

Санкт-Петербург  
2-3 апреля 2015

Пятая международная  
научно-практическая конференция

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА ТРАНСПОРТЕ

Посвящается 85-летию факультета «Автоматизация  
и интеллектуальные технологии» и кафедры  
«Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Сборник материалов

Организаторы



При поддержке и участии



Информационные партнеры



УДК 656.002

ББК 39.1:32.813

И73

**И73 Интеллектуальные системы на транспорте:** сборник материалов V Международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2015» / под редакцией д-ра техн. наук, профессора А.А. Корниенко. — СПб.: ПГУПС, 2015. — 412 с.

В сборник тезисов V международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» вошли тезисы докладов пленарного, секционного заседаний и круглого стола. В рамках конференции обсуждаются результаты фундаментальных междисциплинарных исследований для реализации технологической платформы «Высокоскоростной интеллектуальный железнодорожный транспорт»; научно-практические аспекты интеллектуализации систем управления и безопасности движения поездов, создания и развития средств автоматики и телемеханики на транспорте; вопросы применения высокоэффективных технологий транспортной логистики, управления грузовыми и пассажирскими перевозками. В рамках круглого стола обсуждаются вопросы риск-ориентированного управления информационной безопасностью. Отдельно выделена секция для докладов молодых ученых, аспирантов и студентов «Эстафета творчества».

ББК 39.1:32.813

*Выпущено при участии Информационно-издательского агентства «ЛИК»*

## МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ИДЕНТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ DSB-СИГНАЛА

В.М. Чертков, В.К. Железняк (*Республика Беларусь, Полоцк, ПГУ*)

Нелинейная радиолокация является основным методом поиска и обнаружения электронных устройств технических средств, предназначенных для негласного контроля информации в любом их состоянии — включенном, выключенном и даже разрушенном, в условиях высокой насыщенности рабочих помещений различными электронными устройствами [1].

Наиболее распространенная проблема, возникающая при работе с нелинейным локатором, это распознавание искомым электронных объектов негласного съема информации. Реальная среда их закладки чаще всего представляет собой элемент строительной конструкции, включающий различные металлические конструкции — арматуру, крепежные соединения, элементы металлокаркасов, соединения проводных коммуникаций, сочленения трубопроводных коммуникаций, которые воспринимаются аппаратурой нелинейной радиолокации аналогично искомым электронным объектам. Проблема первичной идентификации сигналов от аппаратуры нелинейной радиолокации стоит достаточно остро [2].

Важным этапом получения информации о характеристиках закладных устройств с нелинейными свойствами является распознавание типа нелинейности и, как правило, выбора системы критериев, по которым классифицируются нелинейные объекты в их составе. По мнению авторов, наиболее информативным критерием является вольт-амперная характеристика (ВАХ) нелинейного элемента [3].

Разработанный метод идентификации закладных устройств использует зондирующий сигнал специальной формы и новый алгоритм распознавания типа нелинейности на основе восстановленной ВАХ, которые повышают достоверность идентификации и точность локации закладных электронных устройств.

Известно, что спектр отклика нелинейного элемента отличается от спектра воздействующего сигнала; он обогащен компонентами высших гармоник воздействующего сигнала.

Статическую ВАХ любого нелинейного элемента можно представить в виде степенного ряда:

$$i = i_0 + a_1 U + a_2 U^2 + a_3 U^3 + \dots \quad (1)$$

где  $i_0$  — ток покоя в рабочей точке;  $a_1$  — крутизна ВАХ в рабочей точке;  $a_2$  — первая производная крутизны;  $a_3$  — вторая производная крутизны и т.д.

При воздействии на нелинейный элемент двухполосового амплитудно-модулированного сигнала с подавленной несущей (Double SideBand) DSB-сигнала

$$u(t) = U_0 + U_{m1} \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + U_{m2} \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t, \quad (2)$$

где:  $\omega_0 + \Delta\omega$  — частота верхней боковой поднесущей;  $\omega_0 - \Delta\omega$  — частота нижней боковой поднесущей;  $\omega_0$  — подавленная несущая частота,  $\Delta\omega$  — поднесущая частота.

Отклик нелинейного элемента из выражений (1) и (2) представляется

$$\begin{aligned} i(u) = & a_0 + a_1 U_{m1} \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + a_1 U_{m2} \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t + \frac{a_2}{2} (U_{m1}^2 + U_{m2}^2) + \\ & + \frac{a_2}{2} U_{m1}^2 \cos(2\omega_0 + 2\Delta\omega)t + \frac{a_2}{2} U_{m2}^2 \cos(2\omega_0 - 2\Delta\omega)t + \\ & + a_2 U_{m1} U_{m2} \cos(2\omega_0)t + a_3 U_{m1} U_{m2} \cos(2\Delta\omega)t + \left( \frac{3a_1 U_{m1}^3}{4} + \frac{3a_1 U_{m1} U_{m2}^2}{2} \right) \cos(\omega_0 + \Delta\omega)t + \\ & + \left( \frac{3a_1 U_{m2}^3}{4} + \frac{3a_1 U_{m2} U_{m1}^2}{2} \right) \cos(\omega_0 - \Delta\omega)t + \frac{a_1 U_{m1}^3}{4} \cos(3\omega_0 + 3\Delta\omega)t + \frac{a_1 U_{m2}^3}{4} \cos(3\omega_0 - 3\Delta\omega)t + \\ & + \frac{3a_1 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \cos(3\omega_0 + \Delta\omega)t + \frac{3a_1 U_{m2} U_{m1}^2}{4} \cos(3\omega_0 + 3\Delta\omega)t + \\ & + \frac{3a_1 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \cos(3\omega_0 - \Delta\omega)t + \frac{3a_1 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \cos(\omega_0 - 3\Delta\omega)t. \end{aligned} \quad (3)$$

На рис. 1 показано искажение формы, а значит и спектра входного сигнала на нелинейном элементе (полупроводниковый диод).

На практике ВАХ большинства реальных объектов можно с достаточной степенью точности аппроксимировать конечными степенными рядами, так как высшие гармоники, порождаемые такими объектами, имеют незначительные амплитуды. Степень аппроксимирующего многочлена определяет номер наивысшей гармоники в спектре отклика нелинейного элемента.

Среди реальных объектов нелинейные свойства сильнее всего выражены у полупроводниковых переходов и прижимных металлических контактов. Вольтамперные характеристики (ВАХ) большинства полупроводниковых переходов, входящих во все элементы современной радиоэлектронной аппаратуры, близки к квадратичным. ВАХ контактов разнородных металлов, а также контактов металл-оксид-металл, возникающих в результате коррозии, аппроксимируются многочленом третьей степени. При облучении нелинейным радиолокатором полупроводниковых переходов гармоническим сигналом отклик на второй гармонике значительно сильнее (порядка 20 дБ) чем на третьей. Для металлических контактов картина противоположна (рис.2) [4]

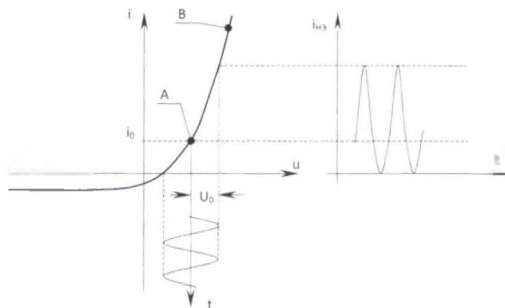


Рис. 1. Преобразование гармонического сигнала на нелинейном элементе.

A — рабочая точка в области ВАХ, аппроксимируемой многочленом второй степени;  
B — рабочая точка в области ВАХ, аппроксимируемой многочленом степени, большей двух.

Анализ имеющихся публикации по тематике нелинейной радиолокации показывает, что в вопросах обеспечения точности и быстроты локализации объекта различные авторы едины. Этот показатель обуславливается характеристиками антенн и приемного тракта, регистрирующего отраженные сигналы. Вопрос идентификации объектов на настоящий момент находится больше в стадии теоретических дискуссий и зависит исключительно от опыта и навыков персонала, использующего нелинейный локатор.

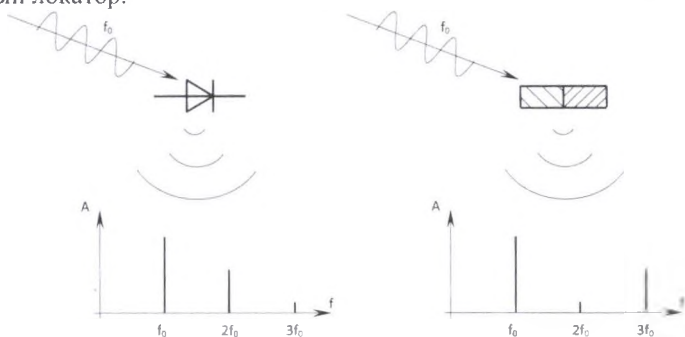


Рис. 2. Нелинейное преобразование гармонического сигнала с частотой  $f_0$  полупроводниковыми приборами (слева) и объектами, образованными контактом металлических частей (справа).

Из рис. 2 очевидно, что теоретически возможно различие объектов, содержащих электронные компоненты, металлические конструкции либо их комбинации, по виду спектра переизлученного объектом сигнала. Однако на практике подобный подход сопровождается рядом трудностей. Сложными проблемами, например, являются

правильный выбор мощности и частоты зондирующего сигнала. Низкая мощность (амплитуда) зондирующего сигнала не позволяет заставить нелинейный объект продуцировать гармоники. Слишком высокая мощность зондирующего сигнала смещает рабочую точку нелинейного элемента за пределы характерной для него ВАХ (квадратичной области для полупроводниковых переходов) (см. рис. 1, точка В). В результате спектр отклика элемента сильно меняется. Дополнительно необходимо учитывать, что от мощности зондирующего сигнала зависят дальность обнаружения объектов нелинейным радиолокатором. К тому же высокая мощность излучения может привести, например, к срабатыванию электронных взрывателей.

С точки зрения выбора частоты зондирования реальные объекты представляют собой сложный набор диполей различной геометрии, нагруженных на нелинейные элементы. Очевидно, что такие объекты будут иметь различный отклик на различных частотах (различную нелинейную эффективную поверхность рассеяния). Вид отклика является характерным для того или иного вида объектов.

Для решения указанных проблем современные нелинейные радиолокаторы могут использовать различные режимы излучения сигнала (импульсный или непрерывный) и алгоритмы регулировки мощности излучения [5, 6]. Также следует отметить, что согласно техническим характеристикам существующих нелинейных радиолокаторов, они используют частоты излучения в диапазоне от 400 до 1000 МГц (частоты приема от 800 до 3000 МГц соответственно).

Интересны решения, позволяющие улучшить характеристики нелинейных радиолокаторов, предложенные в работах [2, 7, 8, 9]. Их авторы предлагают использовать несколько гармонических зондирующих сигналов для увеличения дальности работы нелинейного радиолокатора. Для этой цели авторы данной статьи развили идею зондирования с использованием DSB-сигнала, с программируемым регулированием мощности излучения сигнала. Применение такого подхода способствовало повышению достоверности идентификации объектов по отраженному ими сигналу, а также увеличению дальности действия радиолокатора. При облучении нелинейного объекта DSB-сигналом он переизлучает измененный зондирующий сигнал, по виду и характеру изменения которого можно получить информацию о нелинейной эффективной поверхности рассеяния объекта на заданных частотах и с большой степенью вероятности восстановить ВАХ нелинейного элемента.

На рис. 3 показана структурная схема нелинейного радиолокатора с применением DSB-сигнала. Назначение основных блоков не требует разъяснения. Следует подчеркнуть, что дополнительно включены управляемый программой MATLAB цифро-аналоговый преобразователь, предоставляющий данные для расчета и визуализации, а также



управляемый мощностью излучения программой MATLAB генератор зондирующего DSB-сигнала, который вырабатывает зондирующий сигнал и управляется программой MATLAB, которая изменяет мощность излучения. При этом становится возможным более эффективно исследовать нелинейность в области ее характерных частот, увеличить дальность действия радиолокатора, повысить достоверность идентификации нелинейных объектов.



Рис. 3. Структурная схема предлагаемого нелинейного радиолокатора, использующего DSB-сигнал

Принцип формирования ВАХ заключается в получении расчетных значений коэффициентов аппроксимирующего полинома по измеренным уровням (дБ) гармоник переизлученного сигнала и их разностных уровней. Прием сигнала осуществляется на второй гармонике восстановленной несущей частоты ( $2\omega_0$ ) и на комбинационных частотах, обусловленных нелинейностью ВАХ на второй гармонике ( $2\omega_0 - 2\Delta\omega$ ) и третьей ( $3\omega_0 - \Delta\omega$ ). Выразив из выражения (3) амплитуды на соответствующих частотах

$$A_0 = a_2 U_{m1} U_{m2}, \quad A_2 = \frac{a_2}{2} U_{m2}^2, \quad A_3 = \frac{3a_3 U_{m1} U_{m2}^2}{4} \quad (4)$$

где  $A_0$  — амплитуда на частоте восстановленной несущей  $2\omega_0$ ;  $A_2$  — амплитуда на частоте  $2\omega_0 - 2\Delta\omega$ , первый канал приема;  $A_3$  — амплитуда на частоте  $3\omega_0 - \Delta\omega$ , второй канал приема.

С помощью разработанной программы в среде MATLAB и обработанных данных о измерении уровней мощности на указанных частотах решается система уравнений по вычислению аппроксимирующих коэффициентов, которая составляется на основе выражения (3) в зависимости от поэтапно увеличивающегося значения мощности зондирования.

Метод обработки переизлученного нелинейным объектам сигнала имеет преимущество по идентификации нелинейных элементов в составе закладного устройства по сравнению с традиционными методами при сравнительном уровне сложности технической реализации.

Метод поиска и идентификации закладных устройств реализован в макетном образце и проведенными натурными испытаниями подтверждает правильность обоснованно принятых технических решений.

#### **Библиографический список**

1. Чертков В.М., Мальцев С.В. Использование фазоманипулированного сигнала в задачах нелинейной радиолокации. / Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки. — 2010, № 3. — С. 129–134.
2. Щербаков Г.Н. Применение нелинейной радиолокации для дистанционного обнаружения малоразмерных объектов // Специальная техника. — 1999, № 6. — С. 34–39.
3. Чертков В.М. Повышение надежности идентификации нелинейных объектов. Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам Третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 24–26 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 2. — Смоленск: Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2013. — С. 77–80.
4. Рувинова Э. Нелинейные радиолокаторы: Противодействие радиоэлектронным средствам шпионажа // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. — 2000, № 4. — С. 28–32.
5. Пат. № 6057765 США, МКИ G08B 13/14. Non-Linear Junction Detector / Jones T. (США); Research Electronics Int. № 09/167844; Заявл. 7.10.1998; опубл. 2.05.2000. НКИ 340/572.2.
6. Пат. № 6897777 В2 США, МПИ G08B 13/14. Non-Linear Junction Detector / Holmes S. (США); Audiotel Int. Ltd. № 10/467507; Заявл. 11.02.2002; опубл. 24.05.2004. НКИ 340/572.2.
7. Вернигоров Н.С. Исследование многочастотного зондирования в нелинейной радиолокации для увеличения дальности обнаружения нелинейного объекта и определения его координат // Информост. Радиоэлектроника и телекоммуникации. — 2006, № 2 (44). — С. 24–28.
8. Вернигоров Н.С., Борисов А.Р., Харин В.Б. К вопросу о применении многочастотного сигнала в нелинейной радиолокации // Радиотехника и электроника. Т. 42. — 1998, № 1. — С. 63–69.
9. Пат. № 6765527 В2 США, МПИ G01S 13/04. System and Method of Radar Detection of Non-Linear Interfaces / Jablonski D. (США); The Johns Hopkins University. № 10/048769; Заявл. 31.01.2002; опубл. 20.07.2004. НКИ 342/193.