



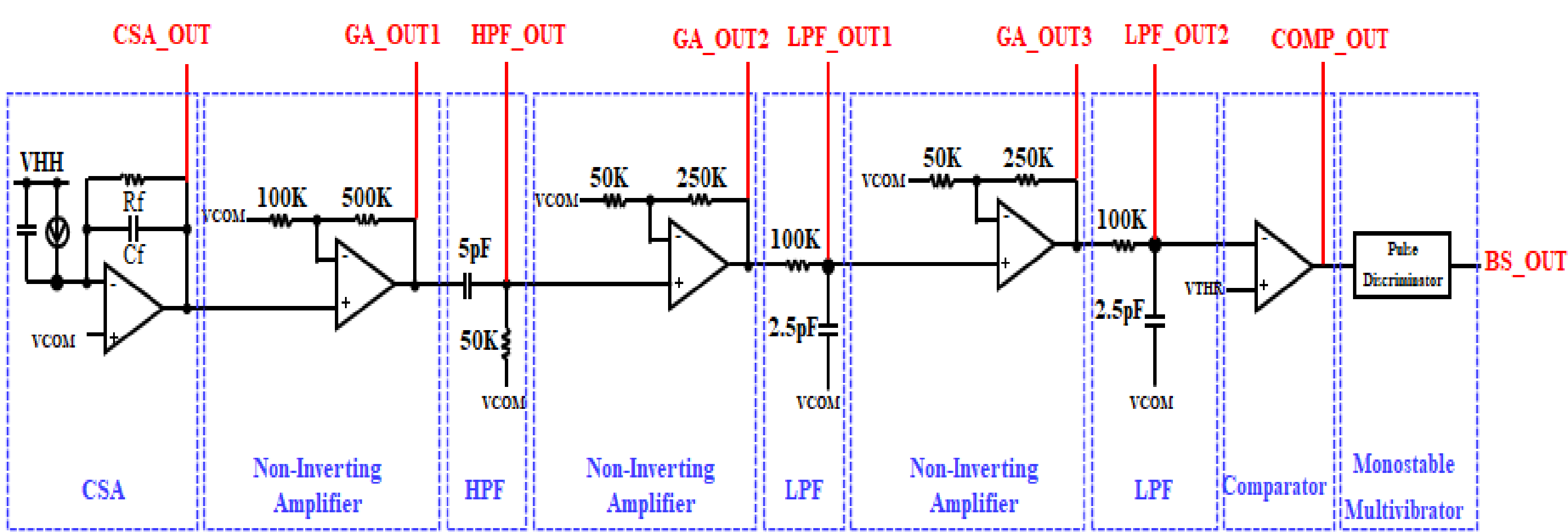
CSA Circuit Design for Beta-Ray Sensor with Reduced Capacitive Coupling Noise

Hongzhou Jin, Pan-Bong Ha and Young-hee Kim
 Department of EE, Changwon National University, Suwon, 51140, Korea
 E-mail : youngkim@changwon.ac.kr

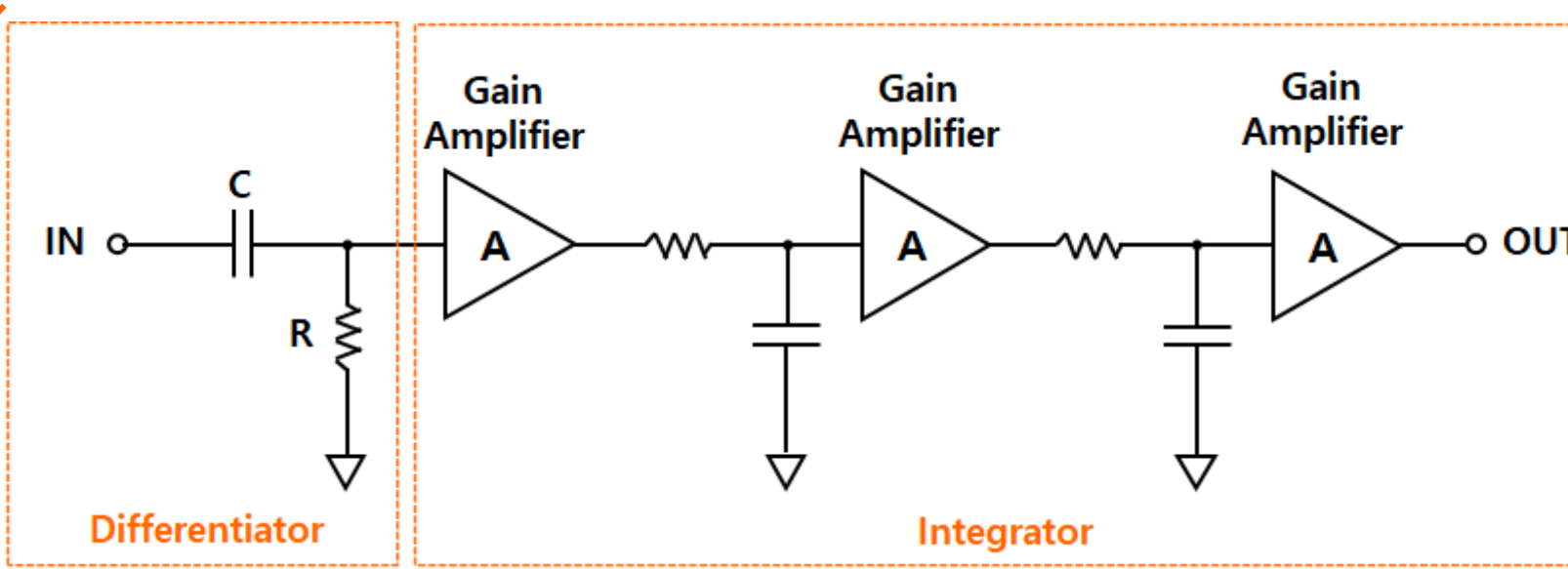
Introduction

- 난수 (random number)는 암호화와 모의실험 등의 다양한 과학, 기술 분야에서 활용되고 있음.
- 높은 보안등급, 고신뢰성을 요구하는 IoT 보안 분야에서는 날로 고도화되고 있는 해킹을 방지하는데 가장 효과적인 진성난수 (true random number)를 사용하고 있음.
- 양자역학적 물리현상을 이용한 난수생성기는 하드웨어 기반의 난수생성기중 가장 이상적인 난수를 생성할 수 있음.
- Ni-63 베타선이 붕괴하면 PIN 다이오드에서 감지하여 EHP(Electron-Hole Pair)를 생성하면, AFE(Analog Front End)인 CSA회로가 감지하여 신호전압 ΔV_s 을 생성함.
- CSA회로의 출력인 CSA_OUT은 신호전압 ΔV_s 만큼 떨어진 후 PMOS 피드백 저항의 부궤환 동작에 의해 $\tau=Rf \cdot Cf$ 의 시상수를 가지고 VCOM전압으로 다시 충전됨.
- CSA 회로의 피드백 커패시턴스 C_f 가 클수록 charge transfer efficiency는 1에 가까워 지지만 CSA_OUT의 ΔV_s 전압이 줄어드는 단점이 있음.
- 우수한 charge transfer efficiency 특성을 나타내는 C_f 값을 결정하기 위하여 50fF와 100fF의 피드백 커패시터를 선택하는 기능을 추가하여 특성 평가.
- PMOS Feedback 저항과 NMOS Feedback 저항을 선택하는 기능을 추가하여 특성 평가.
- Pulse Shaper의 출력신호가 단조증가가 아닌경우 비교기 회로의 출력신호가 왜곡이 안되도록 monostable multivibrator 회로를 추가하여 설계.
- CSA 입력단인 VIN과 베타선 센서 출력단을 실리콘 칩의 상단과 하단에 배치하므로 PCB trace 간의 커패시터 커플링 노이즈(capacitive coupling noise)를 줄임.

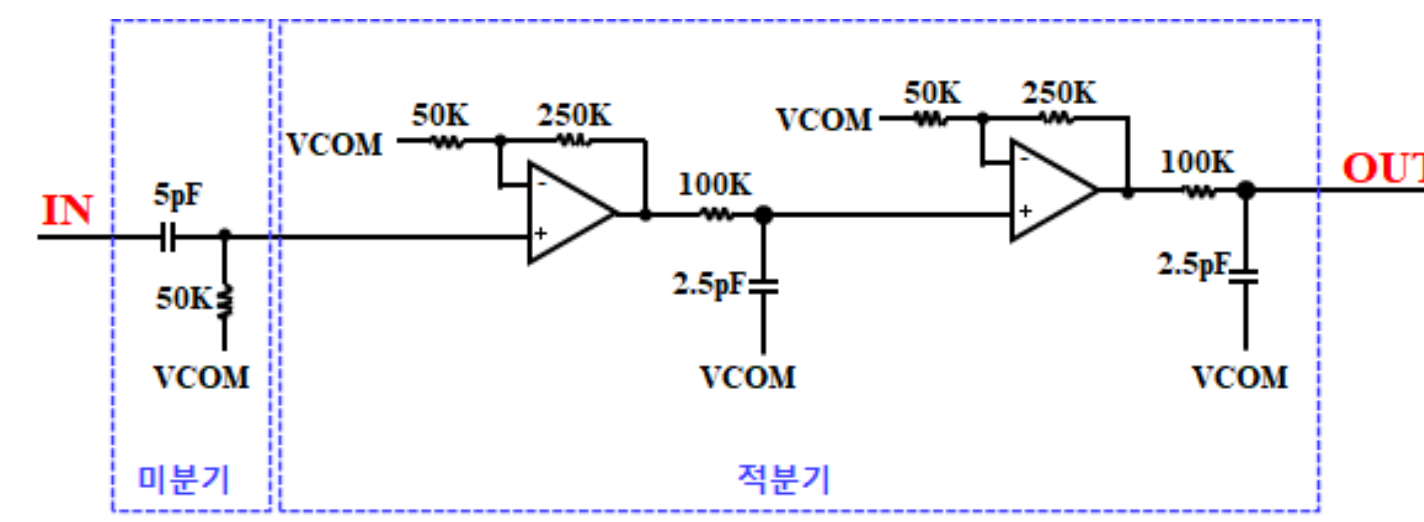
Circuit Design



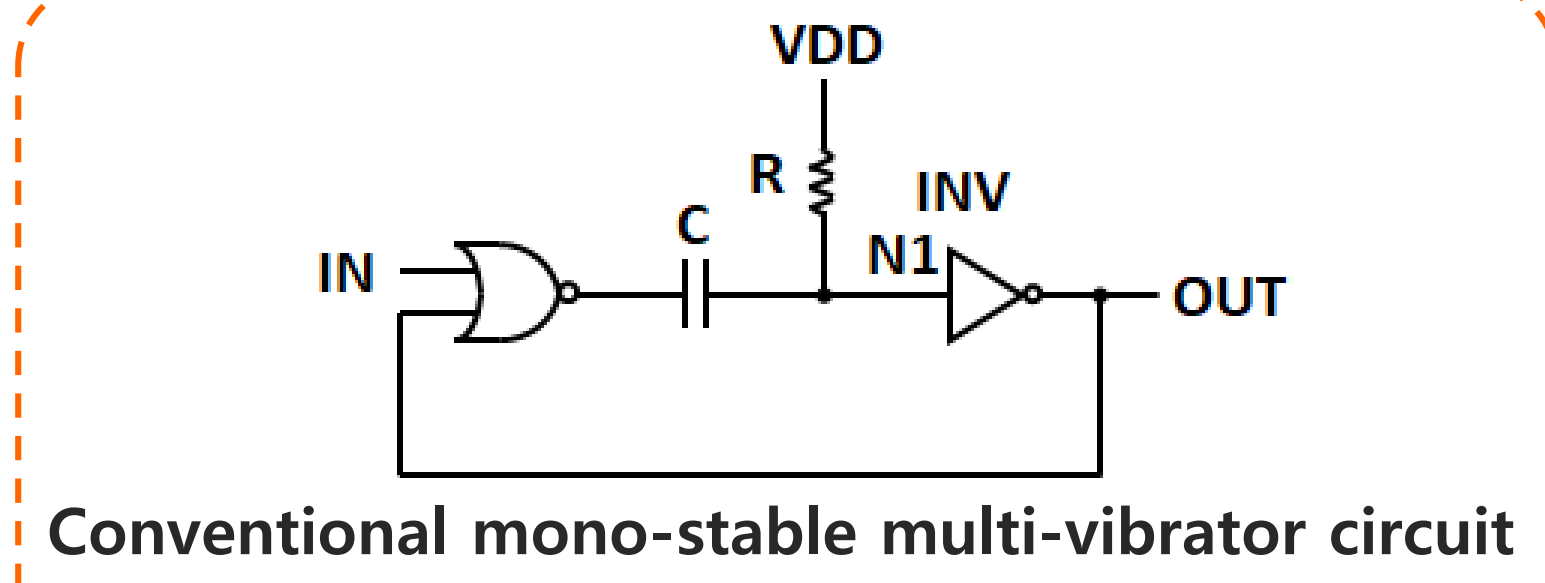
Proposed Beta-ray Sensor Circuit



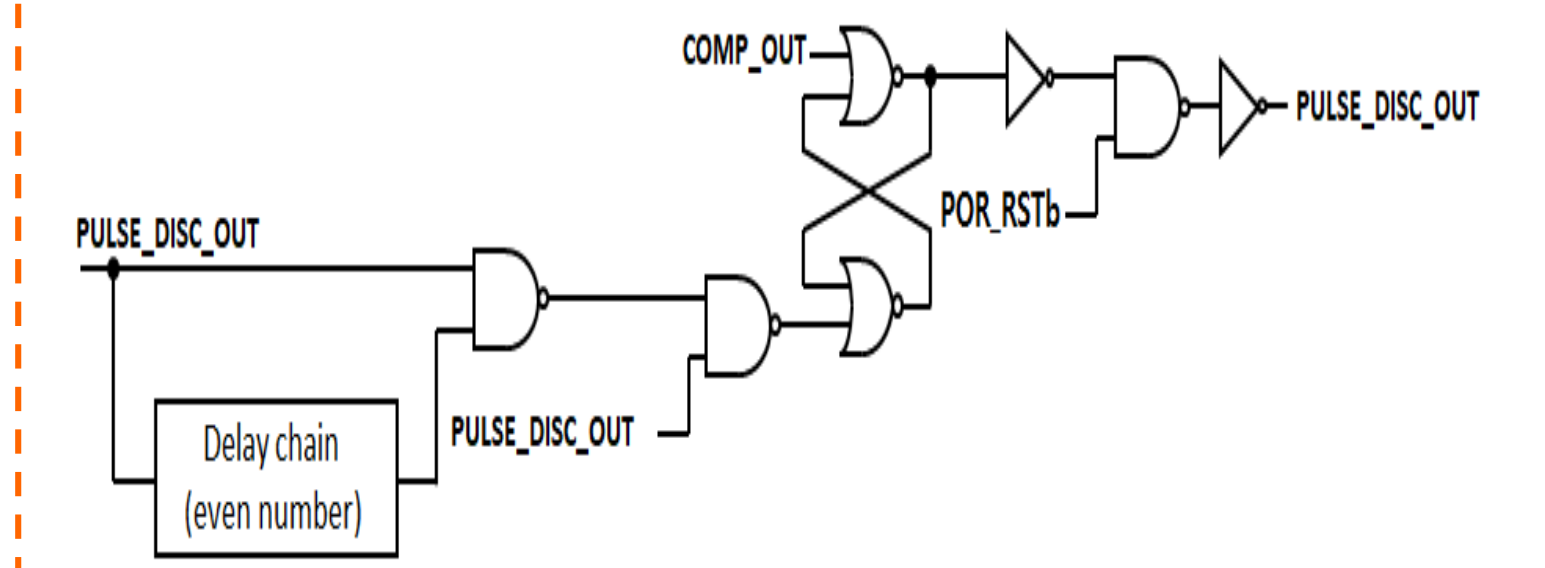
Conventional Pulse Shaper



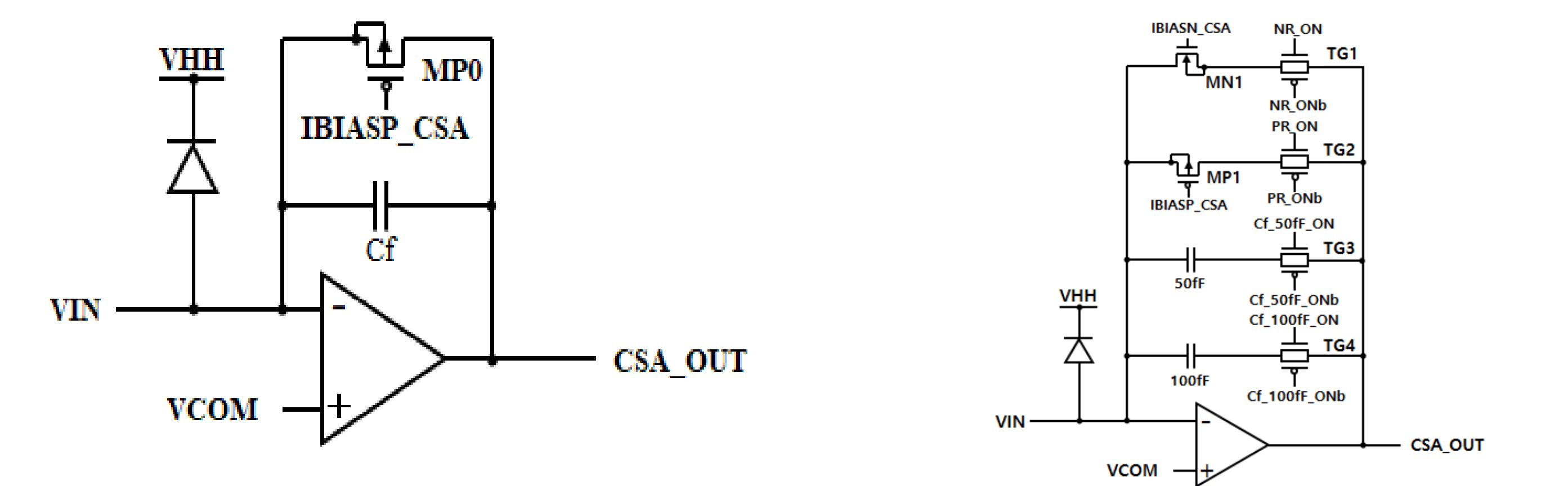
Proposed Pulse Shaper



Conventional mono-stable multi-vibrator circuit

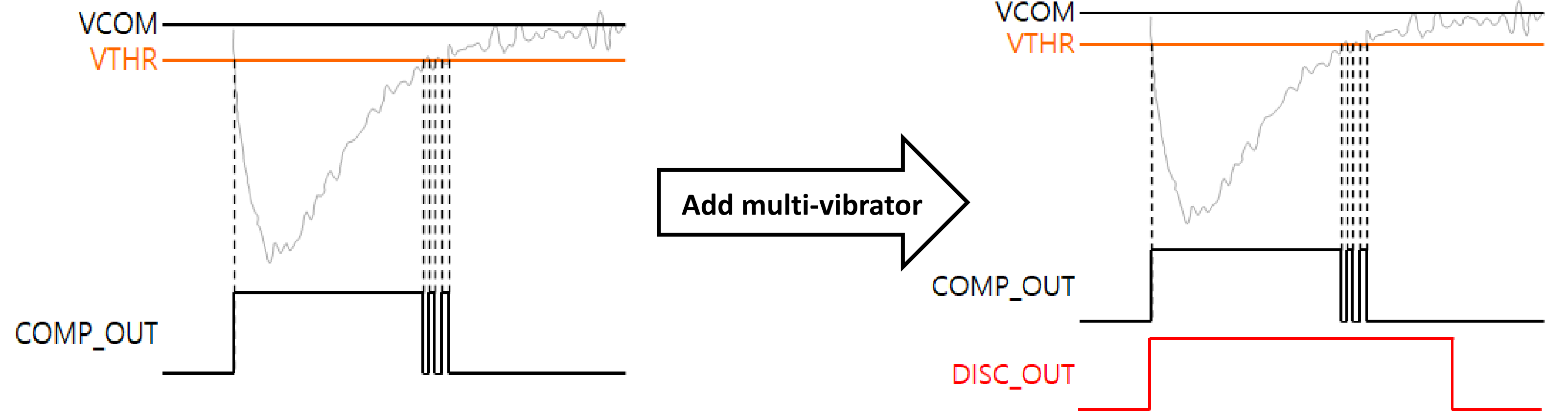


Proposed mono-stable multi-vibrator circuit



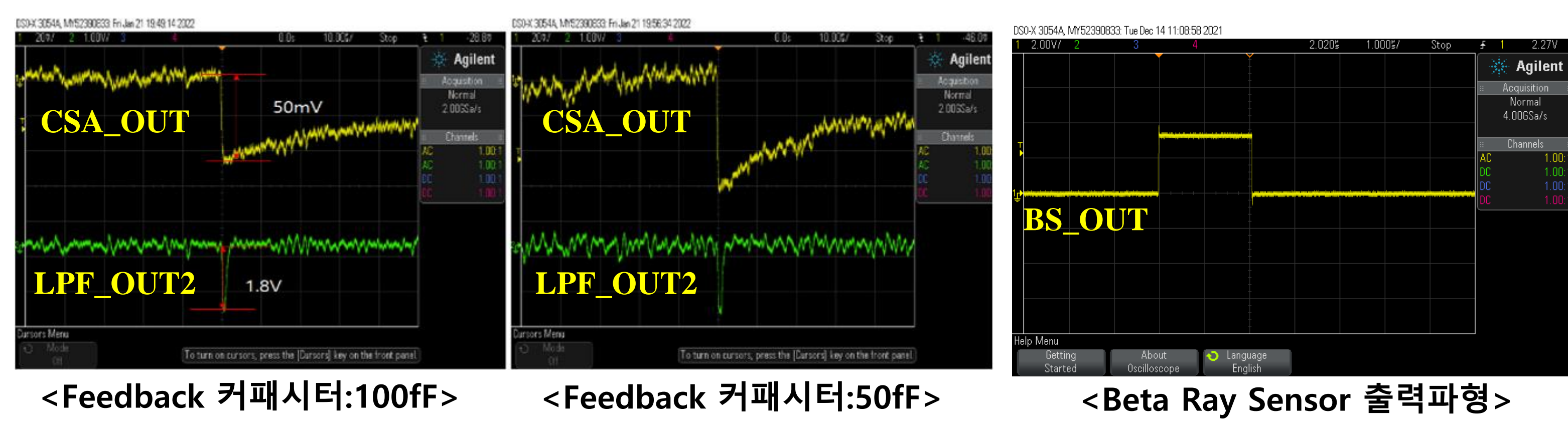
Conventional CSA Circuit

Proposed CSA Circuit



Add multi-vibrator

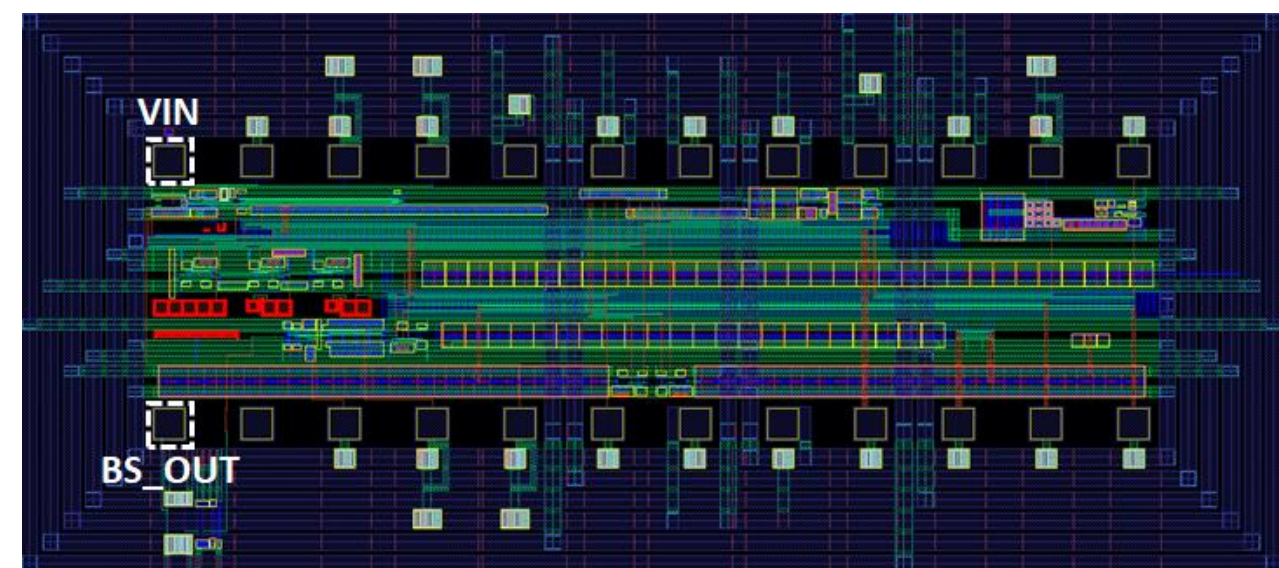
Test Results



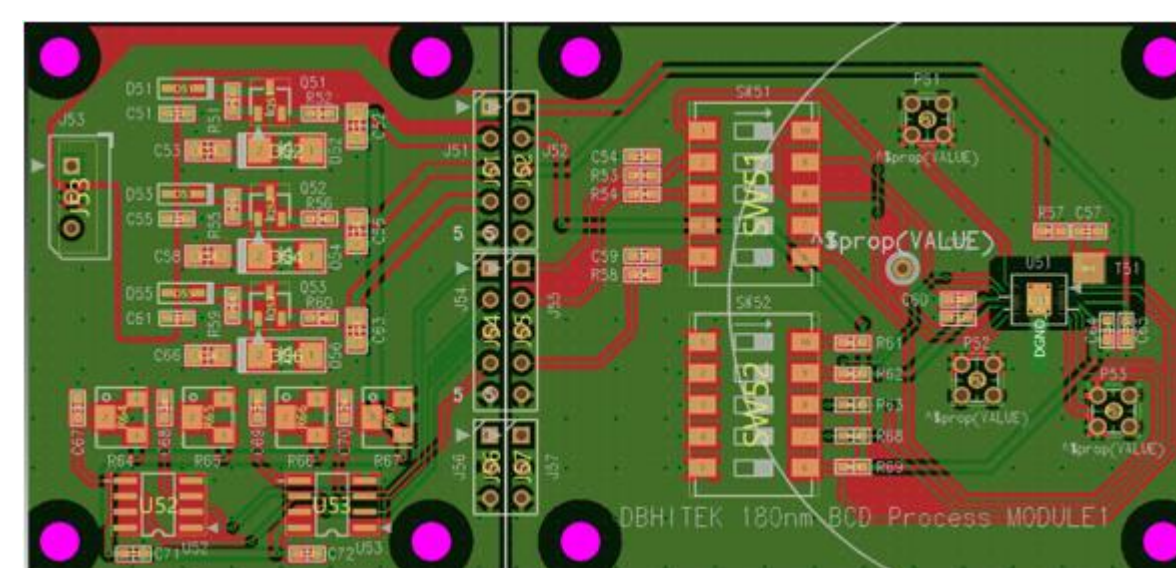
<Feedback 커패시터:100fF>

<Feedback 커패시터:50fF>

<Beta Ray Sensor 출력파형>



Chip Layout중 Input PAD와 Output Pad를 맞은 편에 배치하여 커패시터 커플링 노이즈를 줄임.



<Manufactured PCB>

Conclusion

- 본 연구에서는 방사선 중 Ni-63에 적용된 진성난수 생성용 베타선 센서를 설계하였음.
- 설계된 베타선 센서는 CSA회로, Pulse shaper회로, 비교기 회로와 monostable multi-vibrator로 구성 됨.
- 설계된 CSA회로는 50fF,100fF 피드백 커패시턴스 선택하는 기능과 PMOS저항과 NMOS저항을 선택하는 기능을 갖고 있음.
- PCB보드 기반상 측정된 결과 Input PAD와 Output PAD를 맞은편에 배치하여 커패시터 커플링 노이즈를 줄이고, Pulse Shaper 출력이 단조증가가 아닌 경우 비교기 회로의 출력 신호가 다수의 연속된 펄스가 발생하더라도 단조 다중발진기(monostable multivibrator) 회로를 사용하여서 신호 왜곡이 없는 것을 확인함.

ACKNOWLEDGEMENT

The chip fabrication and EDA tool were supported by the IC Design Education Center(IDEC), Korea.

REFERENCES

- [1] M. Herrero-Collantes et al., "Quantum Random Number Generators," Reviews of Modern Physics, Feb. 2017.
- [2] K. H. Park et al., "Apparatus and Method for Generating Quantum Random Number," Korean Patent applied no. 10-2018-0054533, May 2018.
- [3] John Gribbin, Q is for Quantum, ISBN-13: 978-0684855783, pp. 291-292, 1998.
- [4] Anil and Ananthaswamy, How to Turn a Quantum Computer into the Ultimate Randomness Generator. Quanta Magazine. June 19, 2019.
- [5] Glen F. Knoll, Radiation Detection and Measurement, Third Edition, John Wiley & Sons Inc., 2000.
- [6] W. R. Wampler; B. L. Doyle, "Low-Energy Beta Spectroscopy Using PIN Diodes to Monitor Tritium Surface Contamination," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A349, pp. 473-480, 1994.
- [7] Mihai Culcer, Mariana Iliescu, Marian Curuia, Adrian Enache, Ioan Stefanescu, Catalin Ducu, Viorel Malinovsky, "Tritium Contaminated Surface Monitoring with a Solid-State Device," Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe, 713.1-6, Sep. 2004.
- [8] S. B. Baek et al., "A Design of Single Pixel Photon Counter for Digital X-ray Image Sensor," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 11, no. 2, Feb. 2007.
- [9] Y. H. Kim et al., "A Study on the Design of a Beta Ray Sensor for True Random Number Generators," JKIICT, vol. 12, no. 9, pp. 619-628, Dec. 2019.
- [10] Y. H. Kim et al., "A Study on the Design of a Beta Ray Sensor Reducing Digital Switching Noise," JKIICT, vol. 13, no. 5, pp. 403-411, Oct. 2020.
- [11] Hongzhou Jin et al., "Design of a Beta Ray Sensor," IDEC Congress Chip Design Contest, June 2021.
- [12] Mohammad Nakhostin, Signal Processing for Radiation Detectors, John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [13] R. JACOB BAKER, "CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation," WILEY-IEEE Press, May 2021.