

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

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ РАДІОТЕХНІЧНІ ПРИБРОЇ 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 Мельник Я. В.
керівник – д.т.н., проф., професор РТ Осадчук В. С

Вінниця ВНТУ 2019

Мета та основні завдання роботи

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

Задачами дослідження є:

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

Об'єкт і предмет дослідження, наукова та практична новизна

Об'єктом дослідження даної роботи є фізичні явища та ефекти, що відбуваються в тунельно-резонансних транзисторах та елементах функціональної електроніки, дія яких базується на тунельно-резонансному ефекті.

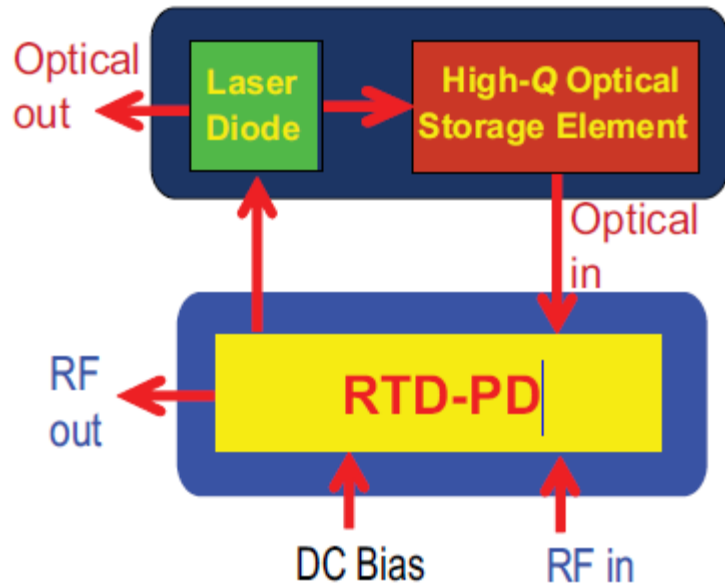
Предметом дослідження є часові та частотні параметри і характеристики сигналів тунельно-резонансних транзисторів, як елементів функціональної електроніки, дія яких базується на тунельно-резонансному ефекті.

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

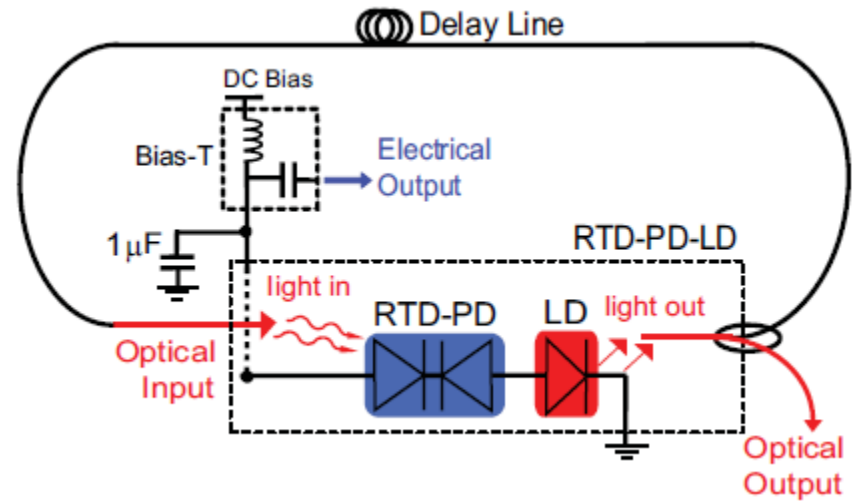
Практична новизна одержаних результатів – полягає в отриманих нових результатах теоретичних і модельних досліджень радіотехнічних надвисокочастотних генераторних пристроїв на основі резонансно-тунельних напівпровідникових структур із від'ємним диференційним опором.

Публікації. За темою досліджень автором опубліковано 3 статті в збірнику праць міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (Вінниця, ВНТУ, 14-16 листопада 2019 р.) [12-14].

Структурна та функціональна схеми радіотехнічного оптико-електронного пристрою на основі RTD-PD-LD технології



a)



б)

Рисунок Б.1 – Структурна (а) та функціональна (б) схеми одноконтурного оптико-електронного генератора на основі резонансно-тунельного діода RTD-OEO

Будова та характеристики радіотехнічного оптико-електронного пристрою на основі RTD-PD-LD технології

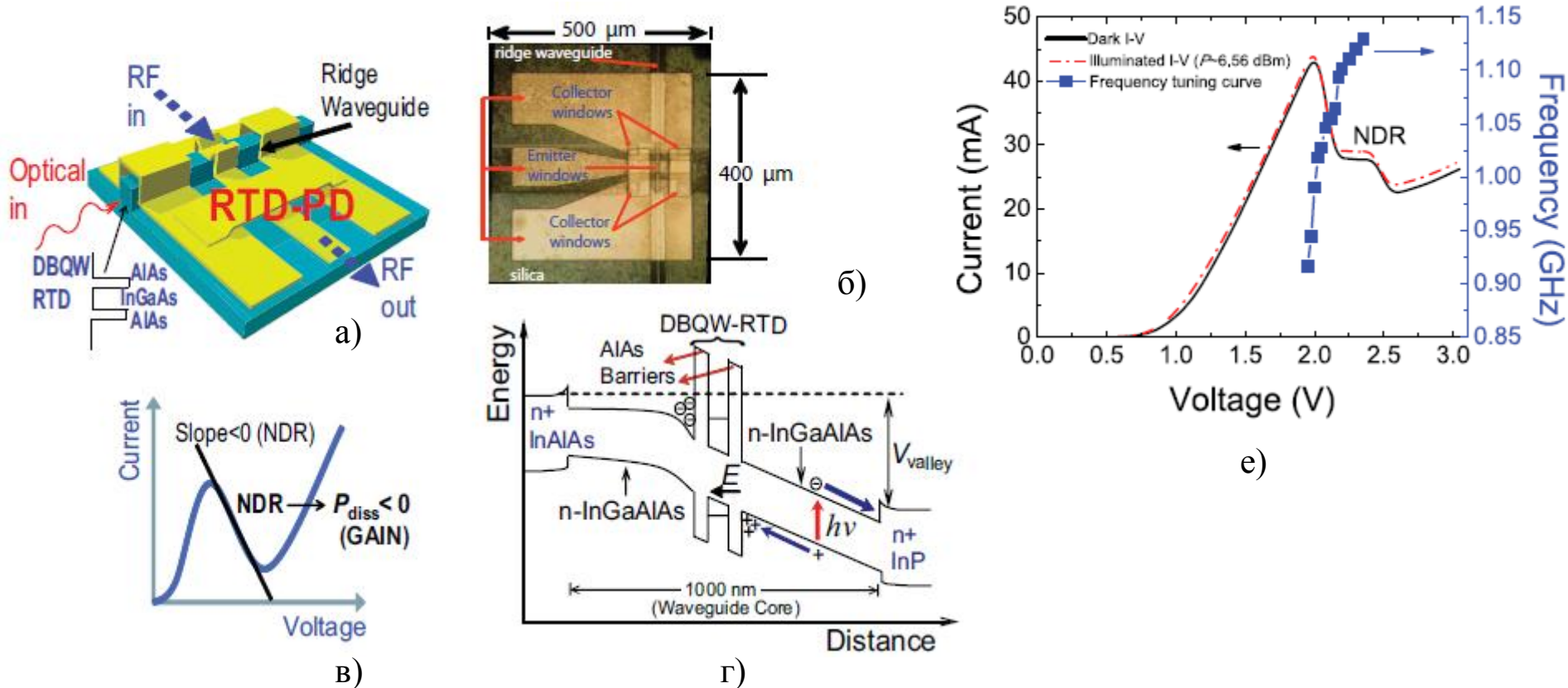
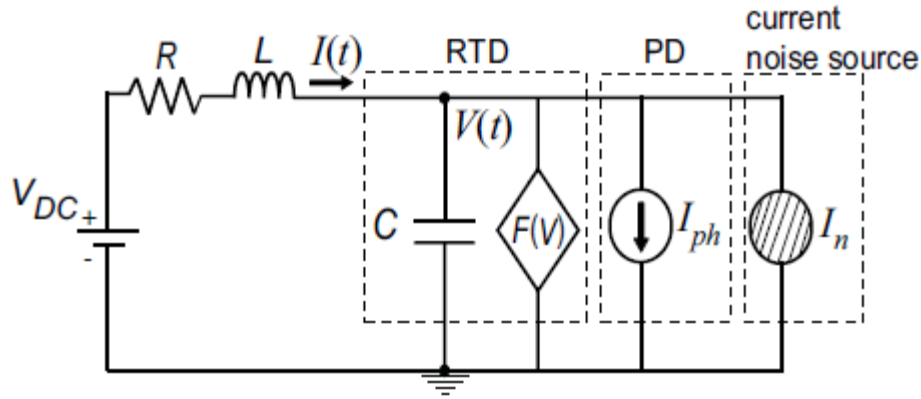


Рисунок В.1 – Будова та характеристика радіотехнічного оптико-електронного пристрою на основі RTD-PD-LD: а) 3D вигляд конструкції; б) вигляд смужкової топології; в) вольт-амперна характеристика резонансно-тунельного діода; д) зонна діаграма енергетичних рівнів резонансно-тунельного діода; е) темно-світлові ВАХ пристрою RTD-PD послідовно з LD (у області NDR показана відповідна крива перебудови частоти в умовах освітлення, яка також залежить від напруги зсуву та струму живлення)

Фізико-математична модель RTD-PD



$$\dot{V}(t) = \frac{1}{C} [I(t) - F(V) - I_n - I_{ph}] \quad (\text{Д.1})$$

$$\dot{I}(t) = \frac{1}{L} [V_{DC} - RI(t) - V(t)] \quad (\text{Д.2})$$

$$I_{ph} = \eta_{ph} \frac{e\lambda}{hc} P(\lambda) \quad (\text{Д.3})$$

$$\eta_{ph} = k (1 - R_{ref}) (1 - e^{-\alpha\gamma_{ph}\Lambda}) \quad (\text{Д.4})$$

Рисунок Д.1 – Еквівалентна електрична схема RTD-PD-LD

Таблиця Д.1 – Фізичні параметри електричного кола і фотодетектора RTD-PD

Символ	Значення	Типова чисельна величина
R	Опір	7,8 Ом
L	Індуктивність	$3,1 \times 10^{-9}$ Гн
C	Ємність	$3,25 \times 10^{-12}$ Ф
λ	Розрахункова довжина хвилі	$1,55 \times 10^{-6}$ м
k	Коефіцієнт легкого зв'язку	0,35
R_{ref}	Відбивна властивість хвилеводу	0,3
α_v	Коефіцієнт поглинання хвилеводу	400 см^{-1}
γ_{ph}	Інтеграл перекриття електричного і оптичного поля	0,25
Λ	Довжина контакту хвилеводу	150×10^{-6} м

Математична модель RTD-PD-LD у нормованих змінних

Рівняння нормованих змінних і коефіцієнтів

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{\mu} \left[y(t) - f(t) - \chi \xi(t) - \eta s(t - \tau_d) \right] \quad (\text{E.1})$$

$$V(t) = x(t) V_0,$$

$$I(t) = y(t) I_0,$$

$$t = \tau (\omega_0)^{-1},$$

$$V_{DC} = v_0 V_0,$$

$$\omega_0 = (\sqrt{LC})^{-1}$$

$$R = \gamma (V_0/I_0).$$

$$\dot{y}(t) = \mu \left[v_0 - \gamma y(t) - x(t) \right] \quad (\text{E.2})$$

$$\dot{n}(t) = \frac{1}{\tau'_n} \left[\frac{i_m(t)}{i_{th}} - n(t) - \frac{n(t) - \delta}{1 - \delta} \{1 - \varepsilon s(t)\} s(t) \right] \quad (\text{E.3})$$

$$\dot{s}(t) = \frac{1}{\tau'_n} \left[\frac{n(t) - \delta}{1 - \delta} \{1 - \varepsilon s(t)\} s(t) - s(t) + \beta n(t) \right] \quad (\text{E.4})$$

Таблиця Е.1 - Параметри використані для моделювання RTD-PD-LD

Символ	Значення	Типова чисельна величина
μ	$V_0/I_0\sqrt{C/L}$	$3,238 \times 10^{-2}$
γ	$R (V_0/I_0)$	7,8
τ'_n	Термін служби безрозмірного носія	0,30578
τ'_p	Термін служби безрозмірного носія	0,01395
δ	N_0/N_{th}	0,613
ε	$\varepsilon_n S_0$ (безрозмірна насиченість лазера)	$1,72 \times 10^{-3}$
β	Спонтанна емісія	4×10^{-4}

Результати модельних досліджень радіотехнічного оптико-електронного пристрою на основі RTD-PD-LD технології з одним колом зворотного зв'язку

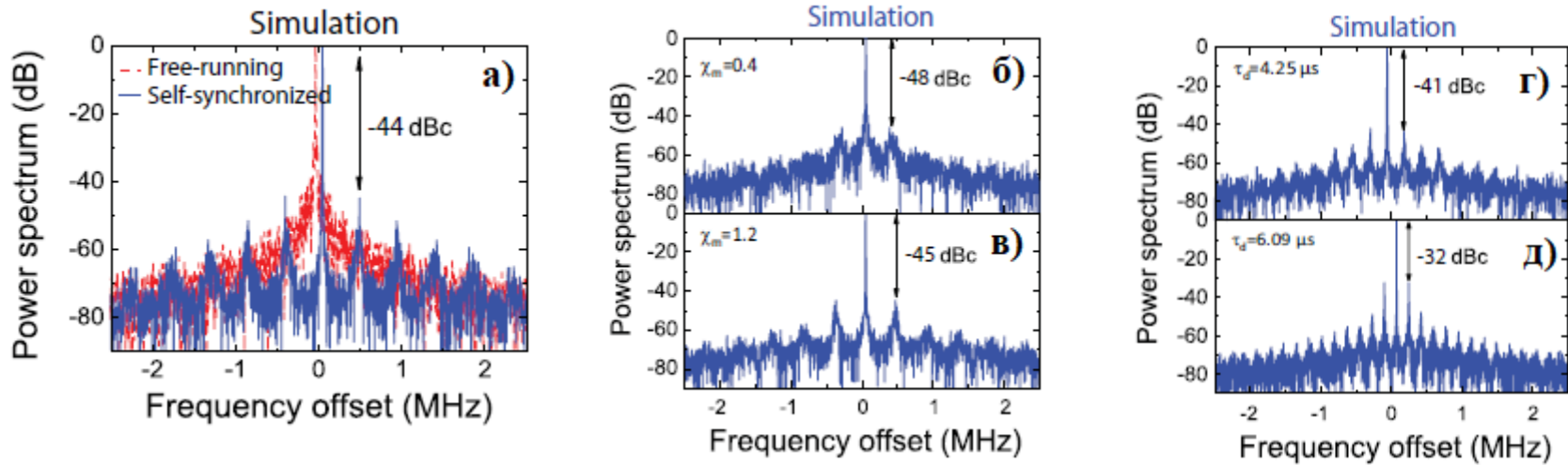


Рисунок Ж.1 – Амплітудно-частотні спектри модельованої потужності генерованих електричних коливань і само-синхронізованих виходів $x(t)$ з часовою затримкою $\tau_d = 2,35$ мкс і відношенням сигналу зворотного зв'язку до шуму $\theta = 2,0$ (а), $\theta = 0,4$ (б), $\theta = 0,8$ (в), $\theta = 1,2$ (г), $\theta = 1,6$ (д). На графіку розмах по вісі абсцис становить 5 МГц, а центральна частота становить 1,12207 ГГц

Результати модельних досліджень радіотехнічного оптико-електронного пристрою на основі RTD-PD-LD технології з двома колами зворотного зв'язку

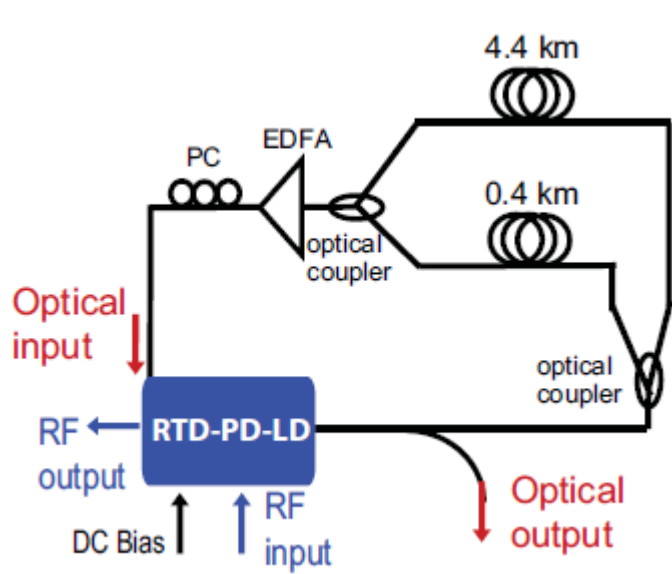


Рисунок К.1 - Функціональна схема двоконтурної самосинхронізованої установки RTD-PD-LD

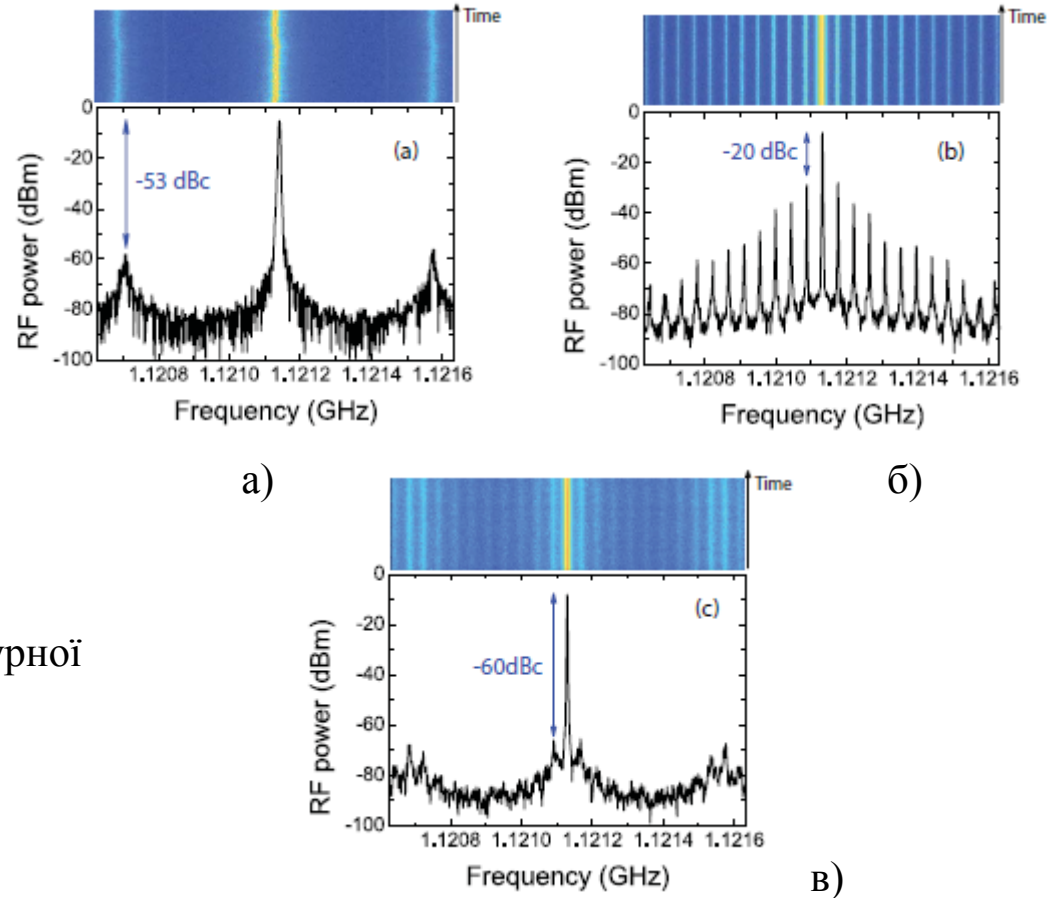


Рисунок К.2 – Вигляд спектрів ВЧ-потужності : (а) 0,4-кілометрова одиночна петля; (б) 4,4 км одиночної петлі; (в) двоконтурна конфігурація. Діапазон частот і дозвіл смуги пропускання було 1 МГц і 3 кГц, відповідно. Верхня частина кожного рисунка показує спектрограму, яка представляє еволюцію спектральної щільності, записаної за 1 хв (час по вертикальній осі)

Доповідь завершена.

Дякую за увагу!