

October 3-5 2019, Chernivtsi, Ukraine

# Proceedings

of the VIII<sup>th</sup> International Scientific-Practical Conference



## Physical and Technological Problems of Transmission, Processing and Storage of Information in Infocommunication Systems

Dedicated to the 30th anniversary from the foundation  
of the Department of Radio Engineering Devices and Information Security  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University



# ПРИСТРОЇ ГЕНЕРУВАННЯ СИГНАЛІВ З РЕГУЛЯРНОЮ ТА ХАОТИЧНОЮ ДИНАМІКОЮ НА ОСНОВІ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР ІЗ ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ

Осадчук О.В.<sup>1</sup>, Семенов А.О.<sup>1</sup>, Осадчук Я.О.<sup>2</sup>, Коваль К.О.<sup>1</sup>, Червак О.П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,  
E-mail: osadchuk.av69@gmail.com, semenov.a.o@vntu.edu.ua, osadchuk.j93@gmail.com,

kkoval@vntu.edu.ua, oksana\_chervak@ukr.net

**Анотація** – У роботі наведено теоретичні засади пристроїв генерування електричних сигналів із регулярною та хаотичною динамікою на основі транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором. Розглянуто два основні варіанти побудови: за методом генератора ван дер Поля та за методом генератора Чуа. Запропоновані нові електричні схеми пристроїв генерування електричних сигналів із регулярною та хаотичною динамікою. На відміну від класичних підходів, в основу їх схемної реалізації покладено застосування нелінійних і реактивних властивостей транзисторних схем із від'ємним диференціальним опором.

**Ключові слова** – генератор ван дер Поля, генератор Чуа, транзисторна структура, від'ємний опір, хаос.

## I. Вступ

Вимога покращення параметрів і характеристик радіотехнічних пристроїв і засобів телекомунікацій зумовлює розширення та впровадження нових підходів до їх побудови [1]. Тому, актуальною науково-технічною задачею є розроблення та дослідження пристроїв генерування сигналів з регулярною та хаотичною динамікою [2]. Аналіз сучасного стану пристроїв генерування сигналів з регулярною та хаотичною динамікою показав перспективний підхід до їх розроблення з використанням нелінійних і реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним опором [1, 2].

## II. Теоретичні засади та математичні моделі

У роботі було застосовано метод генератора Ван дер Поля для побудови пристроїв генерування електричних сигналів із регулярною динамікою на основі транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором [3]. На Рис.1 наведена еквівалентна схема генератора та апроксимована вольт-амперна характеристика (ВАХ) λ-типу його активного елемента (транзисторної структури) [3].

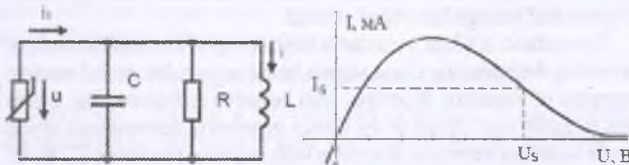


Рис. 1. Еквівалентна схема пристрою генерування сигналів з регулярною динамікою та апроксимована ВАХ його активного елемента.

Математична модель пристроїв генерування електричних сигналів із регулярною динамікою на основі транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором має вигляд [3]

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{d\tau} = x_2, \\ \frac{dx_2}{d\tau} = \mu(1 - bx_1 - qx_1^2)x_2 - x_1, \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_1 = u$  - генерована напруга,  $x_2 = \frac{du}{d\tau}$  - швидкість зміни напруги відносно нормованого часу  $\tau = \omega_0 t$  ( $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  - резонансна частота коливного контуру).

Рівняння, що визначають параметри автоколивальної системи, мають вигляд

$$\mu = \sqrt{\frac{L}{C}} \left( g - 3hU_s^2 - \frac{1}{R} \right), \quad (2)$$

$$b = -\sqrt{\frac{L}{C}} \frac{6hU_s}{\mu} [1/B], \quad (3)$$

$$q = \frac{3h}{\mu} \sqrt{\frac{L}{C}} [1/B^2], \quad (4)$$

де  $U_s, I_s$  - координати середини спадної ділянки ВАХ (початкового встановлення робочої точки на спадній ділянці ВАХ),  $g, h$  - коефіцієнти апроксимації степеневого рівняння вигляду

$$i_T(u) = I_s - g(u - U_s) + h(u - U_s)^3. \quad (5)$$

Чисельне значення безрозмірного параметру  $\mu$  автоколивальної системи генератора визначає осциляторний або релаксаційний режим роботи. Умовою самозбудження автоколивань є  $\mu \geq 0$  [3].

У роботі отримано результати модельного дослідження пристроїв генерування електричних сигналів з регулярною динамікою, побудованих за методом Ван дер Поля, на основі транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором при різних значеннях параметрів автоколивної системи [4, 5]. Зокрема, досліджено фазові портрети генераторів у площині динамічних змінних  $x_1-x_2$ , діаграми коливань генерованої напруги відносно нормованого часу  $\tau = \omega_0 t$ , а також амплітудно-частотні та фазочастотні спектри генерованої напруги [3].

Для побудови пристроїв генерування сигналів детермінованого хаосу на основі нелінійних і реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним опором [6] було застосовано метод генератора Чуа. На Рис.2 наведена еквівалентна схема генератора детермінованого хаосу типу Чуа на основі транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором [7, 8]. Математична модель пристрою генерування електричних сигналів детермінованого хаосу відносно безрозмірного часу має вигляд

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \alpha(x_2 - x_1 - a \cdot f(x_1)), \\ \frac{dx_2}{dt} = x_3 - x_2 + x_1, \\ \frac{dx_3}{dt} = \beta(b - x_2), \end{cases} \quad (6)$$

де  $f(x_1)$  - нормована апроксимаційна функція кривої ВАХ транзисторної структури, що має вигляд

$$f(x_1) = -1,143 \cdot 10^{-3} + 6,972x_1 - 14,382x_1^2 + 7,439x_1^3. \quad (7)$$

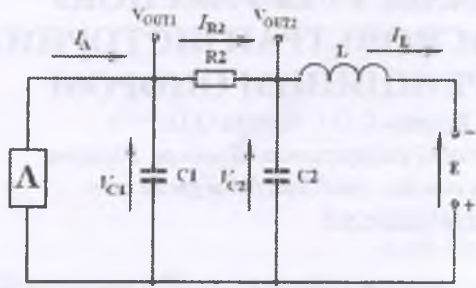


Рис. 2. Еквівалентна схема пристрою генерування сигналів детермінованого хаосу типу Чуа на основі транзисторної структури з від'ємним диференційним опором.

Рівняння нормованих змінних мають вигляд

$$x_1 = \frac{V_{C1}}{V_m}, x_2 = \frac{V_{C2}}{V_m}, x_3 = \frac{I_L \cdot R}{V_m}, \quad (8)$$

а рівняння коефіцієнтів автоколивальної системи

$$a = \frac{R \cdot I_m}{V_m}, \alpha = \frac{C_2}{C_1}, b = \frac{E}{V_m}, \beta = \frac{R^2 C_2}{L}. \quad (9)$$

### III. Висновки

У роботі авторами отримано результати численних теоретичних та експериментальних досліджень схемних реалізацій пристроїв генерування сигналів з регулярною та хаотичною динамікою на основі транзисторних структур із від'ємним диференційним опором. Побудовано фазові портрети, часові та частотні характеристики генерованих коливань. Досліджено сімейства статичних і динамічних ВАХ різних варіантів транзисторних структур із однополярним живленням. Перевірена стійкість роботи запропонованих пристроїв у різних режимах генерації.

### IV. Список літератури

- [1] Осадчук В. С., Осадчук О. В., Семенов А. О. Генератори електричних коливань на основі транзисторних структур із від'ємним опором: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2009. 184 с.
- [2] Осадчук В. С., Осадчук О. В., Семенов А. О., Коваль К. О. Функціональні вузли радіовимірвальних приладів на основі реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним опором: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2011. 336 с.
- [3] Andriy Semenov, "The Van der Pol's Mathematical Model of the Voltage-Controlled Oscillator Based on a Transistor Structure With Negative Resistance," Proceedings of the XIII International Conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science", Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23 – 26, 2016, pp. 100–104. DOI: 10.1109/TCSET.2016.7451982
- [4] Andriy Semenov, Olena Semenova, and Oleksandr Osadchuk, "The UHF oscillators based on a HEMT structure with negative conductivity," Proceedings of the 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015, 21-23 May 2015, Omsk, Russia, pp. 1-4. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147215.
- [5] Osadchuk V.S., Osadchuk A.V., Semenov A.A., and Semenova E.A., "Experimental research and modeling of the microwave oscillator based on the static inductance transistor structure with negative resistance," Proceedings of the 20th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 13-17 Sept. 2010, Sevastopol, Ukraine, 2010, pp. 187–188. DOI: 10.1109/CRMICO.2010.5632543.
- [6] Osadchuk A., Koval K., Semenov A., and Prutyla M., "Mathematical model of transistor equivalent of electrical controlled capacity," Proceedings of the International Conference Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, (TCSET), Lviv-Slavsko, Ukraine, February 19-23, 2008, pp. 35-36.

[7] Andriy Semenov. Mathematical Model of the Microelectronic Oscillator Based on the BJT-MOSFET Structure with Negative Differential Resistance. Conference proceedings of 2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Kyiv, Ukraine April 18–20, 2017, pp. 146–151. DOI: 10.1109/ELNANO.2017.7939736

[8] Andriy Semenov. Mathematical Simulation of the Chaotic Oscillator Based on a Field-Effect Transistor Structure with Negative Resistance. 2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). April 19-21, 2016, Kyiv, Ukraine. pp. 52–56. DOI: 10.1109/ELNANO.2016.7493008

## DEVICES GENERATING SIGNALS WITH REGULAR AND CHAOTIC DYNAMICS BASED ON TRANSISTOR STRUCTURES WITH NEGATIVE DIFFERENTIAL RESISTANCE

Osadchuk O.V.<sup>1</sup>, Semenov A.O.<sup>1</sup>, Osadchuk Ya.O.<sup>2</sup>,  
Koval K.O.<sup>1</sup>, Chervak O.P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Radio-Frequency Engineering,  
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

The paper presents a theoretical base for devices generating signals with regular and chaotic dynamics based on transistor structures with negative differential resistance. Two versions of constructing have been considered – based on the Van der Pol's method and based on Chua's oscillator method. New electrical circuits of devices generating electrical signals with regular and chaotic dynamics have been proposed. Their circuit implementation bases on using non-linear and reactive properties of transistor structures with negative differential resistance [1, 2].

The method of Van der Pol's oscillator has been used to construct the devices generating electrical signals with regular and chaotic dynamics based on transistor structures with negative differential resistance [3]. Fig. 1 presents an equivalent circuit of the device generating signals with regular and chaotic dynamics and an approximated I-V curve of its active element. The mathematical model is a system of non-linear differential equations (1) [3]. Generated voltage and its derivative are normalized variables. Dynamic processes have been investigated in time normalized to a period of resonance frequency voltage oscillation. Equations of self-oscillatory system parameters for the generation device are (2)–(4) [3]. A polynomial approximation equation for the static I-V curve of a transistor structure is (5) [3].

Devices generating signals with regular dynamics based on transistor structures with negative differential resistance have been developed in this paper using the Van der Pol method [4, 5]. They have been modelled at different parameters of the self-oscillatory system [3]. Phase portraits in plane of dynamic variables, diagrams of generated voltage oscillation in regard to normalized time, amplitude and phase spectra of the generated voltage have been studied.

The method of Chua's oscillator has been used to construct devices generating deterministic chaos signals based on non-linear and reactive properties of transistor structures with negative resistance. Fig. 2 presents an equivalent circuit of the device generating deterministic chaos signals based on transistor structures with negative resistance [7, 8]. Its mathematical model in normalized time with regard to normalized dynamic variables is the system of simple differential equations (6). A normalized approximation function of the transistor structure I-V curve is (7). Equations of normalized variables are (8). Equations of self-oscillatory system coefficients are (9).

In this paper the authors have obtained result of numerical theoretical and experimental researching the circuit implementation of the devices generating signals with regular and chaotic dynamics based on transistor structures with negative differential resistance. Phase portraits, time and frequency characteristics of the generated oscillation have been built. Sets of static and dynamic I-V curves for various transistor structures with single supply have been researched. Resistibility of operation of the proposed devices has been checked in various generation modes.