

# 経爪型集積化光電容積脈波計測システム向け ノイズキャンセル機能を有する I/V 変換回路のノイズ検討 Noise Study of I/V Converter with Noise Cancellation Technique for Trans-Nail Pulse Wave Measurement System

○井上文太<sup>1</sup> 梁耀滄<sup>1</sup> 杜邦<sup>1</sup> 中村皓平<sup>1</sup> 王勝璋<sup>1</sup> 有賀優太<sup>1</sup>  
木野久志<sup>2</sup> 福島誉史<sup>1</sup> 清山浩司<sup>3</sup> 田中徹<sup>1,2</sup>

(1. 東北大院工 2. 東北大院医工 3. 長崎総科大)

○B. Inoue<sup>1</sup>, Y. Liang<sup>1</sup>, B. Du<sup>1</sup>, K. Nakamura<sup>1</sup>, S. Wang<sup>1</sup>, Y. Aruga<sup>1</sup>,  
H. Kino<sup>2</sup>, T. Fukushima<sup>1</sup>, K. Kiyoyama<sup>3</sup>, T. Tanaka<sup>1,2</sup>

(Grad. Sch. of Eng., Tohoku Univ.<sup>1</sup>, Grad. Sch. of Biomedical Eng., Tohoku Univ.<sup>2</sup>,  
Nagasaki Institute of Applied Science<sup>3</sup>)

E-mail: link@lbc.mech.tohoku.ac.jp

## 1. 背景

生体信号の常時モニタリングは、病院での患者の異常検知に加え、予防医学に役立てるといふニーズから、近年、ウェアラブルデバイスなど様々なタイプの方方式・機器の提案や検証が行われている。光電式容積脈波 (PPG) は、生体に赤色光や近赤外光を照射し、その反射光や透過光の変動を検出することで脈波を測定する。動脈疾患の病態観測・治療効果の判定をはじめとする心血管機能の評価のほか、過労等による発作や異常の早期発見のために、PPG モニタリングが必要とされている。我々はこれまで経爪型 PPG 計測システムの開発を進めてきた[1]。経爪型は皮膚との直接接点がないため、装着時の違和感や皮膚疾患の誘発リスクを抑えることができる。経爪型 PPG 計測精度を低下させるノイズには、環境光、モーションアーティファクトなどの外来ノイズ、能動素子の  $1/f$  ノイズや熱雑音といった回路に起因するノイズが挙げられる。我々は、相関二重サンプリング(CDS)を用いた電流/電圧(I/V)変換回路[2]を提案し、環境光ノイズ除去機能(BNC)とその評価結果を報告した[3]。本稿では、I/V 変換回路が有する回路に起因するノイズの除去性能の考察を述べる。

## 2. I/V 変換回路のノイズ検討

提案する I/V 変換回路は、1-Poly 4-Metal 0.35 $\mu$ m CIS(CMOS Image Sensor)テクノロジーを使用して設計した。図1に BNC 機能付き I/V 変換回路の回路図及び動作シーケンスを示す。

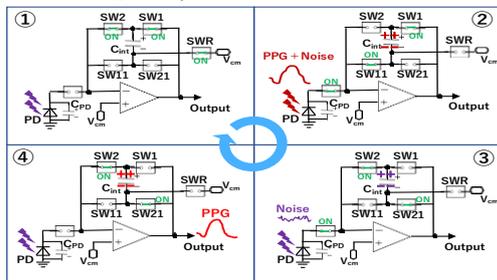


Fig. 1. Block diagram of the proposed I/V converter.

BNC は①リセット、②信号+ノイズ充電、③ノイズ充電&減算、④ホールドという4フェーズで動作する。フェーズ①は PD と I/V 変換用キャパシタをリセットし、同時に I/V 変換回路に使用している OP アンプの低周波ノイズ(主に DC オフセット)をキャパシタに蓄える。次に LED をオンしてフェーズ②に移ると、PD からの PPG とノイズを含んだ信号がキャパシタに充電された。続いて LED をオフしてフェーズ③に移行し、キャパシタの接続極性を反転させる。フェーズ③

ではノイズのみを取り込む。この時、キャパシタにフェーズ②で保持した信号+ノイズの電荷からノイズのみが引き抜かれる。最後にフェーズ④では、環境光ノイズを除いた出力信号が保持されて ADC によって PPG 信号のみがデジタル変換される[3]。

前述のフェーズ①に設けた OP アンプノイズ除去機能を Cadence 社の回路シミュレータ Spectre のノイズ解析(pss = periodical steady state, pnoise)を用いて解析した。I/V 変換回路に用いた OP アンプの直流利得は 102dB、利得帯域幅積 2.9MHz であり  $1/f$  ノイズを含んだモデルを使用した。また、スイッチは2種類を用いており、10.4k $\Omega$  及び 2.49k $\Omega$  のオン抵抗としている。I/V 変換回路のフィードバックキャパシタは  $C_{int}=10$ pF、PD の接合静電容量は  $C_{pd}=22.4$ pF である。スイッチング周波数は 10kHz とした。図2はノイズ解析の結果である。図中の実線はノイズ除去機能有り、点線は機能無しである。この結果から低周波域においてノイズ除去機能の有効性が確認出来る。ノイズ除去を含む性能と考察は発表時に詳説する。

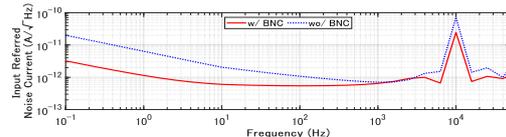


Fig. 2. Simulated input referred noise current of the proposed circuit.

## 3. 結論

本稿では、CDS 技術を用いたノイズ除去機能 BNC を有する I/V 変換回路において、能動素子(OP アンプが主要因の  $1/f$  ノイズ)の低周波ノイズ除去性能に関する解析結果を示した。当該回路は、最小限の構成素子でありながら、環境光および回路に起因するノイズを効率的に除去することができ、回路の小面積化と PPG センシングの高性能化に貢献する。

## 謝辞

本研究は、東京大学 VDEC 活動を通して、日本ケイデンス(株)と日本シノプシス合同会社、メンター・グラフィックス・ジャパン(株)の協力で行われたものである。また、本研究の一部は JSPS 科研費 21H04951 の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Z. Qian, T. Tanaka, et al., Japanese Journal of Applied Physics, Vol.57, 04FM11, 2018.
- [2] K. Kiyoyama, et al., 2021 IEEE International 3D Systems Integration Conference (3DIC), 2021.
- [3] 井上文太, 田中徹, 他, 第83回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 23a-A105-9, 2022.