

**ИНВЕРСИЯ СООТНОШЕНИЙ УРОВНЕЙ ГАРМОНИК
ДЕМАСКИРУЮЩЕГО СИГНАЛА В НЕЛИНЕЙНОЙ
РАДИОЛОКАЦИИ¹**

*Во Зуй Фук, аспирант; Зинченко М. В., к.т.н;
Зиньковский Ю. Ф., д.т.н., профессор
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт», Киев, Украина*

**INVERTION RATIO OF THE HARMONICS LEVELS OF THE UNMASKING
SIGNAL IN THE NONLINEAR RADAR**

*Vo Duy Phuc; Zinchenko M. V, PhD;
Zinkovskii Y. F. Doctor of Engineering, Professor
National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine*

Введение

В технической защите информации нелинейные радиолокаторы (НР) используют для выявления радиоэлектронных закладных устройств (ЗУ). Особенно НР эффективны в тех случаях, когда ЗУ не являются «явными» источниками электромагнитных излучений (работа в режимах «ожидание», «запись» или «накопление на сеанс связи»).

Принцип нелинейной радиолокации непосредственно связан с наличием в составе ЗУ радиоэлектронных приборов с нелинейными характеристиками (микросхемы, транзисторы, диоды и т.п.), способных обогащать рассеянный от ЗУ сигнал новыми демаскирующими спектральными составляющими – кратными гармониками. По анализу принятых во время зондирования уровней нелинейных продуктов (НП) оператор выявляет и идентифицирует объект поиска.

Нелинейный радиолокатор относится к системам ближней радиолокации. Несущая частота зондирующего сигнала (ЗС) большинства НР лежит в пределах 800...1000 МГц, что позволяет реализовать достаточно узкую апертуру излучения и относительно низкое затухание сигналов в плотной среде (кирпич, бетон и т.п.). Мощность излучаемого моногармонического сигнала не превышает 1,5 Вт, а в случае импульсного излучения – 600 Вт в импульсе (частота следования импульсов от 400 Гц до 100 кГц, скважность от 100 до 1000). Динамический диапазон приёмников не меньше 40 дБ, их чувствительность не хуже -80..-130 дБ/Вт (при соотношении сигнал/шум 6 дБ). Коэффициент усиления передающей антенны не меньше 6 дБ, а приёмной – не меньше 8 дБ. Поляризация антенн круговая, коэффициент элли-

¹ <http://radap.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1214>

птичности не хуже 0,8. Уровень заднего лепестка диаграммы направленности передающей и приёмной антенн не больше минус 15 дБ [1].

Источниками «ложных тревог» в зоне облучения для нелинейной радиолокации являются контакты металлов с промежуточным окисным слоем (структуры «металл-окисел-металл»), способные также рассеивать преобразованный спектр ЗС. В некоторых случаях (при относительно большой мощности излучения) нежелательный эффект могут дать паяные или сварные соединения металлов [2, 3].

Постановка задачи

При использовании НР, в основном, селекция нелинейных рассеивателей (НРс) осуществляется по соотношению уровней принятых второй и третьей гармоник. Для полупроводниковых НРс уровень второй гармоники превышает уровень третьей на 20...40 дБ. В случае МОМ-структур выполняется обратное соотношение [2,3]. Идентификационный признак отображает несимметричность вольт-амперных характеристик (ВАХ) полупроводниковых приборов (рис. 1) в составе ЗУ и симметричность ВАХ рассеивающих МОМ-структур (рис. 2, контакт стальных шаров радиусом 3 мм, поверхность которых после полировки окислена на воздухе в течении 8 часов при 400 °С [4]).

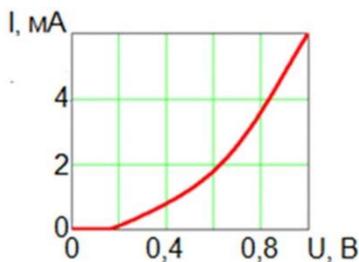


Рис. 1. ВАХ полупроводникового прибора на примере диода типа 3А114А

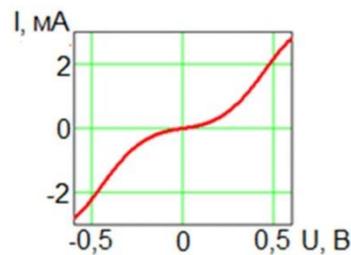


Рис. 2. Форма ВАХ контакта стальных шаров с окисленной поверхностью

Для исследования влияния формы ВАХ нелинейных приборов и МОМ-структур на соотношение уровней НП в спектре преобразованного сигнала воспользуемся методом аппроксимирующих функций [5].

Выполним аппроксимацию ВАХ (рис. 1 и 2) полиномами n -го порядка для оценки уровней новых спектральных составляющих. Аппроксимация предусматривает формирование системы из n уравнений вида:

$$I(U)_n = a_1U + a_2U^2 + a_3U^3 + \dots + a_{n-1}U^{n-1} + a_nU^n, \quad (1)$$

где a_1, \dots, a_n — коэффициенты аппроксимации.

Точность аппроксимации ВАХ зависит от степени полинома. В качестве примера в табл. 1 приведены максимальные отклонения аппроксимирующих кривых от экспериментально полученных данных (для полупроводникового прибора в интервале 0,1...0,9 номинального диапазона измене-

ний напряжения, а для контакта окисленных стальных изделий соответственно 0,1...0,5).

Таблица 1

Точность аппроксимации в зависимости от степени полинома

| Точность | Для полупроводникового прибора на примере диода типа 3А114А | Для контакта стальных шаров с окислом |
|----------|--|---------------------------------------|
| ±20% | $I(U) = 2,426U - 0,732U^2 + 16,413U^3 - 13,47U^4$ | $I(U) = 3,22U + 3,887U^3$ |
| ±10% | $I(U) = 2,45U - U^2 + 17,5U^3 - 15,25U^4 + U^5$ | $I(U) = 3,257U + 3,351U^3 + 1,568U^5$ |
| ±5% | $I(U) = 2,423U - 0,705U^2 + 16,311U^3 - 12,975U^4 - 1,089U^5 + 0,739U^6$ | $I(U) = 3,256U + 3,339U^3 + 1,615U^5$ |

Примем, что при моногармоническом воздействии ЗС на НРс в нагрузке возникнет напряжение

$$U(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (2)$$

где U_0 – напряжение смещения рабочей точки, U_m – амплитуда наведенного напряжения ЗС НР, ω_0 – круговая частота ЗС НР, φ – начальная фаза. С использованием (2) и (1) получим аппроксимирующие функции уровней спектральных компонент на второй и третьей гармониках:

$$I_2^{A(\Pi)}(2\omega_0) = a_2 0,5U_m^2 + a_3 \cdot 1,5U_0U_m + a_4(3U_0^2U_m^2 + 0,5U_m^4) + a_5 \cdot 5(U_0^3U_m^2 + 0,5U_0U_m^4), \quad (3)$$

$$I_3^{A(\Pi)}(3\omega_0) = a_3 0,25U_m^3 + a_4U_0U_m^3 + a_5(2,5U_0^2U_m^3 + 0,312U_m^5). \quad (4)$$

где a_2, \dots, a_5 – коэффициенты аппроксимации ВАХ; индексы «А» и «П» обозначают режимы работы НРс – соответственно активный и пассивный.

На рис. 3 в качестве примера для $U_0 = 0,2$ В и $U_m = 0,3$ В приведены рассчитанные по (3) и (4) уровни второй и третьей гармоник вторичного сигнала для рассмотренных ВАХ полупроводникового прибора и контакта стальных изделий. В случае несимметричной характеристики, рабочая точка находится на нелинейном участке (кривые I_2^A р-п и I_3^A р-п), уровень второй гармоники превышает уровень третьей на 20...40 дБ. При отсутствии смещения рабочей точки на ВАХ диода уровни второй и третьей гармоник при малых амплитудах индуцированного сигнала «квазиравные» друг другу (кривые I_2^{Π} р-п и I_3^{Π} р-п).

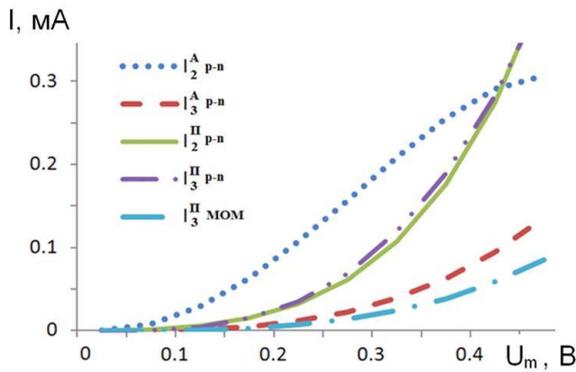


Рис. 3. Влияние амплитуды U_m на уровни гармоник

ей гармоник определяется формой ВАХ полупроводникового прибора или МОМ-структуры, амплитудой индуцированного сигнала и смещением рабочей точки. Для рассмотренных ВАХ трудность в идентификации будет также иметь место при «квазиравенстве» гармоник рассеянного сигнала. В этих случаях оператор вынужден прибегать к дополнительным методикам идентификации [1, 3].

Существенным недостатком выше приведенных ситуаций является то, что рассматривается лишь идеализированная (без искривлений) форма несимметричной ВАХ нелинейных приборов. Известны схемы закладных устройств на базе туннельных диодов, ВАХ которых имеют N-подобную форму. Актуальным становится исследование влияния области с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) ВАХ туннельного диода на соотношение уровней гармоник в спектре преобразованного сигнала, т.е. на надежность выявления ЗУ.

Основная часть

Рассмотрим два типа туннельных диодов, которые широко используют в схемах радиопередающих устройств: Д951Б и АИ201А [6]. Выполнив аппроксимацию полиномом пятого порядка их ВАХ (рис. 4), по выражениям (3) и (4) рассчитываются уровни второй и третьей гармоник преобразованного ими сигнала (2). При этом учтем, что значение амплитуды индуцированного в НРС сигнала U_m определяется эффективной площадью рассеивания закладного устройства и мощностью ЗС у рассеивателя. Величина принятой ЗУ мощности в процессе поиска варьируется, что приводит к изменению U_m . При $U_m \leq 0,7$ В получим зависимости соотношения уровней второй и третьей гармоник от амплитуды наведенного напряжения (рис. 5). Существуют такие значения U_m , когда соотношение уровней гармоник меньше (равное) единицы ($I_3 \geq I_2$), т.е. наблюдается инверсия идентификационного признака НРС. Под инверсией идентификационного признака НРС принимается возможность изменения соотношения на противополож-

Для симметричной характеристики при нулевом смещении рабочей точки имеем лишь третью гармонику (кривая $I_3^П$ мом). При неидеальной симметричности ВАХ для МОМ-структуры уровень третьей гармоники превысит уровень второй на 10...30 дБ [1, 3].

Таким образом, надежность выявления и идентификации НРС по соотношению уровней второй и третьей

ное между уровнями второй и третьей гармоник рассеянного сигнала.

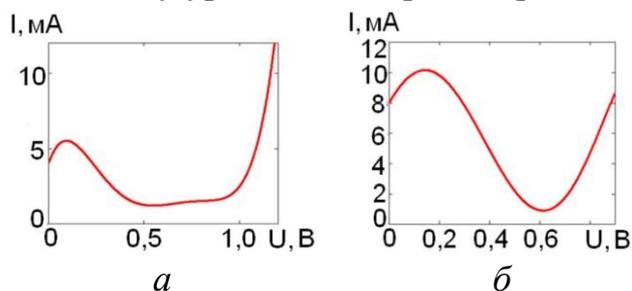


Рис. 4. ВАХ туннельных диодов: а) Д951Б, б) АИ201А

ва способны изменять соотношения на противоположное между уровнями спектральных составляющих рассеянного сигнала, что создает заметные трудности в использовании нелинейного радиолокатора.

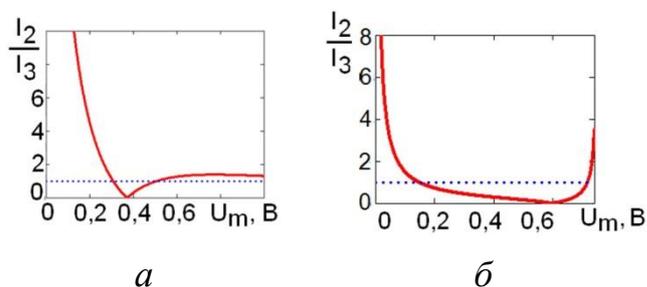


Рис. 5. Зависимости I_2/I_3 от U_m при $U_0 = 0,35$ мВ: а) Д951Б, б) АИ201А

ширины δU на ВАХ рассмотрим как разность $\delta U = U_{B3} - U_{B1}$, где U_{B1} – напряжение при I_{\max} , U_{B3} – напряжение при I_{\min} .

Таким образом, закладные устройства на туннельных диодах, которые находятся в режиме ожидания или работают на запись в память микросхемы, имеют низкую надежность выявления, так как излучаемое ими электромагнитное поле трудно выявляемо. Также эти устройства

Проведем исследование на значимой выборке из 25 образцов разных типов туннельных диодов (табл. 2) [6]. Среди характеристик ВАХ выделим ширину области ОДС δU , максимальный экстремум (далее максимальный ток I_{\max}) и минимальный экстремум (далее минимальный ток I_{\min}). Значение

Таблица 2

Значения характеристик ВАХ туннельного диода

| Тип диода | I_{\min} , мА | I_{\max} , мА | δU , мВ | Тип диода | I_{\min} , мА | I_{\max} , мА | δU , мВ |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1И102А | 0,3 | 1,5 | 8,4 | 3И202Б | 1,25 | 10 | 43,75 |
| 1И102Б | 0,3 | 1,5 | 8,4 | 3И202Д | 2,5 | 20 | 70 |
| АИ101И | 0,83 | 5 | 8,64 | 3И202Е | 2,5 | 20 | 70 |
| 1И104А | 0,375 | 1,5 | 7,84 | 3И202Ж | 3,75 | 30 | 78,75 |
| АИ101Д | 0,33 | 2 | 10,02 | 3И202К | 6,25 | 50 | 87,5 |
| 1И104К | 0,54 | 2,7 | 6,72 | 3И203А | 1 | 10 | 54 |
| 1И104И | 0,54 | 2,7 | 6,48 | 3И203Д | 2 | 20 | 72 |
| ГИ103А | 0,375 | 1,5 | 33,36 | 3И203Г | 2 | 20 | 72 |
| 3И203Б | 1 | 10 | 72 | 3И203Ж | 3 | 30 | 81 |
| АИ101А | 0,2 | 1 | 4,8 | 3И203И | 3 | 30 | 81 |
| АИ101В | 0,33 | 2 | 10,02 | АИ201Ж | 5 | 50 | 112,5 |
| АИ101Е | 0,83 | 5 | 29,19 | АИ201И | 5 | 50 | 112,5 |
| 3И202А | 1,25 | 10 | 43,75 | | | | |

Использование кумулятивной статистической функции позволяет проверить соответствие распределения значений выборки нормальному зако-

ну [7]. Согласно неравномерному разбросу точек относительно кумулятивных прямых на рис. 6, а, распределение значений минимальных и максимальных токов строго не соответствует нормальному закону. Из чего следует, что выборки I_{\min} и I_{\max} являются неинформативными.

Согласно равномерному разбросу точек относительно кумулятивной прямой на рис. 6, б, распределение ширины области с отрицательным дифференциальным сопротивлением δU соответствует нормальному закону, то есть выборка δU информативна, поэтому для анализа формы ВАХ туннельного диода соотношение I_{\max}/I_{\min} примем постоянным.

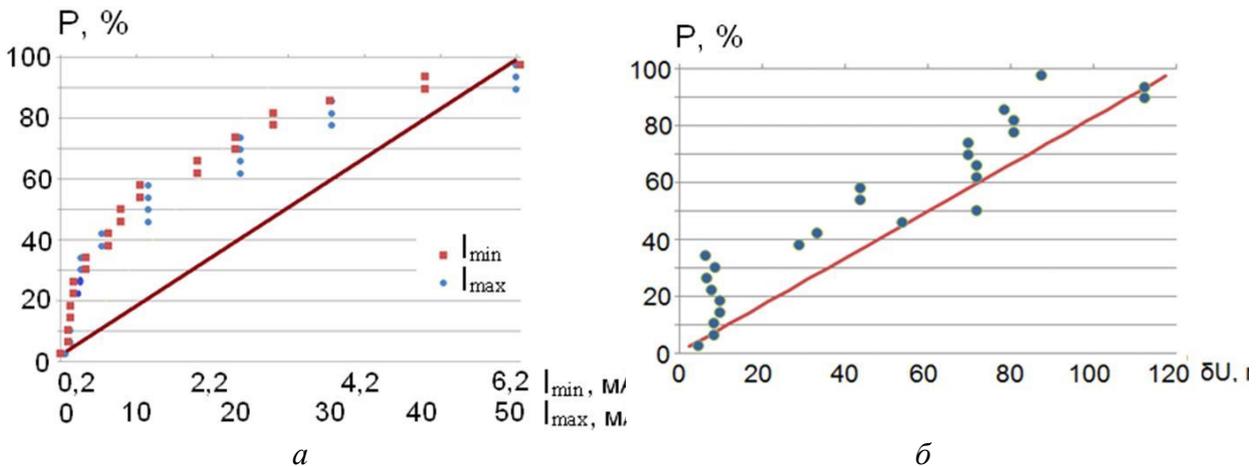


Рис. 6. Кумулятивные функции распределения: а) I_{\min} и I_{\max} б) δU

Рассмотрим в относительных координатах область ОДС, представив ее аппроксимирующей функцией (рис. 7).

$$I_{\text{ОТН}} = 0,5 \cdot (1 - \text{th}(k(\delta U_{\text{ОТН}}) \cdot (U_{\text{ОТН}} - 0,5))), \quad (6)$$

где $k(\delta U_{\text{ОТН}}) = 640 \cdot 2^{-10 \cdot \delta U_{\text{ОТН}}} \cdot \sin(\delta U_{\text{ОТН}})$ – масштабирующий коэффициент, в пределах $\delta U_{\text{ОТН}} = 0,2 \dots 0,4$ погрешность не превышает 1%. Применив к (6) разложение Тейлора пятого порядка и подставив в качестве переменной функцию (2) в относительных значениях, получим выражения для уровней второй и третьей гармоник – $I_2 = f(U_{\text{ОТН}}, U_{0\text{ОТН}}, U_{m\text{ОТН}})$ и $I_3 = f(U_{\text{ОТН}}, U_{0\text{ОТН}}, U_{m\text{ОТН}})$ (в силу громоздкости выражения не приводятся).

Из рис. 8 по приведенным уровням второй и третьей гармоник от ширины ОДС и амплитуды наведенного сигнала при $U_{m\text{ОТН}} \geq \delta U_{\text{ОТН}}$ видно, что инверсия идентификационного признака НРС отсутствует ($I_2 \geq I_3$).

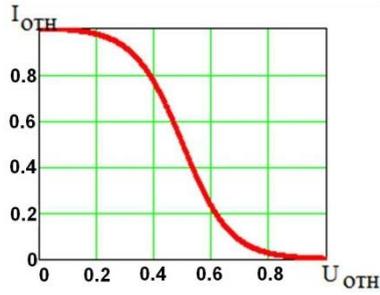


Рис. 7. Область ОДС,
 $\delta U_{\text{ОТН}} = 0,8$

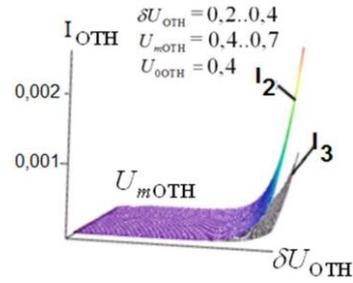


Рис. 8. Уровни второй и третьей гармоник

Воспользуемся нормированной аппроксимирующей функцией N-подобной формы ВАХ туннельного диода

$$I_{\text{ОТН}} = (1,5 \cdot \alpha^2 + 2,9) \cdot \sin^3(\beta \cdot U_{\text{ОТН}}) - 3 \cdot \sin^2(\beta \cdot U_{\text{ОТН}}) + 0,5, \quad (7)$$

подобранной и масштабированной через приведенные параметры α и β таким образом, чтобы охватить все возможные соотношения между шириной области с отрицательной нелинейностью $\delta U_{\text{ОТН}}$ и крутизной области с положительной нелинейностью $K_{\text{ОТН}}$ (см. рис. 9).

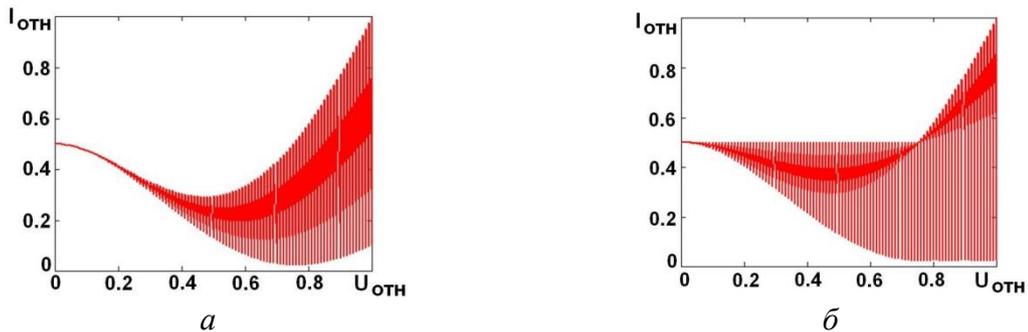


Рис. 9. Множество нормированных аппроксимирующих функций N-подобной формы ВАХ туннельного диода: а) $\alpha = 0,1$, $\beta = 1$; б) $\alpha = 0,1$, $\beta = 0,1$

Согласно рис. 9, а, при $\alpha = \text{Var}$ и $\beta = \text{Const}$ изменяются значения ширины области с отрицательной нелинейностью и крутизны области с положительной нелинейностью, при этом соотношение между этими характеристиками кривой остается постоянным. Параметр α характеризует «растяжение» нормированной кривой ВАХ вдоль оси $U_{\text{ОТН}}$. В случае изменения обоих параметров α и β (рис. 9, б) изменяются не только значения $\delta U_{\text{ОТН}}$ и $K_{\text{ОТН}}$, но и соотношение $\delta U_{\text{ОТН}}/K_{\text{ОТН}}$. Параметр β характеризует степень различия между крутизной двух областей с положительной и отрицательной нелинейностью.

Разложив выражение (7) в ряд Тейлора пятого порядка и подставив $|U_{\text{ОТН}}| = |U_{0\text{ОТН}} + U_{m\text{ОТН}} \cdot \cos(\omega t)| \leq 1$, получим выражения для приведенных

уровней второй и третьей гармоник:

$$\begin{aligned}
 I_{2\text{ОТН}} &= -1,5 \cdot U_{m\text{ОТН}}^2 \cdot \beta^2 + 1,5 \cdot U_{0\text{ОТН}} \cdot U_{m\text{ОТН}}^2 \cdot \beta^3 \cdot (1,5 \cdot \alpha^2 + 2,9) + \beta^4 \times \\
 &\quad \times \left(3 \cdot U_{0\text{ОТН}}^2 \cdot U_{m\text{ОТН}}^2 + 0,5 \cdot \frac{U_{m\text{ОТН}}^4}{8} \right) - \beta^5 \times \\
 &\quad \times \frac{(1,5 \cdot \alpha^2 + 2,9)}{2} \cdot (5 \cdot U_{0\text{ОТН}}^3 \cdot U_{m\text{ОТН}}^2 + 2,5 \cdot U_{0\text{ОТН}} \cdot U_{m\text{ОТН}}^4), \\
 I_{3\text{ОТН}} &= 0,25 \cdot U_{m\text{ОТН}}^3 \cdot \beta^3 \cdot (1,5 \cdot \alpha^2 + 2,9) + \beta^4 \cdot U_{0\text{ОТН}} \cdot U_{m\text{ОТН}}^3 - \\
 &\quad - \beta^5 \cdot \frac{(1,5 \cdot \alpha^2 + 2,9)}{2} \cdot \left(2,5 \cdot U_{0\text{ОТН}}^2 \cdot U_{m\text{ОТН}}^3 + \frac{5}{16} \cdot U_{m\text{ОТН}}^5 \right). \quad (8)
 \end{aligned}$$

Приняв за константы $U_{m\text{ОТН}} = 1$ и $U_{0\text{ОТН}} = 0,5$ в выражениях (8), построена зависимость соотношения уровней третьей и второй гармоник сигнала отклика от параметров α и β (рис. 10).

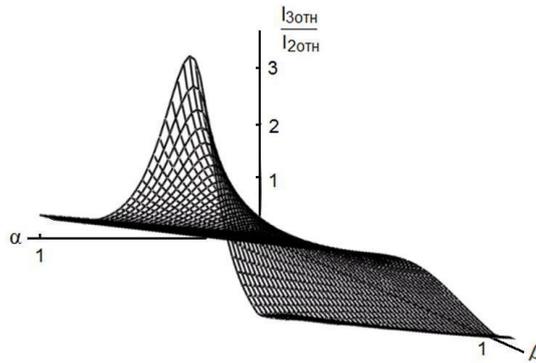


Рис. 10. Зависимость соотношения I_3/I_2 от параметров α и β

Согласно рис. 10, существуют значения параметров α и β , при которых $I_3/I_2 \geq 1$. Поэтому, переменные α и β характеризуют не только форму ВАХ туннельного диода, но и достоверность идентификационного признака НРС на его базе в целом. Зависимость $N(\alpha, \beta) = I_3(\alpha, \beta)/I_2(\alpha, \beta)$ является функцией достоверности идентификации НРС по соотношению уровней кратных гармоник. Согласно рис. 10, для ЗУ на туннельном диоде, когда рабочая точка находится на отрицательной ветви ВАХ полупроводникового прибора ($U_{0\text{ОТН}} = 0,5$) и амплитуда наведенного сигнала соизмерима (или превышает) с шириной области ОДС ($U_{m\text{ОТН}} = 1$), $N(\alpha, \beta) > 1$ при $\alpha = 0,88..1$ и $\beta = 0,46..0,64$, идентификация НРС ненадежна. Для ВАХ диода АИ201А (рис. 4, $\alpha = 0,72..1$ и $\beta = 0,45..0,67$), инверсия идентификационного признака будет наблюдаться при смещении рабочей точки на

отрицательную ветвь ВАХ и превышающей ширину области ОДС амплитуде воздействующего сигнала.

Выводы

Принятая теория идентификации рассеивателей в нелинейной радиолокации по соотношению уровней кратных гармоник не учитывает возможных деформаций формы вольт-амперной характеристики (ВАХ) нелинейных приборов. Примером служит реакция на зондирующий сигнал закладных устройств (ЗУ) на базе туннельных диодов, ВАХ которых имеют N-подобную характеристику. Эффективность использования нелинейного радиолокатора (НР) при выявлении ЗУ на туннельных диодах может быть неудовлетворительной, то связано с явлением инверсии в соотношении уровней гармоник рассеянного сигнала. Исследование влияния формы ВАХ туннельного диода на надежность идентификации ЗУ основано на введении аппроксимирующих безразмерных коэффициентов α и β . Новые переменные характеризуют не только форму кривой, но и достоверность идентификации ЗУ по соотношению уровней гармоник демаскирующего сигнала в целом. Методика анализа идентификационного признака рассеивателей по соотношению уровней кратных гармоник с помощью параметров α и β позволяет разработать алгоритмы минимизации ненадежных режимов работы НР.

Перечень ссылок

1. Хорев А. А. Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации Ч. 3 / А. А. Хорев – М. : МО. – 1998. – 224 с. – Режим доступа: <http://www.bnti.ru/dbtexts/ipks/old/analmat/5200/horev.pdf>
2. Куприянов А. И. Методы поиска электронных устройств перехвата информации с использованием нелинейных радиолокаторов / А. И. Куприянов, А. А. Хорев // [Спец. техн.](#) – 2015. – № 3. – С. 12-26.
3. 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.
4. Штейншлегер В. Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / В. Б. Штейншлейгер // *Успехи физических наук.* – 1984. – Т. 138. – Вып. 1. – С. 135-145. – Режим доступа : http://ufn.ru/ufn84/ufn84_1/Russian/r841e.pdf
5. Волошин А. Анализ и расчет амплитудного спектра тока СВЧ смесительного диода при полигармоническом воздействии / А. Волошин, Г. Ена, Ю. Никитенко // *Известия вузов. Радиоэлектроника.* – 2007. – Т. 50, N 2. - С. 55-65. – Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347007020094>.
6. Справочник по полупроводниковым приборам / Е. А. Москатов ; 2-е изд. – Таганрог : Журнал "Радио". – 2007. – 219 с.
7. ГОСТ Р ИСО 5479-2002 «Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения»: <http://gostexpert.ru/data/files/5479-2002/ca4910d5ac619c7b55c5cc5add1cdc56.pdf>

References

1. Horev A. A. (1998) [Metody i sredstva poiska elektronnyh ustroystv perehvata informatsii](#) [Methods and means of electronic devices of information interception searching]. Moscow. MO Publ., vol. 3, 224 p.
2. Kupriianov A. I., and Horev A. A. (2015) Metody poiska elektronnyh ustroystv perehvata informatsii s ispolzovaniem nelineinyh radiolokatorov [Methods of electronic devices of information interception searching with nonlinear radar usage]. Spets. tehnika, no. 3, pp. 12-26.
3. Kolbanov A. P., Potapov A. A., Stepanov E. E., and Chigin E. P. (2005) Raspoznavanie nelineinyh rasseivatelei, soderjaschih nesovershennie metallicheskie kontakty ili poluprovodnikovye radiokomponenty [Recognition of the nonlinear lenses containing imperfect metal contacts or semiconductor radio components]. [Nelineinyi mir](#), Vol. 3, No. 4, pp. 239-244.
4. Shteinshleiger V.B. (1984) Nonlinear scattering of radio waves by metallic objects, [Physics-Uspekhi](#), Vol. 27, No 1, pp. 60-68. DOI:10.3367/UFNr.0142.198401e.0131
5. Voloshin A. P., Iena G. A., and Nikitenko Yu. G. (2007) Analysis and calculation of current-flow amplitude spectrum of a microwave mixer diode at poly-harmonic excitation. [Radioelectronics and Communications Systems](#), Vol 50, No 2, pp. 95-103. DOI: 10.3103/S0735272707020094
6. Moskatov E. A. (2007) [Spravochnik po poluprovodnikovym priboram](#) [Reference book on semiconductor devices], Taganrog, Zhurnal Radio, 219 p.
7. GOST R ISO 5479-2002 (2002) [Statistical methods. Tests for departure of the probability distribution from the normal distribution](#), Moscow, Izdatelstvo standartov, 31 p. (In Russian)

Во Зуй Фук, Зінченко М. В., Зіньковський Ю. Ф. Інверсія співвідношень рівнів гармонік демаскуючого сигналу в нелінійній радіолокації. Показано, що N-подібна форма вольт-амперної характеристики (ВАХ) нелінійних приладів, що входять до складу розсіювача, є однією з причин інверсії в співвідношенні рівнів гармонік перевипромєненого сигналу. Це призводить до зниження ефективності використання нелінійного радіолокатора при виявленні закладних пристроїв на тунельних діодах. При аналізі останніх запропоновано ввести апроксимуючі безрозмірні коефіцієнти α та β , які характеризують не лише форму ВАХ, але і достовірність ідентифікації закладних пристроїв по співвідношенню рівнів гармонік демаскуючого сигналу в цілому.

Ключові слова: Нелінійна радіолокація, достовірність ідентифікації закладних пристроїв, радіоелектронні пристрої на тунельних діодах.

Во Зуй Фук, Зинченко М. В., Зиньковский Ю. Ф. Инверсия соотношений уровней гармоник демаскирующего сигнала в нелинейной радиолокации. Показано, что N-подобная форма вольт-амперной характеристики (ВАХ) нелинейных приборов, входящих в состав рассеивателя, является одной из причин инверсии в соотношении уровней гармоник переизлученного сигнала. Это приводит к снижению эффективности использования нелинейного радиолокатора при выявлении закладных устройств на туннельных диодах. При анализе последних предложено ввести аппроксимирующие безразмерные коэффициенты α и β , которые характеризуют не только форму ВАХ, но и достоверность идентификации закладных устройств по соотношению уровней гармоник демаскирующего сигнала в целом.

Ключевые слова: Нелинейная радиолокация, достоверность идентификации закладных устройств, радиоэлектронные устройства на туннельных диодах.

Vo Duy Phuc; Zinchenko M. V.; Zinkovskii Y. F. **Inversion ratio of the harmonics levels of the unmasking signal in the nonlinear radar.** Questions of identification of the mortgage devices (MD) on tunnel diodes which are in a waiting mode or work for record in memory of a chip, by means of nonlinear radars are considered. Conditions of change of a ratio on opposite between levels of spectral components of a scattered signal when sounding by the nonlinear radar of the considered class of mortgage devices are investigated. Inverse change of this ratio significantly worsens reliability of an identification sign of nonlinear scatterers based on the ratio of levels of multiple harmonics of a response signal. It is shown that a N-like form of the volt-ampere characteristic (VAC) of the nonlinear devices which are a part of the scatterer, amplitude of the induced signal and shift of a working point to VAC are the reasons of inversion in the ratio of levels of harmonics of the reradiated signal. Influence of a VAC form of the tunnel diode on reliability of identification of the MD introduction of the approximating dimensionless coefficients in the way α and β is analyzed. It is offered to use new variables not only for the characteristic of a curve form, but also for an assessment of reliability of MD identification based on the ratio of harmonics levels of the unmasking signal in general. The analysis of an identification sign of scatterers based on the ratio of levels of multiple harmonicas by means of parameters also allows to minimize influence of unreliable operating modes of nonlinear radars on efficiency of carrying out search actions.

Keywords: Nonlinear radar, reliability of mortgage devices identification, radio-electronic devices on tunnel diodes.