

УДК 621.3.049

Վ.Մ.ԱՐՄՅՈՒՅԱՆ, Ա.Ա.ԿԱՐԱԳԵՅՈՎ

РАЗБРОС ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
 В ФОТОПРИЕМНЫХ ПРИБОРАХ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

В статье рассматривается возможность определения значений фоточувствительности ячеек приборов с зарядовой связью, а также величины разброса данного параметра путем восстановления выходного сигнала. Приводятся экспериментальные результаты, полученные для матриц типа А1042.

Одним из факторов, искажающих информацию в фотоприемных приборах с зарядовой связью (ФПЗС) на стадии преобразования потока излучения в заряд, является разброс фоточувствительности по ячейкам прибора [1]. Согласно исследованиям [2-3] величина данного разброса может составлять 3÷10%.

Наличие такой неоднородности приводит к несоответствию образуемого в приборе зарядового рельефа с распределением яркости на поверхности ФПЗС, в результате чего возникают ошибки при дальнейшем анализе информации. С целью минимизации этих ошибок необходимо проводить соответствующую коррекцию, которая предполагает предварительное определение значений фоточувствительности ячеек прибора. Разумеется точность составления подобной карты фоточувствительности будет определять точность последующей коррекции.

О значениях фоточувствительности ячеек ФПЗС-строки, следовательно, и о степени разброса данного параметра, можно судить по значениям напряжений, соответствующих считанным зарядовым пакетам, индуцированным в ячейках прибора под воздействием одинаковой освещенности. Здесь, однако, необходимо учесть тот факт, что зарядовые пакеты подвергаются разному количеству переносов и, следовательно, разной степени деградации. В результате фиксируемое напряжение $U_n=f(R_n, N_p(\epsilon, n))$ будет характеризовать фоточувствительность ячейки с точностью до величины искажений, определяемых потерями заряда при переносе. Здесь R_n —чувствительность, $N_p(\epsilon, n)$ — передаточная функция ФПЗС-строки, ϵ — неэффективность переноса заряда, n — номер ячейки (счет ведется от выхода прибора).

Учет этих искажений можно осуществить путем восстановления выходной информации (ряд зафиксированных напряжений) с помощью обратной передаточной (восстанавливающей) функции $N_p(\epsilon, n)$. Тогда для восстановленного значения заряда n -ой ячейки запишем

$$Q_{пв} = Q_n N_p(\epsilon_p, n) N_p(\epsilon_n, n), \quad (1)$$

причем $H_p(\epsilon_p, n)H_v(\epsilon_v, n) = 1$ при $\epsilon_p = \epsilon_v$, где ϵ_p и ϵ_v — соответственно реальное и измеренное значения неэффективности переноса для данного прибора. Таким образом, точность восстановления информации каждой ячейки определяется точностью используемого значения неэффективности переноса.

С учетом анализа процесса восстановления информации ФПЗС-строки [4] в случае, когда заряд индуцируется во всех или в нескольких ячейках, для восстановленного значения напряжения n -ой ячейки можно записать

$$U_{nv} = (1-\epsilon)^{-n} \sum_{i=1}^n \left[U_i (-\epsilon)^{n-i} C_{n-1}^{i-1} \right], \quad (2)$$

где U_i — фиксированное напряжение, соответствующее заряду i -той ячейки из всех, предшествующих n -ой. Если в строке переносится один зарядовый пакет, имеем при $i \neq n$ $U_i \equiv 0$, а при $i = n$ выражение (2) принимает вид

$$U_{nv} = U_n (1-\epsilon)^{-n}, \quad (3)$$

Анализ (3) с учетом соотношения реального и измеренного значения неэффективности переноса позволяет заключить, что точность восстановления пропорциональна величине $(\epsilon_v/\epsilon_p)^n$, откуда следует, что при любом ϵ_v/ϵ_p точность восстановления уменьшается по мере удаления от выхода прибора.

Таким образом, восстанавливая ряд зафиксированных на выходе напряжений с учетом (3), предварительно определив значение неэффективности переноса (напр., методом, предложенным в [5]), получим ряд $U_{1v} \dots U_{kv}$, наиболее точно характеризующий распределение фоточувствительности строки ФПЗС по ячейкам. Использование выражения (3) здесь правомерно, так как в каждой ячейке зарядовый пакет индуцируется после считывания заряда предыдущей ячейки, и, таким образом, каждый зарядовый пакет движется в "пустой" строке.

Для среднего значения разброса фоточувствительности можно записать

$$\gamma_{cp} = \frac{\left(\frac{1}{k} \sum_{n=1}^k (R_{cp} - R_n)^2 \right)^{1/2}}{R_{cp}} \quad (4)$$

где R_n — чувствительность n -ной ячейки, определяемая как $R_n = U_{nv}/E$,

E — освещенность, а $R_{cp} = \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k R_n$, k — число ячеек в строке.

При обработке сигнальной информации для достижения ее наибольшего соответствия яркостному распределению необходимо восстановленный с учетом (2) сигнальный ряд напряжений скорректировать с помощью весовых коэффициентов фоточувствительности, определяемых для каждой ячейки как

$$g_n = \frac{R_{cp}}{R_n} = \frac{1}{R_n} \frac{1}{k} \sum_{n=1}^k R_n \quad (5)$$

В результате данного анализа можно прийти к выводу, что точность определения значений фоточувствительности ячеек ФПЗС, сле-

довательно, и точность коррекции искажений, возникающих на этапе преобразования свет — заряд, прежде всего характеризуются точностью определения неэффективности переноса заряда данного образца ФПЗС. Действительно, пусть $g(x)$ — истинное распределение фоточувствительности вдоль ФПЗС-строки, причем в пренебрежении дискретностью фоточувствительного поля справедливо

$$\frac{1}{L} \int_0^L g(x) dx = 1, \quad (6)$$

где L — длина строки. При воздействии на каждую ячейку одинаковой освещенности распределение индуцированного в строке заряда совпадает с распределением $g(x)$. Для распределения восстановленного заряда строки можно записать

$$Q_B(x) = g(x)H_{\Pi}(x)H_B(x), \quad (7)$$

H_{Π} и H_B — передаточная и восстанавливающая функции в соответствии с выражением (3). С учетом (5) и (7) для среднего значения и весовой функции будем иметь

$$\bar{Q}_B = \frac{1}{L} \int_0^L g(x)H_{\Pi}(x)H_B(x) dx, \quad (8)$$

$$G(x) = \frac{Q_B}{Q_B(x)} = \frac{\int_0^L g(x)H_{\Pi}(x)H_B(x) dx}{Lg(x)H_{\Pi}(x)H_B(x)}$$

Если теперь яркостное распределение сигнальной информации $E(x)$, то аналогично (7) для восстановленного распределения сигнального заряда имеем следующее выражение:

$$Q_{вск}(x) = E(x)g(x)H'_{\Pi}(x)H'_B(x). \quad (9)$$

Здесь передаточная и восстанавливающая функции записываются с учетом (2). В результате для скорректированного с учетом весовой функции (8) распределения сигнального заряда получим

$$Q_{вск}(x) = \frac{H'_{\Pi}(x)H'_B(x)}{H_{\Pi}(x)H_B(x)} E(x) \frac{1}{L} \int_0^L g(x)H_{\Pi}(x)H_B(x) dx,$$

которое при условии $\epsilon_p = \epsilon_i$ и с учетом (6) повторяет вид яркостного распределения на поверхности ФПЗС.

Экспериментальные исследования проводились для нижней строки секции накопления матричного ФПЗС типа А1042. Предварительно измеренные двумя разными методами (традиционными [6] и более точным [5]) значения неэффективности переноса составили соответственно $2,42 \cdot 10^{-4}$ и $3,8 \cdot 10^{-4}$. При определении фоточувствительности на каждую ячейку поочередно проецировалось излучение освещенностью 300 мк, что соответствует заполнению потенциальной ямы примерно на 70% от управляющей способности прибора. Зафиксированный на выходе ряд напряжений восстанавливался с учетом обоих значений ϵ . В результате анализа, проведенного с помощью ЭВМ СМ-4, наблюдалась определенная разность в значениях напряжений, восстановленных с учетом ϵ_1 и ϵ_2 , которая возрастала с возрастанием номера ячейки.

Разброс фоточувствительности по строке составил: $\gamma = 9,4\%$ при расчете с учетом ϵ_1 , $\gamma = 7,9\%$ при расчете с учетом ϵ_2 . Среднее зна-

чение фоточувствительности для случая с $\epsilon_2 R_{\text{ср}} = 0,186 \text{ В} \cdot \text{м}^2 / \text{Вт} \approx 0,3 \text{ В/лк}$. С целью исследования локальных участков строки определялся разброс фоточувствительности для 10-ти последовательных участков. С учетом ϵ_2 величины разброса составили - $\gamma_1=17,6\%$, $\gamma_2=6,9\%$, $\gamma_3=12,7\%$, $\gamma_4=5,7\%$, $\gamma_5=7,1\%$, $\gamma_6=4,6\%$, $\gamma_7=7,8\%$, $\gamma_8=5,5\%$, $\gamma_9=5,2\%$, $\gamma_{10}=4,9\%$. Как видно из приведенных результатов, участком наибольшей неоднородности данной строки по фоточувствительности является ее первая треть.

*Кафедра физики полупроводников
и диэлектриков*

Поступила 27.12.1989

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян В.М., Гаспарян Ф.В. Приборы с зарядовой связью. Изд-во АН Арм.ССР, 1986.
2. Лебедев Н.В. Геометрические шумы в телевизионном сигнале, обусловленные фотоприемником на ПЗС.— Техн. средства связи (сер. техн. ТВ), 1980, в.5, с.37.
3. Иванов С.А. Чувствительность телевизионной камеры на матричном фотоприемнике с переносом зарядов.—Техн.средства связи (сер. техн. ТВ), 1982, в.4, с.4.
4. Якунин А.Г., Госьков П.И. Методы коррекции апертурных искажений ПЗС-фотоприемников.—Приборостроение, 1987, №1, с.22-25.
5. Карапетян Л.Г., Карагезов А.А. О точности измерения неэффективности переноса в приборах с зарядовой связью.—Изв.АН Арм.ССР (сер.техн.наук), 1989, в.1, с.20-23.
6. Барб Д., Кампана С. Изображающие приборы с зарядовой связью. (Достижения в технике передачи и воспроизведения изображений.—под ред. Б.Кейзана). М.: Мир, 1980, т.3, с.200-210.

Ա մ փ ն փ ու մ

Հորվածում դիտվում է լիցքային կապով սարքերում լուսազգայնության և այդ պարամետրերի ցրվածության որոշումը ելքային աղմուկի վերականգնման եղանակով: Բերվում են փորձարարական տվյալներ, որոնք ստացված են A1042 տիպի մատրիցաների համար:

SUMMARY

The possibility to determine the values of the photosensitivity of CCD cells as well as the deviation of this parameter from the mean value by means of restoration of the output signal has been considered. Experimental results have been received for A1042 type matrix.