

УДК 621.315.592

Долговременная стабильность матричных фотоприемных устройств на основе антимонида индия формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм

П. В. Власов

Исследована долговременная стабильность МФПУ на основе антимонида индия формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм с охладителем типа интегральный Стирлинг и блоком сопряжения. Получены зависимости показателя корректируемости от времени работы МФПУ после проведения двухточечной коррекции неоднородности. Рассмотрены МФПУ с двумя схемами ячейки БИС считывания, отличающиеся емкостями накопления и коэффициентами передачи в ячейке. Время долговременной стабильности МФПУ на основе InSb составляет несколько часов, что обеспечивают длительную работу устройства в тепловизионных системах без дополнительной калибровки.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Ключевые слова: МФПУ, антимонид индия, матрица фотодиодов, долговременная стабильность, показатель корректируемости.

Введение

Временной и пространственной шумов ограничивают температурное разрешение матричных фотоприемных устройств (МФПУ). В отличие от временного шума пространственный шум является следствием неоднородности характеристик по площади фоточувствительного элемента (МФЧЭ), связанной с различными темновыми токами и чувствительностью отдельных элементов, и может быть уменьшен двухточечной коррекцией неоднородности. Однако с течением времени может происходить раскалибровка откорректированного сигнала. Именно поэтому важно знать долговременную стабильность МФПУ.

Целью данной работы было проведение измерений долговременной стабильности разработанного в АО «НПО «Орион» МФПУ на основе объемного антимонида индия (InSb) формата 640×512 элементов с шагом 15 мкм с охладителем типа интегральный Стирлинг и блоком сопряжения [1—3].

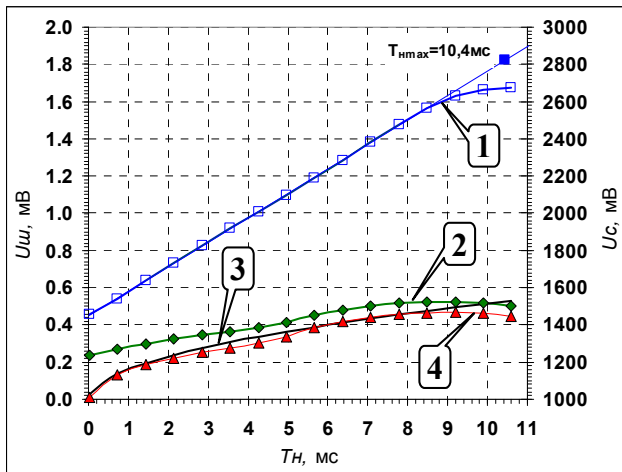
Характеристики МФПУ

В работе исследованы МФПУ с двумя схемами ячейки БИС считывания: с емкостью накопления в ячейке 480 фФ (от ранее разработанного МФПУ) и новая схема ячейки, отличающаяся меньшей емкостью накопления 250 фФ и повышенным коэффициентом передачи в ячейке (приблизительно в четыре раза больше). Обе ячейки позволяют реализовать режим накопления во время считывания (IWR) благодаря наличию в ячейках емкостей хранения. Новая схема ячейки позволяет уменьшить время накопления и, соответственно, увеличить оптимальную кадровую частоту (более 200 Гц), повысить помехозащищенность за счет большего коэффициента усиления сигнала и, как следствие, улучшить долговременную стабильность. Недостатком такой схемы является уменьшенный динамический диапазон.

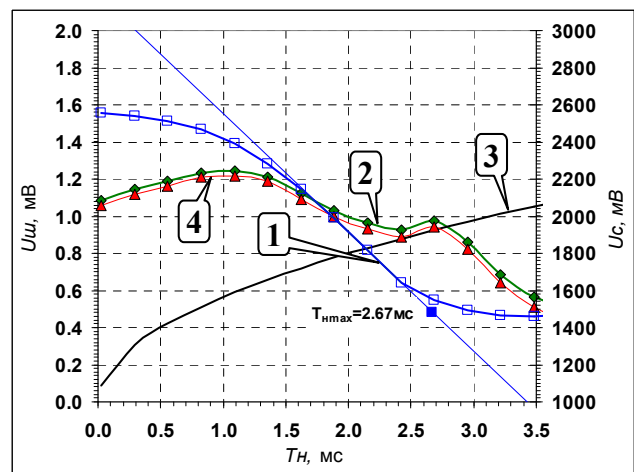
На рис. 1 представлены зависимости от времени накопления среднего значения сигнала МФПУ, среднеквадратического значения шума МФПУ, расчетного шума в VLIP-режиме и шума фотодиодов, полученного при вычитании из шума МФПУ шума электроники для ячеек с емкостью накопления 480 фФ и 250 фФ.

Власов Павел Валентинович, ведущий инженер.
АО «НПО «Орион».
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.
Тел. (499) 374-94-00. Факс (499) 373-68-62.
E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 27 июня 2016 г.



а



б

Рис. 1. Зависимости сигнала (1), шума (2), расчетного шума в VLIIP-режиме (3) и шума фотодиодов, полученного при вычитании из шума МФПУ с емкостью накопления в ячейке 480 фФ (а) и 250 фФ (б) шума электроники (4) от времени накопления.

Из графиков в диапазоне рабочих времен накопления видно хорошее совпадение теоретического значения шума, ограниченного флуктуациями фонового излучения (VLIIP), и значения, полученного вычитанием по квадратам из шума МФПУ шума электроники. Получена зависимость эквивалентной шуму разности температур (ЭШРТ) от времени накопления, близкая к корневому закону. Всё это свидетельствует об отсутствии избыточных собственных шумов фотодиодов и некоррелированности шума фотодиодов и электроники БИС считывания для обоих типов ячеек считывания. Хорошо видна существенная разница в динамическом диапазоне типов ячеек БИС считывания, который составил для большей емкости накопления ≈ 67 дБ, а для малой емкости накопления ≈ 54 дБ.

Среднее значение ЭШРТ МФПУ с малой емкостью накопления при относительном отверстии 1:4 с фильтром на спектральный диапазон (3÷5) мкм на кадровой частоте 100 Гц при времени накопления 2,1 мс составило 19,5 мК, что совпадает со значением ЭШРТ МФПУ с большей емкостью накопления при времени накопления 6 мс.

Долговременная стабильность МФПУ

Проведены экспериментальные измерения долговременной стабильности в течение нескольких часов после проведения двухточечной коррекции неоднородности [4, 5]. В течение нескольких часов проведены многократные измерения временного и геометрического шума МФПУ по дефектным элементам. Временной шум определяется как среднее значение среднеквадратического отклонения выходного напряжения сигнала по 32

кадрам. Геометрический шум определяется как среднее значение среднеквадратического отклонения откалиброванного сигнала.

Значение временного шума каждого элемента вычисляется по формуле:

$$U_{вр}^{ij} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (U^{ij} - \langle U^{ij} \rangle_k)^2}{N}}, \quad (1)$$

где U^{ij} — выходное напряжение сигнала ij -го элемента; $\langle U^{ij} \rangle_k$ — среднее по 32 кадрам значение выходного напряжения сигнала ij -го элемента; N — количество кадров.

Среднее значение временного шума МФПУ вычисляется по формуле:

$$U_{вр} = \frac{\sum_{ij}^M U_{вр}^{ij}}{M}, \quad (2)$$

где M — количество элементов МФПУ.

Значение геометрического шума МФПУ вычисляется по формуле:

$$U_{геом} = \sqrt{\frac{\sum_{ij}^M (U_{корр}^{ij} - \langle U_{корр}^{ij} \rangle_{ij})^2}{M}}, \quad (3)$$

где $U_{корр}^{ij}$ — выходное напряжение откорректированного сигнала ij -го элемента; $\langle U_{корр}^{ij} \rangle_{ij}$ — среднее по элементам значение выходного напряжения откорректированного сигнала.

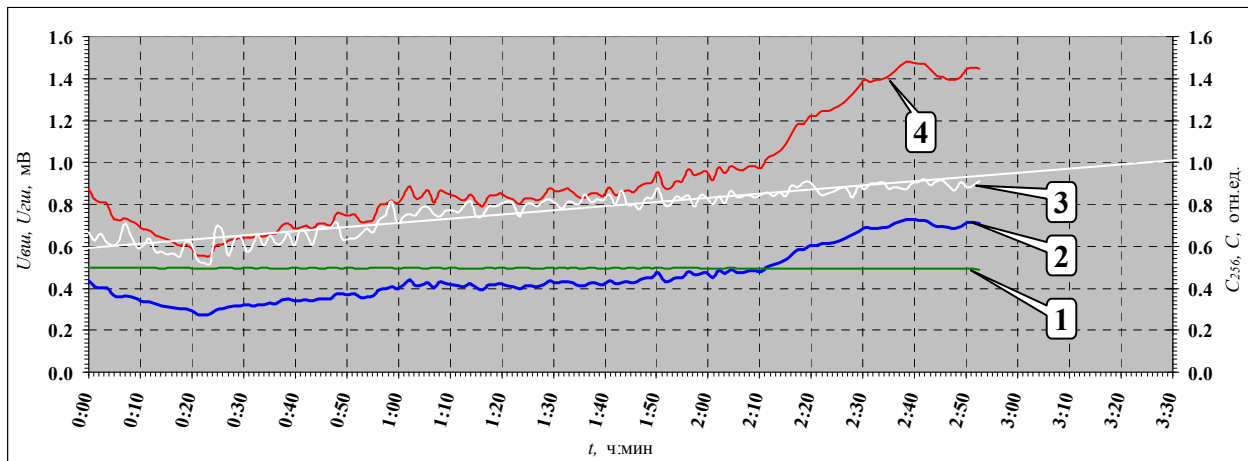
Однако при измерении и вычислении геометрического шума по формуле (3) в него априори входит временной шум. Фактически $U_{\text{геом}}$ есть сумма геометрического и временного шума, и чтобы выделить из этой суммы геометрический шум с учетом некоррелированности временного и геометрического шумов можно производить вычитание по квадратам. Но в данной работе, чтобы выделить «чистый» геометрический шум, использован другой способ. В формуле (3) значение $U_{\text{корр}}^{ij}$ (и соответственно $\langle U_{\text{корр}}^{ij} \rangle_{ij}$) получено не прямым измерением, а усреднением по 32 кадрам, и вычисляется по формуле:

$$U_{\text{корр}}^{ij} = \frac{\sum_{k=1}^N U_{\text{корр}}^{ijk}}{N}. \quad (4)$$

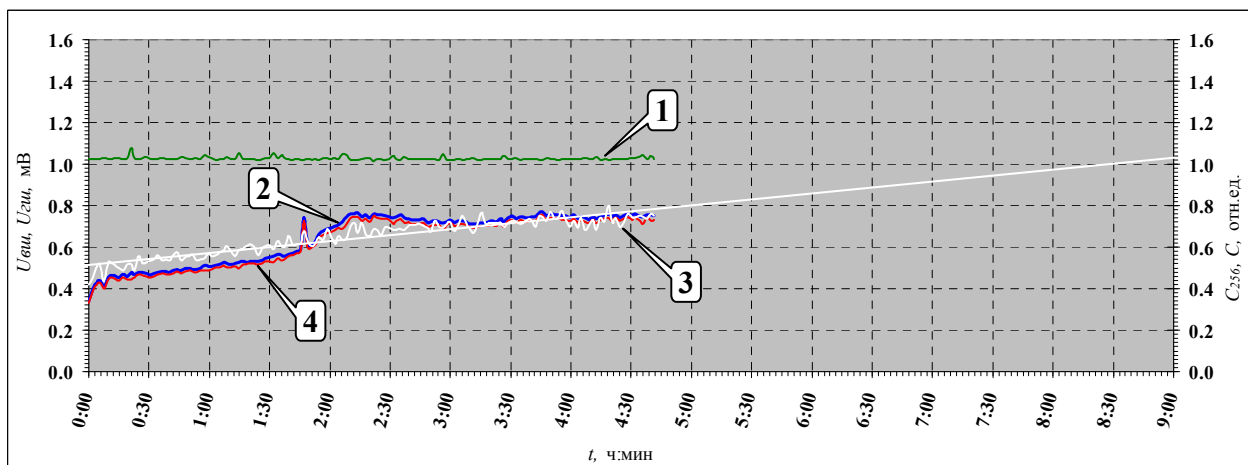
Получена временная зависимость показателя корректируемости S после двухточечной коррекции, который определяется, как отношение геометрического шума к временному, и является кри-

терием качества коррекции и долговременной стабильности МФПУ. Значение показателя меньше единицы показывает, что геометрический шум меньше уровня временного шума, а, значит, не требуется проводить повторную калибровку.

На рис. 2 приведены зависимости временного шума, геометрического шума и показателя корректируемости от времени работы МФПУ с емкостью накопления в ячейке 480 фФ и 250 фФ для элементов, расположенных в центре МФЧЭ в круге диаметром 256 пикселей. В этой области геометрический шум и показатель корректируемости растут не так резко, как по всей площади МФЧЭ. В случае оценки долговременной стабильности по всей площади МФЧЭ время долговременной стабильности будет меньше из-за эффекта «паразитного излучения» в периферийных областях МФЧЭ [6, 7]. Данный эффект обусловлен нагревом корпусных деталей фотоприемника и на сегодняшний момент практически полностью устранен усовершенствованием конструкции охлаждаемой диафрагмы МФПУ.



а



б

Рис. 2. Зависимости временного шума (1), геометрического шума (2), показателя корректируемости в центральной области диаметром 256 элементов (3) и показателя корректируемости (4) от времени работы МФПУ: а — с емкостью накопления в ячейке 480 фФ; б — с емкостью накопления в ячейке 250 фФ.

В случае большей емкости накопления показатель корректируемости для центральных элементов МФПУ не достиг единицы через 2 часа 50 минут. Стоит отметить, что флуктуации геометрического шума во время работы вероятнее всего объясняются изменением внешних условий (например, температуры окружающей среды) при измерениях. В случае малой емкости накопления показатель корректируемости для центральных элементов МФПУ не достиг единицы через 4 часа 40 минут. В линейном приближении оценочное время корректируемости достигает значения 3 часа 25 минут и 8 часов 30 минут для ячеек с большой и малой емкостями накопления соответственно. Такая большая разница во времени долговременной стабильности показывает, что основная часть геометрического шума не связана с фоточувствительными элементами, а обусловлена аналого-цифровыми схемами, расположенными после ячеек БИС считывания. Подтверждением этому является хорошее приближение линейной зависимости показателя корректируемости в центральной области от времени работы, что можно объяснить примерно линейным дрейфом постоянной составляющей в схемах после ячеек БИС считывания, который приводит к линейному увеличению геометрического шума за счет разброса чувствительности фоточувствительных элементов после проведения двухточечной коррекции.

Хорошее качество ИК-изображений, полученных на МФПУ с различными емкостями накопления ячеек БИС считывания, подтверждают возможность использования обеих схем ячеек считывания для МФПУ в различных областях применения.

Заключение

Проведенные в работе исследования показывают, что время долговременной стабильности

МФПУ на основе InSb составляет несколько часов. Это обеспечивают длительную работу устройства в тепловизионных системах без дополнительной калибровки.

Рост геометрического шума в периферийных областях МФЧЭ в большей степени обусловлен эффектом «паразитного излучения». Общий рост геометрического шума не связан с фоточувствительными элементами, а обусловлен аналого-цифровыми схемами, расположенными после ячеек БИС считывания. Предположительно, его причиной является нагрев электроники предварительного усиления, температура которой за время работы увеличивается на $10\div 20$ °С.

Ячейка БИС считывания с малой емкостью накопления позволяет получить существенно большую долговременную стабильность (более, чем в два раза) при увеличенной оптимальной кадровой частоте (более, чем в два раза) с высокой помехозащищенностью и сохранением ЭШРТ, но с уменьшенным динамическим диапазоном.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт АО «НПО «Орион». Россия, <http://www.orion-ir.ru>
2. Балиев Д. Л., Болтарь К. О., Власов П. В., Киселева Л. В., Ложников В. Е., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г., Полунеев В. В., Рудневский В. С., Савостин А. В. // Прикладная физика. 2014. № 2. С. 41.
3. Болтарь К. О., Киселева Л. В., Лопухин А. А., Савостин А. В. Патент РФ № 2460174. 2012.
4. Gross W., Hierl T., Schulz M. // Optical Engineering. 1999.
5. Соляков В. Н., Кортиков М. В. // Прикладная физика. 2010. № 1. С. 58.
6. Болтарь К. О., Власов П. В., Лопухин А. А., Мансветов Н. Г. // Прикладная физика. 2014. № 3. С. 67.
7. Ефимова З. Н., Ефимов И. В., Мансветов Н. Г., Лопухин А. А., Власов П. В., Киселева Л. В., Савостин А. В. Патент РФ № 2571171. 2014.

Long-term stability of the InSb 640×512 FPA with the pitch of 15 μm

P. V. Vlasov

Orion R&P Association
9 Kosinskaya str., Moscow, 111538, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received June 27, 2016

The long-term stability of InSb 640×512 FPA with pitch of 15 μm with Integral Stirling cooler and the mating block has been investigated. A correctability as a function of time after a two-point nonuniformity correction is obtained. Two types of FPA differing in accumulation capacitance and transmis-

sion coefficient of ROIC are reviewed. The long-term stability time is many hours for FPA. This FPA does not require a continuous real-time correction in a thermovision system.

PACS: 07.07.Df, 07.57.-c, 81.05.Ea, 81.65.Rv

Keywords: Focal Plane Array, FPA, indium antimonide photodiodes, long-term stability, correctability.

REFERENCES

1. <http://www.orion-ir.ru>
2. D. L. Baliev, K. O. Boltar, P. V. Vlasov, L. V. Kiseleva, V. E. Lozhnikov, A. A. Lopukhin, N. G. Mansvetov, V. V. Poluneev, V. S. Rudnevskii, and A. V. Savostin, *Prikl. Fiz.*, No. 2, 41 (2014).
3. K. O. Boltar, L. V. Kiseleva, A. A. Lopukhin, and A. V. Savostin, RF Patent No. 2460174 (2012).
4. W. Gross, T. Hierl, and M. Schulz, *Optical Engineering* (1999).
5. V. N. Solyakov and M. V. Kortikov, *Prikl. Fiz.*, No. 1, 58. (2010).
6. K. O. Boltar, P. V. Vlasov, A. A. Lopukhin, and N. G. Mansvetov, *Prikl. Fiz.*, No. 3, 67 (2014).
7. Z. N. Efimova, I. V. Efimov, N. G. Mansvetov, A. A. Lopukhin, P. V. Vlasov, L. V. Kiseleva, and A. V. Savostin, RF Patent No. 2571171 (2014).