

УДК 621.317.799

## Информационно-измерительная установка для контроля фотоэлектрических параметров фотоприемных устройств

В.Д. Бочков, Я.С. Бычковский, Б.Н. Дрожников, И.С. Кондюшин, К.В. Козлов

*Разработана информационно-измерительная установка на базе ПЭВМ, позволяющая автоматизировать процессы измерений и анализа фотоэлектрических параметров мультиплексированного аналогового или цифрового сигнала с различных фотоприемников, которые состоят из фотомодулей, включающих в себя многоканальный линейчатый или матричный фоточувствительный элемент и многоканальный мультиплексор. Информация выводится в виде таблиц и графиков.*

PACS: 85.60.-q

*Ключевые слова:* измерительная установка, аналоговый сигнал, цифровой сигнал, фотоприемник.

### Введение

Системы тепловидения, преобразующие тепловое излучение в видеосигналы, обрели большую популярность во многих областях промышленности и военной техники. К таким системам относятся тепловизионные прицелы, системы наблюдения и т.п. В гражданском применении инфракрасные системы широко используются в экологии, медицине, электронике, геологии, энергетике, строительстве, охране, криминалистике, гражданской авиации и в других отраслях.

В связи со значительным ростом производства тепловизионной аппаратуры возникает необходимость в создании оборудования, способного в кратчайшие сроки максимально точно определить характеристики фотоприемного модуля, являющегося одной из важнейших частей фотоприемного устройства.

Фотоприемный модуль состоит из фоточувствительной структуры, где сформированы фоточувствительные элементы в виде матрицы или «линейки», регистрирующие излучение, и мультиплексора, считывающего сигнал и осуществляющий его коммутацию.

На каждом этапе изготовления высококачественных фотомодулей необходим постоянный контроль их параметров. В рамках высокотехнологичного производства все больше внимания уделяется автоматизированному контрольно-измерительному оборудованию, способному в короткие сроки производить быструю и точную оценку получаемых результатов.

Целью данной работы являлась разработка информационно-измерительной установки на базе персонального компьютера, которая должна позволить автоматизировать процессы измерений и анализа фотоэлектрических параметров на основе мультиплексированного аналогового или цифрового сигнала с различных фотоприемников.

### Описание объекта измерения

Объектом измерения являются фотоприемные модули, представляющие собой микросборки, состоящие из многоэлементных «линеек» фоточувствительных элементов и кристаллов БИС-считывания, соединенных между собой методом flip-chip-технологии.

В качестве примера можно привести 256-элементные «линейки» на основе PbS и PbSe (рис. 1). Фоточувствительные площадки имеют размеры 40×60 мкм, зазор между соседними элементами в одном ряду – 10 мкм. Расстояние между горизонтальными осями линеек, проходящими по цен-



Рис. 1. Фотоприемные модули PbS и PbSe.

**Бочков Владимир Дмитриевич**, главный специалист.  
**Бычковский Ярослав Сергеевич**, ведущий инженер.  
**Дрожников Борис Николаевич**, и.о. начальника НТЦ.  
**Кондюшин Илья Сергеевич**, инженер.  
**Козлов Кирилл Васильевич**, инженер.  
 ОАО «НПО «Орион».  
 Россия, 111123, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2  
 E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 20 января 2013 г.

© Бочков В.Д., Бычковский Я.С., Дрожников Б.Н., Кондюшин И.С., Козлов К.В., 2013

трам фоточувствительных площадок, составляет 240 мкм.

### Принципы работы информационно-измерительной установки

Информационно-измерительная установка обеспечивает автоматизированный контроль и расчет фотоэлектрических параметров многоэлементных фотоприемных устройств, позволяя существенно сократить трудоемкость измерений и значительно повысить точность получаемых результатов. Процесс автоматизации обретает особую актуальность при измерении приемников с большим количеством фоточувствительных элементов, начиная от нескольких десятков, когда измерения характеристик и расчет параметров, осуществляемые непосредственно оператором в «ручном» режиме занимают продолжительное время. Использование в составе измерительной установки компьютера со специальным программным обеспечением, оснащенного быстродействующим аналого-цифровым преобразователем, позволяет оперативно осуществлять регистрацию сигналов с фотоприемных устройств и производить математический расчет параметров с высокой точностью в максимально короткие сроки.

Взаимосвязь компьютерной системы с мультиплексором фотоприемного устройства осуществляется с помощью блока управления мультиплексорами (БУМ), отвечающего за формирование управляющих импульсов, синхронизацию, усиление и согласование сигналов.

На входы схемы мультиплексора контролируемого фотомодуля подаются сигналы в виде циклограмм – повторяющихся последовательностей сигналов разного уровня напряжения отрицательной полярности. Краткий пример такой циклограммы показан на рис. 2. Мультиплексор, полу-

чая управляющие сигналы и питание, начинает свою работу, совершая опрос 256 фоторезистивных элементов. После такого прохода всех 256 элементов посылается сигнал начала передачи на выход мультиплексора накопленного конденсаторами заряда, начиная с первого.

Этот сигнал проходит малошумящий каскад усиления и поступает непосредственно на выходной контакт мультиплексора. Таким образом, получается, что сигнал, снятый с фоточувствительного элемента, имеет последовательную структуру из набора заряда, накопленного облученными фоторезистивными элементами. Этот последовательный сигнал с 256 каналов мультиплексора передается по одному двужильному кабелю.

Устройство питания обеспечивает формирование импульсных последовательностей в соответствии с временной диаграммой, приведенной на рис. 2.

Информационно-измерительная установка обеспечивает измерение фотоэлектрических параметров фотомодулей, таких как:

- среднеквадратичное значение напряжения сигнала каждого канала фотомодуля;
- среднеквадратичное значение напряжения шума каждого канала фотомодуля в полосе частот.

По результатам измерений вычисляются следующие параметры:

- удельная обнаружительная способность;
- вольтовая чувствительность.

### Описание установки

Информационно-измерительная установка состоит из трех основных частей, выполняющих свой круг задач, которые можно конфигурировать в широких пределах, в зависимости от объекта измерения. Первой составной частью можно вы-

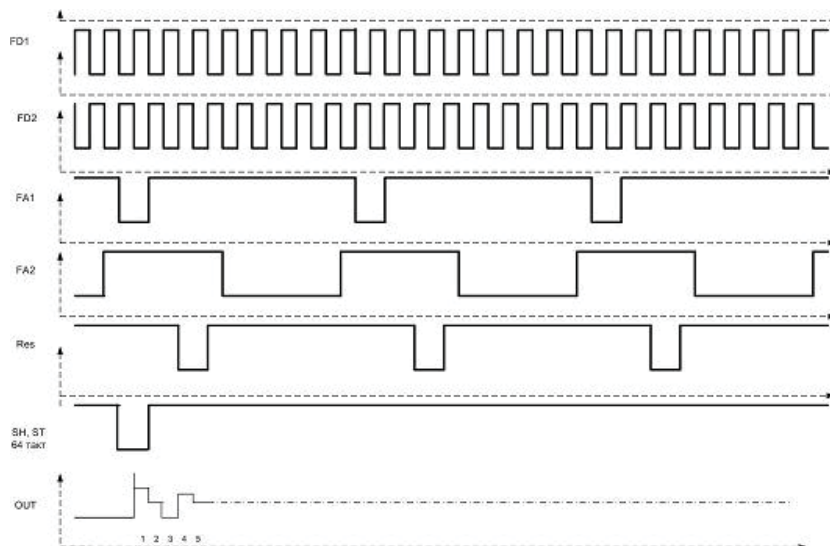


Рис. 2. Циклограмма управляющих сигналов

делить систему охлаждения стенда - криостат, отвечающий за охлаждение фотоприемного модуля в процессе измерений. Вторым звеном является модуль излучателя, который выполняет функции создания модулированного светового сигнала и передачи его на входное окно криостата. Третьей составной частью является автоматизированная измерительная система, обеспечивающая управление мультиплексором фотомодуля, производящая обработку сигнала и расчёты его характеристик, которая, в свою очередь, состоит из аппаратной и программной частей. Аппаратная часть является основой, которую, при необходимости, можно модернизировать под требуемые задачи. Программную же часть установки можно использовать и конфигурировать в более широких пределах, т.е. не только для измерения параметров ФПУ на основе халькогенидов свинца, но, и, в будущем, под приёмники на основе других соединений. Также систему можно настроить под различные контрольно-измерительные и лабораторные применения, конкретно не связанные с измерением только параметров фотоприёмных устройств.

Основу аппаратной части составляет БУМ, предназначенный для управления, питания и согласования сигналов с многоканальными микросхем мультиплексоров, считывающих сигналы с многоэлементных фоторезисторов.

БУМ обеспечивает подачу на мультиплексор импульсных и постоянных напряжений, устанавливает и контролирует напряжения смещений, подаваемые на фотомодуль, усиливает сигнал с

кабеля, подключенного к криостату, и выполняет функцию сопряжения сигнала с компьютерным информационно-измерительным комплексом. БУМ спроектирован для работы с пятью фотоприёмными модулями, для каждого из которых, при необходимости, можно регулировать задаваемое напряжение смещения.

В состав БУМ входит устройство импульсного питания мультиплексоров, обеспечивающее подачу импульсов управления на мультиплексоры в соответствии с временными диаграммами работы мультиплексора. Оно разделено, в свою очередь, на составляющие:

- блок формирования импульсов;
- два формирователя импульсного питания, выполняющие преобразование уровней сигнала;
- устройство стабилизированного питания блока;
- схема регулировки напряжений смещения фотоприемного модуля;
- устройство буферного повторения и усиления сигналов с выходов мультиплексоров;
- схема сопряжения БУМ с компьютерным измерительным комплексом;
- устройство контроля температуры охлаждения фотомодулей;
- схема тестирования мультиплексоров.

### Компьютерная информационно-измерительная система

В аппаратную часть системы вычислительного комплекса также входит процессорный блок в

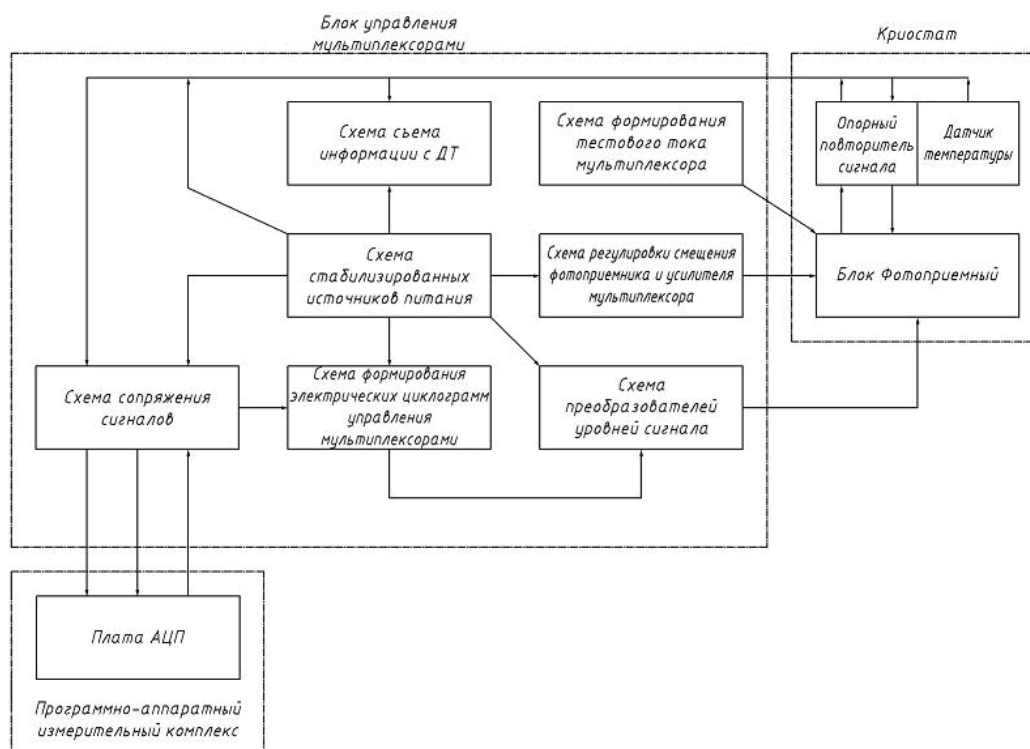


Рис. 3. Схема структурная работы блока управления мультиплексорами.

виде промышленного компьютера, оснащенного специализированной быстродействующей платой ввода аналоговых сигналов.

Преобразование аналогового сигнала осуществляется с частотой дискретизации 10 МГц при амплитудном разрешении 14 бит.

Непрерывный поток данных передается во внутреннюю память компьютера (буфер) и может быть записан на накопитель (жесткий диск) для последующего документирования. Высокая частота АЦП и амплитудная детализировка позволяют быстро и точно проводить измерения аналогового сигнала, получаемого от фотоприемного модуля.

Для временной привязки к сигналам исследуемого объекта используется вход цифровой синхронизации, регистрируемый в канале цифровых данных. При этом измерительная система формирует тактовый сигнал с частотой дискретизации 10 МГц, который может быть использован для создания временной диаграммы развертки фотоприемного модуля.

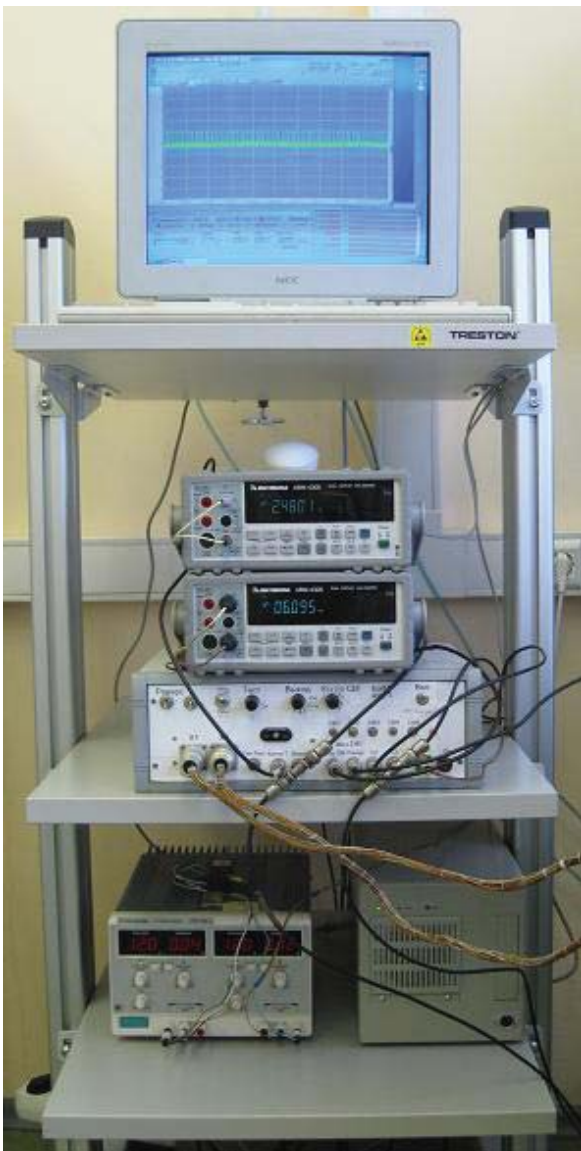


Рис. 4. Информационно-измерительная система.

Программная часть измерительной системы состоит из операционной среды Windows-XP и собственно рабочей программы.

Оцифрованные данные проходят сложную математическую обработку, включающую цифровую фильтрацию, корреляционную обработку и различные преобразования для получения необходимых значений сигнал/шум и ряда других параметров. После этого происходит визуализация измерений в виде различных значений, графиков, таблиц. Полученные результаты могут быть сохранены на диске и использованы для составления отчета.

При частоте тактовых импульсов 1 МГц в исследуемых сигналах измерительная система работает с частотой, превышающей данную величину в 10 раз, для обеспечения нужной фазы выборки аналогового сигнала. Дальнейшая обработка происходит в цифровом виде в вычислительном блоке, т.е. в компьютере. Оцифрованный сигнал проходит предварительную фильтрацию в необходимой полосе частот. В дальнейшем программное обеспечение определяет реальные уровни сигналов в каждом фоточувствительном элементе фотоприемного устройства (ФПУ).

На основе математических алгоритмов происходит вычисление значений минимальных и максимальных уровней сигнала, шума, обнаружительной способности и других необходимых параметров. Оператор может произвести документирование и распечатку результатов измерений на каждый фотомодуль. Привязка к началу строки фотомодуля определяется по местоположению синхроимпульса в группе. Программа позволяет осуществить синхронизацию с точностью до  $\pm 100$  нс.

Характеристики разработанной установки приведены в таблице.

На рис. 4 представлен общий вид информационно-измерительной системы.

Установка контроля основных фотоэлектрических параметров удовлетворяет требованиям ГОСТ 17772-88.

#### Выводы

В работе представлены результаты разработки высокопроизводительной измерительной системы, конфигурируемой в широком диапазоне, предназначенной для определения фотоэлектрических параметров фотоприемных модулей, выполненных в виде линейки или матрицы. Измерения и расчеты основных параметров ФПУ проводятся с помощью автоматизированной системы, позволяющей значительно снизить трудоемкость, повысить точность измерений и исключить человеческий фактор. Время измерения одного фото-

Таблица.

## Характеристики установки.

№ n/n	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение
1	Температура полости АЧТ	$T_{\text{ачт}}$	град °С	$300 \pm 1$
2	Частота модуляции потока	$F_m$	Гц	От $20 \pm 1$ до $2000 \pm 1$
3	Температура охлаждения ФПБ	$T_{\text{охл}}$	град °С	От - 50 До - 120
4	Точность измерения выходного сигнала и шума фотомодуля	$\Sigma_c$	%	2,5
		$\sigma_{\text{ш}}$	%	2,5
5	Погрешность измерения ФЭП	$\sigma_{\text{ф}}$	%	7
6	Время измерения фотомодуля	-	мин	Не более 2
7	Габаритные размеры	-	мм	Не более $2500 \times 600 \times 168$
8	Масса	-	кг	Не более 130
9	Потребляемая от сети мощность, 220 В / 50 Гц	-	Вт	Не более 500

модуля, включающего 256 элементов, составляет 2 минуты. Результаты выводятся в виде готового отчёта в электронном виде с проверкой соответствия измеренных параметров требованиям ТУ.

Внедрение установки в технологический процесс создания МФПУ позволило значительно сократить время измерения характеристик фотомодулей. При незначительной доработке измерительной системы, возможно проведение технологического контроля изделий на основе КРТ.

## Литература

1. Буткевич В.Г., Бочков В.Д., Глобус Е.Р. // Прикладная физика. 2001. № 6. С. 66

2. Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. - М.: Физматкнига, 2005.

3. Илюкин О. // Компоненты и технологии. 2010. № 12

4. Бочков В.Д., Воропаев А.И., Храпунов М.Л. // Прикладная физика. 1999. № 2. С. 72

5. Агранов Г.А., Дакин А.М. и др. // Оптический журнал. 1996. № 9. С. 53

6. Jhabvila M.D., Barrett J.R. // IEEE Transactions on Elect. Devices. 1982. V. ED-29. No. 12

7. Zogg Hans, Alchalabi Karim, Zimin Dmitri // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A. 2003. V. 512. P. 440.

8. Бочков В.Д., Дразжников Б.Н., Храпунов М.Л. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 64

## Information-measuring system for monitoring parameters of photovoltaic photodetectors based on lead chalcogenides

V.D. Bochkov, Y.S. Bychkovski, B.N. Drazhnikov, I.S. Kondyushin, and K.V. Kozlov

Orion Research-and-Production Association  
46/2 Enthusiasts highway, Moscow, 111123, Russia  
E-mail: orion@orion-ir.ru

*Developed is the information-measuring system based on PC to automate the measurement and analysis of photoelectric parameters multiplexed analog or digital signals of different photodetectors consisting of PV modules, which include a line or multi-line dot matrix photosensitive element and multi-channel multiplexer. The information is displayed in the form of tables and graphs.*

PACS: 85.60.-q

Keywords: measuring apparatus, analog signal, digital signal, photodetector.

Bibliography – 8 references

Received January 20, 2013