

О. В. Осадчук
Я. О. Осадчук
А. О. Семенов
В. І. Петренко

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ГЕНЕРАТОР ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНО- ПОЛЬОВОЇ ТРАНЗИСТОРНОЇ СТРУКТУРИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано і досліджено нову схему оптико-електронного генератора детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, яка має малий час встановлення стаціонарних коливань (15,36...19,82 нс). За допомогою пакету програм MATLAB здійснено комп'ютерне схемотехнічне дослідження параметрів і характеристик генерованих електричних коливань у хаотичному режимі. У порівнянні з аналогами запропонований та досліджений оптико-електронний генератор детермінованого хаосу має покращену навантажувальну здатність і вищу швидкодію.

Ключові слова: автогенератор, детермінований хаос, транзисторна структура, від'ємний диференціальний опір, оптико-електронний генератор.

Розвиток пристроїв генерування сигналів із хаотичною динамікою є актуальним науковим напрямком. Автоколивальні прилади та системи детермінованого хаосу демонструють велику ефективність, оскільки вони чутливо реагують на малі збурення, тому здатні генерувати і формувати сигнали з малою кількістю енергії [1-3]. Одна й та ж автоколивальна система детермінованого хаосу при малих змінах початкових умов або параметрів системи здатна генерувати різні вихідні інформаційні сигнали [2]. На відміну від відомих методів модуляції, маніпуляції та кодування аналогових сигналів, сигнали детермінованого хаосу мають більшу інформаційну ємність і завадостійкість, а також в багатьох випадках хаотичні сигнали є ортогональними [3, 4]. Одним із прикладних застосувань досягнень теорії детермінованих хаотичних систем є область квантово-оптичних комунікацій [5]. Суттєвою перевагою хаотичних оптико-електронних систем є те, що немає обмеження спектрів смуг частот інформаційних сигналів, а тому кількість доступних каналів зв'язку може бути більшою, ніж радіочастотних каналів у класичних системах зв'язку [6, 7]. Єдиною границею обмеження кодування хаотичних оптико-електронних сигналів є здатність одержувачів розрізняти різні хаотичні стани.

Електричні схеми оптико-електронних генераторів детермінованого хаосу повинні бути достатньо простими, щоб їх можна було синхронізувати. Особливістю генерування та формування сигналів детермінованого хаосу аналоговими пристроями є використання їхніх нелінійних статичних або динамічних характеристик. Простота схемних рішень генераторів детермінованого хаосу є необхідною умовою для зменшення нестабільностей в роботі електронних і оптичних приладів, які зумовлені концентрацією домішок, швидкістю рекомбінації носіїв, дефектів кристала та інші, що призводить до переходу автоколивальної системи від хаотичних коливань до стохастичних. У роботі розглянута можливість отримання хаотичного режиму в оптико-електронному генераторі на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, електрична схема якого представлена на рис. 1. Автоколивальна система має три динамічні змінні, дві з яких це напруги на еквівалентних ємностях транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором (відповідно на електродах стоку польового транзистора VT2 – колектор біполярного транзистора VT1), а третя – струм індуктивності L1. Динамічні процеси детермінованого хаосу визначаються реактивними властивостями біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором і за природою близькі до хаотичних процесів у генераторі за схемою ємнісної триточки. Для зміни динаміки хаотичних коливань та розширення робочого об'єму фазового простору додано ланцюг R5C3, до індуктивної вітки базової схеми генератора на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором додано коло з послідовно включених

світловипромінюючого діоду. Для термостабілізації роботи генератора введено ланцюг C1R3. Номінали радіоелектронних компонентів обрано з таких міркувань: 1) забезпечити максимальну протяжність спадної ділянки статичних ВАХ; 2) забезпечити широку зміну еквівалентної ємності транзисторної структури.

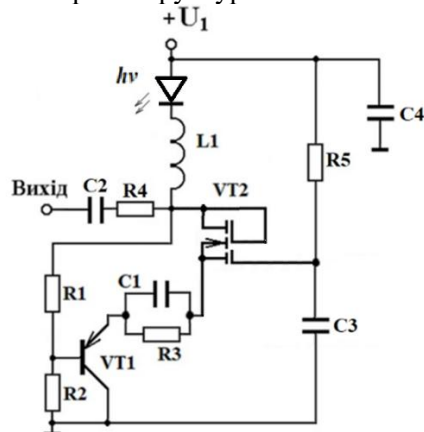


Рис. 1. Електрична схема оптико-електронного генератора детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури

Генерована хаотична напруга знімається зі стоку транзистора VT2 (основний вихід генератора). У цьому випадку хаотична динаміка контролюється зміною напруги джерел живлення V1 і V2. При підключенні опору навантаження потрібно враховувати внесений нею активний та реактивний опір до коливального контуру генератора. Застосування світлодіоду дозволяє здійснити гальванічну розв'язку виходу генератора детермінованого хаосу з навантаженням. У цьому випадку генератор працює в режимі холостого ходу по основному виходу, що дозволяє широко його використовувати у схемах пристроїв вимірювального контролю та автоматики. Для аналізу статистичних характеристик генерованих хаотичних імпульсів розроблена математична модель, подальші обчислення якої здійснені в MATLAB R2018a. На рис. 2 наведені експериментальні осцилограми хаотичних коливань автогенераторної системи.

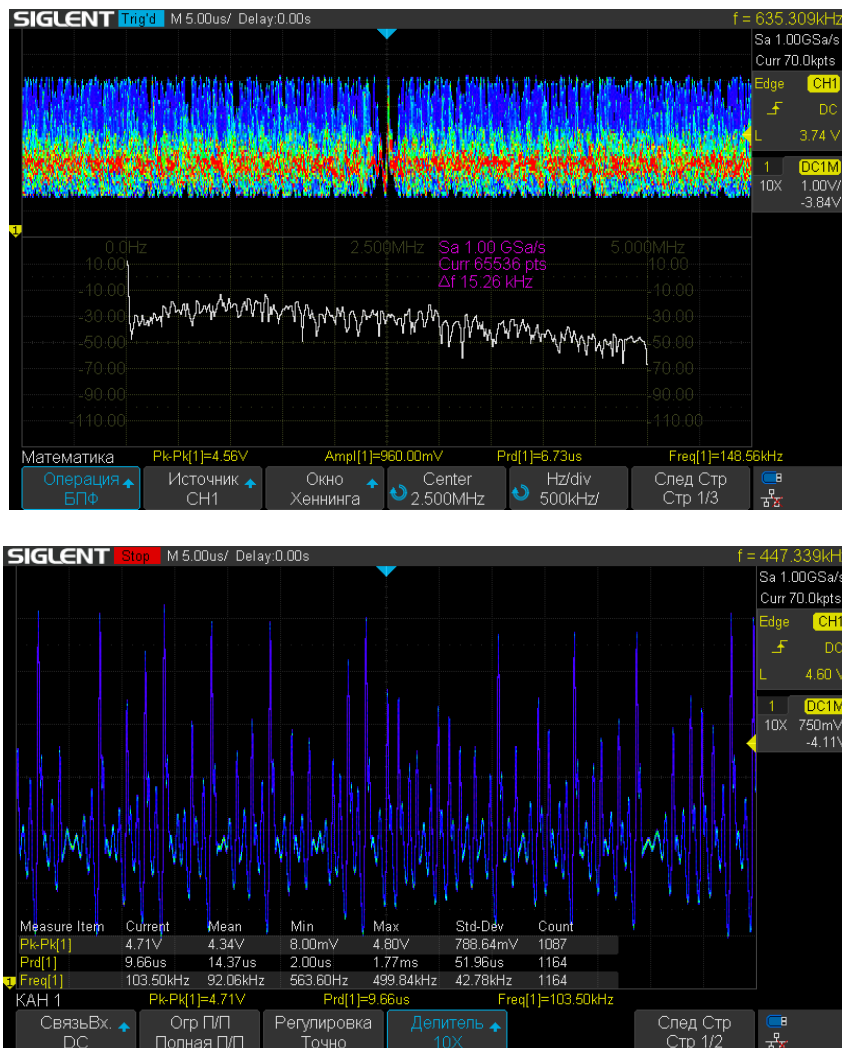


Рис. 2. Осцилограми оптико-електронного генератора детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури

У роботі запропоновано нове схемотехнічне рішення оптико-електронного генератора детермінованого хаосу на основі біполярно-польової транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, яка має малий час встановлення стаціонарних коливань (15,36...19,82 нс). За допомогою пакету програм MATLAB здійснено комп'ютерне схемотехнічне дослідження параметрів і характеристик генерованих електричних коливань у хаотичному режимі. У порівнянні з аналогами запропонований та досліджений оптико-електронний генератор детермінованого хаосу має покращену навантажувальну здатність і вищу швидкість.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ludovico Minati. Atypical transistor-based chaotic oscillators: Design, realization, and diversity / Ludovico Minati, Mattia Frasca, Paweł Oświecimka, Luca Faes, Stanisław Drożdż // CHAOS. – 2017. – Vol. 27, 073113 (2017). – Pp. 073113-1 – 073113-13.
2. Petrzela, J. Chaotic States of Transistor-Based Tuned-Collector Oscillator. *Mathematics* 2023, 11, 2213. <https://doi.org/10.3390/math11092213>
3. Petrzela, J.; Polak, L. Minimal realizations of autonomous chaotic oscillators based on trans-immittance filters. *IEEE Access* 2019, 7, 17561–17577.
4. Valencia-Ponce, M.A.; Tlelo-Cuautle, E.; Gerardo de la Fraga, L. Estimating the highest time-step in numerical methods to enhance the optimization of chaotic oscillators. *Mathematics* 2021, 9, 1938.
5. Haniyas M. P. Chaotic Behavior of Transistor Circuits / M. P. Haniyas, H. E. Nistazakis, G. S. Tombras // Chapter 4 in *Understanding Complex Systems*, July 2012. – Pp. 59-91.
6. A.V. Osadchuk, V.S. Osadchuk, I.A. Osadchuk, O.O. Seletska, Piotr Kisała, and Karlygash Nurseitova, “Theory of photoreactive effect in bipolar and MOSFET transistors”, *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, 111761I, pp.1-12. 2019.
7. O.V. Osadchuk, I.O. Osadchuk, A.O. Semenov, “The Mathematical Model of Radio-measuring Frequency Transducer of Optical Radiation Based on MOS Transistor Structures with Negative Differential Resistance”, *Journal of Nano- and Electronic Physics. Scientific journal*. Vol. 13 No 4, 04001(6 pp). 2021.

Осадчук Олександр Володимирович – д.т.н., професор, завідувач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Осадчук Ярослав Олександрович – к.т.н., доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Семенов Андрій Олександрович – д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Петренко Віталій Іванович – аспірант кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

OPTIC-ELECTRONIC GENERATOR OF DETERMINAL CHAOS BASED ON A BIPOLAR-FIELD TRANSISTOR STRUCTURE

Abstract

A new scheme of an optoelectronic generator of deterministic chaos based on a bipolar field-effect transistor structure with negative differential resistance, which has a short settling time of stationary oscillations (15.36...19.82 ns), has been proposed and investigated. Using the MATLAB program package, a computer circuit engineering study of the parameters and characteristics of the generated electrical oscillations in a chaotic mode has been carried out. In comparison with analogues, the proposed and investigated optoelectronic generator of deterministic chaos has improved load capacity and higher speed.

Keywords: oscillator, deterministic chaos, transistor structure, negative differential resistance, optoelectronic generator.

Osadchuk Oleksandr Volodymyrovych - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.av69@gmail.com

Osadchuk Iaroslav Oleksandrovych - Ph.D., Associate Professor of the Department information radioelectronic technologies and systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: osadchuk.j93@gmail.com

Semenov Andriy Oleksandrovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: semenov.a.o@vntu.edu.ua

Petrenko Vitaliy Ivanovych – Postgraduate Student of the Department of Information Radioelectronic Technologies and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.