

УДК 621.396

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА  
МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ****В.М. ЧЕРТКОВ, канд. техн. наук, доц. С.В. МАЛЬЦЕВ  
(Полоцкий государственный университет)**

*Рассмотрены особенности трансформации спектра зондирующего сигнала. Установлены самые выгодные с энергетических и информационных позиций частоты для анализа структуры спектра переизлученного зондирующего сигнала. Проведен сравнительный анализ технологий идентификации нелинейных объектов. Представлен новый метод, обеспечивающий повышение вероятности правильной идентификации типа нелинейности объекта на основе электрофизических свойств. Показана сплайн-функция аппроксимируемых табличных данных вольт-амперной характеристики диода I307G. Приводятся результаты восстановления вольт-амперной характеристики для диода D220.*

**Введение.** Возможность дистанционного определения электрофизических свойств объекта возникла в 70-е годы прошлого столетия. Ее физической основой является эффект нелинейного рассеяния электромагнитных волн, присущий определенному классу объектов и проявляющийся в появлении в рассеянном объектом поле спектральных компонент, отсутствующих в поле, падающем на него. Это позволяет обнаружить их на фоне отражений от окружающей объекты среды при ее зондировании электромагнитными волнами и в ряде случаев дистанционно получить информацию о динамике электрофизических процессов в объекте и окружающей его среде. Причина возникновения нелинейного рассеяния – наличие в объектах элементов с нелинейными электрическими свойствами (несовершенные электрические контакты металлических конструкций, полупроводниковые элементы). Исследование этого явления сохраняет свою остроту и привлекает внимание специалистов и в настоящее время [1].

Изучение эффекта нелинейного рассеяния радиоволн на радиоэлектронной аппаратуре и ее компонентов в целях их обнаружения – наиболее актуальное для освоения в техническом отношении направление. В отличие от линейной, в нелинейной радиолокации информация об обнаруживаемом объекте определяется его способностью спектрального преобразования зондирующего сигнала и переотражения его на гармониках частоты зондирования. Эти явления возможны при наличии в составе объекта элементов с нелинейными вольт-амперными характеристиками (ВАХ). Такие элементы по природе своего возникновения условно могут быть разделены на «искусственные» и «естественные». Под «искусственными» будем понимать полупроводниковые приборы искусственного происхождения, содержащие р-п-переход (например, диоды, транзисторы и т.п.); под «естественными» – естественного происхождения (точечные и плоскостные металлические контакты, корродирующие поверхности и т.п.).

**Способы обнаружения и идентификации нелинейного объекта**

Традиционные методы идентификации нелинейных объектов (полупроводников или точечных и плоскостных металлических контактов) основываются главным образом на двух особенностях [2]:

- разности уровней второй и третьей гармоник, переизлученных нелинейными объектами;
- нестабильности вольт-амперной характеристики точечных и плоскостных металлических контактов при механическом воздействии.

*Классический способ* обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности основан на приеме отклика по двум каналам на второй и третьей гармониках вторичного электромагнитного поля и идентификации типа нелинейного объекта по соотношению амплитуд переотраженных сигналов [3 – 5]. Особенность данного способа состоит в том, что в ряде случаев при обнаружении нелинейности типа металл – окисел – металл (естественных нелинейностей) уровень третьей гармоники сигнала отклика превышает уровень сигнала отклика на второй гармонике частоты зондирующего сигнала, а при обнаружении объекта с устойчивым р-п-переходом (искусственных нелинейностей) уровень второй гармоники превышает уровень третьей гармоники. Следовательно, основным недостатком этого способа является большое количество ложных срабатываний, вызванных сложными металлическими предметами, не содержащими электронных компонентов, и как следствие, низкая вероятность правильной идентификации типа нелинейного объекта.

Другой метод идентификации типа нелинейности – *способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности* [6], основанный на излучении зондирующего сигнала, промодулированного по пилообразному закону в направлении на нелинейный объект, приеме и регистрации сигнала отклика по двум каналам на второй и третьей гармониках частоты вторичного электромагнитного поля.

Идентификация типа нелинейности производится по соотношению уровней амплитуд канальных сигналов, а дополнительная модуляция позволяет определить зависимость амплитуды сигнала отклика от

амплитуды зондирующего сигнала и по ее виду уточнить тип нелинейности. За счет введения дополнительной модуляции по амплитуде зондирующего сигнала обеспечивается получение дополнительной информации о типе нелинейности. В результате достигается уменьшение количества ложных срабатываний и, как следствие, повышение вероятности распознавания типа нелинейного объекта [6]. Основным недостатком приведенного метода – сложность технической реализации, в частности высокие требования к линейности передающего каскада.

Сущность предлагаемого нами способа идентификации нелинейного объекта заключается в том, что при переизлучении электромагнитного поля объектом в зависимости от его электрофизических свойств происходит восстановление подавленной несущей, т.е. возникает дополнительная гармоника, характеризующая квадратность вольт-амперной характеристики объекта.

#### Идентификация объекта

В качестве имитатора нелинейности рассмотрим вибратор, нагруженный на полупроводниковый диод (в данном случае – I307G). Аппроксимация ВАХ нелинейного элемента осуществляется степенными полиномами третьей степени – кусочно-степенным способом (сплайн-функция [7]).

Аппроксимируемый интервал разбивается на отрезки  $[x_{i-1}, x_i]$ . На каждом отрезке определяется отдельный полином третьей степени, который имеет непрерывные первую и вторую производные. Такая сплайн-функция обеспечивает совпадения значений в конце текущего и следующего отрезка и непрерывность первой и второй производных в точках соединения.

На рисунке 1 представлена сплайн-функция аппроксимируемых табличных данных ВАХ диода I307G. Структура спектра после переизлучения зондирующего сигнала нелинейным объектом проиллюстрирована на рисунке 2 [8].

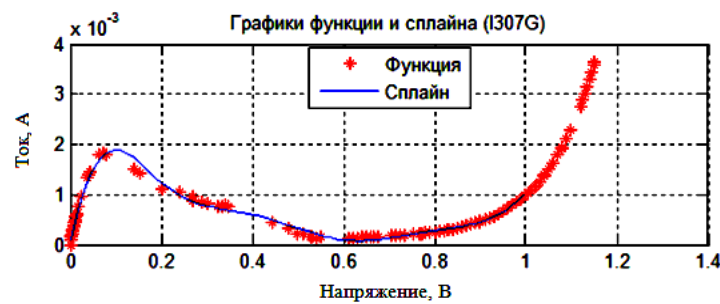


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика диода I307G и сплайн-функция аппроксимации

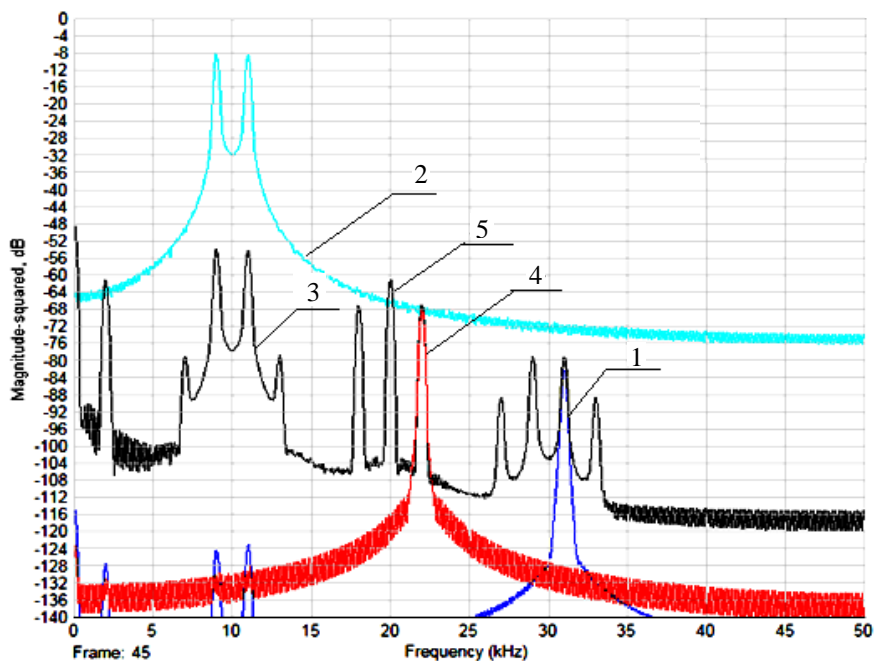


Рис. 2. Структура спектра переизлученного зондирующего сигнала:

1 – отклик на третьей субгармонике; 2 – спектр зондирующего сигнала; 3 – спектр переизлученного зондирующего сигнала; 4 – отклик на второй субгармонике; 5 – восстановленная несущая на второй гармонике

Спектр переизлученного сигнала характеризуется следующими особенностями:

- происходит восстановление подавленной несущей на частоте второй гармоники, причем уровень восстановленного сигнала превосходит боковые гармоники на величину не менее 8 дБ. При этом на боковых гармониках фазовая манипуляция исчезает, спектр сигнала принимает вид, характерный для амплитудной модуляции;

- в диапазоне третьей гармоники не происходит восстановления подавленной несущей. Спектр содержит набор гармоник, отстоящих от утроенной несущей на величины  $\Delta\omega$  и  $3\Delta\omega$ . При этом фазовая манипуляция сохраняется для данных гармоник. Уровень боковой компоненты, отстоящей на величину  $\Delta\omega$  от частоты  $3\omega_0$ , превосходит примерно на 9,5 дБ компоненту, отстоящую на величину  $3\Delta\omega$ .

Анализируя структуру спектра переизлученного зондирующего сигнала при каждом изменении мощности излучения, можно рассчитать значение каждого коэффициента степенного полинома, аппроксимирующего ВАХ нелинейного элемента. Точность определения вида нелинейности будет зависеть от выбранного дискрета изменения мощности излучения. Важно отметить, что полное восстановление вида нелинейности требует достаточно большого диапазона изменения используемых токов и напряжений. При использовании постоянных или квазигармонических сигналов это способно привести нелинейный элемент к разрушению.

На рисунке 3 представлена зависимость изменения коэффициентов степенного полинома от мощности. По характеру изменения коэффициентов полинома можно судить о виде нелинейности объекта, тем самым добиться вероятности правильной идентификации, близкой к единице.

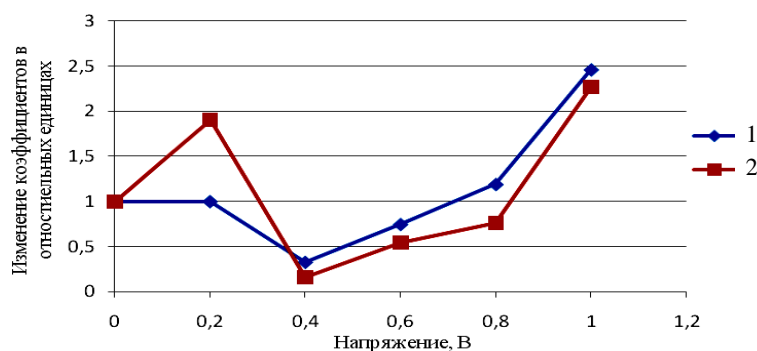


Рис. 3. Изменение коэффициентов степенного полинома, аппроксимирующего ВАХ нелинейного объекта:  
 1 – описывает изменение квадратичного коэффициента;  
 2 – описывает изменение кубического коэффициента

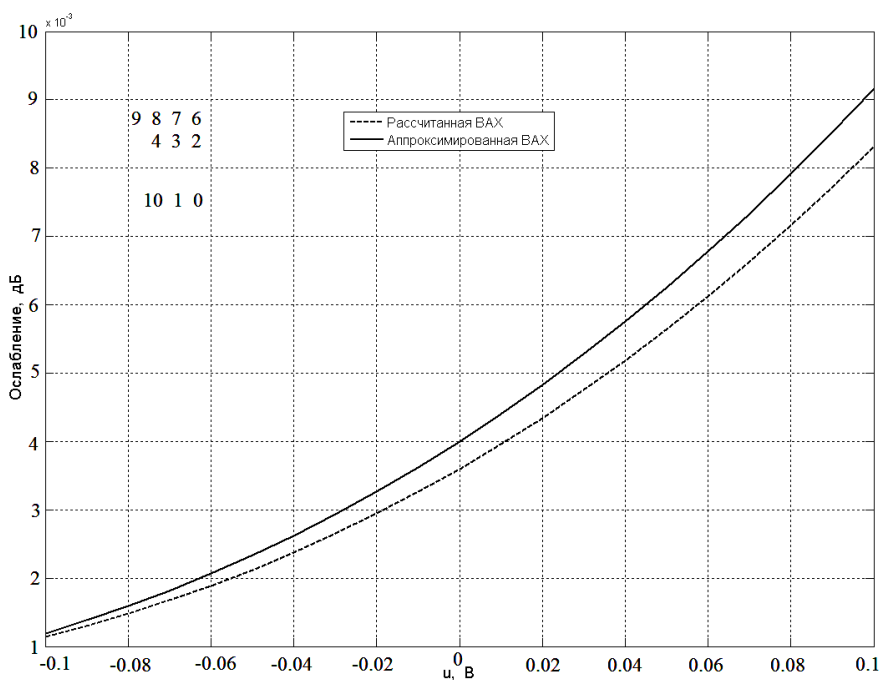


Рис. 4. Рассчитанная и аппроксимированная ВАХ, полученные в результате эксперимента для диода Д220

Из результатов исследования, представленных на рисунке 4, видно, что восстановленная вольт-амперная характеристика диода Д220 имеет форму, в точности повторяющую форму, заданную аппроксимирующим степенным полиномом (сплайн-функцией), но, возможно, с некоторым систематическим смещением. Причина этого смещения состоит в том, что излучаемое поле не содержит в себе постоянной составляющей. Таким образом, при прямом использовании предложенного алгоритма восстановление возможно только с точностью до некоторой константы.

#### **Заключение**

Рассмотрены особенности трансформации спектра зондирующего сигнала, позволяющие оптимизировать структуру нелинейного локатора. Установлены самые выгодные с энергетических и информационных позиций частоты для анализа структуры спектра переизлученного зондирующего сигнала.

Повышение достоверности идентификации нелинейных объектов обеспечивается за счет того, что в качестве зондирующего сигнала используют сигнал с подавленной несущей частотой (DSB), с управляемым изменением мощности излучения, регистрацией амплитуд третьей и второй гармоник и амплитуды восстановленной удвоенной несущей частоты на второй гармонике. По виду зависимости осуществляют идентификацию типа нелинейности. Таким образом достигается повышение надежности идентификации нелинейного объекта, тем самым уменьшается количество ложных срабатываний и, как следствие, повышается вероятность распознавания типа объекта с нелинейными электрофизическими свойствами.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Горбачев, А.А. Взаимодействие электромагнитных волн с «нелинейными» объектами / А.А. Горбачев, Е.П. Чигин // *Нелинейный мир*. – 2006. – Т. 4, № 7 – 9. – С. 348 – 354.
2. Семенов, Д.В. Нелинейная радиолокация: концепция «NR» / Д.В. Семенов // *Специальная техника*. – 1998. – № 3 – 4.
3. Штейншлегер, В.Б. Нелинейное рассеяние радиоволн металлическими объектами / В.Б. Штейншлегер // *Успехи физических наук*. – 1984. – Т. 142, вып. 1. – С. 131.
4. Притыко, С.М. Нелинейная радиолокация: принцип действия, область применения, приборы и системы / С.М. Притыко // *Системы безопасности*. – 1995. – № 6. – С. 52.
5. Вернигоров, Н.С. Нелинейный локатор – эффективное средство обеспечения безопасности в области утечки информации / Н.С. Вернигоров // *Защита информации. Конфидент*. – 1996. – № 1. – С. 67.
6. Способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности: пат. № 2205419 Россия, G 08 В 13/28 / С.Н. Панычев, Н.Т. Хакимов; заявл. 20.04.2001; опубл. 27.05.2003 // *Бюл.* № 15.
7. Чертков, В.М. Использование фазоманипулированного сигнала в задачах нелинейной радиолокации / С.В. Мальцев, В.М. Чертков // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Фундаментальные науки*. – 2010. – № 3. – С. 129 – 134.
8. Калиткин, Н.Н. Среднеквадратичная аппроксимация сплайнами / Н.Н. Калиткин, Л.В. Кузьмина // *Математическое моделирование*. – Т. 9, № 9. – 1997. – С. 106 – 116.

*Поступила 28.02.2012*

#### **DETERMINATION OF OBJECT'S ELECTROPHYSICAL PROPERTIES BY METHODS OF NON-LINEAR RADIOLOCATION**

**V. CHERTKOV, S. MALTSEV**

*The transformation's features of the spectrum of the signal are considered in the paper. The most favorable frequencies for analyzing the spectrum's structure of re-emitted signal of the probe are established. A comparative analysis of technologies for identification of nonlinear objects was made. A new method, which increases the probability of correct identifying the type of nonlinearity of the object according to their electrophysical properties, is shown. A spline-function is represented by approximated tabular data of the current-voltage characteristics of the diode I307G. The results for the recovery of the current-voltage characteristics of the diode Д220 are presented.*