho Lee. "Design of Total RMS(Radiation Monitoring System) for nuclear and nuclear medicin," *Journal of IKEEE*, Vol.21, No.2, pp.158-161, 2017. DOI: 10.7471/ikeee.2017.21.2.158