

УДК 621.396; 621.373

Семенов А.О.

Вінницький національний технічний університет

Політанський Р.Л.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

Гончарук А.В.

Вінницький національний технічний університет

Дурицький О.М.

Вінницький національний технічний університет

Чорний В.В.

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ АВТОКОЛИВНИХ СИСТЕМ ТРЕТЬОГО ПОРЯДКУ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ НА ОСНОВІ БІПОЛЯРНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ СТРУКТУР

У роботі наведено результати аналізу сучасних пристроїв генерування сигналів детермінованого хаосу на основі біполярних транзисторних структур із від'ємним диференційним опором. Наведено структури, функціональні схеми та математичні моделі трьох варіантів генераторів детермінованого хаосу на основі біполярних транзисторних структур із від'ємним диференційним опором, які придатні для реалізації в мікроелектронному виконанні. Отримано результати аналізу хаотичних режимів автоколивних систем третього порядку мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу та розраховано їх параметри для забезпечення максимального значення старшого показника Ляпунова.

Ключові слова: детермінований хаос, генератор, транзисторна структура, від'ємний опір, математична модель, показник Ляпунова.

Постановка проблеми. Детермінований хаос – це складний, неупорядкований рух нелінійних систем, що виникає в них за відсутності будь-яких випадкових збурень [1, с. 1]. Для реалізації технічного захисту інформації від несанкціонованого доступу, передавання та оброблення прихованих повідомлень актуальною науково-технічною задачею є розроблення та дослідження генераторів детермінованого хаосу. Такі генератори, хоча є детермінованими пристроями, здатні генерувати складні неперіодичні сигнали, які за своєю структурою є шумоподібними. Основними властивостями сигналів детермінованого хаосу є: 1) складна неперіодична траєкторія руху в часі; 2) широка смуга неперервного амплітудно-частотного спектра; 3) швидке затухання в часі їх автокореляційної функції; 4) висока інформаційна ємність. Тому для реалізації на практиці відомих методів хаотичного маскування та кодування інформації потрібно мати результати патентного огляду сучасних пристроїв генерування сигналів детермінованого хаосу на основі транзисторних

схем і структур, які сумісні з мікроелектронною технологією [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хаотичні сигнали застосовують для маскування переданої інформації, а також створення прихованого (конфіденційного) зв'язку [4, с. 9]. Відомі технічні рішення побудови систем хаотичного радіозв'язку з відтворенням на приймальній стороні корисної інформації в умовах, коли хаотична носійна за енергетичним рівнем була нижчою за рівень шумів [4, с. 9]. Усе це зумовлює активні дослідження відомих і створення нових пристроїв генерування та формування сигналів детермінованого хаосу, що виконані на зосереджених елементах у мікроелектронному виконанні [5, с. 31].

Нині класифіковано десятки автоколивних систем простих мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу [4], які реалізовано в різних схемотехнічних рішеннях [5; 6]. При цьому основну увагу приділено розробленню та дослідженню простих схемотехнічних рішень транзисторних генераторів детермінованого хаосу

[7, с. 38–41]. Мало уваги приділено розробленню та дослідженню генераторів детермінованого хаосу, що мають багатотранзисторні активні елементи зі складною геометричною формою вхідних та/або прохідних статичних вольт-амперних характеристик. Якщо окремі питання розроблення генераторів детермінованого хаосу на основі комплементарних МОН транзисторів були висвітлені в технічній літературі [5, п. 4.16, с. 235–238], водночас практично не приділено уваги питанням розроблення та дослідження генераторів детермінованого хаосу на базі складних активних елементів, що виконані на основі біполярних транзисторів з урахуванням особливостей інтегральної схемотехніки.

Постановка завдання. Метою роботи є патентний огляд та аналіз способів побудови, структур, функціональних схем і математичних моделей генераторів детермінованого хаосу з автоколивними системами третього порядку на основі біполярних транзисторних структур із від’ємним диференціальним опором. Для досягнення поставленої мети треба вирішити такі завдання: 1) здійснити огляд патентів на винахід із метою аналізу нових методів, способів і технічних рішень побудови транзисторних генераторів детермінованого хаосу з автоколивними системами третього порядку; 2) розглянути нові варіанти структур і функціональних схем транзисторних генераторів детермінованого хаосу з автоколивними системами третього порядку; 3) здійснити дослідження їх математичних моделей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до поставленої мети досліджень авторами було здійснено патентний пошук методів,

способів і технічних рішень побудови транзисторних генераторів детермінованого хаосу за останні 15 років. Автоколивні системи таких генераторів складаються з трьох реактивних елементів (як правило, двох ємностей та однієї індуктивності), лінійного опору та нелінійного опору, який є активним елементом генератора. На рис. 1 представлена еквівалентна схема транзисторного генератора детермінованого хаосу [8]. Спосіб побудови такого генератора хаотичних коливань становлять [8]: еквівалентна схема на рис. 1, схема електрична функціональна генератора на рис. 2 та математична модель у нормованих змінних (2) – (8).

Скорочена система диференціальних рівнянь у абсолютних і нормованих динамічних змінних має вигляд відповідно (1) і (2).

$$\begin{cases} \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{i(u_{C2} - u_{C1})}{C_1}, \\ \frac{du_{C2}}{dt} = -\frac{i(u_{C2} - u_{C1}) + i_L}{C_2}, \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{u_{C2} + i_L}{L}. \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = Af(y - x), \\ \frac{dy}{d\tau} = -f(y - x) - z, \\ \frac{dz}{d\tau} = B(y + z), \end{cases} \quad (2)$$

Вирази коефіцієнтів, безрозмірних змінних і нормованого часу [8]

$$A = \frac{C_2}{C_1}, \quad B = \frac{C_2 R^2}{L}, \quad x = \frac{u_{C1}}{U_0}, \quad y = \frac{u_{C2}}{U_0}, \quad z = \frac{i_L R}{U_0},$$

$$\tau = \frac{t}{RC_2}, \quad U_0 = \sqrt{U_{01} U_{02}}, \quad (3)$$

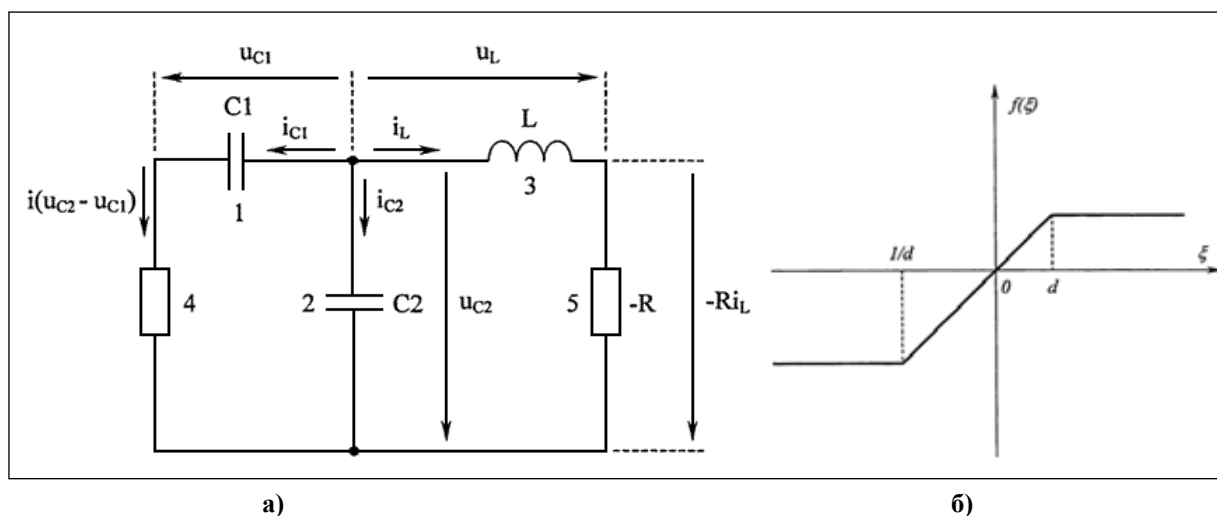


Рис. 1. Еквівалентна схема мікроелектронного генератора детермінованого хаосу (а) та графік нормованої ВАХ нелінійного елемента (б) [8]

де рівняння динамічної вольт-амперної характеристики нелінійного резистивного елемента

$$f(y-x) = \frac{i(u_{c2} - u_{c1})R}{U_0}, \quad (4)$$

Рівняння безрозмірної динамічної вольт-амперної характеристики активного елемента генератора щодо нормованих змінних [8]

$$f(y-x) = b(y-x) + \frac{a-b}{2}(d - |y-x-d|) + \frac{1-b}{2}\left(y-x + \frac{1}{d} - \frac{1}{d}\right),$$

де

$$a = g_0 R, \quad b = g_1 R, \quad d = \sqrt{\frac{U_{01}}{U_{02}}}, \quad (6)$$

Нелінійний резистивний елемент 4 у схемі на рис. 2 має наведену на рис. 1,б вольт-амперну характеристику, параметри якої рівні [8]

$$g_0 \approx \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}, \quad g_1 \approx \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4}, \quad (7)$$

$U_{01} \approx I_3 R_5$, $U_{02} \approx I_4 R_5$, звідки [8]

$$a \approx (R_1 + R_2) \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \right),$$

$$b \approx (R_1 + R_2) \left(\frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_4} \right), \quad d = \sqrt{\frac{I_3}{I_4}}, \quad (8)$$

де R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 – опори, відповідно, першого 6, другого 7, третього 13, четвертого 14 і п'ятого 15 резисторів, I_3 до I_4 – значення вихідних струмів, відповідно, сьомого 20 і восьмого 21 генераторів струму.

В автоколивній системі (2)–(8) існують нерегулярні автоколивання, що характеризуються додатними значеннями старшого характеристичного показника Ляпунова [8]. Наприклад, при $d = 1$, $a = 1$, $b = 0$, $A = 0,08$, $B = 0,1-0,3$ цей показник дорівнює $0,002-0,024$, при $d = 0,8$, $a = 1$, $b = 0$, $A = 0,08$, $B = 0,1-0,3$ він дорівнює $0,004-0,022$, зокрема, при $d = 1$, $a = 1$, $b = 0$, $a = 0,08$, $b = 0,2$ він

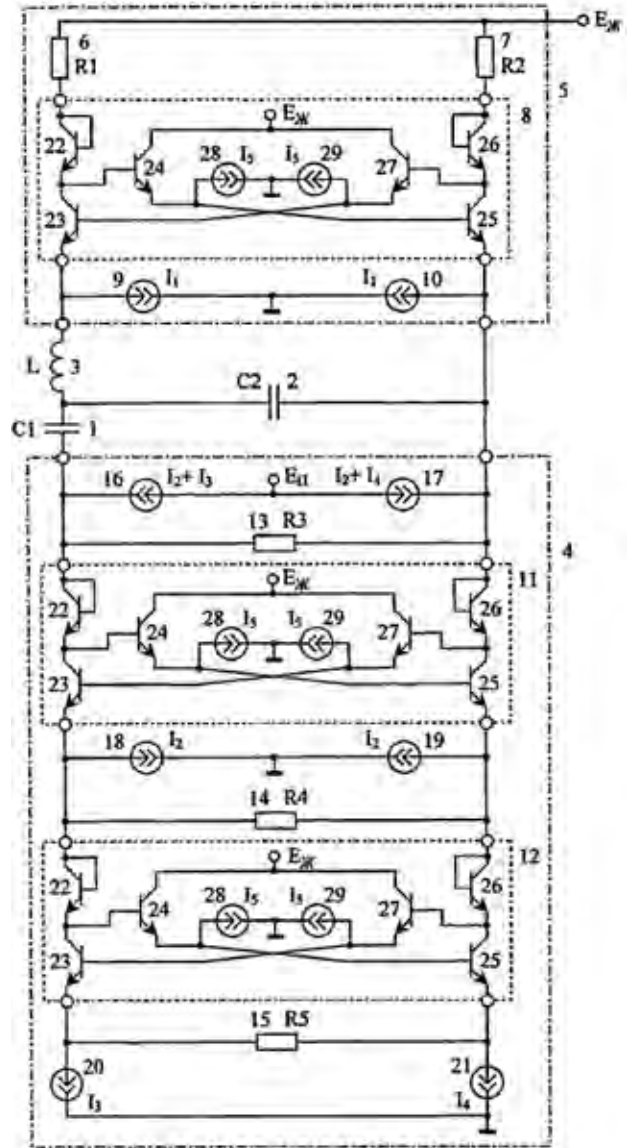


Рис. 2. Функціональна електрична схема варіанта 1 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу [8]

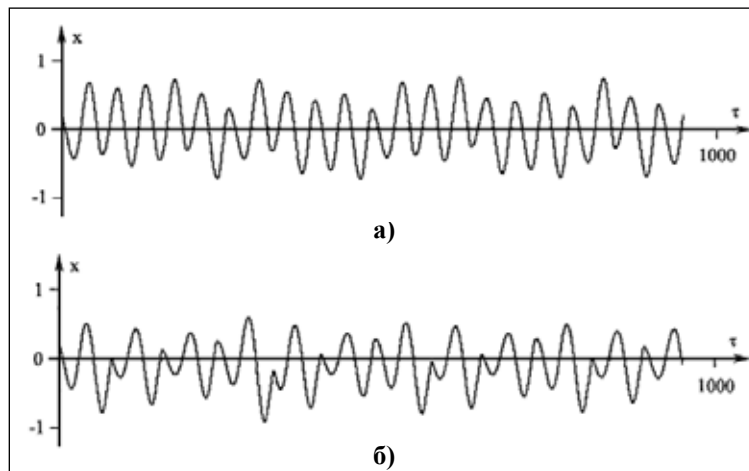


Рис. 3. Часові діаграми коливань динамічної змінної x у нормованому часі (3) при: $a = 1$, $b = 0$, $d = 1$, $A = 0,08$, $B = 2$ (а) і $a = 1$, $b = 0$, $d = 0,8$, $A = 0,08$, $B = 2$ (б)

близький до 0,02, при $d = 0,8$, $a = 1$, $b = 0$, $A = 0,08$, $B = 0,2$ старший характеристичний показник Ляпунова приблизно дорівнює 0,012. Часові діаграми хаотичних коливань нормованої змінної x порівняно нормованого часу τ та фазові портрети варіанта 1 генератора за різних значень параметрів автоколивної системи наведені на рис. 3 і рис. 4 відповідно.

Варіант 2 побудови генераторів сигналів детермінованого хаосу [9], який проаналізований у цій роботі, становлять: схема електрична структурна на рис. 5, схема електрична функціональна на рис. 6, математична модель у нормованих змінних (10)–(13).

Скорочена система диференціальних рівнянь в абсолютних і нормованих динамічних змінних має вигляд, відповідно, (9) і (10) [9]

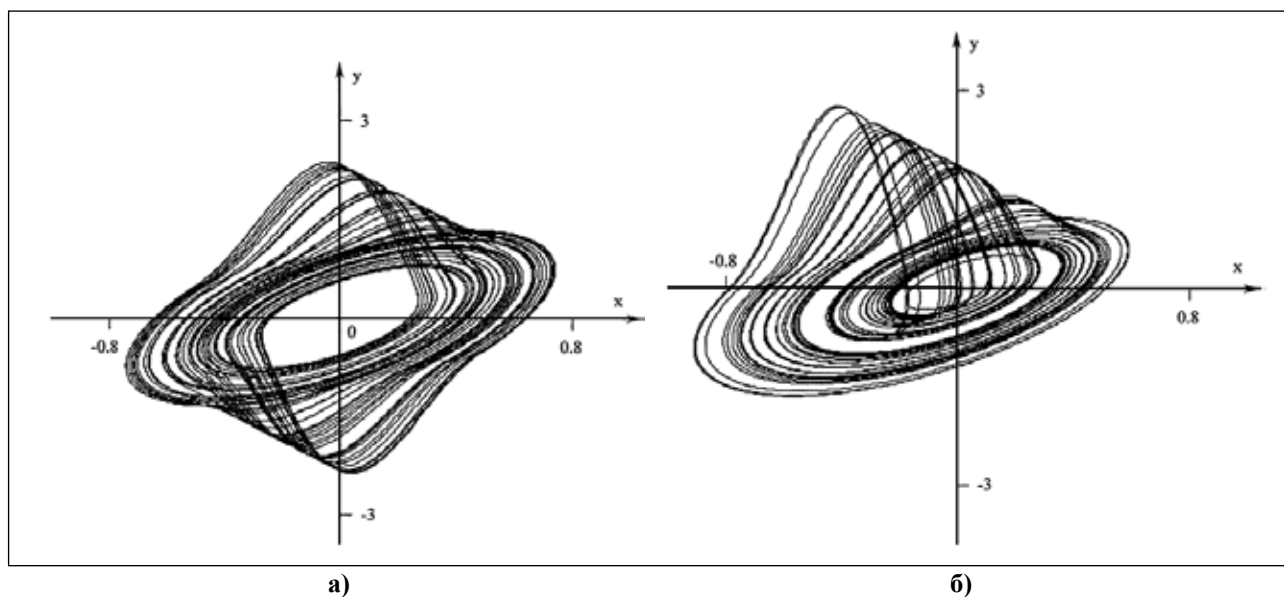


Рис. 4. Фазові портрети варіанта 1 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу на рис. 2 у площині нормованих змінних x - y при [8]: $a = 1$, $b = 0$, $d = 1$, $A = 0,08$, $B = 2$ (а) і $a = 1$, $b = 0$, $d = 0,8$, $A = 0,08$, $B = 2$ (б)

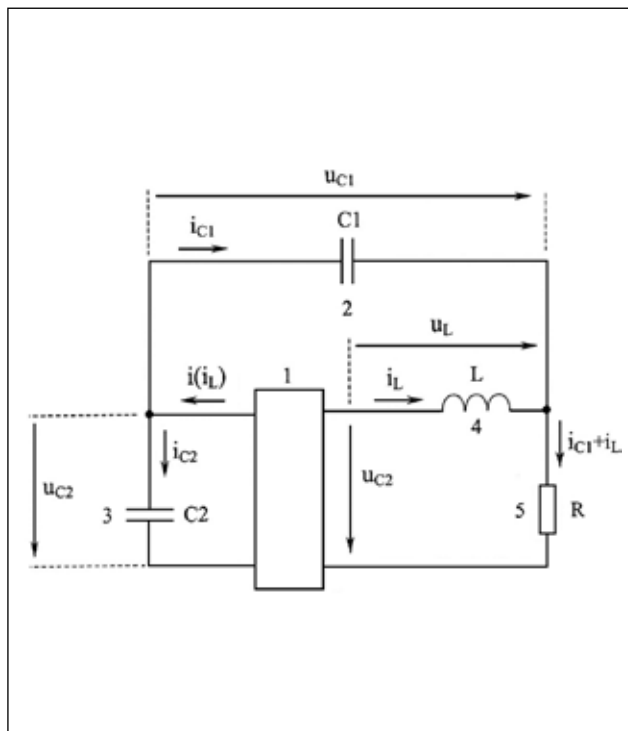


Рис. 5. Еквівалентна схема варіанта 2 генератора детермінованого хаосу [9]

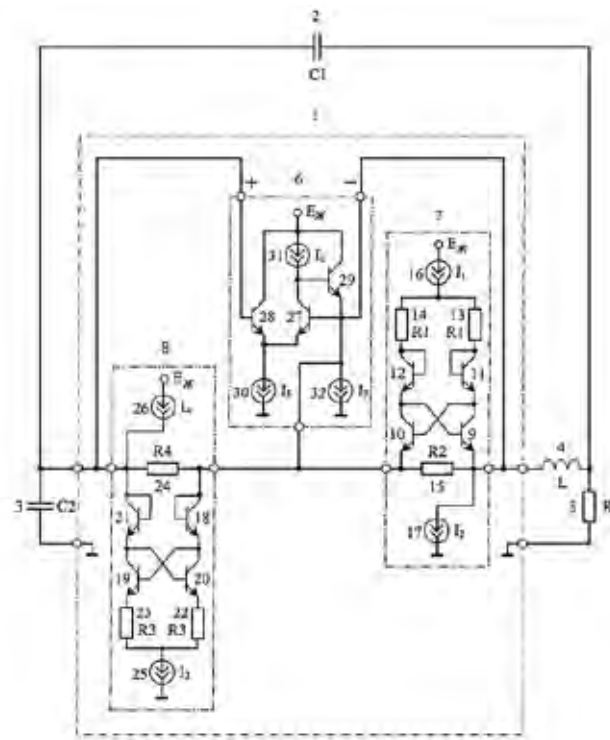


Рис. 6. Функціональна електрична схема варіанта 2 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу [9]

$$\begin{cases} \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{u_{C2} - u_{C1}}{R \cdot C1} - \frac{i_L}{C1}, \\ \frac{du_{C2}}{dt} = \frac{i(i_L) + i_L}{C2} + \frac{u_{C1} - u_{C2}}{R \cdot C2}, \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{u_{C1}}{L}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = A(y - x - z), \\ \frac{dy}{d\tau} = f(z) - y + x + z, \\ \frac{dz}{d\tau} = Bx, \end{cases} \quad (10)$$

Вирази коефіцієнтів системи, безрозмірних змінних і безрозмірного часу мають вигляд [9]

$$A = \frac{C2}{C1}, B = \frac{R^2 C2}{L}, x = \frac{u_{C1}}{R \cdot I_0}, y = \frac{u_{C2}}{R \cdot I_0}, z = \frac{i_L}{I_0},$$

$$\tau = \frac{t}{R \cdot C2}, \quad (11)$$

де безрозмірна передатна функція нелінійного елемента генератора (перетворювача імпедансу) [9]

$$f(z) = \frac{i(i_L)}{I_0} = bz + \frac{a-b}{2}(|z+1| - |z-1|), \quad (12)$$

Нелінійний перетворювач імпедансу в схемі на рис. 6 має передатну характеристику, що наведена в формулі винаходу патенту [9], параметри якої рівні [9]

$$a = \left(\frac{1}{R3} - \frac{2}{R4} \right) / \left(\frac{1}{R1} - \frac{2}{R2} \right), b = R2 \left(\frac{1}{R4} - \frac{2}{2R3} \right),$$

$$I_0 = \frac{I_1}{2} \left(1 - \frac{2R1}{R2} \right), \quad (13)$$

де R1 – значення опору першого 13 і другого 14 резисторів, R2 – опір третього 15 резистора, R3 – значення опору четвертого 22 і п'ятого 23 резисторів, R4 – опір шостого 24 резистора, I₁ – значення вихідного струму першого 16 генератора струму. При цьому значення вихідних струмів I₂, I₃, I₄, I₅, I₆, I₇, відповідно, другого 17, третього 25, четвертого 26, п'ятого 30, шостого 31 і сьомого 32 генераторів струму мають задовольняти співвідношенням [9]

$$I_2 = \frac{I_1}{2}, I_3 > I_1, I_4 = \frac{I_3}{2}, I_5 \approx 2I_6, I_7 \approx I_6.$$

В автоколивної системі (10)–(13) існують нерегулярні автоколивання, які характеризуються додатними значеннями старшого характеристичного показника Ляпунова. Наприклад, при a = 4, b = -4, A = 0,5, B ≈ 7–12 цей показник дорівнює 0,2–0,5; зокрема, при a = 4, b = -4, A = 0,5, B = 10 він наближається до 0,45; при a = -2, b = 10, A = 0,5, B = 9–11 старший характеристичний показник Ляпунова лежить у межах від 0,25 до 0,4 [9]. Тому при таких значеннях коефіцієнтів a, b, A, B у схемі генератора на рис. 6 спостерігаються хаотичні коливання [9].

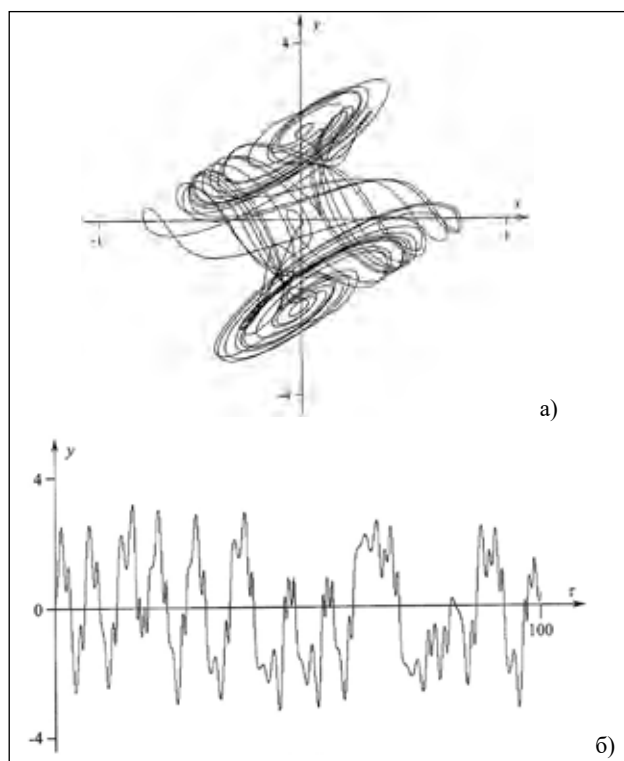


Рис. 7. Фазовий портрет (а) та хаотичні коливання (б) на виході варіанта 2 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу, схема якого подана на рис. 6 [9]

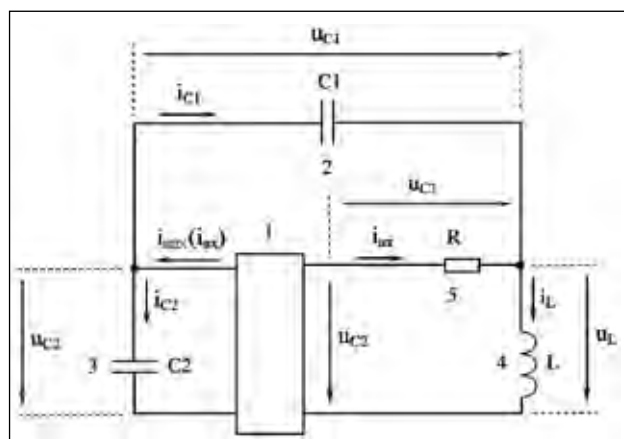


Рис. 8. Еквівалентна схема варіанта 3 генератора детермінованого хаосу [10]

Третій варіант побудови генераторів хаотичних коливань з автоколивною системою третього порядку становлять [10]: схема електрична структурна на рис. 8, схема електрична функціональна на рис. 9 та математична модель генератора у нормованих змінних (15)–(18).

Скорочена система диференціальних рівнянь має вигляд [10]

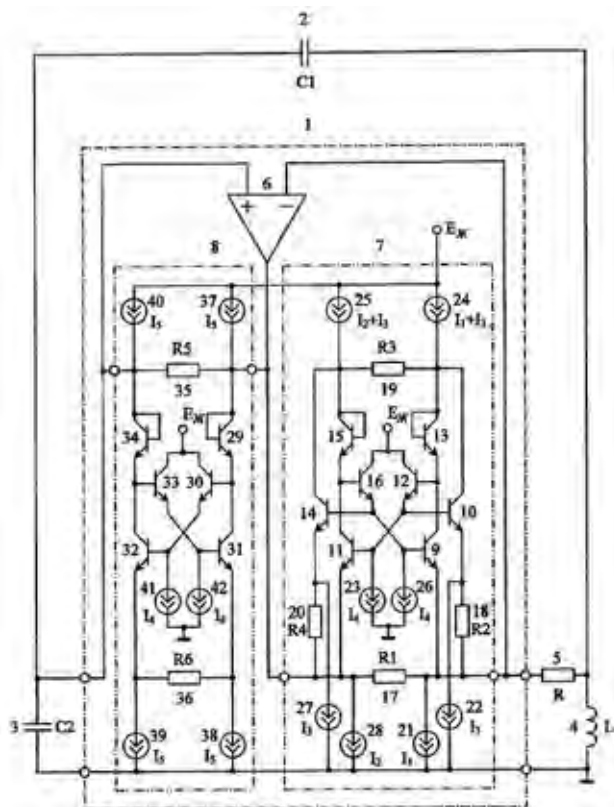


Рис. 9. Функціональна електрична схема варіанта 3 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу [10]

$$\begin{cases} \frac{du_{C1}}{dt} = \frac{i_L}{C1} - \frac{u_{C1}}{R \cdot C1}, \\ \frac{du_{C2}}{dt} = \frac{i_{ВНХ} \left(\frac{u_{C1}}{R} \right) - i_L}{C2} + \frac{u_{C1}}{R \cdot C2}, \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{u_{C2} - u_{C1}}{L}. \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = A(z - x), \\ \frac{dy}{d\tau} = f(x) + x - z, \\ \frac{dz}{d\tau} = B(y - x), \end{cases} \quad (15)$$

Увівши безрозмірні змінні [10]

$$A = \frac{C2}{C1}, \quad B = \frac{R^2 C2}{L}, \quad x = \frac{u_{C1}}{R \cdot I_0}, \quad y = \frac{u_{C2}}{R \cdot I_0}, \quad z = \frac{i_L}{I_0},$$

$$I_0 = \sqrt{I_{01} I_{02}}, \quad \tau = \frac{t}{R \cdot C_2}, \quad (16)$$

де рівняння безрозмірної передатної характеристики нелінійного перетворювача імпедансу

$$f(x) = \frac{i \left(\frac{u_{C1}}{R} \right)}{I_0} = \frac{b1 + b2}{2} x + \frac{a - b1}{2} (d - |x - d|) + \frac{a - b2}{2} \left(\left| x + \frac{1}{d} \right| - \frac{1}{d} \right), \quad (17)$$

Нелінійний перетворювач імпедансу в схемі на рис. 1.36 має наведену в формулі винаходу [10] передатну характеристику, параметри якої [10]

$$a \approx \left(\frac{1}{R5} - \frac{1}{R6} \right) / \left(\frac{1}{R1} - \frac{1}{R3} \right), \quad b1 \approx \left(\frac{1}{R5} - \frac{1}{R6} \right) / \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right), \\ b2 \approx \left(\frac{1}{R5} - \frac{1}{R6} \right) / \left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R4} \right), \quad I_{01} \approx I_1 \left(\frac{1}{R3} - \frac{1}{R1} \right) / \left(\frac{1}{R3} + \frac{1}{R2} \right), \quad (18)$$

$$I_{02} \approx I_2 \left(\frac{1}{R3} - \frac{1}{R1} \right) / \left(\frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} \right), \quad d = \sqrt{\frac{I_{01}}{I_{02}}},$$

Нехай як перший і другий ємнісні елементи використовуються перший і другий конденсатори, що мають ємності $C1$ і $C2$ відповідно, як індуктивний елемент використовується котушка індуктивності з індуктивністю L , $R1 = 3$ кОм, $R5 = 600$ Ом, $C1 = 10$ нФ, $I_0 = 400$ мкА. Тоді хаотичні коливання, які відповідають випадку $a = 4$, $b1 = b2 = -10$, $d = 1$, $A = 2$, $B = 5$ спостерігаються в схемі на рис. 9 при $R2 = R3 \approx 3$ кОм, $R6 \approx 120$ Ом, $C2 \approx 20$ нФ, $L1 \approx 4$ мГн, $I_1 \approx I_2 \approx 520$ мкА, $I_3 = 5$ мА, $I_4 = I_6 = 1$ мА, $I_5 = 10$ мА. Для того, щоб коефіцієнти $b1$, $b2$, d прийняли значення $b1 = -8$, $b2 = -12$, $d = 0,7$, опори резисторів $R2$ і $R3$ необхідно змінити до $R2 \approx 2$ кОм, $R3 \approx 4,5$ кОм, а струми I_1 й I_2 до $I_1 \approx 420$ мкА, $I_2 \approx 760$ мкА [10].

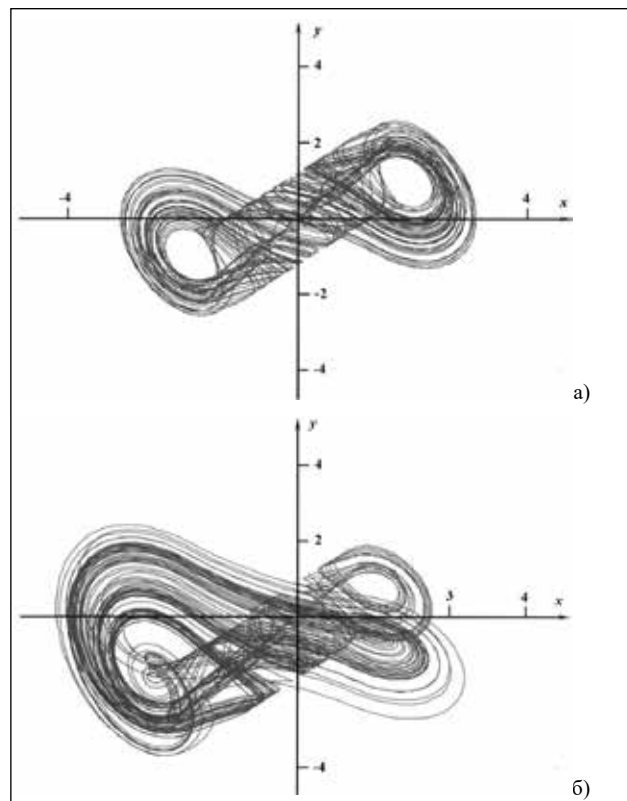


Рис. 10. Фазовий портрет генератора детермінованого хаосу на рис. 9 при [10]: $a = 4$, $b1 = b2 = -10$, $d = 1$, $A = 2$, $B = 5$ (а) і $a = 4$, $b1 = -8$, $b2 = -12$, $d = 0,7$, $A = 2$, $B = 5$ (б)

У системі (15) існують хаотичні автоколивання, що характеризуються позитивними значеннями старшого характеристичного показника Ляпунова. Напри-

клад, при $a = 4$, $b_1 = -8$, $b_2 = -12$, $d = 0,7$, $A = 2$, $B = 5-6,5$ цей показник дорівнює $0,28-0,85$, зокрема, при $B = 5$ він близький до $0,46$; при $a = 4$, $b_1 = b_2 = -10$, $d = 1$, $A = 2$, $B = 5-6,5$ цей показник дорівнює $0,28-0,45$, зокрема, при $B = 5$ він близький до $0,41$; при $a = -12$, $b_1 = 7$, $b_2 = 8$, $d = 1$, $A = 2$, $B = 7-12$ старший характеристичний показник Ляпунова лежить в межах від $0,4$ до $0,7$ [10].

Висновки. У роботі наведено результати патентного огляду сучасних способів побудови та схематичних рішень мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу. Наведено структури, функціональні схеми та математичні моделі трьох варіантів мікроелектронних генераторів детермінованого хаосу на основі біполярних транзисторних структур. Проаналізовано хаотичні режими роботи їх автоколивних систем. За результатами здійсненого аналізу виявлено, що максимальні інформаційні властивості мають хаотичні сигнали варіанта 3 мікроелектронного генератора, для якого максимальне значення старшого показника Ляпунова $0,7-0,85$.

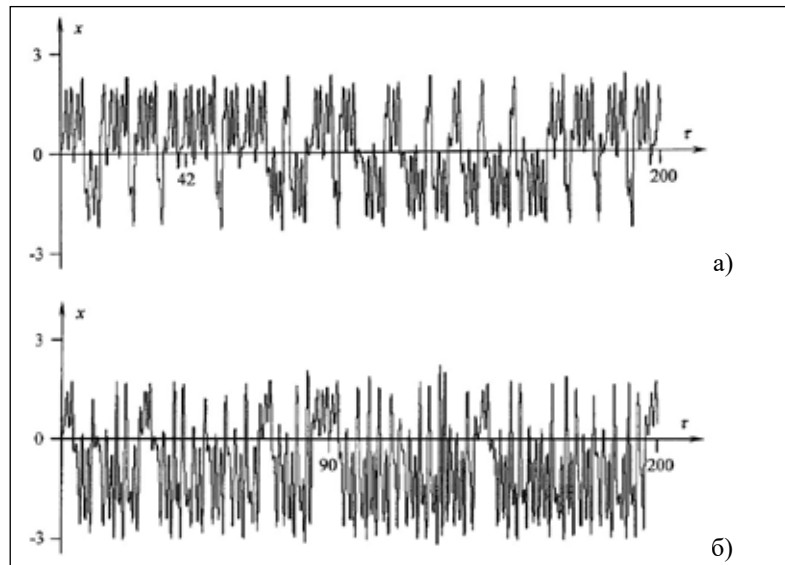


Рис. 11. Хаотичні коливання варіанта 3 мікроелектронного генератора детермінованого хаосу на рис. 9 при [10]:
а) $a = 4$, $b_1 = b_2 = -10$, $d = 1$, $A = 2$, $B = 5$; б) $a = 4$, $b_1 = -8$, $b_2 = -12$, $d = 0,7$, $A = 2$, $B = 5$

Список літератури:

1. Губанов Д., Дмитриев А., Панас А., Старков С., Стешенко В. Генераторы хаоса в интегральном исполнении. *Chipnews*. 1999. № 8. Paper 9. http://www.chipnews.ru/html.cgi/arhiv/99_08/stat_9.htm (дата звернення: 25.03.2019).
2. Иманбаева А.К., Темирбаев А.А., Сыздыкова Р.Н., Каирмагамбетова А.К. Компьютерное моделирование автогенераторов в пакете ADVANCED DESIGN SYSTEM. *Вестник Алматинского университета энергетики и связи*. 2015. <https://articlekz.com/article/13664> (дата звернення: 25.03.2019).
3. Булюк І., Матвійчук Я. Криптосистема зв'язку на схемі Чуа. *Теоретична електротехніка*. 2007. Вип. 59. С. 48–51.
4. Darstellung von Attraktoren und Fraktalen mit Cinema Teil 3. URL: <http://www.3d-meier.de/tut19/Seite0.html> (дата звернення: 27.03.2019).
5. Шахтарин Б.И., Кобылкина П.И., Сидоркина Ю.А. и др. Генераторы хаотических колебаний : учебн. пособие. Москва : Гелиос АРВ, 2014. 248 с.
6. Генерация хаоса / Дмитриев А.С., Ефремова Е.В., Максимов Н.А., Панас А.И.; под общ. ред. Дмитриева А.С. Москва : Техносфера, 2012. 424 с.
7. Кузнецов С.П. Простые электронные генераторы хаоса и их схемотехническое моделирование. *Известия вузов «Прикладная нелинейная динамика»*. 2018. Т. 26, № 3. С. 35–61.
8. Прокопенко В.Г. Генератор хаотических колебаний : патент 2479105 РФ. № 2012108016/08 ; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 10. 13 с.
9. Прокопенко В.Г. Генератор хаотических колебаний : патент 2273088 РФ. № 2004130933/09 ; заявл. 22.10.2004 ; опубл. 27.03.2006, Бюл. № 9. 10 с.
10. Прокопенко В.Г. Генератор хаотических колебаний : патент № 2416144 РФ. № 2009142658/09 ; заявл. 18.11.2009 ; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10. 14 с.

АНАЛІЗ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА НА ОСНОВЕ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР

В работе приведены результаты анализа современных устройств генерирования сигналов детерминированного хаоса на основе биполярных транзисторных структур с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Приведены структуры, функциональные схемы и математические модели трех

вариантов генераторов детерминированного хаоса на основе биполярных транзисторных структур с отрицательным дифференциальным сопротивлением, пригодные для реализации в микроэлектронном выполнении. Получены результаты анализа хаотических режимов автоколебательных систем третьего порядка микроэлектронных генераторов детерминированного хаоса и рассчитаны их параметры для обеспечения максимального значения старшего показателя Ляпунова.

Ключевые слова: детерминированный хаос, генератор, транзисторная структура, отрицательное сопротивление, математическая модель, показатель Ляпунова.

ANALYSIS OF THIRD-ORDER SELF-OSCILLATORY SYSTEMS OF MICROELECTRONIC DETERMINISTIC CHAOS OSCILLATORS BASED ON BIPOLAR TRANSISTOR STRUCTURES

The paper presents results of analyzing modern devices for generating deterministic chaos signals based on bipolar transistor structures with negative differential resistance. Structures, functional diagrams and mathematical models for three variants of the deterministic chaos oscillators based on bipolar transistor structures with negative differential resistance for microelectronic implementation have been presented. Results of analyzing chaotic modes of the third-order self-oscillatory systems of microelectronic deterministic chaos oscillators have been obtained. Their parameters have been calculated to provide maximal value of the senior Lyapunov exponent.

Key words: deterministic chaos, oscillator, transistor structure, negative resistance, mathematical model, Lyapunov exponent.