

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ФОТОПРИЕМНИКА С ПЕРЕМЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПИТАНИЯ

© 2014 С. Г. Новиков, Н. Т. Гурин, В. А. Родионов, А.В. Беринцев, А. А. Штанько

Ульяновский государственный университет

Поступила в редакцию 06.11.2013

В работе исследованы выходные характеристики распределенного координатно-чувствительного фотоприемника (КЧФ) дуговой конфигурации с переменным синусоидальным напряжением питания в различных схемах включения. Отмечены преимущества и недостатки рассмотренных схем.

Ключевые слова: фотоприемник, источник переменного напряжения питания, координатная чувствительность.

В системах контроля перемещения, позиционирования, определения линейных и угловых координат широко используются твердотельные фотоэлектрические преобразователи координат в цифровые или аналоговые сигналы [1]. Данные преобразователи могут представлять собой как дискретные координатно-чувствительные приборы, например, ПЗС матрицы, интегральные линейки и матрицы фотодиодов и фототранзисторов, так и аналоговые приборы с протяжённой фоточувствительной поверхностью [2]. При этом аналоговые фотоприемники обладают высокой чувствительностью, разрешающей способностью и высоким быстродействием, а также необходимыми функциями преобразования координат в токи или напряжения [3] и высоким уровнем выходного сигнала [4]. Однако такие фотоприемники и фотопреобразователи предназначены для работы в цепях постоянного тока и напряжения. При этом использование координатно-чувствительных фотоприемников в системах и устройствах, работающих на переменном токе, требует наличия вторичных источников питания и преобразователей, имеющих значительные массо-габаритные показатели. Для решения задачи оптимизации и снижения массо-габаритных показателей аппаратуры, работающей на переменном токе и управляемой внешними оптическими сфокусированными

пучками, необходима разработка аналоговых фотоэлектрических преобразователей, работающих при переменном напряжении питания.

В данной работе рассмотрен полупроводниковый координатно-чувствительный фотоприемник (КЧФ), работающий на переменном напряжении питания, и три схемы его включения, позволяющие получить различные режимы преобразования координат и углов в аналоговый электрический сигнал.

Для получения КЧФ, работающего при переменном напряжении питания, была изготовлена протяжённая дуговая трехслойная р-р-р структура на основе кремния п-типа, с сектором в 76 град., шириной 1,5 мм, радиусом дуги 14 мм и толщиной 286 мкм. Толщина слоёв р-типа составляет 53 мкм. Слои получены путём двухсторонней диффузии бора в полупроводник п-типа проводимости с поверхностным сопротивлением 30 Ом/□. Удельное сопротивление р-областей составляет 400 Ом*см [5].

На верхней фоточувствительной поверхности полупроводникового фотоприемника по краям дуги, размещены два металлических электрода (\mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2), полученные с помощью контактной сварки золотой проволоки с кремнием, а на противоположной стороне кристалла — третий протяжённый металлический электрод - коллектор, полученный с помощью никелирования. Коллектор припаян к коваровому компенсатору.

Дуговой фотоприемник смонтирован в светонепроницаемом корпусе с поворотным механизмом. При этом сам фотоприемник неподвижен, а над фоточувствительной поверхностью находится ИК-диод АЛ107, перемещающийся по линии дуги фотоприемника. Диаметр светового пучка на поверхности КЧФ составлял ~3 мм [5].

Для воспроизводимости и точности углового позиционирования светового зонда относительно поверхности фотоприемника использована установка позиционирования на базе шагового

Новиков Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры радиофизики и электроники.

E-mail: novikovsg@ulsu.ru

Гурин Нектарий Тимофеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и электроники, первый проректор, проректор по учебной работе. E-mail: gurinnt@sv.ulsu.ru

Родионов Вячеслав Александрович, аспирант кафедры радиофизики и электроники. E-mail: slo_ldm@mail.ru

Беринцев Алексей Валентинович, научный сотрудник НИТИ УлГУ. E-mail: berints@mail.ru

Штанько Александр Алексеевич, научный сотрудник НИТИ УлГУ. E-mail: novikovsg@ulsu.ru

двигателя, обеспечивающая точность установки угла 0,8 градусов.

Для оценки равномерности поверхностной концентрации эмиттера полученного таким образом фотоприемника КЧФ исследовался в режиме фотопотенциометра при постоянном напряжении питания (рис. 1). Для этого между эмиттерными контактами верхнего протяжённого фоточувствительного слоя было приложено постоянное напряжение питания 10 В, а выходное напряжение измерялось на коллекторе фотоприемника относительно одного из эмиттерных контактов. График зависимости выходного напряжения от угла положения светового зонда относительно поверхности КЧФ при двух значениях тока ИК-диода приведен на рис. 2.

Линейный участок выходной характеристики наблюдается в диапазоне от 8 до 60 градусов при токе ИК-диода 30мА и от 4 до 72 градусов при токе ИК-диода 90мА. Отклонение от линейности на краях диапазона углов связано с влиянием контактов и нелинейностью удельного сопротивления по длине дуги фотоприемника.

Далее разработанный КЧФ был исследован в режиме фотопотенциометра при переменном на-

пряжении питания. Для этого между эмиттерными контактами верхнего протяжённого фоточувствительного слоя прикладывали однополярное синусоидальное напряжение с амплитудой 1 В, а амплитудное значение выходного напряжения измеряли на коллекторе фотоприемника относительно одного из эмиттерных контактов (\mathcal{E}_1) (рис. 3).

На рис.4 приведены полученные выходные зависимости. Представленные зависимости линейны в диапазоне от 4 до 64 градусов и интервале от 110 до 450 мВ при частоте 1 МГц. При частоте 3 МГц линейность наблюдается в диапазоне от 8 до 72 градусов и интервале от 120 до 430 мВ. В данном случае значение выходного напряжения имеет зависимость от частоты питающего напряжения. При этом с увеличением частоты снижается уровень выходного сигнала, но улучшается линейность зависимостей.

Кроме исследованных схем включения КЧФ можно рассматривать также как длинную линию, в которой один из эмиттеров и коллектор являются входом, а другой эмиттер и коллектор являются выходом. Тогда при подаче переменного сигнала на вход можно наблюдать изменение сигнала на выходе в зависимости от положения светового зонда относительно поверхности фотоприемника.

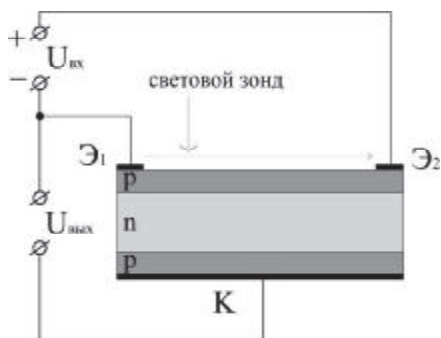


Рис. 1. Схема включения КЧФ в режиме фотопотенциометра при постоянном напряжении питания

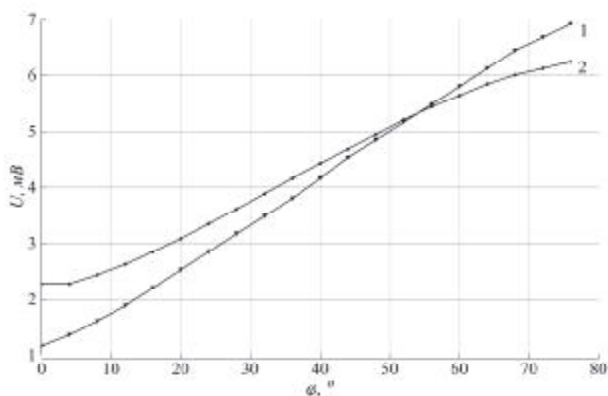


Рис. 2. Зависимость выходного напряжения, в режиме фотопотенциометра при постоянном напряжении питания, от положения светового зонда на фоточувствительной поверхности КЧФ для двух значений тока ИК-диода: 1 – 30мА; 2 – 90мА

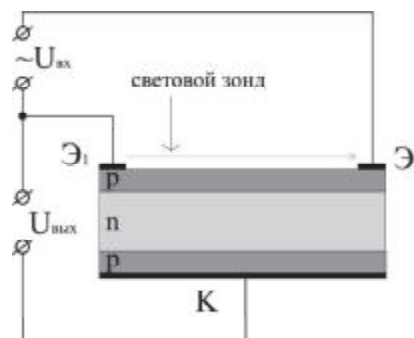


Рис. 3. Схема включения КЧФ в режиме фотопотенциометра при переменном напряжении питания

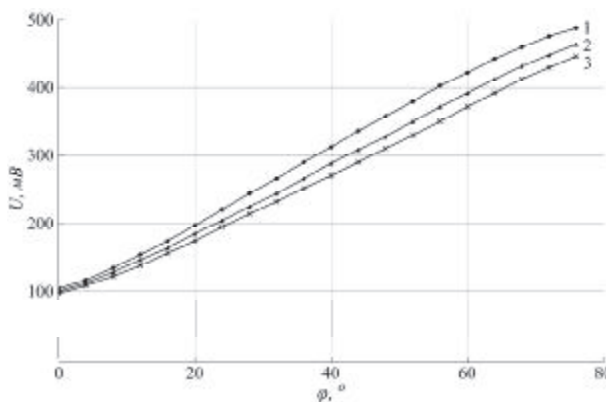


Рис. 4. Зависимость выходного амплитудного напряжения, в режиме фотопотенциометра при переменном напряжении питания от положения светового зонда на фоточувствительной протяжённой поверхности КЧФ при частотах: 1 – 1МГц; 2 – 2МГц; 3 – 3МГц

Для исследования КЧФ в режиме длинной линии на контакт одного из эмиттеров относительно коллектора было подано однополярное синусоидальное напряжение амплитудой 1 В, а на другом эмиттерном контакте также относительно коллектора была исследована зависимость амплитуды выходного напряжения от углового положения светового зонда (рис. 5).

Как видно из графиков (рис.6), зависимости линейны в определённых интервалах углов и зависят от частоты входного сигнала. С увеличением частоты снижается амплитуда выходного сигнала при практически неизменной форме зависимости.

Следующей схемой включения КЧФ, исследованной в работе, является схема получения дифференциального выходного напряжения, в которой между коллекторным контактом фотоприемника и "землей" было подано однополярное синусоидальное напряжение (рис. 7) амплитудой 1 В. Была исследована зависимость разности амплитуд выходных напряжений на эмиттерных контактах относительно "земли" от углового положения светового зонда. Для получения разности амплитуд выходных напряжений на эмиттерных контактах был использован дифференциальный усилитель с выходной функцией $U = U_{\text{вых}2} - U_{\text{вых}1}$. При этом выходные эмит-

терные контакты нагружены относительно "земли" сопротивлениями 16 кОм. Ток потребления ИК-диода был равен 30мА.

Графики зависимости выходного дифференциального амплитудного напряжения от положения светового зонда на фоточувствительной поверхности КЧФ при частотах 1МГц, 2МГц и 3МГц приведены на рис. 8.

С учётом погрешности измерений зависимости близки к линейным на всей фоточувствительной поверхности. Наблюдается слабое изменение наклона зависимости разности амплитуд выходных напряжений от частоты входного напряжения с точкой пересечения расположенной около 40град., что близко к геометрическому центру фоточувствительной поверхности. При этом интервал амплитуд выходного дифференциального напряжения составляет от -250мВ до 150мВ.

Также возможна схема включения КЧФ, в которой реализуется режим измерения сдвига фаз выходных сигналов. Заменяв резистивную выходную нагрузку схемы (рис. 7) на ёмкостную нагрузку, можно наблюдать на некоторых частотах переменного питающего напряжения заметный фазовый сдвиг между выходными напряжениями. Номинал используемых нагрузочных ёмкостей составлял 1000 пФ.

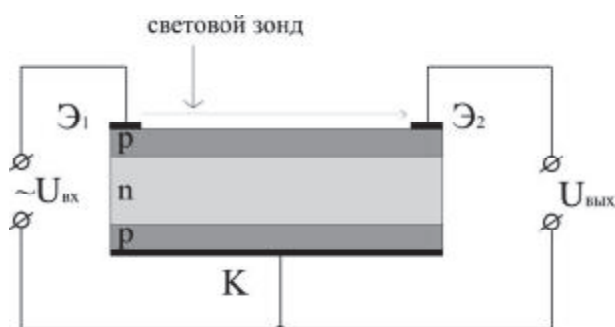


Рис. 5. Схема включения КЧФ в режиме длинной линии

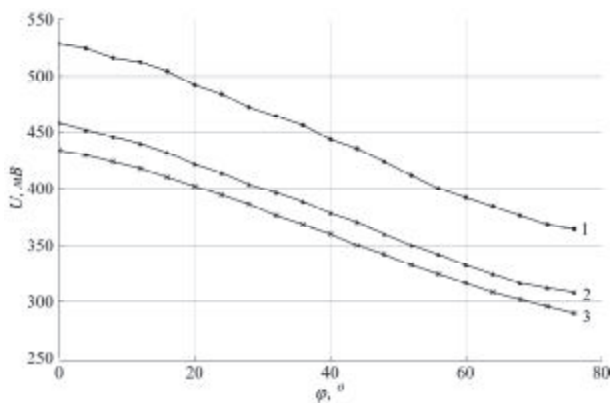


Рис. 6. Зависимость амплитуды выходного напряжения, в режиме длинной линии, от положения светового зонда на поверхности КЧФ при частотах: 1 – 1МГц; 2 – 2МГц; 3 – 3МГц. Ток ИК-диода 30мА

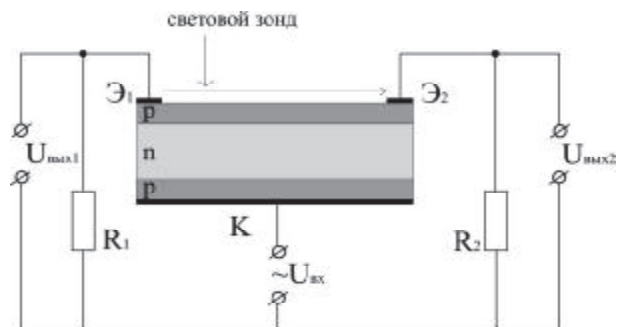


Рис. 7. Схема включения КЧФ в режиме дифференциального выходного напряжения

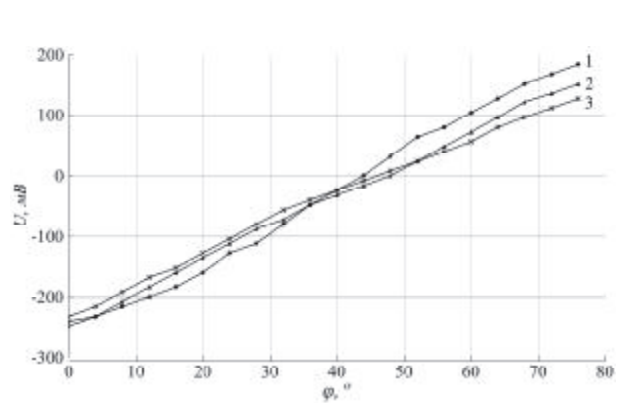


Рис. 8. Зависимость разности амплитуд выходных напряжений от положения светового зонда на поверхности КЧФ при частотах: 1 – 1МГц; 2 – 2МГц; 3 – 3МГц

На рис. 9 приведена зависимость измеренного сдвига фаз между выходными напряжениями в указанной схеме от положения светового зонда на поверхности КЧФ. Данная зависимость в пределах погрешности измерений близка к линейной практически во всем диапазоне углов.

Таким образом, в результате исследований четырёх различных схем включения КЧФ установлено следующее:

1) При схемном включении КЧФ в режиме фотопотенциометра при переменном напряжении питания наблюдается линейность зависимости выходного напряжения от углового положения светового зонда, которая улучшается с увеличением частоты питающего напряжения. С увеличением частоты уменьшается амплитуда выходного сигнала, что приводит к изменению наклона выходной характеристики.

2) Схема включения КЧФ в режиме длинной линии более чувствительна к изменению частоты питающего напряжения, что подтверждает график зависимости амплитуды выходного напряжения на рис. 6. С повышением частоты уменьшается амплитуда выходного напряжения.

3) При схемном включении КЧФ в режиме дифференциального выходного напряжения наблюдается слабое изменение наклона зависимости разности амплитуд выходных напряжений от частоты входного напряжения. Вид зависимости близок к линейной на всем протяжении фоточувствительной поверхности.

4) В режиме исследования фазового сдвига выходных сигналов при емкостной нагрузке от положения светового зонда на поверхности КЧФ при частоте 30 кГц, получена близкая к линейной зависимость практически во всем диапазоне углов.

Данные схемы включения КЧФ при переменном напряжении питания могут использоваться в системах контроля перемещений, устройствах защитного отключения цепей переменного тока и устройствах управления двигателями переменного тока. Применение таких координатно-чув-

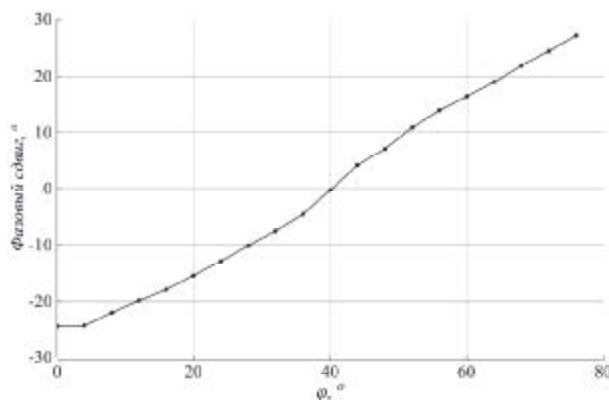


Рис. 9. Зависимость сдвига фазы выходных сигналов от положения светового зонда на поверхности КЧФ при частоте 30кГц

ствительных фотоприемников обеспечивает уменьшение массо-габаритных показателей за счёт отсутствия узлов промежуточного преобразования энергии питания фотоприемника.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. 196 с.
2. Двухкоординатный кремниевый позиционно-чувствительный фотоприемник / Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, И.В. Корнеев, А.А. Штанько, В.А. Родионов, А.С. Пронин // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2012) : сб. ст. II междунар. науч.-техн. конф. Ч. 3, Изд-во ПВГУС, 2012. С. 94-98
3. Фотопотенциометры и функциональные фоторезисторы / С.В. Свечников, А.К. Словж, Э.Б. Каганович. М. : Сов.радио, 1978. 184 с.
4. Активный координатно-чувствительный фотоприемник с комбинированным фотоэффектом / Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, В.А. Родионов, А.В. Беринцев, А.А. Штанько // Нано- и микросистемная техника, 2013. № 5. С. 42-44
5. Фотоэлектрический преобразователь угловых величин / Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков, И.В. Корнеев, А.А. Штанько, В.А. Родионов // Датчики и системы, 2011. №11. С. 54-58.
6. Wellmark J.T. A new semiconductor photocell using lateral photoeffect // Proc.IRE. 1957. 45. P.474-484.

STUDY OF DISTRIBUTED COORDINATE-SENSITIVE PHOTODETECTOR WITH AC SUPPLY VOLTAGE

© 2014 S.G. Novikov, N.T. Gurin, V.A. Rodionov, A.V. Berintsev, A.A. Shtan'ko

Ulyanovsk State University

In the present work we study output characteristics of a distributed coordinate-sensitive photodetector (CFP) arc configuration with alternating current voltage in various schemes inclusions. The principle advantages and flaws of the considered scheme have been specified.

Keywords: photodetector, AN voltage, coordinate-sensitivity.

Sergey Novikov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Radiophysics and Electronics Department.

E-mail: novikovsg@ulsu.ru

Nektary Gurin, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head at the Radiophysics and Electronics Department, Vice-Rector. E-mail: gurinnt@sv.ulsu.ru

Vyacheslav Rodionov, Graduate Student at the Radiophysics

and Electronics Department. E-mail: slv_ldm@mail.ru

Alexey Berintsev, Research Fellow at the Research Institute of Technology, Ulyanovsk State University.

E-mail: berints@mail.ru

Aleksander Shtan'ko, Research Fellow at the Research Institute of Technology, Ulyanovsk State University.

E-mail: novikovsg@ulsu.ru