

УДК 621.7

М. А. Філінюк, д. т. н., проф.;

С. Є. Швейкіна, асп.

АНАЛІЗ ІМПЕДАНСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМБІНОВАНОГО СВІТЛОПРИЙМАЛЬНОГО ОПТОНЕГАТРОНА

Запропоновано математичну модель комбінованого оптонегатрона на біполярному фототранзисторі, проведено дослідження впливу інтенсивності оптичного випромінювання на основні імпедансні характеристики комбінованих транзисторних оптонегатронів у діапазоні частот, де вони є потенційно-нестійкими.

Вступ

Комбіновані оптонегатрони [1] за своїми характеристиками займають проміжне місце між фізичними оптонегатронами та їх схемотехнічними аналогами. Відсутність жорстких вимог до напівпровідникової структури та до кола зворотного зв'язку, розширений частотний діапазон роботи, знижені вимоги до технології виготовлення підкреслюють перспективу їх застосування в різноманітних галузях електроніки.

Однак залишається недостатньо дослідженим вплив оптичного опромінення на основні імпедансні характеристики комбінованих транзисторних оптонегатронів у діапазоні частот, де вони є потенційно-нестійкими.

Розробка математичної моделі та чисельний експеримент

Досліджуваний комбінований оптонегатрон складається з біполярної фототранзисторної структури, поєднаної з низькодоботною індуктивністю в колі зворотного зв'язку (рис. 1).

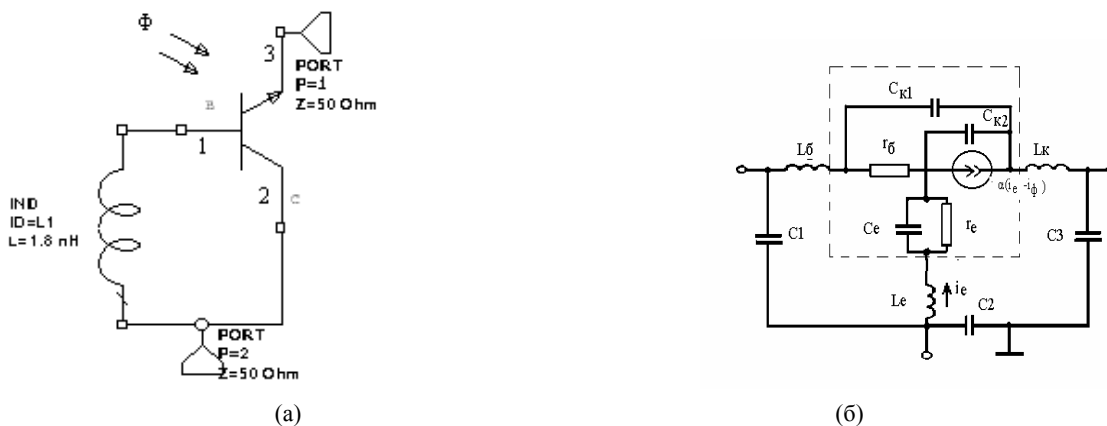


Рис. 1. Схема комбінованого транзисторного оптонегатрона (а) та еквівалентна схема фототранзистора (б)

На еквівалентній схемі позначено: r_b — омичний опір бази, C_{k1} та C_{k2} — активна та пасивна ємності колекторного переходу, C_e — бар'єрна ємність емітерного переходу, r_e — диференційний опір емітерного переходу, α — коефіцієнт передачі транзистора за струмом, I_e — струм емітера, I_ϕ — фотострум; $\alpha(I_e + I_\phi)$ — генератор струму, що враховує вплив оптичного опромінення на колекторну область оптонегатронної структури.

Згідно з еквівалентною схемою біполярного транзистора [2], до параметрів, що залежать від дії оптичного опромінювання, відносяться струм через емітерний перехід, опір емітерної та колекторної області, ємності емітерного та колекторного переходів, що описуються виразами (1)—(5):

$$I_e(\Phi) = I_{e0} \left[\exp\left(\frac{qU_e}{kT}\right) - 1 \right] + \alpha_w I_K + \kappa I_\Phi(\Phi); \quad (1)$$

$$Z_\kappa(\Phi) = \frac{1}{j\omega \left(I_e(\Phi) \frac{d}{6U_\kappa} \frac{\omega}{D_p} + A_\kappa \sqrt{\frac{q\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 N_0}{12(\varphi_\kappa - U_\kappa)}} \right)}; \quad (2)$$

$$r_e(\Phi) = \frac{kT}{qI_e(\Phi)}; \quad (3)$$

$$C_e(\Phi) = \frac{I_e(\Phi)t_6}{\varphi_T} + A_e \sqrt{\frac{q\varepsilon\varepsilon_0 N_0}{2(\varphi_\kappa - U_e)}}; \quad (4)$$

$$C_K(\Phi) = \frac{I_e(\Phi)d}{6U_\kappa} \cdot \frac{\omega}{D_p} + A_\kappa \sqrt{\frac{q\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 N_0}{12(\varphi_\kappa - U_\kappa)}}. \quad (5)$$

де $I_e(\Phi)$ — струм через емітерний перехід; I_{e0} — зворотний струм емітера; α_w — коефіцієнт підсилення за струмом для зворотного ввімкнення; I_K — струм колекторного переходу; κ — коефіцієнт пропорційності, що визначається тангенсом кута світлової характеристики; $I_\Phi(\Phi)$ — фотострум, викликаний дією оптичного випромінювання; w — ефективна ширина бази; d — товщина шару, з якого йде дифузія; D_p — коефіцієнт дифузії дірок; A_κ — площа колекторного переходу; r_e — диференціальний опір емітерного переходу; A_e — площа емітерного переходу; N_0 — концентрація донорів в базі біля емітера; φ_κ — висота потенціального бар'єра (контактна різниця потенціалів); t_6 — середній час прольоту носіїв через базу.

Використовуючи метод вузлових потенціалів, були отримані математичні вирази для елементів матриці провідності фізичної еквівалентної схеми чотириполосника, утвореного комбінованою оптоенегативною структурою, у схемі із загальним колектором

$$|Z_\kappa(\Phi)| = \begin{vmatrix} \frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} & - \frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} \\ \frac{1}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} & \frac{1}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

що дозволило визначити аналітичні вирази основних параметрів комбінованого оптоенегатрона, залежних від параметрів матриці $|Z_\kappa(\Phi)|$ [3]:

— внутрішнього інваріантного коефіцієнта стійкості

$$K_{с.в(K)}(\Phi) = \frac{2 \operatorname{Re} \left[\frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} \right] \cdot \operatorname{Re} \left[\frac{1}{\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} \right]}{\left| \frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{(\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi)))^2} \right|} - \frac{\operatorname{Re} \left[\frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{(\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi)))^2} \right]}{\frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{(\dot{Z}\alpha(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi)))^2}}; \quad (7)$$

— коефіцієнта підсилення за потужністю.

$$K_{ms}(\Phi) = \left| \frac{1}{1 - \dot{\alpha}(\Phi)} \right|; \quad (8)$$

— максимально-досяжного значення від'ємної дійсної складової перетвореного імітансу для прямого перетворення

$$\operatorname{Re} W_{\max \text{ inp}}^{(-)}(\Phi) = \frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\left[\dot{Z}\epsilon(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi)) \right]^2} (1 - K_{\text{с.в.}(K)}(\Phi)); \quad (9)$$

$$2 \operatorname{Re} \frac{1}{\dot{Z}\epsilon(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))};$$

— вхідного імітансу комбінованого оптонегатрона

$$Z_{\text{inp}}(\Phi) = \frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\dot{Z}\epsilon(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} - \frac{\frac{1 - \dot{\alpha}(\Phi)}{\left[\dot{Z}\epsilon(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi)) \right]^2}}{\frac{1}{\dot{Z}\epsilon(\Phi) + \dot{Z}\delta(1 - \dot{\alpha}(\Phi))} + Z_{\text{H}}}. \quad (10)$$

Частотні залежності даних параметрів від оптичного опромінення наведені нижче.

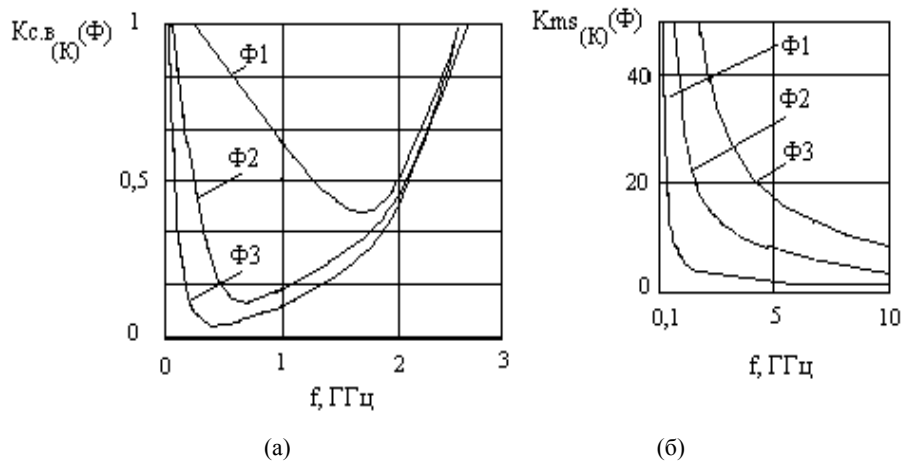


Рис. 2. Частотні залежності внутрішнього інваріантного коефіцієнта стійкості (а) та максимально-досяжного коефіцієнта підсилення за потужністю (б) під впливом оптичного опромінення інтенсивністю $\Phi_1 = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Лм}$, $\Phi_2 = 10 \cdot 10^{-3} \text{ Лм}$, $\Phi_3 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ Лм}$

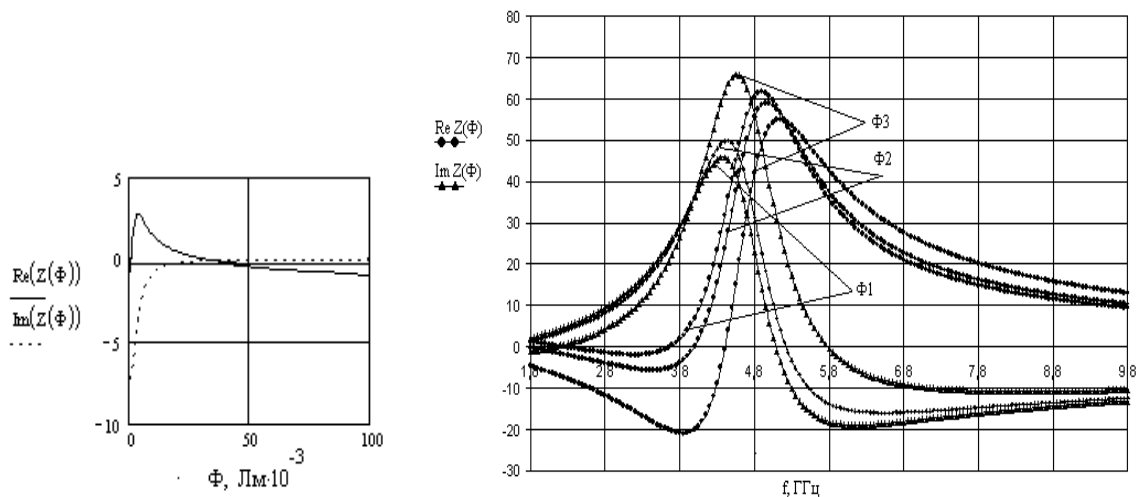


Рис. 3. Вплив інтенсивності оптичного опромінення на активну та реактивну вхідного імітанса

Рис. 4. Частотні залежності дійсної та уявної складових вхідного опору під впливом оптичного опромінення складові

Аналіз отриманих результатів показав, що в області частот до 6,05 ГГц активна складова повного опору набуває від'ємних значень, а реактивна носить індуктивний характер.

Під час дії світла на комбіновану оптонегатронну структуру має місце зміна активної та реактивної складових повного опору, внаслідок чого змінюються оптимальна та гранична частоти.

Слід відзначити різке зростання від'ємного опору із збільшенням інтенсивності оптичного опромінювання, причому початкова величина від'ємного опору визначається параметрами транзисторної структури; реактивна складова при цьому зменшується.

Зменшення коефіцієнта максимально-досяжного підсилення за потужністю зі зростанням частоти стає менш різким. Зміна інтенсивності оптичного опромінення приводить до зсуву оптимальної частоти оптонегатрона в область високих частот.

Область частот, де реалізується від'ємний динамічний імпеданс значно звужується зі зменшенням інтенсивності Φ оптичного опромінювання, що діє на структуру за рахунок зміщення в область високих частот та приводить до зростання чисельних значень $K_{с.в.}$. Найбільше звуження спостерігається в результаті зміни інтенсивності оптичного опромінення $\Phi = (0,1 \div 10) \cdot 10^{-3}$ Лм.

Висновок

Оптичне керування комбінованим оптонегатроном можливе в діапазоні до $100 \cdot 10^{-3}$ Лм.

Значна залежність активної та реактивної складових опору структури від дії оптичного опромінення свідчить про перспективність використання таких оптонегатронних структур в процесі створення оптично керованих фільтрів, генераторів, логічних елементів та оптичних негасенсорів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Філінюк М. А. Оптонегатроніка — історичний шлях розвитку та перспективи // Оптикоелектронні інформаційно-енергетичні технології. — 2001. — № 1. — С. 251—259.
2. Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Радио и связь, 1990. — 263 с.
3. Філінюк Н. А. Активные СВЧ фильтры на транзисторах. — М.: Радио и связь, 1987.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (2—5.07.05)

Надійшла до редакції 11.07.05
Рекомендована до друку 21.07.05

Філінюк Микола Антонович — завідувач кафедри; **Швейкіна Світлана Євгенівна** — аспірант.

Кафедра проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет