

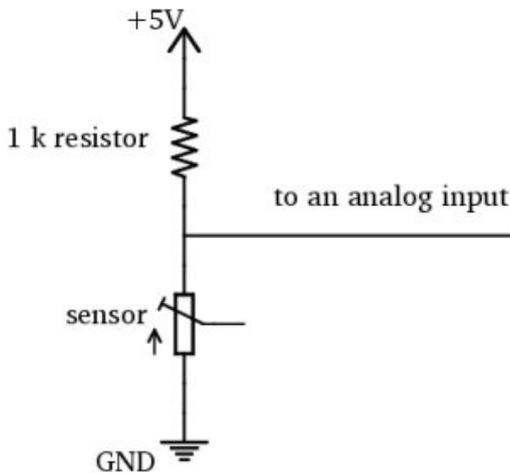
## Лабораторная работа № 10

Тема: Ардуино + датчик освещенности (фоторезистор)

При выполнении предыдущей работы вы научились снимать напряжение с потенциометра. В данной работе суть в плане технологии та же. Физические основы работы датчиков освещенности и их разновидности [описаны в приложении](#).

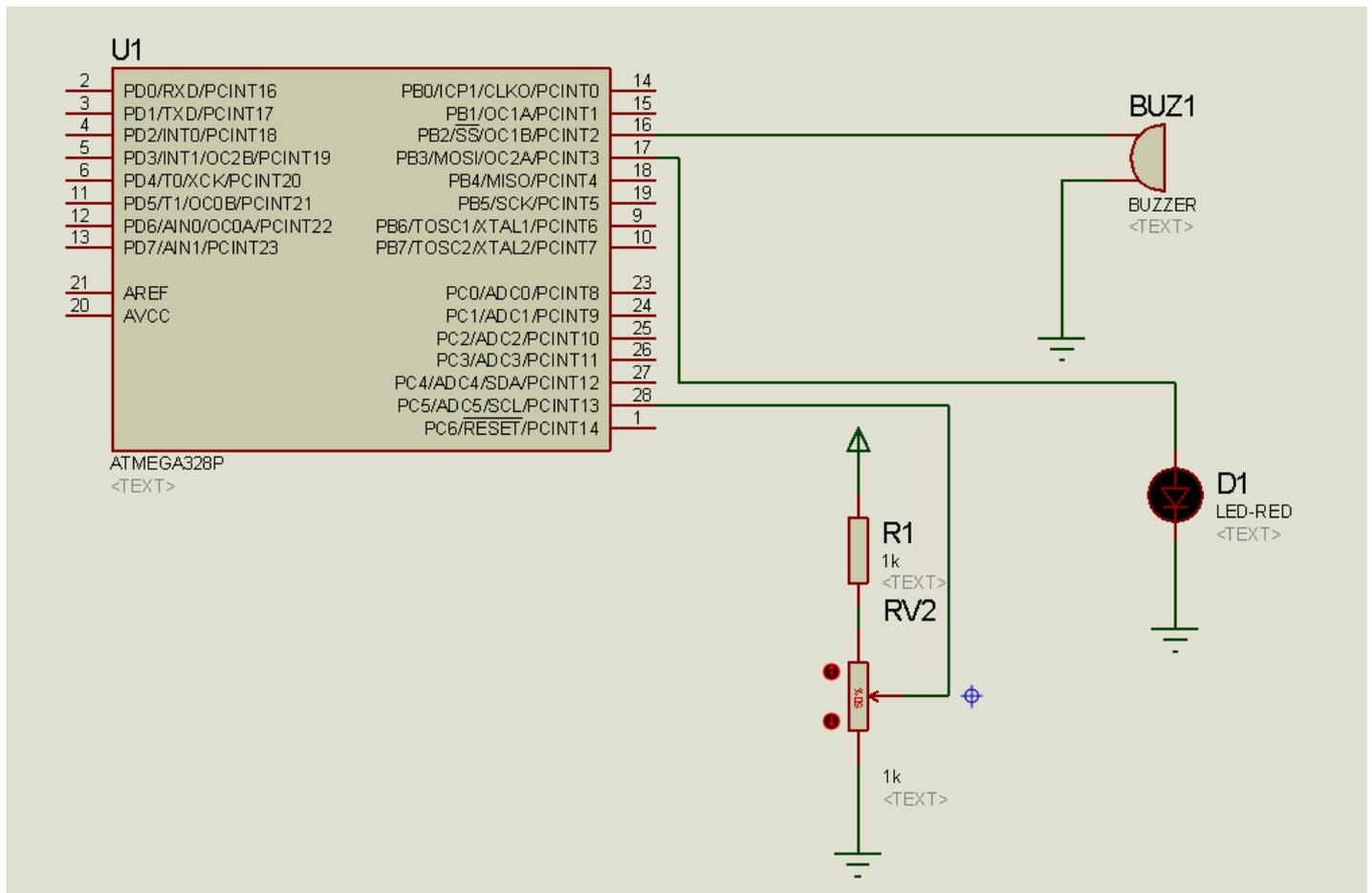
Характеристики, спецификация и область применения фоторезистора ADC105 также [описаны в приложении](#).

Общая схема подключения фоторезистора:

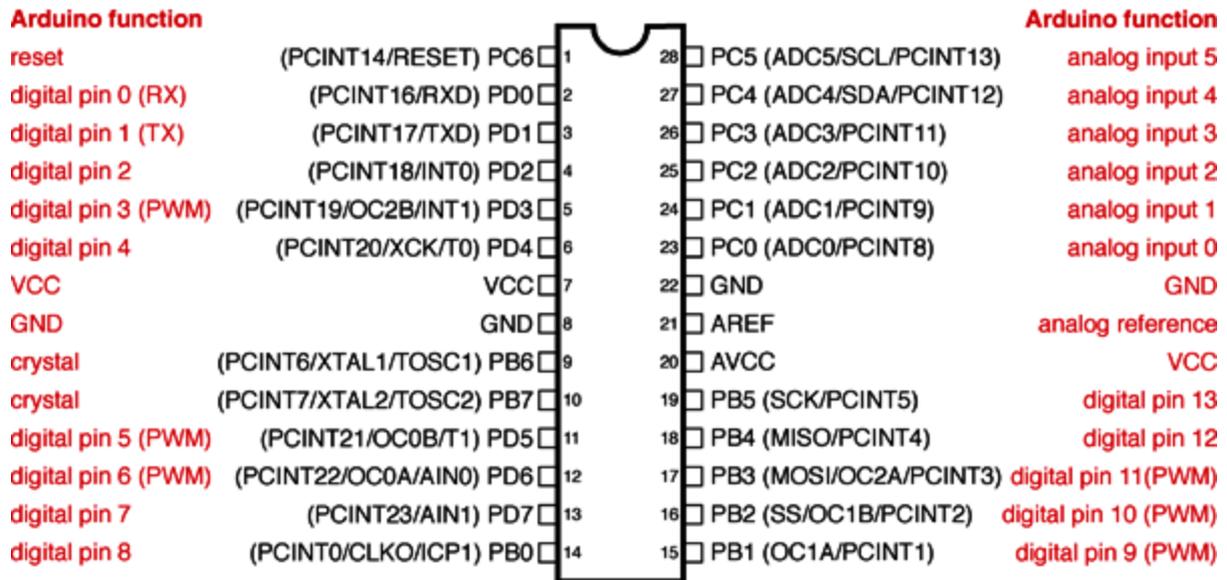


### Ход работы

Сперва создайте схему в Proteus.Isis. В Proteus нет Arduino, поэтому выбираем его «сердце» – МК ATmega328P (в схеме вместо фоторезистора используется потенциометр)

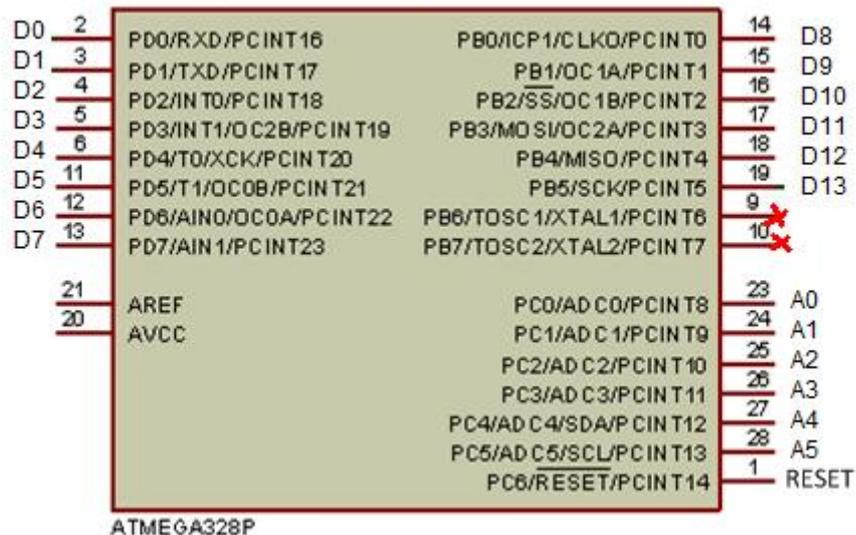


## Соответствие пинов Ардуино портам ATmega328:



Порт D Ардуино – это 8 пинов с 0-го по 7-й, порт B – 6 пинов с 8-го по 13-й.

Соответствие выводов МК ATmega328P в Proteus и Arduino Uno



Но где же взять HEX-прошивку для эмуляции работы МК в качестве ядра Ардуино?

### Создание управляющей программы

В среде программирования Arduino создайте такой **скетч 1**:

```
int ledPin = 12;
int LDR = 5;    // пин к которому подключен датчик
int val = 0;    // переменная для значения с датчика
const byte buzzPin = 10;

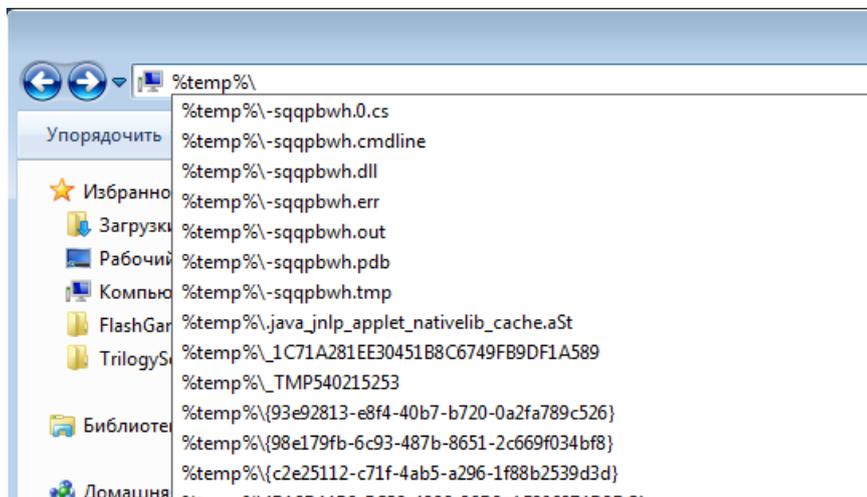
void setup() {
  pinMode(LDR, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzPin,OUTPUT); //устанавливаем 10 порт для зуммера
}
```

```

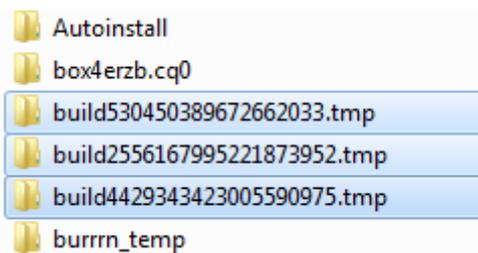
void loop() {
  val = analogRead(LDR); // считываем значение
  Serial.println(val); // выводим его в терминал
  tone(buzzPin, val);
  delay(100);
}

```

Скомпилируйте его. Далее, открываем проводник и пишем там %temp%\ и нажимаем Enter:



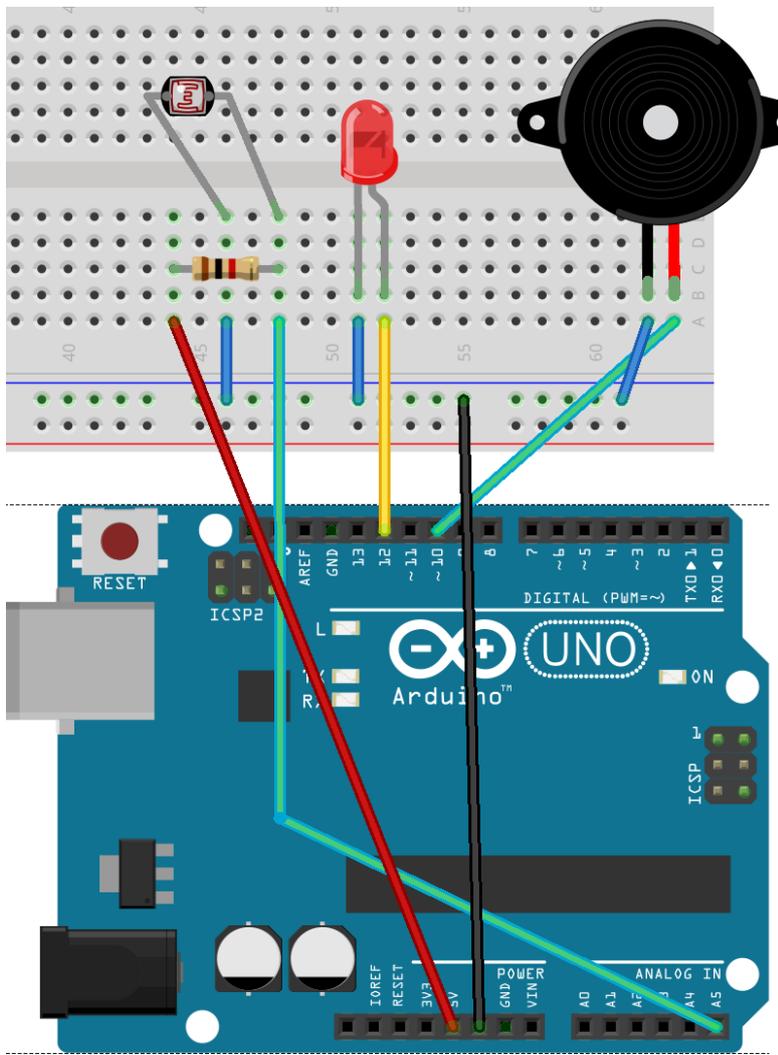
Находим там папки с именами buildXXXXXXXXXXXXXXXXX.tmp:



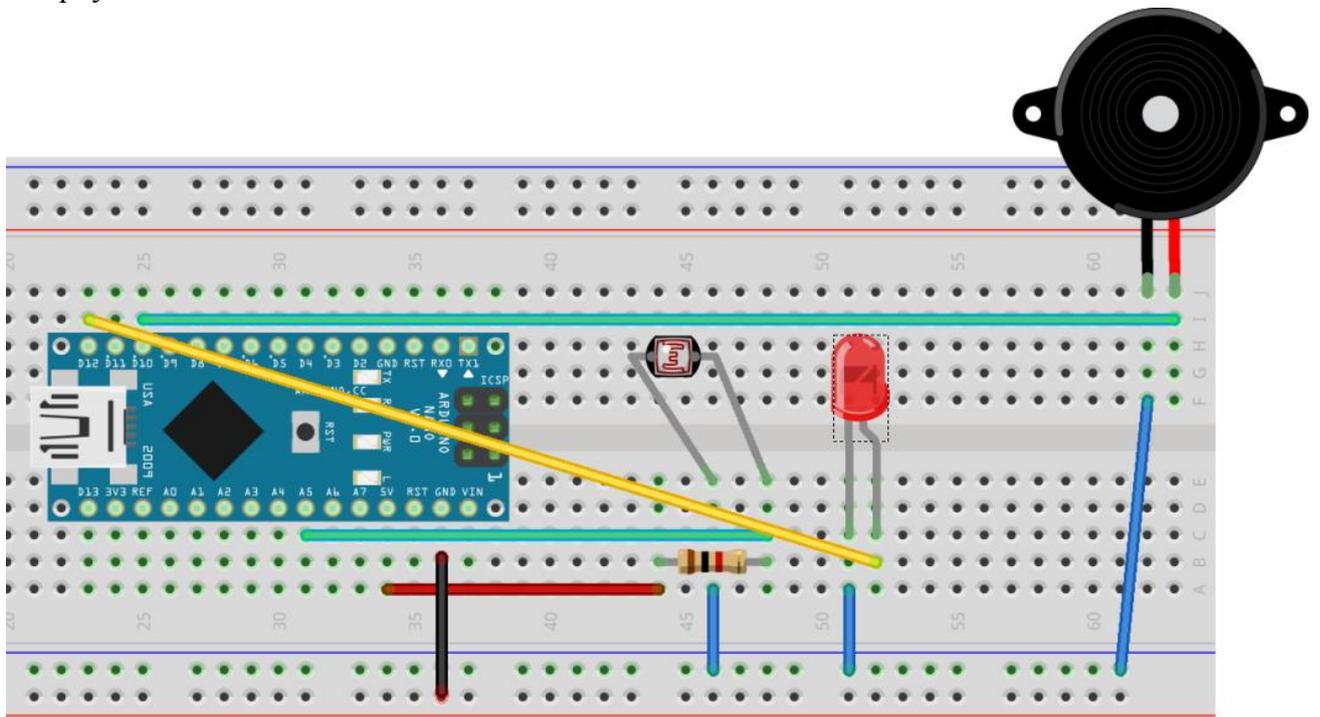
В каждой из этих папок будет куча файлов, нас интересует файл Name.cpp.hex - это и есть наш скомпилированный [Name]-файл прошивки, который можно заливать на микросхему или же «скормить» Протеусу.

**Примечание:** Когда вы производите изменения с исходным текстом скетча, то папка buildXXXXXXXXX.tmp очищается автоматически, и вам надо заново нажать Проверить, чтобы в ней появились файлы.

На макетной плате схема выглядит примерно так:



С Ардуино Нано:



Теперь добавьте ещё «пару» Фоторезистор–бuzzer для создания «стереозвучания по двум каналам»

## Скетч 2 – Игра на двух фоторезисторах или «Терминвокс»

```
int ledPin = 13;
int LDR = 5;    // пин к которому подключен датчик
int val = 0;    // переменная для значения с датчика
int LDR2 = 0;   // пин к которому подключен второй датчик
int val2 = 0;   // переменная для значения со второго датчика
const byte buzzPin = 10;
const byte buzzPin2 = 12; // пин для подключения второго buzzer'a

void setup() {
  pinMode(LDR, INPUT);
  pinMode(LDR2, INPUT); // установка аналоговых входов как входов, на самом деле необязательна
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzPin, OUTPUT); //устанавливаем порты для зуммера как выходы
  pinMode(buzzPin2, OUTPUT);
}

void loop() {
  val = analogRead(LDR); //считываем значение
  Serial.print(val); //выводим его в терминал
  Serial.print(", ");
  val2 = analogRead(LDR2);
  Serial.println(val2); //выводим его в терминал
  tone(buzzPin, val);
  tone(buzzPin2, val2);
  delay(100);
}
```

Теперь пусть яркость свечения светодиода зависит от освещённости в помещении. Также добавим возможность ввода «на лету» в терминал порта некоего коэффициента для установки начальной яркости (усовершенствуйте предложенный алгоритм самостоятельно):

## Скетч 3 – регулируемая система освещения/воспроизведения стереозвука

```
const byte ledPin = 9; // цифровой пин для подачи ШИМ напряжения на LED (он будет гореть тусклее/ярче)
```

```

const byte LDR = 5;    // пин к которому подключен датчик
int val = 0;    // переменная для значения с датчика
int ogr;
const byte LDR2 = 0;    // пин к которому подключен датчик
int val2 = 0;    // переменная для значения с датчика
const byte buzzPin = 10;
const byte buzzPin2 = 12;
int max=0; // ограничение диапазона

void setup() {
  pinMode(LDR, INPUT);
  pinMode(LDR2, INPUT);
  // pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(buzzPin,OUTPUT); //устанавливаем 10 порт для зуммера
  pinMode(buzzPin2,OUTPUT);
}

void loop() {
  if (Serial.available() > 0) { //если есть доступные данные
    max = Serial.read();    // считываем байт
    if ((max>47)&&(max<58)) {    // по коду символа убеждаемся, что введена цифра
      max = max-48;    // получаем саму цифру из её ASCII-кода
      ogr=max; // ограничение яркости
      Serial.print("max = ");
      Serial.println(max, DEC); // выводим цифру на монитор порта
    }
  }

  val = analogRead(LDR);//считываем значение
  analogWrite(ledPin, val/4-ogr*20);
  Serial.print(val);//выводим его в терминал
  Serial.print(", ");
  Serial.print(ogr);
  Serial.print(", ");
  val2 = analogRead(LDR2);
  Serial.println(val2);//выводим его в терминал
  tone(buzzPin, val);
  tone(buzzPin2, val2);
  delay(100);
}

```

## Обзор датчиков освещенности

В настоящее время промышленность выпускает различные виды датчиков освещенности: фоторезисторы, фототранзисторы, фотодиоды. Фоточувствительные элементы обладают следующими характеристиками:

Чувствительность фотоэлемента ( $S$ ) — отношение изменения электрического параметра датчика, вызванного падающим на фотоприемник излучением, к количественной характеристике этого излучения.

Монохроматическая чувствительность определяется отношением изменения электрического параметра при облучении светом с определенной длиной волны. У разных датчиков наибольшая чувствительность проявляется в различных спектрах. Лучше всего для поставленной задачи подходят датчики с спектральной чувствительностью, наиболее приближенной к чувствительности человеческого глаза (длины волн 380-780 нм, максимальная чувствительность — 555 нм). Если, например, датчик проявляет наибольшую чувствительность в красном спектре, то для его корректной работы необходимо применение специального сине-зеленого фильтра.

Максимум спектральной характеристики ( $\lambda_{\text{макс}}$ ) — длина волны, соответствующая максимуму спектральной характеристики прибора.

Коротковолновая граница спектральной чувствительности ( $\lambda'$ ) — наименьшая длина волны монохроматического излучения, при которой монохроматическая чувствительность фотоприемника равна 0,1 ее максимального значения.

Аналогично определяется длинноволновая граница спектральной чувствительности ( $\lambda''$ ).

Помимо чувствительности, при выборе датчика освещенности следует обращать внимание на линейность зависимости изменения электрического параметра, вызванного падающим на фотоприемник излучением, к величине этого излучения. Чем более линейна данная зависимость, тем проще схема в реализации.

Также важными факторами при выборе датчика могут являться стоимость замены, калибровка, сложность эксплуатации. Прежде чем делать обзор датчиков, представленных на данный момент на рынке, необходимо провести обзор основных видов датчиков освещенности и разобраться в их характеристиках и параметрах.

### Фоторезисторы

Принцип действия фоторезисторов основан на внутреннем фотоэффекте. Излучение, падающее на полупроводник, частично поглощается в его объеме, взаимодействуя с атомами кристаллической решетки или примесей. Поглощение в фоторезисторе фотонов сопровождается увеличением проводимости, приращение которой называют фотопроводимостью. Если к фоторезистору подключен источник напряжения, то в соответствии с изменением его проводимости при освещении через его контакты из внешней цепи будет протекать ток, значение которого превосходит число изначально образованных фотоносителей. Происходит усиление фототока [33].

Ниже рассмотрены основные параметры фоторезисторов, которые играют главную роль при выборе датчика освещенности для разрабатываемого устройства:

Рабочее напряжение ( $U_p$ ) — постоянное напряжение, приложенное к фотоприемнику, при котором обеспечиваются номинальные значения параметров при длительной эксплуатации. Так как разрабатываемое устройство должно быть автономным и питаться, соответственно от гальванических источников, рабочее напряжение датчика должно быть в пределах 1,5 В [32].

Интегральная чувствительность ( $S_{\text{инт}}$ ) — чувствительность фотоэлемента к немонохроматическому излучению заданного спектрального состава. Величина, определяемая как отношение приращения фототока к вызвавшему его приращению светового потока при постоянном рабочем напряжении [32].

Собственная постоянная времени ( $\tau$ ) — интервал времени, по истечении которого спадающее по экспоненте напряжение фотосигнала после прекращения воздействия излучения, уменьшается в  $e$

раз. Также эта величина равна интервалу времени, за который напряжение фотосигнала достигает доли  $\left(1 - \frac{1}{e}\right)$  от максимального значения после начала воздействия излучения. Постоянная времени — важная величина, т. к. при разработке устройства также необходимо учитывать коэффициент пульсации падающего на фотоземент светового потока [32].

Абсолютная спектральная характеристика чувствительности  $S_{абс}(\lambda)$  — зависимость монохроматической чувствительности фотоприемника от длины волны регистрируемого потока излучения. Абсолютная спектральная характеристика определяет относительную характеристику, зависимость между которыми выглядит как [32]

$$S(\lambda) = \frac{S_{абс}(\lambda)}{S_{абсмакс}}$$

В зависимости от материала, фоторезисторы обладают различной чувствительностью.

Фоторезисторы на основе CdS обладают чувствительностью в диапазоне 400...900 нм с максимумом на длинах волн 500...600 нм. У фоторезисторов на основе CdSe спектральная характеристика чувствительности помимо видимой части спектра, занимает ближайшую инфракрасную. Коротковолновая граница — 500 нм, длинноволновая — 1200 нм, максимум — 700 нм. Фоторезисторы из других материалов спектральная характеристика чувствительности лежит в инфракрасной зоне, и применяются для контроля температур горячих объектов, излучающих свет в инфракрасном диапазоне [33].

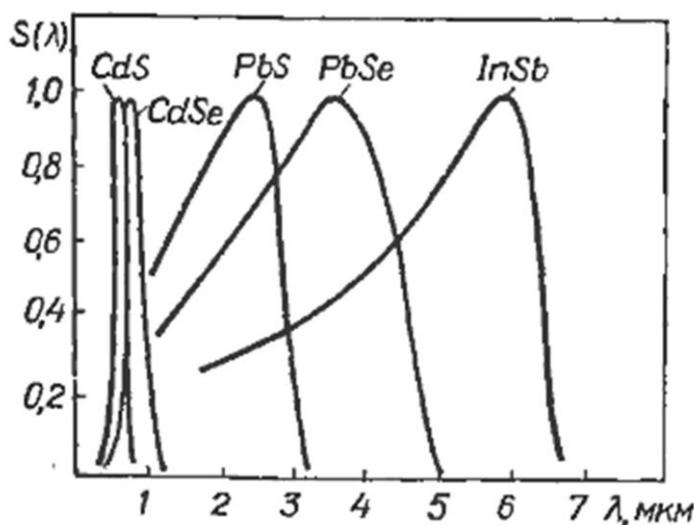


Рисунок 1: Относительные спектральные характеристики чувствительности фоторезисторов [33]

Энергетическая (люкс-амперная) характеристика (зависимость фототока от падающего излучения) определяется формулой

$$I_{\Phi} = CUE^{\alpha},$$

где  $C$  — постоянная, определяемая свойствами материала, а  $\alpha$  — коэффициент нелинейности, значение которого для большинства фоторезисторов находится в интервале 0,5...1. В целом характеристики нелинейны, но иногда содержат линейный участок в пределах одной декады освещенности. Наклон характеристик и, следовательно, интегральная чувствительность максимальны в области слабых освещенностей. Форма кривых слабо меняется с ростом прикладываемого к фоторезисторам напряжения [32].

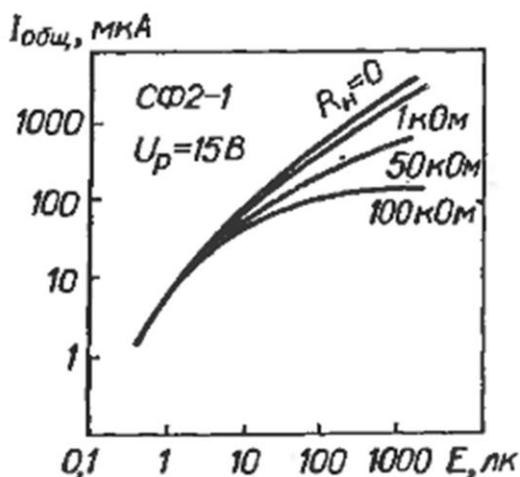


Рисунок 2: Энергетические характеристики фоторезисторов [32]

превысить допустимой мощности рассеивания [32].

Частотная характеристика чувствительности фотоприемника  $S(f)$  является зависимостью чувствительности фотоприемника от частоты модуляции светового потока. С повышением частоты модуляции светового потока чувствительность фотоэлемента падает. Чувствительность фоторезисторов на основе CdS при частоте модуляции 1000 Гц составляет 30% от максимальной. Сернисто-свинцовые фоторезисторы обладают такой чувствительностью при частоте модуляции светового потока в 10 кГц. Еще шире частотная характеристика чувствительности у селенисто-свинцовых фотоприемников [32].

Инерционность фоторезисторов зависит от нескольких факторов. Влияние этих факторов различно на собственные временные характеристики фоторезисторов по нарастанию и по спаду. При  $t=20^{\circ}\text{C}$ , освещенности в 200 лк и короткозамкнутом включении фоторезистора собственная постоянная времени по нарастанию больше аналогичной величины по спаду. При увеличении освещенности постоянные времени уменьшаются, причем с большей скоростью изменяется время нарастания. В среднем величины постоянных времени меняются на порядок в интервале декад освещенности [32].

Зависимость временной постоянной от проводимости фоторезистора  $G_{\phi}$  определяется выражением

$$\tau = Bg_{\phi}^{-m},$$

где  $B$  и  $m$  — постоянные, значения которых зависят от типа фоторезистора.

При увеличении сопротивления нагрузки фоторезисторов с некоторого значения заметен значительный рост постоянной времени по спаду фототока и уменьшение постоянной времени по нарастанию. Для фоторезисторов на основе CdS и CdSe эти изменения проявляются начиная с нагрузок в 5...10 кОм [32].

Пороговая чувствительность фоторезисторов, т. е. минимальный лучистый поток определяется уровнем собственных шумов. Источниками шумов являются фоточувствительный элемент и площадь контакта с электродами. Уровень шумов прямо пропорционален прикладываемому напряжению, за исключением участка, приближенному к предельному насыщению. Спектр шума имеет распределение, определяемое как  $1/f$ . На частотах выше 400 Гц уровень шума резисторов CdS и CdSe обратно пропорционален квадрату частоты [32].

Основные достоинства, которые определяют сферу применения фоторезисторов таковы: наибольшая среди фотоприемников чувствительность, линейная вольт-амперная характеристика, а также возможность передачи двухполярных сигналов.

Главный недостаток фоторезисторов — инерционность. Данный параметр является решающим для разрабатываемого устройства. т. к. в ТЗ указано, что разрабатываемый прибор должен измерять не только освещенность, но и пульсацию светового потока, необходимо обращать особое внимание на

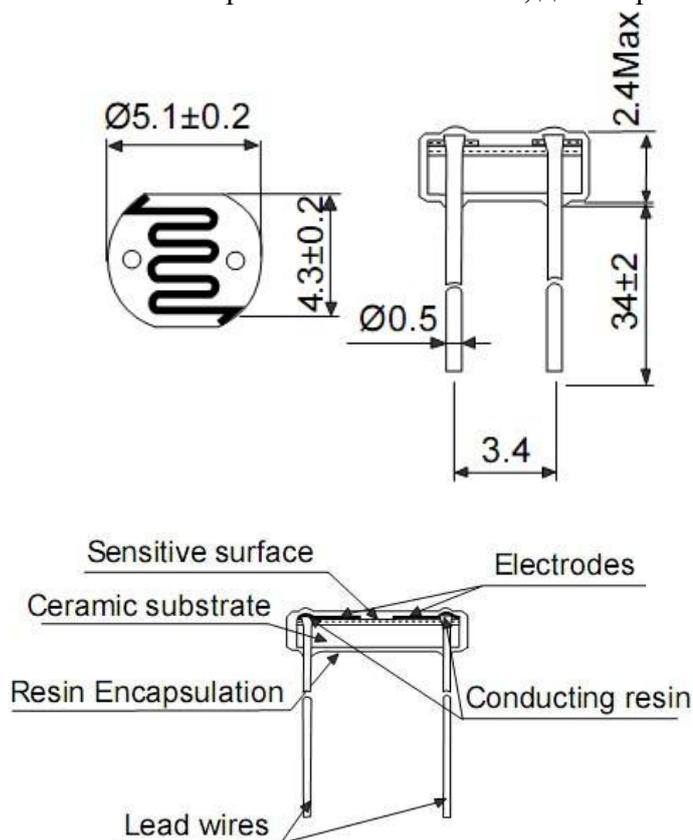
Энергетические характеристики снимаются для короткозамкнутого включения фоторезистора. При увеличении сопротивления нагрузки до 50 кОм и больше происходит перераспределение напряжения между фотоприемником и нагрузкой. Вследствие этого появляется участок насыщения люкс-амперной характеристики в области сильных освещенностей.

Вольт-амперные характеристики у большинства фоторезисторов линейны до предельно допустимых напряжений. Нарушение линейной зависимости может происходить при малых напряжениях (значительно меньше рабочих), либо при больших напряжениях, особенно в случае сильной засветки. Рабочее напряжение фоторезистора устанавливают ниже пробойного значения с учетом уровня освещенности окружающей среды, чтобы не

инерционность фоточувствительных элементов. В среднем у выпускаемых промышленностью фоторезисторов заявленные собственные временные постоянные имеют значения в интервале 0,02...0,08 с. Это значит, что с их помощью можно корректно произвести измерение освещенности при частоте модуляции в пределах 12...50 Гц, в то время, как коэффициент пульсации освещенности на рабочих поверхностях при питании источников света током частотой менее 300 Гц не должен превышать значений, указанных в СНиП 23-05-95. Коэффициент пульсации не нормируется при частоте питания 300 Гц и более.

### Фоторезистор ADC105

Фотоэлектрический аналоговый, диаметр 5 мм. Герметичный корпус, малое время отклика.



#### Характеристики фоторезистора:

- герметичной корпус
- быстрое время отклика
- хорошие характеристики, широкий диапазон измерений.

#### Применение:

- детектор фотовспышки
- автовспышка для камеры
- контроль на производстве
- фотопереключатель
- электронные игрушки

#### Спецификация:

$V_{max}(VDC)$ : 150

$P_{max}(mW)$ : 100

окружающая температура  $^{\circ}C$ : -30 - +70

спектральный максимум (NM): 540

фотосопротивление ( $10Lx$ )( $K\Omega$ ): 16-50

сопротивление в темноте ( $M\Omega$ ) мин: 2.0

время отклика (мс): увеличение 20, понижение 30