

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 Φ , 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 однонаправленность информации, отсутствие обратной связи с выхода на вход, высокая помехозащитность, 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 высоковольтных цепях, согласования низкочастотных цепей с высокочастотными и низкоомных 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-фосфида 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 p-n 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 Φ 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 светодиода 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 ($K_I=1,0$ - $1,5\%$), 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_n нагрузочного резистора R_n или напряжения U_n на нем от входного тока оптрона, т.е. $I_n=f(I_{вх})$ или $U_n=f(I_{вх})$.

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

ФОТОТРАНЗИСТОРНЫЙ ОПТРОН. (рис.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 оптрона $K_I = 50-100\%$.

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 оптронов на их основе достигает 50%, а быстродействие составляет 10^{-4} с.

ФОТОРЕЗИСТОРНЫЙ ОПТРОН. (рис.2в). В качестве фотоприемника в оптронах 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 оптронов целиком определяется быстродействием фотоприемника, которое составляет единицы миллисекунд. Типичные вольтамперные характеристики фоторезистора для различных световых потоков Φ 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 оптронов являются: номинальный входной ток в прямом направлении $I_{вх\text{ ном}}$ светодиода и падение напряжения на нем в прямом направлении $U_{вх}$ при номинальном значении входного тока; входная емкость $C_{вх}$ в заданном режиме; максимально допустимый входной ток $I_{вх\text{ max}}$; максимально допустимое обратное напряжение на входе $U_{вх\text{ обр max}}$.

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

Из передаточных параметров основными являются коэффициент передачи тока $K_I = (I_{вых}/I_{вх}) \cdot 100$, либо дифференциальный коэффициент передачи тока $K_{ИД} = (dI_{вых}/dI_{вх}) \cdot 100$, выраженные в процентах.

Быстродействие оптрона оценивают при подаче на его вход прямоугольного импульса по времени задержки $t_{зд}$ от момента подачи импульса до момента достижения выходным током значения $0,1 I_{вых\text{ max}}$, а также по времени нарастания $t_{нар}$ выходного тока от $0,1$ до $0,9$ его максимального значения. Суммарное время задержки и нарастания называют временем включения $t_{вкл}$. 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 оптроны 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 оптрона начинается с нулевой частоты.

Оптроны 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.

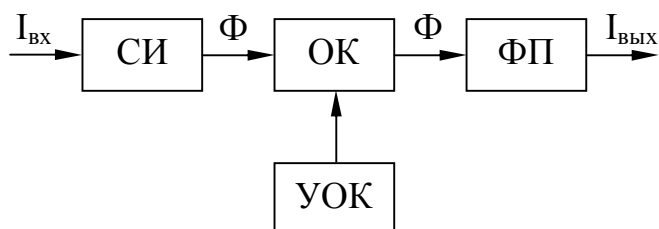


Рис. 1. Структурная схема оптрона.

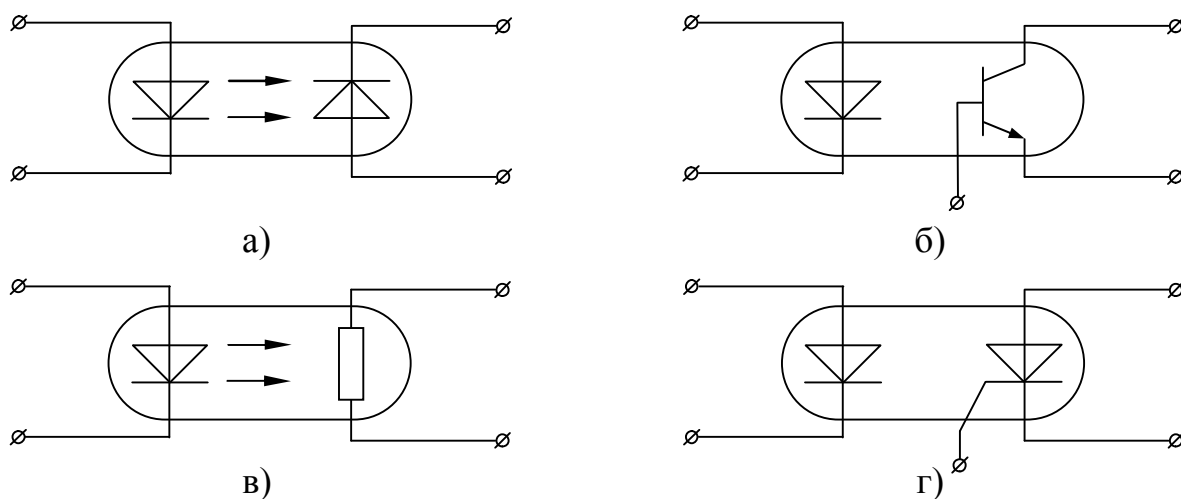


Рис. 2. Условные обозначение оптронов:
а) фотодиодного; б) транзисторного;
в) фоторезисторного; г) фототиристорного.

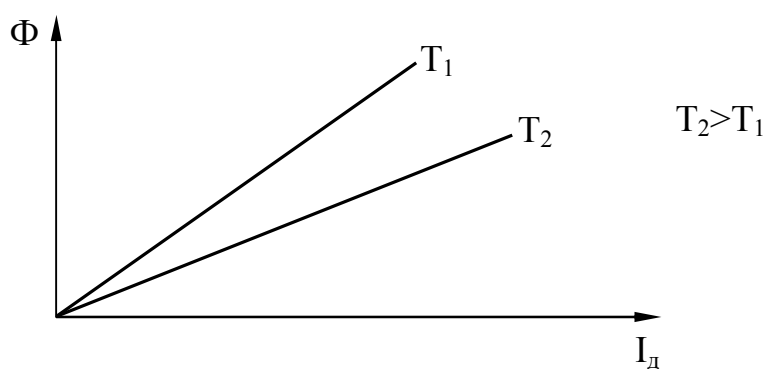
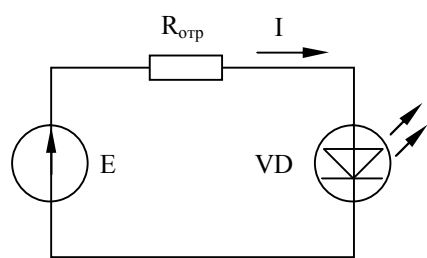
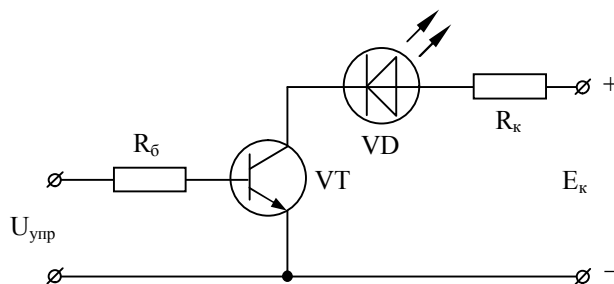


Рис. 3. Ампер-яркостные характеристики светодиода при различных температурах

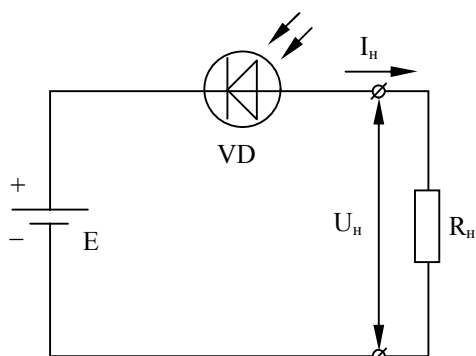


а)

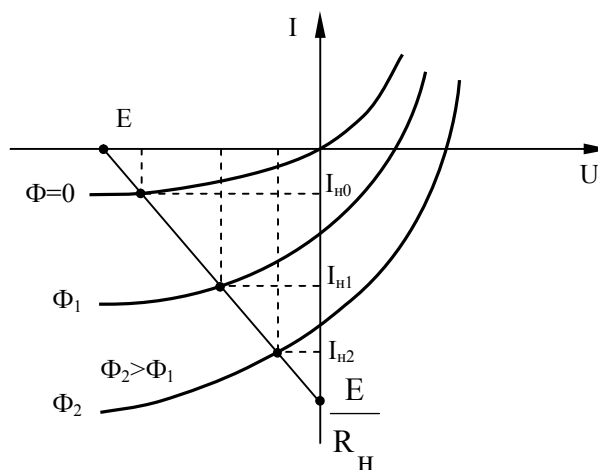


б)

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

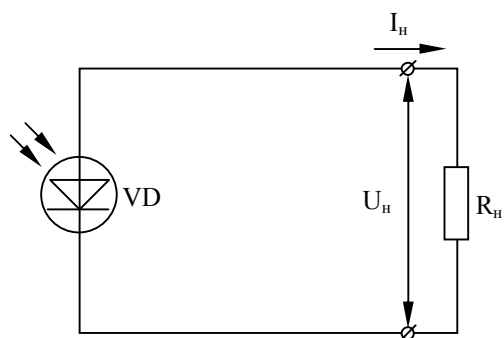


а)

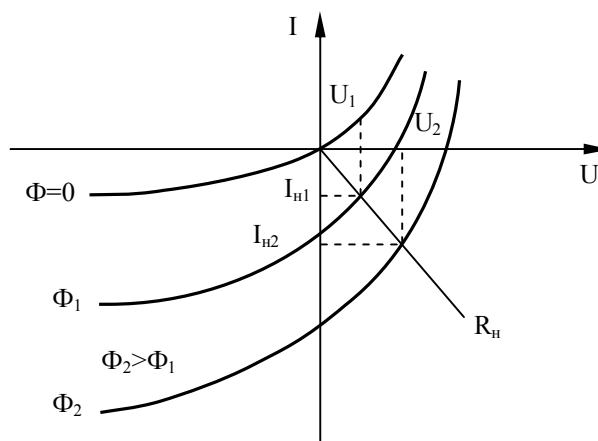


б)

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



а)



б)

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

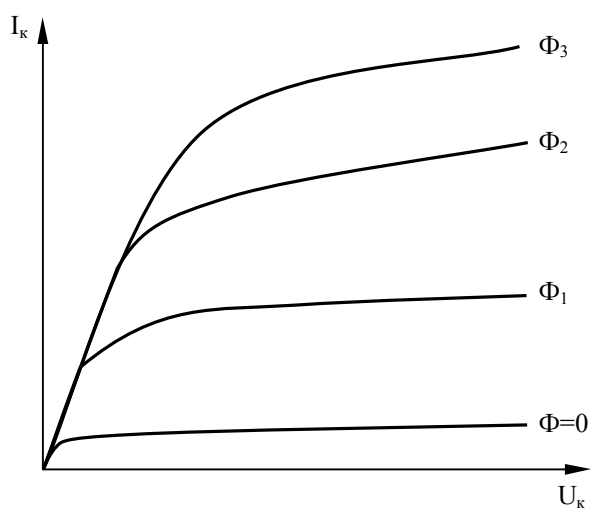


Рис. 7. Выходные характеристики фоторезистора

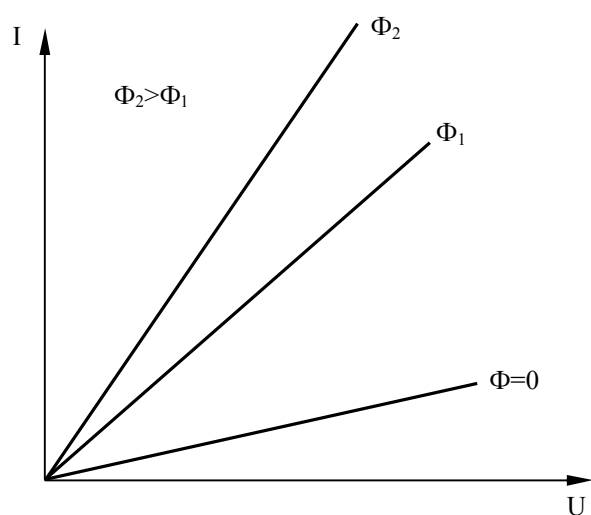


Рис. 8. Вольтамперные характеристики фоторезистора при различных освещенностях

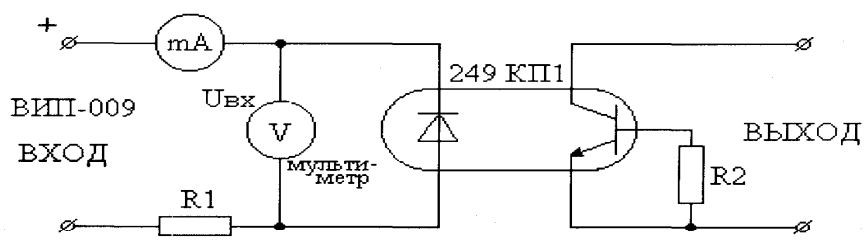


Рис. 9.

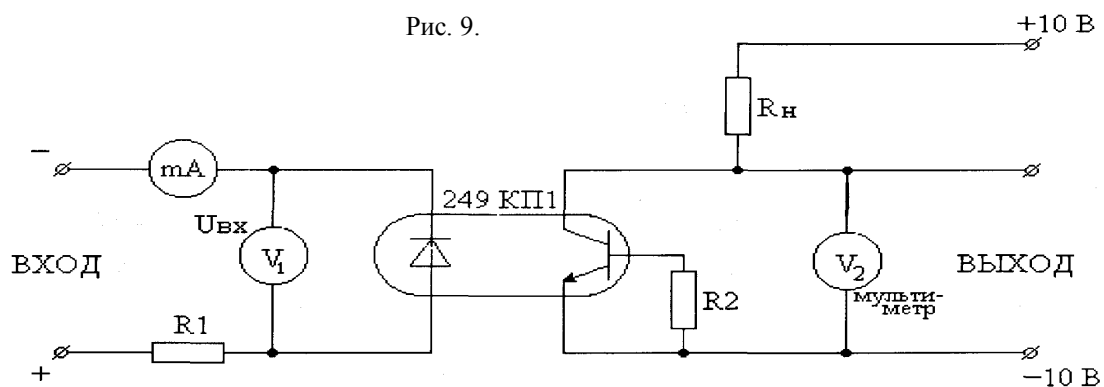
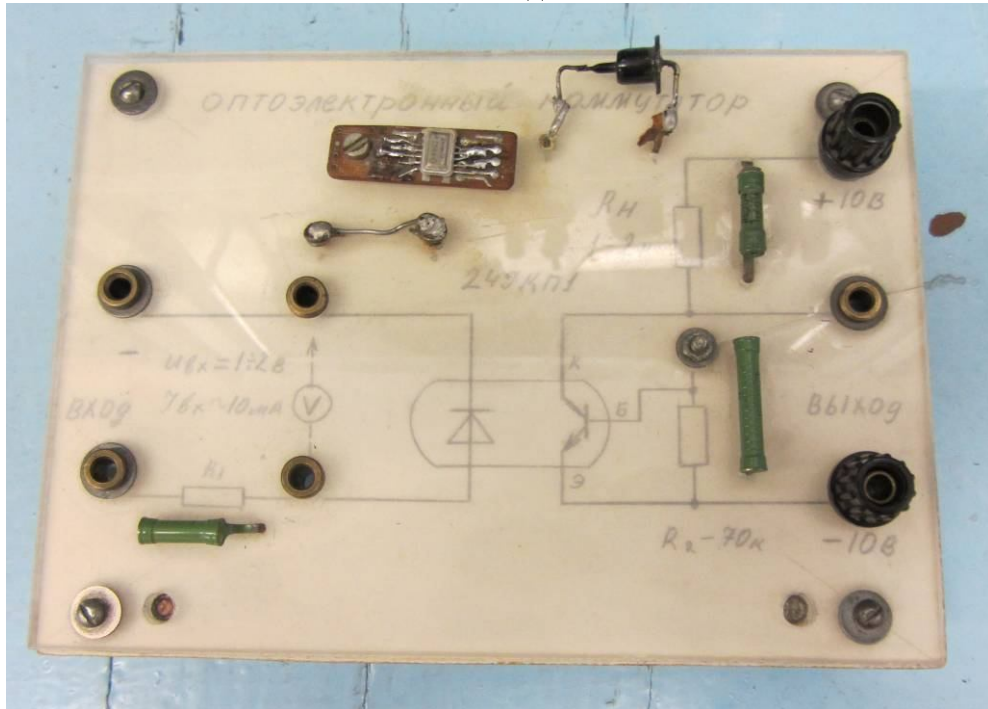


Рис. 10.

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 $I_{\text{ВХ}}=f(U_{\text{ВХ}})$ (ток $I_{\text{ВХ}}$ не должен превышать 10 мА). Построить график зависимости $I_{\text{ВХ}}=f(U_{\text{ВХ}})$.
3. Снять переходную характеристику коммутатора (рис. 10) $U_{\text{ВЫХ}}=f(U_{\text{ВХ}})$ (ток $I_{\text{ВХ}}$ не должен превышать 10 мА). Построить график зависимости $U_{\text{ВЫХ}}=f(U_{\text{ВХ}})$.