

ИНЭВ

Измерение Световых величин.

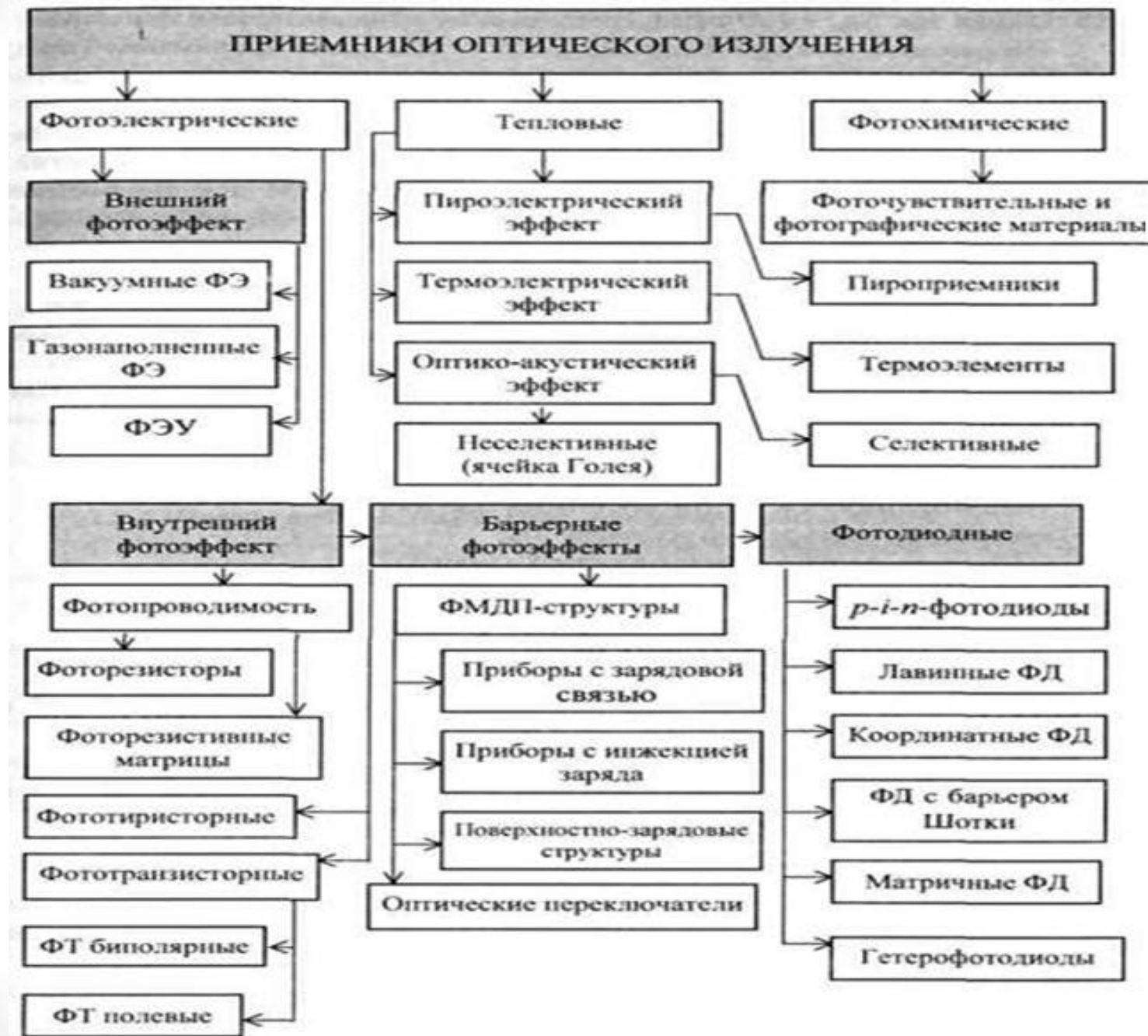
ИНЭВ Фёдоров Е.М.

Световые фотометрические величины СИ

Наименование	Обозначение величины	Определение	Обозначение единиц СИ	Энергетический аналог
Световая энергия	Q_v	$K \int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} Q_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda$	лм·с	Энергия излучения
Световой поток	Φ_v	$\Phi_v = \frac{dQ_v}{dt}$	лм	Поток излучения
Сила света	I_v	$I_v = \frac{d\Phi_v}{d\Omega}$	кд	Сила излучения (энергетическая сила света)
Объёмная плотность световой энергии	U_v	$U_v = \frac{dQ_v}{dV}$	лм·с·м ⁻³	Объёмная плотность энергии излучения
Светимость	M_v	$M_v = \frac{d\Phi_v}{dS_1}$	лм·м ⁻²	Энергетическая светимость
Яркость	L_v	$L_v = \frac{d^2\Phi_v}{d\Omega dS_1 \cos \varepsilon}$	кд·м ⁻²	Энергетическая яркость
Интегральная яркость	Λ_v	$\Lambda_v = \int_0^t L_v(t') dt'$	кд·с·м ⁻²	Интегральная энергетическая яркость
Освещённость	E_v	$E_v = \frac{d\Phi_v}{dS_2}$	лк	Облучённость
Световая экспозиция	H_v	$H_v = \frac{dQ_v}{dS_2}$	лк·с	Энергетическая экспозиция
Спектральная плотность световой энергии	$Q_{v,\lambda}$	$Q_{v,\lambda} = \frac{dQ_v}{d\lambda}$	лм·с·м ⁻¹	Спектральная плотность энергии излучения

Здесь dS_1 — площадь элемента поверхности источника, dS_2 — площадь элемента поверхности приёмника, ε — угол между нормалью к элементу поверхности источника и направлением наблюдения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИЁМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Электрические параметры

- **Рабочее напряжение U_p** – постоянное напряжение, приложенное к ФП, при котором обеспечиваются его номинальные параметры при длительной работе.
- **Темновой ток I_t** – ток, протекающий через ФП при указанном напряжении на нем в отсутствие потока излучения в диапазоне спектральной чувствительности.
- **Фототок I_f** – ток, проходящий через ФП при указанном напряжении на нем, обусловленный только воздействием потока излучения с заданным спектральным распределением.
- **Темновое сопротивление R_t** – сопротивление ФП в отсутствие падающего на него излучения в диапазоне его спектральной чувствительности.

Параметры чувствительности

- **Чувствительность S** – отношение изменения значения электрической величины на выходе ФП, вызванного падающим на него излучением, к количественной характеристике этого излучения, представленной любой энергетической или фотометрической величиной.
- **Интегральная чувствительность S_{int}** – чувствительность ФП к излучению данного спектрального состава.
- **Монохроматическая чувствительность S_λ** – чувствительность ФП к монохроматическому излучению.
- **Динамический диапазон** – диапазон допустимых амплитуд входных сигналов ограниченный снизу (уровнем шумов) и сверху (требованием линейности фотоприемника).
- **Пороговая чувствительность** – минимально обнаружимый уровень входного сигнала

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ

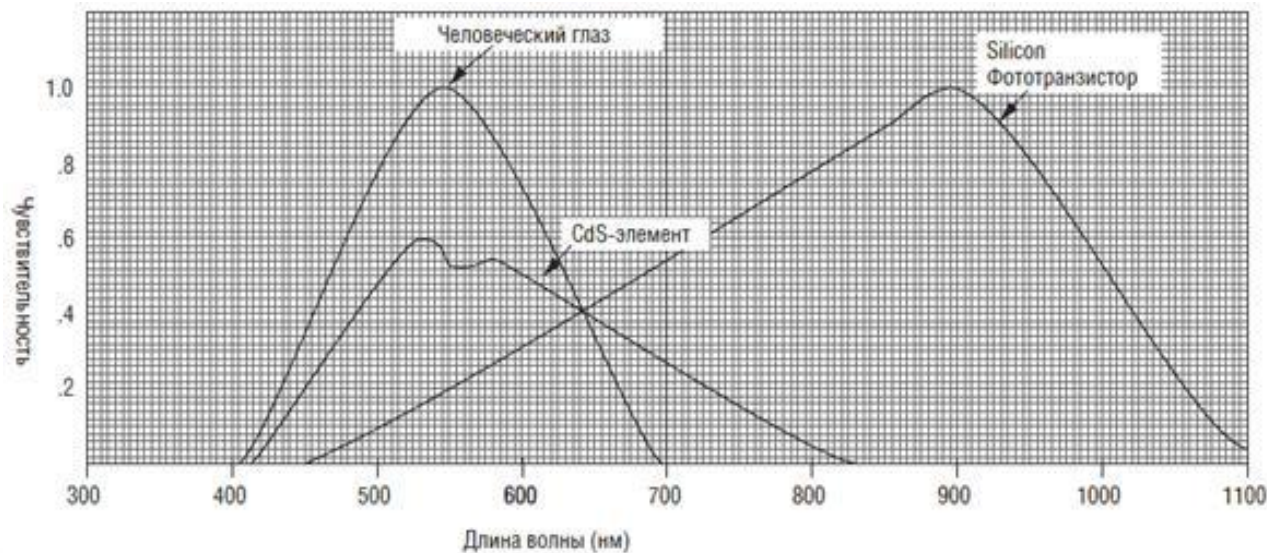
Монохроматическая спектральная чувствительность S_λ - это реакция фотоприемника на монохроматический поток излучения и обычно определяется выражением:

$$S_\lambda = \frac{\Delta U}{\Delta \Phi_\lambda},$$




где $\Delta \Phi_\lambda$ - изменение монохроматического потока. У большинства приемников излучения спектральная чувствительность изменяется с длиной волны и для какого-то определенного значения U_{max} достигает максимального значения $S_{\lambda max}$. Это значение иногда приводят в паспорте на приемник излучения. Понятие спектральной чувствительности просто и наглядно, но определение его абсолютного значения связано с некоторыми трудностями. Поэтому вместо абсолютной обычно пользуются относительной спектральной чувствительностью s_λ , которая определяется отношением:

$$s_\lambda = \frac{S_\lambda}{S_{\lambda max}}$$

Относительная спектральная чувствительность обычно приводится в графическом виде в относительных единицах.

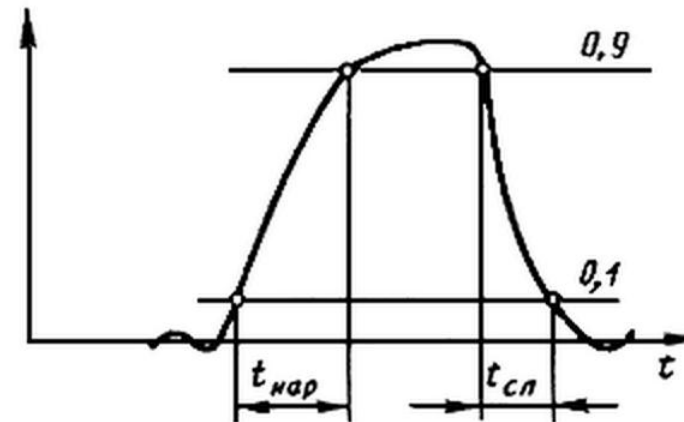
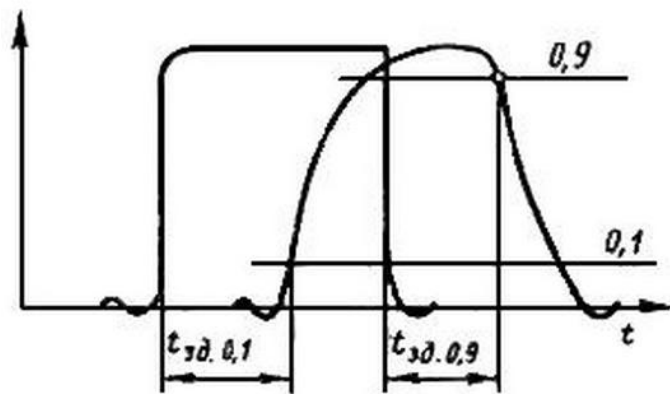


УСЛОВНЫЕ ГРАНИЦЫ ОБЛАСТЕЙ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА

Диапа- зон	УФ-С	УФ-В	УФ-А	Фиолето- вый 	Синий 	Зеленый 
λ (мкм)	<0,28	0,28-0,32	0,32-0,40	0,40-0,44	0,44-0,49	0,49-0,55
Диапа- зон	Желтый 	Оранже- вый 	Красный 	ИК-А	ИК-В	ИК-С
λ (мкм)	0,55-0,59	0,59-0,63	0,63-0,80	0,80-1,30	1,30-1,50	>1,50

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОПРИЁМНИКОВ

Время нарастания $\tau_{нар}$ (спада $\tau_{спад}$) - Это самая важная динамическая характеристика ФП. Она определяется как время, необходимое выходному сигналу, чтобы возрасти от уровня 0,1 до 0,9 (снизиться от 0,9 до 0,1) от установившегося максимального значения при условии, что на вход подаются строго прямоугольные импульсы света большой длительности. Эти времена зависят от структуры ФП, материала, напряжённости электрического поля и температуры. Максимальная из двух величин (обычно $\tau_{нар}$) берётся в качестве характеристики времени отклика ФП.



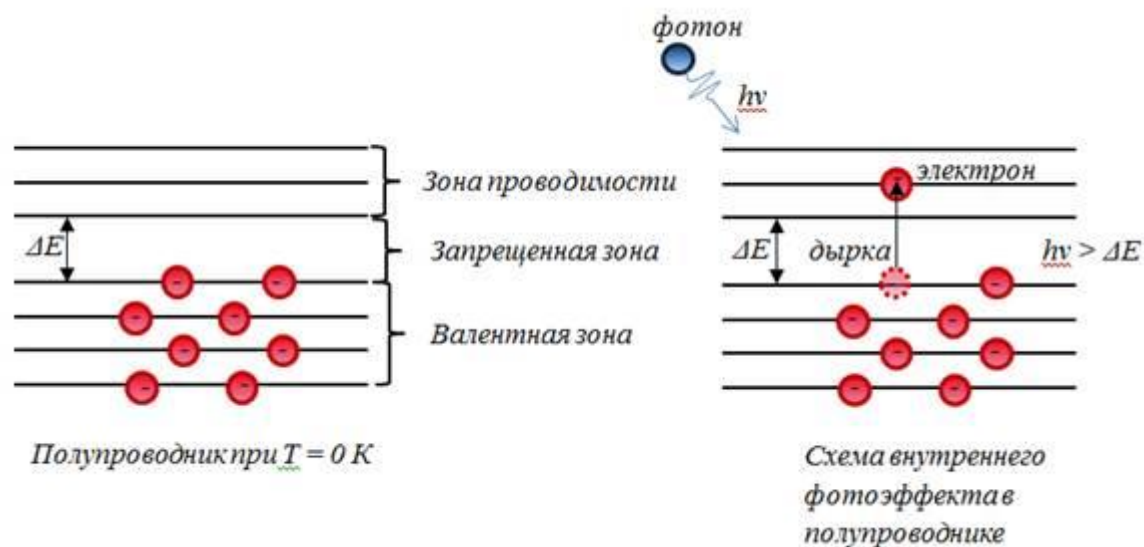
Предельная частота f_0 – частота синусоидально модулированного потока излучения, при которой чувствительность ФП падает до значения 0,707 от чувствительности при немодулированном напряжении.

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ

Внутренний фотоэффект - перераспределение электронов по энергетическим уровням в диэлектриках и полупроводниках (но не в металлах) под действием света. Если энергия кванта $h\nu$ падающего света превышает ширину запрещенной зоны в диэлектрике или полупроводнике, то электрон, поглотивший квант, переходит из валентной зоны в зону проводимости. В результате этого перехода образуется пара носителей: в зоне проводимости электрон, а в валентной зоне - дырка. Таким образом, в зоне проводимости появляются носители заряда, и при включении полупроводника в цепь по ней будет протекать ток или при приложении внешнего электрического поля будет протекать ток, изменяющийся в зависимости от освещенности.

Внутренний фотоэффект приводит:

- К изменению концентрации носителей в зоне проводимости (т.е. изменению проводимости);
- Возникновению фото ЭДС (при наличии $p-n$ перехода).

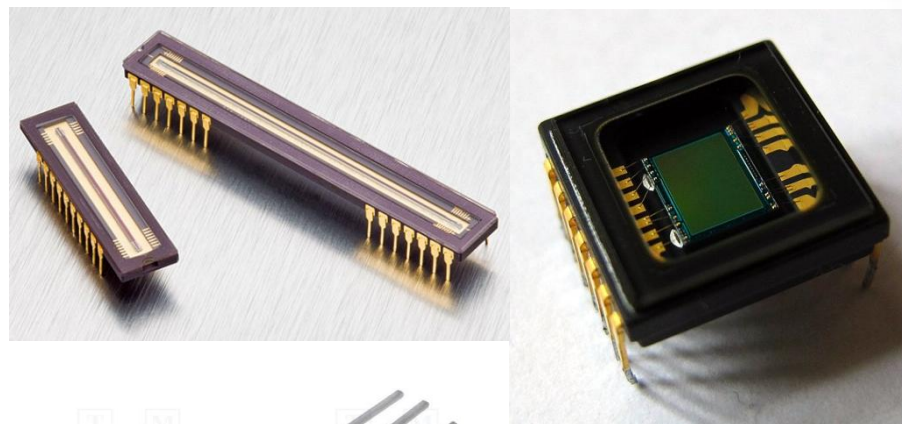
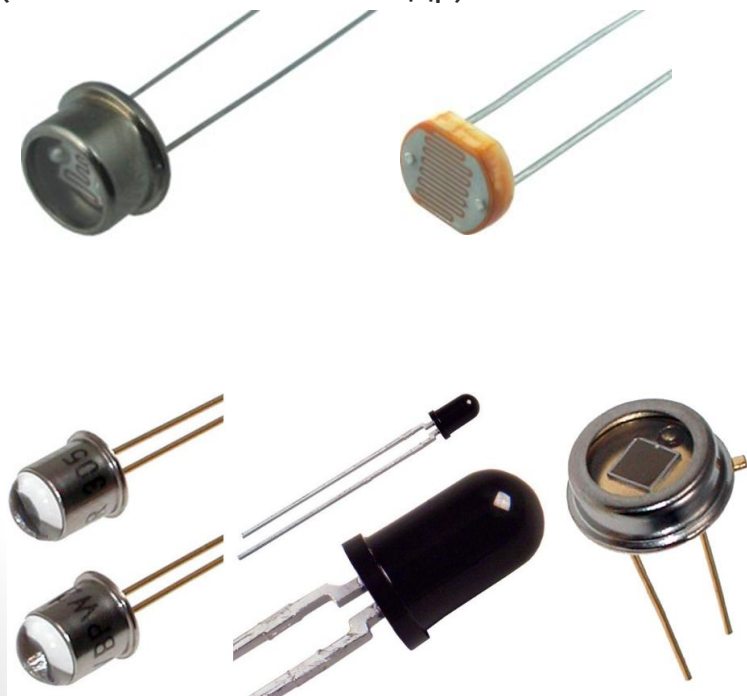


ПРИЁМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ ОСНОВАННЫЕ НА ВНУТРЕННЕМ ФОТОЭФФЕКТЕ

На использовании внутреннего фотоэффекта основано действие фотоэлементов – устройств, преобразующих световую энергию в электрическую, или изменяющих свои свойства под действием падающего света.

Приёмники на внутреннем фотоэффекте:

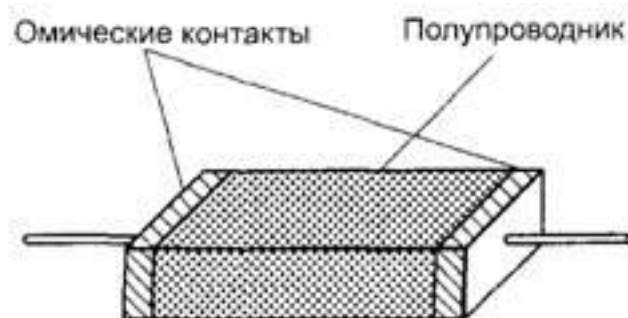
- фотосопротивления (ФС),
- фотодиоды (ФД),
- фототранзисторы (ФТ),
- Интегральные фотоприёмники (PIR, CCD, CMOS, CIS и др).



ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЕ

Фоторезисторами называют полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на изменении сопротивления полупроводника под действием светового излучения. При освещении фоторезистора энергия фотонов расходуется на перевод электронов в зону проводимости. Количество свободных электронно-дырочных пар возрастает, сопротивление фоторезистора падает, и через него течет световой ток.

По мере возрастания величины лучистого потока увеличивается число электронов проводимости. Двигаясь внутри вещества, электроны сталкиваются с атомами, ионизируют их и создают дополнительный поток электрических зарядов, получивший название вторичного фототока проводимости. Увеличение числа ионизированных атомов тормозит движение электронов проводимости. В результате этого изменения фототока запаздывают во времени относительно изменений светового потока, что определяет некоторую инерционность фоторезистора.



Монокристаллический фоторезистор

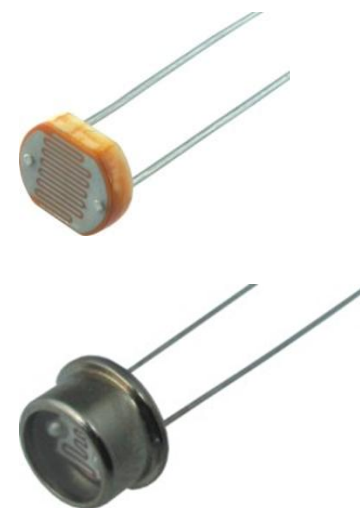
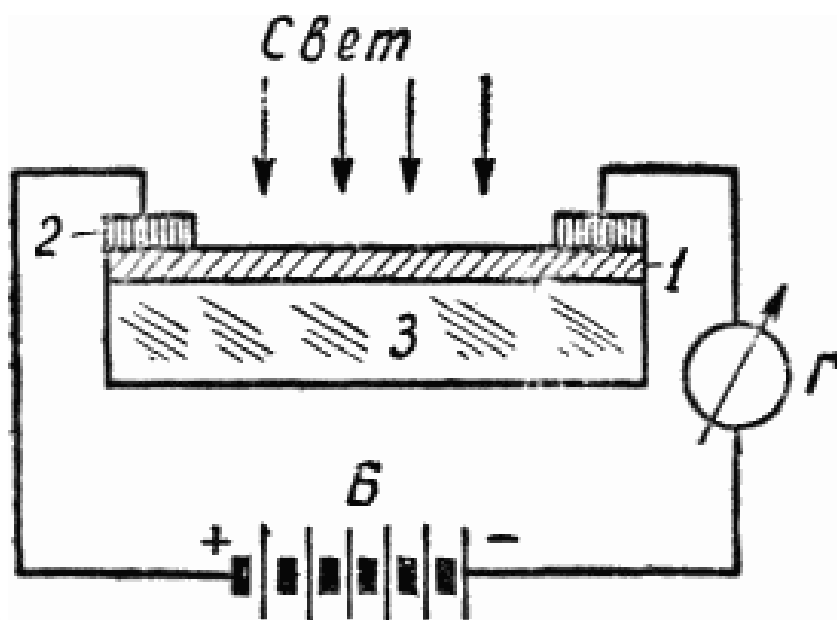
ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЕ

Фотосопротивление состоит из светочувствительного слоя полупроводника толщиной около 1 микрона, нанесённого на стеклянную пластину. На поверхность полупроводника нанесены токоведущие электроды. Световой поток Φ , падающий на светочувствительную поверхность S фотосопротивления, можно рассчитать на основании соотношения между основными фотометрическими величинами:

$$\Phi = E \cdot S = (J / r^2) \cdot S$$

где E — освещённость фоторезистора, J — сила света источника, r — расстояние от источника света до фотосопротивления. S — площадь поверхности фотосопротивления

Размеры светочувствительной площади фотосопротивлений весьма малы, благодаря чему габаритные размеры промышленных типов фотосопротивлений незначительны. Обычно чувствительный к свету элемент монтируется в пластмассовый корпус с электродами.

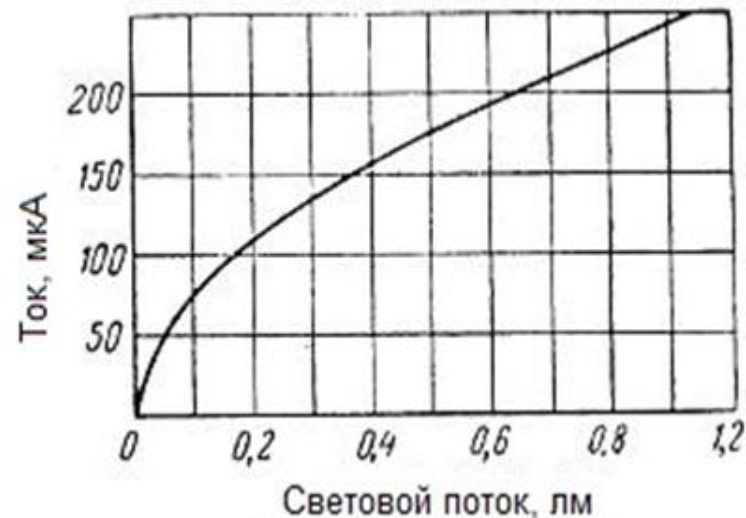


Конструкция и схема включения фотосопротивления

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ

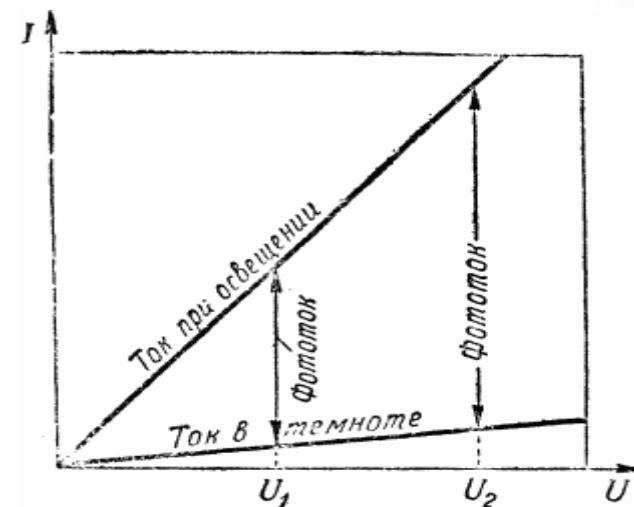
Световая характеристика (функция преобразования).

Световая характеристика. Зависимость фототока от интенсивности освещения у фотосопротивлений имеет нелинейный характер. Максимальная крутизна, а следовательно, и чувствительность лежит в области малой освещенности, по мере же увеличения интенсивности освещения чувствительность падает.



Вольтамперная характеристика

Мерой чувствительности фотосопротивлений является разность токов в темноте и на свету, отнесённая к величине светового потока. Фототок у фотосопротивлений не имеет насыщения, благодаря чему у них чувствительность пропорциональна приложенному напряжению. В связи с этим для характеристики качества фотосопротивлений введена удельная чувствительность, представляющая собой чувствительность в микроамперах на люмен, отнесенная к одному вольту приложенного напряжения.



Передаточная функция (Функция преобразования)

Передаточная функция (Функция преобразования) – устанавливает взаимосвязь между выходным электрическим сигналом датчика S и внешним воздействием m :

$$S = f(m).$$

Функция может быть как линейной, так и нелинейной (например, логарифмической, экспоненциальной или степенной). Во многих случаях передаточная функция является одномерной и описывается выражением:

$$S = a + bm,$$

где a – постоянная составляющая (т.е. значение выходного сигнала при нулевом входном воздействии), b – наклон прямой, который часто называют чувствительностью датчика. Параметр S – это та характеристика электрического сигнала, которую системы сбора данных воспринимают в качестве выходного сигнала датчика. Это может быть амплитуда, частота или фаза.

Логарифмическая передаточная функция имеет вид: $S = a + b \ln m$,

экспоненциальная — $S = ae^{km}$,

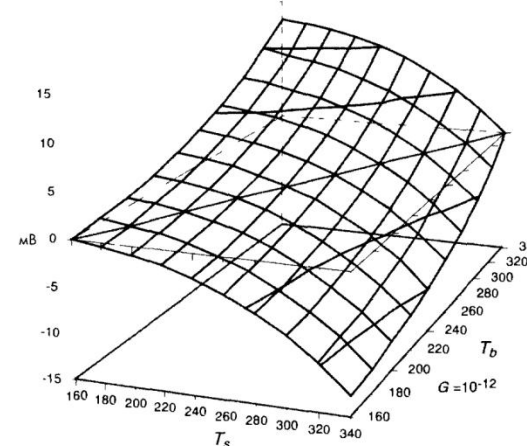
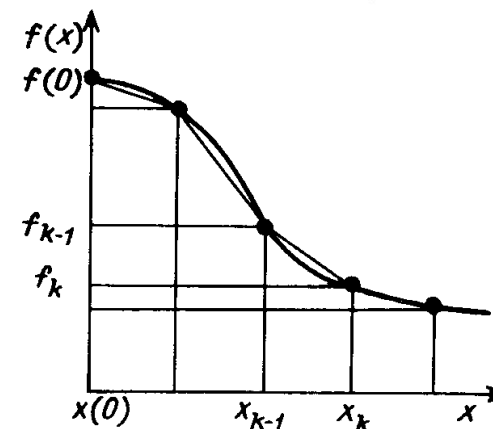
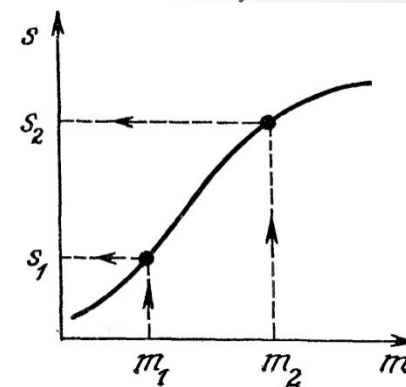
степенная — $S = a_0 + a_1 m^k$, где k – постоянное число

Датчик может иметь функцию преобразования, которую невозможно описать вышеприведенными аппроксимационными выражениями. В таких случаях применяются полиномиальные аппроксимации более высоких порядков.

Нелинейные датчики могут считаться линейными внутри ограниченного диапазона значений. Нелинейная передаточная функция представляется в виде отрезков нескольких прямых линий. Это называется кусочно-линейной аппроксимацией.

В случаях, когда на выходной сигнал датчика оказывают влияние несколько внешних воздействий, его передаточная функция становится многомерной. Например у инфракрасного датчика температуры передаточная функция связывает две температуры (T_b – абсолютную температуру объекта измерения T_s – абсолютную температуру поверхности сенсорного элемента) с выходным напряжением V .

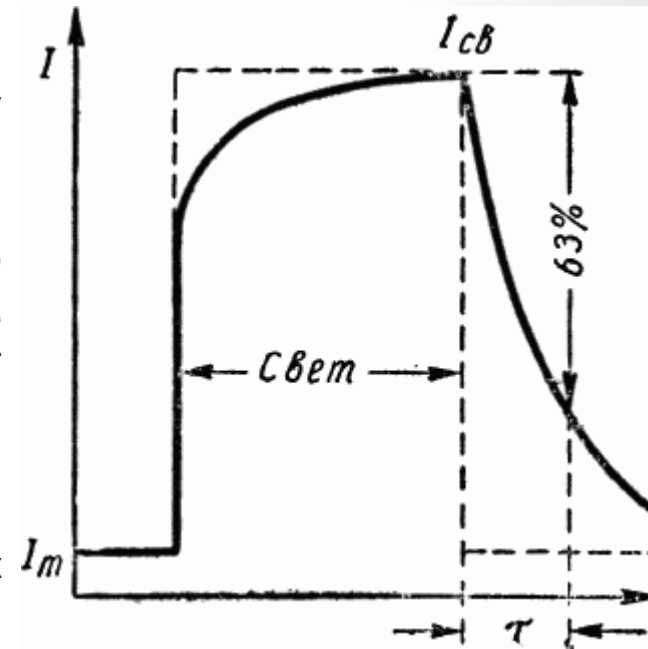
$$V = G(T_b^4 - T_s^4)$$



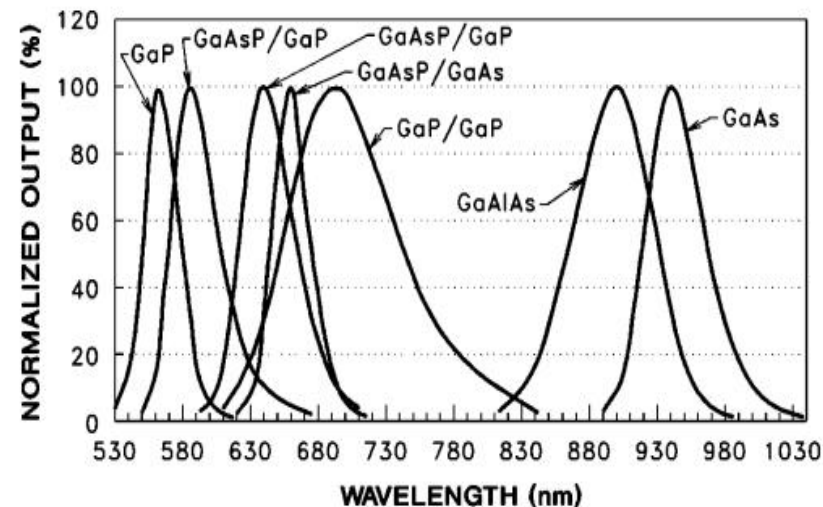
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ

Все фотосопротивления отличаются относительно высокой инерционностью, которая проявляется в том, что при освещении фототок в фотосопротивлениях не сразу достигает своего конечного значения.

При прекращении освещения ток достигает своего первоначального значения также не мгновенно, а по истечении определенного времени. Характерным является то, что процесс нарастания фототока протекает быстрее, чем процесс спада. За меру инерционности приняли время, в течение которого фототок уменьшается в e раз ($e = 2,7$). Это время получило название «постоянной времени», которая у различных фотосопротивлений различна и может зависеть, кроме того, от интенсивности света.



Инерционность.



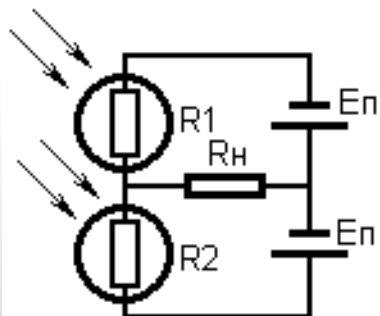
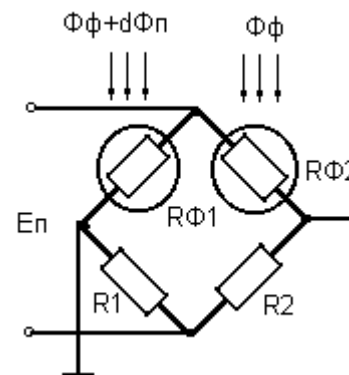
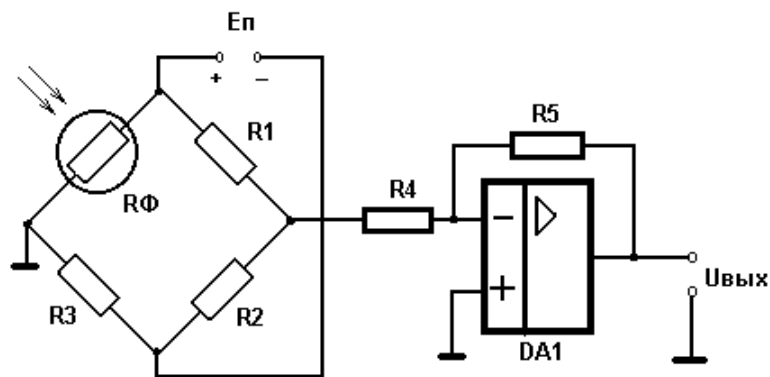
Спектральная характеристика

МОСТОВЫЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ФОТОРЕЗИСТОРОВ

Мостовая схема позволяет измерять малое изменение светового потока при большой фоновой засветке. Это достигается за счет балансировки плеч моста. В качестве сопротивления нагрузки может выступать входное сопротивление операционного усилителя.

В данной схеме переменное сопротивление (R_I) компенсирует начальную фоновую засветку, тем самым повышается динамический диапазон измерения светового потока, несущего полезную информацию.

Для того, чтобы компенсировать переменную фоновую засветку применяют включение однотипных фоторезисторов в противоположные плечи моста. Входное напряжение, поступающее на вход предварительного усилителя будет пропорционально изменению полезного светового потока, т.к. изменяющаяся фоновая засветка поступает на оба фоторезистора.

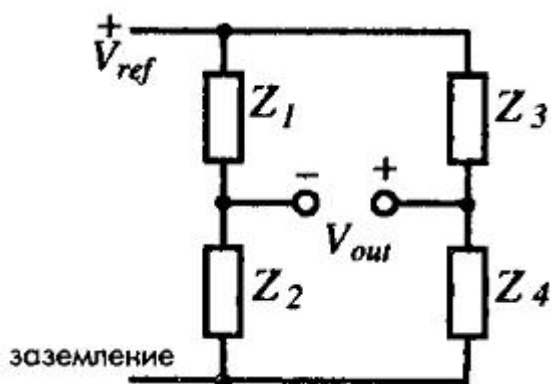


Дифференциальная схема применяется для получения дифференциального выхода на вход ОУ, с целью понижения синфазных сигналов. При дифференцируемой схеме включения фоторезистора используют два источника питания, с компенсацией фоновой засветки на общей нагрузке.

Мостовые схемы.

Мостовые схемы применяются для измерения отношений при работе со струнными датчиками, пьезорезистивными преобразователями давления, термисторными термометрами и другими датчиками, где необходимо компенсировать влияние факторов окружающей среды. Мостовые схемы резистивных датчиков реализуются на ОУ

Мостовая схема Уитстона



Импедансы Z могут быть как активными, так и реактивными:

- для резисторов импеданс всегда равен R ,
- для идеального конденсатора $Z = 1/2\pi fC$,
- для индуктора $Z = \pi fL$, где f — частота сигнала

Выходное напряжение моста:

$$V_{out} = \left(\frac{Z_1}{Z_1 - Z_2} - \frac{Z_3}{Z_3 - Z_4} \right) V_{ref}$$

Условия сбалансированности моста:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

Для компенсации температурной нестабильности, дрейфа и тд, идентичными должны быть только импедансы соседних пар (те Z_1 и Z_2 , Z_3 и Z_4)

ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЙ

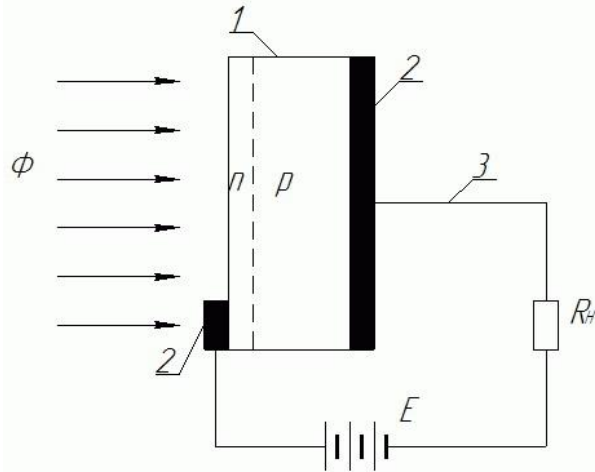
Преимуществами фотосопротивлений являются:

- большая чувствительность в инфракрасной части спектра
- большая интегральная чувствительность и малые размеры.

Недостатки фотосопротивлений:

- зависимость некоторых параметров от температуры
- нелинейность световой характеристики
- зависимость фототока от напряжения источника питания
- значительная инерционность большинства фотосопротивлений (временные постоянные имеют значения в интервале 0,02...0,08 с).

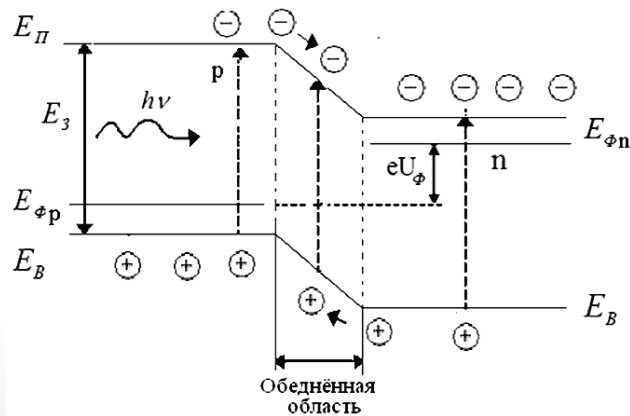
ФОТОДИОД ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ



Простейший фотодиод представляет собой обычный полупроводниковый диод, в котором обеспечивается возможность воздействия оптического излучения на р-п-переход.

При воздействии излучения на р-п-переход, в результате поглощения фотонов с энергией, большей, чем ширина запрещенной зоны, в п-области и р-области возникают электронно-дырочные пары. Эти электроны и дырки называют фотоносителями.

Основная доля электронов и дырок не успевает рекомбинировать и доходит до границы р-п-перехода. Здесь фотоносители разделяются электрическим полем р-п-перехода, причем дырки переходят в р-область, а электроны в п-область.



Фотоносители – дырки заряжают р-область положительно относительно п-области, а фотоносители – электроны – п-область отрицательно по отношению к р-области. Возникающая разность потенциалов называется фото ЭДС E_{ϕ} . Генерируемый ток в фотодиоде – обратный, он направлен от катода к аноду, причем его величина тем больше, чем больше освещенность.

ФОТОДИОД РЕЖИМЫ РАБОТЫ

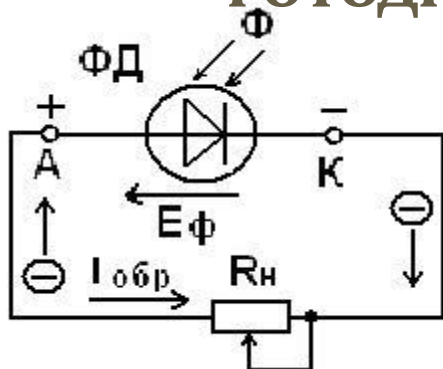


Схема фотодиода, работающего в фотогальваническом (фотовольтаическом, генераторном) режиме

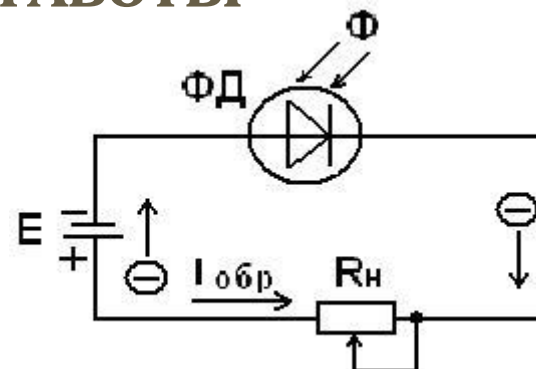


Схема фотодиода, работающего в фотодиодном режиме

Фотодиоды могут работать в одном из двух режимов – без внешнего источника электрической энергии (режим фотогенератора) либо с внешним источником электрической энергии (режим фотопреобразователя).

За счёт напряжения смещения U возникает дополнительное ускоряющее электрическое поле, которое действует на электроны в зоне проводимости и дырки в валентной зоне и перемещает носители, появившиеся при поглощении фотона, улучшая тем самым характеристики фотодиода. В результате электроны дрейфуют в n -область, а дырки – в p -область, где вероятность их рекомбинации мала.

В конечном итоге напряжение смещения U определяет скорость их движения через обеднённую область. Эта скорость должна быть выбрана так, чтобы время пролёта частиц до внешних контактов ФД было бы существенно меньше, чем среднее время рекомбинации. Тогда практически все электронно-дырочные пары, появившиеся вследствие поглощения фотонов, участвуют в формировании фототока.

ФОТОДИОД РЕЖИМЫ РАБОТЫ

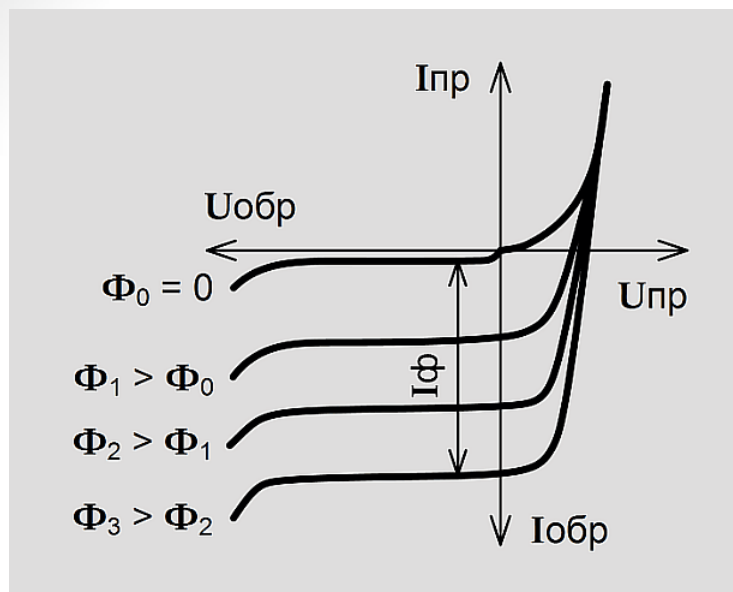


Схема фото диода, работающего в преобразовательном режиме

Пока световой поток отсутствует, через фото диод протекает маленький обратный ток Φ_0 , который называют темновым током, силой от единиц до нескольких десятков микроампер. При облучении световым потоком, возникнет генерация электронов и дырок, и обратный ток станет больше ($\Phi_1 > \Phi_0$). Ток, протекающий через нагрузочный резистор, возрастёт. Если световой поток станет ещё значительнее, то соответственно возрастёт и обратный ток фото диода ($\Phi_2 > \Phi_1$). Очевидно, что сила тока, протекающего в цепи, и падение постоянного напряжения на нагрузке зависят от величины светового потока.

В рабочем диапазоне обратных напряжений фототок практически не зависит от сопротивления нагрузки. Сопротивление диода постоянному току изменяется в больших пределах при изменениях светового потока.

При больших значениях обратного напряжения наблюдается лавинный пробой р-п-перехода. Если с помощью сопротивления нагрузки ограничить большой обратный ток р-п-перехода, наблюдаемый в этом случае, то возможно реализовать фотоприемник, использующий обратимый электрический прибор, обладающий усилением фототока во много раз по сравнению с фототоком в фото диодном режиме. Этот эффект используется в лавинных фото диодах (ЛФД).

ТИПЫ ФОТОДИОДОВ

В зависимости от назначения и конструкции все фотодиоды можно разделить на следующие подгруппы:

1. **p-n фотодиоды.** На внешнюю поверхность этих диодов наносится слой из SiO_2 . Такие фотодиоды обладают низким уровнем темнового тока. Для увеличения быстродействия диодов увеличивают обедненную зону, что позволяет снизить емкость перехода.
2. **PIN фотодиоды.** Они являются улучшенной версией планарных диффузионных диодов с низкой емкостью. В них для увеличения быстродействия между p и n слоями формируется дополнительный *i-слой*, обладающий высоким удельным сопротивлением. При обратном смещении перехода такие устройства работают лучше. PIN имеют низкий ток утечки и высокое напряжение пробоя.
3. **Фотодиоды Шотки.** В них на n-слой напыляется тонкий слой золота, позволяющий реализовать барьер Шотки. Из-за маленького расстояния между внешней поверхностью и барьером чувствительность к УФ излучению таких диодов очень высокая.
4. **Лавинные фотодиоды.** Свое название эта группа диодов получила из-за следующего явления: Если к p-n переходу приложено обратное напряжение, в обедненной зоне возникает сильное поле. Это поле заставляет фотоны двигаться с крупным ускорением, в результате чего их столкновение с атомами приводит к образованию вторичных носителей зарядов, которые также ускоряются и выбивают из атомов новые электроны и т.д. Благодаря такому лавинному процессу, ток через фотодиод значительно возрастает. Такие устройства работают как усилители, что делает их незаменимыми при детектировании очень низких уровней светового излучения.
5. **Фотодиод с гетероструктурой.** Гетеропереходом называют слой, возникающий на границе двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны. Один слой p+ играет роль «приёмного окна». Заряды генерируются в центральной области. За счет подбора полупроводников с различной шириной запрещенной зоны можно перекрыть весь диапазон длин волн. Недостаток — сложность изготовления.

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ



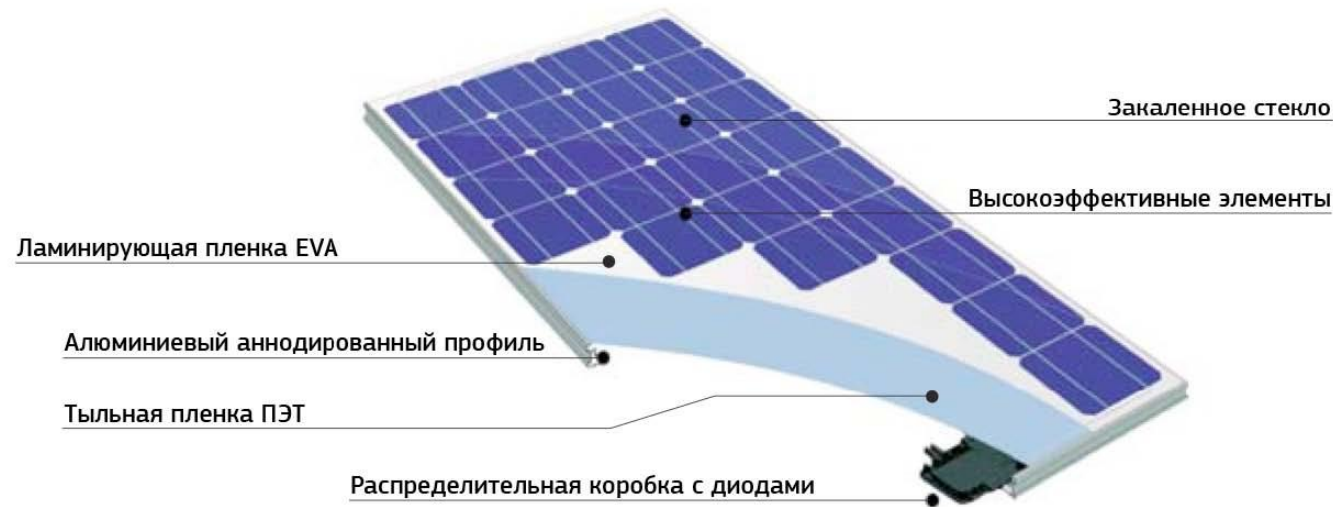
В настоящее время солнечные преобразователи изготавливаются преимущественно из кремния. Различают два вида современных технологий, на основе которых работают батареи. Первая это поликристаллическая и монокристаллическая. Поликристаллическая более дешевая и как следствие менее эффективная технология.

Монокристаллическая более дорогая, что связано в основном с трудоемкой технологией производства, а точнее выращивания, монокристаллов.

При попадании на один из внешних слоев солнечного света образуется фотогальванический эффект, что приводит к образованию в этом слое свободных электронов. Эти частицы получают дополнительную энергию и способны преодолеть внутренний слой элемента, который в данном случае называется барьером. Чем больше объем солнечного света, тем интенсивнее происходит процесс прохождения или перепрыгивания частиц от одной внешней пластины к другой, минуя внутреннюю перегородку. При замыкании внешних пластин появляется напряжение. Та пластина, которая интенсивно отдает частицы, образуя в себе так называемые дырки, приобретает знак минус, а которая принимает, образует знак плюс.

На обкладках модуля формируется разность потенциалов порядка 0.5 В.

СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ



- Закаленное стекло, предотвращающее повреждение солнечных элементов в процессе транспортировки, монтажа и эксплуатации солнечного модуля;
- Монокристаллические/Поликристаллические солнечные элементы, преобразующие солнечный свет в электрическую энергию;
- Ламинирующая пленка EVA герметизирует солнечный модуль и обеспечивает долгий срок службы;
- Тыльная пленка защищает тыльную сторону от повреждений и обеспечивает дополнительную герметизацию солнечного модуля;
- Распределительная коробка с диодами обеспечивает выход контактов и минимизирует потери мощности при затенении солнечных элементов модуля;
- Анодированный профиль создает дополнительные прочностные характеристики и имеет посадочные места для удобства монтажа солнечного модуля.

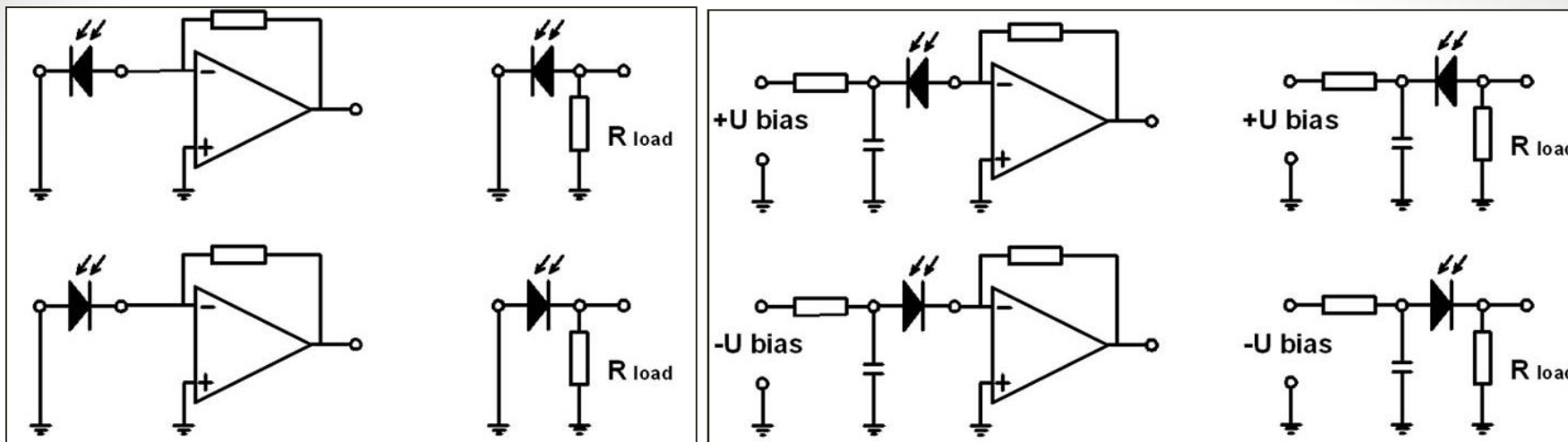
СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ



Фотодиоды, работающие в режиме фотогенератора, часто применяют в качестве источников питания, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую. Они называются солнечными элементами и входят в состав солнечных батарей, используемых на космических кораблях.

КПД кремниевых солнечных элементов составляет около 20 %, а у пленочных солнечных элементов он может иметь значительно большее значение. Важными техническими параметрами солнечных батарей являются отношения их выходной мощности к массе и площади, занимаемой солнечной батареей. Эти параметры достигают значений 200 Вт/кг и 1 кВт/м², соответственно.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ФОТОДИОДА.



фотогальванический
(фотovoltaический, генераторный)
режим

фотодиодный режим

Если требуется максимальное быстродействие, то фотодиод используют в режиме фотопроводимости, в котором на него подается большое обратное напряжение смещения. Это приводит к значительному расширению обедненной зоны возле области р-п перехода и к уменьшению собственной емкости фотодиода. Однако надо помнить, что при этом возрастают и темновой ток, и собственный дробовой шум фотодиода. Фотосенсор, собранный по такой схеме, может работать на частотах в сотни мегагерц.

Микроэлектронная технология позволила формировать на небольших кристаллах кремния фотодиоды вместе с интегральными схемами усиления фототока, обеспечивая не только высокое быстродействие, но и весьма высокую чувствительность.

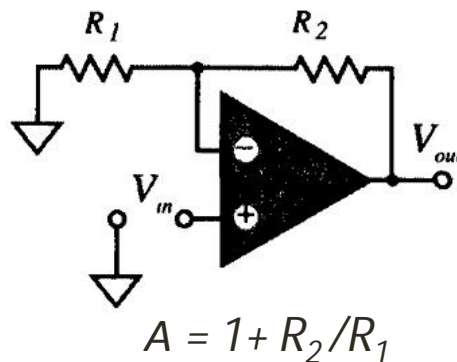
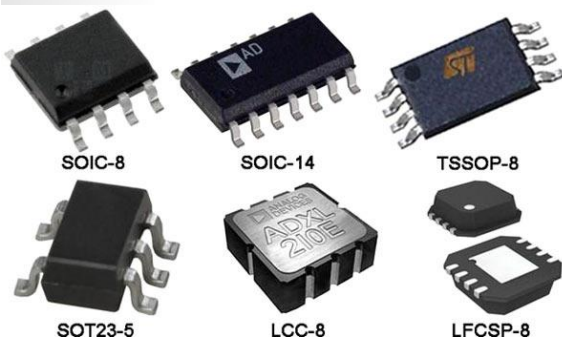
Операционные усилители – характерные признаки

Пассивные датчики обладают очень слабыми выходными сигналами, не превышающими нескольких микровольт или пикоампер. Входные сигналы стандартных электронных устройств обработки данных (АЦП, частотные модуляторы, различные регистраторы и т.д.) должны быть порядка вольт или миллиампер. Поэтому для подключения датчиков к таким устройствам требуются усилители с коэффициентами усиления по напряжению до 10 000, а по току до 1 000 000.

Свойства ОУ

- Два входа: инвертирующий (-) и неинвертирующий (+)
- Высокое входное сопротивление (сотни МОм и даже ГОм)
- Низкое выходное сопротивление (доли Ома)
- Способность работать с емкостной нагрузкой
- Низкое входное напряжение смещения e_0 (несколько мВ и даже мкВ)
- Низкий входной ток смещения I_0 (несколько пА и меньше)
- Очень высокий коэффициент усиления при разомкнутой цепи обратной связи (ОС) A_{OL} ($10^4 \dots 10^6$ и выше).
- Высокий коэффициент ослабления синфазного сигнала (КОСС).
- Низкий коэффициент собственного шума.
- Широкий рабочий частотный диапазон.
- Низкая чувствительность к помехам по шине питания
- Высокая стабильность характеристик при изменении параметров окружающей среды.

Коэффициент усиления и полоса пропускания (ОУ)



Значения коэффициента усиления A_0 ОУ соответствуют разомкнутой цепи обратной связи (ОС), линия 1 характеризует усилительные свойства самого ОУ. При разомкнутой цепи обратной связи коэффициент усиления остается неизменным до некоторой частоты, а затем плавно уменьшается, при частоте f_1 он становится равным 1. **Усиление уменьшается на 20 дБ на декаду частоты.**

При включении цепи обратной связи и соответствующем подборе параметров резисторов R_1 и R_2 можно получить усиление A при замкнутой цепи ОС, однако коэффициент усиления ОУ без ОС A_0 должен быть в 100 а лучше 1000 раз больше коэффициента усиления ОУ с ОС A на самой высокой рабочей частоте.

Отношения между мощностью, силой (напряжением, током) и децибелами

Отношение мощности	1.023	1.26	10	100	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
Отношение сил	1.012	1.12	3.16	10	31.6	100	316	10^3	3162	10^4	3×10^4	10^5
Децибелы	0	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Примерная классификация (ОУ)

- Высокоскоростные
- Низкоскоростные
- Дифференциальные
- Изолированные
- Малопотребляющие
- Прецизионные
- С программируемым коэффициентом усиления
- С низким уровнем искажений
- Rail-to-Rail
- Биполярные
- Однополярные (Single Supply)
- С высоким выходным током (до 1 А)
- Со сверхнизким током смещения
- Со сверхнизким рабочим напряжением

ДОСТОИНСТВА ФОТОДИОДОВ

- Сочетание высокой фоточувствительности и быстродействия.
- Фотодиод может работать в двух режимах: фотогальванический — без внешнего напряжения, фотодиодный — с внешним обратным напряжением
- Простота технологии изготовления и структуры, однородность параметров изготавливаемых структур (что особенно важно для многоэлементных приемников).
- Малое сопротивление перехода обеспечивает высокие значения фото ЭДС (для Si до 0,7- 0,8 В) что обеспечивает возможность их применения для эффективной генерации энергии.
- Совместимость технологии с технологией ИС, что дает возможность изготавливать интегральные фотоприемники.
- Широкая номенклатура, изготавливаются серийно. Можно подобрать фотодиод практически для любых решаемых задач. Сравнительно недороги.

ФОТОТРАНЗИСТОР

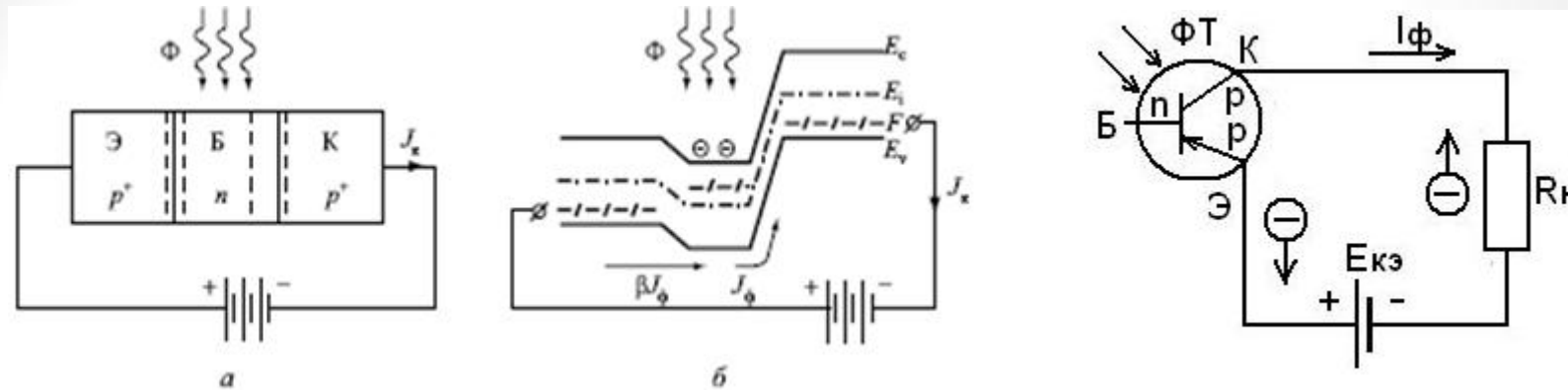
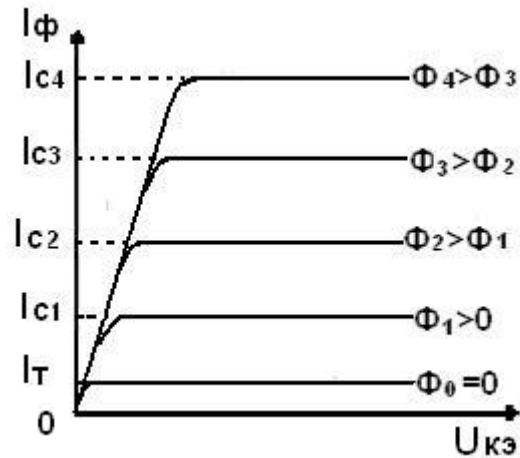


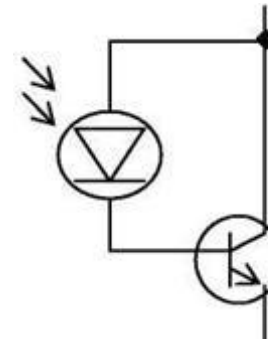
Схема фототранзистора со структурой р-п-р, его зонная диаграмма и простейшая схема включения.

Биполярный фототранзистор — полупроводниковый прибор с двумя р-п переходами — предназначен для преобразования светового потока в электрический ток. При освещении фототранзистора в его базе генерируется электронно-дырочные пары. Неосновные носители зарядов переходят в область коллектора и частично в область эмиттера. При этом потенциалы эмиттера и коллектора относительно базы изменяются. Эмиттерный переход смещается в прямом направлении, и даже небольшое изменение его потенциала вызывает большое изменение тока коллектора, то есть фототранзистор является усилителем. Ток коллектора освещенного фототранзистора оказывается достаточно большим — отношение светового потока к темновому велико (несколько сотен). Фототранзисторы обладают значительной большей, чем фотодиоды, чувствительностью — порядка сотни миллиампер на люмен. Биполярный фототранзистор подобен обычному биполярному транзистору, между выводами коллектора и базы которого включен фотодиод. Таким образом, ток фотодиода оказывается током фототранзистора и создает усиленный в n раз ток в цепи коллектора. Если на фототранзистор подается только электрический сигнал, его параметры почти не отличаются от параметров обычного транзистора.

ФОТОТРАНЗИСТОР



Вольтамперные характеристики фототранзистора



Эквивалентная схема фототранзистора

Важным параметром фототранзистора является темновой ток. Величина его, как правило, не превышает единиц микроампер для кремниевых фототранзисторов. Чувствительность фототранзисторов к световому излучению характеризуется интегральной чувствительностью и определяется как отношение выходного тока фототранзистора к световому потоку, вызвавшему этот ток:

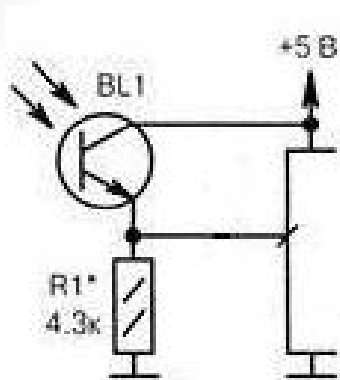
$$K = I_c / \Phi \text{ или } K = I_\phi / \Phi$$

Семейство световых характеристик биполярного фототранзистора показывает, что выходной ток I_c возрастает с увеличением светового потока. Причем ток I_c растет быстрее при больших напряжениях коллектор-эмиттер.

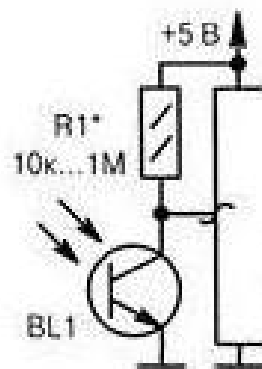
Параметры фототранзисторов в значительной степени зависят от температуры окружающей среды. С ростом температуры чувствительность и темновой ток фототранзисторов увеличивается.

Фототок фототранзистора усиливается в β раз по сравнению с током фотодиода. Соответственно в β раз увеличивается и чувствительность. Ток может быть усилен до 1000 раз, поэтому чувствительность фототранзистора во много раз больше чувствительности фотодиода. Однако поскольку произведение коэффициента усиления на полосу частот величина постоянная, то предельная частота уменьшается в β раз.

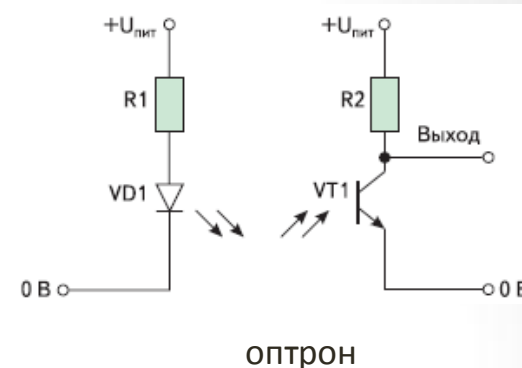
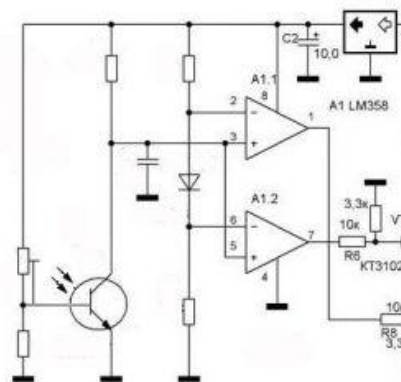
ФОТОТРАНЗИСТОР СПОСОБЫ ВКЛЮЧЕНИЯ



эмиттерный повторитель



с общим эмиттером



оптрон

Фототранзистор может быть включен различными способами: по схеме эмиттерного повторителя, с общим эмиттером, в режиме регуляции коэффициента усиления и т. д.

Подавая на базу напряжение смещения, можно изменять чувствительность фототранзистора «сдвинуть, сместить его рабочую точку», приоткрывая его в той или иной степени, а значит регулировать параметры всей схемы. Трёхвыводные фототранзисторы встречаются реже двухвыводных.

По сравнению с фотодиодами фототранзисторы редко используются для работы со слабыми сигналами, для прецизионных аналоговых измерений, а в случае приема модулированных сигналов строгие требования предъявляются к стабилизации рабочей точки. Напротив, достаточно высокое усиление фототока, в результате чего нередко отпадает необходимость в промежуточных усилителях, успешная работа с немодулированными сигналами, высокими уровнями излучения, схемотехническая гибкость предопределили широкое применение фототранзисторов в различных пороговых схемах автоматики, оптронах.

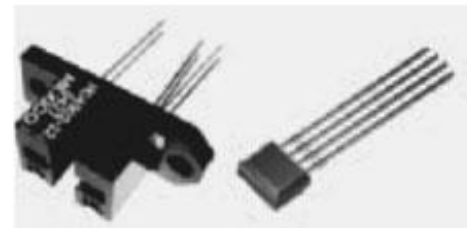
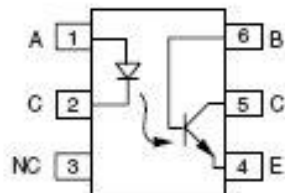
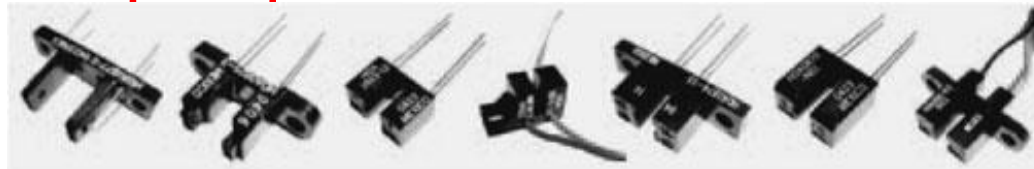
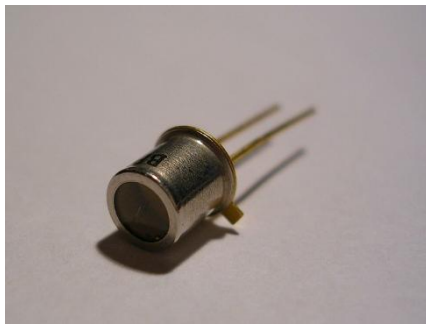
ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ФОТОТРАНЗИСТОРОВ

Достоинства фототранзисторов:

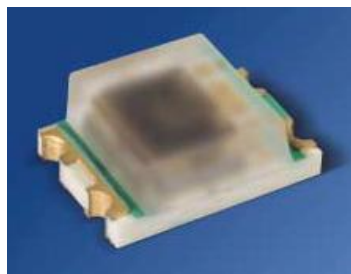
- наличие механизма внутреннего усиления т.е. высокая фоточувствительность,
- схемотехническая гибкость связанная с наличием третьего электрода.

Основные недостатки:

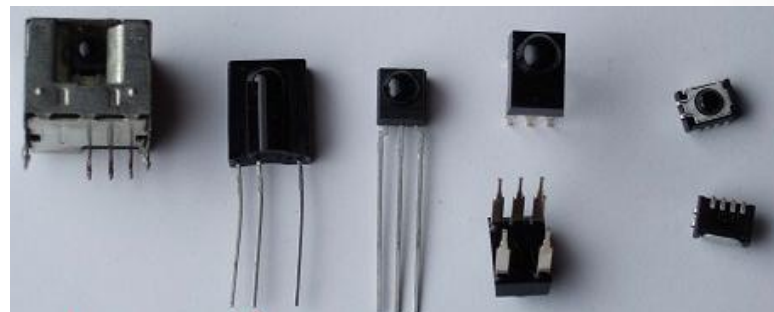
- ограниченное быстродействие,
- температурная зависимость параметров.



ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ОДИНОЧНЫЕ ПРИЁМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ



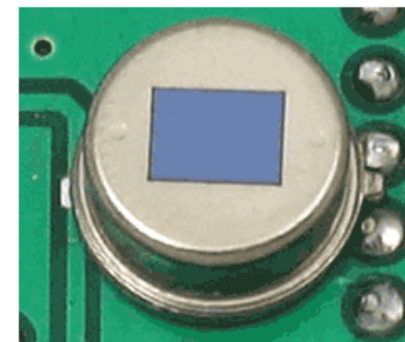
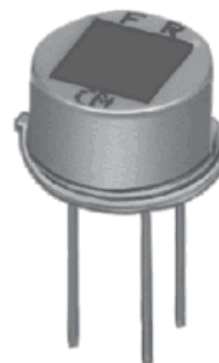
Датчики освещенности



ИК фотоприёмники интегральные

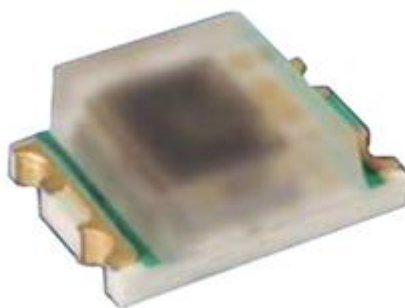
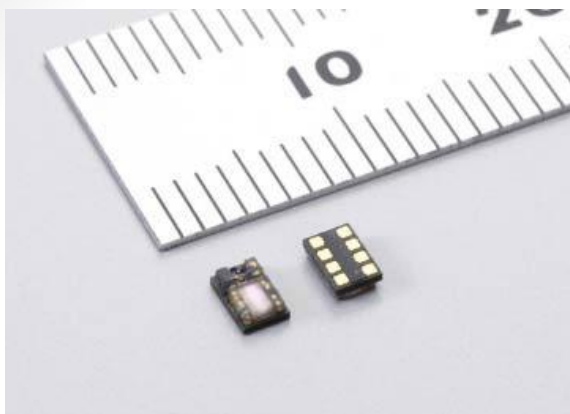


Датчики приближения



PIR сенсоры (датчики движения)

ДАТЧИКИ ОСВЕЩЕННОСТИ

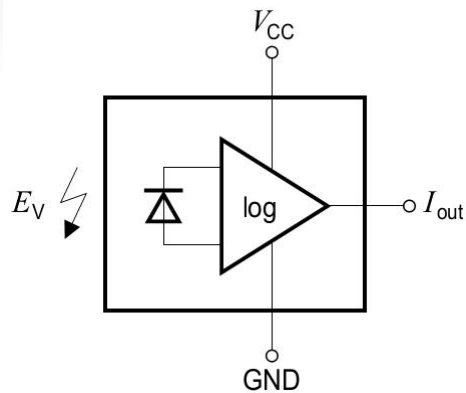


ЖК-дисплеи широко применяются в портативных приборах (мобильных телефонах, КПК, цифровых видеокамерах), бытовых устройствах (аудиоцентрах, ЖК-телевизорах), а также в автомобильной технике (приборных панелях, зеркалах заднего вида и т. д.). ЖК-дисплеи представляют собой неизлучающие устройства и требуют наличия задней подсветки. Наиболее распространены методы подсветки с использованием люминесцентных ламп с холодным катодом (CCFL) и массивами светодиодов.

Главная проблема использования подсветки - значительное потребление энергии, что является важным фактором для портативных устройств, так как ток потребления подсветки составляет не менее 100–400 мА, вследствие чего уменьшается срок непрерывной работы аккумуляторных батарей. Так, например, доля подсветки в общем потреблении энергии ноутбуками составляет 33%. Одним из решений для увеличения длительности непрерывной работы является автоматическая регулировка уровня подсветки при изменении световых условий окружающей среды.

Ключевой компонент в автоматическом управлении подсветкой ЖК-дисплеев, их яркостью или контрастностью - датчики освещенности. Причем для получения максимальной точности управления они должны иметь спектральную характеристику, по возможности наиболее приближенную к спектральной чувствительности человеческого глаза

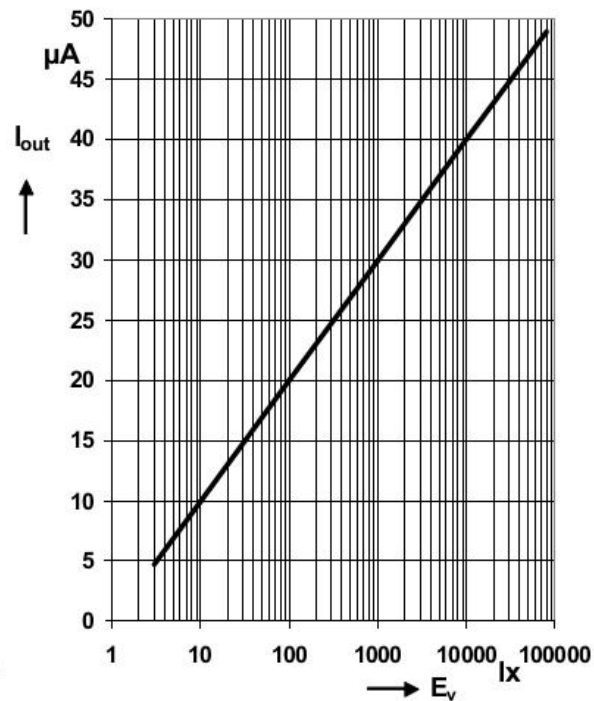
ДАТЧИКИ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИНЦИП РАБОТЫ И УСТРОЙСТВО НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ SFH 5711 ФИРМЫ OSRAM



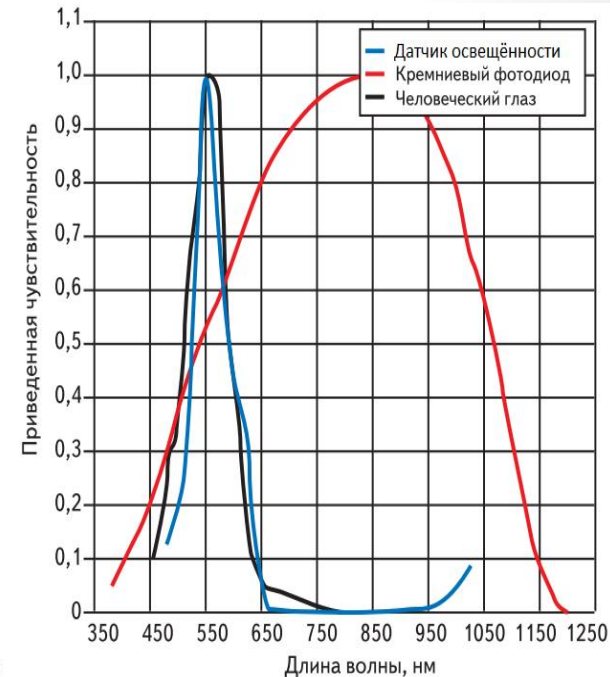
Структурная схема

$$I_{out} = S \times \log(E_v/E_0)$$

with $E_0 = 1 \text{ lx}$ / Sensitivity $S = 10 \text{ } \mu\text{A}$



Передаточная функция



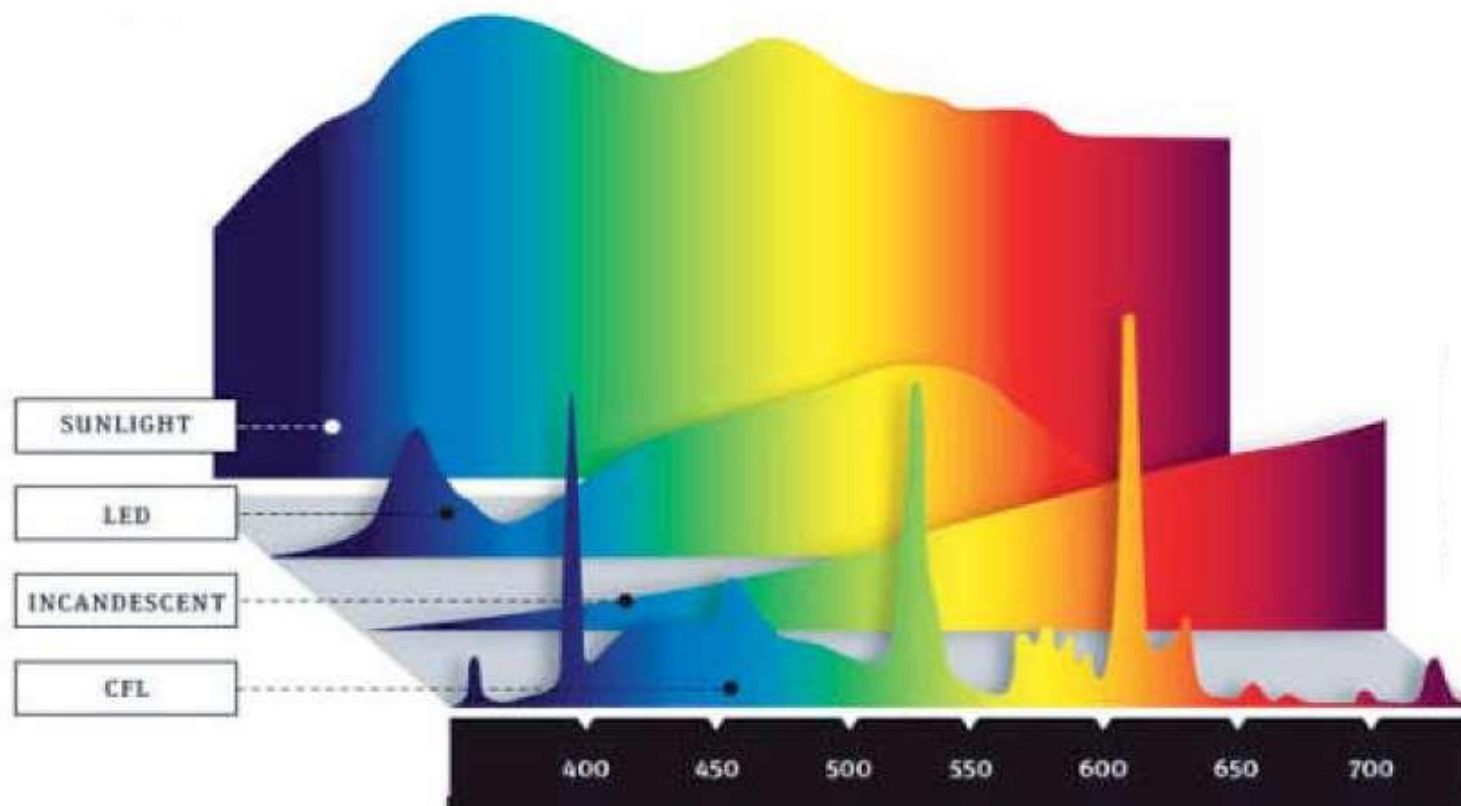
Спектральная характеристика

По структуре датчики представляют собой фоточувствительный рpn-диод со встроенным формирователем выходного токового сигнала - прецизионным усилителем тока. Усилители, в зависимости от типа датчика, могут быть разными и являются определяющими для вида передаточной функции. Благодаря наличию встроенного усилителя фототока сложность и стоимость конечной разработки значительно снижены.

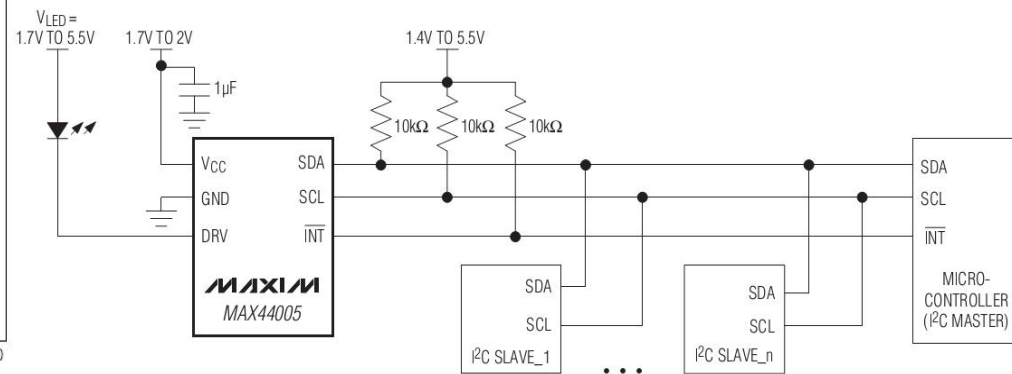
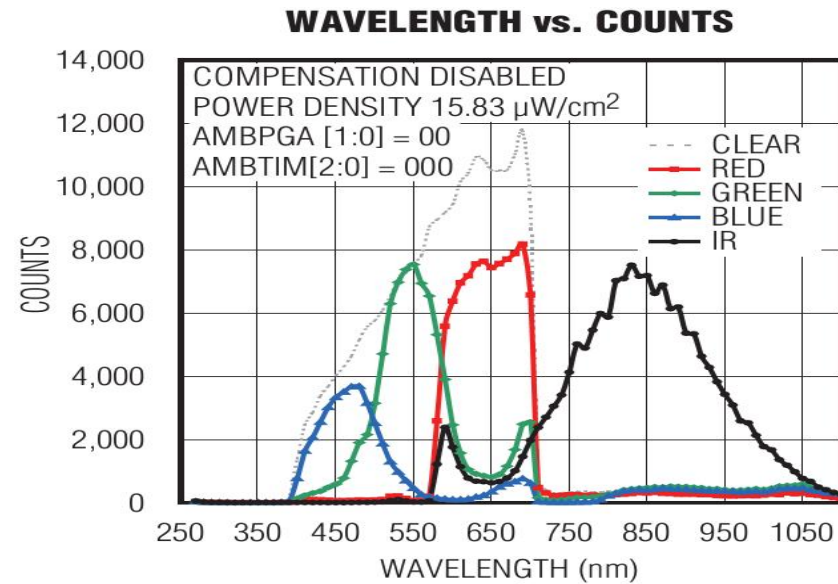
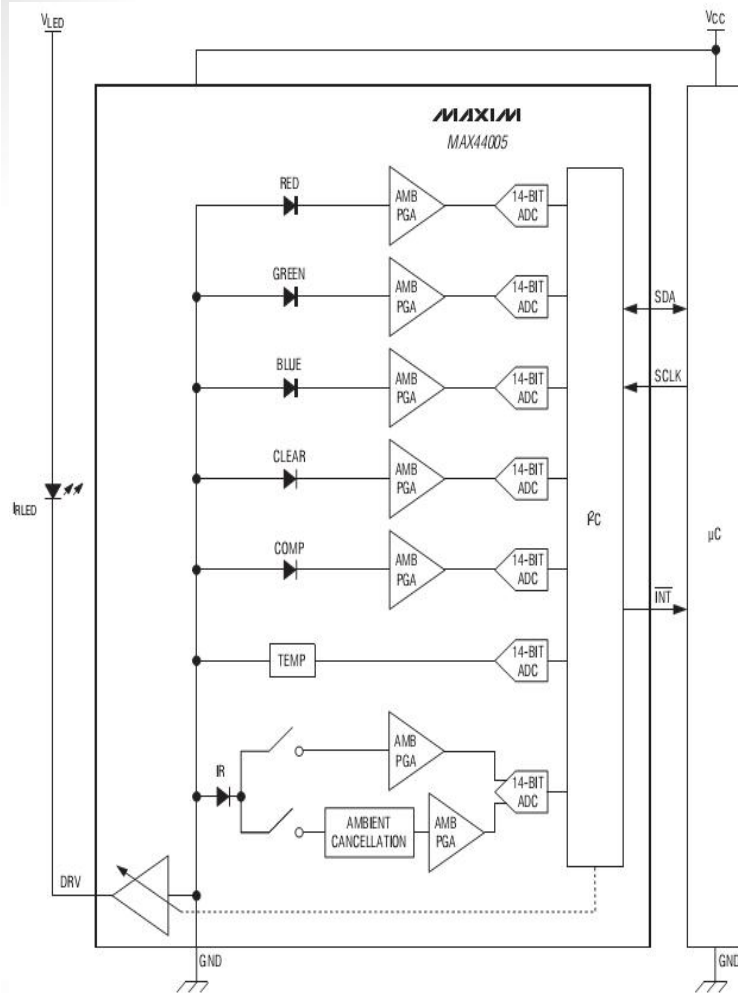
Фототок датчика может быть легко преобразован в напряжение путем добавления резистора на один или оба вывода. Величина сопротивления определяется исходя из требуемого напряжения и выходного тока датчика по закону Ома.

Выпускаются датчики как с линейной выходной характеристикой, так и с характеристикой «квадратный корень» и «корень 4-й степени». Компоненты изготавливаются в корпусах для поверхностного монтажа и способны надежно функционировать в температурном диапазоне от -40 до $+85$ °C.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ



ЦВЕТНЫЕ (RGB) ДАТЧИКИ ОСВЕЩЁННОСТИ - ДАТЧИКИ ЦВЕТА. НА ПРИМЕРЕ MAX44005



Датчик обеспечивает измерение красной, зеленой, синей и инфракрасной составляющей окружающего света, с интегрированным датчиком температуры, инфракрасным датчиком приближения и драйвером инфракрасного светодиода. Помимо этого, микросхема оснащена цифровым интерфейсом I2C и функциональным выводом прерываний, обеспечивая чрезвычайную легкость подключения к микроконтроллеру или иной управляющей логике. Интегральная схема размещается в оптически прозрачном 6-выводном корпусе UTDFN-Opto.

ЦВЕТНЫЕ (RGB) ДАТЧИКИ ОСВЕЩЁННОСТИ - ДАТЧИКИ ЦВЕТА.

Основными рабочими характеристиками датчиков света являются:

- тип интерфейса (актуален цифровой интерфейс, который позволяет минимизировать число внешних компонентов, необходимых для обработки сигнала, он обеспечивает непрерывное подключение сигнала к контролируемому электронному оборудованию, гарантирует повышение помехоустойчивости, снижение цены и времени разработки);
- программируемость;
- быстрое время срабатывания — обычно время нарастания фронта импульса фототока при тестовом импульсном воздействии;
- значительный динамический диапазон;
- чувствительность;
- спектральный диапазон;
- угол, на котором чувствительность уменьшается вдвое (характеризующий механический угол обзора);
- уровни темновых токов;
- допуски и погрешности и др.

Основные производители – OSRAM, MAXIM, AVAGO, ONS и др.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ОСВЕЩЁННОСТИ

Сегодня можно выделить следующие направления, где используются или возможно использование данных датчиков:

- контроль интенсивности подсветки дисплеев;
- повышение срока службы дисплеев, батарей и других устройств.
- повышение эстетики и эргономики восприятия пользователем любой визуальной информации;
- автоматический контроль влияния освещенности на яркость и контрастность дисплеев, адаптация фотоэлектрических датчиков и дисплейного оборудования к освещению от источников с различными спектральными характеристиками;
- контроль изображений, получаемых с помощью камер (контроль апертуры, баланса белого и т. д.);
- контроль подсветки клавиатур и выделения экранных кнопок;
- максимальное исключение ручных настроек дисплеев и многоуровневых систем меню, автоматизация переключения настроек дисплеев;
- контроль электрохроматических авто зеркал— автоматическое затемнение по сигналам от датчиков окружающего света и света приближающегося автомобиля;
- контроль включения автоматического освещения (фар автомобиля или уличного освещения);
- контроль солнечного освещения датчиками - детекторами положения и интенсивности источника солнечного света для автоматического включения и регулировки систем кондиционирования и отопления, открытия/закрытия люков;

ДАТЧИКИ ПРИБЛИЖЕНИЯ

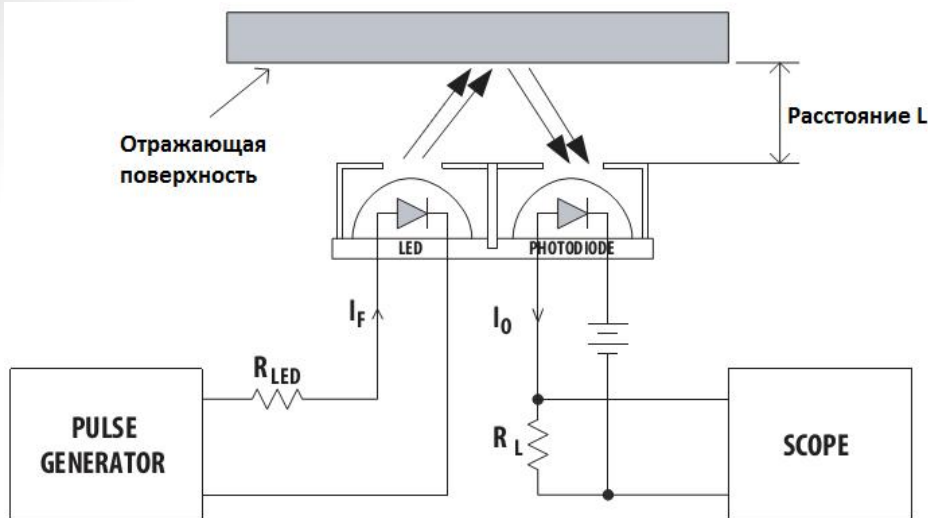
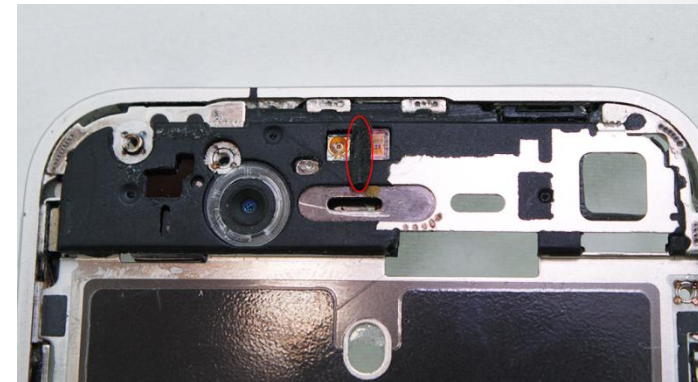


Схема подключения

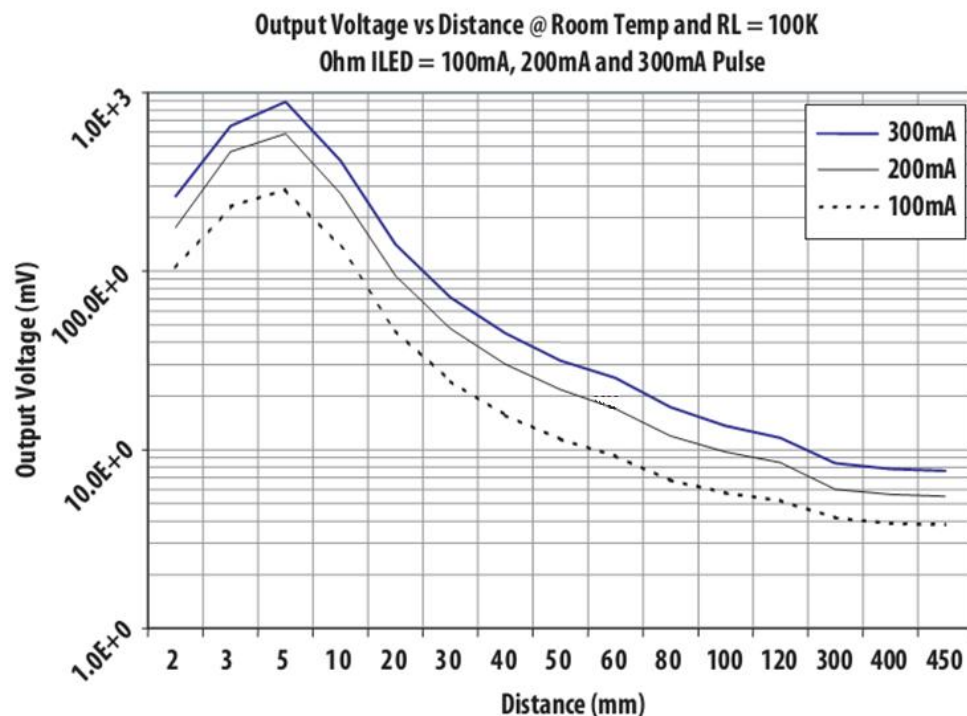


Пример использования

Датчики приближения (близости) компании являются устройствами отражательного типа с аналоговым выходом. В качестве излучателя в них используется ИК-светодиод, в качестве приемника — PIN-фотодиод. Светодиод излучает импульс света в ИК-диапазоне. Если на пути излучения от ИК-светодиода нет никакого объекта/препятствия, отражающего свет на фотодиод, объект не будет детектироваться. При наличии препятствия/объекта фотодиод датчика обнаружит отраженный от объекта ИК-импульс света и преобразует его в электрический сигнал.

Сегодня промышленно производится датчики приближения, например HSDL-9100 «Avago Technologies». Чтобы гарантировать хорошую оптическую изоляцию, обеспечивающую близкие к нулю наводки, он имеет специально разработанный SMD-корпус размерами обладает очень низким темновым током и высоким отношением сигнал/шум (SNR) благодаря сочетанию высокоэффективного инфракрасного излучателя и детектора с высокой чувствительностью.

ДАТЧИКИ ПРИБЛИЖЕНИЯ



Передаточная
функция

Датчик способен обнаруживать приближение объекта на расстоянии от 5 до 60 мм. Окружающий свет оказывает влияние на чувствительность датчика. Солнечный свет или яркая лампа подсветки, в спектре которых есть ИК-составляющая, может перевести его в устойчивое состояние с низкой чувствительностью. Поэтому в таких датчиках используются узкополосные фильтры, соответствующие длине волны ИК-светодиода. В качестве ИК-узкополосного фильтра применяется окрашенный поликарбонат (пластмассовый материал) с коэффициентом поглощения не более 10%.

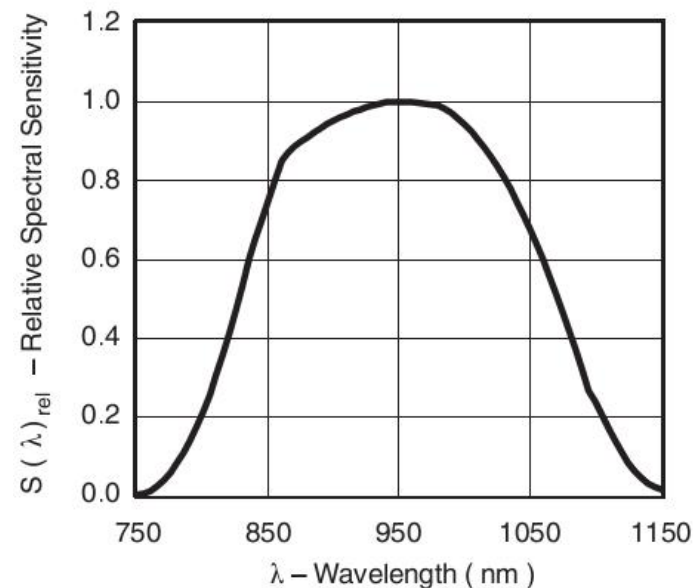
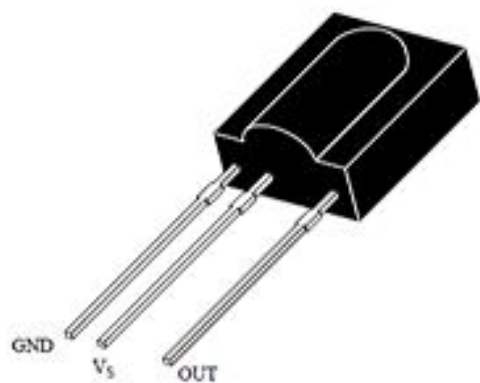
Использование датчика приближения возможно в бытовой электронике, медицинском и промышленном оборудовании, в частности, в автомобильной электронике, портативных устройствах и т.д. Часто датчики освещённости, цвета и приближения выпускаются в виде одной многофункциональной интегральной схемы.

ИК ФОТОПРИЁМНИКИ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ

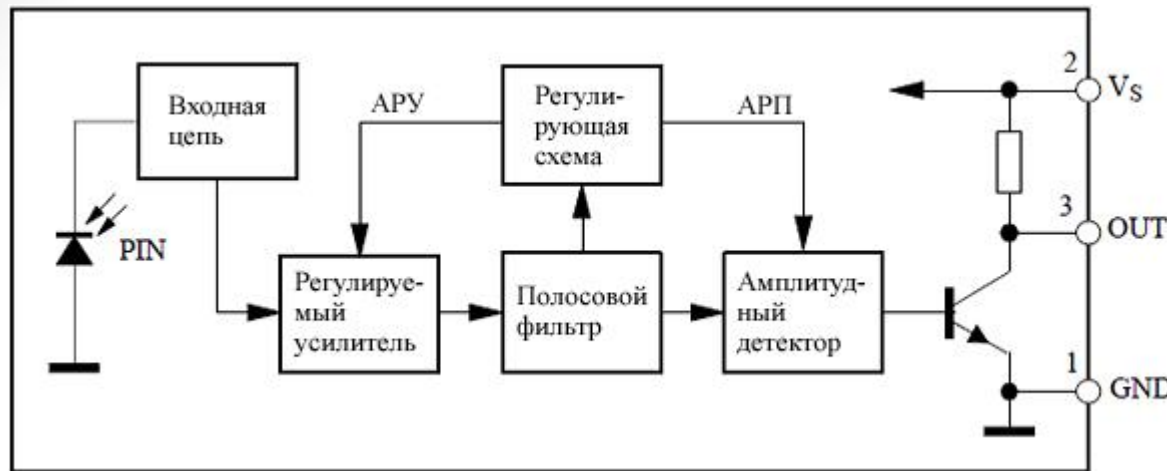
В бытовой радиоэлектронной аппаратуре получили широкое применение интегральные приёмники инфракрасного излучения. По-другому их ещё называют ИК-модулями. Их можно обнаружить в любом электронном приборе, управлять которым можно с помощью пульта дистанционного управления.

Несмотря на кажущуюся простоту данного электронного компонента – это специализированная интегральная схема, предназначенная для приёма инфракрасного сигнала от пультов дистанционного управления (ДУ).

В отличие от обычного инфракрасного фотодиода, ИК-приёмник может принимать и обрабатывать инфракрасный сигнал, представляющий собой ИК-импульсы фиксированной частоты и определённой длительности – пачки импульсов. Это технологическое решение избавляет от случайных срабатываний, которые могут быть вызваны фоновым излучением и помехами со стороны других приборов, излучающих в инфракрасном диапазоне.



ИК ФОТОПРИЁМНИКИ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ



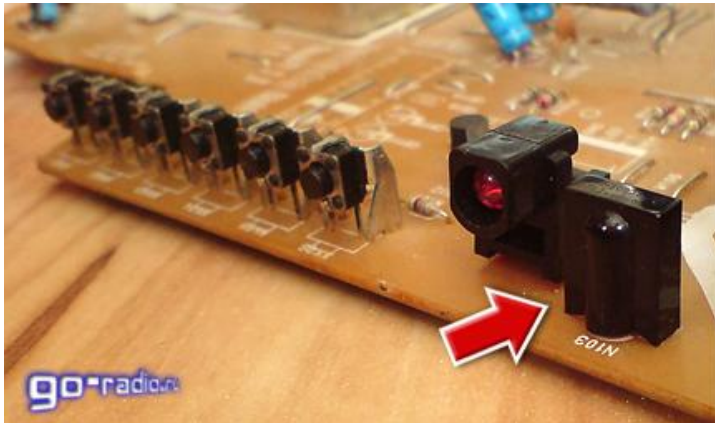
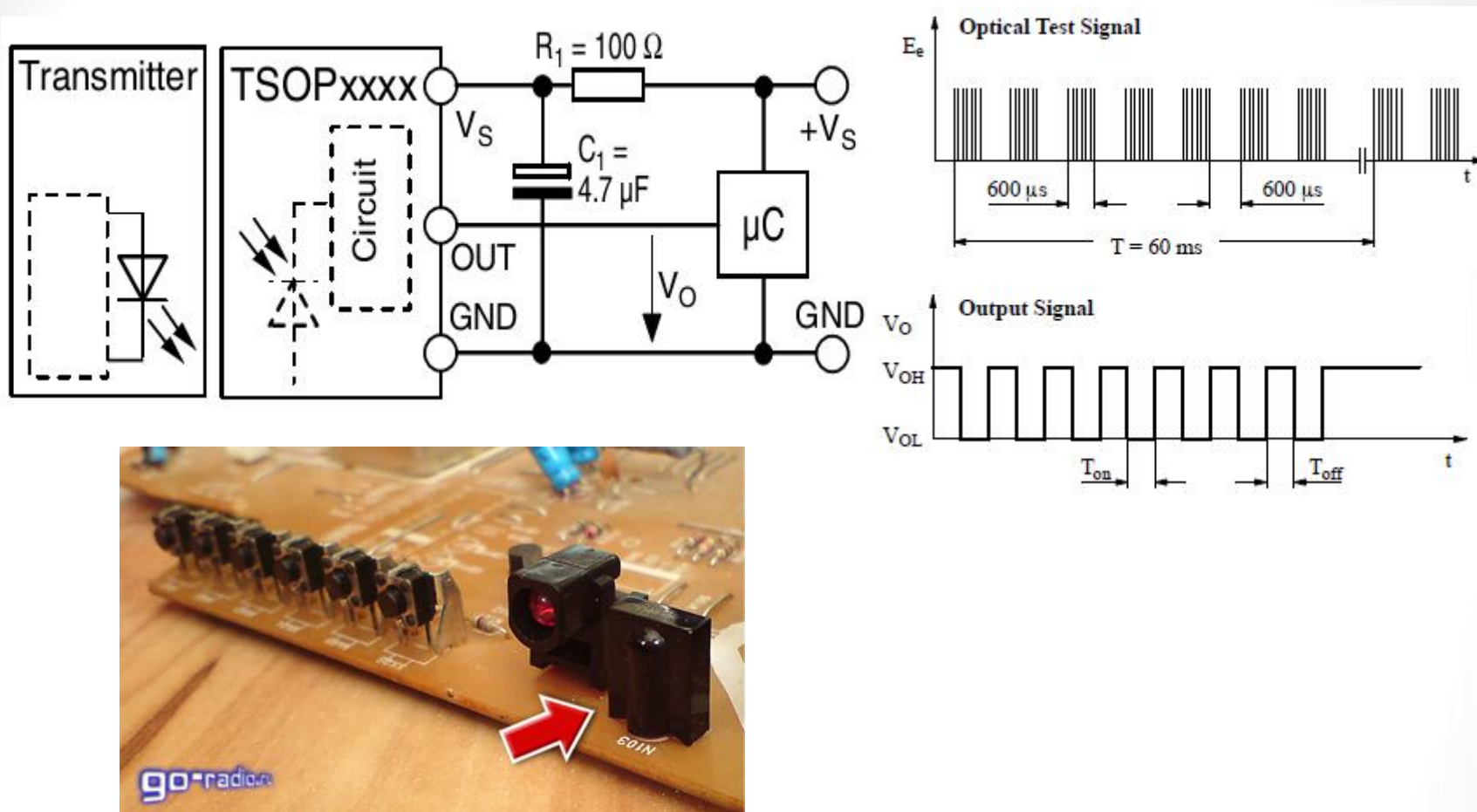
Микросхема приёмника ИК-излучения включает:

- PIN-фотодиод
- Регулируемый усилитель
- Полосовой фильтр
- Амплитудный детектор
- Интегрирующий фильтр
- Пороговое устройство
- Выходной транзистор

Сигнал принимается PIN-фотодиодом в результате через диод начинает протекать ток. Этот ток затем преобразуется в напряжение и поступает на регулируемый усилитель, далее поступает на полосовой фильтр. Он служит защитой от помех. Полосовой фильтр настроен на определённую частоту. Так в ИК-приёмниках в основном используются полосовые фильтры, настроенные на частоту 30; 33; 36; 36,7; 38; 40; 56 и 455 кГц. Чтобы излучаемый сигнал мог быть принят ИК-приёмником, он должен быть модулирован такой же частотой, на которую настроен полосовой фильтр.

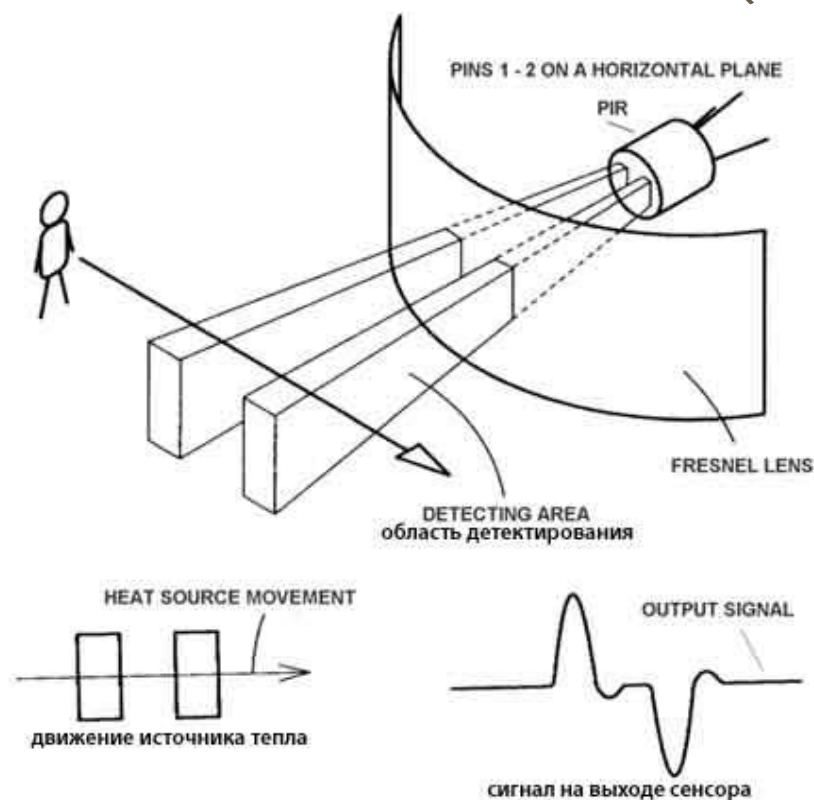
После того, как сигнал прошёл через полосовой фильтр, он поступает на амплитудный детектор и интегрирующий фильтр. Интегрирующий фильтр необходим для подавления коротких одиночных всплесков сигнала, которые могут быть вызваны помехами. Далее сигнал поступает на пороговое устройство, а затем на выходной транзистор.

ИК ФОТОПРИЁМНИКИ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ



В качестве выходного элемента используется обычный N-P-N транзистор. В неактивном состоянии транзистор закрыт, выходе присутствует высокий уровень напряжения (лог. "1"). При появлении в чувствительной зоне ИК-приёмника инфракрасного излучения модулированного с нужной частотой этот транзистор открывается и выходная и на выход подаётся низкий уровень сигнала (лог. "0").

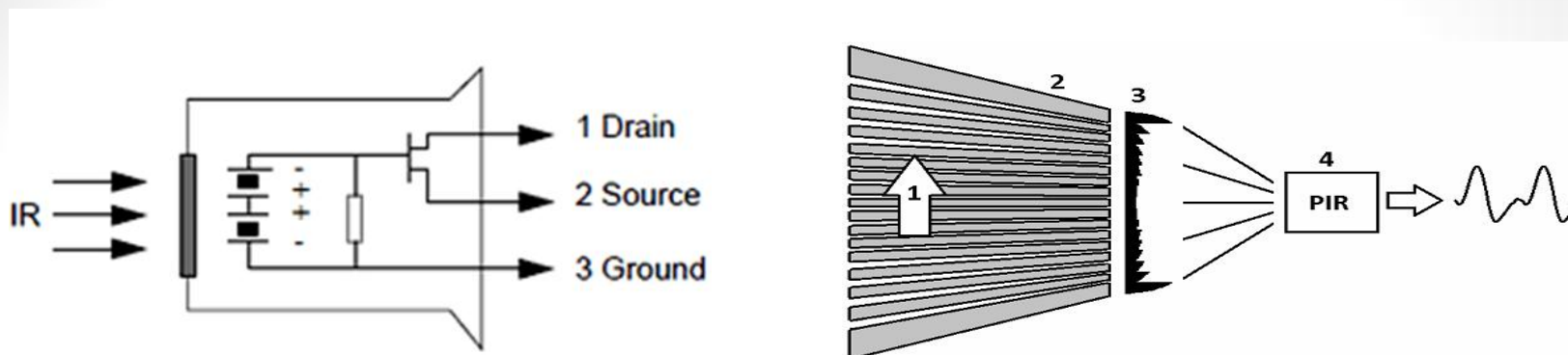
PIR СЕНСОРЫ (ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ)



В отличие от инфракрасных оптических датчиков, которые используют LED - передатчик и ИК - приемник, ПИР- сенсор ничего не излучает, он работает в пассивном режиме, принимает слабое инфракрасное излучение от объектов. Любой объект, при температуре выше абсолютного нуля, является источником инфракрасного излучения. Это излучение невидимое для человеческого глаза, но не для пироэлектрических материалов который использует PIR датчик. На базе PIR-датчиков разработано великое множество устройств, выполняющих самые различные функций: от управления светом до подачи воды. Традиционной областью применения датчиков являются охранные сигнализации.

Тепловое излучение воспринимается оптической системой линз и проецируется на PIR-элементы датчика, которые конвертируют температуру в электрический сигнал. PIR-элемент датчика реагирует не на температуру тела, а на резкое изменение интенсивности попадающего на него инфракрасного излучения. Разность потенциалов, возникающая в чувствительном элементе при облучении, не превышает 1 мВ. Когда человек находится недалеко от детектора, пересекая собой несколько лучей, создается сигнал на пироприёмнике. Сила сигнала зависит от степени перекрытия лучей и расстояния до детектора.

PIR СЕНСОРЫ (ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ)



В ИК-датчиках обычно используются сдвоенные (дифференциальные, DUAL) пироэлементы. Это связано с тем, что одиночный пироэлемент одинаковым образом реагирует на любое изменение температуры независимо от того, чем оно вызвано - человеческим телом или, например, обогревом помещения, что приводит к повышению частоты ложных срабатываний.

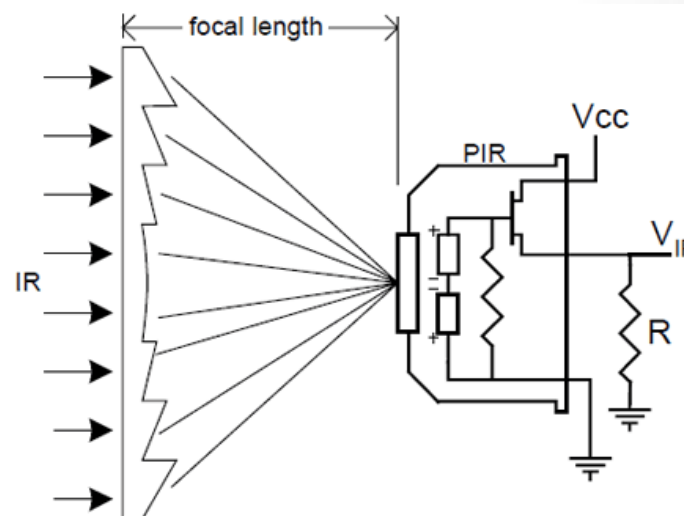
В дифференциальной схеме производится вычитание сигнала одного пироэлемента из другого, что позволяет существенно подавить помехи, связанные с изменением температуры фона, а также заметно снизить влияние световых и электромагнитных помех. Сигнал от движущегося человека возникает на выходе сдвоенного пироэлемента только при пересечении человеком луча зоны чувствительности и представляет собой почти симметричный двухполярный сигнал, близкий по форме к периоду синусоиды. Сам луч для сдвоенного пироэлемента по этой причине расщепляется в горизонтальной плоскости на два.

В последних моделях ИК-датчиков с целью дополнительного снижения частоты ложных срабатываний используются счетверенные пироэлементы (QUAD или DOUBLE DUAL) - это два сдвоенных пироприемника, расположенные в одном датчике (обычно размещаются один над другим).

PIR СЕНСОРЫ (ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ)



PIR-датчики с линзой Френеля



Формирование луча через линзу Френеля

При построении оптических систем PIR-датчиков обычно используются конструкции, называемые линзой Френеля, которая представляет собой пластиковую форму, разделенную на сегменты в виде призм. Линзы Френеля просты в изготовлении и обладают дополнительным преимуществом— одну и ту же линзу можно использовать в различных датчиках движения и присутствия. Обычно каждый сегмент линзы Френеля формирует свой луч диаграммы направленности. Современные линзы Френеля позволяют создавать прогнозируемую чувствительность датчика по всем лучам. При создании линз Френеля учитывается ряд параметров, напрямую влияющих на чувствительность PIR-элемента: площадь сегмента линзы, количество лучей(активных зон) и их угол наклона, а также материал, из которого изготовлена линза.

ТИПИЧНАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ PIR СЕНСОРОВ

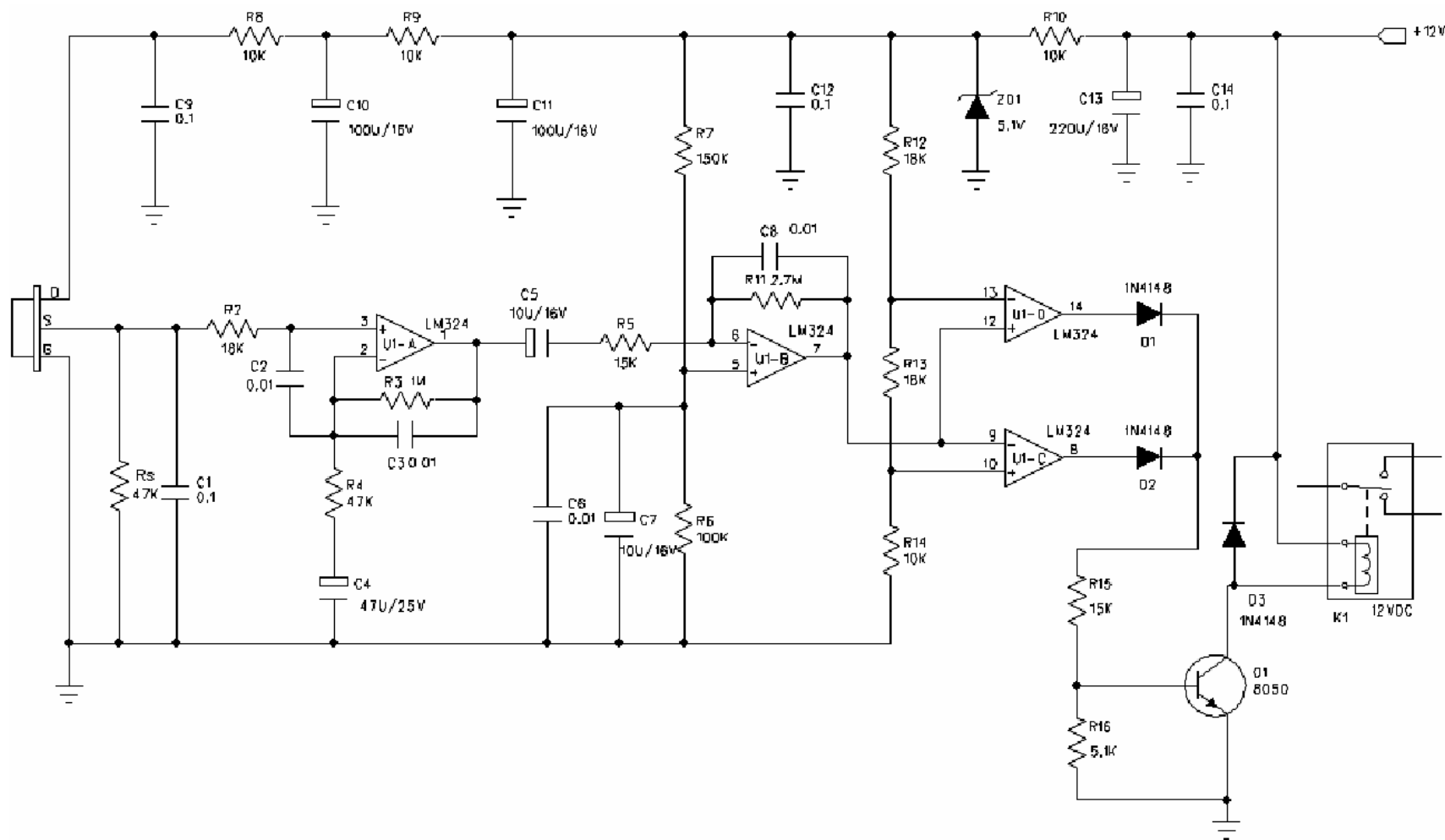
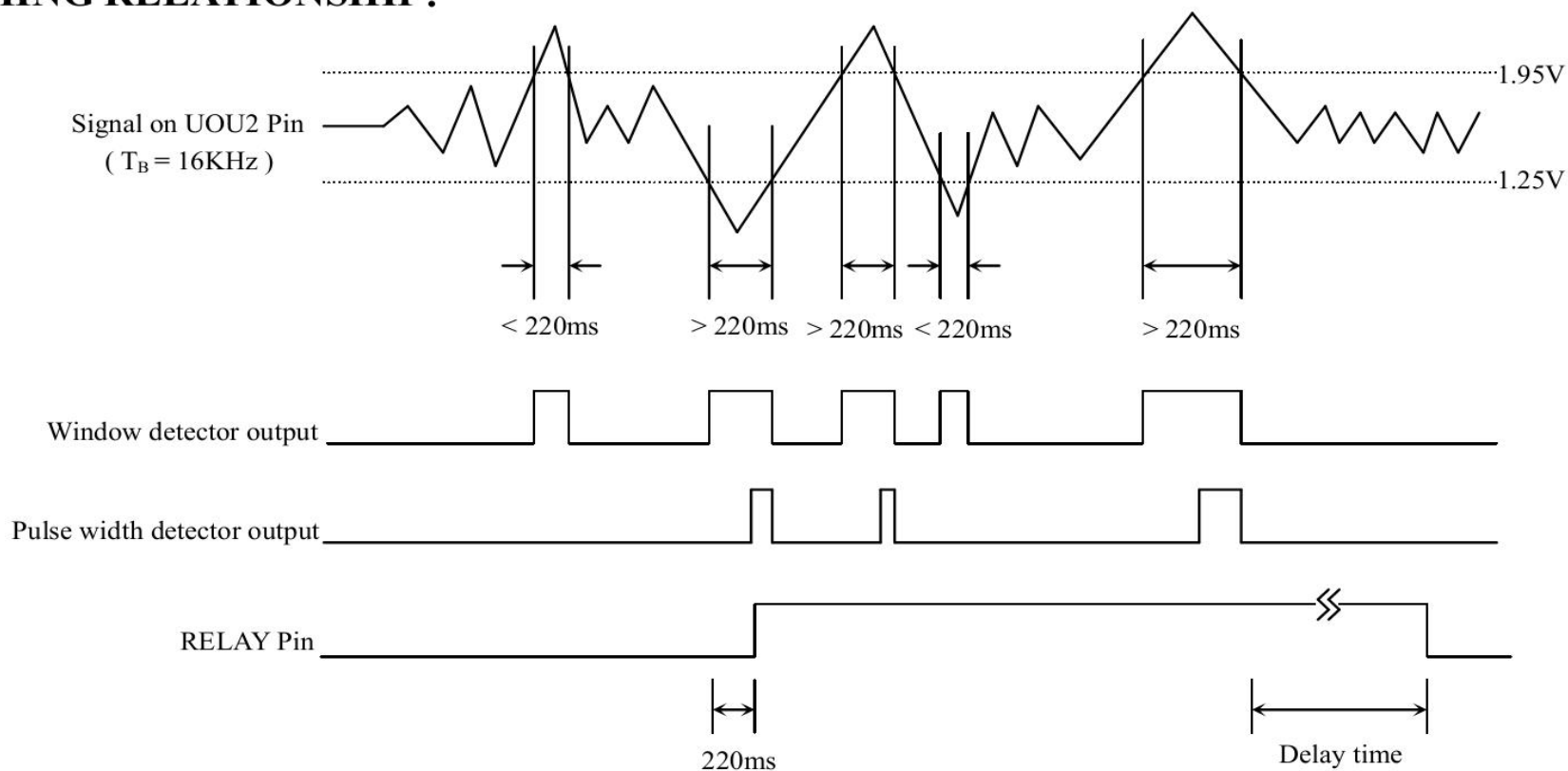


Схема включает в себя предусилитель, разделительную ёмкость для исключения постоянной составляющей, усилитель сигнала, компараторы с уровнями сравнения для положительной и отрицательной полуволн, биполярный транзистор в качестве выходного дискретного элемента и реле для подключения исполнительного устройства.

КОНТРОЛЛЕРЫ PIR СЕНСОРОВ, ДИАГРАММА РАБОТЫ.

TIMING RELATIONSHIP:



Временная диаграмма работы контроллера PIR сенсора M7612.

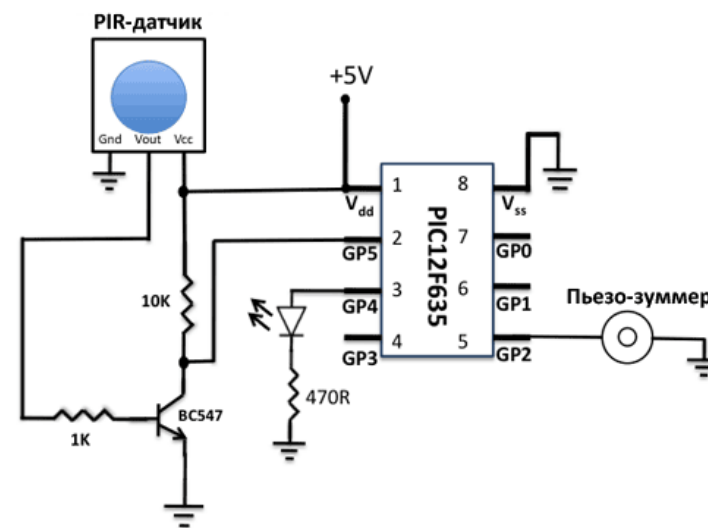
ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПИРОДЕТЕКТОРОВ

Блок обработки сигналов пироприемника должен обеспечивать надежное распознавание полезного сигнала от движущегося человека на фоне помех. Осуществляется это благодаря специальной обработке параметров сигналов на выходе из пироприемника (сила сигнала, продолжительность и форма).

Для ИК-датчиков основными видами и источниками помех, могущими вызвать ложное срабатывание, являются:

- источники тепла, климатические и холодильные установки;
- конвенционное движение воздуха;
- солнечная радиация и искусственные источники света;
- электромагнитные и радиопомехи (транспорт с электродвигателями, электросварка, линии электропередач, мощные радиопередатчики, электростатические разряды);
- сотрясения и вибрации;
- термическое напряжение линз;
- насекомые и мелкие животные.

Все способы обработки сигналов в PIR-детекторах реализуются с помощью цифровых, аналоговых или комбинированных средств. В самых современных инфракрасных датчиках применяются способы цифровой обработки, основанные на микроконтроллерах и специализированном программном обеспечении. Данное решение обеспечивает максимальную надежность правильной работы PIR-детектора и минимальное количество ложных срабатываний.



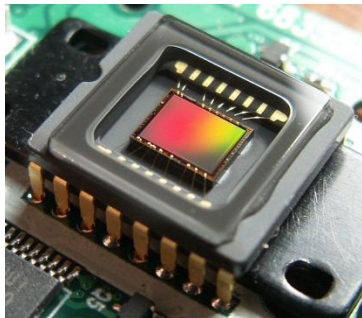
Пример реализации пиродетектора на базе микроконтроллера

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ PIR СЕНСОРОВ

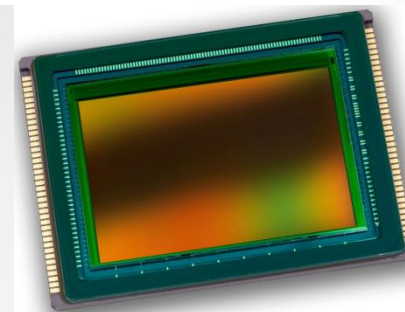
- Контроль вторжения/присутствия в системах безопасности
- Умные системы освещения, вентиляции и климат-контроля (умные дома)
- Энергосберегающие торговые автоматы и информационные дисплеи
- Датчики приближения, автоматические двери, светофоры и лифты и т. д.



МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ФОТОДЕТЕКТОРЫ ЛИНЕЙНОГО И МАТРИЧНОГО ТИПА



ПЗС (CCD) технология



КМОП (CMOS) технология



Reslution :
200dpi
300dpi,
400dpi
600dpi

size:
A3 A4 A5
A6 A8

CIS технология

ТИПИЧНОЕ УСТРОЙСТВО СОВРЕМЕННОЙ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

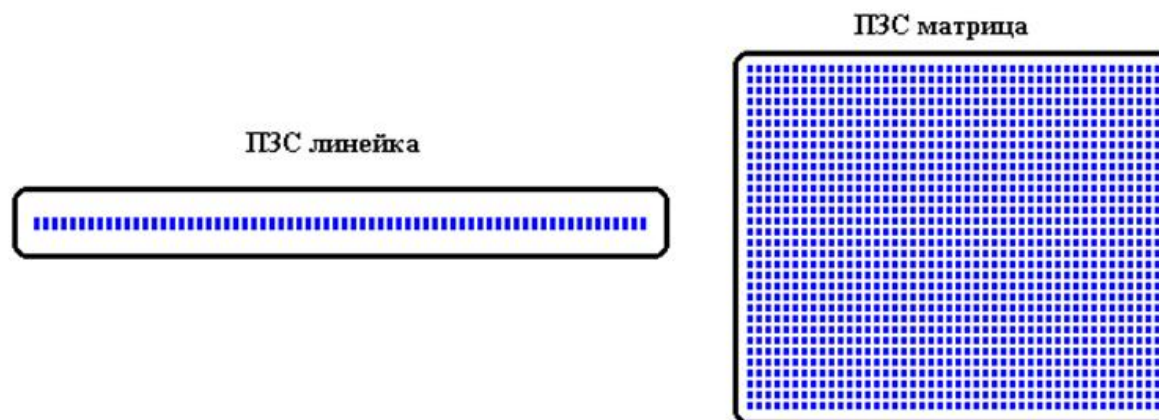


Современные фотоаппараты, видеокамеры, цифровые телескопы, цифровые микроскопы, тепловизоры (или любые другие устройства для фиксации изображений) состоят из: светонепроницаемого корпуса; оптической системы, с системами фокусировки, стабилизации, диафрагмирования и, иногда, с затвором; видоискателей; приёмника матричного типа который в свою очередь может иметь системы фокусировки и стабилизации; фотографического затвора (иногда); устройств экспозамера и расчета экспозамера - экспозиции и диафрагмы (как правило это уже знакомый нам датчик освещённости); микропроцессоров; автоматики и другой электроники; LCD; карт памяти; ламп-вспышек; аккумуляторов и т.д.

ПЗС (CCD) ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ

(ПЗС) ПРИБОР С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ - интегральная схема, представляющая собой совокупность МДП-структур, сформированных на общей полупроводниковой подложке т. о., что полосы электродов образуют линейную или матричную регулярную структуру. Расстояния между соседними электродами столь малы, что существенным становится их взаимовлияние вследствие перекрытия областей пространственного заряда вблизи краёв соседних электродов.

Изобретён У. Бойлом (W. Boyle) и Дж. Смитом (G. Smith) в 1969. В ПЗС осуществляется направленная передача зарядов от электрода к электроду путём манипуляции электрическими напряжениями на этих электродах. Заряды в ПЗС вводятся фотоэлектрическим способом. Основное функциональное назначение фоточувствительных ПЗС - преобразование оптических изображений в последовательность электрических импульсов (формирование видеосигнала),



Расположение фотоэлементов в ПЗС-линейкеи ПЗС-матрице

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЗС

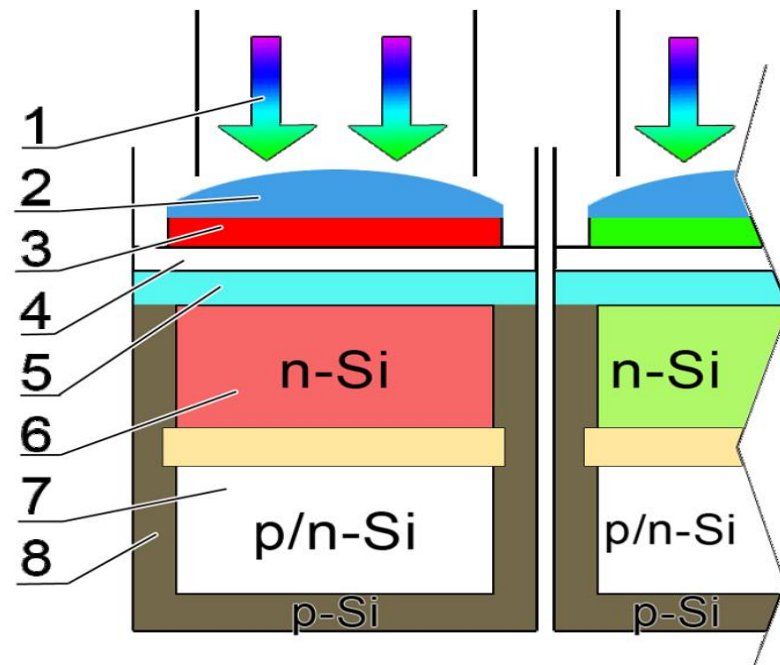
Упрощенно прибор с зарядовой связью можно рассматривать как матрицу близко расположенных МДП-конденсаторов. В основе работы лежит принцип зарядовой связи. Принцип зарядовой связи использует два известных из электростатики положения:

- одноимённые заряды отталкиваются,
- заряды стремятся расположиться там, где их потенциальная энергия минимальна.

В общем виде конструкция ПЗС-элемента выглядит так: кремниевая подложка р — типа оснащается каналами из полупроводника n -типа. Над каналами создаются электроды из поликристаллического кремния с изолирующей прослойкой из оксида кремния. После подачи на такой электрод электрического потенциала, в обеднённой зоне под каналом n -типа создаётся потенциальная яма, назначение которой — хранить электроны. Фотон, проникающий в кремний, приводит к генерации электрона, который притягивается потенциальной ямой и остаётся в ней. Большое количество фотонов (яркий свет) обеспечивает большой заряд ямы. Затем надо считать значение этого заряда, именуемого также фототоком, и усилить его.

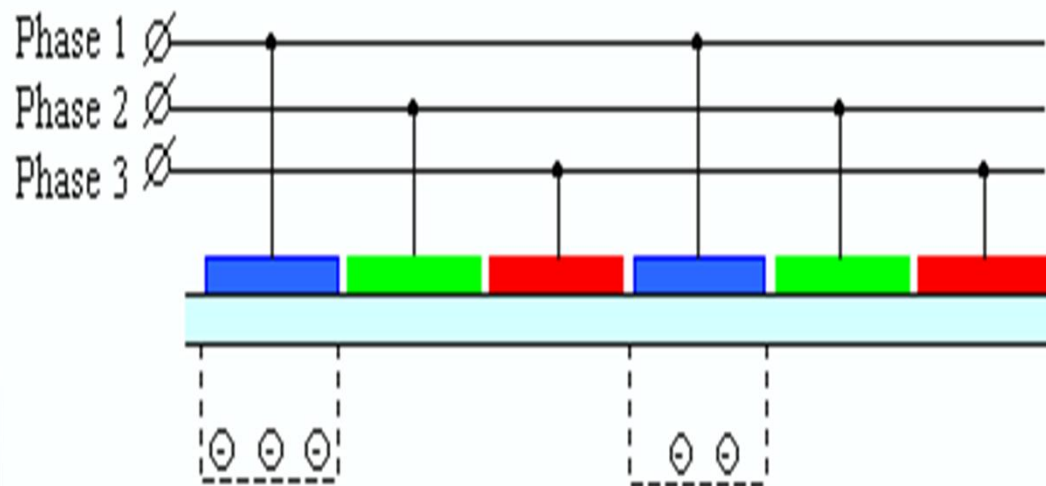
Пример пикселя ПЗС-матрицы с карманом:

- 1 — Фотоны света;
- 2 — Микролинза пикселя;
- 3 — Светофильтр пикселя (красный);
- 4 — Прозрачный электрод из поликристаллического кремния или оксида олова;
- 5 — Изолятор (оксид кремния);
- 6 — Кремниевый канал n-типа. Зона генерации носителей (зона внутреннего фотоэффекта);
- 7 — Зона потенциальной ямы (карман n-типа), где собираются электроны из зоны генерации носителей;
- 8 — Кремниевая подложка p-типа;

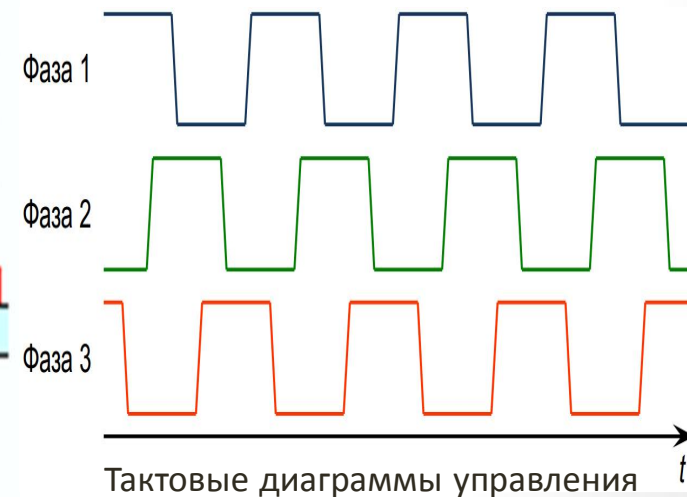


ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПЗС

Считывание фототоков ПЗС-элементов осуществляется так называемыми последовательными регистрами сдвига, которые преобразовывают строку зарядов на входе в серию импульсов на выходе. Данная серия представляет собой аналоговый сигнал, который в дальнейшем поступает на усилитель. Таким образом, при помощи регистра можно преобразовать в аналоговый сигнал заряды строки из ПЗС-элементов. Работа такого устройства базируется на способности приборов с зарядовой связью обмениваться зарядами своих потенциальных ям. Обмен осуществляется благодаря наличию специальных электродов переноса (transfer gate), расположенных между соседними ПЗС-элементами. При подаче на ближайший электрод повышенного потенциала заряд «перетекает» под него из потенциальной ямы. Между ПЗС-элементами могут располагаться от двух до четырёх электродов переноса, от их количества зависит «фазность» регистра сдвига, который может называться двухфазным, трёхфазным либо четырёхфазным. За один цикл переноса ПЗС-элементы передают по цепочке заряды слева направо (или же справа налево). Оказавшийся крайним ПЗС-элемент отдаёт свой заряд устройству, расположенному на выходе регистра— то есть усилителю.

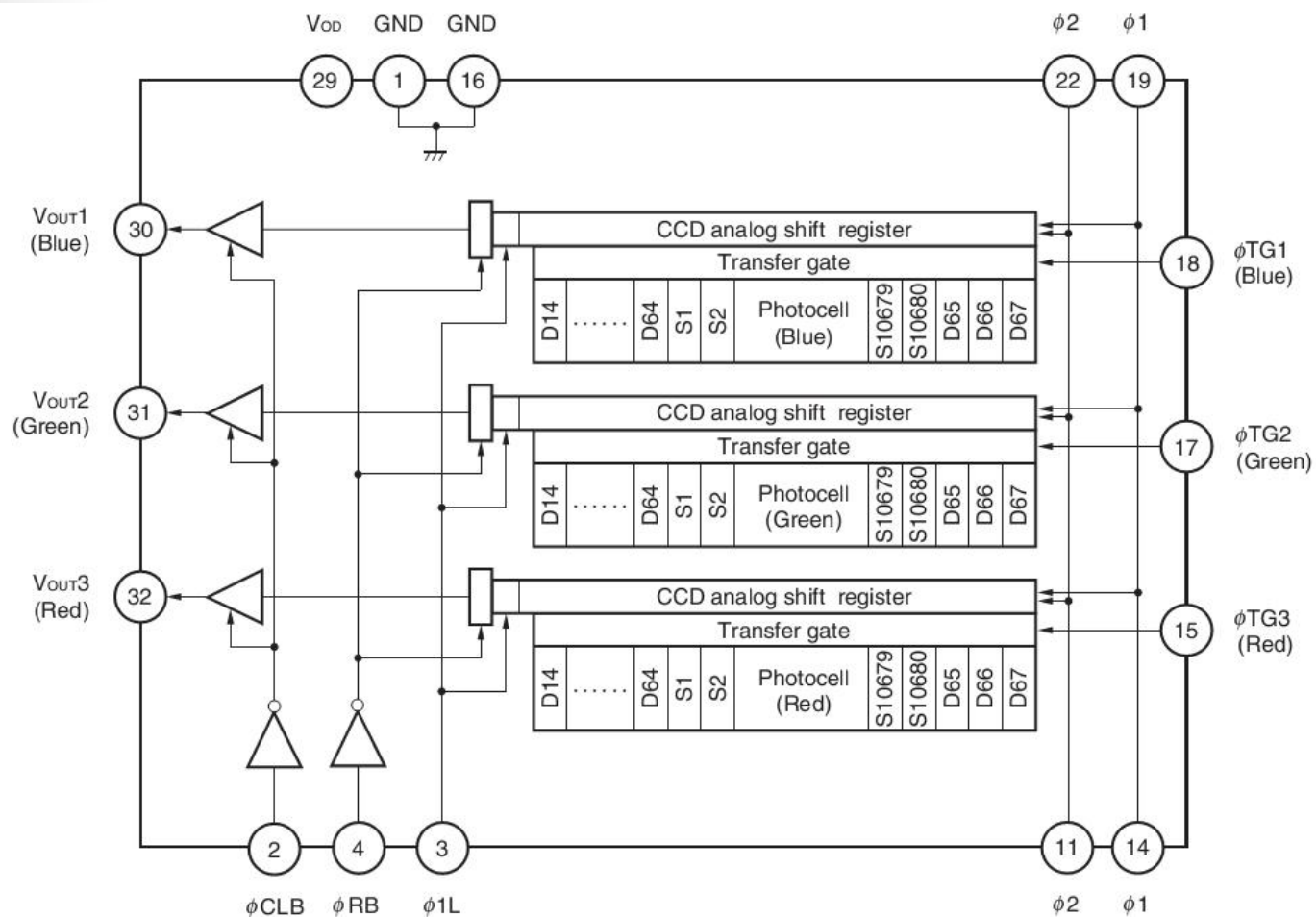


Передвижение зарядов при смене потенциалов.



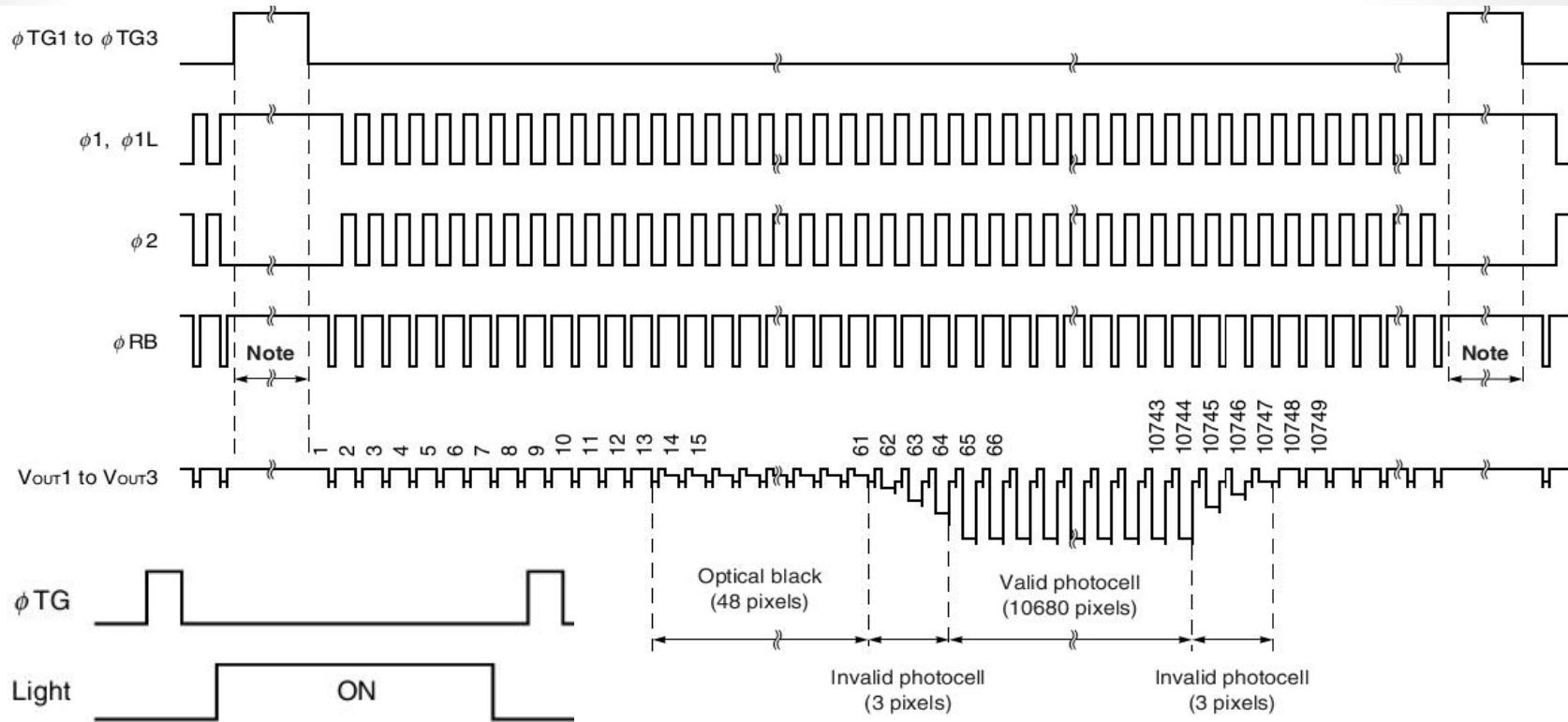
Тактовые диаграммы управления трёхфазным регистром - три меандра, сдвинутые на 120 градусов

СТРУКТУРА ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙКИ NES $\mu PD8871$

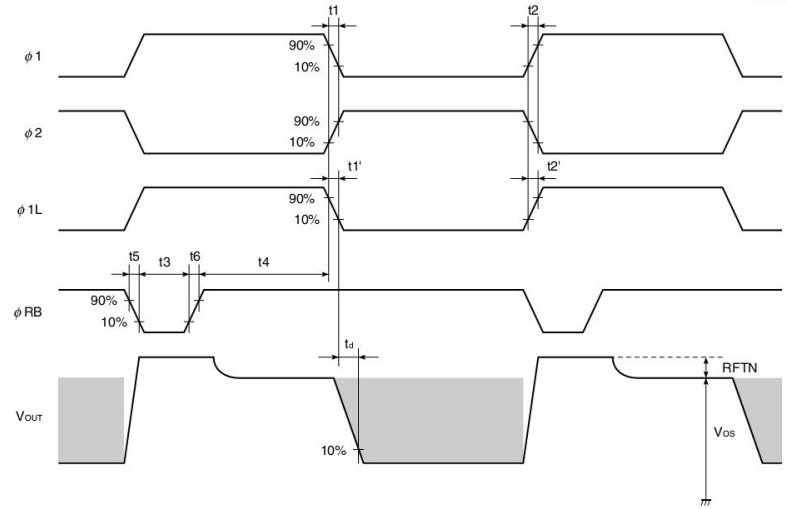


Рассматриваемый линейный ПЗС приёмник цветной поэтому содержит три независимых линии (R,G,B) с чувствительностью в разных областях спектра, соответственно красной, зелёной и синей. Этим обеспечивается цветопередача при сканировании. Параметры: количество эффективных пикселей - 10680×3 , размер пикселя - 4×4 мкм, частота тактирования до 10 МГц что составляет примерно 900 кадров в секунду.

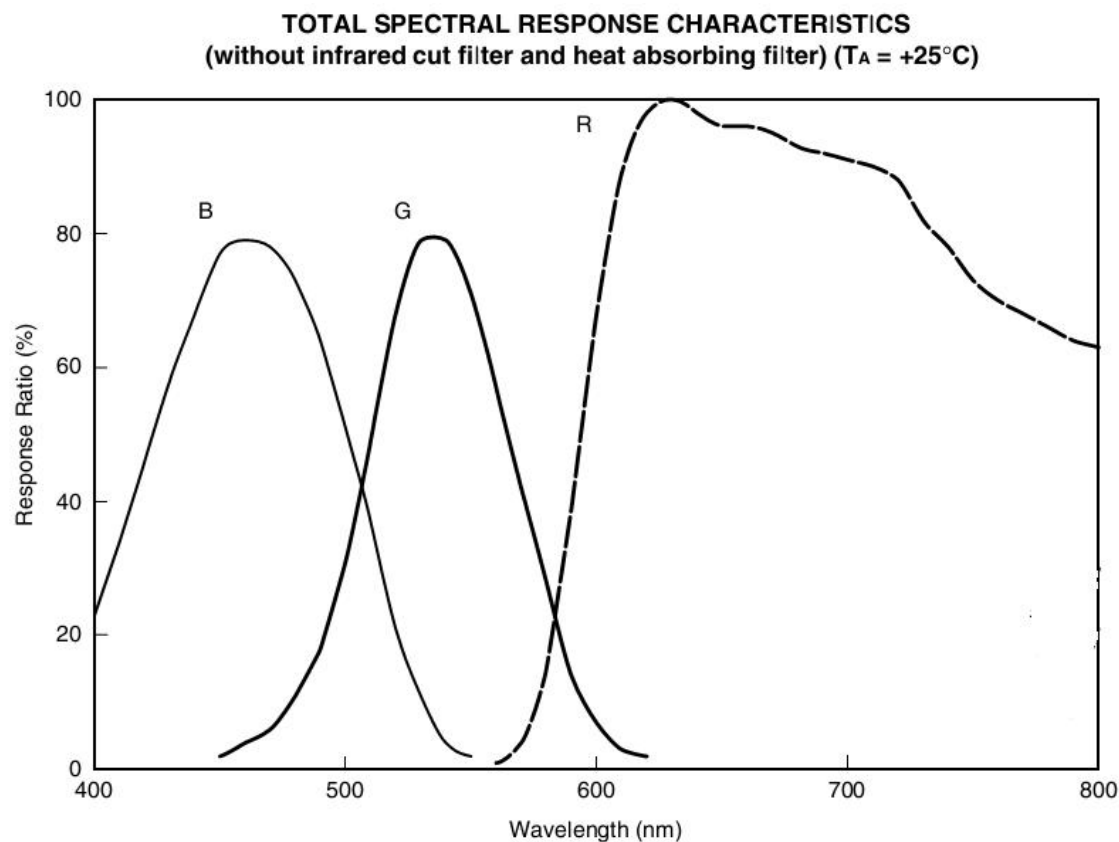
ДИАГРАММА РАБОТЫ ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙКИ NEC $\mu PD8871$



Применяется трёхфазное тактирование сигналами $\phi 1, \phi 2$ и $\phi 1L$. Старт сканирования соответствующей линии начинается с приходом сигнала ϕTG . На выходе три аналоговых сигнала соответствующих трём цветам. Периодом экспозиции является время между импульсами ϕTG . Электронный затвор у линейки отсутствует.

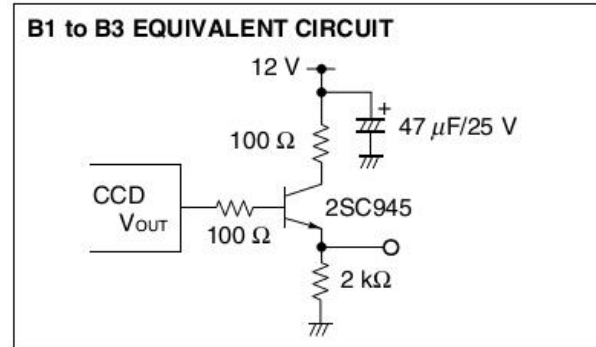
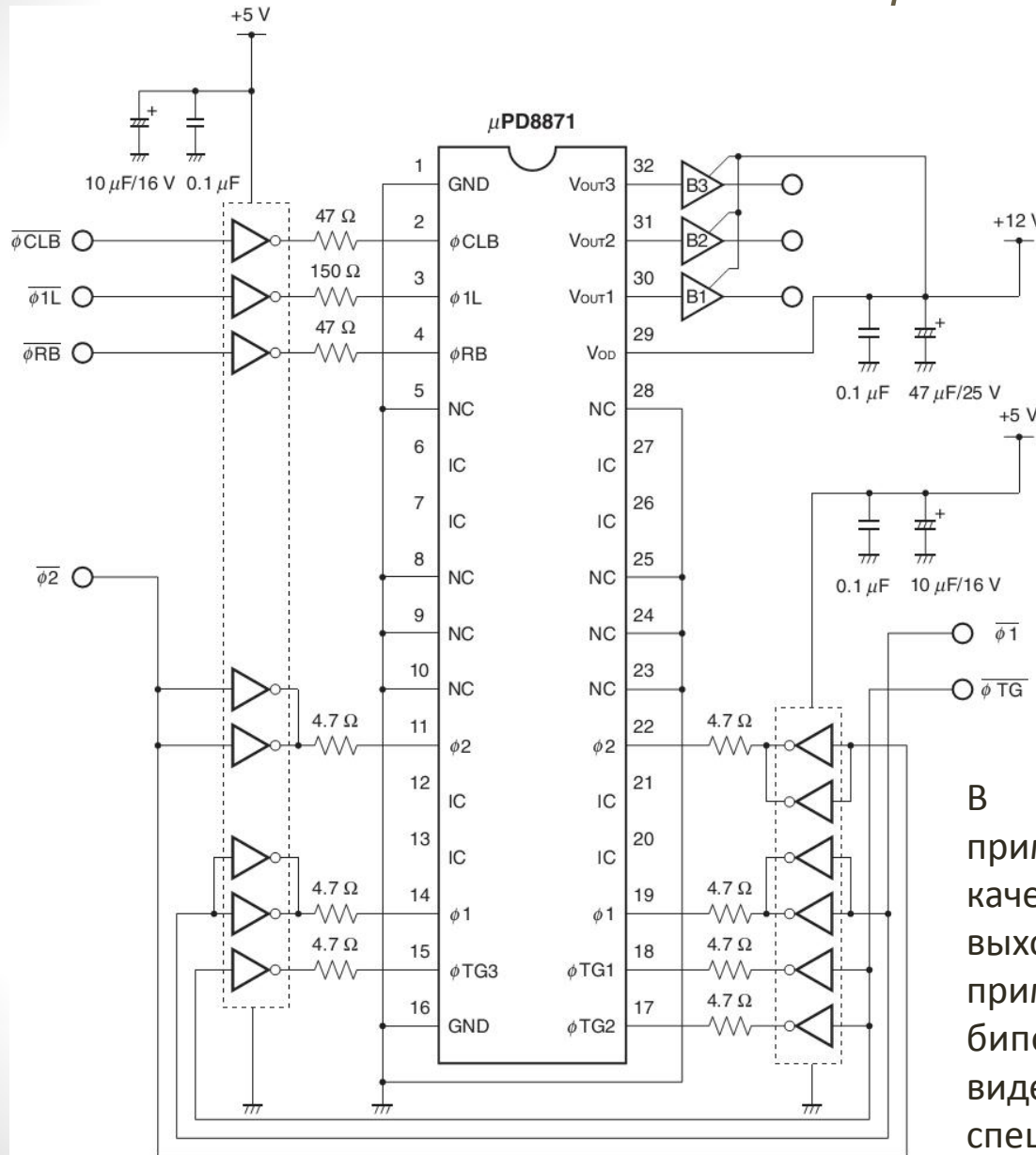


СПЕКТРАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙКИ NEC $\mu PD8871$



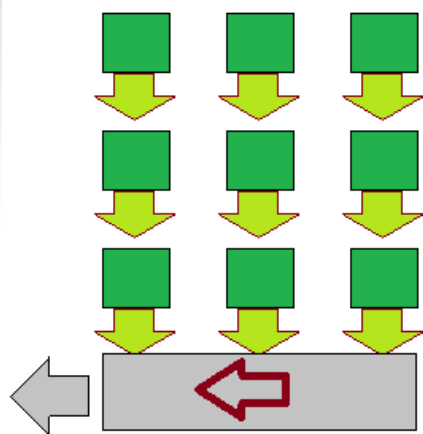
Спектральная характеристика для RGB выходов

ТИПИЧНАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЛИНЕЙКИ NEC μ PD8871



В качестве буферного элемента применён инвертор 74АС04. В качестве буферного элемента для выходного аналогового сигнала применён быстродействующий биполярный транзистор. Далее видеосигнал подаётся на специализированный АЦП

МАТРИЦЫ С ПОЛНОКАДРОВЫМ ПЕРЕНОСОМ (АНГЛ. FULL-FRAME).



Матрицы с полнокадровым переносом (англ. full-frame).

Архитектура полнокадровой матрицы реализует построчный способ считывания изображения после экспозиции. Каждая строка изображения считывается поочередно через горизонтальный регистр сдвига. В результате все пиксели кадра опускаются на строку ниже, и процесс повторяется, пока не считывается вся картинка целиком.

Недостаток этого метода регистрации изображения — в проявлении такого эффекта, как смазывание (англ. smear), вызванного нежелательным поглощением света матрицей во время процесса считывания. Чтобы избежать смазывания, на устройство монтируют механический затвор, который закрывает матрицу на время переноса заряда к выходному усилителю.

Преимущества:

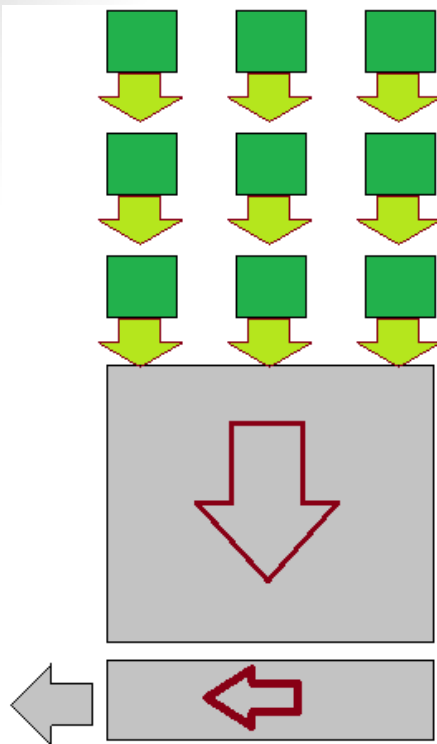
- Простота технологического цикла;
- Возможность занять 100% поверхности светочувствительными элементами.

Недостатки:

- При считывании данных следует перекрывать затвором источник света, чтобы избежать появления эффекта смазывания;
- Частота считывания ограничена скоростями работы последовательного и параллельного регистров сдвига. От этого же зависит интервал перекрытия матрицы затвором.

Тем не менее матрицы полнокадрового переноса наиболее чувствительны, поэтому они находят свое применение в таких областях, как наука, астрономия, космическое оборудование и профессиональная фототехника. В частности, большинство профессиональных зеркальных фотоаппаратов, микроскопов высокого разрешения, а также фото- и видеокамер, устанавливаемых на космические аппараты и телескопы, построены именно на этом типе матриц.

МАТРИЦЫ С КАДРОВЫМ ПЕРЕНОСОМ. (АНГЛ. FRAME TRANSFER).



Матрицы с кадровым переносом. (англ. frame transfer).

Матрица с кадровым переносом в отличие от предыдущей схемы имеет промежуточную, покрытую защитным экраном буферную область, куда перемещается спроецированный на матрицу кадр. Непрерывная работа достигается без срабатывания электронного затвора, что повышает скорость переноса кадров. Однако необходимость работы с двумя полупроводниковыми матрицами приводит к снижению разрешения, повышению уровня шумов и стоимости прибора.

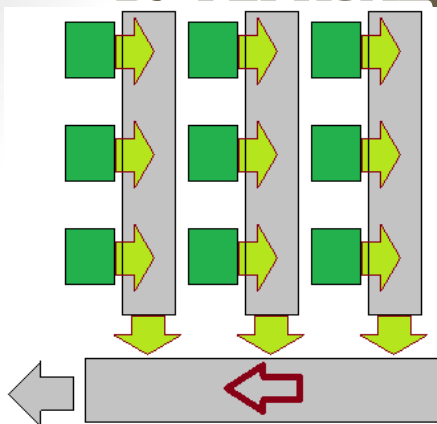
Преимущества:

- Возможность занять 100% поверхности светочувствительными элементами;
- Время считывания ниже, чем у матрицы с полнокадровым переносом;
- Смазывание меньше, чем в ПЗС-матрице с полнокадровым переносом;
- Имеет преимущество рабочего цикла по сравнению полнокадровой архитектурой: ПЗС-матрица с кадровым переносом всё время собирает фотоны.

Недостатки:

- При считывании данных следует перекрывать затвором источник света, чтобы избежать появления эффекта смазывания;
- Увеличен путь перемещения заряда, что негативно сказывается на эффективности передачи заряда;
- Изготовление и производство данных матриц дороже, чем устройств с полнокадровым переносом.

МАТРИЦЫ С МЕЖСТРОЧНЫМ ПЕРЕНОСОМ ИЛИ МАТРИЦЫ С БУФЕРИЗАЦИЕЙ СТОЛБЦОВ (АНГЛ. INTERLINE-TRANSFER).



Матрицы с межстрочным переносом или матрицы с буферизацией столбцов (англ. Interline-transfer).

Матрицы с чересстрочным считыванием состоят из нескольких линеек светочувствительных ячеек, параллельно которым размещены буферные линейки, покрытые защитным экраном, а также сдвиговые регистры.

Захваченная линейками информация смещается в закрытые от света буферные области, откуда по сдвиговым регистрам передается в нижний сдвиговый регистр, усилитель и на блок аналогово-цифрового преобразования. Благодаря буферным строкам есть возможность реализовать *электронный затвор*, который, во-первых, позволяет при необходимости обойтись без механического затвора, а во-вторых, обеспечивает сверхмалые (до $1/100000$ секунды) значения выдержки, особенно критичные для съемки быстротекущих процессов (спорт, наука и т.д.).

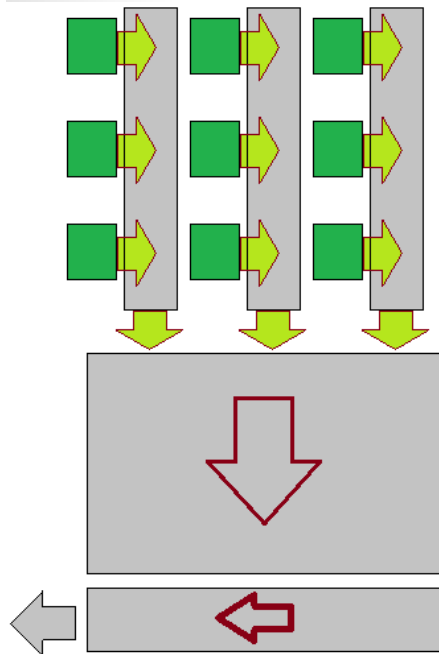
Преимущества:

- Процессы накопления и переноса заряда пространственно разделены;
- Заряд из элементов накопления передаётся в закрытые от света ПЗС-матрицы регистры переноса;
- Перенос заряда всего изображения осуществляется за 1 такт;
- Нет необходимости применять затвор;
- Отсутствует смазывание.

Недостатки:

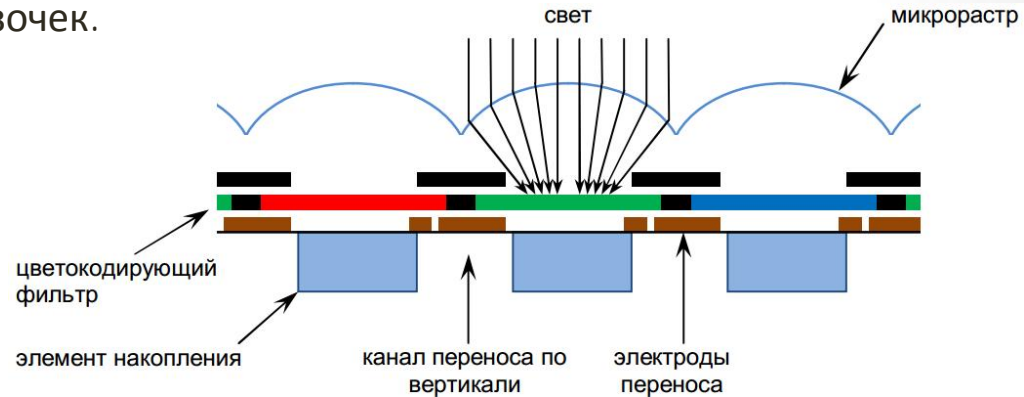
- Возможность заполнить поверхность чувствительными элементами не более чем на 50%.
- Скорость считывания ограничена скоростью работы регистра сдвига;
- Разрешающая способность ниже, чем у ПЗС-матриц с кадровым и полнокадровым переносом.

МАТРИЦЫ СО СТРОЧНО-КАДРОВЫМ ПЕРЕНОСОМ



Матрицы со строчно-кадровым переносом или матрицы с буферизацией столбцов (англ. interline).

По сравнению с матрицами с КП фактор заполнения в матрицах с МП или СКП примерно вдвое меньше, так как около половины площади фоточувствительной поверхности закрыто от света. Чтобы повысить эффективность сбора фотонов, используется микрорастр - массив небольших линзочек.



Преимущества:

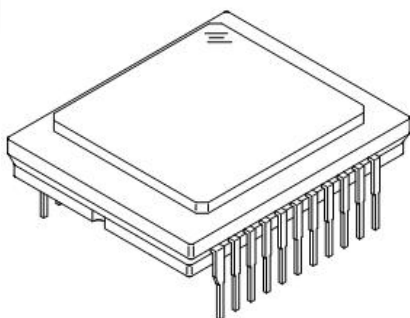
- Процессы накопления и переноса заряда пространственно разделены;
- Заряд из элементов накопления передаётся в закрытые от света ПЗС-матрицы регистры переноса;
- Перенос заряда всего изображения осуществляется за 1 такт;
- Отсутствует смазывание;
- Интервал между экспонированиями минимален и подходит для записи видео.

Недостатки:

- Возможность заполнить поверхность чувствительными элементами не более чем на 50%;
- Разрешающая способность ниже, чем у ПЗС-матриц с кадровым и полнокадровым переносом;
- Увеличен путь перемещения заряда, что негативно сказывается на эффективности передачи заряда.

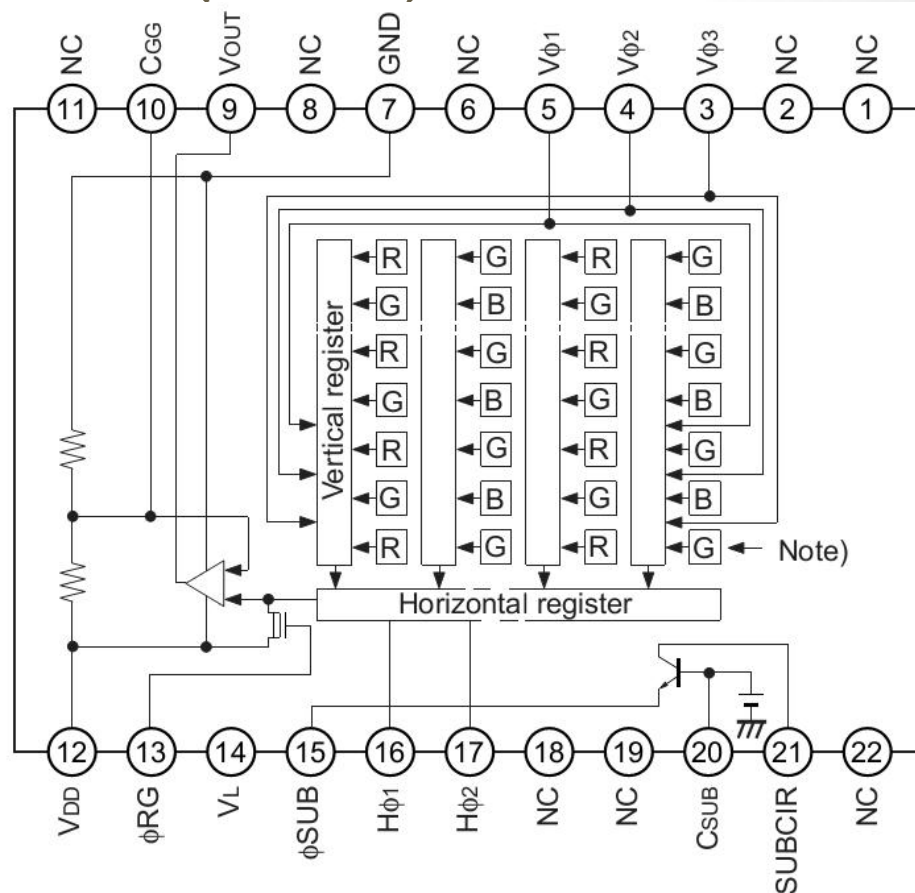
ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЦВЕТНОЙ МАТРИЦЫ SONY (ICX415)

22 pin DIP (Cer-DIP)

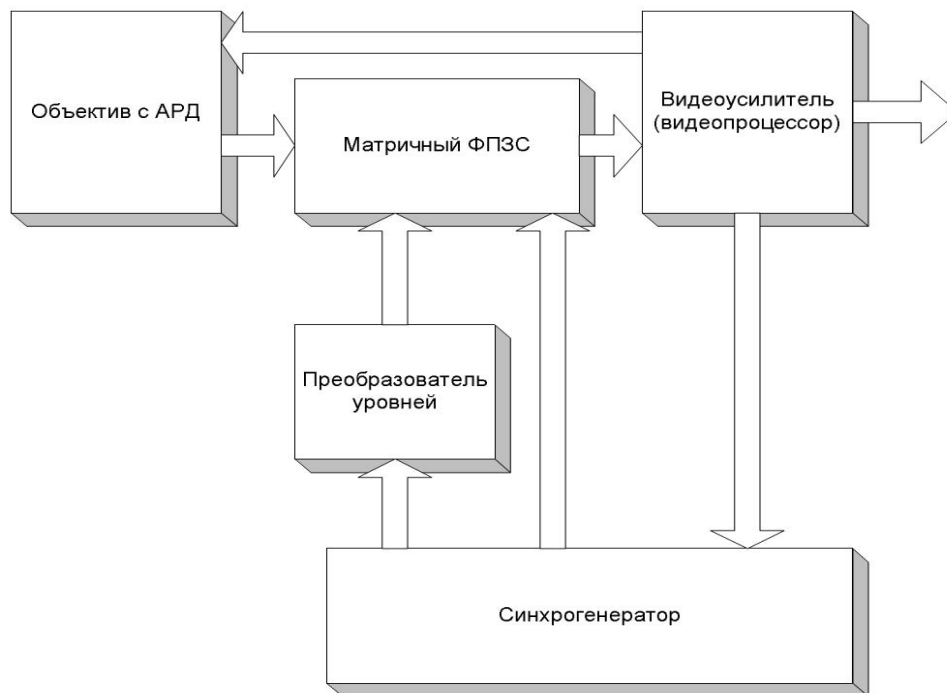


ОСОБЕННОСТИ

- Прогрессивная развертка позволяет индивидуальное считывание сигналов от всех пикселей.
- Буферизация столбцов позволяет считывать изображения без механического затвора.
- Квадратный пиксель.
- Горизонтальная частота опроса: 29.5MHz.
- R, G, B фильтры основных цветов на кристалле
- Все корректировки и смещения напряжений организованны на подложке.
- Высокое разрешение, низкий темновой ток, хорошая цветопередача, высокая чувствительность.
- Низкая смазываемость кадра.
- Размер матрицы: Диагональ 8 мм (тип 1/2)
- Число эффективных пикселей: 782 (H) × 582 (V) точек т.е. 460K пикселей



ТИПИЧНАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА НА ФПЗС

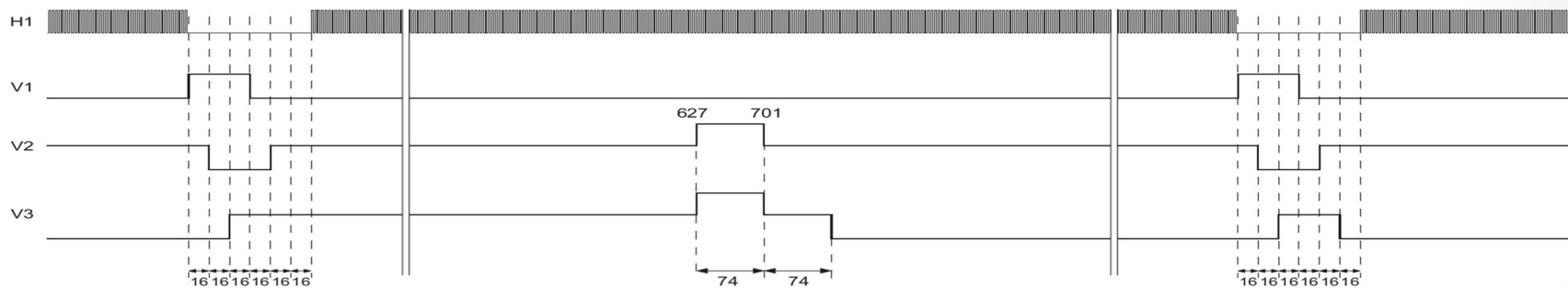


Структура устройства с ПЗС

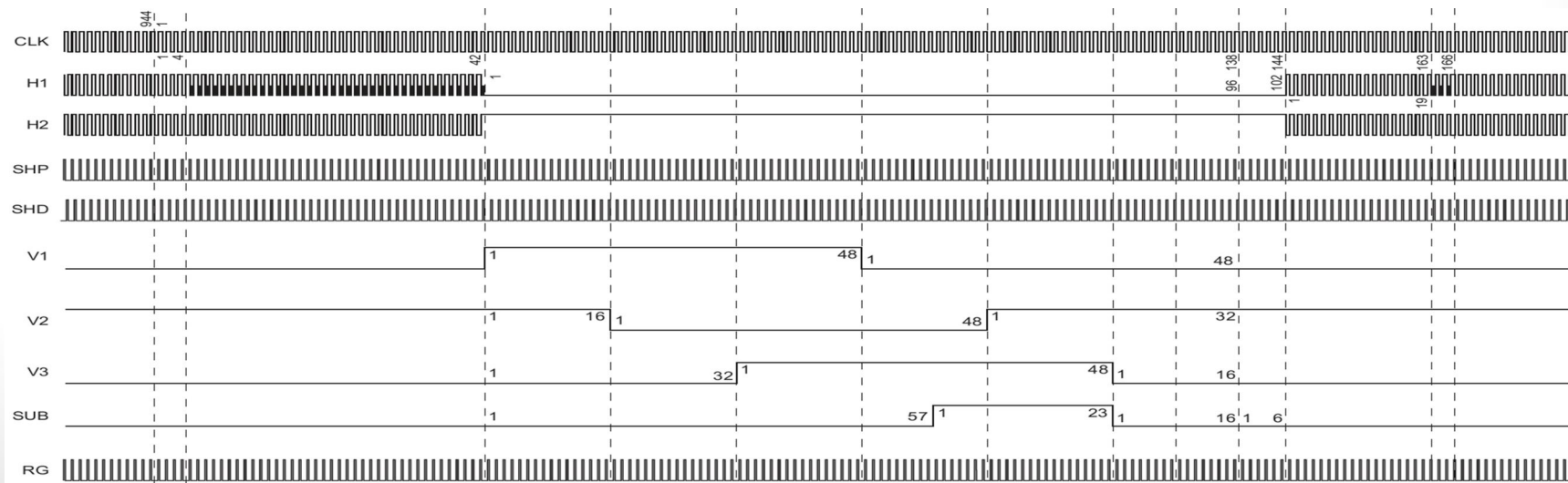
Часто для синхронизации конкретного типа ПЗС матриц или серии однотипных матриц существуют специально разработанные под них вспомогательные драйверы (преобразователи уровней) управления позволяющие облегчить задачу тактирования. В качестве исходного генератора сигналов для синхронизации ПЗС приёмников линейного и матричного типа применяются как правило специализированные процессоры, программируемые логические схемы и реже (в простых случаях) универсальные микроконтроллеры или микропроцессоры.

СИНХРОНИЗАЦИЯ ПЗС НА ПРИМЕРЕ ЦВЕТНОЙ МАТРИЦЫ SONY (ICX415)

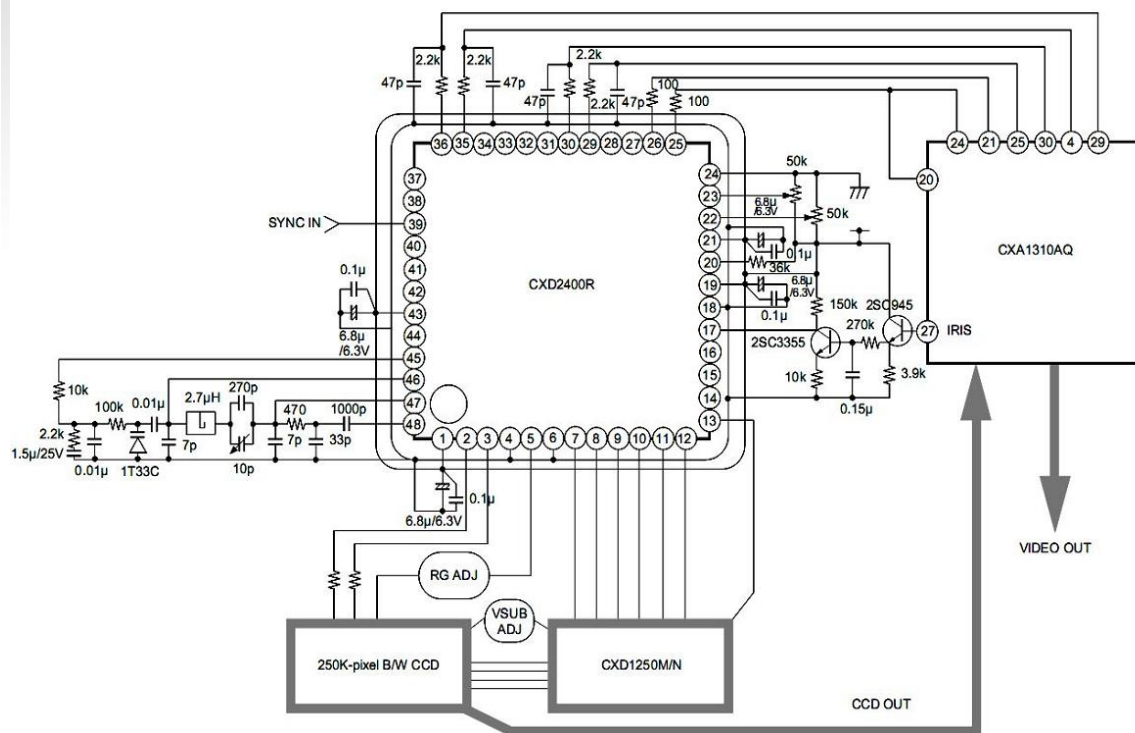
Вертикальная синхронизация.



Горизонтальная синхронизация.



ВКЛЮЧЕНИЕ ФЗС НА ОСНОВЕ КОМПОНЕНТОВ SONY



Структурная схема камеры на ФЗС

Управляет работой матричного фотоприемника синхрогенератор CXD2400. Синхрогенератор вырабатывает все необходимые для работы ФЗС сигналы в виде последовательности импульсов. При этом часть сигналов с уровнями напряжений КМОП (0 или 5 В) подаются непосредственно на ФЗС. Но часть сигналов (электроды фаз переноса) требуют других уровней напряжения. Для получения таких уровней сигналы с синхрогенератора поступают на ФЗС через специальный преобразователь уровней CXD1250.

Видеопроцессор CXA1310 служит для усиления выходного аналогового видеосигнала с ФЗС, замешивания в него синхроимпульсов и выполняет другие функции для получения видеосигнала в соответствии с необходимым телевизионным стандартом. Кроме того, видеопроцессор выполняет функции управления автоматической регулировки чувствительности, используя при этом три контура управления:

- регулировку времени накопления;
- регулировку коэффициента усиления видеоусилителя;
- управление диафрагмой объектива .

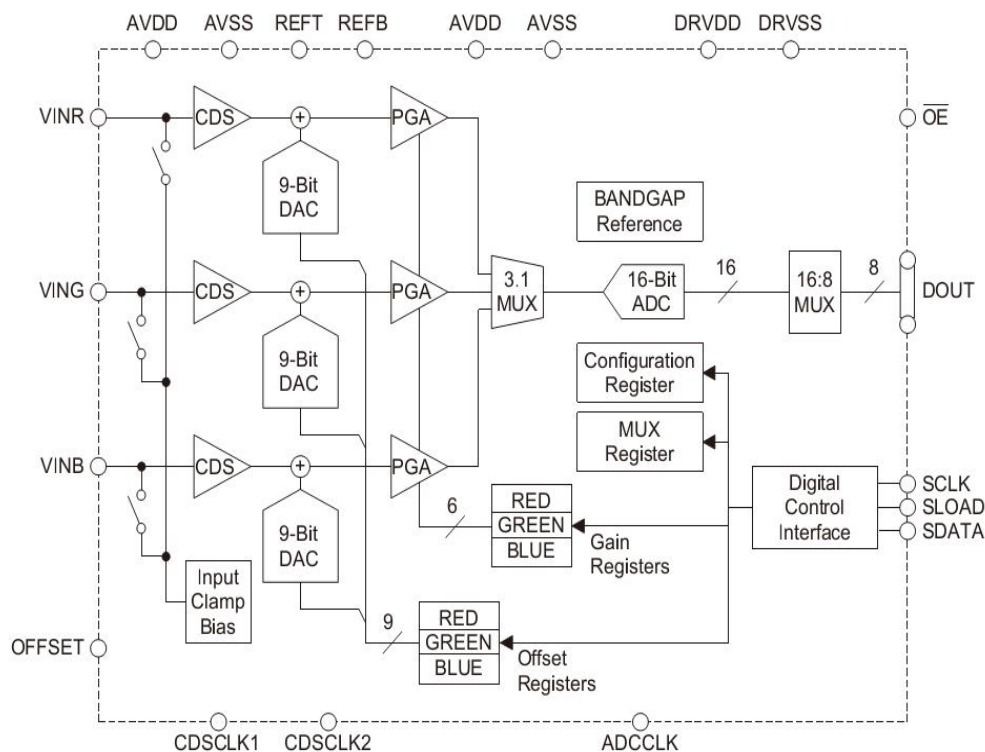
Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

АЦП — электронное устройство, преобразующее напряжение в двоичный цифровой код.

Наиболее распространенные архитектуры АЦП:

- **Параллельные АЦП прямого преобразования** - содержат по одному компаратору на каждый дискретный уровень входного сигнала.
- **Параллельно-последовательные АЦП прямого преобразования** - Используют два или более шага-поддиапазона. Содержат в своем составе k параллельных АЦП прямого преобразования.
- **АЦП двойного интегрирования** - На первом этапе значение входного напряжения преобразуется в ток, который подаётся на интегратор. Затем накопленный заряд подключается к генератору тока. Процесс разряда длится до тех пор, пока заряд в интеграторе не уменьшится до нуля. Время разряда измеряется путём счёта тактовых импульсов. Посчитанное количество тактовых импульсов и будет выходным кодом АЦП.
- **АЦП последовательного приближения** - содержит компаратор, вспомогательный ЦАП и регистр последовательного приближения. АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой за N шагов, где N — разрядность АЦП. На каждом шаге определяется по одному биту искомого цифрового значения, начиная от СЗР и заканчивая МЗР.
- **Сигма-дельта АЦП** - производит аналого-цифровое преобразование с частотой дискретизации, во много раз превышающей требуемую и путём фильтрации оставляет в сигнале только нужную спектральную полосу.

АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПЗС НА ПРИМЕРЕ HT82V26A «Holtek Semiconductor Inc»



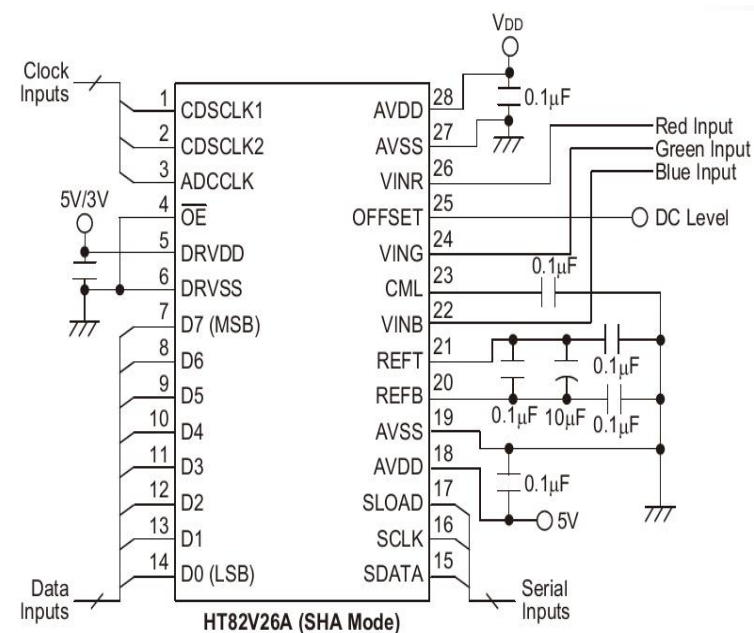
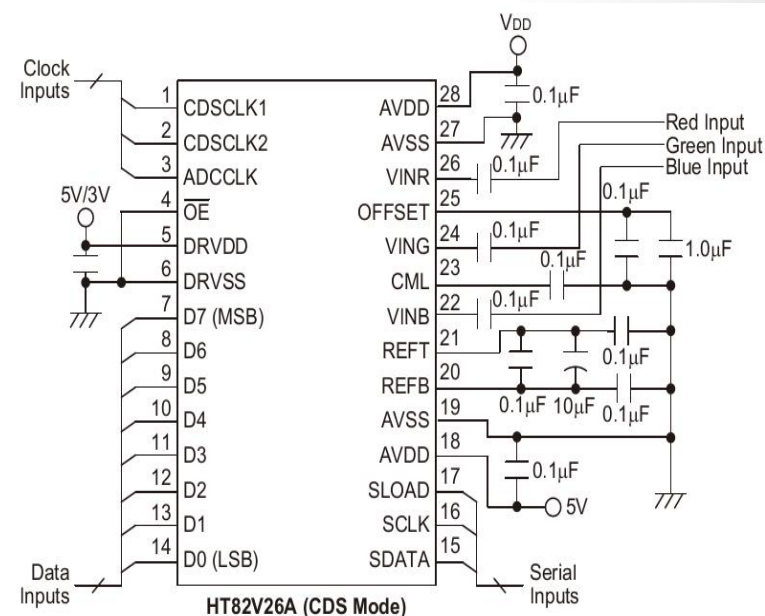
Видеосигнал, необходимо перевести в понятный микропроцессору цифровой формат. Для этого используется аналого-цифровой преобразователь, АЦП (analog to digital convertor, ADC)— устройство, преобразующее аналоговый сигнал в последовательность цифр. Его главной характеристикой является разрядность, то есть количество распознаваемых и кодируемых дискретных уровней сигнала. Чтобы вычислить количество уровней, достаточно возвести двойку в степень разрядности.

Например, «разрядность 8 бит» обозначает, что преобразователь в состоянии определить 2 в восьмой степени уровней сигнала и отобразить их в виде 256 различных значений. При большой разрядности АЦП можно (теоретически) достигнуть большей глубины цвета (color depth), то есть разрядности обработки цвета, описывающей максимальное количество цветовых оттенков, которое можно воспроизвести. Глубина цвета обычно выражается в битах, а количество оттенков вычисляется так же, как и количество уровней сигнала АЦП. К примеру, при 24-битной глубине цвета можно получить 16777216 оттенков цвета.

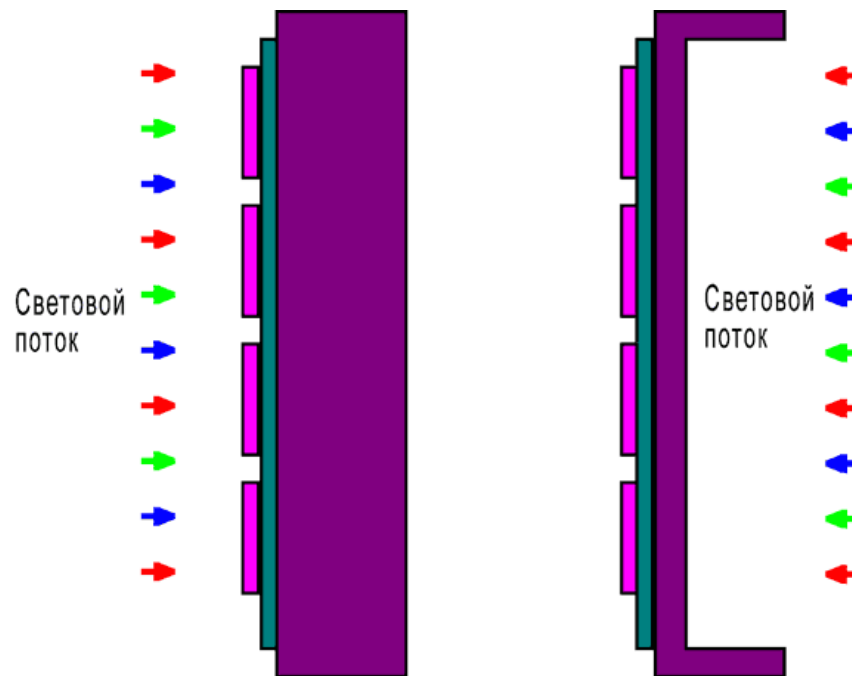
ПОДКЛЮЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АЦП ПРИМЕРЕ HT82V26A «Holtek Semiconductor Inc»

особенности

- Рабочее напряжение: 5V
- Низкая потребляемая мощность при 400 мВт (тип.)
- Режим низкого энергопотребления: При 2 мА (тип.)
- 16-битный 30 MSPS АЦП
- Гарантированное преобразование без потери кода
- Программируемый коэффициент усиления от 1 до 6
- Программируемое смещение входного сигнала до 250 мВ
- Внутреннее опорное напряжение
- Мультиплексированный параллельный выход (в формате 8 + 8 бит)
- Последовательный Программируемый 3-х проводной интерфейс
- Совместимость цифрового ввода/ вывода 3V / 5V
- 3-канала обработки (RGB) до 30 MSPS
- 2-канальный режим (чет-нечет) до 30 MSPS
- 28-контактный SSOP / SOP корпус



CCD С ОБРАТНОЙ ЗАСВЕТКОЙ



В классической схеме ПЗС-элемента, при которой используются электроды из поликристаллического кремния, чувствительность ограничена по причине частичного рассеивания света поверхностью электрода. Поэтому при съёмке в особых условиях, требующих повышенной чувствительности в синей и ультрафиолетовой областях спектра, применяются матрицы с обратной засветкой (back -illuminated matrix). В сенсорах такого типа регистрируемый свет падает на подложку, а чтобы обеспечить требуемый внутренний фотоэффект подложка шлифуется до толщины 10–15 микрон. Данная стадия обработки сильно удорожает стоимость матрицы, кроме того, устройство получается очень хрупким и требует повышенной осторожности при сборке и эксплуатации.

Очевидно, что при использовании светофильтров, ослабляющих световой поток, все дорогостоящие операции по увеличению чувствительности теряют смысл, поэтому матрицы с обратной засветкой применяются по большей части в астрономической фотографии.

ПРИЕМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПЗС ПРИЁМНИКОВ

Преимущества ПЗС-матриц:

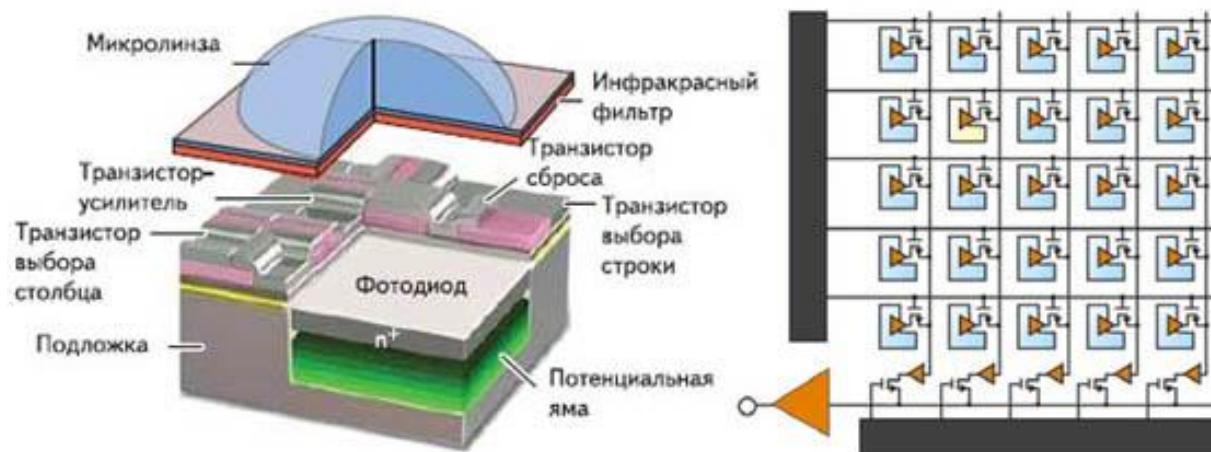
- *Конструкция матрицы обеспечивает высокую плотность размещения фотоэлементов (пикселей) на подложке;*
- *Высокая эффективность (отношение зарегистрированных фотонов к их общему числу, составляет около 95%);*
- *Высокая чувствительность;*
- *Хорошая цветопередача (при достаточном освещении).*

Недостатки ПЗС-матриц:

- *Высокий уровень шума на высоких ISO (на низких ISO, уровень шума умеренный);*
- *Низкая скорость работы в сравнении с CMOS-матрицами;*
- *Высокое энергопотребление;*
- *Более сложная технология считывания сигнала, так как необходимо много управляющих микросхем;*
- *Производство обходится дороже чем CMOS-матриц.*

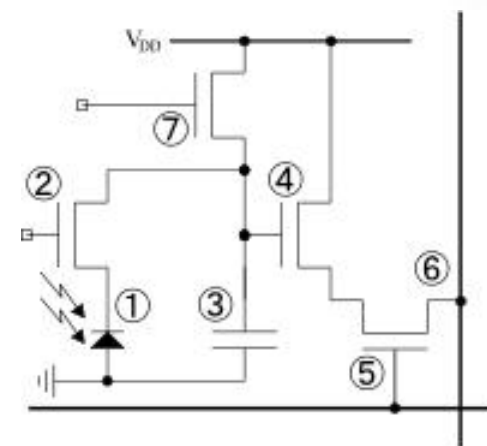
КМОП (CMOS) МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ПРИЁМНИКИ ПРИНЦИП РАБОТЫ И УСТРОЙСТВО

Матрица CMOS, или КМОП-матрица (Комплементарные Металл-Оксидные Полупроводники) использует активные точечные сенсоры. В отличие от ПЗС-матриц, КМОП-матрица содержит отдельный транзистор в каждом светочувствительном элементе (пикселе) в результате чего преобразование заряда выполняется непосредственно в пикселе. Полученный заряд может быть считан из каждого пикселя индивидуально, поэтому отпадает необходимость переноса заряда (как это происходит в ПЗС-матрицах). Пиксели КМОП-матрицы интегрируются непосредственно с аналогово-цифровым преобразователем или даже с процессором. В результате применения такой рациональной технологии происходит экономия энергии за счет сокращения цепочек действий по сравнению с матрицами CCD, а также удешевление устройства за счет более простой конструкции.



Сечение пикселя КМОП-матрицы

Краткий принцип работы КМОП-матрицы: 1) Перед съемкой на транзистор сброса подается сигнал сброса. 2) Во время экспозиции свет проникает через линзу и фильтр на фотодиод и в результате фотоэффекта в потенциальной яме накапливается заряд. 3) Считывается значение полученного напряжения. 4) Обработка данных и сохранение изображения.



Эквивалентная схема ячейки КМОП-матрицы: 1 — светочувствительный элемент (фотодиод); 2 — затвор; 3 — конденсатор, сохраняющий заряд с диода; 4 — усилитель; 5 — шина выбора строки; 6 — вертикальная шина, передающая сигнал процессору; 7 — сигнал сброса.

ОТЛИЧИЯ ТЕХНОЛОГИИ CCD И CMOS

Рис. 1 Структура CCD-матрицы

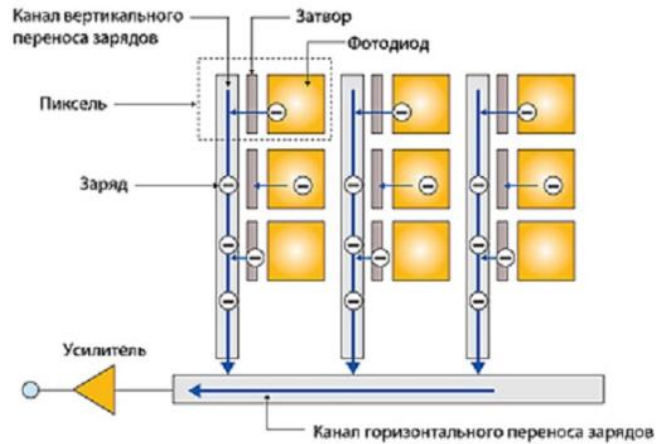
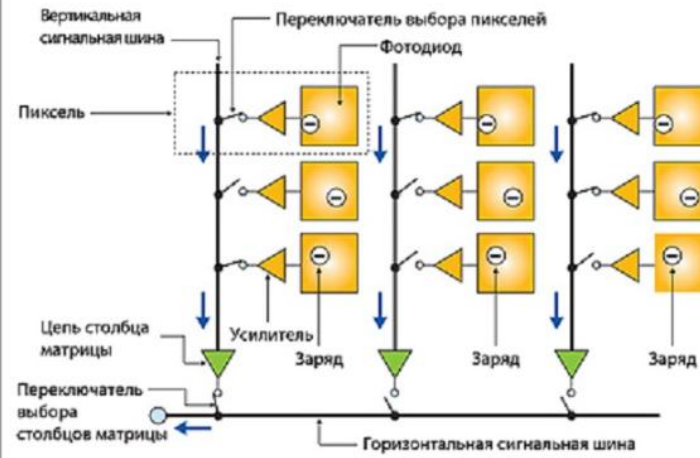
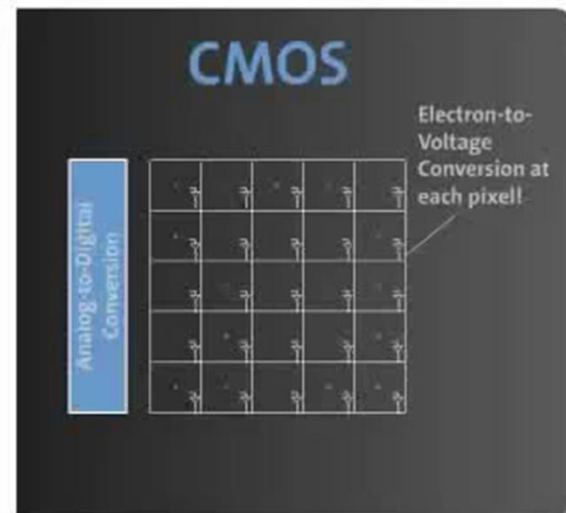
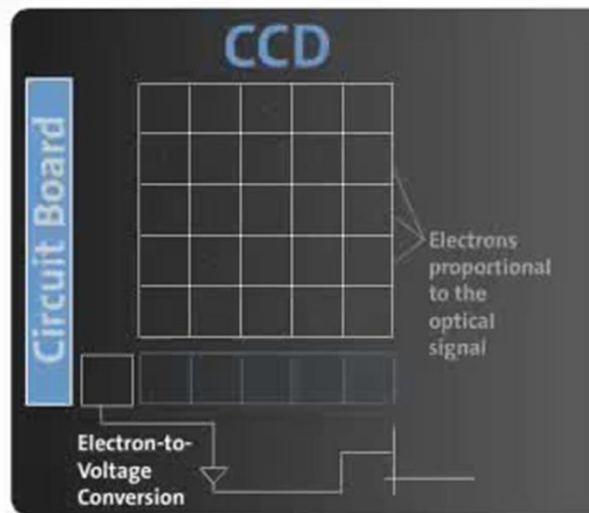


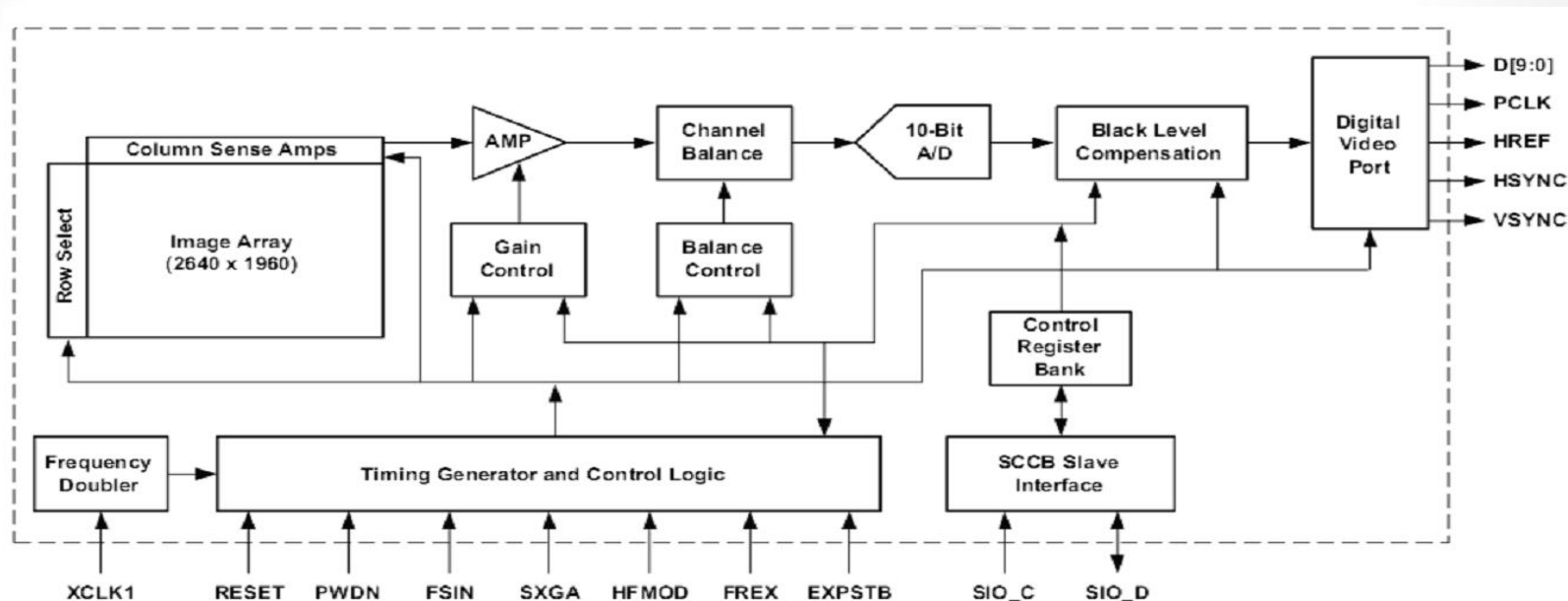
Рис. 2 Структура CMOS-матрицы



Dallmeier

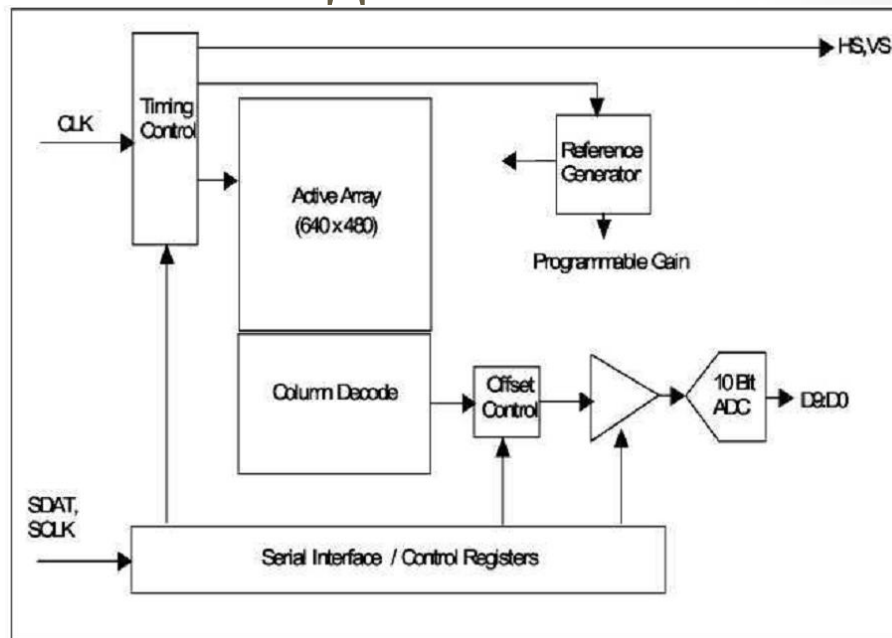


СТРУКТУРНАЯ СХЕМА КМОП- ФОТОПРИЕМНИКА НА ПРИМЕРЕ OV5610 «OMNIVISION»



На кристалл фотоприемника интегрируются большинство узлов для построения цифровой системы обработки изображения. К таким узлам кроме собственно фотоприемной матрицы с активными пикселями относятся управляемый генератор развертки, цифровой и аналоговый видеопроцессоры, АЦП, кодер композитного цветного видеосигнала, АЦП и блок управления. К таким приборам относится и КМОП- фотоприемник OV5610 фирмы Omni Vision. Его основу составляет фотоприемная матрица размером 2640x1960 элементов. Имеются встроенный видеоусилитель с регулируемым коэффициентом усиления, регулировка баланса белого, 10-разрядный АЦП, компенсатор уровня черного и цифровой видеопорт. Вся схема тактируется от одного общего генератора, с помощью которого формируются все необходимые для работы прибора тактовые последовательности. Управление режимами работы прибора производится программно с использованием встроенных регистров управления, доступ к которым обеспечивается с помощью приборного последовательного интерфейса I2C.

КАМЕРНЫЕ МОДУЛИ

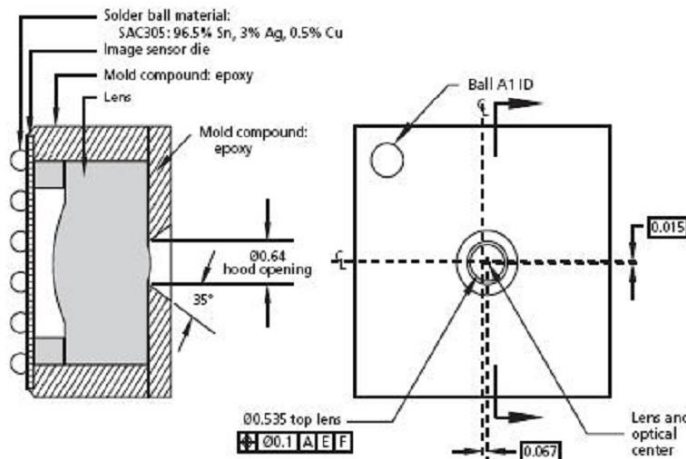
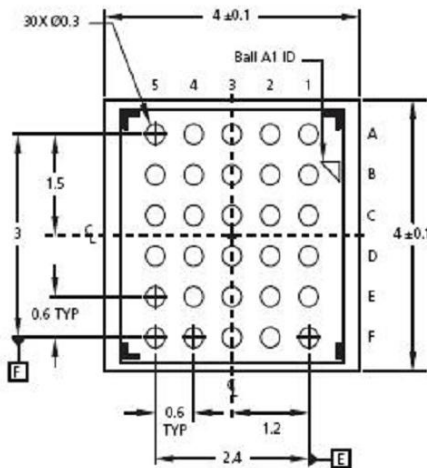
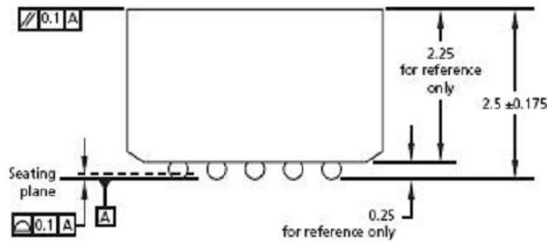
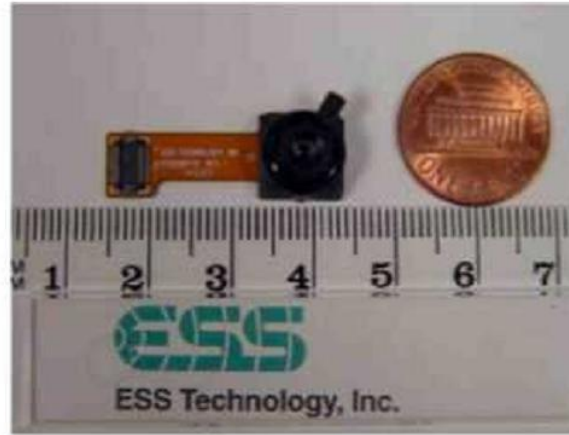


Камерный модуль *ES2196M*, его размер и блок-схема

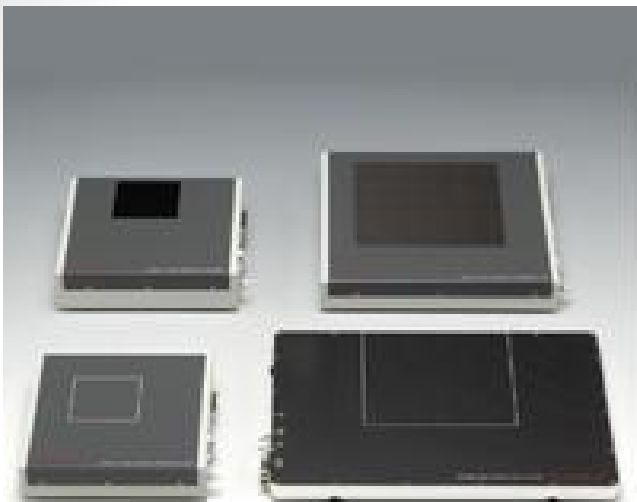
Как правило, подключение этих модулей достаточно простое и осуществляется прямо к приемному устройству (аналоговому или цифровому видеовходу). Многие из таких модулей стандартизованы и предлагаются прежде всего для многофункциональных мобильных устройств – мобильных телефонов, смартфонов, карманных компьютеров, ноутбуков и веб-камер. Камерные модули могут иметь различное разрешение и различные функциональные возможности. Определяются они прежде всего типом используемой в камерном модуле микросхемы КМОП-фотоприемника.

Модуль имеет в своем составе оптическую систему и может быть установлен непосредственно на печатную плату устройства, например, мобильного телефона. Внутренняя структура этого фотоприемника является упрощенной. Все настройки режимов производятся в аналоговом виде с использованием внутренних ЦАП. Аналого-цифровое преобразование осуществляется непосредственно перед выводом видеосигнала наружу. Формат фотоприемника 640x480 элементов.

КАМЕРНЫЕ МОДУЛИ (ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ)



ПАНЕЛЬНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ



Области применения

- неразрушающий контроль
- проверка электроники
- радиография в ветеринарии
- радиография полезных ископаемых
- медицина
- биопсия
- радиография в мягком рентгене
- дифракция рентгеновских лучей

Компания Hamamatsu производит плоскочелюстные детекторы для различных применений, связанных с детектированием рентгеновского изображения:

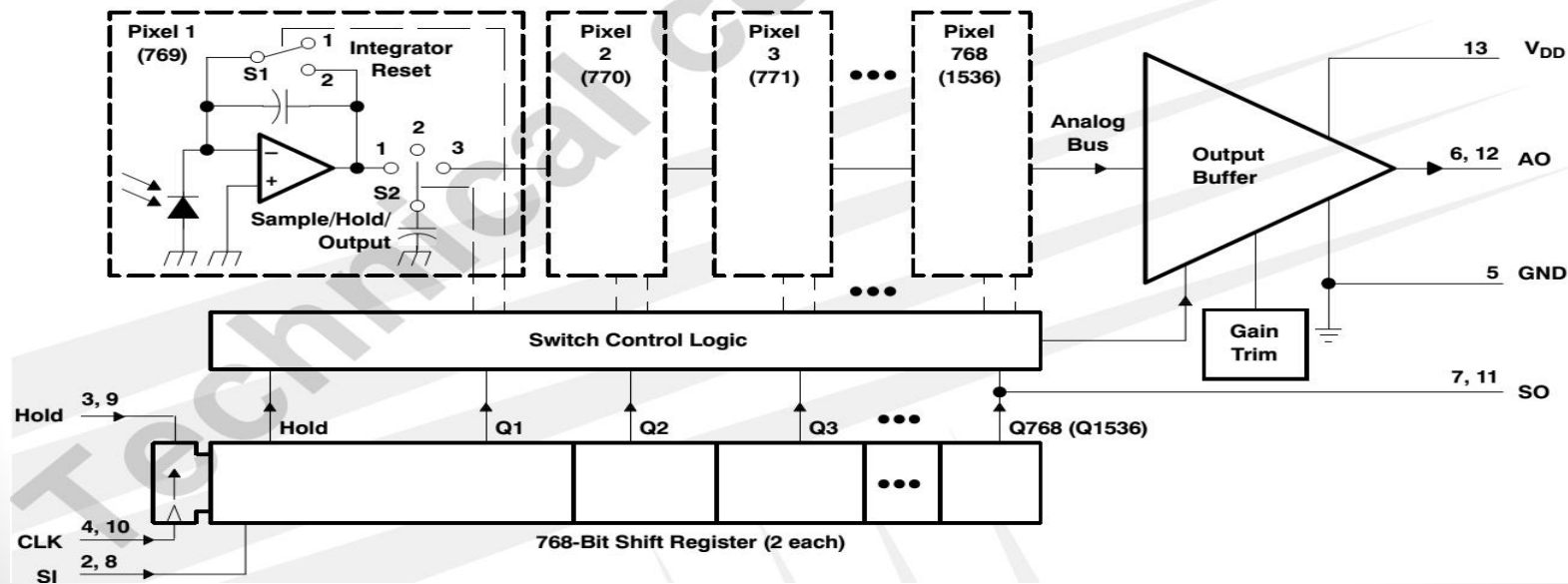
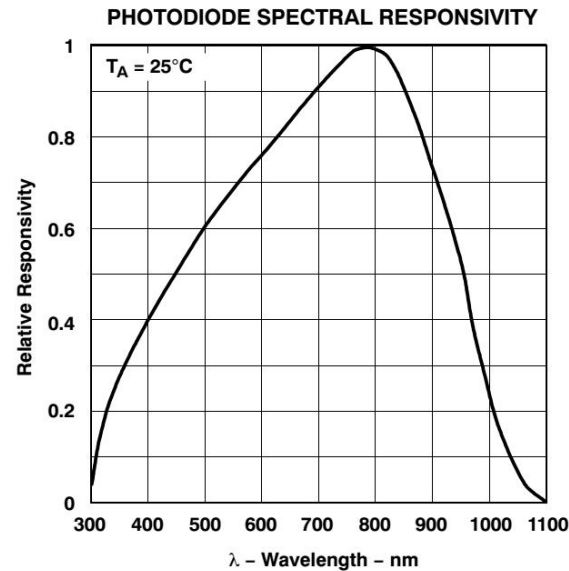
Каждый плоскочелюстный детектор состоит из монолитного КМОП сенсора, который позволяет получить бесшовное высококачественное изображение без искажений. Пользователь может выбрать один из четырех типов сцинтилляторов, которым будет покрыта активная область детектора.

Сцинтилляторы — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения (гамма-квантов, электронов, альфа-частиц и т. д.)

Каждый детектор может быть подключен к компьютеру посредством фреймграббера или в некоторых случаях через интерфейс USB 2.0. Также поставляются различные типы кабелей для плоскочелюстных детекторов.

КМОП ПРИЁМНИКИ ЛИНЕЙНОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ TSL1412S «TAOS»

- 1536 × 1 ячеек
- 400 точек на дюйм
- Высокая линейность и однородность выходного сигнала
- Широкий динамический диапазон 4000: 1 (72 дБ)
- Частота тактирования до 8 МГц



структурная схема

ТАКТИРОВАНИЕ КМОП ПРИЁМНИКИ ЛИНЕЙНОГО ТИПА НА ПРИМЕРЕ TSL1412S «TAOS»

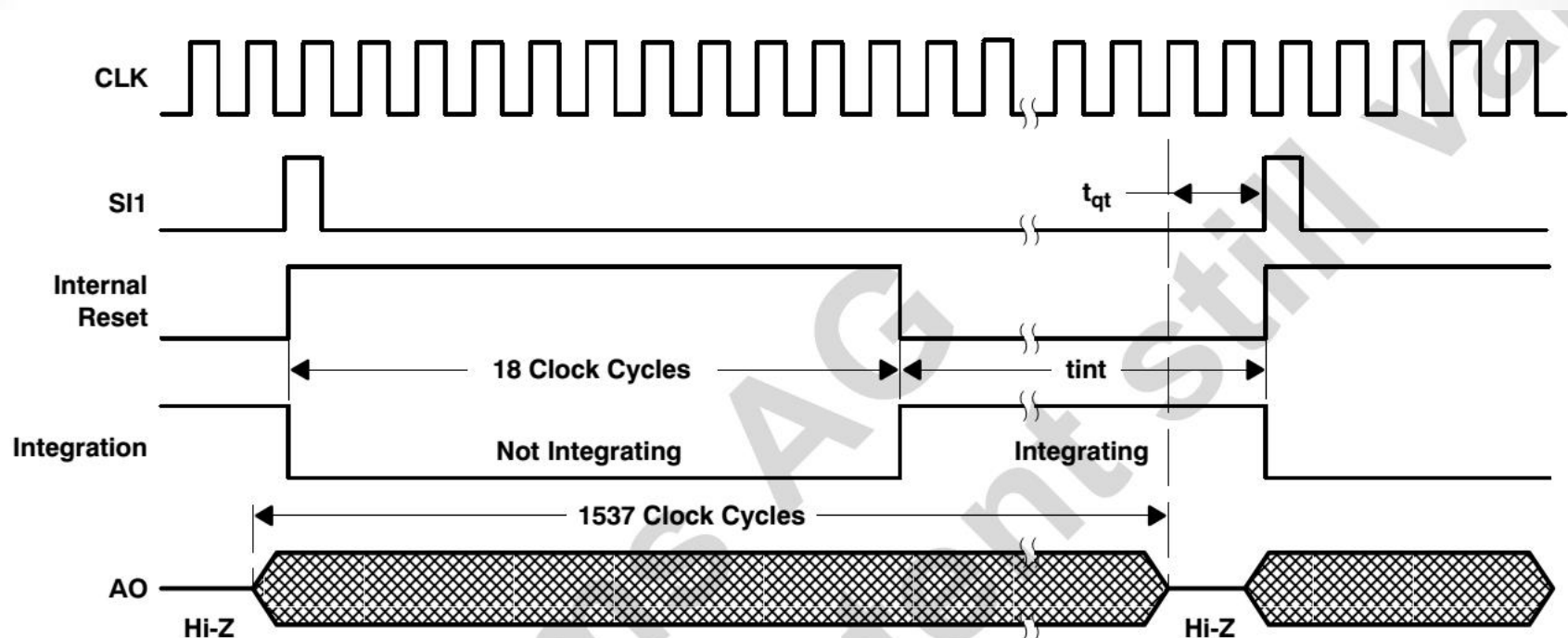


Figure 1. Timing Waveforms (serial connection)

По сути синхронизация осуществляется двумя сигналами CLK – тактовые импульсы и SI – начало кадра. Простота синхронизации и представления аналогового сигнала позволяет управлять подобным приёмником с простейших цифровых устройств таких как микроконтроллеры.

ПРИЕМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ КМОП ПРИЁМНИКОВ

Преимущества КМОП-матриц:

- Низкое энергопотребление (особенно в ждущих режимах);
- Высокое быстродействие;
- Требуется меньше затрат при производстве, благодаря схожести технологии с производством микросхем;
- Единство технологии с другими цифровыми элементами, что позволяет объединить на одном кристалле аналоговую, цифровую и обрабатывающую части (т.е. кроме захвата света в пикселе можно преобразовать, обработать и очистить сигнал от шума).
- Возможность произвольного доступа к каждому пикселю или группе пикселей, что позволяет уменьшить размер захваченного изображения и увеличить скорость считывания.

Недостатки КМОП-матриц:

- Фотодиод занимает малую площадь пикселя, в результате получается низкая светочувствительность матрицы, но в современных КМОП-матрицах этот минус практически устранен;
- Наличие теплового шума от нагревающихся транзисторов внутри пикселя в процессе считывания.

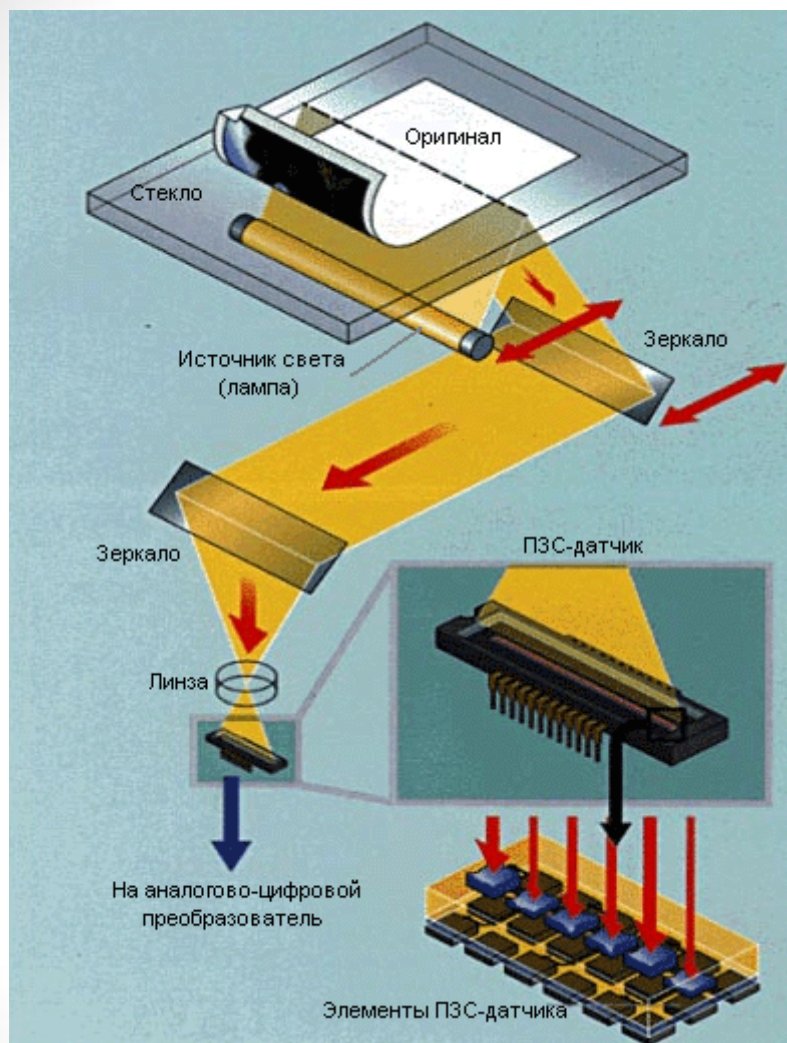
ТИПИЧНЫЕ РАЗМЕРЫ МАТРИЦ ЦИФРОВЫХ ФОТОКАМЕР



Матрица. Размеры.	
Обозначение в дюймах	Размер матрицы мм
плёнка 35 мм	36 x 24
"APS-C"	23.7 x 15.6
"APS-C"	23.5 x 15.7
"APS-C"	23.6 x 15.8
"APS-C"	22.3 x 14.9
4/3	18.3 x 13.0
1"	12.8 x 9.6
2/3"	8.8 x 6.6
1/1.8"	7.2 x 5.3
1/2"	6.4 x 4.8
1/2.3"	6.16 x 4.62
1/2.5"	5.8 x 4.3
1/2.7"	5.4 x 4.0
1/3"	4.8 x 3.6

При миниатюризации матриц усиление сигнала негативно сказывается на получаемом изображении – на изображении начинают проявляться случайные помехи и выбросы, которые принято называть «шумом». В большинстве случаев, чем больше физический размер матрицы фотокамеры, тем соотношение сигнал/шум будет лучше, что позволяет получать более качественное изображение с естественными, натуральными цветами. Таким образом, чем больше физические размеры матрицы при равном числе мегапикселей, тем лучше.

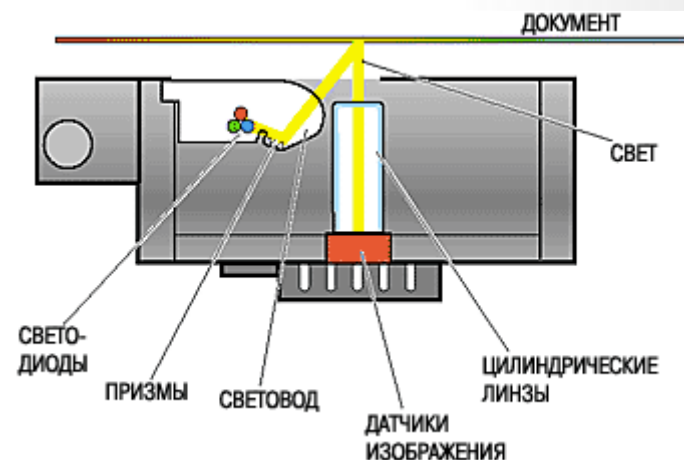
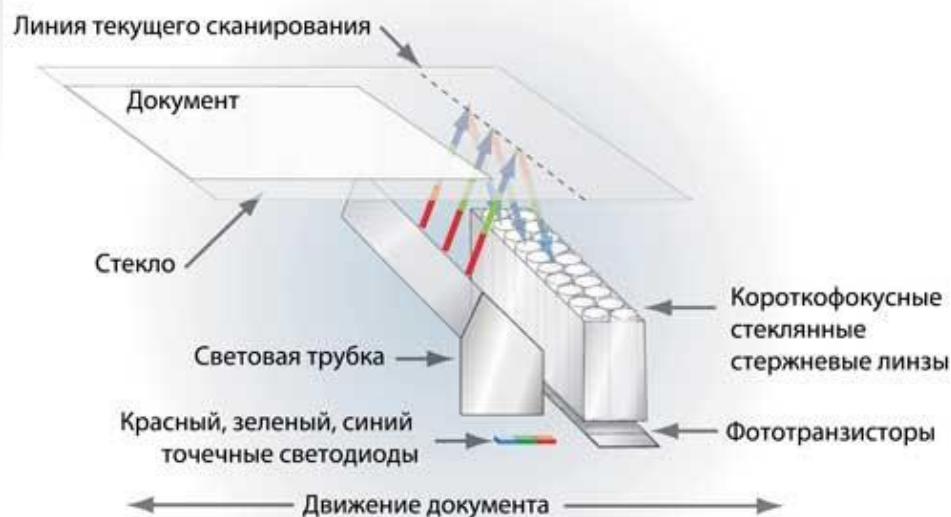
СРАВНЕНИЕ CIS И CCD ТЕХНОЛОГИИ СКАНИРОВАНИЯ



CCD технология

В классическом сканере имеется подвижная каретка, на которой установлены флуоресцентная лампа подсветки (в поздних моделях подсветка светодиодная) и система вогнутых зеркал. Каретка перемещается посредством шагового двигателя. Свет лампы отражается от оригинала и изображение проходит через систему зеркал, каждое из которых слегка уменьшает его и через объектив проецирующий изображение на ПЗС линейку. На каждом шаге каретки сканер фиксирует одну горизонтальную полосу оригинала, разбитую в свою очередь на некоторое количество пикселей на CCD-линейке. Итоговое изображение, составленное из полосок, представляет собой как бы мозаику из пикселей одинакового размера и разного цвета. От плотности пикселей зависит итоговое разрешение сканирования, в случае если не используется специальная цифровая обработка сигнала (интерполяция).

СРАВНЕНИЕ CIS И CCD ТЕХНОЛОГИИ СКАНИРОВАНИЯ



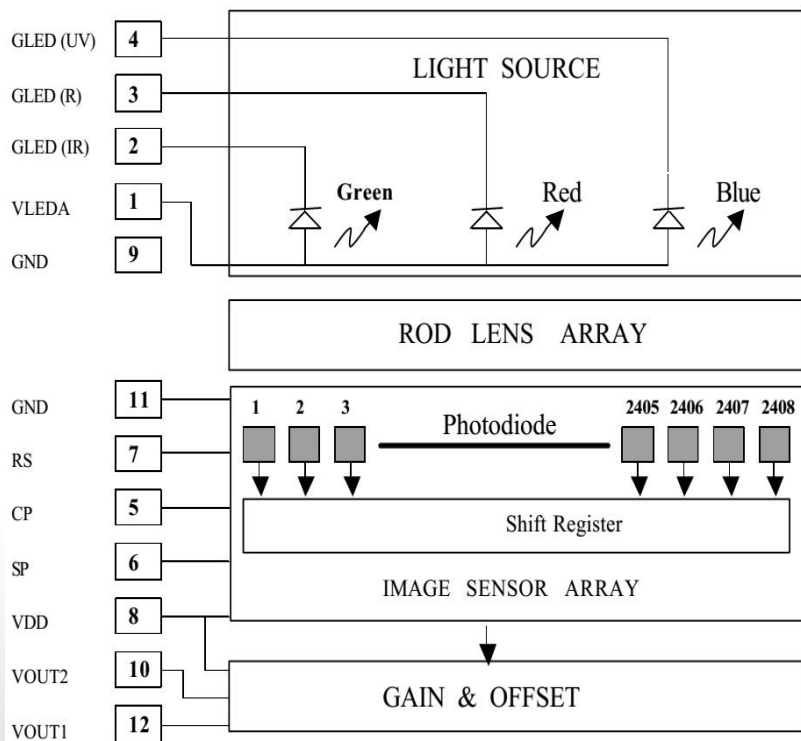
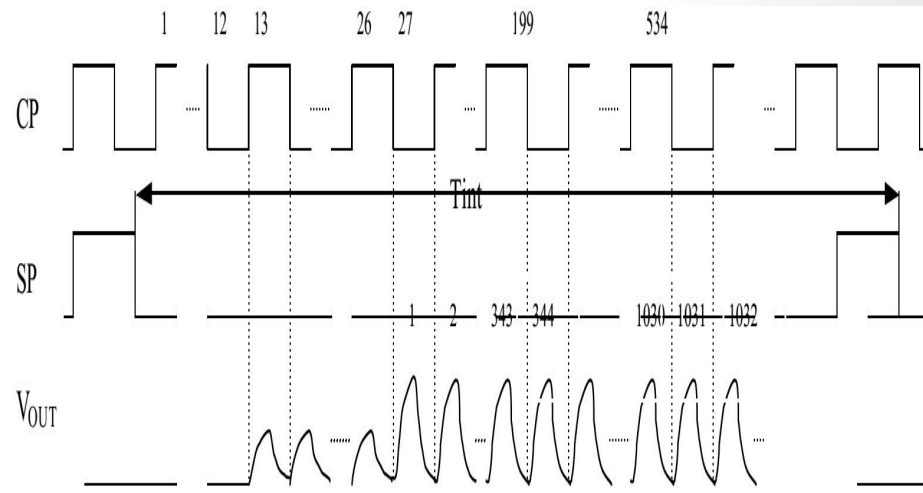
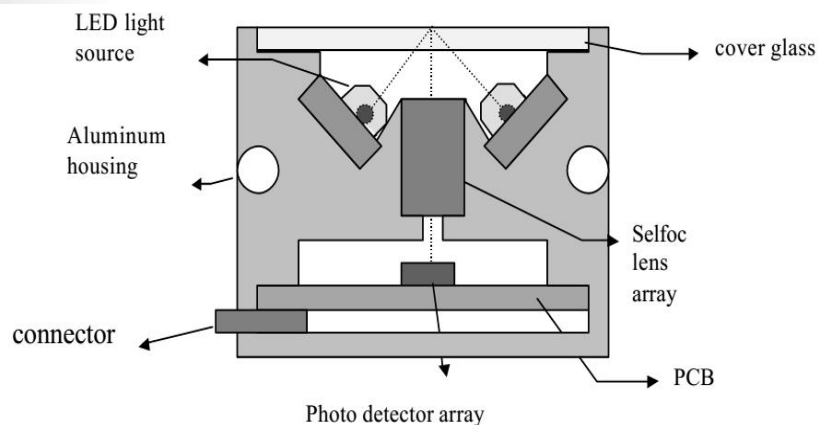
CIS технология

Как и в случае с ПЗС-сканерами, изображение также сканируется скан-линиями - на каждом шаге работы двигателя. В отличие от CCD, у CIS-сканеров линейка светочувствительных датчиков простирается на всю ширину изображения, и при этом максимально плотно прилегает снизу к стеклу сканера (отсюда и название технологии CIS – contact image scan).

Головка CIS-сканеров состоит из максимально близко расположенных друг к другу элементов подсветки и CMOS линейного сенсора. Подсветка обеспечивается 3-мя параллельными рядами светодиодов (LED), которые быстро попеременно переключаются при работе, подсвечивая одну и ту же скан-линию последовательно красным, зелёным, синим цветом. Отражённый сигнал попадает на линейку стержней микролинз (каждая линза обеспечивает сканирование лишь малой части области оригинала, соответствующей одному пикселу изображения), и падает на пиксели CMOS линейки, которые расположены прямо под линзами.

Таким образом, в CIS-сканерах оптическая система (зеркала, призма, объектив) сведена к минимуму, что значительно упрощает и удешевляет их.

CIS СЕНСОР НА ПРИМЕРЕ M206-A6M «CMOS SENSOR INC»



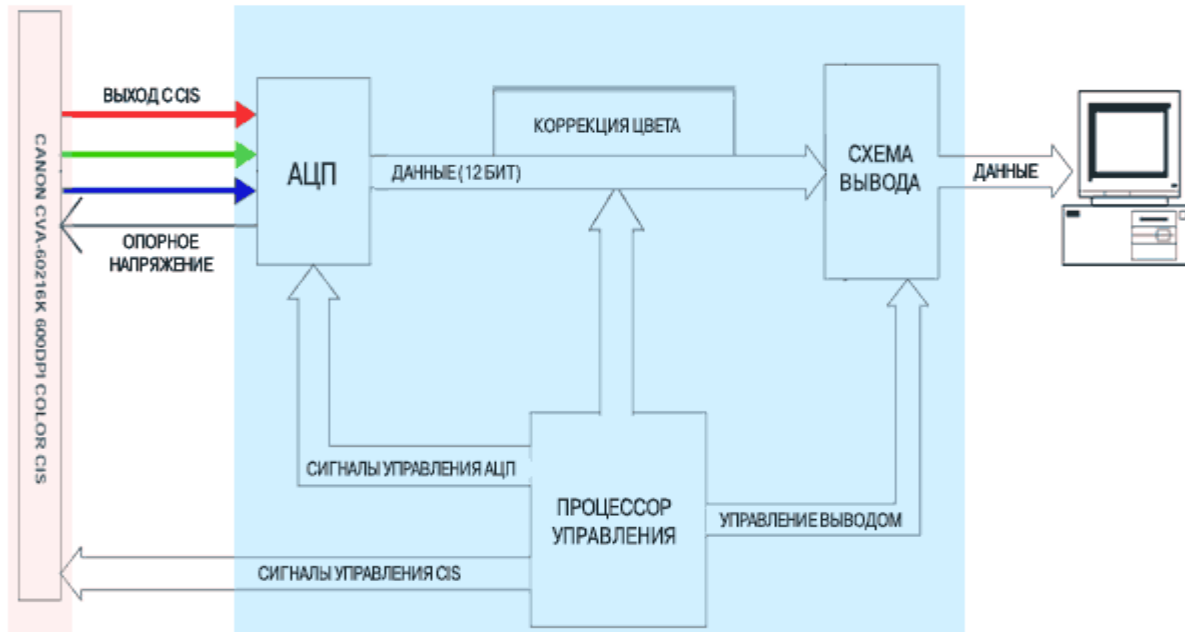
M206-A6M Block Diagram

GND

Особенности:

- Разрешение по выбору: 300 точек на дюйм / 600 точек на дюйм
- Очень Высокая скорость сканирования: 0.1 мс / линия / 300 точек на дюйм / 0,2 мс / линия / 600 точек на дюйм
- Три различных светодиодных источника света: R,G,B, (есть модификация с УФ и ИК источниками).
- Два источника света: -45 градусов до +45 градусов
- Оптическая длина сканирования: 102,2 мм.
- Питание: 3,3 В
- Видео выход: два видео выхода

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СКАНИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ



Упрощенная схема устройства типичного сканера с технологией CIS

Основой сканера является цифровой процессор управления, который посылает сигналы управления на датчик изображения, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), выполняет коррекцию цветных данных и управляет выводом. Датчик изображения передает по синхронизирующим сигналам аналоговые данные на АЦП, где происходит их преобразование в данные о цвете с определенной разрядностью. Сейчас, как правило, используется 12 (или более) разрядное преобразование, благодаря которому на выходе из сканера появляются 8-битные данные о цвете на каждый канал (24-битное цветное изображение).

При сканировании цветных изображений в подавляющем большинстве сканирующих головок с технологией CIS используется последовательное включение светодиодов красного, зеленого и синего цвета, в результате один набор датчиков без светофильтров позволяет передать данные о цвете точек в сканируемой линии.

CIS ИЛИ CCD ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Преимущества

Недостатки

CIS

Contact Image Sensor
Контактные датчики
изображения

Меньшая стоимость
Высокая надежность
Высокая производительность
Компактность
Не требует калибровки устраняющей
эффект “склейки”
Высокий контраст, резкость линий
Нет искажений на линзах

Чувствительность к глубине резкости
Меньшее отношение Сигнал/Шум
вследствие используемого источника
света

CCD

Focused Image Sensor
Фокусируемые
датчики изображения

Высокое отношение Сигнал/Шум
вследствие используемого источника
света
Относительная нечувствительность к
глубине резкости

Высокая стоимость
Более сложная и хрупкая технология
Большие габариты
Требует частой калибровки
Меньший контраст (расплывчатые
линии)
Неизбежное искажение на линзах

ПРИМЕНЕНИЕ КМОП И ПЗС МАТРИЦ

НАУЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

- для спектроскопии;
- для микроскопии;
- для кристаллографии;
- для рентгеноскопии;
- для естественных наук;
- для биологических наук;
- высокоскоростная съёмка.

ВОЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

- системы наведения;
- приборы ночного видения;
- беспилотные аппараты;
- дистанционные системы слежения.

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

- в телескопах;
- в спутниках слежения;
- при зондировании планет;
- бортовое и ручное оборудование экипажа.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

- для проверки качества сварных швов;
- контроль равномерности окраски;
- для исследования износостойкости;
- для считывания штрих-кодов;
- для контроля качества упаковки продукции ;
- машинное зрение ;
- в измерительных приборах.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОХРАНЫ ОБЪЕКТОВ

- в жилых квартирах;
- в аэропортах;

- на строительных площадках;
- на рабочих местах;
- в «умных» камерах, распознающих лицо; человека.

ПРИМЕНЕНИЕ В БЫТУ

- в профессиональных фотоаппаратах;
- в любительских фотоаппаратах;
- в мобильных устройствах ;
- сканирование документов ;
- видео телефония ;
- платёжные терминалы.

МЕДИЦИНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

- в рентгеноскопии;
- в кардиологии;
- в маммографии;
- в стоматологии;
- в микрохирургии;
- в онкологии.

АВТО-ДОРОЖНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

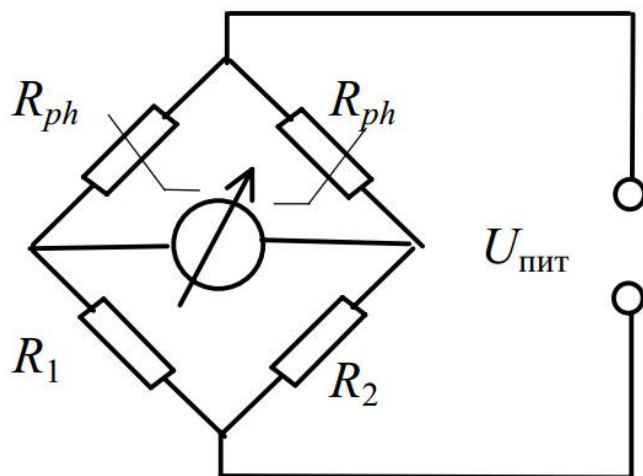
- для распознавания номерных знаков;
- для контроля скорости;
- для управления транспортным потоком;
- для пропуска на стоянку;
- в полицейских системах наблюдения;
- камеры заднего хода автомобиля;
- системы автоматической парковки.

ИТ.Д.

ТЕПЛОВЫЕ ПРИЁМНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ БОЛОМЕТРЫ

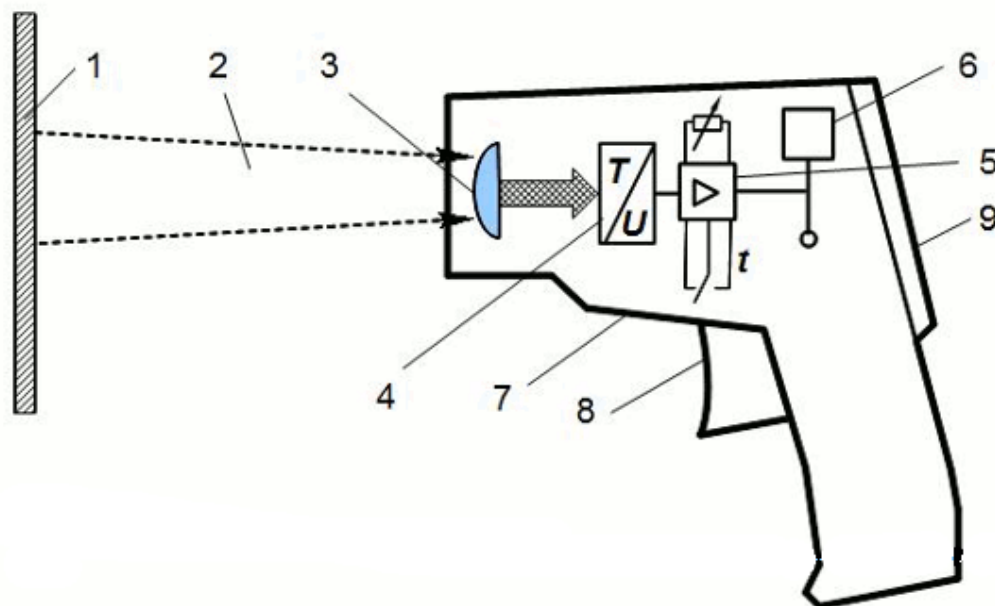
Болометр — очень тонкая пластинка (например, из платины или другого проводящего материала), зачернённая для лучшего поглощения излучения. Из-за своей малой толщины пластинка под действием излучения быстро нагревается и её сопротивление повышается. Для измерения малых отклонений сопротивления пластинки её включают в мостовую схему, которую балансируют при отсутствии засветки.

Полупроводниковый болометр - состоит из двух плёночных (толщиной до 10 мкм) термисторов. Один из термисторов, непосредственно подвергающийся облучению, является активным. Второй — компенсационный. Он экранирован от внешнего излучения и предназначен для компенсации изменений температуры окружающей среды. Оба термистора помещаются в общий герметичный корпус.



Мостовая схема для измерений с двумя идентичными болометрами.

Инфракрасные (радиационные) пирометры



- 1 - Поверхность измеряемого объекта,
- 2 - Тепловое излучение от объекта,
- 3 - Оптическая система инфракрасного термометра,
- 4 - Датчик-преобразователь,
- 5 - Электронный преобразователь,
- 6 - Счётное устройство,
- 7 - Корпус пирометра,
- 8 - Курок-кнопка,
- 9 - Дисплей.

Принцип действия инфракрасного пирометра основан на измерении абсолютного значения излучаемой энергии электромагнитных волн в инфракрасном спектре. На сегодня это относительно недорогой бесконтактный метод измерения температуры.

Тепловой луч, сфокусированный оптической системой, падает на датчик (первичный пирометрический преобразователь), в результате на выходе образуется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры объекта измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь (вторичный пирометрический преобразователь), попадает в измерительно-счетное устройство и обрабатывается в нем. Результат отображается на дисплее (индикация у современных пирометров, как правило, цифровая).

Характеристики инфракрасных пирометров

К основным техническим характеристикам пирометров относят:

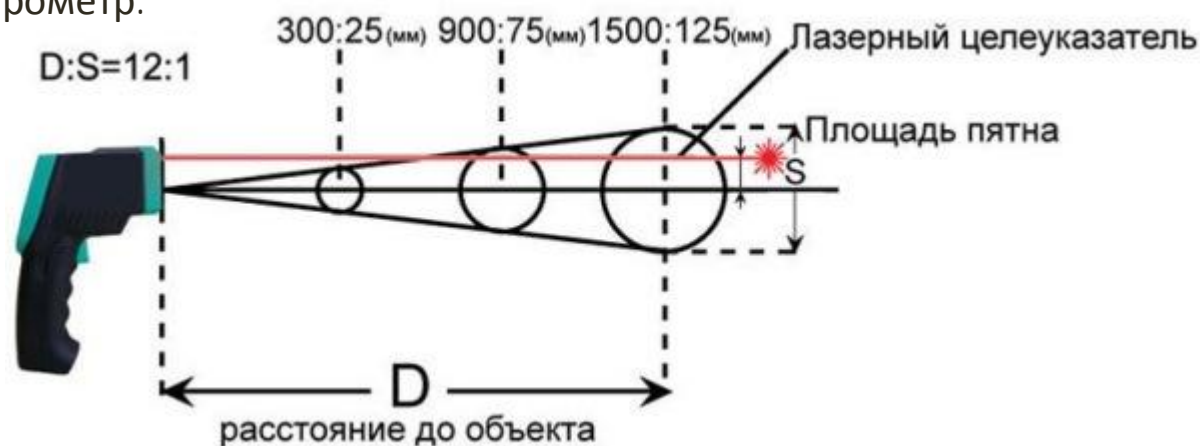
- оптическое разрешение (встречаются модели с разрешением от 2 до 600 : 1);
- диапазон измеряемых температур (max от -50 до 4000° С или меньше);
- измеряемое разрешение — 1 или 0,1° С;
- погрешность измерения (оптимальная $\pm 1,5\%$);
- быстродействие (у современных очень высокое — менее 1 секунды);
- коэффициент излучения — переменный либо фиксированный;
- способ нацеливания — оптический либо лазерный прицел.

Излучательная способность объекта (коэффициент излучения) - отношение мощности излучения объекта при данной температуре к мощности излучения абсолютно черного тела (АЧТ). АЧТ определяется как поверхность, излучающая максимальное количество энергии при данной температуре. Излучательная способность АЧТ равна 1,00

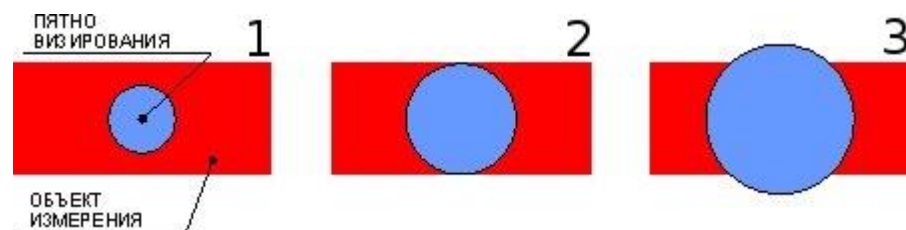
Оптическое разрешение пирометров

Оптическим разрешением (другое название — показатель визирования) называют отношение диаметра светового пятна и расстояния до объекта измерения. В технической документации к пирометру обычно указывается конкретное значение показателя визирования или приводится диаграмма направленности.

Чем больше величина оптического разрешения, тем более мелкие предметы может различать пирометр.



Пример диаграммы направленности пирометра

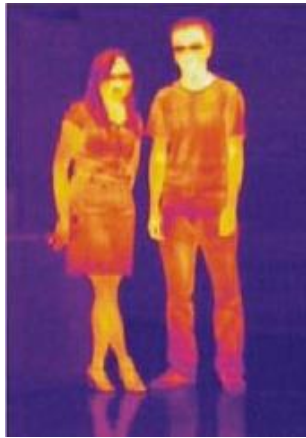


Точность измерения не зависит от расстояния до объекта до тех пор, пока диаметр измеряемого пятна меньше размера объекта. Если же диаметр пятна становится больше, прибор начинает принимать излучение от других объектов, и это оказывает значительное влияние на результаты измерения.

Области применения пирометрии.

- измерение температуры удаленных и труднодоступных объектов;
- измерение температуры движущихся частей;
- обследование частей, находящихся под напряжением;
- контроль высокотемпературных процессов;
- регистрация быстро изменяющихся температур;
- измерение температуры тонкого поверхностного слоя;
- обследование частей, не допускающих прикосновения;
- обследование материалов с низкой теплопроводностью или теплоемкостью;
- экспресс - измерения.

МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ



Инфракрасное излучение представляет собой электромагнитные волны с длинами волн от 0,75 до 1000 мкм, превышающими длины волн видимого спектра, но более короткими, чем микроволновое излучение. Из-за атмосферного поглощения ИК-излучения реальный диапазон, пригодный для детектирования, ограничивается приблизительно 30 мкм. ИК-детекторы используют, как правило, длины волн, лежащие в окнах прозрачности атмосферы — в диапазоне 3–5 мкм (MIR) и 8–14 мкм (FIR).

С помощью FIR-детекторов можно получить значительную информацию о слабо нагретых объектах. Так, спектральная длина волны теплового излучения человека с температурой 37 °С составляет примерно 9,3 мкм.

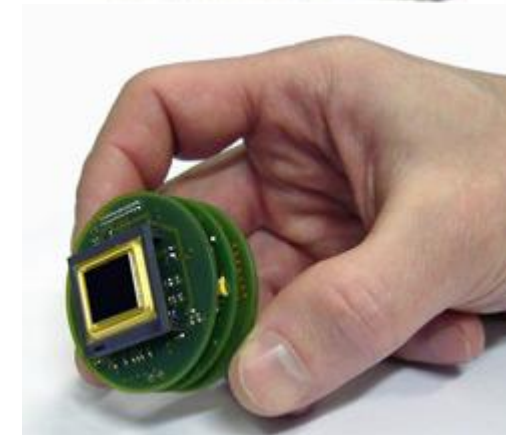
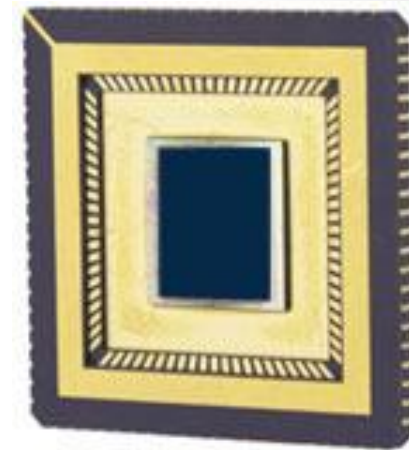
Инфракрасные камеры воссоздают образ теплового объекта по сигналам от первичных преобразователей — датчиков теплового излучения. Современные датчики включают подложку, на которой размещен массив детекторов в фокальной плоскости focal plane array (FPA) — множество детектирующих элементов, представляющих собой пиксели.

Инфракрасная энергия от объектов сцены фокусируется посредством оптики на ИК-детектор, информация от него передается на мультиплексирующую сенсорную электронику для обработки изображения, которое транслируется на стандартный видеомонитор.

МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ДЛЯ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ

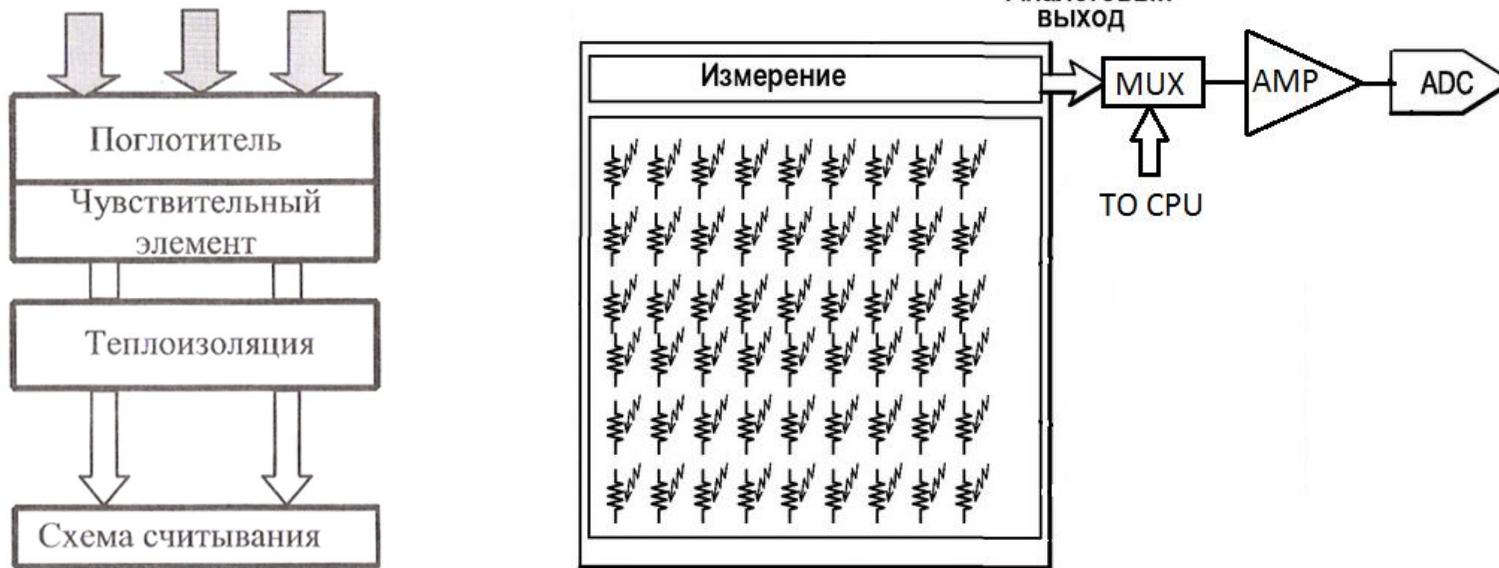
Принцип действия тепловых детекторов основан на одном из четырёх явлений:

- 1) болотометрическом эффекте (изменение электрического сопротивления чувствительного элемента при нагреве поглощенным ИК излучением);
- 2) термовольтаическом эффекте (выходное напряжение генерируется нагретым спаем разнородным металлов);
- 3) термопневматическом эффекте (изменение температуры детектора вызывает расширение газового объема);
- 4) пироэлектрическом эффекте (изменение температуры вызывает модуляцию дипольного момента кристаллического чувствительного элемента).



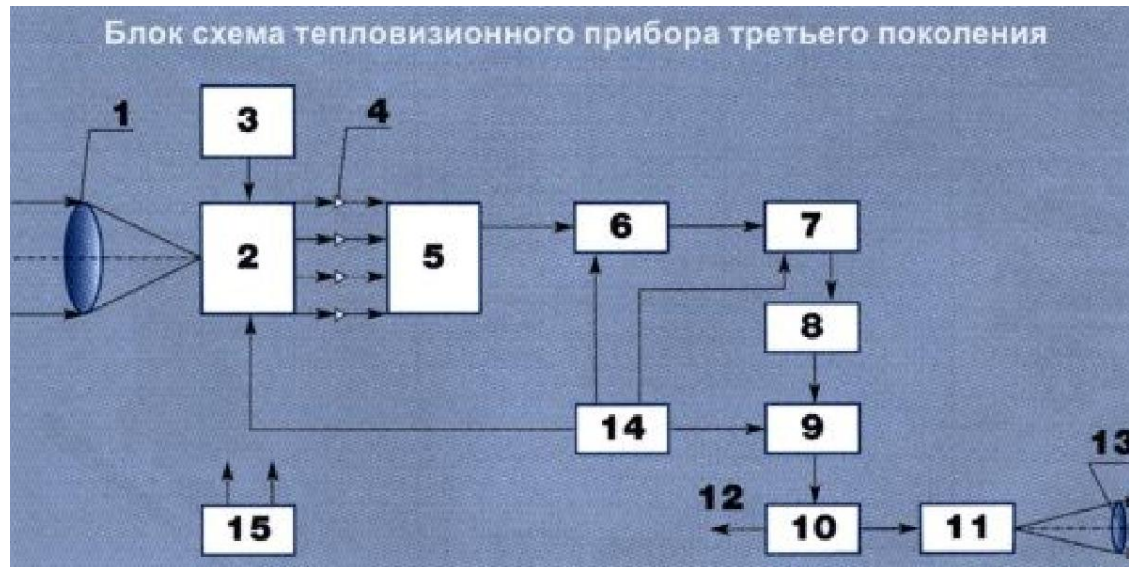
Наиболее доступны по цене показывающие и измерительные тепловизоры, работающие на неохлаждаемых болометрических матричных детекторах. Для специальных применений, где требуется высокая частота смены термоизображений, повышенное температурное разрешение или спектральная селективность, разработаны тепловизоры на охлаждаемых матрицах. Наиболее распространены матрицы на основе силицида платины (PtSi), антимонида индия (InSb), тройных соединений (HgCdTe) и так называемых квип-материалов (QWIP), в частности арсенида галлия GaAs.

БОЛОМЕТРИЧЕСКИЕ МАТРИЧНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ



Микроболометр, выполненный как массив в фокальной плоскости, представляет собой массив малых элементов — детекторов излучения. Каждый элемент детектирования микроболометра включает мембрану, подвешенную над подложкой, для того чтобы обеспечивалась тепловая изоляция. Мембрана предусматривает температурно-чувствительный элемент, и два электрода, связывающие температурно-чувствительный материал и ROIC на подложке. Излучаемая ИК-энергия, получаемая каждым детектором микроболометра, увеличивает температуру детектора. Изменение в температуре наводит изменение в сопротивлении каждого детектора, что регистрируется мультиплексирующей интегрированной схемой, размещенной на той же полупроводниковой подложке. Существующие схемы ROIC разрабатываются с целью достижения совместимости с требованиями входного импеданса соответствующих элементов детектирования. MEMS-микроболометры обычно достаточно хорошо чувствительны к излучению, так как отдельные детекторы имеют очень малые тепловые массы и термически изолированы от мультиплексирующей схемы и подложки.

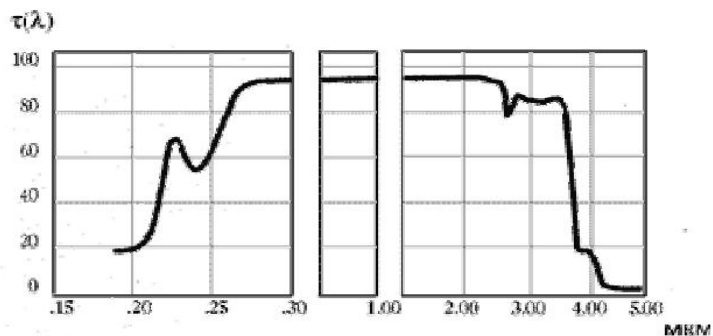
ТИПИЧНАЯ СТРУКТУРА ТЕПЛОВИЗОРА



Блок-схема тепловизионного прибора

1 – ИК-объектив, 2 – матрица ИК-фотоприемников, 3 – блок охлаждения или термостабилизации матрицы, 4 – предусилители, 5 – мультиплексор, 6 – аналоговый корректор неоднородности сигналов, 7 – аналого-цифровой преобразователь, 8 – цифровой корректор неоднородности сигналов, 9 – корректор неработающих элементарных фотоприемников матрицы, 10 – блок формирования изображения с микропроцессорной обработкой видеосигнала, 11 – цифровой выход для подключения к персональному компьютеру, 12 – ТВ-монитор, 13 – окулярная система, 14 – тактовый генератор, 15 – первичный источник питания (аккумуляторная батарея). Наличие элементов 3 и 13 необязательно и зависит от типа прибора. Аналоговый сигнал усиливается, преобразуются в цифровую форму. Далее сигналы исправляются (возможно вычитание неработающих элементов матрицы с их заполнением) и направляются в блок формирования изображения 10. На его выходе информация выдается либо в качестве видеосигнала, направляемого в монитор, либо в цифровой форме для передачи РС.

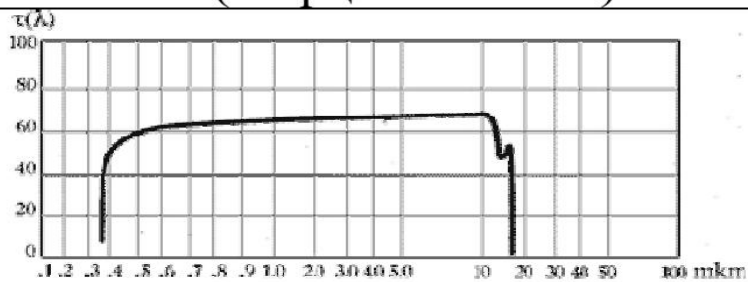
ПРОПУСКАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИК ДИАПАЗОНЕ



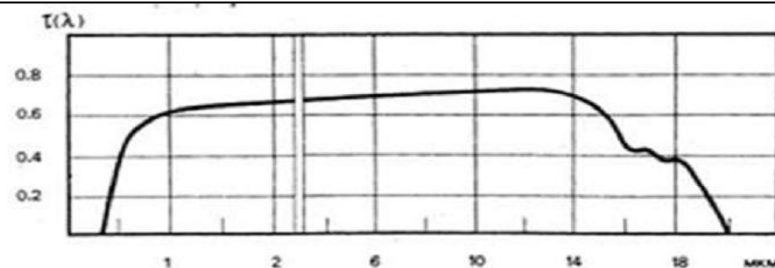
КИ (кварцевое стекло)



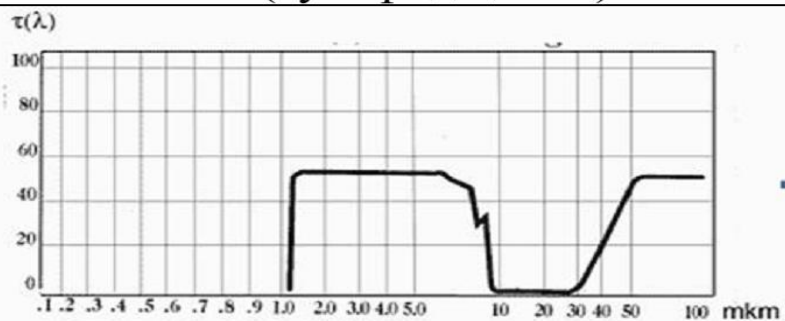
MgF2 (магний фтористый)



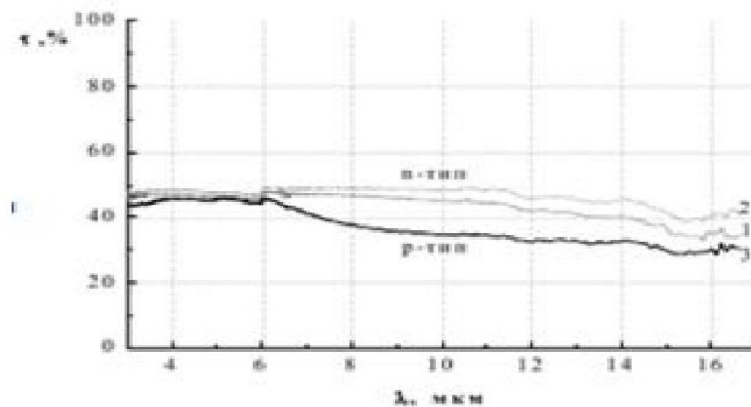
ZnS (сульфид цинка)



ZnSe (селенид цинка)



Si (кремний)



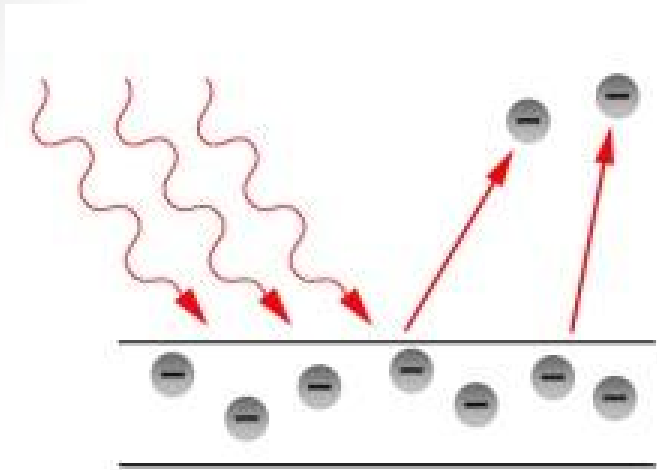
Ge (германий) n и p -типа

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВИЗОРОВ

ОСНОВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- обнаружение и распознавание объектов в ночных условиях и условиях плохой видимости без применения ИК подсветки,
- обнаружение пожаров,
- технические системы охраны, безопасности и наблюдения для экстренных служб,
- инфракрасные системы наблюдения,
- приборы ночного видения при управлении транспортными средствами,
- поиск утечек тепла в зданиях, сооружениях и на тепловых сетях,
- выявление перегретых элементов в силовых электроэнергетических системах и т. п.
- научные исследования

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ.

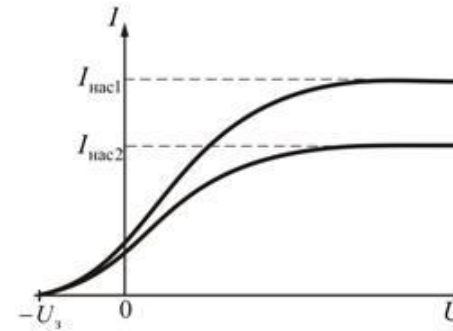
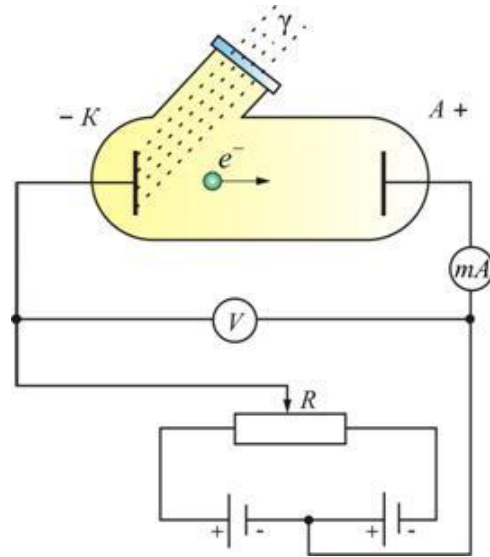


Внешним фотоэффектом (фотоэлектронной эмиссией) называется испускание электронов веществом под действием электромагнитных излучений. Электроны, вылетающие из вещества при внешнем фотоэффекте, называются фотоэлектронами, а электрический ток, образуемый ими при упорядоченном движении во внешнем электрическом поле, называется фототоком.

Законы Столетова для фотоэффекта:

- Формулировка 1-го закона фотоэффекта: Сила фототока прямо пропорциональна плотности светового потока.
- Согласно 2-му закону фотоэффекта, максимальная кинетическая энергия вырываемых светом электронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.
- 3-й закон фотоэффекта: для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, то есть минимальная частота света (или максимальная длина волны λ_0), при которой ещё возможен фотоэффект.

ВНЕШНИЙ ФОТОЭФФЕКТ.



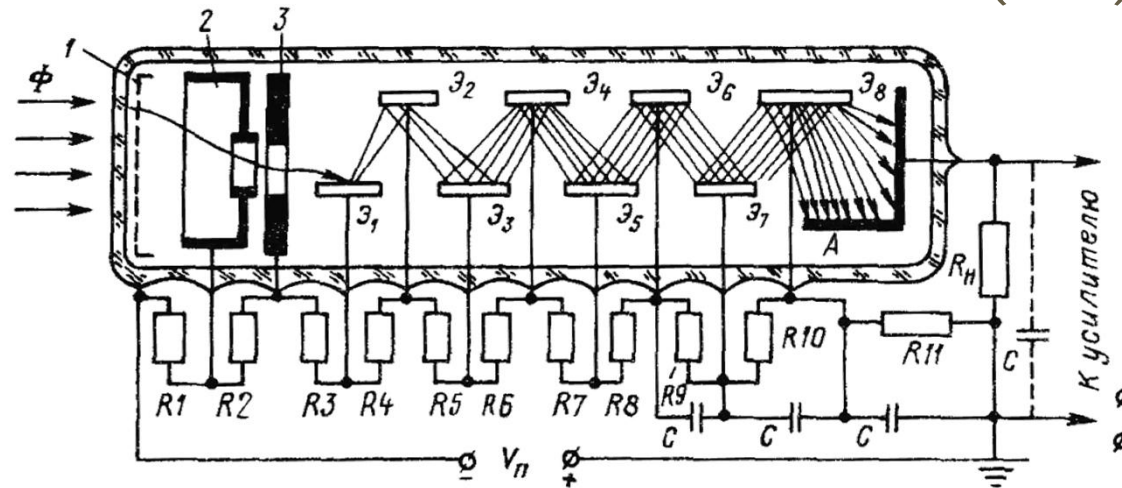
Вольт-амперная характеристика (ВАХ) фотоэффекта.

ВАХ соответствует двум различным энергетическим освещенностям катода (частота света в обоих случаях одинакова). По мере увеличения U фототок постепенно возрастает, т.е. все большее число фотоэлектронов достигает анода. Пологий характер кривых показывает, что электроны вылетают из катода с различными скоростями.

Максимальное значение фототока насыщения определяется таким значением напряжения U , при котором все электроны, испускаемые катодом, достигают анода. Ток насыщения пропорционален падающему световому потоку.

Из ВАХ следует, при $U = 0$ фототок не исчезает. Следовательно, электроны, выбитые из катода, обладают некоторой начальной скоростью u , а значит и отличной от нуля кинетической энергией, поэтому они могут достигнуть катода без внешнего поля. Для того, чтобы фототок стал равным нулю, необходимо приложить задерживающее напряжение

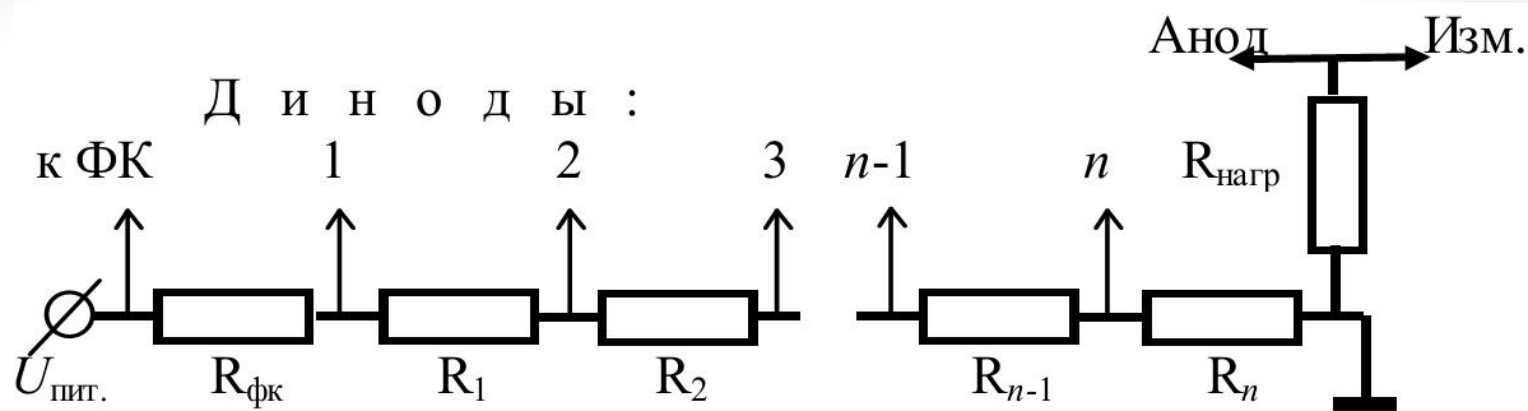
ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ УМНОЖИТЕЛИ (ФЭУ)



Фотоэлектронным умножителем (ФЭУ) называют электровакуумный прибор, преобразующий энергию оптического излучения в электрические сигналы и содержащий фотокатод, вторично-электронный умножитель и анод.

Принцип работы ФЭУ прост: фотон выбивает из фотокатода "первичный" электрон, который ускоряется электрическим полем до 50–200 эВ и вытягивается на первый динод. Там его энергия на очень малой глубине проникновения, порядка размеров атома, целиком рассеивается на возбуждение собственных электронов материала динода, так что возникает уже несколько электронов, возбужденных не столь сильно, но все же способных преодолеть поверхностный потенциальный барьер и выйти в вакуум. В этом процессе, называемом вторично-электронной эмиссией, должна образоваться пачка из 3-5 и более электронов на каждый упавший, иначе работа динодной системы будет малоэффективной. Вторичные электроны, так же как и фотоэлектроны, имеют малые энергии, но междинодное поле их вытягивает, ускоряет и фокусирует на второй динод. Далее все повторяется, до анода.

ПИТАНИЕ ФЭУ



Обычная, резистивная схема питания ФЭУ

Чаще всего питание осуществляется от источника высокого напряжения $U_{\text{пит}} = (1 \dots 2,5)$ кВ через резисторный делитель.

Обычно все сопротивления в делителе одинаковы, но нужно обязательно ознакомиться с паспортом ФЭУ, могут быть делители неравномерные. Иногда на первых динодах нужно сильнее ускорять электроны, чем на окончных для улучшения условий вытягивания с фотокатода и уменьшения разброса амплитуд выходных импульсов. Все определяется конструкцией динодной системы и материалом динодов.

К стабильности источника питания обычно предъявляются высокие требования, особенно для работы в токовом режиме. Коэффициент усиления K быстро растет с напряжением, так что стабильность должна быть не хуже $10^{-4} - 10^{-5}$.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЭУ

Спектральная область чувствительности ФЭУ ограничивается с длинноволновой стороны порогом чувствительности фотокатода, а с коротковолновой – границей пропускания оптического окна.

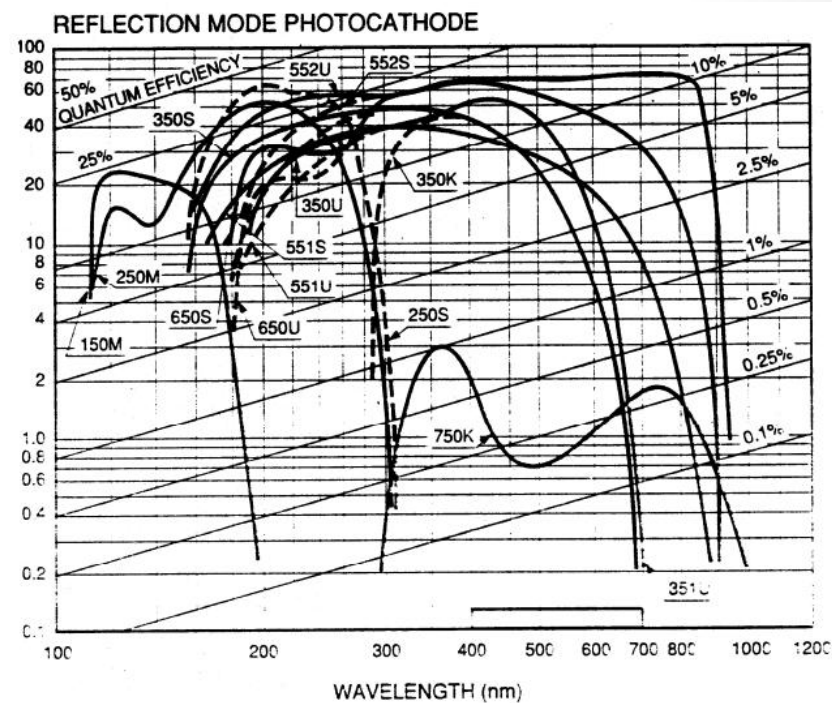
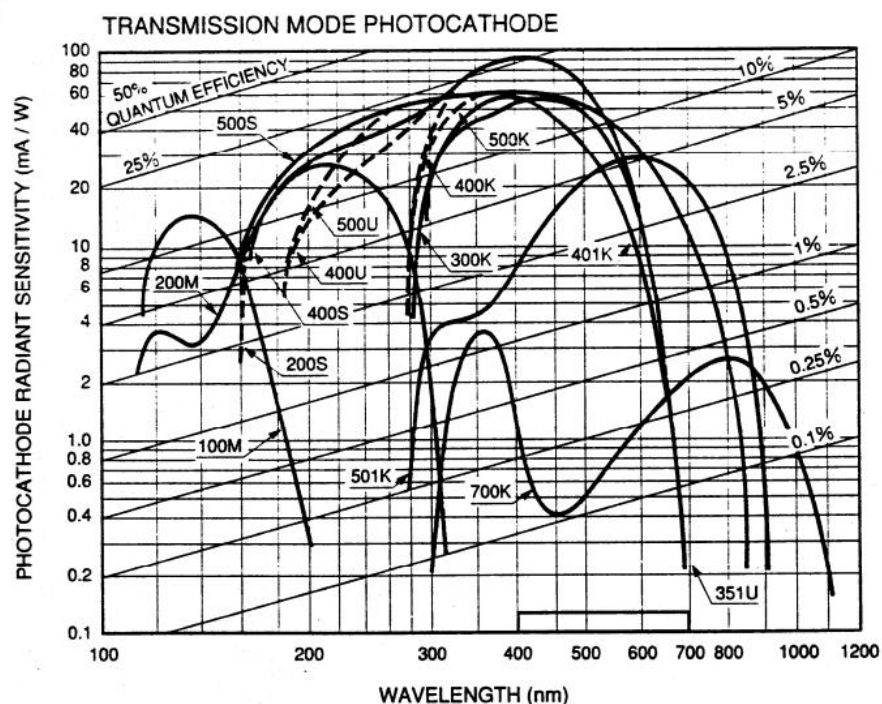
Во всей видимой области спектра (400 ÷ 700 нм) можно работать и со стеклянным окном. Увиолевое позволяет охватить всю область ближнего ультрафиолета, до так называемой вакуумной ультрафиолетовой (ВУФ) области. ФЭУ с кварцевыми окнами имеют смысл и при работе в ближнем УФ, так как кварц более прозрачен, чем увиоль. Окна из MgF_2 незаменимы в ВУФ. Этот материал имеет практически рекордную область прозрачности (уступает только LiF – 105 нм), но имеет хорошие механические свойства, спаивается со стеклом, негигроскопичен.

Чувствительность фотокатода удобнее всего характеризовать величиной квантового выхода фотоэмиссии $Y_k(=\omega)$ или квантовой эффективностью $K\lambda$. Это безразмерные величины, равные отношению чис-ла эмитированных электронов к числу поглощенных(или упавших)квантов света. Величины $Y_k(=\omega)$ или $K\lambda$ далеко не постоянны в рабочей области. Они отличны от нуля только при $\omega \geq \omega_0 = |ph$, называемой порогом, или красной границей фотоэффекта, или фотоэлектрической работой выхода.

Основные материалы, используемые для окон ФЭУ

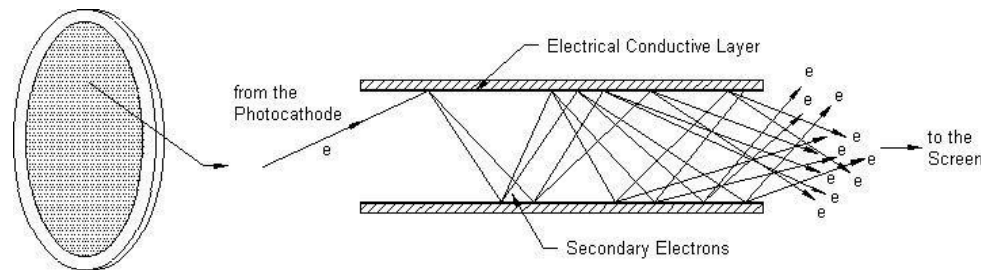
<i>Материал</i>	<i>Область пропускания</i>
Стекло	$\lambda > 320$ нм
Увиолевое стекло (без примесей Fe)	$\lambda > 180 \div 200$ нм
Кварцевое стекло	$\lambda > 150$ нм
Фтористый магний, MgF_2	$\lambda > 110$ нм

ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЭУ



Спектральные характеристики различных фотокатодов фирмы Hamamatsu, полупрозрачных(слева) и массивных(справа). Надписи у кривых – номера ФЭУ. Наклонные линии – величины квантовой эффективности фотокатодов.

МИКРОКАНАЛЬНЫЕ УМНОЖИТЕЛЬНЫЕ ПЛАСТИНЫ (МКП)



Конструкция МКП напоминает пчелиные соты. Только каналы в них круглые и расположены под углом к торцам, порядка 15° . Торцы металлизированы, к ним подводится напряжение питания. Диаметры каналов 10...20 мкм, "прозрачность" пластин (отношение площади каналов к общей площади пластины) – порядка 50%, так что на 1 см^2 помещается более 10^5 отдельных умножителей, включенных параллельно.

Для получения коэффициента усиления 10^6 – 10^7 , достаточного для регистрации одноэлектронных импульсов, приходится включать две МКП последовательно. Их ориентируют относительно друг друга по "шевронной схеме", с противоположно наклоненными каналами.

Все МКП рассчитаны, в основном, на регистрацию электронов, но могут использоваться и для регистрации света в области далекого ультрафиолета. Работа выхода их поверхностей составляет $\sim 5 \text{ эВ}$ ($\lambda < 250 \text{ нм}$).

ВНЕШНИЙ ВИД И ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЭУ



Фотоэлектронный умножитель
ФЭУ-184Ш

- материал фотокатода – Sb-K-Cs
- форма фотокатода – шестигранная
- диаметр фотокатода, мм – 60
- материал окна – боросиликатное стекло
- оптический вход – торцевой
- масса, г – ≤ 80
- световая анодная чувствительность фотокатода, А/лм – 10
- спектральная чувствительность фотокатода на длине волны 410 ± 10 нм, мА/Вт – 90
- энергетическое разрешение, % – 8,5
- температура окружающей среды, °С – $-60 \div +60$



Электронно-оптический преобразователь
второго поколения с микроканальной
пластиной ЭПМ-61

- материал фотокатода – мультищелочной
- материал окна – волоконно-оптическая пластина
- эффективный диаметр фотокатода, мм – 25
- световая отдача, мкА/лм – 320
- предельное разрешение в центре, лн/мм – 32
- коэффициент усиления минимум – 3×10^7
- яркость, кд/м² максимум – 3×10^{-3}
- увеличение, крат – 1
- рабочее напряжение, В – 2,2 - 3,4

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФЭУ

- Ядерная физика — в установках для изучения кратковременных процессов (временные ФЭУ);
- Оптика, телевидение, лазерная техника.
- Физика элементарных частиц - для регистрации нейтрино (Проекты "Полтергейст", AMANDA).
- Хемилюминесценция, биолюминисценция, флуоресценция
- Проточная цитометрия, хромотография
- Неразрушающий контроль
- Счет фотонов, регистрация частиц
- Спектрофотометрия
- Дозиметрия и радиометрия
- Исследования космоса и астрономия
- Конфокальная и электронная микроскопия
- Ядерная физика и физика высоких энергий
- Гамма-каротаж и скважинная аппаратура
- Дифрактометрия

Спасибо за внимание.