

Расчёт средней мощности, потребляемой устройствами на ПЗС

Завадский Ю. И., Хотянов Б. М., Чернокожин В. В.

Получены соотношения для расчёта средней мощности, потребляемой различными устройствами на ПЗС: последовательными регистрами сдвига с четырёхтактным (с хранением зарядов под двумя соседними затворами), трёхтактным и двухтактным управлением и ВЗН-матрицей мультиплексора на ПЗС с электрическим вводом зарядов в каждую ступень ВЗН. Выполнен расчёт средних мощностей ряда указанных устройств.

Средняя мощность, потребляемая регистром сдвига (РС) на ПЗС, рассчитывалась в [1-4]. Полученные в данной статье более точные выражения для мощности, в отличие от известных, учитывают наличие паразитных ёмкостей ПЗС (что в большом числе практических случаев меняет результат на величину свыше 100%) и неодинаковость площадей затворов разных фаз и применимы для ряда новых организаций устройств на ПЗС (при управлении трапецеидальными, а не многоступенчатыми тактовыми импульсами [1,5], для матриц на ПЗС с временной задержкой и накоплением (ВЗН) [2, 6, 7] с электрическим вводом заряда в каждую ступень ВЗН).

Для определённости рассматриваются n -канальные ПЗС и подложка считается заземлённой. В случае канала p -типа в формулы подставляются абсолютные значения управляющих напряжений. Выражения для средней потребляемой мощности выведены для ПЗС с объёмным каналом. Соответствующие выражения для ПЗС с поверхностным каналом получаются из них путём перехода, указанного ниже.

Последовательные РС

Схема четырёхтактного РС длиной N_6 бит, в котором хранение заряда осуществляется под двумя соседними затворами, изображена на рис. 1, а временные диаграммы управляющих тактовых импульсов для него - на рис. 2. Показаны (рис. 1) паразитные ёмкости ПЗС, выходные каскады тактовых генераторов и токи фаз. Здесь $k = 1, 2, \dots, N_6$ – номер бита РС, A_l – площадь затвора l -ой фазы Φ_l ($l = 1, 2, 3, 4$), f – тактовая частота работы РС.

Средняя мощность, потребляемая РС, рассеивается на распределённых сопротивлениях каналов ПЗС-элементов, подложки и подводящих тактовых шин, а также на транзисторах выходных каскадов тактовых генераторов. Выходные цепи тактовых генераторов изображены на рис. 1 в виде двухтактных каскадов на МДП-транзисторах (что имеет место в случае, если эти генераторы расположены на одном кристалле с ПЗС [3, 6]). Если тактовые генераторы внешние, то их выходные каскады обычно также строятся по двухтактной схеме (на биполярных или полевых транзисторах) [2], поэтому выражение для потребляемой ПЗС мощности останется тем же. Для простоты при расчёте не будем учитывать мощность предварительных каскадов тактовых генераторов и мощность, потребляемую за счёт протекания сквозных токов через транзисторы их выходных каскадов, то есть будем считать, что к моменту времени t_1 (рис. 2) закрываются «нижний» транзистор генератора Φ_1 (рис. 1) и «верхний» транзистор генератора Φ_3 , а «верхний» транзистор генератора Φ_1 и

«нижний» транзистор генератора Φ_3 в момент t_1 начинают открываться (ступенчато или плавно). Аналогичное положение имеет место для остальных моментов начала фронтов и спадов управляющих тактовых импульсов t_2, t_3, \dots, t_5 .

Средняя потребляемая мощность РС на ПЗС (рис. 1, 2) $P_{\text{ПЗС}}$ равна

$$P_{\text{ПЗС}} = f \left(\int_{t_1}^{t_3} U_{\Phi} i_1 dt + \int_{t_3}^{t_5} U_{\text{см}} i_1 dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{см}} i_2 dt + \int_{t_2}^{t_4} U_{\Phi} i_2 dt + \int_{t_4}^{t_5} U_{\text{см}} i_2 dt + \right. \\ \left. + \int_{t_1}^{t_3} U_{\text{см}} i_3 dt + \int_{t_3}^{t_5} U_{\Phi} i_3 dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi} i_4 dt + \int_{t_2}^{t_4} U_{\text{см}} i_4 dt + \int_{t_4}^{t_5} U_{\Phi} i_4 dt \right). \quad (1)$$

Ток на выходе тактового генератора Φ_1

$$i_1 = N_6 \left[C_{\text{пер.п1}} \frac{d(\Phi_1 - \Phi_4)}{dt} + C_{\text{пер.п2}} \frac{d(\Phi_1 - \Phi_2)}{dt} + C_{\text{нп1}} \frac{d\Phi_1}{dt} \right] + \sum_{k=1}^{N_6} i_{1.\text{п.к}} + \\ + C_{\text{н1}} \frac{d\Phi_1}{dt} + C_{\text{пер.п12}} \frac{d(\Phi_1 - \Phi_2)}{dt} + C_{\text{пер.п13}} \frac{d(\Phi_1 - \Phi_3)}{dt} + C_{\text{пер.п14}} \frac{d(\Phi_1 - \Phi_4)}{dt}. \quad (2)$$

Аналогичным образом расписываются выражения для токов i_2, i_3, i_4 . Подставим их в формулу (1), сделаем в интегралах замену переменных $t \rightarrow U$ в соответствии с рис. 2 и учтём, что

$$\int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} i_{l.\text{п.к}} dt = Q_{3.l.k}(t_{\text{кон}}) - Q_{3.l.k}(t_{\text{нач}}), \quad (3)$$

где $Q_{3.l.k}$ – алгебраическое значение заряда затвора Φ_l k -го бита РС.

На основе линеаризованной квазистатической модели ПЗС с объёмным каналом [5, 8] нетрудно получить следующее выражение для приращений алгебраических значений полного заряда и напряжения затвора ΔQ_3 и ΔU_3 и абсолютного значения полного заряда подвижных носителей в канале ΔQ (напомним, что рассматриваются ПЗС с каналом n -типа):

$$\Delta Q_3 = \eta_1 \frac{\eta_2 A C_d \Delta U_3 + \Delta Q}{\eta_1 + \eta_2 (1 + \eta_1)}, \quad (4)$$

где C_d – удельная (на единицу площади) ёмкость диэлектрика затвора; A – площадь затвора; η_1, η_2 – коэффициенты линеаризации зарядов обеднённых слоёв у поверхности полупроводника и p - n -перехода соответственно.

Предполагается, что в N_1 битах РС сдвигаются зарядовые пакеты максимальной абсолютной величины Q , а в остальных ($N_6 - N_1$) битах заряды равны нулю.

Учитывая временные диаграммы (рис. 2) и приведённые выше соотношения (1) – (4), получим формулу для расчёта средней потребляемой мощности четырёхтактного РС (рис. 1, 2) в случае объёмных ПЗС:

$$P_{\text{ПЗС}} = f \left\{ \left\{ N_6 \left[2 \sum_{l=1}^4 C_{\text{пер.пл}} + \sum_{l=1}^4 C_{\text{нпл}} + \frac{\eta_1 \eta_2 C_d}{\eta_1 + \eta_2 (1 + \eta_1)} \sum_{l=1}^4 A_l \right] + \sum_{l=1}^4 C_{\text{нл}} + \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + 2(C_{\text{пер.12}} + C_{\text{пер.14}} + C_{\text{пер.23}} + C_{\text{пер.34}}) + 4(C_{\text{пер.13}} + C_{\text{пер.24}})\}(U_{\phi} - U_{\text{см}})^2 + \\
& + \frac{\eta_1 N_1 Q}{\eta_1 + \eta_2(1 + \eta_1)} \left(\frac{A_1}{A_1 + A_2} + \frac{A_2}{A_2 + A_3} + \frac{A_3}{A_3 + A_4} + \frac{A_4}{A_1 + A_4} \right) (U_{\phi} - U_{\text{см}})\}. \quad (5)
\end{aligned}$$

Аналогичным образом выводятся формулы для расчёта средней потребляемой мощности $P_{\text{пзс}}$ для последовательных РС других типов: трёхтактного и двухтактного (они здесь не приводятся).

Анализ показал, что для двухтактного РС и четырёхтактного РС с хранением заряда под двумя соседними затворами (рис. 1) величина средней потребляемой мощности $P_{\text{пзс}}$ зависит от того, как сфазированы между собой фронты и спады управляющих импульсов Φ_1 и Φ_2 (для двухтактного РС) и каждой из пар управляющих импульсов Φ_1, Φ_3 и Φ_2, Φ_4 (для четырёхтактного РС).

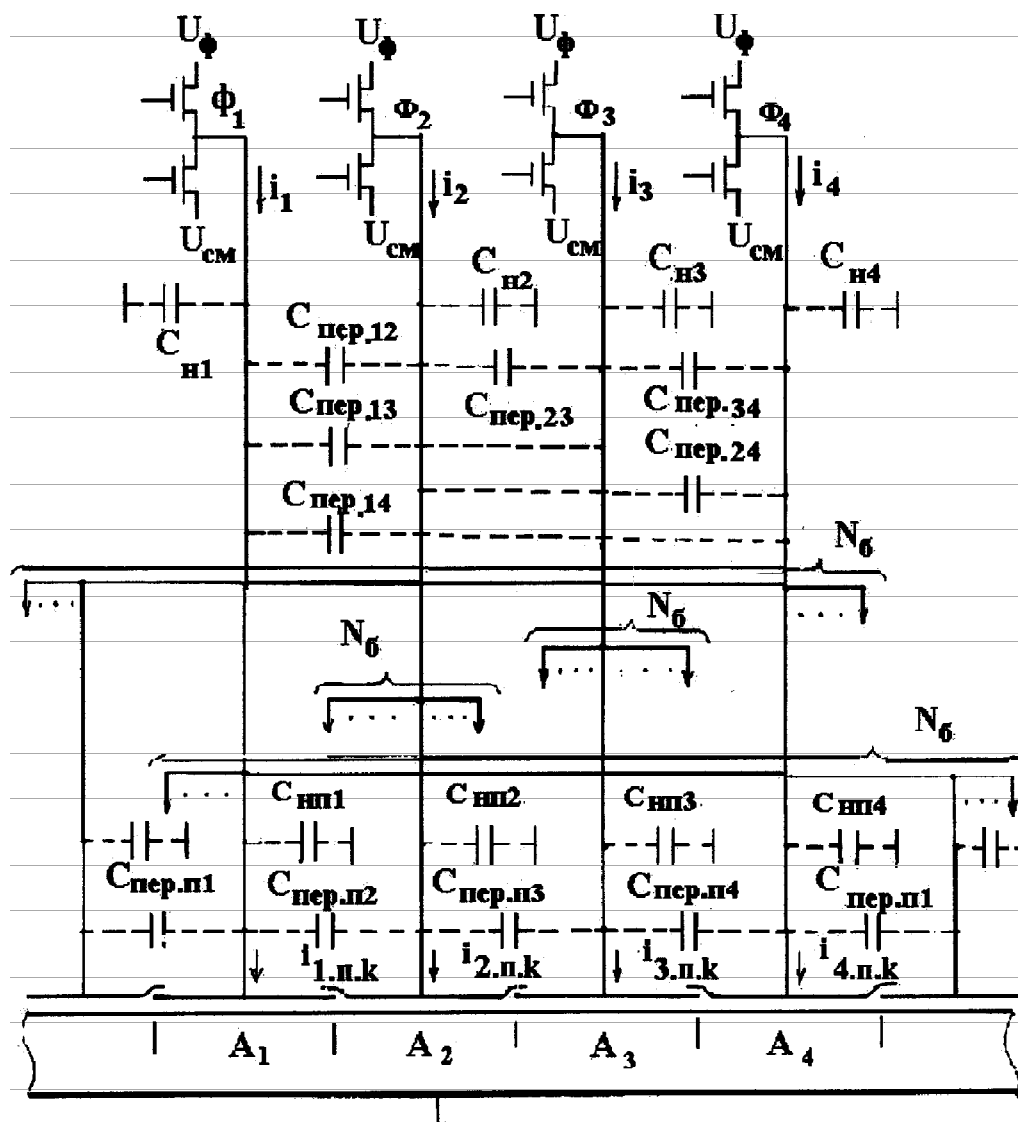


Рис. 1.

Четырёхтактный РС с хранением заряда под двумя соседними затворами

Если в двухтактном РС фронты и спады противоположных импульсов не происходят одновременно, а импульсы Φ_1 и Φ_2 перекрываются между собой по нижнему уровню $U_{см}$ или по верхнему уровню U_{ϕ} [2], то величина мощности $P_{ПЗС}$ уменьшается. Аналогично, если для четырёхтактного РС, в отличие от рис. 2, на котором фронты и спады противофазных импульсов Φ_1, Φ_3 и Φ_2, Φ_4 происходят одновременно [9], импульсы каждой пары перекрываются между собой по верхнему уровню U_{ϕ} [2], то значение $P_{ПЗС}$ также будет несколько меньше рассчитанного по формуле (5).

Формулы для средней потребляемой мощности в случае ПЗС с поверхностным каналом получаются из соответствующих выражений для объёмного канала предельным переходом при $\eta_1 \rightarrow \infty$ и заменой η_2 на η (где η - коэффициент влияния заряда подложки [5, 6, 8]), что приводит к следующим заменам в упомянутых формулах:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\eta_1 \eta_2}{\eta_1 + \eta_2 (1 + \eta_1)} &\rightarrow \frac{\eta}{1 + \eta}, \\ \frac{\eta_1}{\eta_1 + \eta_2 (1 + \eta_1)} &\rightarrow \frac{1}{1 + \eta}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

ВЗН-матрица

Рассмотрим ВЗН-матрицу мультиплексора на ПЗС, содержащую M параллельных РС на ПЗС, каждый из которых состоит из N ступеней ВЗН длиной по B бит каждая. В соответствии с принципом ВЗН [2, 6, 7] в каждую ступень ВЗН производится электрический ввод заряда от соответствующего фоточувствительного элемента (ФЧЭ) ВЗН-матрицы фотоприёмников, который добавляется к заряду, сдвигаемому в этой ступени РС. ФЧЭ представляют собой фотоприёмники ИК излучения на основе фоторезисторов, расположенные на отдельном кристалле от ПЗС [2, 6, 7, 10]. Параллельные РС - четырёхтактные с хранением заряда под двумя соседними затворами (аналогичные изображённому на рис. 1 последовательному РС), работают с тактовой частотой f_m , элементы электрического ввода зарядов – прямоинжекционные [2, 7, 10-12], размещённые на одном кристалле с РС, заряды вводятся под затворы фазы Φ_1 параллельных РС.

Строки ВЗН-матрицы ФЧЭ длиной по $2M$ элементов имеют билинейную организацию [2], то есть каждая строка состоит из двух смещённых друг относительно друга в направлении движения изображения полустрок: нечётных и чётных ФЧЭ. Поэтому в каждой ступени ВЗН параллельных РС на ПЗС заряды вводятся в два разных бита: в один (чётный) - от полустроки нечётных ФЧЭ, в другой (нечётный) - от полустроки чётных ФЧЭ. Соответственно зарядовая информация, сдвигаемая в совокупности параллельных РС, представляет собой чередование полустрок нечётных и чётных элементов изображения.

При выводе выражения для средней потребляемой мощности ВЗН-матрицы $P_{ПЗС.м}$ (без учёта мощности элементов ввода зарядов) предполагается, что в каждой ступени ВЗН в параллельный РС вводится от соответствующего ФЧЭ максимальный заряд $Q_{матр}/N$, где $Q_{матр}$ - максимальный заряд (абсолютное значение), который

хранится в одном бите последней N -ой ступени ВЗН указанного РС.

Показано, что в отношении средней потребляемой мощности ВЗН-матрица эквивалентна последовательному РС (рис. 1, 2) длиной $N_0 = MNB$ бит, в котором сдвигаются $N_1 = M(N+1)B$ зарядовых пакетов величиной $Q = Q_{\text{матр}}/2$ каждый, работающему с тактовой частотой матрицы f_m . Конечное выражение для мощности $P_{\text{ПЗС.м}}$ здесь не приводится ввиду его громоздкости.

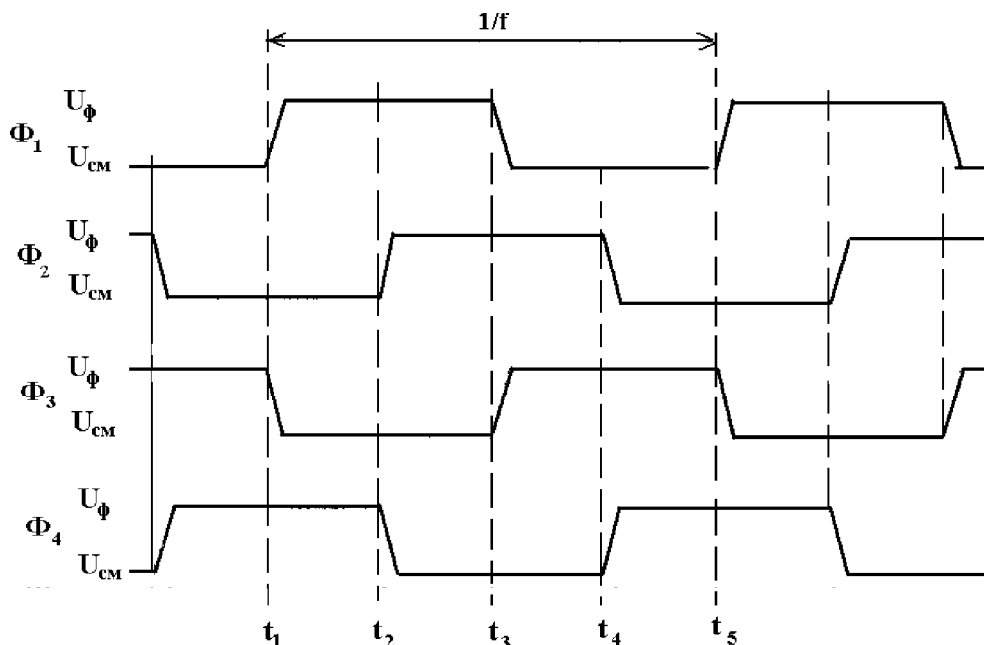


Рис. 2.

Временные диаграммы управляющих импульсов для четырёхтактного РС с хранением зарядов под двумя соседними затворами

Элементы электрического ввода зарядов в ВЗН-матрицу

Рассчитаем среднюю мощность $P_{\text{в.м}}$, потребляемую прямоинжекционными элементами электрического ввода зарядов от ВЗН-матрицы фоточувствительных элементов (приёмников ИК излучения на основе фоторезисторов) в описанную выше ВЗН-матрицу мультиплексора на ПЗС (рис. 3, 4). Общее количество элементов ввода равно

$$N_{\text{в}} = 2 MN, \quad (7)$$

по два элемента на каждую j -ую ступень ВЗН каждого g -го параллельного РС на ПЗС (один - для полустроки нечётных ФЧЭ, другой - для полустроки чётных ФЧЭ; $j = 1, 2, \dots, N$; $g = 1, 2, \dots, M$). Для простоты будем считать, что конструктивно-топологические параметры элементов ввода зарядов от полустрок нечётных и чётных ФЧЭ одинаковы.

Один элемент ввода изображён на рис. 3, где R_{ϕ} - это ИК ФЧЭ на основе фоторезистора (входящий в полустроку нечётных или чётных ФЧЭ). На схеме показаны часть паразитных ёмкостей ПЗС, часть токов шин управляющих сигналов и выходные каскады тактовых генераторов. Заряд, накапливаемый в элементе ввода за время накопления $t_{\text{нак}}$ (рис. 4), состоит из двух частей. Одна его часть $Q_{\text{ф.ст}}$ - это так

называемый фоновый заряд, отсекаемый в каждой ступени ВЗН. Другая его часть, имеющая максимальную величину $Q_{\text{матр}}/N$, – это так называемый информационный заряд, вводимый в параллельный РС в каждой ступени ВЗН.

Средняя мощность, потребляемая элементами ввода (рис. 3, 4),

$$P_{\text{В.м}} = E_{\phi} i_{\phi} + \frac{f_M}{2} \left(U_{\text{да}} \int_{t_8}^{t_9} N_B i_{\text{да.п}} dt + U_{\text{см}} \int_{t_1}^{t_7} i_p dt + U_{\phi} \int_{t_7}^{t_8} i_p dt + U_{\text{см}} \int_{t_8}^{t_9} i_p dt + U_{\text{АН}} \int_{t_1}^{t_8} i_{\text{за}} dt + U_{\phi} \int_{t_8}^{t_9} i_{\text{за}} dt \right). \quad (8)$$

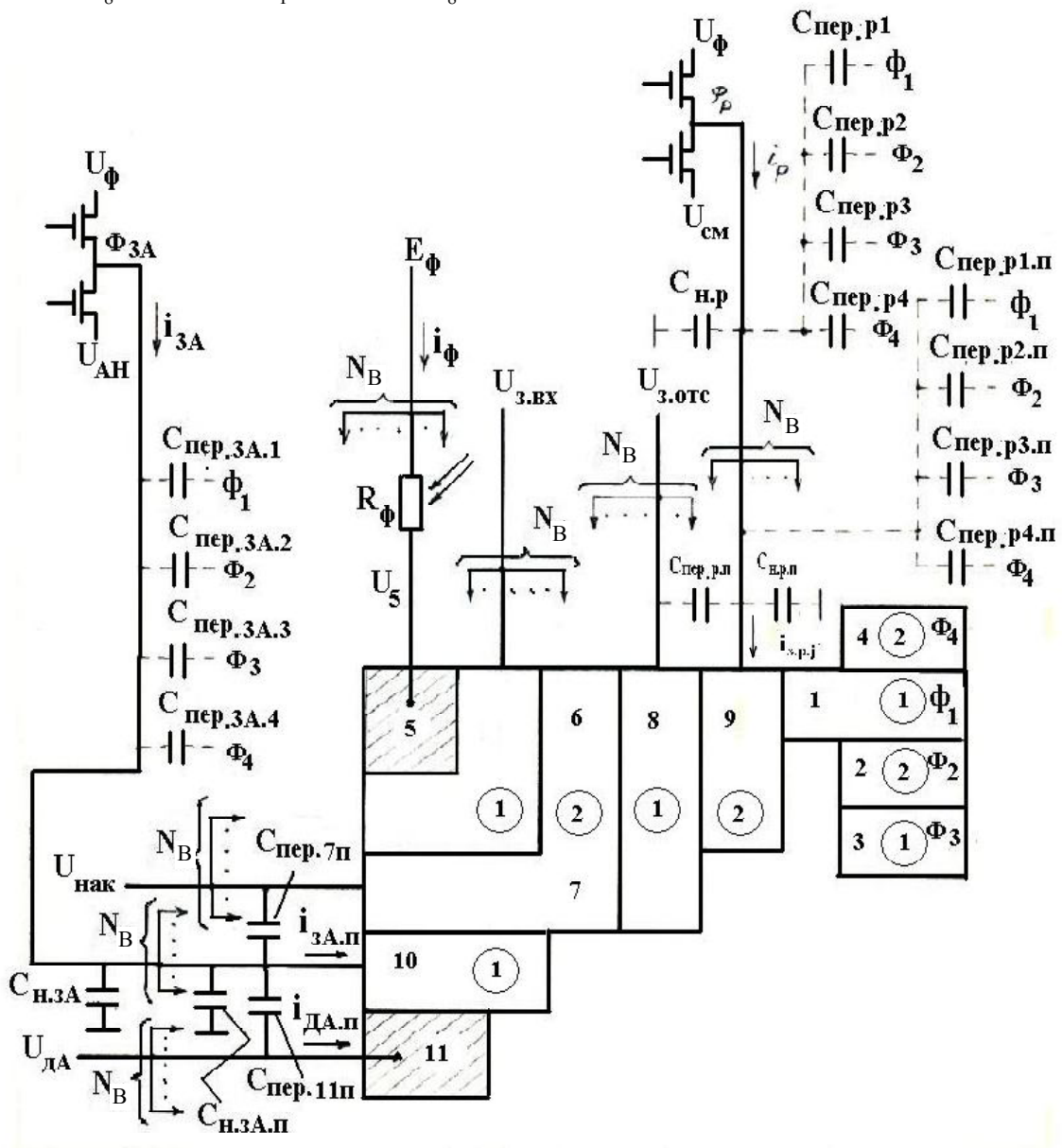


Рис. 3.

Схема для расчёта мощности элементов электрического ввода зарядов от ВЗН-матрицы фотоприёмников в ВЗН-матрицу мультиплексора на ПЗС: (1) и (2) - первый и второй уровни поликремниевых затворов соответственно; заштрихованы диффузионные области с противоположным подложке типом проводимости

Считается, что на все ФЧЭ фотоприёмной ВЗН-матрицы падает одинаковое излучение максимальной интенсивности. Поэтому алгебраическое значение тока, потребляемого от источника питания фоторезисторов E_ϕ , постоянно и равно

$$i_\phi = -\frac{N_B}{t_{\text{НАК}}} \left(\frac{Q_{\text{МАТР}}}{N} + Q_{\phi.\text{СТ}} \right). \quad (9)$$

Напряжение питания E_ϕ может иметь как положительное, так и отрицательное значение.

В соотношении (8) принято во внимание, что средняя мощность, потребляемая от источника постоянного напряжения, подключённого исключительно к ёмкостям и затворам ПЗС, равна нулю. Последнее имеет место потому, что средняя потребляемая мощность прямо пропорциональна интегралу суммарного тока, потребляемого от этого источника за период действия тактовых импульсов, то есть приращению суммарного заряда на обкладках ёмкостей и затворах ПЗС, подключённых к данному источнику, за указанный период времени, а это приращение равно нулю. По аналогичной причине в слагаемом в выражении (8), которое соответствует средней мощности, потребляемой от постоянного источника $U_{\text{ДА}}$, не учитываются паразитные ёмкости, подключённые к этому источнику.

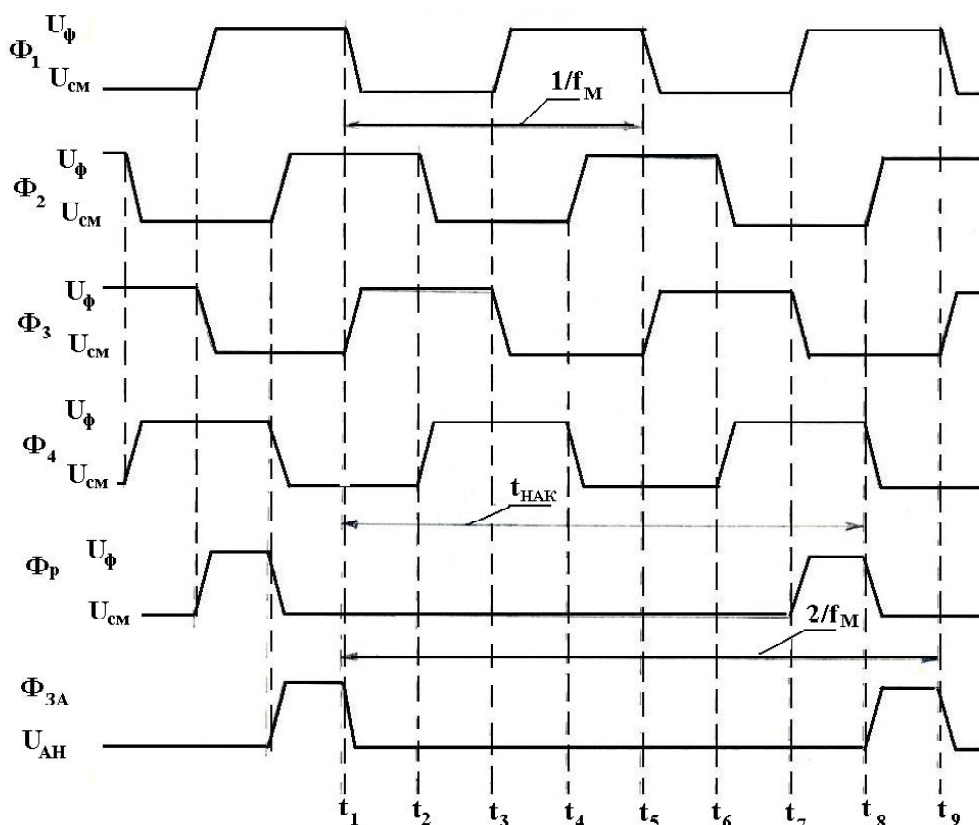


Рис. 4.

Временные диаграммы управляющих импульсов элемента электрического ввода зарядов

Токи на выходах тактовых генераторов элементов ввода (рис. 3) равны:

$$i_p = N_B \left[\sum_{l=1}^4 C_{\text{пер.р.л.п}} \frac{d(\Phi_p - \Phi_l)}{dt} + (C_{\text{пер.р.п}} + C_{\text{н.р.п}}) \frac{d\Phi_p}{dt} \right] +$$

$$+ M \sum_{j=1}^N 2i_{3.p.j} + C_{\text{н.р}} \frac{d\Phi_p}{dt} + \sum_{l=1}^4 C_{\text{пер.р.л}} \frac{d(\Phi_p - \Phi_l)}{dt}, \quad (10)$$

$$i_{3a} = N_B [(C_{\text{пер.7п}} + C_{\text{пер.11п}} + C_{\text{н.3а.п}}) \frac{d\Phi_{3a}}{dt} + i_{3a.п}] +$$

$$+ C_{\text{н.3а}} \frac{d\Phi_{3a}}{dt} + \sum_{l=1}^4 C_{\text{пер.3а.л}} \frac{d(\Phi_{3a} - \Phi_l)}{dt}. \quad (11)$$

Подставим выражения (10), (11) в формулу (8), сделаем в интегралах замену переменных $t \rightarrow U$ в соответствии с рис. 4 и учтём, что

$$\int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} i_{3.p.j} dt = Q_{3.9j}(t_{\text{кон}}) - Q_{3.9j}(t_{\text{нач}}), \quad (12)$$

$$\int_{t_{\text{нач}}}^{t_{\text{кон}}} i_{3a.п} dt = Q_{3.10}(t_{\text{кон}}) - Q_{3.10}(t_{\text{нач}}), \quad (13)$$

$$\int_{t_8}^{t_9} i_{\text{да.п}} dt = Q_{\text{ф.ст}}, \quad (14)$$

где $Q_{3.9j}$, $Q_{3.10}$ – алгебраические значения зарядов затворов 9 j -ой степени ВЗН и 10 соответственно.

Из соотношений (8) - (14), (4) и временных диаграмм (рис. 4) находим выражение для средней мощности, потребляемой элементами электрического ввода зарядов в ВЗН-матрицу, которое не приводится.

Средняя мощность, потребляемая ВЗН-матрицей мультиплексора на ПЗС с учётом элементов ввода зарядов от ВЗН-матрицы фотоприёмников, $P_{\text{ВЗН.м}}$ равна

$$P_{\text{ВЗН.м}} = P_{\text{ПЗС.м}} + P_{\text{В.м}}. \quad (15)$$

Примеры расчёта средней потребляемой мощности

1. Мощность ВЗН-матрицы мультиплексора на ПЗС (без учёта мощности элементов ввода зарядов) $P_{\text{ПЗС.м}}$ была рассчитана для случая ПЗС с поверхностным каналом и следующих значений параметров: $M = 144$, $N = 16$, $B = 8$, $f_m = 4$ кГц, $U_\phi = 20\text{В} \pm 10\%$, $U_{\text{см}} = 1,5\text{В} \pm 10\%$, размер ячейки матрицы 100×100 мкм². Полученное значение средней потребляемой мощности ВЗН-матрицы $P_{\text{ПЗС.м}} = 4,58$ мВт. При этом мощность, расходуемая собственно на сдвиг зарядов в параллельных РС, составила 2,6 мВт или 56,8% от общей мощности $P_{\text{ПЗС.м}}$. Остальные 43,2% потребляемой мощности расходуются на перезарядку паразитных ёмкостей ПЗС, причём 31,4% от общей мощности $P_{\text{ПЗС.м}}$ (1,44 мВт) связаны с перезарядкой ёмкостей перекрытия между собой соседних поликремниевых затворов ПЗС и ёмкостей этих затворов на подложку,

а остальные 11,8% от общей мощности $P_{\text{ПЗС.м}}$ (0,54 мВт) обусловлены перезарядкой паразитных ёмкостей алюминиевых подводящих шин.

2. Мощность элементов электрического ввода зарядов в ВЗН-матрицу (рис. 3, 4) $P_{\text{В.м}}$ была рассчитана для случая ПЗС с поверхностным каналом для приведённой выше матрицы. С целью получения максимального значения мощности были взяты максимальное значение отсекаемого в каждой ступени ВЗН заряда $Q_{\text{ф.от}}$ и минимальное алгебраическое значение напряжения питания фоторезисторов $E_{\text{ф}}$ (согласно расчёту $E_{\text{ф}} < 0$). Полученное максимальное значение средней потребляемой мощности элементов ввода $P_{\text{В.м}} = 4,2$ мВт. Это составляет 91,7% от мощности, потребляемой собственно ВЗН-матрицей (то есть совокупностью параллельных РС на ПЗС) $P_{\text{ПЗС.м}}$. Общая же мощность, потребляемая ВЗН-матрицей на ПЗС вместе с элементами ввода, согласно формуле (15) равна $P_{\text{ВЗН.м}} = 8,78$ мВт.

3. Мощность двух выходных РС мультиплексора на ПЗС (без учёта мощности элементов ввода зарядов из параллельных РС ВЗН-матрицы в выходные РС и устройств считывания зарядов из ПЗС) $P_{\text{ПЗС.вых.РС}}$. Упомянутый мультиплексор помимо описанной выше ВЗН-матрицы содержит два подключённых к ней последовательных выходных РС на ПЗС длиной по M бит каждый, размещённых на отдельном кристалле. В «левый» выходной РС через $M/2$ параллельных элементов ввода передаются заряды с выходов параллельных РС матрицы с номерами от 1-го до $M/2$ -го, в «правый» выходной РС - с выходов параллельных РС с номерами от $(M/2+1)$ -го до M -го. Далее оба выходных РС одновременно сдвигают полученную информацию в противоположные стороны каждый на своё устройство считывания зарядов из ПЗС.

На упомянутые элементы ввода из матрицы поочерёдно поступают полустроки нечётных и чётных элементов изображения. Каждый элемент ввода сначала принимает нечётный элемент изображения и размещает его под своим затвором промежуточного хранения. Затем после прихода чётного элемента изображения оба указанных элемента изображения одновременно передаются из элемента ввода в два соседних бита выходного РС: в нечётный и чётный соответственно. Таким образом, считываемые из ВЗН-матрицы друг за другом полустроки нечётных и чётных элементов изображения сшиваются в выходных РС в одну строку длиной в $2M$ элементов.

Выходные РС - четырёхтактные, с хранением заряда под двумя соседними затворами (рис. 1, 2), на ПЗС с поверхностным каналом. Элементы ввода зарядов из матрицы в выходные РС - прямоинжекционные, с отсечением фонового заряда (типа, изображённого на рис. 3), их входные диффузионные области соединены с выходными диффузионными областями соответствующих параллельных РС.

Средняя потребляемая мощность двух выходных РС $P_{\text{ПЗС.вых.РС}}$ вычисляется по формуле (5) с заменой (6). При этом в отношении мощности два выходных РС эквивалентны одному последовательному РС, у которого

$$N_1 = N_2 = 2M = 288, Q = Q_{\text{матр}} = 1,76 \text{ пКл}, f = (M + 1.5) \frac{f_M}{2} = 291 \text{ кГц}.$$

Расчёт дал значение средней потребляемой мощности двух выходных РС на ПЗС $P_{\text{ПЗС.вых.РС}} = 14,4$ мВт. При этом на сдвиг зарядов в РС расходуются 38,6% потребляемой мощности. Остальные 61,4% идут на перезарядку паразитных ёмкостей ПЗС.

Анализ показал, что средняя мощность, потребляемая всеми M элементами ввода зарядов из параллельных РС ВЗН-матрицы в два входных РС мультиплексора на ПЗС, равна $P_{В.вых.РС} = 0,076$ мВт, что составляет 0,53% от мощности собственно выходных РС $P_{ПЗС.вых.РС}$ (то есть мощностью указанных элементов ввода можно пренебречь). Столь малое значение мощности элементов параллельного ввода зарядов из ВЗН-матрицы в выходные РС объясняется тем, что частота работы этих элементов ввода $f_M/2$ в $M+1,5 = 145,5$ раз меньше частоты сдвига зарядов в выходных РС f . Для справки, расчётное значение статической мощности, рассеиваемой на кристалле схемами считывания зарядов из двух выходных РС на ПЗС (на базе выходных диффузионных областей и однокаскадных истоковых повторителей [2, 6, 9, 13]), равно 3,4 мВт, что составляет 23,6% от мощности собственно выходных РС $P_{ПЗС.вых.РС}$.

Заключение

Получены соотношения для расчёта средней мощности, потребляемой различными устройствами на ПЗС: последовательными РС с четырёхтактным (с хранением зарядов под двумя соседними затворами), трёхтактным и двухтактным управлением и ВЗН-матрицей мультиплексора на ПЗС с электрическим вводом зарядов в каждую ступень ВЗН. Приведён пример расчёта средних мощностей, потребляемых ВЗН-матрицей мультиплексора на ПЗС (с учётом элементов электрического ввода зарядов в каждую ступень ВЗН) и двумя выходными последовательными РС указанного мультиплексора.

Литература

1. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью. - М.: Сов. радио, 1976.
2. Секен К., Томпсет М. Приборы с переносом заряда. - М.: Мир, 1978.
3. Хотянов Б. М., Шилин В. А. Запоминающие устройства на приборах с зарядовой связью (обзор). - Зарубежная электронная техника, 1976, №№ 23,24, 1977, №№ 1,2.
4. Хотянов Б. М., Шилин В. А. Расчёт характеристик накопителя БИС памяти на ПЗС. - Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1982, вып. 6, с. 9-13.
5. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Основы физики приборов с зарядовой связью. - М.: Наука, 1986.
6. Кузнецов Ю. А., Шилин В. А. Микросхемотехника БИС на приборах с зарядовой связью. - М.: Радио и связь, 1988.
7. Приборы с зарядовой связью / Под. ред. Барба Д. Ф. - М.: Мир, 1982.
8. Левин С. А., Пресс Ф. П., Хотянов Б. М., Шилин В. А. Математическая модель ПЗС для машинного расчёта интегральных схем. - Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. Под. ред. Васенкова А. А. и Федотова Я. А. - М.: Сов. радио, вып. 3, 1978, с. 59-75.
9. Приборы с зарядовой связью / Под. ред. Хоувза М., Моргана Д. - М.: Энергоиздат, 1981.
10. Pommerrenig D. N. Extrinsic silicon focal plane arrays. - SPIE, 1983, v. 443, p. 144-150.
11. Chan W. S. Detector-charge-coupled device (CCD) interface methods. - SPIE, 1980, v. 244 Mosaic Focal Plane Methodologies, p. 81-95.
12. Takigawa H., Dohi M., Ueda R. Hybrid IR CCD Imaging Array. - IEEE Trans. on El. Dev., 1980, v. ED-27, No. 1, p. 146-150.
13. Вето А. В., Пресс Ф. П., Рубинштейн Д. И., Хотянов Б. М., Шилин В. А. Анализ и оптимизация выходных схем ПЗС. - Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / Под. ред. Васенкова А. А. и Федотова Я. А. - М.: Сов. радио, вып. 3, 1978, с. 75-97.