

Датчики изображения на приборах с зарядовой связью

Справочный материал для конечных потребителей аппаратуры

1 Введение

Датчики изображения на приборах с зарядовой связью (ПЗС) состоят из отдельных ячеек, в которых под действием падающего на них света образуется электрический заряд. Количество заряда прямо пропорционально количеству попавших в ячейку фотонов.

После экспонирования заряд каждой ячейки преобразуется в электрическое напряжение. Это преобразование происходит в специальном узле датчика, который называется *выходным устройством*. Первым считывается заряд из ячейки, расположенной рядом с выходным устройством. После считывания этот заряд, как правило, разрушается, а заряды всех следующих ячеек сдвигаются на одну ячейку в сторону выходного устройства. Так происходит до тех пор, пока не будет прочитан заряд из самой дальней ячейки. После этого датчик снова готов к накоплению зарядов.

Другое название этих устройств – приборы с переносом заряда (ППЗ). В англоязычной литературе используется аббревиатура CCD – Charge Coupled Device.

2 Виды ПЗС

2.1 Линейный датчик

Линейка ПЗС - это датчик с самой простой организацией. В нём все ячейки выстроены в одну линию, в конце которой находится выходное устройство.

На рисунке схематически изображена неравномерно освещённая линейка ПЗС. Более тёмными показаны ячейки, на которые падает меньше света.



Рисунок 1. Линейный ПЗС

Линейные ПЗС применяются там, где требуется одномерное изображение, например, в считывателях штрих-кодов, или в сканерах, где движение вдоль второй координаты осуществляется путём механического перемещения линейки.

2.2 Односекционный ПЗС

Для получения двумерного изображения ячейки ПЗС организуют в матрицу. Считывание зарядовых пакетов из нижней строки происходит так же, как в линейке ПЗС. Будем называть его горизонтальным переносом. После этого все лежащие выше строки сдвигаются на одну позицию вниз, то есть происходит вертикальный перенос. Циклы вертикального и горизонтального переноса производятся до тех пор, пока не будет считана верхняя строка, и прибор будет готов к следующей экспозиции.

Нижняя строка несколько отличается по конструкции от остальных и называется **выходным регистром**.

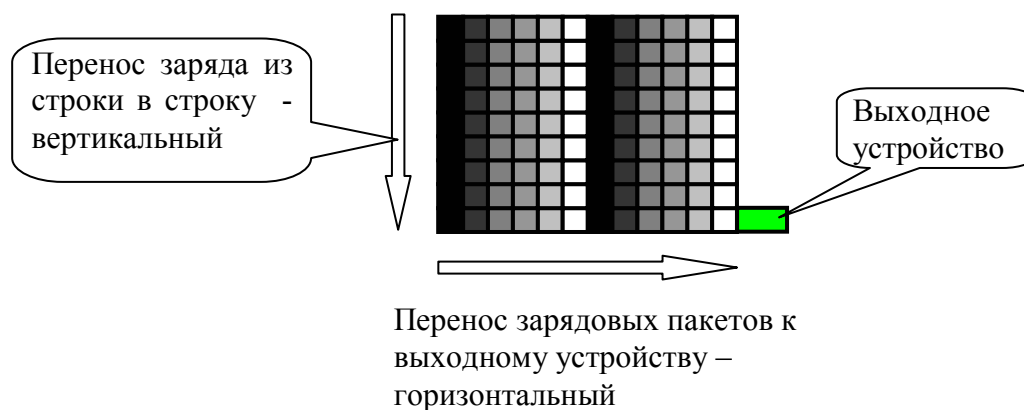


Рисунок 2. Односекционный матричный ПЗС

Недостаток такого устройства очевиден: во время всего переноса зарядовых пакетов, как по горизонтали, так и по вертикали, светочувствительные ячейки продолжают поглощать падающий на них свет. Поэтому использовать односекционную матрицу ПЗС можно только при условии, что во время переноса зарядов световой поток прерывается. Этого можно достичь применением механического затвора или импульсного осветителя.

2.3 ПЗС с кадровым переносом

ПЗС с кадровым переносом (frame transfer) разделён на две секции: открытую свету секцию накопления и закрытую от света секцию хранения. Секция накопления накапливает пакеты световых зарядов, как односекционный ПЗС. По окончании экспозиции все строки зарядовых пакетов из секции накопления очень быстро (время переноса намного меньше времени экспозиции) переносятся в секцию хранения. Далее в секции накопления начинает формироваться новое изображение, а только что полученное закрыто от света и считывается чередованием циклов горизонтального и вертикального переноса, как в односекционном ПЗС.

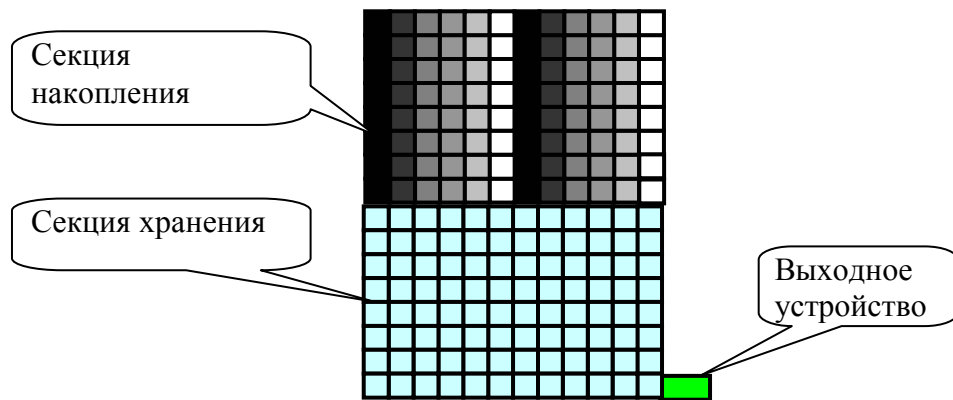


Рисунок 3. ПЗС с кадровым переносом

Отметим, что во время быстрого кадрового переноса свет всё-таки попадает на светочувствительные ячейки, что вызывает *смаз* изображения. Смаз особенно заметен, когда в сюжете есть яркие детали. Окончательно избавиться от него можно, опять же, при помощи механического затвора или импульсного источника света.

2.4 ПЗС с межстрочным переносом

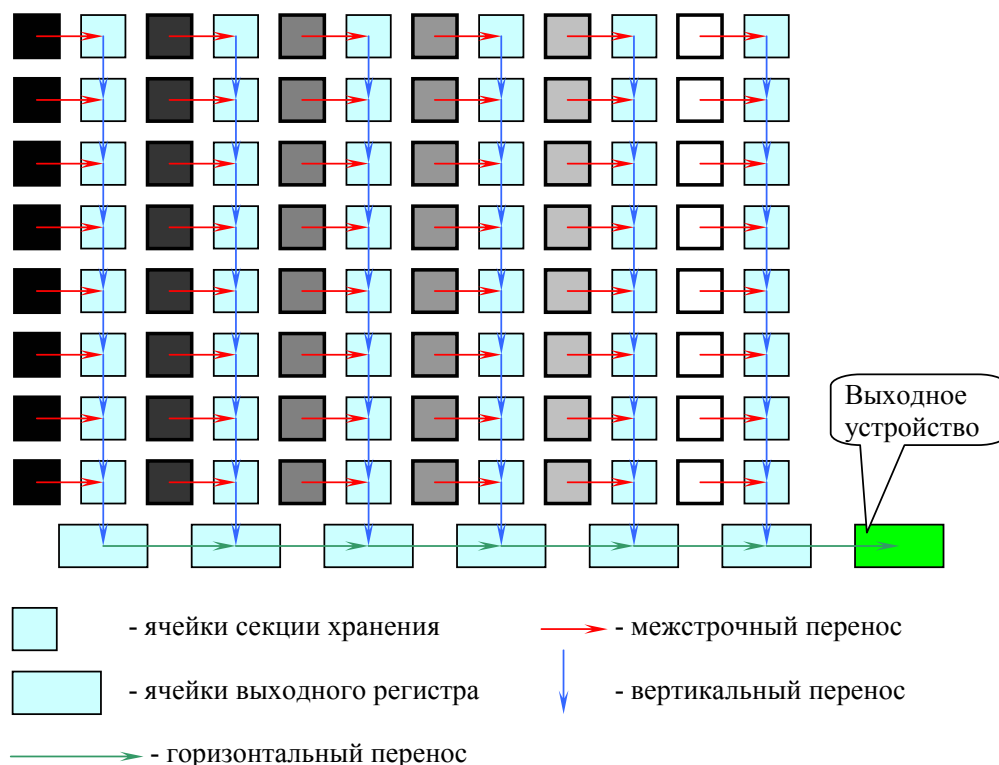


Рисунок 4. ПЗС с межстрочным переносом

В ПЗС с межстрочным переносом (interline transfer) рядом с каждым столбцом светочувствительных ячеек располагается столбец ячеек, закрытых от света. Получается, что светочувствительные ячейки образуют секцию накопления, а закрытые от света – секцию хранения. По окончании экспозиции зарядовый пакет из каждой ячейки секции накопления переносится в со-

седнюю ячейку секции хранения (на рис.4 этот перенос показан красными стрелками). При такой организации время межсекционного переноса получается намного меньше, чем в приборах с кадровым переносом, и эффект смаза практически отсутствует.

После окончания межсекционного переноса в секции накопления начинается формирование нового изображения, а изображение из секции хранения считывается так же, как в односекционном ПЗС.

2.5 Сравнение ПЗС с кадровым и межстрочным переносом

Очевидное достоинство ПЗС с межстрочным переносом – практическое отсутствие смаза при переносе из секции накопления в секцию хранения. Но в то же время секция хранения занимает значительную часть светочувствительной области кристалла, не участвуя в накоплении светового заряда. Это приводит к снижению чувствительности прибора. Для борьбы с этим применяют специальные микролинзы, которые собирают свет с участков, закрытых от света, и направляют его на светочувствительные ячейки. Но такие линзы всё равно не могут собрать весь свет, да и сами несколько ослабляют световой поток.

Поэтому в настоящее время для массового применения используются ПЗС с межстрочным переносом. Но в тех случаях, когда требуется особо высокая чувствительность, приборы с кадровым переносом остаются вне конкуренции.

3 Свойства и параметры датчиков изображения на ПЗС

3.1 Ёмкость ячейки ПЗС

Ёмкость ячейки (full well) определяет максимальное количество носителей заряда, которое в ней может поместиться. От неё зависит динамический диапазон прибора. Допустим, что в ячейку помещается 1000 электронов. Если для наглядности пренебречь шумами и различного рода потерями и искажениями при преобразовании зарядового пакета в напряжение, то с неё можно считать 1000 различных уровней сигнала. Это означает, что без искажений будет передано изображение, содержащее 1000 полутонов.

Обычное значение этого параметра для ПЗС, применяемых в массовой технике, например, в телевизионных камерах для систем охранного наблюдения, - порядка 10-20 тысяч электронов. Для ПЗС, применяемых в измерительных системах, этот параметр более чем на порядок больше: 200-300 тысяч электронов.

3.2 Блюминг

Когда из-за избыточной освещённости в ячейке ПЗС образуется больший заряд, чем она может вместить, излишек заряда растекается по соседним ячейкам. В этом месте на изображе-

нии расплывается яркое пятно. Это явление называется блюмингом (blooming). В подавляющем большинстве ПЗС он различными способами нейтрализуется, и изготовители пишут, что в приборе есть антиблюминг.

3.3 Темновой заряд

В генерации заряда в светочувствительной ячейке участвуют не только падающие на неё фотоны, но и различные процессы, протекающие под воздействием температуры. Поэтому даже в полностью закрытом от света ПЗС через некоторое время возникает некое паразитное «изображение». Принято считать, что темновой заряд удваивается при повышении температуры на каждые 6-8°C. Поэтому при длительных экспозициях, применяемых для повышения чувствительности, ПЗС необходимо охлаждать. Для этого, в зависимости от предъявляемых требований, ПЗС стыкуют с термоэлектрическим холодильником Пельтье или охлаждают жидким азотом.

3.4 Электронный затвор

Электронный затвор – это особенность конструкции ПЗС, позволяющая при необходимости практически мгновенно уничтожить весь накопленный заряд. Например, если время между двумя кадровыми переносами обязано быть равным 20 мс, как в стандартной телевизионной камере (за это время секция хранения формирует стандартный кадр), то через 18 мс после начала накопления заряда можно включить электронный затвор. Тогда всё полученное изображение будет уничтожено, накопление заряда начнётся сначала и время экспозиции окажется равным не 20, а 2 мс. Это можно использовать как при избыточной освещённости на объекте, так и при съёмке быстро движущихся объектов – подобно выдержке в обычном фотоаппарате.

3.5 Размер светочувствительной области

Исторически, со времён вакуумных передающих трубок, размер датчика изображения измеряется в некоторых «условных единицах», которые называются дюймами, но таковыми не являются. Например, когда пишут, что диагональ прибора равна 2/3 дюйма, это соответствует 11 мм.