

УДК 621.375.4

НЕЙРОННЫЙ ВХОДНОЙ ПОДПОРОГОВЫЙ КМОП-УСИЛИТЕЛЬ СВЕРХМАЛОЙ МОЩНОСТИ С ВЫСОКИМ ВХОДНЫМ ИМПЕДАНСОМ*

С. Р. ХАН¹, И. НАДИМ²¹Университет Хериота-Уатта,
Великобритания, Эдинбург²Университет Чосон,
Южная Корея, Гванджу

Аннотация. В статье предложен входной усилитель (ВУ) сверхмалой мощности с управлением по напряжению, который предназначен для нейронных применений и отличается подпороговой

(subthreshold) конструкцией. За последние несколько десятилетий этой теме посвящено много исследовательских работ в области вживляемых медицинских протезов, ориентированных на контроль и лечение неврологических расстройств, таких как слуховые дисфункции и нарушения функции зрения, эпилепсия, болезнь Паркинсона, паралич. ВУ выполняет важную функцию по обнаружению сигнала в системах неврологического мониторинга для обеспечения точности воспроизведения биосигналов. Согласованная схема на базе двойной МОП структуры с обратной связью используется для компенсации входных токов утечки, генерируемых малошумящим усилителем, выполненным в виде интегральной схемы, что является главной причиной очень большой потери сигнала в цепи смещения на входе. Эта топология с замкнутым контуром обеспечивает поддержание высокого импеданса ВУ в широком диапазоне частот входного сигнала. Предлагаемый ВУ выполнен при использовании 0,18 мкм КМОП-технологии компании SK Hynix. Этот ВУ потребляет мощность 320 нВт при занимаемой площади 0,016 мм² и достигает значения входного импеданса 44,9 ГОм при уровне шума 153 нВ/Гц^{1/2}, приведенного ко входу.

Ключевые слова: входной усилитель; подпороговый; двойная МОП структура; ток утечки; входной импеданс

1. ВВЕДЕНИЕ

Устройство сбора данных, используемое для записи (регистрации) неврологических сигналов [1], является одним из наиболее важных компонентов в биомедицинской электронной системе. Входной усилитель (ВУ) является важнейшим элементом [2] такой системы, которая считывает и усиливает нервные сигналы, такие как сигналы электроэнцефалографии

(ЭЭГ), электрокортикографии (ЭКоГ) и потенциал локального поля (ПЛП), с помощью интерфейсов электрод–ткань [3]. Эти сигналы имеют небольшие амплитуды, а полосы частот изменяются от нескольких долей герца до кГц [4]. Обычно нервный сигнал представляет собой потенциал действия (ПД) или нервные всплески с амплитудой в диапазоне от 5 до 50 мВ (при частоте от 300 Гц до 7,5 кГц) и

* Данное исследование получило поддержку научно-исследовательского фонда Университета Чосон в 2016 году.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rajabpour-Moghaddam, K.; Mohammadi, A. "A wireless multi-channel implantable neural recording

microsystem based on optimized analog TDM-FDM combination," *AEU - Int. J. Electron. Commun.*, Vol. 77, p. 130-138, 2017. DOI: [10.1016/j.aeue.2017.04.011](https://doi.org/10.1016/j.aeue.2017.04.011).

2. Sung, Y.-S.; Chen, W.-M.; Wu, C.-Y. "The design of 8-channel CMOS area-efficient low-power current-mode analog front-end amplifier for EEG signal recording," *Proc. of IEEE Int. Symp. On Circuits and Systems*, 22-25 May 2016, Montreal, Canada. IEEE, 2016, p. 530-533. DOI: [10.1109/ISCAS.2016.7527294](https://doi.org/10.1109/ISCAS.2016.7527294).

3. Zhou, Z.; Warr, P. A. "Back-gate current neutralisation feedback loop for high-input impedance neural FEAs," *Electron. Lett.*, Vol. 52, No. 19, p. 1586-1588, 2016. DOI: [10.1049/el.2016.2178](https://doi.org/10.1049/el.2016.2178).

4. Zhang, F.; Holleman, J.; Otis, B. P. "Design of ultra-low power biopotential amplifiers for biosignal acquisition applications," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, Vol. 6, No. 4, p. 344-355, 2012. DOI: [10.1109/TBCAS.2011.2177089](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2011.2177089).

5. Barsakcioglu, D. Y.; Liu, Yan; Bhunjun, P.; Navajas, J.; Eftekhari, A.; Jackson, A.; Quiroga, R. Q.; Constandinou, T. G. "An analogue front-end model for developing neural spike sorting systems," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, Vol. 8, No. 2, p. 216-227, 2014. DOI: [10.1109/TBCAS.2014.2313087](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2014.2313087).

6. Demosthenous, A.; Pachnis, I.; Jiang, D.; Donaldson, N. "An integrated amplifier with passive neutralization of myoelectric interference from neural recording tripoles," *IEEE Sens. J.*, Vol. 13, No. 9, p. 3236-3248, 2013. DOI: [10.1109/JSEN.2013.2271477](https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2271477).

7. Mohseni, P.; Najafi, K. "A fully integrated neural recording amplifier with DC input stabilization," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, Vol. 51, No. 5, p. 832-837, 2004. DOI: [10.1109/TBME.2004.824126](https://doi.org/10.1109/TBME.2004.824126).

8. Harrison, R. R.; Charles, C. "A low-power low-noise CMOS amplifier for neural recording applications," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 38, No. 6, p. 958-965, 2003. DOI: [10.1109/JSSC.2003.811979](https://doi.org/10.1109/JSSC.2003.811979).

9. Ferrari, G.; Farina, M.; Guagliardo, F.; Carminati, M.; Sampietro, M. "Ultra-low-noise CMOS current preamplifier from DC to 1 MHz," *Electron. Lett.*, Vol. 45, No. 25, p. 1278-1280, 2009. DOI: [10.1049/el.2009.2353](https://doi.org/10.1049/el.2009.2353).

10. Magnelli, L.; Amoroso, F. A.; Crupi, F.; Cappuccino, G.; Iannaccone, G. "Design of a 75-nW, 0.5-V subthreshold complementary metal-oxide-semiconductor operational amplifier," *Int. J. Circuit*

Theory Appl., Vol. 42, No. 9, p. 967-977, 2014. DOI: [10.1002/cta.1898](https://doi.org/10.1002/cta.1898).

11. Nevalainen, T.; Koivisto, T.; Pankaala, M. "Subthreshold nano-watt front-end amplifier for wireless ECG applications," *Proc. of 32nd NORCHIP Conf. Nord Microelectron. Event*, 27-28 Oct. 2014, Tampere, Finland. IEEE, 2015, p. 1-4. DOI: [10.1109/NORCHIP.2014.7004713](https://doi.org/10.1109/NORCHIP.2014.7004713).

12. Zhou, Z.; Warr, P. A. "A high input impedance low noise integrated front-end amplifier for neural monitoring," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, Vol. 10, No. 6, p. 1-8, 2016. DOI: [10.1109/TBCAS.2016.2525810](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2016.2525810).

13. Wu, C.-Y.; Chen, W.-M.; Kuo, L.-T. "A CMOS power-efficient low-noise current-mode front-end

amplifier for neural signal recording," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, Vol. 7, No. 2, p. 107-114, 2013. DOI: [10.1109/TBCAS.2013.2256422](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2013.2256422).

14. Shulyzki, R.; Abdelhalim, K.; Bagheri, A.; Salam, M. T.; Florez, C. M.; Velazquez, J. L. P.; Carlen, P. L.; Genov, R. "320-channel active probe for high-resolution neuromonitoring and responsive neurostimulation," *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, Vol. 9, No. 1, p. 34-49, 2015. DOI: [10.1109/TBCAS.2014.2312552](https://doi.org/10.1109/TBCAS.2014.2312552).

15. Abdi, A.; Cha, H.-K. "A bidirectional neural interface CMOS analog front-end IC with embedded isolation switch for implantable devices," *Microelectronics J.*, Vol. 58, p. 70-75, 2016. DOI: [10.1016/j.mejo.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.mejo.2016.10.013).

Поступила в редакцию 28.03.2018

После доработки 21.03.2019

Принята к публикации 25.03.2019