

**УСТРОЙСТВО СЧИТЫВАНИЯ ДЛЯ ИК ФПУ  
С РЕЖИМОМ ВРЕМЕННОЙ ЗАДЕРЖКИ И НАКОПЛЕНИЯ**

**И. И. Ли**

*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН, г. Новосибирск  
E-mail: irlamlee@isp.nsc.ru*

Рассмотрено устройство считывания для систем с режимом временной задержки и накопления (ВЗН), позволяющее реализовать ИК ФПУ с произвольным числом каскадов с ВЗН.

**Введение.** Тепловизионные системы на основе линейчатых ИК ФПУ с 4–32 каскадами с временной задержкой и накоплением (ВЗН) в длинноволновом диапазоне 8–12 мкм по температурному разрешению (NETD) практически не уступают тепловизионным системам на основе матричных ИК ФПУ. Недостаток линейчатых ИК ФПУ, заключающийся в необходимости механических систем сканирования, компенсируется более высокой однородностью параметров [1, 2].

Первые разработки линейчатых ИК ФПУ с режимом ВЗН были выполнены на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), которые удобны для реализации основной функции ВЗН. Однако использование ПЗС затрудняет реализацию ряда сервисных опций, таких как «режим окна», изменение направления сканирования и преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму. Поэтому последние разработки систем с ВЗН выполнены по КМОП-технологии.

Устройства считывания для ИК ФПУ с режимом ВЗН должны решать следующие задачи.

1. Формирование функции временной задержки сигналов [3]. При этом важно найти такие схемотехнические решения, которые обеспечили бы увеличение количества каскадов с ВЗН без изменения конструкции всех составных элементов устройства считывания.

2. Для линейчатых ИК ФПУ, как правило, не допускается наличие дефектных фотоприемных каналов. Однако уровень технологии производства многоэлементных ИК-фотоприемников гибридной сборки не позволяет изготавливать бездефектные гибридные модули, поэтому необходимо обеспечить возможность удалять в собранном приборе произвольные дефектные либо сильно шумящие фотоприемные каналы независимо от причины их

появления (дефекты фотоприемников, гибридной сборки и кремниевого устройства считывания).

3. Современные устройства считывания должны также обеспечить в режиме реального времени реализацию ряда дополнительных сервисных опций, таких как «оконный режим», изменение направления сканирования и другие.

В данной работе предлагается структура устройства считывания, позволяющая решить эти задачи систем с ВЗН.

**Структура устройства считывания для гибридных ИК ФПУ с режимом ВЗН.** Упрощенная схема устройств считывания для режима ВЗН, приведенная на рис. 1, состоит из следующих основных узлов (блоков) [4]:

- блок, обеспечивающий запись и хранение (БЗХ) информации о дефектных фотоприемных каналах размером  $n \times m$  ( $n$  – число каскадов с ВЗН);
- блок устройств считывания (БУС) фотосигналов размером  $n \times m$  (на рис. 1  $n = 4$ , но  $n$  может быть любым числом);
- блок аналоговых устройств хранения (БАУХ) и суммирования сигналов с ВЗН размером  $n \times m$ ;
- мультиплексор размером  $1 \times m$ .

Для описания отдельных блоков устройства считывания с ВЗН и понимания внутренних связей между ними в табл. 1 приведены последовательности сигналов с ВЗН на матрице фотоприемных элементов (при  $n = 4$ ) в зависимости от номера цикла накопления.

Режим ВЗН удобнее обеспечивать выбором последовательности подключения устройств хранения и суммирования сигналов. Необходимая последовательность подключения входных ячеек к устройствам хранения и суммирования сигналов с ВЗН приведена в табл. 2. Как следует из табл. 1 и 2, для обеспечения режима ВЗН на выходах дешифраторов 1–3 (см. рис. 1) должны быть сформированы коды (табл. 3), которые определяют последовательность подключения выходов входных устройств к входам устройств хранения и суммирования сигналов с ВЗН по шине 1, выходов устройств хранения и суммирования сигналов с ВЗН по шине 2 к соответствующему входу усилителя (У) мультиплексора.

Из табл. 3 видно, что, начиная с четвертого цикла считывания, на входы усилителей мультиплексора с ячеек БАУХ первой строки выводится первый сигнал с ВЗН – сумма сигналов с первого по четвертый цикл накопления. Пятый цикл накопления повторяет первый цикл. В этом цикле считывания на входы усилителей мультиплексора с ячеек БАУХ четвертой строки выводится сигнал с ВЗН со второго по пятый цикл накопления. Шестой цикл накопления повторяет второй цикл, в котором на входы усилителей мультиплексора с ячеек БАУХ третьей строки выводится сигнал с ВЗН с третьего по шестой цикл накопления и т. д.

Временные диаграммы управляющих напряжений на выходах дешифраторов 1–3 в соответствии с кодами, приведенными в табл. 3, показаны на рис. 2. Управляющие напряжения на выходе дешифратора 1 (напряжения 1.1–1.4) повторяются в каждом цикле считывания, и это обеспечивает идентичность режимов накопления фотосигналов во входных ячейках устройства считывания. Управляющие напряжения на выходах дешифратора 2 (напряжения 2.1–2.4) и дешифратора 3 (напряжения 3.1–3.4) повторяются с периодом, равным числу  $n$  каскадов ВЗН (в нашем случае  $n = 4$ ).

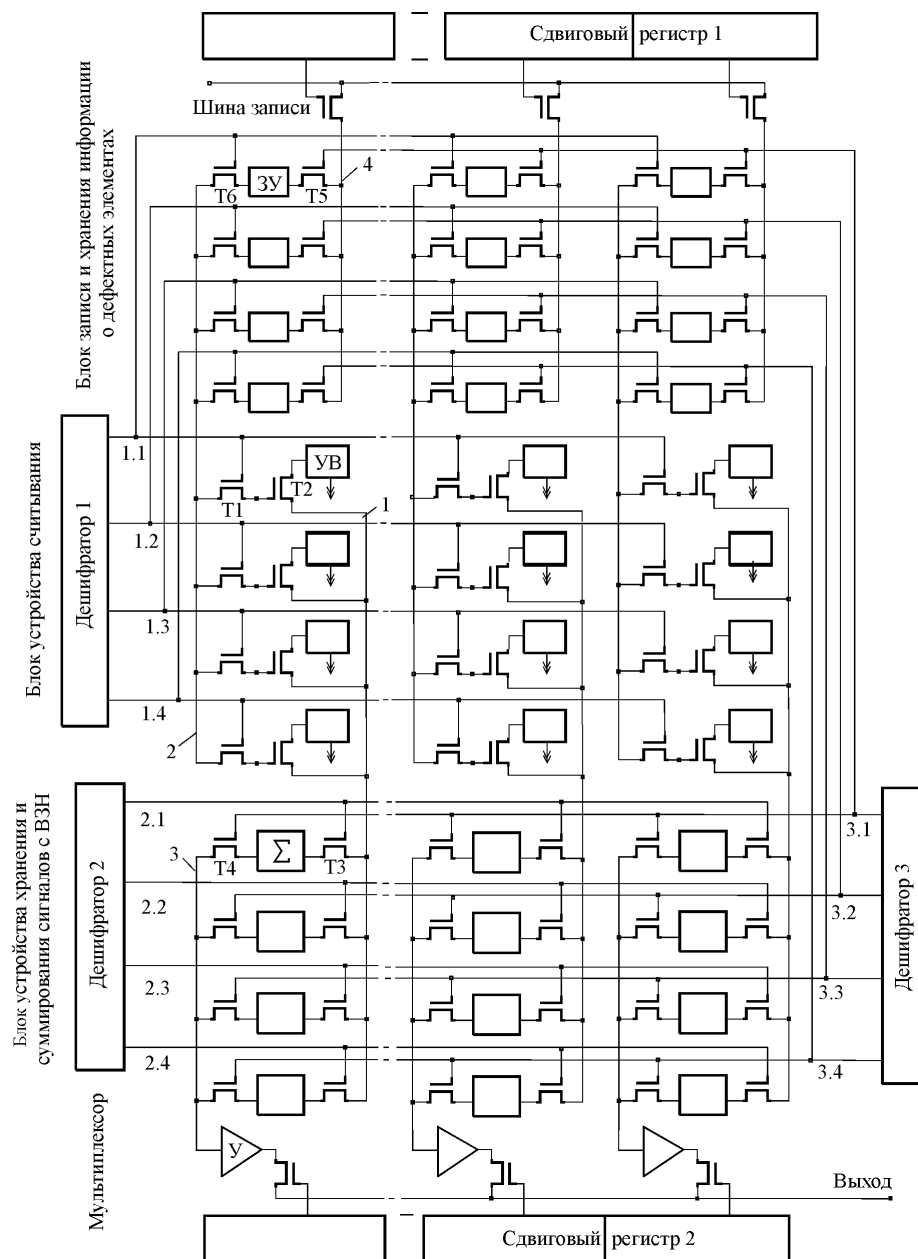


Рис. 1

Устройство считывания работает следующим образом. При подаче высокого напряжения с выхода дешифратора 1 (выход 1.  $i$ , где  $i(1-4)$  – номер строки БУС на рис. 1) и высоком напряжении на шине 4 информационный сигнал с устройства ввода (УВ) БУС через открытые транзисторы T2  $i$ -й строки передается на шину 2. Как показано в табл. 3 и на рис. 2, одновременно с импульсом (1.  $i$ ) формируется высокое напряжение на соответствующем выходе

Т а б л и ц а 1

Циклы накопления фотосигналов ( $j$ -й столбец)	Номер строки матрицы фотоприемных элементов (в $j$ -м столбце)			
	1	2	3	4
1	$i, j$	$i - 1, j$	$i - 2, j$	$i - 3, j$
2	$i + 1, j$	$i, j$	$i - 1, j$	$i - 2, j$
3	$i + 2, j$	$i + 1, j$	$i, j$	$i - 1, j$
4	$i + 3, j$	$i + 2, j$	$i + 1, j$	$i, j$
5	$i + 4, j$	$i + 3, j$	$i + 2, j$	$i + 1, j$
6	$i + 5, j$	$i + 4, j$	$i + 3, j$	$i + 2, j$
7	$i + 6, j$	$i + 5, j$	$i + 4, j$	$i + 3, j$
8	$i + 7, j$	$i + 6, j$	$i + 5, j$	$i + 4, j$
9	$i + 8, j$	$i + 7, j$	$i + 6, j$	$i + 5, j$

дешифратора 2 (выход  $2.k$ , где  $k(1-4)$  – номер строки БАУХ). Сигналы, накопленные в УВ, поступают через открытые транзисторы Т4 на ячейки хранения  $\Sigma$  устройств БАУХ  $k$ -й строки. В каждом цикле считывания после

Т а б л и ц а 2

Циклы накопления фотосигналов ( $j$ -й столбец)	Последовательность подключения устройств суммирования (в $j$ -м столбце)				Фотосигналы, накопленные в устройствах суммирования (в $j$ -м столбце)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	$i, j$	$i - 1, j$	$i - 2, j$	$i - 3, j$
2	4	1	2	3	$i, j$	$i - 1, j$	$i - 2, j$	$i + 1, j$
3	3	4	1	2	$i, j$	$i - 1, j$	$i + 2, j$	$i + 1, j$
4	2	3	4	1	$i, j$	$i + 3, j$	$i + 2, j$	$i + 1, j$
5	1	2	3	4	$i + 4, j$	$i + 3, j$	$i + 2, j$	$i + 1, j$
6	4	1	2	3	$i + 4, j$	$i + 3, j$	$i + 2, j$	$i + 5, j$
7	3	4	1	2	$i + 4, j$	$i + 3, j$	$i + 6, j$	$i + 5, j$
8	2	3	4	1	$i + 4, j$	$i + 7, j$	$i + 6, j$	$i + 5, j$
9	1	2	3	4	$i + 8, j$	$i + 7, j$	$i + 6, j$	$i + 5, j$

Т а б л и ц а 3

Номер цикла накопления фотосигналов	Логические составляющие на выходах дешифратора 1 (1. $i - 1.1, 1.2, 1.3, 1.4$ )	Логические составляющие на выходах дешифратора 2 (2. $k - 2.1, 2.2, 2.3, 2.4$ )	Логические составляющие на выходах дешифратора 3 (3. $u - 3.1, 3.2, 3.3, 3.4$ )	Информация на входах мультиплексора (шины 2 на рис. 1)
1	1, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 1	$i - 3, j$
2	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	0, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0	$2 \times (i - 2, j)$
3	1, 0, 0, 0	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	0, 1, 0, 0	0, 1, 0, 0	$3 \times (i - 1, j)$
4	1, 0, 0, 0	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	1, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	$4 \times (i, j)$
5	1, 0, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 1	$4 \times (i + 1, j)$
6	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 1	0, 0, 0, 0	–
	0, 1, 0, 0	1, 0, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 1, 0	0, 1, 0, 0	0, 0, 0, 0	–
	0, 0, 0, 1	0, 0, 1, 0	0, 0, 1, 0	$4 \times (i + 2, j)$

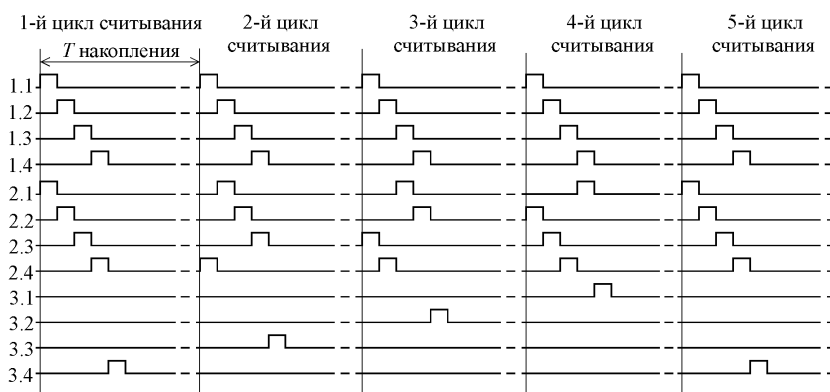


Рис. 2

записи сигналов в соответствующие ячейки хранения ( $\Sigma$ ) устройства БАУХ на одном из выходов дешифратора 3 ( $3.u$ ) формируется управляющий импульс, открывающий транзисторы Т3 строки ячеек БАУХ, в которой сформирован сигнал с ВЗН. Этот сигнал по шинам 2 параллельно передается на входные усилители мультиплексора ( $У$ ) и далее последовательно на шину «Выход» мультиплексора.

Удаление дефектных элементов в устройстве считывания с ВЗН происходит следующим образом. Если в ячейке памяти запоминающего устройства (ЗУ) БЗХ соответствующей строки содержится «логическая единица», то при появлении выходного напряжения на дешифраторе 1 на шине 4 формируется высокое напряжение, которое через открытый транзистор Т1 подается на затвор транзистора Т2. Сигнал с соответствующей ячейки УВ передается по шине 1 в БАУХ. При состоянии ячейки памяти БЗХ «логический нуль» напряжение на шине 4 становится низким, транзистор Т2 запирается и блокирует передачу сигнала с этой «дефектной» ячейки на шину 1. Информация в ячейки памяти БЗХ записывается по шине записи, причем сдвиговый регистр 1 работает синхронно со сдвиговым регистром 2.

Методика определения дефектных фотоприемных каналов может быть следующей: в столбце фотоприемного канала с избыточным уровнем шума в сигнале с ВЗН последовательно путем записи «логического нуля» в соответствующую ячейку БЗХ блокируется три из четырех УВ и проводится анализ уровней сигналов и шума. Из четырех фотоприемных каналов столбца выбираются каналы с максимальным отношением сигнал/шум, и из этих фотоприемных каналов формируется сигнал с ВЗН. После определения дефектных элементов их адреса должны храниться во внешнем ЗУ размером  $n \times m$ . В рабочем режиме эти адреса по шине записи передаются в ячейки ЗУ БЗХ.

**Заключение.** В предложенной принципиальной схеме устройств считывания при увеличении числа каскадов с ВЗН меняется только количество ячеек в столбцах. Схемы ячеек и соответственно топологии всех составных частей остаются прежними. Это позволяет без существенных изменений реализовать системы с любым количеством каскадов с ВЗН. При смене направления сканирования для формирования сигналов с ВЗН достаточно преобразовать коды на выходах дешифраторов 1–3.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Chen L., Hewitt M., Gulbransen D. et al.** Overview of advances in high performance ROIC designs for use with IRFPAs // SPIE. 2000. **4028**. P. 124.
2. **Manissadjian A., Tribolet P., Chorier P., Costa P.** Sofradir infrared detector products: the past and the future // SPIE. 2000. **4130**. P. 480.
3. **Kim B., Yoon N., Lee H. C., Kim C.** Novel concept of TDI readout circuit for LWIR detector // SPIE. 2000. **4028**. P. 166.
4. **Пат. 2236064 РФ.** Устройство считывания с временной задержкой и накоплением сигналов с многоэлементных ИК-фотоприемников /И. И. Ли. Заявл. 15.12.2002; Опубл. 10.09.2004, Бюл. № 25.

*Поступила в редакцию 4 мая 2007 г.*

---