

УДК 621.396

СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Н.А. ВОЛЫНЕЦ, Е.В. КЕРЕСЕЛИДЗЕ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 26 июня 2009

Предложен новый метод обнаружения объектов с нелинейной вольтамперной характеристикой. Метод основан на облучении объекта суммой двух сигналов с частотами, изменяющимися по пилообразным законам с существенно отличающимися периодами. Сигнал, преобразованный объектом, принимается на фиксированной частоте и составляется матрица двухчастотного зондирования, характеризующая реакцию объекта на зондирующий сигнал. Анализ матрицы двухчастотного зондирования позволяет произвести подробную классификацию объекта с помощью нейронных сетей.

Ключевые слова: радиотехнические системы, нелинейная радиолокация, обнаружение, распознавание, радиолокация, радар.

Введение

В последнее время наблюдается значительное повышение интереса к нелинейной радиолокации. Одной из причин является возросшая потребность обеспечения конфиденциальности информации, угрозу которой несут средства, позволяющие снимать информацию негласным образом. Нелинейные радиолокаторы позволяют обнаруживать и распознавать средства негласного съема информации и являются эффективными, простыми в эксплуатации и универсальными приборами, с помощью которых можно выявлять нелегально расположенные радиоэлектронные устройства, находящиеся как в рабочем, так и в "спящем" режиме.

Работа обнаруживающих устройств основана на способности обнаруживаемых объектов преобразовывать зондирующий сигнал и переотражать его на гармониках частоты зондирования. Спектральное преобразование обусловлено наличием у объекта элементов с нелинейной вольтамперной характеристикой. Такие элементы могут быть условно разделены на "истинные" и "ложные". "Истинные" элементы — это искусственные элементы, содержащие реальный p - n -переход (например, диоды, транзисторы и т.п.), "ложные" — элементы, образованные в результате механического контакта двух или нескольких неоднородных металлических поверхностей. Наиболее типичными структурами, создающими помехи, являются металлические конструкции оконных и дверных коробок, арматура подвесных потолков, металлический каркас и арматура железобетонных зданий. "Ложные" нелинейные элементы выявляются нелинейными локаторами аналогично "истинным" элементам. Однако, вольтамперная характеристика "ложных" отличается нестабильностью и может изменяться при механическом воздействии. Задача правильной селекции "истинных" и "ложных" элементов является ключевой при обнаружении и распознавании нелегально расположенных устройств негласного съема информации [1].

Как и в "линейной" радиолокации, длина волны первичного (облучающего) электромагнитного поля должна быть соизмерима по величине с размерами объектов поиска. При более длинных волнах интенсивность отраженного поля сильно ослабевает из-за явления дифракции. При более коротких волнах нелинейные свойства объектов поиска резко снижаются (особенно при длине волны менее 0,3 м) [2].

Обнаружение в зоне действия устройства любой высшей гармоники собственного излучения свидетельствует о наличии объекта с нелинейной амплитудной характеристикой. Однако фиксация лишь одной гармоники не дает возможности произвести классификацию — определить, является ли объект "истинным" либо "ложным".

Распознавание устройств негласного съема в традиционных нелинейных локаторах основано на разности уровней второй и третьей гармоник переизлученного объектом сигнала для "истинных" и "ложных" элементов. Однако сравнение второй и третьей гармоники абсолютно не гарантирует правильную селекцию.

В традиционных устройствах обнаружения средств негласного съема в качестве зондирующего сигнала используется непрерывный монохроматический либо импульсный сигнал, с помощью которого можно обнаружить нелегально расположенное радиоэлектронное устройство и определить, относится оно к классу "истинных", либо "ложных". Качество принятия решений при использовании традиционных нелинейных радиолокаторов зависит от квалификации и опыта оператора.

Обоснование способа

В предлагаемом способе в качестве зондирующего сигнала используется сумма двух сигналов с частотами, изменяющимися по пилообразным законам с существенно разными периодами. Частота одного из них остается неизменной, в то время как частота второго изменяется во всем диапазоне исследуемых частот, т.е. аппаратным способом производится перебор всех возможных комбинаций пар частот (рис. 1).

Использование такого сигнала приводит к появлению в спектре отраженного сигнала комбинационных составляющих с частотами, равными $mf_1 \pm nf_2$, где f_1 и f_2 — частоты первого и второго задающих генераторов соответственно, m и n — индексы, определяющие порядок комбинационного сигнала. При совпадении частоты комбинационной составляющей с частотой настройки приемника сигнал проходит на выход. Таким образом, имеется возможность получить информацию о любой гармонике сигнала после нелинейного преобразования и составить подробный портрет, с помощью которого можно эффективно произвести распознавание и классифицировать объект по большому количеству классов по сравнению с существующими традиционными нелинейными радиолокаторами.

Сигналы, преобразованные объектом, принимаются на фиксированной частоте, что является несомненным преимуществом способа.

После принятия преобразованного сигнала составляется матрица двухчастотного зондирования (МДЗ).

МДЗ является квадратной матрицей размера $M \times M$, где $M = D_f / \Delta f$ (Δf — дискрет изменения частоты генераторов сигналов, D_f — диапазон изменения частоты сигналов), в которой элементы, соответствующие наличию отклика на выходе приемника при фиксированном соотношении частот генераторов, равны "1", а элементы, соответствующие отсутствию отклика на выходе приемника, равны "0" (рис. 2, нули не отображены для большей наглядности).

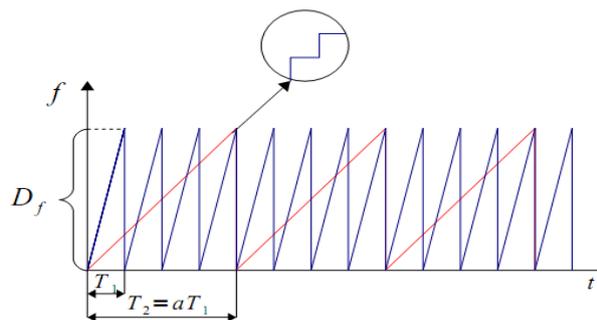


Рис. 1. Соотношение периодов перестройки частот генераторов зондирующих сигналов

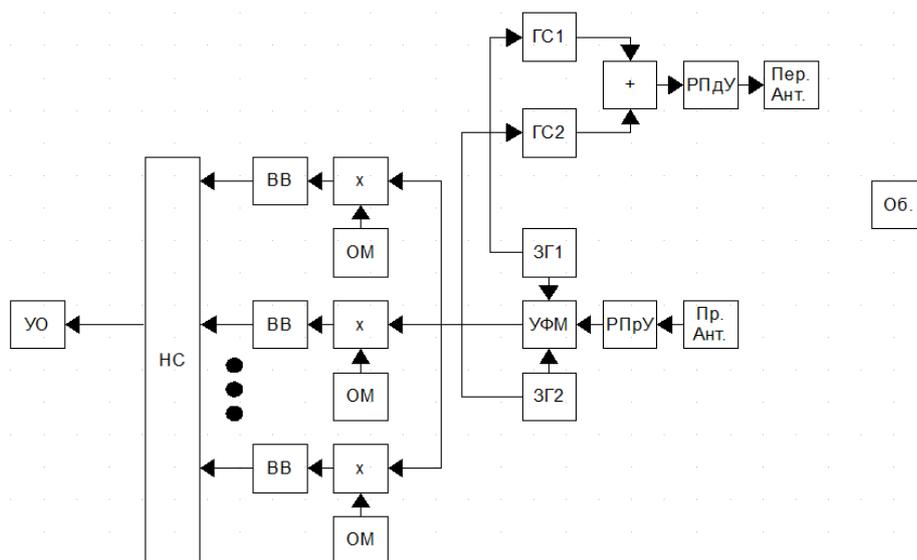


Рис. 4. Структурная схема устройства, основанного на предлагаемом способе

Таким образом, частота одного из них остается практически неизменной, в то время как частота второго изменяется во всем диапазоне исследуемых частот, т.е. аппаратным способом производится перебор всех возможных комбинаций частот. После суммирования (Сумм) сигналы подаются на вход радиопередающего устройства (РПДУ), где они усиливаются и излучаются в пространство (Пер. Ант.). Сигналы, преобразованные объектом, имеющим нелинейную вольтамперную характеристику (Об) улавливаются приемной антенной (Пр. Ант.) и подаются на вход радиоприемного устройства (РПрУ), настроенного на фиксированную частоту. Далее принятый сигнал подается на устройство формирования матрицы двухчастотного зондирования (УФМ).

Сформированная матрица подается на линейку корреляторов, в каждом из которых происходит почленное умножение на опорную матрицу (ОМ). Далее с помощью вычислителя веса определяется вес данного сегмента (ВВ). С линейки корреляторов веса подаются на нейронную сеть (НС), которая определяет принадлежность объекта к определенному классу путем анализа вектора весов, поступающего с линейки корреляторов. Результаты отображаются на устройстве отображения информации (УО).

Обучение нейронной сети происходит по данным, полученным в результате моделирования предлагаемого способа и объекта с нелинейной вольтамперной характеристикой на ЭВМ.

Экспериментальная часть

В качестве тестирования работы способа и оценки его характеристик был проведен эксперимент, в процессе которого была создана модель формирования МДЗ, а также сформирована и обучена нейронная сеть, которая должна была распознать объекты двух классов: диоды и транзисторы (подробнее о вольтамперных характеристиках диодов и транзисторов в [3]).

Распознавание производилось при моделировании условий действия шумов, которые выражались в случайном добавлении элементов "1" в МДЗ в различных местах. Фиксировалось общее количество "шумовых" элементов. Далее подсчитывалась вероятность правильного распознавания в зависимости от степени зашумленности МДЗ (процентное отношение "шумовых" элементов МДЗ к общему их количеству). Результаты моделирования представлены на рис. 5.

Проанализировав полученную зависимость можно сделать вывод о том, что при увеличении степени зашумленности матрицы, плотность распределения вероятности правильного распознавания стремится к равномерному распределению, что соответствует теории.

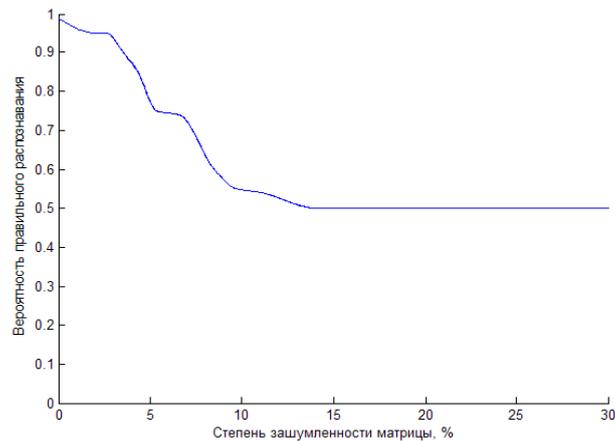


Рис. 5. Зависимость вероятности правильного распознавания от степени зашумленности МДЗ

Заключение

Преимуществом данного способа является использование двухчастотного зондирующего сигнала, который позволяет получить подробный портрет, что, в свою очередь, позволяет подробней классифицировать объект. Прием зондирующего сигнала на фиксированной частоте позволяет снизить требования к радиоприемному устройству. В существующих традиционных нелинейных локаторах качество принятия решения существенно зависит от навыков и опыта оператора, который принимает решение об обнаружении. В разработанном способе предлагается автономное обнаружение и распознавание, что не требует от оператора специальных умений и навыков.

В качестве тестирования работы способа и оценки его характеристик был проведен эксперимент, в результате которого была получена зависимость вероятности правильного распознавания от степени зашумленности матрицы двухчастотного зондирования.

По результатам исследования была подана заявка на получение патента [4].

DETECTION AND CLASSIFICATION OF OBJECTS WITH NONLINEAR VOLTAGE CURRENT CHARACTERISTIC

N.A. VOLYNETS, E.V. KERESLIDZE

Abstract

New method of nonlinear radar detection and classification is proposed. The method is based on electromagnetic radiation of object by two probe signals with saw-shape frequency modulation to create harmonic and intermodulation product signals. Reflected signals are sensed on system receiving antenna operating on specified frequency and probe matrix is formed. Probe matrix is analyzed by use of neural networks in order to classify object.

Литература

1. Семенов Д.В., Ткачев Д.В. // Специальная техника. 1998. № 4.
2. Щербаков Г.Н. // Специальная техника. 1995. № 5. С. 55–70.
3. Валенко В.С. Электроника и схемотехника: Учеб. пособие. Минск, 2003.
4. Заявка на изобретение № а20080841 "Способ обнаружения и распознавания объектов с нелинейной вольтамперной характеристикой".