

Рис. 3. Вольт-амперная характеристика фоторезистивного слоя структуры:  
1 — в темноте, 2 — при освещении

то, что гетеробарьер хорошо обеспечивал необходимый ход ВАХ, не всегда можно использовать такую структуру из-за высокой вероятности пробоя барьера и, как следствие этого, невысокой надежности прибора.

Другой использованный нами способ ограничения тока структуры основан на явлении эксклюзии в ФР-слоях. В этом случае насыщение фототока наступало в результате обеднения всей толщи фоторезистора, из-за чего напряженность поля в ФР в момент записи не достигала

величины пробоя. Однако в этом случае при эксплуатации структуры накладывались дополнительные требования к спектральному составу света в записываемом изображении, так как примесный свет существенно уменьшал интенсивность эксклюзии вплоть до ее полного уничтожения. Поэтому в зависимости от условий эксплуатации структуры необходимо выбирать ту или иную технологию создания ФР-слоя.

Получаемые нами структуры с эксклюзирующим фоторезистивным слоем показали хорошие результаты при освещении их светом, прошедшим через стеклянный светофильтр СЗС-22, который, отсекая ИК-часть спектра изображения, практически не влиял на интегральную фоточувствительность. При размерах элементов  $0,3 \times 0,3$  мм были получены следующие параметры: напряжение записи 15 В, ток записи 50 мкА; ток считывания при освещенности ФР-слоя  $\approx 250$  лк в случае предварительно записанного сигнала на ХСП-слое составил 70 мкА, а в отсутствие записи — 0,5 мкА. Такие параметры обеспечивают формирование автокорреляционного максимума, близкого к теоретическому, если в обоих изображениях не содержатся высокие пространственные частоты (более  $\leq 3$  мм $^{-1}$ ). Допустимая скорость сканирования при этом ограничивается релаксацией фотопроводимости, зависящей от яркости изображения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рубинов В. М., Цибулин Э. В. Пространственно-временная обработка информации оптико-электронными системами.— Ташкент: ФАН, 1977.
2. А. с. 943725 (СССР). Оптикоэлектронный коррелятор изображения/В. М. Рубинов, В. Ю. Ибрагимов.— Оpubл. в БИ, 1982, № 26.

Поступила в редакцию 5 декабря 1985 г.

УДК 621.377.243

В. Г. ДЕСЯТКОВ, С. В. МАГДЕНКО, Л. В. ФИНОГЕНОВ  
(Новосибирск)

#### РАБОТА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЛИНЕЙКИ ФОТОПРИЕМНИКОВ В КАЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА ЗАДЕРЖКИ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Приборы задержки электрических аналоговых сигналов широко используются в различных устройствах обработки информации. В настоящее время наилучшими параметрами среди устройств задержки аналого-

вых сигналов (УЗАС) обладают приборы с дискретизацией входных сигналов, которые подразделяются на два типа: а) УЗАС с последовательной адресацией; б) УЗАС с зарядовой связью. Время задержки в таких устройствах составляет 40—5000 мс. Верхняя граничная частота 0,2—6 МГц, а динамический диапазон 40—70 дБ [1].

В приборах первого типа выборки входного аналогового сигнала запоминаются в отдельных ячейках памяти, которые затем последовательно считываются в нужное время на общую выходную линию. Одна такая линия задержки (ЛЗ) может включать до 2000 ячеек памяти. В устройствах второго типа выборки аналогового сигнала передаются с частотой синхронизации последовательно от ячейки к ячейке, с входа на выход. Выходной сигнал снимается с последнего узла устройства или на промежуточных участках.

Устройства с последовательной адресацией обладают преимуществом над приборами с зарядовой связью (ПЗС) по скорости, но имеют большой шум дискретизации, обусловленный неоднородностью характеристик ячеек памяти. Кроме того, устройства на ПЗС требуют более сложных схем управления и не позволяют получить большую величину произведения времени задержки на полосу частот  $t_s \Delta f$  вследствие потерь зарядов при большом числе переносов на высокой тактовой частоте [2]. Известные УЗАС не удовлетворяют разработчиков аппаратуры из-за низкой частоты управляющих тактовых сигналов.

В настоящей статье рассмотрена работа интегральной линейки фотоприемников в качестве устройства задержки аналоговых сигналов с последовательной адресацией. Приведены архитектура, принцип работы, система параметров УЗАС, обсуждаются экспериментальные результаты.

**Структурная схема и принцип работы устройства задержки.** Структурная схема УЗАС (рис. 1, а) содержит 1024 закрытых по оптическому входу фотоприемных ячейки  $A_j$ , на емкости фотодиодов которых производится запись аналоговых сигналов, поступающих на входные шины  $C_1$  и  $C_2$ .

Последовательное попарное подключение ячеек к входным шинам выполняется импульсами напряжения, которые вырабатываются на выходах  $P_j$  сдвигового регистра записи (РЗ). Считывание аналоговых сигналов осуществляется последовательным подключением ячеек к выходным шинам  $B_1$  и  $B_2$  импульсами с регистра считывания (РС). На рис. 1, б приведена временная диаграмма управления УЗАС.

Запуск регистров производится импульсами  $\Phi_{03}$  при записи и  $\Phi_{0c}$  при считывании сигналов. Полный цикл записи (считывания) определяется количеством выходных разрядов регистров и содержит по 256 тактовых импульсов  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

На диаграммах  $T_c$  и  $T_s$  определено временное положение импульсов  $P_1 \dots P_{512}$ ,  $\hat{P}_1 \dots \hat{P}_{512}$  в режиме непрерывного сканирования. Независимое управление регистрами записи и считывания позволяет в широких пре-

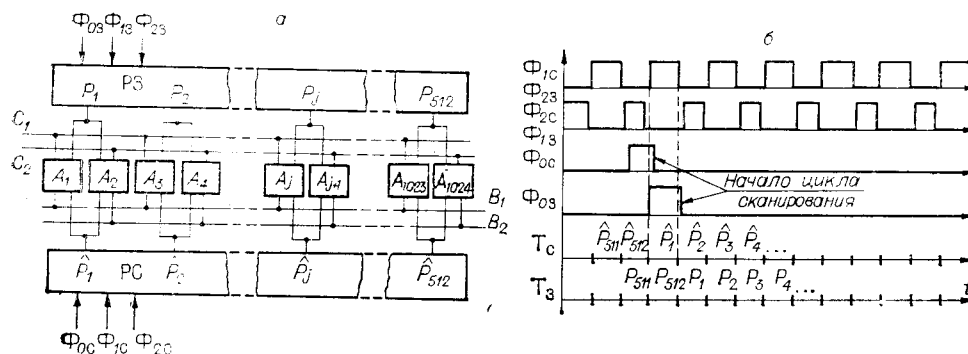


Рис. 1. Интегральное устройство задержки дискретных аналоговых сигналов: а — структурная схема; б — временная диаграмма управления

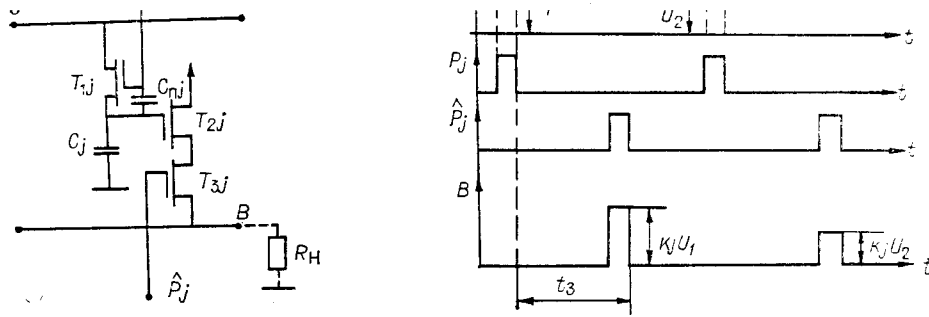


Рис. 2. Ячейка выборки и хранения аналогового сигнала устройства задержки:  
а — принципиальная схема; б — временная диаграмма работы ячейки

делах варьировать величину задержки, не изменяя частоты тактовых импульсов  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ .

**Функционирование ячейки.** Каждая ячейка (рис. 2, а) представляет собой элементарное устройство выборки и хранения (УВХ), которое содержит ключевой МДП-транзистор  $T_{1j}$ , выполняющий функции выборки сигнала, емкость хранения (фотоиода)  $C_j$ , буферный усилитель на МДП-транзисторе  $T_{2j}$  и ключевой МДП-транзистор  $T_{3j}$ , осуществляющий мультиплексирование ячеек. Принцип работы ячейки поясняется диаграммой на рис. 2, б. Входной электрический сигнал  $U(t)$ , поступающий на входную шину устройства  $C$  через сопротивление канала открытого ключа  $T_{1j}$ , заряжает емкость хранения до величины сигнала за время действия на затворе транзистора импульса  $P_j$ . Из-за малых утечек  $p-n$ -переходов ( $j_{p-n} = 40-100$  нА/см<sup>2</sup>) «запомнившееся» значение сигнала хранится в ячейке до прихода следующего импульса записи. За время хранения можно несколько раз обратиться к ячейке, что обеспечивается высокоомной ( $10^{15}-10^{16}$  Ом) развязкой цепей считывания и хранения. При считывании сигнала с ячейки на затвор транзистора  $T_{3j}$  поступает импульс  $\hat{P}_j$ , разрешающий связь ячейки с внешней нагрузкой.

В первом приближении зависимость выходного тока ячейки от напряжения на емкости  $C_j$  можно описать выражением [3]

$$I_j = (\beta_{2j}/2) (U_j - U_{2j} - R_j I_j)^2, \quad (1)$$

где  $\beta_{2j}$  — удельная крутизна буферного транзистора  $T_{2j}$ ;  $U_j$  — значение записанного в ячейку напряжения;  $U_{2j}$  — пороговое напряжение буферного транзистора;  $R_j$  — сопротивление канала транзистора  $T_{3j}$ , причем

$$R_j = \frac{1}{\beta_{3j} (U_{\hat{p}j} - U_j)}, \quad (2)$$

где  $\beta_{3j}$  — удельная крутизна транзистора  $T_{3j}$ ;  $U_{\hat{p}j}$  — амплитуда управляющего импульса  $P$ .

Последний член в выражении (1) обусловлен наличием отрицательной обратной связи в истоке буферного транзистора  $T_{2j}$ , которая обеспечивается нелинейным сопротивлением канала ключевого транзистора  $T_{3j}$ . Как следует из (1) и (2), отрицательная обратная связь в буферном канале снижает нелинейность амплитудной характеристики ячейки.

**Физические ограничения.** Электрические сигналы  $U(t)$ , поступающие на входы УЗАС, дискретизируются с частотой тактовых импульсов и запоминаются в ячейках в виде квантов сигнала  $U(\tau_j)$ , где  $\tau_j$  — время выборки сигнала. Выходной сигнал устройства представляет собой дискретно-аналоговую функцию  $U(t_j)$ . Искажения, которые вносит устройство задержки, будут определяться различием коэффициентов передачи

$k_j = U(t_j)/U(\tau_j)$  всей совокупности ячеек и зависят от неоднородности характеристик ячеек.

здесь  $K_{\max}$ ,  $K_{\min}$  — соответственно максимальный и минимальный коэффициенты передачи из всей совокупности коэффициентов.

Можно выделить аддитивные и мультипликативные составляющие геометрических искажений.

Аддитивные составляющие определяются разбросом значений темновых токов  $n-p$ -переходов и пороговых напряжений  $U_{2j}$  буферных транзисторов.

Мультипликативные составляющие, в свою очередь, характеризуют неоднородность передачи аналоговых сигналов ячейками и определяют разброс значений удельных крутизн транзисторов в буферных каскадах  $\beta_{2j}$ ,  $\beta_{3j}$ , а также емкостей: проходной  $C_{пj}$  и хранения  $C_j$  в цепи записи.

С учетом составляющих, характеризующих неоднородность ячеек, выражение (1) можно записать в виде

$$I_j = \frac{\beta_{2j}}{2} \left[ \left( 1 - \frac{C_{пj}}{C_j} \right) U - U_{2j} - \frac{I_{Tj} t_{3}}{C_j} - \frac{I_j}{\beta_{3j} \left[ U_{Pj} - U \left( 1 - \frac{C_{пj}}{C_j} \right) \right]} \right]^2,$$

где  $I_{Tj}$  — ток утечки  $p-n$ -перехода транзистора  $T_1$ .

Сложная зависимость выходного тока от напряжения на емкости затрудняет проведение аналитической оценки параметров устройства. В настоящей работе параметры оценивались экспериментально.

**Экспериментальные результаты.** Ниже представлены семейство передаточных характеристик  $U_{\text{вых}j} = f(U_{\text{вх}j})$  для различных ячеек УЗАС и результаты измерений: диапазона входных напряжений, нелинейности передаточной характеристики, динамического диапазона и геометрических искажений. Определены время хранения и частотные параметры устройства.

На рис. 3, а приведена схема управления устройством задержки. Схема содержит генератор тактовых импульсов с дискретной регулируемой частоты, счетчик импульсов до 512, триггер переключения режимов, формирователь управляющих импульсов  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_0$ , логические и аналоговые ключи, одновибратор.

Генератор тактовых импульсов позволял изменять частоту от 10 до 1,25 МГц, для плавной регулировки подключался внешний генератор.

Время записи и считывания четного и нечетного рядов ячеек фиксировалось по импульсу переполнения счетчика.

Выходные сигналы триггера стробировали прохождение на УЗАС импульсов управления со схемы формирования управляющих импульсов.

Одновибратор служил для блокировки прохождение тактовых импульсов с генератора на счетчик и формирователь управляющих импульсов на время задержки информации.

Устройство управления работает в соответствии с временной диаграммой, представленной на рис. 3, б, и позволяет формировать необходимую последовательность управляющих импульсов (см. рис. 1, б), изменять время задержки сигналов, частоту и амплитуду управляющих импульсов.

**Передаточные характеристики.** На рис. 4, а приведено семейство передаточных характеристик устройства задержки  $U_{\text{вых}j} = f(U_{\text{вх}j})$  при  $R_n = 220$  Ом. Это семейство составляют характеристики всех ячеек

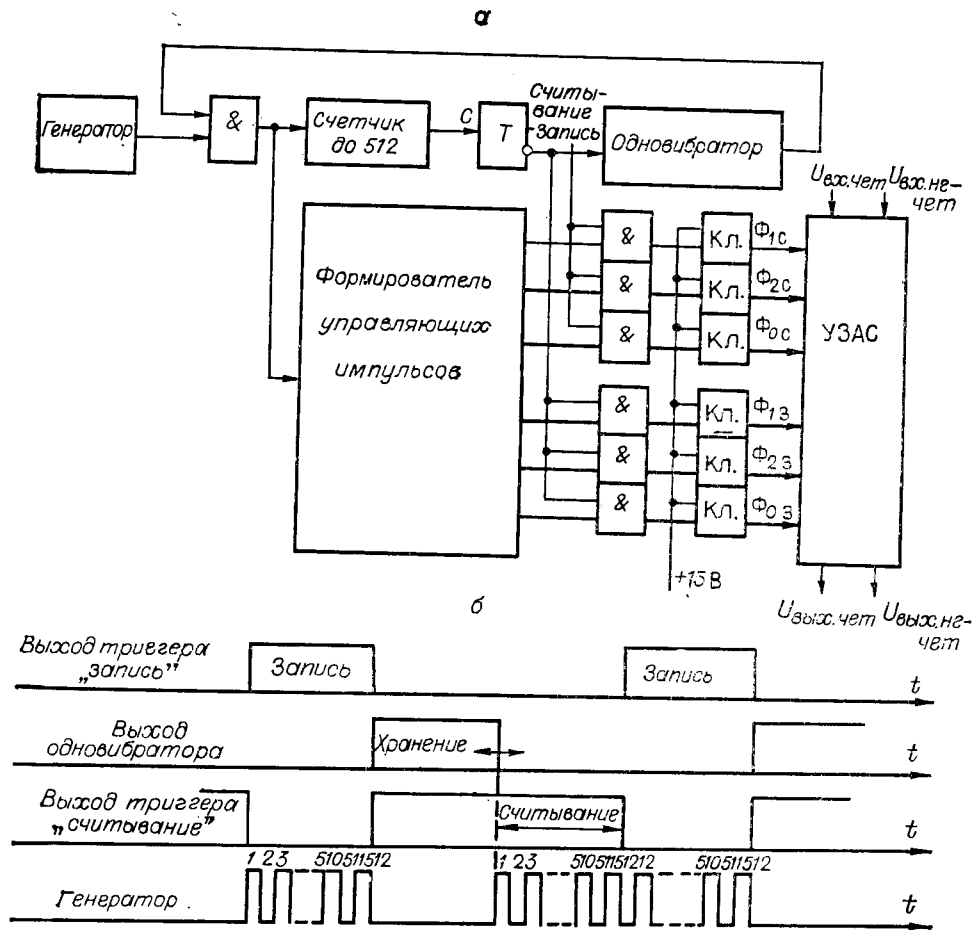


Рис. 3. Структурная схема управления устройством задержки аналогового сигнала (а) и временная диаграмма работы схемы управления (б)

устройства. Точностные параметры оценивались по граничным характеристикам, которые определяют зону неоднородностей.

**Коэффициент нелинейности передаточной характеристики.** Данный коэффициент, характеризующий нелинейность характеристик ячеек, находится из выражения

$$k_n = ((S_1 - S_2) / (S_1 + S_2)) 200\%, \quad (4)$$

где  $S_1, S_2$  — крутизна передаточной характеристики в заданном диапазоне входных напряжений.

Значение  $k_n$  зависит от величины нагрузочного резистора  $R_n$ . Если  $R_n$  много больше сопротивления ключевого транзистора, то последним можно пренебречь, а буферный каскад ячеек рассматривать как истоковый повторитель напряжения с глубокой отрицательной обратной связью. Для  $R_n = 5$  кОм,  $k_n = 2\%$  в диапазоне входных напряжений 3,5–8 В; при  $R_n = 220$  Ом,  $k_n = 10\%$  в диапазоне входных напряжений 3,5–8 В.

На рис. 5, а приведена осциллограмма задержанного устройством синусоидального сигнала амплитудой  $U_{вх} = 2$  В с постоянной составляющей  $U_0 = 4,5$  В. Искажения формы синусоиды, изображенной на этой осциллограмме, в основном определяются неоднородностью характеристик ячеек.

**Диапазон входных напряжений.** Диапазон входных напряжений ограничивается со стороны малых сигналов максимальной величиной порогового напряжения  $U_{2j}$  из семейства характеристик, а со стороны большого сигнала — минимальным значением напряжения насыщения  $U_{пj}$ , а кроме того, и нелинейностью передаточных характеристик. Для

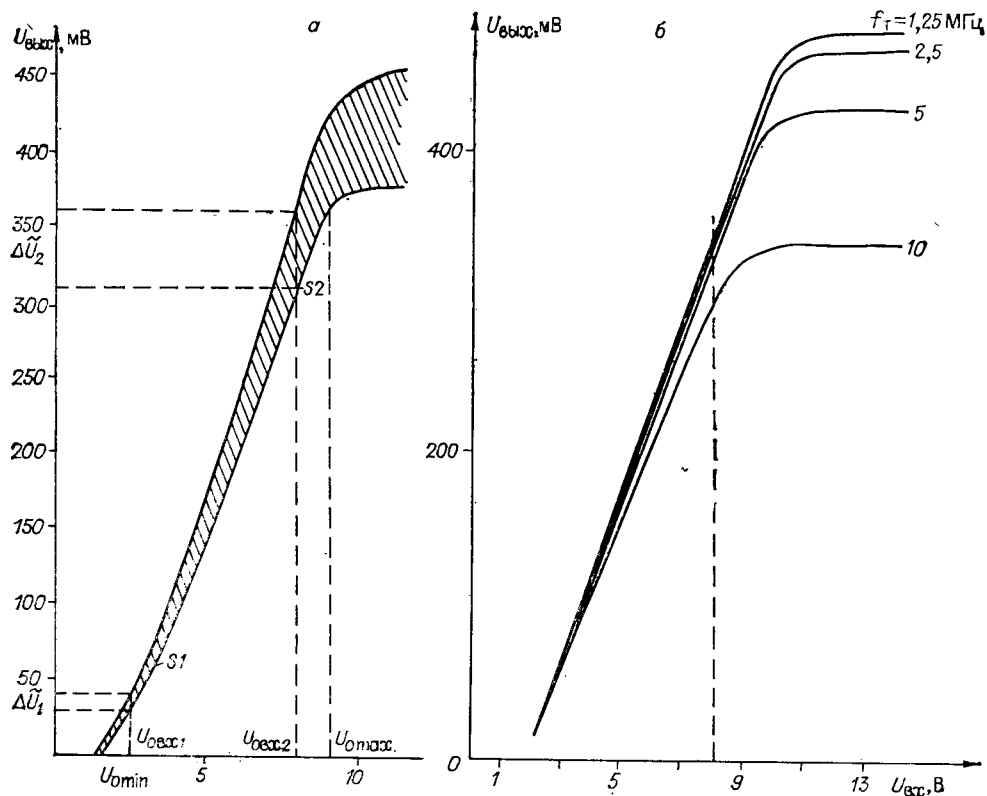


Рис. 4. Семейство передаточных характеристик (а) и передаточные характеристики при различных частотах управления (б)

рассмотренного семейства характеристик диапазон входных напряжений составил  $U_{вх\ min} = 1,6$  В;  $U_{вх\ max} = 9$  В при коэффициенте нелинейности  $K_N = 40\%$ .

**Динамический диапазон и геометрические искажения.** Если говорить о динамическом диапазоне ячейки, то необходимо оценить величину ее флуктуационных шумов, которые определяются тепловыми шумами элементов ячейки и низкочастотными шумами вида  $1/f$ . Для измерения величины этих шумов использовался операционный усилитель типа 544УД2, подключенный к выходу устройства задержки и работающий в режиме преобразователя тока в напряжение с сопротивлением обратной связи 4 кОм на частоте  $f_T = 250$  кГц.

Амплитудное значение выходного сигнала пересчитывалось к затвору буферного транзистора в ячейке. Измеренное таким образом значе-

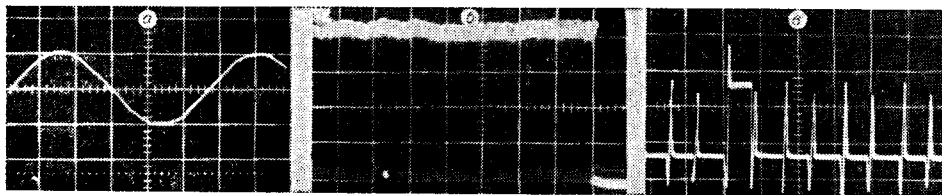


Рис. 5. Осциллограммы:

а — задержанного синусоидального сигнала при  $U_{вх} = 2$  В,  $U_{овх} = 4,5$  В,  $f_T = 1,25$  МГц,  $t_3 = 0,4$  мс,  $R_H = 220$  Ом,  $f_{вх} = 38$  кГц, масштаб по вертикали 0,1 В/дел.; б — сигнал на выходе устройства задержки при постоянном напряжении на входе  $U_{овх} = 9$  В,  $t_3 = 3,5$  мс,  $f_T = 1,25$  МГц,  $R_H = 220$  Ом, масштаб по вертикали 0,1 В/дел., по горизонтали 50 мкс/дел.; в — задержанный импульсный сигнал при  $t_{УВХ} = 100$  нс,  $U_{вх} = 6$  В,  $U_{вых} = 200$  мВ,  $f_T = 1,25$  МГц,  $t_3 = 400$  мкс

ние флуктуационного шума составляет  $\bar{U}_{шj} = 1,5$  мВ при входном напряжении  $U_{вх} = 6$  В. На линейном участке передаточной характеристики максимальный входной сигнал ячейки  $U_{вхj} = 6$  В, а динамический диапазон  $D_j = U_{вхj}/\bar{U}_{шj} = 4000$ . Оценка динамического диапазона устройства задержки в целом проводилась с учетом абсолютного значения геометрических искажений.

При записи во все ячейки одинаковых сигналов видно (рис. 5, б), что выходной сигнал неравномерен. Величина этой неравномерности и определяет динамический диапазон.

По семейству передаточных характеристик можно судить, как геометрические искажения увеличиваются с ростом сигнала, что свидетельствует об их мультипликативном характере. Минимальный динамический диапазон устройства определяется выражением

$$D_{\min} = (U_{\text{вых max}} - U_{\text{вых min}}) / \Delta U_{\text{max}},$$

где  $U_{\text{вых max}}$ ,  $U_{\text{вых min}}$  — максимальное и минимальное выходные напряжения;  $\Delta U_{\text{max}}$  — максимальная амплитуда геометрических искажений.

Для постоянного входного сигнала  $U_{\text{вх}} = 8$  В размах геометрических искажений на выходе составил  $\Delta U = 40$  мВ, а при  $U_{\text{вх}} = 2,5$  В  $\Delta U = 6$  мВ. Для исследованного устройства  $\Delta U_{\text{max}} = 40$  мВ,  $D_{\min} = 9$ .

Следует различать высокочастотные и низкочастотные составляющие геометрических искажений. Первые определяются эффектом «чет — нечет», обусловленным асимметрией соседних ячеек. Независимой регулировкой амплитуды управляющих сигналов  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  удастся в значительной степени снизить влияние этой составляющей геометрического шума. Наличие низкочастотной составляющей обусловлено неоднородностью электрофизических параметров по кристаллу. Вторая составляющая оказывает основное влияние на уменьшение динамического диапазона устройства задержки.

**Время хранения.** Время хранения определяется величиной термогенерационных токов в ячейках. Значение потенциала, записанного в ячейке в течение некоторого времени, деградирует, увеличивая тем самым геометрические искажения. Время хранения можно определить как максимальный временной интервал, при котором среднее выходное напряжение изменяется, например, на 10% от первоначально измеренного. Для нормальной температуры  $T = 25^\circ\text{C}$  время хранения не зависит от количества считывания и составляет 150 мс. Полная деградация сигналов для 50% ячеек наступает через 3,5—4 с.

В исследуемых образцах 5—8% ячеек имели низкое время хранения — около 30 мс.

Время хранения сильно зависит от температуры. Так, например, при снижении температуры на  $20^\circ\text{C}$  время хранения возрастает не менее чем в 5 раз.

**Частотные параметры.** Частотные параметры определяются быстродействием сдвиговых регистров и постоянными времени входной и выходной цепей.

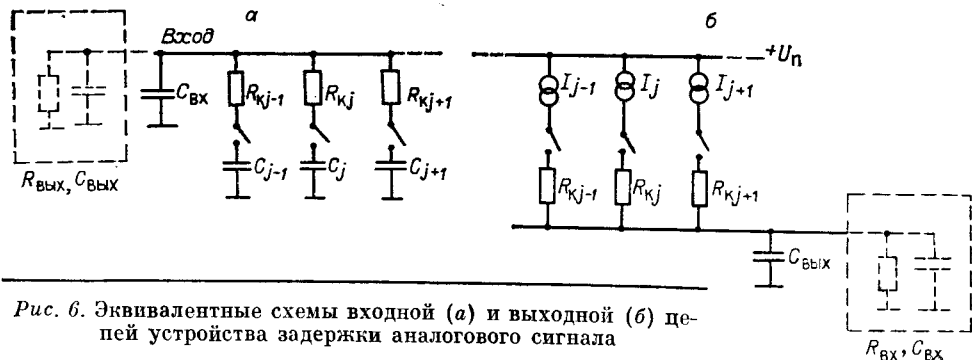


Рис. 6. Эквивалентные схемы входной (а) и выходной (б) цепей устройства задержки аналогового сигнала

На рис. 6, а, б приведены соответственно их эквивалентные схемы. В связи с тем, что все ячейки объединены по входу и выходу, следует учитывать входную и выходную емкости устройства.

Оценка входной емкости производилась посредством замера постоянной времени  $\tau_{вх}$  при подаче на вход сигнала с крутым фронтом через дополнительное внешнее сопротивление большой величины для исключения влияния  $R_{вых}$  генератора.

Величина  $C_{вх}$  определялась по выражению

$$C_{вх} = (t_{\phi 2} - t_{\phi 1}) / (3-4) R_{доб}, \quad (5)$$

где  $t_{\phi 1}$  — длительность переднего фронта импульса на выходе генератора;  $t_{\phi 2}$  — длительность этого же фронта после добавочного сопротивления. Измеренное и вычисленное таким образом значение входной емкости составило величину  $C_{вх} = 120-130$  пФ.

Оценка величины выходной емкости производилась посредством замера  $\tau_{вых}$  на осциллограмме разряда выходной емкости, заряженной до некоторого постоянного напряжения через нагрузочное сопротивление  $R_n = 4$  кОм. Величина  $C_{вых} = \tau_{вых} / R_n$  составила 60—80 пФ. На рис. 4, б приведены передаточные характеристики устройства задержки, снятые при различных тактовых частотах в случае воздействия постоянного сигнала  $U_{0 вх}$ . При небольших входных сигналах ( $U_{вх} \leq 5$  В) емкость хранения  $C_j$  успевает заряжаться через сопротивление ключа  $R_{kj}$  и характеристики практически совпадают. С увеличением входного сигнала сопротивление ключа  $R_{kj}$  возрастает, и с увеличением тактовой частоты наблюдается снижение амплитуды выходного сигнала и быстрое насыщение.

Постоянная времени цепи записи определялась по выражению

$$\tau_{kj} = 1/f'_T,$$

где  $f'_T$  — частота тактовых импульсов, при которой  $U_{вых} = 0,63U_{вых \max}$  при заданном  $U_{0 вх}$ . При  $U_{0 вх} = 13$  В  $f'_T = 10$  МГц,  $\tau_{kj} = 100$  нс. При  $U_{0 вх} = 8$  В и частоте тактовых импульсов 10 МГц амплитуда выходного сигнала падает в 1,07 раза по отношению к выходному сигналу при  $f_T = 1,25$  МГц, что указывает на хорошие частотные свойства прибора. На

Параметры, ед. измерения	Условное обозначение	Экспериментальное значение	Режим измерения
Диапазон входных напряжений, В	$U_{вх \min}$	1,6	$K_n = 40\%$ , $R_n = 220$ Ом $f_T = 1,25$ МГц
	$U_{вх \max}$	9,0	
Нелинейность передаточной характеристики, %	$K_n$	2	При $U_{вх} = 3,5-9$ В $R_n = 5$ кОм, $f_T = 1,25$ МГц
		10	При $U_{вх} = 3,5-9$ В $R_n = 220$ Ом, $f_T = 1,25$ МГц
		4000	$U_{0 вх} = 6$ В, $f_T = 250$ кГц
Динамический диапазон ячейки	$D_j$	40	$U_{0 вх} = 8$ В, $f_T = 1,25$ МГц
Геометрические искажения устройства, мВ		6	$U_{0 вх} = 2,5$ В, $f_T = 1,25$ МГц
Частота тактовых импульсов	$\Delta U$	10 кГц 10 МГц	
Входная емкость, пФ	$f_T \min$	120—130	
Выходная емкость, пФ	$f_T \max$	60—80	



рис. 5, в приведена осциллограмма задержанного на 400 мкс входного импульса длительностью 100 нс.

Основные параметры интегрального устройства задержки аналоговых сигналов приведены в таблице.

На основе описанной МДП-линейки фотодиодов, включенной в режиме устройства задержки аналоговых сигналов, целесообразно разработать специализированные приборы задержки путем замены фотодиодов на интегральные конденсаторы. Расположение на одной подложке двух или трех таких УЗАС позволит создать компактные высокопроизводительные устройства обработки изображений [4].

Авторы выражают благодарность Е. С. Нежевенко, М. А. Гофману и С. И. Наймарку за постоянную помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Product Summary: Discrete Time Analog Processing Devices: Проспект фирмы "Reticon Corporation", 1975.
2. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью.— М.: Сов. радио, 1976.
3. Кроуфорд Р. Схемные применения МОП транзисторов/Пер. с англ. под ред. М. С. Соинна.— М.: Мир, 1970.
4. Hall J. E., Awtrey J. D. Real-time image enhancement using  $3 \times 3$  pixel neighborhood operator functions // SPIE Applic. of Digital Image Processing III.— 1979.— V. 207.

*Поступила в редакцию 24 февраля 1986 г.*

УДК 621.378 : 535.853

**Л. Н. ГУСЬКОВ, В. Н. ЛИСИЦЫН, В. К. МАКУХА,  
Н. С. СЛЮСАРЕВ, Л. А. ЮРШИНА**

*(Новосибирск)*

### **ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР ДЛИН ВОЛН ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Широкое применение перестраиваемых лазеров (на растворах органических красителей,  $F$ -центрах, алесандрите) вызвало необходимость создания новых приборов для регистрации длин волн излучения, обладающих достаточно высоким разрешением, удобством съема информации и возможностью автоматизации процесса измерения. Согласно классификации, предложенной в [1], эти приборы можно разделить на динамические (лямбдаметры [2], сканирующие интерферометры Фабри — Перо [3, 4]) и статические (сигмаметры [5], интерферометры Физо [6] и Фабри — Перо [7]). Обладая высоким разрешением, эти приборы имеют и ряд недостатков — динамические измерители длин волн работают только с непрерывным излучением, в то время как для многих экспериментов удобнее использовать лазеры с модуляцией добротности или с разгрузкой резонатора; статические измерители длин волн либо требуют довольно сложной обработки результатов (интерферометры Физо и Фабри — Перо), либо для них необходимо предварительное определение длины волны с точностью  $10^{-2}$ , для чего используется обычный дисперсионный спектрограф [5]. Кроме того, применение статических измерителей длин волн в ИК-диапазоне (скажем, в области 10 мкм) связано с дополнительными трудностями, вызванными сложностью изготовления интерферометрической оптики и фотодиодных матриц в этом диапазоне. Нами предложено для индикации длин волн лазерного излучения с точностью  $10^{-3} \dots 10^{-4}$  использовать устройство на основе электрооптиче-