

Светодиод и Фотодиод

LED (Light Emitting Diode) – это диод, который имеет свойство излучать свет при прямом смещении.

LED построен на основе полупроводниковой структуры р-п с очень малой площадью поверхности (**Приложение 1**), которая излучает свет. Эта структура изготавливается из специальных полупроводниковых сплавов. В конструкции полупроводниковой структуры не используются

кремний или германий, так как они нагреваются и плохо излучают свет. Эта структура,

которая также называется **диодом**, помещается в **отражающую чашу** (**Приложение 1**) и подключается к выводам диода (**АНОД** и **КАТОД**). Все эти элементы заключены в корпус. Эти корпуса изготавливаются из синтетических смол различных цветов и в различных формах. Цвет светового излучения зависит от сплава, из которого изготовлена полупроводниковая структура:

красный, инфракрасный – AlGaAs (алюминий-галлий-мышьяк);

- зеленый – AlGaP (алюминий-галлий-фосфор);
- красный-оранжевый, оранжевый, желтый, зеленый – AlGaInP (алюминий-галлий-Индий-фосфор);
- красный, красно-оранжевый, оранжевый, желтый – GaAsP (галлий-мышьяк-фосфор);
- красный, желтый, зеленый – GaP (галлий-фосфор);
- зеленый, изумрудно-зеленый, синий – GaN (нитрид галлия);
- ближний ультрафиолет, сине-зеленый, синий – InGaN (нитрид индия-галлия);
- синий – ZnSe (цинк-селен);
- ультрафиолетовый – Алмаз (C) (углерод);
- от ближнего ультрафиолета до дальнего ультрафиолета – AlN, AlGaN (нитриды Al, Ga).

Принцип функционирования светодиода

Между полупроводником n-типа и полупроводником p-типа светодиодного диода образуется р-п-переход. На границах переходов электроны перемещаются со стороны N

на сторону P и рекомбинируют с дырками там, а дырки перемещаются со стороны P

на сторону N и рекомбинируют с электронами там. В результате образуется **область,**

обедненная носителями, в которой нет ни свободных электронов, ни свободных дырок, образуя барьер, который больше не позволяет электронам со стороны N рекомбинировать с дырками со стороны P.

При прямом смещении р-п-перехода барьер, созданный обедненной носителями областью,

пробивается, электроны со стороны N притягиваются к положительному полюсу источника питания, а дырки со стороны P притягиваются к отрицательному полюсу источника питания. И электроны, и дырки оказываются в области, обедненной носителями, где они рекомбинируют. Процесс рекомбинации дырки и электрона в зоне р-п-перехода сопровождается выделением энергии в виде тепла и света.

В светодиодах такой конструкции большинство электронно-дырочных комбинаций испускают фотоны в виде света в видимом спектре. Этот процесс называется

электролюминесценцией.

Интенсивность светового излучения, создаваемого светодиодом, прямо пропорциональна силе постоянного тока через р-п-переход светодиода.

Светодиод излучает свет в определенном диапазоне длин волн (в зависимости от сплава, используемого при конструкции светодиода). Длина волны (λ) выражается в нанометрах (нм) относится к видимому или невидимому спектру:

$\lambda = 460$ нм – синий свет (400 нм – 540 нм)

$\lambda = 540$ нм – зеленый свет (460 нм – 620 нм)

$\lambda = 590$ нм – желтый свет (520 нм – 680 нм)

$\lambda = 660$ нм – красный свет (580 нм – 740 нм)

$\lambda = 940$ нм – невидимое излучение (инфракрасный) (740 нм – 20 000 нм).

Электрические параметры светодиодов:

Прямой ток (IF) – это максимальный ток, пропускаемый светодиодами при прямом смещении.

Максимальное значение этого тока составляет 50 мА для светодиодов, излучающих в видимом спектре, и 100 мА для светодиодов, излучающих в инфракрасном спектре.

В большинстве случаев выбирается IF = 20 мА;

Прямое напряжение (VF) – это напряжение, которое должно быть приложено к электродам светодиода, чтобы он излучал свет.

Значение этого напряжения варьируется от 1,6 В до 4,5 В, в зависимости от цвета излучаемого света;



Обратное напряжение (VR) – это максимальное обратное напряжение, которое светодиод может выдержать без разрушения (типичное **3 В – 10 В**).

Идентификация электродов и проверка электролюминесцентного диода.

Идентификация электродов светодиода выполняется визуально или путем измерения мультиметром.

При визуальной идентификации (**Приложение 4 а**) **АНОД (+)** имеет **более длинную** или **более тонкую** ножку. Если корпус круглый и имеет скос, **КАТОД (-)** будет располагаться справа от скоса светодиода.

Определение электродов путем измерения мультиметром происходит следующим образом:

- установить переключатель мультиметра в положение ;
- активировать кнопку, при этом на дисплее в левом верхнем углу должен появиться символ ;
- подключить щупы мультиметра к электродам светодиода в направлении, в котором мультиметр показывает напряжение (**Приложение 4 б**). В этой ситуации ножка светодиода, на которой находится **щуп «+» мультиметра**, будет **АНОДОМ (+) светодиода**;
- при изменении полярности щупов на электродах светодиода мультиметр показывает 0 В (**Приложение 4 с**).

Фотодиод

Фотодиод – это оптоэлектронное устройство, изготовленное из светочувствительного р-п-перехода, который работает в **обратном смещении**.

Корпус фотодиода имеет прозрачную щель в виде плоского окна или линзы, которая позволяет свету проникать к р-п-переходу (**Приложение 5**).

В структуре фотодиода основным материалом является легированный кремний. На поверхности слоя п создается тонкий слой **p**, путем ионной имплантации или

термической диффузии подходящего материала (обычно используется бор). Активная поверхность фотодиода покрыта тонким защитным слоем, который также является антибликовым и может быть монооксидом кремния или диоксидом кремния.

Между двумя подложками, р и н, образуется **р-п-переход**. Область, которая образуется вблизи р-п-перехода, называется «**областью, обедненной носителями**», поскольку в этой области кремний «обеднен» свободными носителями заряда. Эта область очень важна для функционирования фотодиода, она меняет свою глубину в зависимости от величины обратного напряжения, приложенного к электродам фотодиода.

Емкость р-п-перехода зависит от толщины этой области. По мере увеличения напряжения обратного смещения фотодиода увеличивается глубина области и уменьшается емкость р-п-перехода.




Идентификация электродов и проверка фотодиода

В фотодиодах более **длинный** электрод является **Анодом (+)**, а более **короткий** – **Катодом (-)**.

В фотодиодах в металлическом корпусе электрод, расположенный рядом с **ключиком** на корпусе, является **Анодом (+)**.

В фотодиодах, выполненных в прозрачном корпусе более **тонкий** электрод является **Анодом (+)**.

Чтобы определить электроды и проверить фотодиод с помощью мультиметра, выполняются следующие действия:

- установить переключатель мультиметра в положение ;
- активировать кнопку , при этом на дисплее в левом верхнем углу должен появиться символ .



a



b

- подключить щупы мультиметра к электродам фотодиода в направлении, в котором мультиметр показывает напряжение (a). В этой ситуации электрод фотодиода, на котором находится **щуп «+» мультиметра** будет **катодом (-) фотодиода**; для проверки работы фотодиода необходимо накрыть его корпус, при этом напряжение, показываемое мультиметром, должно измениться (b);
- при изменении светового потока на корпусе фотодиода (при освещении или затемнении) напряжение на его электродах должно изменяться.

Как было сказано выше, область, «обедненная носителями», вокруг р-п-перехода очень важна для работы фотодиода. При обратном смещении фотодиода эта область углубляется и позволяет электрическому току, создаваемому световым излучением,

протекать через р-п-переход фотодиода. При поглощении света в активной области фотодиода в пустой области термически генерируется электронно-дырочная пара. Эта пара отделена от электрического поля, создаваемого в обедненной области, путем обратного смещения фотодиода, при этом **электроны** проходят в область **N**, а **дырки** – в область **P**.

Такое разделение зарядов носит название «**фотоэлектрический эффект**», и соответствующий ток называется **световой ток (ISC)**. Ток через диод увеличивается пропорционально интенсивности света. Когда переход не освещен, ток практически незначителен и называется **темновым током (ID)**. В каталогах фотодиодов указывается ток короткого замыкания ISC, поскольку фотодиод ведет себя как источник тока.

Когда на фотодиод с обратным смещением воздействует поток света, фотодиод изменяет ток в цепи, к которой он подключен.

В схеме **Приложения 9 а**, выключатель **К разомкнут**, лампа **Н выключена**, и фотодиод **FD1** заблокирован, поэтому через цепь базы транзистора **T1** ток не протекает. В этой ситуации транзистор **заблокирован**, а светодиод **LED1** **выключен**.

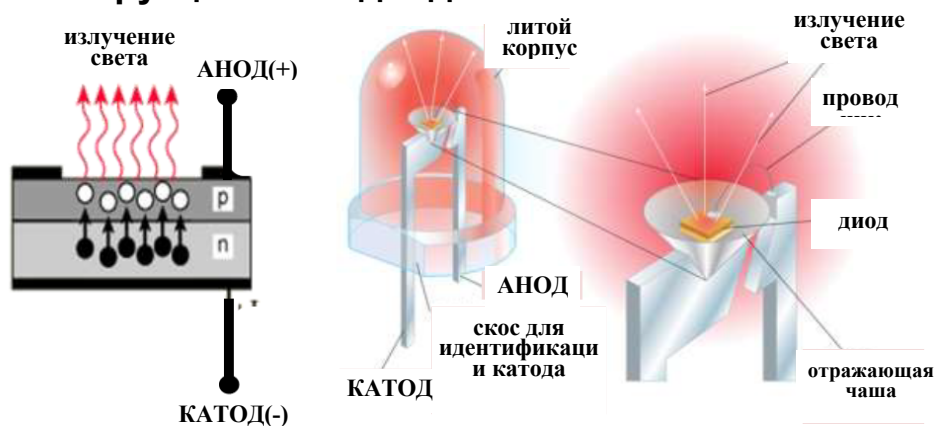
В схеме **Приложения 9 б**, выключатель **К замкнут**, лампа **Н светится**, а фотодиод **FD1** является проводящим, поэтому через цепь базы транзистора **T1** протекает ток. В этой ситуации транзистор **проводит**, а светодиод **LED1 светится**.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОДИОДОВ:

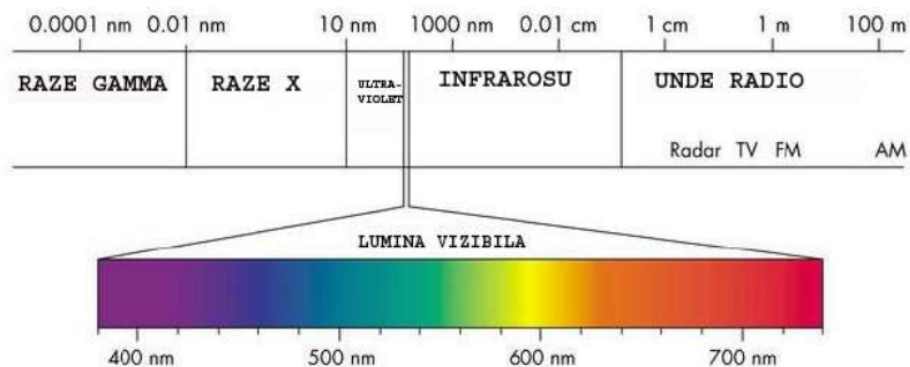
- Обратное напряжение (обратное напряжение) – $[V_R]$;
- Общая рассеиваемая мощность (Total power dissipation) – $[P_{tot}]$;
- Прямой ток (Forward current) – $[I_F]$;
- Темновой ток (Dark current) – $[I_R]$;
- Световой ток или ток короткого замыкания (Short-circuit current) - $[I_{sc}]$.

Приложение 1

Конструкция светодиода

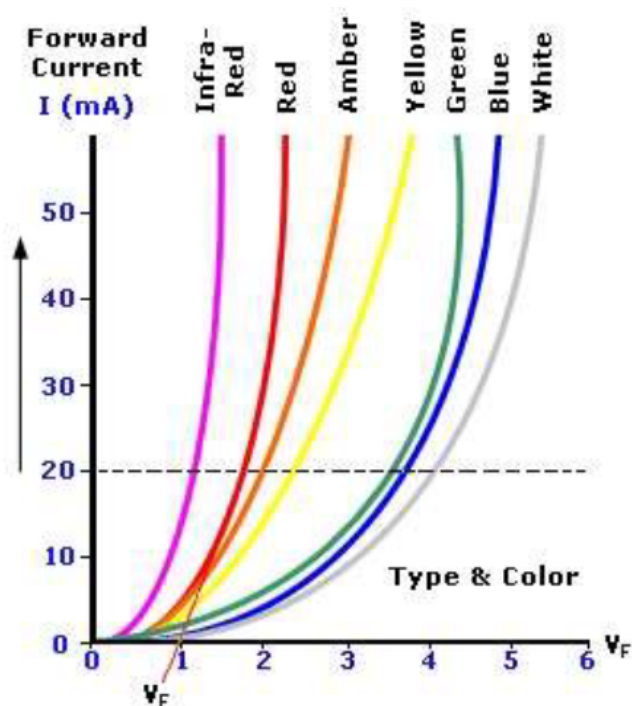


Приложение 2

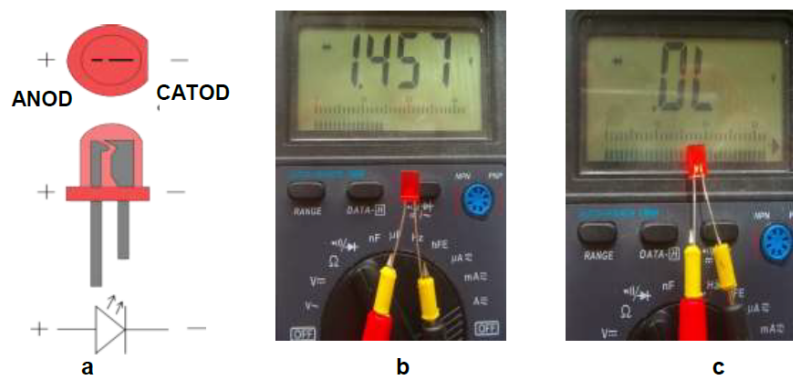


Приложение 3

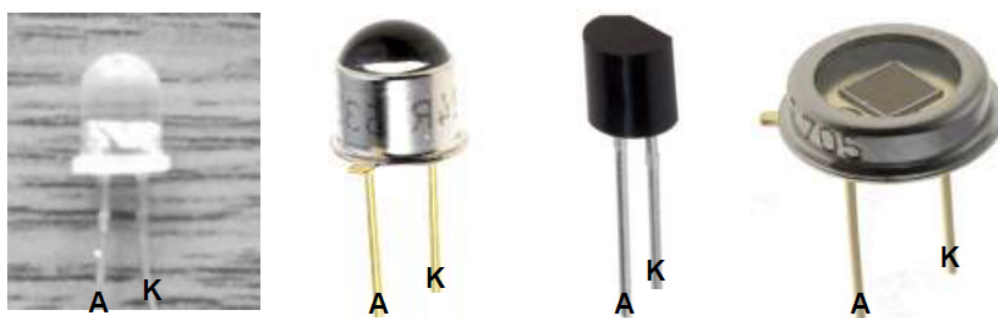
Цвет светодиода	ПРЯМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ		ПРЯМОЙ ТОК	
	Типичное	Максимальн	Типичное	Максимальн
Красный	1,6 В	2 В	10 мА	20 мА
Зеленый	2,2 В	3 В	10 мА	20 мА
Желтый	2,2 В	3 В	10 мА	20 мА
Синий	3,8 В	4,5 В	20 мА	20 мА



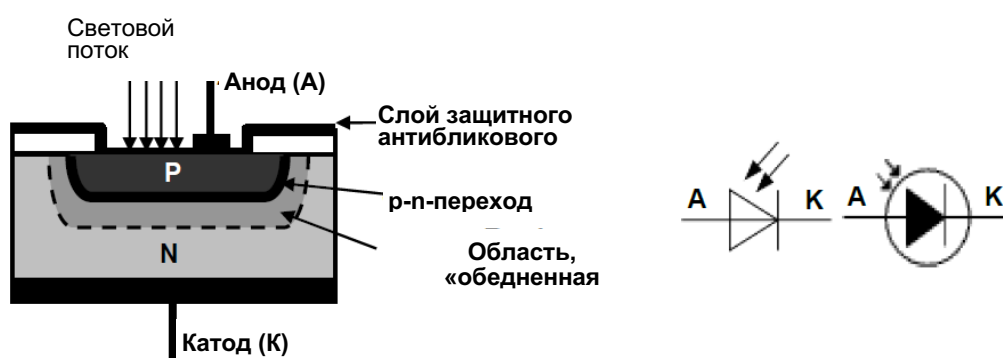
Приложение 4



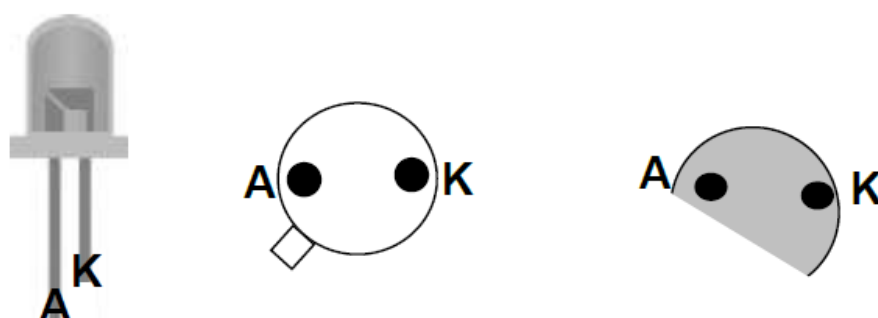
Приложение 5



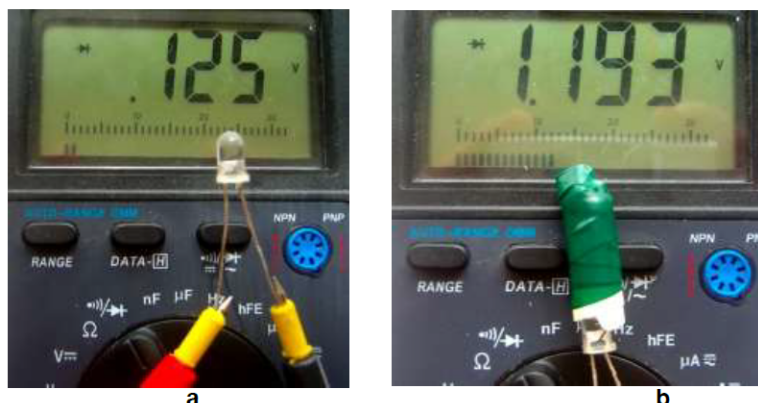
Приложение 6



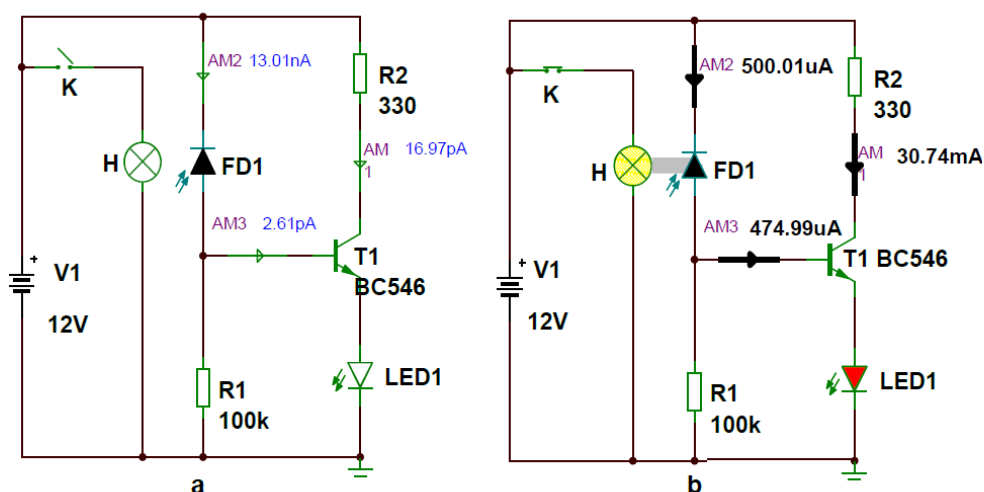
Приложение 7



Приложение 8



Приложение 9



Приложение 10

Цель работы: Повышение вольт-амперной характеристики фотодиода в фотодиодном режиме, определение основных параметров.

Теоретические понятия:

Фотоэффектом называется влияние света на электрические свойства материала. Фотоэффект может быть двух типов: внутренний и внешний. В свою очередь, внутренний фотоэффект также бывает двух типов: фоторезистивный эффект – изменение удельного сопротивления полупроводника, обусловленное исключительно действием оптического излучения; фотогальванический эффект – возникновение разности потенциалов на р-п-переходе под воздействием света.

Внутренний фотоэффект лежит в основе работы полупроводниковых фотоэлектронных приборов: фоторезисторов, фотодиодов, фототранзисторов, фототириستоров.

Фотодиод – это оптоэлектронное устройство, состоящее из р-п-перехода или обратно смещенного контакта металл-полупроводник, переходная область которого возбуждается световым потоком. Структура и графическое обозначение фотодиода показаны на рисунке 1.

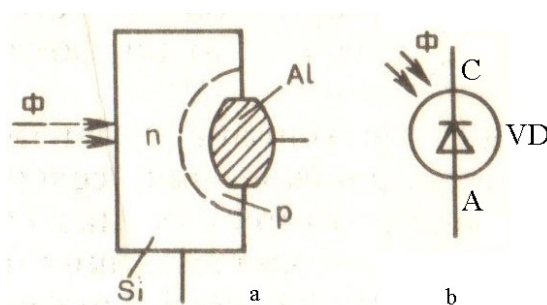


Рисунок 1 – Структура и графическое обозначение фотодиода

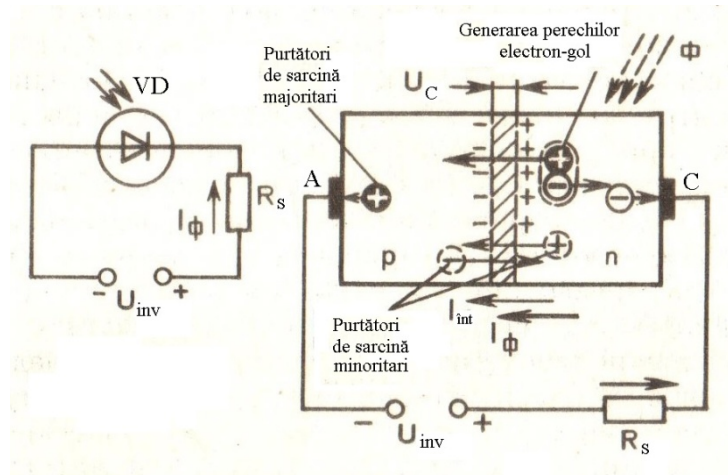


Рисунок 2 – Функционирование фотодиода в фотодиодном режиме.

Когда $\Phi = 0$, $U = 0$ на p-n-переходе фотодиода образуется контактный потенциальный барьер.

Когда $\Phi = 0$, $U = U_{inv}$ через фотодиод протекает обратный ток p-n-перехода, очень низкой силы, называемый темновым током (I_{int}).

Когда $\Phi \neq 0$, $U = U_{inv}$ в области n, на которую направлен поток света, происходит генерация пар электрон-дырка.

В фотодиодном режиме под действием светового потока увеличивается обратный ток через p-n-переход, а обратное сопротивление фотодиода уменьшается.

Вольт-амперная характеристика фотодиода представляет собой зависимость фототока от приложенного обратного напряжения, при постоянном световом потоке, и показана на рисунке 3.

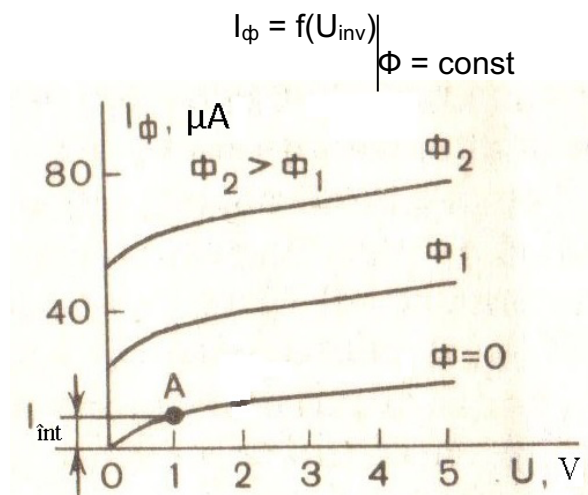


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика фотодиода.

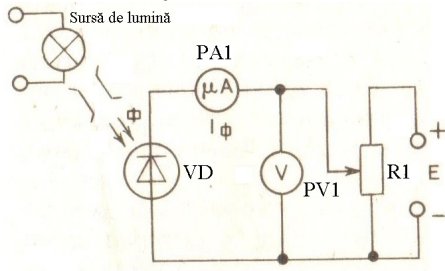
Основные параметры фотодиода:

- 1) Чувствительность фотодиода $S: S = \frac{I_\Phi}{\Phi}; mA/lm$
- 2) Темновой ток I_{int} , мкА;

3) Дифференциальное сопротивление r_{dif} : $r_{dif} = \frac{\Delta U}{\Delta I_{int}}$; Ом.

Ход работы:

- 1) Соберите схему получения вольт-амперной характеристики (ВАХ) фотодиода в соответствии со схемой:



Необходимое оборудование: R1 = 4,7
кОм (переменное);
VD1-ФДК9;
PA1, PV1 –
- универсальные измерительные
приборы типа GDM-8245.

Рисунок 3 – Схема получения вольт-амперной характеристики фотодиода