

УДК 535.247.049.7 : 621.383.52

И. И. Ли, М. В. Попов

(Новосибирск)

**МНОГОВХОДОВЫЙ ПРОЦЕССОР  
С АДАПТИВНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ  
ПРЕДПРОЦЕССОРНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ  
ДЛЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ДАТЧИКОВ**

Описаны многоканальные процессоры с адаптивными устройствами предпроцессорной обработки сигналов, обеспечивающие вычитание аддитивных компонент сигналов в интегральном исполнении с устройствами считывания. Приведены результаты экспериментального обследования двух типов 16-входовых процессоров.

**Введение.** Для качественного улучшения характеристик контрольно-измерительных систем на основе многоэлементных датчиков, в частности фотоприемных устройств инфракрасного диапазона (ИК ФПУ), необходимо решить проблему считывания и обработки фотосигналов в режиме реального времени и размещения этих устройств в фокальной плоскости ИК ФПУ [1, 2].

При исследовании реальных объектов в широком диапазоне меняется уровень фонового излучения, значительны временные изменения фотоэлектрических параметров фотоприемников, передаточных характеристик устройств считывания многовходовых процессоров. Поэтому первичная (предпроцессорная) обработка фотосигналов, включающая компенсацию технологического разброса фотоэлектрических и электрофизических параметров фотоприемников, а также температурного дрейфа, вычитание фоновой составляющей фотосигнала и т. д., является неотъемлемой частью любого ИК ФПУ. Описаны конструкции и приведены результаты экспериментального обследования тестовых 16-канальных процессоров с адаптивными устройствами предпроцессорной обработки сигналов в интегральном исполнении с устройствами считывания, обеспечивающими вычитание аддитивных неинформационных компонент сигналов индивидуально для каждого канала.

**Принципиальная схема процессора.** На рис. 1 приведена принципиальная схема многовходового процессора с адаптивными устройствами вычитания аддитивных компонент сигналов и цифровой шиной коррекции [3]. Процессор содержит линейку устройств считывания, каждая ячейка которой состоит из устройства ввода с прямой инъекцией на приборах с зарядовой связью (диффузионные области 1, 9, 10 и зарядно-связанные затворы 2—8), предусилителя (МДП-транзисторы  $T_1—T_3$ ) и динамического сдвигового регистра.

На рис. 2 показаны эпюры управляющих напряжений, которые необходимы для работы устройства. Принцип работы процессора поясняется рис. 3, *a—e*. При подключении входного затвора 2 к источнику питания  $U_2$ , затворов накопления 3, 6 — к  $U_3$  на входной диффузионной области 1 и соединенном с ней фотоприемнике (фотодиоде) устанавливается напряжение, определяемое поверхностным потенциалом под входным затвором. Фототок интегрируется под входным затвором 3 (см. рис. 3, *a*). С подачей  $\Phi_0$  (запуск сдвигового регистра и открывание затворов переноса 4) заканчивается накопление фотосигналов, часть сигнального заряда перетекает одновременно во

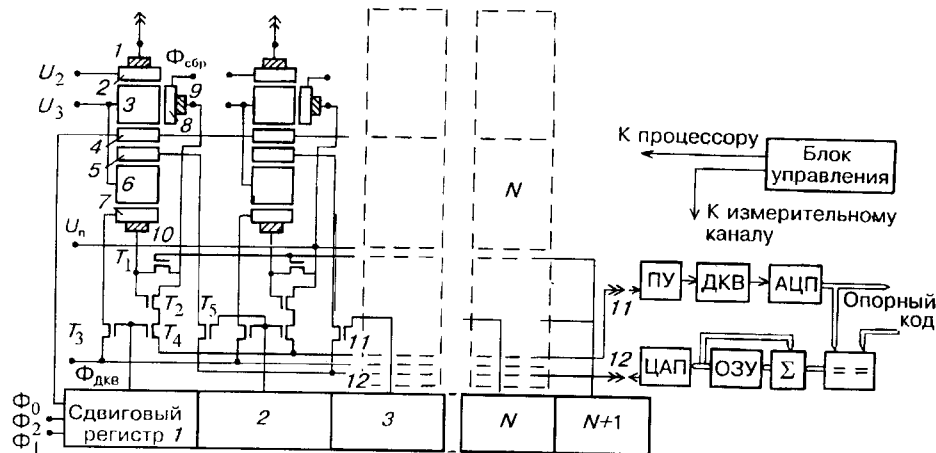


Рис. 1. Принципиальная схема многоканального процессора с адаптивными устройствами пред-процессорной обработки и цифровой шиной коррекции

всех устройствах ввода через затвор записи 5 под вторые затворы накопления 6 (см. рис. 3, б). При подаче открывающего импульса на затвор сброса 8  $\Phi_{\text{сбр}}$  оставшийся заряд под первым затвором накопления 3 стекает в источник питания (см. рис. 3, с). С окончанием импульса  $\Phi_{\text{сбр}}$  начинается новый цикл накопления (см. рис. 3, d). Сдвиговый регистр обеспечивает последовательное подключение устройств считывания на общий выход 11. Сигнал после предусилителя (ПУ), устройства двойной коррелированной выборки (ДКВ) оцифровывается и подается на компаратор. В зависимости от соотношения информационных сигналов и опорного кода на выходе компаратора вырабатываются коды: +1 при  $U_{\text{сиг}} < U_{\text{опор}}$ ; -1 при  $U_{\text{сиг}} > U_{\text{опор}}$ ; 0 при  $U_{\text{сиг}} = U_{\text{опор}}$ . При коде +1 информация в ОЗУ о текущем потенциале затворов записи увеличивается на дискрету младшего разряда ОЗУ, при коде -1 — уменьшается. Таким образом, при считывании сигнала с  $i + 1$  входного устройства изменение потенциала затвора записи по шине коррекции 12 и МДП-транзистору  $T_5$  передается на затвор записи 5  $i$ -входного устройства и хранится на нем в аналоговом виде до следующего цикла считывания (коррекции).

При постоянном сигнале максимально через  $2^N$  циклов считывания, где  $N$  — разрядность ЦАП, ОЗУ-потенциалы на всех затворах записи установятся таким образом, что выходные сигналы на шине считывания 11 с точностью до младшего разряда АЦП будут равны опорному вне зависимости от темновых

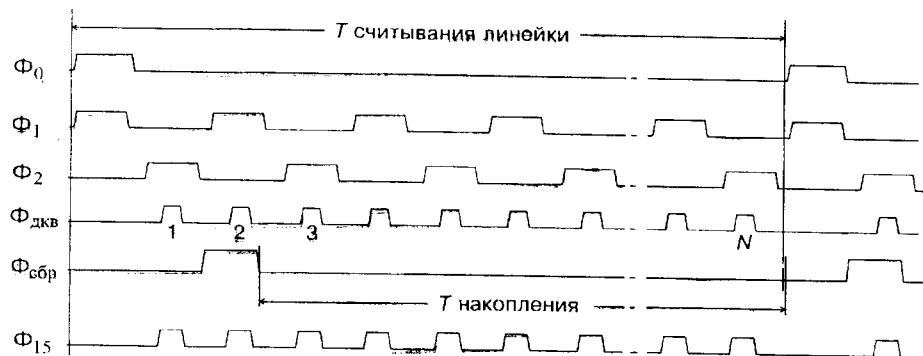


Рис. 2. Эпюры управляющих напряжений

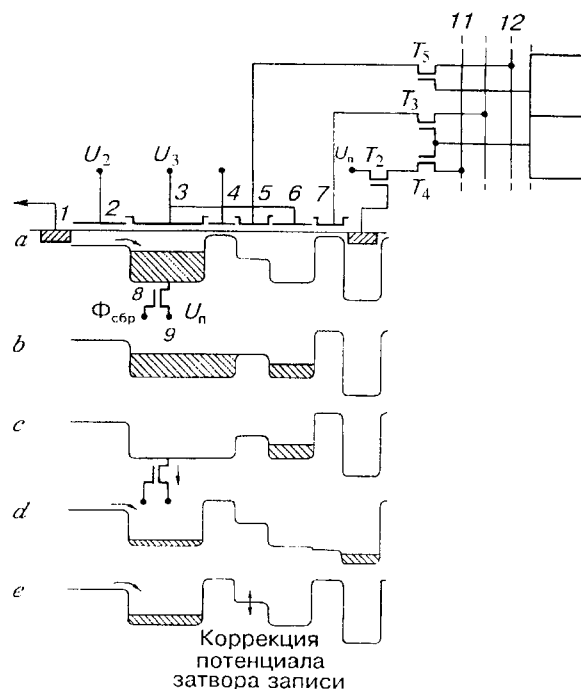


Рис. 3. Потенциальные диаграммы работы процессора с адаптивными устройствами предпроцессорной обработки сигналов

характеристик фотоприемников, передаточных характеристик устройств ввода и выходных устройств.

На рис. 4 приведена принципиальная схема многоканального процессора с аналоговой шиной коррекции. В этом процессоре информация о потенциале затворов записи хранится в аналоговой памяти, выполненной непосредственно на кристалле (диффузионная область 13 и зарядно-связанный с ней МДП-затвор 14), что дает возможность значительно упростить внешний электронный блок ИК ФПУ (исключаются компаратор, ОЗУ, ЦАП) [4]. Считывание фотосигналов осуществляется аналогично процессору с цифровой шиной коррекции

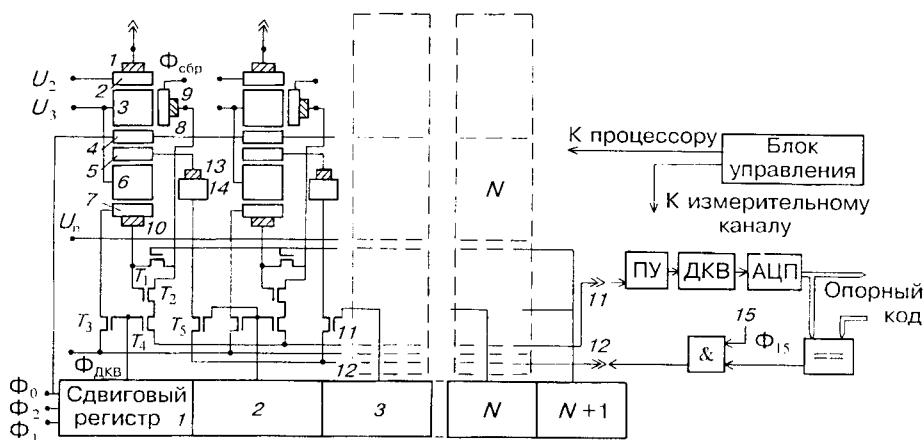


Рис. 4. Принципиальная схема многоканального процессора с адаптивными устройствами предпроцессорной обработки и аналоговой шиной коррекции

ции, отличие состоит в способе хранения и коррекции потенциалов затворов записи.

Коррекция потенциалов затворов записи осуществляется следующим образом. В зависимости от соотношения информационных сигналов и опорного кода при кодах  $-1, 0$  на шину коррекции  $12$  подается напряжение  $U_0$  ( $U_0$  должно быть меньше потенциала на затворе записи). Коррекция (уменьшение) потенциала затвора записи в этом случае происходит за счет термогенерации, разряжающей диффузионную область  $13$  за время между циклами считывания и соответственно уменьшающей потенциал затвора записи.

Если сигнал меньше опорного (код  $+1$ ), то необходимо повысить напряжение на затворе записи. Для этого достаточно во время следования фазных импульсов  $\Phi_1, \Phi_2$  изменить потенциал МДП-затвора  $14$  от  $U_0$  до уровня  $U_1$  (большего, чем напряжение на затворе записи, эюра напряжений  $\Phi_{15}$  на рис. 2). При этом заряд из диффузионной области  $13$  затекает под МДП-затвор  $14$ , а после окончания импульса  $\Phi_{15}$  возвращается в диффузионную область  $13$ , но часть его рекомбинирует на поверхностных состояниях и, следовательно, в эту область не возвращается. При этом потенциал диффузионной области  $13$  и соединенного с ней затвора записи повышается на некотором значении, величина которого определяется площадью МДП-затвора  $14$ , напряжением  $U_0$  и плотностью поверхностных состояний под затвором  $14$ .

**Экспериментальные результаты.** Для экспериментальной проверки вышесказанных процессоров были изготовлены тестовые  $p$ -канальные 16-входовые процессоры с цифровой и аналоговой шинами коррекции. На рис. 5, *a* приведены осциллограммы сигналов с выхода 16-входового процессора с цифровой шиной коррекции и отключенным корректирующим узлом измерительного канала (компаратор отключен, а на затвор записи по шине коррекции  $12$  подается постоянное напряжение). Заряд в устройстве ввода вводился через ограничительное сопротивление  $R = 2$  МОм. Как видно из осциллограммы, сигналы на выходе характеризуются большим разбросом, основной причиной которого является разброс пороговых напряжений под входными затворами 2.

На рис. 5, *b* приведены осциллограммы сигналов после включения корректирующего узла измерительного канала. Уровни сигналов на выходе всех 16 устройств ввода равны опорному напряжению.

В данном эксперименте опорный код равен 600, а величина дискреты младшего разряда 10-разрядного АЦП равна 2,6 мВ. Величина дискреты 12-разрядного ЦАП  $\sim 0,3$  мВ. При  $T_{сч} = 100$  мкс скорость коррекции (скорость изменения потенциала затвора записи 5)  $\sim 3000$  мВ/с. Скорость адаптации можно менять, изменяя режим работы измерительного канала, например, корректировать потенциалы затворов записи не в каждом цикле считывания и, следовательно, уменьшать скорость адаптации. Скорость адаптации можно также изменить, меняя величину дискреты ЦАП. Минимальная скорость

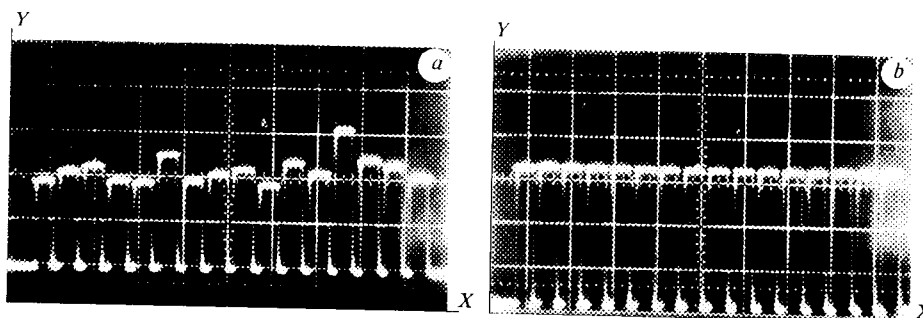


Рис. 5. Осциллограммы сигналов на выходе 16-входового процессора: *a* — с отключенным корректирующим узлом измерительного канала; *b* — после включения корректирующего узла измерительного канала. Цена делений: по оси  $X$  — 10 мкс/дел.; по оси  $Y$  — 0,5 В/дел.

адаптации  $\sim 1\text{--}2$  мВ/с при  $T = 77$  К ограничивается темновыми токами утечки затвора записи.

Для процессора с аналоговой шиной коррекции при отключении корректирующего узла измерительного канала темновые токи полностью разряжают затвор записи (потенциал затвора записи  $\sim 0$  В), препятствуя появлению сигналов на выходе. После включения корректирующего узла сигналы на выходе полностью аналогичны приведенным на рис. 5, *b*.

Для процессоров с аналоговой шиной коррекции минимальная скорость адаптации (в сторону повышения) потенциала затвора записи также ограничивается темновыми токами утечки. Скорость адаптации (в сторону понижения) потенциала затвора записи регулируется напряжением  $U_0$ . При изменении напряжения  $U_0$  от 0,2 до  $-0,6$  В потенциал затвора записи при однократной коррекции меняется от 0,07 до 0,01 мВ, при этом разброс скорости адаптации по 16 входам устройства не превышал 30 %.

Работа устройств предпроцессорной обработки сигналов основана на методе выравнивания потенциалов. Дополнительный уровень шума, вносимый устройствами предпроцессорной обработки сигналов и приведенный к затвору записи 5, определяется  $kTC$ -шумом. При типичных значениях емкостей первого затвора накопления 3  $C_3 \sim 1,0\text{--}3,0$  пФ и затвора записи 5  $C_5 \sim 1$  пФ  $U_{шкTC} \sim (2\text{--}4) \cdot 10^{-5}$  В, тогда при вводимом в устройство вводе заряде  $Q_\Phi \sim 5$  пКл уровень шума, обусловленный флуктуацией фонового излучения (режим ограничения фоном),  $U_{ш\Phi} \sim 8 \cdot 10^{-4}$  В, т. е. устройства предпроцессорной обработки, основанные на методе выравнивания потенциалов, не ограничивают предельной чувствительности ИК ФПУ на их основе.

Введение опорного уровня позволяет за счет увеличения избыточного потенциала под первым затвором накопления относительно поверхностного потенциала под затвором записи устранить один из основных недостатков метода выравнивания потенциалов — нелинейность передаточных характеристик при сигналах  $\sim kT/q$  [5]. Величина этого потенциала зависит от величины опорного уровня, времени «слива» (длительность импульса  $\Phi_0$ ), геометрических размеров и емкостей затворов накопления 3, 6. Все эти величины могут регулироваться в широких диапазонах с целью обеспечения максимальной линейности передаточных характеристик устройств предпроцессорной обработки и устройств ввода в целом. Введение опорного уровня позволяет также решить проблему передачи сигналов, как больших, так и меньших опорного.

Передаточные характеристики снимались на процессоре с цифровой шиной с отключенным корректирующим узлом измерительного канала. На рис. 6 приведены экспериментальные зависимости сигналов на выходе предусилителя (коэффициент преобразования ПУ  $\sim 1,5$  В/мА) от напряжения на затворе записи  $U_5$  и напряжения смещения на входном затворе 2 в качестве параметра. При некотором напряжении на затворе записи 5 зарядовая емкость первого затвора накопления  $Q_3 = C_3(U_3 - U_5)$  сравнивается с зарядом,

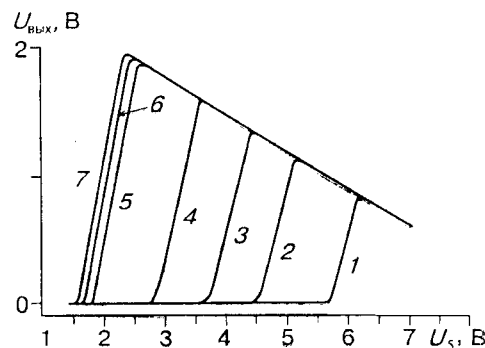


Рис. 6. Передаточные характеристики устройств ввода (зависимости  $U_{\text{вых}}$  от напряжения смещения на шине коррекции) (В):

$U_3 = 10$ ;  $U_0 = 17$ ; 1 —  $U_2 = 1,8$ ; 2 — 1,95; 3 — 2,05; 4 — 2,15; 5 — 2,35; 6 — 2,45; 7 — 2,80

вводимым в устройство ввода. При дальнейшем увеличении напряжения  $U_5$  часть заряда перетекает под второй входной затвор накопления  $b$  и далее на выход. Линейный спад  $U_{\text{вых}}$  с ростом  $U_5$  обусловлен уменьшением зарядовой емкости второго затвора накопления. Приведенные зависимости позволяют определить коэффициент преобразования устройства ввода с измерительным каналом в удобных для пользователя единицах  $-0,8$  В/пКл ( $C_3 = 2,6$  пФ, коэффициент преобразования ПУ  $1,5$  В/мА).

Зарядовая емкость первого затвора накопления в тестовом 16-входовом процессоре  $\sim(6-10) \cdot 10^7$  электронов, соответственно количество шумовых электронов  $\sim(8-10) \cdot 10^3$ . В экспериментах ширина «шумовой» полосы на выходе ПУ не превышала  $5-7$  мВ. В предположении о гауссовом распределении шума ширина «шумовой» полосы  $\sim(5-6)\sigma$ , т. е. измеренный уровень шума  $0,7-1,1$  мВ соответствует расчетным оценкам. Таким образом, динамический диапазон устройств ввода после тракта предпроцессорной обработки превышает  $60$  дБ, а динамический диапазон процессора в целом —  $75$  дБ.

Для оценки линейности передаточных характеристик в устройства ввода с входной диффузионной области  $l$  через ограничительное сопротивление  $R = 10$  МОм вводился синусоидальный сигнал с  $f = 180$  Гц. Спектральный анализ показал, что предложенные устройства обладают высокой линейностью (вторая гармоника на  $45$  дБ меньше основной).

**Заключение.** Предложены адаптивные многоходовые процессоры, обеспечивающие подавление аддитивных неинформационных компонент сигналов индивидуально по каждому каналу при минимальных аппаратных затратах. Данные устройства предпроцессорной обработки могут быть согласованы с различными типами устройств ввода и многоэлементными датчиками (фотоприемники, датчики давления и т. д.) и могут найти применение в многоканальных контрольно-измерительных системах различного назначения, в особенности в системах, предназначенных для работы в автономном режиме.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chan W. S. Focal plane architecture: an overview // SPIE. 1980. V. 217: Advances in Focal Plane Technology. P. 2.
2. Кутузов М. К., Раскин А. А., Соколов Е. Б. Приемники ИК-изображения на приборах с переносом заряда // Зарубежная электронная техника. 1981. № 2. С. 41.
3. А. с. 1429855 Россия. Многоканальное устройство ввода на приборах с зарядовой связью /Х. И. Кляус, А. И. Крымский, И. И. Ли. Оpubл. 20.08.95, Бюл. № 23.
4. А. с. 1702829 Россия. Многоканальное устройство ввода на приборах с зарядовой связью /А. И. Крымский, И. И. Ли, В. В. Ольшанецкая. Оpubл. 20.08.95, Бюл. № 23.
5. Тришенков М. А., Винецкий Ю. Р. Входные устройства приборов с зарядовой связью // Радиотехника и электроника. 1986. Вып. 12. С. 2280.

*Поступила в редакцию 27 марта 1997 г.*