

УДК 621.374

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА, Я.С. РОЖКОВА, С.С. ФУРСА, М.А. ФЛІНЮК

## ОПТОЕЛЕКТРОННИЙ ГЕНЕРАТОРНИЙ СЕНСОР НА БАЗІ ДВОХПАРАМЕТРИЧНОГО УПІ

Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,  
E-mail: rozhkova.yana@gmail.com

**Анотація.** В статті розглянуто шлях подолання складностей при проектуванні генераторних сенсорів з допомогою використання розробленої методики функціонального синтезу сенсорів на базі таблиць перетворення імпедансу. Наведено математичну модель, на базі якої отримано таблиці перетворення імпедансу узагальнених перетворювачів на польовому транзисторі (ПТ).

**Аннотация.** В статье рассмотрен путь преодоления сложностей при проектировании генераторных датчиков с помощью использования разработанной методики функционального синтеза датчиков на базе таблиц преобразования иммитанса. Приведена математическая модель, на основании которой получены таблицы преобразования иммитанса обобщенных преобразователей иммитанса (ОПИ) на полевом транзисторе (ПТ).

**Annotation.** Possibility of overcoming of complications is in-process considered at planning of generator sensors by the use of the functional synthesis method on the basis of conversion of immittance tables. Mathematical model was shown and on its basis conversion of immittance tables of the generalized converters of immittance (GCI) on the field transistor (FT) were found.

**Ключові слова:** Імпеданс, узагальнений перетворювач імпедансу (УПІ), польовий транзистор, сенсор.

### ВСТУП

Прилади з негативним імпедансом є перспективними елементами для побудови сенсорів [1], оскільки їх застосування дозволяє зменшити габарити, вагу та енергетичні затрати, а також покращити їх технологічність, надійність, чутливість та розширити діапазон вимірюваних величин. Однак на сьогодні відсутні систематичні теоретичні основи аналізу та синтезу двохпараметричних генераторних сенсорів на основі УПІ.

### МЕТА ТА ЗАДАЧІ РОБОТИ

З метою функціонального синтезу двохпараметричних генераторних сенсорів на основі польового транзистора (ПТ) необхідно розв'язати такі задачі: 1) розробити математичні моделі УПІ на базі ПТ, які враховують залежність його перетвореного імпедансу від фізичних параметрів транзистора; 2) провести дослідження залежності перетвореного імпедансу від приведеної частоти та створити таблиці перетворення імпедансу.

### РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Для розробки математичної моделі УПІ на основі ПТ використовуємо високочастотні схеми двохпараметричних УПІ на базі ПТ включеного з спільним стоком, витокком та затвором (рис. 1).

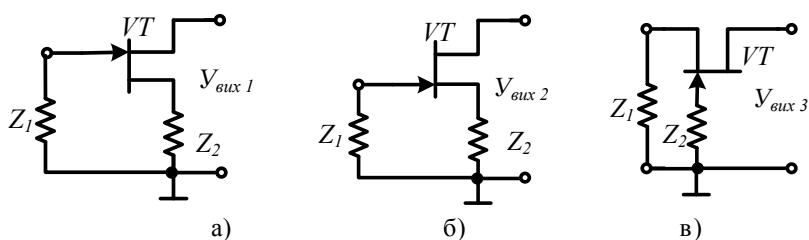


Рис. 1. Високочастотні схеми двохпараметричного УПІ на основі польового транзистора включеного зі спільними стоком (а), витокком (б) та затвором (в)

Оскільки дослідження проводиться для невисоких частот, в фізичній еквівалентній схемі ПТ [2] не враховуватимемо паразитні елементи корпусу та виводів.

Отримаємо вирази для  $Y$ -параметрів трьох схем включення ПТ.

Для схеми включення ПТ зі спільним стоком:

$$[\acute{o}_{\tilde{n}}] = \begin{bmatrix} \frac{\Omega_s \cdot (\Omega_s + j)}{R_i} & -\frac{\Omega_s \cdot (\Omega_s + j)}{R_i} \\ -\frac{\Omega_s + \acute{s} \cdot R_i + j\Omega_s \cdot (1 - \acute{s}R_i)}{R_i} & \frac{\Omega_s + \acute{s} \cdot R_i + j\Omega_s \cdot (1 - \acute{s}R_i)}{R_i} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Для схеми включення ПТ зі спільним витоком:

$$[\acute{o}_{\acute{a}}] = \begin{bmatrix} \frac{\Omega_s^2}{R_i} + j \cdot \frac{\Omega_s}{R_i} & -j \cdot \frac{\Omega_s \cdot \xi_{\zeta}}{R_i} \\ s_0 - j \cdot \Omega_s \cdot s_0 & G + j \cdot \frac{\Omega_s \cdot \xi_{\zeta}}{R_i} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Для схеми включення ПТ зі спільним затвором:

$$[y_{\zeta}] = \begin{bmatrix} s_0 + j \cdot \frac{\Omega_s}{R_{\acute{a}}} \cdot (1 - s_0 \cdot R_{\acute{a}}) & -G + j \cdot \frac{\Omega_s \cdot \xi_{\acute{a}}}{R_{\acute{a}}} \\ -s_0 + j \cdot \Omega_s \cdot s_0 & G + j \cdot \frac{\Omega_s \cdot (\xi_{\zeta} + \xi_{\acute{a}})}{R_{\acute{a}}} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де:  $\Omega_s = \frac{\omega}{\omega_s}$ ;  $\omega_s = \frac{1}{R_i \tilde{N}_{\acute{c}\acute{a}}}$ ;  $R_i$  – диференціальний опір між затвором та витоком,  $\xi_{\zeta} = \frac{\tilde{N}_{\acute{c}\acute{a}}}{\tilde{N}_{\acute{c}\tilde{n}}}$  і  $\xi_{\acute{a}} = \frac{\tilde{N}_{\acute{c}\acute{a}}}{\tilde{N}_{\tilde{n}\acute{a}}}$ ;  $C_{\text{ж}}$ ,  $C_{\text{ст}}$  та  $C_{\text{зс}}$  – ємність затвор-витік, стік-витік та затвор-стік, відповідно;  $\acute{s} = \frac{s_0}{(1 + j\Omega_s)}$ .

$Y$ -параметри двохпараметричних УПІ, містять в собі матриці  $y$ -параметрів фізичних еквівалентних схем ПТ і перетворений опір  $Z_2$ , ввімкнений в загальний вивід ПТ:

$$[Y] = \begin{bmatrix} \frac{y_{11} + Z_2 \cdot \Delta y}{1 + Z_2 \cdot \sum y} & \frac{y_{12} - Z_2 \cdot \Delta y}{1 + Z_2 \cdot \sum y} \\ \frac{y_{21} - Z_2 \cdot \Delta y}{1 + Z_2 \cdot \sum y} & \frac{y_{22} + Z_2 \cdot \Delta y}{1 + Z_2 \cdot \sum y} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $\sum y = y_{11} + y_{12} + y_{21} + y_{22}$ ;  $\Delta y = y_{11} y_{22} - y_{21} y_{12}$ ;  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{21}$ ,  $y_{22}$  – параметри матриці провідності польового транзистора.

Вихідна перетворена провідність такого двохпараметричного заземленого УПІ дорівнює:

$$Y_{\acute{a}\acute{o}} = \frac{1}{k} \left[ y_{22} + Z_2 \Delta y - \frac{(y_{11} - Z_2 \Delta y)(y_{21} - Z_2 \Delta y)}{y_{11} + Z_2 \Delta y + k y_1} \right], \quad (5)$$

де  $k = 1 + Z_2 \sum y$ ,  $y_1 = 1/Z_1$ .

Системи рівнянь (1–5) утворюють математичні моделі двохпараметричних УПІ на базі польової транзисторної структури та дозволяють створити таблиці перетвореного імітансу таких УПІ.

З використанням розроблених математичних моделей (1 – 5) отримані таблиці перетворення імітансу УПІ з спільним стоком (табл. 1), з спільним витоком (табл. 2) та зі спільним затвором (табл. 3), за методикою, описаною в [1] для однопараметричних УПІ.

Таблиця 1

Перетворення імітансу УПШ<sub>С</sub>

$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих1}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих1}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих1}$
R	R		L	R		C	R	
	L			L			L	
	C			C			C	

При перетворенні імітансу УПШ<sub>В</sub>, вихідний імітанс індуктивний з негативною активною складовою у випадку, коли  $Z_1$  є індуктивністю, а  $Z_2$  – активним опором. У всіх інших випадках спостерігаються додатні значення активної складової перетвореного імітансу, а уявна складова є індуктивною в усіх випадках, окрім тих, коли вхідний опір  $Z_1$  є активним для  $Z_2$ , який є активним, ємнісним та індуктивним опором.

Таблиця 2

Перетворення імітансу УПШ<sub>В</sub>

$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих2}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих2}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих2}$
R	R		L	R		C	R	
	L			L			L	
	C			C			C	

Таблиця 3

Перетворення імітансу УПШ<sub>З</sub>

$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих3}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих3}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих3}$
R	R		L	R		C	R	
	L			L			L	
	C			C			C	

Аналіз таблиці перетворення імпедансу УПШ<sub>С</sub> показує, що перетворений вихідний імпеданс при  $s_0=0,33 \text{ мА/В}$  має позитивну дійсну складову  $R_{вих} > 0$ , окрім випадків коли  $Z_1$  є активним опором, а  $Z_2$  – індуктивним та  $Z_1$  є ємнісним, а  $Z_2$  – активним опором. Уявна ж складова має змішаний характер: індуктивний характер, коли  $Z_1$  і  $Z_2$  мають індуктивний характер, і коли  $Z_1$  має ємнісний характер, а  $Z_2$  – індуктивний та  $Z_1$  і  $Z_2$  мають ємнісний характер, коли дійсна складова може набувати, як від’ємне так і додатне значення, а також індуктивно-ємнісний характер у всіх інших випадках.

При перетворенні імпедансу УПШ<sub>3</sub>, вихідний імпеданс містить негативну активну складову при  $s < 1$  у випадку, коли:  $Z_1$  є активним опором, а  $Z_2$  – індуктивним;  $Z_1$  і  $Z_2$  є індуктивними, а також у випадку, коли опір  $Z_1$  носить ємнісний характер, а  $Z_2$  – індуктивний. У всіх інших випадках значення активної складової перетвореного імпедансу є додатними, а уявна складова є індуктивною в усіх випадках, окрім тих, коли вхідний опір  $Z_1$  має індуктивний характер, а  $Z_2$  – є активним опором, і при  $Z_1$  є активним опором та ємнісним, а  $Z_2$  – активним опором (у цьому випадку характер уявної частини перетвореного імпедансу є змішаним, тобто містить як індуктивну, так і ємнісну складову).

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДВОХПАРАМЕТРИЧНОГО СЕНСОРА

Узагальнена високочастотна схема генераторного сенсора, зображеного на рисунку 2, складається з активного резонатора, утвореного реактивними елементами з різними знаками провідності ( $jB_1$  та  $-jB_2$ ) та сумарної активної провідності  $G_\Sigma$ . Сумарна активна провідність  $G_\Sigma$  включає дисипативні втрати в резонаторі та навантаженні, випромінюючій антені  $A$  та інформаційну дію  $F$ , яка впливає на параметри одного або декількох компонентів активного резонатора, та призводить до зміни частоти генеруємих коливань  $f_{ген} = F(\Phi)$ .

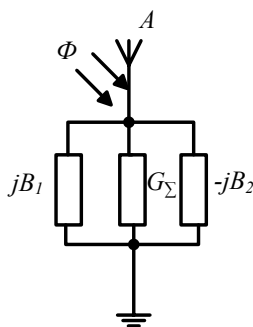


Рис. 2. Узагальнена високочастотна схема генераторного сенсора

Амплітудні умови самозбудження такого резонатора виконуються при  $G_\Sigma < 0$ , що можливо тільки при наявності в резонаторі від’ємної реальної складової провідності. Фазові умови самозбудження виконуються при  $B_1 - B_2 = 0$ . Враховуючи, що в мікрохвильовому діапазоні частот найменшу добротність мають індуктивні компоненти і вони найбільш підлягають зовнішнім впливам, в активному резонаторі слід використовувати пасивну ємність з провідністю  $jB_1$ , а з використанням УПШ реалізується реактивна провідність  $-jB_2$  з від’ємною реальною складовою. Вибір способу такої реалізації забезпечує використання розроблених таблиць перетворення імпедансу (табл. 1–3).

Наприклад, при побудові резистивного ємнісно-двохпараметричного генераторного сенсора вище сформульовані умови, які виконуються при використанні УПШ на базі польового транзистора, ввімкненого по схемі зі спільним стоком, в режимі, коли  $Z_1 = 1/j\omega C$  і  $Z_2 = R$  (табл. 1). Принципова схема радіочастотного датчика (РЧД), реалізованого на польовому транзисторі, що використовується як двохпараметричний УПШ, представлена на рисунку 3а.

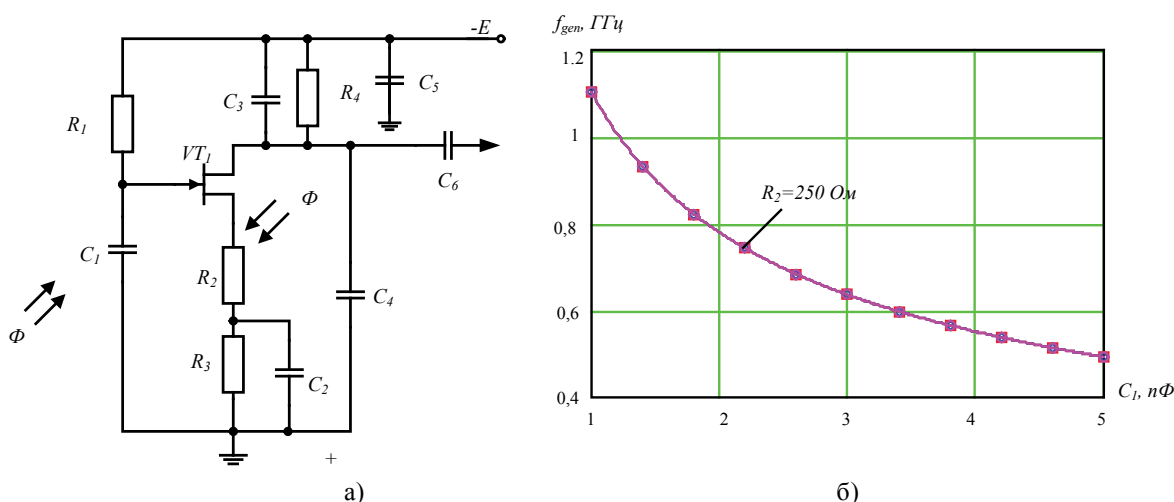


Рис. 3. Принципова схема (а) та залежність частоти генерації (б) РЧД від ємності  $C_1$

Резистори  $R_1, R_3, R_4$  і конденсатори  $C_2, C_3, C_5$  (рис.3, а) забезпечують робочу точку польового транзистора в активній області. Конденсатор  $C_1$  і резистор  $R_2$  представляють відповідно ємнісний та резистивний первинні вимірювальні перетворювачі, параметри яких залежать від інформаційного сигналу  $\Phi$ . Як видно з результатів моделювання (рис. 3,б) [3] використання двопараметричних УПП забезпечує зміну частоти генерації від 0,5 до 1,1  $\text{MHz}$  при зміні ємності  $C_1$  від 5 до 1  $\text{nF}$ , при чутливості 280  $\text{MHz/nF}$  та дозволяє одержувати сумарну інформацію про об'єкт одразу по двом інформаційним каналам (наприклад, при реалізації охоронної функції і т.д.). У такий самий спосіб можлива побудова таблиць перетворення імпедансу і для польового транзистора в режимі прямого включення. За допомогою даних таблиць було створено оптоелектронний генераторний датчик.

Оптоелектронний генераторний сенсор заснований на польовому транзисторі  $VT_1$ , що використовується як двопараметричний узагальнений перетворювач імпедансу (УПП), перетворений імпеданс якого між стоком та загальною шиною залежить від імпедансів першого  $R_3$  та другого  $R_4$  резистивних первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) (рис.4).

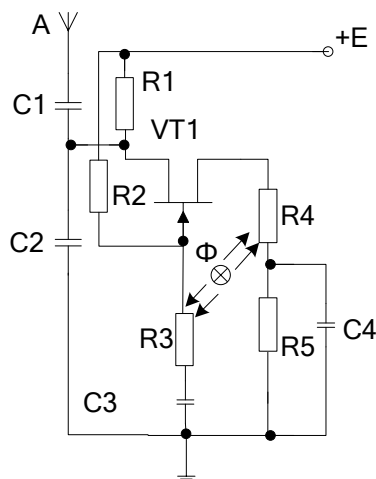


Рис. 4. Схема оптоелектронного генераторного сенсора

При прямому зміщенні на затворі та резистивному характері імпедансу фотоприймачів  $R_3$  та  $R_4$  відбувається їх трансформація в індуктивний імпеданс  $-j \cdot \text{Im} Y_{B2}$  з від'ємною активною складовою  $\text{Re} Y_c$  між стоком транзистора  $VT_1$  та загальною шиною. Індуктивний імпеданс  $-j \text{Im} Y_{B2}$  резонує з ємнісним імпедансом  $j \text{Im} Y_E$  конденсатора  $C_2$ , забезпечуючи баланс фаз на частоті  $f_{gen} = \frac{\text{Im} Y_{B2}}{2\pi \cdot C_2}$ , а від'ємна активна складова

$\text{Re} Y_c < 0$ , компенсуючи дисипативні втрати в контурі, забезпечує баланс амплітуд на частоті  $f_{gen}$ , що призводить до збудження схеми та генерації коливань. Зміна частоти  $f_{gen}$  коливань забезпечує двократне збільшення чутливості генераторного датчика.

### ВИСНОВКИ

Запропоновано шлях розв'язання задачі функціонального синтезу двохламетричних генераторних сенсорів. Для цього розроблено методику синтезу сенсорів, що базується на таблицях перетворення імпедансу, в яких використано лише якісні показники, які не залежать від чисельних значень перетворених імпедансів.

Перевагою розробленого методу синтезу є відсутність необхідності використання додаткового математичного апарату, робота з кількісною оцінкою і можливість отримання всіх можливих варіантів реалізації синтезуючого пристрою на певному виді УПП.

На основі запропонованої методики розроблено двохламетричний оптоелектронний генераторний сенсор, перевагою якого є підвищена чутливість.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Філінюк М.А. Основи негatronіки. Т. 1. Теоретичні і фізичні основи негatronіки / М.А. Філінюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 456с. – ISBN 966–641–198–9
2. Філінюк М. А. Метрологічні основи негatronіки: монографія. / М. А.Філінюк, Д. В. Гаврилов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 188 с. – ISBN 966–641–168–7
3. Радзевич В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave office./ В. Д. Радзевич, Ю. В. Потапов. – М.:САЛОН–Пресс, 2003. – 496с. – ISBN 5-98003-089-1

Надійшла до редакції 23.10.2010р.

**ЛІЩИНЬКА ЛЮДМИЛА БРОНІСЛАВІВНА** – к.т.н., доцент, Вінницький торговельно-економічний інститут, Вінниця, Україна.

**РОЖКОВА ЯНА СЕРГІЇВНА** – студентка кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ФУРСА СВІТЛАНА ЄВГЕНІВНА** – к.т.н., старший викладач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

**ФІЛІНЮК МИКОЛА АНТОНОВИЧ** – д.т.н., професор, завідувач кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.