

Заведите новую тетрадь для новой дисциплины «Основы электроники»

Прочитайте, выделите главное. Запишите в тетрадь конспект.

Тетрадь проверю и поставлю оценку.

Тема 1.6. Фотоприемники с внешним и внутренним фотоэффектом

Содержание учебного материала

Устройство, работа, характеристики.

Фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, оптроны.

Оптоэлектронные приборы.

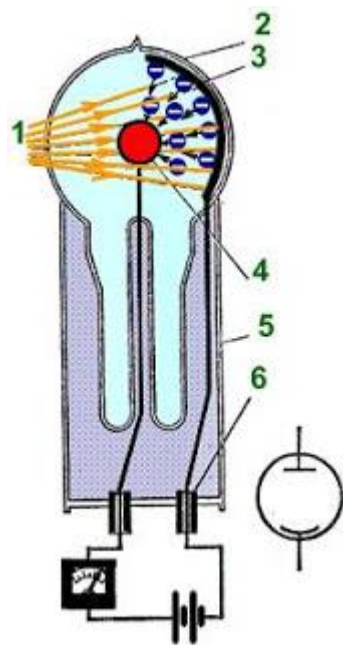
Оптоэлектронные интегральные микросхемы, совместимость с устройствами ЭВМ: перспективы развития и применения в системах автоматического управления электроприводом

Фотоэлементы с внешним и внутренним фотоэффектом

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом.

Фотоэлементом называется электровакуумный, полупроводниковый или ионный прибор, в котором воздействие лучистой энергии оптического диапазона вызывает изменение его электрических свойств.

Внешний фотоэффект или фотоэлектронная эмиссия заключается в том, что источник излучения сообщает части электронов дополнительную энергию, достаточную для выхода их вещества в окружающую среду (в вакуум или разреженный газ). В вакуумных или электронных фотоэлементах движение происходит в вакууме, в газонаполненных или ионных фотоэлементах электроны перемещаются в разреженном газе и ионизируют атомы газа.



Фотоэлемент с внешним фотоэффектом (изо) имеет стеклянную колбу 2, в которой создан вакуум (в вакуумном фотоэлементе) или после откачки воздуха колба заполнена разреженным газом (аргоном при низком давлении - в ионных фотоэлементах).

Внутренняя поверхность колбы, за исключением небольшого "окна" для прохождения светового потока 1, покрыта фотокатодом 3, который представляет собой слой серебра (подложка), на который нанесен полупроводниковый слой окиси цезия.

Анод 4 фотоэлемента изготавливают в виде кольца, чтобы он не преграждал путь световому потоку к катоду. Колба помещается в пластмассовом цоколе 5, в нижней части которого находятся контактные штырьки 6 с выводами от анода и катода.

Под действием приложенного напряжения U источника питания между анодом и катодом фотоэлемента создается электрическое поле, и электроны, вылетающие с освещенной поверхности катода, направляются

к положительно заряженному аноду.

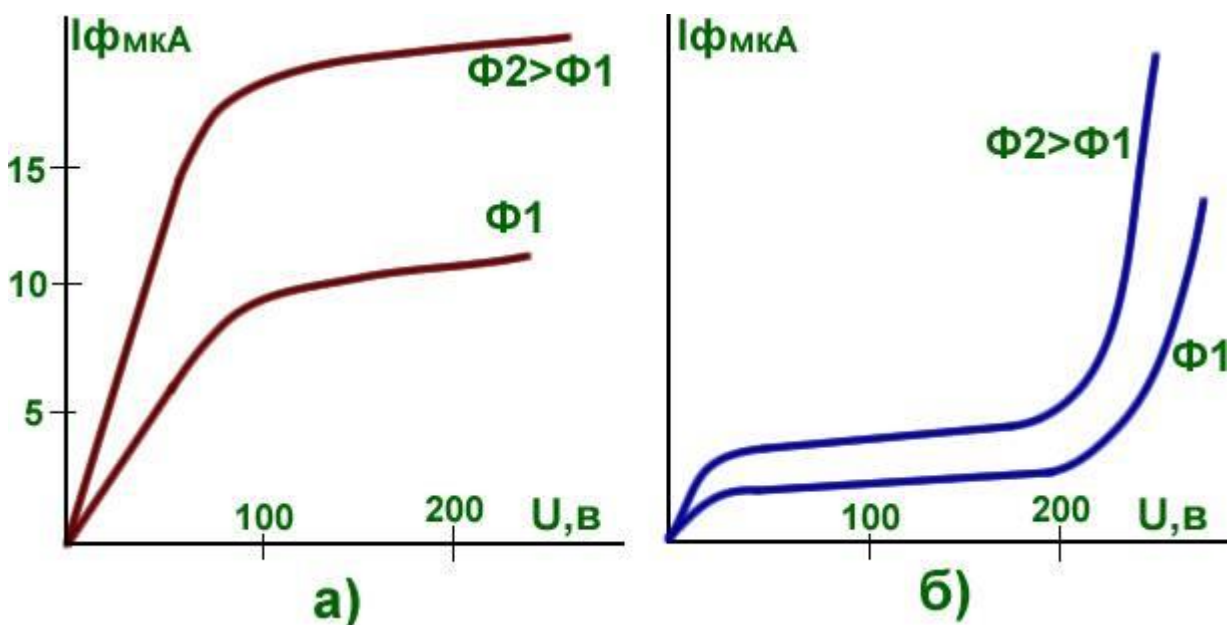
Таким образом, в цепи установится фототок I_{ϕ} , зависимость которого от светового потока Φ при неизменном напряжении источника питания ($I_{\phi}=f(\Phi)$) называется *световой характеристикой*. В ионном фотоэлементе электроны ионизируют атомы газа и увеличивают поток электронов т. е. увеличивают ток фотоэлемента, повышая его чувствительность.

Фотоэлектронная эмиссия и фототок фотоэлемента зависят от длины волны светового излучения, поэтому помимо световой чувствительности фотоэлементы характеризуются спектральной чувствительностью.

Анодные вольт амперные характеристики фотоэлементов показывают зависимость фототока от приложенного к зажимам фотоэлемента напряжения при неизменном световом потоке, освещающем фотокатод, т. е. $I_{\phi} = f(U)$ при $\Phi = \text{const}$. У электронного фотоэлемента фототок сначала быстро растет при увеличении напряжения, а затем рост его замедляется и, наконец, почти совсем прекращается, т. е., наступает режим насыщения (изо, а).

Для ионных фотоэлементов анодная вольт амперная характеристика после горизонтального участка (электронный ток) поднимается вверх вследствие ионизации газа (изо, б). В процессе работы фотоэлементов их параметры со временем изменяются, т. е. проявляется свойство их "утомляемости". Обычно фотоэлементы используют совместно с ламповыми или транзисторными усилителями вследствие малого значения фототока, который может быть получен от фотоэлемента.

Наряду с фотоэлементами существуют фотоэлектронные приборы с усилением фототока, называемые фотоэлектронными умножителями. Эти приборы с внешним фотоэффектом, в которых фототок усиливается под действием вторичной электронной эмиссии.



Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем.

Внутренний фотоэффект заключается в том, что источник излучения световой энергии вызывает увеличение энергии у части электронов вещества, ионизацию атомов и образование новых носителей зарядов (электронов и дырок), вследствие чего уменьшается электрическое сопротивление освещаемого материала.

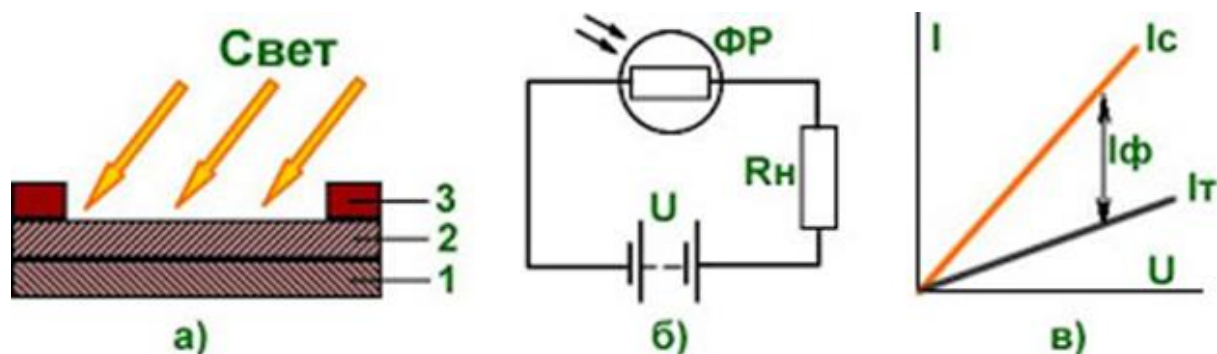
Если при внешнем фотоэффекте электроны покидают пределы освещаемого вещества, то при внутреннем фотоэффекте они остаются внутри вещества, увеличивая количество носителей электрических зарядов.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом называются **фоторезисторами** (фотосопротивлениями). Они представляют собой полупроводниковые приборы, электрическое сопротивление которых резко изменяется под действием падающего на них светового излучения.

Фоторезистор — полупроводниковый прибор, изменяющий величину своего сопротивления при облучении светом. Не имеет p-n перехода, поэтому обладает одинаковой проводимостью независимо от направления протекания тока.

В качестве полупроводников с внутренним фотоэффектом применяют сернистый свинец (фоторезистор ФСА), селенид кадмия (фоторезистор ФСД), сернистый кадмий (фоторезистор ФСК). Фоторезисторы ФСА применяются в инфракрасной, а остальные — в видимой области света. Чувствительность фоторезисторов значительно выше чувствительности фотоэлементов с внешним фотоэффектом, так что в ряде устройств фоторезисторы заменяют ранее используемые фотоэлементы с внешним фотоэффектом. Фоторезистор представляет собой (изо, а) стеклянную пластинку 1, на которую нанесен тонкий слой полупроводника 2, покрытый прозрачным лаком для защиты от механических повреждений и влаги. По краям выведены два металлических электрода 3. Фоторезистор помещен в пластмассовый корпус с двумя штырьками, к которым присоединяются электроды. Условное обозначение и схема включения фоторезистора показаны на изо, б.

Фоторезистор: а - схема устройства, б - схема включения и условное обозначение ФР, в - вольт амперная характеристика; 1 - пластинка, 2 - слой полупроводника, 3 - электроды



Фоторезистор работает только от внешнего источника питания и имеет одинаковое сопротивление в обоих направлениях.

Неосвещенный фоторезистор обладает большим «темновым» сопротивлением R_t (от сотен кОм до нескольких МОм) и через него проходит малый «темновой» ток I_t . При освещенном фоторезисторе его сопротивление резко уменьшается и ток увеличивается до некоторого значения I_c , зависящего от интенсивности освещения. Разность между токами при освещении и «темновым» называется фототоком, т. е. $I_\Phi = I_c - I_t$.

Вольт амперная характеристика фоторезистора (изо, в), т. е. зависимость фототока от напряжения источника питания при неизменном световом потоке $I_\Phi = f(U)$ при $\Phi = \text{const}$ линейна. Видно, что прямая затенённого ниже, чем освещённого.

Это говорит о меньшей чувствительности неосвещённого элемента.

К недостаткам фоторезисторов относится:

- их инерционность (при освещении фототок не сразу достигает своего конечного значения, а лишь через некоторое время),
- нелинейность световой характеристики (фототок возрастает медленнее, чем сила света),
- зависимость электрического сопротивления и фототока от температуры окружающей среды.

Фотоэлементы с фотоэффектом в запирающем слое, называемые **вентильными фотоэлементами**, имеют запирающий слой между полупроводниками с p-и n-проводимости. В этих фотоэлементах под воздействием светового излучения возникает ЭДС, называемая фото-эдс. Для изготовления вентильных фотоэлементов применяют селен, сернистый таллий, сернистое серебро, германий и кремний.

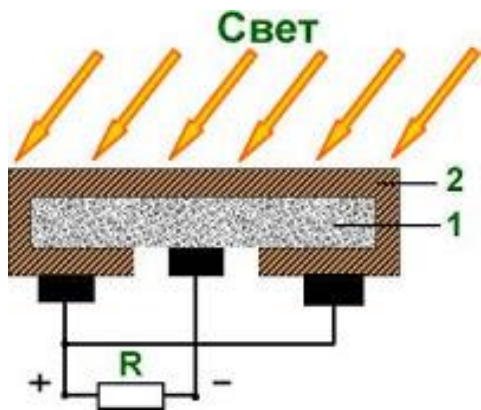


Схема устройства кремниевого вентильного фотоэлемента 1 - пластина кремния, 2 - слой полупроводника

Освещение поверхности фотоэлемента вблизи **p-n**-перехода вызывает ионизацию атомов кристалла и образование новых пар свободных носителей зарядов - электронов и дырок.

Под действием электрического поля **p-n**-перехода образующиеся в результате ионизации атомов кристалла электроны переходят в слой **n**, а дырки — в слой **p**, что приводит к избытку электронов в слое **n** и дырок в слое **p**.

Под действием разности потенциалов (фото-эдс) между слоями **p** и **n** во внешней цепи проходит ток **I**, направленный от электрода **p** к электроду **n**. Этот ток зависит от количества носителей зарядов - электронов и дырок, т. е. от силы света.

Чувствительность вентильных фотоэлементов высока (до 10 мА/лм), они не требуют источника питания и находят широкое применение в различных областях электроники, автоматики, измерительной технике и т. д.

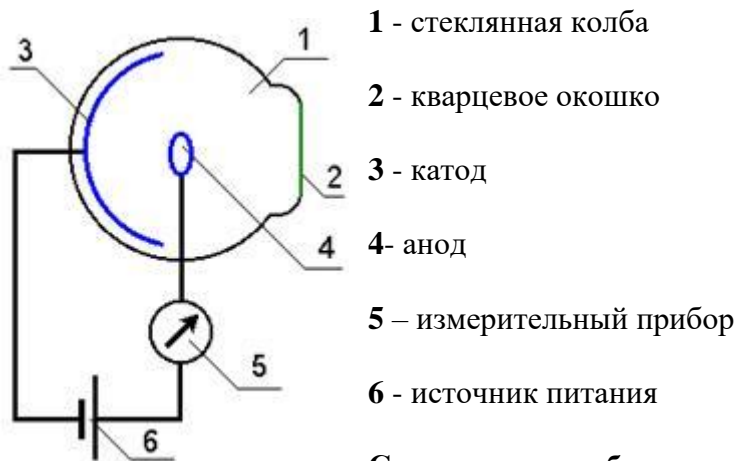
Принцип устройства кремниевого фотоэлемента с запирающим слоем показан на рисунке.

На пластину кремния **1** с примесью, создающей электронную проводимость, вводят примесь бора путем диффузии в вакууме, в результате этого образуется слой полупроводника с дырочной проводимостью **2** очень малой толщины, так что световые лучи свободно проникают в зону перехода. Батареи кремниевых элементов находят применение для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую. Такие преобразователи, называемые солнечными батареями, применяют, например, на искусственных спутниках Земли для питания их аппаратуры.

Полупроводниковый фотоэлемент с двумя электродами, разделенными **p-n**-переходом, называемый **фотодиодом**, может работать как с внешним источником питания (преобразовательный режим), так и без внешнего источника (генераторный режим). При работе в генераторном режиме фотодиода его освещение вызывает возникновение фото-эдс, под действием которой во внешней цепи через нагрузку проходит ток, т. е. источником питания является фотодиод. При работе в фотопреобразовательном режиме напряжение внешнего источника питания приложено встречно фото-эдс и фотодиод подобен фоторезистору с более высокой чувствительностью.

Если фотодиод не освещен, то через него проходит не большой обратный ток (темновой ток) под действием внешнего источника питания. При освещении электронной области фотодиода образуются носители зарядов - электроны и дырки. Дырки доходят до **p-n**-перехода и под действием электрического поля переходят в **p**-область, т. е. освещение вызывает увеличение числа перешедших неосновных носителей из **n**-области в **p**-область, и, следовательно, ток в цепи возрастает (возникает фототок).

УСТРОЙСТВО ФОТОЭЛЕМЕНТА С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ (ФЭ)



Стеклянная колба-стеклянный “сосуд”, разнообразной формы, из которого откачан воздух.

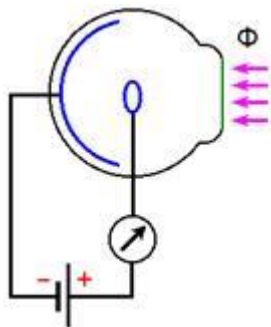
Кварцевое окошко -кварцевая пластинка, впаянная в колбу, пропускает видимое и УФ- излучения. Есть только у ФЭ, которые могут регистрировать ультрафиолетовое излучение.

Катод - отрицательный электрод, в ФЭ изготовлен из щелочных металлов или их сплавов с другими элементами, которые уменьшают работу выхода электронов. Выполнен в виде напыления (тонкой колбы) на внутренней поверхности колбы.

Анод- положительный электрод, в ФЭ изготовлен из никеля или других тугоплавких металлов. Выполнен в виде кольца или сетки.

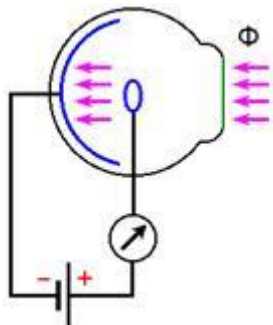
Измерительный прибор- гальванометр или миллиамперметр - устройство предназначенное для измерения величины фототока.

Источник питания- устройство, предназначенное для того, чтобы зарядить *анод положительно*, а *катод отрицательно*

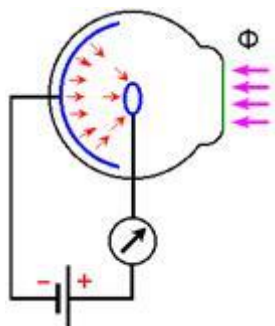
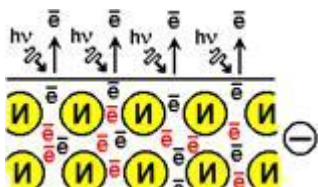


ПРИНЦИП РАБОТЫ ФОТОЭЛЕМЕНТА С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

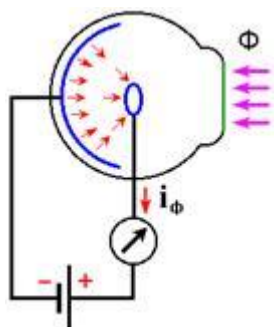
На фотоэлемент падает свет (световой поток - Φ)



Пройдя через кварцевое окошко, он попадает на катод.



Фотоны, обладающие достаточной энергией, выбивают из катода электроны.



Электроны под действием электрического поля летят на анод.

В цепи возникает электрический ток, который называют фототоком (i_ϕ).

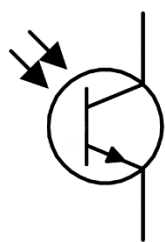
Величина фототока измеряется гальванометром (миллиамперметром). Чем **больше интенсивность** света (чем больше в излучении количество фотонов), тем **больше фототок**, тем на больший угол отклоняется стрелка гальванометра (миллиамперметр)

Фототранзистор — оптоэлектронный полупроводниковый прибор, вариант биполярного транзистора. Отличается от обычного биполярного транзистора тем, что полупроводниковый базовый слой прибора доступен для воздействия внешнего оптического облучения, за счёт этого ток через прибор зависит от интенсивности этого облучения.

Отличается от фотодиода тем, что обладает внутренним усилением фототока и поэтому большей чувствительностью к потокам оптического излучения.

Фототранзистор может иметь полупроводниковую структуру как n-p-n, так и p-n-p транзистора.

Большинство промышленных типов фототранзисторов не имеют электрического вывода базы, но в некоторых моделях такой вывод имеется и обычно служит для смещения начальной рабочей точки прибора посредством подачи в базу некоторого тока.



Принцип работы фототранзистора

Биполярный фототранзистор — полупроводниковый прибор с двумя p-n переходами и тремя слоями полупроводника чередующегося типа проводимости — аналог обычного биполярного транзистора с управлением базовым током. Но в фототранзисторе базовым током является фототок. При освещении базового слоя фототранзистора в его базе за счет внутреннего фотоэффекта генерируются

электронно-дырочные пары, порождая фототок. Этот процесс снижает потенциальный барьер от контактной разности потенциалов в эмиттерно-базовом переходе, что увеличивает диффузию неосновных носителей (для базы) из эмиттера в базу, то есть можно считать, что в этом приборе фототок является базовым током обычного транзистора. Можно сказать, что фототранзистор подобен обычному биполярному транзистору, между выводами коллектора и базы которого включен обратносмещенный фотодиод.

Как известно, транзистор обладает способностью усиливать базовый ток I_B , коэффициент усиления $\beta = I_C / I_B \gg 1$, поэтому ток коллектора I_C и равный ему ток эмиттера I_E в β раз больше исходного фототока. Таким образом, светочувствительность фототранзистора больше светочувствительности фотодиода с равной площадью фотоприемной поверхности в несколько десятков и до нескольких сотен раз.

Основные параметры фототранзистора

Токовая чувствительность $S_{i,\phi}$ по световому потоку фототранзистора определяется отношением тока через прибор I_ϕ к вызвавшему этот ток световому потоку Φ :

$$S_{i,\phi} = I_\phi / \Phi$$

Токовая чувствительность современных фототранзисторов достигает нескольких сотен мА/лм.

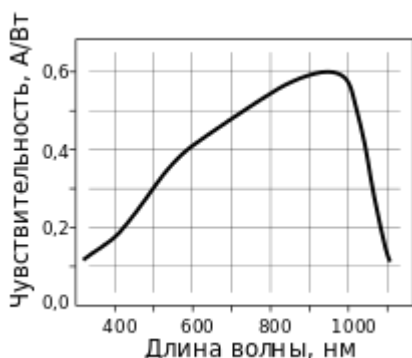
Темновой ток

Даже в отсутствие освещения, через прибор протекает некоторый ток, называемый темновым током. Этот ток вреден для регистрации слабых световых потоков, так как «маскирует» полезный сигнал и при изготовлении фототранзисторов его стремятся уменьшить разными технологическими приемами. Кроме того, величина темнового тока существенно зависит от температуры полупроводниковой структуры и нарастает при её повышении приблизительно так же, как и обратный ток р-п перехода в любом полупроводниковом приборе. Поэтому для снижения темнового тока иногда применяют принудительное охлаждение прибора.

При прочих равных, величина темнового тока сильно зависит от ширины запрещённой зоны полупроводника и снижается при её увеличении. Поэтому характерные значения темнового тока при комнатной температуре германиевых фототранзисторов порядка единиц мкА, кремниевых — долей мкА, арсенидо-галлиевых — десятков пкА.

Спектральная чувствительность

Типовая спектральная чувствительность кремниевого фототранзистора



Чувствительность фототранзистора зависит от длины волны падающего излучения. Например, для кремниевых приборов максимум чувствительности находится в диапазоне 850—930 нм — красный и ближний инфракрасный диапазоны. Для ближнего ультрафиолетового излучения (~400 нм) чувствительность снижается в ~10 раз от максимальной. Также чувствительность снижается при увеличении длины волны и для длин волн свыше ~1150 нм — край оптической полосы поглощения кремния, снижается до нуля.

Быстродействие

Фототранзисторы по сравнению с фотодиодами имеют относительно низкое быстродействие. Это обусловлено конечным временем рассасывания неосновных носителей в базе при снижении освещённости. Кроме того, если напряжение между коллектором и эмиттером изменяется при изменении освещённости, что имеет место в некоторых схемах электрического включения прибора, дополнительно снижает быстродействие эффект Миллера, обусловленный емкостью коллекторно-базового р-п перехода. Практически диапазон рабочих частот фототранзисторов ограничен, в зависимости от схемы включения, несколькими сотнями кГц - единицами МГц.

Включение фототранзисторов в электрические цепи

Классическое включение прибора — с обратносмещенным коллекторным переходом, то есть для прибора со структурой п-р-п на коллектор подается положительное относительно эмиттера напряжение и наоборот для структуры р-п-р.

Для приборов, имеющих третий электрический вывод базы, возможно включение по любой из схем включения обычного биполярного транзистора — с общим эмиттером, базой или коллектором. При этом ток базы задает положение «темновой рабочей точки» на вольт-амперной характеристике.

Иногда трёхвыводные фототранзисторы для увеличения быстродействия включают как обычный фотодиод, проигрывая при этом в чувствительности.

Преимущества и недостатки фототранзисторов

Основное преимущество фототранзисторов по сравнению с фотодиодами — высокая чувствительность к потоку излучения.

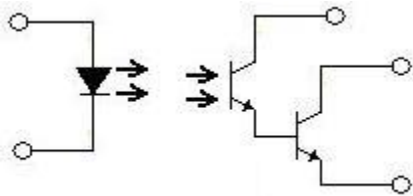
Недостатки — низкое быстродействие, поэтому эти приборы непригодны для применения в качестве приемников излучения в высокоскоростных оптоволоконных линиях связи. Также недостаток фототранзисторов — относительно большой темновой ток.

Конструкция корпусов

Приборы, предназначенные для приема внешнего излучения заключают в пластмассовый, металлостеклянный или металлокерамический корпус с прозрачным окошком или линзой, изготовленных из пластмассы или стекла. Исключение составляют фототранзисторы, входящие в состав оптронов, заключенные совместно с источником излучения в непрозрачный корпус.

Приборы, оформленные в металлостеклянных и металлокерамических корпусах, обычно имеют электрический вывод базы.

Применение



Оптопара с основным транзистором фототранзистор – транзистор по схеме Дарлингтона

Так как фототранзисторы более чувствительны чем фотодиоды их удобно применять в качестве приемников излучения в различных системах автоматики безопасности, системах охранной сигнализации, считывателях перфокарт и перфолент, датчиках положения и расстояния и др. применениях, где некритично быстродействие.

Часто фототранзисторы применяют в оптопарах в качестве приёмников излучения в оптронах.

Оптроны (оптопары) — электронные приборы, служащие для преобразования сигнала электрического тока в световой поток

Оптопара или оптрон — электронный прибор, состоящий из излучателя света (обычно — светодиод, в ранних изделиях — миниатюрная лампа накаливания) и фотоприёмника (биполярных и полевых фототранзисторов, фотодиодов, фототиристоров, фоторезисторов), связанных оптическим каналом и, как правило, объединённых в общем корпусе.

Принцип работы оптрона заключается в преобразовании электрического сигнала в свет, его передаче по оптическому каналу и последующем преобразовании обратно в электрический сигнал.

Классификация

По степени интеграции

- *оптопары (или элементарные оптроны)* — состоящие из двух и более элементов (в т. ч. собранные в одном корпусе)
- *оптоэлектронные интегральные схемы*, содержащие одну или несколько оптопар (с дополнительными компонентами, например, усилителями, или без них).

По типу оптического канала

- с открытым оптическим каналом
- с закрытым оптическим каналом

типу фотоприёмника

- с фоторезистором (резисторные оптопары)

- с фотодиодом
- с биполярным (обычным или составным) фототранзистором
- с фотогальваническим генератором (солнечной батареей); такие оптроны обычно снабжаются обычным полевым транзистором, затвором которого управляет фотогальванический генератор.
- с фототиристором или фотосимистором.

По типу источников света

- с миниатюрной лампой накаливания
- с неоновой лампой
- со светодиодом

Оптроны с полевым транзистором или фотосимистором иногда именуют **оптореле** или **твердотельным реле**.

В настоящее время в оптоэлектронике можно выделить два направления.

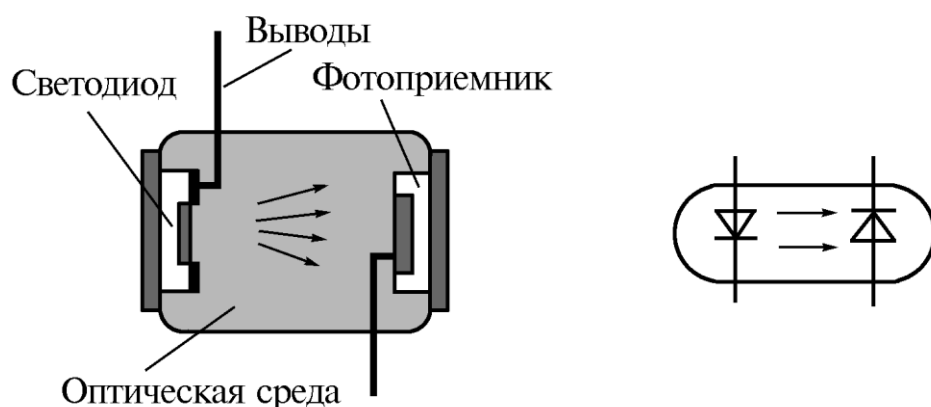
1. Электронно-оптическое, основанное на принципе фотоэлектрического преобразования, реализуемого в твердом теле внутренним фотоэффектом и электролюминесценцией.
2. Оптическое, основанное на тонких эффектах взаимодействия твердого тела с электромагнитным излучением и использующее лазерную технику, голографию, фотохимию и т. д.

Существуют два класса оптических элементов, которые можно использовать при создании оптических ЭВМ:

- Оптроны
- Квантооптические элементы.

Они являются представителями соответственно электронно-оптического и оптического направлений.

Тип фотоприёмника определяет линейность передаточной функции оптрона. Наиболее линейны и тем самым пригодны для работы в аналоговых устройствах резисторные оптроны, затем — оптроны с приёмным фотодиодом или одиночным биполярным транзистором. Оптроны с составными биполярными транзисторами или полевыми транзисторами используются в импульсных (ключевых, цифровых) устройствах, в которых линейность передачи не требуется. Оптроны с фототиристорами применяются для гальванической развязки схем управления от цепей управления.



Оптоэлектронные устройства

Оптоэлектронные устройства — это прежде всего преобразователи, то есть они могут преобразовывать одну форму энергии в другую. Эти устройства производят свет, расходуя электрическую энергию. Они также могут обнаруживать свет и преобразовывать световые сигналы в электрические сигналы для обработки компьютером.

Оптоэлектроника использует квантово-механическое воздействие света. Это свойство используется в основном в материалах, которые используются при изготовлении полупроводников.

Оптоэлектроника — оптоэлектронные устройства, применение, преимущества и недостатки

Фотопроводимость

Этот электрический феномен делает материал более электронно проводящим. Это достигается за счет поглощения электромагнитных излучений, таких как ультрафиолетовый свет, инфракрасный и видимый свет. Как правило, он используется в датчиках формирования изображений с зарядовой связью (CCD).

Вынужденная эмиссия

В этом процессе под напряжением молекула взаимодействует с легким фотоном. Это взаимодействие уменьшает энергетический уровень фотона и приводит к освобождению или испусканию соответствующего фотона. Затем он переносится в электромагнитное поле. Квантовые каскадные лазеры и лазерные диоды используют этот процесс.

Радиационная рекомбинация

При таком подходе перенос электрона происходит в полупроводниках от валентной к проводящей зоне. Это приводит к эффекту рекомбинации и процессу генерации носителей, который производит свет. Светодиоды используют этот принцип для производства света.

Принцип работы оптоэлектронной системы связи

Типичная оптоэлектронная система связи состоит из компонентов, а именно:

- Источник света
- Оптический передатчик
- Фото муфта
- Волоконно-оптический, волновод
- преобразователь
- Оптический приемник или детектор

Источник света

Свет, излучаемый источником, действует как вход в оптический передатчик. Светодиоды и лазерные диоды используются в качестве источника света в зависимости от применения. Они генерируют входные электрические сигналы для системы связи.

Оптический передатчик

Оптический передатчик преобразует сигнал, полученный от лазерного диода или светодиода, в оптический выход.

Фото муфта

Фотоприемники передают электрические сигналы между двумя изолированными цепями через канал передачи, который может быть оптическим волокном, волноводом или свободным пространством. Это также обеспечивает высокое напряжение изоляции.

Волоконно-оптический, волновод

Он действует как среда передачи и направляет электромагнитные волны в оптическом спектре.

Преобразователь

Преобразователь модулирует сигнал, пропорциональный падающему свету, и сигнал дополнительно подвергается соединению через канал.

Оптический приемник или детектор

Фотодиоды и фототранзисторы обычно используются в качестве оптических детекторов. Детектор света преобразует падающий свет в электрический сигнал, и он дополнительно обрабатывается или сохраняется для получения информации. Генерируемый электрический сигнал является либо фототоком, либо фото-напряжением.

Оптоэлектронные приборы

Оптоэлектронное устройство состоит из различных полупроводниковых сплавов, которые лежат на подложках. Различные полупроводниковые слои наносятся последовательно на подложку при расширении многоквантовой ямы активных областей лазера.

Эти слои осаждаются, изменяя между областями барьера и скважины. Отверстия и электроны объединяются в области скважины, чтобы произвести лазерный свет. Барьерные области используются для ограничения дырок и электронов внутри скважины.

Оптоэлектронные устройства включают в себя:

- Информационные дисплеи с использованием светодиодов
- Фотодиоды
- Система дистанционного зондирования
- Солнечные батареи

Теперь мы рассмотрим некоторые из распространенных оптоэлектронных устройств, используемых сегодня.

Фотодиоды

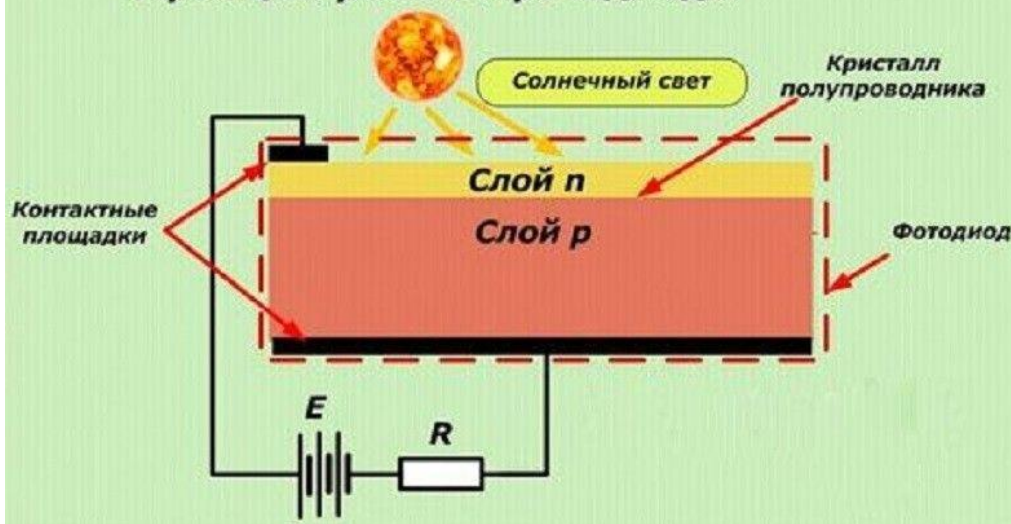
Этот полупроводниковый датчик света генерирует электричество или напряжение, когда свет касается соединения. Соединение здесь является активным рп-переходом, работающим в режиме обратного смещения. Когда возбужденный фотон попадает на фотодиод, создаются пары электрон-дырка.

Затем электроны диффундируют в рп-переход, создавая электрическое поле. Это электрическое поле равно отрицательному напряжению, найденному на несмещенном диоде. Этот процесс называется внутренним фотоэлектрическим эффектом. Фотодиоды можно использовать в трех форматах:

- Фотоэлектрические: как солнечные элементы
- Вперед смещен: как светодиод
- Обратное смещение: как фотодетектор

Они используются в различных типах схем и приложениях, таких как медицинские инструменты, камеры, устройства связи, безопасность и промышленное оборудование.

Принцип работы фотодиода

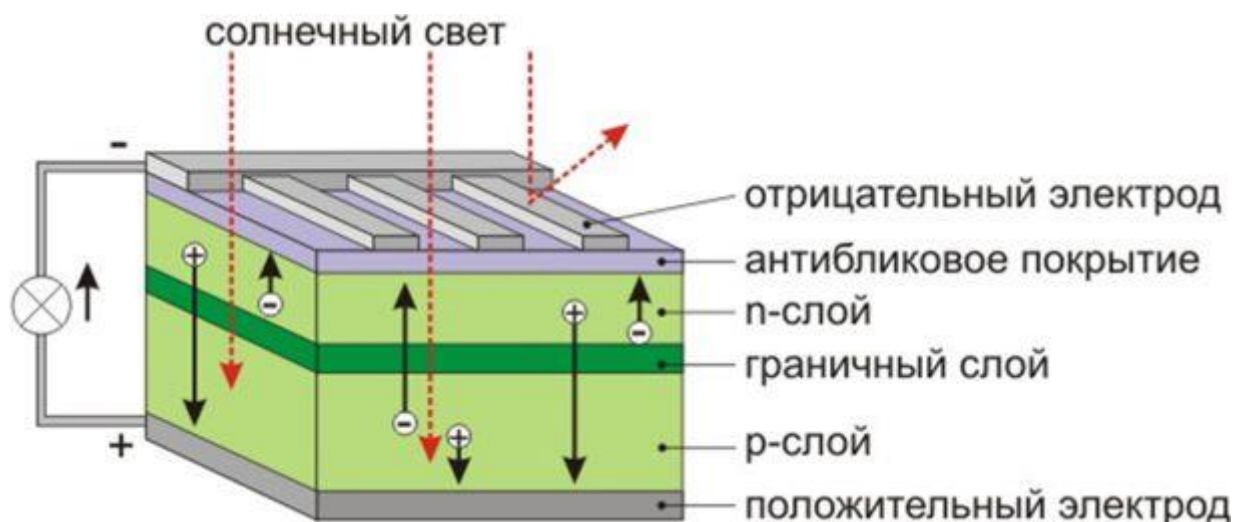


Солнечные батареи

Этот фотоэлектрический элемент осуществляет прямое преобразование солнечной энергии в электричество. Солнечный свет состоит из фотонов. Когда эти фотоны сталкиваются с атомами кремния солнечного элемента, происходит передача энергии от фотонов к потерянным электронам. Эти электроны высокой энергии затем попадают во внешние цепи.

Солнечные батареи состоят только из двух слоев. Первый загружен электронами, которые всегда готовы прыгнуть на второй слой. Второй слой имеет несколько недостающих электронов и, следовательно, может вместить электроны из первого слоя.

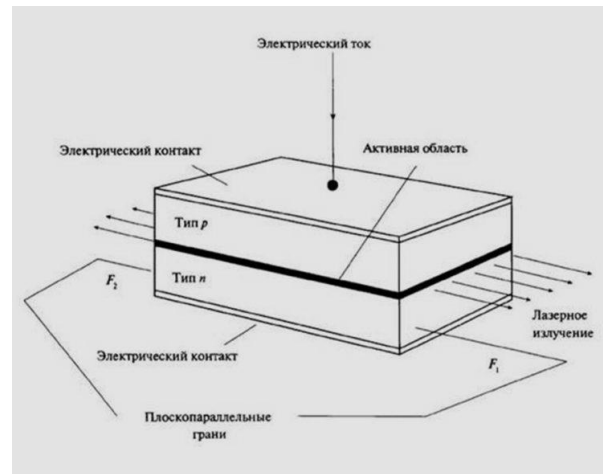
Солнечные батареи выгодны, так как это экономически выгодно и не требует подачи топлива. Они требуют минимального обслуживания. Они используются в сельской электрификации, океанских навигационных системах и производстве электроэнергии в космосе.



Лазерные диоды

Laser (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation) — усиление света стимулированным излучением — лазер. Излучением является источником направленного, когерентного и высоко монохроматического света. Он функционирует в условиях вынужденного излучения. Лазерный луч обычно $4 \times 0,6$ мм и простирается на расстояние 15 метров. Полупроводниковые лазеры или инжекционные лазеры широко используются сегодня.

При приложении напряжения к PN-переходу происходит инверсия населенности электронов. Лазерный луч затем доступен из этой полупроводниковой области. Конечные точки рп-перехода в лазерном диоде имеют полированную поверхность. Эти полированные поверхности являются отражающими по своей природе и помогают испускаемым фотонам отражаться обратно, создавая тем самым больше пар электронов. Таким образом, вновь созданные фотоны будут иметь ту же фазу, что и предыдущие фотоны.



Применение оптоэлектроники

Оптоэлектронные полупроводниковые приборы оказывают значительное влияние практически на все области информационных технологий. Эти устройства могут быть классифицированы на основе их функциональных ролей, таких как вывод, ввод, обработка, передача, память и другие.

Многие технологии и физические свойства используются приложениями, использующими оптоэлектронику. Несколько таких применений получили наше понимание и контроль только в течение предыдущего десятилетия.

Ниже упоминаются некоторые области применения оптоэлектронных устройств:

- Светодиоды произвели революцию в системе освещения и используются в таких областях, как компьютерные компоненты, часы, медицинские приборы, волоконно-оптическая связь, коммутаторы, бытовая техника, бытовая электроника и 7-сегментные дисплеи.
- Солнечные элементы используются в нескольких проектах на основе солнечной энергии для измерительных систем, системы автоматического полива, контроллера заряда солнечной энергии, солнечных уличных фонарей на основе Arduino и солнечных панелей для слежения за солнцем.
- Оптические волокна используются в телекоммуникациях, волоконных лазерах, сенсорах, биомедицинских и других отраслях промышленности.
- Лазерные диоды находят свое применение в военной отрасли, хирургических процедурах, оптических запоминающих устройствах, проигрывателях компакт-дисков, локальных сетях и в электрических проектах, таких как роботизированные транспортные средства с радиочастотным управлением

Преимущества оптоэлектроники

- Оптоэлектроника очень помогла военной и аэрокосмической промышленности. Передаваемые воздушные радиочастотные линии могут не достигать намеченных приемников из-за ограниченного пространства, туннелей или морских судов, и для преодоления этого они используют оптические повторители и оптоволоконные сети.
- Оптоэлектроника дала новое измерение в разработке спутников будущего.
- Это обеспечивает высокую пропускную способность для связи.
- Оптоэлектронные устройства потребляют меньше энергии.

Недостатки оптоэлектроники

- Оптоэлектронные устройства чувствительны к температуре.
- Муфта требует точного выравнивания оптоэлектронных компонентов.
- Интеграция оптоэлектронных элементов на подложку затруднена.

Будущее оптоэлектронных устройств

Оптоэлектроника — это жизненно важная технология, которая обеспечивает бесперебойное функционирование информационной индустрии. Академически, оптоэлектроника охватила изучение электронных устройств для передачи, излучения и модуляции световых сигналов. Однако сегодня его сфера применения расширилась и включает в себя электрооптику и фотонику. Коммерчески значимые технологии для материаловедения, связи, вычислительной техники и медицины стремительно развиваются благодаря достижениям в оптоэлектронике.

Технология оптоэлектроники сегодня предоставляет больше возможностей для исследований и разработок. Его эффект можно увидеть в областях снижения затрат, улучшения производительности и больших объемов производства. Промышленные и академические сообщества предсказывают светлое будущее для исследований в области технологий оптоэлектроники. Ожидается, что текущие достижения в области фотоники и оптики произведут революцию в 21 веке.

Оптоэлектронные микросхемы

Приборы этого типа содержат одну или несколько оптопар, а также согласующие элементы или электронные интегральные схемы, объединенные при помощи гибридной технологии в один корпус. Оптоэлектронные микросхемы обладают более широкими возможностями, чем элементарные оптроны. Их можно разделить на три основные группы.

К первой относятся *переключательные микросхемы*; эта группа наиболее многочисленна. Примером прибора этого типа может служить микросхема серии 249ЛП1 (рис. 2.7, а), в которой объединены диодный оптрон и стандартная интегральная схема, имеющая два статических состояния, при одном из которых напряжение на ее выходе равно примерно 0,3 В, а при другом — около 3 В.

Во вторую группу объединены линейные, *оптоэлектронные микросхемы*, которые способны выполнять аналоговые преобразования сигналов. В качестве примера можно привести микросхему серии К249КН1, линейную по выходной цепи, которая состоит из двух диодных оптронов, работающих в режиме фотоэлементов и выполняющих функции широкополосного (вплоть до передачи постоянного сигнала) трансформатора (рис. 2.7, б).

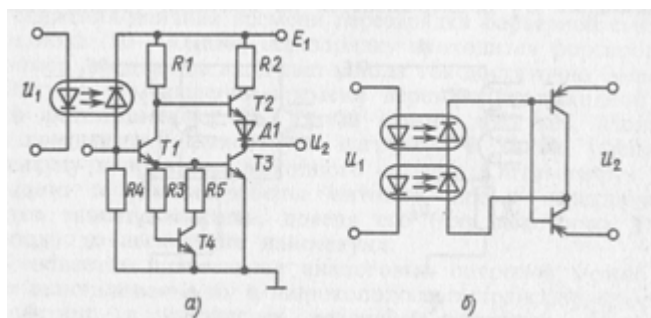


Рис.2.7 Примеры оптоэлектронных микросхем

К третьей группе относятся *оптоэлектронные микросхемы релейного типа*, использующиеся для коммутации силовых цепей в широком диапазоне напряжений и токов. По входным параметрам эти приборы согласованы со стандартными интегральными микросхемами; в качестве примера можно назвать оптоэлектронное реле постоянного тока серии К295КТ1.

Помимо микросхем перечисленных трех групп существуют и более сложные. К ним относятся, например, *фоточувствительные приборы с зарядовой связью*, многоустойчивые элементы — *сканисторы* и т.д.

Так же как и элементарные оптроны, оптоэлектронные микросхемы обладают тем недостатком, что их приходится изготавливать по гибридной технологии, объединяя элементы из разных материалов. По мере совершенствования способов получения этих элементов открываются перспективы создания оптоэлектронных микросхем на одном кристалле, а также пленочных. Это должно привести не только к дальнейшей миниатюризации таких приборов, но и к расширению их функциональных возможностей.

2.3. Применение оптронов

2.3.1. Применение оптронов в цифровых и линейных схемах

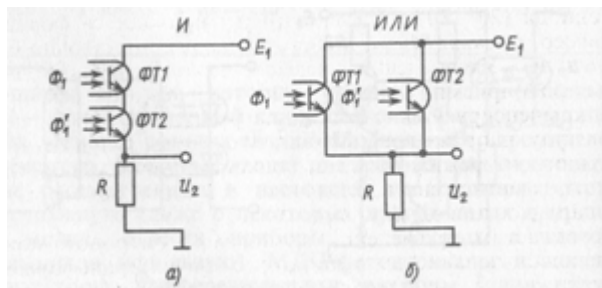


Рис. 2.8 Логические оптоэлектронные элементы

Использование оптронов (прежде всего—диодных и транзисторных) в цифровых и импульсных устройствах связано с возможностью их быстрого переключения из состояния с низким уровнем сигнала на выходе в состояние с высоким уровнем, или наоборот. В качестве

примера можно привести оптоэлектронные элементы, позволяющие реализовать основные логические функции в устройствах цифровых систем. Так, схема, представленная на рис. 2.8, а, моделирует операцию логического умножения (И), а схема на рис. 2.8, б — операцию логического сложения (ИЛИ). В первом случае выходное напряжение U_2 поддерживается на высоком уровне, близком к напряжению U_1 , только если оба фототранзистора $\Phi T1$ и $\Phi T2$ включены и через них идет ток, близкий к насыщению (см. рис. 1.10,б), а во втором — при выходе на насыщение вольт-амперной характеристики любого из фототранзисторов $\Phi T1$ или $\Phi T2$. Оптроны могут также с успехом применяться для моделирования и других логических операций.

Еще одним примером использования оптронов в цифровых устройствах может служить оптоэлектронная микросхема серии 249ЛП1 (см. рис. 2.7,а). При протекании по цепи арсенид-галлиевого светодиода номинального входного тока в цепи фотоприемника (кремниевое фото диода) возникает фототок, одновременно являющийся базовым для транзистора $T1$; этот ток достаточен для отпирания транзистора. Эмиттерный ток транзистора $T1$ поступает в базу транзистора $T3$ и переводит его в режим насыщения. При этом напряжение на выходе микросхемы оказывается равным падению напряжения на насыщенном транзисторе (примерно 0,3 В). Если же входной ток оптрона меньше номинального, то через его фотоприемник течет лишь малый темновой ток и транзистор $T1$ остается запертым. В этом случае через резистор $R1$ течет базовый ток транзистора $T2$, причем его значение таково, что $T2$ находится в режиме насыщения. В результате напряжение на выходе оптопары является разностью напряжения E_1 , базового напряжения транзистора $T2$ и напряжения на диоде $D1$; для микросхемы такого типа это 2,5—3,5 В.

Одним из важных параметров, по которым оптроны могут уступать однотипным устройствам (диодам, триодам, микросхемам) без оптических связей, является быстродействие, определяемое главным образом барьерными емкостями источника излучения и фотоприемника. Проигрыш в быстродействии может быть еще выше, если не принимать специальных мер по согласованию режимов работы элементов оптопары. Так, для снижения влияния времени перезарядки барьерной емкости светодиода (20—300 пФ) перезарядку приходится форсировать, например, подавая на вход светодиода ток достаточно большой амплитуды. Уменьшения времени перезарядки выходной емкости фотоприемника (5—15 пФ) можно добиться, изолируя или компенсируя емкостную нагрузку, а также уменьшая амплитуду напряжения выходного сигнала. Оптимизируя конструкцию и режим работы оптопар, время переключения удастся заметно снизить, доведя его (для некоторых типов оптопар) до нескольких наносекунд.

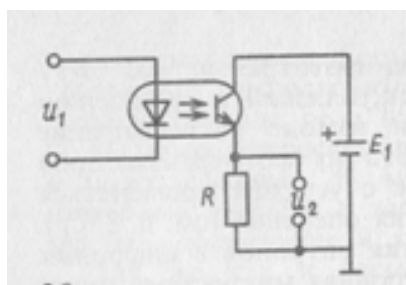


Рис. 2.9 Пример применения оптронов в аналоговом устройстве

К областям применения аналоговых оптронов можно отнести использование их в широкополосных трансформаторных устройствах, в усилителях различных сигналов, в других системах аналогового преобразования. Схема простого усилителя на основе оптрона, обеспечивающего электрическую развязку от остальной части схемы, изображена на рис. 2.9. Входной

сигнал, подаваемый на вход оптрона, после преобразования в излучение попадает на базу фототранзистора, осуществляя тем самым управление амплитудой тока на выходе оптопары и напряжением на сопротивлении нагрузки R . Коэффициент усиления всего устройства определяется значением k_I используемого транзисторного оптрона.

В аналоговых устройствах используют диодные и резисторные, а также (в некоторых случаях) транзисторные оптопары. Требования к аналоговым оптронам определяются конкретными условиями их применения и поэтому общего критерия качества, подобного тому, который имеет место в случае цифровых оптронов (добротности), для них нет. В то же время для сохранения формы передаваемого сигнала желательна линейность передаточной характеристики (постоянство k_I в достаточно широком диапазоне токов). Этому требованию в наибольшей мере отвечают диодные оптроны, хотя и у них интервал значений I_I , при которых k_I постоянен, не слишком велик. Так, например, у оптопары АОД 101 даже при ее термостатировании передача аналогового сигнала с нелинейностью менее 2% осуществляется лишь при двух-трехкратном изменении I_I .

Сказанное означает, что при проектировании аналоговых устройств, использующих оптроны, необходимо предусматривать дополнительные меры по линейризации передаточной характеристики. В этой связи перспективным является применение дифференциальных оптронов (с одним излучателем и двумя фотоприемниками), у которых коэффициенты передачи по току между излучателем и первым фотоприемником, а также между излучателем и вторым фотоприемником одинаковы, причем в равной мере меняются в зависимости от условий работы (T, I_I, U_I). Фотоприемники включены таким образом, чтобы при подаче сигнала входной ток одного из них увеличивался, а другого в той же мере уменьшался. Увеличение k_I первого канала оптрона примерно компенсируется уменьшением k_I второго, а общая передаточная характеристика оптопары выравнивается.

2.3.2. Управление процессами в высоковольтных цепях

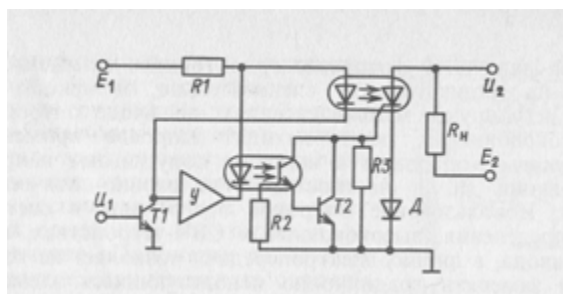


Рис. 2.10 Высоковольтный оптоэлектронный ключ

Для бесконтактного управления процессами в высоковольтных (до 1300 В) и сильноточовых (до 320 А) цепях используют мощные ключевые оптроны, типичными представителями которых являются тиристорные и транзисторные оптопары. По своим техническим

показателям оптоэлектронные переключатели успешно конкурируют с электромагнитными реле и герконами (герметизированными переключателями), превосходя их по надежности, долговечности и помехоустойчивости.

Пример схемного варианта высоковольтного оптоэлектронного ключа, в котором тиристорный оптрон, переключающий ток в цепи с постоянным напряжением, управляется сразу по двум каналам—оптическому и электрическому, приведен на рис. 2.10. Если входной транзистор $T1$ открыт и работает в режиме насыщения, то на выходе усилителя u поддерживается высокий потенциал и ток течет лишь через излучатель тиристорной оптопары — фототиристор включен. Для его выключения транзистор $T1$ запирается, в результате чего, во-первых, снижается напряжение на светодиоде тиристорной оптопары, и он перестает излучать свет, и, во-вторых, на шину нулевого потенциала закорачивается управляющий электрод фототиристора. Закорачивание обусловлено тем, что после снижения напряжения на выходе усилителя—инвертора u светодиод транзисторной оптопары открывается и через фотоприемник начинает течь ток, переводящий транзистор $T2$ в режим насыщения. Подобная схема может управлять током в цепи постоянного напряжения 50—400 В, причем длительность переключения фототиристора составляет 5—10 мкс.

Обобщенным параметром, характеризующим качество ключевых оптронов, является отношение максимальной мощности коммутируемой цепи к входной мощности, необходимой для управления.

Это отношение носит название *коммутационной добротности* и для современных оптронов составляет примерно $10^2—10^6$.

Для управления цепями высокого напряжения могут применяться и оптопары других типов. Так, в схемах управления электролюминесцентными индикаторами, возбуждающимися переменным напряжением с амплитудой 115—300 В, используют резисторные оптроны. В цепь питания индикатора включают фоторезистор оптопары; изменение напряжения на индикаторе (а следовательно, и яркость его свечения) регулируют малым сигналом на входе оптрона.

В высоковольтных цепях находят широкое применение *оптоизоляторы* — оптопары с высоким допустимым напряжением изоляции (и, в частности, с волоконно-оптическими каналами). Использование оптронов этого типа в системах энергораспределения, высоковольтных СВЧ-устройствах, аппаратуре привода, в линиях электропередачи позволяет не только с успехом заменять традиционно использующиеся элементы, но и стимулирует дальнейшее совершенствование вновь разрабатываемых для этих целей приборов.

2.3.3. Использование оптронов для получения информации оптическим методом

Специальные оптроны с открытым оптическим каналом могут применяться в бесконтактной дистанционной технике в качестве индикаторов положения объектов и состояния их поверхности, датчиков заполнения сосудов жидкостью, устройств считывания информации с перфоносителей на входе ЭВМ и т. д. Существуют два типа подобных оптронов. Приборы первого типа (*оптопрерыватели*) реагируют на попадание в оптический канал непрозрачного предмета, который прерывает (или изменяет) световой поток, падающий на фотоприемник. Область применения оптопрерывателей — индикация положения и счет объектов, сигнализация об изменении параметров воздушной среды между излучателем и фотоприемником (например, при появлении дыма), считывание информации с перфокарт и др. Приборы второго типа (*отражательные оптроны*) регистрируют световой поток, отраженный от исследуемой поверхности. Эти приборы позволяют, например, осуществлять автоматический контроль шероховатости поверхности, ее дефектности.

Из-за наличия воздушного зазора в оптическом канале коэффициент передачи по току таких оптронов мал, причем у отражательных оптронов он еще зависит и от свойств исследуемой поверхности, а также от расстояния до нее. Реально это расстояние не должно превышать нескольких миллиметров.

Пример схемы, в которой используется отражательный оптрон с открытым оптическим каналом, приведен на рис. 2.11. На этой схеме 1—генератор импульсного сигнала, подаваемого на светодиод 3 оптопары, 6—устройство, регистрирующее сигнал с фототранзистора, 4, 2 и 5—усилители входного и выходного сигналов. При изменении интенсивности отраженного от исследуемой поверхности светового потока меняется ток фотоприемника, что фиксируется регистрирующим устройством.

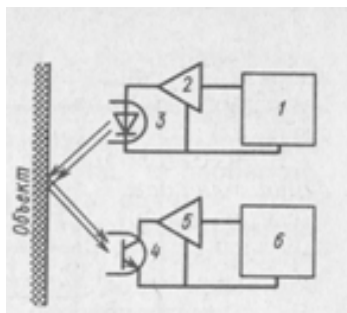
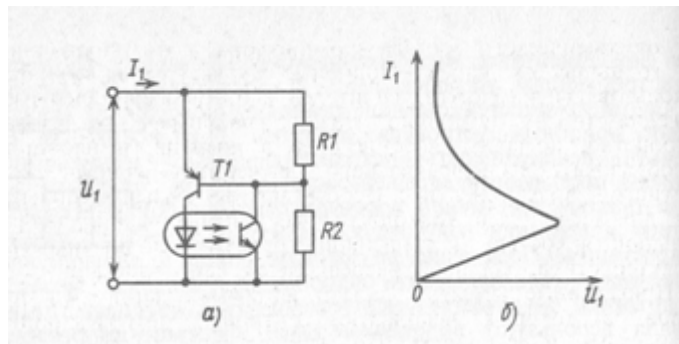


Рис 2.12 Оптоэлектронный датчик с открытым оптическим каналом

Среди трудностей схемной реализации подобных устройств следует назвать необходимость устранения влияния посторонней внешней засветки и обеспечения точной пространственной ориентации излучателя и фотоприемника. Положение во многом облегчается, если применить оптроны, у которых в качестве оптического канала используют волоконные световоды. Одним концом световоды пристыкованы к излучателю или фотоприемнику; срезы их других концов ориентированы таким образом, чтобы они могли служить чувствительным элементом схемы. Оптоэлектронные зонды этого типа могут использоваться, например, для исследования профиля поверхности, причем применение световодов малого диаметра позволяет регистрировать довольно «тонкие» изменения ее рельефа.

2.3.4. Другие применения оптронов

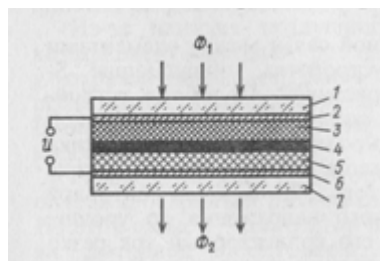
Как уже отмечалось в 2.2.2, диодные оптроны способны работать в режиме фотоэлементов, выступая в качестве изолированных источников э. д. с. и тока. Полное отсутствие гальванической связи с внешним источником питания дает возможность создавать устройства, обладающие высокой помехозащищенностью. Значение получаемой на выходе оптрона разности потенциалов составляет 0,3—0,4 В, однако батарейное соединение таких оптронов позволяет создавать маломощные источники питания с напряжением до 5 В и током 0,5—50 мА. К сожалению, к. п. д. оптрона, работающего в режиме фотоэлемента, не превышает 1%, хотя в некоторых случаях он может достигать 10—15%. *Рис 2.12 Пример оптронной схемы с S-образной ВАХ*



Введение положительной обратной связи между элементами оптопары позволяет получить устройства, обладающие S-образной вольт-амперной характеристикой. Подобные устройства называют *регенеративными оптронами*; вариант одной из возможных схем и ее вольт-амперная характеристика приведены на рис. 2.12. При малом напряжении на входе оптрона (рис. 2.12, а) и

транзистор $T1$, и сама оптопара заперты. После повышения входного напряжения до уровня, достаточного для открывания $T1$, его коллекторный ток резко увеличивается, возбуждается излучатель оптопары. Возникающий при этом фототок приемника, в свою очередь, способствует еще большему отпирианию транзистора $T1$; этот процесс приводит к возникновению на вольт-амперной характеристике всего устройства участка с отрицательной крутизной (рис. 2.12, б). Таким образом, регенеративные оптроны являются *бистабильными элементами* (данному U_1 соответствуют два значения I_2) и поэтому пригодны для использования в качестве переключателей, усилителей, генераторов оптических и электрических колебаний.

Рис 2.13 Структура оптикоэлектронного преобразователя изображения



В заключение следует упомянуть о приборах, в которых преобразование энергии происходит по схеме излучение — электрический сигнал — излучение. Примером подобного устройства может служить прибор, схема которого изображена на рис. 2.13.

Поток излучения Φ_1 , попадая через стеклянную подложку 1 и прозрачный электрод 2 на слой фотопроводника 3 (например, CdS), вызывает изменение его сопротивления, в результате чего происходит перераспределение напряжения, подаваемого на прозрачные электроды 2 и 6, между освещенным участком фотопроводника и прилегающей к нему областью слоя ZnS — электролюминофора 5. Повышение напряжения на люминофорном слое сопровождается возрастанием яркости его свечения; возникающий при этом поток излучения Φ_2 выходит сквозь стеклянную пластину 7. Для предотвращения оптической связи между слоями фотопроводника и электролюминофора в устройстве предусмотрен еще один непрозрачный слой 4. Амплитуда управляющего напряжения, яркость, контраст и цвет получаемого изображения зависят от химического состава люминофора и фотопроводника, от толщины их слоев. Подобные структуры могут быть использованы в качестве усилителей и преобразователей изображения (с их помощью можно, например, реализовать устройство, превращающее негатив в позитив, и наоборот), преобразователей инфракрасного излучения в видимое, когерентного — в некогерентное. Особый интерес вызывает применение для этих целей тонкопленочных устройств, обладающих большой яркостью, повышенной крутизной вольт-яркостной характеристики, хорошей разрешающей способностью.

Приведенные примеры далеко не исчерпывают круг приборов, в которых используют оптроны, оптоэлектронные микросхемы и устройства. По мере совершенствования параметров оптронов этот круг все более расширяется.