

УДК 621.383.4/5

Фотоприемное устройство на основе кремниевых *p*n-фотодиодов для регистрации импульсного лазерного излучения

В. К. Борисов, З. Н. Ефимова, А. В. Заславский, Е. А. Климанов,
П. А. Кузнецов, Л. Д. Сагинов, С. С. Хромов

Государственное унитарное предприятие «НПО "Орион"» — ГНЦ РФ, Москва, Россия

*Предложен модернизированный вариант многоканального фотоприемного устройства (ФПУ) на основе кремниевого *p*n-фотодиода, предназначенного для приема импульсного излучения с длиной волны $\lambda = 1,06$ мкм. Показаны основные преимущества применения в ФПУ новой специализированной микросхемы предварительного усилителя (ПУ) по сравнению с аналогом*. Представлены основные параметры разработанного ФПУ.*

* Борисов В. К., Демидов С. С. и др. Разработка высокочастотного дифференциального усилителя для применения в ФПУ на основе кремниевых *p*n-фотодиодов//Прикладная физика. 2002. № 1. С. 103—105.

Высокочастотные ФПУ на основе кремниевых *p-i-n*-фотодиодов обладают рядом особенностей, в связи с чем к схемам предварительной обработки сигнала предъявляются следующие основные требования:

высокое входное сопротивление ($I_{вх} \leq 10^{-10}$ А) и малая входная емкость ($C_{вх} \leq 4 \cdot 10^{-12}$ Ф);

низкий уровень ЭДС шума на входе ПУ ($E_{ш} \leq 9$ нВ/Гц^{1/2});

оптимальная ширина полосы рабочих частот при заданных усилении и динамическом диапазоне; наличие элементов регулировки выходного сигнала в зависимости от величины входного.

Анализ конструкции 8-элементного ФПУ, в котором используются одноканальные микросхемы ПУ, позволил сделать вывод о целесообразности разработки 2-канальной микросхемы. При этом решались две основные задачи:

снижение ЭДС шума усилителя по сравнению с одноканальным вариантом;

превращение микросхемы ПУ в функционально законченный узел с выполнением основных функций на кристалле и минимальным количеством внешних элементов (резисторы, конденсаторы).

Для решения первой задачи традиционный дифференциальный каскад на входе ПУ был заменен на каскад с одним *p*-канальным полевым транзистором (ПТ), рабочий режим которого задается схемой формирования напряжения смещения ($+U_{см}$), подаваемого на второй затвор (подложку) ПТ. В этом случае происходит снижение $E_{ш}$ в $2^{1/2}$ раза. Увеличение тока потребления входного ПТ в два раза при сохранении общего тока потребления микросхемы приводит к дополнительному снижению в $2^{1/4}$ раза.

Решение второй задачи обеспечивалось выполнением микросхемой следующих основных функций:

1. Усиление сигнала с заданным коэффициентом передачи.

2. Формирование верхней и нижней граничных частот.

3. Привязка выходной постоянной составляющей к нулевому уровню.

4. Введение цепи управления чувствительностью ФПУ с помощью внешнего сигнала.

Структурная схема 2-канального ПУ показана на рис. 1.

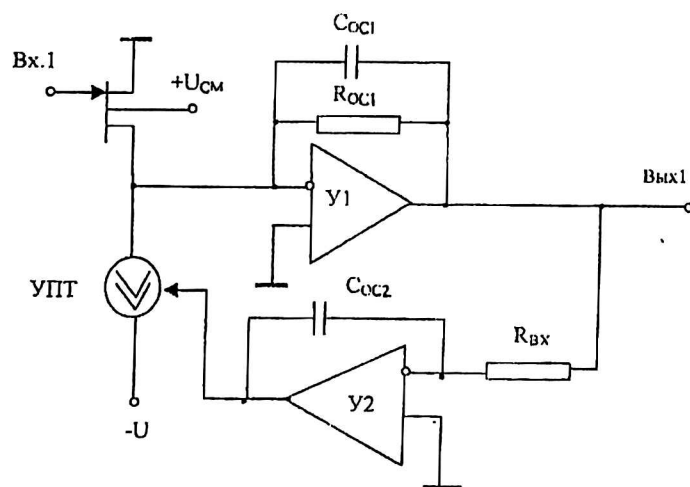
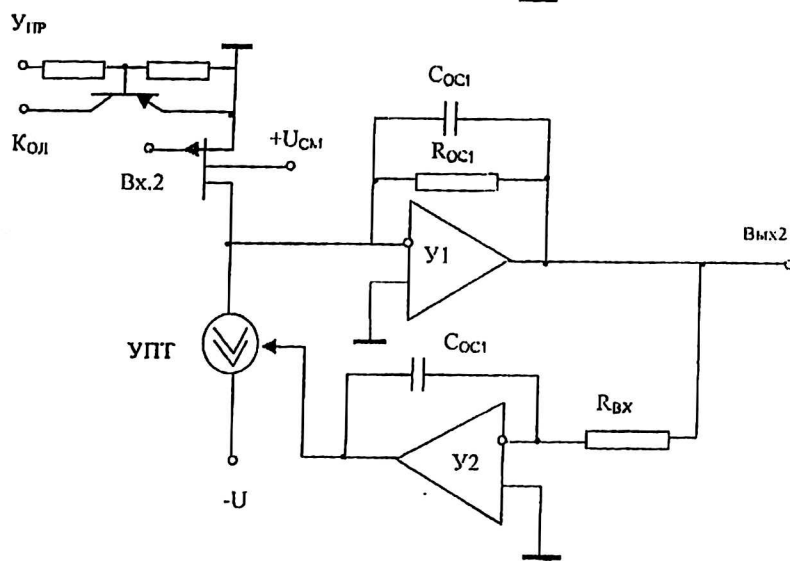


Рис. 1. Структурная схема 2-канального ПУ



Для выполнения функций 1, 2 и 3 в качестве нагрузки ПТ был выбран управляемый источник тока (УИТ). Управление осуществляется интегратором (усилитель У2), подсоединенным к выходу усилителя У1, работающего в режиме преобразователя тока в напряжение.

Таким образом, напряжение смещения выхода ПУ и его нижняя частота определяются интегратором на У2, коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот определяется цепью C_{OC1} , R_{OC1} и крутизной входного ПТ:

$$\begin{aligned}
 U_{см.вых} &= U_{см.у2}; \\
 K_U &= S_{вх.пт} Z_{OC1}; \\
 f &= S_{уит} R_{OC1} \frac{1}{2\pi R_{вх} C_{OC2}};
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$f_{н} = \frac{1}{2\pi R_{OC1} C_{OC1}},
 \tag{2}$$

где $S_{вх.пт}$, $S_{уит}$ — крутизна входного ПТ и УИТ, соответственно.

Для выполнения функции (2) в один из двух каналов микросхемы ПУ (соответствующий малым центральным площадкам *pin*-фотодиода) был введен ключ на биполярном *p-n-p*-транзисторе. Во втором канале этот ключ отсутствует.

Внешний вид кристалла и его размеры показаны на рис. 2, а (для сравнения на рис. 2, б показан одноканальный вариант). Схема подключения ПУ приведена на рис. 3.

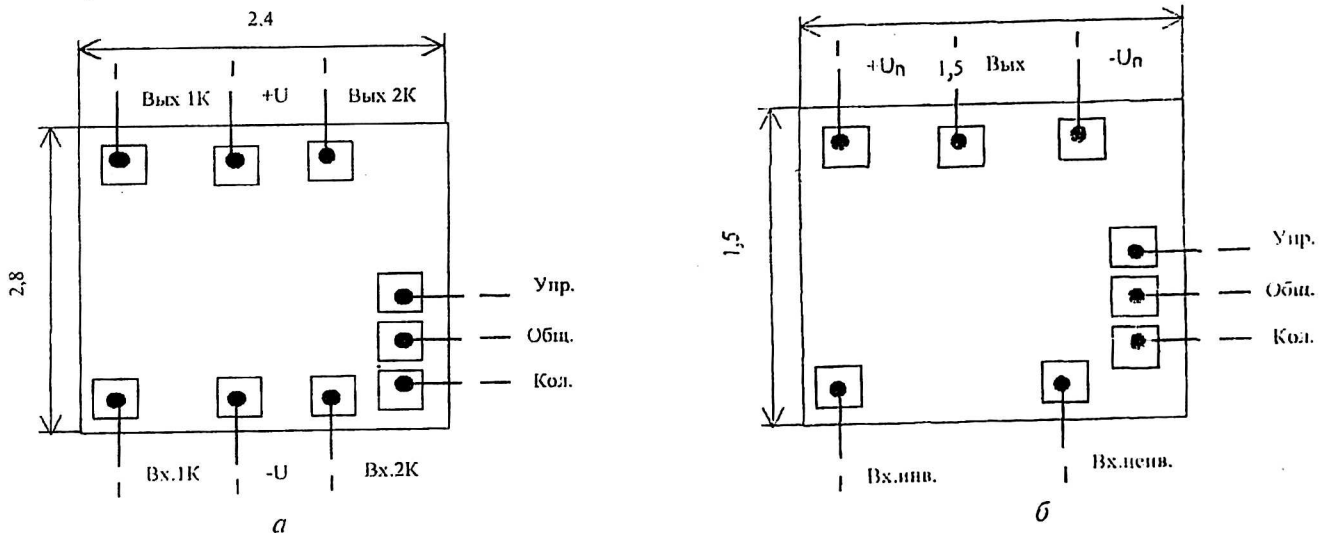


Рис. 2. Расположение выводов на кристалле 2-канальной микросхемы ПУ: а — БУТИ.431136.008; б — БУТИ.431136.007

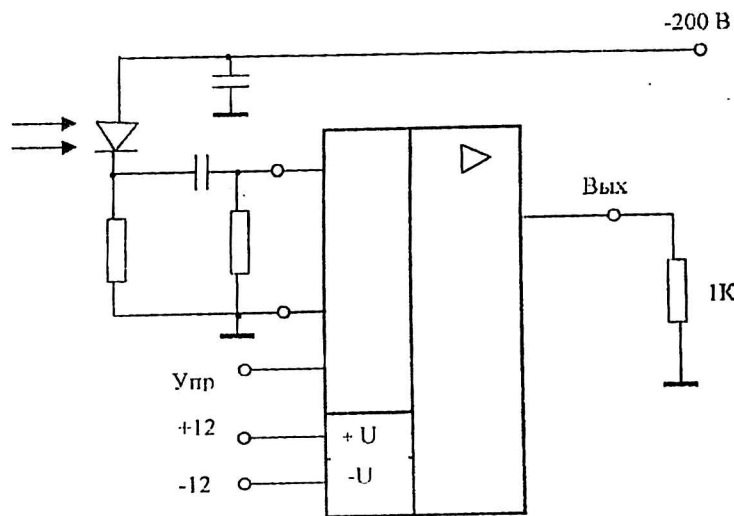


Рис. 3. Схема подключения ПУ к *pin*-фотодиоду (1-й канал)

Реализация предложенного варианта ПУ позволяет получить ряд преимуществ перед разработанным ранее одноканальным вариантом, а именно:

значительное снижение количества выводов микросхемы (9 вместо 16 выводов у двух одноканальных микросхем);

отсутствие внешней связи для формирования АЧХ ПУ, что снижает габариты микросборки и увеличивает ее надежность;

уменьшение E_{th} ПУ, приводящее к снижению пороговой мощности ФПУ (рис. 4, а);

лучшая стабильность вольтовой чувствительности ФПУ в рабочем диапазоне по сравнению с аналогом (см. рис. 4, б), что объясняется присутствием в выражении (1) температурозависимого множителя $S_{вх.пт}$, имеющего отрицательный знак дрейфа

$$\frac{\Delta S_{вх.пт}}{\Delta T} < 0.$$

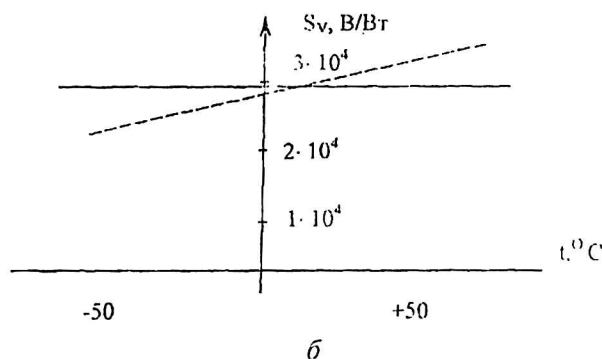
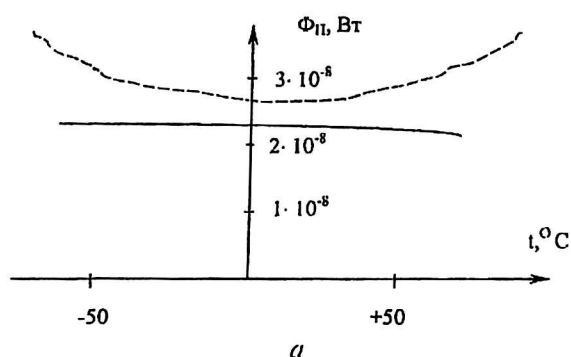


Рис. 4. Зависимость от температуры ($\lambda=1,06$ мкм):
 а — пороговой мощности ФПУ; б — вольтовой чувствительности ФПУ;
 — двухканальная микросхема ПУ;
 - - - - одноканальная микросхема ПУ

Авторы выражают благодарность П. М. Боровкову, Л. Н. Казарину, А. В. Потапову за проведение измерений параметров ФПУ и обсуждение полученных результатов.

Photodetective assemblies based on silicon pin-photodiodes for recording pulsed laser radiation

V. K. Borisov, Z. N. Yefimova, A. V. Zaslavsky, Ye. A. Klimanov,
 P. A. Kuznetsov, L. D. Saginov, S. S. Khromov
 ORION Research-and-Production Association, Moscow, Russia

A modernized variant of multi-channel PDA based on silicon pin-photodiode provided for recording pulsed laser radiation with $\lambda = 1.06 \mu\text{m}$ is offered. Main advantages of use of a new specialized microcircuit of a preliminary amplifier (PA) in PDA in comparison with the analog one are shown. Main parameters of developed PDA are given.