

ными параметрами системы и не зависит от ее временных параметров при выполнении условий

$$\Delta z \geq (A - 2x_z)^2/16z, \Delta T \geq (A/2zc)(A - 2x_z), \quad (41)$$

где $-X_{z \max}/2 \leq x_z \leq X_{z \max}/2$.

При длительности импульса стробирования T_1 , определяемой из условия обеспечения заданной достоверности формирования неоптической голограммы, и сфокусированном восстановлении элементов изображения в секущей плоскости Zxy необходимые по условиям квазистационарности абсолютная задержка опорного сигнала $\tau_{оп}$ и длительность импульса облучения $T_{обл}$ оцениваются с помощью формул (41)

$$\tau_{оп} \approx 2z/c + (A + X_{z \max})^2/16zc, T_{обл} \approx T_1 + (A/2zc)(A + X_{z \max})$$

($X_{z \max}$ — наибольший поперечный размер оригинала в плоскости Zxy).

В заключение необходимо отметить, что одними из основных задач системотехники являются выбор и обоснование математических моделей, пригодных для решения широкого круга задач анализа и синтеза систем. Математическое описание ГС, определяющее МФК как информационный инвариант такого рода систем формирования изображения, обеспечивает наглядную физическую интерпретацию информационных процессов и позволяет решать задачи целенаправленного проектирования таких специализированных аппаратурных комплексов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Саттон Дж. Л. Подводная акустоскопия. — ТИИЭР, 1979, т. 67, № 4.
2. Маковски А. Применение решеток преобразователей в ультразвуковых системах визуализации. — ТИИЭР, 1979, т. 67, № 4.
3. Ллойд Дж. Системы тепловидения. — М.: Мир, 1978.
4. Пенн В. А., Чован Дж. Л. Применение голографических методов в гидролокации. — В кн.: Акустическая голография/Пер. с англ. под ред. В. Г. Прохорова. Л.: Судостроение, 1975.
5. Яричин Е. М. Анализ информационной структуры процессов и систем голографической акустоскопии. — В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. «Проблемы метрологического обеспечения систем обработки измерительной информации» СОИИ-IV. М.: ВНИИФТРИ, 1982.

*Поступила в редакцию 24 апреля 1981 г.;
окончательный вариант — 23 февраля 1983 г.*

УДК 621.383

А. Ю. БОРИСЕНКО, А. Ю. КАЗИМИРОВ, О. Р. МОЧАЛКИНА
(Москва)

ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН ВЫХОДНОГО СИГНАЛА КАК КРИТЕРИЙ ВЫБОРА КОНСТРУКТИВНО-ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СДВИГОВОГО РЕГИСТРА МОП-ДИОДНОЙ ФОТОМАТРИЦЫ С САМОСКАНИРОВАНИЕМ

Одним из перспективных направлений в разработке линейных твердотельных фотоэлектрических преобразователей изображения является создание МОП-диодных самосканирующих фотоматриц, в которых опрос фотоприемников осуществляется сдвиговым регистром, расположенным на одном кристалле с линейкой фотодиодов [1, 2].

В таких устройствах фотоприемник представляет собой емкость p - n -перехода, работающую в режиме накопления заряда [3], которая при

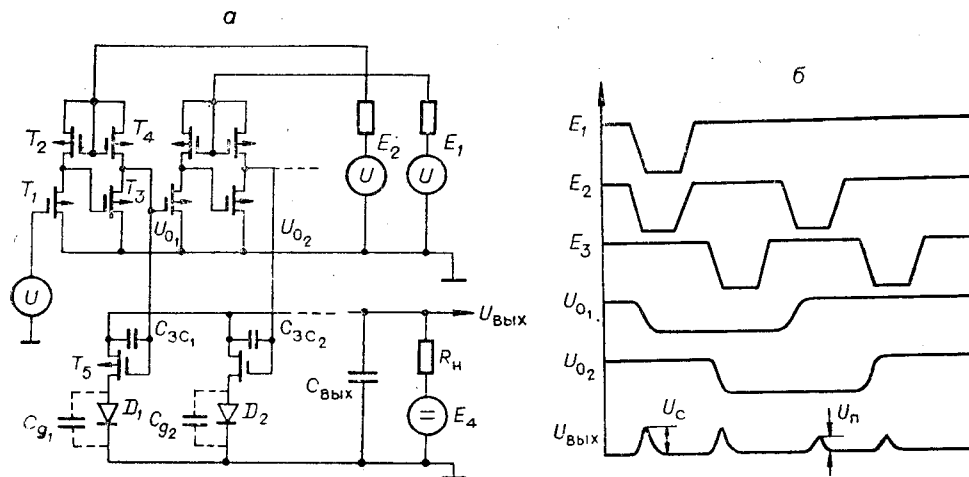


Рис. 1.

интегральном исполнении является истоком ключевого транзистора. Для осуществления последовательного опроса фотоприемников могут быть использованы различные схемотехнические варианты сдвигового регистра. Один из вариантов и временные диаграммы его работы представлены на рис. 1, а, б.

Очевидные достоинства схемы сдвигового регистра — простота схемотехнической, а следовательно, и топологической реализации, минимальное число транзисторов в ячейке регистра.

Объединение фотоприемников приводит к появлению шунтирующей емкости $C_{\text{вых}}$, образованной параллельным соединением стоковых областей транзисторов-ключей в общую выходную шину, которая действует как делитель тока, что ведет к снижению информационного сигнала U_c и сигнала помехи U_n .

На величины информационного сигнала и сигнала помехи оказывают также влияние параметры опрашивающего импульса U_0 , выбор которых зависит от конструктивных (топологических) параметров ячейки сдвигового регистра, формирующей этот сигнал. Однако при проектировании линеек с заданным разрешением выбор вариантов топологической реализации ячейки сдвигового регистра ограничен ввиду того, что один из линейных размеров, определяющих занимаемую ячейкой площадь, пропорционален шагу фотоприемников. Увеличение площади за счет другого линейного размера ячейки нежелательно, так как приводит к существенному усложнению организации межэлементных соединений при разработке топологии.

Фотоприемник с МДП-ключом рассмотрен в [4]. Однако его работа совместно с ячейкой сдвигового регистра может привести к изменению фотоэлектрических характеристик, и в частности динамического диапазона по выходному сигналу $D = U_c/U_n$. В силу этого актуальным является исследование влияния конструктивно-топологических параметров ячейки сдвигового регистра на динамический диапазон работы линейных фотоматриц различного объема.

Исходя из поставленной задачи был проведен расчет зависимости динамического диапазона работы линейной фотоматрицы, который определялся как отношение информационного сигнала к сигналу коммутационной помехи, обусловленной перезарядкой емкости перекрытия $C_{зс}$ транзистора-ключа T_5 . Расчет проведен для фотоприемных линеек различного объема при различных значениях топологических параметров ячейки сдвигового регистра и тактовых импульсов U_T .

Эквивалентная схема линейной фотоматрицы на p -канальных МОП-транзисторах, использованная при расчете на ЭВМ, представлена на

рис. 1, а, а временная диаграмма ее работы — на рис. 1, б. Схема состоит из двух разрядов сдвигового регистра и двух фотодиодов с МОПТ-ключами, а выходная емкость $C_{\text{вых}}$ моделирует число ячеек фотоприемной линейки. При этом для расчета электрических характеристик линейной фотоматрицы с учетом всех емкостей МОП-транзисторов, использованных в эквивалентной схеме, необходимо рассматривать систему нелинейных дифференциальных уравнений 24-го порядка.

Расчет фотоэлектрических характеристик проводился с помощью системы программ АРОПС [5]. Параметры изменялись в следующих пределах:

Выходная емкость $C_{\text{вых}} = NC_{\text{сп}}$, где $C_{\text{сп}}$ — емкость сток — подложка транзистора T_5 , а N — число элементов в линейке. Расчеты показывают, что для типовых значений порогового напряжения $U_{\text{пор}} = -3$ В, напряжений на выходе ячейки сдвигового регистра, соответствующих логической «1» $E_{\langle 1 \rangle} = -6$ В и логическому «0» $E_{\langle 0 \rangle} = -3$ В, и напряжения питания $E_{\text{пит}} = -15$ В отношение крутизны управляющего g_y и нагрузочного g_n транзисторов должно быть $g_y/g_n > 6$. При расчетах на ЭВМ отношение W/L (где W — ширина, L — длина канала транзистора) для управляющих транзисторов T_1 и T_3 изменялось в пределах $5 \div 20$, а для нагрузочных транзисторов T_2 и T_4 — $0,6 \div 2,4$. При этом $g_y/g_n = 8,3$.

Емкость перекрытия $C_{\text{зс}}$ транзисторов-ключей при $(W/L)_{T_5} = 100$ равна $0,06$ пФ.

Площадь фотодиода исходя из разрешения 10 элементов/мм для фотоприемной линейки общей длиной 25 мм была выбрана равной (100×220) мкм², что соответствует емкости фотодиода $C_d = 4,41$ пФ.

Амплитуда сигнала от генератора тактовых импульсов выбиралась равной -15 В. Длительность импульсов U_T изменялась в пределах $200 \div 800$ нс.

Результаты расчетов представлены на рис. 2—5.

С увеличением (W/L) транзисторов растет их крутизна, что приводит к увеличению скорости нарастания и амплитуды опрашивающего импульса U_0 [6]. На рис. 2 кривой 1 показана зависимость U_0 от (W/L) управляющего транзистора. Возрастание амплитуды и скорости нарастания опрашивающего импульса увеличивает динамический диапазон работы фотоприемной линейки.

Действительно, величина информационного сигнала определяется крутизной транзистора-ключа T_5 . Увеличение амплитуды и скорости нарастания опрашивающего сигнала приводит к увеличению крутизны транзистора T_5 , а значит, к возрастанию амплитуды информационного сигнала, скорости и величины заряда емкости фотодиода C_d .

Сигнал коммутационной помехи обусловлен перезарядом емкости перекрытия $C_{\text{зс}}$ транзистора T_5 за период, соответствующий заднему фронту опрашивающего импульса. Однако чем больше заряд емкости фотодиода C_d , тем больший ток перезаряда емкости $C_{\text{зс}}$ ответвляется в цепь емкости фотодиода C_d , что уменьшает сигнал помехи. Следовательно, $D = U_0/U_n$ с увеличением (W/L) транзисторов ячейки сдвигового регистра будет возрастать. Зависимости $D = f(W/L, C_{\text{вых}})$ рассчитаны для трех значений $(W/L)_y$ и $(W/L)_n$, равных $5, 10, 20$ и $0,6, 1,2, 2,4$ соответственно (кривые 2—4 на рис. 2).

Влияние выходной емкости на выходной сигнал линейки и динамический диапазон отражено на рис. 2 и 3. На рис. 3 показана временная диаграмма информационного сигнала, определяемого полным разрядом емкости фотодиода, полученного при различных значениях выходной ем-

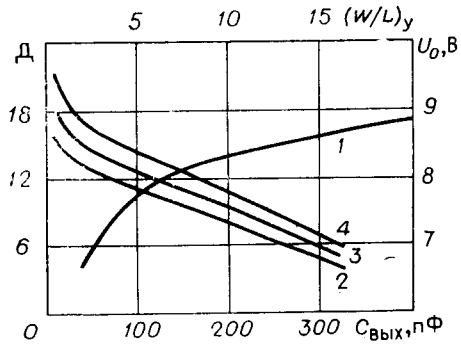


Рис. 2.

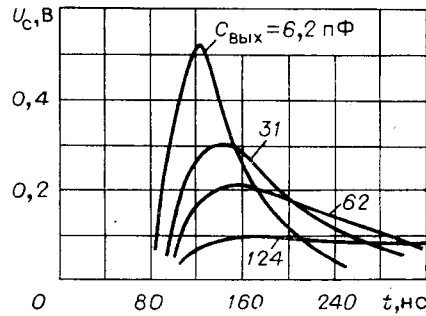


Рис. 3.

кости (от 6,2 до 124 пФ), соответствующих 10- и 200-элементной линейкам. Увеличение числа фотоприемников приводит к снижению амплитуды максимального информационного сигнала, что обусловлено снижением скорости разряда выходной емкости. Аналогичные временные диаграммы, для которых также характерно снижение $U_{\text{п}}$ с ростом $C_{\text{вых}}$, были получены и для сигнала помехи с неосвещенного фотоприемника.

Особенностью зависимостей $U_c = f(C_{\text{вых}})$ и $U_{\text{п}} = f(C_{\text{вых}})$ является более резкое снижение с ростом $C_{\text{вых}}$ информационного сигнала по сравнению с сигналом помехи, с чем и связано падение динамического диапазона (см. кривые 2—4 на рис. 2).

Действительно, наличие выходной емкости приводит к двум эффектам, которые влияют на величину выходного сигнала. С одной стороны, увеличение выходной емкости ведет к изменению параметров выходного делителя тока, образованного параллельным соединением $C_{\text{вых}}$ и $R_{\text{п}}$, и, следовательно, к снижению амплитуды выходного сигнала ($U_{\text{вых}} \sim 1/C_{\text{вых}}$). С другой стороны, увеличение $C_{\text{вых}}$ приводит к изменению постоянных времени емкостей $C_{\text{д}}$ и $C_{\text{зс}}$ ($\tau_{\text{сд}} \sim \frac{C_{\text{д}} C_{\text{вых}}}{C_{\text{д}} + C_{\text{вых}}}$,

$\tau_{\text{зс}} \sim \frac{C_{\text{зс}}(C_{\text{д}} + C_{\text{вых}})}{C_{\text{зс}} + C_{\text{д}} + C_{\text{вых}}}$). Причем для выбранных значений параметров емкостей $C_{\text{д}}$, $C_{\text{зс}}$ и $C_{\text{вых}}$ постоянная времени заряда емкости фотодиода $C_{\text{д}}$ с изменением $C_{\text{вых}}$ увеличивается быстрее, чем $\tau_{\text{зс}}$, что, следовательно, приводит к уменьшению тока заряда этой емкости и в конечном счете к более быстрому снижению U_c по сравнению с $U_{\text{п}}$.

На рис. 4 представлены рассчитанные зависимости амплитуды опрашивающего сигнала U_0 от длительности тактовых импульсов (кривая 1) и динамического диапазона D от $C_{\text{вых}}$, рассчитанного для трех значений длительности тактовых импульсов: 200, 400 и 800 нс соответственно (кривые 2—4). Расчеты проведены для ячеек сдвигового регистра со следующими параметрами транзисторов: $(W/L)_y = 10$, $(W/L)_n = 1,2$.

Увеличение длительности тактовых импульсов приводит к нелинейному увеличению амплитуды опрашивающего сигнала. Амплитуда информационного сигнала U_c остается при этом неизменной, так как скорость нарастания U_0 не меняется. Однако увеличение амплитуды и длительности U_0 приводит к изменению сигнала помехи. Действительно, емкость фотодиода $C_{\text{д}}$ заряжается за время опроса до большего напряжения. Как следствие этого, амплитуда сигнала помехи будет падать, поскольку через емкость $C_{\text{д}}$ будет протекать дополнительная часть тока разряда емкости $C_{\text{зс}}$. В результате динамический диапазон работы фотоприемной линейки с увеличением длительности тактовых импульсов T_{U_T} возрастет (кривые 3, 4 на рис. 2).

Увеличение числа элементов в фотоприемной линейке при больших длительностях тактовых импульсов $T_{U_T} \geq 400$ нс приводит к зависимости

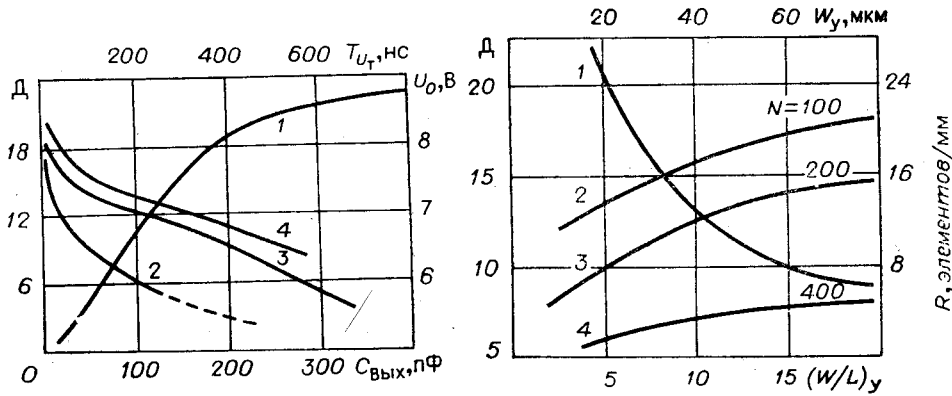


Рис. 4.

Рис. 5.

$D = f(C_{\text{вых}})$, рассмотренной ранее. Уменьшение T_{U_T} при одновременном уменьшении длительности опрашивающего импульса ($T_0 \approx 3T_{U_T}$) приводит к двум эффектам: с одной стороны, падает амплитуда опрашивающего импульса, что снижает амплитуду информационного сигнала, с другой — постоянная времени заряда выходной емкости $C_{\text{вых}}$ становится сравнимой с длительностью опрашивающего импульса T_0 . В результате за время опроса фотоприемника емкость $C_{\text{вых}}$ не успевает вернуться к исходному состоянию ($E_2 = -10$ В), поэтому реальным сигналом помехи является остаточное напряжение на емкости $C_{\text{вых}}$. Следствием этого будет более резкое падение D для $T_{U_T} \leq 200$ нс (кривая 2 на рис. 2).

Кривые, представленные на рис. 5, — основные зависимости, используемые для оптимизации параметров ячейки сдвигового регистра многоэлементных фотоприемных линеек. Кривая 1 на рис. 5 является зависимостью разрешения R ($R = 1/h$), где h — шаг фотоприемников в линейке фотоприемной линейки, от параметра W_y транзистора ячейки сдвигового регистра. $R = f(W_y)$ построена исходя из предположения, что одна ячейка сдвигового регистра опрашивает один фотоприемник, линейный размер которого в направлении, параллельном сканированию, равен W_y , а шаг фотоприемников в матрице равен удвоенной ширине канала управляющего транзистора. Кривые 2–4 на рис. 5 представляют собой зависимости $D = f[(W/L)_y]$, построенные для линейной матрицы объемом 100, 200, 400 элементов соответственно. В частности, для фотоприемной линейки объемом 200 элементов с заданным разрешением $R = 15$ элементов/мм и динамическим диапазоном не менее 10 минимальное значение $(W/L)_y$, при котором достигается требуемый динамический диапазон, равно 5 (кривая 1 на рис. 5). Заданное разрешение реализуется при $W_y = 35$ мкм (кривая 2 на рис. 5). Это означает, что параметр L_y (длина канала) управляющего транзистора должен быть выбран не более 7 мкм. Верхний предел D при заданном R определяется предельным значением параметра L_y , которое реализуется используемой технологией.

Зависимости $D = f[(W/L)_y]$ рис. 5 рассчитаны для длительности тактовых импульсов $T_{U_T} = 400$ нс. Увеличение T_{U_T} позволит (как следует из результатов расчета, представленных на рис. 4) несколько увеличить D без изменения параметров транзисторов ячейки сдвигового регистра.

Основные результаты состоят в следующем. Полученные зависимости позволяют, используя условия по заданному динамическому диапазону и разрешению в качестве критериев, провести выбор конструктивно-топологических параметров сдвигового регистра линейных самосканирующих фотоматриц различного объема. При расчетах влияние разброса геометрических размеров элементов схемы и технологических параметров на характеристики фотоматрицы не учитывалось.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vann M. A. Self-scanned photodiode arrays — characteristics and application.— Optics and Laser Technol., 1974, vol. 17, p. 209—215.
2. Jwadata K., Oguchi O., Asaoka T., Morino A. Design and fabrication of MOS-image sensor for facsimile.— Rev. of the Electr. Comm. Labor., 1977, vol. 25, N 5-6, p. 455.
3. Weekler G. P. Operation of $p-n$ junction photodetectors in a photon flux integrating mode.— IEEE J. of Solid-State Circuits, 1967, vol. SC-2, N 3, p. 65.
4. Казимиров А. Ю., Мочалкина О. Р. Анализ фотоэлектрических характеристик МДП-фотодиода в режиме накопления заряда.— Радиотехника и электроника, 1978, т. XXIII, № 8.
5. Ильин В. Н., Коган В. Л., Камнева Н. Ю., Котульский М. А., Попов В. З. Инструкция по использованию программы «АРОПС».— М.: МАИ, 1977.
6. Кроуфорд Р. Схемные применения МОП-резисторов.— М.: Мир, 1970.

*Поступила в редакцию 17 июля 1981 г.;
окончательный вариант — 30 сентября 1982 г.*

УДК 533.608

Г. И. АПОНИН, А. А. БЕСШАПОШНИКОВ, О. Б. БРАГИНА
(Троицк Московской)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СКОРОСТИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ЛАЗЕРНЫМ АНЕМОМЕТРОМ С СОВМЕСТНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ ЭОП И ФЭУ

Существующие лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС) по способу выделения доплеровского сдвига частоты (ДСЧ) можно разделить на приборы гетеродинного и спектрального типов [1—3]. Ниже рассматриваются некоторые особенности ЛДИСа, в котором впервые выделение сигналов ДСЧ осуществляется непосредственно ЭОП, управляемым импульсами ФЭУ [4]. Такая система в значительной степени совмещает достоинства приборов обоих типов: высокую чувствительность и широкий диапазон.

Блок-схема устройства, представленная на рисунке, работает следующим образом. Излучение лазера расщепляется светоделителем 1 на два равных луча. Линза 2 фокусирует лазерные лучи, образуя измерительный объем 3 в канале 4 с исследуемым газовым потоком (ГП). Часть лазерного излучения, рассеянного на микрочастицах, пролетающих через

