

УДК 621.383

Сравнительный анализ схемотехнических принципов построения КМОП-мультиплексоров для многоэлементных фоторезисторов на основе PbS и PbSe

А. В. Заславский, П. А. Кузнецов, Е. А. Климанов, С. С. Хромов
 ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр РФ, Москва, Россия

Рассмотрены различные варианты построения КМОП-мультиплексоров, предназначенных для усиления и коммутации сигналов с многоэлементных фоторезисторов (ФР) на основе PbS и PbSe. Приведены схемотехнические особенности мультиплексоров.

Увеличение формата фоточувствительных элементов (ФЧЭ), стремление к миниатюризации фотоприемных устройств (ФПУ), повышению их надежности, а также к расширению их функциональных возможностей привело к созданию нового класса микроэлектронных устройств — аналоговых мультиплексоров (МП) или (БИС-считывания).

В последнее время существенно расширилась область применения ФПУ на основе халькогенидов свинца для ближнего и среднего ИК-диапазонов. Это объясняется рядом причин:

- разработка новых типов оптико-электронных приборов, работающих в указанных диапазонах;
- разработка технологических процессов, позволяющих получать многоэлементные ФЧЭ с высокой обнаружительной способностью и высоким выходом годных элементов;
- развитие микроэлектронных устройств обработки фотосигнала, прежде всего твердотельных многоканальных МП, расположенных в фокальной плоскости фотоприемника (ФП).

На рис. 1 показаны основные этапы развития аналоговых интегральных схем.

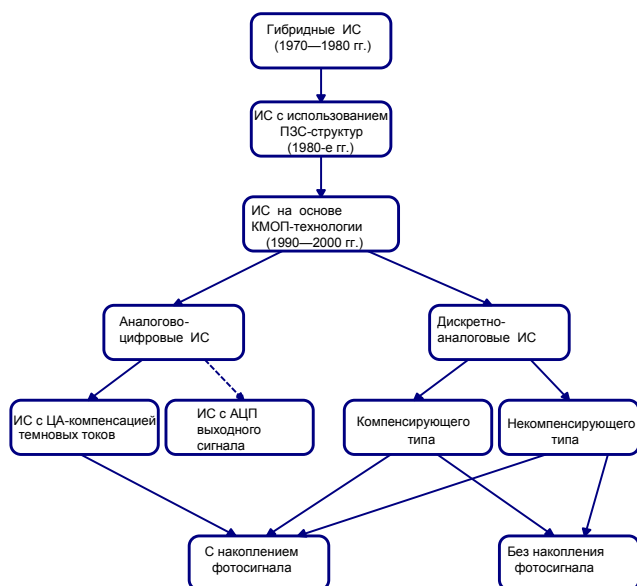


Рис. 1. Этапы развития аналоговых интегральных схем для фоторезисторов на основе халькогенидов свинца

Следует отметить, что все современные разработки проводятся на базе КМОП-технологии, которая по мере своего развития постепенно вытеснила разработки на базе ПЗС-технологии начала 80-х годов.

Мультиплексоры с дискретно-аналоговой обработкой фотосигнала получили наибольшее распространение (не только для ФП на основе халькогенидов свинца) и строятся на трех основных принципах:

- параллельность обработки фотосигнала;
- дискретизация фотосигнала с заданным периодом;
- мультиплексирование (последовательное считывание) информации на общий выход схемы обработки.

Первые сообщения о создании зарубежных КМОП-мультиплексоров для халькогенидов свинца появились только во второй половине 90-х годов. Эти сообщения касались в основном разработок таких фирм как Litton, Textron, NEP Corp. и носили обобщенный характер, на уровне структурных схем указаны основные эксплуатационные характеристики.

Поэтому сравнительный анализ схемотехнических принципов построения МП был проведен на базе отечественных разработок, выполненных в первую очередь в ФГУП НПО "Орион" в рамках общей программы по созданию нового поколения фотозлектронных модулей (ФЭМ). Такими разработками являются мультиплексоры, относящиеся по приведенной выше классификации (см. рис. 1) к схемам с дискретно-аналоговой обработкой фотосигнала компенсирующего типа.

В работе [1] были рассмотрены два варианта МП на переключаемых конденсаторах (ПК): с накоплением фотосигнала и без накопления (для ФР PbSe и PbS, соответственно), поэтому останавливаться на подробном анализе их принципа действия нет необходимости и можно отметить лишь основные моменты.

Достоинством первой схемы МП является возможность получения стабильного коэффициента

передачи по току K_{trI} , определяемого только периодом накопления и номиналом накопительной емкости:

$$K_{trI} = T_{ac}/C_{ac}.$$

Другим достоинством этой схемы является автоматическое выполнение условия дискретизации (теоремы Котельникова), поскольку верхняя граничная частота усилительного тракта также определяется периодом накопления:

$$F_{up} = 1/2T_{ac}.$$

К положительным качествам МП второго варианта можно отнести простоту исполнения, обусловленную отсутствием двух управляющих выводов ("сброс" и "уровень сброса"), необходимых для процесса накопления (интегрирования) фототока. На рис. 2, а, б приведены структурные схемы обоих вариантов, подчеркивающие эти отличия.

Общим недостатком схем МП этого типа является наличие дополнительного источника шума в виде генератора компенсирующего тока. Наиболее актуальна эта проблема в схемах МП для PbS, работающих в низкочастотной области спектра фотосигнала ($F_{up} \leq 400$ Гц), где преобладающее влияние имеет избыточный шум типа $1/F$.

Другим недостатком, хотя и менее существенным, является наличие на выходе МП т. н. "геометрического" шума, обусловленного разбросом темновых токов ФП.

В схемах МП для PbSe есть также недостаток технологического характера, состоящий в том, что для достижения заданной нижней частоты ($F_{ac} \leq 5$ Гц) требуются относительно большой номинал емкости $C_{dep} \approx 30$ пФ, занимающей до 50 % площади усилительной части МП, а также очень высокого качества межслойный диэлектрик SiO_2 толщиной порядка 25—30 нм.

В связи с изложенными недостатками были рассмотрены альтернативные способы построения МП для фоторезисторов из халькогенидов свинца. Для снижения уровня шума в МП для PbS был выбран вариант некомпенсирующего типа (см. рис. 2, в).

Отличительная особенность этого варианта — разделение процесса накопления на два этапа. На первом этапе происходит интегрирование суммы постоянной и переменной составляющих фототока с частотой, в 5—10 раз превышающей тактовую частоту работы второго усилительного каскада. Второе накопление происходит на емкости C_b за счет периодического считывания и суммирования заряда, накопленного в емкости C_{ac} . Поскольку считывание происходит через разделительную емкость C_{sep} , то суммируется только переменная (сигнальная) составляющая фототока.

К недостаткам этого варианта можно отнести меньшую универсальность, что обусловлено его разработкой под задачи, решаемые ФПУ на PbS (теплопеленгация объектов в диапазоне 1—3 мкм).

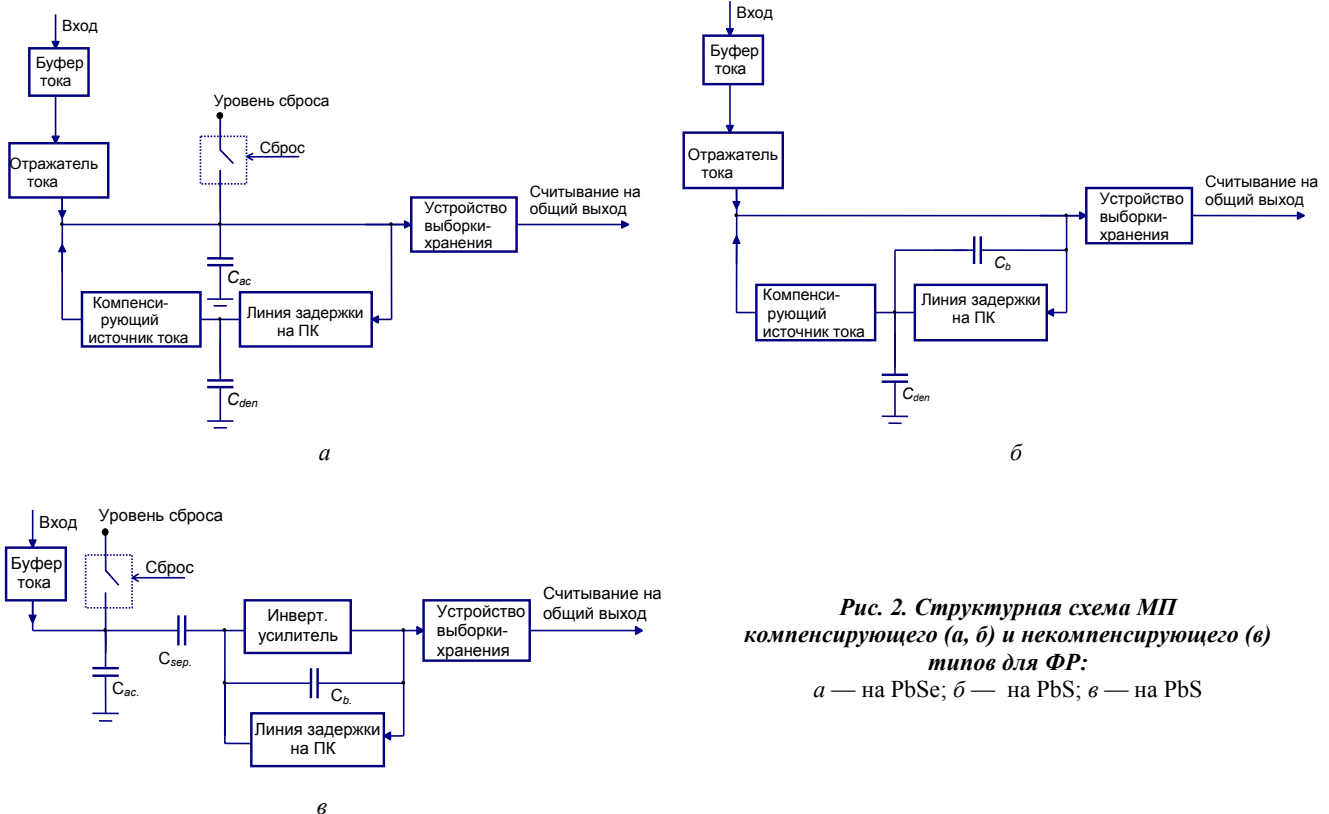


Рис. 2. Структурная схема МП компенсирующего (а, б) и некомпенсирующего (в) типов для ФР:

а — на PbSe; б — на PbS; в — на PbS

Для решения тепловизионных задач в спектральном диапазоне 3—5 мкм широко используются ФПУ на PbSe, в которых большое внимание уделяется такому параметру, определяющему качество тепловизионного изображения, как нижняя граничная частота. Значение этого параметра обычно не ниже 5—10 Гц в схемах с дискретно-аналоговой обработкой, хотя желательно иметь нулевую нижнюю частоту.

В связи с этим перспективными являются разработки МП с заменой аналоговой компенсации постоянного тока ФП на цифровую. Такая замена может быть эффективна только при соблюдении ряда условий:

шумовой вклад цифровой схемы компенсации не должен увеличивать уровня шума, полученного в дискретно-аналоговых МП;

цифровая схема компенсации должна оперативно отслеживать изменения условий работы ФПУ (температурный режим ФП, рабочее смещение ФП, питание МП и т. д.);

замена аналоговых функций на цифровые должна существенно повысить выход годных МП за счет отказа от громоздких фильтров на ПК с традиционно жесткими технологическими требованиями (по качеству тонкого диэлектрика, току утечки МОП-транзисторов, паразитным емкостям и т. д.).

О первых отечественных МП с цифро-аналоговой компенсацией темновых токов ФР сообщалось в работе [2]. Эти МП прошли испытания в ФГУП НПО "Орион" и подтвердили принципиальную возможность создания микроэлектронных устройств такого типа. Однако в практическом плане данные МП не были лишены следующих недостатков:

повышенный уровень шума, вносимого схемой цифровой компенсации;

большие габаритные размеры кристалла МП по сравнению с дискретно-аналоговыми МП, разработанными в ФГУП НПО "Орион";

длительное время генерации цифровых кодов, обусловленное принципом работы МП.

В связи с этим в ФГУП НПО "Орион" была разработана схема цифровой компенсации с па-

раллельной генерацией кодов, имеющая повышенное быстродействие. Структурная схема такого МП приведена на рис. 3. Отличительной особенностью предлагаемого способа является то, что, во-первых, все каналы МП по сигналу "коррекция" переходят в режим компараторов тока, т. е. становятся очень чувствительными к рассогласованию тока ФП и компенсирующего генератора тока в виде ЦАП, во-вторых, запись подобранных цифровых кодов в ячейки памяти происходит параллельно во всех каналах МП, что значительно ускоряет процесс калибровки МП и является значительным преимуществом перед аналогичным МП.

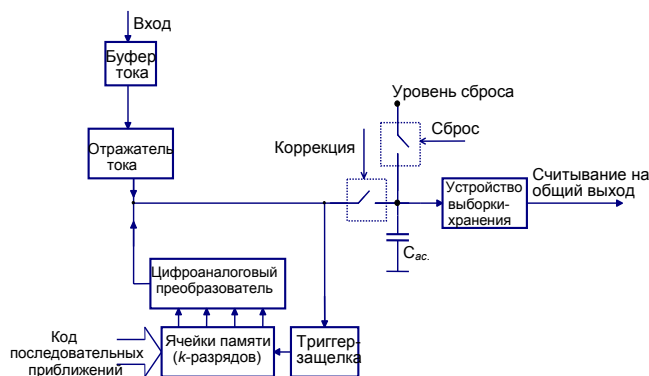


Рис. 3. Структурная схема МП компенсирующего типа с цифроаналоговой коррекцией для ФП на PbSe

Следует отметить, что в ближайшее время ожидаются разработки с аналогово-цифровым преобразованием выходного сигнала на кристалле МП, являющиеся новым и перспективным направлением в микрофотозлектронике.

Л и т е р а т у р а

1. Бурлаков И. Д., Заславский А. В., Кузнецов П. А., Климанов Е. А., Хромов С. С., Щукин С. В. Кремниевые КМОП-мультиплексоры формата 1×128 для многоэлементных фоторезисторов на основе PbS и PbSe/ //Прикладная физика, 2005. № 5. С. 95.
2. Бородин Д. В., Бочков В. Д., Осипов Ю. В., Храпунов М. Л. 128-канальная микросхема первичного преобразования с цифровой коррекцией передаточной характеристики: XVIII Междунар. конф. по фотозлектронике и приборам ночного видения: Тез. докл. — М., 2004. С. 117.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2007 г.

Comparative analysis of circuit engineering principals of design CMOS multiplexers for multi-element photoresistors based on PbS and PbSe

A. V. Zaslavsky, P. A. Kuznetsov, E. A. Klimanov, S. S. Khromov
Orion Research-and-Production Association, Moscow, Russia

Variants of design CMOS multiplexers applied for signal amplification and commutation from multi-element photoresistors based on PbS and PbSe are considered. Circuit engineering of multiplexers were discussed in this paper.

