

Семенов А.О.

Вінницький національний технічний університет

Семенова О.О.

Вінницький національний технічний університет

Пінаєв Б.О.

Вінницький національний технічний університет

Куляс Р.О.

Вінницький національний технічний університет

Шпильовий О.О.

Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ДИНАМІЧНОГО ХАОСУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ В ГЕНЕРАТОРІ КОЛПІТЦА НА ОСНОВІ МДН ТРАНЗИСТОРА

Радіоелектронний генератор динамічного хаосу за схемою Колпітца є базовим елементом нелінійної електроніки. Він отримав широкого поширення як джерело стійких хаотичних коливань у надширококутових системах зв'язку. Генератор динамічного хаосу за схемою Колпітца застосовують на низьких частотах, середніх частотах, високих частотах і надзвичайно високих частотах. Це зумовлено простотою схеми та унікальними властивостями його автоколивальної системи. Тому генератор динамічного хаосу за схемою Колпітца привертає значну увагу дослідників. Відома велика кількість публікацій. У цих публікаціях всебічно досліджені динамічні властивості, схемотехнічні та конструкторські особливості генератора Колпітца на біполярному транзисторі. Менше уваги було приділено дослідженню генератора Колпітца на операційних підсилювачах, інтегральних мікросхемах та можливості його реалізації засобами цифрової схемотехніки, зокрема на програмованих інтегральних мікросхемах. При цьому, мало уваги дослідників було приділено генератору Колпітца на основі польових транзисторів. У роботі наведено результати дослідження хаотичної динаміки генератора Колпітца на основі МДН транзистора. Розглянуто нові схемні варіанти генератора Колпітца динамічного хаосу на основі МДН транзистора з симетричним і несиметричним живленням. Обґрунтована математична модель генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі. Отримано результати математичного моделювання. Проведено аналіз фазових портретів автоколивальної системи генератора в площинах динамічних змінних. Наведено амплітудно-частотні спектри генерованих хаотичних коливань. Розраховано статистичні параметри генерованих хаотичних коливань. Зроблено порівняльний аналіз генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з генератором Колпітца динамічного хаосу на біполярному транзисторі, що отримав широкого поширення в сучасних радіотехнічних і телекомунікаційних системах.

Ключові слова: динамічний хаос, генератор Колпітца, МДН транзистор, математична модель, фазовий портрет.

Постановка проблеми.

Протягом останнього століття генератор Колпітца є основним елементом засобів зв'язку [1, с. 351]. Це зумовлено простотою схеми, надійністю роботи, стійкою генерацією у широкому діапазоні частот, відсутністю взаємної індуктивності, а також високою стабільністю частоти [1, с. 351]. Тривалий час в радіотехніці та телекомунікаціях генератор Колпітца використо-

вувався як джерело високостабільних синусоїдальних коливань з низьким рівнем спотворень. З часом почав зменшуватися інтерес розробників і дослідників до практичного використання генератора Колпітца, що було зумовлено розвитком інтегральної схемотехніки. Але ця тенденція кардинально змінилася після публікації М. П. Кеннеді в 1994 році дослідницької роботи [2], у якій він виявив і теоретично обґрунтував

режим динамічного хаосу в простому генераторі Колпітца на одному біполярному транзисторі. Подальші дослідницькі роботи М. П. Кеннеді [3, 4] сприяли приділення високої уваги дослідників до нелінійних і хаотичних автоколивальних систем і стрімкому розвитку теорії та практики генераторів динамічного хаосу.

На сьогоднішній опубліковано велику кількість наукових з розроблення та дослідження генератора Колпітца [5]. Так, у пошуковій системі ScienceDirect (Elsevier) у результаті пошуку отримано 642 статті в назві яких фігурує ключова фраза «Colpitts oscillator». В результаті пошуку в науково-метричній базі Web of Science Core Collection за цією ключовою фразою отримано 113 статей. Якщо врахувати анотації та ключові слова, тоді буде знайдено кілька тисяч статей з цього напрямку. Але усі ці статті в переважній більшості присвячені дослідженню класичного схемотехнічного варіанту генератора Колпітца на біполярному транзисторі або різноманітних схемотехнічних варіантах активного елементу на біполярних транзисторах (біполярному транзисторі з динамічним навантаженням, біполярному транзисторі зі струмовим дзеркалом, диференціальному каскаді на двох або чотирьох біполярних транзисторах, складені біполярні транзистори та ін.) або операційних підсилювачах за біполярною інтегральною схемотехнікою [6]. При цьому, дослідженню динамічних режимів генератора Колпітца на польових або МДН транзисторах приділено мало уваги [7]. Відомо, що польові та МДН транзистори володіють низкою переваг у порівнянні з біполярними транзисторами, основною з яких є висока енергоефективність [7]. Тому, на сучасному етапі науки та техніки виникла актуальна науково-прикладна задача дослідження хаотичної динаміки генератора Колпітца на МДН транзисторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Безліч сучасних дослідників працюють у напрямку розроблення та дослідження хаотичної динаміки радіоелектронних генераторів. У роботі [8] запропонований новий схемотехнічний варіант генератора Колпітца на операційному підсилювачі за КМОН інтегральною технологією. Застосування інтегральної мікросхеми підвищило порядок хаотичної системи та ввело додаткові нелінійності. Однак результати моделювання та тестування такого генератора показали, що його продуктивність еквівалентна продуктивності математичної моделі автоколивальної системи класичного генератора Колпітца.

Оригінальний схемний варіант хаотичного генератора Колпітца імпульсного типу запропонований в роботі [9]. Його активним елементом є операційний підсилювач із класичним розташуванням реактивних елементів коливального контуру – двох конденсаторів і котушки індуктивності. Ключовим компонентом схеми є польовий транзистор, що працює на нелінійній ділянці прохідної ВАХ. Польовий транзистор являє нелінійний резистор з антисиметричною вольт-амперною характеристикою, що імітує хаотичне електричне коло типу схеми Колпітца.

У роботах [10-12] наведені результати теоретичних та експериментальних досліджень класичного генератора Колпітца на МДН транзисторі з симетричною схемою живлення. У той же час, дослідження хаотичної динаміки класичного генератора Колпітца на МДН транзисторі з несиметричною схемою живлення не були проведені.

Постановка завдання.

Метою роботи є дослідження нелінійної динаміки генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з несиметричним живленням. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання: 1) запропонувати схемне рішення генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з несиметричним живленням; 2) обґрунтувати його математичну модель; 3) отримати результати математичного моделювання нелінійної динаміки генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з несиметричним живленням.

Виклад основного матеріалу.

На рисунку 1,а наведена електрична схема генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з симетричним живленням. У роботах [10, с. 113; 11, с. 4] наведена математична модель генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з симетричним живленням відносно динамічних змінних (струму котушки індуктивності та напруги на конденсаторах C_1 і C_2), має вигляд співвідношень (1)-(2)

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = -i_L R_L - u_{C1} + u_{C2} + V_{CC}, \\ C1 \frac{du_{C1}}{dt} = i_L - i_D(u_{C2}), \\ C2 \frac{du_{C2}}{dt} = -i_L + \frac{V_{EE} - u_{C2}}{R_S}. \end{cases} \quad (1)$$

де $i_D(u_{C2})$ – нелінійна функція апроксимації прохідної характеристики МДН транзистора, що має вигляд [10, с. 113; 11, с. 4]

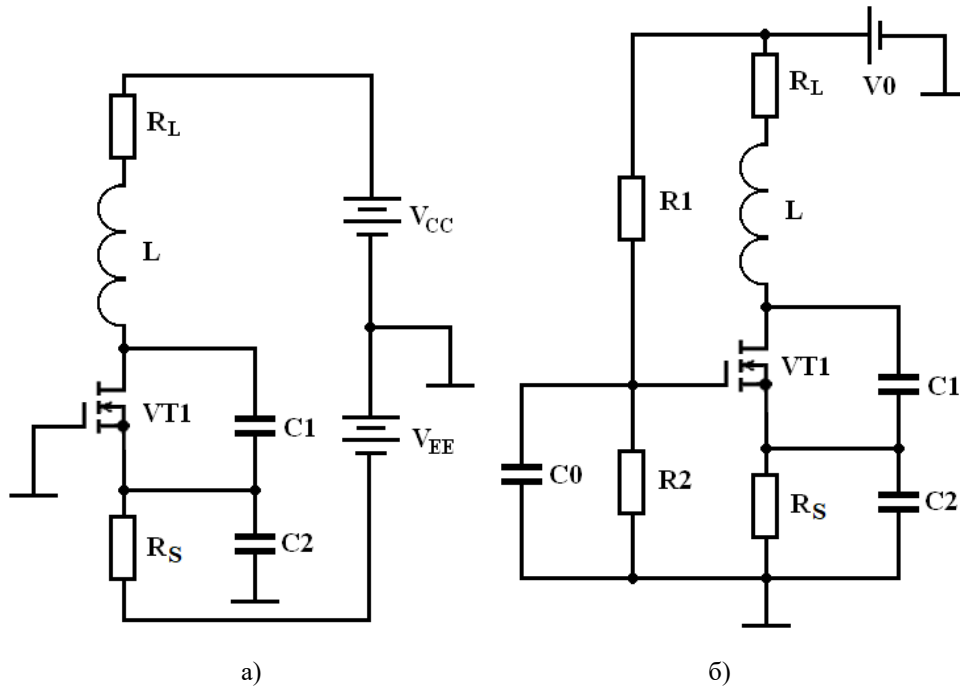


Рис. 1. Електричні схеми генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі з симетричним (а) та з несиметричним (б) живленням

$$i_D(u_{GS}) = \begin{cases} S(u_{GS} - U_0), & \text{if } u_{GS} \geq U_0, \\ 0, & \text{if } u_{GS} < U_0, \end{cases} \quad (2)$$

де u_{GS} – напруга затвор-витік МДН транзистора, U_0 – напруга відсікання. МДН транзистора.

У роботах [12, 13] наведені результати дослідження динаміки хаотичних коливань в генераторі Колпітца на МОН транзисторі з крутизною прохідної ВАХ $S \approx 50$ мА/В, напругою відсікання $U_0 \approx 0,75$ В при таких параметрах елементів електричної схеми на рисунку 1,а: $V_{CC} = 7$ В, $V_{EE} = 2$ В, $R_1 = 1,2$ кОм, $R_2 = 12$ кОм, $L = 358$ нГн, $C_1 = 0,106$ пФ, $C_2 = 0,212$ пФ. Максимум спектральної густини потужності хаотичних коливань при цьому зосереджений поблизу частоти 1 ГГц, основна частина енергії сигналу зосереджена в діапазоні частот нижче 3 ГГц [10, 11].

Недоліком запропонованої в роботах [12-13] і апробованої в роботах [10-11] математичної моделі (1)-(2) є спрощена кускова-лінійна апроксимація прохідної ВАХ МДН транзистора (2). У роботі [14, с. 2] використана така нелінійна апроксимація прохідної ВАХ МДН транзистора

$$i_D(u_{GS}, u_{DS}) = \begin{cases} 0, & \text{if } u_{GS} < U_0, \\ K_n [2(u_{GS} - U_0)u_{DS} - u_{DS}^2] & \text{if } u_{GS} > U_0 \text{ and } u_{DS} \leq u_{GS} - U_0, \\ K_n (u_{GS} - U_0)^2 & \text{if } u_{GS} > U_0 \text{ and } u_{DS} > u_{GS} - U_0, \end{cases} \quad (3)$$

де коефіцієнт $K_n = \mu_n C_{OX} W / 2L$, μ_n – рухомість вільних електронів, C_{OX} – ємність затвору

на одиницю площі, W – ширина каналу, L – довжина каналу.

На рис. 2 наведені еквівалентна схема генератора Колпітца на МОН транзисторі (рис. 2,а) та еквівалентна схема МДН транзистора (рис. 2,б), що були використані в роботі [14, с. 2].

Скорочена система рівнянь Кірхгофа для еквівалентної схеми генератора Колпітца на рис. 2,а має вигляд [14, с. 2]

$$\begin{cases} C_1 \frac{du_{C1}}{dt} = -i_D(u_{C1}, u_{C2}) + i_L, \\ C_2 \frac{du_{C2}}{dt} = i_L - I_0, \\ L \frac{di_L}{dt} = -u_{C1} - u_{C2} - i_L R_L + V_{CC}, \end{cases} \quad (4)$$

де функція апроксимації струму стоку МДН транзистора має вигляд (3) з урахуванням, що $u_{C1} = u_{DS}$ та $u_{C2} = -u_{GS}$.

Математична модель генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі у нормованих динамічних змінних має вигляд [14, с. 3]

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \alpha(z - h(x, y)), \\ \frac{dy}{dt} = \beta z, \\ \frac{dz}{dt} = -\gamma z - \lambda(x + y), \end{cases} \quad (5)$$

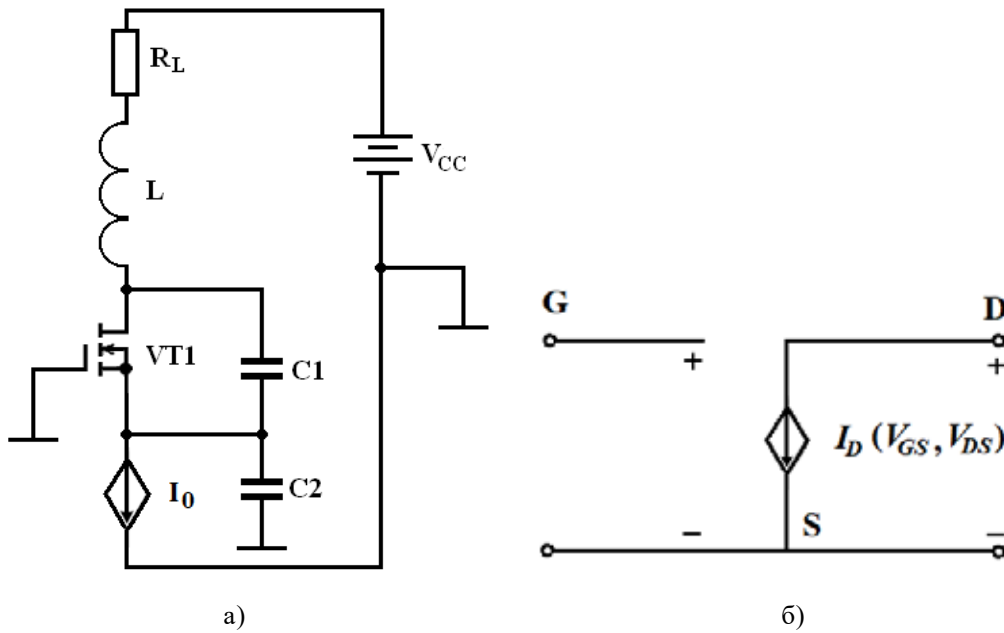


Рис. 2. Еквівалентна схема генератора Колпітца на МДН транзисторі (а) та еквівалентна схема МДН транзистора (б)

де

$$h(x, y) = \begin{cases} -a, & \text{if } y \geq \sqrt{a/k}, \\ -k(x+b+\sqrt{a/k})(x+b-\sqrt{a/k}-2y) & \text{if } y < \sqrt{a/k} \text{ and } x+y \leq -b, \\ k(y-\sqrt{a/k})^2 - a & \text{if } y < \sqrt{a/k} \text{ and } x+y > -b, \end{cases} \quad (6)$$

$$\beta = \sqrt{K_n}/C2, \quad \alpha = \sqrt{K_n}/C1, \quad \gamma = R/L, \quad \lambda = 1/L\sqrt{K_n}, \quad (7)$$

Коефіцієнти системи диференційних рівнянь (5) з урахуванням рівняння апроксимації (6) і (7) мають такі значення [14, с. 3]

$$\alpha = 4.5, \quad \beta = 4.5, \quad \gamma = 0.7, \quad \lambda = 0.112, \quad (8)$$

$$a = 0.55, \quad b = 15, \quad k = 1.$$

Автори здійснили математичне моделювання хаотичного режиму генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі в програмному пакеті Mathcad 15 за початкових умов (1, 0, 0) згідно з методикою [15, 16]. Результати математичного моделювання наведені на рис. 3 – рис. 5.

Порівнюючи отримані результати математичного моделювання генератора Колпітца на МДН транзисторі з результатами математичного моделювання генератора Колпітца на біполярному транзисторі у роботах [17, 18] потрібно зазначити обмежений динамічний простір генерованих хаотичних коливань та їх порівняну вузько-смуговість.

У роботі за допомогою програми MathCad 15 був розрахований безрозмірний коефіцієнт взаємної кореляції (9) нормованих динамічних змінних автоколивної системи генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі

$$\rho = \frac{R_{X1X2}(\tau)}{\sigma_{X1}\sigma_{X2}}, \quad (9)$$

де σ_{X1} і σ_{X2} – відхилення випадкових величин $X1(t)$ і $X2(t)$ від їх математичних сподівань відповідно. Отримані значення коефіцієнт взаємної кореляції для пар хаотичних сигналів складають такі значення:

$$\rho(X1, X2) = 0,39788, \quad \rho(X1, X3) = -0,75589,$$

$$\rho(X2, X3) = -0,0176957.$$

Порівнюючи статистичні параметри генерованих хаотичних коливань генератора Колпітца на МДН транзисторі зі статистичними параметрами генерованих хаотичних коливань генератора Колпітца на біполярному транзисторі, які отримані у роботах [17, 18], можна стверджувати, що електричні сигнали генератора Колпітца на МДН транзисторі мають більш високий коефіцієнт взаємної кореляції.

Висновки.

Автори запропонували нове схемне рішення генератора динамічного хаосу за схемою Колпітца на основі МДН транзистора з несиметричним живленням (рис. 1,б). Як математичну модель у нормованих динамічних змінних генератора хаотичних електричних коливань за схемою Колпітца на основі МДН транзистора з несиметричним живленням у роботі було обґрунтовано застосувати систему нелінійних диференційних рівнянь (5) з використанням нелінійної апроксимації прохідної ВАХ МДН транзистора (6).

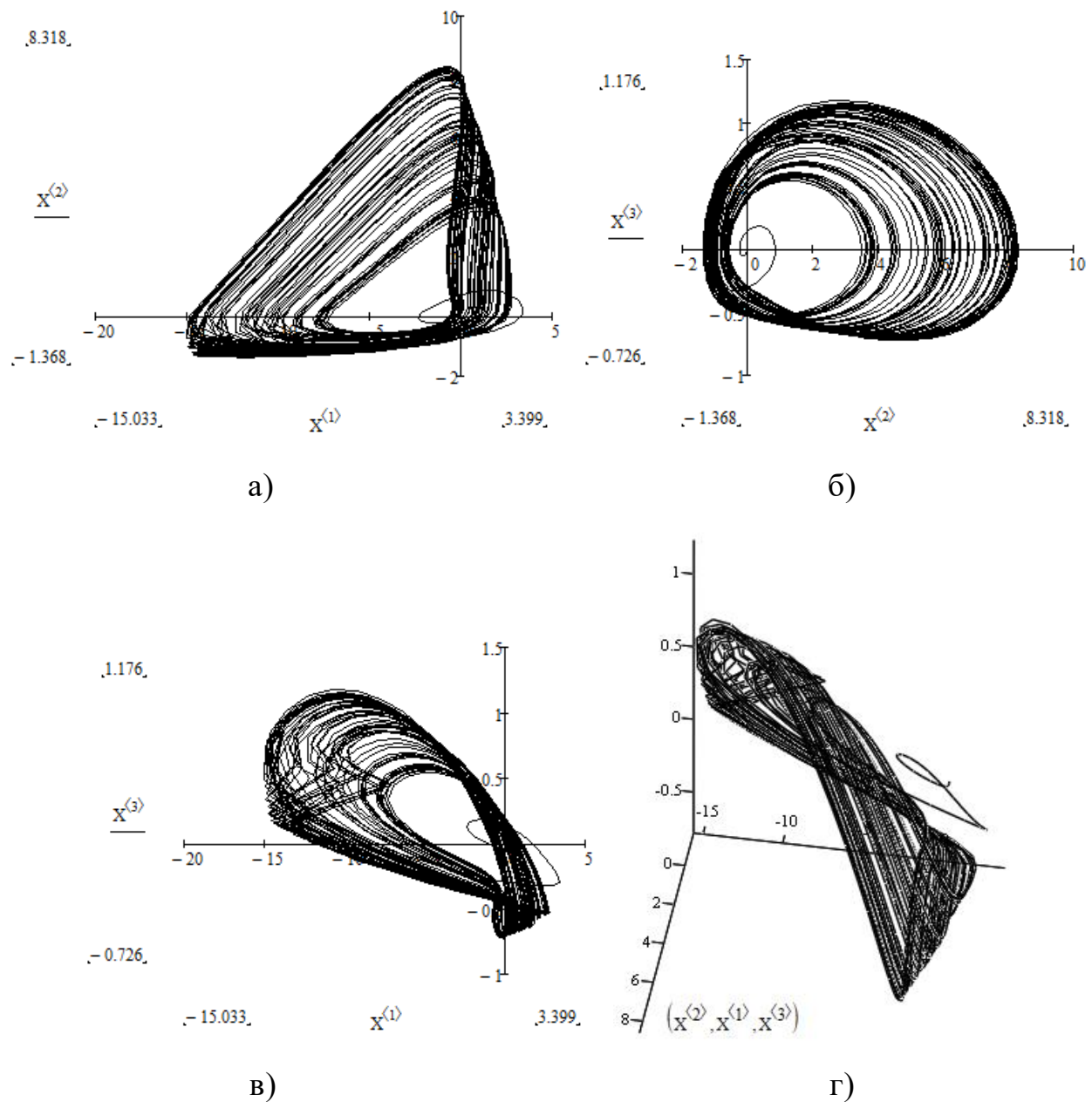
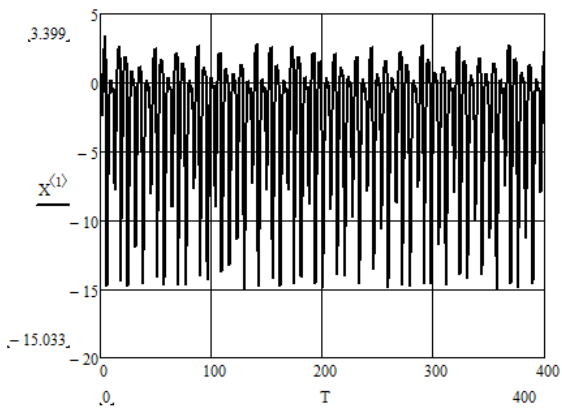


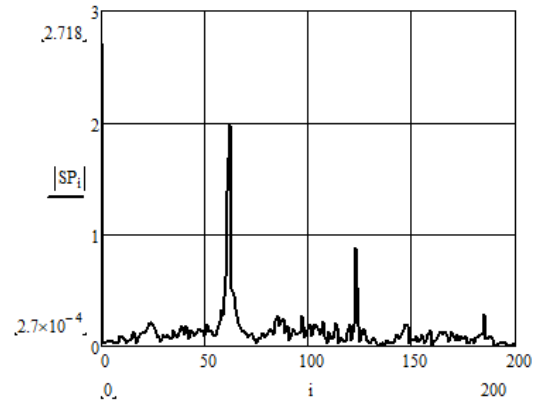
Рис. 3. Фазові портрети математичної моделі (5)-(8) автоколивальної системи генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі у площинах нормованих динамічних змінних x_1-x_2 (а), x_2-x_3 (б), x_1-x_3 (в) та в просторі нормованих динамічних змінних $x_1-x_2-x_3$ (г)

Отримано фазові портрети автоколивальної системи генератора Колпітца динамічного хаосу на МДН транзисторі у площинах нормованих динамічних змінних і просторі нормованих динамічних змінних, часові діаграми та амплітудно-частотні спектри генерованих хаотичних коливань. У порівнянні з генератором динамічного хаосу за схемою Колпітца на основі біполярного транзистора, хаотичні електричні сигнали генера-

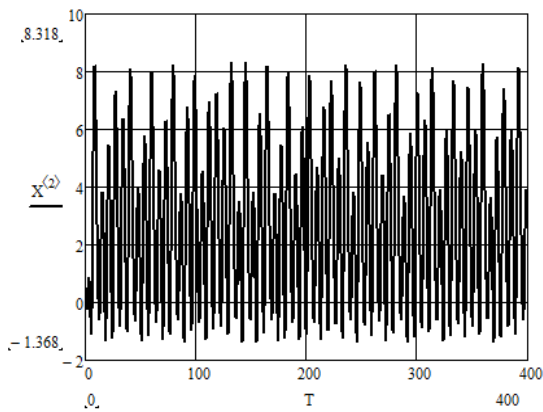
тора динамічного хаосу за схемою Колпітца на основі МДН транзистора є вузькосмуговими. На відміну від наведених результатів у роботах [10, 11] отримані в цій роботі результати математичного моделювання не підтвердили можливість синтезу генератора динамічного хаосу за схемою Колпітца на основі МДН транзистора з постійною спектральною густиною потужності у широкій робочій смузі частот.



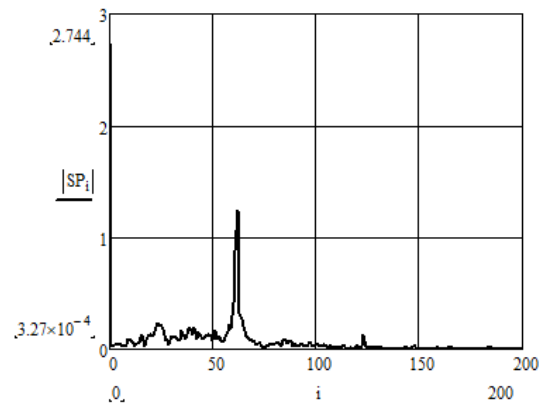
a)



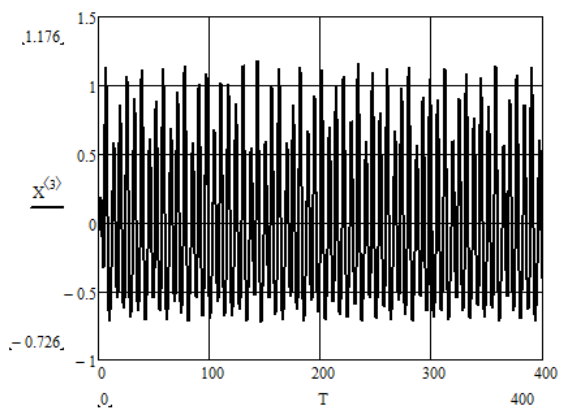
a)



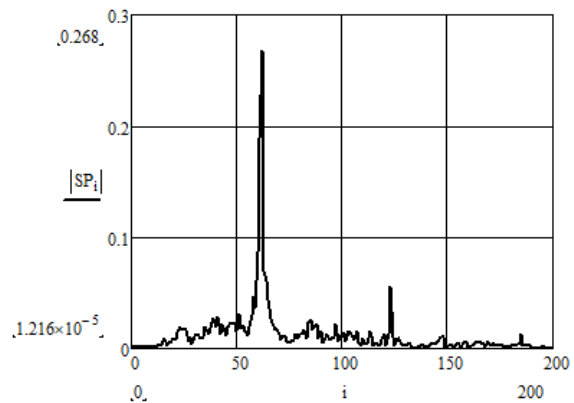
б)



б)



в)



в)

Рис. 4. Діаграми нормованих динамічних змінних x_1 (а), x_2 (б) і x_3 (в) автоколивальної системи генератора Колпітца відносно нормованого часу

Рис. 5. Амплітудно-частотні спектри нормованих динамічних змінних x_1 (а), x_2 (б) і x_3 (в) автоколивальної системи генератора Колпітца у частотному домені, що нормований відносно резонансної частоти коливального

Список літератури:

1. Raoul Blaise Wafo Tekam, Jacques Kengne, Germaine Djuidje Kenmoe. High frequency Colpitts' oscillator: A simple configuration for chaos generation. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2019. Volume 126, pp. 351-360. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2019.07.020>
2. M. P. Kennedy. Chaos in the Colpitts oscillator. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*. 1994. Vol. 41, no. 11, pp. 771-774. DOI: <https://doi.org/10.1109/81.331536>
3. M. P. Kennedy. On the relationship between the chaotic Colpitts oscillator and Chua's oscillator. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*. 1995. Vol. 42, no. 6, pp. 376-379. DOI: <https://doi.org/10.1109/81.390276>

4. G. M. Maggio, O. De Feo, M. P. Kennedy. Nonlinear analysis of the Colpitts oscillator and applications to design. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*. 1999. Vol. 46, no. 9, pp. 1118-1130. DOI: <https://doi.org/10.1109/81.788813>
5. Ludovico Minati, Giacomo Innocenti, Gorana Mijatovic, Hiroyuki Ito, Mattia Frasca. Mechanisms of chaos generation in an atypical single-transistor oscillator. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2022. Volume 157, Paper ID 111878. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2022.111878>
6. R. Zebaze Nanfa'a, R. Tchitnga, P.H. Louodop Fotso, R. Kengne, F.C. Talla, B. Nana, F.B. Pelap. Non periodic oscillations, bistability, coexistence of chaos and hyperchaos in the simplest resistorless Op-Amp based Colpitts oscillator. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, Issue 2, e03482. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03482>
7. Ludovico Minati, Korkut Kaan Tokgoz, Hiroyuki Ito. Distributed sensing via the ensemble spectra of uncoupled electronic chaotic oscillators. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2022. Vol. 155, 111749. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.111749>
8. B. K. Rhea, R. C. Harrison, F. T. Werner, E. Perkins, R. N. Dean. Approximating an Exactly Solvable Chaotic Oscillator Using a Colpitts Oscillator Circuit. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. 2021. Vol. 68, no. 3, pp. 1028-1032. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSII.2020.3024147>
9. R. Tchitnga, T. Nguazon, P. H. Louodop Fotso, J. A. C. Gallas. Chaos in a Single Op-Amp-Based Jerk Circuit: Experiments and Simulations. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*. 2016. Vol. 63, no. 3, pp. 239-243. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSII.2015.2483218>
10. Пилипенко А.М. Моделирование генератора сверхширокополосных хаотических колебаний и оценка точности полученных результатов. *Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Новые технологии и проблемы технических наук»*. Красноярск, 2014. С. 112-114.
11. Пилипенко А.М., Тарасенко Г.В. Численный анализ динамики генератора хаотических колебаний для сверхширокополосной связи. *Scientific Researches and Their Practical Application. Modern State and Ways of Development '2014. 1-12 October 2014, Одесса, Украина, изд-во SWorld*. С. 1-11. URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer36/102.pdf>
12. Григорьев Е.В., Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В., Анагностопулос А.Н., Милиу А.Н. Генератор хаоса на полевом транзисторе. *Успехи современной радиоэлектроники*. 2008. № 1, с. 32-36.
13. Григорьев Е.В., Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Кузьмин Л.В. Генератор хаоса на полевом транзисторе. Математическое и схемотехническое моделирование. *Радиотехника и электроника*. 2007. Т. 52. № 12, С. 1463-1471.
14. Wang Chun-Hua, Xu Hao, Wan Zhao, Hu Yan. A Colpitts chaotic oscillator based on metal oxide semiconductor transistors and its synchronizaiton research. *Acta Phys. Sin*. 2013, 62(20): 208401. DOI: <https://doi.org/10.7498/aps.62.208401>
15. V. S. Osadchuk, A. V. Osadchuk, A. A. Semenov and E. A. Semenova. Experimental research and simulation of microwave oscillator based on structure of static inductance transistor with negative resistance. *2010 20th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology"*, 13-17 Sept. 2010, Sevastopol, Ukraine, pp. 187-188. DOI: <https://doi.org/10.1109/CRMICO.2010.5632543>
16. A. Semenov. Mathematical model of the microelectronic oscillator based on the BJT-MOSFET structure with negative differential resistance. *2017 IEEE 37th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*, 18-20 April 2017, Kyiv, Ukraine, pp. 146-151, DOI: <https://doi.org/10.1109/ELNANO.2017.7939736>
17. Andriy Semenov, Oleksandr Osadchuk, Olena Semenova, Serhii Baraban, Oleksandr Voznyak, Andrii Rudyk, Kostyantyn Koval. Research of Dynamic Processes in the Deterministic Chaos Oscillator Based on the Colpitts Scheme and Optimization of Its Self-oscillatory System Parameters. In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) *Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol. 48. Springer, Cham. 21 June 2020, pp. 181-205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43070-2_10
18. A. Semenov, O. Osadchuk, O. Semenova, O. Bisikalo, O. Vasilevskiy, O. Voznyak. Signal Statistic and Informational Parameters of Deterministic Chaos Transistor Oscillators for Infocommunication Systems. *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, 9-12 Oct. 2018, Kharkiv, Ukraine, pp. 730-734, DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632046>

Semenov A.O., Semenova O.O., Pinaiev B.O., Kulas R.O., Shpylovyi O.O. MATHEMATICAL MODELING OF THE DYNAMIC CHAOS MODE OF ELECTRICAL OSCILLATIONS IN THE COLPITTS OSCILLATOR BASED ON THE MOSFET

The radio-electronic oscillator of dynamic chaos according to the Colpitts scheme is the main element of nonlinear electronics. It has become widespread as a source of stable chaotic oscillations in ultrawideband communication systems. The dynamic chaos oscillator according to the Colpitts scheme is used at low frequencies, medium frequencies, high frequencies, and ultra-high frequencies. This is due to the simplicity of the circuit and the unique properties of its self-oscillating system. Therefore, the dynamic chaos oscillator according to the Colpitts scheme attracts much attention from researchers. There are a huge number of publications. In these publications, the dynamic characteristics, circuitry, and design features of the Colpitts oscillator based on a bipolar transistor are comprehensively investigated. Less attention was paid to the study of the Colpitts oscillator based on operational amplifiers, integrated circuits, and the possibility of its implementation by means of digital circuitry, including programmable integrated circuits. At the same time, little attention was paid to the Colpitts oscillator based on field-effect transistors. The paper presents the results of a study of the chaotic dynamics of the Colpitts oscillator based on the MOSFET. New circuit versions of the Colpitts oscillator of dynamic chaos based on a MOSFET with symmetrical and asymmetric power supply are considered. A mathematical model of the Colpitts oscillator of dynamic chaos based on a MOSFET is substantiated. The results of mathematical modeling are obtained. An analysis of the phase portraits of the self-oscillatory system of the generator in the planes of dynamic variables has been carried out. The amplitude-frequency generated chaotic oscillations are presented. The statistical parameters of the generated chaotic oscillations are calculated. A comparative analysis of the Colpitts oscillator of dynamic chaos based on a MOSFET with the Colpitts oscillator of dynamic chaos based on a bipolar transistor, which is widely used in modern radiofrequency engineering and telecommunication systems, is carried out.

Key words: *dynamic chaos, Colpitts oscillator, MOSFET, mathematical model, phase portrait.*