

ВІДГУК

на дисертаційну роботу ВО ЗУЙ ФУКА

на тему: «Ідентифікаційні ознаки спектрального складу випромінювання демаскуючого розсіювача в нелінійній радіолокації»,
представлену на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи»

Актуальність теми. Нелінійна радіолокація (НР) на даний час досягла чисельних впроваджень у різних сферах діяльності людини – промисловості, технічному захисті інформації, військовій справі та ін.

Тематика роботи безпосередньо пов'язана з ефектом нелінійного розсіювання. Під ефектом нелінійного розсіювання розуміють процес перевипромінювання об'єктом з нелінійними властивостями сигналів відгуку з новими спектральними складовими (під час зондування).

Перші роботи з дослідження ефекту нелінійного розсіювання радіохвиль були проведені на початку 70-х років, зокрема, в НДІ «Квант», м. Київ (див. роботу Верещагин Е. М. и др. «Транзисторно-варакторные генераторы». Под редакцией Ю. Г. Никитенко. – К., «Техніка», 1979, 175с.). Відомі теоретичні та експериментальні дослідження ефекту нелінійного розсіювання в НДРФІ під керівництвом Горбачова О. О. (Горбачева А. А.). Отримані результати дозволили групі Горбачова О. О. створити основи теорії нелінійного ефекту, сформувані нелінійну радіолокацію як науковий напрямок і зайняти провідне положення в цьому науковому напрямку. В дисертації Во Зуй Фука є посилання на багаточисельні сучасні роботи Горбачова О. О.

Актуальність роботи полягає у виявленні демаскуючих ознак напівпровідникових нелінійних розсіювачів (НРс) з метою збільшення ефективності використання нелінійних радіолокаторів для пошуку закладних пристроїв у сфері технічного захисту інформації. Дослідження демаскуючих ознак передбачає аналіз внутрішніх ефектів у напівпровідникових структурах НРс під час дії відносно потужного зондуючого сигналу нелінійного радіолокатора (ЗС НР).

Метою дисертаційної роботи є теоретичне та експериментальне дослідження структури відгуку нелінійного розсіювача під дією нелінійного радіолокатора на предмет забезпечення ефективності ідентифікації останнього.

Для досягнення цієї мети вирішувалися такі завдання:

- виявлення радіоелектронних закладних пристроїв в сфері технічного захисту інформації;
- надійність виявлення закладних пристроїв на базі тунельних діодів;
- імітаційні дослідження явища інверсії у співвідношенні рівнів гармонік спектру розсіяного нелінійним об'єктом сигналу відгуку;
- сертифікація нелінійного радіолокатора на надійність ідентифікації розсіювача з флуктуючими рівнями гармонік в спектрі сигналу відгуку.

Об'єктом дослідження є нелінійний радіолокатор, що формує інформативні відгуки розсіювачів.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Розроблено метод опорних параметрів розсіяного випромінювання для виявлення та ідентифікації закладних пристроїв, який відрізняється тим, що введена в нормативний простір апроксимуюча площина амплітуд наведеного сигналу в функції ширини області від'ємного диференційного опору вольт-амперних характеристик (ВАХ) елементів шуканого пристрою, щодо якої виконується перевірка надійності демаскуючої ознаки.

Виявлено причини ненадійного використання методів нелінійної радіолокації, обумовлені ефектом інверсії демаскуючої ознаки сигналу відгуку розсіювача внаслідок наявності області з від'ємним диференціальним опором при N-подібних ВАХ нелінійних радіоелементів розсіювача.

2. Створено універсальну модель ВАХ, що описується одним параметром – ступенем близькості до рівноважного стану напівпровідникового приладу, яка описує сімейство деформованих кривих напівпровідникової структури в складі розсіювача під впливом потужного зондуючого сигналу. Запропонована модель дозволяє достовірно виявити ефект інверсії демаскуючої ознаки і оцінити надійність функціонування нелінійного радіолокатора (НР).

3. Проведено оцінку впливу асиметрії ВАХ структур метал-окисел-метал у закладних пристроях на ефективність використання НР. Встановлено, що явні асиметрії ВАХ є причиною помилкової ідентифікації розсіювачів і, відповідно, суттєвого ускладнення використання НР в польових умовах.

4. Розроблено універсальний імітатор закладного пристрою на базі плоскої спіральної двозаходової антени з нелінійним навантаженням і можливістю варіювання напруги робочої точки. Режими універсального імітатора дозволяють відтворити (імітувати) розсіюючі властивості закладних пристроїв, що робить імітатор надійним засобом сертифікації НР.

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та додатку. Повний обсяг дисертації – 134 сторінки, з них 113 основної частини, список літератури з 113 джерел на 15 сторінках, додаток на 7 сторінках.

У першому розділі проведено аналіз основних методів виявлення, ідентифікації та локалізації нелінійних об'єктів у нелінійній радіолокації, що використовують первинні демаскуючі ознаки нелінійних розсіювачів.

Показано, що на ефективність використання нелінійних радіолокаторів у сфері технічного захисту інформації впливають наступні завади:

- від сторонніх джерел і внутрішні шуми приймачів нелінійних радіолокаторів;
- пов'язані з впливом на нелінійні розсіювачі (НРс) випромінювань від зовнішніх джерел;
- у вигляді спектральних відгуків структур типу «метал-оксид-метал».

Основні відомі напрямки підвищення ефективності використання НР пов'язані:

- з впровадженням схемотехнічних та конструктивних рішень, як правило, направлених на підвищення потужності передавача та чутливості приймачів, виграш у ефективності використання НР досягається за рахунок суттєвого ускладнення апаратури;

- з використанням ефективних алгоритмів обробки сигналу відгуку, що у багатьох випадках суттєво ускладнюють НР та вимагають від оператора НР високої кваліфікації;
- з дослідженням поляризаційних характеристик НРс, що є ефективним лише для «масивних» об'єктів, наприклад, транспорту тощо.

Обґрунтовано доцільність дослідження фізики процесів формування сигналу відгуку (СВ) НРс при дії відносно потужного ЗС НР, що дозволяє виявити нові принципи ідентифікації та локалізації НРс, наприклад, за демаскуючими ознаками.

Типові радіоелектронні пристрої (РЕП) мають складну еквівалентну антенну структуру з несистематизованою топологією. Елементарними диполями виступають виводи радіоелектронних приладів, доріжки друкованими плат, металізовані поверхні і т. д. За співвідношенням до довжини хвилі ЗС НР антенні структури РЕП поділяються на «електрично малі» (менше на порядок та більше довжини хвилі ЗС) і «електрично співмірні». Відповідно «електрично малим» антенним структурам властива мала нелінійна ефективна площа розсіювання (НЕПР) зондуючого сигналу. Тому НРс з «малою» НЕПР характеризуються «слабким випромінюванням» нелінійних продуктів (НП) при зондуванні. Розсіювачі з «електрично співмірними» антенними структурами мають досить «велику» НЕПР і випромінюють під час зондування досить потужний сигнал відгуку. Вплив зовнішніх перешкод на НРс може призводити до появи мультиплікативних складових в розсіяному сигналі, який може створити фіктивні сигнали відклику навіть при відсутності ЗС.

У другому розділі проведено дослідження ефективності виявлення закладних пристроїв на базі тунельного діоду.

При використанні НР, в основному, селекція нелінійних розсіювачів здійснюється по співвідношенню рівнів прийнятих другої і третьої гармонік. Для напівпровідникових НРс рівень другої гармоніки перевищує рівень третьої на 20...40 дБ. У разі МОМ-структур виконується зворотнє співвідношення. Ідентифікаційна ознака відображає несиметричність воль-амперних характеристик (ВАХ) напівпровідникових приладів в складі закладних пристроїв (ЗП) і симетричність ВАХ розсіювачів з МОМ-структур.

Для дослідження впливу форми ВАХ нелінійних приладів і МОМ-структур на співвідношення рівнів НП в спектрі перетвореного сигналу використаний метод апроксимуючих функцій. Надійність виявлення та ідентифікації НРс по співвідношенню рівнів другої і третьої гармонік визначається формою ВАХ напівпровідникового приладу або МОМ-структури, амплітудою індукованого сигналу і зміщенням робочої точки. Для розглянутих ВАХ труднощі в ідентифікації матимуть також місце при «квазірівності» гармонік розсіяного сигналу. У цих випадках оператор змушений вдаватися до додаткових методів ідентифікації.

Розглянуто два типи тунельних діодів, які використовують в схемах: Д951Б і АИ201А. Виконавши апроксимацію поліномом п'ятого порядку їх ВАХ, було враховано, що значення амплітуди індукованого в НРс сигналу U_m визначається ефективною площею розсіювання закладного пристрою і

потужністю ЗС. Проведено дослідження на значній вибірці з 25 зразків різних типів тунельних діодів. Серед характеристик ВАХ виділялась ширина області (НДО) δU , максимальний екстремум (далі максимальний струм I_{max}) і мінімальний екстремум (далі мінімальний струм I_{min}). Значення ширини δU на ВАХ розглядалось як різниця $\delta U = U_{B3} - U_{B1}$, де U_{B1} - напруга при I_{max} , U_{B3} - напруга при I_{min} .

Приведена нормована апроксимуюча функція N-подібної форми ВАХ тунельного діода. Параметр α характеризує «розтягнення» нормованої кривої ВАХ уздовж осі $U_{вд}$. У разі зміни обох параметрів α і β зміна відбувається не тільки в значеннях $\delta U_{вд}$ і $K_{вд}$, але і в їх співвідношенні $\delta U_{вд}/K_{вд}$. Параметр β характеризує ступінь відмінності між крутизною обох областей з позитивною і негативною нелінійністю.

У третьому розділі проведено дослідження структури і використання імітаторів закладних пристроїв в нелінійній радіолокації.

При використанні імітатора ЗП для визначення максимальної дальності його виявлення НР необхідно враховувати граничне значення рівня потужності ЗС. При пошуку об'єкта від НР при фіксованій чутливості його приймального пристрою збільшення щільності потоку потужності ЗС може привести до електричного або теплового пробою напівпровідникових структур в складі імітатора.

Деформація ВАХ напівпровідникового діода під час зондування пов'язана в першу чергу з дисипацією енергії ЗС НВЧ поля, що призводить до ефекту розігріву вільних носіїв заряду. Явище дисипації викликає порушення рівноважного стану напівпровідникової структури шляхом її розігріву. Прийнято $\gamma = T_0 / (T_0 + \Delta T)$, де γ – ступінь близькості до рівноважного стану, γ – внутрішній параметр напівпровідникової структури, що характеризує відхилення її стану від рівноважного під впливом зовнішніх факторів, $\gamma_{max} = 1$. γ_{min} обмежена тепловим пробоем.

В експерименті використовувався НР типу «NR-μ», імітатор був розміщений на відстані 0,5 м від випромінювача, реєстрація ВАХ з виводів СВЧ діода виконувалася за допомогою вимірювального комплексу МВУ8. При діючій потужності в діапазоні 50-500 мВт на ВАХ з'являється область з негативним диференціальним опором.

У четвертому розділі представлені результати експериментальних досліджень дальності виявлення розсіювача та сертифікація нелінійного радіолокатора за ефективністю ідентифікації розсіювачів.

Для визначення максимальної дальності дії НР перспективно використання розробленого імітатора РЕП на базі двохзаходової плоскої спіральної антени (ПСА). Вибір такої антенної системи пов'язаний із забезпеченням роботи в широкому діапазоні частот в умовах еліптичної поляризації.

При моделюванні сімейства N-подібних ВАХ зручно використане нормовання експериментальних значень $I_N(U_N)$, оскільки нормовану апроксимуючу функцію (НАФ) легко виразити за допомогою експоненційних функцій. Змінними НАФ є: U_N – нормована напруга, змінюється в інтервалі 0–1,

γ_{ct} – наведений параметр деформації, змінюється в інтервалі 0–1, характеризує крутизну деформованої кривої при початку координат.

Специфікацію НР ефективно здійснено за допомогою імітатора РЕП на базі ПСА з активною напівпровідниковою структурою в навантаженні. Запропонований сертифікаційний імітатор здатний змінювати свої розсіюючі властивості, завдяки чому можливо визначити максимальну дальність надійного виявлення імітатора.

Фактор потужності визначає можливість фізичної реалізації виявлення НРс методом нелінійної локації. Фактор порога визначає довіру до прийнятого рішення про виявленні НРс по демаскуючих ознаках, виходячи з практичного досвіду застосування НР. Оператор під час проведення експериментів керується кореляцією між рівнем потужності ЗС і значенням порога L .

Для типового НР сертифікаційні дослідження за допомогою імітатора НРс припускались дві серії випробувань.

У першій серії експериментів для мінімального значення потужності ЗС НР – P_{\min} , знаходиться мінімальний поріг L_{\min} , при якому з максимальною достовірністю виявляється імітатор на фіксованій відстані $l_{\min} = 0,5$ м.

У другій серії експериментів для максимального значення потужності ЗС НР – P_{\max} , знаходиться максимальний поріг L_{\max} , при якому з максимальною достовірністю виявляється імітатор на фіксованій відстані.

За допомогою знайдених величин $\langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle$ і $\langle l_{\text{ГРАН}} \rangle$ можна охарактеризувати пристосованість НР для роботи, наприклад, в умовах приміщень з невеликим простором. При цьому на ділянці від $\langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle$ до $\langle l_{\text{ГРАН}} \rangle$ виділяється три області:

$(\langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle; l_1)$, $(l_1; l_2)$ і $(l_2; \langle l_{\text{ГРАН}} \rangle)$.

Перша область $(\langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle; l_1)$ характеризується впливом рівня потужності зондуючого сигналу на дисипативні процеси в напівпровідникових структурах НРс, в зв'язку з чим спотворення ВАХ відбувається за рахунок ефекту вільного розігріву основних носіїв заряду.

Друга область $(l_1; l_2)$ характеризується несуттєвим впливом рівня потужності зондуючого сигналу на дисипативні процеси в напівпровідникових структурах НРс.

Третя область $(l_2; \langle l_{\text{ГРАН}} \rangle)$ характеризується слабкою «вагомністю» наведеного на НРс зондуючого сигналу, через що маємо допустимо «малі» рівні випромінених демаскуючих гармонік.

При цьому ефективність адаптації приладу до умов роботи визначається через $\max(\langle l_{\text{ГРАН}} \rangle - \langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle)$.

Величина $\langle l_{\text{ПОЧ}} \rangle$ характеризує можливість використання НР в умовах обмеженого простору, а $\langle l_{\text{ГРАН}} \rangle$ – здатність НР виявляти НРс в товщі, наприклад, будівельних конструкцій.

Розроблено універсальний імітатор закладного пристрою, що має належну широкополосність, кругову або еліптичну поляризацію. В якості сертифікаційного імітатора запропоновано використовувати імітаційний розсіювач на базі двузаходової плоскої спіральної антени з «керованием» нелінійним навантаженням у вигляді напівпровідникових елементів з N-подібною вольт-амперною характеристикою. За допомогою узагальненої

нормованої апроксимаційної функції, яка описує деформації кривих ВАХ, отримана аналітична залежність нормованих рівнів другої і третьої гармонік від нормованого значення напруги і параметра деформації, що дало змогу дослідити ефективність достовірного виявлення НРС по пороговому співвідношенню рівнів кратних гармонік сигналу відгуку. Використання порогового співвідношення дозволило використовувати його в якості критерія достовірної ідентифікації як для «малопотужних», так і для НРС з «великою» нелінійною ефективною площею розсіювання.

Обґрунтованість та достовірність наукових висновків

Наукові положення і висновки, зроблені автором, обґрунтовані коректно поставленим завданням, розв'язуються чітко і послідовно.

Практична цінність дисертаційної роботи

Достовірність отриманих результатів не тільки перевірена теоретично, а і підтверджена експериментальним шляхом.

Робота тісна пов'язана з практикою, наукові положення впроваджені в «Науково-виробничому товаристві «Фотон» (Акт впровадження міститься в дисертації за підписом директора ТОВ «НВП «Фотон» А. С. Тодоренка).

Повнота викладення здобувачем основних результатів

Матеріали дисертаційної роботи повністю описані в 15 публікаціях, з них 5 статей у міжнародних фахових виданнях, 10 у тезах доповідей на наукових конференціях.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації і автореферату

Дисертаційну роботу написано грамотно, на високому науковому рівні. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, написаний грамотно та з використанням сучасної наукової термінології. Оформлення дисертаційної роботи та автореферату відповідає вимогам державних стандартів і ВАК України.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. В роботі автором використані методи апроксимації полінома для аналізу вольт-амперних характеристик напівпровідникових приладів, однак не приведений аналіз похибки.
2. Для оцінювання ефективності роботи нелінійного радіолокатора запропоновано методи побудови імітатора, але кількісно не показано достовірність імітаційних випробувань.
3. У роботі розглянута математична модель для тунельного діода, а бажано було б проаналізувати також інші прилади.
4. В роботі відсутній розділ «Прийняті скорочення», що ускладнює розуміння досліджень.

5. Зустрічається ряд граматичних помилок при висвітлені матеріалів роботи (особливо в авторефераті).
Вказані вище зауваження не мають принципового значення, скоріше носять методичний та технічний характер і не зменшують наукової та практичної цінності результатів роботи.

Загальні висновки

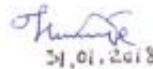
Викладені міркування дають можливість стверджувати, що дисертаційна робота Во Зуї Фука є завершеним науковим дослідженням, яке присвячене розробці методів для забезпечення ефективної ідентифікації закладних пристроїв з використанням нелінійного радіолокатора.

За актуальністю розглянутих задач, обсягом досліджень, науковим рівнем і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567, а її автор Во Зуї Фук заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – «Радіотехнічні та телевізійні системи».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

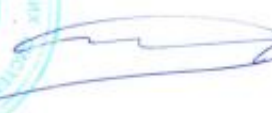
Державного підприємства Науково-дослідний інститут радіолокаційних систем «Квант-Радіолокація»


24.01.2018

Ю. Г. Нікітенко

Підпис Нікітенка Ю. Г. засвідчую

Помічник директора з маркетингу

 О. М. Северін