



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012131727/07, 24.07.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
24.07.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.07.2012

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2014 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 20.05.2014 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2253878 C1, 10.06.2005. RU 220-5419 C2, 27.05.2003. US 5517187 A, 14.05.1996. GB 2238201 A, 22.05.1991

Адрес для переписки:

636037, Томская обл., г. Северск, ул. Курчатова,
42, кв.120, С.Э. Шипилову

(72) Автор(ы):

**Якубов Владимир Петрович (RU),
Шипилов Сергей Эдуардович (RU),
Суханов Дмитрий Яковлевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Якубов Владимир Петрович (RU),
Шипилов Сергей Эдуардович (RU)**

(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

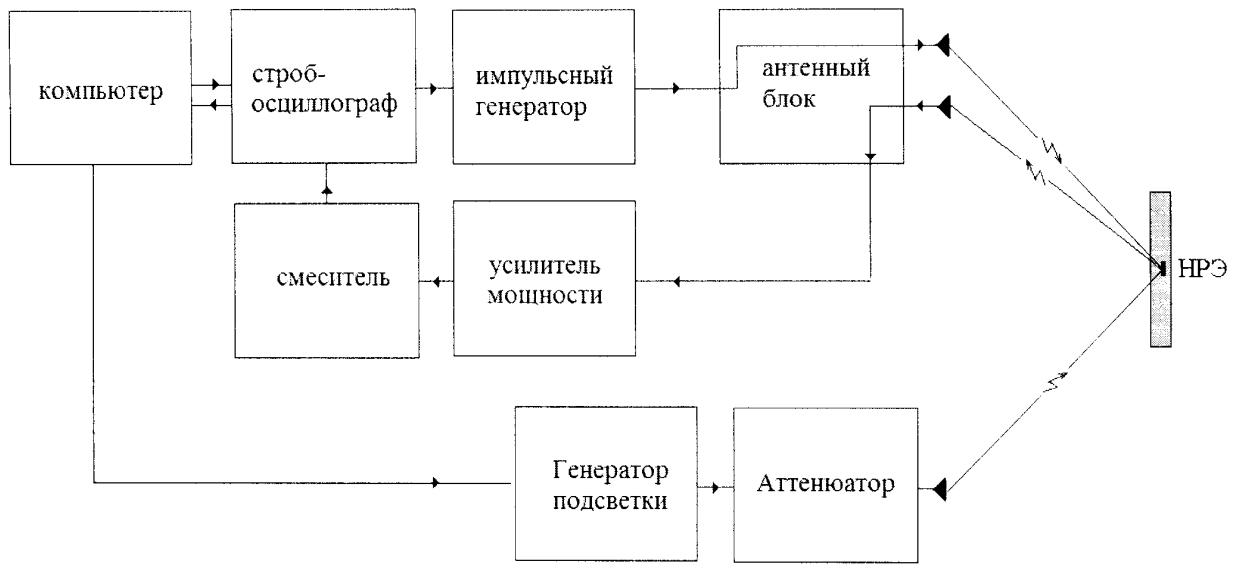
(57) Реферат:

Изобретение предназначено для обнаружения скрытых микроэлектронных устройств, содержащих работающие или неработающие элементы с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Технический результат состоит в увеличении дальности обнаружения нелинейных радиоэлектронных элементов и повышении точности их локализации. Для этого в зондируемую область подают сверхширокополосный импульсный радиосигнал и принимают его отражение, дополнительно облучают монохроматическим радиосигналом, не перекрывающимся по частоте с подаваемым сверхширокополосным импульсом и имеющим мощность, достаточную для изменения средней рабочей точки вольт-амперной характеристики

нелинейного радиоэлектронного элемента, сравнивают амплитуды отраженных сверхширокополосных импульсов при наличии дополнительного монохроматического радиосигнала и при его отсутствии и при несовпадении амплитуд, превышающем уровень шумов приемника, делают вывод о наличии скрытого нелинейного радиоэлектронного элемента. Область зондирования визуализируют лазерным лучом, направленным по оси излучения монохроматического радиосигнала. Значимая разность амплитуд отраженных сигналов может быть преобразована в световой сигнал и/или в сигнал звуковой частоты, доступный пользователю. 2 з.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2 516 436 C 2

RU 2 516 436 C 2



Фиг. 1

RU 2516436 C2

RU 2516436 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2012131727/07, 24.07.2012

(24) Effective date for property rights:
24.07.2012

Priority:

(22) Date of filing: 24.07.2012

(43) Application published: 27.01.2014 Bull. № 3

(45) Date of publication: 20.05.2014 Bull. № 14

Mail address:

636037, Tomskaja obl., g. Seversk, ul. Kurchatova,
42, kv.120, S.Eh. Shipilovu

(72) Inventor(s):

**Jakubov Vladimir Petrovich (RU),
Shipilov Sergej Ehdvardovich (RU),
Sukhanov Dmitrij Jakovlevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Jakubov Vladimir Petrovich (RU),
Shipilov Sergej Ehdvardovich (RU)**

(54) **METHOD OF DETECTING CONCEALED NONLINEAR RADIOELECTRONIC ELEMENTS**

(57) Abstract:

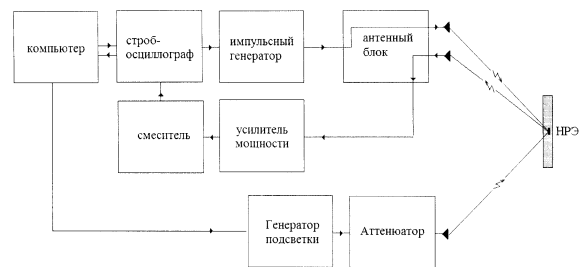
FIELD: physics, optics.

SUBSTANCE: invention is intended to detect concealed microelectronic devices having operating or inactive elements with a nonlinear voltage-current curve. The method involves transmitting an ultra-wideband pulsed radio signal to a probed region and receiving the reflected signal; further irradiating said region with a monochromatic radio signal which does not overlap on frequency with the ultra-wideband pulse and has power which is sufficient to change the middle operating point of the voltage-current curve of a nonlinear radioelectronic element; comparing amplitude of the reflected ultra-wideband pulses with and without the additional monochromatic radio signal, and presence of a concealed nonlinear radioelectronic element is indicated by mismatch of amplitude values which is higher than the receiver noise level. The probing region is illuminat-

ed with a laser beam which is directed on the axis of radiation of the monochromatic radio signal. Significant difference in amplitude of reflected signals can be converted to a light signal and/or a sound-frequency signal which is available for the user.

EFFECT: longer range for detecting nonlinear radioelectronic elements and high accuracy of localisation thereof.

3 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2 516 436 C 2

RU 2 516 436 C 2

Способ относится к радиотехнике и предназначен для обнаружения радиоэлектронных элементов, обладающих нелинейными свойствами, методами дистанционного зондирования, в частности, для обнаружения микроэлектронных устройств, несанкционированно установленных на контролируемом объекте.

5 Для обнаружения нелинейных радиоэлектронных элементов (НРЭ) методами радиолокации могут быть использованы различные типы зондирующих сигналов: монохроматические, широкополосные, сверхширокополосные. Однако в большинстве случаев в качестве зондирующего излучения используется излучение поляризованной электромагнитной волны монохроматического (одночастотного) сигнала. Основным
10 принципом нелинейной радиолокации является узкополосный прием отраженных эхосигналов и анализ комбинационных гармоник, преимущественно второй и третьей, соответствующих единственной частоте зондирования. Например, наличие в зоне облучения элементов структуры "метал-окисел-метал" позволяет наблюдать появление сигнала на третьей гармонике, а наличие полупроводниковых элементов - на второй.

15 Известен способ обнаружения нелинейных радиоэлектронных элементов, основанные на приеме и анализе отраженных сигналов (RU 2205419). Известный способ основан на излучении зондирующего сигнала заданной частоты в направлении возможного расположения нелинейного элемента, приеме и регистрации сигнала отклика по двум каналам на второй и третьей гармониках частоты электромагнитного поля и
20 распознавании типа нелинейности по соотношению амплитуд выходных сигналов этих каналов. Зондирующий сигнал модулируют по амплитуде по пилообразному закону, а на выходе из каналов приемника регистрируют зависимость амплитуды сигнала отклика от амплитуды зондирующего сигнала, что дает дополнительную информацию о типе нелинейности.

25 Известен способ поиска, обнаружения и распознавания электронных устройств с полупроводниковыми элементами по пат. RU 2432583. Облучение обследуемого объекта полем импульсного и непрерывного излучения монохроматических зондирующих сигналов осуществляют с частотой, поочередно изменяющейся в пределах трех
30 диапазонов частот. Синхронно с облучением принимают в каждом диапазоне частот отраженные сигналы вторых гармоник, выделяют максимальный уровень второй гармоники, по которой судят о наличии на объекте устройства с полупроводниковыми элементами и его рабочем диапазоне частот.

Недостатком способов являются небольшая дальность обнаружения за счет влияния гармоник зондирующего сигнала, поступающих на вход приемного устройства с
35 передающей антенны и отраженных от укрывающей поверхности.

В патенте US 6049301 раскрыт метод обнаружения присутствия приемника электромагнитных колебаний, включающий производство сравнительно узкого зондирующего электрического сигнала, содержащего компоненты сигнала с первой f_1
40 и второй f_2 заданной частотой, модуляция зондирующего сигнала, включая его компоненты, и передача модулированного сигнала, обнаружение электромагнитных волн, по крайней мере, одной из частот $mf_1 \pm nf_2$, где сумма $m+n$ равняется нечетному целому числу. Комбинационные частоты соответствуют взаимной модуляции упомянутых первой и второй заданных частот, происходящей из-за нелинейного
45 процесса смешивания в пределах искомого приемника. Цепь принимающего устройства имеет полосу пропускания, исключаящую компоненты двух заданных частот. Так как сигналы взаимной модуляции присутствуют только тогда, когда присутствует целевой приемник, обнаружение достигается без необходимости учитывать различия между

сигналами, отраженными от целевого приемника и сигналов, отраженных от других препятствий.

Аналогичный принцип анализа вторых и третьих гармоник использован в пат. US 6163259, 2000 г. В этом способе зондирующий сигнал может подаваться в импульсном режиме. Определение различных типов нелинейных соединений может быть выполнено путем сравнения амплитуды результирующих гармоник при зондировании сигналами различной частоты или амплитуды.

Все рассмотренные способы имеют общие недостатки: ограниченную возможность уверенной локализации ввиду анализа малого количества параметров; сложность подбора конкретных для каждой ситуации частотных составляющих спектра зондирующего сигнала, а, следовательно, и фильтров приемного устройства. Кроме того, коэффициент преобразования энергии зондирующего сигнала в энергию высших гармоник очень мал, что относит нелинейные локаторы к системам ближнего действия. В ряде случаев при наличии нелинейности типа металл-окисел-металл уровень третьей гармоники сигнала отклика превышает уровень сигнала отклика на второй гармонике, а при обнаружении объекта с устойчивым р-п-переходом (транзистор, диод и т.п.) уровень второй гармоники превышает уровень третьей гармоники. Однако этот признак распознавания является неустойчивым, т.к. величины принимаемых на гармониках сигналов зависят не только от свойств нелинейного элемента, но и от формы диаграмм обратного рассеяния объекта и элементов фона. Формы диаграмм обратного рассеяния на различных гармониках могут отличаться между собой, поэтому способам монохроматического сканирования присуще большое количество ложных срабатываний.

В последнее время для обнаружения НРЭ все чаще используют сверхширокополосное радиоизлучение, имеющее широкие возможности при практическом применении.

Известен способ локализации технических каналов утечки информации (ТКУИ) по патенту РФ 2219669, основанный на использовании нелинейных локаторов. Среде зондируют локализованным в пространстве сверхширокополосным импульсным сигналом при дискретном шаговом сканировании и последовательно выявляют изменения амплитудных и фазочастотных характеристик, превышающих статически устанавливаемые пороговые значения. Затем проводят анализ этих изменений на предмет соответствия возможным изменениям образов характеристик элементов, сравнивая их с образами характеристик, хранящимися в базе данных, и на основе визуального сопоставления принимают решение о локализации ТКУИ в исследуемой области.

Недостатком известного способа является невысокая надежность результатов обследования ввиду необходимости обладания базой адекватного экспериментального материала и субъективности экспертных оценок.

Наиболее близким к изобретению техническим решением является способ нелинейной радиолокации по патенту RU 2253878 (принят за прототип). Способ использует несимметричность вольт-амперной характеристики скрытых нелинейных радиоэлектронных элементов, располагающихся в укрывающей поверхности с линейными электромагнитными свойствами. Локацию проводят периодической последовательностью сверхширокополосных линейно поляризованных сигналов нано- и пикосекундной длительности, при этом излучают дополнительный сверхширокополосный сигнал с линейной поляризацией, противоположной поляризации основного сигнала, задержанный на некоторое время τ , а в качестве наблюдаемого сигнала используют сумму отраженного сигнала и его задержанной на время τ копии.

Недостатком способа является сложность одновременной фокусировки основного

и дополнительного СШП сигнала при больших расстояниях зондирования, громоздкость аппаратурного оформления.

Технической задачей изобретения является увеличение дальности обнаружения нелинейных радиоэлектронных элементов и повышение точности их локализации.

5 Задача решается тем, что в способе, включающем подачу в исследуемую область сверхширокополосного импульса, прием отраженного сверхширокополосного импульса и анализ принятого сигнала, дополнительно облучают область зондирования монохроматическим радиосигналом, не перекрывающимся по частоте с подаваемым
10 сверхширокополосным импульсом и имеющим мощность, достаточную для изменения средней рабочей точки вольт-амперной характеристики нелинейного радиоэлектронного элемента, сравнивают амплитуды отраженных сверхширокополосных импульсов, полученные при наличии дополнительного монохроматического радиосигнала и при
15 его отсутствии, и при несовпадении амплитуд делают вывод о наличии скрытого нелинейного радиоэлектронного элемента. Таким образом, в отличие от известных способов обнаружения НРЭ, область зондирования дополнительно облучают монохроматическим радиосигналом, не перекрывающимся по частоте с подаваемым
20 сверхширокополосным импульсом, но влияющим на рабочую область ВАХ нелинейного элемента, изменяя тем самым взаимодействие СШП импульса с обследуемой областью.

В частных случаях выполнения способа по изобретению область зондирования
20 может быть отмечена подсветкой луча лазера, перемещаемого совместно с направленным электромагнитным лучом монохроматического излучения. Разность амплитуды СШП сигналов при превышении некоторого порогового значения может быть преобразована в звуковой или световой сигнал, принимаемый оператором. Пороговое значение должно превышать уровень шумов приемника для исключения
25 ложных срабатываний.

Как и в способе-прототипе, в качестве тестирующего инструмента в способе по изобретению использован сверхширокополосный импульс с соответствующим аппаратурным оформлением (импульсный генератор, усилитель, антенна специальной конструкции и т.д.). Другим общим признаком служит подсветка зондируемой области
30 радиоизлучением от другого источника, однако, вместо сигнала с линейной поляризацией, противоположной поляризации основного зондирующего сигнала по прототипу, в способе по изобретению используют обычный монохроматический сигнал сравнительно небольшой мощности, а в качестве наблюдаемого сигнала используют не сумму отраженных сигналов, а изменение формы принятого СШП сигнала.

35 Сущность изобретения поясняется рисунками.

На фиг.1 показана общая схема устройства, реализующего способ. Основными элементами схемы являются импульсный генератор, антенный блок, включающий приемопередающую антенную решетку, и генератор подсветки (источник монохроматического излучения, подключенный к направленной передающей антенне).

40 На фиг.2 приведена результирующая диаграмма блока регистрации СШП сигналов в режиме стробоскопического приема после соответствующей математической обработки.

Способ по изобретению осуществляют следующим образом.

Зондируемую область, например, НРЭ, скрытый в электрически квазиоднородном материале стены, облучают импульсным сверхширокополосным сигналом, как это
45 показано на фиг.1. При включении сигнала подсветки НРЭ монохроматическим излучением на НРЭ наводятся токи, которые смещают среднюю рабочую точку его вольт-амперной характеристики (ВАХ). Для повышения точности локализации НРЭ

направленная передающая антенна может быть оборудована лазером, луч которого перемещается вместе с осью диаграммы направленности (на схеме не показан). При подаче монохроматического сигнала меняется режим взаимодействия СШП зондирующего импульса с искомым нелинейным устройством и изменяется форма отраженного СШП импульса, а именно, в зависимости от вида нелинейности, положительные и отрицательные составляющие отраженного СШП импульса, дают различные отраженные сигналы. При достаточно мощном сигнале подсветки монохроматическим излучением смещение средней рабочей точки ВАХ НРЭ в область нелинейности не зависит от того, в каком режиме находится НРЭ в момент зондирования, в рабочем или нерабочем.

На графике фиг.2 по вертикальной оси показана амплитуда принимаемых сигналов, по горизонтальной оси время в наносекундах. Сигналы, полученные при наличии подсветки (красная или более светлая линия диаграммы) и при ее отсутствии (синяя или более темная линия диаграммы) средствами компьютерной обработки совмещены на временной оси. Критерием наличия нелинейности является изменение амплитуды принятого СШП сигнала при включении сигнала подсветки монохроматическим излучением, хорошо заметное в средней части диаграммы (2-2.5 нс). Из рисунка видно, что диапазон изменения амплитуды в средней части диаграммы в несколько раз превышает уровень шумов приемника. При зондировании области без НРЭ, в том числе неоднородной, например, содержащей металлический отражатель, амплитуды отраженных сигналов для обоих случаев практически совпадают.

Точная локализация НРЭ достигается путем поверхностного сканирования зондируемой области и фокусирования локационного сверхширокополосного импульса. Как известно, диаметр D пятна фокусировки сигнала можно приближенно определить по формуле:

$$D=R \cdot \lambda / b.$$

Здесь λ - средняя длина волны в импульсе зондирующего сигнала, b - размер антенной решетки, R - расстояние от центра антенной решетки до точки фокусировки. Диаметр пятна фокусировки ограничен снизу только дифракционными эффектами. Размер b может быть как физическим размером антенны, так и регулироваться за счет синтеза апертуры антенной решетки. Например, при $\lambda=2$ см, $b=100$ см и $R=200$ см получаем диаметр пятна фокусировки $D=4$ см.

Увеличение дальности вплоть до нескольких десятков метров может быть достигнуто за счет увеличения апертуры СШП решетки, увеличения мощности генератора подсветки, улучшения направленных свойств антенны подсветки. Расстояние между системой и обнаруженным устройством может быть определено измерением периода времени между передачей импульса и приемом его измененного отражения.

Таким образом, сущность заявленного способа обнаружения нелинейных радиоэлектронных элементов (НРЭ) заключается в сравнении формы СШП импульсов, отраженных от заданной области зондирования в двух режимах - при выключенном и включенном дополнительном генераторе подсветки зондируемой области относительно мощным монохроматическим излучением с показателем широкополосности $\mu=0$. Сверхширокополосный и монохроматический сигналы не перекрываются в частотной области. В случае отсутствия в области зондирования радиоэлектронных элементов, обладающих нелинейными свойствами, первый отраженный СШП импульс (при выключенном дополнительном генераторе) и второй отраженный СШП импульс (при включенном дополнительном генераторе) идентичны по форме. Если в области зондирования присутствуют НРЭ, первый и второй СШП отраженные импульсы

различаются по форме (фиг.2). При различии в форме импульсов констатируют наличие в исследуемой области пространства элемента с нелинейной характеристикой.

Отличие способа по изобретению от известных способов состоит в том, что за счет более точной фокусировки зондирующего СШП импульса имеется возможность более точной локализации исследуемой области пространства, в которой может находиться НРЭ, до 1-2 см при длительности импульса 0,2 нс. Кроме того, для обнаружения НРЭ не требуется прием и анализ комбинационных гармоник ни для зондирующего СШП сигнала, ни для монохроматического сигнала подсветки. Дальность действия заявленного способа зависит от энергетике спектральных составляющих в области частот основного сигнала, а не от энергетически слабых побочных комбинационных гармоник. При этом энергетике основного сигнала и сигнала подсветки можно менять в широких пределах за счет подбора соответствующих генераторов.

Пример. Источник СШП - импульсный генератор, выдающий импульсы биполярной формы длительностью 0,2 нс. Сигнал излучают антенной в зондируемую область пространства. Аналогичная антенна принимает отраженный сигнал, который поступает на стробирующий приемник. После оцифровки сигнал поступает в компьютер. Эксперименты проведены на расстоянии 100 см с антенной, которая имела ширину диаграммы направленности около 30°. Использовали зондирующий сигнал со средней длиной волны в импульсе приблизительно $\lambda=3$ см. В исследуемую зону подавали подсветку монохроматической волной с частотой 850 МГц. Включение и выключение генератора монохроматического сигнала синхронизовано со временем приема СШП сигнала. При получении нечетного СШП сигнала генератор выключен, при получении четного СШП сигнала генератор включен. Мощность генератора подсветки, при которой разность амплитуд принимаемых сигналов превышает статистическую погрешность измерений, т.е. достаточная для выявления нелинейного элемента, составляет 3-4 Вт.

Преимущество заявленного способа обнаружения НРЭ перед способом-прототипом заключается в более точной пространственной локализации НРЭ в исследуемой области пространства (до 1-2 см). Локализация обеспечивается за счет более точной фокусировки зондирующего СШП импульса.

Другим техническим результатом является существенное увеличение дальности обнаружения скрытых НРЭ за счет большей энергии информативного сигнала.

Использованная информация:

1. Патент RU 2205419. Способ обнаружения нелинейного объекта с распознаванием типа нелинейности, G01S 13/00, опубл. 27.05.2003.
2. Патент RU 2432583. Способ поиска, обнаружения и распознавания электронных устройств с полупроводниковыми элементами, G01S 13/56, опубл. 27.10.2011.
3. Патент RU 2219669. Способ локализации технических каналов утечки информации, МКИ H04K 3/00, H04M 1/68, опубл. 20.12.2003.
4. Патент RU 2253878. Способ нелинейной радиолокации. G01S 13/04, 2005 (принят за прототип).
5. Pat. US 6049301. Surveillance apparatus and method for the detection of radio receivers. April 11, 2000.
6. Pat. US 6163259. Pulse transmitting non-linear junction detector, 2000 г.

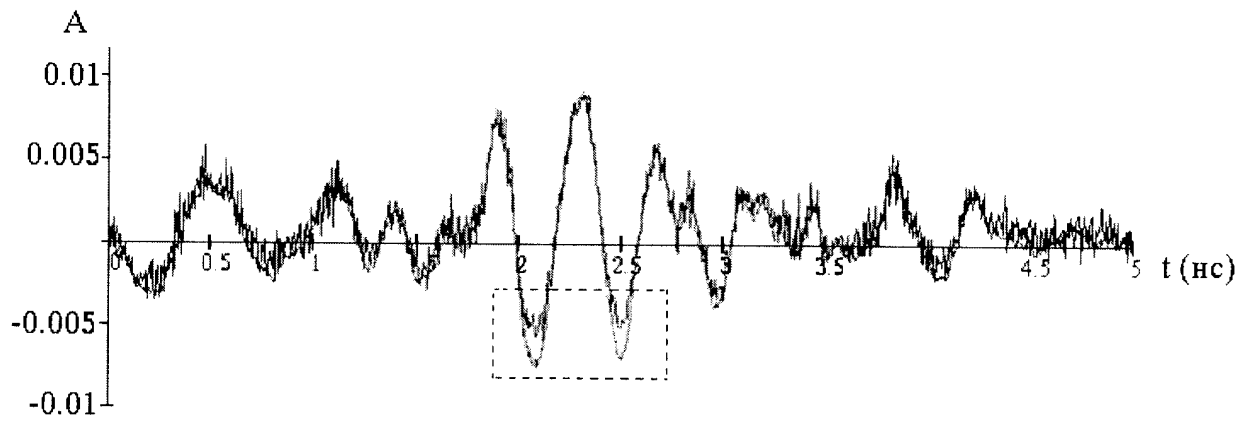
Формула изобретения

1. Способ обнаружения скрытых нелинейных радиоэлектронных элементов, включающий подачу в область зондирования сверхширокополосного импульса, прием

и анализ отраженного сверхширокополосного импульса, отличающийся тем, что область зондирования дополнительно облучают монохроматическим радиосигналом, не перекрывающимся по частоте с подаваемым сверхширокополосным импульсом и имеющим мощность, достаточную для изменения средней рабочей точки вольт-амперной характеристики нелинейного радиоэлектронного элемента, сравнивают амплитуды отраженных сверхширокополосных импульсов при наличии дополнительного монохроматического радиосигнала и при его отсутствии и при несовпадении амплитуд, превышающем уровень шумов приемника, делают вывод о наличии скрытого нелинейного радиоэлектронного элемента.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что область зондирования визуализируют лазерным лучом, направленным по оси излучения монохроматического радиосигнала.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что значимую разность амплитуд отраженных сигналов преобразуют в световой сигнал и/или в сигнал звуковой частоты, доступный пользователю.



Фиг.2