

## Светодиод и Фотодиод

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

LED построен на основе полупроводниковой структуры p-n 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 – AlGaNp (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 (С) (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 p-n-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, образую барьер, который больше не позволяет электронам со стороны N рекомбинировать

с дырками со стороны P.

При прямом смещении p-n-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 p-n-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 ( $\lambda$ ) 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 n 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 п, 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.

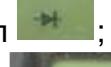
#### Идентификация электродов и проверка фотодиода

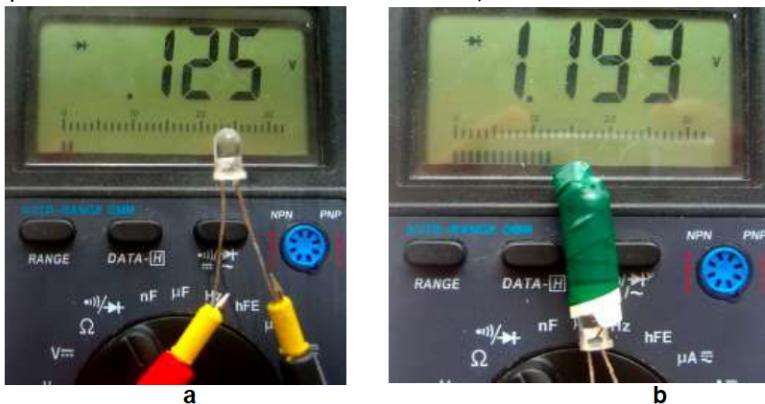
В фотодиодах более **длинный** электрод является **Анодом (+)**, а более **короткий – Катодом (-)**.

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 ;



- подключить щупы мультиметра к электродам фотодиода в направлении, в котором мультиметр показывает напряжение (а). 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 (б);
- 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 **K разомкнут**, лампа **H выключена**, и фотодиод **FD1** заблокирован, поэтому через цепь базы транзистора **T1** ток не протекает. В этой ситуации транзистор **заблокирован**, а светодиод **LED1 выключен**.

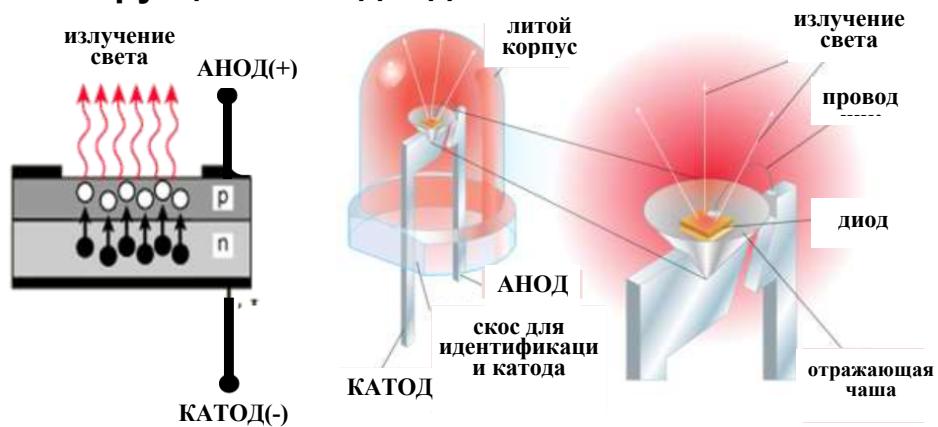
В схеме **Приложения 9 б**, выключатель **K замкнут**, лампа **H светится**, а фотодиод **FD1** является проводящим, поэтому через цепь базы транзистора **T1** протекает ток. В этой ситуации транзистор **проводит**, а светодиод **LED1 светится**.

#### **ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОДИОДОВ:**

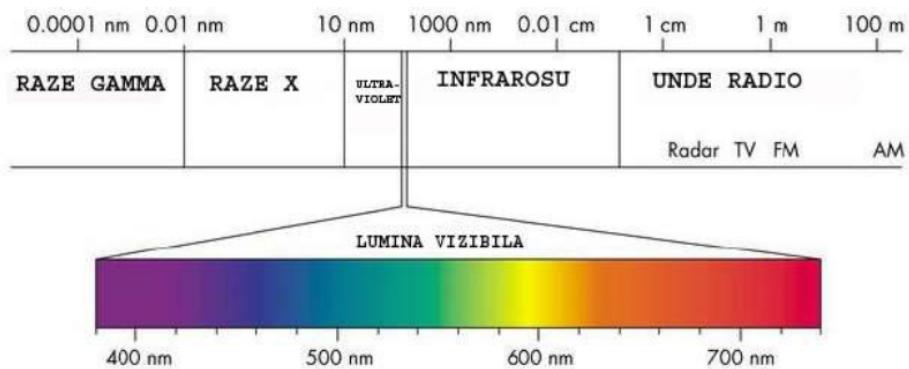
- Обратное напряжение (обратное напряжение) –  $[V_R]$ ;
- Общая рассеиваемая мощность (Total power dissipation) –  $[P_{tot}]$ ;
- Прямой ток (Forward current) –  $[I_F]$ ;
- Темновой ток (Dark current) –  $[I_R]$ ;
- Световой ток или ток короткого замыкания (Short-circuit current) -  $[I_{SC}]$ .

#### **Приложение 1**

##### **Конструкция светодиода**

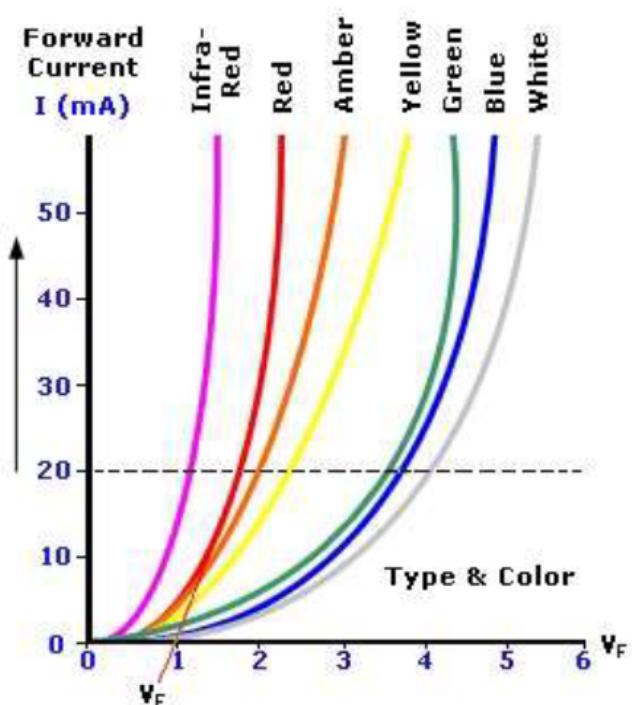


## Приложение 2

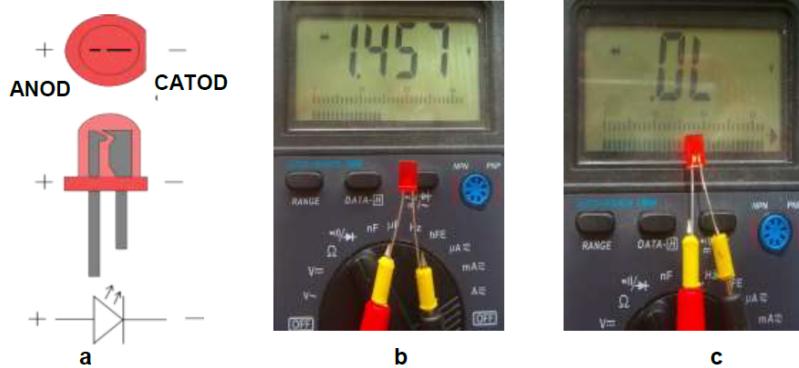


## Приложение 3

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



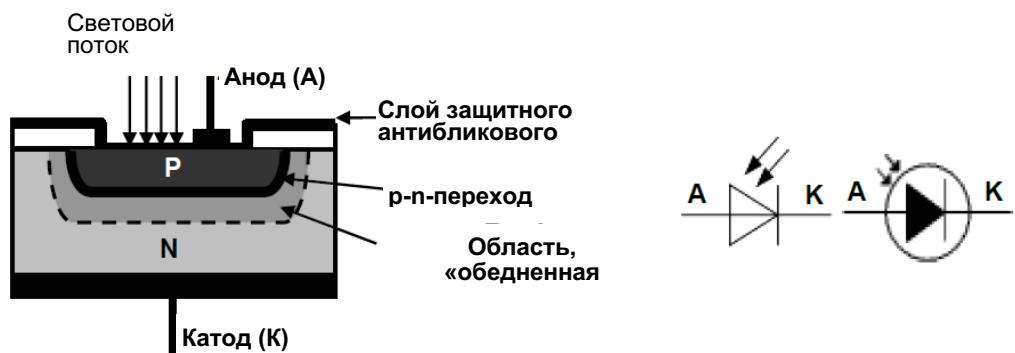
## Приложение 4



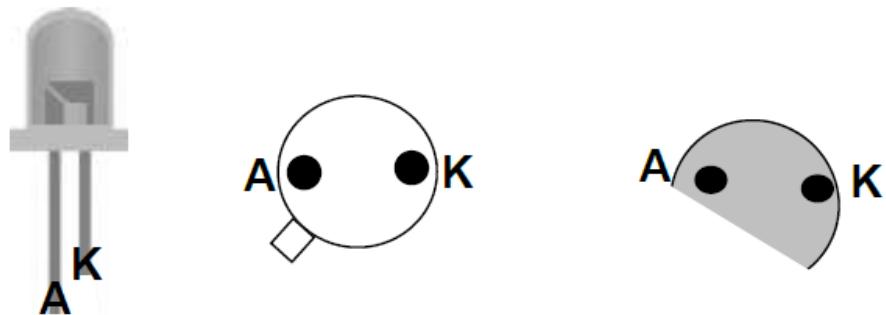
## Приложение 5



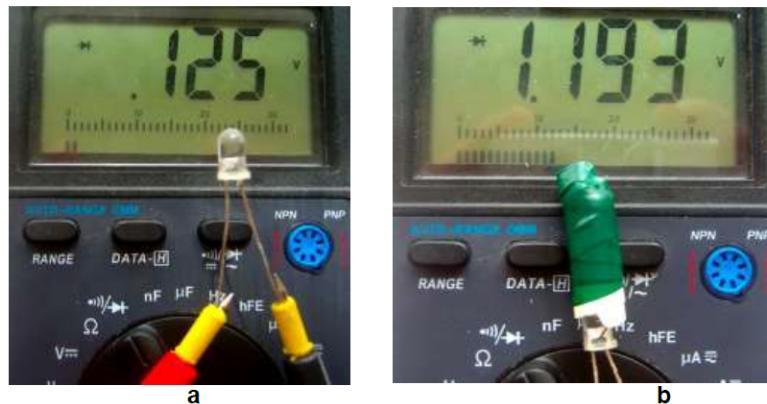
## Приложение 6



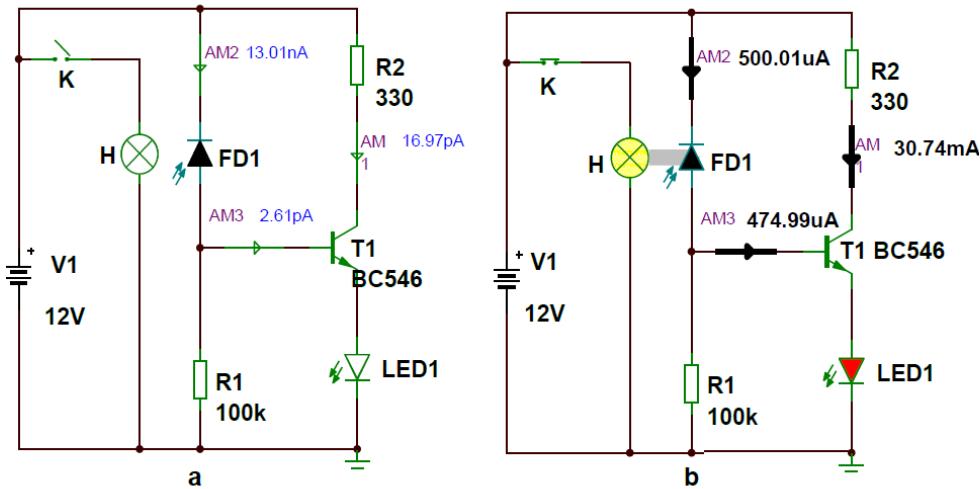
## Приложение 7



## 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, фототиристоров.

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.

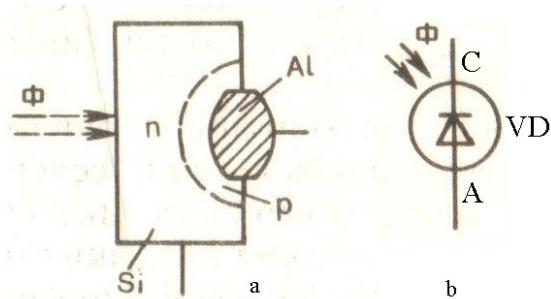


Рисунок 1 – Структура и графическое обозначение фотодиода

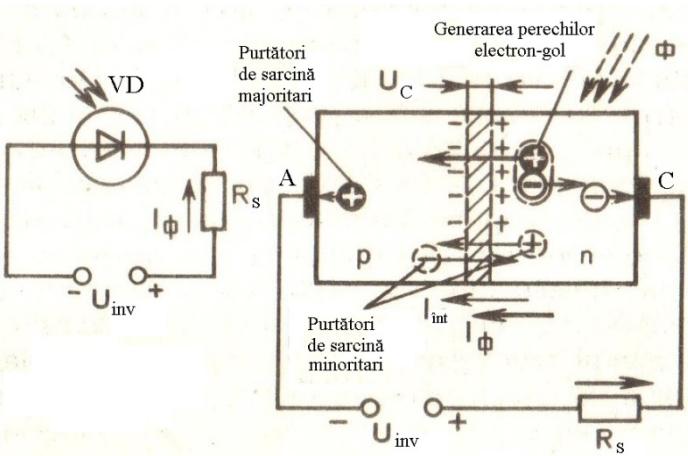


Рисунок 2 – Функционирование фотодиода в фотодиодном режиме.

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

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

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

В фотодиодном режиме под действием светового потока увеличивается обратный ток через р-п-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.

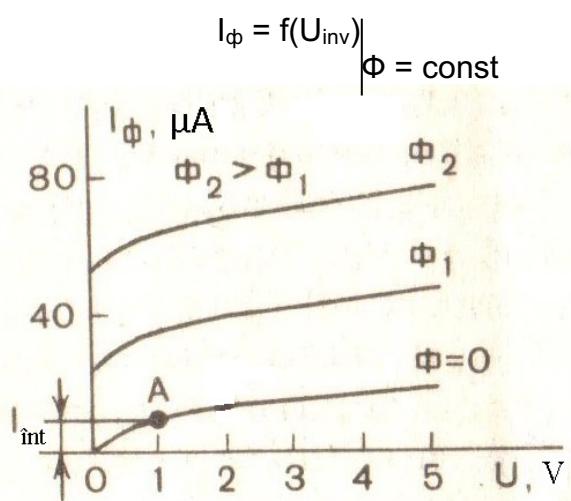


Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика фотодиода.

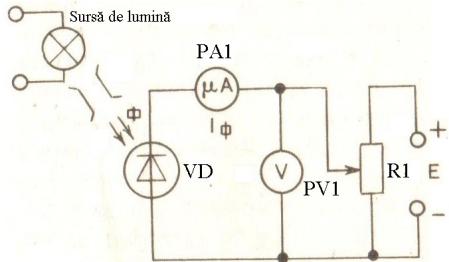
Основные параметры фотодиода:

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

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