

УДК

**КОНСТРУКЦИЯ ГЕНЕРАТОРА X-ДИАПАЗОНА С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ\*****С. С. ОЛОКИД, С. Б. ЗАКИ, Н. М. МАХЮДДИН, М. Ф. АИН, З. А. АХМАД***Малазийский университет наук,  
Малайзия, Нибонг Тебал, Пинанг*

**Аннотация.** В статье разработан и реализован планарный перестраиваемый СВЧ-генератор X-диапазона с низким уровнем фазового шума, использующий диэлектрический резонатор (ДР) с оригинальным питанием и одним транзистором. Предлагается керамический ДР на основе сложного оксида  $ZrSnTi$  с диэлектрической проницаемостью, равной 95, который заключен в металлическую полость и имеет собственную добротность, равную 5000 на частоте 10 ГГц. Связь резонансной частоты с геометрическими параметрами устанавливается путем использования метода компенсации на основе двойной обратной связи с отрицательной проводимостью, выходы которой объединяются посредством делителя мощности Вилкинсона. Генератор с ДР и обратной связью с параллельными линиями связи встраивается в многослойную СВЧ-плату посредством использования технологии фотолитографии. Этот генератор включает псевдоморфный малошумящий усилитель на базе рНЕМТ транзистора. Проведены измерения предлагаемого генератора с механической подстройкой. Полученные результаты показывают, что ДР резонирует на волне типа  $TE_{018}$  с частотой 10 ГГц. Измеренный фазовый шум генератора составил  $-81,03$  дБн/Гц при смещении 100 кГц.

**Ключевые слова:** генератор с диэлектрическим резонатором; обратная связь; отрицательная проводимость; параллельная связь; фазовый шум

**1. ВВЕДЕНИЕ**

Стремление к улучшению рабочих характеристик и эффективных альтернативных решений заставило специалистов по разработке систем искать новые оригинальные продукты, которые способны обеспечить более высокие рабочие характеристики системы при невысокой стоимости. Другие цели разработки включают снижение потребляемой мощности и уменьшение размеров на 30% [1].

Современная потребность в реализации эффективной миниатюрной интегральной схемы СВЧ диапазона ММИС (miniaturized microwave integrated circuit) обуславливает особое внимание к достижению низкого уровня шума, малых размеров, дешевизны, высокой эффективности, высокой температурной устойчивости и высокой надежности. Дополнительной важной проблемой для системотехников, особенно при выборе конструкции генератора, является фазовый шум.

---

\* Авторы выражают признательность университету Sains Malaysia за финансовую поддержку в рамках университетского исследовательского гранта № 1001/PELECT/854004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Razavi, B. Challenges in portable RF transceiver design. *IEEE Circuits Devices Mag.*, vol. 12, no. 5, pp. 12-25, Sept. 1996. DOI: [10.1109/101.537352](https://doi.org/10.1109/101.537352).
2. GED 2013. Dielectric Resonator Oscillator (DRO Information). General Electronic Devices. URI: <http://www.gedlm.com/DRO>.
3. Wan, J. Design of a 5.305 GHz dielectric resonator oscillator with simulation and optimization. *J. Electronic Science Technol. China*, vol. 6, No. 3, pp. 342-345, 2008. URI: [http://manu50.magtech.com.cn/Jwk\\_jest/EN/Y2008/V6/I3/342](http://manu50.magtech.com.cn/Jwk_jest/EN/Y2008/V6/I3/342).
4. Yan, Guoguang. The design of the Ku band dielectric resonator oscillator. *Proc. of Int. Conf. on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, ICEPT-HDP, 28-31 Jul. 2008, Shanghai, China. IEEE, 2008, pp. 1-3. DOI: [10.1109/ICEPT.2008.4607000](https://doi.org/10.1109/ICEPT.2008.4607000).
5. Sun, B.; Wu, Y.; Luo, B.; Du, G. Design of 5.8 GHz dielectric resonator oscillator applied in electronic toll collection. *Proc. of 5 Int. Conf. on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, WiCom, 24-26 Sept. 2009, Beijing, China. IEEE, 2009, pp. 1-3. DOI: [10.1109/WICOM.2009.5303409](https://doi.org/10.1109/WICOM.2009.5303409).

6. Tanaka, T.; Aikawa, M. A K-band push-push oscillator using dielectric resonator. *Proc. of 13 Int. Symp. on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the Canadian Radio Science Meeting, ANTEM/URSI*, 15-18 Feb. 2009, Toronto, ON, Canada. IEEE, 2009, pp. 1-4. DOI: [10.1109/ANTEMURSI.2009.4805120](https://doi.org/10.1109/ANTEMURSI.2009.4805120).
7. Y. Du, Z.-X. Tang, B. Zhang, P. Su, "K-band harmonic dielectric resonator oscillator using parallel feedback structure," *PIER Lett.*, Vol. 34, p. 83-90, 2012. DOI: [10.2528/PIERL12061108](https://doi.org/10.2528/PIERL12061108).
8. Liu, Han-Li; Wang, Lang; Lin, Guo-Wei. Design of a K-band push-push dielectric resonator oscillator. *Proc. of Int. Workshop on Electromagnetics; Applications and Student Innovation, iWEM*, 6-9 Aug. 2012, Chengdu, Sichuan, China. IEEE, 2012, pp. 1-2. DOI: [10.1109/iWEM.2012.6320369](https://doi.org/10.1109/iWEM.2012.6320369).
9. Xia, Q.; Tang, Z.; Zhang, B. Design of a 17.4GHz push-push dielectric resonator oscillator. *Proc. of Int. Conf. on Microwave and Millimeter Wave Technology, ICMMT*, 8-11 May 2010, Chengdu, China. IEEE, 2010, pp. 532-535. DOI: [10.1109/ICMMT.2010.5525221](https://doi.org/10.1109/ICMMT.2010.5525221).
10. Su, P.; Tang, Z.-X.; Zhang, B. Push-push dielectric resonator oscillator using substrate integrated waveguide power combiner. *PIER Lett.*, Vol. 30, p. 105-113, 2012. DOI: [10.2528/PIERL11122302](https://doi.org/10.2528/PIERL11122302).
11. Fusco, V. F.; Dearn, A. *Dielectric Resonator Oscillators*. Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 1999.
12. Sinnesbichler, F. X.; Hautz, B.; Olbrich, G. R. A Si/SiGe HBT dielectric resonator push-push oscillator at 58 GHz. *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, no. 4, pp. 145-147, Apr. 2000. DOI: [10.1109/75.846927](https://doi.org/10.1109/75.846927).
13. Ishihara, O.; Mori, T.; Sawano, H.; Nakatani, M. A highly stabilized GaAs FET oscillator using a dielectric resonator feedback circuit in 9-14 GHz. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 28, no. 8, pp. 817-824, Aug 1980. DOI: [10.1109/TMTT.1980.1130177](https://doi.org/10.1109/TMTT.1980.1130177).
14. Abe, H.; Takayama, Y.; Higashisaka, A.; Takamizawa, H. A highly stabilized low-noise GaAs FET integrated oscillator with a dielectric resonator in the C band. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 26, no. 3, pp. 156-162, Mar 1978. DOI: [10.1109/TMTT.1978.1129336](https://doi.org/10.1109/TMTT.1978.1129336).
15. Ogawa, K.; Ikeda, H.; Ishizaki, T.; Hashimoto, K.; Ota, Y. 25 GHz dielectric resonator oscillator using an AlGaAs/GaAs HBT. *Electron. Lett.*, vol. 26, no. 18, pp. 1514-1516, 30 Aug. 1990. DOI: [10.1049/el:19900972](https://doi.org/10.1049/el:19900972).
16. Llopis, O.; Dienot, J.-M.; Verdier, J.; Plana, R.; Gayral, M.; Graffeul, J. Analytic investigation of frequency sensitivity in microwave oscillators: Application to the computation of phase noise in a dielectric resonator oscillator. *Annales Des Télécommunications*, Vol. 51, No. 3-4, pp. 121-129, 1996. DOI: [10.1007/BF02995502](https://doi.org/10.1007/BF02995502).
17. Herczfeld, P. R.; Daryoosh, A.; D'Ascenzo, C.; Contarino, M.; Rosen, A. Optically tuned and FM modulated X-band dielectric resonator oscillator. *Proc. of 14th European Microwave Conf.*, 10-13 Sept. 1984, Liege, Belgium. IEEE, 1984, pp. 268-273. DOI: [10.1109/EUMA.1984.333407](https://doi.org/10.1109/EUMA.1984.333407).
18. Makino, T.; Hashima, A. A highly stabilized MIC Gunn oscillator using a dielectric resonator. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 27, no. 7, pp. 633-638, Jul. 1979. DOI: [10.1109/TMTT.1979.1129692](https://doi.org/10.1109/TMTT.1979.1129692).
19. Mizan, M. A.; Sturzebecher, D.; Higgins, T.; Paoletta, A. An X-band, high power dielectric resonator oscillator for future military systems. *IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, Frequency Control*, vol. 40, no. 5, pp. 483-487, Sept. 1993. DOI: [10.1109/58.238099](https://doi.org/10.1109/58.238099).
20. Kishk, A. A.; Glisson, A. W.; Junker, G. P. Bandwidth enhancement for split cylindrical dielectric resonator antennas. *PIER*, Vol. 33, pp. 97-118, 2001. DOI: [10.2528/PIER00122803](https://doi.org/10.2528/PIER00122803).
21. Petosa, A. *Dielectric Resonator Antenna Handbook*. Artech House, 2007.
22. Shen, T.; Zaki, K. A.; Wang, C. Tunable dielectric resonators with dielectric tuning disks. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 48, no. 12, pp. 2439-2445, Dec. 2000. DOI: [10.1109/22.898995](https://doi.org/10.1109/22.898995).
23. Shen, T.; Zaki, K. A.; Wang, C.; Deriso, J. Tunable dielectric resonators with dielectric tuning disks in cylindrical enclosures. *Proc. of IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 11-16 June 2000, Boston, MA, USA. IEEE, 2000, vol. 3, pp. 1441-1444. DOI: [10.1109/MWSYM.2000.862245](https://doi.org/10.1109/MWSYM.2000.862245).
24. Vendelin, G. D.; Pavio, A. M.; Rohde, U. L. *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques*. New York: Wiley, 1990.
25. Vendelin, G. D.; Pavio, A. M.; Rohde, U. L. *Microwave Circuit Design Using Linear and Nonlinear Techniques*, 2nd ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. DOI: [10.1002/0471715832](https://doi.org/10.1002/0471715832).
26. Bahl, I. J.; Bhartia, P. *Microwave Solid State Circuit Design*. New York: Wiley, 1988.

Поступила в редакцию 25.03.2015

После переработки 19.05.2016