

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**ТКАЧУК ЯНА СЕРГІЇВНА**

УДК 621.38

**БАГАТОКАСКАДНІ УЗАГАЛЬНЕНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ІМІТАНСУ ТА  
ГЕНЕРАТОРНІ ДАВАЧІ НА ЇХ ОСНОВІ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, доцент  
**Ліщинська Людмила Броніславівна,**  
Вінницький торговельно-економічний інститут  
Київського національного  
торговельно-економічного університету,  
завідувач кафедри економічної  
кібернетики та інформаційних систем.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Невлюдов Ігор Шакирович,**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки,  
завідувач кафедри технології та автоматизації  
виробництва радіоелектронних та електронно-  
обчислювальних засобів

доктор технічних наук, професор  
**Ситніков Валерій Степанович,**  
Одеський національний політехнічний  
університет, завідувач кафедри комп'ютерних  
систем.

Захист відбудеться “ 5 ” лютого 20 16 р. о 12:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ГУК, к. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “ 9 ” грудня 2015 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

С.М.Захарченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Прогрес розвитку сучасного суспільства визначається успіхами у розвитку комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних систем і компонентів. Однак, нерідко одержання високих технічних характеристик досягається за рахунок підвищення їх складності, габаритів, маси і вартості. Для подальшого вдосконалення розроблюваних компонентів інформаційно-вимірювальних систем необхідно здійснювати подальше вдосконалення теорії побудови та пошук нових принципів фізичної реалізації таких пристроїв, які відрізняються багатофункціональністю, малим споживанням енергії та високою чутливістю.

На сучасному етапі розвитку елементної бази до перспективних відносяться перетворювачі опору, які мають комплексний коефіцієнт перетворення імітансу. Такі пристрої одержали назву узагальнені перетворювачі імітансу (УПІ). Вперше перетворювачі опору були реалізовані на основі електронних ламп, а їх теорія базувалася на властивостях чотирьох полюсників, охоплених зворотним зв'язком. Такі перетворювачі імпедансу не знайшли широкого застосування через певні недоліки, притаманні електронним лампам. У 50- 60 роках минулого сторіччя розпочався новий виток у розвитку теорії схемотехнічних перетворювачів опору, який ґрунтувався на використанні транзисторів. Найширше застосування такі перетворювачі отримали при створенні активних РС-фільтрів. Подальшим їх розвитком стало використання операційних підсилювачів та конвеєрів струму, але їх частотний діапазон обмежувався частотами 1 – 3 ГГц. Введення М. А. Філінюком поняття узагальненого перетворювача імітансу дозволило реалізовувати будь-яку функцію імітансу, а застосування біполярних та польових транзисторів (за рахунок використання їх внутрішнього зворотного зв'язку) як однокристальних перетворювачів дозволило вирішити проблему покращення параметрів добротності та вибіркової пристроїв із ростом частоти, а також розширити діапазон використання перетворювачів імітансу до діапазону частот роботи сучасних транзисторів (100 – 200 ГГц). На сьогоднішній день УПІ використовуються при побудові різного роду давачів, активних УВЧ і НВЧ фільтрів, комутаторів і вимикачів, фазообертачів, перетворювачів частоти, тощо. УПІ є перспективними елементами для побудови на їх основі різних інформаційних пристроїв, оскільки дозволяють покращити їх технологічність, чутливість та розширити їх функціональні можливості.

Значний внесок у розробку теорії УПІ та принципів побудови інформаційних пристроїв на їх основі зробили такі вчені як Д. Лінвіл (J. G. Linvill), А. Антоніу (A. Antoniou), В. Е. Хейнлейн, А. С. Седра (A. S. Sedra), А. С. Коротков, А. В. Розов, Л. І. Бабак, М. А. Філінюк, Л. Б. Ліщинська, В. С. Осадчук та ін. В наукових роботах цих вчених узагальнені результати як теоретичних, так і практичних досліджень різних видів УПІ та їх застосування. Кожна публікація цих авторів зробила значний внесок в розвиток інформаційних систем. Однак аналіз публікацій щодо

реалізації та застосування УПП показав, що вони, загалом, використовуються в «однопараметричному» режимі, коли перетворений імітанс є функцією лише одного параметра, що значно обмежує функціональні можливості інформаційних пристроїв, розроблених на їх основі. Багатопараметричні однокристальні УПП<sub>N</sub> мають ширші функціональні можливості. Однак у наш час відсутні систематичні дослідження їх властивостей при каскадному з'єднанні багатопараметричних УПП<sub>N</sub>, зокрема недосліджені питання стійкості, чутливості, їх поведінки у ВЧ діапазоні. А ці властивості відкривають нові можливості реалізації високоефективних компонентів інформаційно-вимірювальних систем, зокрема, радіочастотних давачів. З огляду на це, тема даної дисертаційної роботи, яка присвячена багатокаскадним узагальненим перетворювачам імітансу та розробці генераторних давачів на їх основі, є актуальною науково-практичною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота відповідає координаційному плану науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України за напрямом 6 – інформатика, автоматизація і приладобудування. Робота виконана на кафедрі проектування комп'ютерної і телекомунікаційної апаратури Вінницького національного технічного університету у рамках держбюджетних тем: «Аналіз і синтез R-, L-, C-негатронів на базі інжекційно-польових ефектів в багатоелектродних напівпровідникових структурах Шотткі та створення на їх основі високоефективних інформаційних пристроїв» (№ держ. реєстрації 0108U000660); «Розробка теоретичних основ побудови та створення енергозберігаючих інформаційних пристроїв на базі багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу» (№ держ. реєстрації 0111U001112); «Розробка інформаційних пристроїв і засобів оцінювання джитеру на базі принципів нечіткого імітанса та цифрової обробки сигналів» (№ держ. реєстрації 0114U003463).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є покращення технічних характеристик (підвищення чутливості та розширення функціональних можливостей) компонентів інформаційно-вимірювальних систем за рахунок використання каскадного з'єднання багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу на основі польової транзисторної структури.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені і вирішені **задачі**:

- аналіз сучасних досягнень у галузі реалізації і застосування перетворювачів імітансу;
- розробка математичної моделі багатокаскадних УПП<sub>N</sub> з урахуванням електричних параметрів польової транзисторної структури;
- дослідження двопараметричних УПП<sub>N</sub>, реалізованих на основі польового транзистора;
- розробка і дослідження радіочастотних давачів, на основі багатопараметричних багатокаскадних УПП<sub>N</sub>.

*Об'єктом дослідження* є процес перетворення інформаційних сигналів у засобах обробки інформації з частотним поданням.

*Предметом дослідження є багатопараметричні багатокаскадні УПН, реалізовані на основі польової транзисторної структури.*

**Методи дослідження** базуються на використанні: теорії матриць та теорії комплексних чисел для розробки математичної моделі багатокаскадного УПН, утвореного комбінацією  $N$  триполіусників; теорії конформних відображень для дослідження параметрів імітансного кола багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу; теорії стійкості для визначення умов стійкості двопараметричних УПН на основі польового транзистора; теорії перетворювачів імітансу для дослідження робочих параметрів УПН; теорії аналізу електронних схем для визначення основних параметрів генераторних давачів на базі польового транзистора; теорії синтезу таблиць перетворення імітансу для побудови таблиць перетворення імітансу багатопараметричних однокристальних УПН; теорії планування експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки отриманих результатів.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що:

1. Вперше запропоновано метод оптимізації параметрів радіочастотних давачів на основі узагальнених перетворювачів імітансу, який забезпечує досягнення давачем максимальної чутливості в зоні як абсолютної стійкості, так і потенційної нестійкості УПН, що дозволяє використовувати його для побудови як генераторних, так і підсилюючих давачів.

2. Вперше розроблено математичну модель трипараметричного генераторного давача на базі двокаскадного УПН, реалізованого на ПТ, яка описує взаємозв'язок параметрів давача з параметрами УПН і первинних вимірювальних перетворювачів, що дозволяє провести аналіз чутливості давача.

3. Отримала подальшого розвитку математична модель багатокаскадного УПН, утвореного комбінацією  $N$  триполіусників, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує електричні параметри польової транзисторної структури та описує залежність перетвореної провідності багатокаскадного УПН як від кількості каскадів  $N$ , так і від значень перетворених опорів ( $Z_0 \dots Z_N$ ), що дозволяє провести розрахунки різних видів інформаційних пристроїв, утворених каскадним з'єднанням триполіусників.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в тому, що:

1. Досліджено параметри двопараметричних УПН на базі польового транзистора, що дозволило визначити їх чутливість до дестабілізуючих факторів, умови їх потенційної нестійкості та розробити однокристальні генераторні давачі на основі таких УПН.

2. На основі одержаних теоретичних положень розроблено принципові електричні схеми двопараметричних і трипараметричних генераторних давачів та досліджено їх основні параметри. Розроблені давачі придатні до виготовлення у вигляді інтегральної мікросхеми у широкому діапазоні частот та мають високу чутливість за рахунок того, що вихідний сигнал є функцією відповідно двох і трьох змінних.

3. Проведено аналіз чутливості давачів на основі двох каскадів багатопараметричних УПН, що дозволяє здійснити пошук найбільш

оптимальних комбінацій каскадів багатопараметричних УП<sub>N</sub> з точки зору досягнення максимальної чутливості давача.

4. Розроблено програмне забезпечення для визначення основних параметрів розробленої автором моделі індуктивно-резистивного генераторного давача, яке може бути використане для їх інженерного розрахунку.

Результати досліджень впроваджені і використовуються у науково-виробничому підприємстві «ВТН» (м. Вінниця, акт від 17.09.2015 р.) та в навчальному процесі у Вінницькому національному технічному університеті на кафедрі проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури при вивченні дисциплін «Основи негatronіки» та «Пристрої на елементах з від'ємним опором» (м. Вінниця, акт від 09.09.2015 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі результати, що складають основний зміст роботи, отримані автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, автору належать: аналіз якості однокристальних конверторів імітансу [1, 11]; розробка конструкції оптоелектронного генераторного сенсора [2, 15]; синтез таблиць перетворення імітансу для двопараметричних УП на основі польового транзистора [3, 12, 13, 16]; розробка топології схеми давача [4, 21]; дослідження основних параметрів двопараметричного генераторного давача [5, 20]; дослідження параметрів імітансного кола двопараметричного УП на основі польового транзистора [6]; розробка математичної моделі трипараметричного генераторного давача на базі двокаскадного УП<sub>N</sub> [7, 22]; розвиток методу оптимізації параметрів генераторних давачів, утворених комбінацією УП та ПВП [8]; аналіз чутливості давачів на основі двох каскадів багатопараметричних УП [9]; розробка математичної моделі багатопараметричних багатокаскадних УП<sub>N</sub> на основі польової транзисторної структури [10, 23]; формулювання вимог до багатопараметричних радіочастотних давачів [14, 18]; розробка електричної принципової схеми давача [24 – 28, 30]; розробка програмного модулю розрахунку параметрів давача [29]; розробка електричної принципової схеми давача [31].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і наукові результати роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях: «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія», (Вінниця, 2010 р.); «Photonics-ODS 2010», (Вінниця, 2010 р.); «Современные информационные и электронные технологии», (СИЭТ-2011 р.), (Одеса, 2011 р.); «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я», (Харків, 2011 р.); «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (Харків, 2012 р.); «Датчики, приборы и системы – приборостроение 2013» (Ялта, 2013 р.); «Сенсорна електроніка і мікросистемні технології» (СЕМСТ-2014), (Одеса, 2014 р.), щорічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ, (Вінниця, 2013-2014 рр.).

А також результати роботи були апробовані на Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт 2010/2011 за напрямком «Радіотехніка», (Харків, 2011 р.) та Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт 2011/2012 за напрямком «Електроніка», (Херсон, 2012 р.).

**Публікації.** За тематикою досліджень опубліковано 31 наукову працю, серед них 10 статей у виданнях, що входять до переліку фахових видань, з яких 6 опубліковано у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, 2 публікації у зарубіжних виданнях, 11 тез доповідей, 6 патентів України на корисну модель, 1 патент України на винахід та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, що містять 108 рисунків і 10 таблиць, висновків по роботі, списку використаних джерел з 201 найменування та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 215 сторінок, з яких основний зміст викладено на 148 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та напрямок досліджень, відзначено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, надано інформацію про їх впровадження, апробацію і публікації, окреслена структура роботи.

**У першому розділі** проведено аналіз сучасних досягнень у галузі реалізації і застосування перетворювачів імітансу. Інформаційні пристрої, в основі побудови яких лежать УПП, характеризуються високою чутливістю, невеликими розмірами і масою, простотою конструкції, широким діапазоном робочих температур та високою добротністю. Однак аналіз публікацій показав, що УПП використовуються в «однопараметричному» режимі, коли перетворений імітанс є функцією лише одного параметра, що значно обмежує функціональні можливості інформаційних пристроїв на основі таких УПП. Подолати цей недолік можна шляхом використання багатопараметричних однокристальних УПП<sub>N</sub>, які мають ширші функціональні можливості, а їх використання дозволяє покращити технічні параметри компонентів інформаційно-вимірювальних систем. Проте, на сьогоднішній день відсутні ґрунтовні дослідження використання каскадного з'єднання багатопараметричних УПП, а також питання їхньої стійкості, чутливості та вибору елементної бази. А ці властивості відкривають нові можливості реалізації високоефективних компонентів комп'ютерних систем, зокрема, радіочастотних давачів, які відрізняються багатофункціональністю, малим споживанням енергії та високою чутливістю.

**У другому розділі** отримала подальший розвиток математична модель багатокаскадного УПП, утвореного комбінацією N триполосників, яка описує залежність перетвореної провідності багатокаскадного УПП<sub>N</sub> як від кількості каскадів N, так і від значень перетворених опорів ( $Z_0 \dots Z_N$ ) і від параметрів окремих каскадів  $[y^i]$ . Перетворена провідність  $Y_{вих.N}$  N-ного каскаду багатопараметричного УПП<sub>N</sub> визначається виразом (1)

$$Y_{вих.N} = Y_{22}^N - \frac{Y_{12}^N Y_{21}^N}{Y_{11}^N + Y_{вих.(N-1)}}, \quad (1)$$

$$Y_{\text{вх.}N} = \frac{y_{22}^i + Z_i \Delta y_i}{K_i} - \frac{y_{12}^i - Z_i \Delta y_i \cdot y_{21}^i - Z_i \Delta y_i \cdot y_{11}^i + Z_i \Delta y_i + K_i \cdot Y_{\text{вх.}(N-1)}}{K_i^3}, \quad (2)$$

де  $\Delta y_i = y_{11}^i \cdot y_{22}^i - y_{21}^i \cdot y_{12}^i$ ;  $y_{11}, y_{12}, y_{13}, y_{21}, y_{22}, y_{23}, y_{31}, y_{32}, y_{33}$  – параметри невизначеної матриці провідності залежного чотириполюсника;  $Z_i$  – перетворюваний опір;  $K_i = 1 + Z_i \sum y_i$ ;  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $N$  – кількість каскадів.

При цьому,

$$\begin{aligned} Y_{11}^i &= y_{11}^i + Z_i \Delta y_i / K_i; & Y_{12}^i &= y_{12}^i - Z_i \Delta y_i / K_i; \\ Y_{21}^i &= y_{21}^i - Z_i \Delta y_i / K_i; & Y_{22}^i &= y_{22}^i + Z_i \Delta y_i / K_i, \end{aligned}$$

а перетворена провідність першого каскаду

$$Y_{\text{вх.}1} = Y_{22}^1 - \frac{Y_{12}^1 Y_{21}^1}{Y_{11}^1 + 1/Z_0}. \quad (3)$$

Найпростішим багатопараметричним УПН, який може бути базовою ланкою більш складних УПН, є УПН на базі триполюсника. Для ефективного використання УПН на базі триполюсників різної фізичної природи, розроблено математичну модель двопараметричного УПН на польовій транзисторній структурі (ПТС). Вважається, що триполюсник є квазілінійним, і його можна описати системою адмітансних параметрів (4). За умови, що  $Z_2 \neq 0$ , утворюється чотириполюсник, адмітансні параметри якого залежать від  $Z_2$ :

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_{11} + Z_2 \Delta y}{1 + Z_2 \sum y} & \frac{y_{13} - Z_2 \Delta y}{1 + Z_2 \sum y} \\ \frac{y_{31} - Z_2 \Delta y}{1 + Z_2 \sum y} & \frac{y_{33} + Z_2 \Delta y}{1 + Z_2 \sum y} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де  $\sum y = y_{11} + y_{13} + y_{31} + y_{33}$ ;  $\Delta y = y_{11} \cdot y_{33} - y_{31} \cdot y_{13}$ .

З урахуванням підключеного до входу такого чотириполюсника перетвореного імітансу  $Z_1$ , аналітичний опис перетвореного імітансу  $Y_{\text{вх}}$  визначається як

$$Y_{\text{вх}} = Y_{22} - Y_{12} \cdot Y_{21} / Y_{11} + (1/Z_1). \quad (5)$$

Математична модель являє собою визначену систему параметрів, яка дозволяє дослідити його властивості при використанні будь-якого виду квазілінійного триполюсника не залежно від діапазону частот. Характерними параметрами УПН, які визначають математичну модель, є:

- 1) перетворений імітанс —  $W_{\text{вх}}$  ( $W_{\text{вх}}$ );
- 2) коефіцієнт перетворення імітансу —  $T$ ;
- 3) інваріантний коефіцієнт стійкості —  $K_c$ ;
- 4) чутливість коефіцієнта перетворення імітансу —  $S_{\alpha_i}^T$ ;



- 5) максимальнодосяжний коефіцієнт передачі по потужності на межі стійкості  $K_{ms}$ ;
- 6) коефіцієнт невзаємності -  $K_H$ ;
- 7) максимально-досяжне значення від'ємної складової перетвореного імітансу -  $\text{Re}W_{ex.max}^{(-)}$ ;
- 8) гранична частота  $f_G$  ( $K_c = 1$ );
- 9) оптимальна частота перетворення імітансу  $f_{opt}$ ;
- 10) максимальний радіус імітансних кіл -  $\rho_{max}$ ;
- 11) активна складова координати центра імітансного кола  $\text{Re}W_{ex.0}$ ;
- 12) мінімально-досяжне значення коефіцієнта шуму  $F_{u.min}$ .

Перевірка коректності розроблених математичних моделей проведено з використанням схеми трипараметричного двокаскадного УПН (рис. 1).

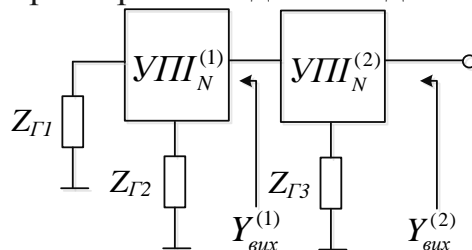


Рисунок 1 — Структурна схема двокаскадного трипараметричного УПН

Результати експериментального дослідження та розрахунку частотних залежностей перетвореної провідності давача наведено на рис. 2. Порівняння результатів показали розбіжності їх значень не більше 0,5%.

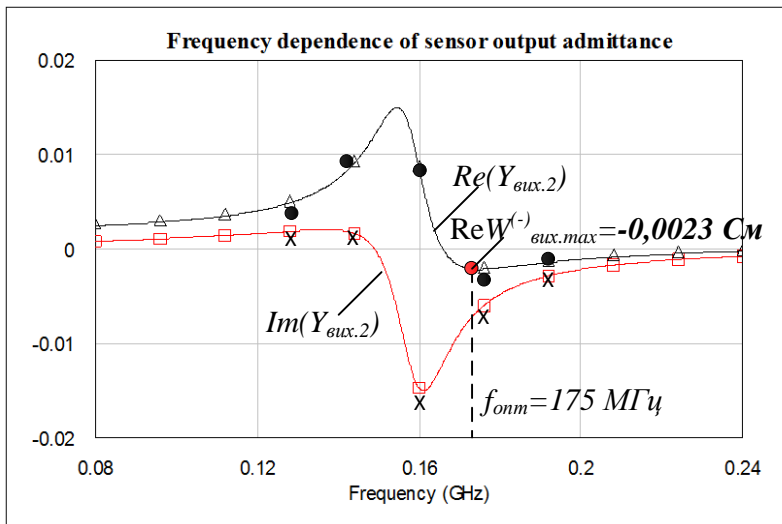


Рисунок 2 — Частотні залежності перетвореного адмітансу  $Y_{vux.2}$ : «—•—» — результати розрахунку; «××××» та «••••» — експериментальні точки

Максимальне від'ємне значення реальної складової вихідного адмітанса  $\text{Re}W_{vux.max}^{(-)}$  складає  $-0,0023$  См (рис. 2), а похибка між результатами моделювання та розрахунку даного параметра не перевищує 0,42%. Частота, яка відповідає максимальному значенню  $\text{Re}W_{vux.max}^{(-)} = -0,0023$  См при постійному значенні перетворюваних імітансів, є оптимальною частотою перетворення  $f_{opt} = 175$  МГц. Похибка за цим параметром становить 0,57%.

Аналіз результатів розрахунку та експериментального дослідження за визначеною системою параметрів багатопараметричних УПН, підтверджує коректність розробленої математичної моделі. Розбіжність не перевищує 5%. Це вказує на доцільність

використання такої моделі для розрахунку різних видів інформаційних пристроїв, утворених каскадним з'єднанням триполосників.

У третьому розділі на основі розроблених математичних моделей досліджено параметри двопараметричного УПІ на польовому транзисторі в режимі прямого та зворотного перетворення для трьох схем включення ПТ, вхідна та загальна клеми якого навантажувались різними імпедансами.

До основних параметрів імітансного кола відносять його радіус  $\rho$ , координату центра  $Y_0$ , а також низку характерних точок на цьому колі (рис. 3): екстремальні точки 2 і 5, які характеризують максимально-досяжні значення уявної складової перетвореного адмітанса, та екстремальна точка 8, яка характеризує мінімально-досяжне значення дійсної складової перетвореного адмітанса.

Аналіз імітансних кіл двопараметричних УПІ показав, що для конвертора імітансу на основі ПТ<sub>с</sub> зменшення як активного, так і реактивного опору  $Z_2$ ,

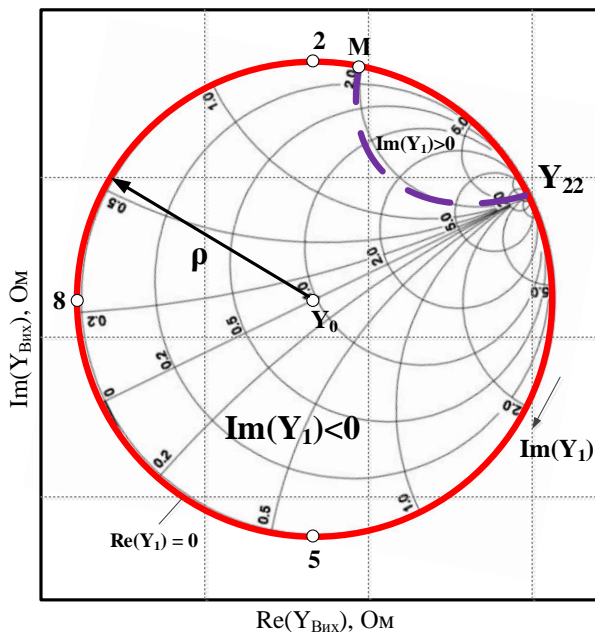


Рисунок 3 — Вихідне імітансне коло з вписаною діаграмою Вольперта-Сміта

приводить до зростання радіусу імітансних кіл  $\rho$ . При цьому, в режимі зворотного перетворення імітансні кола мають набагато менші радіуси, та, як наслідок зменшені діапазони можливих значень перетвореного імітансу, ніж в режимі прямого перетворення. Для конвертора імітансу на основі ПТ<sub>в</sub> поведінка радіуса імітансного кола змінюється, залежно від режиму перетворення: спадає у випадку прямого перетворення, та зростає в режимі зворотного перетворення при збільшенні як активного, так і реактивного опору  $Z_2$ . Для УПІ на основі ПТ<sub>з</sub> в режимі прямого перетворення радіуси імітансних кіл при

$Z_2 = j\omega L$  та  $Z_2 = R$  збільшуються, а

$Z_2 = -1/j\omega C$  - зменшуються при зростанні значень активного та реактивного опорів перетворюваного імпедансу. В зворотному режимі перетворення ситуація протилежна: при  $Z_2 = -1/j\omega C$  значення радіуса імітансного кола збільшується при зростанні значень імпедансу  $Z_2$ , а при  $Z_2 = j\omega L$  та  $Z_2 = R$  - навпаки, зменшується. Нелінійна залежність координат точки центру кола УПІ на основі ПТ<sub>с</sub> від  $Z_2 = j\omega L$  при  $\text{Im}(Z_2) > 0$  дозволяє змінювати характер перетворювача імітанса в критичній точці 8 з конвертора на інвертор, що істотно розширює функціональні властивості УПІ. Змінюючи значення  $Z_2 = R$  можна керувати уявною координатою медіани, а зміною  $Z_2 = 1/j\omega C$  та  $Z_2 = j\omega L$  - її дійсною координатою. Це дозволяє регулювати ширину конвертуючої та інвертуючої областей перетворення імітансу  $Z_1$ .

Важливим параметром двопараметричного УПІ слід вважати його інваріантний коефіцієнт стійкості  $K_{y.в.}$ , який характеризує запас стійкості УПІ і пов'язаний з параметрами імітансного кола співвідношенням (6).

$$K_{y.в.} = \operatorname{Re}(Y_0) / \rho. \quad (6)$$

Встановлено, що в діапазоні від  $\Omega = 0,05$  для всіх трьох схем включення ПТ двопараметричний УПІ на його основі можна розглядати як узагальнений конвертор імітансу. Схеми є потенційно-нестійкими у діапазоні частот від  $\Omega = 0,017$  до  $\Omega = 0,25$  (рис. 4), що дозволяє реалізувати на їх клеммах від'ємний дійсний імітанс ( $\operatorname{Re}W^{(-)}_{max}$ ) і свідчить про розширені функціональні можливості таких УПІ. Ця властивість двопараметричних УПІ забезпечує реалізацію на їх основі генераторних давачів. Необхідною умовою при цьому є вибір значень перетворюваних імпедансів, за яких дійсна складова перетвореного імпедансу знаходиться поблизу її максимально-досяжних від'ємних значень.

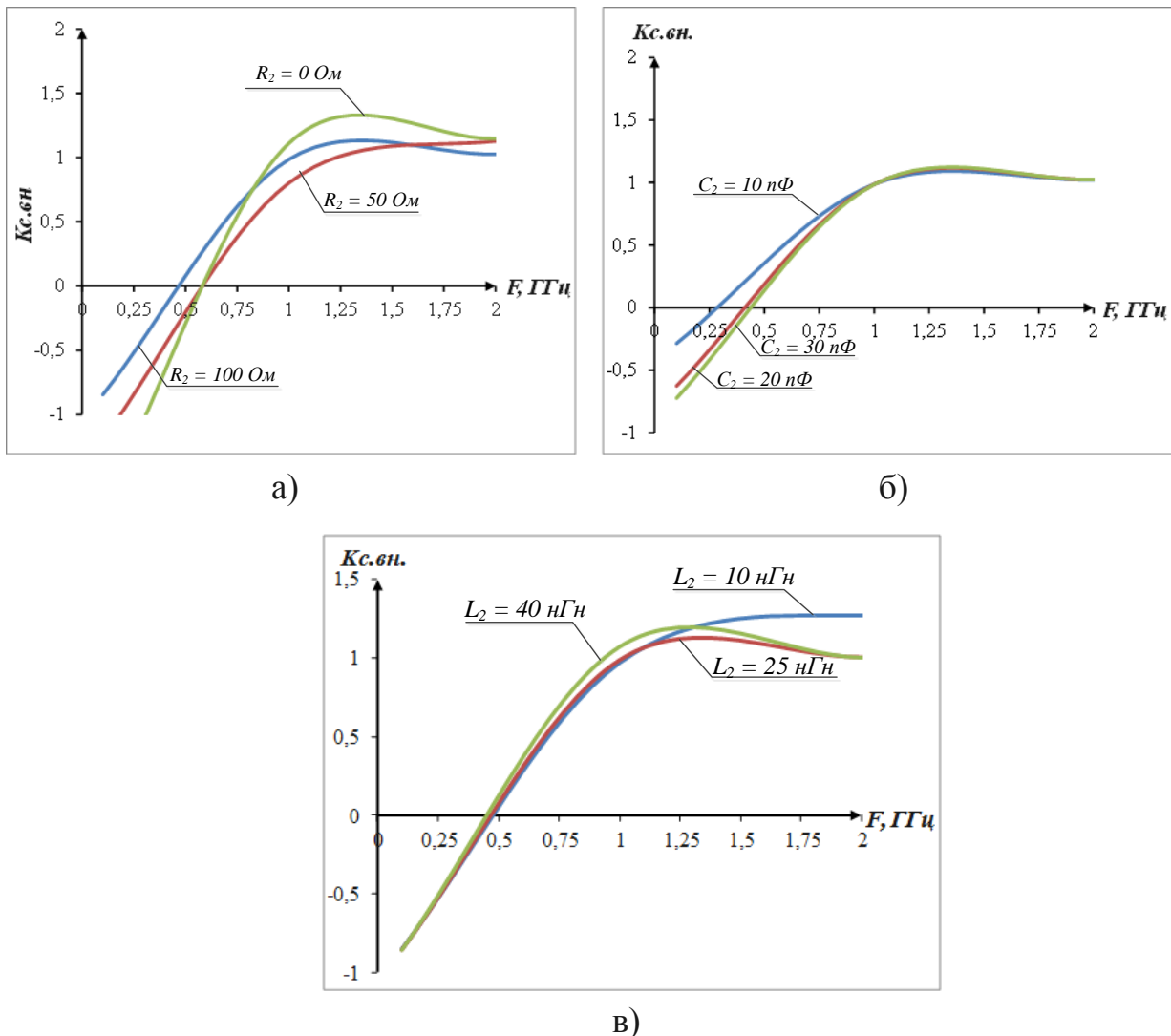


Рисунок 4 — Частотні залежності внутрішнього інваріантного коефіцієнта стійкості при різних значеннях  $R_2$  (а),  $C_2$  (б) та  $L_2$  (в) для конвертора імітансу на основі ПТ, включеного за схемою зі спільним стоком

В результаті дослідження якості однокристальних конверторів імітансу на основі ПТ, включеного за схемою зі спільним стоком, виявлено, що як ідеальний, так і реальний конвертор імітансу, реалізований на основі польового транзистора, має мінімальну чутливість ( $S_{\alpha 0}^{Tk} = 10^{-15}$ ), а отже і найбільшу якість в режимі як прямого, так і зворотного перетворення.

Змінюючи значення параметрів ПТ можна регулювати якість однокристального конвертора імітансу на його основі.

У четвертому розділі проведено обґрунтування основних принципів побудови генераторних давачів на основі двопараметричних УПІ та сформовано таблиці перетворення імітансу двопараметричних УПІ, реалізованих на основі ПТ. Як приклад наведено таблицю перетворення імітансу двопараметричного УПІ на основі ПТ, включеного за схемою зі спільним стоком (табл. 1).

Таблиця 1 — Таблиця перетворення імітансу двопараметричного УПІС

$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих 3}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих 3}$	$Z_1$	$Z_2$	$Y_{вих 3}$
R	R		L	R		C	R	
	L			L			L	
	C			C			C	

Синтез таблиць перетворення імітансу забезпечив розв'язання задачі схемно-функціональної побудови двопараметричних генераторних давачів. Ці таблиці використовують тільки якісні показники, які не залежать від чисельних значень перетворюваних імітансів.

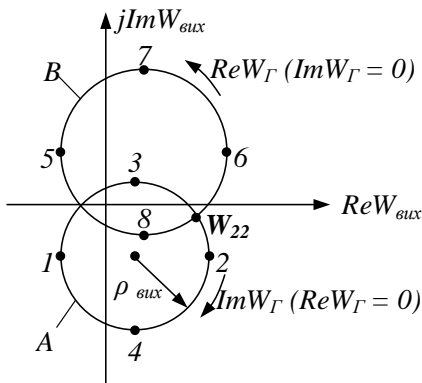


Рисунок 5 — Імітансні кола давача при зміні  $ImW_{Г}(ReW_{Г} = 0)$  та  $ReW_{Г}(ImW_{Г} = 0)$

Такий метод синтезу не потребує використання додаткового математичного апарату, кількісної оцінки і надає можливість отримання всіх можливих варіантів реалізації синтезованого пристрою на певному виді УПІ.

Запропоновано метод оптимізації параметрів радіочастотних давачів на основі узагальнених перетворювачів імітансу, який забезпечує досягнення давачем максимальної чутливості в зоні як абсолютної стійкості, так і потенційної нестійкості УПІ, що дозволяє використовувати його для побудови як генераторних, так і підсилюючих давачів.

Оскільки чутливість визначається на

основі двох кіл, одне з яких утворюється зміною уявної складової імітансу  $W_2$ , а інше – зміною дійсної складової, існує чотири варіанти, де можливе досягнення максимальної чутливості давача (рис. 5):

1) в точках 1 і 2

$$S_{\text{Im}W_{\Gamma}}^{\text{Im}W_{\text{aux}}} (1,2) = \frac{m_1 + 2m_2 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Im}} - m_1 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Im}}^2}{\text{Re } W_{11} + W_{\Gamma} \cdot 1 + \sigma_{\Gamma.\text{Im}}^2} \cdot \frac{\text{Im } W_{11} + W_{\Gamma} / \text{Re}W_{11}}{\text{Im}W_{22} + \frac{\sigma_{\Gamma} \cdot m_1 - m_2}{1 + \sigma_{\Gamma}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}},$$

2) в точках 3 і 4

$$S_{\text{Im}W_{\Gamma}}^{\text{Re}W_{\text{aux}}} (3,4) = \frac{-m_2 + 2m_1 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Im}} + m_2 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Im}}^2}{1 + \sigma_{\Gamma.\text{Im}}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}} \cdot \frac{\text{Im}W_{11} / \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}{\text{Re}W_{22} - \frac{m_1 + \sigma_{\Gamma} \cdot m_2}{1 + \sigma_{\Gamma}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}},$$

3) в точках 5 і 6

$$S_{\text{Re}W_{\Gamma}}^{\text{Im}W_{\text{aux}}} (5,6) = \frac{m_1 + 2m_2 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Re}} - m_1 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Re}}^2}{1 + \sigma_{\Gamma.\text{Re}}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}} \cdot \frac{\text{Im } W_{11} + W_{\Gamma} / \text{Re}W_{11}}{\text{Im}W_{22} + \frac{\sigma_{\Gamma} \cdot m_1 - m_2}{1 + \sigma_{\Gamma}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}},$$

4) в точках 7 і 8

$$S_{\text{Re}W_{\Gamma}}^{\text{Re}W_{\text{aux}}} (7,8) = \frac{-m_2 + 2m_1 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Re}} + m_2 \cdot \sigma_{\Gamma.\text{Re}}^2}{1 + \sigma_{\Gamma.\text{Re}}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}} \cdot \frac{\text{Im}W_{11} / \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}{\text{Re}W_{22} - \frac{m_1 + \sigma_{\Gamma} \cdot m_2}{1 + \sigma_{\Gamma}^2 \cdot \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}}},$$

де  $m_1 = \text{Re } W_{12} \cdot W_{21}$ ,  $m_2 = \text{Im } W_{12} \cdot W_{21}$ ,  $\sigma_{\Gamma} = \text{Im } W_{11} + W_{\Gamma} / \text{Re } W_{11} + W_{\Gamma}$  – приведені значення повного імітансу ПВП.

Показано можливість використання розробленого методу для знаходження діапазону зміни імітансу ПВП, в якому доцільно використання такого давача. Проведено оптимізацію параметрів на основі УПП, реалізованих на польових транзисторах, які показали, що найбільшу чутливість ( $S = -7,7$ ) та найширший діапазон зміни коефіцієнту  $\sigma_{\Gamma}$  ( $\Delta\sigma_{\Gamma} = 3,08$ ) та перетворюваного опору  $Z_{\Gamma}$  ( $\Delta Z_{\Gamma} = 784,9$  Ом) має УПП на базі ПТ, включеного за схемою зі спільним витоком.

З використанням одержаних теоретичних положень розроблено низку генераторних давачів на основі багатопараметричних УПП. Розроблено та досліджено резистивний частотний давач (рис. 6а). Замість резисторів  $R3$  та  $R5$  використані термістори типу Sck-101. Давач забезпечує зміну частоти генерації в діапазоні частот 0 - 10 МГц при зміні температури в діапазоні  $-30 - +90^{\circ}\text{C}$  при середній чутливості 0,1 МГц/град (рис. 6в). Найбільша крутизна залежності частоти генерації  $f_{\text{ген}}$  від величини резисторів  $R3$  та  $R5$  спостерігається при зміні їх опорів в діапазоні від 0 до 150 Ом (рис. 6в), що є оптимальним значенням параметрів давача для його максимально ефективної роботи. Потужність давача складає 0,91 мВт.

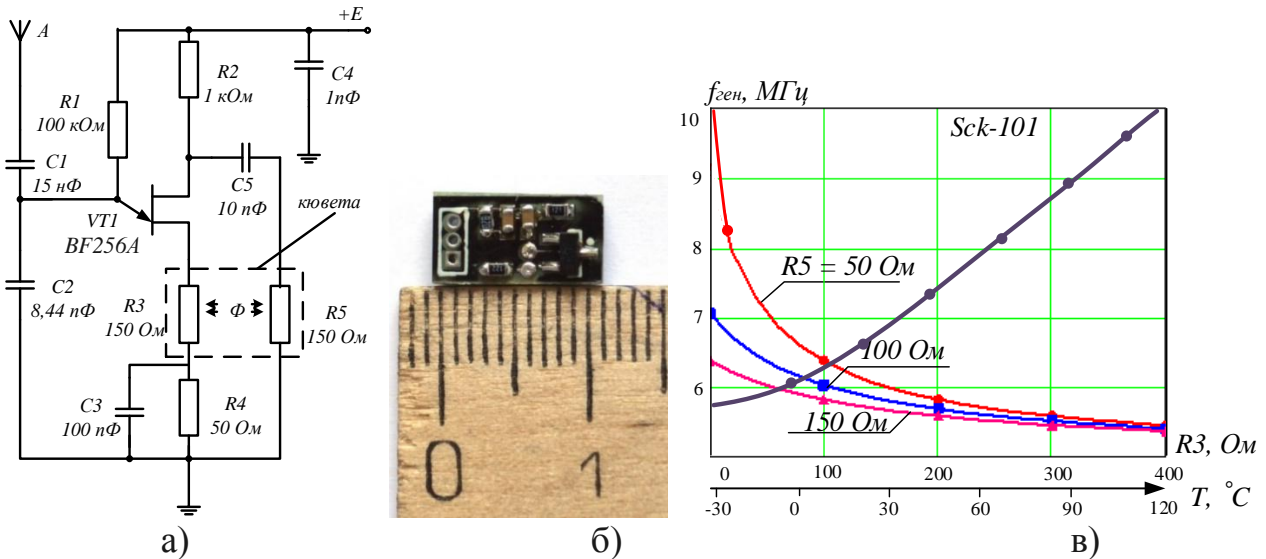


Рисунок 6 — Резистивний частотний давач: (а) схема електрична принципова; (б) зовнішній вигляд плати; (в) залежність частоти генерації давача від значення опору ПВП та температури

Розроблено та досліджено індуктивно-резистивний генераторний давач (рис. 7). Максимальна частота генерації двопараметричного індуктивно-резистивного генераторного давача складає  $0,2 \cdot \Omega_s$  і зменшується зі зростанням значення індуктивності  $L1$  (рис. 7в).

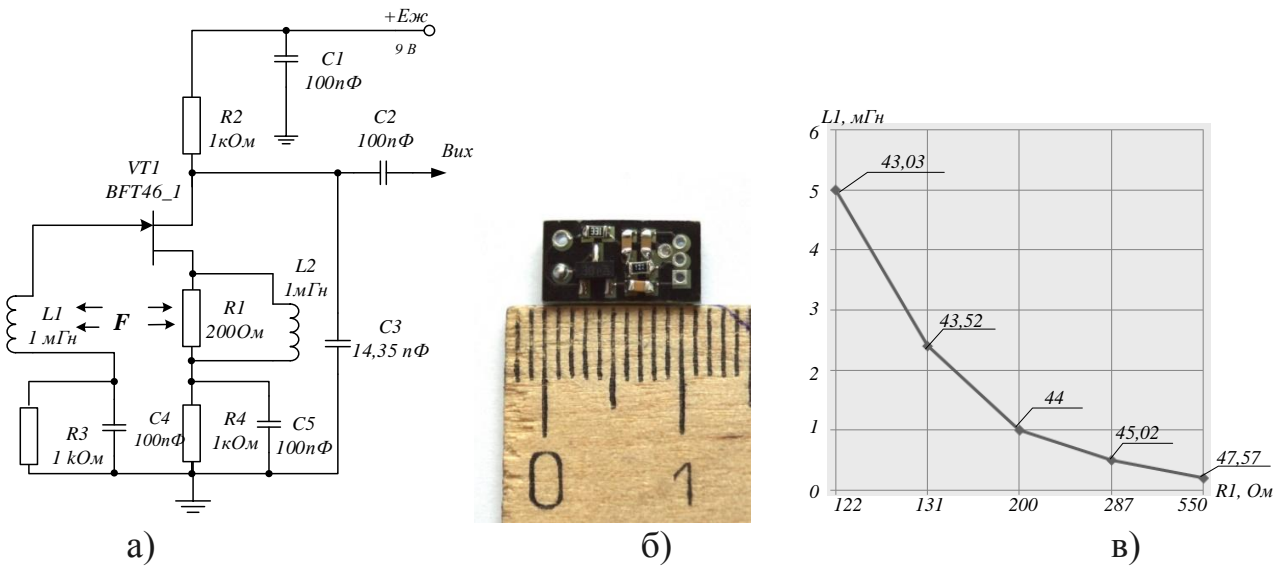


Рисунок 7 — Двопараметричний індуктивно-резистивний генераторний давач: а) схема електрична принципова; б) зовнішній вигляд плати; в) залежність зміни оптимальних значень індуктивності  $L1$  від опору  $R1$  при різних частотах генерації

Максимальна частота генерації двопараметричного індуктивно-резистивного генераторного давача складає  $0,2 \cdot \Omega_s$  і зменшується зі зростанням значення індуктивності  $L1$  (рис. 7в). Найбільш оптимальним співвідношенням опору та індуктивності ПВП є значення для УПІ на базі ПТ типу BFT46:  $L=1$  мГн та опору  $R=200$  Ом (рис. 7в). При цих значеннях параметрів значення вихідної потужності  $P_{вих} = 0,72$  мВт.

Розроблено та досліджено трипараметричний генераторний давач (рис. 8), який має високу чутливість (по резистивному каналу відносна чутливість  $S_R = 1,88$ ; по ємнісному каналу  $S_C = -1,54$ ; по індуктивному каналу  $S_L = -11,5$ ), та максимальний коефіцієнт підвищення чутливості ( $K_R = 2$ ;  $K_C = 1,5$ ;  $K_L = 1,2$ ).

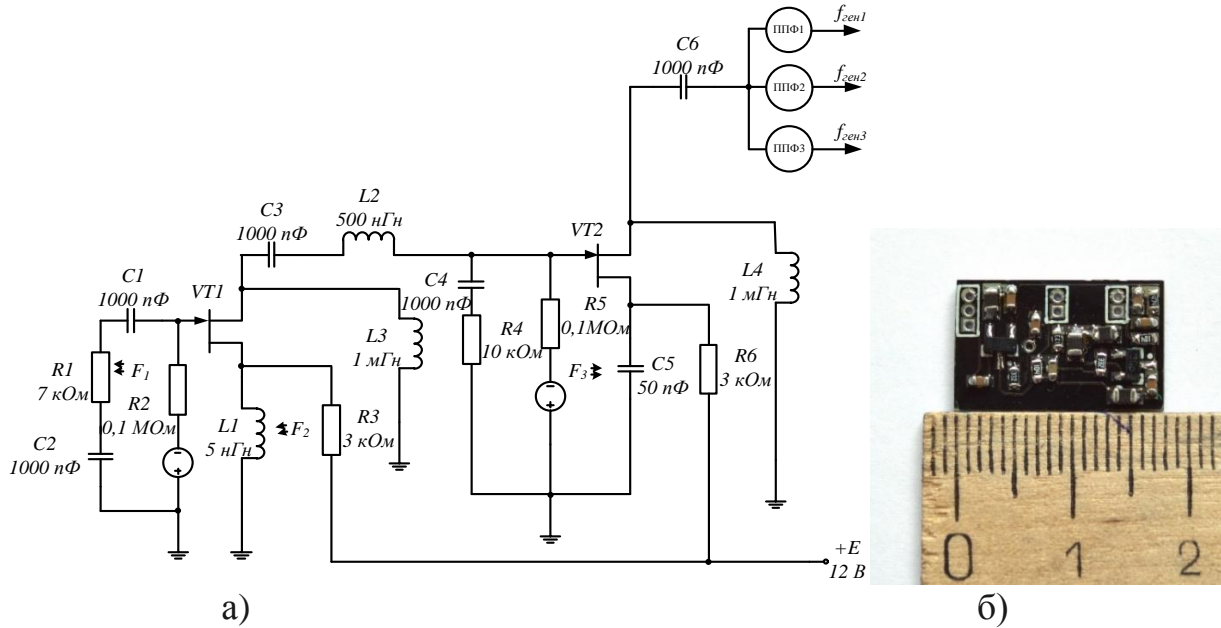


Рисунок 8 — Трипараметричний генераторний давач на двокаскадному УПІ: схема електрична принципова (а) і зовнішній вигляд плати (б)

Функція перетворення давача визначається за виразом (7) та утворює математичну модель давача і описує взаємозв'язок параметрів давача з параметрами УПІ<sub>N</sub> та ПВП.

$$f_{ген} = \frac{\text{Im}(Y_{вих})}{2\pi C_{ген}} = \frac{\text{Im}(Y_{22}^{(2)}) + \frac{m_1 \cdot \sigma_{\Gamma} - m_2}{1 + \sigma_{\Gamma}^2 \cdot \text{Re} Y_{11}^{(2)} + Y_{вих.1}}}{2 \cdot \pi \cdot C_{ген}}, \quad (7)$$

де  $m_1 = \text{Re} Y_{12}^{(2)} \cdot Y_{21}^{(2)}$ ,  $m_2 = \text{Im} Y_{12}^{(2)} \cdot Y_{21}^{(2)}$ ,  $\sigma_{\Gamma} = \text{Im} Y_{11}^{(2)} + Y_{вих.1} / \text{Re} Y_{11}^{(2)} + Y_{вих.1}$ .

Визначено умови початку або зриву генерації при спрацьовуванні одного з ПВП. За умови спрацьовування ємнісного ПВП початок генерації сигналу відбуватиметься при зміні значень  $C_5$  від 6,24 пФ. При спрацьовуванні індуктивного ПВП генерація сигналу давачем відбуватиметься починаючи від значення  $L_1$  463 нГн. Діапазон зміни значень опору резистивного ПВП  $R_1$  від 7 кОм є областю генерації сигналу. Встановлено, що генерація вихідного сигналу давачем відбувається в різних діапазонах частот залежно від зміни значень параметрів кожного з ПВП, що виключає неоднозначність результатів вимірювання (рис. 9).

За індуктивним каналом генерація сигналів відбувається у діапазоні частот від 181,5 МГц, за ємнісним — від 180,1 МГц, а за резистивним — від 174,9 МГц. Похибка розрахункових залежностей частоти генерації від зміни параметрів ПВП, порівняно з експериментальними даними (рис. 9) не перевищує 2 %.

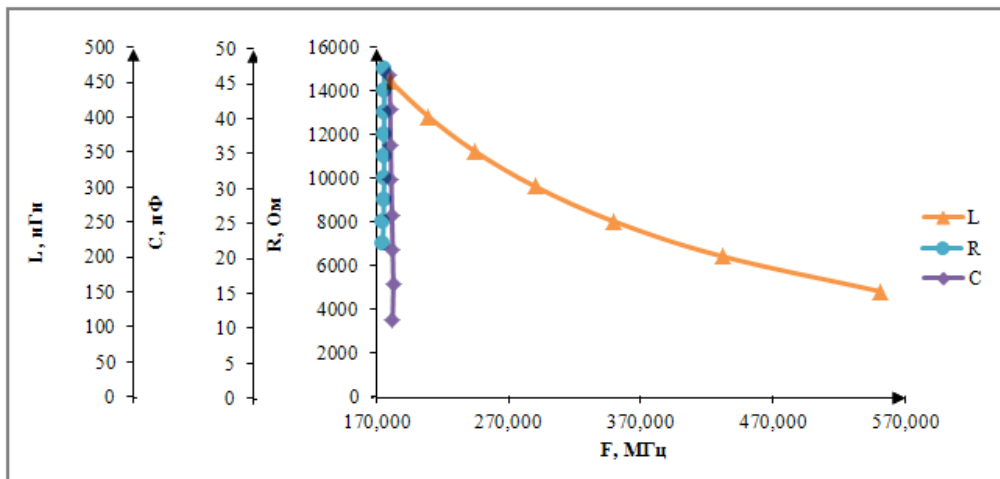


Рисунок 9 — Експериментальні залежності частоти генерації давача від зміни параметрів ПВП

Також розроблено індуктивний, індуктивно-ємнісний, резистивний та резистивно-ємнісний генераторні давачі.

Проведено аналіз чутливості давачів, реалізованих на основі двох каскадів багатопараметричних УПІ. При цьому здійснено пошук найбільш оптимальних комбінацій каскадів багатопараметричних УПІ на основі ПТ з точки зору досягнення максимальної чутливості давача. В діапазоні зміни опору ПВП давача на основі двох каскадів УПІ<sub>N</sub>, максимальне підвищення чутливості давача спостерігається при використанні комбінації ПТ, включеного зі спільним стоком та спільним затвором, оскільки на частоті  $\Omega = 0,017$  максимальна чутливість ( $S_{\text{Im}(Z_i)}^{\text{Re}(Y_{\text{вх.}N})} = -5,252$ ) спостерігається у найширшому діапазоні зміни опору  $Z_0$ , приріст якого дорівнює 1,67.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Проведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі покращення технічних характеристик (підвищення чутливості та розширення функціональних можливостей) компонентів інформаційно-вимірювальних систем за рахунок використання каскадного з'єднання багатопараметричних УПІ на основі польової транзисторної структури.

1. Проведено аналіз сучасних досягнень у галузі реалізації і застосування перетворювачів імітансу, який показав, що УПІ є багатofункціональними електронними пристроями, використання яких дозволяє покращити технічні параметри компонентів інформаційно-вимірювальних систем, таких як активні фільтри, логічні елементи, помножувачі індуктивності, тощо. Проте, найбільш перспективним є використання УПІ при реалізації радіочастотних давачів. Використання багатопараметричних УПІ для виготовлення РЧД дозволяє реалізувати давачі, які мають підвищену чутливість та вимірюють одночасно декілька інформаційних параметрів. Проведена оцінка ефективності показала, що найефективнішим серед базових елементів радіочастотних давачів є польовий



транзистор, використання якого як багатопараметричного узагальненого перетворювача імітансу дозволяє створити високоефективні радіочастотні давачі.

2. Розроблено математичну модель двопараметричного УПН на основі ПТС, яка дозволяє дослідити його властивості при використанні будь-якого виду квазілінійного триполіусника без залежності від діапазону частот. Проведене дослідження перетвореної провідності двокаскадного трипараметричного УПН та інваріантного коефіцієнта стійкості підтвердило коректність розробленої математичної моделі, оскільки величина відносної похибки лежить в межах норми і не перевищує 5%.

3. Отримала подальшого розвитку математичну модель багатокаскадного УПН, утвореного комбінацією  $N$  триполіусників, яка відрізняється від існуючих тим, що враховує електричні параметри польової транзисторної структури, і описує залежність перетвореної провідності багатокаскадного УПН як від кількості каскадів  $N$ , так і від значень перетворюваних опорів ( $Z_0 \dots Z_N$ ), а також і від параметрів окремих каскадів [ $u^i$ ], що дозволяє провести розрахунки різних видів інформаційних пристроїв, утворюваних каскадним з'єднанням триполіусників.

4. Досліджено параметри двопараметричних УПН на основі польового транзистора, що дозволило визначити їх чутливість до дестабілізуючих факторів та умови їх потенційної нестійкості.

5. Вперше запропоновано метод оптимізації параметрів радіочастотних давачів на основі УПН, який забезпечує досягнення давачем максимальної чутливості в зоні як абсолютної стійкості, так і потенційної нестійкості УПН при використанні активних і пасивних первинних вимірювальних перетворювачів, що дозволяє використовувати його для побудови як генераторних, так і підсилюючих давачів.

6. Проведено аналіз чутливості давачів на основі двох каскадів багатопараметричних УПН, що дозволяє здійснити пошук найбільш оптимальних комбінацій каскадів багатопараметричних УПН з точки зору досягнення максимальної чутливості давача.

7. На основі одержаних теоретичних положень розроблено принципові електричні схеми двопараметричних і трипараметричних генераторних давачів та досліджено їх основні параметри. Вперше розроблено математичну модель трипараметричного генераторного давача на базі двокаскадного УПН, реалізованого на ПТ, яка описує взаємозв'язок параметрів давача з параметрами УПН та первинних вимірювальних перетворювачів, що дозволило провести аналіз чутливості давача та оптимізацію його параметрів. Розроблені давачі придатні до виготовлення у вигляді інтегральної мікросхеми у широкому діапазоні частот та мають високу чутливість за рахунок того, що вихідний сигнал є функцією відповідно двох і трьох змінних.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ліщинська Л. Б. Аналіз «якості» однокристальних конверторів імітансу / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, М. А. Філінюк // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – №3. – С. 1 - 12. – Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1260/612>.

2. Оптоелектронний генераторний сенсор на базі двохпараметричного УПІ / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, С. Є. Фурса, М. А. Філінюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2010. – №2 (20). – С. 219 – 224. – ISSN 1681-7893.

3. Ліщинська Л. Б. Функціональний синтез двохпараметричних генераторних датчиків / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова // Вісник СевНТУ. Серія «Інформатика, електроніка, зв'язок» – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вип. 114. – С. 168-171. – ISSN 2307-6488.

4. Ліщинська Л. Б. Індуктивно-резистивний генераторний датчик / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, М. А. Філінюк // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. – 2012. – № 2. – С. 12-18. – ISSN 1815-7459.

5. Резистивний частотний датчик на основі двохпараметричного перетворювача імітансу / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, Р. Ю. Чехмestрук, М. А. Філінюк // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2012. – №3/9 (57). – С. 4 – 7. – ISSN 1729-3774.

6. Дослідження параметрів імітансного кола двопараметричного конвертора імітансу на основі польового транзистора / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Ткачук, О. О. Лазарев, М. А. Філінюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2013. – №4 (213). – С. 158 – 163. – ISSN 2307-5732.

7. Трёхпараметрический генераторный датчик / Л. Б. Лищинская, Н. А. Филинчук, Я. С. Ткачук, О. О. Лазарев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2014. – № 4. – С. 21 – 27. – ISSN 2225-5818.

8. Оптимізація параметрів давачів на основі узагальненого перетворювача імітансу / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Ткачук, С. Є. Фурса, М. А. Філінюк // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – 2013. – Вип.68. – С. 18 – 26. – ISSN 2309-7655.

9. Ліщинська Л. Б. Аналіз чутливості давача на основі двокаскадного УПІ<sub>N</sub> / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Ткачук, М. А. Філінюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 4. – С. 102 – 109. – ISSN 1997-9266.

10. Фурса С. Є. Математична модель багатопараметричного N-каскадного узагальненого перетворювача імітансу / С. Є. Фурса, Я. С. Ткачук // Наукові праці ВНТУ. – 2015. – №2. – С. 1 – 10. – Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/4012/5829>.

11. Дослідження «якості» однокристальних УПІ / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, М. А. Філінюк, М. В. Барабан // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія (ІТКІ 2010): матер. І міжнар. наук.-практ. конф. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С. 305 – 306.

12. Лищинская Л. Б. Функціональний синтез інформаційних устроїв на базі однокристальних ОПІ / Л. Б. Лищинская, М. В. Барабан, Я. С. Рожкова // Zpravy vedecke ideje – 2010: Сборник тезисов докладов VI междунар. науч.-практ. конф. – Прага: Education and Science, 2010. – С. 10-14.

13. Застосування концепції “нечіткого імітансу” на етапі функціонального синтезу інформаційних пристроїв / Л. Б. Ліщинська, М. В. Барабан, Я. С. Рожкова, М. А. Філінюк // Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2010): матер. VII міжнар. наук.-

практ. конф. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С. 368 – 371.

14. Радиочастотные датчики на базе обобщенных преобразователей иммитанса / Л. Б. Лищинская, М. В. Барабан, Я. С. Рожкова, Н. А. Филинчук // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо 2010): матер. XX междунар. науч.-практ. конф. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – С. 72-73.

15. Оптоэлектронный генераторный датчик на базе двухпараметричного УП / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, С. Є. Фурса, М. А. Філінчук // Photonics-ODS 2010: матер. V міжнар. конф. з оптоелектронних інформаційних технологій. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – С. 187.

16. Синтез багатопараметричних радіочастотних сенсорів на основі таблиць перетворення імітансу / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова, М. В. Барабан, М. А. Філінчук // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матер. XIX міжнар. наук.-практ. конф. – Харків: ХПІ, 2011. – С.46.

17. Рожкова Я. С. Дослідження двохпараметричних узагальнених перетворювачів імітансу на базі польової транзисторної структури [Електронний ресурс] / Я. С. Рожкова // Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області, 2 – 4 бер. 2011 р.: тези доп. – XL., 2011. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2011/inrtzp/txt/rozhkova.pdf>.

18. Многопараметрические радиочастотные датчики / Л. Б. Лищинская, Е. В. Войцеховская, Я. С. Рожкова, Фурса С. Е., Барабан М. В., Чехмestрук Р. Ю., Филинчук Н. А. // Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ - 2011): матер. XII междунар. науч.-практ. конф. – Одеса: ОНПУ, 2011. – С. 306.

19. Рожкова Я. С. Розробка та дослідження індуктивно-резистивного генераторного датчика / Я. С. Рожкова // Радиоэлектроника и молодёжь в XXI веке: матер. XVI междунар. молодежного форума. – Харьков: ХНУРЭ, 2012. – С. 87 – 88.

20. Філінчук М. А. Розробка резистивного частотного датчика на основі двохпараметричного УП / М. А. Філінчук, Л. Б. Ліщинська, Я. С. Рожкова // Контроль і управління складних систем (КУСС - 2012): матер. XI міжнар. наук.-практ. конф. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С. 248.

21. Lishchinskaya L.B. Sensor On The Basis Of Two-Parameter Generalized Immitance Converter / L.B. Lishchinskaya, Y. S. Tkachuk, S. E. Fursa, N.A. Filinyuk // International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS-2013): proceedings of International Conference. – Iasi: Gh. Asachi' Technical University of Iasi, 2013. – P.1 – 4.

22. Ткачук Я. С. Трипараметричний давач на двокаскадному УП / Я. С. Ткачук, Д. В. Бондарюк // Сенсорна електроніка та мікросистемні технології (СЕМСТ-6): матер. VI міжнар. наук.-техн. конф. – Одеса: Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2014. – С. 59.

23. Ліщинська Л. Б. Математична модель багатопараметричного багатокаскадного узагальненого перетворювача імітансу / Л. Б. Ліщинська, Я. С. Ткачук, Д. В. Бондарюк // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (РТПСАС – 2015): матер. міжнар. наук.-техн. конф. – Київ: КПІ, 2015. – С. 71 – 74.

24. Пат. 61067 Україна, МПК G01P 3/44. Двопараметричний індуктивно-

ємнісний генераторний датчик / Ліщинська Л.Б., Рожкова Я.С., Філінюк М.А.: заявник і патентовласник ВНТУ. – № u201014337; заявл.30.11.10; опубл.30.11.10, Бюл. № 13. – 3 с.

25. Пат. 60640 Україна, МПК G01P 3/44. Двопараметричний індуктивний генераторний датчик / Ліщинська Л. Б., Рожкова Я. С., Філінюк М. А.: заявник і патентовласник ВНТУ. – № u201114244; заявл. 29.11.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл № 12. – 3 с.

26. Пат. 57679 Україна, МПК H01L 31/04, G01R 1/00, H01L 31/08. Резистивний генераторний датчик / Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А., Рожкова Я. С., Фурса С. С., Барабан М. В.: заявник і патентовласник ВНТУ. – № u201009563; заявл. 30.07.10; опубл. 10.03.11, Бюл. № 5. – 3 с.

27. Пат. 60484 Україна, МПК G01R27/00. Двопараметричний резистивно-ємнісний генераторний датчик / Ліщинська Л.Б., Рожкова Я.С., Філінюк М.А.: заявник і патентовласник ВНТУ. – № u201013023; заявл.02.11.10; опубл.25.06.11, Бюл. № 12. – 3 с.

28. Пат. 61183 Україна, МПК G01R 27/02. Двопараметричний індуктивно-резистивний генераторний датчик / Ліщинська Л. Б., Рожкова Я. С., Філінюк М. А.: заявник і патентовласник ВНТУ. – № u20105660; заявл. 24.12.10; опубл. 11.07.11, Бюл. № 13. – 3 с.

29. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 47573. Комп'ютерна програма «Обрахунок параметрів індуктивно-резистивних генераторних датчиків» / Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А., Ткачук Я. С., Ткачук А. Ф. – 2013 р.

30. Пат. 93519 Україна, МПК G01R 27/00. Трипараметричний давач на двокаскадному узагальненому перетворювачі імітансу / Філінюк М. А., Ткачук Я. С., Пастушенко О. Л. – №u201402794; заявл. 19.03.14; опубл. 10.10.14, Бюл. № 19. – 3 с.

31. Пат. 105799 Україна, МПК G01R 27/00, G01N 27/06. Радіочастотний сенсор каламутності рідких середовищ / Ліщинська Л. Б., Філінюк М. А., Рожкова Я. С., Барабан М. В. – №u201201582; заявл. 13.02.12; опубл. 25.26.14, Бюл. № 12.– 3 с.

## АНОТАЦІЯ

Ткачук Я. С. Багатокаскадні узагальнені перетворювачі імітансу та генераторні давачі на їх основі. — На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 — комп'ютерні системи та компоненти. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2015.

Дисертаційна робота присвячена покращенню технічних характеристик (підвищення чутливості та розширення функціональних можливостей) компонентів інформаційно-вимірювальних систем за рахунок використання каскадного з'єднання багатопараметричних узагальнених перетворювачів імітансу на основі польової транзисторної структури. Отримано удосконалену математичну модель багатокаскадного УПН, утвореного комбінацією N триполіосників та розроблено математичну модель двопараметричного однокристалного

узагальненого перетворювача імітансу на основі польової транзисторної структури, що дозволило провести дослідження імітансних характеристик двопараметричних УПІ, визначити їх чутливість до дестабілізуючих факторів, умови їх потенційної нестійкості та побудувати таблиці перетворення імітансу. Розроблено метод оптимізації параметрів генераторних давачів, утворених комбінацією УПІ та ПВП, який забезпечив при проектуванні давачів вибір найбільш оптимальних видів УПІ з точки зору досягнення максимальної чутливості давача. Проведено аналіз чутливості давачів на основі двох каскадів багатопараметричних УПІ, який показав можливість підвищення чутливості у 3 – 16 разів за рахунок використання двох каскадів багатопараметричних УПІ при розробці радіочастотних давачів. Розроблено та досліджено низку двопараметричних та трипараметричних генераторних давачів, які придатні до виготовлення у вигляді інтегральної мікросхеми у широкому діапазоні частот та мають високу чутливість за рахунок того, що вихідний сигнал є функцією відповідно двох і трьох змінних.

Ключові слова: узагальнений перетворювач імітансу, первинний вимірювальний перетворювач, польовий транзистор, давач, компоненти комп'ютерних систем.

## АННОТАЦІЯ

Ткачук Я. С. Многокаскадные обобщенные преобразователи иммитанса и генераторные датчики на их основе. — На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. Винницкий национальный технический университет, Винница, 2015.

Диссертационная работа посвящена многокаскадным обобщенным преобразователям иммитанса и разработке генераторных датчиков на их основе. Объектом исследования является процесс преобразования информационных сигналов в средствах обработки информации с частотным представлением. Общий научный результат работы — решение научно-технической задачи улучшения технических характеристик компонентов информационно-измерительных систем за счет использования каскадного соединения многопараметрических обобщенных преобразователей иммитанса на основе полевой транзисторной структуры.

Получена усовершенствованная математическая модель многокаскадного ОПИ<sub>N</sub>, образованного комбинацией N трехполюсников, которая описывает зависимость преобразованной проводимости многокаскадного ОПИ<sub>N</sub> как от количества каскадов, так и от значений преобразуемых сопротивлений ( $Z_0 \dots Z_N$ ), а также от параметров отдельных каскадов [ $y^i$ ] и позволяет рассчитать разные виды информационных устройств, которые образуются путём каскадирования трехполюсников. Разработана математическая модель двухпараметрического ОПИ<sub>N</sub> на основе ПТС, которая дала возможность исследовать параметры иммитансной окружности, инвариантный коэффициент устойчивости и качество двухпараметрических ОПИ на базе полевого транзистора. Получены практические данные, определяющие чувствительность таких ОПИ к дестабилизирующим факторам, а так же определены и условия их потенциальной неустойчивости, которые позволили построить таблицы преобразования иммитанса и разработать

однокристалльные генераторные датчики, руководствуясь эквивалентными схемами таблицы.

Разработано метод оптимизации параметров генераторных датчиков, которые образуются комбинацией ОПИ и ПИП, учитывающий их основные параметры и обеспечивающий достижение датчиком максимальной чувствительности в области как потенциальной неустойчивости, так и абсолютной устойчивости, что позволяет использовать его для построения как генераторных, так и усилительных датчиков. На этапе проектирования датчиков данный метод позволяет выбрать наиболее оптимальный вид ОПИ для достижения максимальной чувствительности датчика.

Предложено технические решения по конструированию генераторных датчиков, которые изготовлены в виде миниатюрных печатных плат и пригодны для изготовления в виде интегральной микросхемы в широком диапазоне частот. Проведены исследования основных параметров разработанных схем датчиков, которые показали, что данные устройства на основе многопараметрических и многокаскадных ОПИ имеют высокую чувствительность за счёт того, что исходящий сигнал является функцией соответственно двух и трех переменных.

Проведен анализ чувствительности датчиков на основе двух каскадов многопараметрических ОПИ, который показал возможность повышения чувствительности датчика в 3 – 16 раз за счет использования двух каскадов многопараметрических ОПИ при разработке радиочастотных датчиков различных физических величин.

Разработано программное обеспечение для определения основных параметров индуктивно-резистивных генераторных датчиков, которое может быть использовано для их инженерного расчёта.

Ключевые слова: обобщенный преобразователь иммитанса, первичный измерительный преобразователь, полевой транзистор, датчик, компоненты компьютерных систем.

## ABSTRACT

Tkachuk Y. S. Multiparameter generalized immitance converters and generator sensors on their basis. — Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.05 — Computer Systems and Components. Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2015.

The thesis is dedicated to improving of informational-measuring systems and components technical characteristics by the use of cascade connection of multi-parameter generalized immitance converters based on field effect transistor structure. The mathematical model of multistage  $GIC_N$ , formed by the combination of  $N$  threepoles was improved. A mathematical model of two-parameter one-crystal generalized immitance converter based on the field effect transistor structure was obtained. These models allowed to conduct the research of two-parameter  $GIC$  immitance characteristics, determine their sensitivity and build immitance conversion tables. The method of generator sensors parameters optimization has been further developed. It provided the most optimal choice of  $GIC$  types in terms of maximum sensitivity of the sensor. The analysis of two staged

multi-parameter GIC sensors sensitivity showed the possibility of a 10-fold increase in sensitivity by the use of two stages in the development of multi-parameter GIC RF sensors. A number of two-parameter and three-parameter generator sensors were developed and investigated. These sensors are suitable for manufacturing as an integrated circuit in a broad frequency range with high sensitivity due to the fact that the output signal is a function of respectively two and three variables.

Keywords: generalized imittance converter, primary measuring transducer, field effect transistor, sensor, computer system components.

Підписано до друку 07.12.2015 р. Формат  $29.7 \times 42 \frac{1}{4}$

Наклад 100 прим. Зам. №2015-136

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 59-81-59

