

ВІДГУК**офіційного опонента**

**доктора технічних наук, професора Політанського Леоніда Францовича,
завідувача кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки
Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича на
дисертаційну роботу Семенова Андрія Олександровича на тему:
«Методи і пристрої генерування та формування сигналів з регулярною й
хаотичною динамікою для інфокомунікаційних систем», представленої на
здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікації**

Актуальність теми дисертації

Необхідність забезпечення високошвидкісного та якісного передавання інформації вимагає використання генераторів сигналів різної форми та трансформації їх частоти (передавання, ділення, множення). Крім того сучасні інформаційно-комунікаційні системи повинні володіти високою завадостійкістю, що обумовлено ускладненням електромагнітних обставин.

Слід зауважити, що широковикористовувані загально прийняті сигнали знаходяться на межі їх фізичних можливостей щодо вирішення вищезазначених проблем. Перспективним напрямком підвищення технічних та економічних показників інфокомунікаційних систем є розроблення програмно-апаратної реалізації функціональних вузлів на основі складних шумоподібних сигналів, ширина спектру яких забезпечується структурою імпульсу незалежно від його тривалості.

Використання широкосмугових сигналів у інфокомунікаційних системах дозволяє підвищити їх завадостійкість та достовірність передавання інформації при значеннях потужності інформаційних сигналів менших, ніж потужність шуму, а також забезпечити прихованість роботи систем зв'язку.

Проблема формування сигналів нелінійними радіотехнічними пристроями з множинами великих обсягів, що ускладнює їх розпізнавання є невирішеною. Одним із напрямків вирішення проблеми скерованої на розвиток мобільних систем та розвантаження радіодіапазону при одночасній прихованості та завадостійкості процесу передавання інформації є використання хаотичних сигналів. Тому науково-технічні задачі розроблення нових і оптимізації існуючих методів та засобів генерування сигналів детермінованого хаосу є безумовно актуальним.

Актуальність дисертаційних досліджень підтверджується також зв'язком роботи з науковими програмами та темами, що виконувались на кафедрі радіотехніки Вінницького національного технічного університету.

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджена узгодженням теоретичних і експериментальних результатів, а також використанням основних положень теорії кіл та сигналів при дослідженні процесів

у пристроях генерування і формування сигналів і вивченні питань керованості режимами роботи таких пристроїв як в періодичних так і хаотичних режимах.

При оцінюванні параметрів генерованих сигналів з регулярною та хаотичною динамікою використовувались основні положення теорії нелінійної динаміки, функціональних та хаотичних процесів теорії статистичного та кореляційного аналізу. Для синтезу генераторів хаотичних та періодичних коливань використовувались методи математичного моделювання та розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь, методи комп'ютерного схемотехнічного моделювання електричних схем.

Вище викладене дозволяє вважати, що положення дисертації є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

Новизна наукових положень, повнота їх викладу в опублікованих працях

Наукове значення, структура і змістовне наповнення дисертації, як науково-практичного дослідження визначається сформованою на підставі визначеного автором предмету дослідження фазових портретів і спектрів показників Ляпунова пристроїв генерування та формування сигналів на основі біполярних, польових та біполярно-польових транзисторних схем та структур з від'ємним диференційним опором сукупністю математичних та структурно-функціональних моделей.

У дисертаційній роботі автором розв'язана низка завдань, необхідних для досягнення поставленої мети:

1. Удосконалено математичні моделі генератору Ван дер Поля періодичних і квазіперіодичних електричних коливань на основі транзисторних схем і структур із від'ємним диференційним опором та досліджено динамічні процеси в них при електричному перевлаштуванні параметрів їх автоколивних систем у широких межах.

2. Досліджені динамічні процеси в автоколивних системах генераторів Колпітца із одностранзисторним і двотранзисторним активним елементом на керованих напругою транзисторних еквівалентних ємностей. Оптимізовані їх параметри по максимуму ентропії Колмогорова-Сіная.

3. Розроблені за методами Кияшко-Піковського-Рабіновича та Аніщенко-Астахова нові схеми генераторів детермінованого хаосу на основі біполярних, польових і біполярно-польових транзисторних структур із від'ємним диференційним опором. Досліджені нелінійні та хаотичні режими роботи розроблених генераторів електричних коливань.

4. Удосконалені математичні моделі генераторів детермінованого хаосу типу Кияшко-Піковського-Рабіновича та Аніщенко-Астахова на основі транзисторних структур із від'ємним диференційним опором зі статичною ВАХ Л-типу та вирішенні питання керованості і стійкості їх роботи в хаотичних режимах.

5. Розроблені нові та удосконалені відомі схеми генераторів з електричним керуванням динамікою регулярних і хаотичних коливань, принцип роботи яких заснований на використанні нелінійних і реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним диференційним опором.

6. Удосконалена математична модель та досліджені динамічні процеси у пристроях формування періодичних сигналів на основі транзисторних структур із від'ємним диференційним опором зі статичною ВАХ Λ -типу, що працюють у режимах підсилення вхідних сигналів, ділення частоти, амплітудної модуляції.

7. Розроблені нові та удосконалити відомі схеми електрично керованих помножувачів частоти, електричних фільтрів та фазообертачів сигналів з регулярною динамікою, принцип роботи яких базується на використанні нелінійних і реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором.

Висунуті на захист основні наукові результати полягають у наступному:

Вперше

– запропоновано математичну модель побудованого методом Ван дер Поля багаточастотного генератора квазіперіодичних сигналів на основі польової транзисторної структури з від'ємним диференційним опором, що на відміну від відомих забезпечує розрахунок режимів живлення генераторів багаточастотних коливачів. Отримані аналітичні вирази для амплітуди стаціонарних коливачів основної частоти, нижньої та верхньої границь смуги робочих частот і критичного перелаштування на частоті. Встановлено, що їх значення залежать від величини від'ємного диференційного опору та форми спадної ділянки ВАХ транзисторних структур;

– запропоновано узагальнене трансцендентне рівняння апроксимації ВАХ Λ -типу транзисторних структур з від'ємним диференційним опором, що на відміну від відомих описує їх нелінійні властивості;

– встановлено і досліджено процеси генерування хаотичних коливачів розробленими за методом Кияшко-Піковського-Рабіновича генераторами на основі транзисторних структур з від'ємним диференційним опором, що на відміну від класичних мають ВАХ Λ -типу;

– запропоновані та експериментально досліджені варіанти схемних рішень генераторів детермінованого хаосу, що забезпечують компенсацію активних втрат від'ємним диференційним опором транзисторних структур. Спадні ділянки їх ВАХ обумовлені внутрішнім додатнім зв'язком, що уможливорює електричне керування динамікою генерованих коливачів у осциляторному, релаксаційному та нерелаксаційному режимах роботи;

– виявлене та досліджене явище детермінованого хаосу з керованою напруженою його динамікою у базовій схемі мікроелектронного генератора на основі транзисторної структури з від'ємним диференційним опором, що на відміну від відомих забезпечує широкий діапазон зміни параметрів періодичних та хаотичних коливачів.

Набув подальшого розвитку:

– метод Ван-дер-Поля генерування періодичних сигналів осциляторного та релаксаційного типів, удосконалена математична модель якого містить квадратичний член, що описує нелінійні процеси в автоколивній системі на основі транзисторної структури з від'ємним диференційним опором.

Удосконалені:

– математичну модель побудованого за методом Кияшко-Піковського-Рабіновича генератора сигналів детермінованого хаосу, що базується на апроксимації ВАХ транзисторних структур із від'ємним диференційним опором узагальненим трансцендентним рівнянням, і на відміну від відомих враховує вплив нелінійних властивостей підсилювального елемента генератора на динаміку хаотичних коливань;

– математичну модель генератора детермінованого хаосу типу Аніщенко-Астахова на основі транзисторних структур з від'ємним диференційним опором, що на відміну від відомої враховує нелінійність їх ВАХ Λ -типу. Це дає змогу встановити режими роботи та керованість динамікою генерованих сигналів зі збереженням стійкості хаотичних режимів роботи генераторів;

– математичну модель неавтономних пристроїв формування періодичних сигналів на основі нелінійних властивостей транзисторних структур із від'ємним диференційним опором, що базується на узагальненому трансцендентному рівнянні апроксимації ВАХ Λ -типу з врахуванням режимів живлення та зовнішнього збудження, що дозволило отримати фазові портрети фігури Ліссажу, а також часові і частотні характеристики генерованих періодичних коливань.

Новизна практичних розробок захищена трьома патентами України на винахід та одинадцятьма патентами України на корисну модель.

Результати дисертації використовуються у навчальному процесі Вінницького національного технічного університету при підготовці фахівців зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка та навчально-науковому виробничому центрі Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова.

Результати роботи впроваджені у ТОВ «ДЖЕМІКЛ» (м. Вінниця) – схемотехнічні та конструктивні рішення генераторів детермінованого хаосу на основі нелінійних і реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним диференційним опором; у АТ «БАНКОМЗВ'ЯЗОК» (м. Київ) для виготовлення пристроїв генерування та формування зв'язкових сигналів діапазону частот 1,8..2,1 ГГц; у ТОВ «ДАЙТЕКС ТЕХНОЛОДЖІС» (м. Вінниця) при розробленні модулів передавання та приймання UWB сигналів обладнання для інфокомунікаційних систем; у Вінницькій філії ТОВ «ВЕНБЕСТ». Результати впровадження підтверджено відповідними актами.

Практичне значення одержаних результатів

Дисертаційна робота здобувача присвячена проблематиці якості та завадостійкості інфокомунікаційних систем з використанням широкосмугових сигналів на основі хаотичних коливань. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень отримано наступні практичні результати:

Розроблено та досліджено:

– побудовані за методом Ван дер Поля на БТ-МДН і НЕМТ транзисторних структурах з від'ємним диференційним опором електричні схеми УВЧ генераторів сигналів осциляторного типу з електричним перелаштуванням частоти генерації в

діапазонах 880..930 МГц і 1825..2025 МГц з коефіцієнтами перекриття частоти генерації 5,5% і 10,4 % шляхом зміни напруги живлення у межах 1,6..2,5 В і 1,3..2,9 В відповідно;

– побудовані за методом Ван дер Поля електричні схеми генераторів релаксаційного типу, період повторення прямокутних і лінійно-змінних імпульсів напруги яких у діапазоні 0,13...1,67 мкс керується напругою живлення 5..30 В при зміні струмів споживання 2,7...18,1 мА. Отримано співвідношення для інженерного розрахунку часових параметрів генерованих імпульсів прямокутної та лінійно-змінної напруги;

– низькочастотну електричну схему генератора Колпітца з електричним керуванням динамікою сигналів детермінованого хаосу з основною частотою 10,3 кГц та шириною спектра 25 кГц. Побудовано гістрограми функції розподілу ймовірності хаотичних сигналів при короткотривалому спостереженні протягом 1,1 с при зміні напруги керування в межах 9...28 В;

– нові електричні схеми та конструкції помножувачів у 2 та 3 рази частоти УВЧ сигналів діапазону 600...900 МГц з електричним керуванням коефіцієнта множення, що базуються на реактивних властивостях біполярної, польової та БТ-МДН транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором;

– фільтри низьких частот з електричним керуванням частотою зрізу в діапазоні 0,2...2 МГц та величиною згасання поза смугою пропускання $-14,5$ дБ/декада для одноланкових та $-29,1$ дБ/декада для дволанкових фільтрів на основі реактивних властивостей транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором;

– електрично керовані УВЧ фазообертачі відбивного типу діапазону 900 МГц.

Оптимізовані параметри:

– автоколивних систем електричних схем однострипторного та двострипторного генераторів Колпітца за максимумом їх інформаційних властивостей;

– автоколивної системи генератора Кияшка-Піковського-Рабіновича на основі біполярної ТСВО за максимумом ентропії КС, значення яких становлять $\varepsilon = 0,2$, $h = 0,115$ і $g = 0,775$.

Запропоновано:

– нові електричні схеми генераторів детермінованого хаосу, побудованих за методом Кияшка-Піковського-Рабіновича, на основі польових і біполярних транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором (ТСВО) та досліджено дію адитивного білого гаусового шуму на динаміку хаотичних сигналів;

– нові електричні схеми генераторів детермінованого хаосу, побудованих за методом Аніщенко-Астахова, на основі біполярної ТСВО та БТ-МДН ТСВО;

– нову електричну схему генератора детермінованого хаосу, побудованого за методом Чуа, на основі МДН транзисторної структури з від'ємним диференціальним опором, що у режимі розвинутого хаосу має фазовий портрет з атрактором типу «подвійний завиток», що забезпечує кращі його інформаційні властивості (ентропія

КС $H = 0,2947$ і фрактальна розмірність $d_F = 2,0973$) за умови кубічної нелінійності ВАХ МДН транзисторної структури та симетричної схеми живлення.

Встановлено:

– ефективний спосіб керування динамікою сигналів детермінованого хаосу генератора Колпітца діапазону частот УВЧ;

– вплив адитивного білого гаусового шуму спостерігається при його інтенсивності починаючи з відносного рівня $D > 0,01$;

– використання транзисторної структури з сімейством ВАХ Λ -типу розширює фазовий простір генерованих хаотичних коливань.

Результати досліджень будуть корисними для світової науки при розробленні інфокомунікаційних систем, що забезпечують якісне високошвидкісне та приховане передавання інформації.

Новизну і значущість отриманих автором практичних результатів підтверджують 14 патентів України.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Обґрунтованість та вірогідність викладених у дисертації наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджуються використанням апробованого, математичного апарату, методів моделювання та виконання розрахунків; результатами проведених автором імітаційних комп'ютерних експериментів, кореляцією результатів моделювання та експериментальних досліджень, їх узгодженість з існуючими результатами та порівняльним аналізом результатів дисертаційних досліджень із даними літературних джерел.

Повнота викладу результатів досліджень у опублікованих працях

Усі наукові положення повністю викладені в наукових працях, опублікованих в двох монографіях; фахових виданнях України (27 статей) та зарубіжних (2 статті), у журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (6 статей), трьох патентах на винахід та 11 патентах на корисну модель і пройшли апробацію на науково-технічних конференціях (19 доповідей).

Аналіз публікацій засвідчує, що вони відображають зміст усіх розділів дисертаційної роботи.

Недоліки та зауваження щодо роботи

1. Розділи дисертації 2-7 переобтяжені викладенням літературних даних, що доцільно було б привести у оглядовому розділі.

2. Зазначено, на рис. 3.21; 5.39 (стор. 97, 305 дисертації) приведені гістограми розподілу функції ймовірності генерованих імпульсів напруги, це є некоректним. Очевидно, на зазначених рисунках приведені гістограми розподілу значень хаотичних коливань напруги.

3. На стор. 209 дисертації (висновок 3) зазначено, що гістограми розподілу функції ймовірності генерованих імпульсів напруги прямого та інвертованого

виходів генератора показують, що електричні коливання не випадкові, а детерміновані. Висновок некоректний, оскільки значення сигналів наперед передбачити неможливо.

4. На стор. 266 дисертації приведений вираз розмірності системи за Ляпуновим $d_{LI} = 2 + \lambda_1/|\lambda_3|$, але згідно виразу (3.16) стор. 180 вона повинна дорівнювати $d_{LI} = 2 + \lambda_1/|\lambda_3| + \lambda_2/|\lambda_3|$.

5. На рис. 4.52 (стор. 267 дисертації) не приведена графічна залежність одного із показників Ляпунова динамічної системи третього порядку.

6. На рис. 2.6; 2.7 і 2.8 приведені результати математичного моделювання генераторів електричних коливань, побудованих за методом Ван дер Поля за наявності адитивного білого шуму інтенсивністю $D = 0,125$ Вт/Гц. Слід зауважити, що при такому значенні потужності шуму для розмовного сигналу становила б більше 300 Вт. Очевидно, що вище зазначене значення є помилковим.

7. В роботі досліджуються системи в умовах дії адитивного білого гаусового шуму при різних значеннях його інтенсивності. На погляд опонента для електронних систем доцільно використовувати спектральну густину потужності адитивного білого гаусового шуму.

8. На стор. 318 дисертації зазначено, що максимальне значення старшого показника Ляпунова має місце при $m=1,2$ та $g=2,0$, що не підтверджено графічною залежністю рис. 2.52.

9. Із системи рівнянь (3.5) випливає, що адитивний білий гаусовий шум впливає тільки на значення напруги колектор-емітер одностранзистора генератора Колпітца. Не зрозуміло яким чином адитивний білий гаусовий шум впливатиме на інші змінні x_2 та x_3 .

10. У роботі і авторефераті мають місце граматичні та стилістичні помилки та описки.

Наведені зауваження не стосуються суті дисертаційної роботи, та не применшують її високої оцінки.

Загальна оцінка дисертаційної роботи

Подана до захисту дисертаційна робота Семенова Андрія Олександровича «Методи і пристрої генерування та формування сигналів з регулярною й хаотичною динамікою для інфокомунікаційних систем» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук є завершеною науково-дослідною роботою, що виконана на високому, науковому рівні.

В роботі отримані нові науково-технічні результати, що у сукупності вирішують актуальну і важливу науково-прикладну задачу розроблення нових пристроїв генерування сигналів для інфокомунікаційних систем.

В роботі проведений ґрунтовний аналіз методів генерування сигналів з регулярною та хаотичною динамікою. Пошукувачем вдало застосоване сучасне програмне забезпечення при моделюванні процесів у схемах генерування сигналів генераторами на базі транзисторних структур із від'ємним диференціальним опором.


Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог науково-технічних текстів, матеріали дисертації викладені логічно та послідовно. Незначні граматичні та стилістичні помилки в цілому не псують загального позитивного враження про роботу.

Текст автореферату і висновки повністю відображають зміст та результати досліджень, що наведені в дисертації. Основні результати роботи відображені в опублікованих наукових працях автора.

За актуальністю, новизною, практичною значимістю, обсягом і рівнем публікацій дисертація відповідає вимогам чинного положення про “Про порядок присудження наукових ступенів”, затвердженим Кабінетом Міністрів України (постанова № 567 від 24.07.2013 року), а її автор Семенов Андрій Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій.

Офіційний опонент

завідувач кафедри
радіотехніки та інформаційної безпеки
Чернівецького національного
університету імені Юрія Федьковича,
д. т. н., професор

 Політанський Л. Ф.

Підписи Політанського Л. Ф.
засвідчую
Учений секретар
Чернівецького національного університету
імені Юрія Федьковича



 Якубовська Н. О.