

УДК 621.383
EDN: DFMHTU

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp



Деселекция избыточно шумящих элементов в каналах инфракрасных фоточувствительных модулей с режимом временной задержки и накопления для увеличения отношения сигнал/шум

О. В. Гапонов, В. И. Бурлаков, О. И. Власова

Рассматривается существующая методика деселекции избыточно шумящих элементов в каналах инфракрасного (ИК) фоточувствительного модуля (ФМ) с режимом временной задержки и накопления (ВЗН), предназначенная для увеличения отношения сигнал/шум (ОСШ) в каналах фотоприёмника. В результате рассмотрения был выявлен недостаток методики – она применима только для ИК ФМ формата 6×576. Для устранения данного недостатка была проведена модификация методики деселекции избыточно шумящих элементов. Модификация позволила использовать методику деселекции в каналах ИК ФМ любого формата с режимом ВЗН. Модифицированная методика будет полезна для увеличения ОСШ в каналах ИК ФМ независимо от формата фотоприёмника.

Ключевые слова: фотоэлектроника, оптико-электронные устройства, инфракрасный диапазон, фоточувствительный модуль, режим временной задержки и накопления, шум, деселекция, отношение сигнал/шум.

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-1-42-51

Введение

Использование многоканальных ИК ФМ с режимом ВЗН позволяет существенно улучшить основные параметры фотоприёмника: снизить неравномерность чувствительности; увеличить ОСШ; повысить пространственное разрешение [1–3] и т. д. Также становится

возможным уменьшение числа неработоспособных каналов ИК ФМ, имеющих в своём составе несколько фоточувствительных элементов (ФЧЭ). Однако при эксплуатации фотоприёмника с режимом ВЗН может возникнуть проблема, рассмотренная ниже.

Пусть имеется многоканальный ИК ФМ, число каналов в котором равно M . Рассмотрим распределение ОСШ по каналам ИК ФМ, представленное на рис. 1. На графике по горизонтальной оси отложены номера каналов от 1 до M , а по вертикальной оси отложены значения ОСШ в процентах от максимального значения ОСШ. Чёрной линией (отмечена цифрой 1 на рис. 1) обозначено распределение ОСШ по каналам, а красной линией (отмечена цифрой 2 на рис. 1) обозначено среднее значение ОСШ, составляющее 76 % от максимума.

Гапонов Олег Владимирович, инженер 2 кат., аспирант.
E-mail: gapn@yandex.ru

Бурлаков Владислав Игоревич, инженер-программист
1 кат., аспирант.
E-mail: vlad-burlakov@mail.ru

Власова Ольга Игоревна, вед. инженер, аспирант.
АО «НПО «Орион».
Россия, 111538, Москва, ул. Косинская, 9.

Статья поступила в редакцию 21.12.2022
Принята к публикации 18.01.2023

© Гапонов О. В., Бурлаков В. И., Власова О. И., 2023

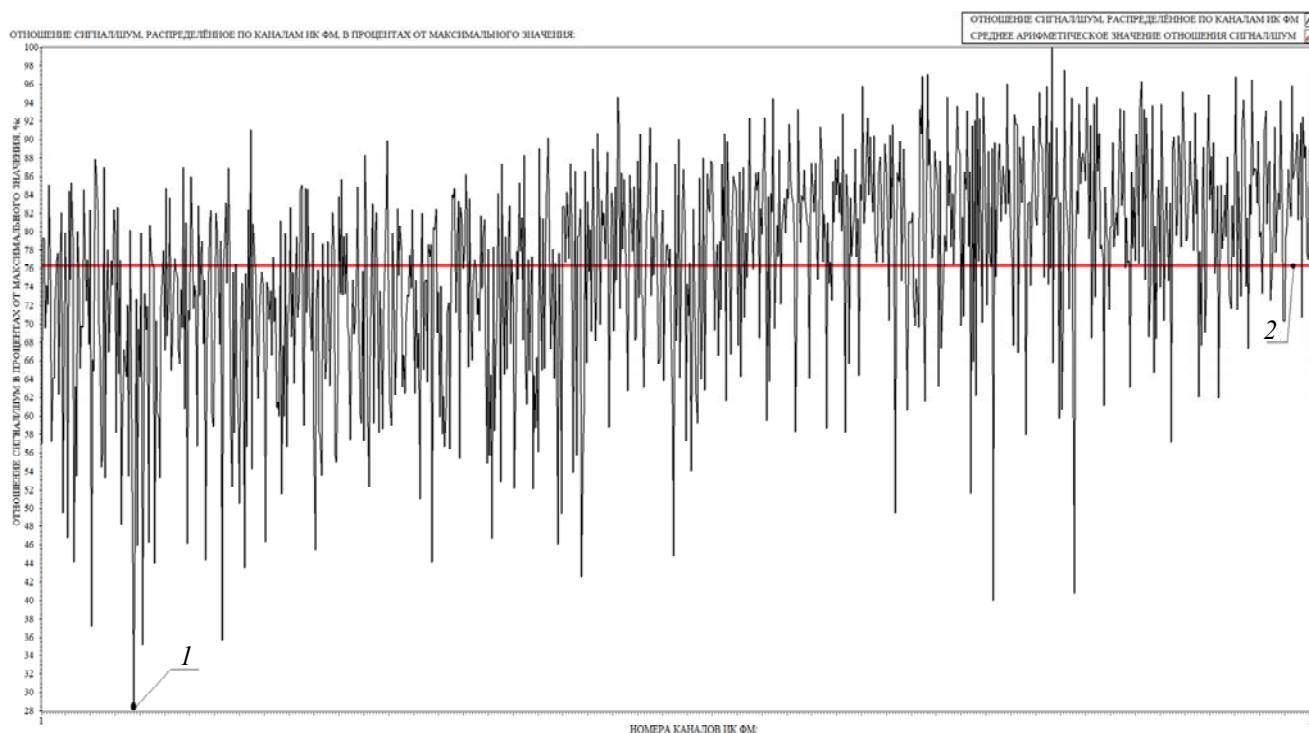


Рис. 1. Распределение ОСШ по каналам ИК ФМ: 1 – ОСШ в процентах от максимального значения ОСШ; 2 – среднее арифметическое значение ОСШ, рассчитанное по ОСШ всех каналов фотоприёмника

Из графика видно, что имеются каналы, ОСШ в которых заметно меньше его среднего арифметического значения и составляет менее 50 % от максимального значения ОСШ. При исследованиях было обнаружено, что причиной малого ОСШ в таких каналах являются их шумы, которые заметно больше шумов каналов с более высоким ОСШ. Поэтому возникает заинтересованность в методиках повышения ОСШ в каналах с малым ОСШ за счёт уменьшения их шума. Таковой является методика деселекции избыточно шумящих (дефектных) элементов в каналах фотоприёмника ИК диапазона с режимом ВЗН.

В настоящее время предложена методика [4] деселекции дефектных элементов в каналах ИК ФМ для увеличения ОСШ в каналах. После изучения данной методики был выявлен её основной недостаток – она применима только для фотоприёмника конкретного формата. Под форматом подразумевается число ФЧЭ в каждом канале ИК ФМ и число каналов фотоприёмника.

В связи с обнаруженным недостатком была сформулирована цель данной работы – мо-

дернизация существующей методики деселекции избыточно шумящих элементов в каналах ИК ФМ таким образом, чтобы после модернизации методику возможно было применять в фотоприёмниках любого формата для увеличения ОСШ в его каналах. Перед описанием модернизации последовательно рассмотрим упрощённую блок-схему типового канала ИК ФМ с режимом ВЗН, принципы работы канала и существующую методику деселекции.

Схема типового канала ИК ФМ с режимом ВЗН

Рассмотрим приведённую на рис. 2 упрощённую блок-схему типового канала ИК ФМ формата $N \times M$ с режимом ВЗН, где N – это целое положительное число ФЧЭ в каждом канале фотоприёмника, а M – это целое положительное число каналов в фотоприёмнике. В данной работе при указании формата первое число будет обозначать количество ФЧЭ в каждом канале, а второе число будет обозначать количество каналов в ИК ФМ.

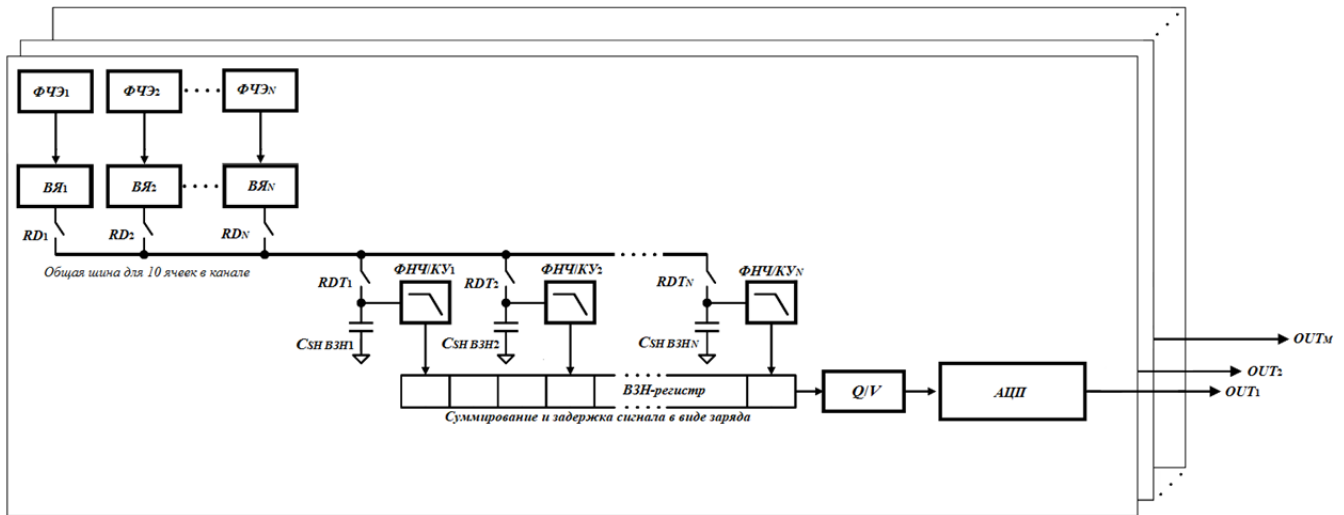


Рис. 2. Упрощённая блок-схема типового канала ИК ФМ с режимом ВЗН

В каждом канале ИК ФМ имеются N ФЧЭ $\Phi\text{ЧЭ}_1, \dots, \Phi\text{ЧЭ}_N$ и N входных ячеек (ВЯ) $\text{ВЯ}_1, \dots, \text{ВЯ}_N$, которые расположены вдоль направления сканирования, одна общая для всех ВЯ коммутационная шина с ключами RD_1, \dots, RD_N и RDT_1, \dots, RDT_N , N конденсаторов выборки-хранения $C_{SH \text{ ВЗН}1}, \dots, C_{SH \text{ ВЗН}N}$, N блоков $\Phi\text{НЧ/КУ}_1, \dots, \Phi\text{НЧ/КУ}_N$ для подстройки либо фильтра нижней частоты (ФНЧ), либо коэффициента усиления (КУ), один регистр для суммирования и задержки сигнала в форме заряда (ВЗН-регистр), а также один зарядочувствительный усилитель Q/V . Если фотоприёмник является цифровым, то после усилителя Q/V устанавливается аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

В канале каждому $\Phi\text{ЧЭ}_i$ ($1 \leq i \leq N$) соответствуют свои ВЯ_i , ключи RD_i и RDT_i , конденсатор выборки-хранения $C_{SH \text{ ВЗН}i}$ и блок $\Phi\text{НЧ/КУ}_i$. Указанная последовательность элементов в данной работе будет обозначаться как элементная цепочка или цепочка. Итого в каждом канале ИК ФМ формата $N \times M$ содержатся N элементных цепочек.

Принципы работы типового канала ИК ФМ с режимом ВЗН

Рассмотрим прохождение сигналов в каждом канале в режиме ВЗН. Сначала оптический сигнал подаётся на входы ФЧЭ. После этого выходные сигналы всех ФЧЭ поступают на соответствующие ВЯ, затем выходные сигналы ВЯ через общую коммутационную шину

при помощи ключей коммутируются на конденсаторы выборки-хранения с последующей фильтрацией либо усилением посредством блоков подстройки либо ФНЧ, либо КУ. После блоков подстройки сигналы попадают на вход ВЗН-регистра, в результате выходной сигнал регистра представляет собой сумму его входных сигналов. Выходной сигнал ВЗН-регистра передаётся на вход зарядочувствительного усилителя, где происходит преобразование заряда в напряжение. Если ИК ФМ является цифровым, то выходной сигнал зарядочувствительного усилителя подаётся на вход АЦП, где происходит его оцифровка. Более подробное описание составных частей канала ИК ФМ представлено в работах [5, 6].

Описанная схема является типовой для фотоприёмников ИК-диапазона с режимом ВЗН. Отличия могут заключаться в отсутствии или наличии АЦП [7] (если ИК ФМ аналоговый или цифровой), количестве элементных цепочек (количество цепочек определяется числом ФЧЭ в канале) и количестве каналов.

Из описания схемы канала видно, что выходной сигнал одного канала представляет собой сумму сигналов и шумов всех ФЧЭ, прошедших через ВЯ, конденсаторы выборки-хранения и блоки подстройки ФНЧ/КУ. Поэтому при наличии в канале цепочки с одним или несколькими избыточно шумящими элементами ОСШ канала уменьшится, что может привести к невозможности выделить сигнал из шума и тогда канал окажется неработоспособным.

Необходимо отметить, что невозможно определить, какой именно элемент цепочки избыточно шумит. Невозможность связана с тем, что даже если измерять сигнал или шум с одного ФЧЭ (об этом будет рассказано далее при описании режима «bypass»), то выходной сигнал канала – это сигнал ФЧЭ, прошедший через ВЯ, конденсатор выборки-хранения и блок подстройки ФНЧ/КУ. Поэтому не представляется возможным выделить в выходном сигнале составляющую конкретного элемента цепочки.

Для увеличения поканального ОСШ необходимо в каналах прибора проводить деселекцию цепочек с дефектными элементами. Заметим, что под деселекцией дефектных элементов подразумевается деселекция цепочек с дефектными элементами. Отметим, что проводить деселекцию дефектных элементов в цепочке невозможно, поскольку цепочка представляет собой последовательное соединение элементов. Если отключить хотя бы один элемент цепочки – вся цепочка будет отключена. Поэтому проводится деселекция цепочек с дефектными элементами, а не деселекция дефектных элементов в цепочке. Деселекция цепочек выполняется закрытием ключей RD_i и RDT_i .

При проведении деселекции происходят потери сигнала в каналах, в которых было выполнено отключение одной или нескольких цепочек с дефектными элементами. Данные потери необходимо компенсировать. Компенсация потерь сигнала в канале возможна только в том случае, если отключается лишь часть цепочек. Например, для ИК ФМ, в каждом канале которого содержатся шесть ФЧЭ [4], из шести элементных цепочек в канале можно деселектировать до двух цепочек с избыточно шумящими элементами.

Существующая методика деселекции в каналах ИК ФМ

Существующая методика выявления цепочек с дефектными элементами в каналах

ИК ФМ для увеличения ОСШ описана в [4]. Эта методика была разработана для применения в ИК ФМ формата 6×576. Рассмотрим данную методику.

Для выявления в каналах цепочек с дефектными элементами сначала потребуется косвенно измерить:

1) дисперсию напряжения шума каждой элементной цепочки по отдельности для всех каналов;

2) среднее арифметическое значение напряжения сигнала каждой элементной цепочки по отдельности для всех каналов.

В данной работе дисперсия напряжения шума также будет обозначаться как дисперсия шума, а среднее арифметическое значение напряжения сигнала как средний сигнал.

Выполнить представленные косвенные измерения возможно за счёт переключения ИК ФМ из режима ВЗН в режим «bypass», который позволяет выводить сигнал с одной выбранной элементной цепочки для всех каналов. На рис. 3 представлена упрощённая блок-схема типового канала ИК ФМ в режиме «bypass». Опишем принцип данного режима без привязки к конкретному формату ИК ФМ.

Пусть в каждом канале ИК ФМ имеются N ФЧЭ. Выбирается одна цепочка с i -м ФЧЭ, характеристики которой необходимо измерить в каждом канале. Оптический сигнал подаётся на вход i -го ФЧЭ, выходной сигнал данного элемента поступает на i -ую ВЯ. Затем с помощью ключей RD_i и RDT_N общей коммутационной шины выходной сигнал ВЯ коммутируется на конденсатор $C_{SH\ ВЗН}$, после чего фильтруется либо усиливается блоком $ФНЧ/КУ_N$. Отфильтрованный, либо усиленный сигнал подаётся сразу на вход зарядочувствительного усилителя в обход ВЗН-регистра, далее в случае цифрового ИК ФМ выходной сигнал усилителя оцифровывается с помощью АЦП. В процессе измерений характеристик в режиме «bypass» включенной остаётся только одна цепочка, остальные цепочки отключены, так как все ключи, кроме RD_i и RDT_N , всегда остаются разомкнутыми. На этом описание принципа работы режима «bypass» завершается.

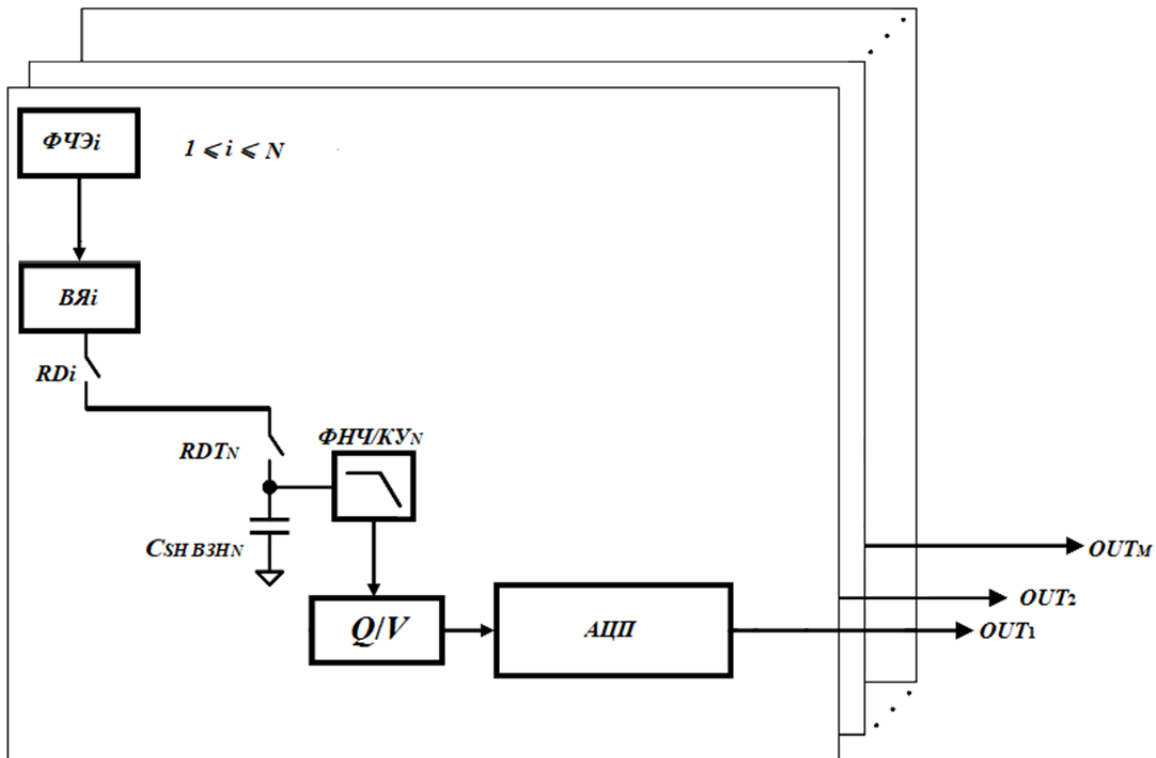


Рис. 3. Упрощённая блок-схема типового канала ИК ФМ в режиме «bypass»

Косвенные измерения дисперсии шума и среднего сигнала выполняются на установке измерения основных параметров фотоприёмных устройств. Описание данной установки приведено в [8, 9]. Искомые значения дисперсии шума и среднего сигнала определяются на основании результатов многократных прямых измерений напряжений сигнала и шума, напряжения измеряются в В. Многократные прямые измерения на указанной установке проводятся в соответствии с методикой, предложенной в [10].

Результаты косвенных измерений обрабатываются на электронной вычислительной машине. Обработанные результаты для каждого канала представляют собой сортированную по возрастанию выборку из N значений дисперсии шума $\sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2$, а также выборку из N значений среднего сигнала S_1, \dots, S_N , где σ_1^2 – это дисперсия шума цепочки с минимальной дисперсией среди $\sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2$, где σ_N^2 – это дисперсия шума цепочки с максимальной дисперсией среди $\sigma_1^2, \dots, \sigma_N^2$. Каждой дисперсии σ_i^2 соответствует своё значение среднего сигнала S_i . Поскольку методика была

разработана для приёмника формата 6×576 , то $N = 6$.

После косвенных измерений применяется критерий, определяющий, имеет ли цепочка конкретного канала, дисперсия которой равна σ_i^2 , дефектные элементы. В работе [4] предложено несколько таких критериев. Они используют в качестве входных данных косвенные измерения среднего сигнала и дисперсии шума. Приведём один из критериев, который записывается в виде формулы (1):

$$\frac{6 \times S}{\sqrt{5 \times \sigma^2 + \sigma_{def}^2}} < \frac{5 \times S}{\sqrt{5 \times \sigma^2}}, \quad (1)$$

где S – это средний сигнал, при этом полагается, что $S_1 = \dots = S_6 = S$, σ^2 – это дисперсия шума цепочек с нормальными (не являющимися дефектными) элементами, при этом полагается, что $\sigma_1^2 = \dots = \sigma_5^2 = \sigma^2$, σ_{def}^2 – это дисперсия шума цепочки с предполагаемыми дефектными элементами, при этом полагается, что $\sigma_{def}^2 = \sigma_6^2$. Иными словами, в качестве цепочки, могущей содержать дефектные элементы, рассматривается цепочка с максимальной

дисперсией среди дисперсий остальных цепочек канала. Числовые значения в критерии (1) актуальны для $N = 6$. Для других N критерий (1), как и другие критерии из работы [4], не применим.

Если условие (1) выполняется, то цепочка, дисперсия шума которой равна σ_{def}^2 , имеет дефектные элементы и производится её деселекция в конкретном канале. Если же условие (1) не выполняется, то предположение о наличии в цепочке дефектных элементов отвергается. Условие (1) можно записать в виде формулы (2):

$$\sigma_{def}^2 > \frac{11 \times \sigma^2}{5}. \quad (2)$$

На этом рассмотрение существующей методики выявления цепочек с дефектными элементами в каналах ИК ФМ с режимом ВЗН завершается. Теперь рассмотрим более подробно критерий (1). Он достаточно прост в вычислении, но имеет свои недостатки. В критерии предполагается, что дисперсии шума цепочек с нормальными элементами совпадают. Однако шум – это случайный процесс, а шум цепочки – это сумма случайных процессов, источниками которых являются ФЧЭ, ВЯ, и блок подстройки ФНЧ либо КУ. Поэтому в общем случае $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_6^2$. Также в критерии предполагается, что значения средних сигналов цепочек равны. Это также в общем случае не выполняется, поскольку средний сигнал S_i представляет собой сумму полезного сигнала и шума, записываемую в виде формулы (3):

$$S_i = S_{\text{полез.}i} + \sqrt{\sigma_i^2}, \quad (3)$$

где $S_{\text{полез.}i}$ – это напряжение полезного сигнала цепочки с дисперсией шума σ_i^2 . Так как $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \neq \dots \neq \sigma_6^2$, то $S_1 \neq S_2 \neq \dots \neq S_6$.

Но основным недостатком критерия (1) является его привязка к конкретному количеству ФЧЭ в канале фотоприёмника. Этот недостаток свойственен и другим критериям, приведённым в работе [4]. Из-за этого существующая методика может применяться только в таких ИК ФМ, в которых каналы содержат только шесть ФЧЭ. Таким образом, методика не является универсальной. Без из-

менения критерия (1) методику невозможно использовать в ИК ФМ любого формата с режимом ВЗН для улучшения ОСШ.

Модификация существующей методики деселекции

Учитывая вышесказанное, необходимо модифицировать методику деселекции цепочек с дефектными элементами в каналах фотоприёмника, изменив критерий (1) таким образом, чтобы его можно было использовать для ИК ФМ любого формата с режимом ВЗН.

Пусть имеется ИК ФМ формата $N \times M$. Поскольку рассматривается ИК ФМ с режимом ВЗН, то N должно быть больше единицы. Также известно, что в каждом канале ИК ФМ нельзя отключать более K элементных цепочек, в которых признано наличие дефектных элементов. K – это целое положительное число цепочек, которое должно быть меньше N , поскольку нельзя отключать все цепочки в канале.

Тогда критерий наличия в канале с номером j ($1 \leq j \leq M$) цепочек с избыточно шумящими элементами можно записать в виде формулы (4):

$$\frac{\sum_{i=1}^{N-k} S_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} \sigma_{i,j}^2}} < \frac{\sum_{i=1}^{N-k'} S_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k'} \sigma_{i,j}^2}}, \quad (4)$$

где k ($0 \leq k \leq K$) – это целое количество цепочек, в которых известно наличие дефектных элементов, $k' = k + 1$ – это целое количество цепочек, в которых предполагается наличие дефектных элементов, $\sigma_{i,j}^2$ – это дисперсия шума цепочки j -го канала, i – это ранг дисперсии шума цепочки в сортированном по возрастанию массиве из N значений дисперсий шума различных цепочек j -го канала. Каждому значению $\sigma_{i,j}^2$ дисперсии шума цепочки соответствует значение $S_{i,j}$ среднего сигнала цепочки. Критерий позволяет сравнить ОСШ с цепочкой, имеющей максимальную дисперсию среди дисперсий $N - k$ цепочек, и ОСШ без данной цепочки. Условие (4) представляет собой цикл, который последовательно проходит по цепочкам j -го канала и повторяется для каналов с другими номерами.

Сформулируем критерий (4). Пусть имеется ИК ФМ формата $N \times M$, в j -м канале которого имеются k цепочек, в которых известно наличие дефектных элементов. Тогда цепочка с максимальной дисперсией шума $\sigma_{N-k,j}^2$ среди дисперсий шума $N - k$ цепочек считается имеющей дефектные элементы, если отношение суммы средних сигналов $N - k$ цепочек к квадратному корню из суммы дисперсий шума $N - k$ цепочек меньше того же самого отношения, но не учитывающего цепочку с дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$.

Критерий (4) должен применяться следующим образом. Для канала с номером j задается $k = 0$, после чего вычисляется k' . Далее проверяется, увеличится ли ОСШ, если исключить из $N - k$ цепочек одну с максимальной дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$. Если условие (4) не выполняется, то отвергается наличие дефектных элементов в цепочке с дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$, и считается, что в j -м канале имеются k цепочек с дефектными элементами. Затем устанавливается $k = 0$, после чего вычисляется k' . Далее проверяются цепочки в канале с номером $j + 1$.

Если же условие (4) выполняется, то признаётся наличие дефектных элементов в цепочке с дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$, и считается, что в j -м канале имеются k' цепочек с дефектными элементами. Далее в j -м канале проверяются другие цепочки на наличие дефектных элементов. Для этого из рассмотрения исключается цепочка с дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$. Затем k устанавливается равным k' , после чего вычисляется k' . Далее проверяется, увеличится ли ОСШ, если исключить из оставшихся $N - k$ цепочек одну с максимальной дисперсией $\sigma_{N-k,j}^2$. Цикл проверки в одном канале останавливается, если $k \geq K$, или условие (4) нарушается. Если цикл останавливается из-за нарушения условия (4), то считается, что в канале имеются ровно k цепочек с дефектными элементами. Если же цикл останавливается из-за k , то считается, что в канале имеются как минимум K цепочек с дефектными элементами. В таком случае не имеет значения, имеют ли оставшиеся $N - K$ цепочек j -го канала де-

фектные элементы, поскольку отключение более K цепочек в одном канале ведёт к невозможности компенсации в нём потерь сигнала.

Покажем, что критерий (4) является функцией следующих трёх переменных: количество ФЧЭ в каждом канале ИК ФМ; номер канала ИК ФМ; количество цепочек, в которых признано наличие дефектных элементов. Для этого представим левую часть критерия (4) в виде функции $f(N, j, k)$, подобное представление выражается формулой (5):

$$f(N, j, k) = \frac{\sum_{i=1}^{N-k} S_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k} \sigma_{i,j}^2}}. \quad (5)$$

Тогда правую часть критерия (4) можно записать в виде формулы (6):

$$f(N, j, k') = \frac{\sum_{i=1}^{N-k'} S_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N-k'} \sigma_{i,j}^2}}. \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) следует, что критерий (4) можно записать в виде формулы (7):

$$f(N, j, k) < f(N, j, k'). \quad (7)$$

Запишем критерий наличия в каналах ИК ФМ цепочек с избыточно шумящими элементами в виде пошагового алгоритма:

- 1) задать номер канала $j = 1$. Перейти ко второму шагу;
- 2) задать $k = 0$. Перейти к третьему шагу;
- 3) вычислить $k' = k + 1$. Перейти к четвёртому шагу;

4) проверить условие (7). Если оно не выполнилось, то отвергнуть для j -го канала наличие дефектных элементов в цепочке, имеющей дисперсию $\sigma_{N-k,j}^2$, и считать, что в j -м канале имеются ровно k цепочек с дефектными элементами. Перейти к пятому шагу. Если же условие (7) выполнилось, то принять для j -го канала наличие дефектных элементов в цепочке, имеющей дисперсию $\sigma_{N-k,j}^2$, и считать, что в j -м канале имеются k' цепочек с дефектными элементами. Перейти к седьмому шагу;

5) увеличить номер канала j на единицу. Перейти к шестому шагу;

б) если $j \leq M$, то вернуться ко второму шагу. Если же $j > M$, то перейти к девятому шагу;

7) установить k равным k' . Перейти к восьмому шагу;

8) если $k \leq K - 1$, то вернуться к третьему шагу. Если же $k \geq K$, то считать, что в j -м канале имеются как минимум K цепочек с дефектными элементами. Вернуться к пятому шагу;

9) завершить проверку на наличие цепочек с избыточно шумящими элементами в ка-

налах ИК ФМ и деселектировать данные цепочки в каналах фотоприёмника.

Использование критерия (7) вместо критерия (1) в существующей методике деселекции цепочек с дефектными элементами позволяет применять методику для увеличения ОСШ в каналах ИК ФМ с режимом ВЗН независимо от формата фотоприёмника. Алгоритм использования модифицированной методики деселекции представлен в виде блок-схемы на рис. 4.

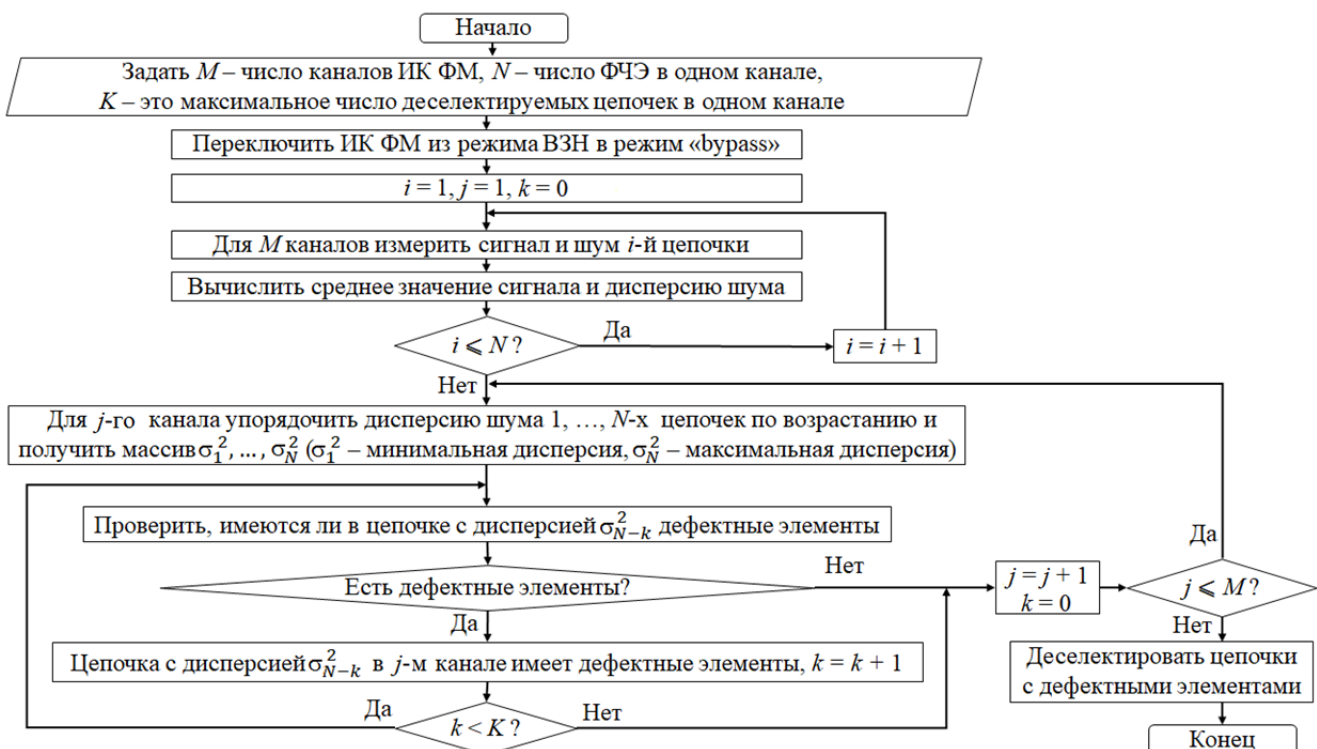


Рис. 4. Блок-схема алгоритма использования модифицированной методики деселекции цепочек с дефектными элементами в каналах ИК ФМ

Заключение

Итогом данной работы стала модификация существующей методики увеличения ОСШ в каналах фотоприёмника за счёт деселекции цепочек с дефектными элементами в каналах ИК ФМ с режимом ВЗН. Модификация представляет собой изменение критерия (1) таким образом, чтобы методику можно было применять в фотоприёмнике любого формата, а не только в ИК ФМ формата 6×576. В результате изменений критерий (1) преобразовался в критерий (7). Модифицированная методика будет полезна для увеличе-

ния ОСШ в каналах ИК ФМ независимо от формата фотоприёмника.

Возможности модификации рассмотренной методики ещё не исчерпаны. Например, прямые измерения напряжений сигнала и шума в методике проводятся не в режиме ВЗН, являющимся рабочим режимом ИК ФМ, а в режиме «bypass». В последнем режиме сигнал с ФЧЭ идёт к зарядочувствительному усилителю, минуя ВЗН-регистр, тогда шум регистра никак не учитывается при деселекции. Так как после деселекции фотоприёмник переключается из режима «bypass» в рабочий режим, где сигналы суммируются в ВЗН-регистре, необ-

ходимо модифицировать методику таким образом, чтобы учитывать шум регистра. На текущий момент исследуется возможность проведения такой модификации, основная идея которой заключается в прямом измерении напряжений сигнала и шума не в режиме «bypass», а в рабочем режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов П. А., Моцев И. С., Сало В. В., Кошанцев Н. Ф. / Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 6. С. 635–638.
2. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. Фотодиоды. – М.: Физматкнига, 2011.
3. Кузнецов П. А., Хромов С. С. / Успехи прикладной физики. 2013. Т. 1. № 3. С. 321–325.
4. Балиев Д. Л., Болтарь К. О. / Прикладная физика. 2015. № 3. С. 57–60.
5. Якимов Ю. А., Ларионов Н. А., Кузнецов А. Н. / Тезисы докладов X научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Фотосенсорика: новые материалы, технологии, приборы, производство». – Москва, 2021. С. 45–48.
6. Ларионов Н. А., Якимов Ю. А., Моцев И. С., Храпунов М. Л., Стрельцов В. А., Кузнецов П. А. / XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения: Тезисы докладов. – Москва, 2022. С. 216–218.
7. Бурлаков В. И., Гапонов О. В. / Инновационные технологии, в электронике и приборостроении: сборник докладов Российской научно-технической конференции с международным участием. – Москва, 2021. Том 1. С. 198–202.
8. Козлов К. В., Бычковский Я. С., Кондюшин И. С., Матвеев А. В., Соляков В. Н., Пожиданов Д. А., Балиев Д. Л. / Прикладная физика. 2014. № 2. С. 64–68.
9. Козлов К. В., Бычковский Я. С., Кондюшин И. С., Матвеев А. В., Соляков В. Н., Пожиданов Д. А., Балиев Д. Л. / Успехи прикладной физики. 2014. Т. 2. № 2. С. 170–176.
10. Бочков В. Д., Дрожников Б. Н., Кузнецов П. А., Козлов К. В., Соляков В. Н. / Прикладная физика. 2014. № 1. С. 53–57.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp

Deselection of overly noisy elements within channels of an infrared focal plane array with time delay integration to increase the signal-to-noise ratio

O. V. Gaponov, V. I. Burlakov and O. I. Vlasova

Orion R&P Association, JSC
9 Kosinskaya st., Moscow, 111538, Russia
E-mail: gapn@yandex.ru

Received 21.12.2022; accepted 18.01.2023

In this paper, the existing methodology for deselection of overly noisy elements within channels of an infrared (IR) focal plane array (FPA) with time delay integration (TDI), designed to increase the signal-to-noise ratio (SNR) in the channels of a photodetector, is considered. As a result of the analysis, a disadvantage of the methodology was revealed – it is applicable only for a TDI FPA with 6×576 elements. To eliminate this disadvantage, a modification of the methodology for deselection of overly noisy elements was performed. The modification made it available to use the methodology for deselection within channels of infrared focal plane array with time delay integration of any format. The modified methodology will be helpful to increase the SNR in the channels of a TDI FPA regardless of the photodetector format.

Keywords: photoelectronics, optoelectronic devices, infrared range, focal plane array, time delay integration, noise, deselection, signal-to-noise ratio.

DOI: 10.51368/2307-4469-2023-11-1-42-51

REFERENCES

1. Kuznetsov P. A., Moshchev I. S., Salo V. V. and Koshantsev N. F., *Usp. Prikl. Fiz.* **2** (6), 635–638 (2014) [in Russian].
2. Filachev A. M., Taubkin I. I. and Trishenkov M. A., *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes*, Moscow, Fizmatkniga, 2011 [in Russian].
3. Kuznetsov P. A. and Khromov S. S., *Usp. Prikl. Fiz.* **1** (3), 321–325 (2013) [in Russian].
4. Baliev D. L. and Boltar K. O., *Applied Physics*, № 3, 57–60 (2015) [in Russian].
5. Yakimov Yu. A., Larionov N. A. and Kuznetsov A. N., Proc. X scientific and practical conference of young scientists and specialists “Fotosensorika: novye materialy, tekhnologii, pribory, proizvodstvo”. Moscow, 2021, pp. 45–48 [in Russian].
6. Larionov N. A., Yakimov Yu. A., Moshchev I. S., Hrapunov M. L., Streltsov V. A. and Kuznetsov P. A. Proc. XXVI Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya po fotoelektronike i priboram nochnogo videniya. Moscow, 2022, pp. 216–218 [in Russian].
7. Burlakov V. I. and Gaponov O. V. Proc. Innovacionnye tekhnologii, v elektronike i priborostroenii: sbornik dokladov Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Moscow, 2021, pp. 198–202 [in Russian].
8. Kozlov K. V., Bychkovsky J. S., Kondushin I. S., Matveev A. V., Solyakov V. N., Pozhidaev D. A. and Baliev D. L., *Applied Physics*, № 2, 64–68 (2014) [in Russian].
9. Kozlov K. V., Bychkovsky J. S., Kondushin I. S., Matveev A. V., Solyakov V. N., Pozhidaev D. A. and Baliev D. L., *Usp. Prikl. Fiz.* **2** (2), 170–176 (2014) [in Russian].
10. Bochkov V. D., Drazhnikov B. N., Kyznetsov P. A., Kozlov K. V. and Solyakov V. N., *Applied Physics*, № 1, 53–57 (2014) [in Russian].