

Тестирование нелинейных радиолокаторов на надежность идентификации объектов

Зинченко М. В., Во Зуй Фуж, Зиньковский Ю. Ф.

Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского“

E-mail: zil157k@meta.ua

Рассмотрено тестирование нелинейных радиолокаторов с помощью единого широкополосного имитатора закладного устройства. Показано, что имитатор на базе плоской двузаходовой спиральной антенны с полупроводниковым диодом в нагрузке имеет тепловую восприимчивость к воздействию электромагнитного поля. Диссипация энергии зондирующего сигнала приводит к деформации вольт-амперных характеристик (ВАХ) диода в составе имитатора. Введен параметр γ как степень близости к равновесному состоянию диода для оценки степени деформации ВАХ во время зондирования. По экспериментальным данным получена нормированную аппроксимирующую функцию (НАФ) в зависимости от параметра γ . Исследовано с помощью НАФ явление инверсии идентификационного признака рассеивателя, состоящее в изменении соотношения на противоположное между уровнями второй и третьей гармоник сигнала отклика. Выявлено обретение имитатором демаскирующих свойств структуры “металл–окисел–металл”. Получено распределение максимальной частоты проявления инверсии демаскирующего признака в зависимости от нормированного значения напряжения смещения рабочей точки диода в составе имитатора. Предложено по способности нелинейных радиолокаторов фиксировать инверсию демаскирующего признака имитатора судить о надежности выявления и идентификации закладных устройств.

Ключевые слова: нелинейная радиолокация; имитатор закладных устройств; надежность выявления; идентификация объектов

Введение

В проблеме технической защиты информации широко используются нелинейные радиолокаторы (НР) для обнаружения радиоэлектронных закладных устройств (ЗУ) различного назначения. Особенно НР актуальны при выявлении «пассивных» ЗУ, обнаружение которых с помощью детекторов поля, анализаторов спектра, селективных вольтметров и других приборов невозможно, так как в пространство не излучается демаскирующее электромагнитное поле достаточной мощности [1, 2].

Обнаружение нелинейным радиолокатором во время зондирования ЗУ как нелинейного рассеивателя (далее просто рассеиватель) состоит в выявлении нелинейных продуктов сигнала отклика, на практике это вторая и третья гармоники частоты зондирующего сигнала (ЗС) [3]. Идентификация рассеивателя осуществляется по соотношению уровней мощности принятых нелинейных продуктов. Для рассеивателей на базе полупроводниковых элементов уровень второй гармоники превысит уровень третьей на 20-40 дБ. В случае рассеивающих коррозионных структур типа “металл-окисел-металл” (МОМ-структур) выполняется обратное соотношение: уровень третьей гармоники превысит

уровень второй. Идентификационный признак отображает несимметричность вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов в составе ЗУ и симметричность ВАХ рассеивающих МОМ-структур [4, 5].

Все НР условно можно разделить на две большие группы: “мощные” импульсные (выходная мощность более 100 Вт в импульсе) и “маломощные” непрерывные (выходная мощность до 1 Вт). У “мощных” НР чувствительность приемников на три порядка меньше чем в “маломощных” НР. В связи с этим, при прочих равных условиях, например, идентичных направленных свойствах антенных систем, соотношение сигнал/шум на входе приемника импульсного НР примерно на три порядка выше в сравнении с непрерывным НР [1, 3].

1 Постановка задачи

Известна методика проверки эффективности нелинейных радиолокаторов по максимальной дальности обнаружения эталонного имитатора ЗУ. В нелинейной радиолокации эталонные имитаторы ЗУ подразделяются на калибровочные и универсальные отражатели. Почти все калибровочные отражатели, относительно которых в полевых услови-

ях производят настройку НР, являются резонансными и максимально адаптированы под конкретную модель прибора (настроены на частоту ЗС или одну из кратных ее гармоник). Поэтому сравнивать между собой НР разных производителей с помощью калибровочных отражателей не принято. Учитывая режимы излучений и диапазон рабочих частот (600–1000 МГц) нелинейных радиолокаторов, к универсальным отражателям предъявляются следующие требования: широкополосность как для ЗС так и соответствующих кратных гармоник; круговая или эллиптическая поляризация; высокая степень воспроизведения параметров; направленная передача мощности. Перспективным универсальным отражателем является имитатор ЗУ на базе плоской двузаходовой спиральной антенны с полупроводниковым диодом в нагрузке [6], что обеспечивает высокое значение отношения сигнал/шум и объективность при сравнении эффективностей использования разных типов НР.

При использовании имитатора ЗУ для определения максимальной дальности действия НР необходимо учитывать предельное значение уровня мощности ЗС. С удалением объекта поиска от НР при фиксированной чувствительности его приемного устройства увеличение плотности потока мощности ЗС может привести к электрическому или тепловому пробоем полупроводниковых структур в составе имитатора [7].

Значение максимально возможного уровня мощности ЗС, воздействующего на имитатор (при фиксированной чувствительности приемника), определяется при достижении компромисса между минимизацией вероятности пробоя полупроводниковых элементов и максимизацией дальности действия НР по обнаружению цели. Во время зондирования имитатора ЗУ наблюдаются обратимые деформации ВАХ полупроводникового диода [8], что отражается на уровнях переотраженных нелинейных продуктов.

Деформация ВАХ полупроводникового диода при зондировании имитатора связана с диссипацией энергии ЗС, приводящей к эффекту разогрева свободных носителей заряда в СВЧ поле [9, 10]. Явление диссипации приводит к нарушению равновесного состояния полупроводниковой структуры в результате повышения ее температуры на ΔT . Тепловую восприимчивость полупроводникового диода в составе имитатора ЗУ к уровню воздействующего ЗС определим выражением

$$Z = \frac{(T_0 + \Delta T)/T_0}{(P_0 + \Delta P)/P_0},$$

где T_0 — температура при нормальных условиях, P_0 — максимальный уровень воздействующей на рассеиватель мощности ЗС НР, не приводящий к деформации ВАХ диода, ΔP — прирост уровня

мощности ЗС НР. Пусть

$$\gamma = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T},$$

где γ — степень близости к равновесному состоянию, внутренний параметр полупроводниковой структуры, характеризующий отклонение ее состояния от равновесного под воздействием внешних факторов, $\gamma_{max} = 1$, γ_{min} ограничена тепловым пробоем.

Исследуем влияние деформации ВАХ полупроводникового диода во время зондирования имитатора ЗУ на соотношении уровней гармоник в спектре сигнала отклика с целью выработки рекомендаций по тестированию НР на надежность выявления и идентификации искомых объектов.

2 Основная часть

На рис. 1 представлено семейство деформированных ВАХ диода типа 2А604А в составе широкополосного имитатора ЗУ при действии СВЧ поля разной мощности [6]. В эксперименте использовался НР типа “NR-ц” [11]; имитатор был размещен на расстоянии 0,5 м от излучателя, регистрация ВАХ с выводов СВЧ диода выполнялась с помощью измерительного комплекса МВУ8 [12]. При действующей мощности в диапазоне 50–500 мВт на ВАХ появляется область с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

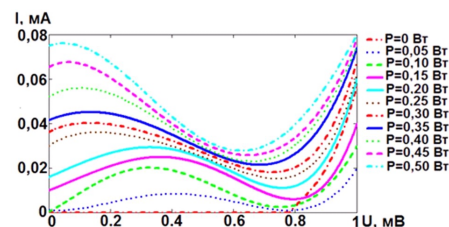


Рис. 1. Деформированные ВАХ при разных уровнях воздействующей мощности ЗС НР

Поиск функциональной зависимости $\gamma(P)$ предполагает нахождение аппроксимирующей функции семейства деформированных кривых ВАХ. Используем нормированные экспериментальные данные $I_n(U_n)$. Переменными нормированной аппроксимирующей функции (НАФ) являются: U_n — нормированное напряжение полупроводникового прибора, изменяется в интервале $[0 \dots 1]$, γ_{ct} — приведенная степень близости к равновесному состоянию, изменяется в интервале $[0 \dots 1]$, $\gamma_{ct} = (\gamma - \gamma_{min}) / (\gamma_{max} - \gamma_{min})$.

Представим НАФ в виде слагаемых функций: $F = F_1 + F_2 + F_3$. Функция F_1 описывает недеформированную форму ВАХ и начальную ее деформацию в зависимости от γ_{ct} . Функция F_2 для разных γ_{ct} описывает деформацию кривой параболической формы с пиком в диапазоне напряжений до точки минимума. Функция F_3 учитывает изменение крутизны области насыщения в зависимости от γ_{ct} . В итоге:

$$F_1(\gamma_{ct}, U_n) = (\exp\{11, 3U_n\} - 1) \cdot \gamma_{ct}^5 \cdot 10^{-5},$$

$$F_2(\gamma_{ct}, U_n) = 0, 35714 \cdot \exp \left\{ \sin \left([A \cdot U_n + B \cdot (1 - 0, 25 \cdot \gamma_{ct})]^3 \right) - C \cdot \gamma_{ct} \right\} \cdot (1 - \gamma_{ct}),$$

$$F_3(\gamma_{ct}, U_n) = 0, 082 \cdot (\exp\{4, 59U_n \cdot (1 - \gamma_{ct})\} - 1),$$

где A — параметр масштабирования формы кривой вдоль координаты U_n , B — параметр смещения кривой относительно U_n , C — параметр масштабирования семейства кривых по координате I_n .

Поиск (расчет) НАФ выполним в несколько этапов. На первом этапе нормированные экспериментальные данные представим аналитически в виде полиномов для использования их в качестве эталонных функций. При аппроксимации эталонных функций ограничились 10-й степенью полинома. Аппроксимация предусматривает решение системы из уравнений вида:

$$I_n(U_n) = a_1 \cdot U_n + a_2 \cdot U_n^2 + a_3 \cdot U_n^3 + \dots + a_n \cdot U_n^n,$$

где $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ — коэффициенты аппроксимации, $n = 10$.

На втором этапе осуществляем разработку математического аппарата и его алгоритмическую реализацию. Это позволяет определить начальные значения параметра γ_{ct} и корректирующих параметров формы НАФ при каждом дискретном значении уровня мощности по критерию максимального сопоставления НАФ с эталонными функциями. В процедуре нахождения начальных корректирующих параметров НАФ использованы три опорные кривые для уровней мощности 150, 350 и 500 мВт соответственно (предполагается подобие их промежуточных кривых). Совмещение эталонных полиномов с кривыми семейства НАФ ведется с шагом $\Delta\gamma_{ct} = 0, 001$.

Нахождение и оптимизация НАФ по экспериментальным данным дает возможность оценить тепловую восприимчивость имитатора к ЗС НР.

На третьем этапе проведен поиск уточненных корректирующих параметров в окрестности начальных значений опорных кривых. Результаты поиска уточненных значений исследуемых параметров приведены в табл. 1.

Табл. 1 Уточненные значения корректирующих параметров

$P, \text{ мВт}$	A_{yT}	B_{yT}	C_{yT}	γ_{ct}	ε
500	0,584	1,198	4,000	0,000	0,068
350	0,924	1,103	4,000	0,110	0,068
150	1,243	0,750	4,000	0,212	0,069

Для получения “точной” НАФ, необходимо выполнить замещение корректирующих параметров формы в F_2 корректирующими функциями ($A \rightarrow A_{yT}(\gamma_{ct}), B \rightarrow B_{yT}(\gamma_{ct})$), минимизировав погрешности промежуточных кривых семейства. Под погрешностью кривой НАФ ε понимаем максимальное отклонение между дискретными значениями аналитического выражения кривой и соответствующими экспериментальными данными (эталонными функциями).

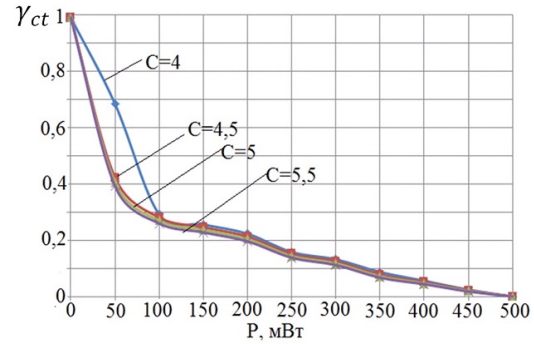


Рис. 2. Зависимость приведенной степени близости к равновесному состоянию от уровня мощности ЗС НР

По уточненным значениям параметров НАФ для трех опорных кривых представляются корректирующие функции в виде полиномов второго порядка. Корректирующие функции придают подобие (инвариантность) промежуточным кривым для обеспечения максимального совмещения с экспериментальными данными. В итоге:

$$A_{yT}(\gamma_{ct}) = 0, 265 \cdot \gamma_{ct}^2 + 3, 062 \cdot \gamma_{ct} + 0, 584;$$

$$B_{yT}(\gamma_{ct}) = -4, 229 \cdot \gamma_{ct}^2 - 1, 217 \cdot \gamma_{ct} + 1, 198.$$

Зависимость γ_{ct} от уровня мощности ЗС НР представлена на рис. 2. Отклонение параметра C в большую сторону от оптимального значения вносит существенные изменения для зависимости $\gamma_{ct}(P)$ лишь в области 0 – 100 мВт.

Исследуем надежность выявления и идентификации имитатора ЗУ. Применим к НАФ разложение Тейлора (использовали пять первых членов) и подставим в качестве переменной функцию

$$U_n(t) = U_{0n} + U_{mn} \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi),$$

где U_{0n} — нормированное напряжение смещения рабочей точки, U_{mn} — нормированная амплитуда наведенного напряжения ЗС, ω_0 — круговая частота ЗС, φ — начальная фаза.

В результате получим выражения для нормированных уровней второй и третьей гармоник — $I_{2n} = f(\gamma_{ct}, U_{mn}, U_{0n} = const)$ и $I_{3n} = f(\gamma_{ct}, U_{mn}, U_{0n} = const)$ (в силу громоздкости сами выражения не приводятся). В качестве примера, на рис. 3 приведены зависимости уровней второй и третьей гармоник сигнала отклика от $(\gamma_{ct}, U_{mn}, U_{0n} = const)$.

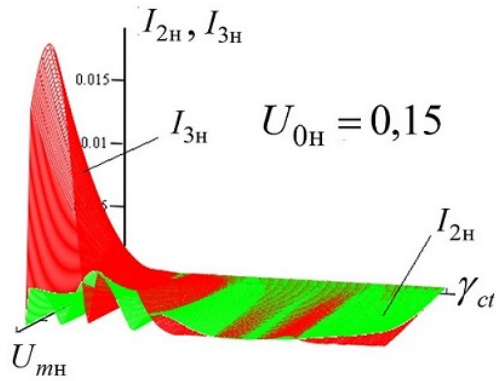


Рис. 3. Распределения нормированных уровней кратных гармоник

Согласно рис. 3, существуют значения параметров γ_{ct} и $U_{mн}$, при которых уровень третьей гармоники соизмерим или преобладает над уровнем второй ($I_{3н}/I_{2н} \geq 1$). Здесь имеем инверсию идентификационного признака рассеивателя. Под “инверсией” понимается возможность изменения соотношения на противоположное между уровнями второй и третьей гармоник рассеянного сигнала. Обретение имитатором демаскирующего (идентификационного) признака МОМ-структур назовем режимом “рокировки”.

Явление инверсии удобно исследовать по “инверсным областям” в координатах γ_{ct} , $U_{mн}$ при разных значениях $U_{0н}$, где $I_{3н}/I_{2н} \geq 1$ (рис. 4), которые получаются в результате пересечения плоскостей двух функций $I_{3н}/I_{2н} = f(\gamma_{ct}, U_{mн}, U_{0н} = const)$ и $I_{3н}/I_{2н} = 1$.

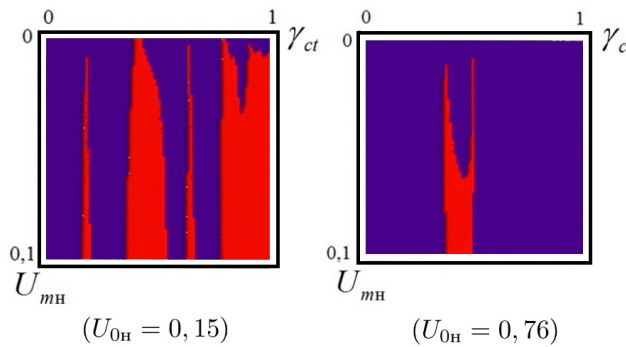


Рис. 4. Примеры “инверсных областей” (светлые участки)

Как видно с рис. 4, для разных значений $U_{0н}$ характерны свои суммарные площади “инверсных областей” в координатах γ_{ct} , $U_{mн}$.

Если для конкретного значения $U_{0н}$ суммарную площадь “инверсных областей” разделить на всю площадь поля значений γ_{ct} , $U_{mн}$, то получим значение максимальной частоты $\eta(U_{0н})$, характеризующей проявление инверсии демаскирующего признака или режима “рокировки” рассеивателя (рис. 5).

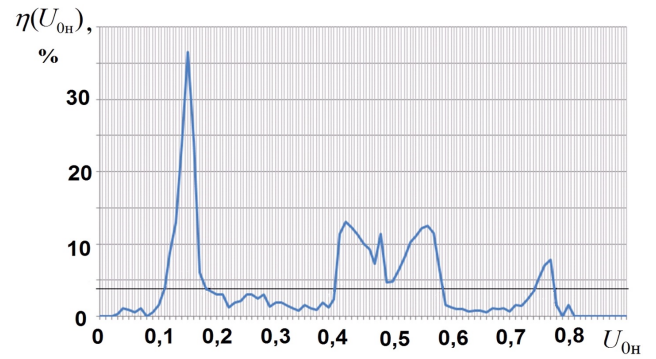


Рис. 5. Распределение максимальной частоты проявления режима “рокировки” по напряжению смещения рабочей точки

На полученном распределении $\eta(U_{0н})$ можно выделить три поддиапазона значений $U_{0н}$, где наблюдается качественно проявление инверсии демаскирующего признака (режима “рокировки”). Характеристики поддиапазонов приведены в табл. 2. Согласно данным табл. 2 первый поддиапазон $\delta U_{01н}$ имеет наибольшую среднюю частоту проявления режима “рокировки” для рассеивателя и наименьшие средние уровни принятых кратных гармоник сигнала отклика. Третий поддиапазон $\delta U_{03н}$ характеризуется наименьшей средней частотой проявления режима “рокировки” и наибольшими средними уровнями принятых кратных гармоник сигнала отклика. Таким образом, первый и третий поддиапазоны имеют противоположные свойства. Вторым поддиапазоном по свойствам в сравнении с первым и третьим является промежуточным.

Из приведенного можно утверждать, что нелинейные радиолокаторы, способные фиксировать режим “рокировки” имитатора во всех указанных поддиапазонах, обладают наилучшей эффективностью использования в выявлении и идентификации ЗУ.

Также, исходя из табл. 2, возможно разделение НР на три класса: начального, среднего и высокого уровней эффективности. К нелинейным радиолокаторам начального уровня эффективности относятся те, которые способны фиксировать режим “рокировки” универсального отражателя с источником смещения рабочей точки нелинейной нагрузки лишь в одном поддиапазоне $U_{0н}$. Для НР среднего уровня эффективности фиксация режима “рокировки” универсального отражателя наблюдается лишь для двух поддиапазонов $U_{0н}$, один из которых промежуточный. Нелинейные радиолокаторы высокого уровня эффективности фиксируют режим “рокировки” универсального отражателя во всех поддиапазонах напряжения смещения рабочей точки нелинейной нагрузки.

Выводы

Тестирование нелинейных радиолокаторов предполагает использование единого широкополосного

Табл. 2 Характеристики поддиапазонов

Диапазон	Средняя частота	Приведенное значение уровня 3-й гармоники	Приведенное значение уровня 2-й гармоники
$\Delta U_{01н} = 0,11 \dots 0,18$	$\langle \eta_1 \rangle = 15,035$	$\langle I_{3н1} \rangle = 3,306 \cdot 10^{-4}$	$\langle I_{2н1} \rangle = 9,18 \cdot 10^{-5}$
$\Delta U_{02н} = 0,41 \dots 0,58$	$\langle \eta_2 \rangle = 9,668$	$\langle I_{3н2} \rangle = 3,216 \cdot 10^{-4}$	$\langle I_{2н2} \rangle = 1,779 \cdot 10^{-4}$
$\Delta U_{03н} = 0,73 \dots 0,76$	$\langle \eta_3 \rangle = 6,805$	$\langle I_{3н3} \rangle = 3,955 \cdot 10^{-4}$	$\langle I_{2н3} \rangle = 1,634 \cdot 10^{-4}$

имитатора закладного устройства. Имитатор на базе плоской двузаходовой спиральной антенны с полупроводниковым диодом в нагрузке имеет тепловую восприимчивость к воздействию электромагнитного поля. Диссипация энергии зондирующего сигнала приводит к деформации вольт-амперных характеристик (ВАХ) диода в составе имитатора. Введенный параметр γ , как степень близости к равновесному состоянию диода, достаточно полно характеризует деформацию ВАХ во время зондирования. Анализ деформированных ВАХ дает возможность получить нормированную аппроксимирующую функцию в зависимости от параметра γ . С помощью аппроксимирующей функции исследовано явление инверсии идентификационного признака рассеивателя, состоящее в изменении соотношения на противоположное между уровнями двух гармоник сигнала отклика. При инверсии идентификационного признака имитатор обретает демаскирующие свойства структуры “металл-окисел-металл”. Способность нелинейных радиолокаторов фиксировать инверсию демаскирующего признака имитатора свидетельствует о надежности выявления и идентификации закладных устройств.

Перечень ссылок

1. Хорев А. А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации / А. А. Хорев. — М.: МО. — 1998. — 224 с.
2. Вернигоров Н. С. Нелинейный радиолокатор — эффективное средство обеспечения безопасности в области утечки информации / Н. С. Вернигоров // Конфиденц. — 1996. — № 1. — с. 67-69.
3. Вернигоров Н. С. Процесс нелинейного преобразования и рассеяния электромагнитного поля электрически нелинейными объектами / Н. С. Вернигоров // Радиотехника и электроника. — 1997. — Т. 42, № 10. — с. 1181-1185.
4. Штейншлегер В. Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / В. Б. Штейншлегер // Успехи физических наук. — 1984. — Т. 142, Вып. 1. — с. 135-145.
5. Горбачев А. А. Признаки распознавания нелинейных рассеивателей электромагнитных волн / А. А. Горбачев, А. П. Колбанов, С. П. Тараканов, С. В. Ларцов, Е. П. Чигин // Нелинейный мир. — 2004. — № 5-6. — с. 301-309.
6. Зінченко М. В. Широкопasmові розсіювачі в задачах нелінійної радіолокації / М. В. Зінченко, Ю. Ф. Зінковський // Радіоелектроніка, інформатика, управління. Наково-технічний збірник ЗНТУ. — 2016. — № 1. — с. 15-21.
7. Щербаков Г. Н. К оценке фундаментальных пределов в нелинейной радиолокации / Г. Н. Щербаков, Ю. А. Шлык, А. В. Николаев, А. В. Бровин // Спецтехника и связь. — 2008. — № 2. — с. 21-25.

8. Зінченко М. В. Значущість рівня потужності зондуєчого сигналу в нелінійній радіолокації / М. В. Зінченко, Ю. Ф. Зінковський, М. І. Прокоф'єв // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Наково-технічний збірник НТУУ “КПІ”. — 2010. — Вип. 1(20). — с. 102-113.
9. Aliev K. M. N-type negative differential resistance, hysteresis, and oscillations in the current-voltage characteristics of microwave diodes / K. M. Aliev, I. K. Kamilov, Kh. O. Ibragimova, N. S. Abakarova // Semiconductors. — 2012. — Vol. 46, Is. 8. — pp. 1059-1065.
10. Зінченко М. В. Оцінка чутливості нелінійних розсіювачів до зондуєчого випромінювання / М. В. Зінченко, Ю. Ф. Зінковський // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. — 2014. — № 58. — с. 139-150.
11. Измеритель спектра вторичных полей (детектор нелинейных переходов) «NR-μ». Руководство пользователя. — М.: ЮТТА, 2010. — 10 с.
12. МВУ8 ПО ОБЕН. Руководство по эксплуатации. — М.: ОБЕН, 2010. — 70 с.

References

- [1] Horev A. A. (1998) *Metody i sredstva poiska elektronnykh ustroystv perehvata informacii* [Methods and tools for electronic data capturing devices]. Moscow, 224 p.
- [2] Vernigorov N. S. (1996) Nelineyni radiolokator — effektivnoe sredstvo obespecheniia bezopasnosti v oblasti utechki informacii [Nonlinear radar - an effective means of ensuring the security of information leakage]. *Confident*, no. 1, pp. 67-69.
- [3] Vernigorov N. S. (1997) The process of nonlinear transformation and scattering of electromagnetic field by electrically non-linear objects. *Radio engineering and electronics*, Vol. 42, No. 10, pp. 1181-1185 (in Russian).
- [4] Shteinshleiger V. B. (1984) Nonlinear scattering of radio waves by metallic objects. *Sov. Phys. Usp.*, Vol. 27, pp. 60-68. DOI: 10.1070/PU1984v027n01ABEH004020
- [5] Gorbachev A. A., Koldanov A. P., Lartsov S. V., Tarakanov S. P. and Chigin E. P. (2004) Priznaki raspoznavaniya nelineynykh rasseivatelei elektromagnitnykh voln [Signs of recognition nonlinear scatterers of electromagnetic waves]. *Nelineyni mir*, No. 5-6, pp. 301-309.
- [6] Zinchenko M. V. and Zinkovskiy Yu. F. (2016) Broadband scatterers in nonlinear radar. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 1, pp. 15-21. DOI: 10.15588/1607-3274-2016-1-2 (in Ukrainian)
- [7] Shcherbakov G. N., Shlykov Yu. A., Nikolaev A. V., Broyin A. V. (2008) K otsenke fundamental'nykh predelov v nelineinoi radiolokatsii [By the estimation of the fundamental limits in nonlinear radar]. *Spektrivnika i sviaz*, No. 2, pp. 21-25.
- [8] Zinchenko M. V., Zinkovskiy Yu. F. and Prokofiev M. I. (2010) Znachushchist rivnia potuzhnosti zonduiuchogo sygnalu v nelineinii radiolokatsii [The significance of power in nonlinear signal probing radar]. *Legal, regulatory and metrological support information security system in Ukraine*, No. 1(20), pp. 102-113.

- [9] Aliev K.M., Kamilov I.K., Ibragimova Kh.O. and Abakarova N.S. (2012) N-type negative differential resistance, hysteresis, and oscillations in the current-voltage characteristics of microwave diodes. *Semiconductors*, Vol. 46, Iss. 8, pp. 1059-1065. DOI: 10.1134/S1063782612080027
- [10] Zinchenko M. V. and Zinkovskiy Yu. F. (2014) Evaluation of nonlinear scatterers sensitivity to probe radiation. *Visn. NTUU KPI, Ser. Radiotekh. radioaparato buduv.*, no. 58, pp. 139-150. (in Ukrainian).
- [11] Meter range of the secondary fields (non-linear transitions detector) «NR- μ ». User guide. UTТА, 10 p. Available at: <http://www.detektor.ru/files/Opisanie/nr-m.pdf>.
- [12] Manual. MVU8 PO OVEN, 70 p. (in Russian). Available at: http://owen.ua/media/wysiwyg/schemes/re_mvu8_m01_6151.pdf.

Тестування нелінійних радіолокаторів на надійність ідентифікації об'єктів

Зінченко М. В., Во Зуї Фук, Зінковський Ю. Ф.

Розглянуто тестування нелінійних радіолокаторів за допомогою єдиного широкосмугового імітатора закладного пристрою. Показано, що імітатор на базі плоскої двозаходової спіральної антени з напівпровідниковим діодом в навантаженні має теплову сприйнятливість до дії електромагнітного поля. Дисипація енергії зондуємого сигналу призводить до деформації вольт-амперних характеристик (ВАХ) діода у складі імітатора. Введений параметр γ як міра близькості до рівноважного стану діода для оцінки міри деформації ВАХ під час зондування. За експериментальними даними отримано нормовану апроксимуючу функцію (НАФ) в залежності від параметра γ . Досліджено за допомогою НАФ явище інверсії ідентифікаційної ознаки розсіювача, що полягає в зміні співвідношення на протилежне між рівнями другої і третьої гармонік сигналу відгуку. Виявлено отримання імітатором демаскуючих властивостей структури «метал-окисел-метал». Одержано розподіл максимальної частоти прояву інверсії демаскуючої ознаки у

залежності від нормованого значення напруги зсуву робочої точки діода у складі імітатора. Запропоновано за здатністю нелінійних радіолокаторів фіксувати інверсію демаскуючої ознаки імітатора визначати надійність виявлення та ідентифікації закладних пристроїв.

Ключові слова: нелінійна радіолокація; імітатор закладних пристроїв; надійність виявлення; ідентифікація об'єктів

The nonlinear radar testing on the reliability of the objects' identification

Zinchenko, M. V., Vo Duy, Phuc, Zinkovskiy, Yu. F.

The nonlinear radar testing by using a single wideband simulator of the laying device is considered. It is shown that the simulator on the basis of the flat two-armed spiral antennas with semiconductor diode in the load has a thermal sensitivity to electromagnetic field. The energy dissipation of the probe signal leads to deformation of the current-voltage characteristics (CVC) of the diode composed of the simulator. Parameter γ is introduced as the degree of closeness to the equilibrium state of the diode, to characterize the degree of CVC deformation during sensing. According to the experimental data normalized approximating function (NAF) depending on the parameter γ is obtained. Investigated using NAF phenomenon of a lens identification attribute inversion, consisting in the change of the ratio to the opposite between the levels of response signal second and third harmonics. Identified the acquisition of unmasking properties of the structure "metal-oxide-metal" by simulator. The resulting distribution of the maximum frequency of the unmasking sign inversion occurrence depending on the normalized voltage value of operating point displacement of the diode composed of the simulator. It is suggested by the ability of nonlinear radar to capture the unmasking sign inversion of the simulator to judge the reliability of embedded devices detection and identification.

Key words: nonlinear radar; simulator of embedded device; reliability of detection; identification of required objects