

Оптоэлектронные приборы.

# Оптоэлектронные приборы.

## Общая характеристика оптоэлектронных приборов

Оптоэлектронными называют приборы, которые чувствительны к электромагнитному излучению в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях, а также приборы, производящие или использующие такое излучение.

Излучение в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях относят к оптическому диапазону спектра. Обычно к указанному диапазону относят электромагнитные волны с длиной от 1 нм до 1 мм, что соответствует частотам примерно от  $0,5 \cdot 10^{12}$  Гц до  $5 \cdot 10^{17}$  Гц. Иногда говорят о более узком диапазоне частот — от 10 нм до 0,1 мм ( $\approx 5 \cdot 10^{12} \dots 5 \cdot 10^{16}$  Гц). Видимому диапазону соответствуют длины волн от 0,38 мкм до 0,78 мкм (частота около, но меньше  $10^{15}$  Гц).

На практике широко используются источники излучения (излучатели), приемники излучения (фотоприемники) и оптроны (оптопары).

Оптроном называют прибор, в котором имеется и источник, и приемник излучения, конструктивно объединенные и помещенные в один корпус.

# Оптоэлектронные приборы.

Из источников излучения нашли широкое применение светодиоды и лазеры, а из приемников — фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фототиристоры.

Широко используются оптроны, в которых применяются пары светодиод—фотодиод, светодиод—фототранзистор, светодиод—фототиристор.

Перечислим основные достоинства оптоэлектронных приборов:

- высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации, что является следствием больших значений используемых частот;
- полная гальваническая развязка источников и приемников излучения;
- отсутствие влияния приемника излучения на источник (однаправленность потока информации);
- невосприимчивость оптических каналов к электромагнитным полям (высокая помехозащищенность).

# Оптоэлектронные приборы.

## Световые величины

**Сила света I:**

$[I] = \text{Кд}$  (кандела).

**Поток излучения  $\Phi$  (световой поток):**

$[\Phi] = \text{Лм}$  (люмен)

**Освещенность E:**

$$E = \frac{\partial \Phi}{\partial S}$$

$[E] = \text{Лк}$  (люкс)

**Светимость M:**

$$[M] = \frac{\text{Лм}}{\text{м}^2}$$

**Яркость L:**

$$[L] = \frac{\text{Кд}}{\text{м}^2}$$

Нит (нит), стильб (сб), апостильб (асб), ламберт (Лб).

# Оптоэлектронные приборы.

## Излучающий диод (светодиод)

Излучающий диод, работающий в видимом диапазоне волн, часто называют светоизлучающим, или светодиодом.

Рассмотрим устройство, характеристики, параметры и систему обозначений излучающих диодов.

*Устройство.* Схематическое изображение структуры излучающего диода представлено на рис. 1.120, а; его условное графическое обозначение — на рис. 1.120, б.

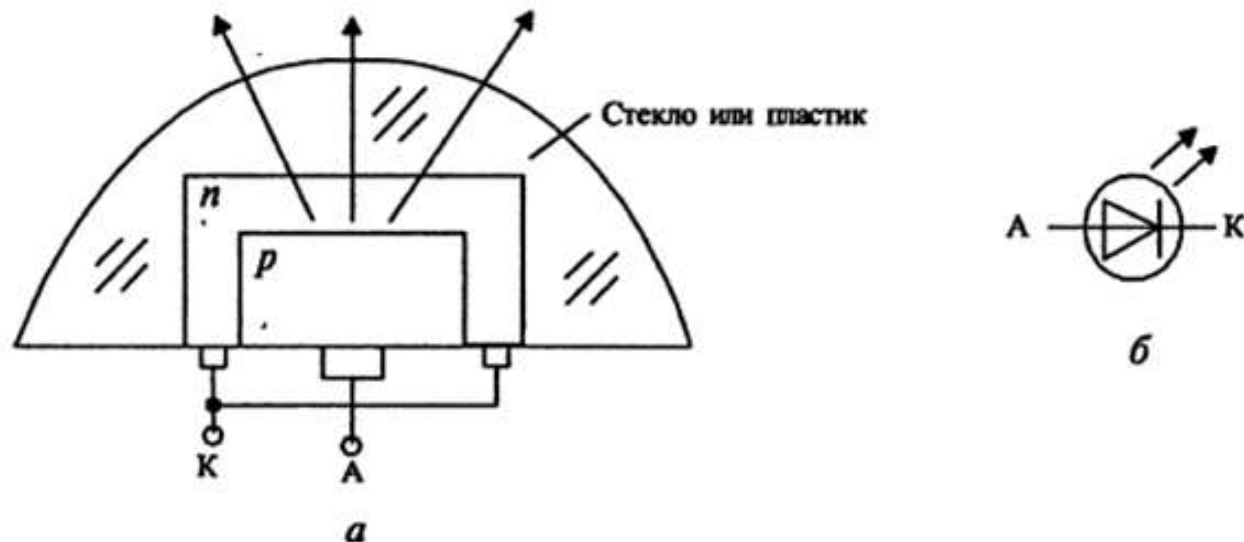


Рис. 1.120

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Излучение возникает при протекании прямого тока диода в результате рекомбинации электронов и дырок в области  $p$ - $n$ -перехода и в областях, примыкающих к указанной области. При рекомбинации излучаются фотоны.

*Характеристики и параметры.* Для излучающих диодов, работающих в видимом диапазоне (длина волны от 0,38 до 0,78 мкм, частота около, но меньше  $10^{15}$  Гц), широко используются следующие характеристики: зависимость яркости излучения  $L$  от тока диода  $I$  (яркостная характеристика); зависимость силы света  $I_V$  от тока диода  $i$ .

Для излучающих диодов, работающих не в видимом диапазоне, используют характеристики, отражающие зависимость мощности излучения  $P$  от тока диода  $i$ .

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Изобразим яркостную характеристику для светонизлучающего диода типа АЛ 102А (рис. 1.121). Цвет свечения этого диода — красный.

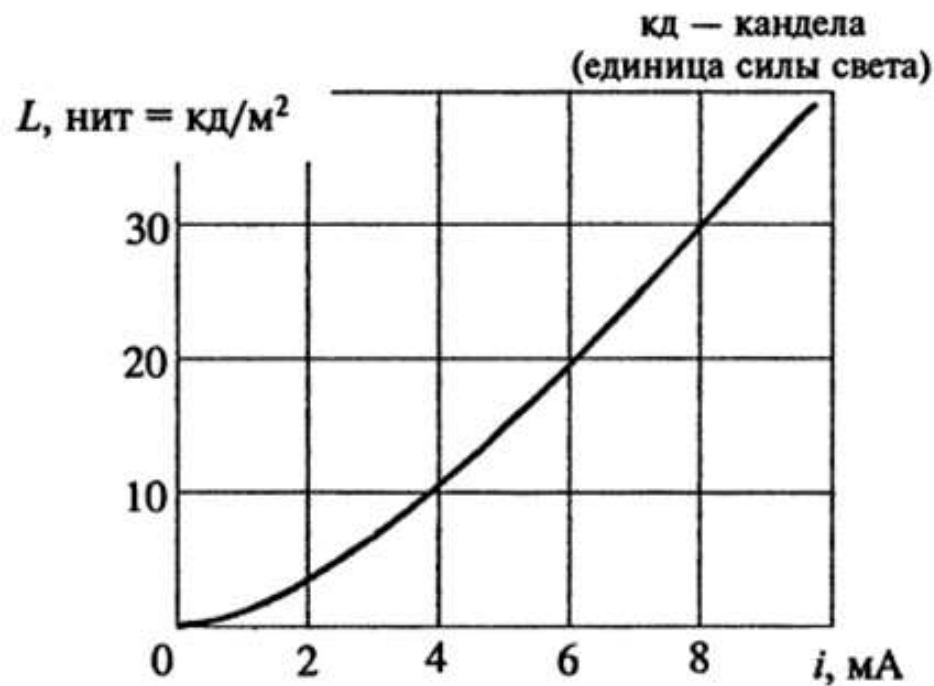


Рис. 1.121

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Изобразим график зависимости силы света от тока для светоизлучающего диода типа АЛ316А (рис. 1.122) (цвет свечения — красный). Изобразим зону возможных положений (рис. 1.123) графика зависимости мощности излучения от тока для излучающего диода типа АЛ 119А, работающего в инфракрасном диапазоне (длина волны 0,93...0,96 мкм).

Приведем для диода типа АЛ 119А его некоторые параметры:

- время нарастания импульса излучения — не более 1000 нс;
- время спада импульса излучения — не более 1500 нс;
- постоянное прямое напряжение при  $i = 300$  мА — не более 3 В;
- постоянный максимально допустимый прямой ток при  $t < +85^{\circ}\text{C}$  — 200 мА;
- температура окружающей среды —  $-60...+85^{\circ}\text{C}$ .

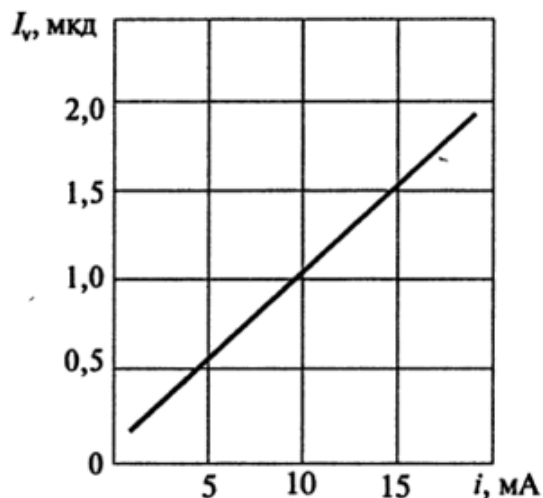


Рис. 1.122

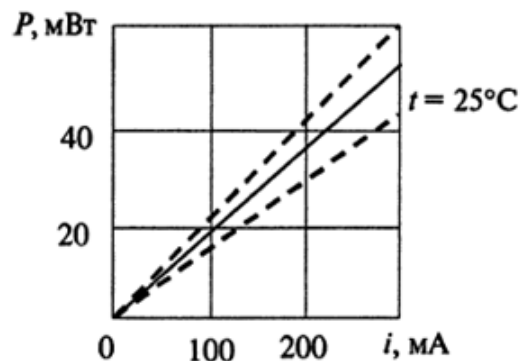


Рис. 1.123

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Для информации о возможных значениях коэффициента полезного действия отметим, что излучающие диоды типа ЗЛ115А, АЛ115А, работающие в инфракрасном диапазоне (длина волны около 0,95 мкм, ширина спектра не более 0,05 мкм), имеют коэффициент полезного действия не менее 10%.

*Система обозначений.* Давно существующая система обозначений предполагает использование двух или трех букв и трех цифр, например АЛЗ16 или АЛС331. Первая буква указывает на материал, вторая (или вторая и третья) — на конструктивное исполнение:

Л — единичный светодиод, ЛС — ряд или матрица светодиодов. Последующие цифры (а иногда буквы) обозначают номер разработки.

В настоящее время источники излучения обозначаются как частный случай индикаторов. Современные обозначения индикаторов содержат семь элементов.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

*Первый элемент* — буква И, обозначающая принадлежность прибора к знакосинтезирующим индикаторам (ЗСИ).

*Второй элемент* — буква, обозначающая вид индикатора: Н — вакуумные накаливаемые; Л — вакуумные электролюминесцентные; Ж — жидкокристаллические; П -полупроводниковые; Э- электролюминесцентные.

*Третий элемент* — буква, характеризующая отображаемую информацию: Д — единичная; Ц — цифровая; В —буквенно-цифровая; Т — шкальная; М — мнемоническая; Г — графическая.

*Четвертый элемент* — число, указывающее на порядковый номер разработки: номер с 1-го по 69-й — индикаторы без встроенного управления; с 70-го по 99-й — со встроенным управлением.

*Пятый элемент* — буква, обозначающая принадлежность индикатора к одной из классификационных групп приборов, изготовленных по общему технологическому процессу. Используются буквы русского алфавита от А до Я (не употребляются З, О, Ы, Ъ, Ь, Ш, Щ).

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

*Шестой элемент* — дробь или произведение, характеризующее информационное поле индикатора (кроме единичных индикаторов). Для одноразрядных и многоразрядных сегментных индикаторов — дробь, числитель которой — число сегментов, знаменатель — число разрядов. Для одноразрядных и многоразрядных матричных индикаторов — дробь, числитель которой — число разрядов, знаменатель — произведение числа элементов в строке на число элементов в столбце. Для матричных индикаторов без фиксированных знакомест — произведение числа элементов в строке на число элементов в столбце. Для мнемонических и шкальных индикаторов шестой элемент указывает число элементов индикатора.

*Седьмой элемент* — буква, обозначающая цвет свечения. Для одноцветных индикаторов: К — красный, Л — зеленый, С — синий, Ж — желтый, Р — оранжевый, Г — голубой (для одиночных и полупроводниковых индикаторов всех видов). Для многоцветных индикаторов всех видов — буква М.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

*Седьмой элемент* — буква, обозначающая цвет свечения. Для одноцветных индикаторов: К — красный, Л — зеленый, С — синий, Ж — желтый, Р — оранжевый, Г — голубой (для одиночных и полупроводниковых индикаторов всех видов). Для многоцветных индикаторов всех видов — буква М.

Обозначение бескорпусных полупроводниковых индикаторов содержит цифру — *восьмой элемент*, определяющий модификацию конструктивного исполнения: 1 — с гибкими выводами без кристаллодержателя подложки; 2 — с гибкими выводами на кристаллодержателе; 3 — с жесткими выводами без кристаллодержателя; 4 — с жесткими выводами на кристаллодержателе; 5 — с контактными площадками без кристаллодержателя и выводов; 6 — с контактными площадками на кристаллодержателе без выводов, кристалл на подложке; 7 — с жесткими выводами без кристаллодержателя, не разделенными на общей пластине; 8 — с контактными пластинами без кристаллодержателя и выводов, на общей пластине.

Иногда перед буквой И появляется буква К, что обозначает прибор широкого общепромышленного применения.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

### Фоторезистор

Фоторезистором называют полупроводниковый резистор, сопротивление которого чувствительно к электромагнитному излучению в оптическом диапазоне спектра. Рассмотрим схематическое изображение структуры фоторезистора (рис. 1.124, а) и его условное графическое обозначение (рис. 1.124, б).

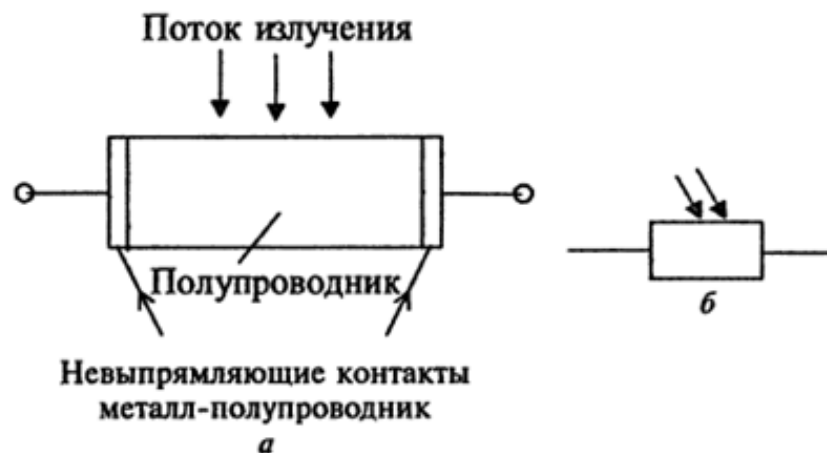


Рис. 1.124

Поток фотонов, падающих на полупроводник, вызывает появление пар электрон-дырка, увеличивающих проводимость (уменьшающих сопротивление). Это явление называют внутренним фотоэффектом (эффектом фотопроводимости).

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Фоторезисторы часто характеризуются зависимостью тока  $i$  от освещенности  $E$  при заданном напряжении на резисторе. Это так называемая люкс-амперная характеристика.

Изобразим такую характеристику для фоторезистора типа ФСК-Г7, который работает в видимой части спектра (рис. 1.125).

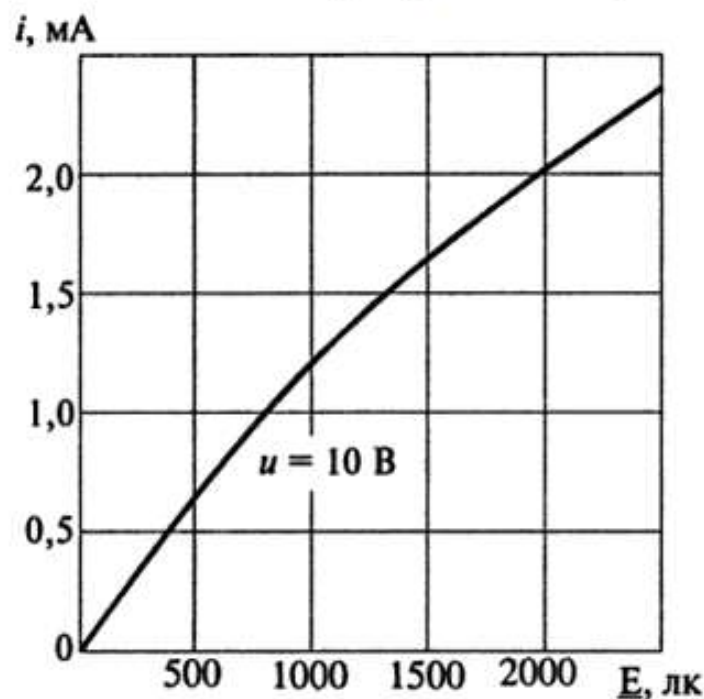


Рис. 1.125

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Часто используют следующие параметры фоторезисторов:

- номинальное темновое (при отсутствии светового потока) сопротивление (для ФСК-Г7 это сопротивление равно 5 МОм);
- интегральную чувствительность (чувствительность называют интегральной, так как ее определяют при освещении фоторезистора светом сложного спектрального состава).

Интегральная чувствительность (токовая чувствительность к световому потоку)  $S$  определяется выражением

$$S = \frac{i_{\Phi}}{\Phi},$$

где  $i_{\Phi}$  — так называемый фототок (это разность между током при освещении и током при отсутствии освещения);

$\Phi$  — световой поток.

Для фоторезистора ФСК - Г7  $S = 0,7 \text{ А/лм}$ .

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

### Фотодиод

Рассмотрим устройства, основные физические процессы, характеристики и параметры фотодиода.

*Устройство и основные физические процессы.* Изобразим упрощенную структуру фотодиода (рис. 1.126, а) и его условное графическое обозначение (рис. 1.126, б).

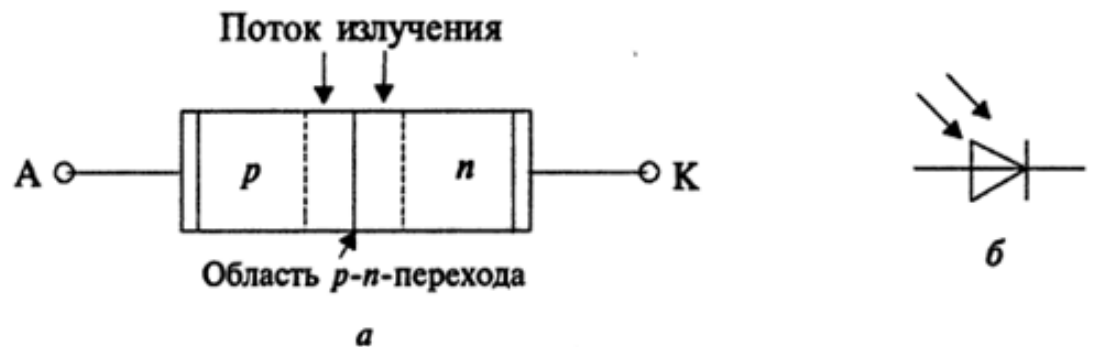


Рис. 1.126

Физические процессы, протекающие в фотодиодах, носят обратный характер по отношению к процессам, протекающим в светодиодах. Основным физическим явлением в фотодиоде является генерация пар электрон-дырка в области p-n-перехода и в прилегающих к нему областях под действием излучения.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

Электрическое поле  $p$ - $n$ -перехода разделяет электроны и дырки. Неосновные носители электричества, для которых поле является ускоряющим, выводятся этим полем за переход. Основные носители задерживаются полем в своей области проводимости.

Генерация пар электрон-дырка приводит к увеличению обратного тока диода при наличии обратного напряжения и к появлению напряжения  $u_{ак}$  между анодом и катодом при разомкнутой цепи. Причем в соответствии со сделанным замечанием о разделении электронов и дырок  $u_{ак} > 0$  (дырки переходят к аноду, а электроны — к катоду).

*Характеристики и параметры.* Фотодиоды удобно характеризовать семейством вольт-амперных характеристик, соответствующих различным световым потокам (световой поток измеряется в люменах, лм) или различным освещенностям (освещенность измеряется в люксах, лк).

Обратимся к вольт-амперным характеристикам (ВАХ) фотодиода (рис. 1.127).

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.



Рис. 1.127

Пусть вначале световой поток равен нулю, тогда ВАХ фотоэлемента фактически повторяет ВАХ обычного диода. Если световой поток не равен нулю, то фотоны, проникая в область  $p$ - $n$ -перехода, вызывают генерацию пар электрон-дырка. Под действием электрического поля  $p$ - $n$ -перехода носители электрода движутся к электродам (дырки — к электроду слоя  $p$ , электроны — к электроду слоя  $n$ ). В результате между электродами возникает напряжение, которое возрастает при увеличении светового потока. При положительном напряжении анод-катод ток диода может быть отрицательным (четвертый квадрант характеристики). При этом прибор не потребляет, а вырабатывает энергию.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

На практике фотодиоды используют и в так называемом режиме фотогенератора (фотогальванический режим, вентильный режим), и в так называемом режиме фотопреобразователя (фотодиодный режим).

Режим фотогенератора имеет место при  $u > 0$  и  $i < 0$  (четвертый квадрант). При этом диод отдает энергию во внешнюю цепь ( $u \cdot i < 0$ ). В этом режиме работают солнечные элементы. В настоящее время коэффициент полезного действия солнечных элементов достигает 20%. Пока энергия, вырабатываемая солнечными элементами, примерно в 50 раз дороже энергии, получаемой из угля, нефти или урана. Но ожидается, что стоимость энергии, получаемой с помощью солнечных батарей, будет снижаться.

Режим фотопреобразователя соответствует соотношениям  $u < 0$  и  $i < 0$  (третий квадрант). В этом режиме фотодиод потребляет энергию ( $u \cdot i > 0$ ) от некоторого обязательно имеющегося в цепи внешнего источника напряжения (рис. 1.128). Графический анализ этого режима выполняется при использовании линии нагрузки, как и для обычного диода. При этом характеристики обычно условно изображают в первом квадранте (рис. 1.129).

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

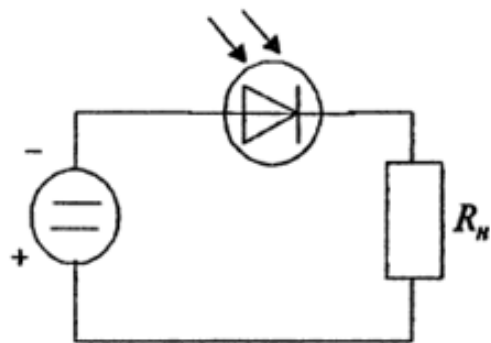


Рис. 1.128

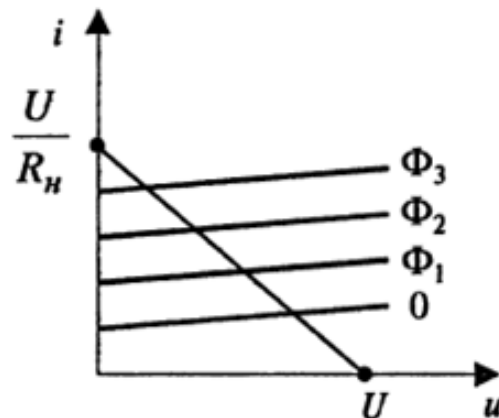


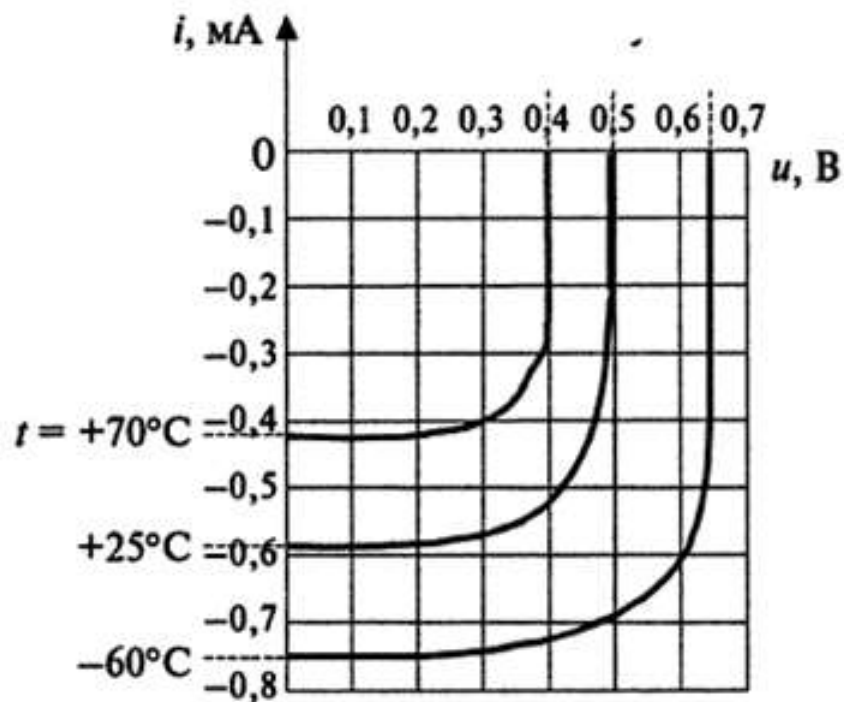
Рис. 1.129

Фотодиоды являются более быстродействующими приборами по сравнению с фоторезисторами. Они работают на частотах  $10^7$ — $10^{10}$  Гц. Фотодиод часто используется в оптопарах светодиод-фотодиод. В этом случае различные характеристики фотодиода соответствуют различным токам светодиода (который при этом создает различные световые потоки). Изобразим соответствующие току светодиода 20 мА характеристики фотодиода, входящего в оптопару АОД112А-1 (рис. 1.130, а).

При этом ток  $i$  и напряжение  $u$  фотодиода соответствуют обычным для диодов условно-положительным направлениям (рис. 1.130, б).

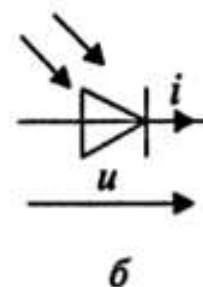
# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.



*a*

Рис. 1.130



# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

### Фототранзистор и фототиристор

Выходные характеристики фототранзистора подобны выходным характеристикам обычного биполярного транзистора, но теперь положение характеристик определяется не током базы, а уровнем освещенности (или величиной светового потока).

Свойства фототиристора подобны свойствам обычного тиристора, однако с той лишь особенностью, что включение тиристора осуществляется не с помощью импульса тока управления, а с помощью светового импульса.

### Оптрон (оптопара)

Оптрон — полупроводниковый прибор, содержащий источник излучения и приемник излучения, объединенные в одном корпусе и связанные между собой оптически, электрически или одновременно обеими связями. Очень широко распространены оптроны, у которых в качестве приемника излучения используются фоторезистор, фотодиод, фототранзистор и фототиристор.

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

В резисторных оптронах выходное сопротивление при изменении режима входной цепи может изменяться в  $10^7 \dots 10^8$  раз. Кроме того, вольт-амперная характеристика фоторезистора отличается высокой линейностью и симметричностью, что и обуславливает широкую применимость резисторных оптопар в аналоговых устройствах. Недостатком резисторных оптронов является низкое быстродействие —  $0,01 \dots 1$  с.

В цепях передачи цифровых информационных сигналов применяются главным образом диодные и транзисторные оптроны, а для оптической коммутации высоковольтных сильноточных цепей — тиристорные оптроны. Быстродействие тиристорных и транзисторных оптронов характеризуется временем переключения, которое часто лежит в диапазоне  $5 \dots 50$  мкс. Для некоторых оптронов это время меньше.

Рассмотрим несколько подробнее оптопару светодиод-фотодиод. Дадим условное графическое обозначение этой оптопары (рис. 1.131, *a*).

# 1 Элементы электронных схем.

## 1.5 Оптоэлектронные приборы.

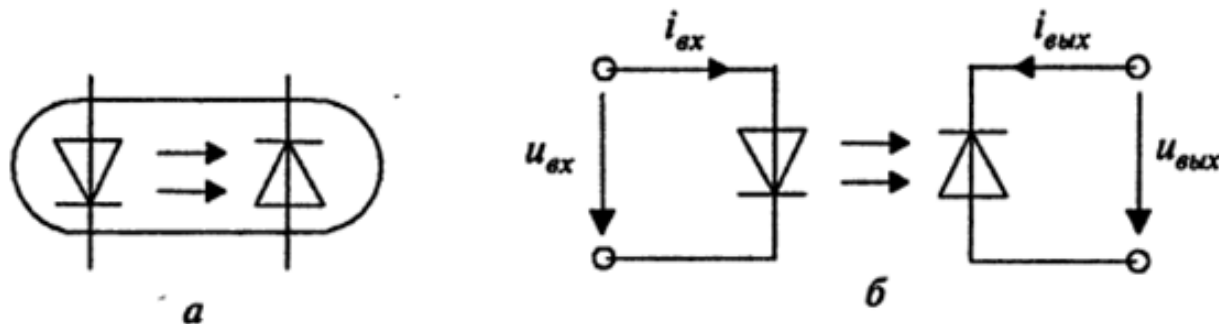


Рис. 1.131

Напомним, что излучающий диод (слева) должен быть включен в прямом направлении, а фотодиод — в прямом (режим фотогенератора) или в обратном направлении (режим фотопреобразователя).

Воспользуемся общепринятым выбором условно-положительных направлений для токов и напряжений диодов оптопары (рис. 1.131, б).

Изобразим зависимость тока  $i_{вых}$  от тока  $i_{вх}$  при  $u_{вых} = 0$  для оптопары АОДЮ7А (рис. 1.132).

# Оптоэлектронные приборы.

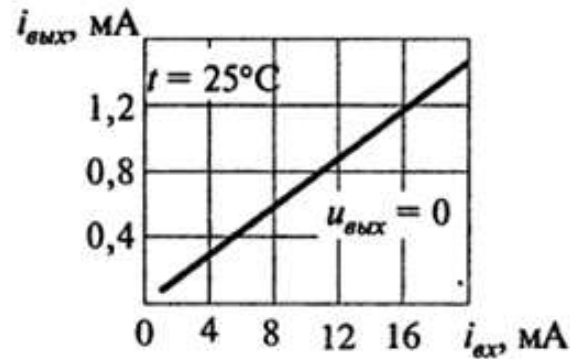


Рис. 1.132

Указанная оптопара предназначена для работы как в фотогенераторном, так и в фотопреобразовательном режиме.