

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УНИВЕРСАЛЬНОГО ИМИТАТОРА НЕЛИНЕЙНОГО РАССЕЙВАТЕЛЯ

В работе рассмотрены вопросы сертификации детекторов нелинейных переходов (NLJD – Non Linear Junction Detector). Предложено как универсальный имитатор использовать рассеиватель на базе двузаходовой плоской спиральной антенны, в нагрузке которой нелинейный элемент с изменяемой вольт-амперной характеристикой. Обосновано определение значений сертификационных показателей эффективности использования NLJD.

Ключевые слова: Детектор нелинейных переходов, структуры «металл-окисел-металл», нелинейные продукты сигнала отклика, универсальный имитатор нелинейного рассеивателя.

M.V. ZINCHENKO, VO DUUY PHUC, Y.F. ZINKOVSKIY

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

THE STUDY OF THE WORKING MODES OF THE UNIVERSAL NON LINEAR SCATTERING SIMULATOR

In the field of technical protection of information, the Non Linear Junction Detector (NLJD) is widely used to search for the electronic devices. Detection of nonlinear objects by using NLJD in the most cases is accomplished by receiving and analyzing the levels of multiple harmonics of the response signal (the second and third) under the conditions of multiple harmonic sounding. The separation of objects into electronic and noise is determined by the analysis of the ratio of the levels of the receiving harmonics. The purpose of the article is solving the problem of comparing different types of NLJD for the effectiveness of the application.

The NLJD certification provides for their testing on many quality indicators, the most significant of which is the maximum possible detection distances of a universal simulator of a mortgage device. In the connection with this, the development and research of the design of a universal simulator for NLJD, this must meet the following requirements: broadband, circular or elliptical polarization, controlled dispersion correction to simulate a specific sample of typical mortgage devices.

Verification of the compliance of the design of the universal simulator with the claimed requirements implies carrying out full-factorial experiments with an appropriate analysis of their results. In this article the questions of certification of NLJD are considered. It is proposed as a universal simulator to use a scatterers based on a two-wire planar spiral antenna, in the load of which a nonlinear element with a variable current-voltage characteristic. The determination of the values of certification indicators of the effectiveness of the use of NLJD is substantiated.

Keywords: Non-linear junction detector, structure "metal-oxide-metal", non-linear products of response signal, the universal non linear scattering simulator.

Вступлення

Нелинейные рассеиватели (НРс) представляют антенную структуру определенной топологии с нелинейным сопротивлением в нагрузке. Рассеиватели широко применяются в телекоммуникациях для ретрансляции радиосообщений, в радиолокации для имитации реальных объектов или создания маркеров обнаружения и идентификации, в технической защите информации для имитации типовых закладных устройств (ЗУ).

В сфере технической защиты информации НРс имеет специализированное применение в качестве имитатора закладных устройств для детектора нелинейных переходов (NLJD – Non Linear Junction Detector). С помощью имитатора ЗУ проводят сертификацию и калибровку для полевых условий детекторов нелинейных переходов [1, 2].

Детекторы нелинейных переходов предназначены для обнаружения ЗУ, которые не используют радиоканал для передачи информации или находятся в пассивном (не излучающем) состоянии, при этом традиционные средства выявления, такие как панорамные радиоприемники, анализаторы спектра или детекторы поля, для этих случаев являются неэффективными.

Работа NLJD основана на способности исследуемого объекта преобразовывать спектральный состав зондирующего сигнала (ЗС), то есть излучать дополнительные кратные или комбинационные гармоники. Эти явления возможны при наличии в составе объекта элементов с нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ), например, полупроводников. Объекты с нелинейными ВАХ, которые имеют в составе полупроводниковые элементы, принято называть электронными, а все другие – помеховыми [2].

Помеховыми объектами могут быть металлические контакты, которые представляют квазинелинейные элементы с неустойчивым переходом, вызванным наличием окислов на поверхности металлов. В физике полупроводников подобные структуры известны как «металл-окисел-металл» (МOM-структуры) [3].

Обнаружение нелинейных объектов с помощью NLJD в большинстве случаев осуществляется путем приема и анализа уровней кратных гармоник сигнала отклика (СО) (второй и третьей) в условиях моногармонического зондирования. Различение объектов на электронные и помеховые определяется анализом соотношения уровней принятых гармоник. Электронные нелинейные объекты имеют несимметричные ВАХ, в связи с чем, уровень второй гармоники будет превышать уровень третьей (на практике это 20...30 дБ). Для MOM-структур ВАХ является симметричной, поэтому в спектре их сигнала

отклика наблюдается обратное соотношение между уровнями второй и третьей гармоник [1, 2].

Импульсные NLJD (выходная мощность 100–600 Вт в импульсе, частота следования импульсов 400–100·10³ Гц при скважности 100–1000), как правило, считаются “мощными”. Детекторы нелинейных переходов непрерывного действия (выходная мощность до 1,5 Вт) относят к “маломощным”. Динамический диапазон приёмников NLJD не меньше 40 дБ, их чувствительность не хуже -80 (-130) дБ/Вт (при соотношении сигнал/шум 6 дБ). У импульсных NLJD чувствительность приемников на три порядка меньше, чем в NLJD непрерывного действия. Соотношение сигнал/шум на входе приемника импульсного NLJD примерно на три порядка больше чем у локатора непрерывного действия. Коэффициент усиления передающей антенны NLJD не менее 6 дБ, а приёмной – не менее 8 дБ. Поляризация антенн круговая, коэффициент эллиптичности не хуже 0,8. Уровень заднего лепестка диаграммы направленности (ДН) передающей и приёмной антенн не больше -15 дБ [1].

Эффективное использование NLJD предполагает задание пороговых уровней сигнала отклика на минимальные уровни принятых кратных гармоник Q_i и их соотношения $L_{i,j}$ (i, j – номера гармоник, $i, j = 2, 3, \dots, i \neq j$). Для большинства NLJD значимым есть пороговое соотношение уровней $L_{2,3}$ (далее просто L). Величина L может служить критерием верной идентификации НРС, особенно при зондировании среды “маломощными” NLJD.

Постановка задачи

Сертификация NLJD предусматривает их испытание по многим показателям качества, наиболее весомым среди которых является максимально возможное расстояние выявления объекта поиска. Объективность сравнения образцов детекторов нелинейных переходов по этому показателю требует разработки и использования универсального имитатора НРС [4, 5].

При работе NLJD в помещениях в силу ограниченного пространства и наличия радиоэлектронной аппаратуры в смежных помещениях практическая дальность действия этих приборов ограничивается величиной около одного метра. Необходимо учитывать максимальную глубину выявления объектов в исследуемой среде (для строительных конструкций не превышает нескольких десятков сантиметров) [1].

Дальность действия нелинейных радиолокаторов определяется мощностью излучателя, коэффициентом шума приемного устройства и паразитными или побочными нелинейными эффектами (боковые лепестки диаграммы направленности (ДН), наводки передатчика на приемник и т.д.)

Как правило, эффективность применения NLJD увеличивается с возможностью регулировки мощности передатчика или чувствительности приемников, перестройки частоты ЗС и тому подобное. Все это ведет к усложнению конструкции NLJD и высоким предъявляемым требованиям к квалификации оператора.

Применение для универсального имитатора НРС резонансных антенн является некорректным, поскольку нарушается объективность в сравнении NLJD, работающих в разных частотных диапазонах (несущая частота ЗС может принимать значения в диапазоне 600...1000 МГц). Под объективностью нужно понимать сравнение не только максимальных расстояний выявления универсального имитатора НРС, но и соответствующих им пороговых соотношений уровней принятых гармоник L , что характеризуют надежность обнаружения через доверие к полученным данным.

Таким образом, актуальным является выбор и исследование конструкции универсального имитатора НРС для NLJD, который удовлетворяет следующим требованиям: широкополосность; круговая или эллиптическая поляризация, управляемая коррекция рассеивающих свойств для моделирования определенной выборки типичных закладных устройств.

Основная часть

В качестве антенны универсального имитатора НРС для NLJD использована двузаходовая плоская спиральная антенна (ПСА) (рис. 1). Она работает в широком диапазоне частот и имеет эллиптическую поляризацию. Коэффициент перекрытия по частоте от 1,5 до 10 позволяет сформировать однонаправленную ДН шириною 90°–180° с коэффициентом направленного действия (КНД) 2–8 [6, 7].

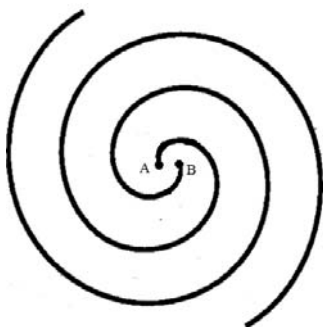


Рис. 1. Двузаходовая ПСА

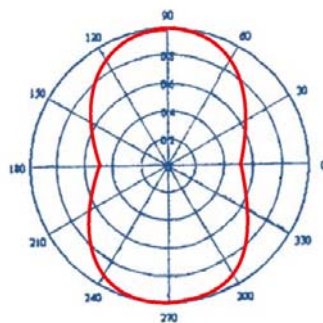


Рис. 2. ДН антенны имитатора ЗУ для частоты 1 ГГц

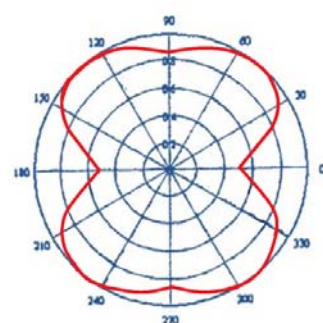


Рис. 3. ДН антенны имитатора ЗУ для частоты 2 ГГц

Геометрические параметры ПСА имитатора, рассчитанной на диапазон частот 0,8–3 ГГц: количество входов – 2; начальный радиус 22–26 мм; количество витков 2–3. В диапазоне частот 0,8–3 ГГц диаграмма направленности ПСА изменяется (рис. 2, 3). На частоте 1 ГГц КНД соответствует 6,5–2,5 дБ при ширине главного лепестка ДН 90°–20°. На частоте 2 ГГц КНД соответствует 2,0–0,5 дБ при ширине главного лепестка ДН 120°–160°. На частотах выше 2 ГГц наблюдаются уменьшения КНД, вызванные расширением главного лепестка ДН.

Для обеспечения управляемой коррекции рассеивающих свойств НРС в качестве нагрузки ПСА в точках А и В (рис. 1) используется нелинейный элемент с изменяемой ВАХ.

Рассмотрим микро мощные БИС на взаимодополняющих МДП-транзисторах с управляющим р-п-переходом, которые наряду с малым потреблением мощности обладают высокой температурной стабильностью и повышенными радиационной стойкостью и быстродействием. Пара МДП-транзисторов имеет изменяемую колоколоподобную ВАХ (рис. 4) [8].

БИС с колоколоподобной ВАХ (рис. 5) состоит из двух последовательно включенных взаимодополняющих транзисторов Т1 и Т2, как изображено на рис. 4. Затвор транзистора Т2 соединен со стоком Т1, а затвор транзистора Т1 – со стоком Т2. При приложении напряжения U_{out} между точками А и В (рис. 4), через транзисторы Т1 и Т2 протекает общий ток, а напряжение U_{out} распределяется между ними, причем напряжение сток-исток одного из транзисторов является напряжением затвор-исток другого. При увеличении U_{out} на каждом из транзисторов растет как напряжение исток-сток, увеличивающее ток транзистора, так и напряжение затвор-исток, уменьшающее этот ток. Первый механизм преобладает при малых напряжениях на элементе, второй – при повышенных. В результате формируется колоколоподобная ВАХ. Напряжение, при котором ток через элемент достигает максимального значения ($I_{out} = I_{out\ max}$), назовем напряжением максимума $U_{out\ max}$, а напряжение, при котором ток падает до минимальной величины ($I_{out} = 0$), напряжением отсечки U_{out0} .

Как видно из рис. 4, ВАХ элемента подобен ВАХ туннельного диода, но отличается тем, что ток минимума принципиально равен нулю в широком диапазоне напряжений, превышающих напряжение отсечки.

Фактическое значение этого тока определяется токами утечки в цепях сток-исток и обратными токами через р-п-переходы закрытых транзисторов Т1 и Т2. При подаче положительного входного напряжения ВАХ элемента сдвигается по оси напряжений U_{out} и одновременно увеличивается $I_{out\ max}$. При этом необходимо выполнять условие $U_{in} \leq U_{out}$, так как при $U_{in} > U_{out}$ возможно открытие п-р-перехода затвор-сток транзистора Т1 (рис. 4).

С диодами D1-D3 в схеме (рис. 4) ВАХ нелинейной нагрузки для ПСА примет N-подобную форму (рис. 6).

Моделирование семейства N-подобных ВАХ удобно осуществить нормированными

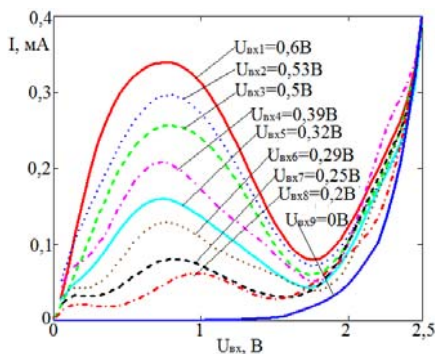


Рис. 6. Семейство N-подобных ВАХ

формы.

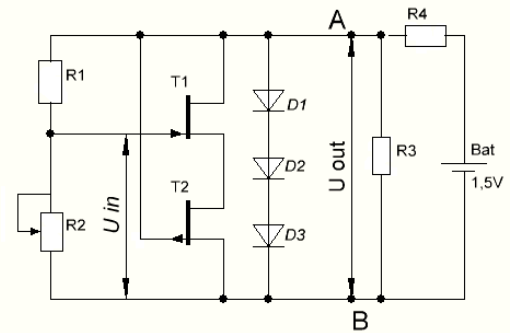


Рис. 4. Принципиальная схема нагрузки имитатора

элемент достигает максимального значения

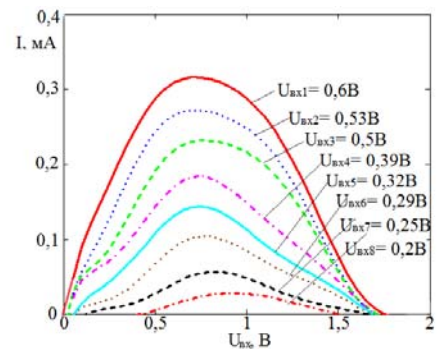


Рис. 5. Колоколоподобная ВАХ микро мощного БИС

экспериментальными функциями $I_N(U_N)$, поскольку нормированную аппроксимирующую функцию (НАФ) легко выразить с помощью экспоненциальных функций. Переменными НАФ являются: U_N – нормированное напряжение, изменяется в интервале 0–1, γ_{ct} – приведенный параметр деформации колоколоподобного участка, изменяется в интервале 0–1, характеризует крутизну деформированной кривой в начале координат.

Представим НАФ в виде слагаемых функций: $F = F_1 + F_2$.

Функция F_1 описывает форму ВАХ р-п-перехода. Функция F_2 для разных γ_{ct} описывает деформацию кривой колоколоподобной

Нормированные экспериментальные данные аппроксимированы функциями:

$$F_1(\gamma_{ct}, U_N) = (e^{8U_N^2} - 1) \cdot 3,2 \cdot 10^{-4}; F_2(\gamma_{ct}, U_N) = 3,45 \cdot \gamma_{ct} \cdot U_N \cdot e^{(-5,4U_N^2 + \gamma_{ct}^3 U_N)}$$

Соответствие приведенного параметра γ_{ct} входному напряжению представлено на рис. 7.

Применим к НАФ разложение Тейлора (использованы пять первых членов) с использованием функции воздействия

$$U_N(t) = U_{0N} + U_{mN} \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где U_{0N} – нормированное напряжение смещения рабочей точки, ω_0 – круговая частота ЗС, φ – начальная фаза. В результате получим выражения нормированных уровней второй и третьей гармоник:

$$I_{2N} = f(\gamma_{ct}, U_{mN}, U_{0N} = \text{const}) = 0,5 \cdot K_2(\gamma_{ct}) \cdot U_{mN}^2 + 1,5K_3(\gamma_{ct}) \cdot U_{mN}^2 \cdot U_{0N} + K_4(\gamma_{ct}) \cdot (3U_{0N}^2 U_{mN}^2 + 0,0625U_{mN}^4) + K_5(\gamma_{ct}) \cdot (5U_{0N}^3 U_{mN}^2 + 2,5U_{mN}^5),$$

$$I_{3N} = f(\gamma_{ct}, U_{mN}, U_{0N} = \text{const}) = 0,25 \cdot K_3(\gamma_{ct}) \cdot U_{mN}^3 + K_4(\gamma_{ct}) \cdot U_{0N} \cdot U_{mN} + K_5(\gamma_{ct}) \cdot (2,5U_{0N}^2 U_{mN}^3 + 0,3125U_{mN}^5).$$

Исследуем эффективность выявления и идентификации НРС относительно порогового соотношения L уровней второй и третьей гармоник СО.

Отношение (в %) суммарной площади участков в координатах γ_{ct}, U_{mN} , для которых $I_{2N}/I_{3N} > L$, к площади всего исследуемого поля (γ_{ct}, U_{mN}) определяет вероятность верной идентификации имитатора НРС по порогу L при фиксированном напряжении смещения U_{0N} (рис. 8).

Отношение (в %) суммарной площади участков в координатах U_{0N}, U_{mN} , для которых $I_{2N}/I_{3N} > L$, к площади всего поля (γ_{ct}, U_{mN}) определяет вероятность верной идентификации имитатора ЗУ по порогу L при фиксированном входном параметре γ_{ct} (рис. 9).

По рис. 8 и 9 видно, что ухудшение параметров рассеивания имитатора возможно с изменением $\gamma_{ct} = 0$ на $\gamma_{ct} \neq 0$ и $U_{0N} = 0,2$ на $U_{0N} = 1$.

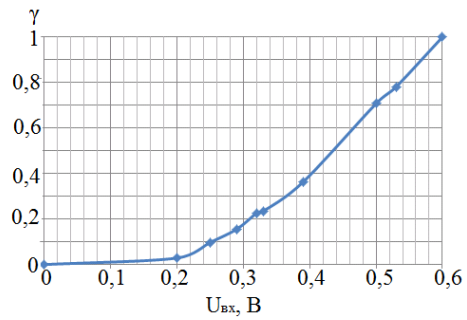


Рис. 7. Соответствие между γ_{ct} и U_{in}

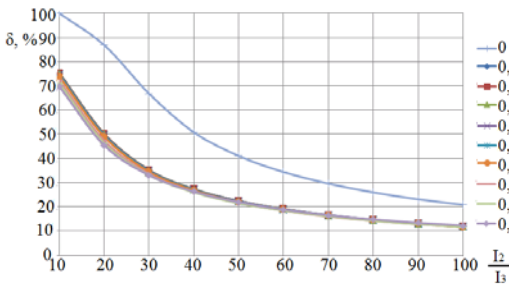


Рис. 8. Надежность обнаружения имитатора НРС по порогу L при $U_{0N} = 0,78$

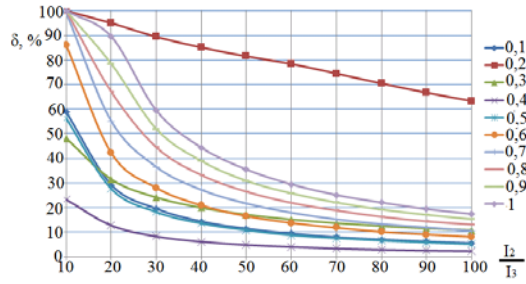


Рис. 9. Надежность обнаружения имитатора НРС по порогу L при $\gamma_{ct} = 0,5$

Был проведен полнофакторный эксперимент [9], связанный с варьированием влияния всех факторов с целью проверки достоверности результатов математико-статистическими методами.

В первой серии экспериментов для минимального значения мощности ЗС NLJD – P_{min} , находится минимальный порог L_{min} , при котором с максимальной надежностью обнаруживается имитатор на фиксированном расстоянии l_{min} (0,5 м). Здесь максимальная надежность обнаружения имитатора обеспечивается его режимом работы на максимальное рассеивание демаскирующего сигнала отклика. Далее при фиксированных значениях P_{min} и L_{min} находятся максимальные расстояния выявления имитатора в различных режимах работы на n_1 опытах, $n_1 \leq N$, N – количество режимов γ_{ct} и U_{0n} . После чего находится начальное максимальное расстояние обнаружения NLJD нелинейного рассеивателя:

$$\langle l_{НАЧ} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} l_{НАЧ_i}}{n_1} \tag{4}$$

Во второй серии экспериментов для максимального значения мощности ЗС NLJD – P_{max} , находится максимальный порог L_{max} , при котором с максимальной надежностью обнаруживается имитатор на

фіксованому відстані l_{\min} . Тут максимальна надійність виявлення імітатора забезпечується його режимом роботи на мінімальне розсіювання демаскуючого сигналу відклику. Далі при фіксованих значеннях P_{\max} і L_{\max} знаходяться максимальні відстані виявлення імітатора в різних режимах роботи на n_2 спробах, $n_2 \leq N$. Після цього знаходиться граничне максимальне відстані виявлення NLJD нелінійного розсіювача:

$$\langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} l_{\text{ПРЕД}i}}{n_2} \quad (5)$$

З допомогою знайдених величин $\langle l_{\text{НАЧ}} \rangle$ і $\langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle$ можна охарактеризувати пристосованість NLJD для роботи в умовах приміщень з невеликим простором.

При цьому, на ділянці від $\langle l_{\text{НАЧ}} \rangle$ до $\langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle$ слід виділити три області: $(\langle l_{\text{НАЧ}} \rangle; l_1)$, $(l_1; l_2)$ і $(l_2; \langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle)$. Перша область $(\langle l_{\text{НАЧ}} \rangle; l_1)$ характеризується впливом рівня потужності зондуємого сигналу на дисипативні процеси в напівпровідникових структурах НРС, в зв'язі з чим, спотворення ВАХ відбувається за рахунок ефекту вільного розігріву основних носіїв заряду. Появлення ділянок з «новими» нелінійностями веде до зменшенню рівнів випромінюваних НРС гармонік, що робить використання детектора в цьому діапазоні відстаней з прийнятною надійністю.

Друга область $(l_1; l_2)$ характеризується несуттєвим впливом рівня потужності зондуємого сигналу на дисипативні процеси в напівпровідникових структурах НРС. При цьому наведений на НРС зондуєщий сигнал є «вагомим» для формування значимих по рівню гармонік сигналу відклику, що робить використання детектора для цих відстаней максимально надійним.

Третя область $(l_2; \langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle)$ характеризується слабкою «вагомістю» наведеного на НРС зондуємого сигналу, з-за чого маємо допустимо «малі» рівні випромінюваних демаскуючих гармонік. Це робить використання детектора в цьому діапазоні відстаней мінімально надійним.

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

Величина $\langle l_{\text{НАЧ}} \rangle$ характеризує можливість використання NLJD в умовах обмеженого простору, а $\langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle$ – здатність NLJD виявляти НРС в товщі будівельних конструкцій.

Ефективність адаптації приладу до умов роботи можна оцінити коефіцієнтом ефективного застосування:

$$K = \frac{l_2 - l_1}{\langle l_{\text{ПРЕД}} \rangle - \langle l_{\text{НАЧ}} \rangle}.$$

Найбільш ефективним в адаптації до умов роботи прилад (NLJD) буде при $K \rightarrow 1$.

Значення l_1 , l_2 можна визначити експериментальним шляхом, якщо задати загальним порогом ідентифікації для рівнів потужності $(P_{\min}; P_{\max})$ при виявленні універсального імітатора НРС в відповідних режимах роботи за схожими формулами (4) і (5).

Висновок

Детектори нелінійних переходів (NLJD – Non Linear Junction Detector) широко застосовуються для виявлення закладних пристроїв (ЗУ), оскільки здатні виявляти об'єкти, які знаходяться в пасивному (не випромінюють) стані. Для NLJD складності їх застосування створюють перешкоди об'єкти типу «металл-окисел-металл» (МОМ-структури). Виявлення ЗУ передбачає прийом і аналіз NLJD рівнів кратних гармонік сигналу відклику (другої і третьої) в умовах моногармонічного зондування. Ідентифікація нелінійних розсіювачів (НРС) відбувається за аналізом співвідношення рівнів кратних гармонік.

Об'єктивність порівняння зразків NLJD потребує розробки і застосування універсального імітатора НРС, який задовольняє наступним вимогам: широкополосність; кругова або еліптична поляризація, управляється корекція розсіюючих властивостей для моделювання певної вибірки типових закладних пристроїв.

Заявленим вимогам задовольняє імітатор на базі двухарактерної плоскою спіральною антеною (ПСА), в навантаженні якої нелінійний елемент з змінюваною N-подібною ВАХ. В імітаторі передбачено варіювання значень двох параметрів: ступінь деформації форми і напруження зміщення робочої кривої ВАХ нелінійної навантаження розсіювача.

Розроблений імітатор на базі ПСА дозволяє визначити значення сертифікаційних показників ефективності застосування NLJD:

- начальное максимальное расстояние обнаружения НРС;
- предельное максимальное расстояние обнаружения НРС;
- коэффициент эффективного применения NLJD.

Литература

1. Хорев А. А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации Ч. 3 / Хорев А. А. – М.: МО. – 1998. – 224 с.
2. Колбанов А. П. Распознавание нелинейных рассеивателей, содержащих несовершенные металлические контакты или полупроводниковые радиокомпоненты / А. П. Колбанов, А. А. Потапов, Е. Е. Степанов, Е. П. Чигин // *Нелинейный мир*. – 2005. – Т. 3, № 4. – С. 239-244.
3. Штейншлегер В. Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / В. Б. Штейншлейгер // *Успехи физических наук*. – 1984. – Т. 138. – Вып. 1. – С. 135-145.
4. Зинченко М. В. Тестирование нелинейных радиолокаторов на надежность идентификации искомых объектов / М. В. Зинченко, Во Зуй Фук, Ю. Ф. Зинковский // *Вестник НТУУ "КПИ". Серия Радиотехника. Радиоапаратостроение*. - 2017. - № 68. - с. 48-53.
5. Во Зуй Фук. Инверсия соотношений уровней гармоник демаскирующего сигнала отклика в нелинейной радиолокации / Во Зуй Фук, М. В. Зинченко, Ю. Ф. Зинковский // *Вестник НТУУ "КПИ". Серия Радиотехника. Радиоапаратостроение*. - 2016. - № 65. - с. 119-29.
6. Юрцев О. А. Спиральные антенны / О. А. Юрцев, А. В. Рунов, А. Н. Казарин. – М. : Сов. радио, 1974. – 224 с.
7. Зінченко М. В. Широкопосмугові розсіювачі в задачах нелінійної радіолокації / М. В. Зінченко, Ю. Ф. Зінковський // *Радіоелектроніка, інформатика, управління. Науково-технічний збірник. ЗНТУ*. – 2016. – № 1. – С 15-21
8. Sukhorukov A. I., Pereverzev A. V., Krasnopolskaya A. G. Basic elements for micropower circuits on the field effect transistors. *Izvestiya Vuz. Radioelektronika, Radio electronics and Communications systems*, Vol. 25, No 5, 55-60, 1982.
9. Радченко С. Г. Математическое моделирование технологических процессов в машиностроении. – К. : ЗАО «Укрспецмонтажпроект», 1998. – 274 с.

References

1. Horev A. A. Metody i sredstva poiska elektronnyh ustroystv perehvata informatsii [Methods and means of electronic devices of information interception searching]. Moscow. MO Publ., 1998, vol. 3, 224 p.
2. Kolbanov A. P., Potapov A. A., Stepanov E. E., Chigin E. P. Raspoznavanie nelineinyh rasseivatelei, soderjaschih nesovershennye metallicheskie kontakty ili poluprovodnikovye radiokomponenty [Recognition of the nonlinear lenses containing imperfect metal contacts or semiconductor radio components]. *Nelineinyi mir*, 2005, vo. 3, no. 4, pp. 239-244.
3. Shteinshleger V. B. Nelineinoe rasseianie radivoln metallicheskimy obektami [Nonlinear dispersion of radio waves metal objects]. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 1984, vo. 138, vo. 1, pp. 135-145.
4. Zinchenko, M. V., Vo Duy, Phuc, Zinkovskiy, Yu. F. (2017) The nonlinear radar testing on the reliability of the objects' identification. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 68, pp. 48-53. (in Russian)
5. Vo Duy, Phuc, Zinchenko, M. V., Zinkovskiy, Yu. F. (2016) Inverntion ratio of the harmonics levels of the unmasking signal in the nonlinear radar. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparotobuduv.*, no. 65, pp. 119-129. (in Russian)
6. Yurtsev O. A. *Spyralnye anteny* / O. A. Yurtsev, A. V. Runov, A. N. Kazaryn. – M. : Sov. radyo, 1974. – 224 p.
7. Zinchenko M. V., Zinkovskii Y. F. *Shyrokosmugovi rozsiuvachi v zadachah nelineinoi radiolokacii* [Broadband scatterers in problems of nonlinear radar]. *Naukovo-tehnichniy zbirnyk. ZNTU "Radioelektronika, informatyka, upravlinnia"*. [Proc. of NTU "Electronics, computer science, management. Scientific and technical collection"], 2016, no. 1, pp. 15-21
8. Sukhorukov A. I., Pereverzev A. V., Krasnopolskaya A. G. Basic elements for micropower circuits on the field effect transistors. *Izvestiya Vuz. Radioelektronika, Radio electronics and Communications systems*, Vol. 25, No 5, 55-60, 1982.
9. Radchenko S. H. *Matematycheskoe modelyrovanye tekhnolohycheskykh protsessov v mashynstroenny*. – K. : ЗАО «Ukrspetsmontazhpriekt», 1998. – 274 p.

Рецензія/Peer review : 26.5.2017 р.

Надрукована/Printed :23.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Уваров Б. М.