

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем  
Кафедра радіотехніки

**Топологічні та динамічні особливості сімейства керованих  
напругою генераторів Колпітца на основі операційних  
підсилювачів**

Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю  
172 – Телекомунікації та радіотехніка

Розробив студент гр. ТКР-18м Квітчук Я. В.  
керівник – к.т.н., доцент каф. РТ Гаврілов Д. В.

Вінниця ВНТУ 2020

*Актуальність теми.*

Хаотичні системи можна визначити як нелінійні динамічні системи, чутливі до початкових умов, топологічно перемішуються, а також з щільними періодичними орбітами. На чутливість до початкових умов хаотичної системи вказує позитивний показник Ляпунова. Для дисипативної хаотичної системи характерно умова, що сума показників Ляпунова хаотичної системи негативна.

Великий прорив в теорії хаосу стався, коли Лоренц відкрив тривимірну хаотичну систему, вивчаючи погодні умови. У літературі існує безліч парадигм тривимірних хаотичних систем, таких як система Ресслер, система Рабиновича, АСТ-система, Sprott-системи, система Чена, система Лю, система Шоу, система Фені, система Шиміцу, система Лю-Чень, система Цай, система Тіган, осцилятор Колпітца, система WINDMI, система Чжоу та ін.

Останнім часом було відкрито багато 3-D хаотичні системи, такі як система Лі, Ельхаджская система, Панська система, Сундарапандійская система, Ю-Ванська система, Сундарапандіанско-Пеліванская система, Жу система, Вайдянатанская система, Вайдянатано-Мадаванская система, Пехліван-Мороз-Вайдянатанская система, Джафарі система, Фам система та ін.

Вивчення теорії хаосу в останні кілька десятиліть справила великий вплив на основи науки і техніки і знайшло кілька інженерних застосувань. Тема магістерської кваліфікаційної роботи відповідає актуальному науковому напрямку досліджень у якому працює багато сучасних учених як у всьому світі, так і в Україні. Зокрема, підтвердженням цього є успішний захист кандидатських і докторських дисертацій протягом останніх років в Україні та світі.

## Мета та основні завдання роботи

Метою роботи є теоретичне та модельне дослідження топологічних і динамічних особливостей сімейства керованих напругою генераторів Колпітца на основі операційних підсилювачів.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- аналіз елементів теорії сучасних операційних підсилювачів;
- огляд математичної теорії класичного генератора детермінованого ха-осу за схемою Колпітца;
- огляд топології схемних варіантів сімейства керованих напругою генераторів Колпітца;
- математичне моделювання динамічних властивостей сімейства керованих напругою генераторів Колпітца;
- комп'ютерне схемотехнічне моделювання динамічних процесів режиму детермінованого хаосу в генераторах Колпітца на операційних підсилювачах;
- комп'ютерне схемотехнічне моделювання динамічних процесів режимі хаотичних і гіперхаотичних електричних коливань у генераторах Колпітца на операційних підсилювачах;
- отримання результатів експериментальних досліджень динамічних процесів режиму детермінованого хаосу в генераторах Колпітца на операційних підсилювачах;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

## **Об'єкт і предмет досліджень. Наукова та практична новизна**

*Об'єктом дослідження* є процеси перетворення енергіє періодичних коливань у хаотичні коливання в електричних колах генераторів Колпітца на операційних підсилювачах.

*Предметом дослідження* є часові та статистичні параметри і характеристики сигналів в електричних колах генераторів Колпітца на операційних підсилювачах у режимі детермінованого хаосу.

*Наукова новизна одержаних результатів* – отримало подальший розвиток сімейство керованих напругою генераторів Колпітца на основі операційних підсилювачів.

*Практична новизна одержаних результатів* – полягає в отриманих нових результатів теоретичних і модельних досліджень електричних схем сімейства керованих напругою генераторів Колпітца на основі операційних підсилювачів.

## **Апробації та публікації результатів роботи**

*Апробація результатів роботи.* Основні ідеї роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: 1) Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2017), 28-30 вересня 2017 року, м. Вінниця, ВНТУ; 2) XI Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2020 (ІКТ-2020)», 09 - 11 квітня 2020 р., м. Житомир; 3) XLIX науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2020), 18-29 травня 2020 року, м. Вінниця.

*Публікації.* Публікації результатів наукових досліджень. За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірниках праць міжнародних, всеукраїнських та регіональних конференцій [126-128].

# Загальні теоретичні відомості про операційні підсилювачі

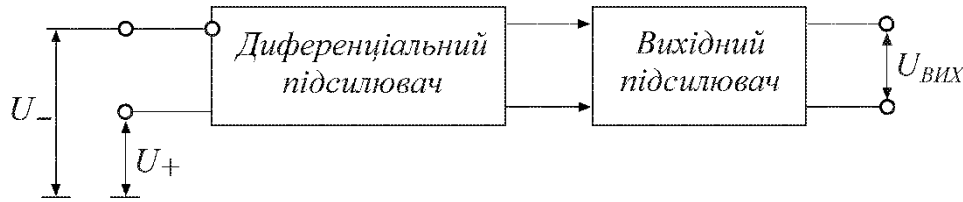


Рисунок Б.1 – Структурна схема операційного підсилювача

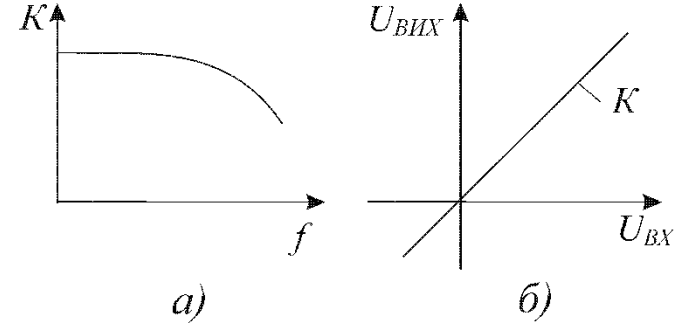


Рисунок Б.2 – Амплітудно-частотна (а) та амплітудна (б) характеристики ОП

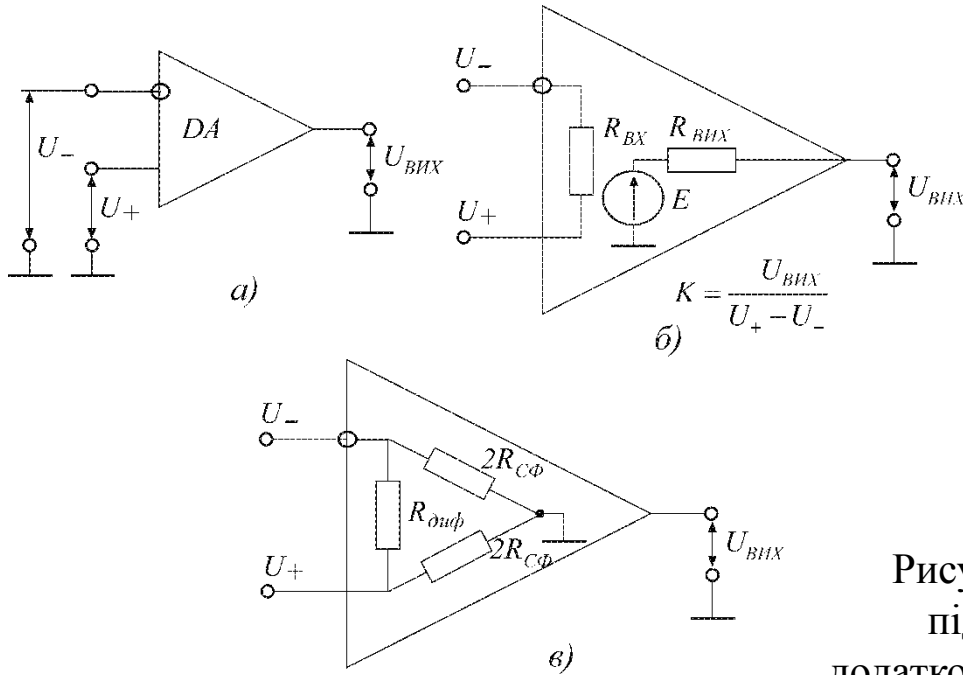


Рисунок Б.3 – Графічне зображення (а) та еквівалентні схеми (б, в) операційного підсилювача

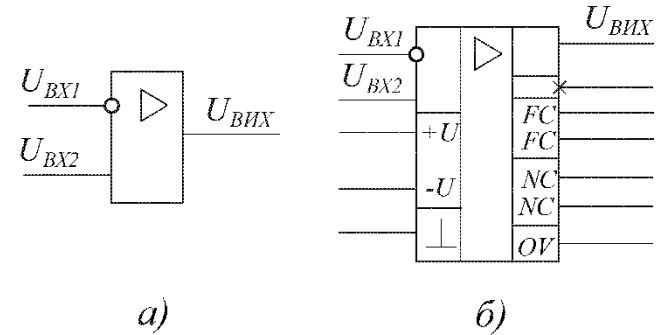


Рисунок Б.4 – Умовне позначення операційного підсилювача: а – без додаткового поля; б – з додатковими полями (NC – виводи балансування; FC – виводи частотної корекції; U – виводи напруги живлення; X – вивід, що не несе логічної інформації; OV – спільний інформаційний вивід;  $\perp$  – корпус)

## Структурна схема керованого напругою генератора Колпітца на операційному підсилювачі

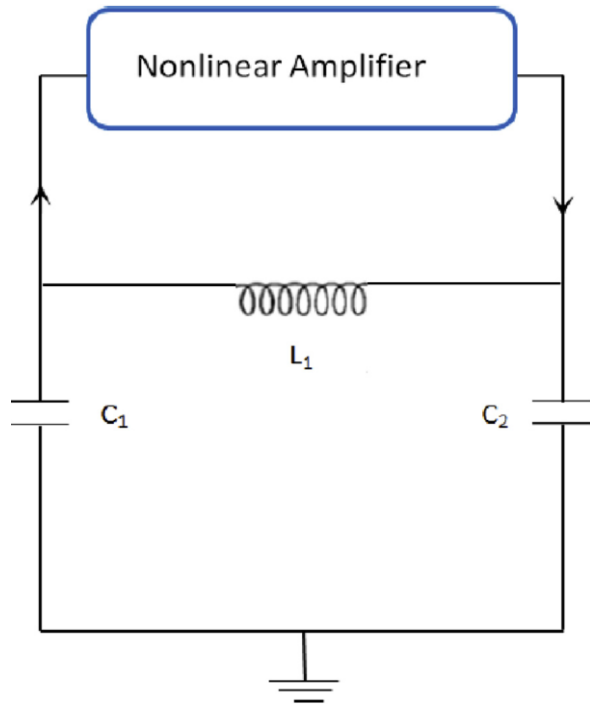


Рисунок В.1 – Спрощена структурна схема генератора Колпітца на операційному підсилювачі

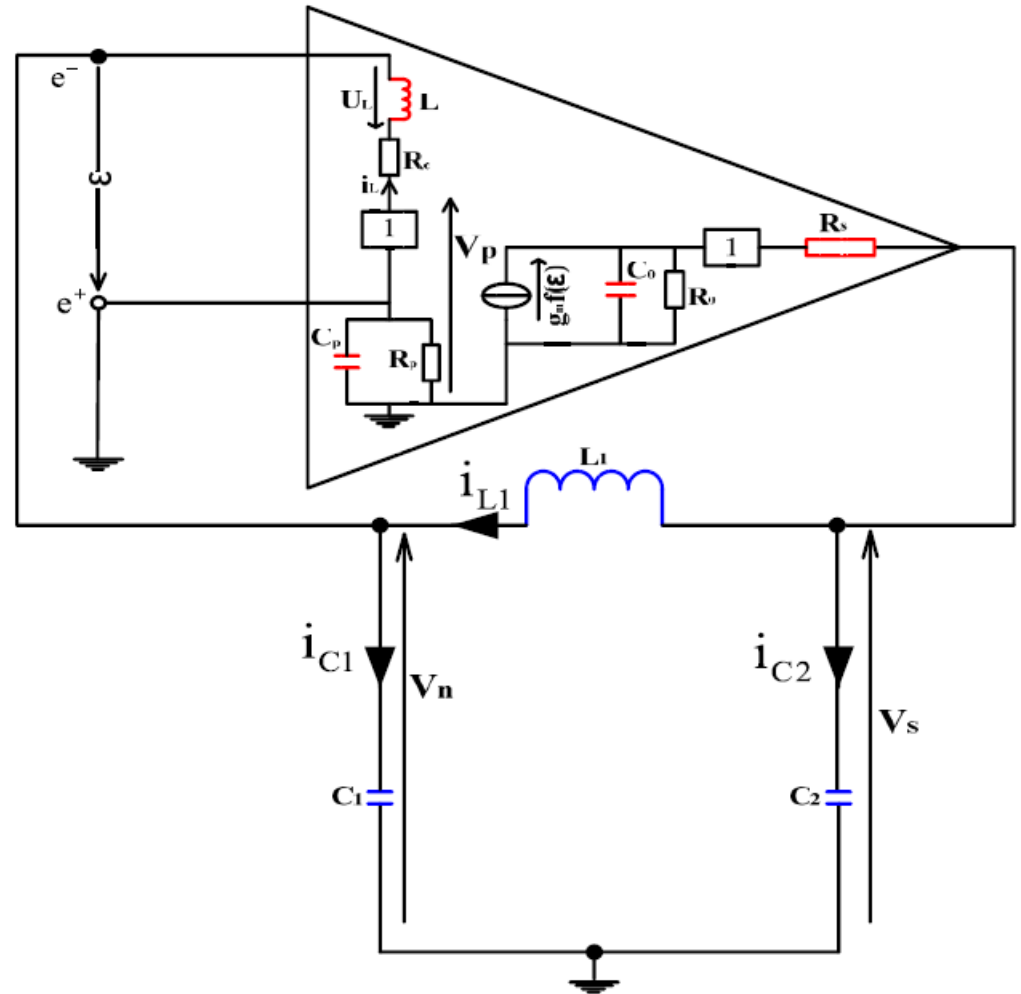


Рисунок В.2 – Загальна структурна схема керованого напругою генератора Колпітца на операційному підсилювачі

# Математична модель керованого напругою генератора Колпітца на операційному підсилювачі

На підставі законів Кірхгофа

$$\left\{ \begin{array}{l} C_0 \frac{dV_0}{dt} = g_m f(\varepsilon) - \frac{V_0}{R_0}, \\ C_2 \frac{dV_s}{dt} = \frac{V_0 - V_s}{R_s} - i_{L_1}, \\ C_1 \frac{dV_n}{dt} = i_{L_1} - i_L, \\ L \frac{di_L}{dt} = V_n - R_C i_L, \\ L_1 \frac{di_{L_1}}{dt} = V_s - V_n. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dx_1}{d\tau} = \alpha \tanh(-a_0 x_3) - \beta x_1, \\ \frac{dx_2}{d\tau} = \gamma (x_1 - x_2) - \theta x_5, \\ \frac{dx_3}{d\tau} = \eta (x_5 - x_4), \\ \frac{dx_4}{d\tau} = \xi x_3 - \bar{\eta} x_4, \\ \frac{dx_5}{d\tau} = \bar{\xi} (x_2 - x_3). \end{array} \right.$$

Нелінійність операційного підсилювача

$$f(\varepsilon) = V_s(\varepsilon) = V_{Sat} \tanh\left(\frac{a_0 \varepsilon}{V_{Sat}}\right)$$

Частота генерованих коливань

$$f_z = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{(C_1 \cdot C_2)}{(C_1 + C_2)} L_1}}$$

Рівняння коефіцієнтів системи

$$g_m = \sqrt{\frac{1}{R_0^2} + (C_0 \omega_0)^2}$$

Рівняння нормованих динамічних змінних

$$x_1 = \frac{V_0}{V_{Sat}} K_1, \quad x_2 = \frac{V_s}{V_{Sat}} K_2, \quad x_3 = \frac{V_n}{V_{Sat}} K_3, \\ x_4 = \frac{R_1 i_L}{V_{Sat}} K_4, \quad x_5 = \frac{R_2 i_L}{V_{Sat}} K_5, \quad \frac{1}{\tau} = \frac{1}{f_r}$$

$$\alpha = \frac{g_m}{C_0 f_r}, \quad \beta = \frac{1}{C_0 R_0 f_r}, \quad \gamma = \frac{R_2 \theta}{R_5}, \quad \theta = \frac{1}{C_1 R_1 f_r},$$

$$\xi = \frac{R_1}{L f_r}, \quad \bar{\eta} = \frac{R_C}{L f_r}, \quad \bar{\xi} = \frac{R_2}{L_1 f_r},$$

$$K_1 = K_2 = K_3 = K_5 = 1, \quad K_4 = 3 \times 10^4.$$



# Результати теоретичних досліджень хаотичної динаміки генератора Колпітца на операційному підсилювачі

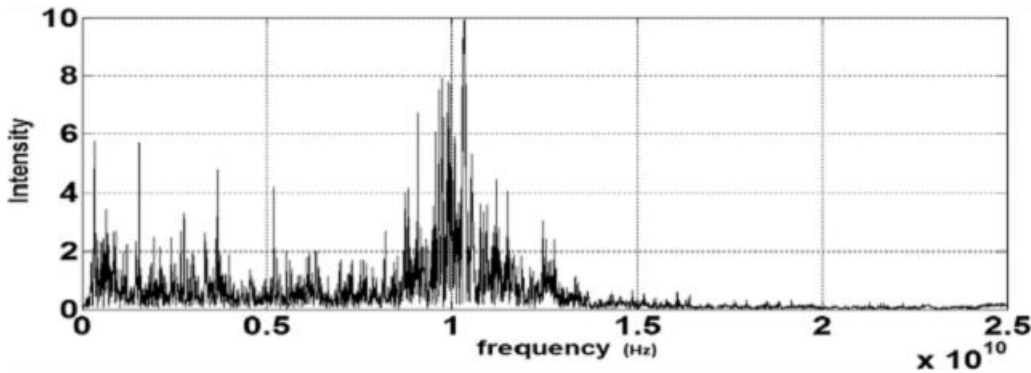


Рисунок Е.1 – Амплітудно-частотний спектр коливань генератора Колпітца на основі ОП

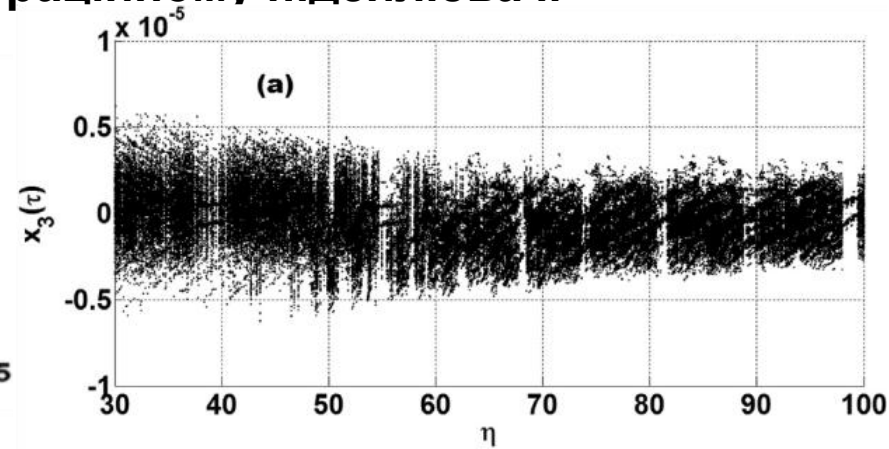


Рисунок Е.2 – Біфуркаційні діаграми генератора Колпітца на основі ОП

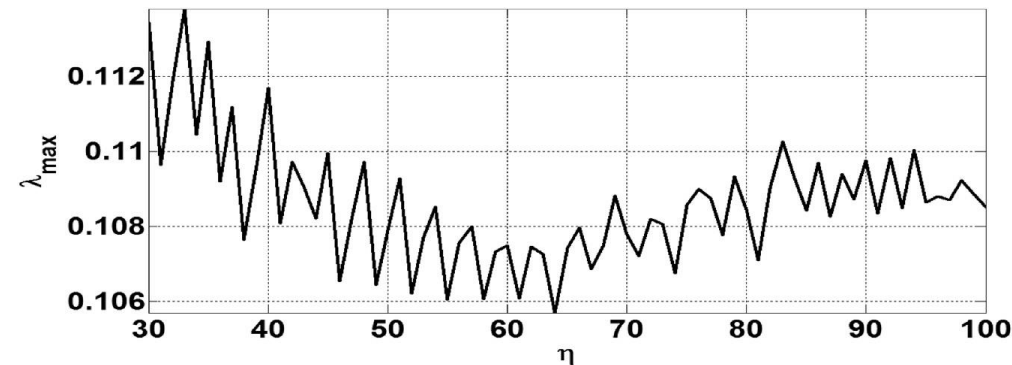


Рисунок Е.3 – Графік максимального показника Ляпунова динамічної системи Колпітца

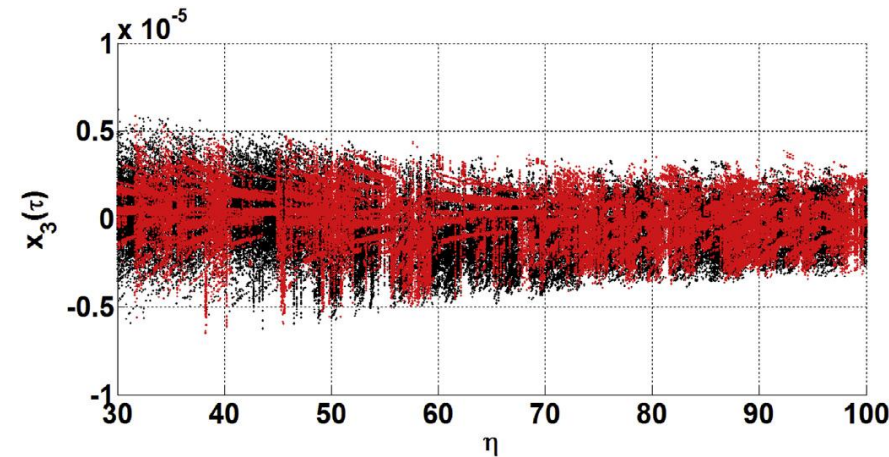
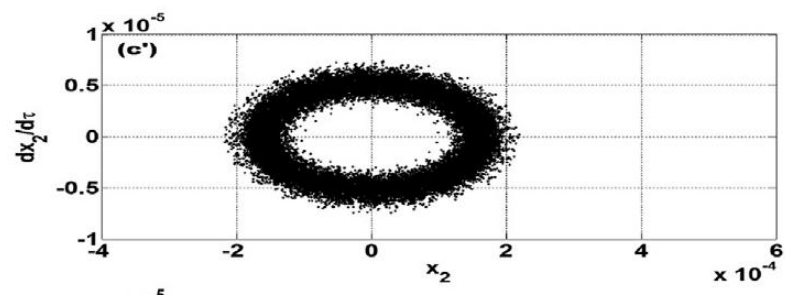
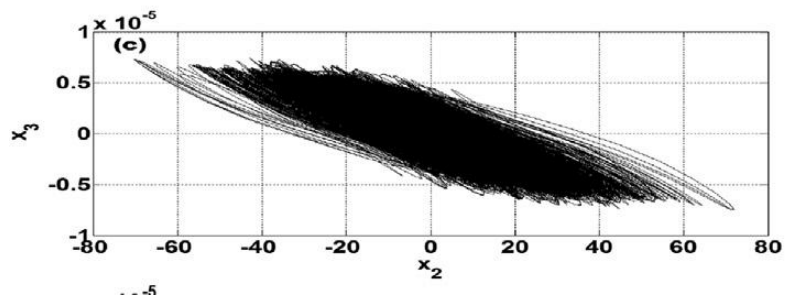
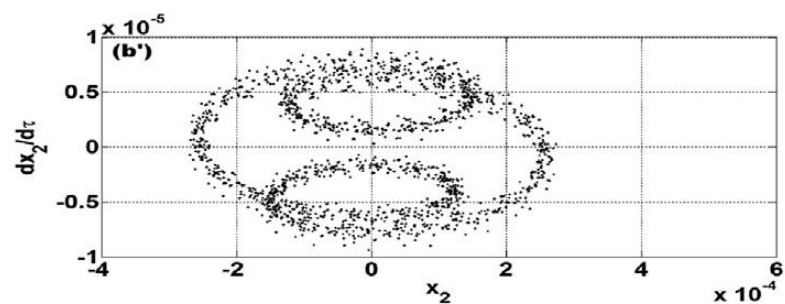
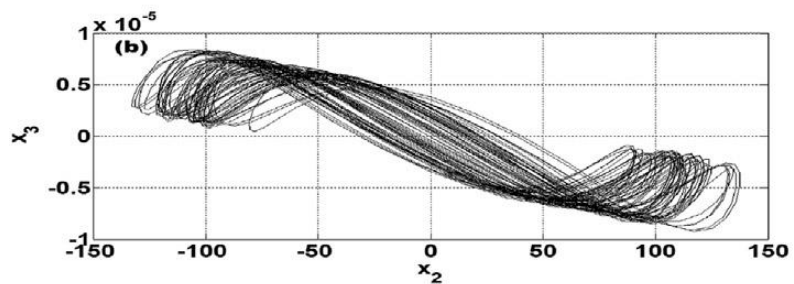
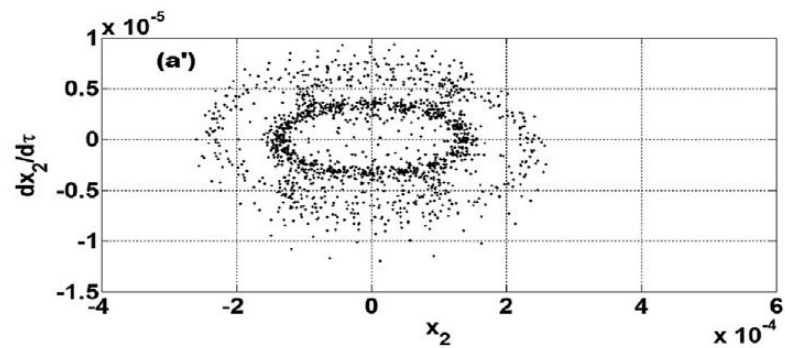
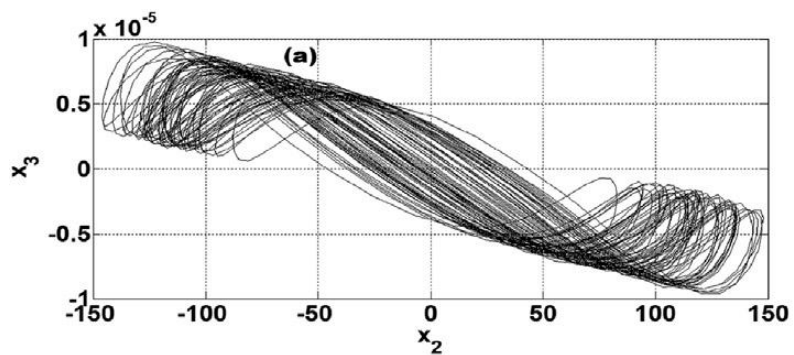
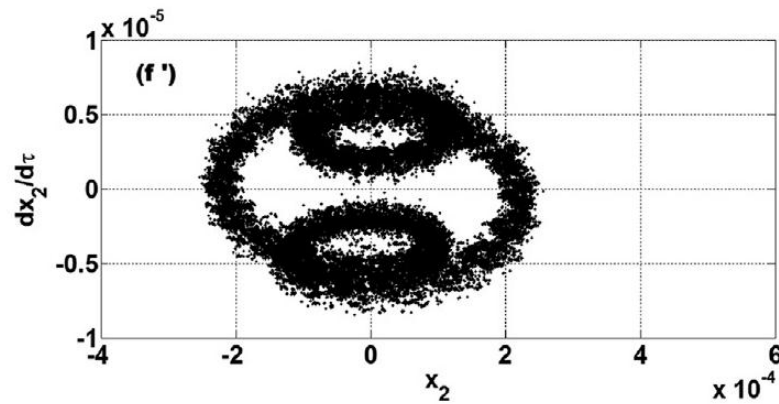
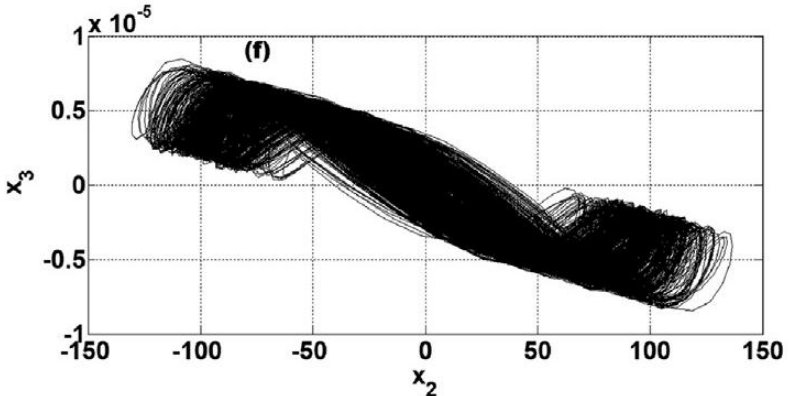
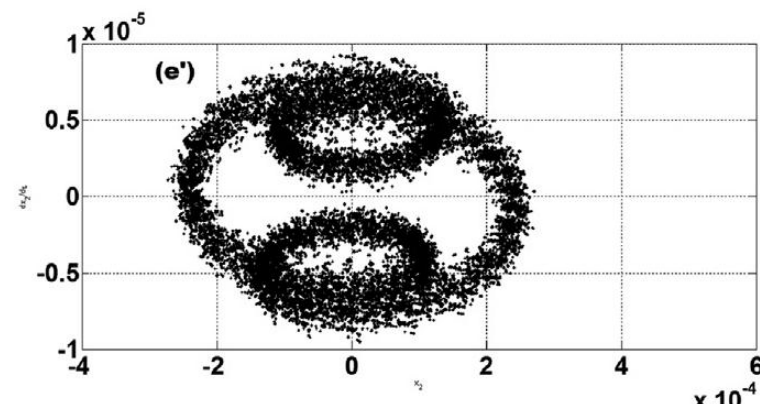
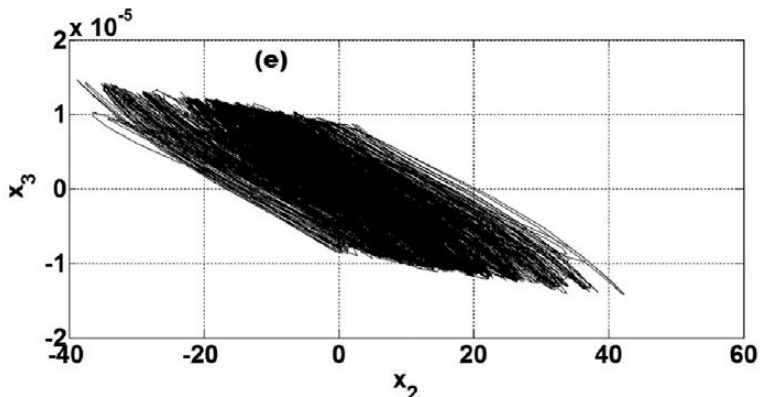
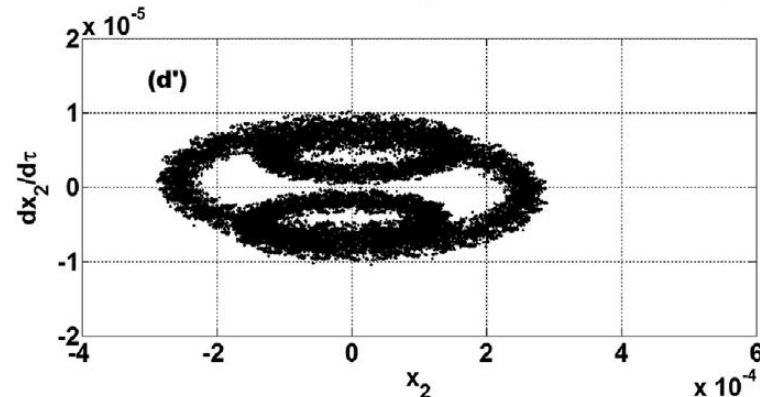
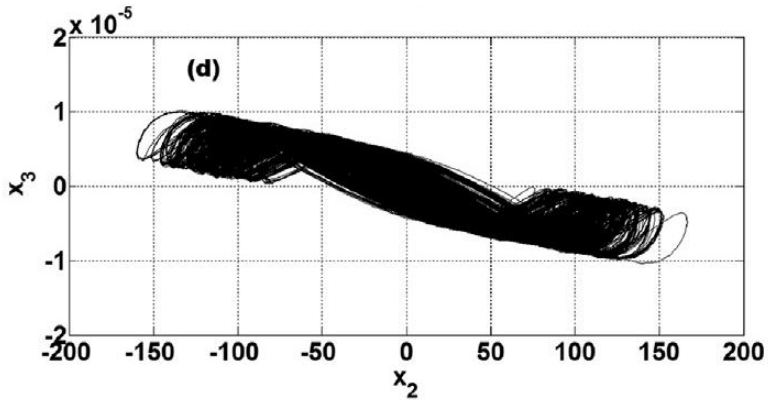


Рисунок Е.3 – Діаграми розподілу значень динамічної змінної  $x_3$

# Графіки фазових портретів і відповідні перерізи площиною Пуанкаре



# Графіки фазових портретів і відповідні перерізи площиною Пуанкаре (продовження)



# Комп'ютерна схемотехнічна модель генератора Колпітца на ОП

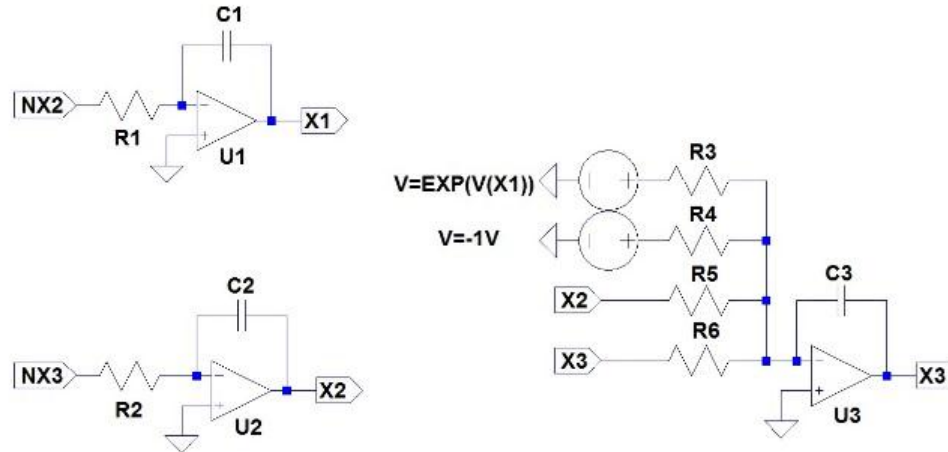


Рисунок 4.1 – LTSpice схема для головної системи

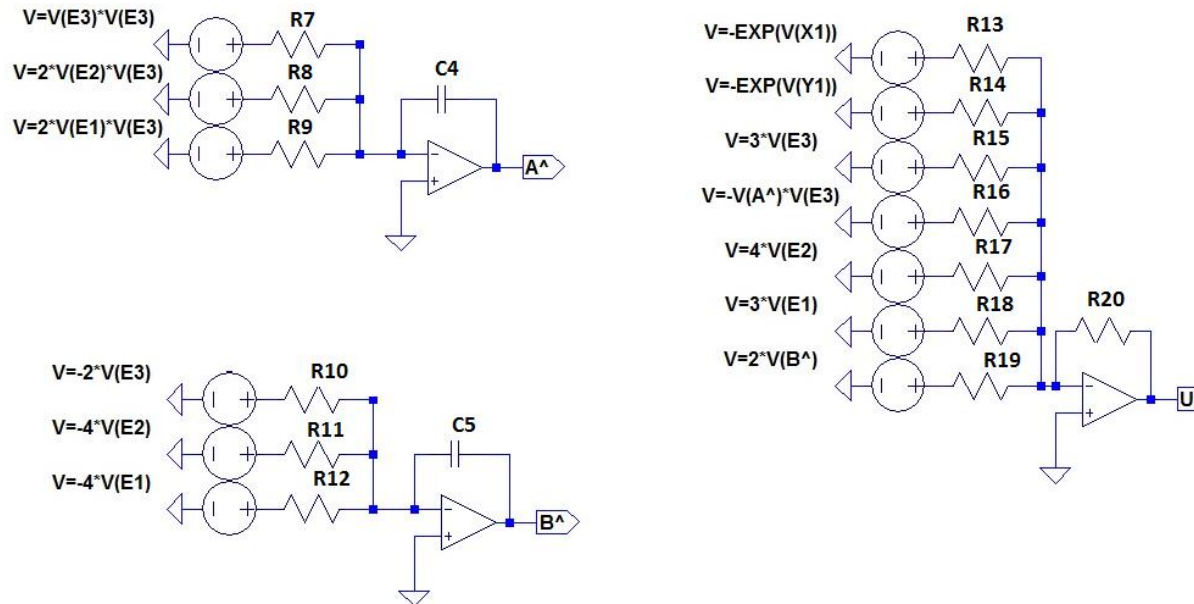
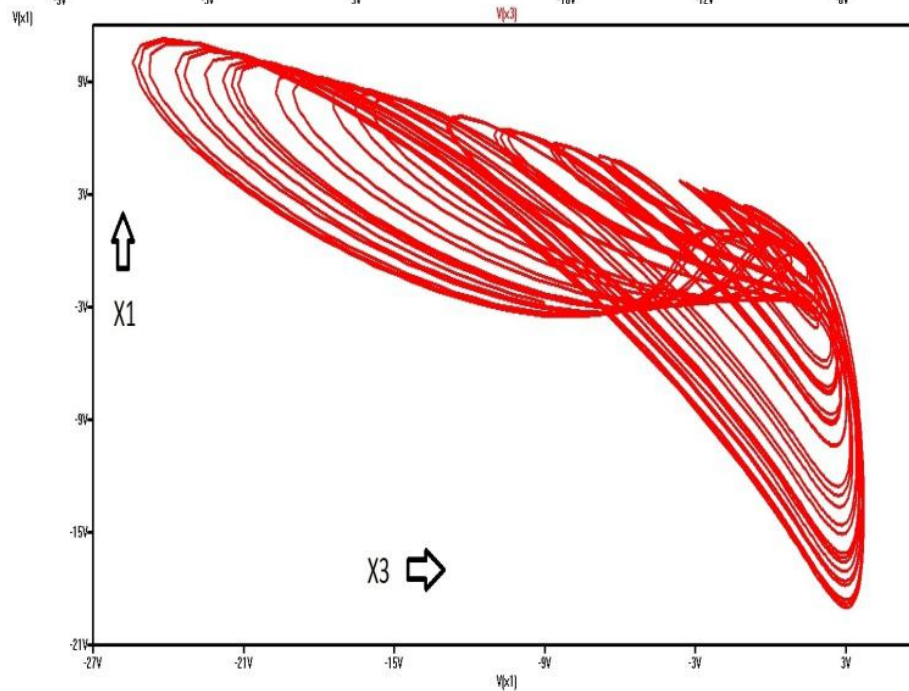
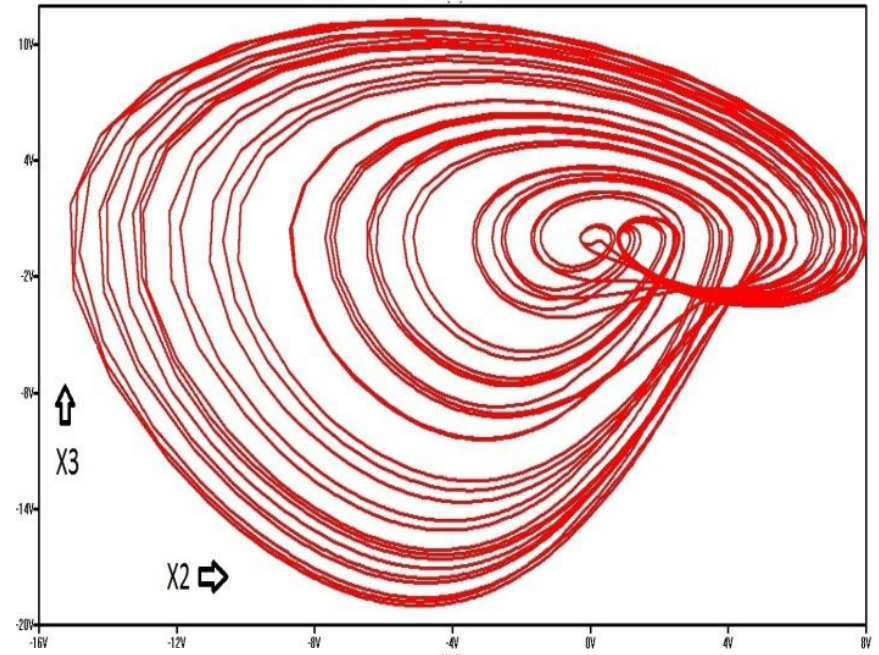
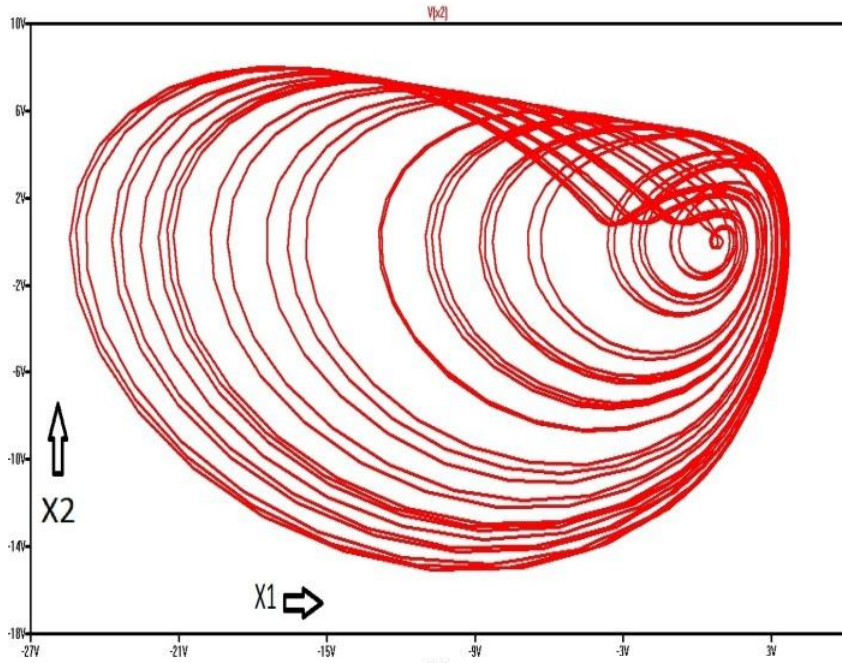


Рисунок 4.2 – Схема LTSpice для схеми управління

# Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання



Доповідь завершена.

Дякую за увагу!