

УДК 621.3.049

## **ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СХЕМ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ФОТОРЕЗИСТОРОМ В СРАВНЕНИИ С ФОТОДИОДОМ**

**Зайцев Юрий Константинович**

*ассистент*

*Мичуринский государственный аграрный университет,*

*г. Мичуринск, Россия*

**Аннотация:** Исследовалась возможность работы усилителя датчика фототока в двух вариантах: в составе с фотодиодом ФД 263 и с фоторезистором ФС 2-2 (ФС 2-1) видимого излучения.

**Ключевые слова:** фотодиод, фоторезистор, малошумящий усилитель постоянного тока, интегральная спектральная чувствительность.

Развитие оптоэлектроники, как можно заметить, увязано с передачей информации по ИК-каналу, и преимущественное применение имеют фотодиоды в качестве фотодетекторов [1]. Тем не менее, появляются работы [2, 3] по применению фоторезисторов, показывающие, что это направление тоже развивается.

Накопленный большой практический материал по включению фотодиодов в усилительную схему, например «Усилитель сигналов фотодатчика» [4], а так же теория, изложенная в источнике [2] явились отправной точкой для изготовления усилителя датчика изотропного светового излучения на фоторезисторе СФ 2-2, аналогичной схеме рис.1[2] (усилитель сигнала фотодатчика).

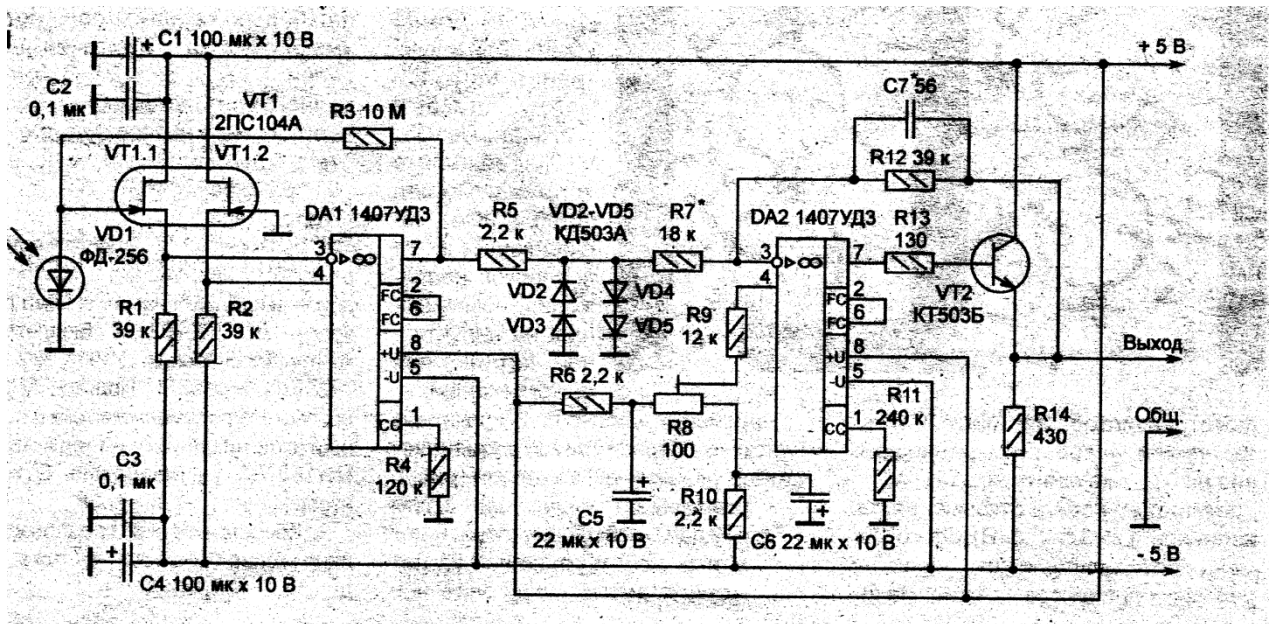


Рис. 1 Принципиальная схема усилителя сигналов фотодатчика на МШУ 1407УДЗ

Как следует из описания, отрицательная обратная связь входа (истокового повторителя дифференциальной схемы двух согласованных транзисторов VT1.1 и VT1.2 с малым током утечки затвора) и выхода ОУ DA1 через резистор R3 повышает входное сопротивление схемы до 10 МОм. При этом чувствительность к входному току  $I_{вх}=10\text{нА}$ .

Как указывается в [1] для контроля параметров фотодетекторов «...часто используются операционные усилители с полевыми транзисторами на входах благодаря очень низким входным токам. Существует несколько схем включения усилителей, выбор основывается по обеспечивающей линейности, величине смещения, шума и достигаемой полосе пропускания». Далее, «для получения линейной зависимости электрического сигнала от энергии падающего света необходим токовый выход, т.е. измеритель тока фотодиода должен иметь нулевой входной импеданс, чтобы не создавать на диоде падения напряжения. Нулевой импеданс получается за счет “виртуальной земли” операционного усилителя, поскольку высокий коэффициент усиления ОУ устраняет колебания напряжения на входе». Такая схема является преобразователем “ток-напряжение” рис.2. И что важно, ее входное сопротивление  $R_{вх}$  определяется из выражения:

$$R_{вх} = R_{оу} \frac{R_1}{A},$$

где  $A$ -коэффициент усиления ОУ с разомкнутой петлей обратной связи,  $R_{оу}$ -собственное входное сопротивление операционного усилителя. Автором статьи поясняется: «Несмотря на то, что сопротивление  $R_1$  очень большое, результирующее входное сопротивление остаётся незначительным по сравнению с выходным сопротивлением фотодиода». Применительно к нашей схеме на рис.1 имеем для DA1 К1407 УД1 (применялась взамен 1407УД3) коэффициент усиления  $A=5\ 000$ ,  $R_1=10\ \text{Мом}$ . Без учета входного сопротивления операционного усилителя получаем:  $R_{вх}=10\ 000\ 000/5\ 000=20\ 000\ \text{Ом}=20\ \text{кОм}$  - Чувствительность входного тока определяется током утечки затвора малощумящих полевых транзисторов. Это нам нужно, чтобы понять, почему собранный по схеме рис.1 усилитель, линейно усиливающий ток фотодиода, вдруг, после его замены на фоторезистор, “опрокидывался” из одного крайнего состояния в другое после воздействия освещения.

Небольшое отступление. Как известно из теории полупроводников, фотодиоды - это диоды с р-п-переходом, смещенным в обратном направлении внешним источником питания. При поглощении кванта света в р-п-переходе образуются носители разноименных зарядов,- так называемые пары электрон-дырка. Под действием внешнего электрического поля неосновные носители (дырки), возникшие в прилегающих к р-п-переходу областях, диффундируют к р-п-переходу и проходят через него. То есть на р-п-переходе идет разделение зарядов. Это вызывает обратный ток, который возрастает при освещении. А в базовой области происходит рекомбинация. Толщина базовой области (кристалла полупроводника) имеет толщину 20-30 мкм, которая и определяет время диффузии  $\tau_{д.}=50\ \text{нс}$ . В диффузионных фотодиодах можно понизить время пролета через базу до нескольких наносекунд. Относительно спектральной характеристики, - коротковолновая граница fotocувствительности фотодиода зависит от толщины базы, скорости поверхностной рекомбинации. Уменьшая эти величины, можно

существенно сдвигать коротковолновую границу фоточувствительности фотодиодов в сторону меньших длин волн. Максимум спектральной характеристики в диапазоне от 0,6 до 1 мкм смещают путем изменения технологии изготовления и конструкции. Спектральные характеристики чувствительности кремниевых фотодиодов даны в таблице 1 [5].

Таблица 1.

Фотодиод	Максимум спектральной чувствит., мкм	Рабочее напряжение. В	Темновой ток, мкА	Интегральная чувствительность мА/лм (мкА/лм)	Порог чувств. в единичной частотной полосе, Вт/√Гц	Постоянная времени, мкс
ФД-256	0,75-0,9	10	0,005	6(0,6 при 0,9)	$10^{-11}$	0,002
ФД-265А	0,75-0,9	4	0,1	$(7,5 \cdot 10^{-3})$	--	5

Фоторезисторы –целиком и полностью полупроводник, точнее слой поли- или монокристаллической пластинки полупроводника, нанесенного на диэлектрическую подложку (например сульфид кадмия). Физика работы фоторезистора связана с энергетическими уровнями: зона проводимости (1), примесная зона (2), запрещенная зона (3) и валентная зона (4) рис.3. Энергия кванта света по сравнению с шириной запрещенной зоны должна быть достаточной для переброса электрона из валентной зоны в зону проводимости. Этим объясняется, что каждый фоторезистор характеризуется пороговой длиной волны. У разных полупроводников ширина запрещенной зоны различается от десятых долей до 3 эВ. Поэтому максимум спектральной характеристики фоторезисторов может находиться в инфракрасной, видимой или ультрафиолетовой частях электромагнитного спектра и при малых длинах волн будет спадающая кривая. Помимо этого, они характеризуются постоянной времени и темновым сопротивлением.



Видимого излучения							
СФ2-1	15	500	1	15	40	90	0,65
СФ2-2	2	500	2	1	50	100	0,63
СФ2-16	10	300	3	3,3	50	50	0,53±0,04
Инфракрасного излучения							
СФ3-1	15	750	0,5	30	20	60	0,79
СФ3-11	2	20	--	5000	3	6	0,72
Ультрафиолетового излучения							
СФ2-18	100	500	--	10	10	10	0,3
СФ2-19	5	1000	--	0,25	10	10	0,3

То, что нам нужно,-это темновое сопротивление нашего прибора СФ2-1 (15 МОм) и СФ2-2 (1Мом). Для обеспечения согласования  $R_{вх} > R_T$  (темновое) проведем расчет сопротивления обратной связи:

$$R_1 = R_{вх} \times A / R_{Oy} = 15 \text{МОм} \cdot 5000 / 10 \text{ком} = 7500 \text{кОм} = 7,5 \text{ МОм} = 7,5 \cdot 10^6 \text{ Ом.}$$

Для СФ2-2 с  $R_T = 1 \text{Мом}$  требуемые номиналы для  $R_1 = 1 \text{МОм} \cdot 5000 / R_{Oy} = 5 \text{Гом} / R_{Oy}$ .

Особенность фоторезистора [16]- многократное уменьшение сопротивления при попадании луча света на рабочую поверхность, как отмечено в работе [8] «могут быть сильными, напоминая дребезг контактов...Так, если темновое сопротивление СФ3-4 составляет порядка 5 МОм, то при освещенности оно падает до единиц килоом». Но основная причина нестабильности в инверсной схеме включения операционного усилителя последующего каскада усиления (рис.1) и общей ООС . Измерения, выполненные на действующей схеме, показали, что на входах 2 и 3 DA1 напряжение, снимаемое с дифференциального каскада на VT1.1-VT1.2 имеет положительную полярность, а на выходе разность  $U_{вх1} - U_{вх2}$  получается отрицательной и через сопротивление обратной связи R3 действует на фоторезистор [17]. Затвор VT1 получается, управляется минусовым напряжением, при котором n-канал закрывается и ток истока уменьшается и уменьшается напряжение на затворе с «-150» мВ до «-50» мВ при

максимальном освещении. То есть, идет искусственное уменьшение чувствительности, работа выходной характеристики  $U_3 - I_c$  (напряжение затвора- ток стока) в отрицательной области и, при отсутствии освещенности, на выходе максимальный разностный сигнал уводит усилитель в минус напряжения питания.

Таким образом, заявление автора этой работы: «может быть использован в составе различных фотоприемных устройств...а так же применен для совместной работы с другими типами датчиков» [2], относится именно к фотодиодам. Анализ других схем [3, 9, 10], где требуется сохранение постоянной составляющей сигнала, она поступает на прямой вход интегрального усилителя, а инверсный служит управлением смещения. Хотя в подавлении синфазного сигнала инверсное включение ОУ лучше. И в отношении смещения нуля ( $U_{см}$ ) в инвертирующем включении входной сигнал оказывает гораздо меньшее влияние на  $U_{см}$ , чем в неинвертирующем [11, 18, 20].

Таким образом, можно сделать вывод по схеме для фоторезистора:

1. Фотоприемник включается в цепь питания через ограничительный резистор и переменный высокоомный резистор 1,2 МОм регулировки чувствительности и устранения засветки;

2. Следующий каскад-с высокоомным входом например с ОУ по схеме повторителя с ПТ на входе или истоковый повторитель для преобразования ток-напряжение;

3. Третья ступень –каскад по опубликованной схеме [12] на счетверенном ОУ TLC27L4IN усилением 400 с переводом её на двуполярное питание для исключения развязывающих конденсаторов на входе по примеру [12, 19, 20] рис 2.

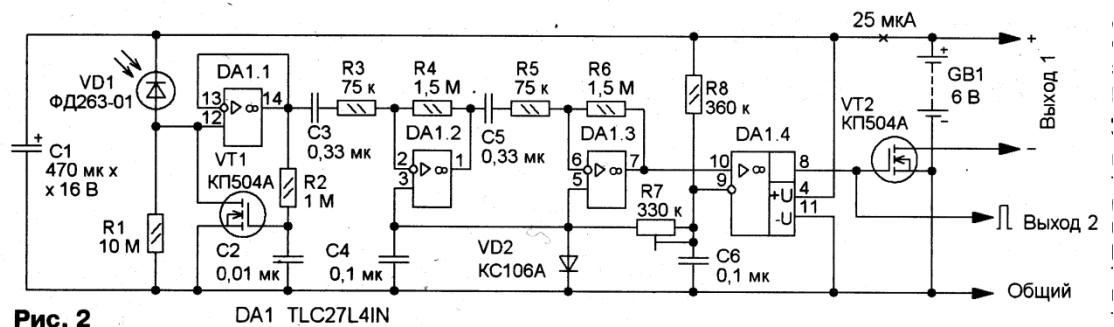


Рис. 2 DA1 TLC27L4IN

Рис.2 Принципиальная схема усилителя сигнала фотодатчика [12].

### Список литературы

1. Борисевич К. ОУ для контроля фотодиодов.—Радиомир, 2008, №11, с. 21-23.
2. Ильин О. Усилитель сигналов фотодатчика. —Радиомир, 2013, № 9, с.18-21.
3. Ильин О. Усилитель сигналов фотодатчика. —Радиомир, 2013, №11, с.33-35.
4. Ильин О. Малошумящий предусилитель для низкоомных фоторезисторных датчиков.— Радио, 2006, №7, с.37, 38.
5. Кремниевые фотодиоды. Справочный листок. Радио 1998, №2, с.65.
6. Фоторезисторы. Справочный листок. —Радио, 1987, №1, с.59.
7. Волков Е. Г. и др. Практические схемы широкополосных фотоприемников.— Приборы и техника эксперимента, 1990, №1, с. 174-176.
8. Кашкаров А. «Световой» ПДУ. Радиомир, 2007, №4, с.43, 44.
9. Ильин О. Сигнализатор возгорания. —Радиомир, 2013, №7, с.20-22.
10. Федоров И. Избирательный усилитель сигнала датчика вибраций.— Радио, 2008, № 8, с. 28, 29.
11. Быстродействующие усилители с малым  $U_{см}$ . (по материалам иностранной прессы В. Новиков)—Радиомир, 2007, №4, с.11.
12. Виноградов Ю. Экономичный ИК-канал в устройствах охранной сигнализации.—Радио, 2008, №8, с.36,37.



13 Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых ИС.–М.:Советское радио,1980.

14 Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств Г.И.Волович. 2-издание Москва. Издательский дом «Додэка», 2007 г.

15. Гурьянов Д.В. Исследование эффективности обеззараживающего воздействия ультрафиолетового облучения на навоз и помет / Гурьянов Д.В., Бацких В.В. // В сборнике: Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения) Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. отв. ред. Григорьева Л.В. 2019. С. 69-71

16. Гурьянов Д.В. Физико-механические свойства помета при содержании кур в клетках / Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Юхин И.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2019. № 2 (42). С. 107-111.

17. Обеззараживание куриного помета ультразвуковым облучением / Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Папихин Р.В., Маслова М.В. // Аграрный научный журнал. 2019. № 2. С. 78-81.

18. Гурьянов Д.В. Поточный способ обеззараживания электрическим полем и переработки помета в органическое удобрение / Гурьянов Д.В., Хмыров В.Д., Гурьянова Ю.В. // Аграрный научный журнал. 2019. № 4. С. 75-78.

19. Гурьянов Д.В. Измерение электропроводности помета цилиндрическими параллельными электродами / Гурьянов Д.В. // Наука и Образование. 2019. № 4. С. 289.

20. Гордеев А.С. Имитационная модель позиционирования рабочего органа относительно корневой системы плодовых растений / Гордеев А.С., Мишин Б.С. // Наука в центральной России. 2019. № 4 (40). С. 26-33.

**THE PECULIARITYS WORKS SCHEMES OF FOTOSENSITIVE  
ELECTRONIC DETECTORS WITH PHOTOREZISTOR'S AS  
COMPARED WITH PHOTODIODE AT THE MEASURINGS  
LIGHT'S RADIATION WITH SPECTRUM AT LARGE**

**Zaijsev Yuri Konstantiovich**

*assistant*

*Michurinsk state Agrarian University*

*Michurinsk, Russia*

**Summary:** the analyses of possibility the work of amplifier of photosensitive detector at the two variants: at the composition either photodiode “ФД 263” or photorezistor “ФС2-2” of visible light four fix position the soon on the firmament at the sky.

**Keywords:** phototube, photodiode, low noise photocurrent amplifier, operational amplifier with highest input impedance.