

09;06;07

## Экспериментальное исследование нелинейного рассеивателя с оптическим управлением

© А.В. Кашин, А.Л. Умнов, В.А. Яшнов

Научно-исследовательский институт измерительных систем,  
Нижний Новгород  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию 9 ноября 2000 г.

Показана возможность управления с помощью оптического излучения спектром ВЧ сигнала, переизлученного нелинейным рассеивателем. Рассеиватель представляет собой вибраторную антенну с включенным в нее нелинейным элементом — фототранзистором. Освещение фототранзистора приводит к изменению нелинейной проводимости и емкости этого элемента, вследствие чего изменяется спектр рассеянного сигнала. Низкочастотная модуляция параметров нелинейного элемента, вызванная модулированным световым излучением, приводит к модуляции рассеянного сигнала как на основной частоте, так и на частотах-продуктах нелинейного преобразования. Описанный в статье рассеиватель может быть использован в качестве бесфидерного датчика электрического поля, сигнал от которого легко выделяется на фоне помех за счет НЧ модуляции.

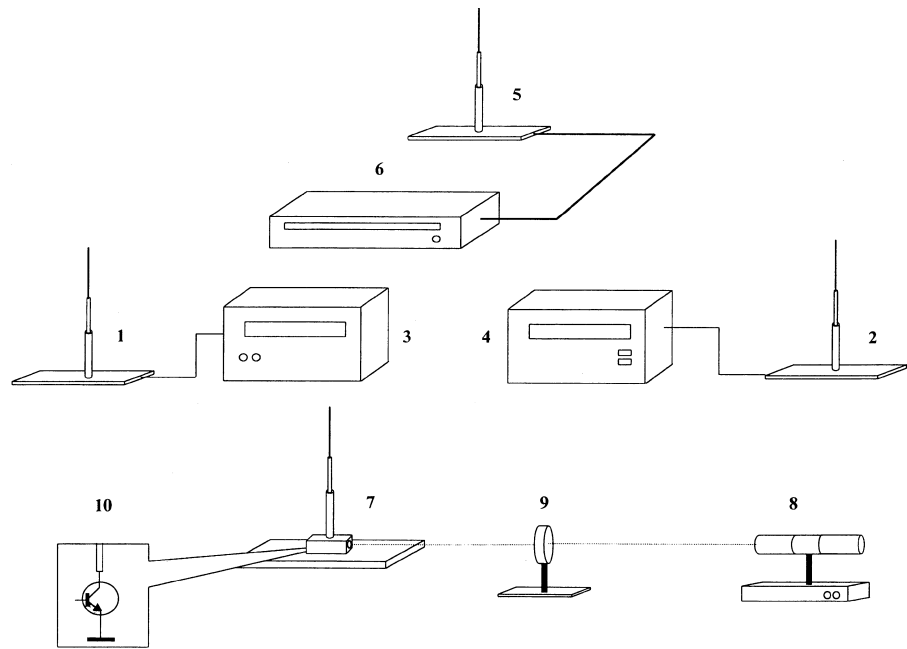
Одной из интересных тенденций, наметившихся в современной антенной технике, является использование нелинейных рассеивателей. Нелинейные рассеиватели (пассивные антенны) находят применение в качестве маркеров, позволяющих по спектру переизлученного сигнала идентифицировать объект, на котором они установлены, кроме этого, они могут быть использованы в качестве бесфидерных датчиков электромагнитного поля, дающих возможность проводить регистрацию параметров поля с минимальными искажениями его структуры [1–6].

Одной из основных задач, решаемых при применении нелинейных рассеивателей, является задача выделения сигнала от выбранного рассеивателя на фоне паразитных сигналов [7,8]. Особенно остро встает эта проблема при одновременном использовании большого числа идентичных рассеивателей, которые могут образовывать решетку. Задача идентификации рассеивателя может быть решена путем индивидуализа-

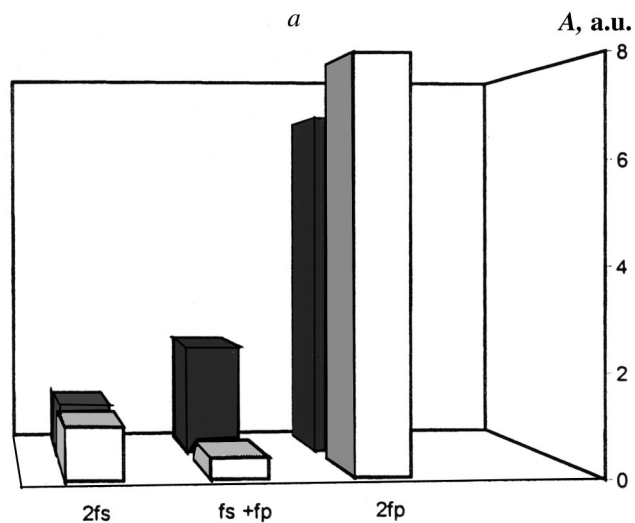
ции спектральных характеристик переизлученного им сигнала. Добиться этого можно, например варьируя определенным образом параметры выбранного рассеивателя, что приведет к модуляции переизлученного им сигнала. Наложённая таким образом на регистрируемый сигнал модуляция существенно облегчает выделение его на фоне сигналов-помех, создаваемых остальными элементами решетки.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию возможности дистанционного управления параметрами пассивного нелинейного рассеивателя с помощью лазерного луча.

Схема эксперимента представлена на рис. 1. Эксперименты проводились в лабораторном помещении размерами  $15 \times 8 \times 2.5$  м; специальных мер для уменьшения отражения электромагнитных волн от стен лаборатории не предпринималось. Исследуемый рассеиватель представляет собой несимметричный электрический вибратор 7, являющийся продолжением центральной жилы питающего фидера, внешняя оплетка которого контактирует с металлической пластиной. В разрыв проводника вибратора на расстоянии 10 см от пластины подключен нелинейный элемент 10. В описываемой серии экспериментов в качестве нелинейного элемента был выбран фототранзистор ФТ-1К. Длина вибратора допускает плавное изменение от 10 см до 2 м. Размеры металлической пластины  $50 \times 50$  см. Нелинейный элемент может освещаться лучом гелий-неонового лазера 8, интенсивность светового потока которого регулируется с помощью поляризатора 9. В экспериментальную установку входят также две передающие (1 и 2) и одна приемная 5 антенны. Передающие антенны с помощью коаксиальных кабелей соединены с высокочастотными генераторами накачки 4 и сигнала 3, приемная антенна 5 — со входом спектроанализатора 6, при этом внутренние проводники коаксиальных кабелей находятся в контакте с проводниками антенн, а внешние — с металлическими пластинами. Конструкция приемных и передающих антенн аналогична конструкции рассеивателя, за исключением того, что в них отсутствуют нелинейные элементы. Во всех экспериментах уровень выходного сигнала генератора накачки 4 был существенно меньше уровня сигнала опорного генератора 3. В процессе подготовки к проведению эксперимента длины антенн 1 и 2 выбирались таким образом, чтобы обеспечить максимальный отклик на приемном устройстве 6 (анализаторе спектра) от выбранных частот опорного сигнала и накачки. Длина антенны 5 подстраивалась так, чтобы получить максимальный сигнал на частоте приема (основной или



**Рис. 1.** Схема эксперимента: 1 — антенна, излучающая сигнал; 2 — антенна, создающая поле накачки; 3 — генератор сигнала U4-158; 4 — генератор накачки ГЗ-19Ф; 5 — приемная антенна; 6 — анализатор спектра СЧ-27; 7 — нелинейный рассеиватель; 8 — гелий-неоновый лазер ОКГ-13; 9 — поляризатор; 10 — схема включения фототранзистора.



**Рис. 2.** *a* — диаграмма, показывающая амплитуды сигналов на комбинационной частоте и частотах вторых гармоник при отсутствии и при наличии подсветки (темные и светлые столбцы соответственно); *b* — зависимости амплитуд сигналов на частотах  $f_s + f_p$  (нижний график) и  $2f_p$  (верхний график) от мощности лазерного излучения.

комбинационной). Взаимное расположение всех антенн и расстояние между ними можно было изменять.

В ходе экспериментов регистрировался сигнал, переизлученный рассеивателем 7 на частотах вторых гармоник генераторов и на комбинационной (суммарной) частоте.

Результаты экспериментов представлены на рис. 2. Рис. 2, *a* демонстрирует типичный спектр принятого антенной 5 сигнала второй гармоники на частоте опорного генератора 3 —  $2f_s$ , генератора накачки 4 —  $2f_p$  и их комбинационной частоты  $f_s + f_p$ , лежащей между двумя первыми. Темными столбцами показаны амплитуды сигналов в отсутствие лазерного облучения, светлыми — при его воздействии. В данном эксперименте  $f_s = 76.9$  МГц,  $f_p = 77.3$  МГц. Из приведенной диаграммы видно, что освещение фототранзистора может существенно изменять вид спектра.

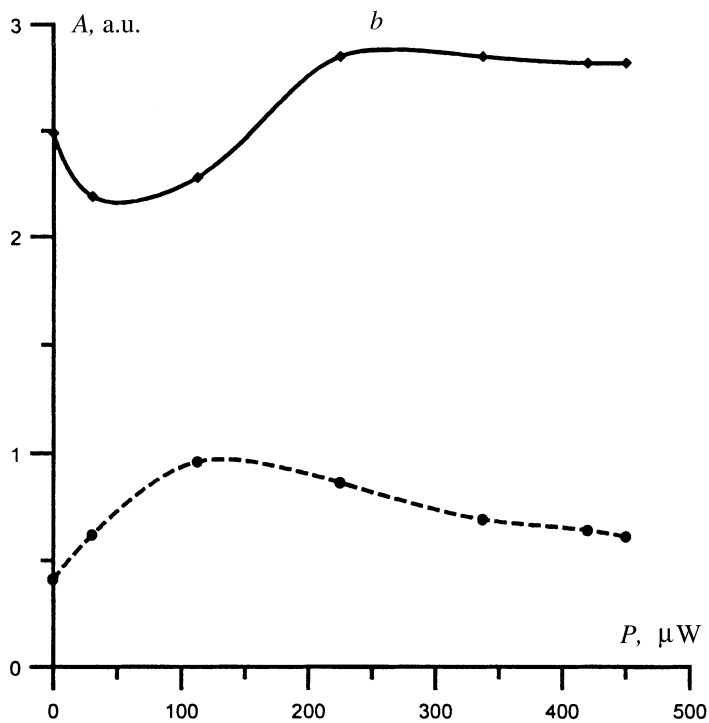
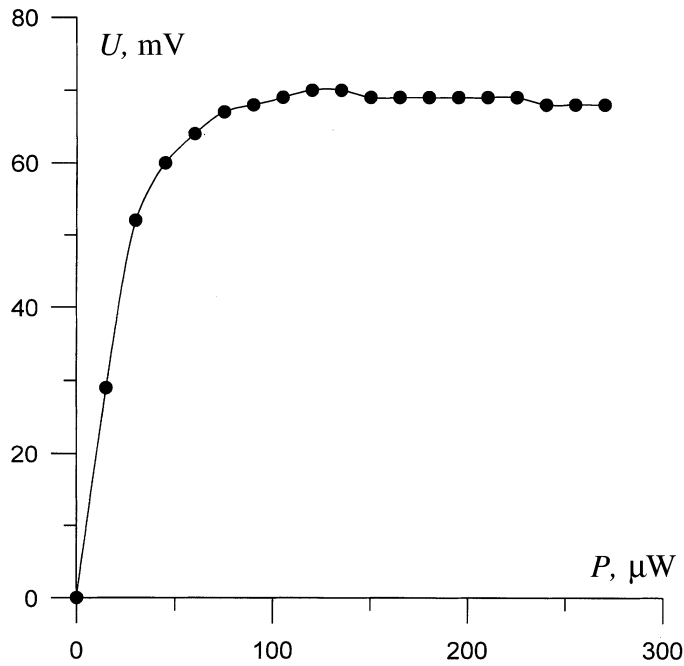


Рис. 2 (продолжение).

Для выяснения закономерностей работы нелинейного рассеивателя была исследована зависимость амплитуд сигналов, принятых на комбинационной частоте и частотах вторых гармоник от мощности лазерного излучения, уровней выходных сигналов генераторов и от взаимного расположения передающих антенн, рассеивателя и приемной антенны.

На рис. 2,  $b$  показана зависимость амплитуд сигналов комбинационной частоты и частоты второй гармоники генератора накачки от мощности лазерного излучения (верхний график характеризует изменение амплитуды второй гармоники накачки, нижний — комбинационной частоты). Из приведенных графиков видно, что, варьируя мощность лазерного излучения, можно изменять соотношение между амплитудами



**Рис. 3.** Зависимость значения постоянного напряжения между эмиттером и коллектором фототранзистора от мощности лазерного излучения.

составляющих спектра. Изменения, представленные на графиках, носят немонотонный характер. Следует отметить, что, изменяя взаимное расположение антенн, используемых в экспериментальной установке, минимум амплитуды второй гармоники в графике зависимости от мощности лазерного излучения удавалось заменять на максимум.

Исследование зависимости амплитуды рассеянного сигнала на комбинационной частоте и частоте второй гармоники генератора от амплитуд сигналов, подаваемых на антенны 1 и 2, показало, что эти зависимости имеют квазилинейный характер.

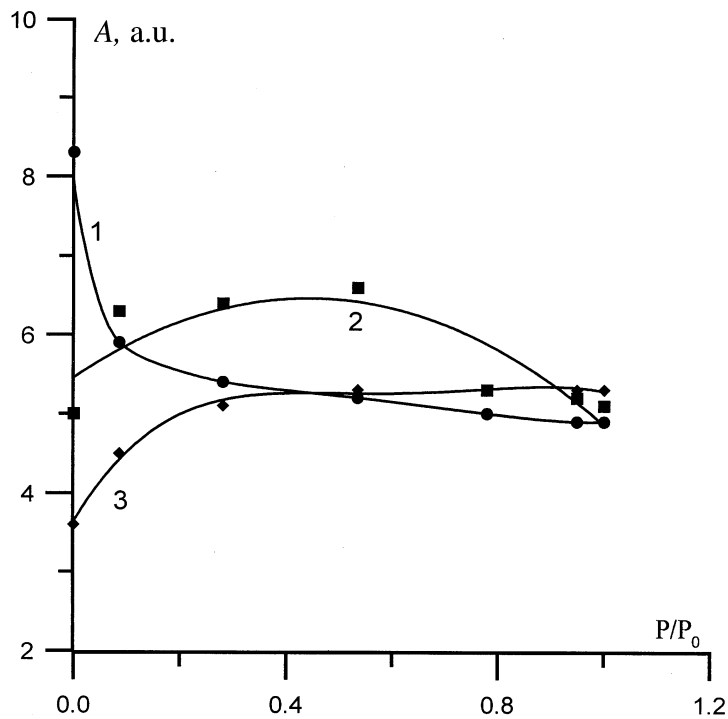
Качественно полученные экспериментальные результаты можно объяснить, рассматривая фототранзистор как эквивалентный нелинейный конденсатор с потерями, емкость которого изменяется под воздействием

лазерного излучения. При попадании света на область  $p$ - $n$ -переходов фототранзистора возникает фото-э.д.с. и изменяется толщина переходов. На рис. 3 представлена экспериментально снятая зависимость постоянного напряжения между коллектором и эмиттером использованного в экспериментах фототранзистора от мощности лазерного излучения. Очевидно, что на участке резкого изменения генерируемого фототранзистором напряжения изменяется также и толщина  $p$ - $n$ -перехода, а вместе с ней и эквивалентная емкость фототранзистора.

Возникновение в цепи рассеивателя гармоник сигналов и их комбинационных частот связано с нелинейным характером емкости и проводимости  $p$ - $n$ -переходов фототранзистора, параметры этой нелинейности зависят от уровня падающего на фототранзистор светового сигнала.

Изменение под воздействием света емкости, включенной в вибратор-рассеиватель, приводит к изменению его настройки на комбинационную частоту и частоту второй гармоники генератора накачки, а также к изменению переизлучаемой рассеивателем на этих частотах мощности, о чем свидетельствует резонансный характер графиков, представленных на рис. 2, *b*. Заметим, что интервал мощностей лазерного излучения, при котором происходит существенное изменение амплитуд сигналов на гармонике и комбинационной частоте, соответствует интервалу мощностей, при котором быстро изменяется фото-э.д.с. (рис. 2, *b* и рис. 3).

Дополнительно для выяснения характера изменения эффективной емкости фототранзистора в зависимости от мощности лазерного излучения был проведен эксперимент, в котором фототранзистор включался непосредственно в антенну, подключенную к выходу ВЧ генератора 4. Результаты экспериментов представлены на рис. 4. При различных соотношениях между длиной антенны  $L$  и длиной волны генератора  $\lambda$  характер изменения амплитуды принятого сигнала оказался разным. Так, для случая "длинной" антенны ( $L > \lambda/4$ , мнимая часть входного импеданса антенны носит индуктивный характер) воздействие освещением на фототранзистор приводит к уменьшению амплитуды принятого сигнала (кривая 1), для "короткой" антенны ( $L < \lambda/4$ , мнимая часть входного импеданса антенны носит емкостной характер) — к его увеличению (кривая 3); при промежуточном значении длины антенны ( $L \approx \lambda/4$ , резонансная область) наблюдалась амплитудная зависимость (кривая 2) с размытым максимумом. Характер изменения амплитуды принятого сигнала свидетельствует о том, что освещение фототранзистора приводит к возрастанию его эквивалентной емкости.



**Рис. 4.** Амплитуда сигнала на частоте 99.5 MHz в зависимости от нормированной мощности лазерного излучения при различных длинах антенны  $L$ : 1 —  $L = 111$  cm, 2 —  $L = 82$  cm, 3 —  $L = 72$  cm;  $P_0 = 500 \mu\text{W}$ .

В процессе эксперимента наблюдался эффект, регистрирующий изменение амплитуды второй гармоники генератора накачки с уменьшения на возрастание при разном взаимном расположении антенн 2 и 7. По-видимому, эффект связан с тем, что на приемной антенне складываются два сигнала: сигнал, пришедший непосредственно от генератора накачки, и сигнал, порожденный нелинейным рассеивателем. В зависимости от сдвига фаз между этими сигналами (определяемым расстоянием между антеннами) суммарный сигнал на выходе приемной антенны может изменяться.



Отметим, что идея использования полупроводниковых устройств с изменяемой емкостью для настройки антенн ненова [9], однако применение  $p-n$ -перехода для управления емкостью нелинейной антенны не с помощью напряжения, а световым сигналом квантового генератора ранее не использовалось.

Таким образом, экспериментально продемонстрирована возможность дистанционного управления с помощью оптического излучения спектром ВЧ сигнала, переизлученного нелинейным рассеивателем. Нелинейный рассеиватель с оптическим управлением может найти применение, например в качестве бесфидерного датчика поля, сигнал от которого легко выделяется на фоне помех за счет НЧ модуляции. Отсутствие металлического фидера позволяет свести к минимуму возникающие в процессе измерений возмущения исследуемого поля, что особенно важно при использовании датчика в качестве элемента антенной решетки.

## Список литературы

- [1] Кузнецов А.С., Кутин Г.И. // Зарубежная радиоэлектроника. 1985. № 4. С. 41–53.
- [2] Мусабеков П.М., Панычев С.Н. // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 2000. № 5. С. 54–61.
- [3] Горбачев А.А., Заборонкова Т.М. // Радиотехника и электроника: 1988. № 10. С. 89–95.
- [4] Шифрин Я.С. // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1997. № 4. С. 33–44.
- [5] Вернигоров Н.С. // Радиотехника и электроника. 1997. Т. 42. № 10. С. 1181–1185.
- [6] Франческетти Г., Пинто И. // Нелинейные электромагнитные волны: Сборник. / Под ред. П. Усленги. М.: Мир, 1983. С. 228–240.
- [7] Горбачев А.А., Ларцов С.В., Тараканков С.П., Чигин Е.П. // Радиотехника и электроника. 1998. Т. 43. С. 72–76.
- [8] Горбачев А.А. // Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. № 10. С. 1164–1167.
- [9] Lamensdorf D. // Proc. Inst. Elec. Eng. 1975. V. 122. N 4. P. 353–357.