

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2014

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

САМАРА 2014

Составитель К.Е.Воронов

УДК 615.47

Исследование приемников оптического излучения. Метод. указания к лабораторной работе/ Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. К.Е.Воронов, Самара, 2014. 20с.

В методических указаниях изложены основные теоретические сведения о физических основах, заложенных в основу функционирования приемников оптического излучения, методах и средствах, используемых для измерения параметров оптического излучения. Приведено описание лабораторного стенда и порядок выполнения работы.

Методические указания предназначены для магистров, обучающихся по направлению подготовки 201000.68 (Биотехнические системы и технологии) и выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Биомедицинские датчики» на кафедре лазерных и биотехнических систем.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензенты: доцент Кудрявцев И.А.

Цель работы: изучение физических принципов и явлений, заложенных в основу функционирования приемников оптического излучения, особенностей их построения и применения, основных расчетных соотношений, устанавливающих связь между измеряемой величиной и выходными сигналами.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

ФОТОДИОД.

Фотодиод представляет собой пластинку полупроводникового материала, внутри которого имеются области примесной электронной (n – область) и дырочной (p – область) проводимостей. Границу между этими областями называют контактным p - n переходом. Электронная и дырочная области снабжены невыпрямляющими контактами с присоединенными к ним выводами, с помощью которых осуществляется связь с внешней цепью. С целью предохранения чувствительного слоя фотодиода от воздействия внешней среды он покрывается лаком или монтируется в герметичном корпусе, изготовленном или из металла (со стеклянным входным окном) или из пластмасс.

При нормальной температуре примесный полупроводник содержит:

- подвижные заряды – основные носители тока, образованные в подавляющем большинстве термическим возбуждением атомов примеси и, в значительно меньшем количестве – атомами собственного полупроводника;
- подвижные заряды – неосновные носители тока, образованные термическим возбуждением собственного полупроводника;
- неподвижные заряды – ионы примесей.

Если внутри полупроводника граничат две области с разным типом проводимости, то возникает диффузия основных носителей тока: диффузионные токи электронов из n – области в p – область (ток I_{nn}) и дырок из p – области в n – область (ток I_{pp}) (рис. 1. а). Приконтактные области объединяются основными носителями. Это приводит к появлению объемных зарядов вблизи границы, образованных неподвижными зарядами ионизированных атомов примеси (рис. 1. б, в). По мере нарастания объемных зарядов нарастает электрическое поле, противодействующее диффузии основных носителей (возникает потенциальный барьер движению основных носителей (рис. 1 в) и диффузионные токи основных носителей уменьшаются. Разность потенциалов этого поля называют контактной разностью потенциалов V_k , знак ее соответствует обеднению приконтактных областей основными носителями тока. Преодолеть потенциальный барьер могут только те из основных носителей, энергия которых больше энергии потенциального барьера ($E_k = eV_k$, e – заряд электрона).

Одновременно с диффузионным током основных носителей возникает встречный дрейфовый ток неосновных, т.к. для них контактное

электрическое поле является ускоряющим. Дырки из n – области переходят в p – область (ток I_{pn}), а электроны из p – области – в n – область (ток I_{np}). Контактная разность потенциалов возрастает до тех пор, пока потоки основных и неосновных носителей через p - n переход не достигнут динамического равновесия:

(1)

При этом во внешней цепи ток отсутствует:

(2)

При приложении внешнего напряжения V_D потенциальный барьер изменяется на величину eV_D . Равновесие тока нарушается. При этом поток неосновных носителей через p - n переход изменяется незначительно, а ток основных носителей зависит от V_D : при прямом включении (плюс к p – области, минус к n – области) контактная разность потенциалов уменьшается и ток основных носителей очень быстро возрастает с увеличением V_D (рис. 1. г, д соответствует небольшому прямому напряжению $|V_D| < |V_k|$); при обратном (запирающем) включении контактная разность потенциалов увеличивается и ток основных носителей практически прекращается (рис. 1. е, ж). Вольт-амперная характеристика неосвещенного p - n перехода приведена на рис. 2 (кривая $\Phi = 0$), где за положительные значения приняты: запирающее напряжение на диоде и обратный ток диода.

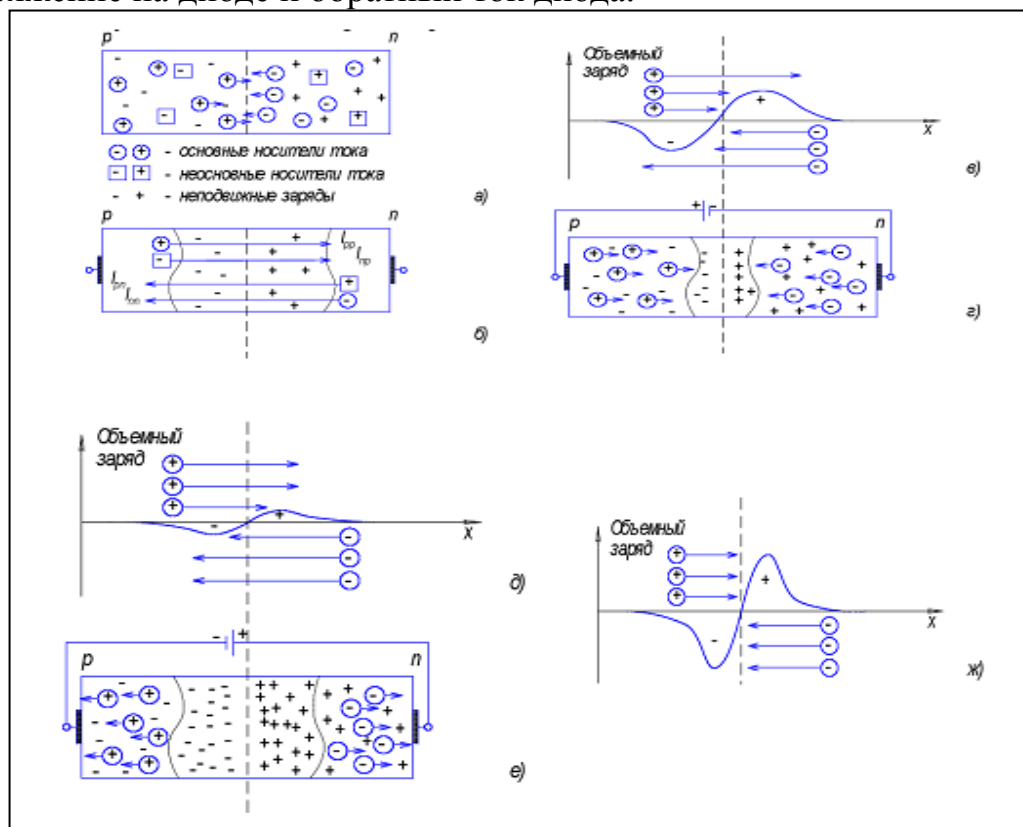


Рис. 1. Контактные явления в полупроводниках. Фотодиод.

При облучении одной из областей излучением с энергией квантов E_ϕ , превышающей ширину запрещенной зоны собственного полупроводникового материала этой области (ΔE — ширина запрещенной зоны): $E_\phi > \Delta E$ — в объеме полупроводника генерируются пары неравновесных носителей тока — фотоэлектроны и фотодырки (внутренний фотоэффект в собственном полупроводнике). Когда дифференцирующие в объеме полупроводника фотоносители достигают области p - n перехода, в контактном электрическом поле происходит пространственное разделение пар: основные фотоносители остаются в объеме той области, где они возникли; неосновные свободно проходят через p - n переход, так как для них контактное поле является ускоряющим. Таким образом, неосновные фотоносители создают внутри p - n перехода дополнительный ток, который называют фототоком I_F .

При разомкнутой внешней цепи фотоносители накапливаются: основные в той области, где они возникли, неосновные — в другой. Эти фотоносители образуют объемный заряд и, следовательно, фото ЭДС. Полярность фото ЭДС обратна контактной разности потенциалов, соответствует обогащению областей основными носителями и совпадает со знаком напряжения, приложенного к p - n переходу в прямом направлении. В результате возникновения фото ЭДС разность потенциалов (потенциальный барьер) уменьшается, что вызывает приращение потока основных носителей через p - n переход, направленного навстречу фототоку внутри p - n перехода.

Фото ЭДС возрастает до тех пор, пока не наступит новое состояние динамического равновесия между потоками основных и неосновных носителей через p - n переход.

При коротком замыкании внешней цепи фотоносители, разделенные электрическим полем p - n перехода, будут уходить во внешнюю цепь, создавая в ней фототок I_F .

Величина фототока в p - n переходе, освещенном монохроматическим потоком Φ_x определяется выражением:

$$— (3)$$

N_F — количество неосновных фотоносителей, проходящих через переход в единицу времени;

— коэффициент отражения на поверхности полупроводника;

n_λ — квантовый выход внутреннего фотоэффекта;

— коэффициент собирания пар оптически генерированных носителей (эффективность разделения пар);

$S_{\lambda I}$ — токовая монохроматическая чувствительность p - n перехода.

При приложении к облученному p - n переходу внешнего напряжения в запирающем направлении потенциальный барьер увеличивается. При этом ток основных носителей через p - n переход практически прекращается и во внешней цепи течет суммарный ток неосновных фотоносителей (фототок I_F)

и термически генерированных неосновных носителей (темновой ток I_T), который называют общим током $I_{общ}$:

(4)

Фотодиоды основаны на фотогальваническом эффекте и предназначены для работы как с приложением внешнего напряжения (фотодиодный способ включения), так и без приложения внешнего напряжения (вентильный способ включения) в отличие от полупроводниковых фотоэлементов, которые работают только в вентильном режиме.

Графики вольт-амперных характеристик фотодиода приведены на рис. 2 и показывают, что фотодиод – существенно нелинейный электрический элемент. В зависимости от способа включения фотодиода и способа измерения, фотосигналом цепи включения может служить или фототок или напряжение фотосигнала. Фототок фотодиода преобразуется в напряжение фотосигнала посредством включения в электрическую цепь сопротивления нагрузки R_H

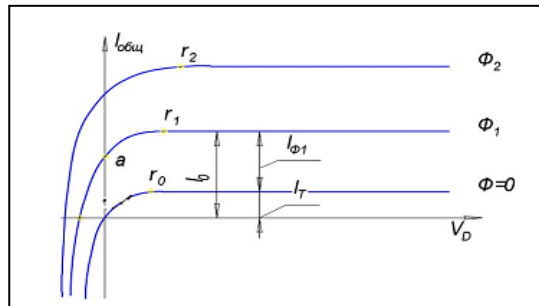


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики фотодиода при различных освещенностях.

Как было сказано выше, применяют два способа (основных) включения фотодиода:

- фотодиодный режим (рис. 3 а)
- вентильный режим (рис. 3 б)

Вентильный режим характерен отсутствием внешнего источника питания, т.е. используется способность p - n перехода фотодиода генерировать фотосигналы – фототок или фото ЭДС.

В фотодиодном режиме внешнее напряжение V_D прикладывается в запирающем направлении.

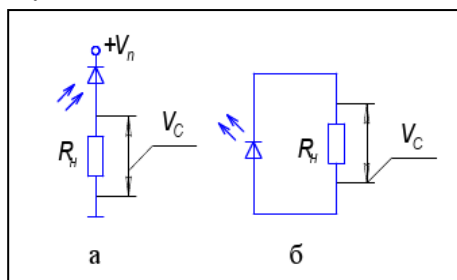


Рис. 3. Способы включения фотодиода в электрическую цепь.

В вентильном режиме при коротком замыкании ток во внешней цепи пропорционален световому потоку. Однако эта линейность может быть нарушена при больших световых потоках, если р- и n-области полупроводника имеют заметные сопротивления, эти сопротивления играют роль внешних сопротивлений. На рис. 5 показаны световые характеристики фотодиода в разных режимах работы. Интегральная чувствительность S_I рассчитывается как коэффициент пропорциональности из формулы:

$$S_I = \Delta I_{\phi} / \Delta \Phi. \quad (5)$$

Интегральной она называется потому, что при освещении фотодиода используется белый свет лампы накаливания. Обычно чувствительность S_I фотодиодов измеряют в микроамперах на люкс (мкА/лк). Чувствительность фотодиода - величина постоянная, не зависящая от величины светового потока Φ и напряжения, приложенного к фотодиоду. На рис. 4 приведена конструкция наиболее распространённых фотодиодов.

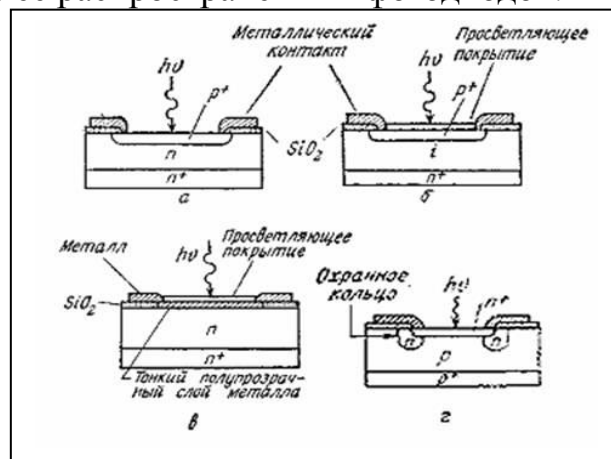


Рис.4. Конструкция фотодиодов

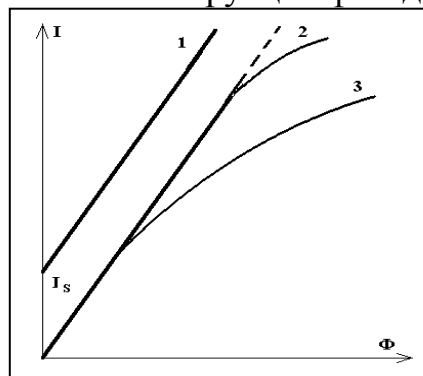


Рис.5. Световая характеристика фотодиода:

- 1) фотодиодный режим; 2) режим короткого замыкания; 3) вентильный режим при наличии внешнего сопротивления.

Основные технические характеристики используемого в эксперименте фотодиода ФД-256 на основе кремния (масса фотодиода около 1 грамма) приведены в табл. 1:

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	
Площадь фоточувствительного элемента (эффективная), мм ²	1.37 (4)
Рабочая температура, °С	20 ± 5
Рабочее напряжение, В	10
Диапазон спектральной чувствительности, мкм.	0,4 - 1,1
Максимум спектральной характеристики, мкм	0,8 - 0,9
Темновой ток, нА, не более	5
Интегральная токовая чувствительность мкА/лк, не менее	0,02
Собственная постоянная времени (U = 10 В), нс, не более.	10
Собственная постоянная времени (U = 60 В), нс, не более	2
Порог чувствительности, лм х Гц-1/2, не более	1 х 10 ⁻¹¹
Корпус	металлический
Электрическая плотность изоляции В, не менее.	180
Входное окно	линза
Материал окна	стекло С52-1

ФОТОТРАНЗИСТОР

2.1 Принцип работы

Работа различных полупроводниковых приемников излучения (фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры) основана на использовании внутреннего фотоэффекта, который состоит в том, что под действием излучения в полупроводниках происходит генерация пар носителей заряда — электронов и дырок. Эти дополнительные носители увеличивают электрическую проводимость. Такая добавочная проводимость, обусловленная действием фотонов, получила название фотопроводимости. У металлов явление фотопроводимости практически отсутствует, так как у них концентрация электронов проводимости огромна (примерно 10^{22} см^{-3}) и не может заметно увеличиться под действием излучения. В некоторых приборах за счет фотогенерации электронов и дырок возникает ЭДС, которую принято называть фото-ЭДС, и тогда эти приборы работают как источники тока. А в результате рекомбинации электронов и дырок в полупроводниках образуются фотоны, и при некоторых условиях полупроводниковые приборы могут работать в качестве источников излучения.

Фототранзистор - фоточувствительный полупроводниковый приемник излучения, по структуре подобный транзистору и обеспечивающий внутреннее усиление сигнала. Его можно представить состоящим из фотодиода и транзистора. Фотодиодом является освещаемая часть перехода база-коллектор, транзистором - часть структуры, расположенная непосредственно под эмиттером. Так как фотодиод и коллекторный переход транзистора конструктивно объединены, то фототок суммируется с коллекторным током. Напряжение питания подводят так, чтобы коллекторный переход был закрыт, а эмиттерный - открыт. База может быть отключенной.

В отличие от биполярного транзистора, у фототранзистора отсутствует электрический контакт к базе, а управление током базы осуществляется

путем изменения ее освещенности. По этой причине конструктивно фототранзистор имеет только два вывода — эмиттер и коллектор.

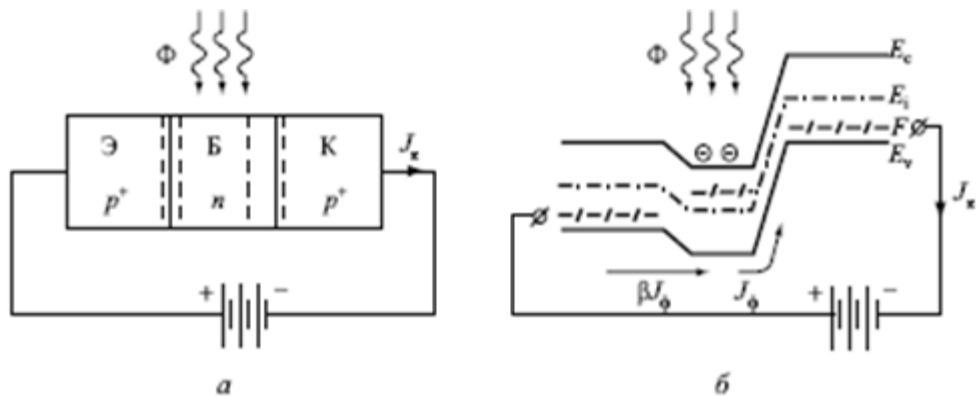


Рисунок 6 - а) Схема фототранзистора со структурой p-n-p; б) зонная диаграмма фототранзистора в активном режиме работы.

На рис. 6. показаны схема включения фототранзистора и зонная диаграмма в активном режиме работы.

При попадании светового потока на n-область базы в ней генерируются неравновесные электроны и дырки. Дырки будут являться неосновными носителями, увеличение их концентрации приведет к росту дрейфовой компоненты тока из базы в коллектор. Величина первичного «затравочного» фототока будет выражаться такими же соотношениями, как и фототок диода на основе p-n-перехода. Отличие только в том, что неравновесные носители, участвующие в фототоке в фототранзисторе, собираются с области базы, ширина которой W меньше, чем диффузионная длина L_p . Поэтому плотность первичного «затравочного» фототока будет:

$$j_{\Phi} = q \frac{\Delta p \cdot W}{\tau_p} \quad (6)$$

Вследствие того что неравновесные дырки уходят из базы в коллектор, база заряжена отрицательно относительно эмиттера, что эквивалентно прямому смещению эмиттерного перехода фототранзистора. При прямом смещении эмиттерного p-n-перехода появляется инжекционная компонента тока из эмиттера в базу. При коэффициенте передачи эмиттерного тока α в базе рекомбинируют $(1-\alpha)$ инжектированных носителей или в β раз меньше, чем число инжектированных носителей. В условиях стационарного тока число прорекомбинировавших носителей в базе должно быть равно их числу, ушедшему с первоначальным фототоком. Поэтому инжекционный ток должен быть в β раз больше, чем первичный фототок. Ток коллектора I_K будет состоять из трех компонент: первичного фототока I_{Φ} , инжекционного βI_{Φ} и теплового I_{K0} тока.

$$I_K = I_{\Phi} + \beta I_{\Phi} = (\beta + 1) I_{\Phi} + I_{K0} \quad (7)$$

Используя выражение для коэффициента усиления β базового тока через конструктивно-технологические параметры биполярного транзистора, получаем:

$$I_K = I_\Phi \frac{2I_p^2}{W^2} + I_{K0} \quad (8)$$

Величина первичного фототока I_Φ выражается через параметры светового потока и характеристики полупроводникового материала стандартным образом:

$$I_\Phi = q\Delta p \frac{W}{\tau_p} = qGW = qW\eta\alpha\Phi \quad (9)$$

При освещении базы в ней возникают электронно-дырочные пары. Так же как и в фотодиоде, пары, достигшие в результате диффузии коллекторного перехода, разделяются полем перехода, неосновные носители из базы движутся в коллектор, при этом его ток увеличивается. Основные носители остаются в базе, понижая ее потенциал относительно эмиттера. При этом на эмиттерном переходе создается дополнительное прямое напряжение, вызывающее дополнительную инжекцию из эмиттера в базу и соответствующее увеличение тока коллектора.

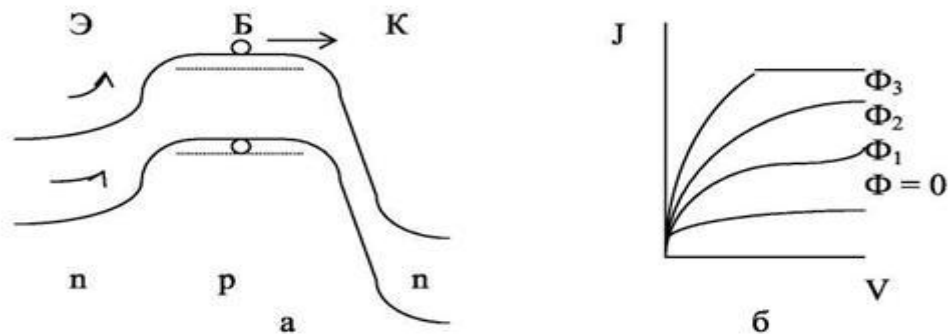


Рисунок 7 - Энергетическая диаграмма фототранзистора (а) и вольтамперные характеристики фототранзистора при разных уровнях освещения (б).

Работа фототранзистора с общим эмиттером

Рассмотрим, например, работу фототранзистора в схеме с общим эмиттером при отключенной базе. Фототок коллекторного перехода суммируется с обратным током коллектора, поэтому в формуле для тока транзистора вместо J_{K0} следует поставить

$$J_{K0} + J_\Phi/J = (J_{K0} + J_\Phi)/(1-\alpha). \quad (10)$$

При $J_{K0} \gg J_\Phi$ $J = J_\Phi/(1-\alpha) \approx \beta J_\Phi$, т.е. фототок фототранзистора усиливается в β раз по сравнению током фотодиода. Соответственно в β раз увеличивается и чувствительность. Ток может быть усилен в 1000 раз, поэтому чувствительность фототранзистора во много раз больше чувствительности фотодиода. Однако поскольку произведение коэффициента

усиления на полосу частот величина постоянная, то предельная частота уменьшается в β раз.

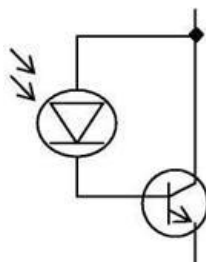


Рисунок 8. - Эквивалентная схема фототранзистора.

Наличие диффузии носителей обуславливает значительную инерционность прибора $\tau = 10^{-5}-10^{-6}$ с. При сужении базы время диффузии уменьшается, но уменьшается и чувствительность. Для германиевых фототранзисторов $SI = 0,2-0,5$ А/лм, $V_{раб} = 3$ В, $I_{темн} = 300$ мкА, $\tau = 0,2$ мс. В корпусе прибора предусмотрено прозрачное окно, через которое световой поток попадает обычно на базовую область фототранзистора. Площадь фоточувствительной площадки составляет 1-3 мм².

Параметры фототранзисторов

Основные параметры фототранзисторов представлены в таблице 2.1

Таблица 2 - Параметры фототранзисторов

Условное обозначение	Единица измерения	Определение
U_p	В	Рабочее напряжение постоянное напряжение, приложенное к фототранзистору, при котором обеспечиваются номинальные параметры при длительной его работе
$\Delta\lambda$	мкм	Область спектральной чувствительности фототранзистора интервал длины волны спектральной характеристики фототранзистора, в котором его чувствительность равна 10% и более от своего максимального значения
Условное обозначение	Единица измерения	Определение
P_{max}	мВт	Максимально допустимая рассеиваемая мощность — максимальная электрическая мощность, рассеиваемая фототранзистором, при которой отклонение его параметров от номинальных значений не превышает указанных пределов при длительной работе
I_t	мкА	Темновой ток — ток, протекающий через фототранзистор при заданном напряжении на нем в отсутствие потока излучения
I_f	мА	Фототок (ток фотосигнала) ток, протекающий через фототранзистор при указанном напряжении на нем, обусловленный действием потока излучения

$S_{\text{инт}}$	А/лм или А/лк	Токовая интегральная чувствительность - отношение фототока к значению мощности (или освещенности) потока излучения с заданным спектральным составом, вызвавшего появление фототока
Фп	Вт	Порог чувствительности — среднеквадратическое значение первой гармоники действующего на фоточувствительный элемент фототранзистора модулированного потока излучения заданного спектрального распределения, при котором среднеквадратическое значение первой гармоники фототока равно среднеквадратическому течению шумового тока в заданной полосе на частоте модуляции потока излучения
Условное обозначение	Единица измерения	Определение
Ку.ф	отн.ед.	Коэффициент усиления фототока — отношение фототока коллектора при отключенной базе к фототоку освещаемого перехода, измеренного в фотодиодном режиме
2β	град	Плоский угол зрения фототранзистора угол в нормальной к фоточувствительному элементу плоскости между крайними направлениями падения параллельного пучка излучения, при которых ток фотосигнала уменьшается до заданного уровня
$\tau_{\text{сп}}$	мкс	Постоянная времени до спада фототока - время в течение которого фототок уменьшается до значения, равного 37 % от максимального, при затемнении фоточувствительного элемента фототранзистора

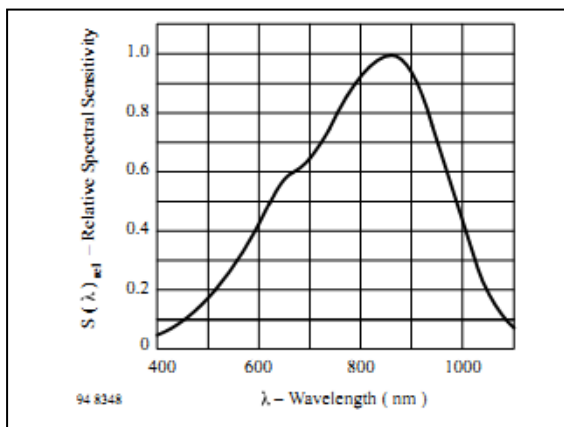


Рис.9. Относительная спектральная чувствительность фототранзистора типа BPW85C.

Описание лабораторного стенда

ДАТЧИКИ ОСВЕЩЁННОСТИ (фотодиод и фототранзистор).

Принципиальные электрические схемы экспериментов для исследования работы датчиков освещённости (фотодиода и фототранзистора) приведены на рис.10.

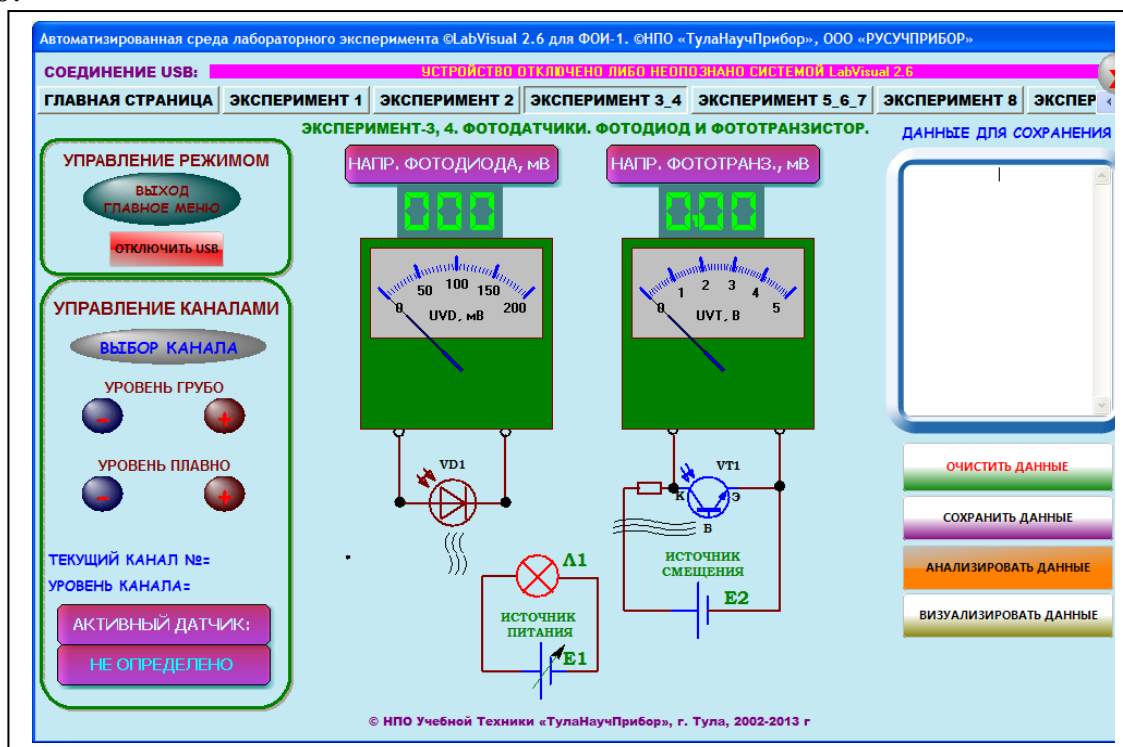


Рис. 10. Подпрограмма «ДАТЧИКИ ОСВЕЩЁННОСТИ» учебной установки ФОИ-1.

Исследование фотодиода.

Свет от лампы накаливания Л1, подключенной к одному из регулируемых КАНАЛОВ 1, 2, 3 БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ поступает на фотодиод VD1. В качестве датчика в данном эксперименте используется кремниевый фотодиод типа ФД-256.

Как следует из схемы фотодиод в эксперименте подключен в вентильном режиме. Сигнал напряжения UVD, снимаемый с фотодиода VD подается на измерительный прибор (в нашем случае на LCD ЖКД индикатор через АЦП микропроцессора).

Исследование фототранзистора

Свет от лампы накаливания Л1, подключенной к одному из регулируемых КАНАЛОВ 1, 2, 3 БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ падает на БАЗУ (Б) фототранзистора VT1. В качестве датчика в данном эксперименте используется фототранзистор типа BPW85C с двумя электродами (коллектор К и эмиттер Э), база в данном случае является встроенной в кристалл

фоточувствительной частью. На переход коллектор — эмиттер транзистора подаётся постоянное напряжение смещения 5 В от источника Е2 через последовательно включенный резистор.

Сигнал напряжения U_{VT} снимается с перехода К-Э фототранзистора и подаётся на АЦП микропроцессора либо на измерительную головку. При увеличении светового потока Φ , падающего на базу Б фототранзистора BPW85C, увеличивается базовый фототок I_b . Следовательно сопротивление $R_{кэ}$ перехода коллектор-эмиттер падает (переход К-Э «открывается»), поэтому снимаемое с перехода К-Э напряжение U_{VT} также будет уменьшаться при постоянном добавочном сопротивлении, включенном последовательно переходу К-Э. Т. е. при увеличении освещенности фототранзистора напряжение U_{VT} перехода К-Э будет уменьшаться. При некотором значении светового потока, сопротивление $R_{кэ}$ перехода коллектор-эмиттер перестаёт меняться и фототранзистор полностью «открывается».

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА.

1. Перед включением установки в сеть проверить целостность всех соединительных сигнальных и сетевых проводов. Все работы по подключению комплекса к компьютеру следует выполнять только при отключенных от сети приборах. Разобраться с принципиальными блок-схемами опытов, в назначении кнопок, переключателей и ручек прибора. На данном шаге НЕ подключайте прибор к USB порту ПК.

2. Соединить монитор с системным блоком ПЭВМ, подключить клавиатуру и мышь к системному блоку используя стандартные провода для подключения. Подключить системный блок ПЭВМ и монитор к сети ~220 В.

3. Загрузить операционную систему согласно стандартным процедурам загрузки.

4. При необходимости, настроить компьютер для работы с учебной установкой согласно прилагаемому руководству к среде LabVisual.

5. Запустить программу LabVisual для работы с учебной установкой для данного эксперимента пользуясь ярлыком на рабочем столе либо другим способом, указанным лаборантом.

ПОДГОТОВКА К ЭКСПЕРИМЕНТУ.

6. Перед началом работы ознакомится с принципиальной схемой учебной установки, разобраться в назначении кнопок и измерительного прибора. Проверить целостность сетевого провода. **Независимо от дальнейшего эксперимента: до включения БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ в СЕТЬ необходимо подключить измерительную часть МОДУЛЯ «ТЕРМОДАТЧИКИ» «ЦИФРОВОЙ ТЕРМОДАТЧИК DS18B20» к соответствующему измерительному входу БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.** Это вызвано тем, что алгоритм работы цифрового термодатчика и взаимодействие его с микропроцессором БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

построено таким образом, что его инициализация должна происходить в момент включения.

7. Включить установку в сеть ~220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель «СЕТЬ» на панели учебного модуля в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».

8. Дождаться появления системного сообщения на ЖКД LCD дисплее прибора, о дальнейшем порядке действий.

9. После появления данного сообщения на ЖКД LCD дисплее учебного прибора, можно подключить прибор к USB – порту ПК, используя стандартный USB провод из комплекта, и однократно нажать кнопку «СТАРТ/USB/ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ» (кнопка используется для конфигурации устройства сразу после включения). В противном случае, возможна некорректная работа USB протокола и устройства (иногда инициализация USB выполняется и без нажатия кнопки).

10. После проведения инициализации, USB передатчик учебной установки отключается и прибор переходит в автономный режим работы без ПК «USB OFF». Для включения USB в приборе и последующей работы с программой приема и обработки данных LabVisual, либо для отключения USB и работы в ручном режиме, следует нажимать кнопку «ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ/USB». Это сделано для исключения влияния паразитных наводок в ручном режиме работы, так как если в ручном режиме оставлять приемник-передатчик USB включенным, то возможен приход незапланированных команд управления.

11. Дать установке прогреться в течение трех минут и приступить к планируемому эксперименту.

Проведение эксперимента по исследованию фотодиода.

1. Выполнить подключение прибора согласно пунктам 1 — 11, описанным в параграфе **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА.**

2. Подключить силовую часть внешнего модуля «ФОТОДАТЧИКИ» к КАНАЛУ 1, 2 либо 3 БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ (полярность не имеет значения).

3. Подключить исследуемый датчик (измерительную часть ФОТОДИОД) из МОДУЛЯ «ФОТОДАТЧИКИ» специальным проводом к соответствующему входу (ФОТОДИОД) БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.

4. С помощью кнопок управления «РЕЖИМ РАБОТЫ + », расположенных на верхней панели лабораторного модуля либо в программе-оболочке LabVisual выбрать необходимый опыт: photodiode «ДАТЧИК СВЕТА - ФОТОДИОД» (установить курсор на LCD индикаторе в соответствующее положение).

5. Запустить выбранный эксперимент с помощью кнопки «ВХОД», при этом автоматически запустится подпрограмма выбранного эксперимента рис. 10.

6. Используя кнопку управления «ВЫБОР КАНАЛА» выбрать

КАНАЛ, к которому подключена силовая часть «ФОТОДАТЧИКИ» (с=1Р, 2Р либо 3Р).

7. При помощи многофункциональных кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ + », расположенных на верхней панели лабораторного модуля либо кнопок «УРОВЕНЬ» меню «УПРАВЛЕНИЕ КАНАЛАМИ» в программе-оболочке LabVisual, снять световую характеристику фотодиода, т. е. зависимость сигнала напряжения UVD фотодиода от выходного уровня канала (с=3Р=0 ... 255): $UVD=UVD(P)$. Удержание многофункциональных кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ + » приводит к изменению уровня на 10 условных единиц, одиночное нажатие кнопок изменяет уровень на одну единицу. В данном эксперименте следует считать, что 1 условная единица выходного уровня канала ($P=0 \dots 255$) соответствует 1 Люкс освещенности, т. е. $P=\Phi=0\dots 255$ Лк.

8. Построить световую характеристику фотодатчика ФД-256, т. е. зависимость выходного напряжения фотодиода UVD от уровня освещенности $UVD=UVD(\Phi)$.

9. Используя найденные в предыдущих экспериментах нагрузочные кривые для лампы накаливания (т. е. зависимости $U_n=U_n(P)$ и $I_n=I_n(P)$) построить также зависимости выходного напряжения фотодиода UVD от напряжения на лампе накаливания U_n , тока лампы накаливания I_n и мощности лампы накаливания ($P_n=I_n \cdot U_n$), переводя условные единицы уровня с выхода канала P (0 ... 255) в значения напряжения U_n и тока I_n лампы: $UVD=UVD(U_n)$; $UVD=UVD(I_n)$; $UVD=UVD(P_n)$.

10. Рассчитать интегральный коэффициент чувствительности фотодатчика ФД-256 как — [мВ/Лк] в некотором интервале освещенностей.

11. По окончании эксперимента выйти из текущего опыта, нажав кнопку «ВЫХОД/ESC» и отключить провода от выходных клемм БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.

Проведение эксперимента по исследованию фототранзистора.

12. Выполнить подключение прибора согласно пунктам 1 — 11, описанным в параграфе **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ. ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИБОРА.**

13. Подключить силовую часть внешнего модуля «ФОТОДАТЧИКИ» к КАНАЛУ 1, 2 либо 3 БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ (полярность не имеет значения).

14. Подключить исследуемый датчик (измерительную часть ФОТОТРАНЗИСТОР) из МОДУЛЯ «ФОТОДАТЧИКИ» специальным проводом к соответствующему входу (ФОТОТРАНЗИСТОР) БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.

15. С помощью кнопок управления «РЕЖИМ РАБОТЫ + », расположенных на верхней панели лабораторного модуля либо в программе-оболочке LabVisual выбрать необходимый опыт: phototransistor «ДАТЧИК

СВЕТА - ФОТОТРАНЗИСТОР» (установить курсор на LCD индикаторе в соответствующее положение).

16. Запустить выбранный эксперимент с помощью кнопки «ВХОД», при этом автоматически запустится подпрограмма выбранного эксперимента рис. 10.

17. Используя кнопку управления «ВЫБОР КАНАЛА» выбрать КАНАЛ, к которому подключена силовая часть «ФОТОДАТЧИКИ» (с=1Р, 2Р либо 3Р).

18. При помощи многофункциональных кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ + », расположенных на верхней панели лабораторного модуля либо кнопок «УРОВЕНЬ» меню «УПРАВЛЕНИЕ КАНАЛАМИ» в программе-оболочке LabVisual, снять световую характеристику фототранзистора, т. е. зависимость сигнала напряжения UVT с перехода К-Э от выходного уровня канала (с=3Р=0 ... 255): $UVD=UVD(P)$. Удержание многофункциональных кнопок «РЕЖИМ РАБОТЫ + » приводит к изменению уровня на 10 условных единиц, одиночное нажатие кнопок изменяет уровень на одну единицу. В данном эксперименте следует считать, что 1 условная единица выходного уровня канала ($P=0 \dots 255$) соответствует 1 Люкс освещенности, т. е. $P=\Phi=0\dots 255$ Лк. Учтите, что т. к. фототранзистор обладает высокой чувствительностью к световому потоку, то показания UVT в середине световой характеристики могут быть несколько нестабильными, т. к. небольшое изменение базового фототока приводит к существенному изменению сопротивления перехода коллектор-эмиттер VT1.

19. Построить световую характеристику фотодатчика BPW85C, т. е. зависимость выходного напряжения с перехода К-Э фототранзистора UVT от уровня освещенности $UVT=UVT(\Phi)$.

20. Используя найденные в предыдущих экспериментах нагрузочные кривые для лампы накаливания (т. е. зависимости $U_n=U_n(P)$ и $I_n=I_n(P)$) построить также зависимости напряжения с перехода К-Э фототранзистора UVT от напряжения на лампе накаливания U_n , тока лампы накаливания I_n и мощности лампы накаливания ($P_n=I_n \cdot U_n$), переводя условные единицы уровня с выхода канала Р (0 ... 255) в значения напряжения U_n и тока I_n лампы: $UVT=UVT(U_n)$; $UVT=UVT(I_n)$; $UVT=UVT(P_n)$.

21. Рассчитать интегральный коэффициент чувствительности фотодатчика BPW85C как ---[мВ/Лк] в некотором интервале освещенностей.

22. По окончании эксперимента выйти из текущего опыта, нажав кнопку «ВЫХОД/ESC» и отключить провода от выходных клемм БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Графики зависимости выходных зависимостей фотодатчиков от напряжений, токов и прикладываемых мощностей для различных видов нагрузки.
3. Выводы по полученным результатам.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Фотодиод. Физические основы фотоэффекта. Основные расчетные соотношения.
2. Фотодиод. ВАХ. Основные режимы работы. Основные расчетные соотношения.
3. Фотодиод. Световая характеристика. Основные технические характеристики.
4. Фототранзистор. Физические основы. Основные расчетные соотношения.
5. Фототранзистор. ВАХ. Основные режимы работы. Основные расчетные соотношения.
6. Фототранзистор. Спектральная чувствительность. Основные технические характеристики.
7. Сравнительная характеристика фотодиода и фототранзистора. Достоинства и недостатки.
8. Назовите подходы используемые при согласовании уровней сигналов с датчиков с измерительной схемой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по работе с автоматизированным комплексом «Современные средства измерений, преобразователи и датчики. автоматизированный лабораторный комплекс для работы с ПК». Фои-1, НПО учебной техники «туланаучприбор», Тула, 2013 г.
2. Датчики: Справочное пособие. А. С. Совлуков, В. М. Шарапов, Г. Г. Ишанин, Е. С. Полищук, И. Г. Минаев, Н. Д. Кошевой - М. : РИЦ Техносфера, 2012. 617 с. ISBN:978-5-94836-316-5. Номер доступа: directmedia.214292.
3. Топильский В. Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи: учебное пособие - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 2-е изд. (эл.). 493 с. ISBN:978-5-9963-1469-0. Номер доступа: directmedia.222203.

Учебное издание

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЕМНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические указания

Составитель: Воронов Константин Евгеньевич

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва.

443086 Самара, Московское шоссе, 34