

УДК 621.396

НЕЛИНЕЙНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ

канд. техн. наук С.В. МАЛЬЦЕВ, Р.Н. БАСАЛАЙ
(Полоцкий государственный университет)

Предложена концепция нелинейного радиолокатора, использующего в качестве зондирующих шумоподобные сигналы. Разработана структурная схема нелинейного радиолокатора. Формализованы задачи, решение которых необходимо для эффективной работы нелинейного радиолокатора, использующего шумоподобные сигналы.

В настоящее время для поиска искусственно созданных человеком объектов, содержащих нелинейные электрические контакты, широко применяются нелинейные радиолокаторы. Принцип работы нелинейных радиолокаторов (обнаружителей нелинейностей) заключается в том, что при облучении высокочастотным зондирующим сигналом объектов, содержащих нелинейные электрические контакты, происходит преобразование частоты сигнала в высшие гармоники за счет нелинейных свойств вышеуказанных элементов с их последующим переизлучением в эфир.

Практически полное отсутствие нелинейных электромагнитных свойств у естественного фона (грунта, воды, растительности) позволяет эффективно использовать нелинейную радиолокацию для поиска различных объектов искусственного происхождения, в том числе неподвижных и малоразмерных, что практически невозможно осуществить средствами традиционной радиолокации.

Нелинейные радиолокаторы могут применяться для обнаружения устройств несанкционированного съема информации, независимо от того, включены они или выключены; радиоуправляемых устройств, например, дистанционных взрывателей; обломков самолетов и вертолетов; стрелкового оружия. Еще одной сферой применения нелинейной радиолокации является дистанционное маркирование, например, подземных объектов, «черных ящиков» самолетов и определенных участков местности. Для этих целей используются так называемые нелинейные маркеры (обычно – полупроводниковые диоды, нагруженные на антенны-отражатели) [1].

Известно, что спектр отклика нелинейного элемента отличается от спектра воздействующего сигнала; он обогащен компонентами высших гармоник воздействующего сигнала. Статическую вольтамперную характеристику (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 гармонического сигнала $u = U \cos(\omega t)$, где U_0 – амплитуда сигнала; $\omega = 2\pi f$ – круговая частота сигнала; f – частота сигнала, отклик нелинейного элемента:

$$i_{н\bar{z}} = (i_0 + \frac{1}{2} a_2 U_0^2) + (a_1 U_0 + \frac{3}{4} a_3 U_0^3) \cos(\omega t) + \frac{1}{2} a_2 U_0^2 \cos(2\omega t) + \frac{1}{4} a_3 U_0^3 \cos(3\omega t) + \dots \quad (2)$$

На рисунке 1 показан принцип преобразования формы, а значит и спектра входного сигнала на нелинейном элементе (полупроводниковый диод).

Из (2) видно, что при воздействии гармонического сигнала на нелинейный контакт ток отклика имеет бесконечный спектр, содержащий бесконечное число гармоник. Однако 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 большинства полупроводниковых переходов, входящих во все элементы современной радиоэлектронной аппаратуры, близки к квадратичным.

Вольтамперные характеристики 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) [2].

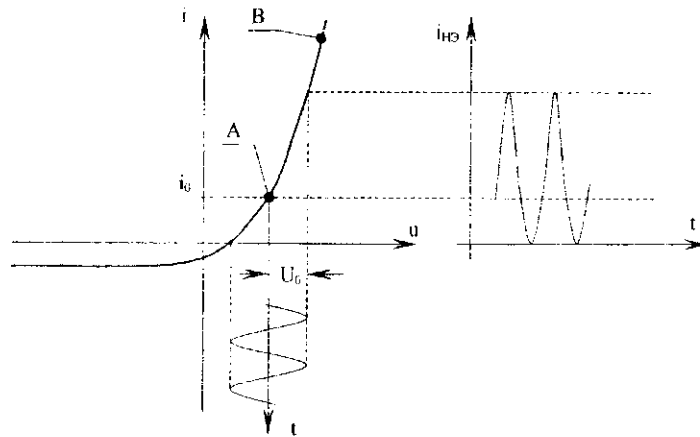


Рис. 1. Преобразование гармонического сигнала на нелинейном элементе:
 А – рабочая точка в области ВАХ, аппроксимируемой многочленом второй степени;
 В – рабочая точка в области ВАХ, аппроксимируемой многочленом степени, большей двух

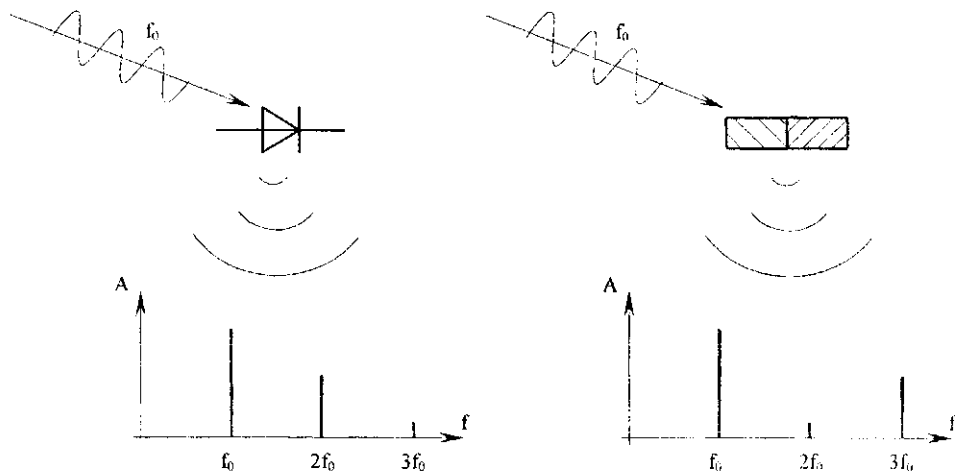


Рис. 2. Нелинейное преобразование гармонического сигнала с частотой f_0 полупроводниковыми приборами (слева) и объектами, образованными контактом металлических частей (справа)

Анализ имеющихся публикаций 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 споров и зависит исключительно от опыта и навыков персонала, использующего нелинейный локатор.

Из рисунка 2 видно, что теоретически возможно различение 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 мощность зондирующего сигнала определяет 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 нелиней-

ные 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 увеличения дальности обнаружения объектов желательно использовать частоту, на которой отклик цели максимален, определить такую частоту заранее либо чрезвычайно сложно, либо невозможно.

Для решения указанных проблем современные нелинейные радиолокаторы могут использовать различные режимы излучения сигнала (импульсный или непрерывный) и алгоритмы регулировки мощности излучения [3, 4]. 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 [1, 5 – 7]. Авторы предлагают использовать несколько гармонических зондирующих сигналов для увеличения дальности работы нелинейного радиолокатора.

Нами предлагается развить идею многочастотного зондирования, но использовать в качестве зондирующих сигналов для нелинейного радиолокатора не набор отдельных гармонических сигналов, а шумоподобные сигналы (ШПС), обладающие широким спектром, который может легко регулироваться изменением структуры сигнала. Шумоподобные сигналы просто формируются и обладают рядом достоинств. Применение шумоподобных сигналов может способствовать повышению надежности дифференциации различных объектов по отраженному ими сигналу, а также увеличению дальности действия радиолокатора. При облучении нелинейного объекта широкополосным сигналом, нелинейный объект также переизлучает широкополосный сигнал, содержащий информацию о нелинейной эффективной поверхности рассеяния объекта на различных частотах, которая может быть использована затем, например, для сравнения с эталонными откликами объектов различного вида (рис. 3).

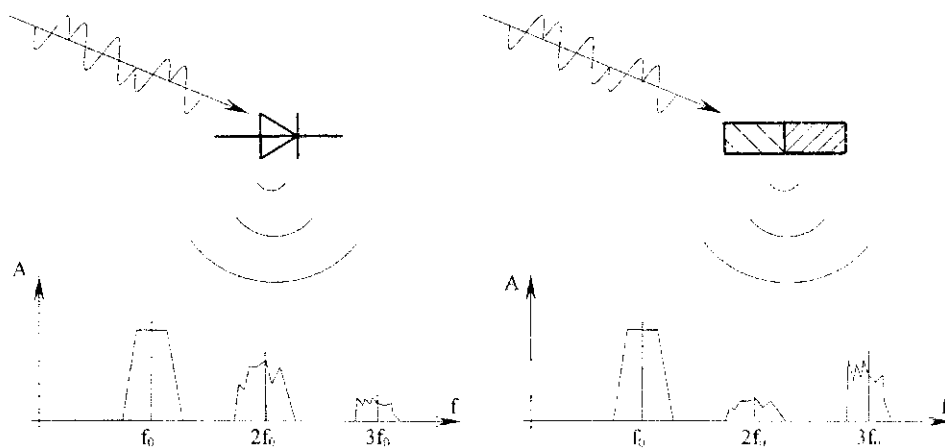


Рис. 3. Нелинейное преобразование спектра шумоподобного сигнала (фазоманипулированный сигнал, центральная частота f_0) полупроводниковыми приборами (слева) и объектами, содержащими контакты металлических частей (справа)

Увеличение дальности действия радиолокатора возможно ввиду использования шумоподобных сигналов, которые дают значительный выигрыш при их обработке в отношении сигнал/шум по сравнению с узкополосными сигналами. Таким образом, становится возможным использование широкополосного сигнала с мощностью, сравнимой с мощностью узкополосного зондирующего сигнала в традиционных радиолокационных системах, для достижения большей дальности обнаружения цели. С другой стороны, при одинаковой дальности обнаружения цели в предлагаемом нелинейном радиолокаторе можно использовать сигнал меньшей мощности, что положительно скажется на безопасности работы с прибором для оператора и скрытности.

На рисунке 4 показана структурная схема предлагаемого нелинейного радиолокатора.

Назначение основных блоков не требует разъяснения. Следует лишь отметить, что дополнительно включены быстродействующий анализатор спектра, который вычисляет спектр принятого сигнала, и блок выбора максимума, который вырабатывает сигнал, изменяющий частоту зондирующего сигнала таким образом, что центральная частота переизлученного сигнала находится на частоте максимального отклика цели, содержащей нелинейные электрические контакты. При этом становится возможным более эффективно исследовать цель в области ее характерных частот и увеличить дальность действия радиолокатора.

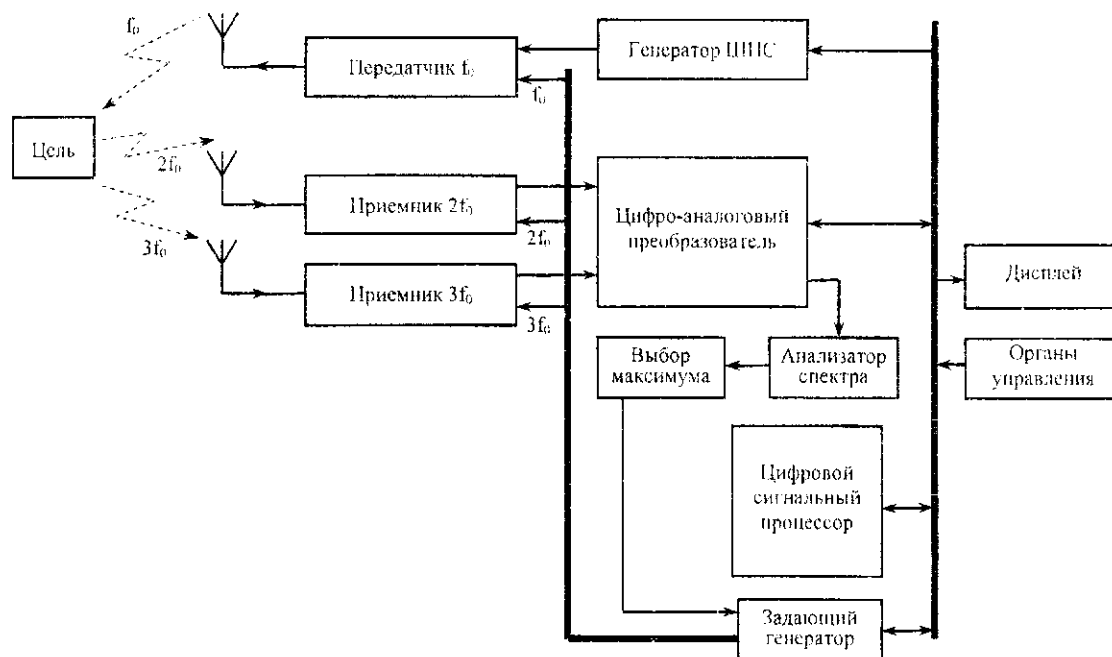


Рис. 4. Структурная схема предлагаемого нелинейного радиолокатора, использующего шумоподобные сигналы

В заключение очертим круг вопросов, критических для разработки эффективного нелинейного радиолокатора, использующего шумоподобные сигналы:

- во-первых, необходимо провести моделирование процесса переизлучения широкополосного зондирующего сигнала массивом диполей различной геометрии, нагруженных на нелинейные нагрузки, для того, чтобы определить, как будет изменяться спектр сигнала для различных объектов. Интересным было бы проведение полевых испытаний;

- во-вторых, необходимо определить характеристики шумоподобных сигналов (центральную частоту, ширину и форму спектра), которые будут гарантировать оптимальные тактико-технические характеристики прибора с точки зрения точности, дальности, скрытности и т.д.

Интересными техническими задачами для будущих исследований могут стать разработка алгоритмов принятия решений по дифференциации различных объектов на основе информации, извлеченной из спектра переизлученных сигналов, а также регулировки мощности излучения нелинейного радиолокатора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков Г.Н. Применение нелинейной радиолокации для дистанционного обнаружения малоразмерных объектов // Специальная техника. – 1999. – № 6. – С. 34 – 39.
2. Рувинова Э. Нелинейные радиолокаторы: противодействие радиоэлектронным средствам шпионажа // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2000. – № 4. – С. 28 – 32.
3. Пат. № 6057765 США, МКИ G08B 13/14. Non-Linear Junction Detector / Jones T. (США); Research Electronics Int. №09/167844; Заявл. 7.10.1998; Оpubл. 2.05.2000. ИКИ 340/572.2.
4. Пат. № 6897777 В2 США, МПИ G08B 13/14. Non-Linear Junction Detector / Holmes S. (США); Audiotel Int. Ltd. №10/467507; Заявл. 11.02.2002; Оpubл. 24.05.2004. ИКИ 340/572.2.
5. 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.
6. Вернигоров Н.С., Борисов А.Р., Харин В.Б. К вопросу о применении многочастотного сигнала в нелинейной радиолокации // Радиотехника и электроника. – 1998. – Т. 42, № 1. – С. 63 – 69.
7. 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; Оpubл. 20.07.2004. ИКИ 342/193.