

УДК

**ЧЕТЫРЕ НОВЫХ ГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ ТРАНСИМПЕДАНСНОГО УСИЛИТЕЛЯ****П. ЧАНДРА ШАКЕР, А. СРИНИВАСУЛУ***VIGNAN университет,  
Индия, Вадламуди, Гунтур*

**Аннотация.** В статье представлены четыре новых генератора сигналов синусоидальной формы, построенные на базе трансимпедансного усилителя (ТИУ). Первая предложенная схема представляет собой генератор с одним ТИУ и небольшим количеством пассивных компонентов. Вторая и третья предложенные схемы содержат один ТИУ и несколько пассивных компонентов, среди которых два пассивных элемента соединены с общим проводом. В этих схемах контроль условия генерации и частоты генерируемого сигнала осуществлен независимо. Четвертая схема представляет собой квадратурный генератор с двумя ТИУ в качестве активных элементов и несколько внешних пассивных элементов для генерации колебаний. Для реализации предложенных схем в лабораторных условиях выбрана ИС AD 844 AN с внешними пассивными компонентами. Результаты компьютерного моделирования с помощью программы SPICE и результаты лабораторных испытаний представлены для подтверждения теоретического анализа предложенных схем.

**Ключевые слова:** трансимпедансный усилитель; операционный усилитель с токовой обратной связью; разработка аналоговых интегральных схем; генератор в режиме тока; генератор синусоидального сигнала

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Генераторам синусоидального сигнала уделяется большое внимание, поскольку они применяются в различных областях электроники, таких как обработка сигналов, приборы и измерения, системы управления и связи. Также, поскольку квадратурный генератор обычно генерирует два синусоидальных сигнала с разностью фаз  $90^\circ$ , он используется в телекоммуникационных системах для работы квадратурных миксеров, генераторов с одной боковой полосой, приемников с прямым преобразованием, а также для измерительной аппаратуры, например для генераторов векторов и избирательных вольтметров [1–4]. В [1] предложено несколько схем генераторов синусоидального сигнала на основе операционных усилителей (ОУ) в качестве активных элементов. Несмотря на то, что эти схемы генераторов

имеют ограничения, связанные с ограниченной скоростью нарастания выходного напряжения, они характеризуются хорошим коэффициентом усиления в рабочей полосе частот устройства [1–5].

Известно, что некоторые предложенные схемы генераторов основаны на использовании тока, как сигнала обратной связи (токовый режим), для преодоления недостатков классических генераторов, где для этого используется напряжение [6–28]. Устройствам токового режима уделяется существенное внимание благодаря их увеличенному динамическому диапазону, частотному диапазону и полосе частот по сравнению с устройствами режима напряжения.

В литературе рассмотрены некоторые усилители на устройствах токового режима, такие как операционный усилитель с обратной свя-

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Budak, A. *Passive and Active Network Analysis and Synthesis*. Houghton Mifflin, Boston, 1974.
2. Soliman, Ahmed M.; Al-Shamaa, Mohammed H.; Al-Bab, Dak, Mohammed. Active compensation of RC oscillators. *Frequenz*. — 1988. — Vol. 42, No. 11–12. — P. 325–332. — DOI : [10.1515/FREQ.1988.42.11-12.325](https://doi.org/10.1515/FREQ.1988.42.11-12.325).
3. Bolton, W. *Measurement and Instrumentation Systems*. Newnes, Oxford, UK, 1996.
4. Gibson, J. D. *The Communications Handbook*. CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 1997.
5. Soliman, Ahmed M. Simple sinusoidal active RC oscillators. *Int. J. Electron.* — 1975. — Vol. 39, No. 4. — P. 455–458. — DOI : [10.1080/00207217508920504](https://doi.org/10.1080/00207217508920504).
6. Chang, C.-M. Novel current-conveyor-based single-resistance-controlled/voltage-controlled oscillator employing grounded resistors and capacitors. *Electron. Lett.* — Feb. 1994. — Vol. 30, No. 3. — P. 181–183. — DOI : [10.1049/el:19940133](https://doi.org/10.1049/el:19940133).
7. Horng, Jiun-Wei; Hou, Chun-Li; Chang, Chun-Ming; Chung, Wen-Yaw; Tang, Han-Wei; and Wen, Yao-Hsin. Quadrature oscillators using CCII. *Int. J. Electron.* — 2005. — Vol. 92, No. 1. — P. 21–31. — DOI : [10.1080/00207210412331332899](https://doi.org/10.1080/00207210412331332899).
8. Srinivasulu, Avireni. A novel current conveyor-based Schmitt trigger and its application as a relaxation oscillator. *Int. J. Circuit Theory and Applications*. — Jun. 2010. — Vol. 39, No. 6. — P. 679–686. — DOI : [10.1002/cta.669](https://doi.org/10.1002/cta.669).
9. Abuelma'atti, M. T.; Al-Ghumaiz, A. A.; Khan, M. H. Novel CCII-based single-element controlled oscillators employing grounded resistors and capacitors. *Int. J. Electron.* — 1995. — Vol. 78, No. 6. — P. 1107–1112. — DOI : [10.1080/00207219508926235](https://doi.org/10.1080/00207219508926235).
10. Pal, Dipankar; Srinivasulu, Avireni; Pal, Basab Bijoy; Demosthenous, Andreas; Das, Barda Nand. Current conveyor-based square/triangular waveform generators with improved linearity. *IEEE Trans. Instrum., Meas.* — Jul. 2009. — Vol. 58, No. 7. — P. 2174–2180. — DOI : [10.1109/TIM.2008.2006729](https://doi.org/10.1109/TIM.2008.2006729).
11. Liu, Shen-Iuan. Single-resistance-controlled/voltage-controlled oscillator using current conveyors and grounded capacitors. *Electron. Lett.* — Mar. 1995. — Vol. 31, No. 5. — P. 337–338. — DOI : [10.1049/el:19950259](https://doi.org/10.1049/el:19950259).
12. Soliman, Ahmed M. Current mode CCII oscillators using grounded capacitors and resistors. *Int. J. Circuit Theory and Applications*. — 1998. — Vol. 26, No. 5. — P. 431–438. — DOI : [10.1002/\(SICI\)1097-007X\(199809/10\)26:5::AID-CTA213.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-007X(199809/10)26:5::AID-CTA213.0.CO;2-K).
13. Bhaskar, D. R.; Gupta, S. S.; Senani, R.; and Singh, A. K. New CFOA-based sinusoidal oscillators retaining independent control of oscillation frequency even under the influence of parasitic impedances. *Analog Integr. Circ. Signal Process.* — Oct. 2012. — Vol. 73, No. 1. — P. 427–437. — DOI : [10.1007/s10470-012-9896-6](https://doi.org/10.1007/s10470-012-9896-6).
14. Martinez, P. A.; Sabadell, J.; Aldea, C. Grounded resistor controlled sinusoidal oscillator using CFOAs. *Electron. Lett.* — 1997. — Vol. 33, No. 5. — P. 346–348. — DOI : [10.1049/el:19970229](https://doi.org/10.1049/el:19970229).
15. Srivastava, D. K.; Singh, V. K.; Senani, R. New very low frequency oscillator using only a single CFOA. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*. — 2015. — Vol. 3, No. 1. — P. 1–3. — DOI : [10.12691/ajeec-3-1-1](https://doi.org/10.12691/ajeec-3-1-1).
16. Lahiri, Abhirup. New canonic active RC sinusoidal oscillator circuits using second-generation current conveyors with application as a wide-frequency digitally controlled sinusoid generator. *Active and Passive Electronic Components*. — 2011. — Vol. 2011. — P. 1–8. — DOI : [10.1155/2011/274394](https://doi.org/10.1155/2011/274394).
17. Rodriguez-Vazquez, A.; Linares-Barranco, B.; Huertas, J. L.; and Sanchez-Sinencio, E. On the design of voltage-controlled sinusoidal oscillators using OTAs. *IEEE Trans. Circuits Syst.* — Feb. 1990. — Vol. 37, No. 2. — P. 198–211. — DOI : [10.1109/31.45712](https://doi.org/10.1109/31.45712).
18. Tao, Yufei; Fidler, J. K. Electronically tunable dual-OTA second-order sinusoidal oscillators/filters with non-interacting controls: a systematic synthesis approach. *IEEE Trans. Circuits Syst.* — Feb. 2000. — Vol. 47, No. 2. — P. 117–129. — DOI : [10.1109/81.828566](https://doi.org/10.1109/81.828566).
19. Prommee, Pipat; and Dejhan, Kobchai. An integrable electronic-controlled quadrature sinusoidal oscillator using CMOS operational transconductance amplifier. *Int. J. Electronics*. — 2002. — Vol. 89, No. 5. — P. 365–379. — DOI : [10.1080/713810385](https://doi.org/10.1080/713810385).
20. Ahmed, M. T.; Khan, I. A.; and Minhaj, N. On transconductance-C quadrature oscillators. *Int. J. Electronics*. — 1997. — Vol. 83, No. 2. — P. 201–208. — DOI : [10.1080/002072197135526](https://doi.org/10.1080/002072197135526).
21. Liu, Shen-Iuan. Single-resistance-controlled sinusoidal oscillator using two FTFNs. *Electron. Lett.* — 1997. — Vol. 33, No. 14. — P. 1185–1186. — DOI : [10.1049/el:19970833](https://doi.org/10.1049/el:19970833).
22. Abuelma'atti, M. T.; Al-Zaher, H. A. Current-mode sinusoidal oscillators using single FTFN. *IEEE Trans. Circuits Syst. II: Analog Digital Signal Process.* — Jan. 1999. — Vol. 46, No. 1. — P. 69–74. — DOI : [10.1109/82.749100](https://doi.org/10.1109/82.749100).
23. Singh, V. Equivalent forms of dual-OTA RC oscillators with application to grounded-capacitor oscillators. *IEE Proceedings: Circuits, Devices and Systems*. — Apr. 2006. — Vol. 153, No. 2. — P. 95–99. — DOI : [10.1049/ip-cds:20050099](https://doi.org/10.1049/ip-cds:20050099).
24. Chiu, W.; Liu, S.-I.; Tsao, H.-W.; Chen, J.-J. CMOS differential difference current conveyors and their applications. *IEE Proceedings: Circuits, Devices and Systems*. — Apr. 1996. — Vol. 143, No. 2. — P. 91–96. — DOI : [10.1049/ip-cds:19960223](https://doi.org/10.1049/ip-cds:19960223).

25. Kumngern, M.; Dejhan, K. DDCC-based quadrature oscillator with grounded capacitors and resistors. *Active and Passive Electronic Components*. — 2009. — Vol. 2009. — P. 1–4. — DOI : [10.1155/2009/987304](https://doi.org/10.1155/2009/987304).
26. Kuntman, H.; Özpınar, A. On the realization of DO-OTA-C oscillators. *Microelectron. J.* — Dec. 1998. — Vol. 29, No. 12. — P. 991–997. — DOI : [10.1016/S0026-2692\(98\)00063-9](https://doi.org/10.1016/S0026-2692(98)00063-9).
27. Özcan, S.; Toker, A.; Acar, C.; Kuntman, H.; and Çiçekoğlu, O. Single resistance-controlled sinusoidal oscillators employing current differencing buffered amplifier. *Microelectron. J.* — Mar. 2000. — Vol. 31, No. 3. — P. 169–174. — DOI : [10.1016/S0026-2692\(99\)00113-5](https://doi.org/10.1016/S0026-2692(99)00113-5).
28. Hornig, J.-W. Current differencing buffered amplifiers based single resistance controlled quadrature oscillator employing grounded capacitors. *IEICE Trans. Fund. Elec., Commun. Computer Sci.* — 2002. — Vol. E85-A, No. 6. — P. 1416–1419. — URL : [http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e85-a\\_6\\_1416](http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e85-a_6_1416).
29. Salama, K. N.; Soliman, A. M. CMOS operational transresistance amplifier for analog signal processing applications. *Microelectron. J.* — Mar. 1999. — Vol. 30, No. 3. — P. 235–245. — DOI : [10.1016/S0026-2692\(98\)00112-8](https://doi.org/10.1016/S0026-2692(98)00112-8).
30. Chen, J.-J.; Tsao, H.-W.; Chen, C.-C. Operational transresistance amplifier using CMOS technology. *Electron. Lett.* — 1992. — Vol. 28, No. 22. — P. 2087–2088. — DOI : [10.1049/el:19921338](https://doi.org/10.1049/el:19921338).
31. Lo, Yu-Kang; Chien, Hung-Chun. Switch-controllable OTRA-based square/triangular waveform generator. *IEEE Trans. Circuits Syst. II: Express Briefs*. — Dec. 2007. — Vol. 54, No. 12. — P. 1110–1114. — DOI : [10.1109/TCSII.2007.905879](https://doi.org/10.1109/TCSII.2007.905879).
32. Toker, A.; Ozoguz, S.; Cicekoglul, O.; Acar, C. Current-mode all-pass filters using current differencing buffered amplifier and a new high-Q band pass filter configuration. *IEEE Trans. Circuits Syst. II: Analog Digital Signal Process.* — Sep. 2000. — Vol. 47, No. 9. — P. 949–954. — DOI : [10.1109/82.868465](https://doi.org/10.1109/82.868465).
33. Lo, Y.-K.; Chien, H.-C. Single OTRA-based current-mode monostable multivibrator with two triggering modes and a reduced recovery time. *IET Circuits Devices Syst.* — Jun. 2007. — Vol. 1, No. 3. — P. 257–261. — DOI : [10.1049/iet-cds:20060359](https://doi.org/10.1049/iet-cds:20060359).
34. Salama, K. N.; Soliman, A. M. Novel oscillators using the operational transresistance amplifier. *Microelectron. J.* — Jan. 2000. — Vol. 31, No. 1. — P. 39–47. — DOI : [10.1016/S0026-2692\(99\)00087-7](https://doi.org/10.1016/S0026-2692(99)00087-7).
35. Çam, U. A. A novel single-resistance-controlled sinusoidal oscillator employing single operational transresistance amplifier. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. — Aug. 2002. — Vol. 32, No. 2. — P. 183–186. — DOI : [10.1023/A:1019586328253](https://doi.org/10.1023/A:1019586328253).
36. Chien, Hung-Chun. New realizations of single OTRA-based sinusoidal oscillators. *Active and Passive Electronic Components*. — 2014. — Vol. 2014. — P. 1–12. — DOI : [10.1155/2014/938987](https://doi.org/10.1155/2014/938987).
37. Gupta, Ashish; Senani, Raj; Bhaskar, D. R.; Singh, A. K. OTRA-based grounded-FDNR and grounded-inductance simulators and their applications. *Circuits Syst. Signal Process.* — Apr. 2012. — Vol. 31, No. 2. — P. 489–499. — DOI : [10.1007/s00034-011-9345-2](https://doi.org/10.1007/s00034-011-9345-2).
38. Pandey, R.; Pandey, N.; Kumar, R.; Solanki, G. A novel OTRA based oscillator with non interactive control. *Proc. of Int. Conf. on Computer and Communication Technology*. — 17–19 Sept. 2010. — P. 658–660. — IEEE, 2010. — DOI : [10.1109/icct.2010.5640448](https://doi.org/10.1109/icct.2010.5640448).
39. Pandey, R.; Bothra, M. Multiphase sinusoidal oscillators using operational trans-resistance amplifier. *Proc. of IEEE Symp. on Industrial Electronics and Applications*, 4–6 Oct. 2009. — IEEE, 2009. — P. 371–376. — DOI : [10.1109/isia.2009.5356432](https://doi.org/10.1109/isia.2009.5356432).
40. Pandey, R.; Pandey, N.; Komanapalli, G.; and Anurag, R. OTRA based voltage mode third order quadrature oscillator. *ISRN Electronics*. — 2014. — Vol. 2014. — P. 1–5. — DOI : [10.1155/2014/126471](https://doi.org/10.1155/2014/126471).
41. Srinivasulu, A.; and Shaker, P. Chandra. Grounded resistance/capacitance-controlled sinusoidal oscillators using operational transresistance amplifier. *WSEAS Trans. Circuits Syst.* — 2014. — Vol. 13. — P. 145–152. — URL : <http://www.wseas.org/multimedia/journals/circuits/2014/a145701-253.pdf>.
42. Shaker, P. Chandra; and Srinivasulu, A. A sinusoidal oscillator using single operational transresistance amplifier. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Advance Computing, ICoAC*, 18–20 Dec. 2013. — IEEE, 2013. — P. 508–511. — DOI : [10.1109/ICoAC.2013.6922003](https://doi.org/10.1109/ICoAC.2013.6922003).
43. Shaker, P. Chandra; and Srinivasulu, Avireni. Quadrature oscillator using operational transresistance amplifier. *Proc. of IEEE Int. Conf. on Applied Electronics*, 9–10 Sept. 2014, Pilsen, Czech Republic. — IEEE, 2014. — P. 117–120. — DOI : [10.1109/AE.2014.7011681](https://doi.org/10.1109/AE.2014.7011681).
44. Chen, J.-J.; Tsao, H.-W.; Liu, S.-I.; Chiu, W. Parasitic-capacitance-insensitive current-mode filters using operational transresistance amplifiers. *IEE Proceedings: Circuits, Devices and Systems*. — Jun. 1995. — Vol. 142, No. 3. — P. 186–192. — DOI : [10.1049/ip-cds:19951950](https://doi.org/10.1049/ip-cds:19951950).
45. Analog Devices Inc, AD844AN (datasheet), [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD844.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD844.pdf).

Поступила в редакцию ? По-сле переработки ?