

УДК 621.383  
EDN: CSGBAX

PACS: 85.60.Dw

**Повышение устойчивости высокочувствительных  
фотоприемных устройств к перегрузке оптическим сигналом***А. А. Короннов, М. М. Землянов, А. Е. Сафутин, М. Ю. Кузнецов,  
Н. О. Журавлев*

*Проведен сравнительный анализ стойкости к лазерному излучению фотодиодных структур. Показана целесообразность применения германиевых фотодиодов для обеспечения повышенной стойкости фотоприемных устройств к мощной засветке. Представлены результаты исследований основных механизмов, определяющих время восстановления чувствительности фотоприемного устройства после мощной засветки. Рассмотрено схемотехническое решение, позволяющее снизить время восстановления чувствительности фотоприемного устройства после мощной засветки лазерным излучением.*

*Ключевые слова:* фотоприемное устройство, импульсный лазерный дальномер.

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-1-32-41

**Введение**

Требования к характеристикам фотоприемного устройства (ФПУ) главным образом определяются заданными параметрами системы, в состав которой оно входит. Для рассматриваемых в настоящей работе ФПУ, предназначенных для работы в составе им-

пульсных лазерных дальномеров (ИЛД), наиболее важной характеристикой является пороговая чувствительность. Для большинства ИЛД является достаточным значение пороговой чувствительности ФПУ 100 нВт на длине волны  $\lambda = 1,064$  мкм и при длительности импульса засветки 10 нс по уровню половины амплитуды. Реализация такого значения порога чувствительности на сегодняшний день не вызывает существенных трудностей и может быть достигнута в фотоприемных устройствах как на базе кремниевых, германиевых так и InGaAs/InP фотодиодах [1–3]. Однако, в ряде дальномеров, где применяются высокоэнергетические излучатели с рабочей длиной волны  $\lambda = 1,06$  мкм, становится актуальным применение фотоприемных устройств, обладающих, в том числе, и высокой стойкостью к мощной обратной засветке лазерным излучением.

Это связано с тем, что засветка фотоприемного устройства мощным излучением, возвращенным от близко расположенных целей или целей с высоким коэффициентом отражения, может привести к перегрузке ФПУ на продолжительный временной интервал или

**Короннов Алексей Алексеевич**<sup>1,2,3</sup>, н.с., доцент, к.т.н.  
E-mail: koronnov@inbox.ru

**Землянов Михаил Михайлович**<sup>1</sup>, нач. НПЦ.

**Сафутин Александр Ефремович**<sup>1</sup>, нач. лаб.

**Кузнецов Михаил Юрьевич**<sup>1</sup>, нач. лаб.

**Журавлев Николай Олегович**<sup>1</sup>, инженер.

<sup>1</sup> АО «НИИ «ПОЛЮС» им. М. Ф. Стельмаха».

Россия, 117342, Москва, ул. Введенского, 3, корп. 1.

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет

(Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова).

Россия, 119454, Москва, просп. Вернадского, 78.

<sup>3</sup> Российский университет дружбы народов (РУДН).

Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6.

Статья поступила в редакцию 28.10.2022

После доработки 10.11.2022

Принята к публикации 15.11.2022

© Короннов А. А., Землянов М. М., Сафутин А. Е.,  
Кузнецов М. Ю., Журавлев Н. О., 2023

даже к полному выходу ФПУ из строя вследствие деградации фотодиода [4].

На сегодняшний день существует ряд устройств защиты ФПУ от мощной засветки, таких как: оптические затворы на тонких пленках [5], оптические лимитеры на суспензиях углеродных частиц или полупроводниках [6]. Недостатками этих устройств являются усложнение оптической схемы приемного оптического канала дальномера и существенное ослабление, вносимое этими устройствами в приемный оптический канал дальномера.

Другим способом защиты ФПУ от мощной засветки возвращенным лазерным излучением, является двухимпульсный режим работы дальномера [7, 8], при котором первое измерение проводится с дополнительно внесенным оптическим фильтром, и в случае отсутствия отклика от цели последующие измерения проводятся без фильтра.

Однако двухимпульсный режим измерения не всегда может обеспечить полную безопасность ФПУ. Это связано с тем, что в случае, если цель, обладающая отражающими элементами, находится в движении или вращается, то первое измерение может быть проведено по безопасному участку цели, в результате чего принимается решение об удалении фильтра. Это приводит к тому, что возрастает вероятность засветки ФПУ мощным отраженным излучением при последующих измерениях, проводимых по этой же цели. Это может привести к перегрузке ФПУ на продолжительный временной интервал или даже к полному выходу из строя ФПУ вследствие деградации фотодиода.

Поэтому для снижения риска выхода из строя ФПУ в результате мощной засветки необходимо применение в ФПУ стойкого к лазерному излучению фотодиода. Однако, несмотря на то, что результаты исследований воздействия лазерного излучения на фоточувствительные элементы в достаточной степени широко представлены в литературе, сопоставление стойкости кремниевых германиевых и InGaAs/InP фотодиодов на базе опубликованных результатов вызывает существенные трудности, связанные с различием в условиях экспериментов при которых проводились исследования. Поэтому в настоящей работе были проведены дополнительные ис-

следования, направленные на сопоставление стойкости к мощной засветке фотодиодов, выполненных из различных фотодиодных структур.

Другой важной характеристикой ФПУ является время восстановления чувствительности после мощной засветки, которое определяет возможность разрешения двух близко расположенных на заданном расстоянии целей. Для различных дальномерных систем требования, предъявляемые к времени восстановления чувствительности варьируются, но обычно при разработке фотоприемного устройства необходимо учитывать, что оно должно быть по возможности минимальным. Это время определяется как перегрузкой фотодиода, так и перегрузкой последующих электрических цепей. В связи с этим рассмотрение процессов, определяющих время восстановления чувствительности ФПУ, представляет актуальную задачу, которую можно рассматривать отдельно для фотодиода и для последующего усилителя.

### **Сопоставление стойкости фотодиодов к воздействию мощного лазерного излучения**

Принимая во внимание то, что возвращенное от катафота или ретрорефлектора лазерное излучение имеет расходящуюся существенно отличающуюся от исходной, воздействие на фотодиод будет иметь локальный характер. При этом область чувствительной площадки фотодиода, подвергаемая мощной засветке, обычно не превышает в диаметре 20 мкм, что было многократно подтверждено исследованиями фотоприемников, выведенных из строя отраженным излучением [4]. Поэтому при постановке эксперимента воздействие проводилось лазерным излучением, сфокусированным в пучок диаметром порядка 10 мкм, а в качестве источника засветки использовался лазер модели LCS-DTL-122QT, излучающий на длине волны  $\lambda = 1,064$  мкм.

Исследованию были подвергнуты три фотодиодных структуры: кремниевая, германиевая и структура InGaAs/InP. Засветка структур проводилась при мощностях излучения 135, 300, 400 и 770 Вт в моноимпульсном режиме работа лазера при длительности импульса

4 нс. После этого были проведены измерения диаметров сформированных на поверхности структур кратеров и построена зависимость увеличения диаметра кратеров от мощности воздействия (рис. 1). Из этой зависимости хорошо видно, что при одинаковой мощности воздействия наибольший диаметр кратера наблюдается на InGaAs/InP фотодиодной структуре, а наименьший на кремниевой. Этот результат позволяет сделать вывод, что наиболее высоким энергетическим порогом разрушения материала обладают кремниевые фотодиодные структуры. Тем не менее, применение кремниевых фотодиодов ограничено их рабочим диапазоном температур вследствие смещения границы поглощения. Следует также отметить, что стойкость InGaAs/InP фотодиодов к лазерному излучению существенно ниже германиевых фотодиодов, что подтверждается как литературными источниками [4], так и экспериментальными данными (рис. 1).

Таким образом, можно заключить, что для обеспечения стойкости фотоприемных устройств к мощной засветке и высокой чувствительности в широком температурном диапазоне наиболее целесообразно применение германиевых фотодиодов.

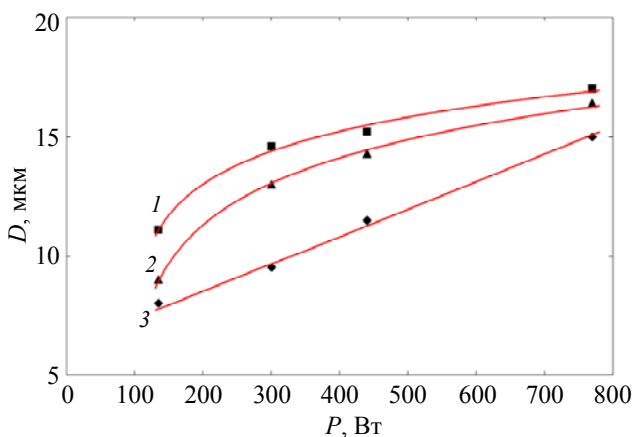


Рис. 1. Зависимость увеличения диаметра абляционного кратера от мощности воздействия. Кривая 1 – для InGaAs/InP, кривая 2 – для Ge, кривая 3 – для Si

### Исследование перегрузки фотодиода мощной импульсной засветкой

Дальнейшие исследования были направлены на определение степени влияния процесса

восстановления рабочего режима фотодиода после мощной засветки на общее время восстановления чувствительности ФПУ. Настоящие исследования проводились для германиевых лавинных фотодиодов (ЛФД) на основе эпитаксиальной структуры  $p^+-p-n^+$ , типа ЭГС-39-2 [4, 9].

Как известно, при засветке фотодиода смещается его вольт-амперная характеристика, и значение фототока можно определить, исходя из рассмотрения ВАХ фотодиода совместно с нагрузочной прямой, которые для схемы включения фотодиода последовательно с сопротивлением нагрузки условно представлены на рис. 2. Это позволяет выделить три основных режима работы ЛФД: фотодиодный лавинный режим работы (точка А на рис. 2), фотодиодный безлавинный режим работы (точка В на рис. 2) и режим работы в прямом смещении, который возможен в случае мощной засветки (точка С на рис. 2). При этом вследствие широкого применения в фотоприемных устройствах первых двух режимов работы, их описание в достаточной степени представлено в литературе [10], в то время как работа фотодиода в ФПУ в режиме прямого смещения, вызванном мощной засветкой, слабо освещена в литературе. Поэтому вопрос восстановления чувствительности ФПУ после мощной засветки имеет значительный практический интерес.

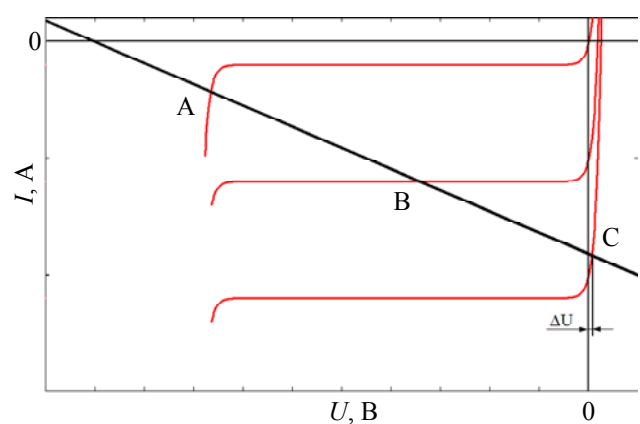


Рис. 2. Линия нагрузки фотодиода и изменение его вольт-амперной характеристики при увеличении мощности засветки

Такие исследования были проведены для схемы включения фотодиода последовательно с сопротивлением нагрузки 10 кОм при

засветке на длине волны  $\lambda = 1,064$  мкм импульсами длительностью 150 нс в диапазоне мощностей от 6 до 50 мВт. Измерения фототклика проводились при подключении пробника осциллографа к сопротивлению нагрузки, после чего снятые осциллограммы сопоставлялись с расчетной формой сигнала.

Расчет формы сигнала для экспериментальной схемы, которая представлена на рис. 3, проводился в результате рассмотрения соответствующей эквивалентной схемы, также представленной на рис. 3.

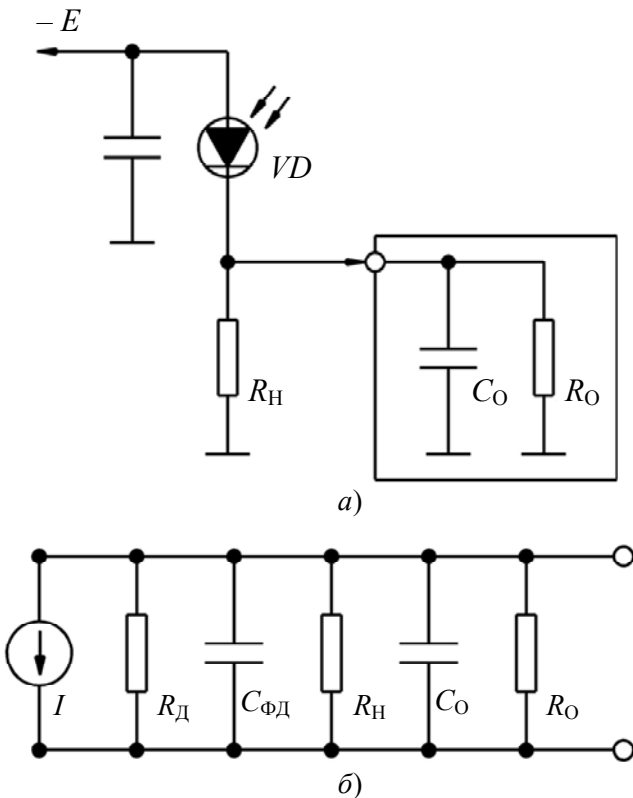


Рис. 3. Схема включения фотодиода (а) и соответствующая ей эквивалентная схема (б)

В отсутствии ограничения амплитуды сигнала, вызванной переключением фотодиода в режим прямого смещения форму сигнала, поступающего на осциллограф можно описать совокупностью двух выражений:

для переднего фронта импульса

$$U(t) = P \times S_{\text{ФД}} \times R_{\text{Н}} \times \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t}{R_{\text{Н}} \times (C_{\text{Н}} + C_{\text{ФД}})}\right) \right], \quad (1)$$

и заднего фронта импульса

$$U(t) = P \times S_{\text{ФД}} \times R_{\text{Н}} \times \left[ \exp\left(\frac{-t + t_{\text{ИМП}}}{R_{\text{Н}} \times (C_{\text{Н}} + C_{\text{ФД}})}\right) - \exp\left(\frac{-t}{R_{\text{Н}} \times (C_{\text{Н}} + C_{\text{ФД}})}\right) \right], \quad (2)$$

где  $P$  – импульсная мощность лазерного излучения, падающего на фотодиод;  $S_{\text{ФД}}$  – амперваттная чувствительность фотодиода;  $R_{\text{Н}}$  – сопротивление нагрузки фотодиода, которое в условиях эксперимента оказывает шунтирующее действие на дифференциальное сопротивление фотодиода  $R_{\text{Д}}$  и входное сопротивление пробника осциллографа  $R_{\text{О}}$ ;  $C_{\text{О}}$  – емкость нагрузки фотодиода, соответствующая входной емкости пробника осциллографа;  $C_{\text{ФД}}$  – емкость фотодиода;  $t_{\text{ИМП}}$  – длительность импульса засветки.

При увеличении мощности излучения до значения, при котором наступает ограничение амплитуды сигнала фототклика, передний фронт сигнала, поступающего на осциллограф также можно описать выражением (3), накладывая условие ограничения на максимальную амплитуду сигнала:

$$U_{\text{max}} = E + \Delta U, \quad (3)$$

где  $E$  – напряжение смещения фотодиода, а значение  $\Delta U$  – определяется из вольт-амперной характеристики (рис. 2), однако им можно пренебречь в силу того, что оно существенно меньше  $E$ . Тогда для заднего фронта импульса в условиях ограничения амплитуды сигнала выражение будет иметь следующий вид:

$$U(t) = E \times \exp\left(\frac{-t + t_{\text{ИМП}}}{R_{\text{Н}} \times (C_{\text{Н}} + C_{\text{Д}})}\right). \quad (4)$$

На рис. 4 представлено сопоставление снятых осциллограмм при мощностях засветки 6 и 50 мВт с формами импульсов, рассчитанными в соответствии с выражениями (1), (2), (4) для соответствующих мощностей  $P$  и известных значений:  $S_{\text{APD}} = 0,5$  А/Вт;  $R_{\text{Н}} = 10$  кОм;  $C_{\text{Н}} = 15$  пФ;  $C_{\text{Д}} = 0,7$  пФ;  $t_{\text{ИМП}} = 150$  нс.

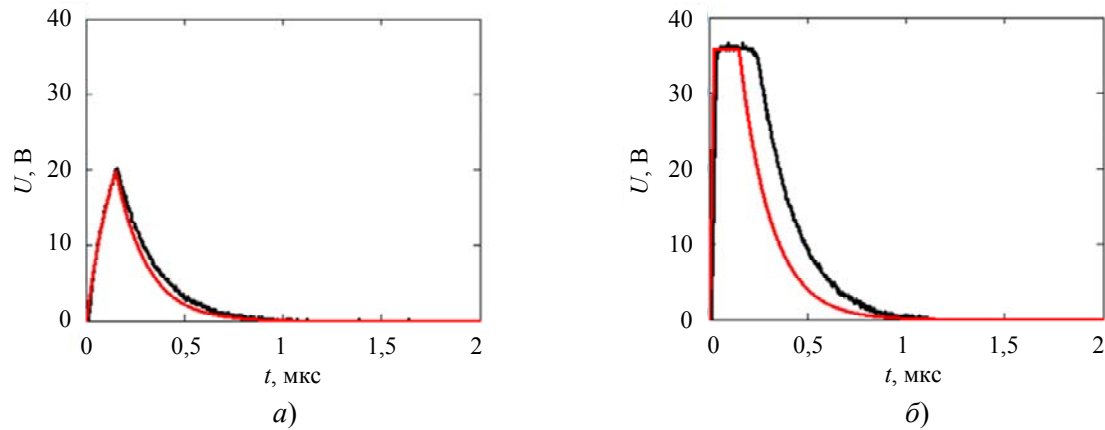


Рис. 4. Осциллограммы (представлены в черном цвете) импульса формируемого на сопротивлении нагрузки при засветке фотодиода и их сопоставление с расчетными формами импульсов (представлены в красном цвете): а – при мощности засветки 6 мВт; б – при мощности засветки 50 мВт

Полученные результаты показывают, что при увеличении мощности засветки до значений, при которых фотодиод переходит в режим положительного смещения (точка С на рис. 2) и наступает ограничение амплитуды фотоотклика, наблюдается расхождение расчетных форм импульсов с экспериментальными. Как видно из сопоставления форм импульсов, представленных на рис. 4, это расхождение имеет место в части вершины импульса, что свидетельствует о наличии переходного процесса восстановления фотодиодного режима работы фотодиода. По завершению этого процесса форма заднего фронта импульса с хорошей точностью описывается выражением (4). Таким образом, во избежание расширения импульса фотоотклика необходимо обеспечить фотодиодный режим работы во всем диапазоне мощностей засветки. Помимо этого, как видно из выражения (4), время восстановления рабочего напряжения на фотодиоде зависит от его собственной ем-

кости и от емкости и сопротивления нагрузки фотодиода.

#### Обеспечение малого времени восстановления чувствительности ФПУ после мощной засветки

Дальнейшее исследование процесса восстановления чувствительности фотоприемного устройства целесообразно проводить при совместном рассмотрении фотодиода и усилителя. Особый интерес при этом представляет схемотехническое решение для входной части ФПУ, которое получило достаточно широкое применение, и в том числе представлено в работе [11]. На рис. 5 представлена эквивалентная схема входной части такого ФПУ, анализ которой позволяет определить основные требования, предъявляемые к ее реализации и необходимые для обеспечения малого времени восстановления чувствительности ФПУ после мощной засветки.

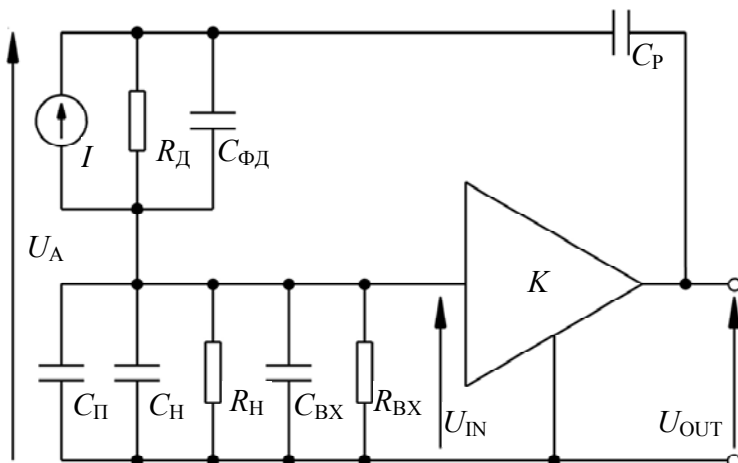


Рис. 5. Эквивалентная схема входной части фотоприемного устройства

Усилитель на этой схеме представлен идеальным усилителем с коэффициентом передачи  $K$ , бесконечно большим входным и бесконечно малым выходным сопротивлением. Изменение коэффициента передачи усилителя в полосе частот учитывается введением эквивалентных входных сопротивления  $R_{ВХ}$  и емкости  $C_{ВХ}$  усилителя. Фотодиод аналогично предыдущему случаю можно рассматривать как параллельно включенные источник тока  $I$ , дифференциальное сопротивление  $R_{Д}$  фотодиода, и емкость обратно смещенного  $p-n$ -перехода  $C_{ФД}$ . Поскольку сопротивление нагрузки  $R_{Н}$  имеет собственную емкость  $C_{Н}$ , то она тоже представлена на эквивалентной схеме, а разделительный конденсатор между выходом усилителя и анодом фотодиода представлен емкостью  $C_{Р}$ . Влияние паразитной монтажной емкости учитывается емкостью  $C_{П}$ .

Учитывая, что дифференциальное сопротивление фотодиода  $R_{Д}$  значительно больше сопротивления нагрузки  $R_{Н}$  для комплексного сопротивления нагрузки фотодиода  $Z_{Н}$  в операторной форме будет справедливо:

$$Z_{Н} = \frac{1}{\frac{1}{R_{Н}} + \frac{1}{R_{ВХ}} + pC_{Н} + pC_{ВХ} + pC_{П}}, \quad (5)$$

где  $p$  – комплексная переменная.

Следует отметить, что для реализации наименьшего порога чувствительности ФПУ необходимо обеспечение максимального соотношения сигнал-шум, что обычно достигается за счет увеличения сопротивления нагрузки фотодиода [12, 13]. Одновременно с этим необходимо выполнение условия, при котором эквивалентное входное сопротивление усилителя не будет оказывать шунтирующее действие на сопротивление нагрузки фотодиода:

$$R_{ВХ} \gg R_{Н}. \quad (6)$$

Выполнение условия (6) позволяет переписать выражение (5) в более удобной форме:

$$Z_{Н} = \frac{R_{Н}}{1 + pR_{Н} \times C}, \quad (7)$$

где

$$C = C_{Н} + C_{ВХ} + C_{П}. \quad (8)$$

Обозначим величиной  $U_{IN}$  – амплитуду напряжения сигнала, действующего на входе усилителя,  $U_{OUT}$  – на выходе, и  $U_{А}$  – на аноде фотодиода. Тогда для рассматриваемой эквивалентной схемы (рис. 5) можно составить систему уравнений в операторной форме:

$$\begin{cases} \frac{U_{IN}}{Z_{Н}} - C_{ФД}(U_{А} - U_{IN})p - \frac{I}{p} = 0 \\ C_{ФД}(U_{А} - U_{IN})p - C_{Р}(U_{OUT} - U_{А})p + \frac{I}{p} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

$$U_{OUT} = KU_{IN}.$$

Решением системы (8) является следующее выражение:

$$U_{IN} = \frac{Z_{Н} \times C_{Р} \times I}{p^2 \times Z_{Н} \times C_{Р} \times C_{ФД} \times (1 - K) + p \times (C_{Р} + C_{ФД})}. \quad (10)$$

Ввиду того, что емкость разделительного конденсатора существенно больше собственной емкости фотодиода:

$$C_{Р} \gg C_{ФД}, \quad (11)$$

выражение (10) можно привести к виду:

$$U_{IN} = \frac{Z_{Н} \times I}{p^2 \times Z_{Н} \times C_{ФД} \times (1 - K) + p}. \quad (12)$$

Совершая обратное преобразование Лапласа, получаем выражение для напряжения, действующего на входе усилителя в течение времени засветки импульсом прямоугольной формы:

$$U(t) = R_{Н} \times I \times \left( 1 - \exp\left( -\frac{t}{R_{Н} \times C_{ФД} \times (1 - K) + R_{Н} \times C} \right) \right). \quad (13)$$

Из представленного выражения следует, что реализация усилителя с коэффициентом передачи близким к единице с одной стороны исключает дополнительное интегрирование сигнала и обеспечивает возможность реализации более высокого соотношения сигнал/шум в режиме детектирования слабого сигнала, а с

другой стороны при мощной засветке препятствует расширению импульса фотоотклика вследствие разряда емкости фотодиода. Кроме этого такая реализация усилителя исключает переключение фотодиода в режим прямого смещения, поскольку действующие на аноде и катоде фотодиода сигналы совпадают по амплитуде и фазе, в результате чего напряжение смещения на фотодиоде не изменяется.

На сегодняшний день построение усилителя с коэффициентом передачи близким к единице может быть осуществлено по ряду схем, в достаточной степени представленных в литературе, среди которых можно в явном виде выделить эмиттерные и истоковые повторители. Однако реализация малой входной емкости, достаточной величины входного сопротивления и единичного коэффициента передачи в широком диапазоне амплитуд входного сигнала является достаточно сложной схемотехнической и технологической задачей.

Среди известных решений, позволяющих обеспечить коэффициент передачи близкий к

единице в широком диапазоне значений фототока, является амплитудное ограничение сигнала, действующего на нагрузке фотодиода. Одна из эффективных реализаций такого решения представлена в работе [11], где амплитудное ограничение сигнала реализовано на параллельном включении сопротивления нагрузки и диодного ограничителя. Однако ввиду того, что при детектировании слабого сигнала  $p-n$ -переход диода включен в обратном смещении и имеет собственную емкость, эта емкость приводит к дополнительному интегрированию сигнала, что препятствует реализации максимального соотношения сигнал–шум и минимального порога чувствительности.

Ограничение амплитуды сигнала, действующего на входе усилителя, возможно также в результате включения диодного ограничителя между входом и выходом усилителя [14]. На рис. 6 представлена одна из возможных реализаций такого схемотехнического решения, которое было исследовано в настоящей работе.

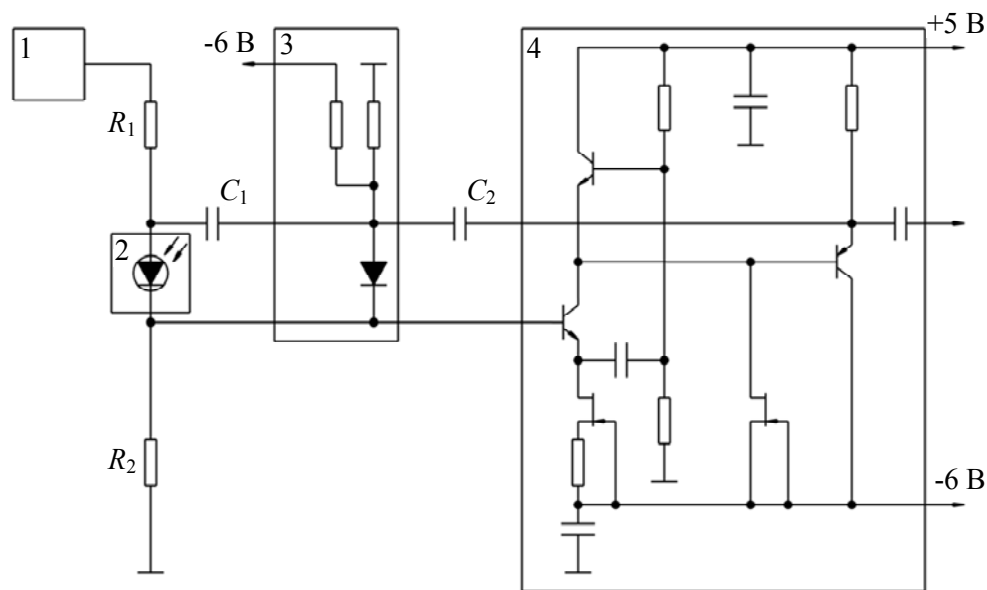


Рис. 6. Входная часть фотоприемного устройства (1 – источник питания фотодиода; 2 – фотодиод; 3 – диодный ограничитель; 4 – неинвертирующий согласующий усилитель)

В режиме детектирования сигнала малой мощности дифференциальное сопротивление диода существенно больше сопротивления нагрузки фотодиода, а емкость диода включена параллельно емкости фотодиода. В результате эквивалентная схема рассматриваемой вход-

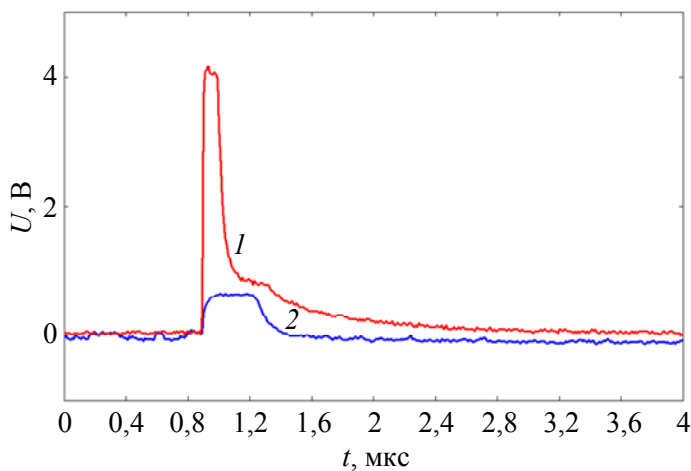
ной части ФПУ будет соответствовать эквивалентной схеме рассмотренной ранее (рис. 5) за исключением дополнительно введенной емкости обратно смещенного  $p-n$ -перехода диода. Поэтому при единичном коэффициенте передачи усилителя для формы выходного сигнала

будет справедливо выражение (13), преобразованное к следующему виду:

$$U(t) = R_H \times I \times \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{R_H \times C}\right) \right). \quad (14)$$

Из этого выражения видно, что включение диода не влияет на амплитуду сигнала, а, следовательно, и на чувствительность ФПУ. Этот вывод был дополнительно подтвержден экспериментально в результате измерения порога чувствительности ФПУ при наличии и в отсутствии схемы амплитудного ограничения сигнала.

При увеличении мощности засветки амплитуда сигнала на входе усилителя также будет возрастать, что приводит к запирающему входного транзистора, а амплитуда на выходе усилителя будет ограничена напряжением питания. Таким образом, включение диода между входом и выходом усилителя позволяет зашунтировать нагрузку фотодиода сопротивлением, подключенным к выходу усилителя.



*Рис. 7. Осциллограммы сигнала на выходе предварительного усилителя: 1 – для фотоприемного устройства без диодного ограничителя; 2 – для фотоприемного устройства с диодным ограничителем*

## Выводы

Исследования стойкости к воздействию мощного лазерного излучения фотодиодов на базе кремниевой, германиевой и InGaAs/InP фотодиодных структур показали, что для обеспечения повышенной стойкости фотоприемного устройства к мощной засветке наиболее целесообразно применение в них германиевых фотодиодов.

Исследования германиевых лавинных фотодиодов при импульсной засветке мощностью менее 100 мВт показали, что в отсут-

ствии принятия специальных мер, мощная засветка приводит к переключению фотодиода в режим прямого смещения и увеличению времени восстановления чувствительности ФПУ вследствие возникновения переходного процесса восстановления фотодиодного режима работы фотодиода.

На рис. 7 представлено изменение формы импульса на выходе усилителя после введения диодного ограничителя. Из рисунка видно, что помимо ограничения амплитуды сигнала на выходе усилителя (а, следовательно, и на входе усилителя) также наблюдается уменьшение его длительности. Измерение длительностей этих импульсов и сопоставление их с соответствующими значениями мощности засветки позволило установить, что при мощности засветки до 50 мВт уширение импульса фотоотклика не превышает 0,4 мкс, а дальнейшее увеличение мощности засветки до 100 мВт приводит к дополнительному уширению импульса не более чем на 30 нс. Это связано с тем, что при снижении влияния емкости фотодиода основным механизмом, ограничивающим быстродействие фотоприемного устройства, является время восстановления рабочего режима входного транзистора, которое в малой степени зависит от мощности засветки.

В работе показано, что одним из эффективных решений, позволяющих реализовать порог чувствительности менее 100 нВт и малое время восстановления чувствительности после мощной засветки, является применение во входной части ФПУ неинвертирующего



усилителя с коэффициентом передачи близким к единице и диодного ограничителя сигнала на входе усилителя.

Публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН (This paper has been supported by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог фирмы, www.polyus.info
2. Каталог фирмы, www.analogmodules.com
3. Землянов М. М., Сафутин А. Е., Соколова Н. В. / Лазер-Информ. 2016. № 10. С. 8.
4. Короннов А. А., Зверев Г. М., Землянов М. М., Жарикова Е. В., Марсагшвили Д. В. / Прикладная физика. 2015. № 4. С. 54.
5. Чесноков В. В., Чесноков Д. В., Шлишевский В. Б. / Оптический журнал. 2011. С. 39.
6. Белоусова И. М., Данилов О. Б., Сидоров А. И. / Оптический журнал. 2009. № 4. С. 71.
7. Батюшев В. В., Тареев А. М., Янаев В. Н., Шандора В. В. Лазерный дальномер. Патент России № 63054. 2006.
8. Короннов А. А., Сафутин А. Е., Землянов М. М., Зверев Г. М. / Прикладная физика. 2015. № 6. С. 65.
9. Зверев Г. М., Землянов М. М., Короннов А. А. / Прикладная физика. 2015. № 2. С. 79.
10. Зи С. Физика полупроводниковых приборов: в 2-х книгах. Кн. 2. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.
11. Ткаченко Е. М., Лопатин А. В., Сафутин А. Е. Фотоприемное устройство. Патент России № 2083958. 1995.
12. Гауэр Дж. Оптические системы связи / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.
13. Гаврилов Г. А., Матвеев Б. А., Сотникова Г. Ю. / Письма в ЖТФ. 2011. № 18. С. 50.
14. Землянов М. М., Сафутин А. Е., Гринин А. В., Короннов А. А. Фотоприемное устройство. Патент России № 165106. 2016. Бюл. № 28.

PACS: 85.60.Dw

## Increasing the resistance of highly sensitive photodetectors to optical signal overload

A. A. Koronnov<sup>1,2,3</sup>, M. M. Zemlyanov<sup>1</sup>, A. E. Safutin<sup>1</sup>, M. Yu. Kuznetsov<sup>1</sup> and N. O. Zhuravlev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> JSC “Polyus Research Institute of M. F. Stelmakh”  
1, 3 Vvedenskogo st., Moscow, 117342, Russia  
E-mail: koronnov@inbox.ru

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University  
(M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies)  
86 Vernadsky Ave., Moscow, 119571, Russia

<sup>3</sup> Peoples Friendship University of Russia (RUDN University)  
6 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russia

Received 28.10.2022; revised 10.11.2022; accepted 15.11.2022

**Photodiode structures resistance to laser radiation analysis has been carried out. The expediency of using germanium photodiodes to provide increased resistance of photoreceiver to powerful illumination is shown. The main mechanisms that determine the recovery time of the sensitivity of a photoreceiver after intense illumination are presented. A circuit solution is considered to reduce the recovery time of the sensitivity of a photoreceivers after powerful illumination by laser radiation.**

**Keywords:** photoreceiver, pulsed laser rangefinder.

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-1-32-41

REFERENCES

1. *Catalog*: [www.polyus.info](http://www.polyus.info)
2. *Catalog*: [www.analogmodules.com](http://www.analogmodules.com)
3. M. M. Zemlyanov, A. E. Safutin and N. V. Sokolova, *Laser-Inform*, № 10 (577), 8 (2016).
4. A. A. Koronov, G. M. Zverev, M. M. Zemlyanov, E. V. Zharicova and D. V. Marsagishvili, *Applied Physics*, № 4, 54 (2015) [in Russian].
5. V. V. Chesnokov, D. V. Chesnokov and V. B. Shlishvskii, *J. Opt. Technol.* **78** (6), 377 (2011).
6. I. M. Belousova, O. B. Danilov and A. I. Sidorov, *J. Opt. Technol.* **76** (4), 223 (2009).
7. RF Patent № 63054.
8. A. A. Koronov, A. E. Safutin, M. M. Zemlyanov and G. M. Zverev, *Applied Physics*, № 6, 65 (2015) [in Russian].
9. G. M. Zverev, M. M. Zemlyanov and A. A. Koronov, *Applied Physics*, № 2, 79 (2015) [in Russian].
10. S. M. Sze, *Physics of Semiconductors Devices*, Wiley, 2007; Moscow, Mir, 1984.
11. RF Patent № 2083958.
12. J. Gowar, *Optical Communication Systems*, Prentice-Hall Int., 1984; Moscow, Radio i sviaz, 1989.
13. G. A. Gavrilov, B. A. Matveev and G. U. Sotnikova, *Tech. Phys. Lett.*, № 18, 50 (2011).
14. RF Patent № 165106.