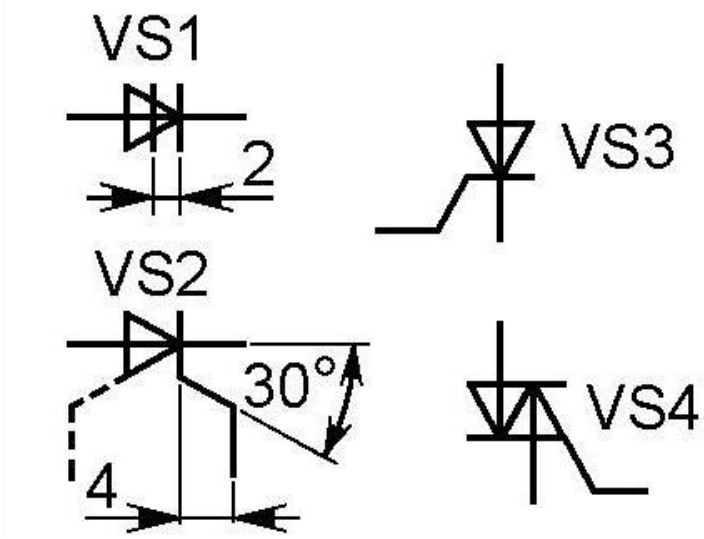
Тиристоры

Тиристоры – полупроводниковые приборы, имеющие три и более *p-n*-переходов. Тиристор – электронный ключ, т.е имеет два состояния: включен (открыт) и выключен (закрыт).

Максимальное напряжение, прикладываемое к тиристору составляет в пределе до нескольких сотен (тысяч) вольт, а максимальный ток лежит в диапазоне от нескольких ампер до тысячи ампер.



УГО тиристоров

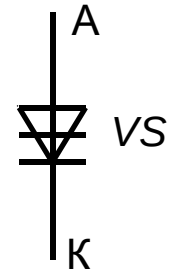
Название «тиристор» от греч. *thyra* (тира) - дверь, вход.

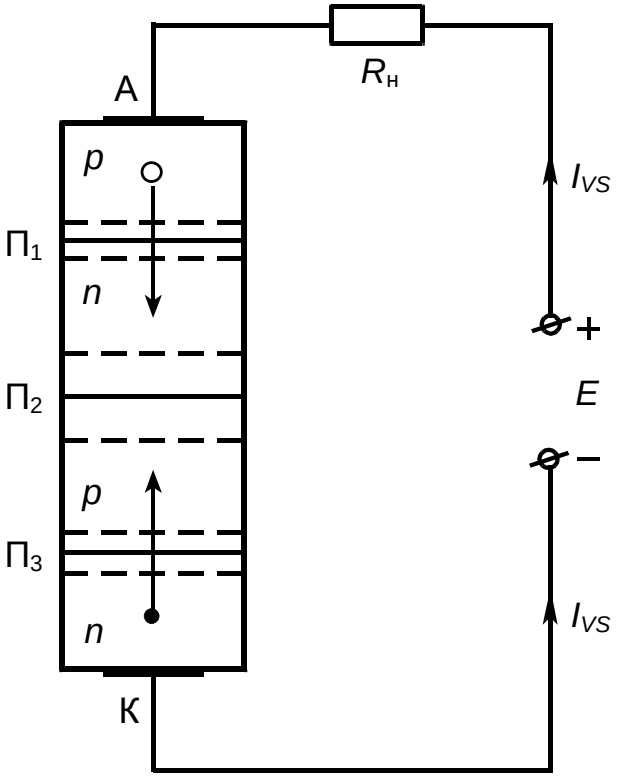
*VS*1 – динистор;
*VS*2,*VS*3 – тринистор;
*VS*4 – симистор.

Тиристор – Silicon Controlled Rectifier (SCR)

Динистор – диодный тиристор

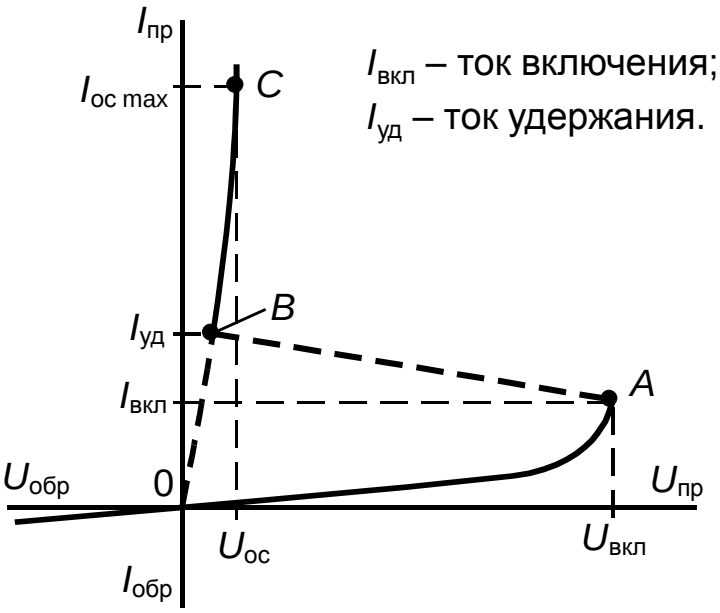
Динистор имеет *p-n-p-n* структуру и три *p-n*-перехода:
$П_1$, $П_3$ работают в прямом направлении;
$П_2$ – в обратном.





Принцип действия

Через переходы $П_1$ и $П_3$ в области, примыкающие к $П_2$, инжектируются неосновные носители заряда. В результате, сопротивление перехода $R_{П2}$ уменьшается.



На $R_{П2}$ влияют два взаимно противоположных процесса:

1. Повышение обратного для $П_2$ напряжения $U_{АК}$ увеличивает $R_{П2}$.
2. Это же напряжение является прямым для $П_1$ и $П_3$, => инжекция носителей к переходу $П_2$ возрастает, что способствует уменьшению.

На участке 0*A* – наибольшее влияние имеет 1 процесс.

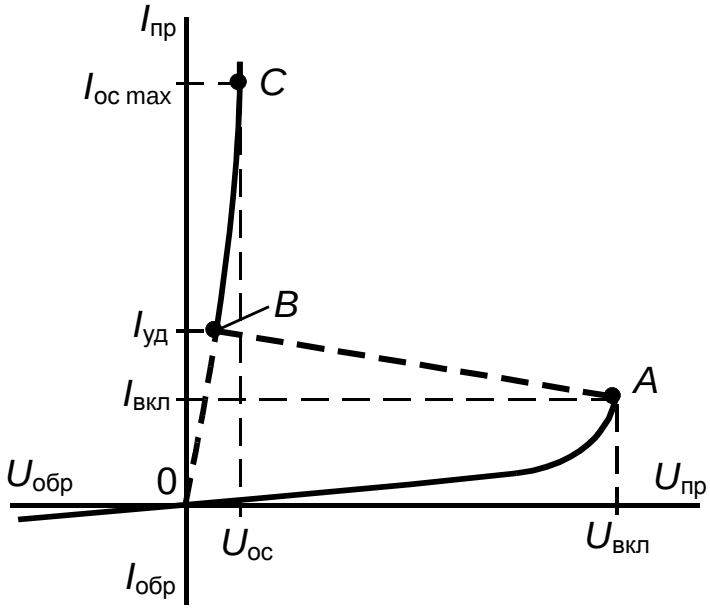
В точке *A* влияние обоих процессов уравновешено. Точке *A* соответствует напряжение включения ($U_{вкл}$ = десятки ÷ сотни В). Теперь даже ничтожно малое повышение подводимого напряжения ведет к преобладанию 2-го процесса, => $R_{П2}$ уменьшается. Возникает лавинообразные процесс быстрого отпирания тиристора, и ток тиристора практически скачком возрастает (участок *AB*).

Механизм отпирания

$$U_{пр}\uparrow \Rightarrow U_{П1}, U_{П3}\uparrow \Rightarrow R_{П2}\downarrow \Rightarrow U_{П2}\downarrow \Rightarrow U_{П1}, U_{П3}\uparrow \Rightarrow R_{П2}\downarrow \Rightarrow U_{П2}\downarrow \Rightarrow I_{пр}\uparrow\uparrow$$

$I_{пр}\uparrow$

Увеличение напряжений $U_{П1}$, $U_{П3}$ ведет к уменьшению $R_{П2}$, а => уменьшению $U_{П2}$. За счет этого еще больше возрастают напряжения на П1 и П3, а это , в свою очередь, приводит к дальнейшему уменьшению $R_{П2}$ и еще большему увеличению тока $I_{пр}$ через динистор (положительная обратная связь).



В конечном итоге, устанавливается режим, похожий на режим насыщения транзистора (участок *BC*): большой ток $I_{ос\ max}$ и малое $U_{ос}$.

В этом режиме прибор открыт, включен (ключ замкнут):

$$I_{ос\ max} = I_{VS} = \frac{E}{R_{VS} + R_{н}} = [R_{VS} \square R_{н}] \cong \frac{E}{R_{н}}.$$

$U_{ос}$ = несколько Вольт.

Точка *C* на ВАХ соответствует максимально допустимому значению прямого тока $I_{ос\ max}$ и минимальному $U_{ос}$.

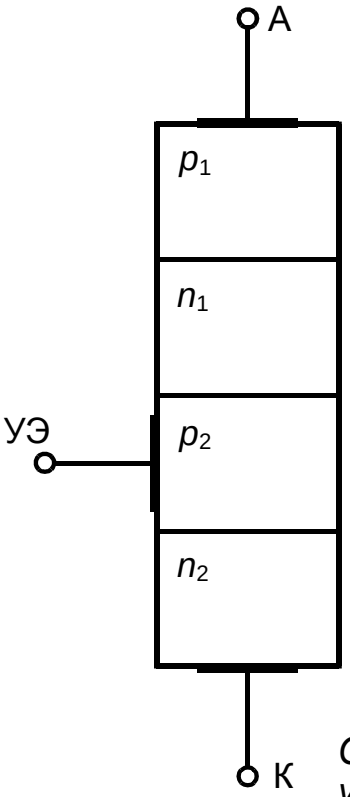
Существуют динисторы с симметричными прямой и обратной ветвями ВАХ – Diode for Alternating Current (DIAC).

Для выключения тиристора необходимо выполнить: $I_{VS} < I_{уд}$ ($I_{выкл}$).

Тиристор управляется током! Для включения тиристора необходимо обеспечить: $I_{VS} > I_{вкл}$. Необходимый ток включения $I_{вкл}$ создается при подаче на тиристор напряжения включения $U_{вкл}$.

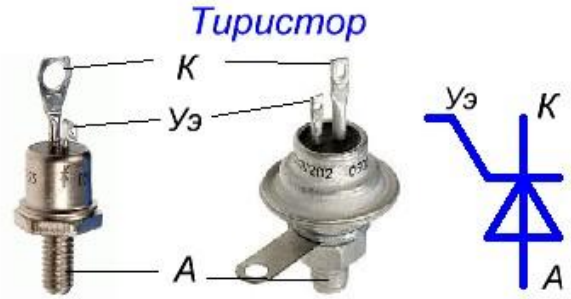
Тринистор – триодный тиристор

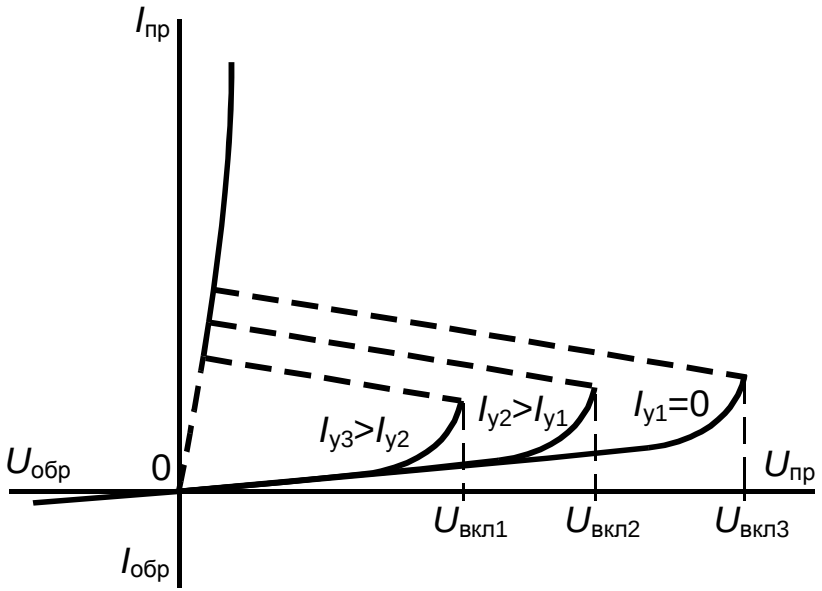
Тринистор – трехэлектродный прибор – динистор с дополнительным управляющим электродом (УЭ), подключенным к одной из областей (p_2).

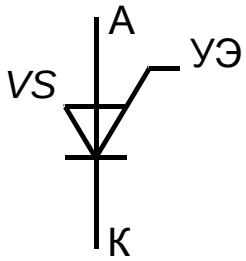


Структура тиристора с управлением по катоду

Подавая прямое напряжение на управляющий переход p_2-n_2, можно регулировать $U_{вкл}$ тиристора, причем чем больше ток через этот переход I_y, тем ниже $U_{вкл}$.





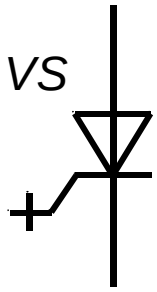


Тиристор с управлением по аноду

При $I_{у1}$ = 0 тринистор превращается в динистор. С увеличением управляющего тока I_y инжекция носителей к среднему переходу усиливается и => при меньшем напряжении $U_{вкл}$ будет достигнут ток $I_{вкл}$.

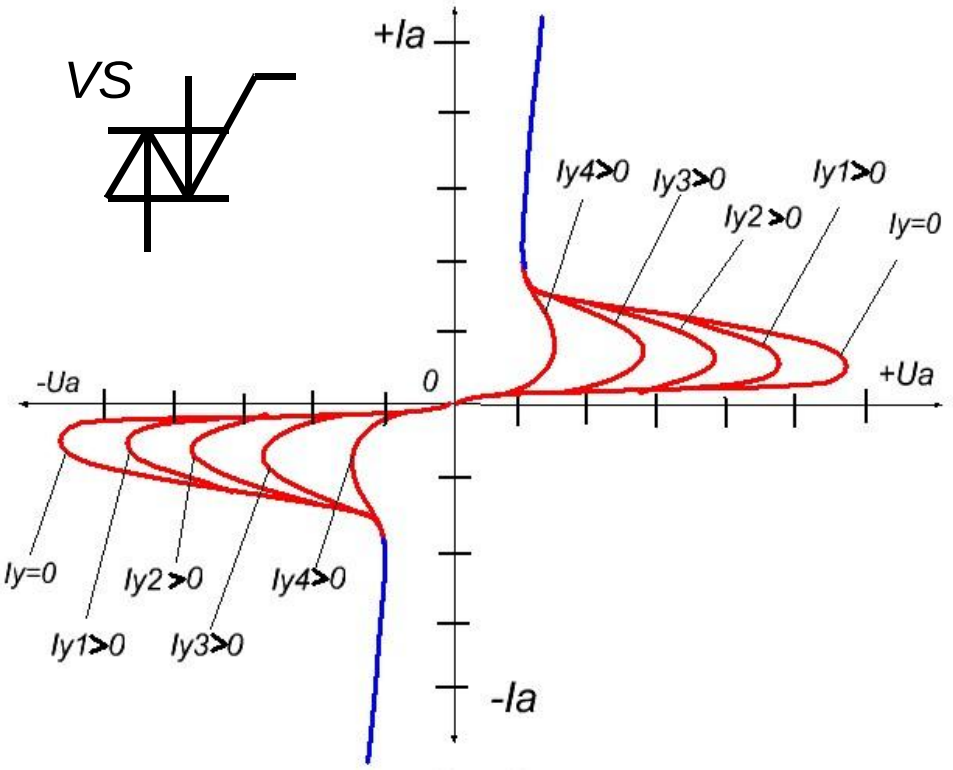
Другие виды тиристоров

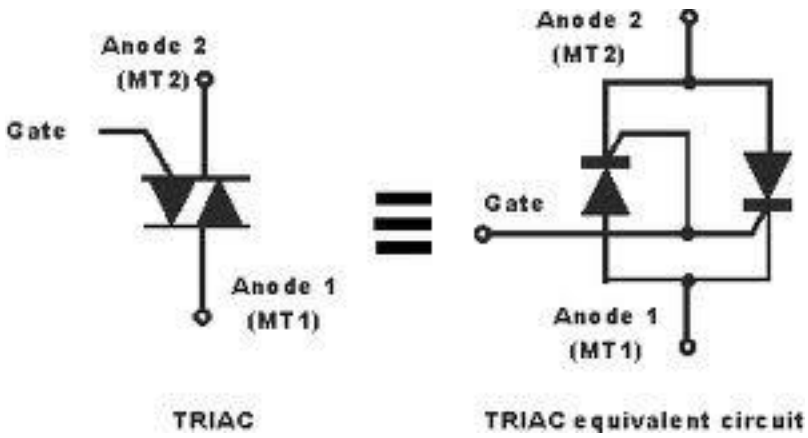
Запираемый тиристор - Gate Turn-Off Thyristor (GTO) – триодный тиристор, запираемый подачей на УЭ короткого импульса обратного напряжения. Недостаток – большое значение запираемого тока $I_{у\ зап}$.



$$I_{у\ зап} = \frac{I_{VS}}{(4 \div 7)}$$

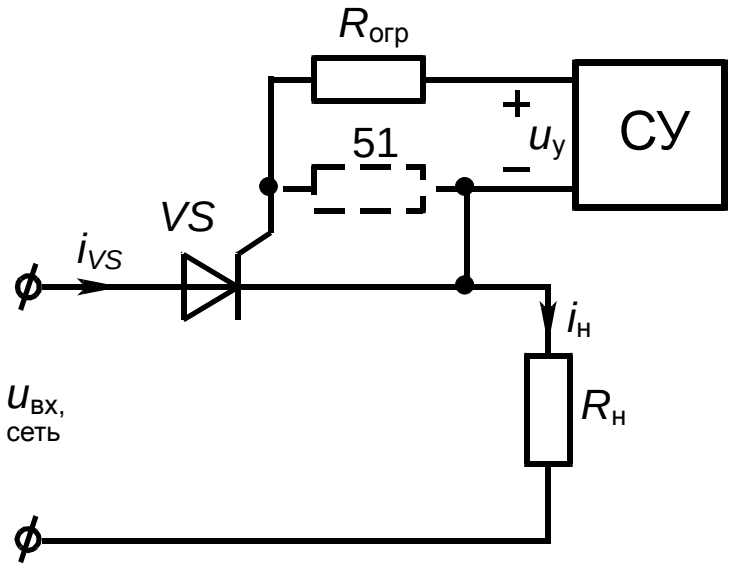
Симистор (симметричный тиристор) – Triode for Alternating Current (TRIAC) – триодный тиристор, имеющий симметричные прямую и обратную ветви ВАХ.

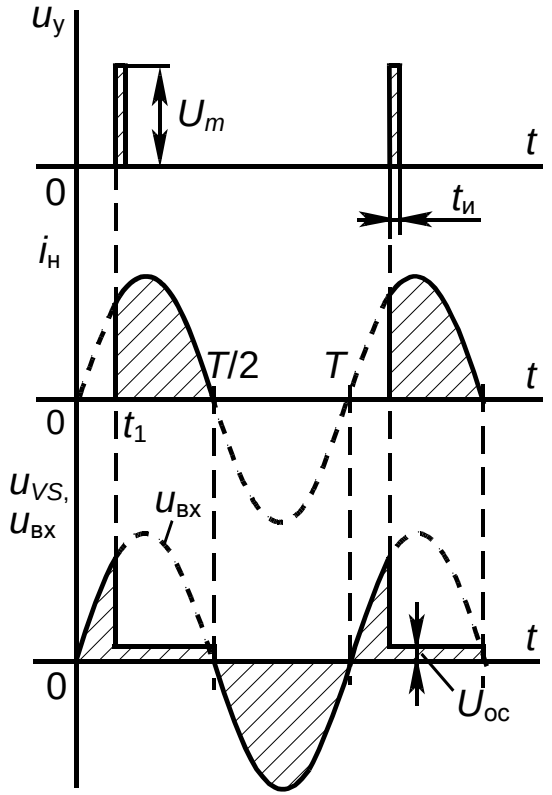




Применение тиристоров

Тиристорный регулятор мощности





$R_н$ – нагрузки (эл. лампа, эл. плита и т.д.);

51 – резистор 51 Ом для повышения помехоустойчивости;

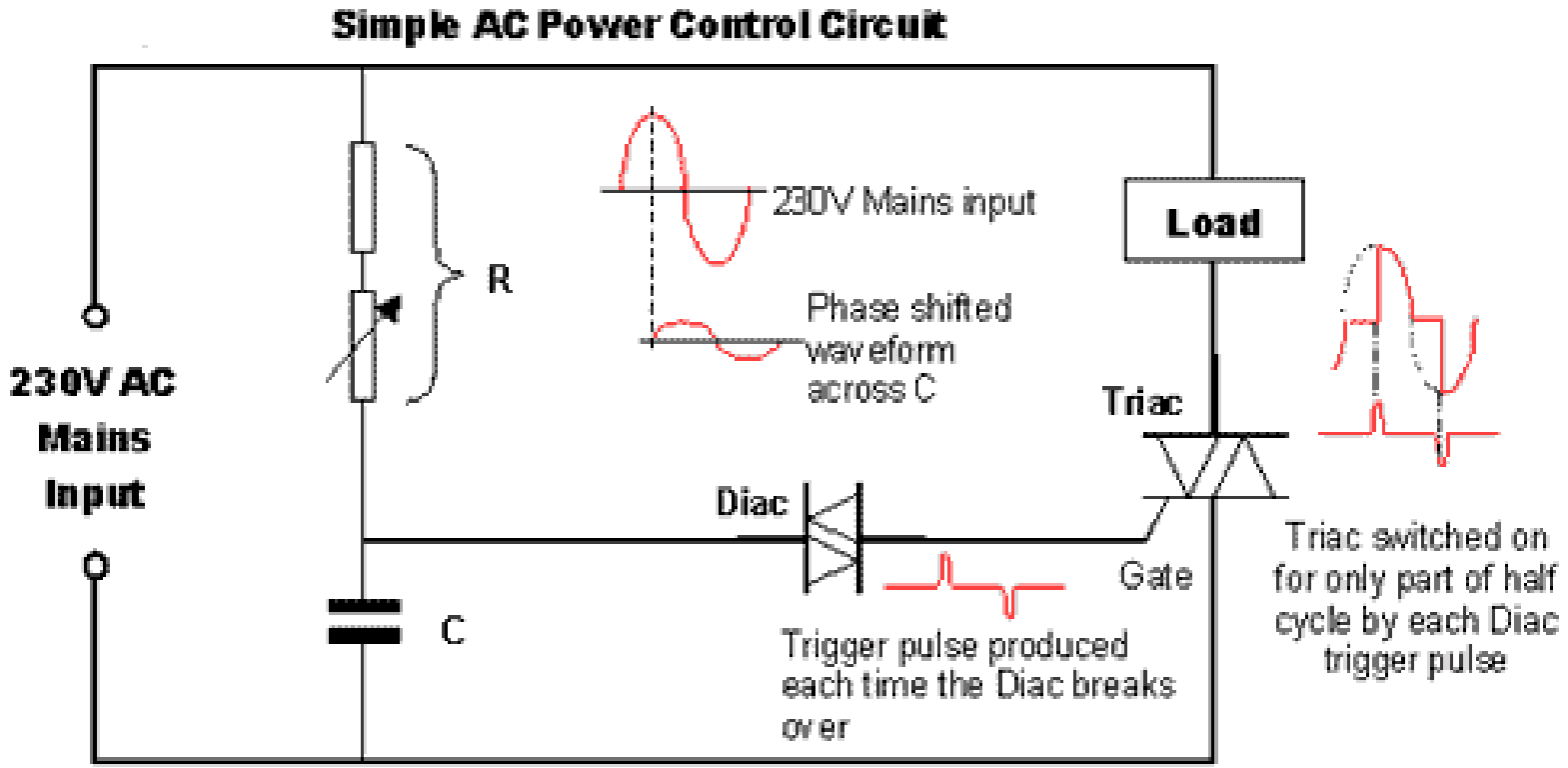
СУ – система управления – вырабатывает импульсы, отпирающие тиристор.

Изменяя момент подачи t_1 импульса, можно регулировать количество энергии, передаваемой в нагрузку, изменяя тем самым мощность в нагрузке.

$$P_н = I_н^2 \cdot R_н \qquad I_н = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{T} i_н^2(t)dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{T} i_н^2(t)dt} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_{t_1}^{T} I_m^2 \sin^2 \omega t dt}$$

Применение тиристоров

Тиристорный регулятор мощности



Основные параметры тиристоров

1. $U_{вкл}$ – (постоянное или импульсное) напряжение включения (десятки÷сотни В).
2. $U_{ос}$ – напряжение на тиристоре в открытом состоянии (Uос = 1÷3 В).
3. $U_{обр}$ – обратное напряжение, при котором тиристор может работать длительное время без нарушения его работоспособности (единицы÷тысячи В).
4. $U_{зс\ max}$ – постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии, при котором не происходит включение тиристора (единицы÷сотни В).
5. $U_{у\ нот}$ – наибольшее не отпирающее напряжение на УЭ, наибольшее напряжение не вызывающее отпирания тиристора (доли В).
6. $U_{уз}$ – запирающее напряжение на УЭ, обеспечивающее требуемое значение запирающего тока УЭ (единицы-десятки В) - для запираемых тиристоров.
7. $I_{ос\ max}$ – максимальное значение тока открытого тиристора (сотни мА ÷ сотни А).
8. $I_{уд}$ – ток удержания (десятки ÷ сотни мА).
9. $I_{обр}$ – обратный ток (доли мА).
10. $I_{у\ от}$ – наименьший ток УЭ, необходимый для включения тиристора (десятки мА).
11. $t_{вкл}$ – время включения – время с момента подачи отпирающего импульса до момента, когда напряжение на тиристоре уменьшится до 0,1 своего начального значения (единицы÷десятки мкс).
12. $t_{выкл}$ – время выключения – минимальное время, в течение которого к тиристору должно прикладываться запирающее напряжение (десятки÷сотни мкс).
13. P – рассеиваемая мощность (единицы÷десятки В).
14. $\frac{dU_{çñ}}{dt}\max$ - максимальная скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии (десятки÷сотни В/мкс).

Классификация и система обозначений тиристоров

Самостоятельно по:

Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: Учебное пособие. – Изд. 8-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 703 с.

Элементы оптоэлектроники

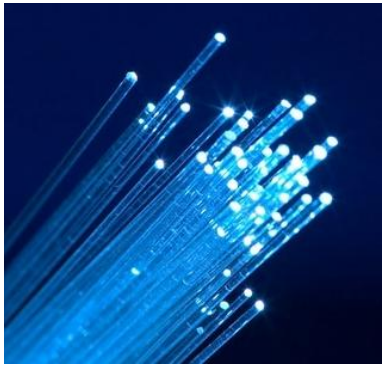
Оптоэлектронные приборы предназначены для преобразования электрической энергии в электромагнитное излучение в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне (в оптическом диапазоне) и обратно.

На практике широко применяют:

- источник излучения (излучатели);
- приемники излучения (фотоприемники);
- оптроны (сочетание источников и фотоприемников излучения).

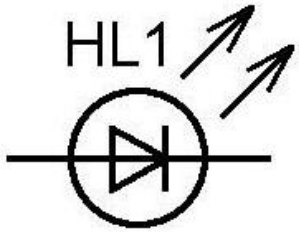
Основные достоинства оптоэлектронных приборов при получении и передаче информации:

1. Высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации (связано с большими используемыми частотами);
2. Гальваническая развязка источников и приемников излучения через оптический канал могут быть соединены цепи, которые электрически (проводами) соединить нельзя;
3. Однонаправленность информационного потока – отсутствие влияния приемника излучения на источник излучения;
4. Высокая помехозащищенность (за счет гальванической развязки) – не восприимчивость оптических каналов к электромагнитным полям.

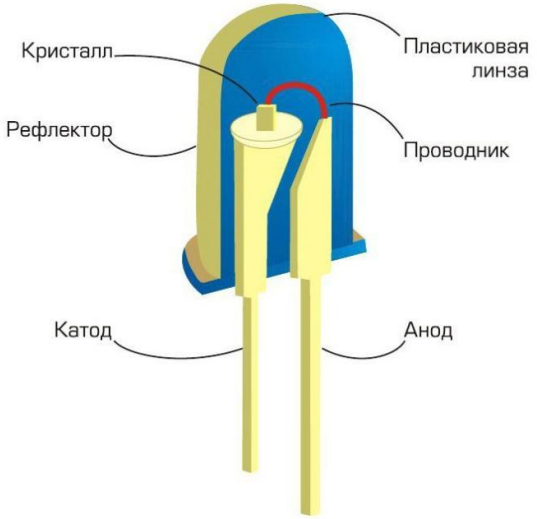


Источники излучения

Светоизлучающий диод (светодиод) – полупроводниковый прибор, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрического тока.



LED – Light Emitted Diode

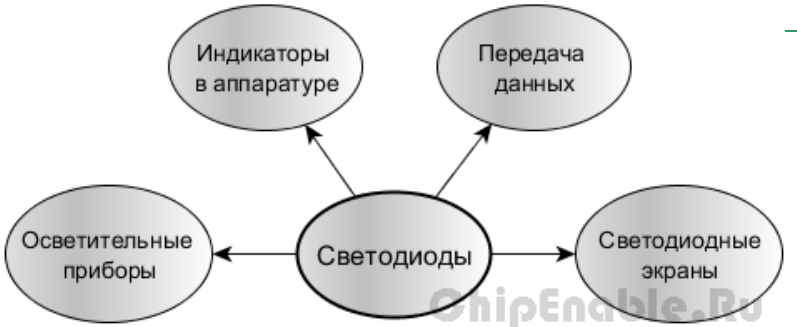


Принцип действия

При протекании через *p-n*-переход прямого электрического тока происходит рекомбинация носителей: электронов и дырок, сопровождающаяся излучением фотонов.

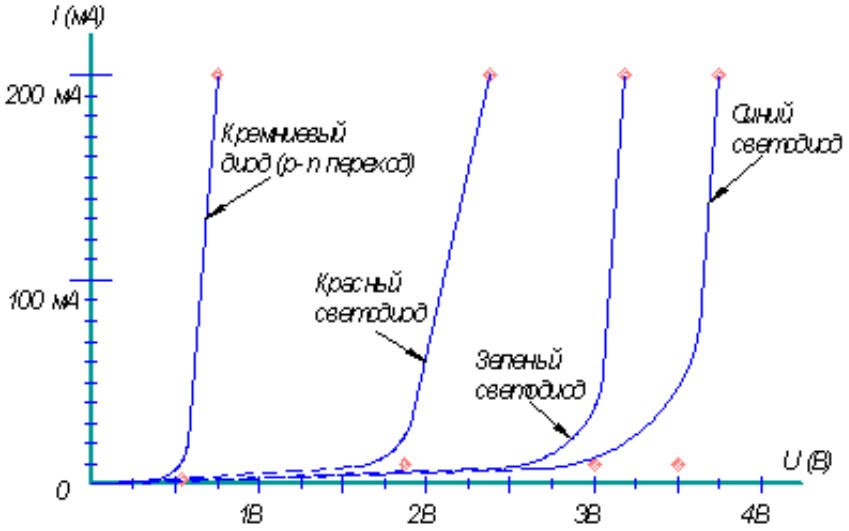
Не все полупроводники способны испускать свет при рекомбинации носителей, поэтому германий и кремний не используют для создания светодиодов.

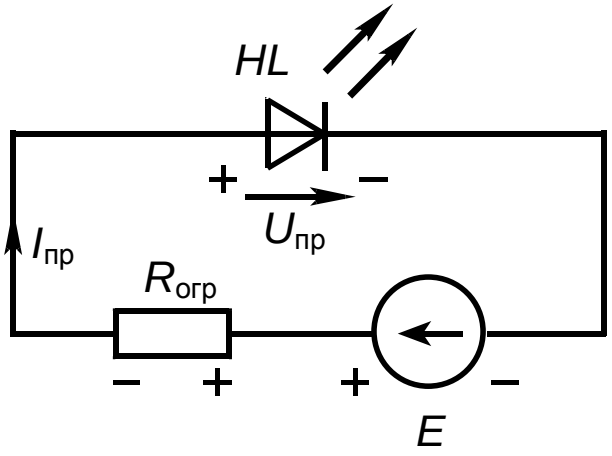
В современных светодиодах применяют GaAs, InP и другие полупроводники. Цвет свечения светодиода определяется химическим составом используемого полупроводника. Изменяя химический состав полупроводника, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона.



ChipEnable.Ru

Использование светодиодов





$$R_{огр} = \frac{E - U_{пр}}{I_{пр}}$$

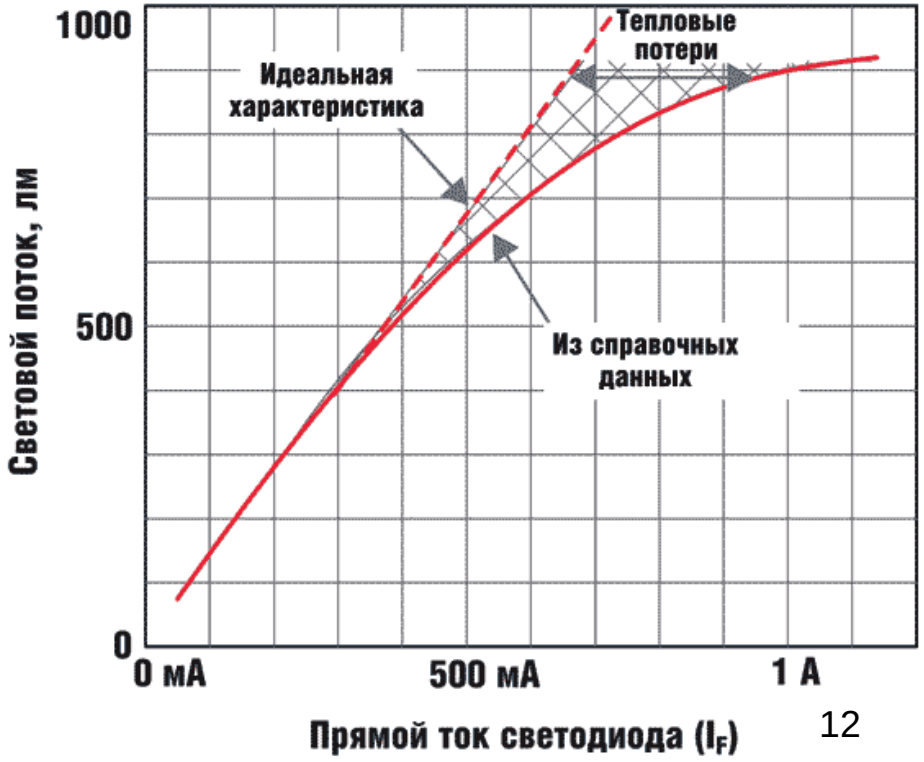
Некоторые электрические параметры светодиодов:

$U_{пр}$ = 2-4В;

$I_{пр}$ = десятки мА;

$U_{обр}$ = единицы В.

Яркость свечения светодиода зависит от величины пропускаемого прямого тока.



Основные электрические параметры светодиодов

Vf [2]	Forward Voltage	High Efficiency Red	2	2.5	V	If=20mA

Типовое значение Vf = 2В,
максимальное 2.5 при токе If = 20мА

Absolute Maximum Ratings at TA=25°C

Parameter	High Efficiency Red	Units
Power dissipation	75	mW
DC Forward Current	30	mA
Peak Forward Current [1]	160	mA
Reverse Voltage	5	V

максимальное обратное напряжение

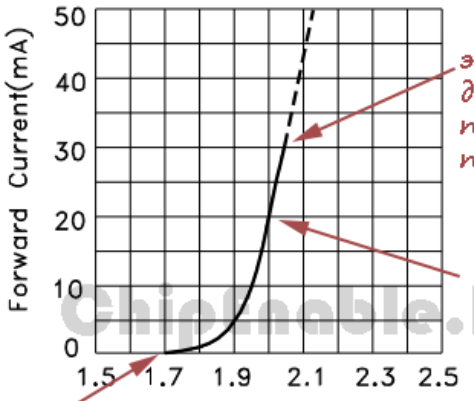
максимальный импульсный прямой ток

максимальный постоянный прямой ток

Эксплуатационные и предельно – допустимые параметры красного светодиода фирмы Kingbright из Datasheet

1. Прямое напряжение на светодиоде при заданном значении прямого тока – $U_{пр}$;
2. Максимальный постоянный (импульсный) прямой ток – $I_{пр}$ ($I_{пр\ и}$);
3. Максимальное обратное напряжение – $U_{обр}$;
4. Максимальная рассеиваемая мощность – $P_{рас}$

Зависимость величины прямого тока светодиода от прямого напряжения



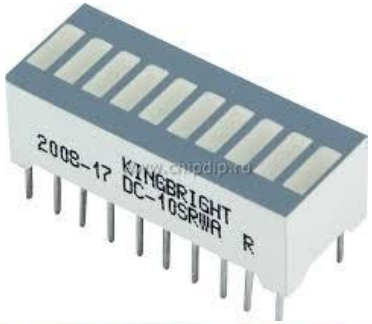
это максимально допустимый постоянный прямой ток

эта точка указана как номинальное значение Vf=2 В при If=20mA

минимальное напряжение, при котором светодиод начинает светиться

ChipEnable.Ru

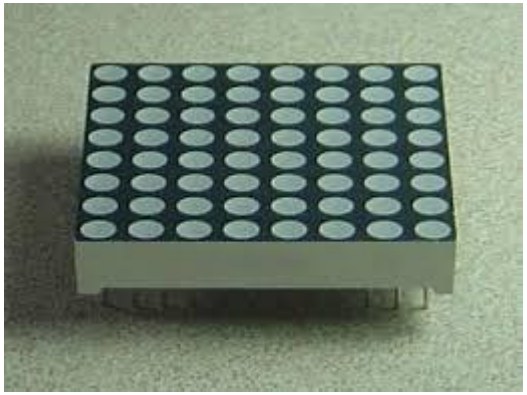
Применение светодиодов

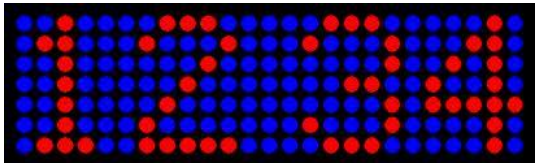


Линейная светодиодная шкала

Семисегментный индикатор

Светодиодный экран



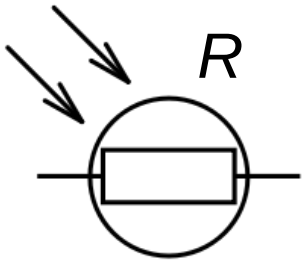


Светодиодная матрица

Светодиодная лампа

Приемники излучения

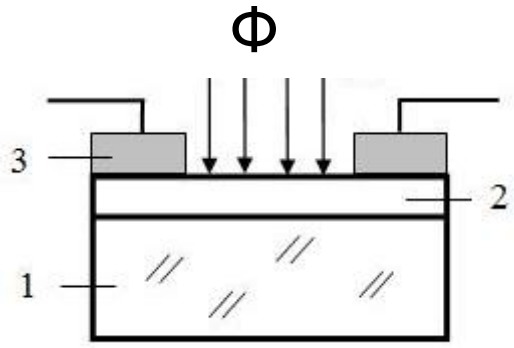
Принцип работы полупроводниковых приемников излучения основан на увеличении электропроводности полупроводников под действием излучения вследствие увеличения генерации пар носителей заряда – электронов и дырок. Данное явление получило название ***внутренний фотоэффект.***



УГО фоторезистора

Фоторезисторы

Фоторезистор – светочувствительный полупроводниковый прибор, сопротивление которого изменяется под действием светового излучения. Другое название – ***полупроводниковый резистор***. Область применения – устройства автоматики.



Устройство фоторезистора:

1. *диэлектрическая подложка;*
2. *слой полупроводника;*
3. *контакты.*

При отсутствии облучения сопротивление фоторезистора - **темновое сопротивление R_T** - большое ($10^4 \div 10^7$ Ом). Ток, протекающий при этом называется ***темновым током***. Под действием излучения (фотонов) происходит генерация подвижных носителей заряда (электронов и дырок) => сопротивление фоторезистора уменьшается.

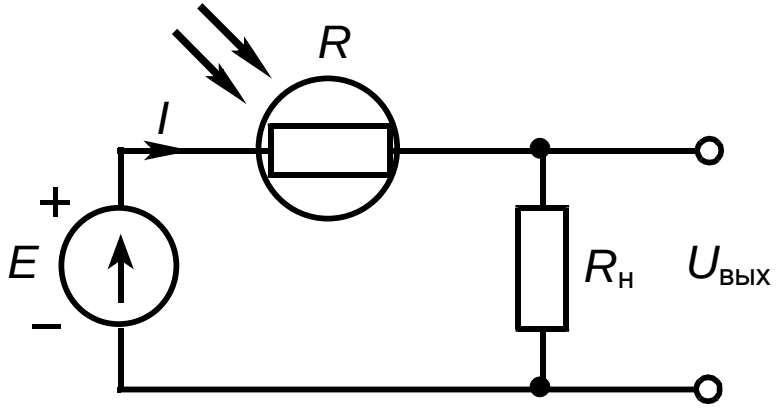


Схема включения фоторезистора

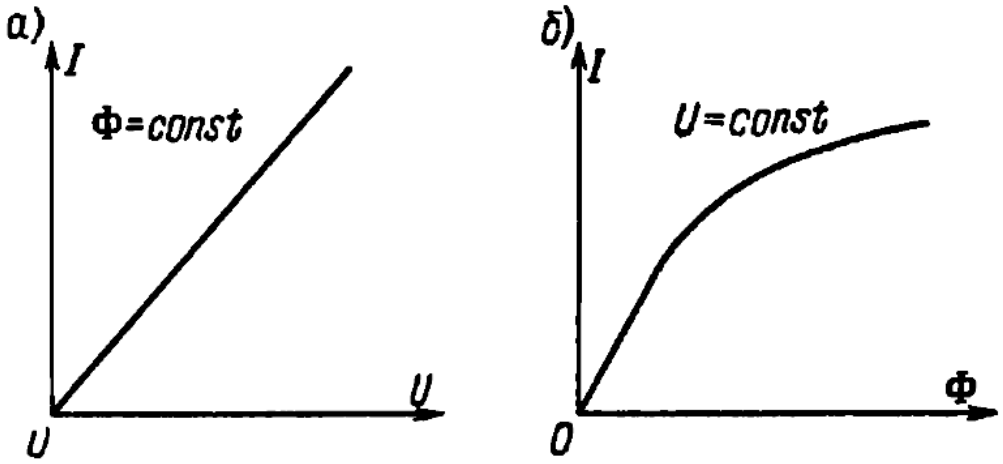
Характеристики и параметры фоторезисторов

Удельная чувствительность – отношение фототока *I* к вызывающему его потоку Ф белого (немонохроматического) света при приложении напряжения *U* = 1В.

$$S_{\text{уд}} = \frac{I}{\Phi \cdot U}$$

Интегральная чувствительность – отношение фототока *I* к вызывающему его потоку Ф белого (немонохроматического) света.

$$S_{\text{инт}} = \frac{I}{\Phi}$$



Фоторезистор: а) ВАХ; б) энергетическая х-ка.

Основные параметры фоторезисторов

1. R_T – темновое сопротивление (при Ф = 0);
2. $S_{уд}$ – удельная чувствительность;
3. $U_{доп\ раб}$ – допустимое рабочее напряжение (до 600В);
4. $R_T/R_{осв}$ – кратность изменения сопротивления относительно сопротивления в освещенном состоянии (до 3000 и более);
5. ТКФ – температурный коэффициент фототока;
6. $P_{рас}$ – мощность рассеяния.

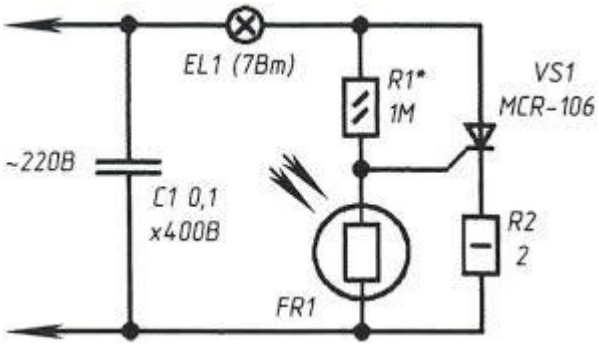
Недостатки:

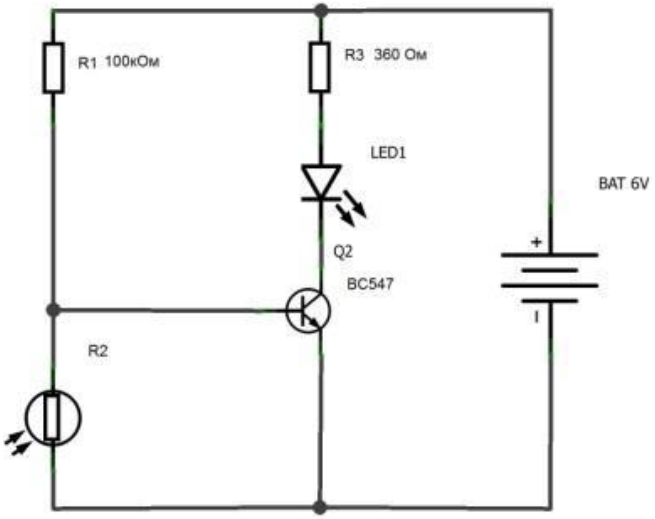
- сильная зависимость сопротивления от температуры;
- большая инерционность, связанная с существенным временным рекомбинации электронов и дырок после прекращения облучения, поэтому их применяют на частотах до нескольких кГц.

Применение фоторезисторов

Фоторезисторы

Автоматы включения освещения

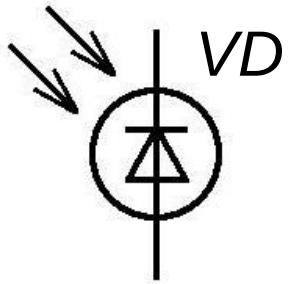




Фотодиоды

Фотодиод - полупроводниковый диод – приемник оптического излучения, а основе принципа действия которого лежит явление внутреннего фотоэффекта.

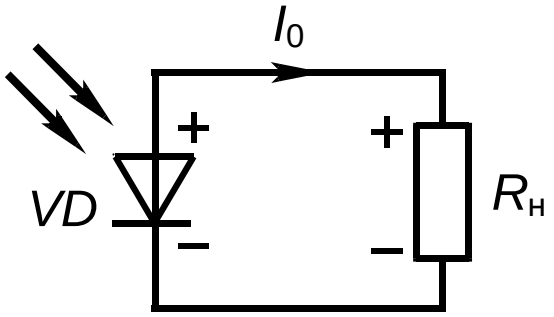
Режимы работы фотодиода: 1. фотогальванический; 2. фотодиодный.



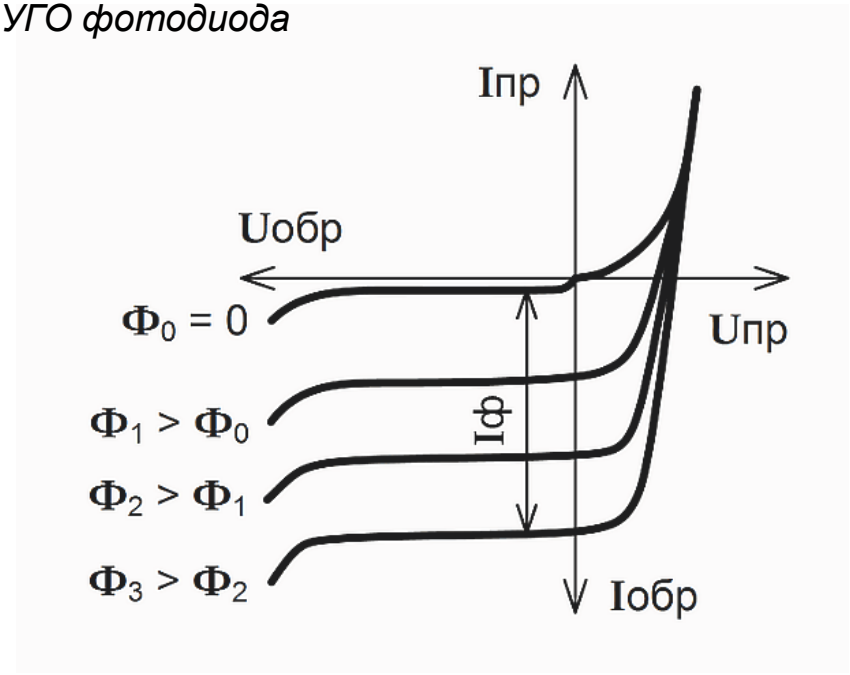
УГО фотодиода

1. Фотогальванический режим (без внешнего напряжения)

Фотодиод создает собственную ЭДС под действием излучения. Значение ЭДС может достигать **неск. десятых долей вольта**.



Включение фотодиода в фотогальваническом режиме



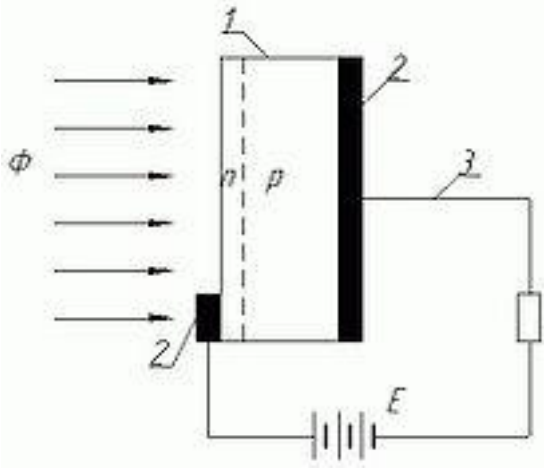
ВАХ фотодиода

На основе фотодиодов строятся солнечные батареи.

Фотодиоды - Фотоэлементы

2. Фотодиодный режим (с внешним обратным напряжения)

В данном режиме необходимо обеспечить смещение фотодиода в обратном направлении. В отсутствие излучения (в темноте) сопротивление обратно смещенного фотодиода велико и через него протекает темновой (обратный) ток I_0. Под действием светового потока величина тока изменяется. Чем больше световой поток Ф, тем больше обратный ток I_0.



Устройство фотодиода и его включение в фотодиодном режиме:

1. полупроводник;

2. контакты;

3. выводы.

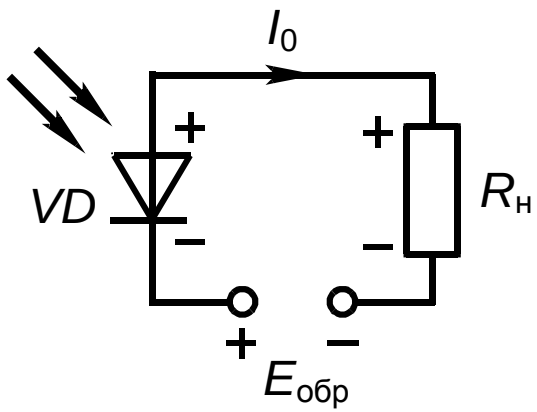
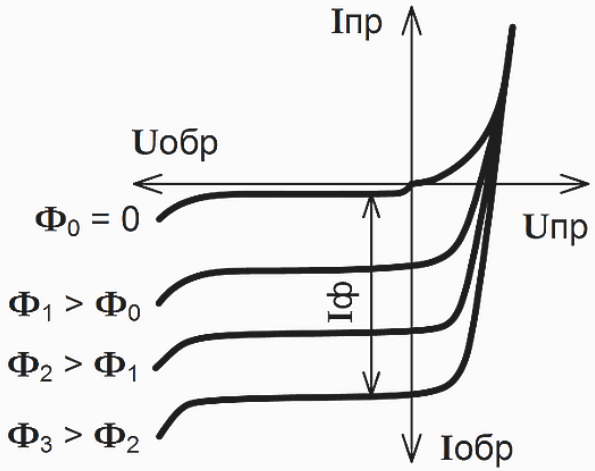


Схема подачи обратного напряжения при включении фотодиода в фотодиодном режиме

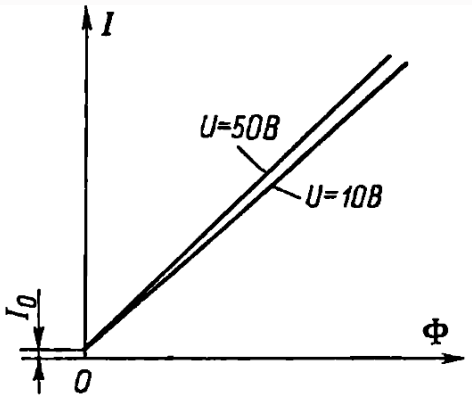


Некоторые параметры:

$U_{обр}$ = 10÷30В;

темновой ток: I_0 < 20мкА – Ge; I_0 < 2мкА – Si;

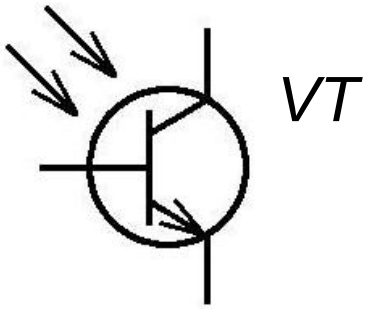
при освещении I_0 = сотни мкА.



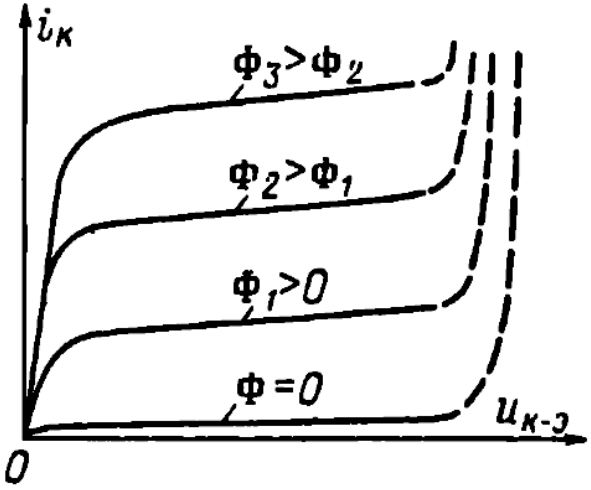
Энергетическая х-ка фотодиода ($E_{обр}$ = U)

Фототранзистор

Фототранзистор – биполярный транзистор, в корпусе которого имеется технологическое «окно», через которое световой поток попадает на область базы. Управляя величиной светового потока (подобно току базы) можно управлять значением тока коллектора. При работе фототранзистора вывод базы может не использоваться. Включение транзистора в электрическую цепь аналогично обычному биполярному транзистору.



УГО фототранзистора



ВАХ фототранзистора

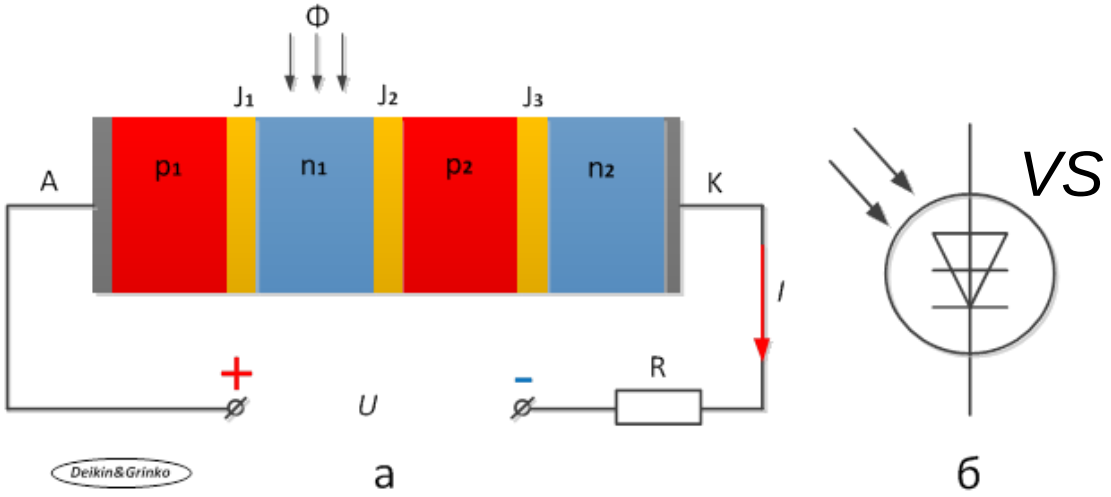
Интегральная чувствительность больше, чем у фотодиодов.

Параметры фототранзисторов:

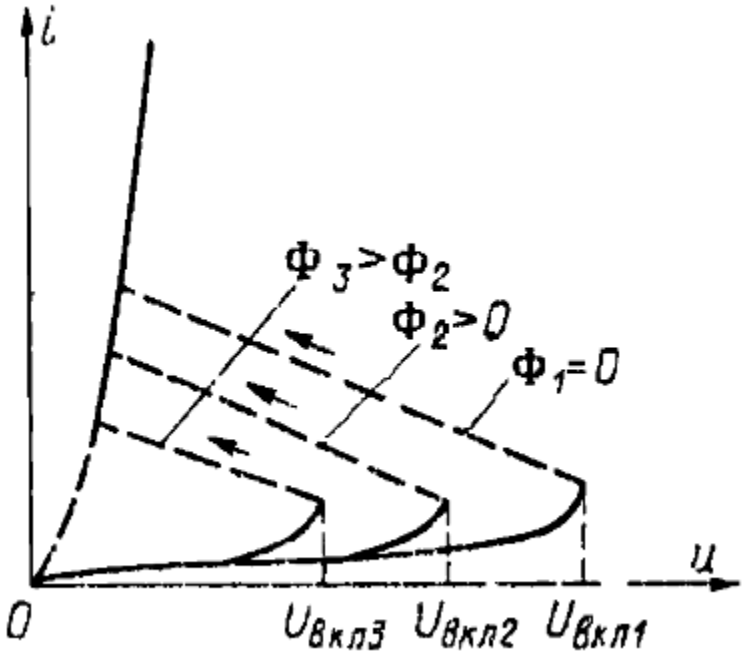
$U_{кэ\ раб}$ = 10-15В; I_0 = до сотен мкА; $I_{к\ раб}$ = до десятков мА; $P_{к\ макс}$ = до десятков мВт; $f_{гр}$.

Фототиристор

Фототиристор – полупроводниковый прибор, имеющий структуру, похожую на структуру обычного тиристора со специальным технологическим «окном», для подачи светового излучения. Фототиристор применяется для коммутации электрических сигналов большой мощности. Сопротивление фототиристора меняется от 10^8 Ом (в закрытом состоянии) до 10^{-1} Ом (в открытом состоянии).



Фототиристор: а) структура; б) УГО.

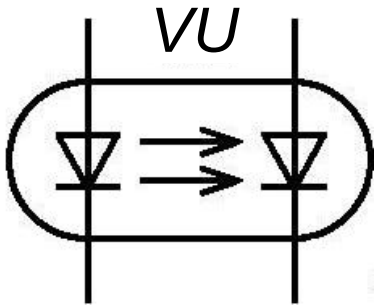


ВАХ фототиристора

Фототиристоры способны коммутировать токи до сотни ампер при напряжениях анод-катод в единицы киловольт, обеспечивая гальваническую развязку системы управления и силовой (исполнительной цепи) и позволяя не использовать для той же цели крупногабаритный дорогостоящий трансформатор.

Оптроны

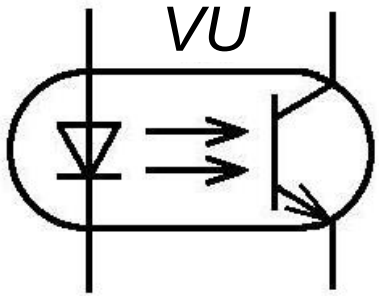
Оптрон или оптопара – полупроводниковый прибор, в которых конструктивно объединены источник и приемники излучения, имеющие между собой оптическую связь



Виды полупроводниковых оптронов

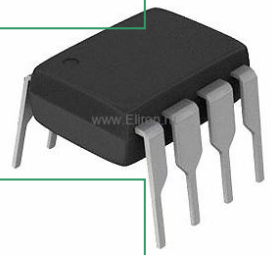
Диодная оптопара.

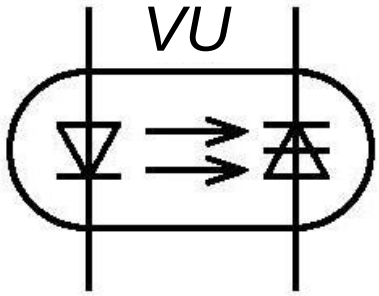
Применение диодных оптопар разнообразно – передача информации, гальваническая развязка и т.п.



Транзисторная оптопара.

Обычно транзистор работает в ключевом режиме, применяется в коммутирующих устройствах.





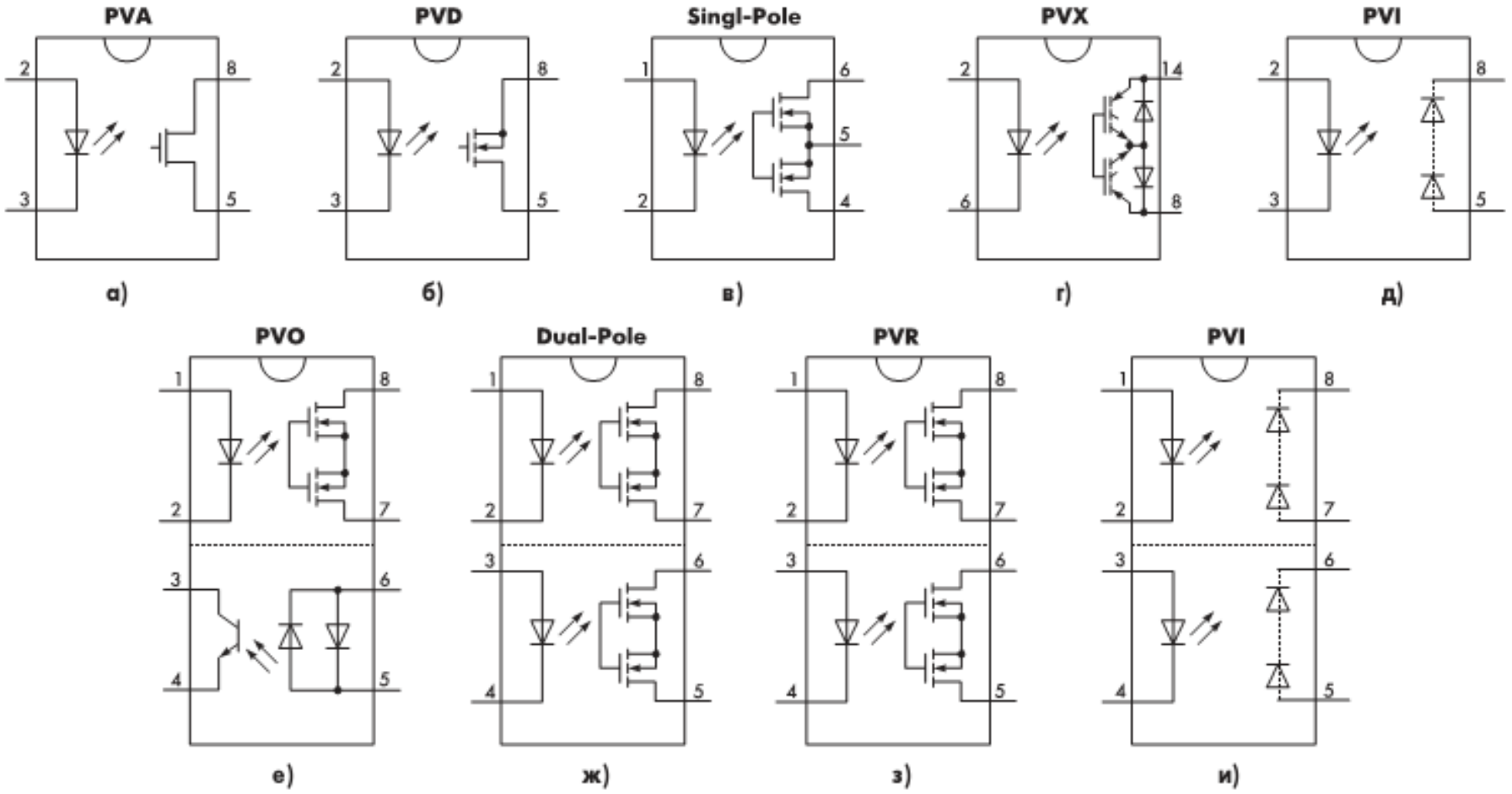
Тиристорная оптопара.

Область применения – коммутирование электрических сигналов большой мощности, либо схемы формирователей мощных импульсов для управления устройствами с мощными нагрузками.

Главная функция оптронов – обеспечение гальванической развязки межу электрическими цепями.

Твердотельные реле

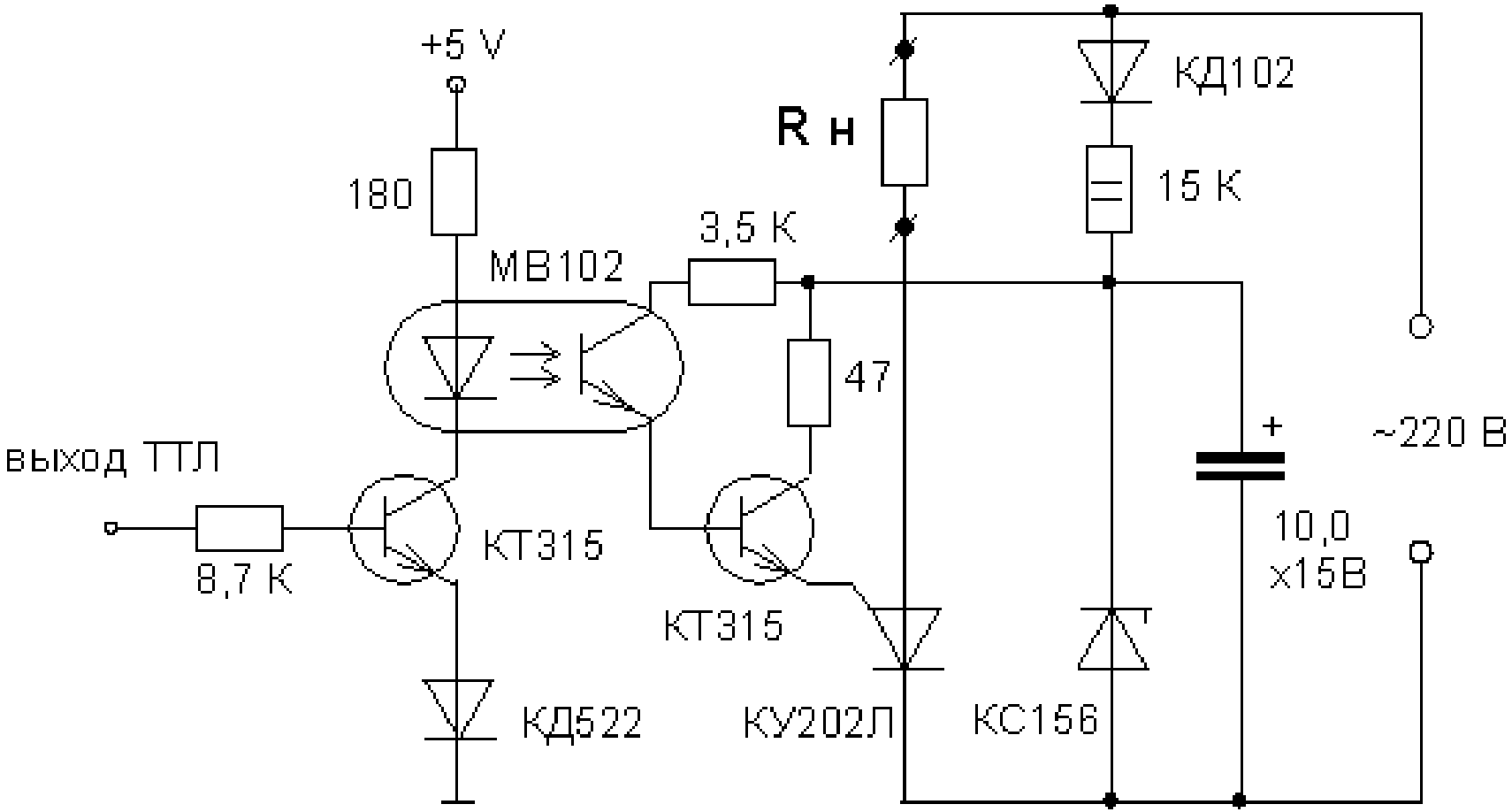
Твердотельные реле – полупроводниковый оптрон, предназначенный для бесконтакной коммутации электрических цепей (как телекоммуникационных – слаботочных, так и силовых - мощных).



Типы твердотельных реле фирмы International Rectifier

http://www.kit-e.ru/articles/commut/2004_3_22.php

Применение оптронов



Ссылки

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2008. – 798 с.
2. Жеребцов И.П. Основы электроники. – Л.: Энергоатомиздат. Ленигр. отд-ние, 1990. – 352 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: Учебное пособие. – Изд. 8-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 703 с.
4. http://chipenable.ru/index.php/electronic-components/item/207-svetodiod.html?tmpl=component&print=1
5. http://www.diagram.com.ua/list/spr-c69.shtml
6. http://www.kit-e.ru/articles/commut/2004_3_22.php