

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

**РАДІОТЕХНІЧНІ НАДВИСОКОЧАСТОТНІ
ГЕНЕРАТОРНІ ПРИСТРОЇ НА ОСНОВІ
РЕЗОНАНСНО-ТУНЕЛЬНИХ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СТРУКТУР ІЗ
ВІД'ЄМНИМ ДИФЕРЕНЦІЙНИМ ОПОРОМ**

магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю
172 – Телекомунікації та радіотехніка
ОПП - Радіотехніка

Розробив студент гр. РТ-18м Дячук Є. О.
керівник – д.т.н., професор, зав. каф. РТ Осадчук О. В.

Мета та основні завдання роботи

Метою роботи є розроблення та дослідження радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором.

Задачами дослідження є:

- проведення аналізу використання резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором в мікроелектроніці;
- розробка простих радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором;
- комп'ютерне схемотехнічне моделювання простих радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором;
- розрахунок електричних параметрів радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором;
- дослідження часових характеристик радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором;
- проведення розрахунків економічної частини та розділу охорони праці.

Об'єктом дослідження даної роботи є фізичні явища та ефекти, що відбуваються в резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференціальним опором та елементах функціональної електроніки, дія яких базується на тунельно-резонансному ефекті.

Предметом дослідження є часові та частотні параметри і характеристики сигналів резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференціальним опором, як елементів функціональної електроніки, дія яких базується на тунельно-резонансному ефекті.

Наукова новизна одержаних результатів – отримав подальший розвиток застосування резонансно-тунельних транзисторів, як елементів функціональної електроніки, дія яких базується на тунельно-резонансному ефекті.

Практична новизна одержаних результатів – полягає в отриманих нових результатів теоретичних і модельних досліджень радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференціальним опором.

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

Електрична схема генератора детермінованого хаосу на тунельному діоді

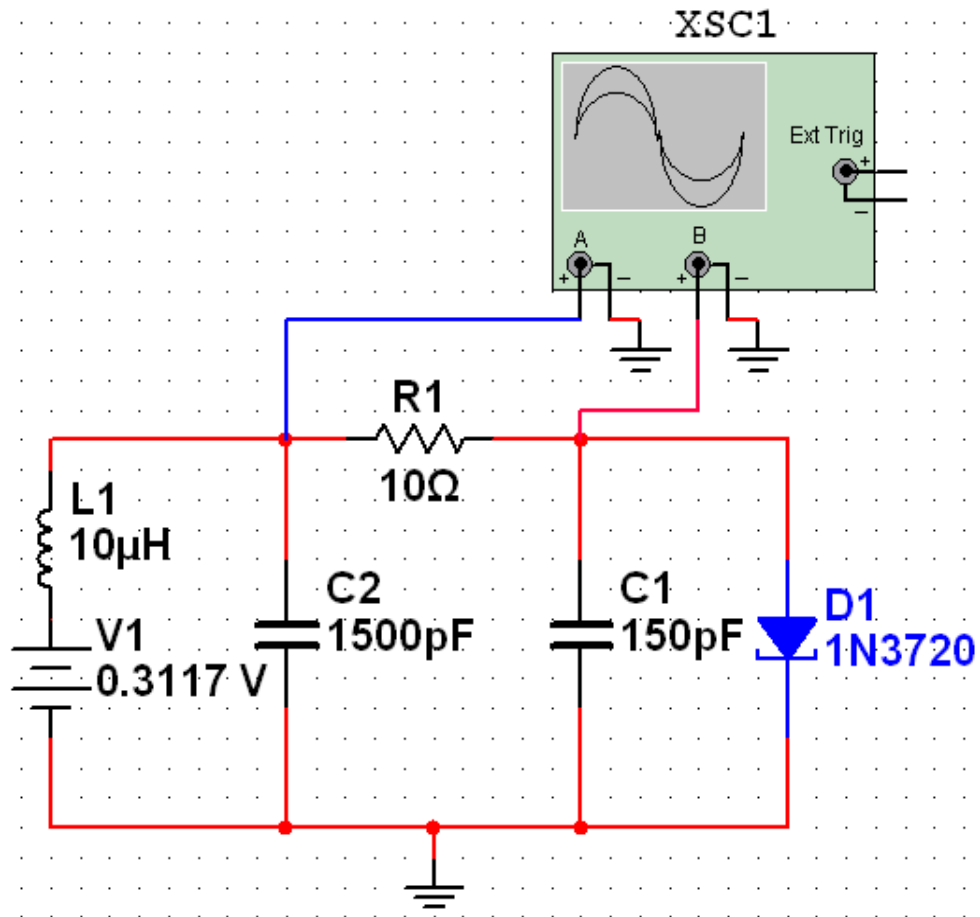


Рисунок Б.1 - Електрична схема генератора детермінованого хаосу NI Multisim 10.1

Математична модель радіотехнічного генератора детермінованого хаосу

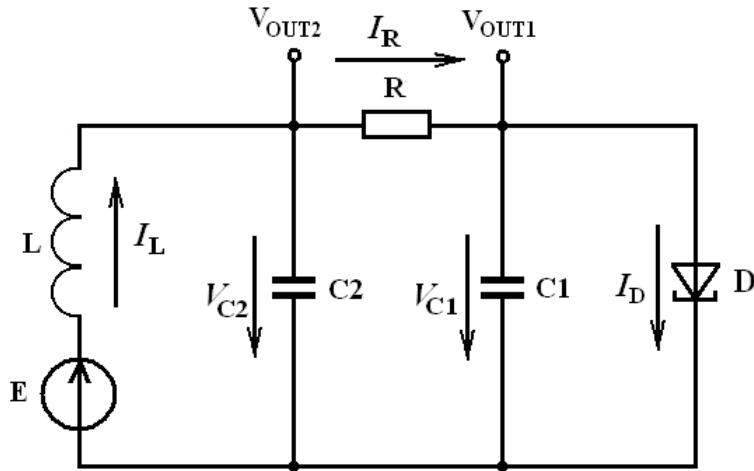


Рисунок В.1 – Еквівалентна схема генератора

Система рівнянь Кірхгофа

$$\begin{cases} C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} = \frac{1}{R} (V_{C2} - V_{C1}) - I_D (V_{C1}), \\ C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} = I_L - \frac{1}{R} (V_{C2} - V_{C1}), \\ L \frac{dI_L}{dt} = E - V_{C2}, \end{cases} \quad (B.1)$$

Математична модель генератора детермінованого хаосу

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{d\tau} = \alpha (x_2 - x_1 - a \cdot f(x_1)), \\ \frac{dx_2}{d\tau} = x_3 - x_2 + x_1, \\ \frac{dx_3}{d\tau} = \beta (b - x_2), \end{cases} \quad (B.2)$$

де $\tau = \frac{t}{R \cdot C_2}$

$$f(x) = 8.592x - 22x^2 + 14.408x^3. \quad (B.3)$$

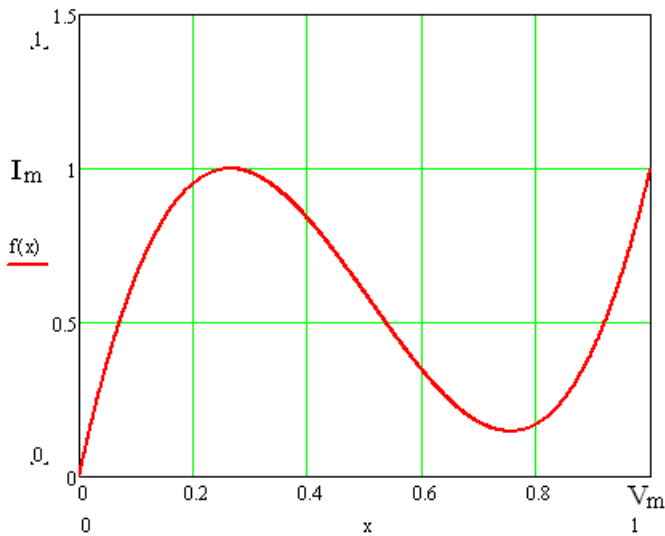


Рисунок В.2 – Графік апроксимованої функції $f(x)$

Результати теоретичних розрахунків генератора детермінованого хаосу

У системі диференціальних рівнянь (В.2) нормовані змінні мають вигляд

$$x_1 = \frac{V_{C1}}{V_m}, x_2 = \frac{V_{C2}}{V_m}, x_3 = \frac{I_L \cdot R}{V_m}. \quad (\text{Д.1})$$

Коефіцієнти системи диференціальних рівнянь обраховують по формулах

$$a = \frac{R \cdot I_m}{V_m}, \alpha = \frac{C_2}{C_1}, b = \frac{E}{V_m}, \beta = \frac{R^2 C_2}{L}. \quad (\text{Д.2})$$

У роботі розраховані показники Ляпунова для: 1) $E = 0,3117$ В; 2) $E = 0,34$ В; 3) $E = 0,37$ В; 4) $E = 0,388$ В. Як видно з таблиці В.1 коливання у режимах: 1) періодичні 2) -3) квазіперіодичні, 4) хаотичні.

Таблиця Д.1 – Показники Ляпунова динамічної системи В.2

№	Показники Ляпунова		
	λ_1	λ_2	λ_3
1)	$-1.3018382 \cdot 10^0$	$-1.6004798 \cdot 10^0$	$-2.5325262 \cdot 10^1$
2)	$-1.4031918 \cdot 10^{-1}$	$-4.2997792 \cdot 10^{-1}$	$-2.5178240 \cdot 10^1$
3)	$-1.3088539 \cdot 10^{-1}$	$-4.4810237 \cdot 10^{-1}$	$-2.5151386 \cdot 10^1$
4)	$1.3122501 \cdot 10^{-1}$	$-4.5105659 \cdot 10^{-1}$	$-2.5049510 \cdot 10^1$

Результати математичного моделювання генератора детермінованого хаосу

Чисельні обчислення здійснені за допомогою програмного забезпечення MathCad 15.0 при таких значеннях параметрів схеми генератора: $C1 = 150$ пФ, $C2 = 1500$ пФ, $R1 = 10$ Ом, $L1 = 100$ нГн, $V1 = 0.3117$ В, $Vm = 0.51$ В, $Im = 22$ мА, $E = 0.3117$ В.

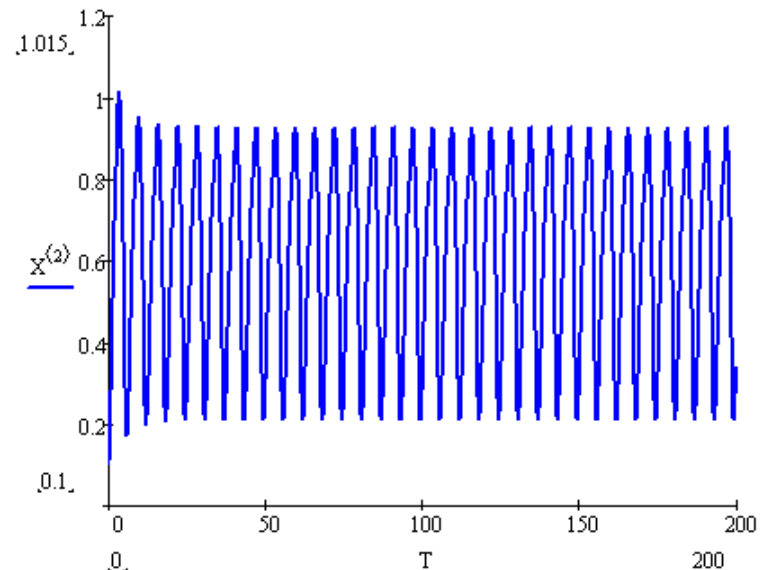
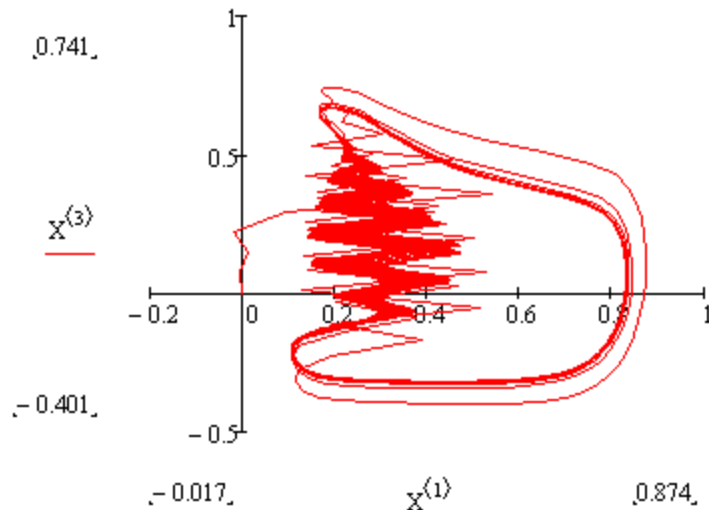
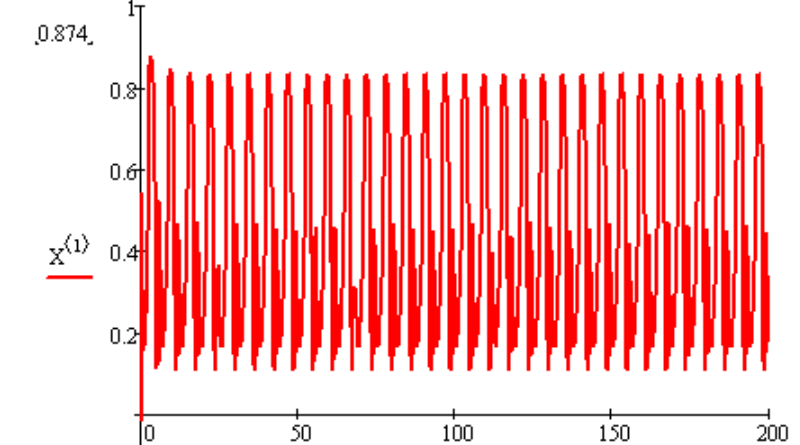
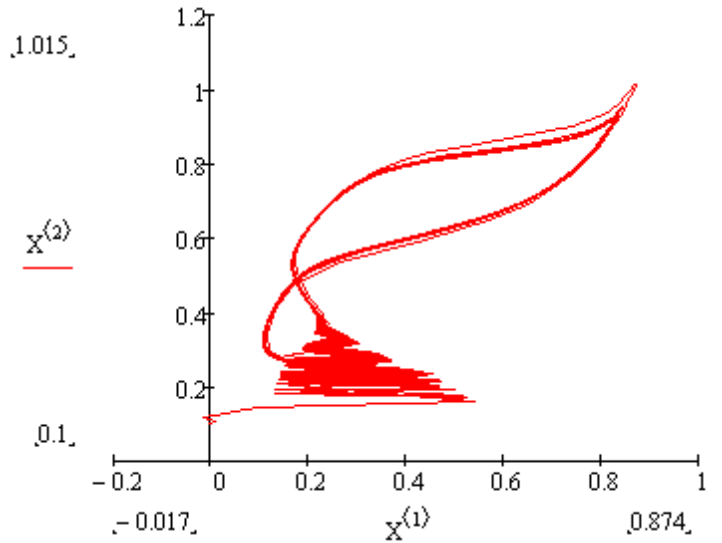
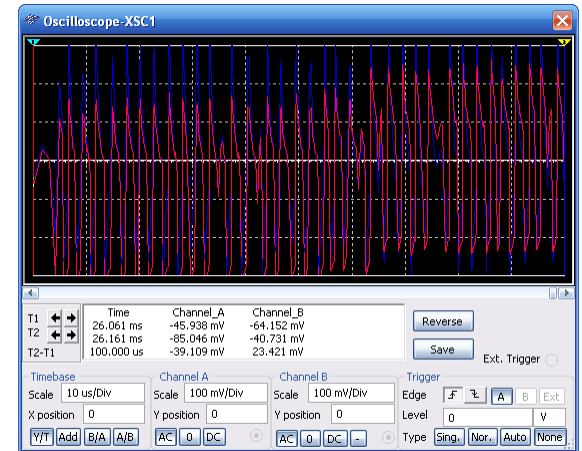
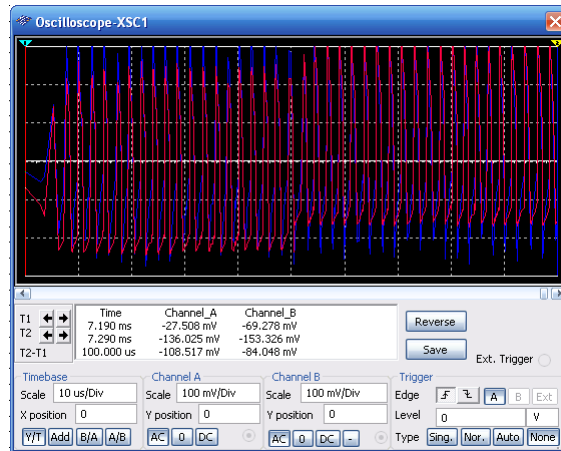
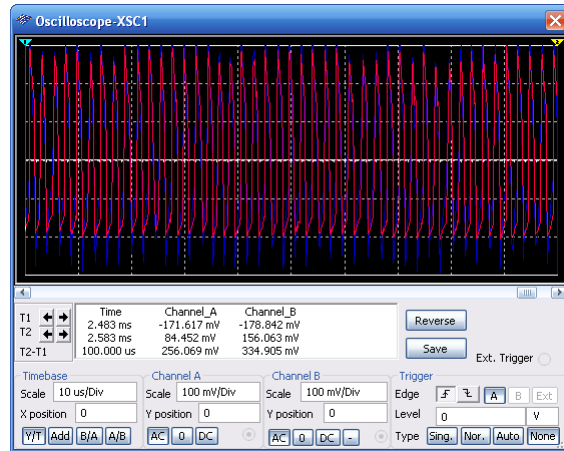
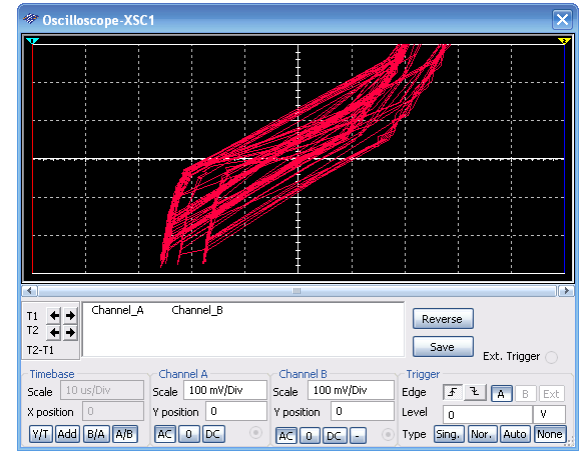
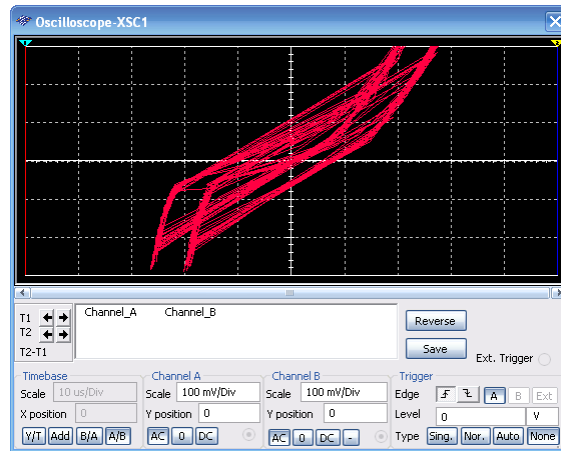
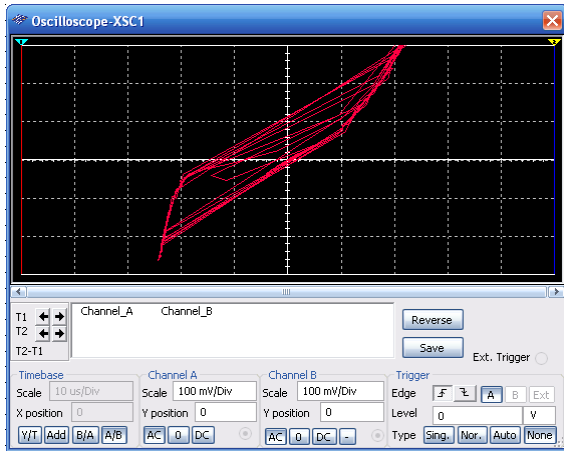


Рисунок Е.1 – Фазові портрети генератора в площинах нормованих змінних: а) x_1 - x_2 і б) x_1 - x_3

Рисунок Е.2 – Часові діаграми генерованих електричних коливань

Результати комп'ютерного схемотехнічного моделювання



а)

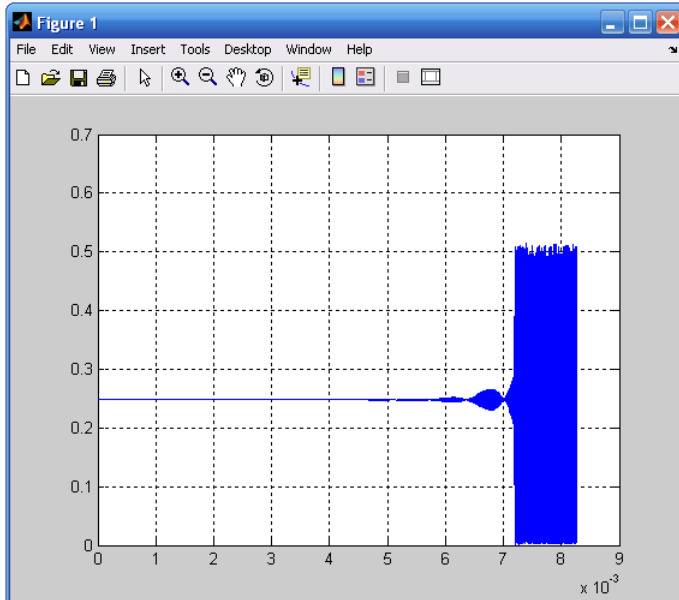
б)

в)

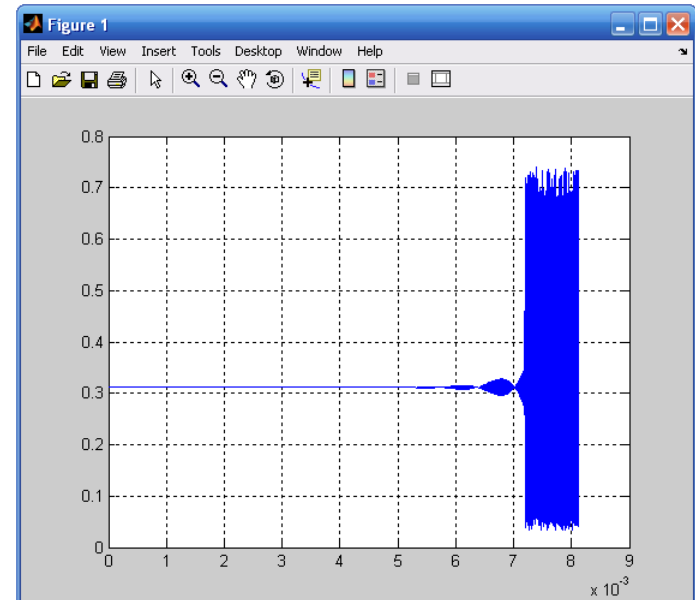
Рисунок Ж.1 – Фазові портрети та часові діаграми генерованих напруг генератора в:

- а) періодичному режимі при $E = 0,3117$ В;
- б) квазіперіодичному режимі при $E = 0,34$ В;
- в) хаотичному режимі при $E = 0,388$ В

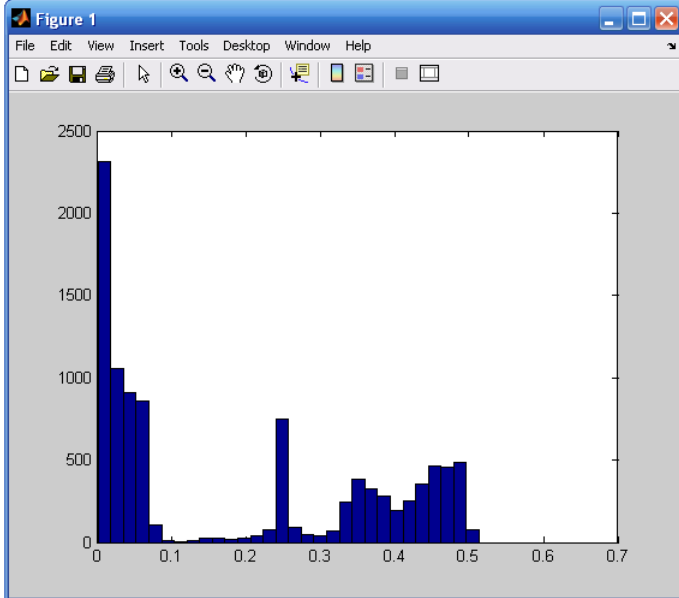
Розрахунок статистичних характеристик генерованих хаотичних електричних коливань



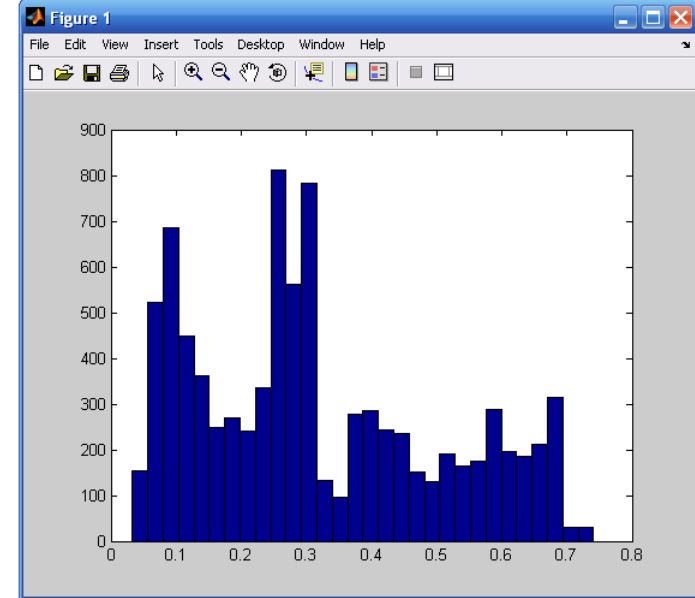
а)



а)



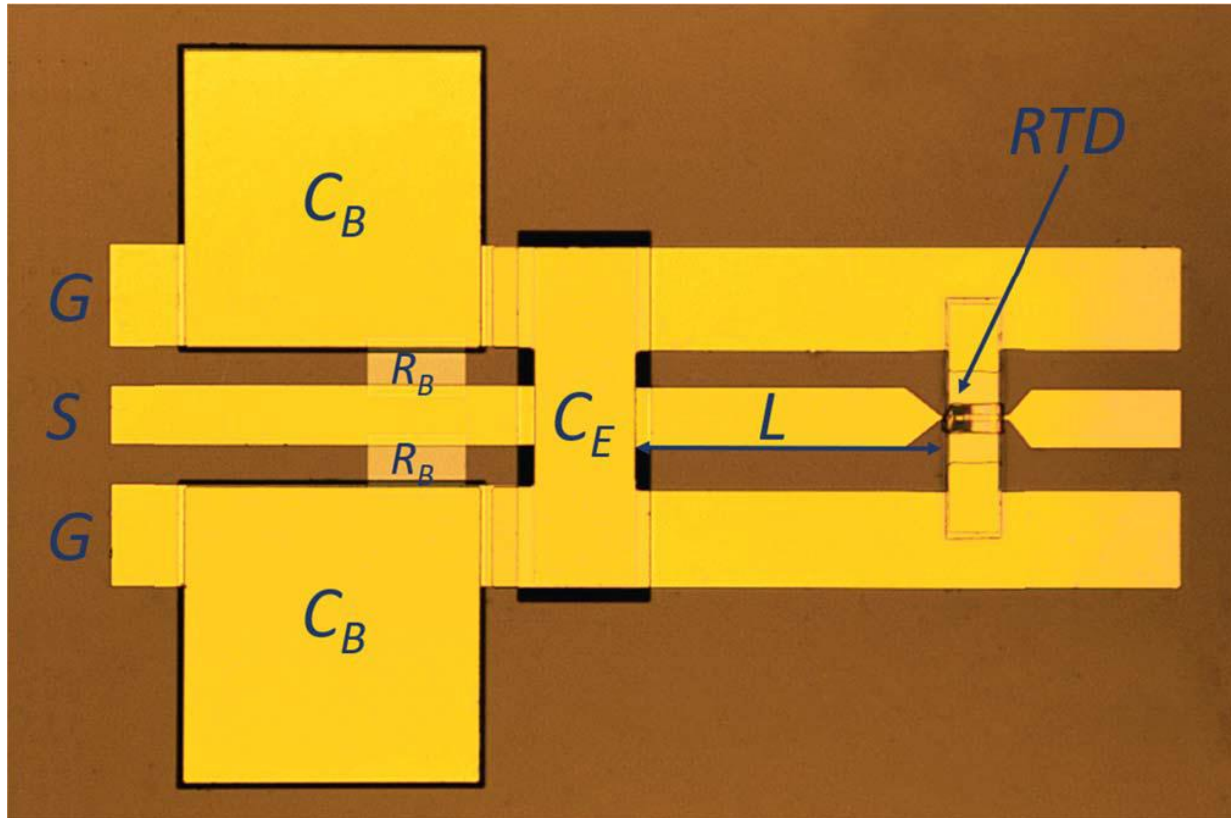
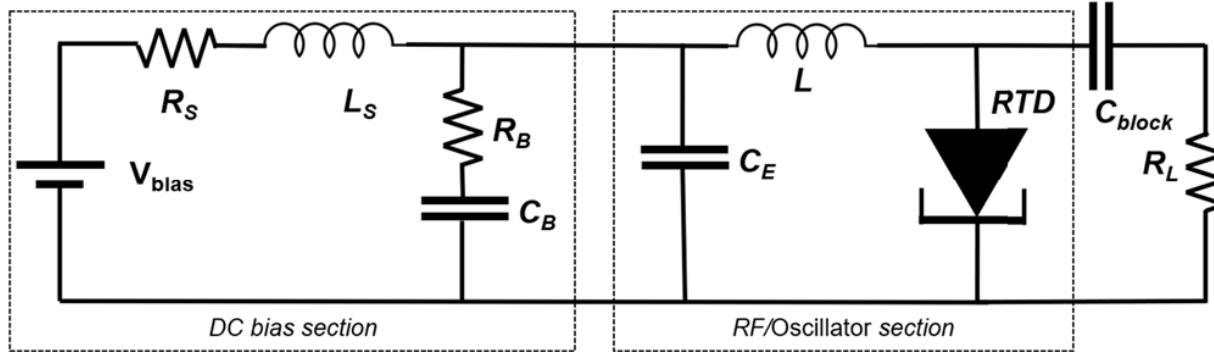
б)



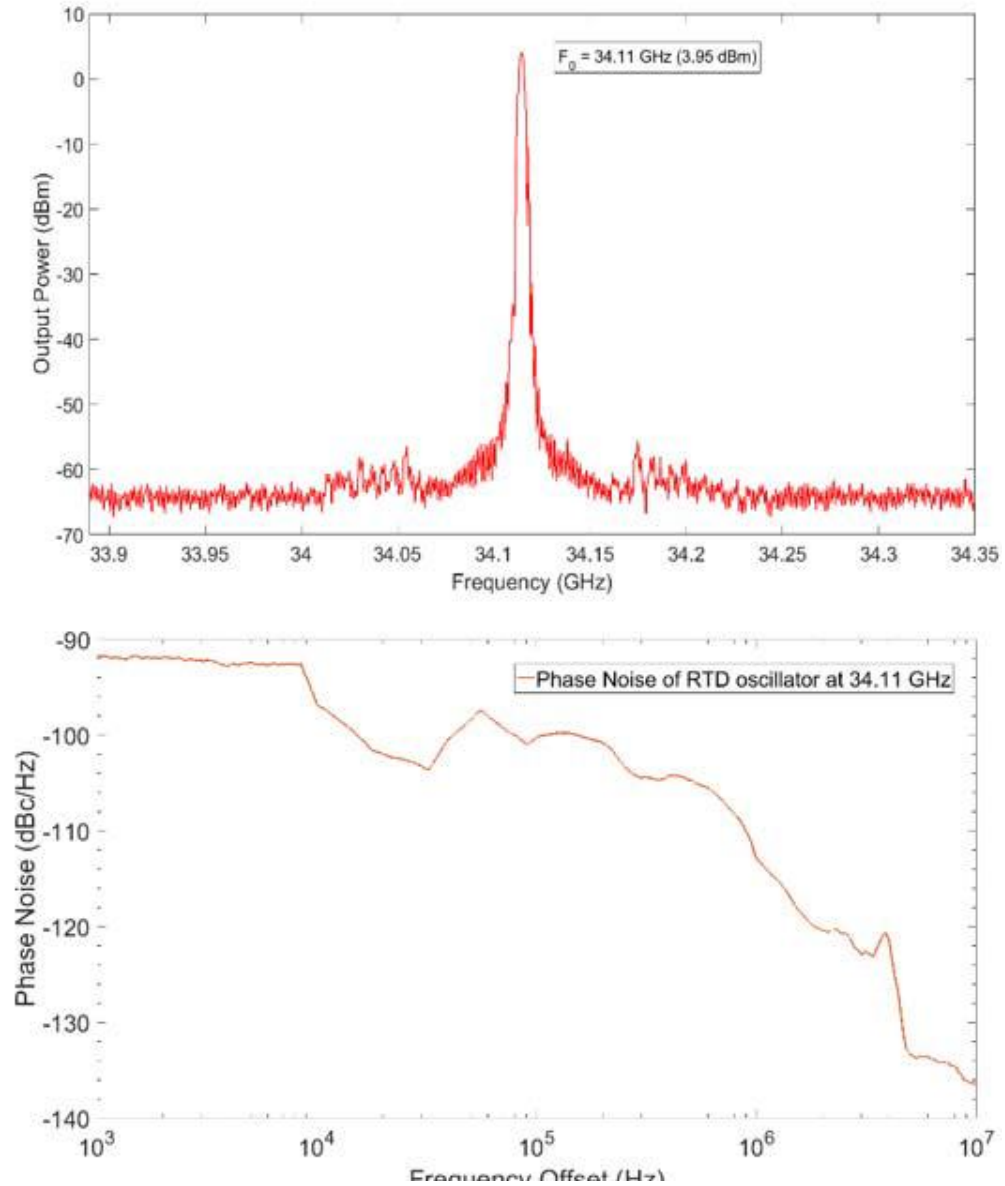
б)

Рисунок К.1 – Часові діаграми та гістограми функції розподілу амплітудних значень ансамблів генерованих хаотичних коливань напруги відповідно V_{OUT1} і V_{OUT2}

Електрична схема та конструкція НВЧ генератора на резонансно-тунельному діоді



Графіки амплітудо-частотного та фазочастотного спектру електричних коливань НВЧ генератора на резонансно-тунельному діоді



Графіки діапазонних характеристик НВЧ генератора на резонансно-тунельному діоді

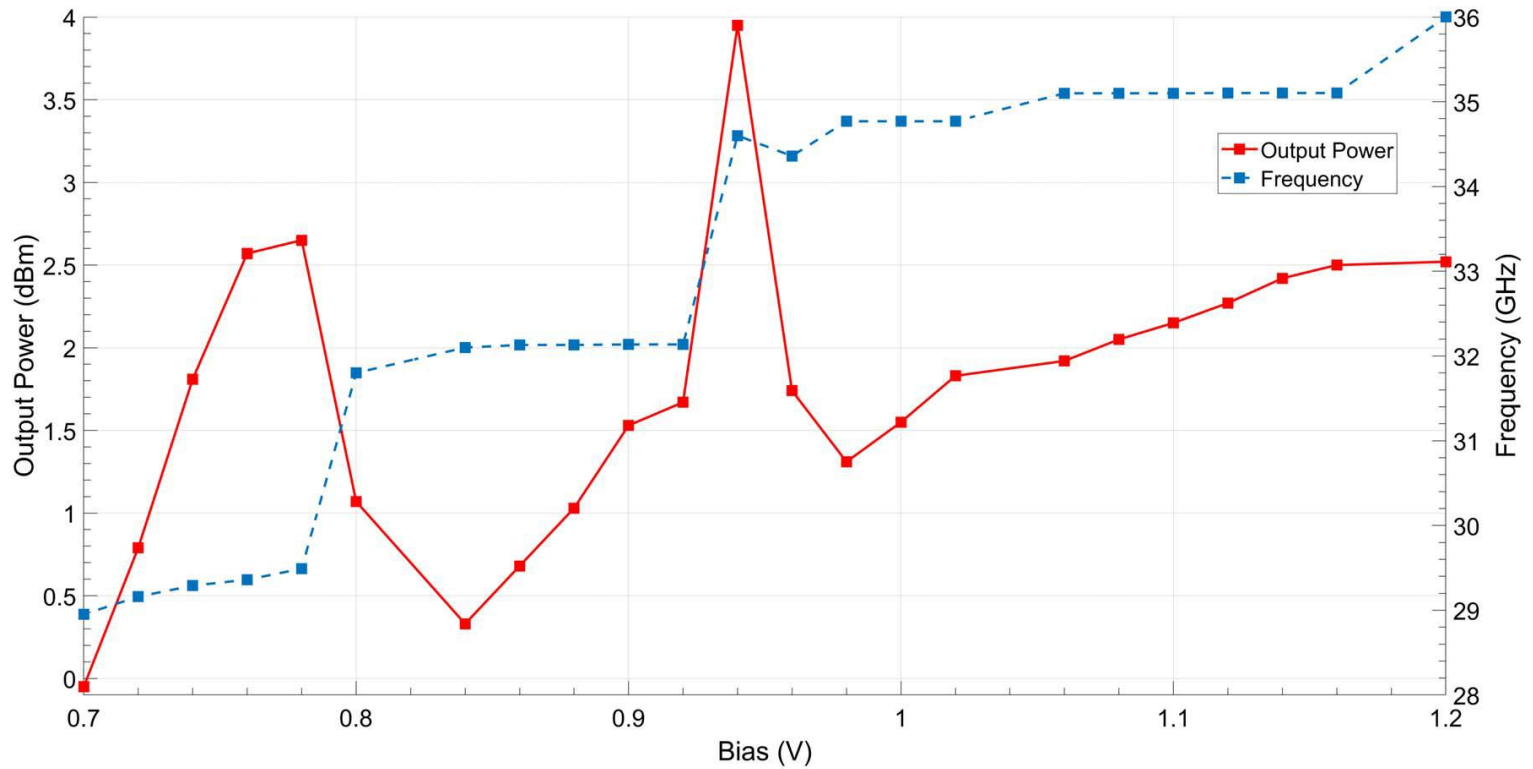


Рис. Н1. Вимірювана вихідна потужність і частота генератора
в залежності від напруги зміщення

Доповідь завершена.

Дякую за увагу!