

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЗАКЛАДНЫХ УСТРОЙСТВ НЕЛИНЕЙНЫМ ЛОКАТОРОМ

В.М. ЧЕРТКОВ, В.К. ЖЕЛЕЗНЯК

*Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»  
г. Новополоцк, 211440, Республика Беларусь*

**Введение.** Основным техническим средством защиты информации по поиску и обнаружению электронных закладных устройств (ЗК) является нелинейный радиолокатор (НРЛ). Важными целевыми параметрами, предъявляемыми к НРЛ, являются высокая чувствительность приема, снижение мощности высокочастотного излучения при повышенной дальности и высокой вероятности правильного обнаружения ЗК в активных и пассивных режимах работы последних. Несмотря на достоинства современных НРЛ и методов поиска и обнаружения ЗК, то же время все НРЛ обладают ограниченными возможностями по распознаванию искомых электронных ЗК, и достигнутая вероятность правильного обнаружения последних подлежит дальнейшему повышению.

**Цель.** Разработка метода обнаружения и определения электронных закладных устройств с высокой вероятностью правильного их обнаружения нелинейным радиолокатором.

**Основная часть.** Проблема первичной идентификации сигналов от аппаратуры нелинейной радиолокации с высокой вероятностью правильного определения электронных закладных устройств стоит достаточно остро, а ее решение является актуальной задачей. Как правило принятие решения об обнаружении электронных ЗК происходит по выявлению полупроводниковых компонентов в составе ЗК.

Объективно различение объектов двух типов – электронные (полупроводниковые компоненты РЭА) и естественные (металлические контакты и соединения, представляющие собой структуру металл-оксид-металл) возможно, т.к. существуют реальные физические отличия исходных причин, вызывающих полупроводниковые эффекты в этих объектах. В работе [1] отмечено, что информативным критерием является тип нелинейности исходных ВАХ полупроводников, который принимает квадратичный или кубический характер кривизны.

На основании полученных данных моделирования предложенной в [2] структуры переизлученного зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, были установлены общие принципы появления высших комбинационных составляющих зондирующего сигнала и разработан способ распознавания типа нелинейности ВАХ исследуемых объектов. Суть способа заключается в поэтапном увеличении мощности зондирующего излучения, контролируемого изменения уровня относительной разности боковых гармоник зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей. По измеренным уровням второй, третьей и удвоенной восстановленной несущей гармоник зондирующего сигнала и их сопоставления с мощностью излучения производится расчет коэффициентов полинома третьей степени, аппроксимирующих ВАХ нелинейного объекта. Статическую ВАХ такого объекта представляют в виде степенного ряда:

$$I = I_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3 + \dots, \quad (1)$$

где  $I_0$  – ток покоя в рабочей точке ВАХ;  $a_1$  – крутизна ВАХ в рабочей точке;  $a_2$  – первая производная крутизны;  $a_3$  – вторая производная крутизны ВАХ.

Разработанный способ позволяет установить тип нелинейности определением числовых значения коэффициентов полинома, аппроксимирующего нелинейную ВАХ РЭС, по полученным данным уровней комбинационных составляющих от боковых

гармоник зондирующего сигнала. Оценка точности соответствия расчетных степенных коэффициентов производилось на основе вычисления максимального отклонения от задаваемых значений и соответствует  $1.0e^{-4}$ , что существенно оказывает влияние на вероятность правильного обнаружения электронных ЗК [3]

Метод определения электронных закладных устройств, основанный на принятии решения по критерию скорректированного квадрата смешанной корреляции между значениями восстановленной вольтамперной характеристикой электронного ЗК, полученной путем расчета степенных коэффициентов аппроксимирующего ее полинома (1) со значениями эталонных вольтамперных характеристик для полупроводниковый компонент и структур металл-оксид-металл.

Вольтамперные характеристики полупроводниковых компонентов радиоэлектронной аппаратуры хорошо аппроксимируется экспоненциальным законом на основе уравнения Шокли [4]

$$I = I_0 \left( e^{\alpha \cdot U} - 1 \right) \quad (2)$$

где  $I_0$  – обратный ток  $p$ - $n$  перехода в режиме запираания;  $\alpha$  – размерный масштабный коэффициент нелинейности, зависящий от свойств материалов, образующих  $p$ - $n$  переход;  $U$  - напряжение на  $p$ - $n$  переходе.

Вольтамперные характеристики структур металл-оксид-металл, при небольших значениях напряжения (до 1В) ток аппроксимируется выражением [5]

$$I = \frac{U + \beta \cdot U^3}{R_0} \quad (3)$$

где  $\beta$  – коэффициент нелинейности ( $B^{-2}$ ),  $R_0$  – сопротивление перехода (Ом).

Решающее правило по определению электронного ЗК формируется по следующему алгоритму:

- расчет степенных коэффициентов полинома, аппроксимирующего ВАХ электронного ЗК согласно выражения (1);
- аппроксимация значений выражения (1) на основе приближений согласно функции (2) и расчета значения скорректированного квадрата смешанной корреляции для полупроводниковых компонентов;
- аппроксимация значений выражения (1) на основе приближений согласно функции (3) и расчета значения скорректированного квадрата смешанной корреляции для структур металл-оксид-металл;
- регистрация отношения значения скорректированных квадрата смешанной корреляции для полупроводниковых компонентов к значению скорректированных квадрата смешанной корреляции структур металл-оксид-металл;
- фиксирование превышения полученного отношения над установленным порогом;

Если расчетное отношение превышает установленный максимальный порог, то объект классифицируется как электронное закладное устройство. Если расчетное отношение ниже установленного минимального порога, то объект классифицируется как структура металл-оксид-металл. Если расчетное отношение принимает значение от минимального до максимального порога, то объект классифицируется как неопределенный.

Результаты имитационного моделирования разработанного метода определения электронных ЗК представлен на рисунке 1.

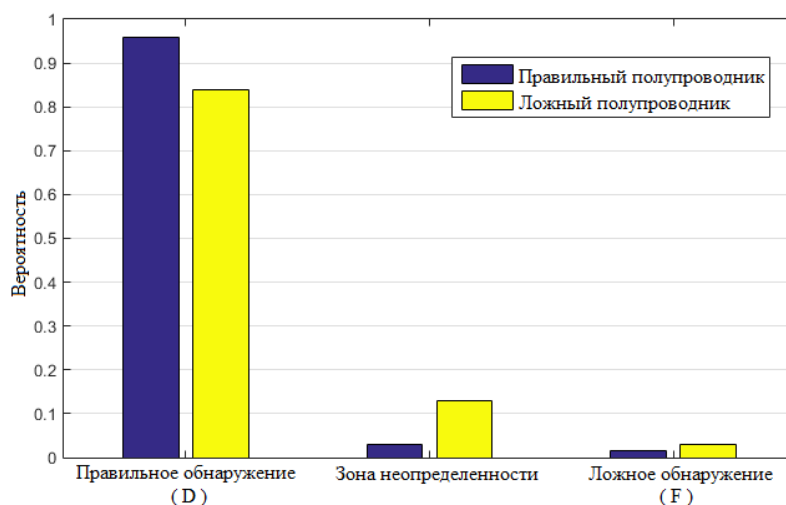


Рис. 1 – Показатели разработанного метода определения электронных закладных устройств

Показатели предложенного метода определения электронных ЗК имеет вероятность правильного распознавания электронных компонентов не ниже 0,9 и 0,8 для структур металл-оксид-металл. Вероятность ложной идентификации для обоих типов объектов составляет менее 0,01.

#### **Заключение.**

На основании анализа полученных результатов авторами предложен принципиально новый метод определения электронных закладных устройств на основе использования специального зондирующего АМ-сигнала с подавленной несущей, который позволяет установить вид нелинейности ВАХ путем расчета коэффициентов аппроксимирующего ее полинома по данным разностных уровней комбинационных составляющих принятого сигнала отклика от закладного устройства. Предложенный способ повышает вероятность правильного обнаружения электронных ЗК до порога не менее 0,90.

#### **Литература**

1. Чертков, В.М. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного поиска с возможностью идентификации радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В.М. Чертков, В.К. Железняк // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2016. – № 4. – С. 99–105.
2. Чертков, В.М. Способ получения идентификационного портрета радиоэлектронных средств перехвата информации методами нелинейной радиолокации / В.М. Чертков, В.К. Железняк // Теоретические и прикладные аспекты информационной безопасности: тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Минск, 18 мая 2017 г.) / учреждение образования «Акад. М-ва внутр. дел Респ. Беларусь»; редкол.: А.В. Яскевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Академия МВД, 2018. – С. 131–134.
3. Чертков, В.М. Определение типа нелинейности вольтамперной характеристики объекта, исследуемого нелинейным радиолокатором / В.М. Чертков, В.К. Железняк // Доклады БГУИР. – 2017. – № 8. – С. 60–66.
4. Кузнецов, А.С. Методы исследования эффекта нелинейного рассеяния электромагнитных волн / А.С. Кузнецов, Г.И. Кутин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 4. – С. 41–53.
5. Штейншлейгер, В.Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / В.Б. Штейншлейгер // Успехи физических наук. – 1984. – Т. 142, № 1. – С. 131–145.

### **Сведения об авторах**

Чертков В.М. – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры радиоэлектроники. Полоцкий государственный университет.

Железняк В.К. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиоэлектроники. Полоцкий государственный университет.

### **Адрес для корреспонденции**

211440, Республика Беларусь

г.Новополоцк, ул.Блохина, 29.

Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

моб. тел: +375(29)5106439, раб. тел: +375(214)531416

e-mail: v.chertkov@psu.by

Чертков Валерий Михайлович