

УДК 621.397

Компьютерная модель процесса регистрации точечных источников излучения многорядными ФПУ с режимом ВЗН

В.Н. Соляков, К.В. Козлов, П.А. Кузнецов

В данной работе предложен подход к решению проблемы выбора оптимальных параметров многорядного фотоприемного устройства (ФПУ) с режимом временной задержки и накопления (ВЗН), предназначенного для регистрации точечных источников оптического излучения в ИК-диапазоне. Суть данного подхода заключается в построении модели рассматриваемого ФПУ с учетом необходимого набора данных, таких как: распределение интенсивности фонового излучения по матрице фоточувствительных элементов (ФЧЭ), параметры источника сигнала, предполагаемая структура ФПУ и т.д. На основании имеющейся информации производится расчет таких параметров ФПУ, как: оптимальный размер ФЧЭ в направлении сканирования и в направлении, перпендикулярном сканированию, допустимое рассогласование частоты опроса и скорости сканирования, необходимая стабильность скорости сканирования и т.д. После получения оптимальных параметров системы, производится расчет модуляционных характеристик матрицы ФЧЭ, осуществляется оценка разрешающей способности и т.д. В работе рассматриваются алгоритмы пеленгации точечных источников излучения многорядными ФПУ с ВЗН.

PACS: 42.79.Sz, 85.30.-Z

Ключевые слова: ВЗН, ФЧЭ, ФПУ, БИС считывания, модуляционная характеристика.

Введение

В процессе разработки фотоприемного устройства (ФПУ), предназначенного для обнаружения малых оптических сигналов, возникает ряд проблем, связанных с выбором оптимальных параметров изделия. Данные параметры должны наилучшим образом учитывать особенности источника полезного сигнала, характер паразитной фоновой облученности и т.д. Абсолютно необходимой является оценка допустимого разброса значений параметров в процессе эксплуатации. Некоторые из описанных выше проблем решаются с помощью несложных расчетов в широко распространенных вычислительных средах. Однако комплексный подход требует создания специализированного программного обеспечения (ПО), моделирующего выходные характеристики изделия рассматриваемого типа. Основу модели должны составлять простые физические закономерности, а выходные характеристики должны иметь практическую значимость для разработчиков аппаратуры.

В данной работе представлен вариант комплексного решения проблемы выбора оптимальных параметров многорядного ФПУ с режимом временной задержки и накопления (ВЗН–МФПУ) [1–7], предназначенного для

регистрации точечных источников излучения [8]. Инструментом исследования служит компьютерная модель процесса регистрации точечного источника с помощью ВЗН–МФПУ, позволяющая определить выходные сигналы изделия при различных входных воздействиях оптического излучения. Данные исследования производились в двух режимах работы ФПУ: с включенными (АС) и отключенными (ДС) фильтрами верхних частот во входных ячейках большой интегральной схемы (БИС) считывания [9–12]. В режиме АС производится устранение неинформативной фоновой составляющей входных сигналов, что в ряде случаев позволяет избежать процедуры двухточечной коррекции в процессе эксплуатации изделия.

Главное окно компьютерной модели представлено на рис. 1. Каналы, состоящие из ряда фоточувствительных элементов (ФЧЭ), представлены протяженными полосами, яркость которых пропорциональна уровню сигнала на их выходе. Пятно изображено с учетом пространственного распределения его интенсивности. На рис. 2 представлены сигналы с одного из каналов ФПУ с ВЗН при наличии на входе пятна оптического излучения. Размер ФЧЭ в направлении сканирования выбран равным диаметру пятна излучения по уровню 0,6. Положительные фронты прямоугольных сигналов на графике ДС соответствуют моменту «включения» излучения и моменту совпадения центра пятна излучения с центром первого ФЧЭ канала. По горизонтальной оси отложено количество периодов дескритизации. Так как в данном случае количество ФЧЭ в составе каждого канала было задано равным 10, а количество выборок при перемещении пятна между соседними ФЧЭ (oversampling) – 3, то центр распределения на временной зависимости расположен на расстоянии 28 периодов дискретизации от момента совпадения центров пятна и первого ФЧЭ.

Кузнецов Петр Александрович, главный специалист¹.

Козлов Кирилл Владимирович, инженер¹, студент магистратуры².

Соляков Владимир Николаевич, главный научный сотрудник¹, профессор².

¹ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111123, Москва, ш. Энтузиастов, 46/2.

Телефон: 495-3739400.

E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт.

Россия, 141700, г. Долгопрудный МО, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2014 г.

© Кузнецов П.А., Козлов К.В., Соляков В.Н., 2014

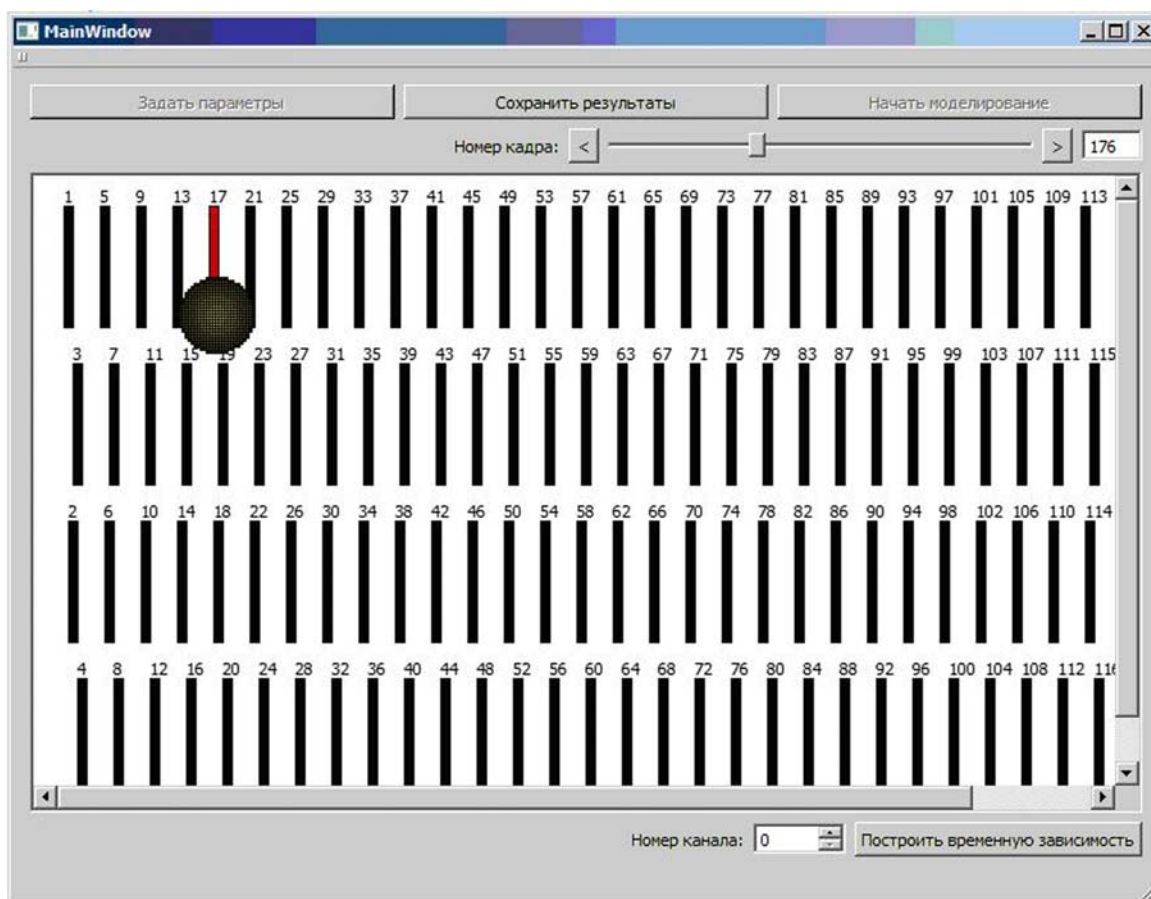


Рис. 1. Главное окно компьютерной модели.

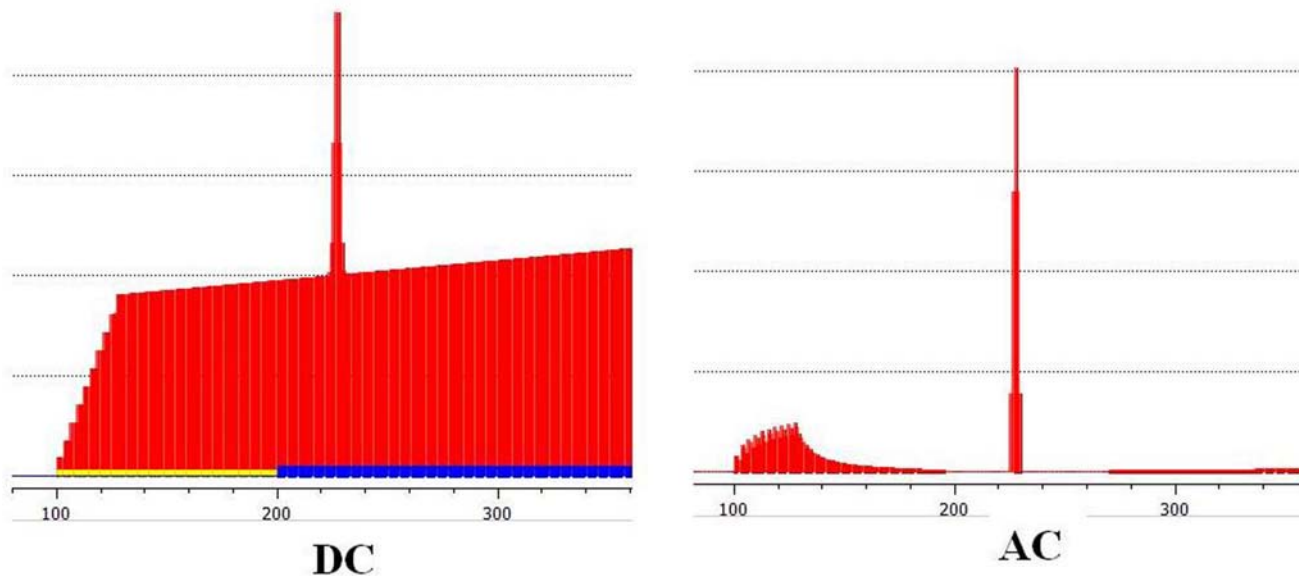


Рис. 2. Выходные характеристики одного из каналов ФПУ с ВЗН.

Исследования

На основании результатов моделирования реакции системы на засветку точечным источником излучения, были получены следующие зависимости.

- Зависимость отношения сигнал/шум на выходе ФПУ от размера ФЧЭ в направлении сканирования [13] и в направлении, перпендикулярном сканированию при различных параметрах внешнего фонового излучения. На

рис. 3 представлена зависимость отношения сигнал/шум ФПУ от размера ФЧЭ вдоль сканирования (в режиме DC) при наличии медленно меняющегося внешнего фонового излучения, интенсивность которого пропорциональна градиенту координаты в направлении сканирования. Величина градиента выбрана равной 0,00015. В качестве шумов рассматриваются только дробовые шумы (режим ограничения фоном). Расстояние между центрами

ближайших ФЧЭ канала задано равным 6 радиусам пятна, значение oversampling равно 3. Согласно рисунку, оптимальное значение размера ФЧЭ в направлении сканирования в данном случае соответствует 4,5 радиусам пятна излучения.

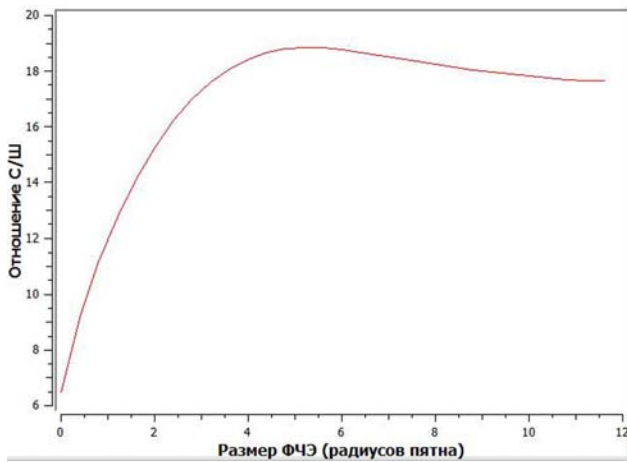


Рис. 3. Зависимость отношения сигнал шум от размера ФЧЭ в направлении сканирования.

• Зависимость амплитуды выходного сигнала от величины рассогласования частоты опроса и скорости сканирования [14]. На рис. 4 представлены 2 выходные характе-

ристики ФПУ, первая из которых (а) соответствует случаю полной синхронизации, а вторая (б) – рассинхронизации на 5%. На основании проведенных исследований был сделан вывод, что для уменьшения амплитуды выходного сигнала не более, чем на 10%, необходимо обеспечить степень синхронизации не хуже 1%.

• Зависимость пространственной разрешающей способности изделия от размера ФЧЭ [15].

• Зависимость пространственной разрешающей способности изделия от величины нестабильности скорости сканирования.

• Зависимость модуляционных характеристик [16] в направлении сканирования и в направлении, перпендикулярном сканированию от параметров топологии матрицы ФЧЭ. На рисунке 5, а представлена модуляционная характеристика ФПУ в направлении сканирования, рассчитанная для параметров реально разрабатываемой в ОАО «НПО «Орион» системы: размер ФЧЭ в направлении сканирования равен диаметру пятна излучения, а расстояние между центрами соседних ФЧЭ канала – трем радиусам. Значение oversampling равно 3. Для сравнения на рисунке 5, б представлена модуляционная характеристика в направлении, перпендикулярном сканированию, для системы с размером ФЧЭ, равным диаметру пятна, и расстоянием между соседними ФЧЭ – четырем радиусам.

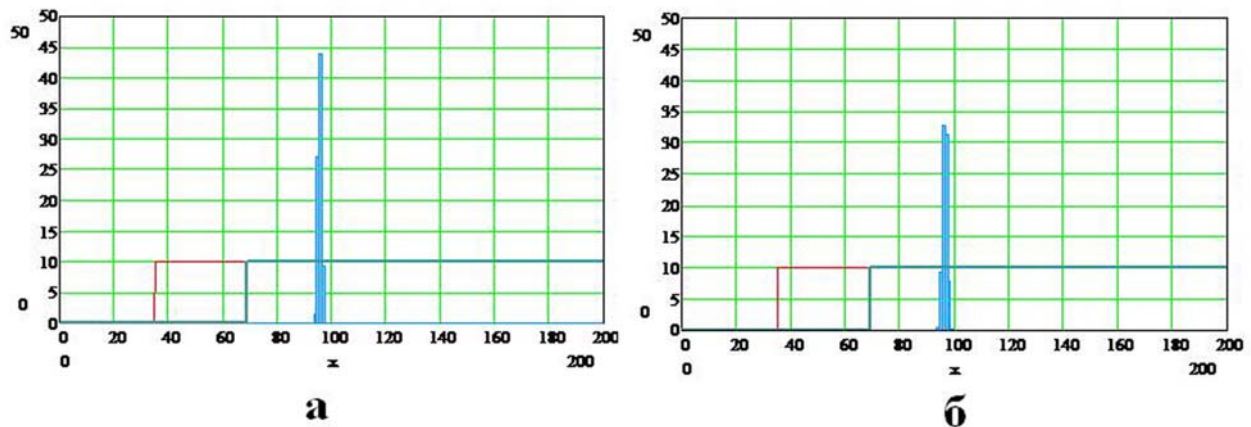


Рис. 4. Выходные характеристики в случае синхронного опроса (а) и случая рассинхронизации на 5% (б).

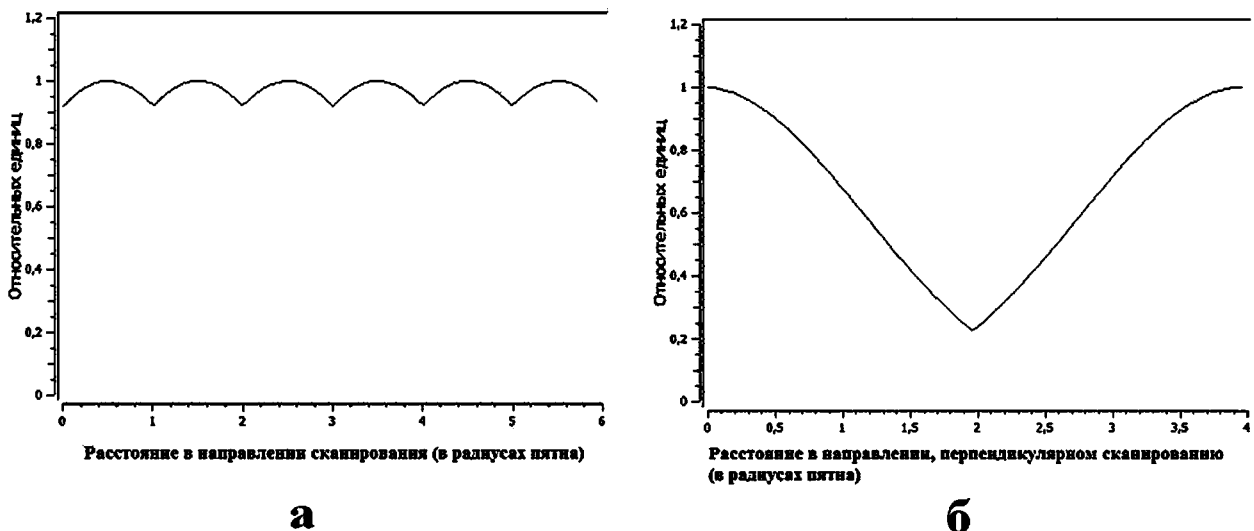


Рис. 5. Рассчитанные модуляционные характеристики.

Проведен сравнительный количественный анализ ВЗН-системы с ФПУ «смотрящего» типа аналогичного формата на предмет способности обнаружения точечных источников оптического излучения. Сравнение произведено по пунктам:

- отношение сигнал/шум;
- модуляционные характеристики.

Предложены алгоритмы пеленгации точечного источника излучения при различных параметрах цели и фонового сигнала, использующие:

- пространственное дифференцирование;
- медианную фильтрацию;
- различные виды линейной фильтрации.

Проведен анализ эффективности предложенных алгоритмов.

Заключение

Результаты компьютерного моделирования процесса регистрации точечного источника излучения с использованием ВЗН–МФПУ позволяют оптимизировать параметры фоточувствительного элемента для конкретных условий применения и определить пороговую чувствительность, модуляционную характеристику и другие характеристики аппаратуры применения. На основании проведенных исследований был сделан вывод, что для уменьшения амплитуды выходного сигнала не более, чем на 10%, необходимо обеспечить степень синхронизации не хуже 1%. В режиме сканирования оптимальный размер ФЧЭ, соответствующий максимальному значению отношения сигнал/шум, составляет 4,5 радиусов пятна излучения. Количество выборок сигнала при перемещении пятна излучения между соседними ФЧЭ канала существенно влияет на разрешающую способность системы, что

продемонстрировано с помощью модуляционных характеристик.

Литература

1. Бовина Л.А. и др. // Прикладная физика. 1999. № 4. С. 31.
2. Акимов В.М. и др. // Прикладная физика. 2005. № 2. С. 7.
3. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Физические основы. — М.: Физматкнига, 2005.
5. Бурлаков И.Д., Пономаренко В.П., Филачев А.М. // Прикладная физика. 2007. № 2. С. 43.
6. Болтарь К.О., Бурлаков И.Д., Филачев А.М., Яковлева Н.И. // Прикладная физика. 2012. № 3. С. 61.
7. Кузнецов П.А., Моцев И.С., Хромов С.С. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 5. С. 606.
8. Кузнецов П.А. Хромов С.С. Зайцев А.А. Результаты исследования БИС считывания формата 6х576 с аналоговым режимом ВЗН // Прикладная физика, 2012, №5, с. 95-97.
9. Соляков В.Н. Дразжников Б.Н. Хамидуллин К.А. и др. // Прикладная физика. 2013. № 6. С. 21.
10. Филачев А.М., Бурлаков И.Д., Болтарь К.О. и др. // Труды 22 Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 22-25 мая 2012 г., Москва, ФГУП «НПО «Орион», с. 22-24.
11. Соляков В. Н., Дразжников Б. Н., Хамидуллин К. А. и др. // Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1, № 4. С. 506.
12. Martin R.J., Riley G.E. // Proc. SPIE. 1988. V. 930. P. 26.
13. Мазин М.Г., Лазарев П.С., Деева Г.Г. и др. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 98.
14. Патрашин А.И. Бурлаков И.Д. Лопухин А.А. и др. // Прикладная физика. 2012. № 5. С. 91.
15. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. — М.: Мир, 1988.
16. Хадсон Р. Инфракрасные системы. — М.: Мир, 1972.
17. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: Мир, 1978.

Computer model of point target detection by FPA with time delay integration

V. N. Solyakov, K. V. Kozlov, and P. A. Kyznetsov

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

Received March 15, 2014

The development process of TDI FPA causes different problems associated with the selection of optimal system parameters. These parameters should consider the features of: background characteristics, noise temporal distribution etc. It's absolutely necessary to take into consideration the range of allowable variability of the parameters during operation. Some of these problems can be solved by using the standard equations and simple calculation techniques. However, a comprehensive approach requires the creation of specialized software which simulates the output characteristics of the specific equipment. This paper presents the complex approach of choosing parameters of TDI FPA, by using the computer model as an instrument.

PACS: 42.79.Sz, 85.30.-Z

Keywords: TDI, FPA, photodetector, multiplexer, modulation characteristics.

References

1. L. A. Bovina et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 4, 31 (1999).
2. V. M. Akimov et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 2, 7 (2005).
3. A. M. Filachev, I. I. Taubkin, and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Physical Base*. (Fizmatkniga, Moscow, 2005) [in Russian].
5. I. D. Burlakov, V. P. Ponomarenko, and A. M. Filachev, *Prikladnaya Fizika*, No. 2, 43 (2007).
6. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, A. M. Filachev, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 61 (2012).
7. P. A. Kuznetsov, I. S. Moshchev, and S. S. Khromov, *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 606 (2013).
8. P. A. Kuznetsov, S. S. Khromov, and A. A. Zaitsev, *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 95 (2012).
9. V. N. Solyakov, B. N. Drazhnikov, K. A. Khamidullin, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 21 (2013).
10. A. M. Filachev, I. D. Burlakov, K. O. Boltar, et al., in *Proceedings of XXII International Conference on Photoelectronics* (NPO Orion, Moscow, May 22-25, 2012), pp. 22-24.
11. V. N. Solyakov, B. N. Drazhnikov, K. A. Khamidullin, et al., *Uspekhi Prikladnoi Fiziki* **1**, 506 (2013).
12. R. J. Martin and G. E. Riley, *Proc. SPIE* **930**, 26 (1988).
13. M. G. Mazin, P. S. Lazarev, G. G. Deeva, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 98 (2012).
14. A. I. Patrashin, I. D. Burlakov, A. A. Lopukhin, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 5, 91 (2012).
15. Gilbert Gaussorgues. *La Thermographie Infrarouge*. (Lavoisier, Paris; Mir, Moscow, 1988).
16. Richard D. Hudson, *Infrared System Engineering* (Wiley-Interscience, 1969; Mir, Moscow, 1972).
17. J. M. Lloyd, *Thermal Imaging Systems* (Plenum Press, New York and London, 1975; Mir, Moscow, 1978).