

## Лабораторная работа №4

### Исследование оптоэлектронных приборов и устройств

Оптоэлектронные приборы являются элементной базой оптоэлектроники – сравнительно нового и перспективного направления электронной техники. Оптоэлектроника использует оптические и электронные явления в веществах, их взаимные связи, преобразования для передачи, обработки и хранения информации.

Работа оптоэлектронных приборов основана на принципах электрооптического и фотоэлектрического преобразования, обусловленных генерацией светового излучения при наличии электронного тока в веществе либо изменением электрофизических свойств вещества в результате поглощения им энергии светового излучения.

**СВОЙСТВА ОПТРОНОВ.** Электронные приборы, представляющие собой единую конструкцию, состоящую из светоизлучателя и фотоприемника, связанных между собой оптически, называют оптронами. Структурная схема оптрона представлена на рис. 1.

Входной сигнал, например, электрический ток  $I_{вх}$ , преобразуется в светоизлучателе СИ в световой поток  $\Phi$ , энергия которого пропорциональна входному сигналу. По оптическому каналу ОК световой поток направляется в фотоприемник ФП, где преобразуется в пропорциональное потоку значение выходного электрического тока  $I_{вых}$ . С помощью устройства управления оптическим каналом УОК можно управлять световым потоком путем изменения физических свойств самого оптического канала.

Таким образом, в оптронах осуществляется двойное преобразование энергии: электрической в световую и световой снова в электрическую. Это придает оптронам ряд совершенно новых свойств и позволяет на их основе создавать электронные устройства с исключительно своеобразными параметрами и характеристиками, недостижимыми при использовании полупроводниковых и электровакуумных приборов. Так, применение оптронов позволяет осуществить почти идеальную электрическую развязку между элементами устройства (сопротивление до  $10^{16}$  Ом, проходная емкость до  $10^{-4}$  пФ). Кроме того, могут быть эффективно использованы такие свойства оптронов, как односторонность информации, отсутствие обратной связи с выхода на вход, высокая помехозащищенность, широкая полоса пропускания (от нуля до сотен и даже тысяч мегагерц), совместимость с другими (полупроводниковыми) приборами. Это дает возможность использовать оптроны для модулирования сигналов, измерений в высоковольтовых цепях, согласования низкочастотных цепей с высокочастотными и низкоомными с высокоомными. Оптоны могут быть использованы также в генераторах импульсов и других импульсных устройствах, в различных датчиках, устройствах позиционирования, тиристорных каскадах с оптическим управлением для переключения в высоковольтных цепях.

К основным недостаткам оптронов следует отнести сильную зависимость их параметров от температуры, низкий коэффициент передачи, низкий КПД и высокий уровень собственных шумов.

В качестве излучателей в оптронах используют обычно светодиоды на основе арсенида-фосфода галлия GaAsP, алюминий-арсенида галлия GaAlAs, характеризующиеся большой яркостью, высоким быстродействием и длительным сроком службы. Кроме того, они хорошо согласуются по спектральным характеристикам с фотоприемниками на основе кремния. Излучение в светодиодах появляется в результате рекомбинации дырок с инжектированными через р-п переход электронами. Эффективность излучения светодиодов невелика, в большинстве случаев она не превышает нескольких процентов, что связано с трудностью вывода света из полупроводника наружу.

Вольт-амперная характеристика светодиода аналогична характеристике обычного кремниевого диода. На рабочем участке прямой ветви дифференциальное сопротивление не превышает нескольких Ом, поэтому для возбуждения светодиода требуется источник с большим внутренним сопротивлением (источник тока).

В качестве фотоприемников могут использоваться фоторезисторы, фотодиоды,

фототранзисторы и фототиристоры.

Фоторезисторы используются в устройствах автоматики и измерительной техники как управляемые током или напряжением резисторы. Фотодиоды и фототранзисторы как приемники излучения получили в оптронах наибольшее распространение, поскольку по своим характеристикам и параметрам они могут работать совместно с интегральными микросхемами. Фототиристоры – электронные ключи с тремя переходами – широко применяются в оптронах в качестве ключевых усилителей мощности, управляемых световым излучением.

Передача светового излучения в оптронах осуществляется через оптический канал, роль которого могут играть различные среды. Назначение оптического канала – передача максимальной световой энергии от излучателя к приемнику. Передающей средой могут быть воздух, различные иммерсионные среды, а также оптические световоды длиной 1 м и более. Стекловолоконные оптические линии связи позволяют довести пробивное напряжение изоляции между входом и выходом оптрона до 150 кВ, что дает возможность применять оптроны для измерений в высоковольтных цепях.

Приведем краткое описание типов наиболее распространенных промышленных оптронов.

**ФОТОДИОДНЫЙ ОПТРОН.** Условное графическое обозначение его приведено на рис. 2а. В качестве излучателя используется светодиод на основе арсенида галлия. График зависимости яркости излучения  $\Phi$  от тока диода  $I_D$  при разных температурах  $T$  светодиодов приведен на рис. 3. Эти характеристики практически линейны, ток диода ограничен допустимой рассеиваемой мощностью. Отметим, что даже при небольших обратных напряжениях светодиод может быть легко пробит и выведен из строя, поэтому необходимо принимать специальные меры защиты. Как было отмечено, из-за малого динамического сопротивления в прямом направлении светодиоды требуют питания от источника с высоким внутренним сопротивлением. Простейшая схема питания с ограничительным резистором  $R_{огр}$  приведена на рис. 4а, а на рис. 4б показана одна из возможных схем управляемого питания светодиода с помощью транзисторного усилителя, коллекторный ток которого зависит от управляющего напряжения.

Светодиоды – высокочастотные приборы, их быстродействие составляет  $10^{-5}$ - $10^{-9}$  с.

В качестве фотоприемников в диодных оптронах используются кремниевые фотодиоды, которые хорошо согласуются по спектральным характеристикам и быстродействию с арсенид-галлиевыми светодиодами.

Коэффициент передачи тока диодного оптрона мал ( $K_f=1,0-1,5\%$ ), однако диодные оптроны являются самыми быстродействующими.

Как элемент электрической цепи фотоприемник диодного оптрона может работать в двух режимах: фотопреобразователя с внешним источником питания (рис.5а) и фотогенератора без внешнего источника питания (рис. 6а). На рис. 5б и 6б изображены вольтамперные характеристики фотодиода и показаны электрические режимы цепей при разных освещенностях фотодиода. Если учесть зависимость потока излучения светодиода оптрона от тока  $I_{вх}$  через светодиод, то можно найти зависимость тока  $I_h$  нагрузочного резистора  $R_h$  или напряжения  $U_h$  на нем от входного тока оптрона, т.е.  $I_h=f(I_{вх})$  или  $U_h=f(I_{вх})$ .

Надо учитывать, что для передачи максимальной мощности требуется согласование сопротивления нагрузочного резистора с выходным сопротивлением оптрона. Из рис. 6а видно, что при  $R_h=0$  выходной ток оптрона  $I_h$  будет максимальным, а при размыкании нагрузочного резистора максимальным будет напряжение холостого хода  $U_x$  фотодиода.

**ФОТОТРАНЗИСТОРНЫЙ ОПТРОН.** (ри.2б). По сравнению с фотодиодным оптроном в качестве фотоприемника в нем используется кремниевый фоторезистор. Фоторезистор работает как обычный транзистор, у которого базой служит площадка для приема излучения. Возникающий от попадания излучения на базу ток управляет коллекторным током транзистора. Выходные (коллекторные) характеристики фототранзистора подобны аналогичным характеристикам обычного транзистора, но

параметром у них является не ток базы, а световой поток, поэтому электрический вывод базы обычно не используется. Если между эмиттером и коллектором включить напряжение, то появится ток фототранзистора. При попадании светового излучения на базу коллекторный ток возрастает. Таким образом, фоторезистор является усилителем базового тока, поэтому чувствительность его по сравнению с фотодиодом значительно выше. Коэффициент передачи тока фототранзисторного оптрана  $K_I = 50-100\%$ .

Недостатком фототранзисторов является то, что они по сравнению с фотодиодами гораздо более инерционны и имеют быстродействие  $10^{-4}-10^{-5}$  с. Находят применение и составные фототранзисторы, включенные по схеме Дарлингтона. Коэффициент передачи тока ошронов на их основе достигает 50%, а быстродействие составляет  $10^{-4}$  с.

**ФОТОРЕЗИСТОРНЫЙ ОПТРОН.** (рис.2в). В качестве фотоприемника в оптранах иногда используют фоторезисторы на основе селенида или сульфида кадмия (CdSe, CdS), а в качестве излучателя – спектрально согласующиеся с ними светодиоды на основе фосфида или арсенида-фосфида галлия (GaP, GaAsP). Быстродействие фоторезисторных оптранов целиком определяется быстродействием фотоприемника, которое составляет единицы миллисекунд. Типичные вольтамперные характеристики фоторезистора для различных световых потоков  $\Phi$  изображены на рис.8.

**ФОТОТИРИСТОРНЫЙ ОПТРОН.** (рис.2 г). Включает в себя фототиристор – четырехслойный полупроводниковый прибор с тремя p-n переходами, работающий как ключ, управляемый светом. Принцип действия фототиристора и его вольтамперные характеристики такие же, как у обычного тиристора, только роль управляющего тока играет световой поток. Быстродействие фототиристора определяется временем выключения, в течение которого прибор переходит из открытого состояния в закрытое, оно составляет десятки микросекунд.

**ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПТРОНОВ.** Входными параметрами оптранов являются: номинальный входной ток в прямом направлении  $I_{VX\text{ nom}}$  светодиода и падение напряжения на нем в прямом направлении  $U_{VX}$  при номинальном значении входного тока; входная емкость  $C_{VX}$  в заданном режиме; максимально допустимый входной ток  $I_{VX\text{ max}}$ ; максимально допустимое обратное напряжение на входе  $U_{VX\text{ обр max}}$ .

Выходными параметрами оптранов являются: максимально допустимое обратное напряжение  $U_{VY\text{ обр max}}$ , прикладываемое к выходу; максимально допустимый выходной ток  $I_{VY\text{ max}}$ ; выходная емкость  $C_{VY}$ ; световое  $R_{cv}$  и темновое  $R_t$  выходные сопротивления (для фоторезисторных оптранов).

Из передаточных параметров основными являются коэффициент передачи тока  $K_I = (I_{VY\text{ max}}/I_{VX}) \cdot 100$ , либо дифференциальный коэффициент передачи тока  $K_{ID} = (dI_{VY\text{ max}}/dI_{VX}) \cdot 100$ , выраженные в процентах.

Быстродействие оптрана оценивают при подаче на его вход прямоугольного импульса по времени задержки  $t_{3d}$  от момента подачи импульса до момента достижения выходным током значения 0,1  $I_{VY\text{ max}}$ , а также по времени нарастания  $t_{\text{нап}}$  выходного тока от 0,1 до 0,9 его максимального значения. Суммарное время задержки и нарастания называют временем включения  $t_{\text{вкл}}$ . Быстродействие фотоприемника характеризуется его частотными свойствами, т.е. такой частотой синусоидально модулированного светового потока, при которой чувствительность фотоприемника вследствие инерционности уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз.

**ПРИМЕНЕНИЕ ОПТРОНОВ.** В зависимости от типа фотоприемника оптраны могут применяться в электронных устройствах для переключения, преобразования, согласования, модуляции и т.д. Они могут использоваться также в качестве малогабаритных импульсных трансформаторов, реле для коммутации напряжений и токов, в автогенераторах, цепях обратной связи и т.д. Следует подчеркнуть, что несмотря на наличие развязки между входом и выходом, полоса пропускания оптрана начинается с нулевой частоты.

Оптраны с открытым каналом служат в качестве различных датчиков (перемещения, "края объекта" и др.). В устройствах передачи информации часто применяют

оптоэлектронные интегральные микросхемы, в которых в одном корпусе объединены оптрон и интегральная микросхема. Фотоприемник такой микросхемы может быть изготовлен в том же кристалле кремния, что и транзисторная микросхема, как одно целое.

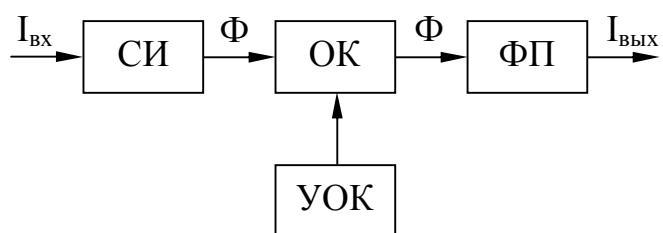


Рис. 1. Структурная схема оптрана.

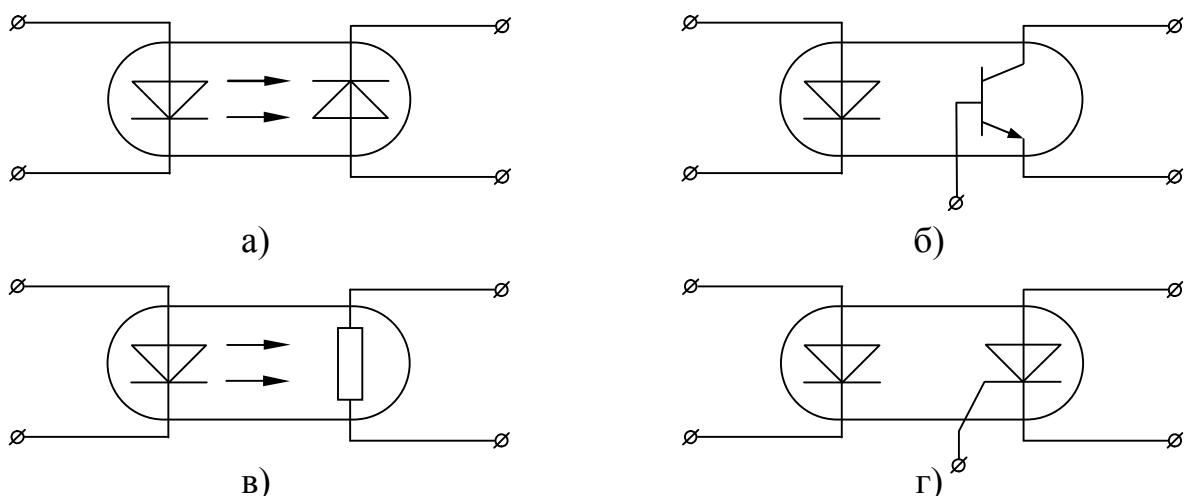


Рис. 2. Условные обозначение оптранов:  
 а) фотодиодного;      б) транзисторного;  
 в) фоторезисторного;    г) фототиристорного.

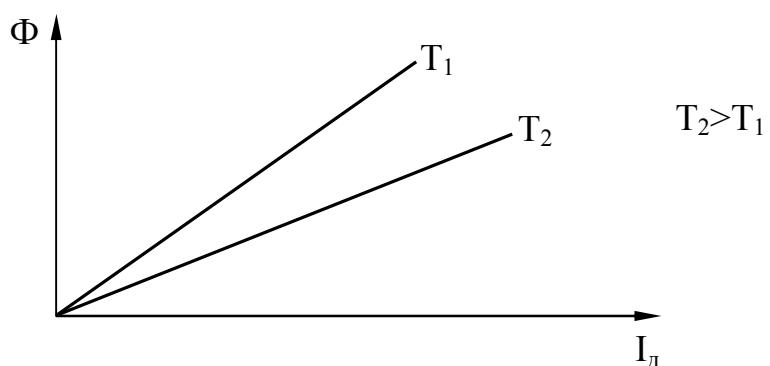


Рис. 3. Ампер-яркостные характеристики светодиода при различных температурах

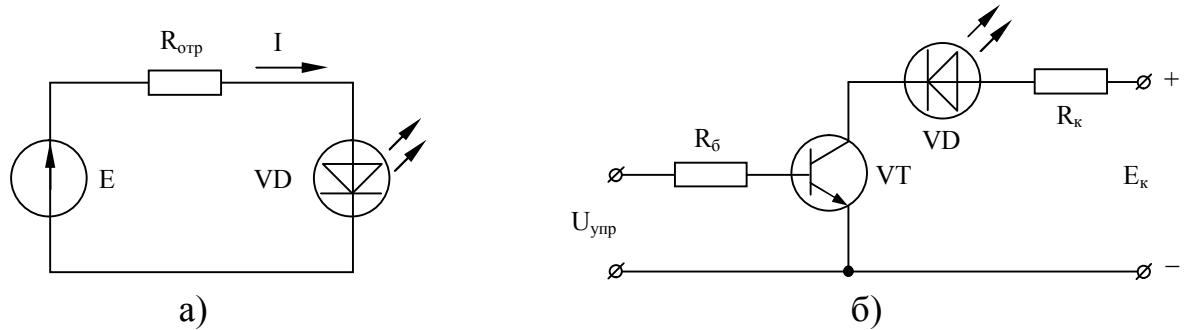


Рис. 4. Простая (а) и управляемая (б) схемы питания светодиода

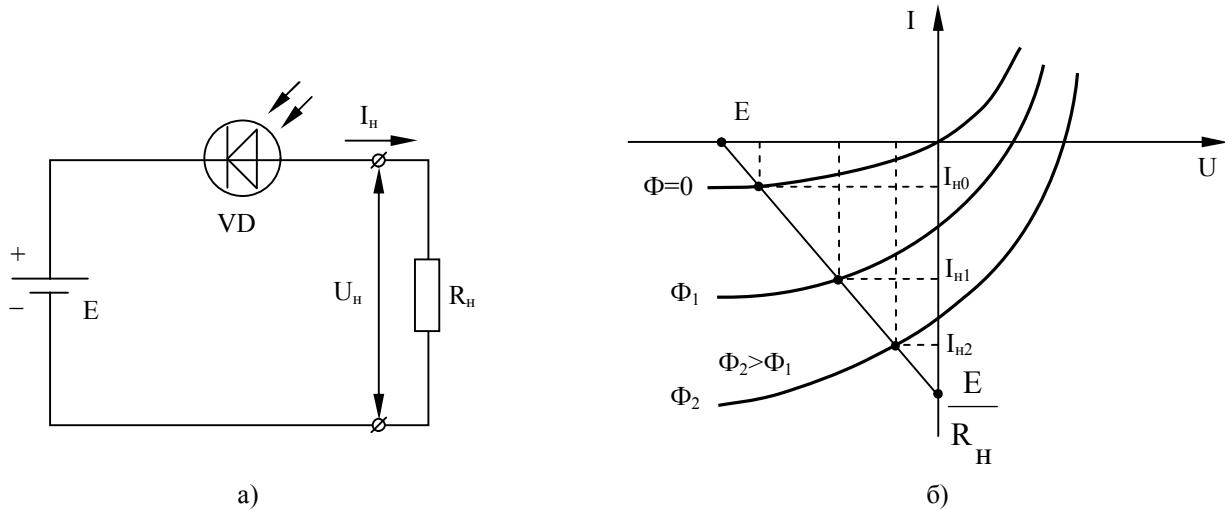


Рис. 5. Схема включения (а) и ВАХ (б) светодиода в фотопреобразовательном режиме

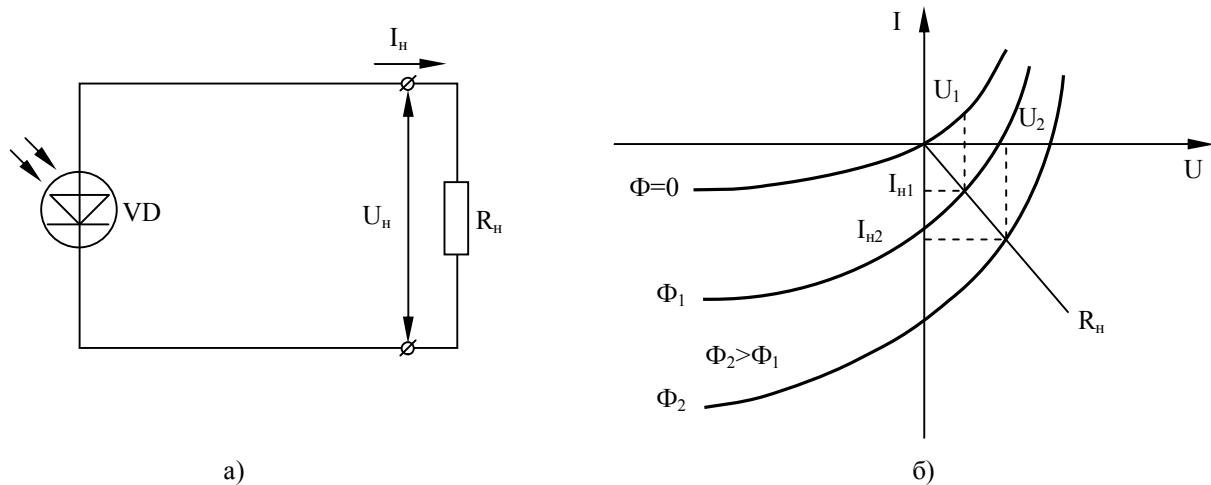


Рис. 6. Схема включения (а) и ВАХ (б) светодиода в фотогенераторном режиме.

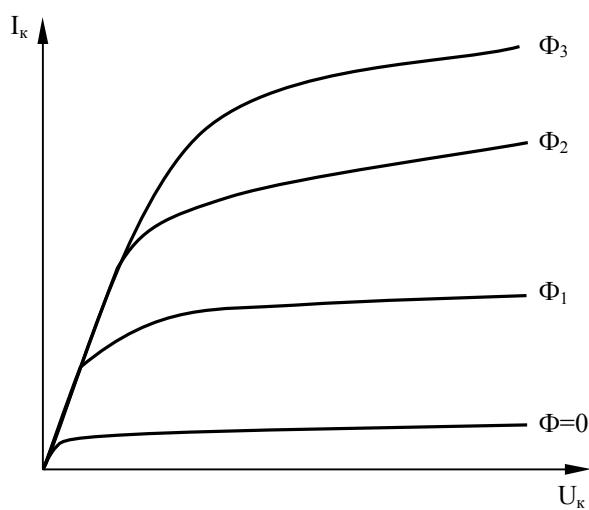


Рис. 7. Выходные характеристики  
фоторезистора

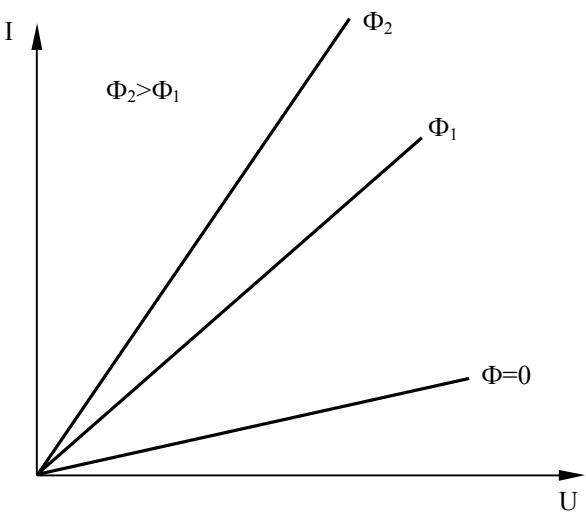


Рис. 8. Вольтамперные характеристики  
фоторезистора при различных  
освещенностиах

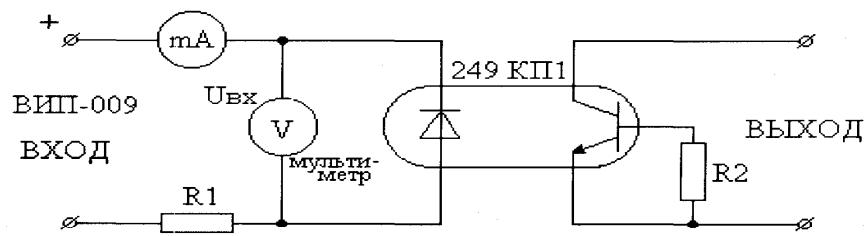


Рис. 9.

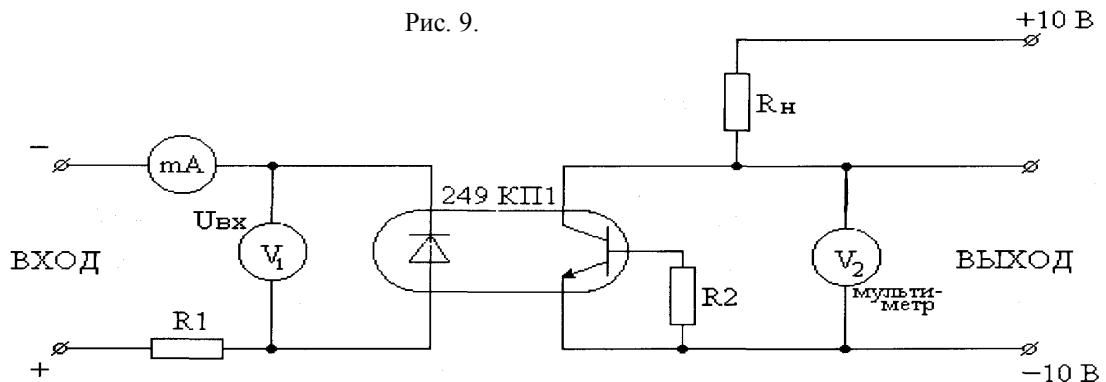
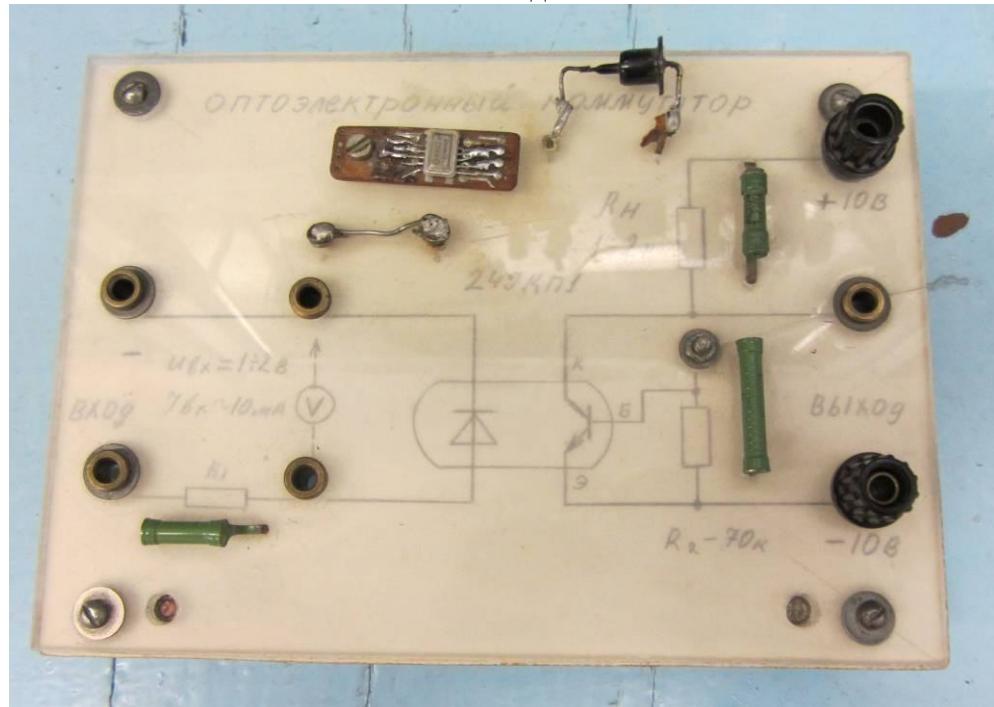


Рис. 10.

## Оборудование Стенд



## Источник питания



## Мультиметры



## Соединительные провода



**ХОД РАБОТЫ.**

1. Собрать схему оптоэлектронного коммутатора при отсутствии питания коллекторной цепи фототранзистора (рис. 9).
2. Снять входную характеристику коммутатора  $I_{bx}=f(U_{bx})$  (ток  $I_{bx}$  не должен превышать 10 мА). Построить график зависимости  $I_{bx}=f(U_{bx})$ .
3. Снять переходную характеристику коммутатора (рис. 10)  $U_{вых}=f(U_{bx})$  (ток  $I_{bx}$  не должен превышать 10 мА). Построить график зависимости  $U_{вых}=f(U_{bx})$ .