

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382 : 621.383.5.52

В. В. Воробьев, М. А. Мамаев

*(Новосибирск)*О КОРРЕКЦИИ РАЗБРОСА ТЕМНОВЫХ ТОКОВ
ЯЧЕЕК ФОТОДИОДНОЙ ЛИНЕЙКИ С ПОМОЩЬЮ ЦАП

Рассмотрено несколько схем компенсации разброса темновых токов фотодиодной линейки. Произведен выбор схемы для работы при малых уровнях информационного сигнала. Приведены экспериментальные данные коррекции: разброс темновых токов уменьшился более чем в 30 раз.

Твердотельные многоэлементные преобразователи изображения (ТПИ) на основе фотодиодов (фотодиодные линейки и матрицы) получили широкое распространение [1]. Они используются как датчики изображения в системах компьютерной томографии, рентгенографии, в сканерах и других устройствах. Одной из трудностей, возникающих при применении фотодиодных ТПИ, является разброс темновых токов между ячейками (отдельными фотодиодами) прибора. В ряде применений (например, малодозовая медицинская рентгенография) этот разброс может быть многократно больше величины полезного (информационного) сигнала, что существенно сужает динамический диапазон системы регистрации и не позволяет получать требуемого качества изображения.

В настоящем сообщении проанализированы некоторые известные методы компенсации разброса темновых токов, описана реализация выбранного метода и приведены полученные экспериментальные данные для отечественных линеек ФУК 1Л2 (НПП «Восток», Новосибирск).

Наиболее простым способом компенсации является запись в память компьютера значений темновых токов фотодиодных ячеек с последующим их программным вычитанием из полученного изображения. Однако описанный способ не позволяет увеличить динамический диапазон полезного сигнала, несущего информацию о степени освещенности фотодиодов, поскольку составляющая сигнала, обусловленная темновым током, не устраняется со входа АЦП, оцифровывающего выходной сигнал ТПИ. В результате на полезный сигнал приходится лишь часть входного диапазона АЦП (в нашем случае около 1/4, остальные 3/4 — на покрытие разброса темновых токов).

Развитием этого способа является использование программно-аппаратной коррекции темновых токов с помощью ЦАП, позволяющей существенно расширить динамический диапазон полезного сигнала. Идея заключается в следующем. Сначала с фотолинейки считываются темновые сигналы ячеек. После оцифровки их значения запоминаются в ОЗУ, к выходу которого подключен ЦАП. Впоследствии во время сканирования изображения по мере опроса ячеек фотолинейки из ОЗУ поступают на вход ЦАП данные, соответ-

ствующие темновому сигналу опрашиваемой в данный момент ячейки. После аналогового вычитания результирующий сигнал, не содержащий темновой составляющей, подается на вход АЦП для оцифровки.

Впервые методика использования схемы АЦП — ОЗУ — ЦАП предложена в [2] для коррекции разброса коэффициентов усиления элементов фотодиодной линейки. В [3] эта схема применена для компенсации геометрических шумов ключевых транзисторов ТПИ.

Ниже описана реализация схемы, предложенной в [2, 3], представлены два алгоритма использования этой схемы для коррекции разброса темновых токов и приведены результаты экспериментов.

Функциональная схема системы представлена на рис. 1. Сигнал с фотодиодной линейки ФУК1Л2 (ФДЛ) через операционный усилитель (ОУ) поступает на вход АЦП. Вычитание аналоговых сигналов (сигнала коррекции с ЦАП и сигнала с фотодиодной линейки) можно производить двумя способами: 1) вычитание потенциалов на входе АЦП, 2) вычитание токов непосредственно на выходе фотодиодной линейки (на входе ОУ). Достоинство первого способа состоит в том, что корректирующие ЦАП и ОЗУ (блок ЦАП) устанавливаются в компьютере, тогда как при использовании токового вычитания на выходе фотодиодной линейки блок ЦАП приходится устанавливать непосредственно вблизи фотодиодной линейки (в датчике) во избежание дополнительных помех при передаче аналогового сигнала коррекции по кабелю из компьютера. Но, с другой стороны, устранение темновой составляющей уже на входе ОУ существенно расширяет динамический диапазон входного сигнала ОУ, ограниченный насыщением усилителя, что позволяет увеличить коэффициент усиления и чувствительность датчика. Последнее обстоятельство и определило окончательный выбор схемы коррекции темновых токов. Для передачи цифровых значений темновых токов в ОЗУ, находящееся в блоке ЦАП, использовался последовательный порт РС, работающий по протоколу RS-232.

Рассмотрим два возможных алгоритма работы системы. Согласно первому фотодиодная линейка затемняется, а на входе ЦАП устанавливается код, соответствующий некоторой константе. Темновые сигналы ячеек фотодиодной линейки регистрируются АЦП (регистрируется несколько кадров для усреднения). Далее полученные данные передаются в блок ЦАП по последовательному каналу и записываются в ОЗУ (предварительно устанавливается режим записи и сбрасывается счетчик адреса). После записи всех данных ОЗУ переключается в режим чтения, после чего аппаратура готова к работе. Следовательно, можно использовать любую программу, предназначенную для получения, обработки и просмотра данных (изображения), получаемых с фотодиодной линейки. Под управлением сигналов контроллера ФДЛ осуществляется сброс и инкре-

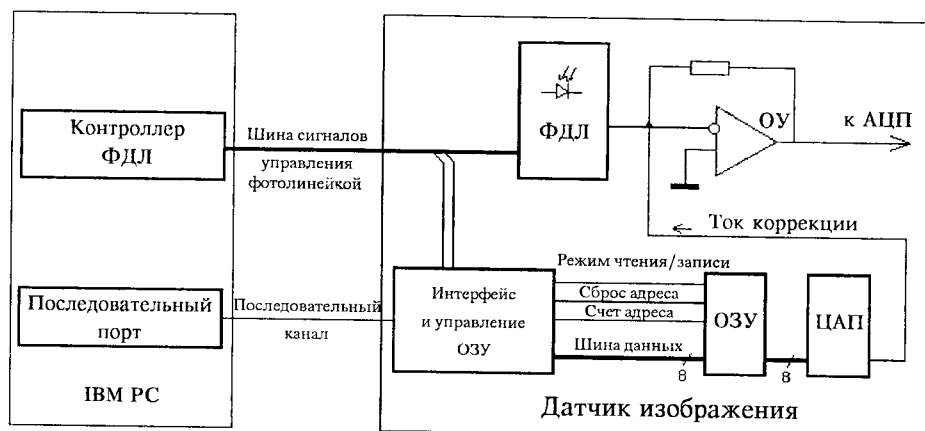


Рис. 1. Функциональная схема системы коррекции темновых токов фотодиодной линейки с помощью ЦАП

ментирование счетчика адреса ОЗУ, при этом блок ЦАП будет подавать на выход фотодиодной ячейки ток коррекции, равный инвертированному темновому току обрабатываемой в данный момент ячейки. Таким образом производится коррекция сигнала. Вся дальнейшая последовательность обработки данных как в аналоговом (ОУ, АЦП), так и в цифровом (компьютер) виде имеет дело в основном с полезным сигналом, несущим информацию о степени освещенности фотодиодов.

Второй алгоритм работы системы основан на методе последовательных приближений. Изначально в компьютер задается некоторое значение U_0 , к которому будут «подтягиваться» темновые токи ячеек. После затемнения линейки включается старший разряд ЦАП, т. е. во все ячейки ОЗУ заносится число 128 (случай 8-разрядного ЦАП) и считывается выходной сигнал фотодиодной ячейки. Для тех фотодиодов, чей выходной сигнал оказался не больше U_0 , выставленный бит в соответствующей ячейке ОЗУ сохраняется, для остальных — сбрасывается. Процедура повторяется для каждого разряда ЦАП. По ее окончании в ОЗУ находятся значения, наилучшим образом приближающие темновой сигнал каждого фотодиода к наперед заданному значению U_0 , одинаковому для всех ячеек. Этот алгоритм сложнее первого, он требует в 8 раз (по числу разрядов ЦАП) больше циклов чтения фотодиодной линейки и записи данных в ОЗУ, однако дает возможность корректировать темновые токи, когда их разброс превышает динамический диапазон входного сигнала АЦП. В результате открывается возможность повышения коэффициента усиления аналогового сигнала в целях увеличения чувствительности датчика. Перед выполнением коррекции нужно установить смещение входа АЦП так, чтобы темновой сигнал всех фотодиодов после обнуления ОЗУ был меньше U_0 .

Экспериментально проверялись оба алгоритма функционирования системы коррекции. Время экспозиции изменялось от 2,5 до 50 мс. В первом случае для датчика с фотодиодной линейкой ФУК1Л2 удалось уменьшить разброс темновых токов с 3000 усл. ед. (дискрет АЦП) до 100 и менее, т. е. в 30 и более раз (рис. 2 и 3). При этом теоретический предел компенсации в данной схеме составляет около 30 дискрет (для 8-разрядного ЦАП). Среднеквадратическое отклонение сигнала по времени (шум) без подключения ЦАП составляло 1,5—2 усл. ед., увеличения шума при подключении ЦАП не наблюдалось. Аналогичные результаты были получены при реализации второго алгоритма.

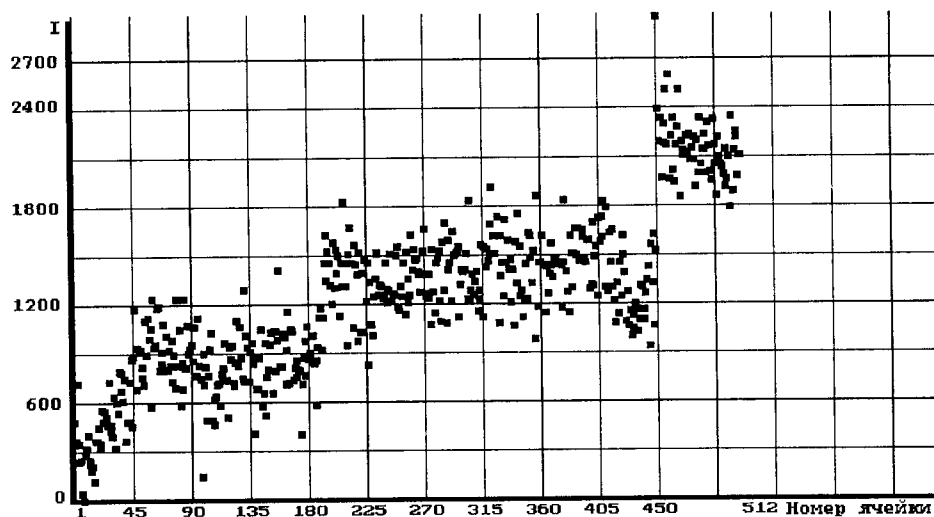


Рис. 2. Зависимость темнового тока I от номера фотодиодной ячейки без коррекции.
Темновой ток измерен в дискретах АЦП

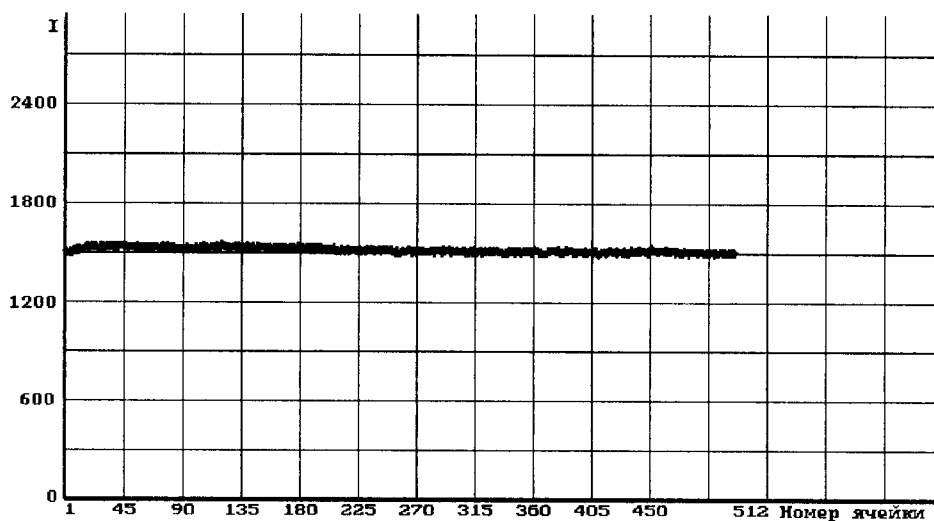


Рис. 3. Зависимость скорректированного темнового тока I от номера фотодиодной ячейки

В заключение отметим, что система коррекции с помощью ЦАП может быть эффективно использована не только для устранения разброса темновых токов, но и для компенсации неравномерности чувствительности фотодиодных ячеек.

Авторы выражают благодарность Г. И. Громилину за разработку математического обеспечения и А. К. Поташникову за помощь при подготовке к печати данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения /Под ред. П. Иесперса, Ф. Ван де Виле, М. Уайта. М.: Мир, 1979.
2. Пат. 3800079 США. Compensation for a scanning system. Оpubл. 26.03.74.
3. Пат. 3949162 США. Detector array fixed-pattern noise compensation. Оpubл. 06.04.76.

Поступило в редакцию 23 октября 1995 г.