УДК 621.397

И.Н. Пустынский, Е.В. Зайцева

К уточнению оценки отношения сигнал/шум в телевизионном датчике на ПЗС-матрице

Рассматриваются вопросы определения отношения сигнал/шум в телевизионном датчике на ПЗС-матрице с учётом уточнённых значений числа сигнальных и фоновых фотоэлектронов.

Ключевые слова: ПЗС-матрица, фотоэлектроны, отношение сигнал/шум.

С учётом работ [1–5] отношение сигнала к шуму на уровне сигнала в телевизионном датчике на ПЗС при отсутствии фоновой засветки целесообразно оценивать по формуле

$$\psi_1 = \frac{n_{cc}}{\sqrt{N_{фт}^2 + N_{ПЗС}^2}},$$

где n_{cc} – число сигнальных фотоэлектронов, соответствующих полезному сигналу (превышению сигнала над фоном); $N_{ПЗС}$ – среднеквадратическое (СКО) отклонение шума ПЗС-матрицы (собственные шумы ПЗС-сенсора и видеотракта); $N_{фт}$ – СКО фотонного шума потока излучения от изображения объекта.

Фотонный шум подчиняется закону Пуассона, в соответствии с которым он принимается равным квадратному корню из числа сигнальных фотоэлектронов, т.е. $N_{фт} = \sqrt{n_{cc}}$. К сожалению, в работе [5] в некоторых формулах допущены опечатки: вместо n_c должно быть n_{cc}, а в формуле (6) нужно исключить θ^2.

Собственные шумы ПЗС-сенсора обусловлены многими факторами: тепловыми шумами в полупроводнике, шумами переноса зарядов, шумами выходного устройства преобразователя заряда в напряжение на выходе ПЗС и др.

За величину n_{cc} мы будем принимать число фотоэлектронов, соответствующих полезному сигналу, т.е. $n_{cc} = n_c - n_ф$, где n_c – общее число сигнальных электронов на уровне сигнала с учетом фоновых фотоэлектронов (рис. 1).

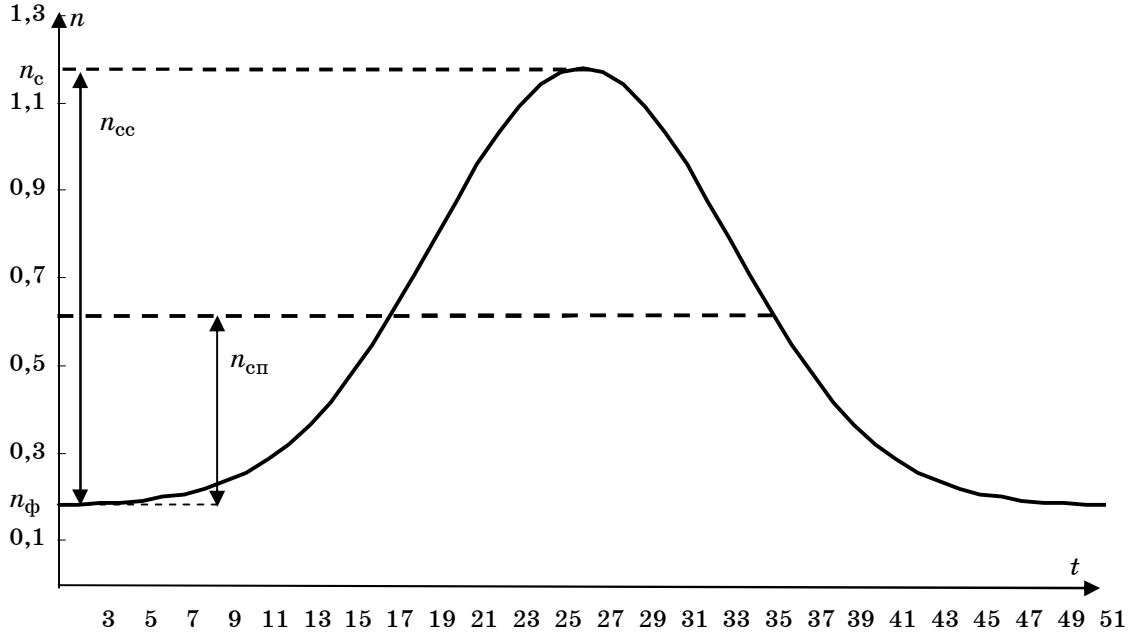

Рис. 1.Число фотоэлектронов на выходе телевизионного датчика

При наличии фона, которому соответствует число фотоэлектронов от фона $n_{\text{ф}}$, отношение сигнала к шуму на уровне фона запишем в виде

$$\psi_{1\text{ф}} = \frac{n_{\text{сс}}}{\sqrt{n_{\phi} + N^2_{\text{пзс}}}} .$$

Для обеспечения заданного $\psi_{1\text{ф}}$ необходимое значение $n_{\text{сс}}$ должно быть равно

$$n_{\text{сс}} = \Psi_{1\phi}\sqrt{n_{\phi} + N^2_{\text{ПЗС}}} .$$

При оценке отношения сигнала к шуму на уровне сигнала

$$\psi_{1\text{с}} = \frac{n_{\text{сс}}}{\sqrt{n_{\text{сс}} + n_{\phi} + N^2_{\text{ПЗС}}}} . \qquad (1)$$

Необходимое значение $n_{\text{сс}}$, при котором обеспечивается заданное $\psi_{1\text{с}}$, найдем из выражения (1). Оно получается равным

$$n_{\text{сс}} = 0{,}5\Psi^2_{1\text{с}}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\Psi^2_{1\text{с}}}(n_{\text{ф}} + N^2_{\text{ПЗС}})}\right],$$

откуда находим пороговое значение $n_{\text{сп}}$, при котором $\Psi_{1\text{с}} = 1$, т.е.

$$n_{\text{сп}} = 0{,}5\left[1 + \sqrt{1 + 4(n_{\text{ф}} + N^2_{\text{ПЗС}})}\right].$$

В телевизионных системах контроля для обеспечения минимизации погрешности измерения временного положения фронта видеоимпульса выбирается оптимальный пороговый уровень, отсчитываемый от уровня фона, т.е. $k_{\text{п}} = \frac{n_{\text{сп}}}{n_{\text{сс}}}$, который лежит в пределах, близких к уровню максимальной крутизны сигнала или несколько ниже, в зависимости от доли нестационарности шума [6]. Тогда отношение полезного сигнала к шуму на уровне порога будет равно

$$\psi_{\text{сп}} = \frac{n_{\text{сс}}}{\sqrt{k_{\text{п}} n_{\text{с}} + n_{\text{ф}} + N^2_{\text{ПЗС}}}},$$

а необходимое значение $n_{\text{сс}}$ для получения заданного отношения сигнал/шум можно найти по формуле

$$n_{\text{сс}} = 0{,}5\Psi^2_{\text{сп}} k_{\text{п}}(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{\Psi^2_{\text{с4}} k^2_{\text{п}}}(n_{\text{ф}} + N^2_{\text{ПЗС}})} ,$$

из которой при $\Psi_{\text{сп}} = 1$ получаем

$$n_{\text{сп}} = 0{,}5k_{\text{п}}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{k^2_{\text{п}}}(n_{\text{ф}} + N^2_{\text{ПЗС}})}\right] . \qquad (2)$$

В случае $n_{\text{ф}} << N^2_{ПЗС}$ из выражения (2) находим

$$n_{\text{сп}} \approx 0{,}5k_{\text{п}}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{k^2_{\text{п}}}N^2_{\text{ПЗС}}}\right],$$

а при $4N^2_{\text{ПЗС}} >> k^2_{\text{п}}$ получаем $n_{\text{сп}} \approx N_{\text{ПЗС}}$.

При $n_{\text{ф}} >> N^2_{\text{ПЗС}}$ формулу (2) можно записать в виде

$$n_{\text{сп}} = 0{,}5k_{\text{п}}\left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{k^2_{\text{п}}}n_{\text{ф}})}\right],$$

а в случае $4n_{\text{ф}} >> k^2{}_{\text{п}}$ имеем $n_{\text{сп}} \approx \sqrt{n_{\text{ф}}}$.

Следует отметить, что для уточнения отношения сигнал / шум целесообразно использовать зависимости величины сигнала от освещённости объекта (фона), полученные в работе [7], а вопросы определения этого отношения в случае применения в телевизион-

ных датчиках (кроме приборов с зарядовой связью) электронно-оптических преобразователей требуют дополнительных исследований.

Литература

1. Миленин Н.К. Шумы в формирователях сигнала на ПЗС // Техника кино и телевидения. – 1980. – № 6. – С. 51–57.

2. Уваров Н.Е. Секреты высокой чувствительности ТВ-камер // Алгоритмы безопасности. – 2002. – № 6. – С. 14–18.

3. Князев М.Г. Расчёт пороговых значений потока излучения и освещённости для ПЗС-матриц Kodak KAI-1003M, Kodak KAI-1020 и Philips FTF3020M / М.Г. Князев, А.В. Бондаренко, И.В. Докучаев // Цифровая обработка сигнала. – 2006. – № 3. – С. 49–56.

4. Березин В.В. Твердотельная революция в телевидении. Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле / В.В. Березин, А.А. Умбиталиев, А.К. Цицулин, Н.Н. Шипилов; под ред. А.А. Умбиталиева и А.К. Цицулина. – М.: Радио и связь, 2006. – 300 с.

5. Пустынский И.Н. Определение пороговой освещённости изображения в телевизионном датчике / И.Н. Пустынский, Е.В. Зайцева // Труды 7-й Междунар. конф. «Телевидение: передача и обработка изображений», 29–30 июня 2009 г., Санкт-Петербург. – СПб.: Технолит, 2009. – С. 53–57.

6. Казанцев Г.Д. Измерительное телевидение: учеб. пособие для вузов / Г.Д. Казанцев, М.И. Курячий, И.Н. Пустынский. – М.: Высшая школа, 1994. – 288 с.

7. Пустынский И.Н. К расчёту освещённости изображения и числа сигнальных электронов в телевизионном датчике на ПЗС-матрице / И.Н. Пустынский, Е.В. Зайцева // Доклады Том. гос. университета систем управления и радиоэлектроники. – 2009. – № 2. – С. 5–10.

Пустынский Иван Николаевич
Д-р техн. наук, зав. каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: (382-2) 41-34-23
Эл. почта: in@tu.tusur.ru

Зайцева Екатерина Викторовна
Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУРа
Тел.: (382-2) 70-15-04
Эл. почта: katya@tu.tusur.ru

Pustynsky I.N., Zaitseva E.V.
To specification of the signal/noise ratio estimation in television sensor based on CCD matrix

In the paper, problems of signal/noise ratio determination in television sensor based on CCD matrix with taking into account the specified values of signal and background photoelectrons are considered.
Keywords: CCD matrix, photoelectrons, signal/noise ratio.