

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ ГЕНЕРАТОРА ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ ЗА СХЕМОЮ КОЛПІТЦА

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Досліджено динаміку коливань напруги генератора детермінованого хаосу за схемою Колпітца з симетричним живленням. Побудовано дослідний зразок і отримано результати експериментальних досліджень засобами віртуальної лабораторії NI Multisim 10.1. Отримані осцилограми та амплітудно-частотні спектри коливань генерованої хаотичної напруги та фазовий портрет генератора.

**Ключові слова:** детермінований хаос, генератор Колпітца, математична модель, фазовий портрет.

### Abstract

The dynamics of voltage oscillations of the deterministic chaos oscillator based on a Colpitts scheme with symmetric power supply is investigated. A prototype was constructed and experimental research results obtained using virtual laboratory NI Multisim 10.1. Obtained oscillograms and amplitude-frequency oscillation spectra of generated chaotic voltage and phase portrait of the oscillator.

**Keywords:** deterministic chaos, Colpitts oscillator, mathematical model, phase portrait.

### Вступ

Сучасним напрямком в інфокомунікаційних системах є практичне застосування генераторів детермінованого для підвищення завадостійкості та конфіденційності повідомлень [1, 2]. Найбільшого поширення на практиці отримав генератор детермінованого хаосу за схемою Колпітца [3, 4].

Метою роботи є дослідження динамічних процесів у генераторі детермінованого хаосу за схемою Колпітца з симетричним живленням.

### Результати дослідження

Електрична схема генератора Колпітца в програмі NI Multisim 10.1 наведена на рис. 1,а [5].

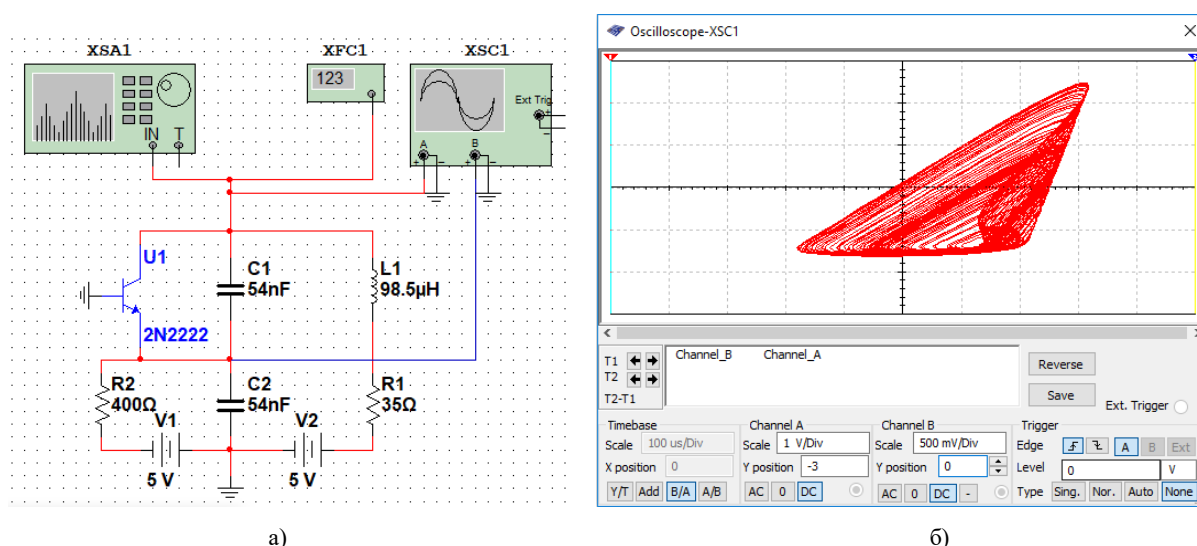


Рис. 1. Електрична схема генератора детермінованого хаосу Колпітца в програмі National Instruments Multisim 10.1 з підключенням вимірювальним обладнанням (а) та експериментально отриманий його фазовий портрет (б)

Основна частота генерованого сигналу визначається параметрами реактивних елементів схеми на рис.1,а [6]

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}} \quad (1)$$

Скорочена система рівнянь Кірхгофа для схеми генератора Колпітца із симетричним живленням має вигляд [6, 7]:

$$\begin{cases} C_1 \frac{dV_{CE}}{dt} = I_L - I_C, \\ C_2 \frac{dV_{BE}}{dt} = -\left( \frac{V_E + V_{BE}}{R_E} + I_L + I_B \right), \\ L \frac{dI_L}{dt} = V_C - V_{CE} + V_{BE} - I_L R_L, \end{cases} \quad (2)$$

де  $V_{CE}, V_{BE}$  – напруги колектор-емітер і база-емітер;  $I_L, I_C, I_B$  – струми індуктивності, колектора і бази біполярного транзистора.

У режимі великого сигналу модель біполярного транзистора зводять до вигляду [6, 7]:

$$I_C = \beta I_B, \quad I_B = \begin{cases} 0, & \text{якщо } V_{BE} \leq V_0, \\ (V_{BE} - V_0)/R_1, & \text{якщо } V_{BE} > V_0, \end{cases} \quad (3)$$

де  $V_0$  – порогова напруга емітерного р-п переходу;  $R_1$  – опір емітерного р-п переходу в режимі малого сигналу;  $\beta$  – коефіцієнт підсилення біполярного транзистора по струму.

Математична модель одностранзисторного генератора Колпітца із симетричним живленням у фізичних змінних (не нормованих) має вигляд [6, 7]

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{C_{1екв}} x_3 - \frac{\beta}{C_{1екв}} h(x_2), \\ \frac{dx_2}{dt} = -\frac{1}{C_{2екв} R_E} x_2 - \frac{V_E}{R_E C_{2екв}} - \frac{1}{C_{2екв}} x_3 - \frac{1}{C_{2екв}} h(x_2), \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{V_K}{L} - \frac{1}{L} x_1 + \frac{1}{L} x_2 - \frac{R_L}{L} x_3, \end{cases} \quad (4)$$

де  $V_{CE} = x_1, V_{BE} = x_2$  та  $I_L = x_3$ . Результати математичного моделювання наведені на рис. 2 [8].

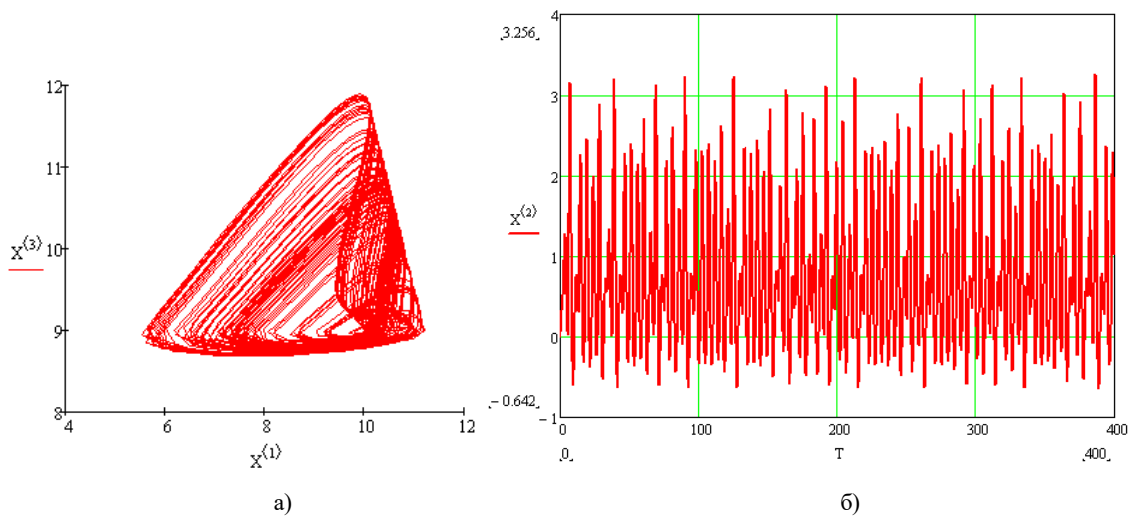


Рис. 2. Результати математичного моделювання хаотичної динаміки генератора Колпітца: фазовий портрет у площині напруг конденсаторів C1-C2 (а) та часова діаграма в нормованому часі хаотичної напруги на конденсаторі C2

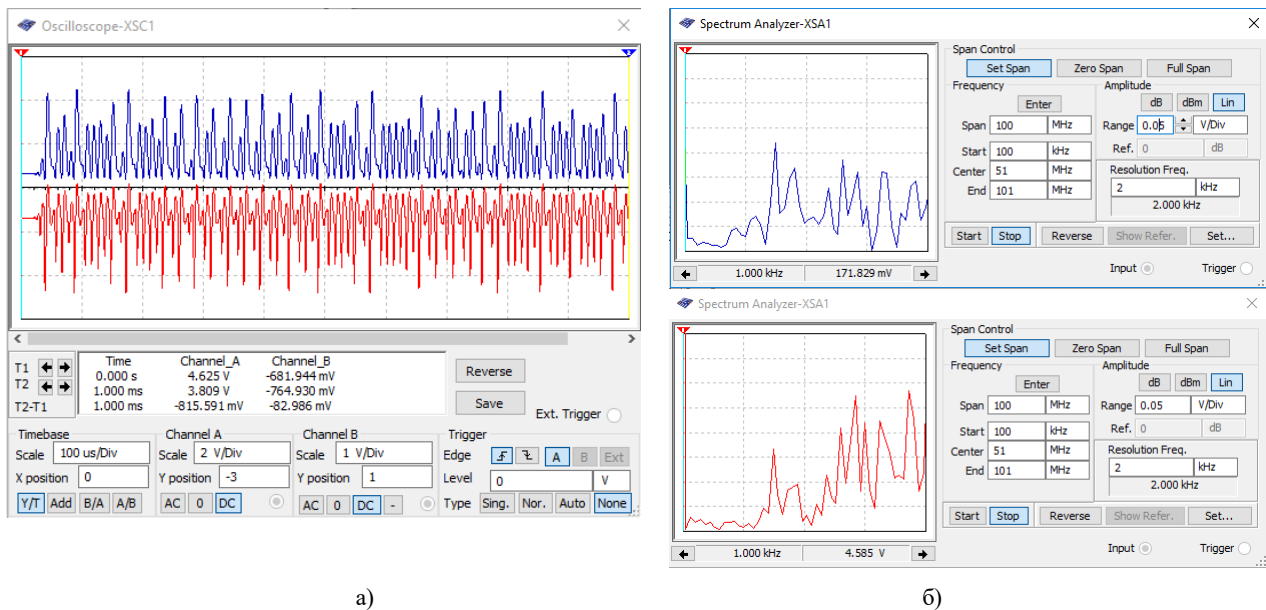


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень вимірювальними засобами National Instruments Multisim 10.1: осцилограми генерованих хаотичних напруг на конденсаторах C1 (червоний) і C2 (синій) (а) та їх амплітудно-частотні спектри (б)

## Висновки

У роботі наведено результати дослідження хаотичної динаміки генератора за схемою Колпітца з симетричним живленням: чисельного математичного моделювання та експериментального дослідження засобами віртуальної лабораторії National Instruments Multisim 10.1. Висока збіжність отриманих результатів підтверджує адекватність математичної моделі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриев А. С., Панас А. И. Динамический хаос : Новые носители информации для систем связи. Москва: Физматлит, 2002. 251 с.
2. Залогин Н. Н., Кислов В. В. Широкополосные хаотические сигналы в радиотехнических и информационных системах. Москва: Радиотехника, 2006. 205 с.
3. Семенов А. О. Транзисторні генератори детермінованого хаосу для засобів прихованої передачі інформації. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2016. №2 (55). С. 62–67.
4. Andriy Semenov. Reviewing the Mathematical Models and Electrical Circuits of Deterministic Chaos Transistor Oscillators. *2016 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Proceedings*. Moscow, Russia, May 12–14, 2016. P. 1–6. DOI: [10.1109/SIBCON.2016.7491758](https://doi.org/10.1109/SIBCON.2016.7491758)
5. Кузнецов С.П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование. *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*. 2018. Т. 26, № 3. С. 35–61. DOI: [10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61](https://doi.org/10.18500/0869-6632-2018-26-3-35-61).
6. Шахтарин Б. И., Кобылкина П. И., Сидоркина Ю. А., Кондратьев А. В., Митин С. В. Генераторы хаотических колебаний : учебн. пособие. Москва: Гелиос АРВ, 2014. 248 с.
7. М.Р. Kennedy. Chaos in the Colpitts Oscillator. *IEEE Transactions on Circuits and Systems – I: Fundamental theory and applications*. November 1994. Vol. 11. P. 771–774.
8. Семенов А.О. Транзисторні генератори детермінованого хаосу за схемою Копітця. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2017. №1. С. 223–232.

**Семенов Андрій Олександрович** — канд. техн. наук, доцент, професор кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [semenov.a.o@vntu.edu.ua](mailto:semenov.a.o@vntu.edu.ua)

**Semenov Andriy O.** — Cand. Sc. (Eng), Professor of Department of Radio Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [semenov.a.o@vntu.edu.ua](mailto:semenov.a.o@vntu.edu.ua)