

УДК 621.396.6

Стенд для измерения параметров фоточувствительных приборов с зарядовой связью

*Кадрилеев Н.М., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Леонидов В.В., ассистент
кафедра «Проектирование и технология производства электронной аппаратуры»
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
info@iu4.bmstu.ru*

Введение

Работа посвящена вопросам проектирования стенда для измерения параметров фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС). Выбор темы работы обоснован необходимостью детального анализа статических и динамических параметров изготавливаемых линейных ФПЗС. Объектом исследования являются линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью [1].

Актуальность работы определяется тем, что при производстве ФПЗС их параметры имеют широкий разброс. Поэтому каждый ФПЗС имеет свой режим работы. Это обуславливает актуальность задачи разработки специализированных измерительных стендов, обеспечивающих контроль динамических и статических параметров разрабатываемых и серийно выпускаемых приборов. Аналогами данного стенда могут служить универсальный стенд для контроля ПЗС-коммутаторов, представленный на конференции в 1992 году [2], а также аппаратно-программный комплекс для экспериментальных исследований приборов с зарядовой связью, представленный на конференции в 2010 году [3].

Для работы ФПЗС необходимо подать сигналы, соответствующие тактовой диаграмме и карте режимов работы прибора [1]. Тактовая диаграмма задается программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), согласно карте режимов задаются различные уровни тактовых сигналов, что реализуется с помощью стабилизаторов, двухуровневых драйверов и цифрового изолятора. Универсальность стенда для измерения параметров ФПЗС заключается в возможности регулировки уровней сигналов.

Основной проблемой ФПЗС является то, что каждый прибор имеет свой режим работы, который необходимо определить. Для этого уже были созданы некоторые стенды. Так, в работе Певцова Е.Ф., Гусева М.Е., Зиниса К.А., И.В. Хмельницкого, Чернокожина В.В. [3] был разработан стенд, регулирующий параметры матричных ФПЗС, но для линейных ФПЗС он был непригоден. В рамках данной работы разрабатывается стенд под конкретную модель ФПЗС - ФПЗС11Л. Благодаря этому, он будет прост в управлении.

Целью работы является разработка стенда для измерения параметров линейных ФПЗС, который обеспечивает регулировку и измерение как статических, так и динамических параметров изготавливаемых ФПЗС.

Для достижения заявленных целей в работе предусматривается решение следующего комплекса задач:

- разработка структурной схемы стенда для измерения параметров ФПЗС;
- разработка функциональной схемы устройства;
- разработка электрической принципиальной схемы устройства;
- конструкторское проектирование стенда для измерения параметров ФПЗС;
- разработка программного обеспечения стенда для измерения параметров ФПЗС.

Результатом работы является полностью собранный и работающий стенд для измерения параметров ФПЗС, который позволяет быстро измерять как статические, так и динамические параметры изготавливаемых линейных ФПЗС. Тем самым ускоряется процесс подбора режимов работы каждого прибора.

1 Анализ архитектур фоточувствительных приборов с зарядовой связью

ФПЗС состоит из поликремния, отделенного от кремниевой подложки, у которой при подаче напряжения через поликремневые затворы изменяются электрические потенциалы вблизи электродов. До экспонирования подачей определённой комбинации напряжений на электроды происходит сброс всех ранее образовавшихся зарядов и приведение всех элементов в идентичное состояние. Далее комбинация напряжений на электродах создаёт потенциальную яму, в которой могут накапливаться электроны, образовавшиеся в данном пикселе ФПЗС в результате воздействия света при экспонировании. Чем интенсивнее световой поток во время экспозиции, тем больше накапливается электронов в потенциальной яме, соответственно тем выше итоговый заряд данного пикселя. Максимальный заряд, который может быть накоплен в одном пикселе:

$$Q_{\text{max}} \approx S_{\text{э}} \cdot C_{\text{уд}} \cdot U_{\text{xp}} [4],$$

где $S_{\text{э}}$ - площадь пикселя, $C_{\text{уд}}$ - удельная емкость структуры металл-диоксид-кремний, U_{xp} - потенциал, приложенный к электроду.

После экспонирования последовательные изменения напряжения на электродах формируют в каждом пикселе и рядом с ним распределение потенциалов, которое приводит к перетеканию заряда в заданном направлении к выходным элементам ФПЗС. Для того, чтобы полностью перенести заряд из одной потенциальной ямы в другую необходимо некоторое время, и при высоких тактовых частотах этого времени может не хватить. Величина, показывающая какая часть зарядового пакета была перенесена в следующий элемент ПЗС, называется эффективностью переноса. Эффективность переноса – отношение заряда, успевшего за период тактирования T перетечь под «принимающий» электрод, к величине полного заряда, находившегося под «отдающим» электродом в начале переноса:

$$\eta = 1 - \frac{Q(T)}{Q} [4].$$

Линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью ФПЗС11Л, А-1228 и ФПЗС12Л представляют собой однострочные твердотельные датчики изображения на 1024, 2048 и 4096 элементов соответственно. ЛФПЗС разработаны для различных сканирующих систем, обеспечивающих факсимильную передачу, распознавание оптических образов и т.п., которые требуют высоких разрешающей способности, чувствительности и скорости вывода данных. Эти фотоприемники широко используются при высокоскоростной обработке документов, сортировке почты, измерения линейных размеров различных видов продукции, определении положения объектов, спектроскопии и других промышленных и научных применениях. Приборы обладают высокой чувствительностью, расширенным спектральным диапазоном в синей области и пониженным уровнем темнового сигнала. Фотоэлементы размером 13 мкм × 13 мкм расположены без зазора с шагом 13 мкм. Приборы изготовлены с использованием изопланарной ПЗС-технологии с объёмным n-каналом "МикроПульс". На рис. 1 приведена классификация изготавливаемых на ОАО «НПП «Пульсар» ФПЗС.



Рис. 1. Классификация изготавливаемых на ОАО «НПП «Пульсар» ФПЗС

Как видно из рис. 1, на предприятии изготавливаются как линейные, так и матричные ФПЗС различных серий.

Особенности ФПЗС11Л:

- квадратный фотозаэлемент со 100% фактором заполнения;
- высокое быстродействие: скорость вывода данных до 20 МГц;
- расширенный спектральный диапазон: 350-1100 нм;
- низкие управляющие импульсы – 5 В;
- высокая интегральная чувствительность;
- низкий темновой сигнал.

Функциональная схема работы ЛФПЗС представлена на рис. 2.

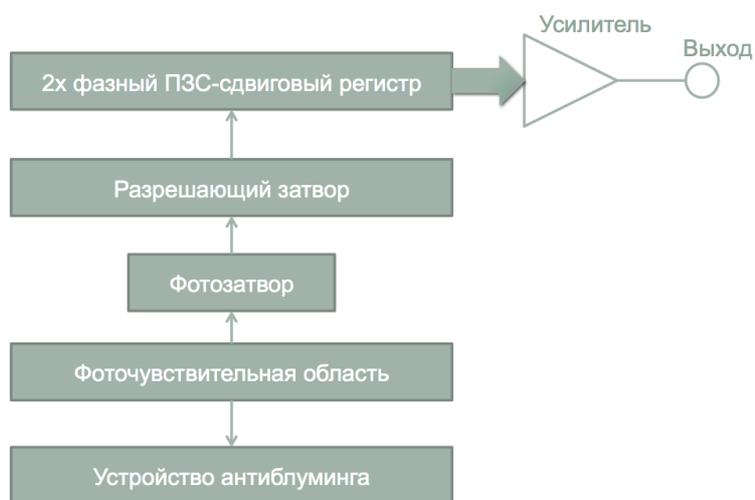


Рис. 2. Функциональная схема работы ЛФПЗС

Импульсные сигналы, поступающие на ЛФПЗС: Ф1Р, Ф2Р (фазы регистров), ЗР (затвор разрешающий), ЗР (затвор восстанавливающего транзистора), ЗФ (фотозатвор).

Постоянные сигналы: С (сток общий), СВ (сток восстанавливающего транзистора), Д_{вх} (диод входной), З_{вых} (затвор выходной), З_{вх1} (затвор входной первый), З_{вх2} (затвор входной второй), ЗА (затвор антиблуминга), И (исток), П (подложка).

Стенд позволяет регулировать все эти сигналы.

2 Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Для регулирования динамических и статических сигналов используются разные методики. Статические сигналы будем регулировать простыми делителями напряжения. Для динамических сигналов нужны более сложные схемы регулировок. Изменять верхний уровень динамических сигналов будут драйвера, напряжения питания которых регулируется на стенде, тем самым будет происходить и регулировка величины усиления драйверов.

Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС показана на рис. 3

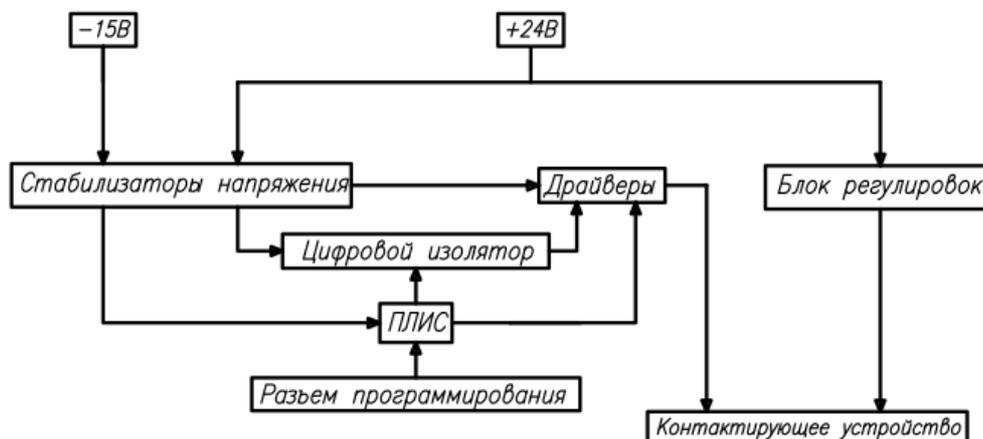


Рис. 3. Структурная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Для формирования на выходе импульсных сигналов используется ПЛИС. Питание ПЛИС, драйверов и цифрового изолятора осуществляют стабилизаторы напряжения, которые в свою очередь питаются от входного напряжения +24 В и -15 В. Драйверы позволяют регулировать верхний уровень импульсных сигналов поступающих с ПЛИС, а цифровой изолятор отвечает за регулировку нижнего уровня одного из импульсных сигналов. Регулировка осуществляется подачей различного уровня напряжения питания

со стабилизаторов на драйверы и цифровой изолятор. Выходные сигналы постоянного уровня задаются блоком регулировок.

Для реализации данной структурной схемы необходимо использовать определенные функциональные блоки. Функциональная схема стенда для измерения параметров ФПЗС представлена на рис. 4.

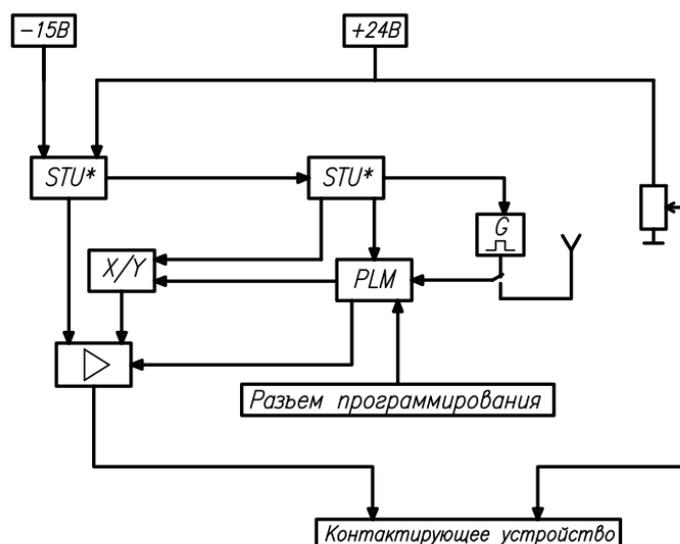


Рис. 4. Функциональная схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Стабилизаторы напряжения на функциональной схеме разделены на два блока STU*. В первом блоке осуществляется задание напряжений питания драйверов и на одном из стабилизаторов устанавливается напряжение равное 7 В, которое используется для питания трех микросхем, включенных во второй блок STU*, две из которых питают ПЛИС, кварцевый генератор и входную часть изолятора, а третья используется для формирования уровня выходного напряжения логического изолятора. В стенде предусмотрена возможность выбора источника тактового сигнала: кварцевый генератор, либо внешний источник тактового сигнала, подаваемого через разъем, расположенный на плате стенда. Для задания уровней выходных сигналов постоянного напряжения используются потенциометры.

Схема электрическая принципиальная стенда для измерения параметров ФПЗС представлена на рис. 5.

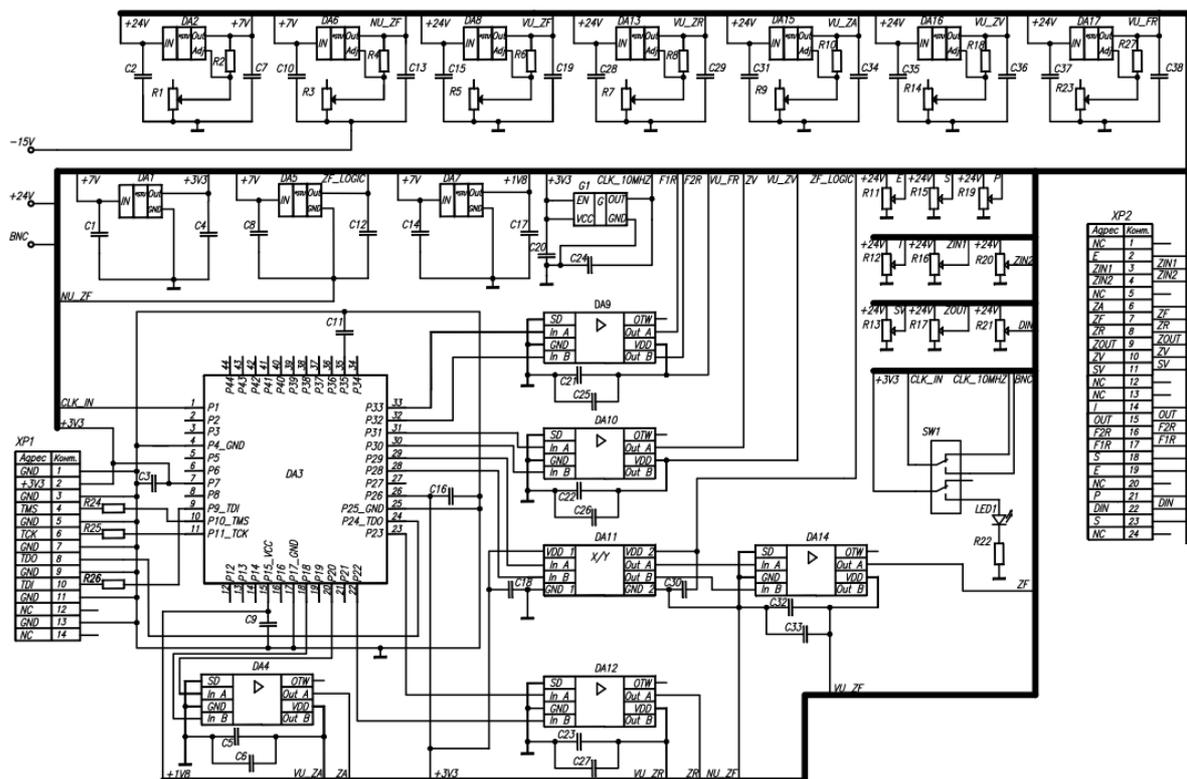


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема стенда для измерения параметров ФПЗС

Формирование выходных сигналов, соответствующих тактовой диаграмме [1] осуществляется посредством ПЛИС DA3. Кварцевый генератор G1 формирует тактовый сигнал, DA1, DA5 и DA7 обеспечивают напряжение питания ПЛИС. Также на схеме присутствуют 7 регуляторов напряжения, состоящих из стабилизатора напряжения - DA2 (DA6, DA8, DA13, DA15, DA16, DA17), фильтрующих емкостей на входе - C2 (C10, C15, C28, C31, C35, C37) и выходе - C7 (C13, C19, C29, C34, C36, C38), а также потенциометра - R1 (R3, R5, R7, R9, R14, R23) и резистора - R2 (R4, R6, R8, R10, R18, R27), которые выполняют функцию делителя напряжения. Потенциометры R11, R12, R13, R15, R16, R17, R19, R20, R21 служат для установки выходных сигналов постоянного напряжения. Драйверы DA4, DA9, DA10, DA12, DA14 регулируют верхний уровень выходных сигналов, а микросхема DA11 служит для изменения нижнего уровня сигнала «ЗФ». Тумблер SW1 позволяет выбирать один из двух источников тактового сигнала для ПЛИС: внутренний (генератор G1), либо внешний, подаваемый на разъём BNC. Выход стенда представляет собой колодку XP2, на которую подаются сформированные управляющие сигналы, а также сигналы с потенциометров.

3 Программное обеспечение стенда для измерения параметров ФПЗС

Требуемые тактовые диаграммы для управления ФПЗС линейкой и измерения её параметров представлены на рис. 6.

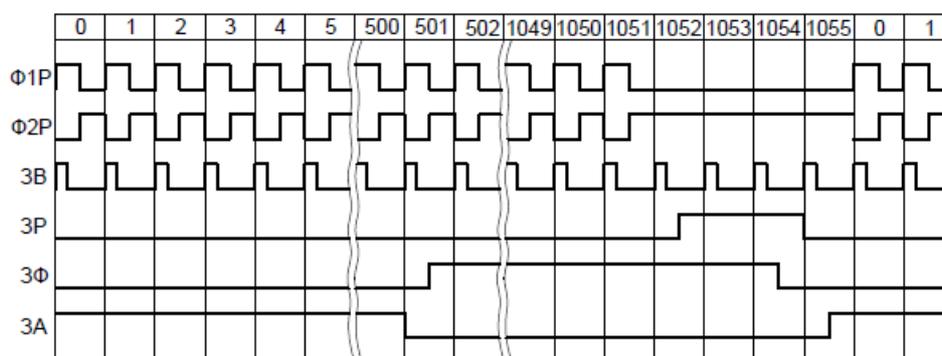


Рис. 6. Тактовые диаграммы для управления линейными ФПЗС серии S [1]

Для реализации представленных временных диаграмм используется ПЛИС XC2C32A фирмы Xilinx, а для ее моделирования использовался САПР Xilinx ISE Design Suit.

Результаты моделирования для участка временной диаграммы с 498 по 503 такты представлены на рис. 7.

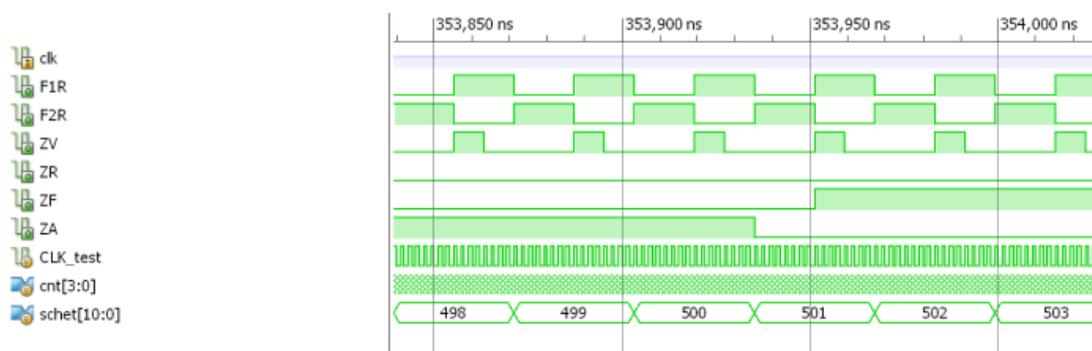


Рис. 7. Моделирование ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit

Как видно из рисунка, *ZA* переходит из состояния логической единицы (далее «1») в состояние логического нуля (далее «0») по окончанию 500 такта, а *ZF* из состояния «0» в состояние «1» на половине длительности 501 такта. Первая фаза *F1R* в начале каждого такта переходит в «0», а в его середине в «1». Вторая фаза *F2R* противоположна первой фазе, т.е. в начале каждого такта она переходит в «1», а в его середине в «0». *ZV* переходит из состояния «0» в состояние «1» при каждом переходе из «0» в «1» первой фазы *F1R*, а на половине длительности импульса *F1R* переходит из «1» в «0».

Результаты моделирования ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit для участка временной диаграммы с 1050 по 1055 такта представлены на рис. 8.

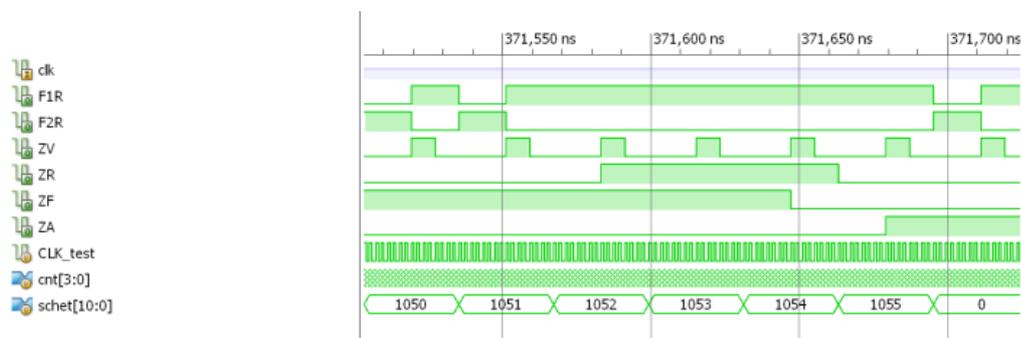


Рис. 8. Моделирование ПЛИС в САПР Xilinx ISE Design Suit

На середине 1051 такта первая фаза F1R переходит из «0» в «1» и остается в таком состоянии до конца 1055 такта. А вторая фаза F2R на середине 1051 такта переходит из «1» в «0» и также остается в таком состоянии до конца 1055 такта. На половине длительности 1052 такта ZR переходит из состояния логической единицы в состояние логического нуля, а затем обратно в «1» в конце 1054 такта.

Работоспособность стенда была проверена на одном из изготовленных на предприятии ЛФПЗ11Л. ФПЗС был установлен в контактирующее устройство и посредством изменения сопротивлений на потенциометрах были подобраны уровни статических и динамических сигналов таким образом, чтобы на выходе ФПЗС был корректный ПЗС-сигнал. Выходной ПЗС-сигнал, снятый при настроенных входных сигналах представлен на рис. 8.

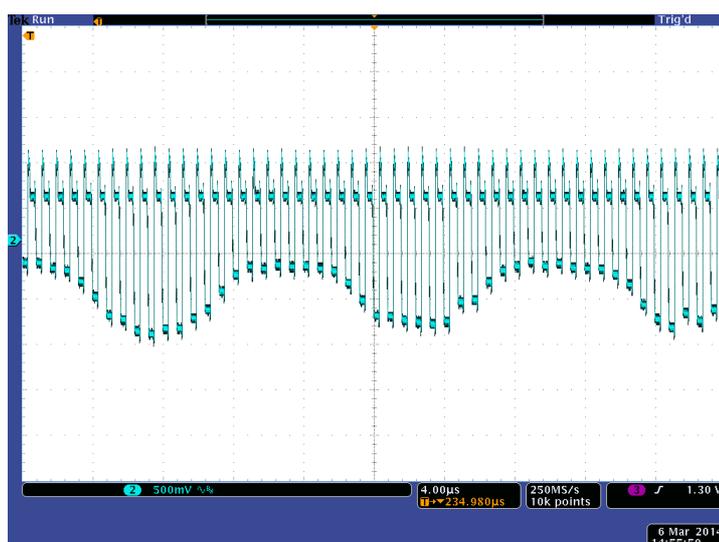


Рис. 8. Выходной ПЗС-сигнал

После получения сигнала были измерены все входные параметры и занесены в таблицу режимов работы данного образца ФПЗС11Л.

Заключение

В ходе проведенной работы были разработаны стенд для измерения параметров ФПЗС, необходимое программное обеспечение, изготовлен действующий макет стенда. Проведены испытания стенда с линейными ФПЗС серии ФПЗС11Л, протестирована работа программного обеспечения на практике. Данный стенд позволяет производить качественную проверку всех статических и динамических параметров линейных ФПЗС. При использовании стенда для измерения параметров ФПЗС сокращается время поиска режима работы каждого прибора. При поступлении тестируемого ЛФПЗС его устанавливают в контактирующее устройство и подключают щуп осциллографа к выходу прибора. Потенциометрами настраиваются уровни входных напряжений для получения выходного ПЗС-сигнала. После этого происходит измерение полученных входных параметров для данного прибора.

Список литература

1. ОАО «НПП «ПУЛЬСАР». Линейные ФПЗС серии S. Режим доступа: <http://www.pulsarnpp.ru/index.php/2010-06-08-14-12-46/2010-06-08-14-43-10/-s> (Дата обращения 18.05.2014).
2. Колчин Г.С., Певцов Е.Ф., Петровский В.И. Универсальный стенд для контроля ПЗС-коммутаторов // 4-я научно-техническая конференция с международным участием «Приборы с зарядовой связью и системы на их основе» (Геленджик, 27 сентября-2 октября 1992 г.): тез. докл. Москва, 1992. С. 69.
3. Певцов Е.Ф., Гусев М.Е., Зинис К.А., И.В. Хмельницкий, Чернокожин В.В. Аппаратно-программный комплекс для экспериментальных исследований приборов с зарядовой связью // 9-я научно-техническая конференция «Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА» (Звенигород, 01-03 декабря 2010 г.): тез. докл. Москва, 2010. С. 56-59.
4. Пресс Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. М.: Радио и связь, 1991. 264 с.
5. Нестеров Ю.И., Власов А.И., Першин Б.Н. Виртуальный измерительный комплекс // Датчики и системы. № 4. 2000. С.12-22.

6. К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др. Конструкторско-технологическое проектирование электронных средств /под общ. редакцией В.А. Шахнова. Серия: Информатика в техническом университете, 2-е издание. М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2005. 568 с.