

УДК 638.235.231

ВТОРИННІ ЕФЕКТИ ПРИ НЕЛІНІЙНОМУ РОЗСІЮВАННІ МОНОГАРМОНІЧНОГО НВЧ СИГНАЛУ

Ю. Ф. Зінковський, М. В. Зінченко

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"
просп. Перемоги, 37, 03056, м. Київ-56, Україна. E-mail: zil157k@meta.ua

Розглянута актуальна проблема забезпечення високої ефективності використання нелінійних радіолокаторів у сфері технічного захисту інформації. Проаналізовані шляхи поліпшення параметрів нелінійних радіолокаторів. Встановлено, що в процесі виявлення нелінійних об'єктів при моногармонічному зондуванні в багатьох випадках досить складно ідентифікувати природу розсіювача. Забезпечення чіткої ідентифікації можливе завдяки дослідженню вторинних демаскуючих ознак нелінійних розсіювачів. Запропоновано використання вторинних ефектів при нелінійному розсіюванні для виявлення, ідентифікації та локалізації розсіювачів у нелінійній радіолокації. Показано, що значення девіацій фаз перевипромінюваних напівпровідниковим розсіювачем нелінійних продуктів сигналу відгуку функціонально залежать від рівня потужності зондуючого сигналу нелінійного радіолокатора. Також розглянута притаманна лише напівпровідниковим розсіювачам властивість перевипромінювати нелінійні продукти сигналу відгуку з однаковою частотою, але неоднаковою природою походження – кратна гармоніка та комбінаційна частота, функціональна залежність приростів зсувів фаз яких є різною.

Ключові слова: нелінійна радіолокація, нелінійний розсіювач, сигнал відгуку, девіація фаз.

ВТОРИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ РАССЕИВАНИИ МОНОГАРМОНИЧЕСКОГО СВЧ СИГНАЛА

Ю. Ф. Зинковский, М. В. Зинченко

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"
просп. Победы, 37, 03056, г. Киев-56, Украина. E-mail: zil157k@meta.ua

Рассмотрена актуальная проблема обеспечения высокой эффективности использования нелинейных радиолокаторов в сфере технической защиты информации. Проанализированы пути улучшения параметров нелинейных радиолокаторов. Установлено, что в процессе выявления нелинейных объектов при моногармоническом зондировании во многих случаях достаточно сложно идентифицировать природу рассеивателя. Обеспечение четкой идентификации возможно благодаря исследованию вторичных демаскирующих признаков нелинейных рассеивателей. Предложено использование вторичных эффектов при нелинейном рассеивании для выявления, идентификации и локализации рассеивателей в нелинейной радиолокации. Показано, что значение девіацій фаз переизлученных полупроводниковыми рассеивателями нелинейных продуктов сигнала отклика функционально зависят от уровня мощности зондирующего сигнала нелинейного радиолокатора. Также рассмотрено присущее лишь полупроводниковым рассеивателям свойство переизлучать нелинейные продукты сигнала отклика с одинаковой частотой, но неодинаковой природой происхождения – кратная гармоника и комбинационная частота, функциональная зависимость приростов сдвигов фаз которых является разной.

Ключевые слова: нелинейная радиолокация, нелинейный рассеиватель, сигнал отклика, девіація фаз.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Нелінійна радіолокація досягла численних впроваджень у різні сфери – промисловість, технічний захист інформації, військова справа та інші.

Більшість існуючих нелінійних радіолокаторів (НР) за показниками ефективності використання (дальності дії, роздільної здатності, вибіркової тощо) не повністю відповідають вимогам нормативного документа технічного захисту інформації НД ТЗІ 1.4.–002–08 «Радіолокатори нелінійні. Класифікація. Рекомендовані методи та засоби випробувань».

Це пов'язано з тим, що первинні демаскуючі ознаки (кратні гармоніки частоти моногармонічного зондуючого сигналу (ЗС), комбінаційні частоти у випадку бігармонічного ЗС) притаманні двом класам нелінійних розсіювачів (НРс) – напівпровідниковим НРс (мають у своєму складі радіоелектронні напівпровідникові елементи) та структурам типу «метал-окисел-метал» (МОМ-структури), і відрізняються лише рівнями спектральних складових (нелінійних продуктів) сигналу відгуку (СВ), які для цих випадків співрозмірні з шумом.

Постановка задачі. Для МОМ-структур харак-

терна незмінність рівня третьої гармоніки при варіюванні рівня потужності ЗС, починаючи з відповідного значення граничного рівня потужності діючого НВЧ поля. Граничний рівень потужності визначається природою МОМ-структури та площею окисленої поверхні.

Встановлено, що відносно великий рівень потужності ЗС НР (до 1 Вт на вході випромінювача) спричиняє спотворення характеристик напівпровідникових структур НРс. Так дія відносно потужного НВЧ поля на кремнієвий діод призводить до появи області з негативним диференціальним опором на його вольт-амперній характеристиці (рис. 1), що пов'язано з детекторним ефектом та розігрівом вільних носіїв заряду. Так, наприклад, на рис. 1. представлені експериментальні вольт-амперні характеристики НВЧ діода типу 2А604А для різних значень потужності зондуючого сигналу нелінійного радіолокатора $P_{ЗС}$, мВт: 1 – 0; 2 – 150; 3 – 350; 4 – 500 [1; 2].

Тому стає актуальним дослідження впливу явища спотворення характеристик нелінійних структур напівпровідникових НРс на поведінку картини роз-

сіювання сигналу відгуку. Також значимим є виявлення вторинних ефектів розсіювання, під якими необхідно розуміти закономірності перебігу явищ та процесів в досліджуваному середовищі, які є наслідком зміни (спотворення) нелінійних областей статичних характеристик напівпровідникових структур НРС у процесі зондування через вплив рівня потужності ЗС НР.

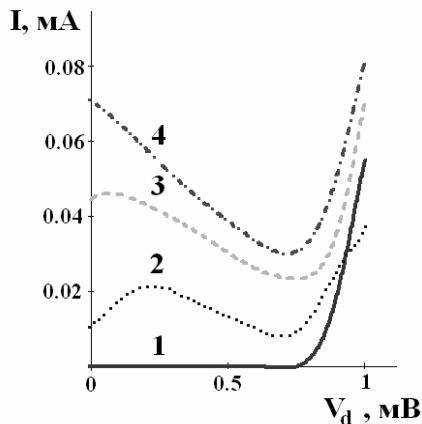


Рисунок 1 – Експериментальні вольт-амперні характеристики НВЧ діода типу 2A604A для різних значень потужності зонduючого сигналу нелінійного радіолокатора P_{3C} , мВт: 1 – 0; 2 – 150; 3 – 350; 4 – 500.

Мета роботи – дослідження вторинних ефектів при нелінійному розсіюванні моногармонічного НВЧ сигналу.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Еквівалентна схема нелінійної структури типового напівпровідникового НРС відповідає рис. 2, де активна область напівпровідника представлена послідовним з'єднанням двох паралельних RC кіл, одне з яких R_0, C_0 характеризує першочерговий її стан, а інша (R_d, C_d) – враховує спотворення через дію відносно потужного ЗС НР. Опір R_d є негативним диференціальним опором діода при дії ЗС НР (на рис. 2 зі знаком “-”).

В еквівалентну схему кремнієвого діода входять такі паразитні параметри як: ємність C_c та індуктивність L_c корпусу, а також опір R_c контактних площин і корпусу діода.

Згідно рис. 2 умовою самозбудження є рівність активної складової повної провідності нулю (див. (1)).

Частота некрatної гармоніки визначається відповідно з рівності уявної складової нулю (див. (2)).

Встановлено, що при дії ЗС НР параметри системи на рис. 2 зазнають динамічних змін – флюктують, як наслідок, некрatна гармоніка зміщується у відповідному діапазоні частот.

Важливим є ефект появи області петлеутворення на функціональній залежності рівня крatної гармоніки сигналу відгуку НРС від рівня потужності зонduючого сигналу НР, який фізично пояснюється наступним [3]. Збудження квазігармонічних коливань відбувається при певних значеннях потужнос-

ті зонduючого сигналу, наприклад, на рис. 3 – це значення $P_{3C}^{(3B1)}$ та $P_{3C}^{(3B2)}$ (відрізняються за значенням для різних напівпровідникових НРС).

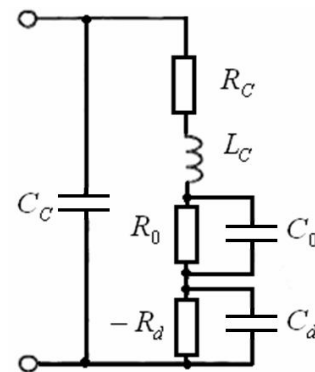


Рисунок 2 – Еквівалентна схема нелінійної структури типового напівпровідникового НРС

Після збудження спостерігається падіння амплітуд перевипромінюваних основної складової з крatними їй гармонік, що пов'язано з перерозподілом поглиненої НРС енергії ЗС НР. Наприклад, до збудження поглинена НРС енергії ЗС НР йшла на його нагрівання (дисипативні втрати) та перевипромінювання основної складової з крatними їй гармоніками.

Далі поглинена НРС енергії ЗС НР йде на його нагрівання, перевипромінювання основної складової з крatними їй гармоніками та генерацію з подальшим випромінюванням в навколишнє середовище квазігармонічного сигналу (його частота не є крatною частоті зонduючого сигналу). Зі збільшенням потужності ЗС НР, маємо одночасне зростання енергії перевипромінювання основної та крatних їй гармонік і випромінювання квазігармонічного сигналу та зростання дисипативних втрат.

Після деякого граничного значення рівня потужності ЗС $P_{3C}^{(ГР)}$ (рис. 3) характерні незворотні перетворення в напівпровідниковій структурі НРС, що може призвести до втрати його напівпровідникових властивостей.

У разі зменшення потужності зонduючого сигналу після збудження квазігармонічних коливань, слідує одночасне пониження енергій перевипромінювання основної складової з крatними гармоніками і випромінювання квазігармонічного сигналу, та зменшення дисипативних втрат. При цьому значення потужності ЗС НР, при якому зникає генерування квазігармонічних коливань для одного й того ж НРС, не дорівнює відповідному значенню збудження (наприклад, на рис. 3 $P_{3C}^{(3B1)}$ не дорівнює $P_{3C}^{(3H1)}$ та $P_{3C}^{(3B2)}$ не дорівнює $P_{3C}^{(3H2)}$). Таким чином, маємо утворення петлі в функціональній залежності рівня (амплітуди) другої гармоніки у розсіяному НРС сигналі відгуку від рівня потужності ЗС НР.

$$G_D = \frac{R_C + \frac{R_0}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} + \frac{R_d}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2}}{\left(R_C + \frac{R_0}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} + \frac{R_d}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2} \right)^2 + \omega^2 \left(L_C - \frac{C_0 R_0^2}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} - \frac{C_d R_d^2}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2} \right)^2} = 0, \quad (1)$$

$$iB_D = i\omega \left[C_C - \frac{L_C - \frac{C_0 R_0^2}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} - \frac{C_d R_d^2}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2}}{\left(R_C + \frac{R_0}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} + \frac{R_d}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2} \right)^2 + \omega^2 \left(L_C - \frac{C_0 R_0^2}{1 + \omega^2 C_0^2 R_0^2} - \frac{C_d R_d^2}{1 + \omega^2 C_d^2 R_d^2} \right)^2} \right] = 0. \quad (2)$$

Отже, перерозподіл поглиненої енергії відносно потужного ЗС НР на генерування напівпровідниковим нелінійним розсіювачем некротних гармонік тісно пов'язаний з інерційністю процесів спотворення ВАХ нелінійної структури під час зниження рівня потужності ЗС НР. Тобто НРС продовжує деякий час генерувати некротні гармоніки, незважаючи на недостатній рівень потужності діючого ЗС НР.

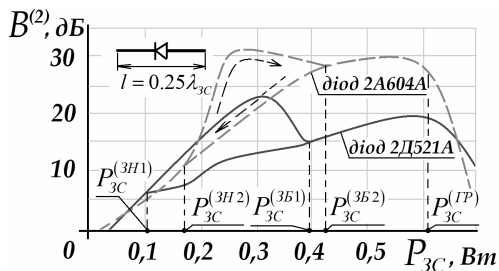


Рисунок 3 – Експериментально встановлена функціональна залежність рівня другої гармоніки розсіяного НРС сигналу відгуку від рівня потужності ЗС НР

Оскільки всі перерозподіли поглиненої напівпровідниковим НРС енергії ЗС НР пов'язані між собою, то наслідком інерційності процесу генерування некротних гармонік є поява області петлеутворення на функціональній залежності рівня (амплітуди) другої гармоніки в розсіяному НРС сигналі відгуку від рівня потужності ЗС НР. Розглянута властивість характерна лише для напівпровідникових НРС, а тому її можна використовувати для виявлення, ідентифікації та локалізації НРС у нелінійній радіолокації.

Відомі приклади застосування багатогармонічного ЗС та способів обробки можливих комбінацій прийнятих нелінійних продуктів (НП), які дозволяють значно підвищити ефективність ідентифікації НРС в порівнянні з серійними аналогами завдяки використанню методу порівняння фаз НП сигналу відгуку від НРС [4, 5]. Наприклад, для випадку застосування двох моногармонічних ЗС виду

$$e_{S1}(t) = A_0 \cos(\omega_1 t + \phi_1 + 2\pi r/\lambda_1),$$

$$e_{S2}(t) = A_0 \cos(\omega_2 t + \phi_2 + 2\pi r/\lambda_2),$$

де A_0 – амплітуда моногармонічних складових багатогармонічного ЗС; ω_1, ω_2 – кругові частоти моногармонічних складових багатогармонічного ЗС; ϕ_1, ϕ_2 – початкові фази моногармонічних складових багатогармонічного ЗС; r – відстань між НР та НРС; λ_1, λ_2 – довжини хвиль моногармонічних складових багатогармонічного ЗС. Прийнятий НР сигнал відгуку за методом порівняння фаз НП сигналу відгуку від НРС буде мати вигляд

$$e'_S(t) = \beta_2 A_0^2 \left\{ \left[1 + \cos\left(\Omega_1 t + \frac{4\pi r}{\Lambda} + \Delta\Psi + \Delta\Psi_{HE} \right) \right] \times \right.$$

$$\left. \times \cos\left[\Omega_2 t + 4\pi r \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \right) + \Delta\phi + \Delta\phi_{HE} \right] \right\},$$

де β_2 – коефіцієнт нелінійного перетворення другого порядку; Λ – довжина хвилі для комбінаційної частоти $\Omega_1 = \omega_2 - \omega_1$; $\Delta\Psi = \phi_2 - \phi_1$, $\Delta\Psi_{HE} = \phi_{2HE} - \phi_{1HE}$ – зсуви фаз нелінійним елементом для комбінаційної частоти Ω_1 ; ϕ_{1HE}, ϕ_{2HE} – фазові спотворення для моногармонічних складових багатогармонічного ЗС, внесені нелінійним елементом та антенною структурою НРС; $\Delta\phi = \phi_2 + \phi_1$, $\Delta\phi_{HE} = \phi_{2HE} + \phi_{1HE}$ – зсуви фаз для комбінаційної частоти $\Omega_2 = \omega_2 + \omega_1$.

Особливістю методу порівняння фаз НП сигналу відгуку від НРС є неврахування впливу рівня потужності електромагнітного поля, створюваного складовими ЗС, на значення зсувів фаз НП сигналу відгуку напівпровідниковим елементом та антенною структурою НРС.

В якості демаскуючого чинника розглянемо залежність значення зсуву фаз НП сигналу відгуку від рівня потужності ЗС НР.

Фізично ефект залежності значення зсуву фаз НП сигналу відгуку від рівня потужності ЗС має наступний фізичний зміст.

Відомий вплив вхідної антенної системи та навантаженого на неї нелінійного елемента в НРС на зсув фаз НП СВ – кратних гармонік чи комбінаційних частот [4; 5]. Для прикладу, розглянемо електричну модель НРС у вигляді симетричного вібратора з навантаженим помножувальним діодом 2A605Б, відносно якої можна здійснити розрахунки щодо зсуву фаз НП. В цьому випадку суттєвою є оцінка окремих впливів на зсув фаз НП вхідною

антенною системою НРс та самим нелінійним елементом.

Для аналізу впливу антенної структури НРс на зсув фаз НП СВ достатньо виділити тільки еквівалентну електричну схему антенної структури НРс [6], що приведена на рис. 4. На рис. 4 наступні позначення: L_a – індуктивність, C_a – ємність, R_a – опір антени, R_n – опір навантаження антенної структури, R_g – опір вільного простору, в якому поширюється електромагнітна хвиля ЗС. Електричні параметри в еквівалентній схемі антенної структури за допомогою теоретичних розрахунків підібрано для забезпечення робочої смуги 100 – 1900 МГц. При цьому модель буде надширокополосною з допустимим перепадом коефіцієнта передачі в робочому діапазоні для нелінійної радіолокації. На рис. 5 представлені розраховані функціональні залежності приросту зсуву фази ЗС при його проходженні через антенну структуру НРс в діапазоні частот 900 – 950 МГц (залежність 1). Збільшення фази для першої гармоніки ЗС становить – 4,5 град. Залежність 2 на рис. 5 відповідає абсолютному значенню зміни фази другої гармоніки ЗС в діапазоні 1800 – 1850 МГц та становить – 0,2 град (при проходженні з вузла 2 у вузол 1, згідно еквівалентної схеми на рис. 4), похибка значення приросту зсуву фази не перевищує $\pm 0,1$ град (у зазначеному діапазоні).

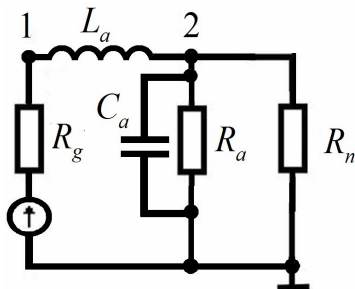


Рисунок 4 – Еквівалентна схема антенної структури НРс

На рис. 6 представлені розрахунки приросту зсуву фази ЗС на помножувальному діоді 2A605Б від розстроювання частоти моногармонічного ЗС з врахуванням впливу антенної структури за схемою, представленою на рис. 4. Згідно з рис. 6, частота першої гармоніки змінювалася в інтервалі 900 – 960 МГц (залежність 1), частота другої гармоніки – в інтервалі 1800 – 1880 МГц (залежність 2). Приріст зсуву фаз для першої гармоніки становив до 5 град, а для другої – до 8 град, при максимальному розстроєнні частоти моногармонічного ЗС 60 МГц.

Таким чином, вплив вхідної антенної системи НРс менш значимий порівняно із нелінійним елементом на зсув фаз НП СВ–кратних гармонік чи комбінаційних частот.

Спотворення ВАХ при дії відносно потужного НВЧ випромінювання на напівпровідникову структуру є причиною (зміна значень параметрів реактивних елементів еквівалентної схеми нелінійної

структури напівпровідникового НРс) додаткових приростів зсувів фаз нелінійних продуктів – кратних гармонік чи комбінаційних частот.

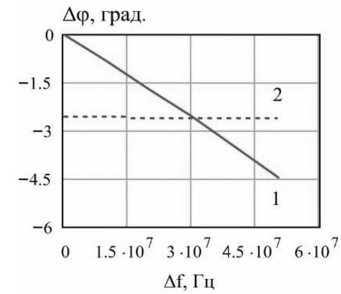


Рисунок 5 – Функціональна залежність від розстроювання частоти приросту зсуву фаз складових сигналів відгуку в антенній структурі НРс

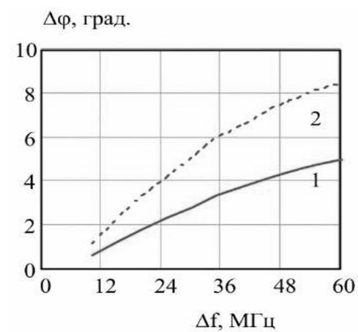


Рисунок 6 – Функціональна залежність від розстроювання частоти приросту зсуву фаз складових сигналів відгуку в нелінійному елементі (діоді 2A605Б) НРс

На рис. 7 представлена експериментальна функціональна залежність від рівня потужності моногармонічного ЗС приросту зсуву фази другої гармоніки в нелінійному елементі (діоді 2A605Б) НРс для відповідних значень частот зондування [7]. На ній видно, що варіювання рівня потужності моногармонічного ЗС спроможне забезпечити в нелінійному елементі (діоді 2A605Б) максимальний приріст зсуву фази на 20 град для другої гармоніки з частотою 1200 МГц, на 30 град відповідно для 1600 МГц та на 35 град відповідно для 1800 МГц.

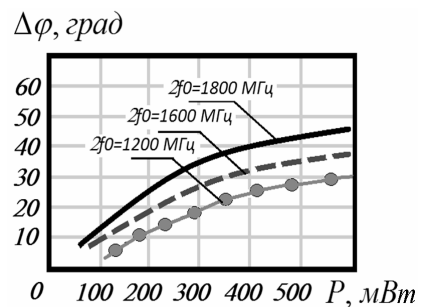


Рисунок 7 – Експериментальна функціональна залежність від рівня потужності моногармонічного ЗС приросту зсуву фази другої гармоніки в нелінійному елементі (діоді 2A605Б) НРс для відповідних значень частот зондування

На рис. 8 представлена експериментальна функціональна залежність від рівня потужності бігармонічного ЗС приросту зсуву фази НП з комбінаційною частотою, що дорівнює сумі частот складових опромінюючого сигналу, в нелінійному елементі (діоді 2A605B) НРс для відповідних значень частот зондування [8]. На ній видно, що варіювання рівня потужності бігармонічного ЗС спроможне забезпечити в нелінійному елементі (діоді 2A605B) максимальний приріст зсуву фази на 7 град для НП з комбінаційною частотою, що дорівнює сумі частот складових опромінюючого сигналу, з частотою 1200 МГц, на 10 град відповідно для 1600 МГц та на 20 град відповідно для 1800 МГц.

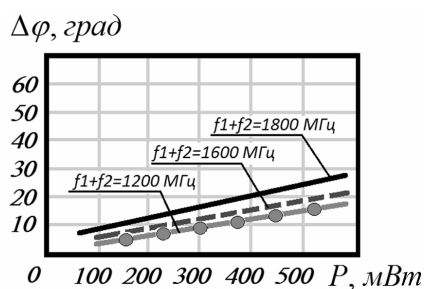


Рисунок 8 – Експериментальна функціональна залежність від рівня потужності бігармонічного ЗС приросту зсуву фази НП з комбінаційною частотою, що дорівнює сумі частот складових опромінюючого сигналу, в нелінійному елементі (діоді 2A605B) НРс для відповідних значень частот зондування

Порівнюючи рис. 7 та рис. 8 видно, що при варіюванні рівня потужності ЗС маємо різну функціональну залежність приростів зсувів фаз для НП з однаковою частотою, але неоднаковою природою походження – кратна гармоніка та комбінаційна частота. Причому розходження приростів зсувів фаз НП з однаковою частотою, але неоднаковою природою походження, при варіюванні рівня потужності ЗС є суттєвим, що дозволяє застосувати розглянутий ефект для ідентифікації НРс.

Отже, відносно великий рівень потужності ЗС НР спотворює характеристики нелінійних структур напівпровідникових НРс, тобто впливає на значення параметрів реактивних елементів еквівалентної схеми нелінійної структури НРс. Оскільки значення параметрів реактивних елементів еквівалентної схеми нелінійної структури НРс впливають на зсув фази прийнятого ЗС НР, то існує функціональна залежність значення девіації фази поглиненого нелінійним розсіювачем ЗС у нелінійній структурі від рівня потужності ЗС НР. Як наслідок, значення девіацій фаз перевипромінюваних напівпровідниковим НРс нелінійних продуктів СВ також функціонально залежатимуть від рівня потужності ЗС НР. Притаманну властивість лише напівпровідниковим НРс доцільно використовувати для виявлення, ідентифікації та локалізації НРс у нелінійній радіолокації. Також у нелінійній радіолокації для виявлен-

ня, ідентифікації та локалізації НРс можна використати притаманну лише напівпровідниковим НРс властивість розсіювати нелінійні продукти СВ з однаковою частотою, але неоднаковою природою походження – кратна гармоніка та комбінаційна частота, функціональна залежність приростів зсувів фаз яких є різною. Це пов'язано з тим, що у випадку кратної гармоніки частоти ЗС зсув фази залежить від значення робочої частоти та рівня потужності моногармонічного ЗС НР, а у випадку комбінаційної частоти зсув фази залежить від значення частот складових та рівня потужності бігармонічного ЗС НР.

ВИСНОВКИ. Нелінійна радіолокація досягла численних впроваджень у різні сфери діяльності – промисловість, технічний захист інформації, військова справа та інші. Первинні демаскуючі ознаки (кратні гармоніки частоти моногармонічного зондування сигналу (ЗС), комбінаційні частоти у випадку бігармонічного ЗС) притаманні двом класам нелінійних розсіювачів (НРс) – напівпровідниковим НРс (мають у своєму складі радіоелектронні напівпровідникові елементи) та структурам типу «метал-окисел-метал» (МОМ-структури), і відрізняються лише рівнями спектральних складових (нелінійних продуктів) сигналу відгуку (СВ), які для цих випадків співрозмірні з шумом. Перспективним є виявлення вторинних ефектів розсіювання, під якими необхідно розуміти закономірності перебігу явищ та процесів в досліджуваному середовищі, які є наслідком зміни (спотворення) нелінійних областей статичних характеристик напівпровідникових структур НРс у процесі зондування через вплив рівня потужності ЗС нелінійного радіолокатора (НР). Значення девіацій фаз перевипромінюваних напівпровідниковим НРс нелінійних продуктів СВ функціонально залежать від рівня потужності ЗС НР. Ця властивість притаманна лише напівпровідниковим розсіювачів, а тому її доцільно використовувати для виявлення, ідентифікації та локалізації НРс у нелінійній радіолокації. Також у нелінійній радіолокації для виявлення, ідентифікації та локалізації НРс можна використати притаманну лише напівпровідниковим НРс властивість розсіювати нелінійні продукти СВ з однаковою частотою, але неоднаковою природою походження – кратна гармоніка та комбінаційна частота, функціональна залежність приростів зсувів фаз яких є різною.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ідентифікація напівпровідників засобами нелінійної локації за двома гармоніками / М.В. Зінченко, Ю.Ф. Зінковський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2009. – Вип. 38. – С. 102–111.
2. Воздействие мощного микроволнового излучения на полупроводниковые диодные структуры в цепях СВЧ / Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, С.Б. Вениг и др. // Известия высших учебных заведений.

Радиоэлектроника. НТУУ «КПИ». – 2003. – № 3. – С. 40–48.

3. Патент України на корисну модель UA 71286 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Спосіб селекції нелінійних розсіювачів за рівнем однієї гармоніки / М.В. Зінченко, Ю.Ф. Зінковський, М.І. Прокоф'єв. – № u201115179; Заявл. 21.12.2011; Опубл. 10.07.2012. – Бюл. № 13/2012.

4. К вопросу о применении многочастотного сигнала в нелинейной радиолокации / Н.С. Вернигоров, А.Р. Борисов, В.Б. Харин // Радиотехника и электроника. – 1998. – Т. 43, № 1. – С. 63–66.

5. Применение сверхкоротких сверхширокополосных импульсов в нелинейной радиолокации / В.Б. Авдеев, А.В. Бердышев, С.Н. Паньчев // II Всероссийская научная конференция «Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике», 4–7 июля 2006 г.: тезисы докладов. – Муром: Муромский институт Владимирского госуниверситета, 2006. – С. 346.

6. Влияние антенно-фидерного тракта нелинейного объекта на дальность обнаружения в нелинейной локации / Н.С. Вернигоров, В.Б. Харин // Радиотехника и электроника. – 1997. – Т. 42, № 12. – С. 1267.

7. Патент України на корисну модель UA 74606 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Спосіб ідентифікації нелінійних розсіювачів шляхом фазової синхронізації нелінійних продуктів сигналу відгуку при багатогармонічному зондуванні / М.В. Зінченко, Ю.Ф. Зінковський, М.І. Прокоф'єв. – № u201202107; Заявл. 23.02.2012; Опубл. 12.11.2012. – Бюл. № 21/2012.

8. Патент України на корисну модель UA 74607 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Спосіб селекції нелінійних розсіювачів за дев'яцією фази сигналу відгуку під час зондування / М.В. Зінченко, Ю.Ф. Зінковський, М.І. Прокоф'єв. – № u201202108; Заявл. 23.02.2012; Опубл. 12.11.2012. – Бюл. № 21/2012.

SECONDARY EFFECTS AT NONLINEAR SCATTERING OF A SIMPLE HARMONIC MICROWAVE SIGNAL

U. Zinkovskiy, M. Zinchenko

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

Prospect Peremogy 37, Kiev 03056, Ukraine. E-mail: zil157k@meta.ua

The authors have considered the topical problem of securing the high efficiency of nonlinear radar usage in the area of technical information protection. The ways to improve the parameters of nonlinear radar were analyzed. It was found that during the identification of nonlinear objects at the monoharmonic sounding process, in many cases, it is difficult to identify the nature of the scatterer. Providing a clear identification is possible thanks to the research of secondary unmasking signs of nonlinear scatterers. In the paper, the usage of secondary effects at nonlinear scattering for the detection, identification, and localization of scatterers in nonlinear radar is proposed. It is shown that the value of phase deviations of the nonlinear products of the response signal reradiated by semiconductor scatterers depends on the power level of the probe signal of nonlinear radar. Also, the authors have discussed the inherent property of semiconductor scatterers to re-emit the nonlinear products of the response signal with the same frequency, but the unequal nature of origin – the multiple harmonic and combination frequency, which functional dependence of the increments of the phase shifts is different.

Key words: nonlinear radar, nonlinear scatterer, the response signal, the phase deviation.

REFERENCES

1. Zinchenko, M.V. (2009), "Identification of nonlinear semiconductor facilities ranging from two harmonics", *Visnyk NTUU «KPI». Seriya Radiotekhnika. Radioaparaturbuduvannya*, vol. 38, pp. 102–111.

2. Usanov, D.A. (2003), "The impact of high-power microwave radiation on the semiconductor diode structures in microwave circuits", *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenii. Radioelektronika. NTUU «KPI»*, no. 3, pp. 40–48.

3. Zinchenko, M.V., Zinkovskiy, U.F., Prokofev, M.I. (2012), Utility model patent of Ukraine UA 71286 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Sposib selekcii neliniinyh rozsiuvachiv za rivnem odnei harmoniky, № u201115179, Bul. № 13/2012.

4. Vernigorov, N.S. (1998), "To the question of multi-frequency signal application in the nonlinear radar", *Radiotekhnika i elektronika*, vol. 43, no. 1, pp. 63–66.

5. Avdeev, V.B., Berdyshch, A.V., and Panychev, S.N. (2006), "The usage of ultrashort ultra-wideband pulses in a nonlinear radar", *II Vserossiiskaya nauch-*

naya konferenciya «Sverhshirokopolosnye signaly v radiolokacii, svyazi i akustike», Murom, Russia, July 4–7, 2006, 346 p.

6. Vernigorov, N.S. (1997), "An antenna-feeder influence of nonlinear object on the detection range in nonlinear location", *Radiotekhnika i elektronika*, vol. 42, no. 12, 1267 p.

7. Zinchenko, M.V., Zinkovskiy, U.F., Prokofev, M.I. (2012), Utility model patent of Ukraine UA 74606 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Sposib identyfikacii neliniinyh rozsiuvachiv shlyahom fazovoi synhronizacii neliniinyh produktiv sygnalu vidguku pry bagatogarmonichnomu zonduvannim, № u201202107, Bul. № 21/2012.

8. Zinchenko, M.V., Zinkovskiy, U.F., Prokofev, M.I. (2012), Utility model patent of Ukraine UA 74607 U, G01S 13/00, G01S 13/75, G01S 7/292, G08B 13/24. Sposib selekcii neliniinyh rozsiuvachiv za deviacieiu fazy sygnalu vidguku pid chas zonduvannia, № u201202108, Bul. № 21/2012.

Стаття надійшла 26.08.2013.