

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

Автогенераторні хаотичні пристрої виявлення слабких періодичних сигналів за умови дії нестаціонарних завад

магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю
172 - «Телекомунікації та радіотехніка»,
освітня програма «Радіотехніка»

Розробив студент гр. РТ-18м Сесь Р. О.
керівник – д.т.н., проф. каф. РТ Семенов А. О.

Вінниця ВНТУ 2019

Мета та задачі роботи

Метою роботи є підвищення завадостійкості та чутливості прийому гармонійних сигналів на фоні адитивних шумів за допомогою автоколивних систем з хаотичною динамікою.

Основними завданнями роботи є:

- розробка комп'ютерної моделі хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення параметрів детектора, що забезпечують його стійкість до шуму;
- дослідження завадостійкості хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- дослідження робастності автогенераторного хаотичного пристрою виявлення слабких сигналів;
- порівняльний аналіз характеристик хаотичного і рангового пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- визначення перспективних областей застосування хаотичних пристроїв виявлення слабких сигналів за умови дії нестационарних завад;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Об'єкт і предмет досліджень, апробація та публікації

Об'єкт дослідження – процеси генерування та формування сигналів у автогенераторному пристрої виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Предмет дослідження – часові та частотні параметри і характеристики сигналів автогенераторного пристрою виявлення слабких сигналів на основі хаотичної системи Дуффінга-Холмса за умови дії нестационарних завад.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідалися та обговорювалися на XLVII регіональна науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (м. Вінниця, 9-10 березня 2018).

Публікації результатів наукових досліджень. За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірнику праць I Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2019)» (Вінниця, ВНТУ, 14-16 листопада 2019 р.).

Класичне ДР ХГ Дуффінга-Холмса має вигляд

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t) \quad (1)$$

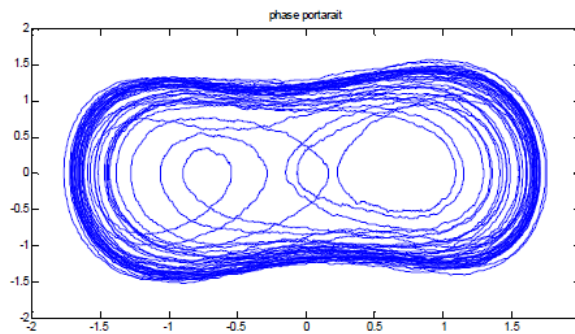
де k - коефіцієнт загасання;

γ_c - амплітуда сигналу збудження, що задає критичний режим;

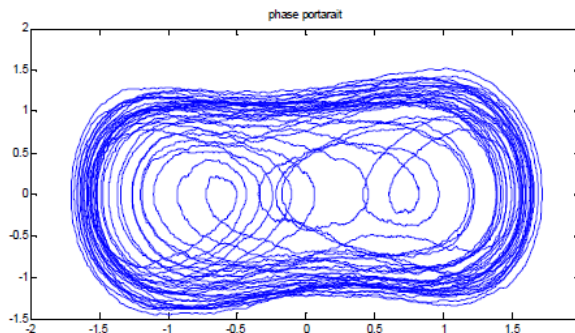
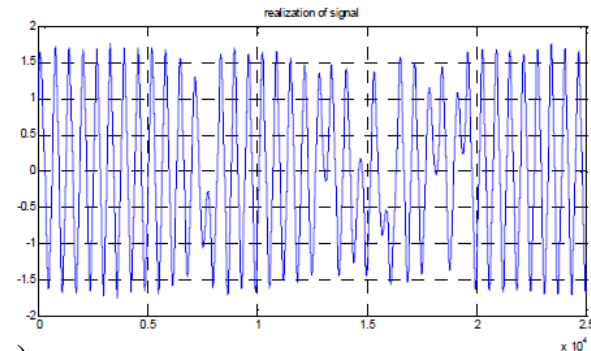
$\xi(t)$ - зовнішній сигнал (в загальному випадку суміш корисного сигналу і шуму).

Модифікація ХГ Дуффінга-Холмса за ступенем змінних ДС може мати вигляд

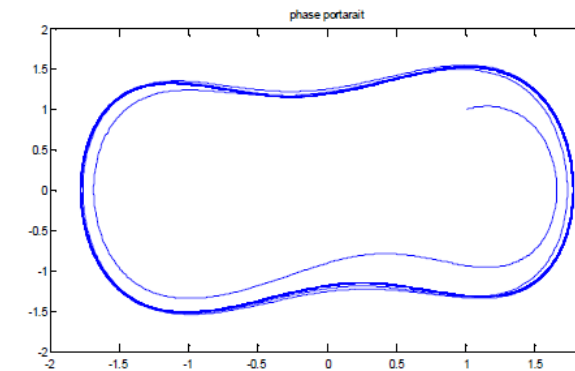
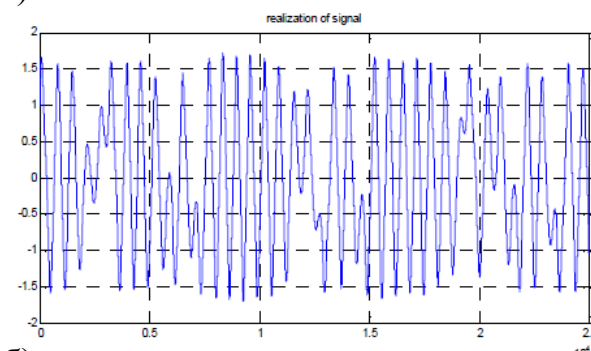
$$\frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma_c \cos(t) + \xi(t) \quad (2)$$



а)



б)



в)

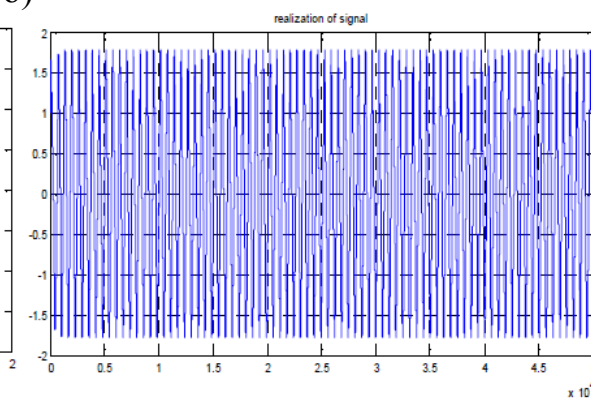
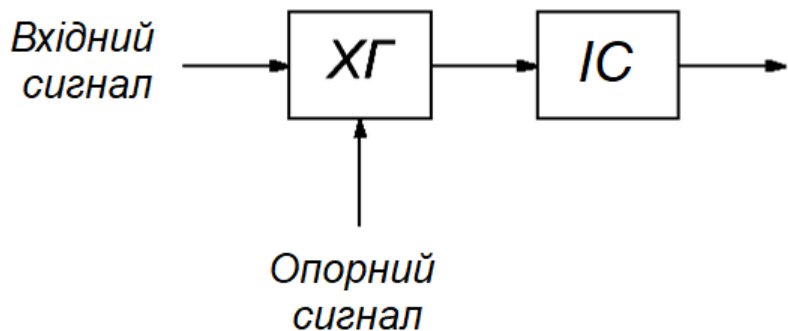


Рисунок 1 - Вихідні коливання і фазові портрети хаотичного генератора Дуффінга-Холмса в критичному режимі (а), при подачі шуму (б) і при подачі гармонійного сигналу (в)



Характер поведінки ХГ зберігається при переході від одиничної частоти сигналу збудження до довільної

$$\frac{1}{\omega^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{\omega} \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma_c \cos(\omega t) + \xi(t) \quad (3)$$

Рисунок 2 - Структурна схема хаотичного виявника сигналів: ХГ – хаотичний генератор, ІС – індикатор стану

де $\xi(t) = a \cdot \cos \omega t + n(t)$ (4)

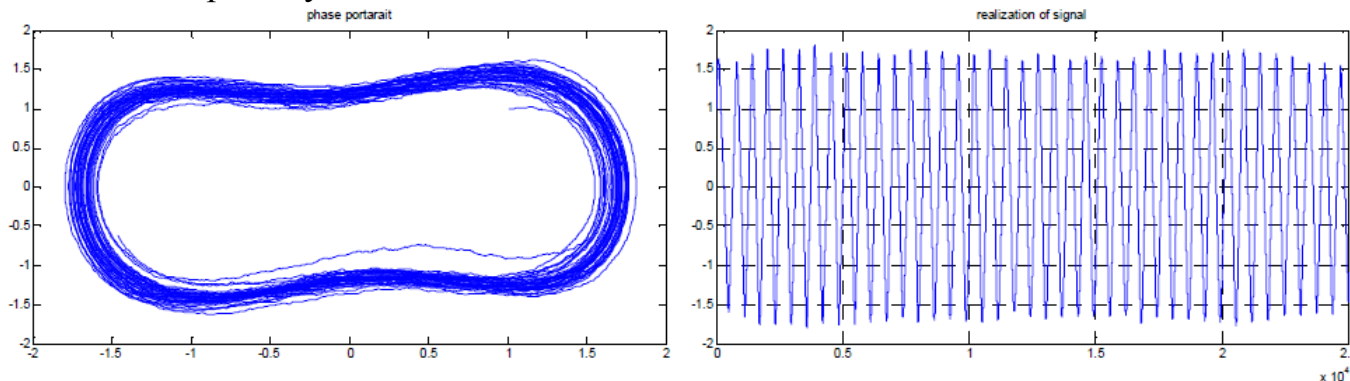


Рисунок 3 - Вихідні коливання і ФП ХГ Дуффінга-Холмса при подачі на вхід адитивної суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ

При наявності частотних і фазових відмінностей $\Delta \omega$ і φ амплітуда сумарного сигналу збудження стає функцією часу

$$A(t) = \gamma(t) \cdot \cos(\omega t + \theta(t)) \quad (5)$$

$$\gamma(t) = \sqrt{\gamma_c^2 + 2\gamma_c \cdot \cos(\Delta \omega t + \varphi) + a^2} \quad (6) \quad \theta(t) = \text{arctg} \frac{a \cdot \sin(\Delta \omega t + \varphi)}{\gamma_c + a \cdot \cos(\Delta \omega t + \varphi)} \quad (7)$$

Функція Мельникова, яка дозволяє безпосередньо обчислювати критичну амплітуду

$$\gamma_c \approx \frac{4 \cosh(\pi\omega/2)}{3\sqrt{2}\pi\omega} \quad (8)$$

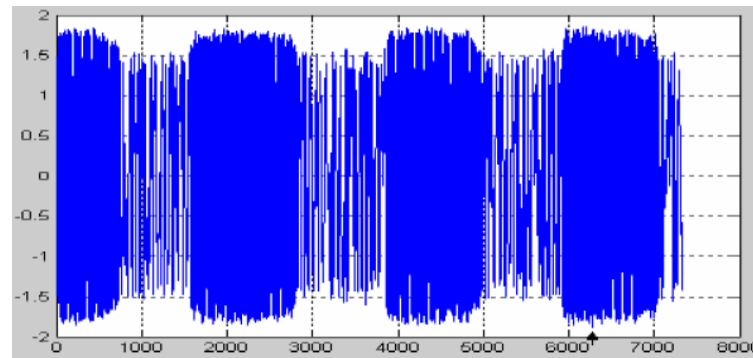
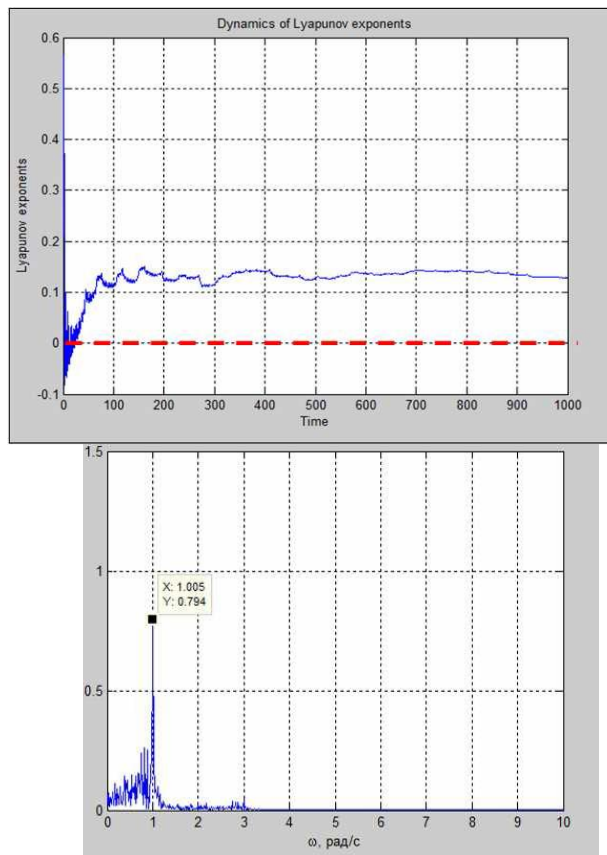
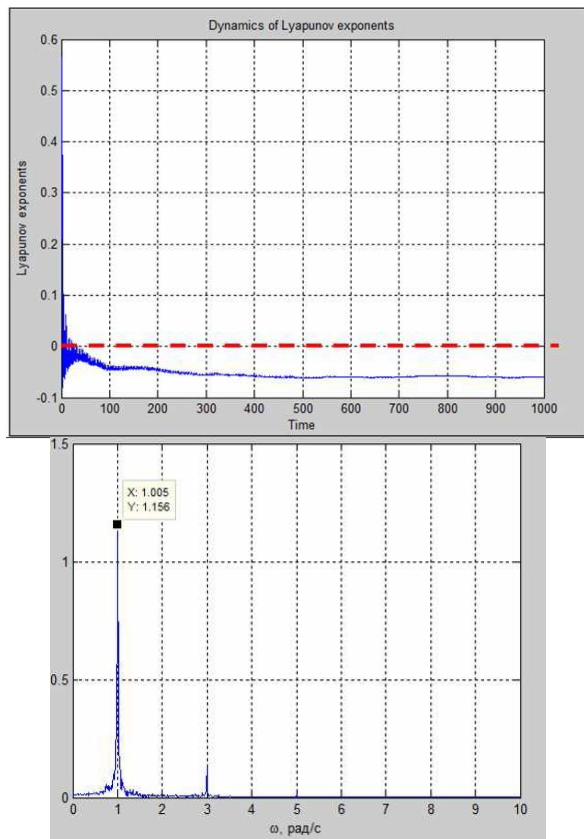


Рисунок 4 – Хаос, що перемежовується, на виході ХГ при наявності $\Delta\omega$



а)



б)

Рисунок 6 - Показник Ляпунова і пектр вихідного сигналу при впливі шуму (а) і при впливі суміші сигналу і шуму з С/Ш мінус 25 дБ (б)

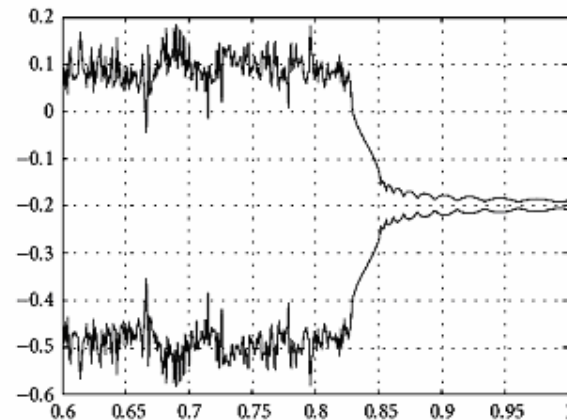


Рисунок 5 - Залежність показників Ляпунова від амплітуди сигналу збудження ХГ

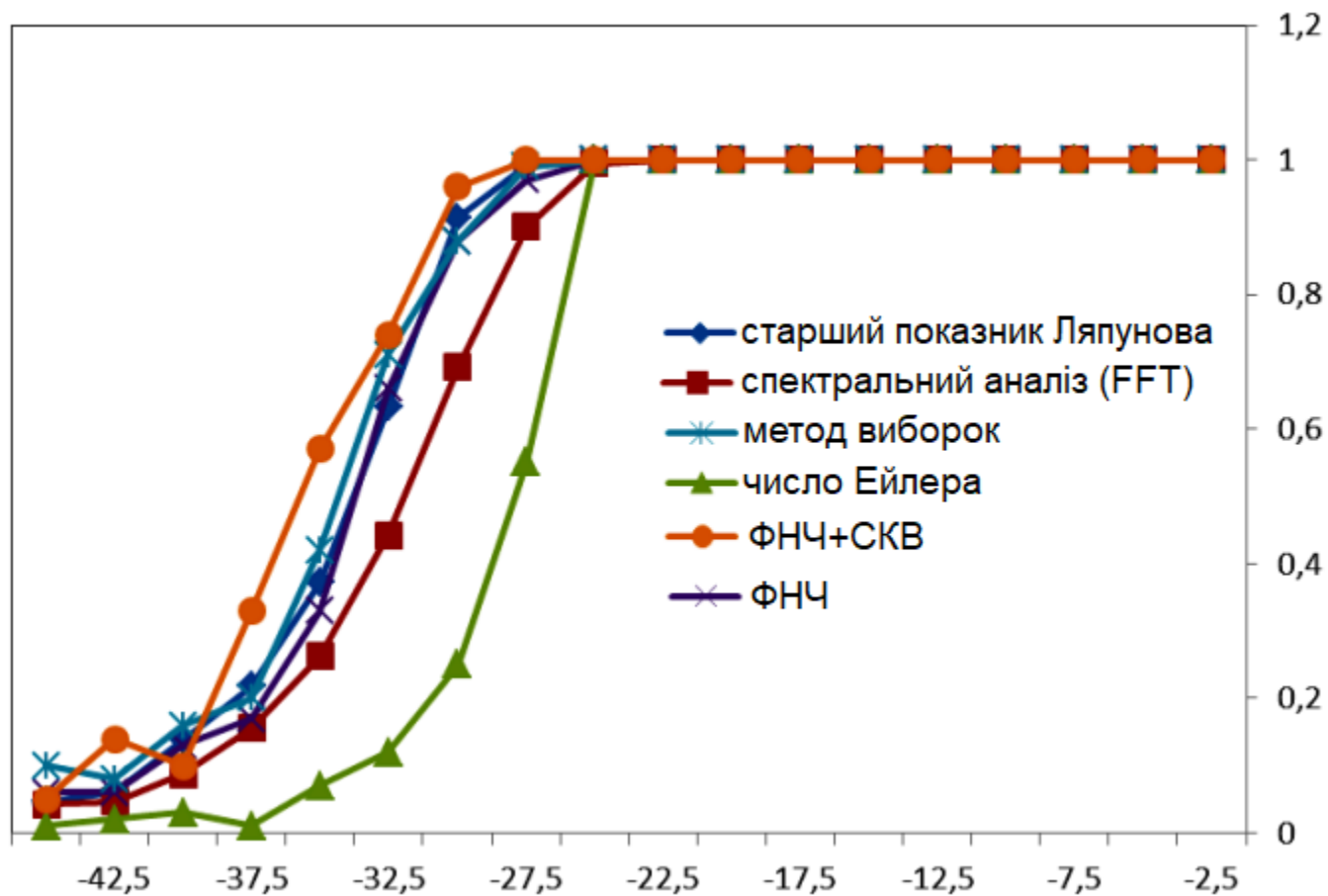


Рисунок 7 - Характеристики виявлення ХО при різних алгоритмах ІС

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x + x^3 = \gamma \cdot \sin(t) \quad (9)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x^3 + x^5 = \gamma \cdot \sin(t) \quad (10)$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 0,5 \frac{dx}{dt} - x^5 + x^7 = \gamma \cdot \sin(t) \quad (11)$$

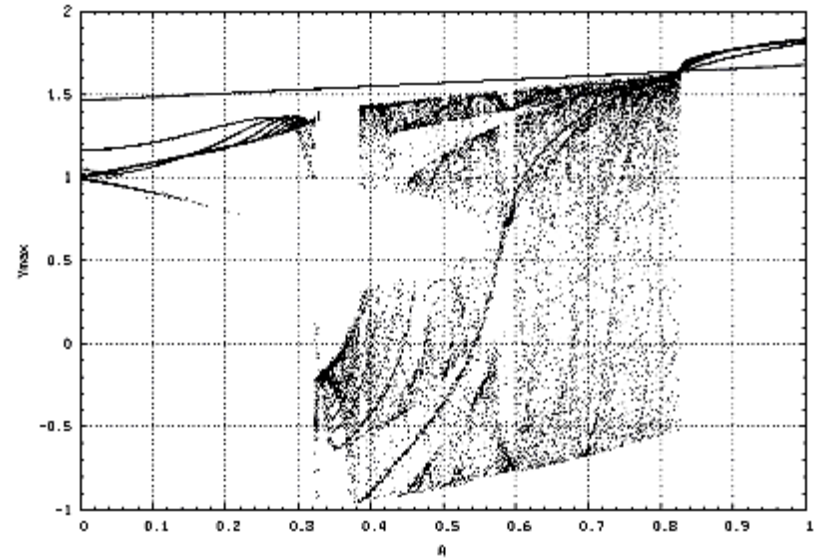


Рисунок 7 – Вигляд біфуркаційної діаграми варіанту (9)

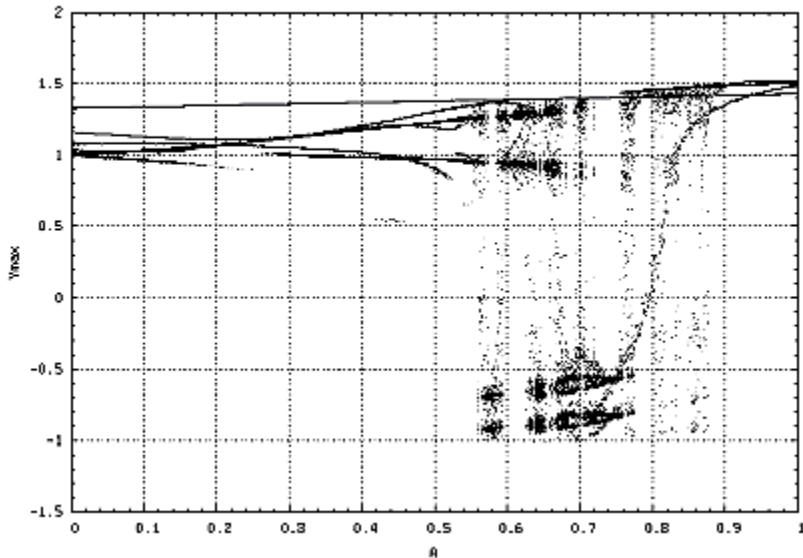


Рисунок 8 – Вигляд біфуркаційної діаграми варіанту (10)

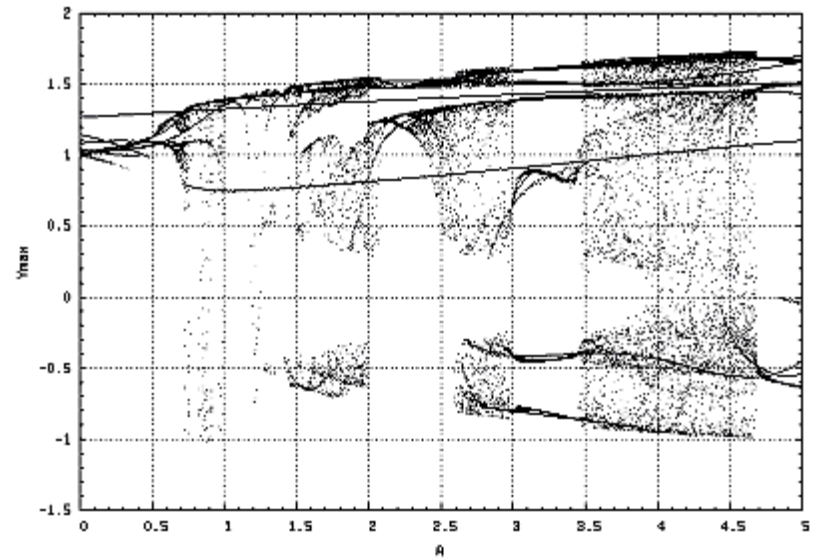


Рисунок 9 – Вигляд біфуркаційної діаграми варіанту (11)

Часові діаграми та фазові портрети хаотичної системи Дуффінга-Холмса

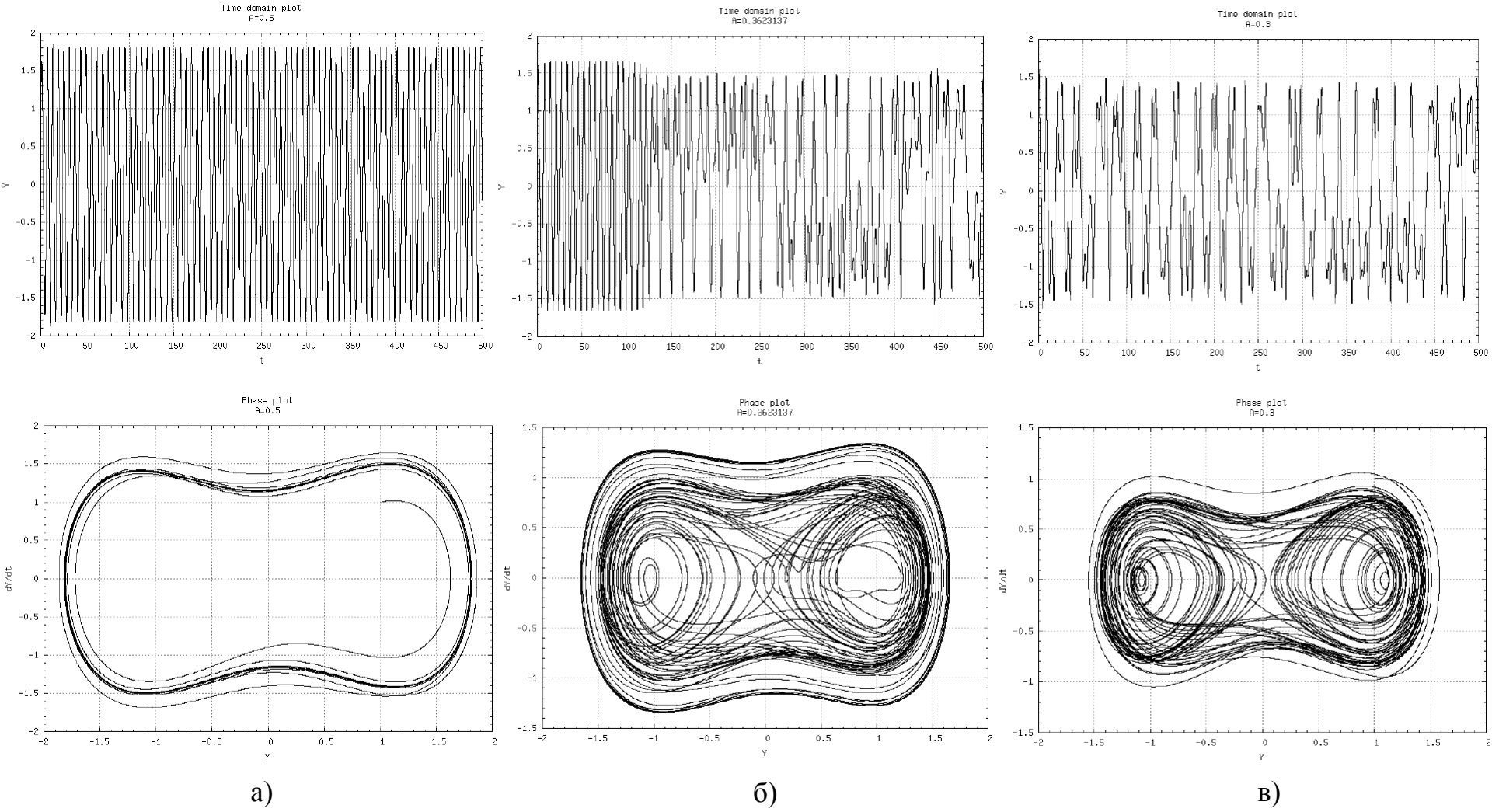


Рисунок 12 – Вигляд часових діаграм і фазових портретів хаотичного генератора Дуффінга-Холмса на основі хаотичної системи (9) в режимах: а) періодичному; б) критичному; в) хаотичному

Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса

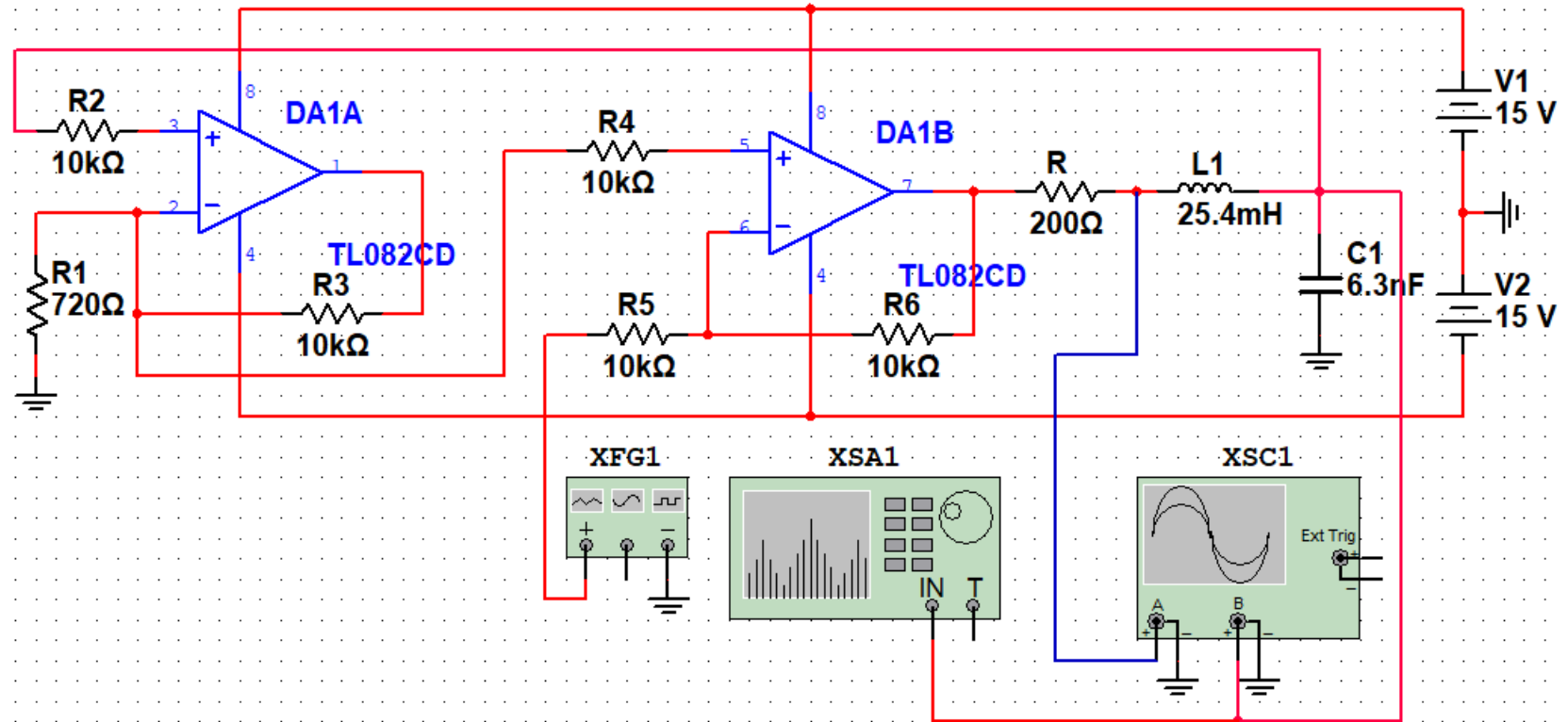


Рисунок 13 – Електрична схема радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса в програмі NI Multisim 10.0

Результати теоретичних досліджень радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса

Математична модель

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = F_2(x_1) - bx_2 + a \sin \omega t, \end{cases} \quad (12)$$

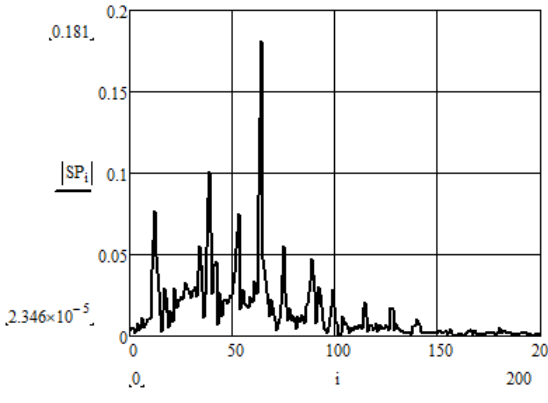
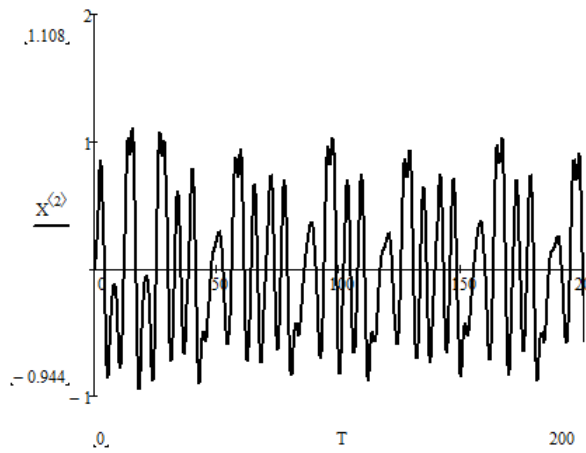
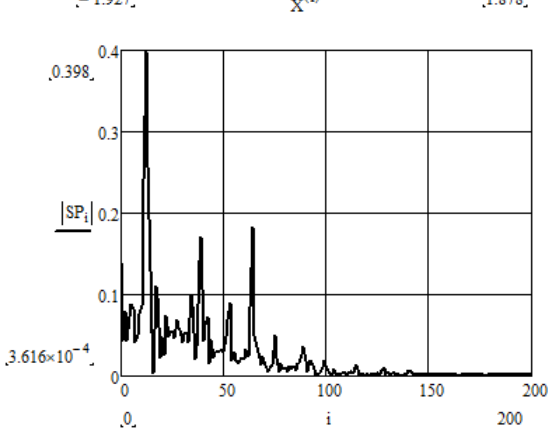
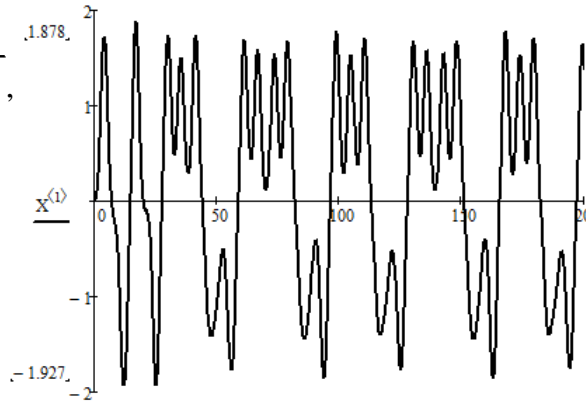
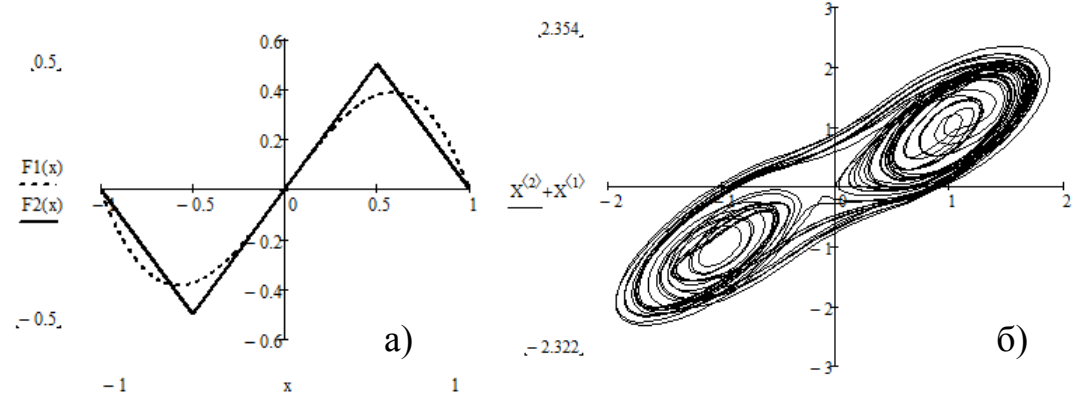
Рівняння нормованих змінних і коефіцієнтів

$$x_1 = \frac{U_c}{2U^*}, \quad x_2 = \frac{\rho I_L}{2U^*}, \quad \tau = \frac{t}{\sqrt{LC}}, \quad \omega = \omega_0 \sqrt{LC},$$

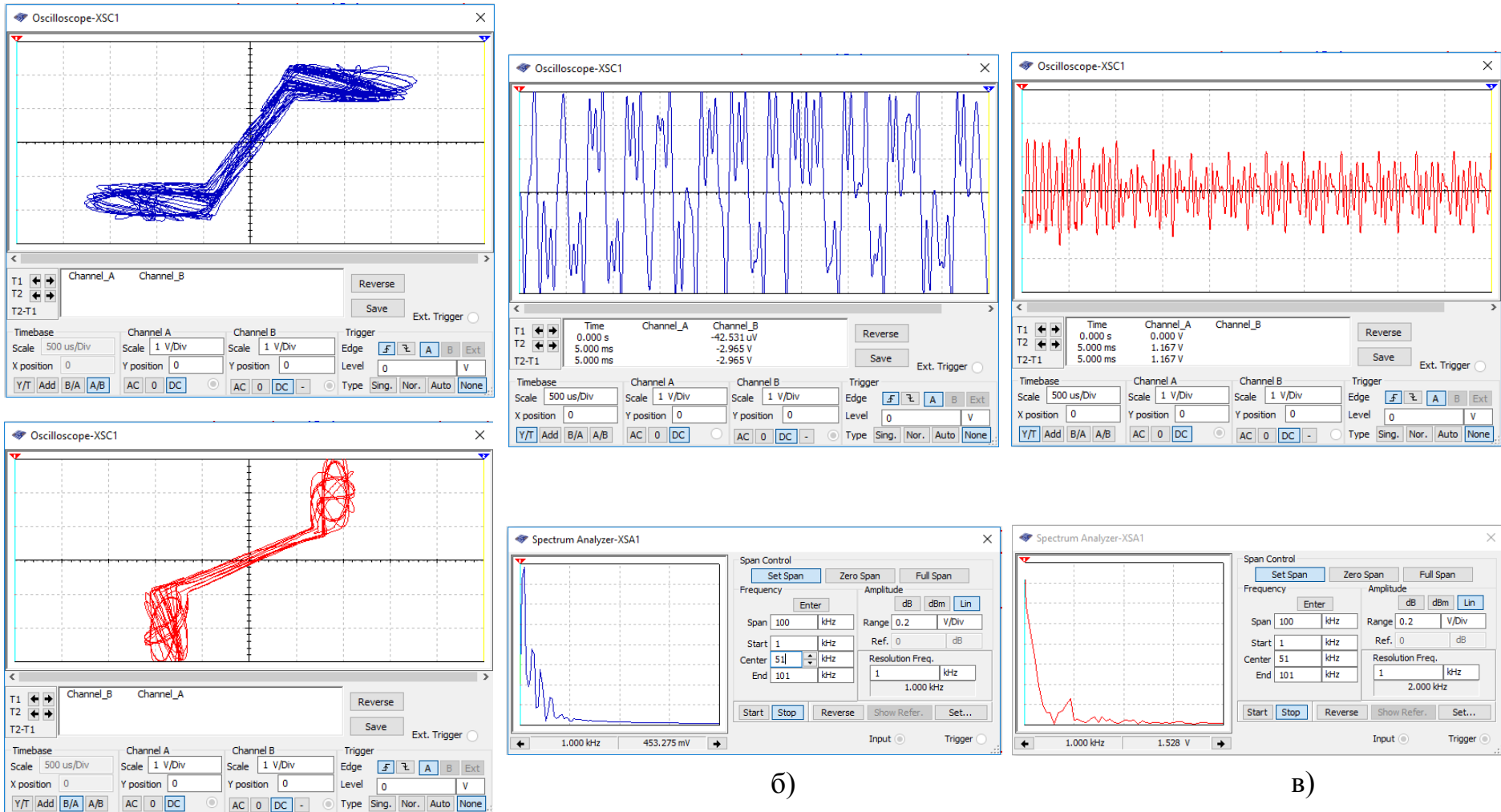
$$a = \frac{A}{2V^*}, \quad b = \frac{R}{\rho}, \quad \rho = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

нормована функція апроксимації

$$F_2(x_1) = \begin{cases} -(x_1 + 1), & x_1 < -0.5, \\ x_1, & -0.5 \leq x_1 \leq 0.5, \\ -(x_1 - 1), & x_1 > 0.5. \end{cases} \quad (13)$$



Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання радіоелектронного пристрою на основі ОП для реалізації динамічної системи Дуффінга-Холмса

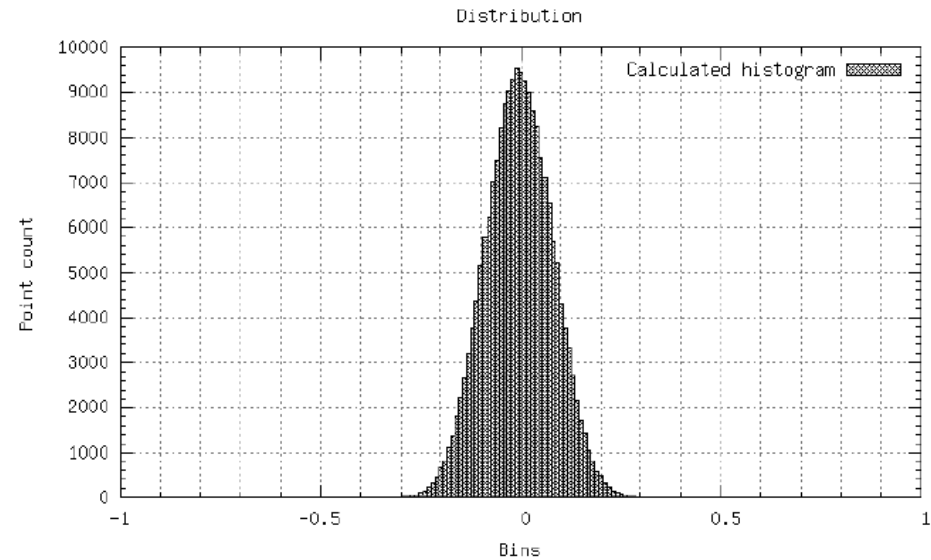
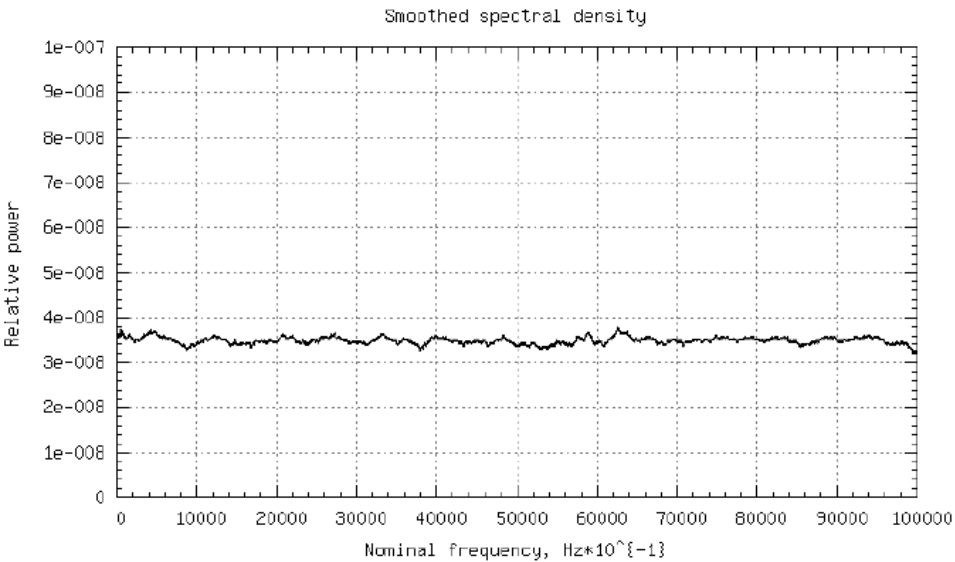
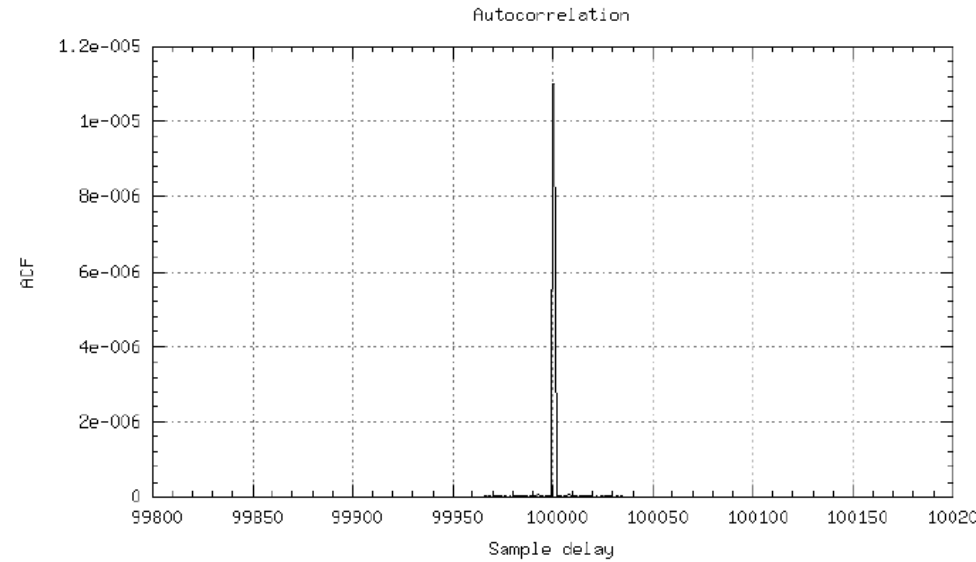
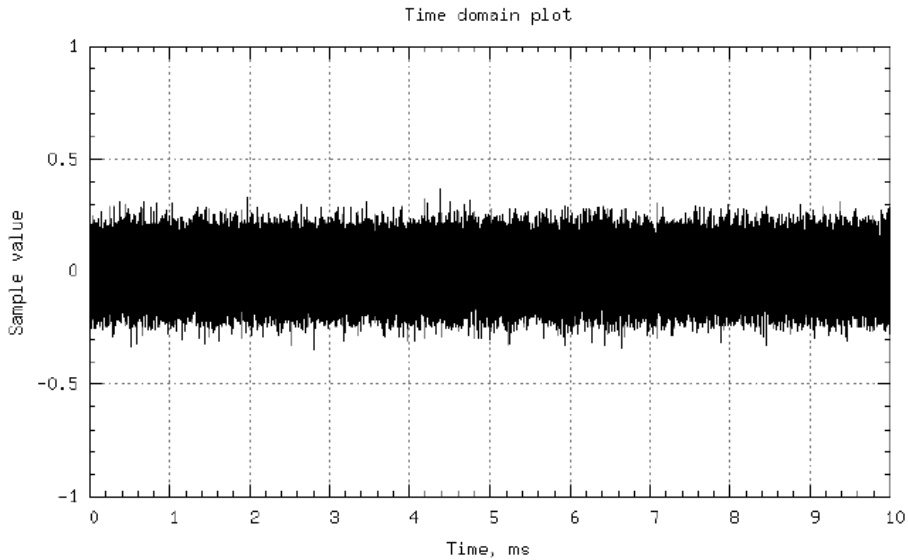


а) фазові портрети пристрою в площині генерованих напруг U_c і $U_c + U_L$
 б) осцилограма і амплітудо-частотний спектр коливань напруги на конденсаторі U_c
 в) осцилограма і амплітудо-частотний спектр коливань напруги на котушці індуктивності U_L

Рисунок 14 – Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання:

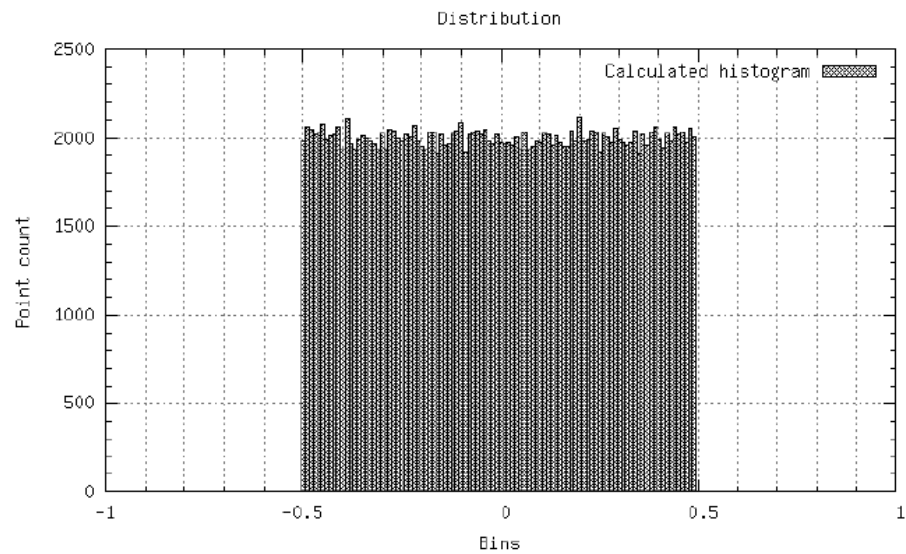
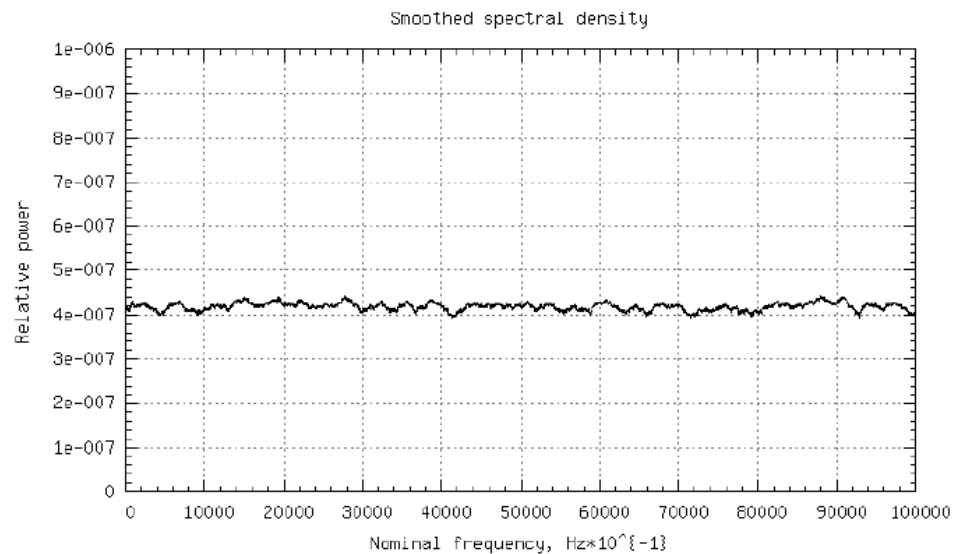
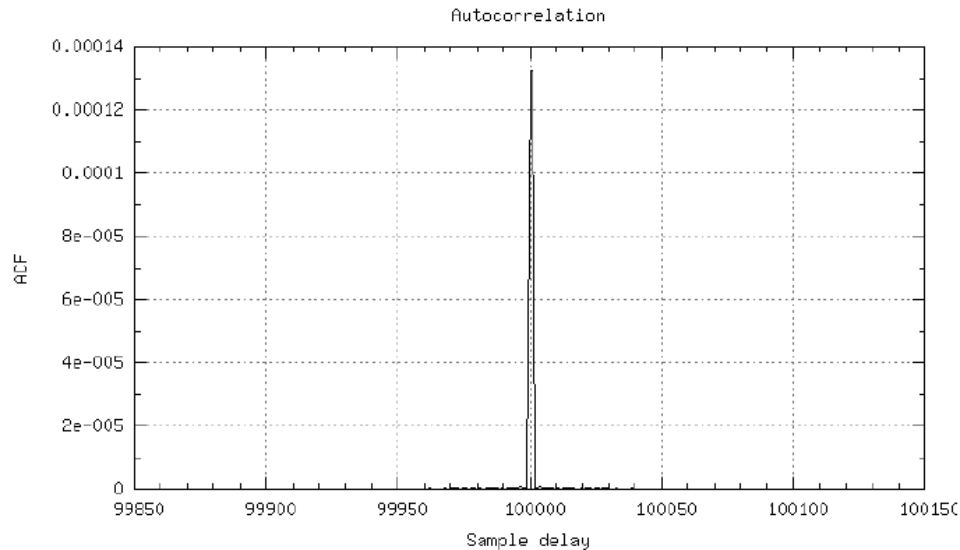
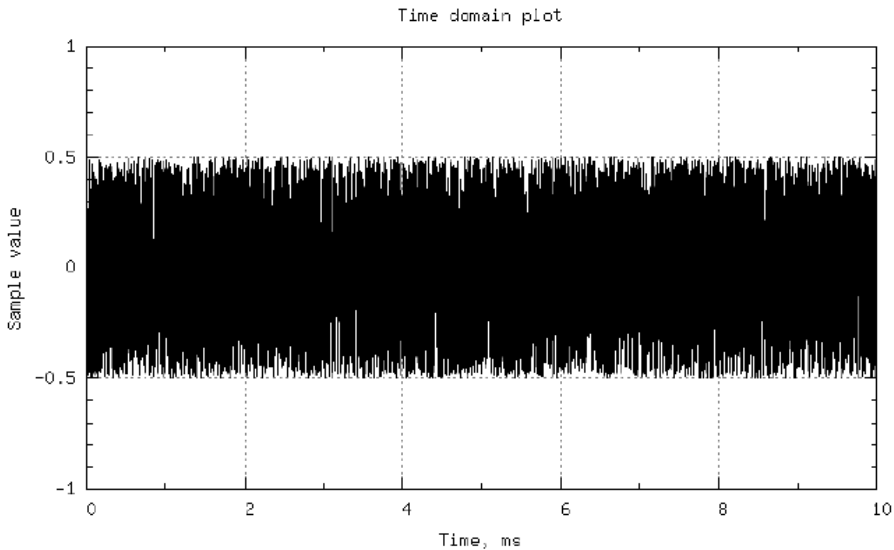
Характеристики білого гаусівського шуму

Noise and its parameters



Характеристики шуму з рівномірним розподілом

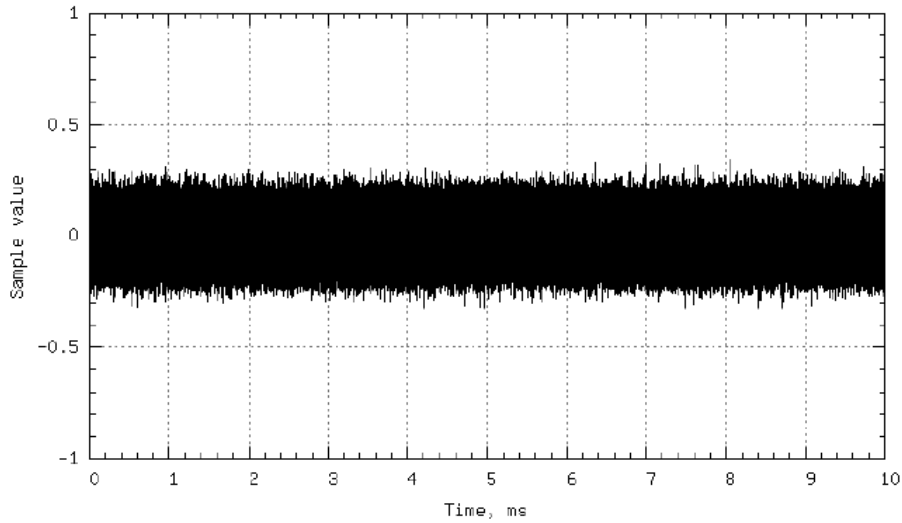
Noise and its parameters



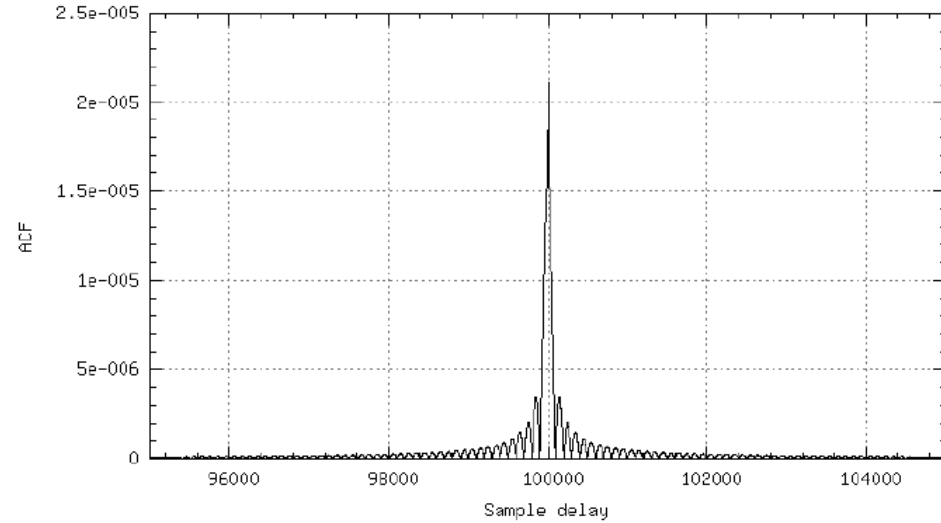
Характеристики шуму з полігаусівським (бімодальним) розподілом

Noise and its parameters

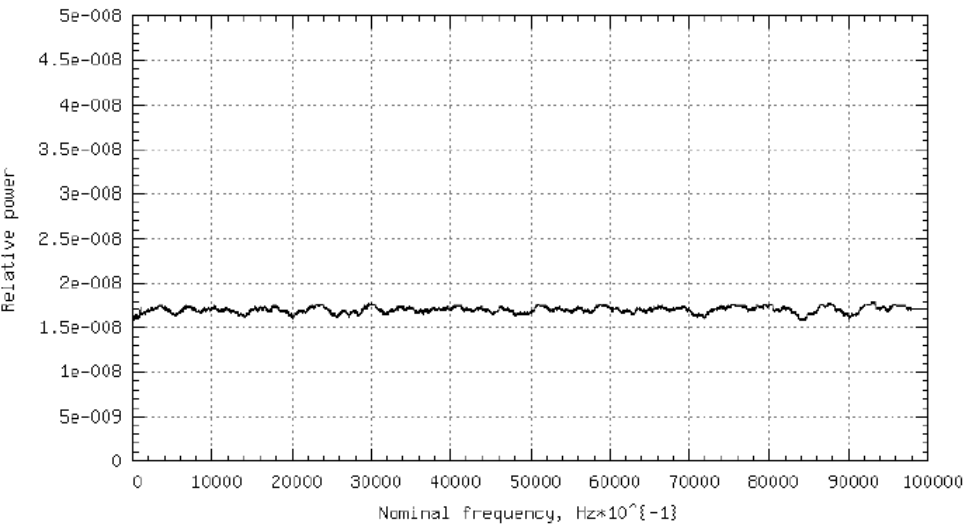
Time domain plot



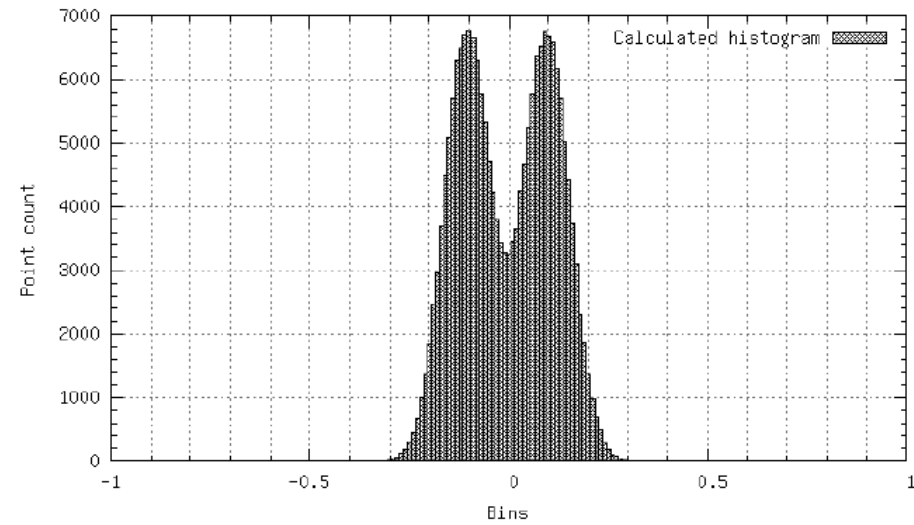
Autocorrelation



Smoothed spectral density



Distribution



Результати дослідження завадостійкості радіоелектронного пристрою виявлення слабких сигналів

ROC (receiver operating characteristic) - це графік, по осі абсцис якого відкладена ймовірність помилкової тривоги, а по осі ординат ймовірність правильного виявлення. Стосовно до задачі оцінки завадостійкості ROC мають найбільшу інформативність, оскільки дозволяють зіставляти ймовірності правильного виявлення і помилкової тривоги.

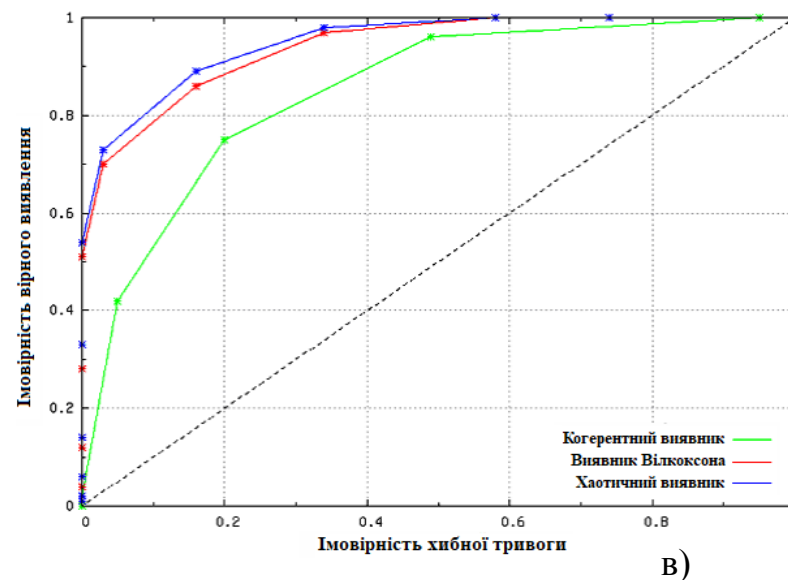
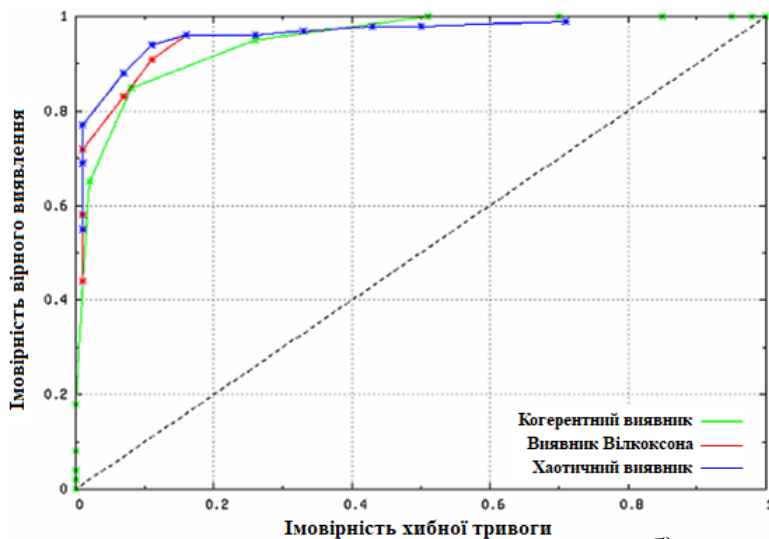
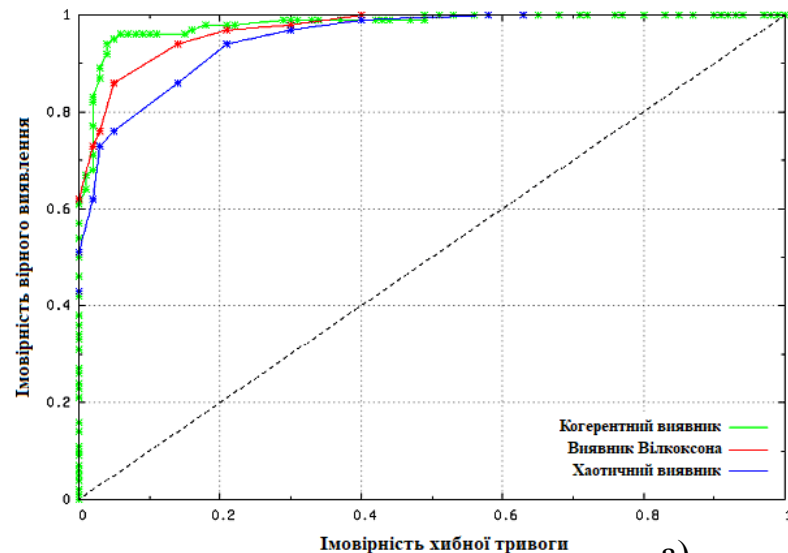


Рисунок 15 - ROC при впливі: а) білого гаусівського шуму; б) шуму з рівномірним розподілом; в) шуму з полігаусівським (бімодальним) розподілом

Доповідь завершена.

Дякую за увагу!