

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра твердотельной электроники

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕНСОРИКИ: ДАТЧИКИ НА ARDUINO

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных и практических работ
для студентов направления
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
всех форм обучения

Воронеж 2024

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

Составитель канд. техн. наук Е. Ю. Плотникова

Физические основы сенсорики: датчики на Arduino: методические указания к выполнению лабораторных и практических работ для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Е. Ю. Плотникова. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2024. – 55 с.

В методических указаниях рассматривается методика проведения исследований на различных видах сенсоров. Приводится порядок анализа каждого типа датчика на практической работе и рассматривается реализация комплексного проекта на лабораторной работе. В методических указаниях приведены основные используемые в проектах по сенсорики полупроводниковые датчики.

Предназначены для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» всех профилей и форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ФОС_ДнА.pdf.

Ил. 53. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

***Рецензент** – Т. В. Свистова, канд. техн. наук, доц. кафедры
твердотельной электроники ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Структура курса «Физические основы сенсорики»

Курс из 8 лекций рассматривает основные классы полупроводниковых нано- и микроэлектронных датчиков, наиболее распространенных в современной экономике, на производствах и в быту. Рассматриваются основные физические законы и принципы работы датчиков, некоторые из схем реализации, характеристики конкретных приборов или их классов. Основные разделы, изучаемые в курсе:

1 Введение в курс ФОС. Методы сбора данных. Полупроводниковые датчики.

2 Механические микросенсоры.

3 Датчики на ПАВ.

4 Химические микросенсоры.

5 Оптические сенсоры.

6 Датчики температуры.

7 Детекторы ионизирующего излучения.

8 Магнитные датчики.

В список тем могут быть включены еще некоторые классы датчиков.

Алгоритм выполнения практической работы (8 пар)

Группа делится на бригады по 2 человека. Если в группе нечетное число человек, то одна из бригад состоит из 1 человека (за пару исследует 1 датчик, в течение курса – 8 датчиков). На бригаду из 2 человек на 1 пару даются 2 (два) датчика (или других модуля, подключаемых на плату Arduino), суммарно в течение курса бригада из 2 человек исследует 16 датчиков.

Для каждого из датчиков (модулей) бригада **определяет**:

1. Что это за прибор – маркировка, название.

2. Электрическую схему датчика, если прибор смонтирован на плате с управляющей схемой.

3. Схему включения датчика в цепь измерения для проведения исследований.

4. От 2 до 5 аналогов (другая маркировка, другой номинал измеряемого параметра или дополнительные функции, выполняемые аналогичным прибором; другой принцип действия, но тот же измеряемый параметр). Требуется кратко описать отличия аналогов от оригинала.

5. Основные параметры исследуемого датчика.

6. Физические принципы работы исследуемого датчика.

7. Программу для Arduino, с помощью которой датчик будет выполнять свои функции.

8. «Прошивку» Arduino и подключение исследуемого датчика в цепь. Демонстрируется работоспособность собранной схемы, результаты измерения, делается вывод по проведенному исследованию.

Лабораторные работы

Темы направлений разработки проектов

Группа делится на бригады по 2 человека и готовит один отчёт на бригаду. Студентам рекомендуется работать в тех же бригадах, что и на практических занятиях.

Студент или бригада студентов из 2 человек может выбрать тему из предложенного списка (в зависимости от того, какие датчики есть в наличии) или предложить собственное направление разработки. Для тем, предлагаемых студентом (бригадой) требуется обоснование выбора данного набора датчиков.

Металлоискатель с блоком вывода информации

- 1) металлоискатель
- 2) кнопка управления
- 3) экран
- 4) модуль Arduino с USB кабелем для загрузки
- 5) дополнительные элементы схемы

Элемент Пельтье

- 1) элемент Пельтье
- 2) радиатор охлаждения
- 3) кулер
- 4) экран индикации температуры
- 5) модуль Arduino с USB кабелем для загрузки
- 6) дополнительные элементы схемы

Светодиоды

- 1) набор светодиодов 2 типов
- 2) монтажная плата
- 3) провода
- 4) модуль Arduino с USB кабелем для загрузки
- 5) кнопка / кнопки
- 6) дополнительные элементы схемы

- управление светодиодами: по сочетанию кнопок включаются один вид светодиодов, второй вид светодиодов, оба вида светодиодов одновременно.

Газозащитная система

- 1) модуль Arduino с USB кабелем для загрузки
- 2) макетная плата (на которой производится монтаж всех элементов схемы);
- 3) датчик газа MQ-5 (датчик реагирует на сжиженный углеводородный газ, метан и коксовый газ в окружающей среде);
- 4) два светодиода для индикации – желтого и красного цветов;
- 5) датчик движения HC - SR501;
- 6) 2 ограничивающих напряжение на светодиодах резисторов по 110 Ом каждый;
- 7) кулер из системы охлаждения процессора ПК
- 8) дополнительные элементы схемы

Блок управления СЭ

- 1) СЭ
- 2) 2 шаговых двигателя (есть 3)
- 3) фоторезисторы / фотодиоды / фототранзисторы
- 4) макетная плата для распайки
- 5) модуль Arduino с USB кабелем для загрузки
- 6) дополнительные элементы схемы

Центрифуга на HDD

- 1) жесткий диск с частотой вращения 7200 оборотов в минуту
- 2) макетная плата
- 3) модуль Arduino UNO с USB кабелем для загрузки
- 4) ЖК-дисплей 16×2 со встроенным контроллером I²C
- 5) 10 К потенциометр
- 6) 12 V батарея или Блок питания персонального компьютера
- 7) 30 А ESC регулятор скорости
- 8) тумблер (при использовании батареи)
- 9) инфракрасный датчик
- 10) 20 проводов для макетной платы
- 11) дополнительные элементы схемы

Можно разрабатывать направления:

- мультиметр / тестер для полупроводниковых элементов (резисторы, диоды, конденсаторы, транзисторы);
- элементы системы «умный дом»;
- программируемый запуск шагового двигателя HDD;
- измерительная схема с элементом Пельтье и термопарой/термопарами.

Разработка проекта

Для проекта в целом и его отдельных частей необходимо проанализировать существующие разработки на плате Arduino (любой модификации).

Далее идет обоснование (с точки зрения физики, механики и экономики) выбранного проекта.

Далее проводится монтаж всей разрабатываемой структуры на монтажную плату или в корпус.

На последнем этапе схема «прошивается» и отлаживается для дальнейшей демонстрации.

В проекте должно быть использовано **не менее 4 различных датчиков** или элементов управления под Arduino. В схему могут быть включены резисторы / диоды / конденсаторы / светодиоды / другие элементы электрических схем, которые не считаются как датчики.

Лабораторная работа 1. Разработка проекта измерителя выбранной физической величины (на основе одного выбранного датчика) на микросхеме Atmel:

- написание кода программы;

- сборка схемы измерительного блока;
- отладка и проведение измерения.

На первой лабораторной работе студенты выбирают проект, который они хотят разработать, определяются с требуемыми элементами схемы, разрабатывают электрическую схему. Проводятся анализ компонентов, необходимых для будущего проекта и разработка кода для отдельных блоков или «связок» элементов прибора.

Результатом работы является **отчёт** с описанием проекта, списком используемых элементов, алгоритмом управления, планируемым результатом работы устройства.

Лабораторная работа 2. Отладка работы отдельных управляющих элементов и датчиков на платформе Arduino.

На втором занятии бригадами проводится проверка работоспособности отдельных элементов разрабатываемой схемы, анализируются диапазоны их применения и возможные алгоритмы их модификации. На этом этапе к плате Arduino подключаются отдельные модули будущего прибора и проводится тестирование их работоспособности.

Результатом работы является **отчёт** с описанием алгоритмов управления отдельными датчиками и электрическими компонентами, используемыми в проекте, разрабатываемом «глобально» в рамках всего курса лабораторных работ.

Лабораторная работа 3. Сборка отдельных блоков схемы проекта

На третьем занятии бригады собирают отдельные блоки проекта из протестированных ранее датчиков и элементов. Проводится отладка работы модулей в различных режимах и условиях работы.

Результатом работы является **отчёт** с описанием алгоритмов управления модулями, используемыми в проекте, разрабатываемом «глобально» в рамках всего курса лабораторных работ.

Лабораторная работа 4. Реализация комплексного проекта измерителя / управляющего комплекса на платформе Arduino

на последнем занятии происходит отработка методики измерения выбранных физических величин и оптимизация установки измерения. Из блоков собирается окончательный вариант макета прибора; ранее созданный код отдельных блоков оптимизируется под работу в данной конфигурации. Проводится тестирование граничных условий измерения и формируется руководство по эксплуатации установки.

Результатом работы является **отчёт** с описанием алгоритмов управления разработанной установкой, кодами для прошивки Arduino, параметрами и пределами эксплуатации, а также фотографиями, демонстрирующими работу прибора.

На отчете проекта бригада демонстрирует **работающий прибор** и предоставляет **отчёт** по лабораторным работам (на листах А4, со стандартным оформлением лабораторных работ ВГТУ, с описанием хода разработки, кодами и фотографиями), защищающиеся отвечают на вопросы по выбору проекта,

используемым датчикам и схемам, по программированию работы прибора и по проведению измерений.

Если студенты использовали собственные микросхемы, то работоспособный прибор остаётся у бригад (или отдается на кафедру по желанию студентов).

Если использовалось оборудование кафедры, то блок отдается преподавателю.

Отчет сдается преподавателю в **бумажном и электронном** виде.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Датчики являются «глазами», «ушами» и другими органами чувств микроконтроллера (в нашем случае Arduino) или любого другого управляющего устройства. Сенсоры принято разделять на типы по роду сигнала и по назначению.

По роду сигнала датчики делят на:

- аналоговые;
- цифровые.

По назначению датчики бывают для измерения:

- температуры;
- давления;
- влажности;
- кислотности;
- освещенности;
- уровня воды или других веществ;
- вибраций;
- и другие специализированные компоненты.

Если говорить о микроконтроллерах типа Arduino, то при получении информации с датчиков происходит:

- обработка цифрового сигнала,
- измерение напряжения с аналогового выхода модуля.

Некоторые модули для Arduino имеют и цифровой, и аналоговый выход, что унифицирует их использование.

По устройству модули можно разделить на:

- резистивные;
- индуктивные;
- емкостные;
- пьезоэлектрические;
- фотоэлементы

и другие типы.

На современном рынке можно отыскать огромное количество различных видов датчиков. Они отличаются измеряемой величиной, принципом работы, сложностью схемы, надежностью, точностью и так далее. Каждый разработчик использует датчики под свои нужды.

Обычно при покупке датчика к нему не прилагается документация и отсутствуют примеры подключения в схему и использования в проектах. Рассмотрим некоторые датчики из наиболее используемых в любительских разработках более подробно. Если искать конкретный датчик на российских или зарубежных (обычно китайских) площадках, можно ориентироваться на (более-менее) стандартные, устоявшиеся буквенно-цифровые маркировки схем.

Конкретно в наборе «37 в 1» все датчики имеют маркировку, начинающуюся с букв «KY-», после которых записан цифровой код датчика. Этот набор - стандартный и наиболее удобный для начала изучения программирования приборов и устройств различного типа на микросхеме Arduino состоит из 40 элементов и называется «Набор датчиков для Arduino 37 в 1». В него стандартно включены следующие датчики и модули (приведены в порядке номеров в наборе):

- датчик температуры KY-001
- вибровыключатель KY-002
- магнитный датчик KY-003
- кнопка KY-004
- датчик инфракрасного излучения KY-005
- пассивный зуммер KY-006
- лазерный модуль KY-008
- трехцветный светодиод KY-009
- датчик с оптическим прерывателем KY-010
- трехцветный светодиод KY-011
- активный зуммер KY-012
- датчик температуры KY-013
- датчик температуры и влажности KY-015
- трехцветный светодиод KY-016
- датчик наклона KY-017
- фоторезистор KY-018
- реле KY-019
- датчик наклона KY-020
- геркон KY-021
- инфракрасный датчик KY-022
- джойстик KY-023
- датчик магнитного поля KY-024
- датчик магнитного поля KY-025
- датчик пламени KY-026
- модуль световых эффектов «магическая чашка» KY-027
- датчик температуры KY-028
- двухцветный светодиод KY-029
- датчик удара KY-031
- датчик для избегания препятствий KY-032
- датчик магнитного поля KY-033
- семицветный светодиод KY-034
- магнитный датчик KY-035

- датчик металла KY-036
- датчик звука KY-037
- датчика звука KY-038
- датчик сердцебиения KY-039
- датчик угла поворота (энкодер) KY-040

KY-001 Датчик температуры

Датчик температуры собран на цифровом сенсоре DS18B20, напряжение питания которого составляет от 3,0 до 5,5 В. Измеряемая температура -55 до +125 °C. В диапазоне от -10 до +85 °C точность измерения составляет ± 0.5 °C. Время измерения не более 750 мс.

Каждый DS18B20 имеет уникальный номер, что позволяет подключить к одной шине большое количество датчиков.

Подключение (слева направо):

GND

«+» = 5 В

S = сигнал, в коде ниже подключается к 10 выводу Arduino

Пример измерения температуры с помощью датчика KY-001:

```
#include <OneWire.h>
OneWire ds(10); // датчик на 10 выводе
void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
  // для перевода снимаемого с датчика сигнала в °C
  int HighByte, LowByte, TReading, SignBit, Tc_100, Whole, Fract;
  byte i;
  byte present = 0;
  byte data[12];
  byte addr[8];

  // ищем устройства, подключенные к шине
  if ( !ds.search(addr)) {
    Serial.print(«No more addresses.\n»);
    ds.reset_search();
    return;
  }
  Serial.print(«R=»);
  for( i = 0; i < 8; i++) {
    Serial.print(addr[i], HEX);
    Serial.print(" ");
  }
```

```

if ( OneWire::crc8( addr, 7) != addr[7]) {
Serial.print(«CRC is not valid!\n»);
return;
}
if ( addr[0] == 0x10) {
Serial.print(«найдено DS18S20.\n»);
}
else if ( addr[0] == 0x28) {
Serial.print(«Найдено DS18B20.\n»);
}
else {
Serial.print(«Устройство не опознано: 0x»);
Serial.println(addr[0],HEX);
return;
}
ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44,1); // запрос данных
delay(1000); // 750 мс по документации время получения температуры
present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // читаем данные
Serial.print(«P=»);
Serial.print(present,HEX);
Serial.print(" ");
for ( i = 0; i < 9; i++) { // получаем 9 байт
data[i] = ds.read();
Serial.print(data[i], HEX);
Serial.print(" ");
}
Serial.print(" CRC=");
Serial.print( OneWire::crc8( data, 8), HEX);
Serial.println();

//преобразуем полученные данные в температуру
LowByte = data[0];
HighByte = data[1];
TReading = (HighByte << 8) + LowByte;
SignBit = TReading & 0x8000;
if (SignBit) // negative
{
TReading = (TReading ^ 0xffff) + 1;
}
Tc_100 = (6 * TReading) + TReading / 4;
Whole = Tc_100 / 100

```

```

Fract = Tc_100 % 100;
if (SignBit) {
  Serial.print("-");
}
Serial.print(Whole);
Serial.print(".");
if (Fract < 10)
{
  Serial.print(«0»);
}
Serial.print(Fract); // выводим температуру
Serial.print("\n");
}

```

KY-002 Вибровыключатель (датчик вибрации 520d)

Внутри модуля находятся два шарика, при вибрации шарик прыгает по трубке, контакт замыкается. На плате распаян подтягивающий резистор для включения напрямую на цифровой пин Arduino.

Датчик работает как обыкновенная кнопка.

Подключение (слева направо):

GND
 «+» = 5 В
 S = сигнал

KY-003 Магнитный датчик (датчик Холла) (цифровой)

Датчик собран на микросхеме 44Е. Если магнитное поле отсутствует, на выходе S формируется сигнал «HIGH»; если магнитное поле в наличии – на выходе - сигнал «LOW» и светодиод на датчике загорается. Датчик чувствителен к полярности магнитного поля.

Подключение (слева направо):

GND
 «+» = 5 В
 S = сигнал в примере подключаем к 10 выводу

Пример измерения магнитного поля с помощью датчика KY-003:

```

int Led = 13;
int SENSOR = 10;
int val;
void setup ()
{
  pinMode (Led, OUTPUT);
  pinMode (SENSOR, INPUT);
}

```

```

}

void loop ()
{
  val = digitalRead (SENSOR); // читаем сенсор
  if (val == LOW)
  {
    digitalWrite (Led, HIGH);
  }
  {
    digitalWrite (Led, LOW);
  }
}

```

КУ-004 Кнопка

По умолчанию кнопка - нормально разомкнутая. На плате присутствует подтягивающий резистор, поэтому датчик подключается по трехточечной схеме. У всех аналоговых выключателей может присутствовать дребезг контактов, который рекомендуется обрабатывать с помощью программного кода.

Подключение (слева направо):

GND

«+» = 5 В

S = сигнал, подключается на вход Arduino

КУ-005 Инфракрасный светодиод

На плате распаян резистор из расчета питающего напряжения +5 В.

Левый пин «+»

Правый пин «-»

С данной схемой можно работать как с обычным двухконтактным светодиодом.

КУ-006 Пассивная пищалка

Визуально пассивная от активной пищалки ничем не отличается. На активной пищалке на производстве наклеивается белая наклейка, защищающая мембрану.

Подключение (слева направо):

Пин «-» (правый)

Пин S (левый) - подключается к разъёму № 10 на плате Arduino

Пример подключения пищалки КУ-006:

```

int buzzer = 10;
void setup ()

```

```

{
  pinMode (buzzer, OUTPUT);
}

void loop ()
{
  unsigned char i;
  while (1)
  {
    for (i = 0; i <80; i++) // генерируется звук (частота 1 КГц), частота
задается задержками сигнала
    {
      digitalWrite (buzzer, HIGH); // звук есть
      delay (1) ;// 1ms
      digitalWrite (buzzer, LOW); // звука нет
      delay (1) ; // в мс
    }
  }
}

```

KY-008 Красный лазер 650 нм

Параметры лазерного модуля: ток 30 мА при напряжении +5 В.

Подключение (слева направо):

«-» = GND

«+» = 5 В

На плате распаян токоограничивающий резистор, поэтому работать с лазером можно как с обычным светодиодом.

KY-009 Полноцветный RGB SMD светодиод

В модуле датчика используется 5050 светодиод. Модуль поддерживает ток до 20 мА.

Питание: Red (красный) 1,8 В (2,4 В максимум), Green, Blue (зеленый, голубой) 2,8 В (3,6 В максимум).

Следует учитывать, что токоограничивающих резисторов на плате нет, поэтому при питании от +5 В в схему включения требуется добавлять дополнительные сопротивления:

180 Ом для “R” входа

100 Ом для “G” входа

100 Ом для “B” входа

Подключение (слева направо):

R = +5 В (красный)

G = +5 В (зеленый)

V = + 5 V (синий)

GND

С датчиком принято работать, как с обычными диодами. Регулируя напряжение на каждом субпикселе, получаем желаемый цвет пикселя.

КУ-010 Датчик с оптическим прерывателем

Датчик с оптическим прерывателем (рис. 1) состоит из светодиода и фототранзистора. Сигнал на выходе имеет значение 1 или 0. Резисторы распаяны на плате схемы датчика.

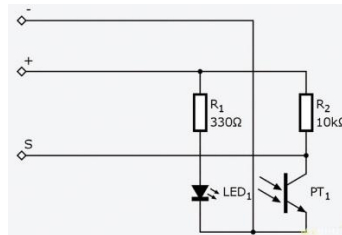


Рис. 1. Схема датчика с оптическим прерывателем

Подключение (слева направо):

Gnd

«+» = 5 V

S = сигнал

Пример подключения датчика в схему:

```
int Led = 13; // светодиод на плате на Arduino
int buttonpin = 10; // подключаем S датчика
int val;
void setup ()
{
  pinMode (Led, OUTPUT);
  pinMode (buttonpin, INPUT);
}
void loop ()
{
  val = digitalRead (buttonpin); // читаем состояние датчика
  if (val == HIGH) // включаем светодиод
  {
    digitalWrite (Led, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (Led, LOW);
  }
}
```

KY-011 Двухцветный светодиодный модуль (красный и зеленый) 5 мм

Параметры датчика: напряжение 2,0 – 2,5 В, ток 10 мА. На плате распаяны резистор и дополнительный smd светодиод. Подключение модуля должно производиться через токоограничивающие резисторы.

Подключение (слева направо):

GND

Резистор 330 Ом на средний пин

Резистор 330 Ом на S пин

KY-012 Активный звуковой модуль

Активный звуковой модуль - это печатная плата с 5 В звуковым излучателем. То есть для включения звука на схему нужно подать питание 5 В.

Подключение (слева направо):

S = сигнал

«-»

На некоторых модулях может быть перепутана полярность подключения.

KY-013 Аналоговый температурный датчик

На выходе датчика снимается напряжение, пропорциональное температуре. На плате размещены термистор и резистор делителя. Сенсор (NTC термистор) измеряет температуру от -55 до +125 °C. Точность $\pm 0,5$ °C.

Подключение (слева направо):

GND

«+» = 5 В

S = сигнал

Пример подключения датчика температуры в схему:

```
#include <math.h>
int sensorPin = A5; // подключаем датчик на аналоговый вход
double Thermistor(int RawADC) {
  double Temp;
  Temp = log(10000.0*((1024.0/RawADC)-1));
  Temp = 1 / (0.001129148 + (0.000234125 + (0.0000000876741 * Temp *
Temp ))* Temp );
  Temp = Temp - 273.15; // преобразуем температуру в кельвинах в градусы
Цельсия
  return Temp;
}
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
```

```
int readVal=analogRead(sensorPin);
double temp = Thermistor(readVal);
Serial.println(temp); // выводим температуру
delay(500);
}
```

KY-015 Модуль с датчиком температуры и влажности – DHT11

Характеристики датчика: напряжение питания от +3,3 до + 5 В, цифровой выход, диапазон измерения влажности RH от 20 до 90 %, диапазон измерения температуры от 0 до 50 °С, точность измерения влажности RH ± 5 %, точность измерения температуры ± 2 °С, разрешающая способность при измерении влажности 1 %, разрешающая способность при измерении температуры 1 °С, долгосрочная стабильность: $< \pm 1$ % в год.

Подключение (слева направо):

Левый пин S = сигнал, подключается к выводу 10 на Arduino

Правый пин GND

Средний пин «+» = 5 В

Для работы модуля требуется подключение библиотеки DHTLib.

KY-016 Трёхцветный RGB светодиодный модуль

Светодиодный модуль содержит RGB светодиод с тремя входами, то есть требуемый цвет излучения получается с помощью подачи нужного напряжения на входы. Светодиод имеет общий катод. На плате установлены ограничительные резисторы.

Подключение (слева направо):

R = +5 В (красный)

G = +5 В (зеленый)

B = + 5 В (синий)

GND – общий контакт заземления

KY-017 Переключатель срабатывающий в зависимости от наклона

Ртутный датчик наклона, на плате которого также присутствуют резистор и светодиод. С датчиком работают как с обычной кнопкой.

Подключение (слева направо):

GND

«+» = 5 В

S = сигнал

Светодиод, размещенный на плате, при замкнутых контактах горит красным цветом.

KY-018 Фоторезистор

Фоторезистор – это датчик освещенности. Он применяется для измерения интенсивности света или определения наличия/отсутствия освещения. При отсутствии света сопротивление фоторезистора большое и доходит до 1 МОм, а при освещении датчика падает до единиц Ом.

В модуле между контактом «S» и +5 В впаян резистор на 10 кОм, который вместе с фоторезистором образует делитель напряжения. Этот делитель напряжения подключают к аналоговому входу Arduino.

Подключение (слева направо):

«+» = 5 В

S = сигнал, на выходной пин

GND

Пример подключения фоторезистора в схему:

```
int sensorPin = A5; // вход для подключения фоторезистора
int ledPin = 13; // светодиод
int sensorValue = 0; // переменная для значения сенсора
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  digitalWrite(ledPin, HIGH);
  delay(sensorValue);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  delay(sensorValue);
  Serial.println(sensorValue, DEC);
}
```

KY-019 Реле на 5 В

Модуль используется для коммутации нагрузки с большим напряжением или током. Например, с помощью реле можно подключить лампы. Коммутируемая нагрузка: для переменного тока (10А 250 В, 10 А 125В), для постоянного тока (10А 30В, 10А 28В). На плате распаяны транзистор, защитный диод и светодиод, показывающий срабатывание реле.

Подключение (слева направо):

S = управляющий сигнал с Arduino

«+» 5 В

«-» GND

Пример подключения реле в схему:

```
int relay = 10; // подключение реле
void setup ()
```

```

{
  pinMode (relay, OUTPUT); }
void loop ()
{
  digitalWrite (relay, HIGH); // включить реле
  delay (1000);
  digitalWrite (relay, LOW); // выключить реле
  delay (1000);
}

```

KY-020 Датчик наклона

Датчик наклона – это переключатель, срабатывающий от наклона модуля, который имеет цифровой интерфейс. При наклоне датчика в одну сторону контакты «-» и «S» замыкаются, а при наклоне в другую - размыкаются. Модуль позволяет определять только два положения и не измеряет угол наклона.

Между контактами «+5 В» и «S» впаян резистор на 10 кОм.

KY-021 Модуль с герконом нормально разомкнутым

Контакт, срабатывающий при поднесении к нему магнита. Напаян подтягивающий резистор. Подключаем к контактам + и – питание, средний вывод – выход кнопки.

Работаем как с обычной кнопкой.

KY-022 Модуль ИК-приемника на базе кристалла VS1838B

Модуль приемника инфракрасного излучения предназначен для получения данных по инфракрасному каналу от пульта управления.

На плате распаян светодиод с токоограничивающим резистором 1 кОм. Они включены между контактами +5 В и «S».

Технические характеристики: несущая частота 38 кГц, дистанция приема от обычного пульта до 18 - 20 м, угол приема сигнала 90°, напряжение питания постоянного тока от 2,7 до 5,5 В.

Подключение (слева направо):

«-» = GND

«+» = 5 В

S = сигнал на выходе приемника

Пример использования модуля ИК-приемника - управление устройствами в доме через пульт по ИК каналу:

```

#include <IRremote.h>
int RECV_PIN = 11;
IRrecv irrecv(RECV_PIN);
decode_results results;
void setup()

```

```

{
Serial.begin(9600);
irrecv.enableIRIn(); // начало приема
}
void loop() {
if (irrecv.decode(&results)) {
Serial.println(results.value, HEX);
irrecv.resume(); // принимаем следующее значение
}
}

```

KY-023 Двухосевой (X-Y) джойстик

Модуль представляет собой двухосевой аналоговый джойстик с кнопкой.

Подключение (слева направо):

GND – общий провод
«+» = 5 В – питание датчика
VRx – аналоговый выход потенциометра оси X
VRy – аналоговый выход потенциометра оси Y
SW – цифровой выход кнопки

Пример использования джойстика:

```

int JoyStick_X = A0; // ось x
int JoyStick_Y = A1; // ось y
int JoyStick_Z = 3; // кнопка
void setup ()
{
pinMode (JoyStick_X, INPUT);
pinMode (JoyStick_Y, INPUT);
pinMode (JoyStick_Z, INPUT_PULLUP);
Serial.begin (9600); // 9600 bps
}
void loop ()
{
int x, y, z;
x = analogRead (JoyStick_X);
y = analogRead (JoyStick_Y);
z = digitalRead (JoyStick_Z);
Serial.print (x, DEC);
Serial.print (",");
Serial.print (y, DEC);
Serial.print (",");
Serial.println (z, DEC);
delay (100);
}

```

KY-024 Магнитный линейный датчик Холла с цифровым интерфейсом

Датчик имеет и цифровой и аналоговый выходы. На плате распаян светодиод, который загорается при детектировании магнитного поля.

Подключение (слева направо):

АО - аналоговый выход

GND

«+» = 5 В

DO - цифровой выход

KY-025 Модуль с герконом

При замыкании геркона на модуле на плате загорается красный светодиод. В отличие от модуля с простым герконом, у данной платы используются 4 вывода, а также в нее интегрированы компаратор и светодиод.

Подключение (слева направо):

АО - аналоговый выход, подключается к аналоговому входу Arduino

GND

«+» = 5 В

DO – цифровой выход

KY-026 Датчик пламени

Датчик пламени реагирует на инфракрасное излучение и наиболее чувствителен к длинам волн от 760 до 1100 нм. Этот модуль имеет два выхода – цифровой и аналоговый. На плате размещены 2 светодиода, которые служат для индикации питания и индикации выхода с компаратора. Построечный резистор позволяет изменять чувствительность датчика.

Подключение (слева направо):

АО - аналоговый вход

GND

«+» = 5 В

DO - цифровой выход

Пример использования датчика пламени:

```
int Led = 13 ;// светодиод
int buttonpin = 10; // цифровой вход
int analogin = A3; // аналоговый вход
int val ;//
float sensor; //значение датчика
void setup ()
{
  pinMode (Led, OUTPUT);
  pinMode (buttonpin, INPUT);
```

```

pinMode (analogin, INPUT);
Serial.begin(9600);
}
void loop ()
{
  sensor = analogRead(analogin);
  Serial.println(sensor); // данные с датчика
  val = digitalRead (buttonpin);
  if (val == HIGH) // если сработал датчик
  {
    digitalWrite (Led, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (Led, LOW);
  }
  delay(1000);
}

```

KY-027 Ртутный датчик наклона со светодиодом

Подключение (слева направо):

GND

«+» = 5 В

S = сигнал

Светодиод

KY-029 Светодиодный модуль с двухцветным светодиодом с общим катодом (зеленый и красный) 3 мм

Параметры датчика: напряжение для зеленого цвета G от 2,3 до 2,6 В; для красного R от 1,9 до 2,2 В; ток 20 мА.

На некоторых модулях могут быть распаяны резистор и smd светодиод.

Подключение модуля рекомендуется через токоограничивающие резисторы.

Подключение (слева направо):

GND (заземление)

резистор 330 Ом на пин S

резистор 330 Ом на средний пин

С модулем можно работать, как с обычным светодиодом, учитывая, что надо управлять напряжением на двух выводах - для красного и зеленого цвета.

КУ-031 Модуль датчика удара

При ударах или сотрясении в схеме замыкается контакт.

Подключение (слева направо):

«+» = 5 В

Средний пин = выход

«-» на заземление (GND)

Между + 5 В и выходом на плате модуля впаян резистор.

Модулем можно управлять, как обычной кнопкой.

КУ-028 Температурный датчик с цифровым и аналоговым выходом

Модуль имеет два выхода – цифровой и аналоговый. На плате размещены 2 светодиода – для индикации питания и индикации выхода с компаратора. Построечным резистором можно изменять чувствительность датчика.

Подключение (слева направо):

АО - аналоговый вход

GND

«+» = 5 В

DO - цифровой выход

Пример использования датчика температуры:

```
int Led = 13; // светодиод
int buttonpin = 10; // цифровой вход
int analogin = A3; // аналоговый вход
int val ;//
float sensor; //значение датчика
void setup ()
{
  pinMode (Led, OUTPUT);
  pinMode (buttonpin, INPUT);
  pinMode (analogin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop ()
{
  sensor = analogRead(analogin);
  Serial.println(sensor); // данные с датчика
  val = digitalRead (buttonpin);
  if (val == HIGH) // если сработал датчик
  {
    digitalWrite (Led, HIGH);
  }
  else
  {
```

```

    digitalWrite (Led, LOW);
  }
  delay(1000);
}

```

КУ-033 Инфракрасный датчик приближения

При приближении препятствия срабатывает датчик, на выходе 1 и загорается светодиод на плате.

Подключение (слева направо):

«-» = GND
 Средний пин = OUT
 «+» = 5 В

КУ-034 Автоматический мигающий яркий семицветный светодиодный модуль 5 мм

На плате, на которой размещен светодиодный модуль, распаян токоограничивающий резистор. Принцип работы – как с обычным светодиодом.

КУ-035 Аналоговый датчик Холла на микросхеме SS49E

На выходе модуля генерируется аналоговый сигнал, пропорциональный напряженности измеряемого магнитного поля.

Подключение (слева направо):

«-» = GND
 Средний пин = «+»5 В

Пин S = выходной сигнал, который в коде ниже подключается к разъему A5 на управляющей плате Arduino.

Пример использования аналогового датчика Холла:

```

int sensorPin = A5; // датчик подключается к 5 аналоговому входу
int ledPin = 13; // светодиод
int sensorValue = 0; // данные с датчика
void setup () {
  pinMode (ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin (9600);
}
void loop () {
  sensorValue = analogRead (sensorPin);
  digitalWrite (ledPin, HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite (ledPin, LOW);
  delay (100);
  Serial.println (sensorValue, DEC); //выгружаются данные с датчика
}

```

KY-036 Сенсорный модуль с металлическим контактом

Сенсорный модуль имеет металлический контакт для определения касания человеком. На плате размещены два светодиода – питание и срабатывание датчика.

Подключение (слева направо):

AO
GND
«+» = 5 В
DO

Пример использования датчика:

```
int sensorPin = A5; // датчик подключается к 5 аналоговому входу
int ledPin = 13; // светодиод
int sensorValue = 0; // данные с датчика
void setup () {
  pinMode (ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin (9600);
}
void loop () {
  sensorValue = analogRead (sensorPin);
  digitalWrite (ledPin, HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite (ledPin, LOW);
  delay (100);
  Serial.println (sensorValue, DEC); //выгружаются данные с датчика
}
```

KY-037 Модуль микрофона с высокой чувствительностью с двумя выходами

Плата с большим микрофоном имеет 2 выхода: цифровой и аналоговый: AO - аналоговый выход – сигнал напрямую с микрофона; DO - цифровой выход – активируется при превышении порога срабатывания на выходе 1. Чувствительность срабатывания регулируется подстроечным резистором, размещенным на модуле. На плате распаяны два светодиода – один загорается при подаче питания, второй - при срабатывании цифрового выхода.

Подключение (слева направо):

AO
GND
«+» = 5 В
DO

Пример использования высокочувствительного микрофона:

```
int Led = 13 ;// светодиод
```

```

int buttonpin = 10; // цифровой выход микрофона
void setup ()
{
  pinMode (Led, OUTPUT);
  pinMode (buttonpin, INPUT);
}

void loop ()
{
  val = digitalRead(buttonpin); // считывание цифрового выхода
  if (val == HIGH) // если сработал цифровой выход, загорается светодиод
  {
    digitalWrite (Led, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (Led, LOW);
  }
}

// Работа с аналоговым выходом
int sensorPin = A0; // подключение аналогового выхода
int ledPin = 13; // подключение светодиода
int sensorValue = 0; // амплитуда звука
void setup ()
{
  pinMode (ledPin, OUTPUT);
  Serial.begin (9600);
}

void loop ()
{
  sensorValue = analogRead (sensorPin); // считывание сигнала с
аналогового выхода
  Serial.println (sensorValue, DEC); // вывод амплитуды сигнала
  digitalWrite (ledPin, HIGH);
  delay (100);
  digitalWrite (ledPin, LOW);
  delay (100);
}

```

KY-038 Звуковой сенсор с конденсаторным микрофоном и двумя выходами

Модуль с маленьким микрофоном имеет 2 выхода - цифровой и аналоговый: АО - аналоговый выход – принимает сигнал напрямую с микрофона; ДО - цифровой выход – активируется при превышении порога

срабатывания на выходе 1. Чувствительность срабатывания регулируется подстроечным резистором. На плате распаяны два светодиода – один загорается при подаче питания, второй - при срабатывании цифрового выхода.

Подключение (слева направо):

AO
GND
«+» = 5 В
DO

KY-039 Датчик для измерения пульса на пальце

Модуль датчика пульсометра состоит из инфракрасного светодиода (LED) и фототранзистора, с помощью которых можно измерять пульс на пальце. Монитор сердечного ритма работает следующим образом: палец должен быть расположен между IR светодиодом и фототранзистором, который получает поток инфракрасного излучения. Когда в пальце пульсирует кровь, сопротивление фототранзистора меняется. При измерениях пульса необходимо, чтобы фототранзистор был защищен от попадания прямого солнечного или искусственного света для исключения нежелательных помех.

Подключение (слева направо):

S = аналоговый вход на плате Arduino
«+» = 5 В
GND

Пример использования датчика измерения пульса:

```
int sensorPin = 0;
double alpha = 0.75;
int period = 100;
double change = 0.0;
double minval = 0.0;
void setup ()
{
  Serial.begin (9600);
}
void loop ()
{
  static double oldValue = 0;
  static double oldChange = 0;
  int rawValue = analogRead (sensorPin);
  double value = alpha * oldValue + (1 - alpha) * rawValue;
  Serial.print (rawValue);
  Serial.print (",");
  Serial.println (value);
  oldValue = value;
  delay (period);
}
```

KY-040 Энкодер с кнопкой

Энкодер выдает при вращении двоичный код на двух выходах. По этому коду можно определить направление вращения. В зависимости от используемой схемы на полный оборот может приходиться порядка 24 импульсов. Нажатие на ручку энкодера соответствует срабатыванию кнопки.

Подключение (слева направо):

«CLK» = энкодер контакт «А»

«DT» = энкодер контакт «В»

«SW» = кнопка

«+» = питание 5 В

«GND» = общий

Кроме стандартного набора датчиков «37 в 1» совместно с управляющей платой микроконтроллера Arduino можно использовать огромное количество различных сенсоров – напрямую подключая их к микроконтроллеру, или используя дополнительные элементы управления и питания. Рассмотрим некоторые виды датчиков и алгоритмы построения проектов с их использованием подробнее.

D-53 и GY-302 Датчики света или освещенности

Простейшим способом определить освещённость различных самосветящихся или освещенных объектов является использование фоторезисторов, фотодиодов или фототранзисторов. Эти электронные компоненты можно подключать к микроконтроллеру Arduino непосредственно (фоторезистор на рис. 2), а можно использовать специальную плату - **датчик освещенности D53** (рис. 3).



Рис. 2. Фоторезистор, изготовленный в виде дискретного прибора

Использование готового модуля вместо отдельных элементов имеет ряд преимуществ:

- для определения изменений освещенности кроме отдельного фотозлемента требуется обычный или подстроечный резистор, а для ступенчатого срабатывания по принципу «да/нет» требуется также компаратор;
- печатная плата, изготовленная в заводских условиях, обычно оказывается более надежной по сравнению с навесным монтажом схемы, макетной платой или любым другим методом, которым пользуются радиолюбители.

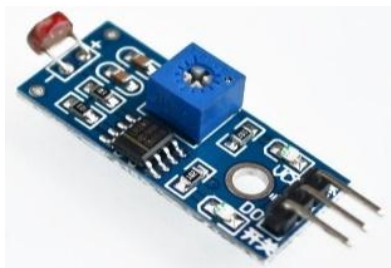


Рис. 3. Фоторезистор, реализованный в виде микросхемы D53 с элементами управления и защиты

На Aliexpress.ru или в других интернет-магазинах различные модули фоторезисторов можно найти по запросу «photosensitive sensor» или «датчик света».

Подключение (слева направо):

«+» 5 В питание;
GND;
цифровой выход с компаратора.

Существует версия модуля с четырьмя выводами:

- питание;
- GND;
- цифровой выход с компаратора;
- аналоговый.

Поскольку на плате размещен подстроечный резистор для регулировки момента срабатывания компаратора, модуль может генерировать цифровой сигнал.

Примеры использования:

- датчик освещенности для фотореле;
- сигнализация (в паре с излучателем);
- счетчик объектов, которые пересекают световой луч

и так далее.

Используя данный датчик, сложно получить точные значения, поскольку для корректной отстройки по освещенности используется специальный прибор - люксметр. Фоторезисторы обычно используют для определения абстрактных величин: «темно» или «светло».

Кроме наиболее распространенного датчика D53 в проектах можно использовать модуль **GY-302** - датчик освещенности на базе интегральной микросхемы BH-1750 (рис. 4). Этот датчик - цифровой модуль, с разрядностью, равной 16 бит. Он взаимодействует с микроконтроллерами по шине I²C. Разрядность в 16 бит позволяет измерять освещенность в диапазоне от 1 до 65356 Лк.



Рис. 4. Датчик освещенности GY-302

Схема подключения модуля GY-302 приведена на рис. 5. Контакты SDA и SCL подключены к аналоговым пинам микроконтроллера (зеленый цвет на рис.).

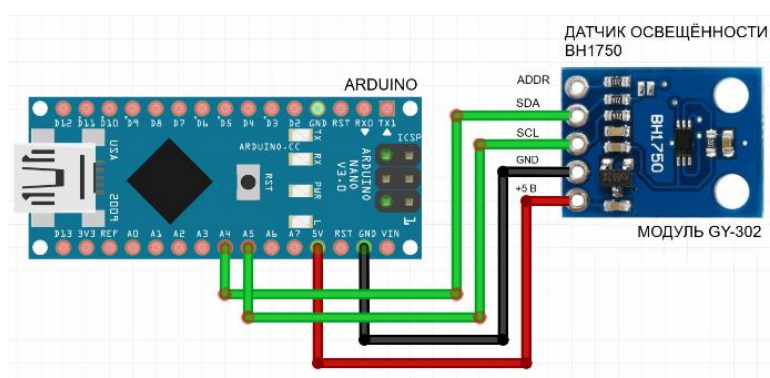


Рис. 5. Схема подключения датчика освещенности GY-302

Подключение проводится на аналоговые пины, так как именно на них реализована шина I²C (рис. 6). Поэтому не смотря на подключение датчика к аналоговым разъемам, датчик является цифровым.

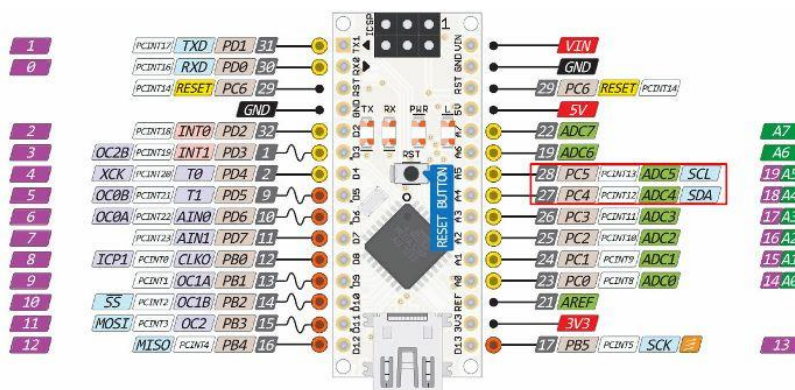


Рис. 6. Схема расположения шин на микроконтроллере Arduino

У цифровых сенсоров есть несколько преимуществ по сравнению с аналоговыми:

- не нужно проверять значения каждого экземпляра,
- не требуется составлять таблицы для перевода измеренных величин в реальные шкалы,

и так далее.

В большинстве случаев для цифровых датчиков достаточно подключить готовую библиотеку и считывать значения, переведенные в реальные единицы измерения.

Пример скетча (кода управления датчиком) для модуля GY-302 (BH-1750) приведен на рис. 7.

```
// подключаем библиотеку I2C:
#include <Wire.h>
// подключаем библиотеку датчика BH1750:
#include <BH1750.h>

// объявляем объект lightMeter:
BH1750 lightMeter;

void setup() {
  Serial.begin(9600); //инициализация послед. порта
  lightMeter.begin(); //инициализация датчика BH1750
}

void loop() {
  //считываем показания с BH1750:
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
  //выводим показания в послед. порт:
  Serial.println(String(lux) + " lx");
  delay(100); //задержка 100 мсек
}
```

Рис. 7. Скетч управления цифровым датчиком освещенности GY-302

В начале кода в программу подключается библиотека Wire.h, которая отвечает за связь по шины I²C и модуля освещенности BH1750. Каждые 100 миллисекунд считывается значение с сенсора в Люксах.

Характеристики датчика освещенности GY-302 на микросхеме BH1750:

- связь с микроконтроллером по I²C;
- спектральная характеристика аналогична чувствительности глаза;
- погрешности, вызванные ИК-излучением, сведены к минимуму;
- диапазон измерения от 0 до 65535 Лк;
- напряжение питания от 3 до 5 В;
- малый потребляемый ток, наличие функции спящего режима;
- фильтрация световых шумов 50/60 Гц;
- максимальное число сенсоров на 1 шине I²C – 2 штуки;
- не требует калибровки;
- ток потребления равен 120 мкА, в спящем режиме 0,01 мкА;
- измеряемая длина волны 560 нм;
- в режиме высокого разрешения чувствительность равна 1 Лк, в режиме низкого разрешения – 4 Лк;
- АЦП на 16 бит.

Время срабатывания датчика при изменении параметров среды:

- в режиме высокого разрешения – 120 мс;
- в режиме низкого разрешения – 16 мс.

КУ-32 Инфракрасный датчик обнаружения препятствий

На модуле ИК датчика препятствий КУ-32 размещены инфракрасный передатчик и приемник (рис. 8). Эффективная дистанция срабатывания от 2 до 40 см, рабочее напряжение - от 3,3 до 5 В. На плате распаяны подстроечные резисторы, которые позволяют выставить дистанцию. При срабатывании на плате загорается светодиод. Схема на модуле имеет маркировку IR-08Н.

Выходной сигнал с модуля – логический. Угол обнаружения равен 35°. Модулем можно управлять, как обычной кнопкой.

Подключение (слева направо):

EN

Второй пин «+» 5 В

Третий пин S = сигнал

Четвертый пин = GND



Рис. 8. Инфракрасный датчик обнаружения препятствий КУ-32

Основными функциональными элементами датчика препятствий являются фотодиод и светодиод, излучающие и принимающие сигнал в ИК спектре; также на схеме размещен пороговый узел, собранный, например, на компараторе с регулятором чувствительности (с его помощью регулируется расстояние, на котором срабатывает цифровой датчик).

Пример схемы подключения датчика препятствий с цепь измерения показан на рис. 9.

Пример программы обработки сигнала с датчика приведен на рис. 10.

Если на выходе с датчика генерируется сигнал «1», то есть «есть препятствие», на плате Arduino будет включен встроенный светодиод (подключен к 13 пину) (рис. 11). Датчик обычно используют в робототехнике и сигнализациях.

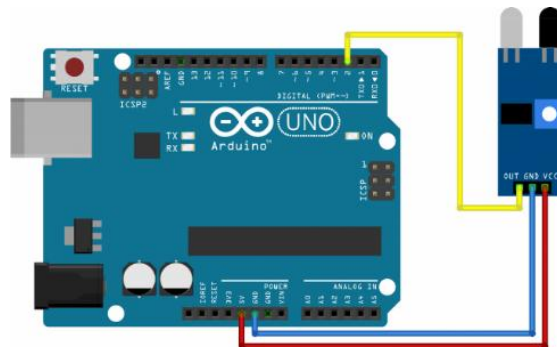


Рис. 9. Подключение датчика препятствий к микроконтроллеру Arduino

```

const int prx_pin = 2;
const int led_pin = 13;
byte v;

void setup() {
    pinMode(prx_pin, INPUT);
    pinMode(led_pin, OUTPUT);
}

void loop() {
    v = digitalRead( prx_pin );

    if( v == HIGH )
        digitalWrite( led_pin, HIGH );
    else
        digitalWrite( led_pin, LOW );
}

```

Рис. 10. Скетч, управляющий датчиком препятствий

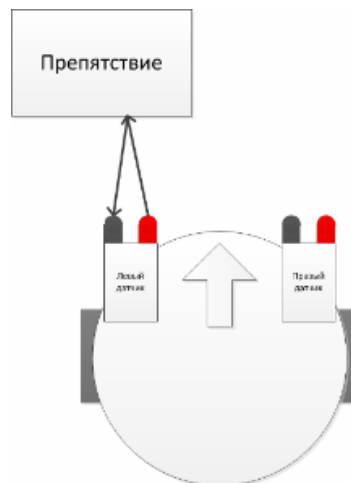


Рис. 11. Движение сигнала при отражении от препятствия

HC-SR04 Датчик расстояния

Ультразвуковой датчик расстояния **HC SR04** состоит из излучателя и приемника и излучателя УЗ (ультразвуковых) волн (рис. 12).



Рис. 12. Внешний вид УЗ датчика

Характеристики HC SR04:

- напряжение питания + 5 В;

- ток в рабочем состоянии 15 мА;
- ток в пассивном состоянии < 2 мА;
- обзорный угол — 15°;
- сенсорное разрешение – 0,3 см;
- измерительный угол — 30°;
- ширина импульса – 10^{-6} с;
- дальность измерения от 2 до 400 см.

Погрешность в измерениях УЗ датчиком обусловлена:

- температурой и влажностью воздуха (её можно уменьшить, если измерять температуру модулями DHT-11 или DHT-22 и вводить коэффициенты для коррекции измерений);
- расстоянием до объекта;
- расположением объекта относительно датчика (согласно диаграмме излучения (рис. 13); можно нивелировать, установив HC SR04 на сервопривод для изменения направления и точной корректировки);
- качеством исполнения элементов модуля датчика.

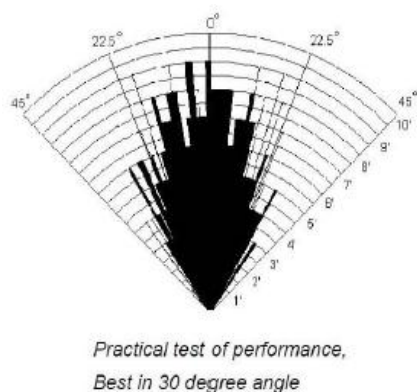


Рис. 13. Диаграмма направленности УЗ датчика расстояния

Подключение (слева направо, рис. 14):

VCC = питание;

Trig = входной сигнал;

Echo = выходной сигнал;

GND = общий вывод.



Рис. 14. Расположение пинов на датчике

Порядок обработки сигнала датчиком:

- 1) на вход TRIG подаётся импульс длительностью 10 мкс;

2) внутри модуля импульс преобразуется в пачку из 8 импульсов, которые следуют друг за другом с частотой в 40 кГц и посланы через излучатель;

3) отраженные от препятствия импульсы приходят на приёмник и выводятся на вывод ЕСНО;

4) длительность импульса, полученного с вывода ЕСНО, переводится в расстояние (в см), разделив полученное значение на 58.2.

Пример скетча управления датчиком представлен на рис. 15.

```
const int trigPin = 12;
const int echoPin = 11;

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT); // триггер - выходной пин
  pinMode(echoPin, INPUT); // эхо - входной
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  Serial.begin(9600); // инициализация послед. порта
}

void loop() {
  long distance = getDistance(); // получаем дистанцию с датчика
  Serial.println(distance); // выводим в последовательный порт
  delay(100);
}

// Определение дистанции до объекта в см
long getDistance() {
  long distacne_cm = getEchoTiming() * 1.7 * 0.01;
  return distacne_cm;
}

// Определение времени задержки
long getEchoTiming() {
  digitalWrite(trigPin, HIGH); // генерируем 10 мкс импульс
  // запуск
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  // определение на пине echoPin длительности уровня HIGH, мкс:
  long duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  return duration;
}
```

Рис. 15. Скетч для УЗ датчика препятствий

DS12B20 Измерение температуры с помощью термопар

Стандартным модулем для измерения температуры с использованием микроконтроллера являются термопара (на высоких температурах, рис. 16) или терморезистор (на температуре, близкой к комнатной).

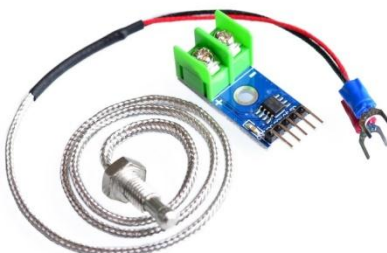


Рис. 16. Термопара для Arduino

В курсе «Материалы электронной техники» рассматриваются основные виды термопар, применяемых для измерений температуры процессов электроники. Для каждого вида термопар требуется свой подход к управлению микроконтроллером. Расположение пинов для подключения термопары к микроконтроллеру Arduino показано на рис. 17.

Например, термопара К-типа, (хромель-алюмель) характеризуется диапазоном измеряемых температур от -200 до +1400 °C и чувствительностью 41 мВ/°C. Для неё используется специальный преобразователь на базе ИС max6675, в котором встроена функция компенсации температуры холодного спая.



Рис. 17. Пины на модуле подключения термопары

Модуль max6675 подключается к Arduino с помощью библиотеки «max6675.h». На рис. 18 представлен пример программного кода для управления термопарой.

```
#include "max6675.h"

int thermoDO = 2; //он же SO
int thermoCS = 3;
int thermoCLK = 4; //он же SCK

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

int vccPin = 5; //пин для питания
int gndPin = 6; //пин для земли

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    //активируем питание и землю
    pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
    pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);
    Serial.println("MAX6675 test");
    //ждем стабилизации чипа MAX
    delay(500);
}

void loop() {
    //Выводим показания в монитор порта
    Serial.print("C = ");
    Serial.print(thermocouple.readCelsius());
    Serial.print(";   F = ");
    Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());
    delay(300);
}
```

Рис. 18. Скетч управления термопарой на библиотеке max6675.h

На монитор последовательного порта выводится набор значений температуры (рис. 19) в °C и Фаренгейтах.

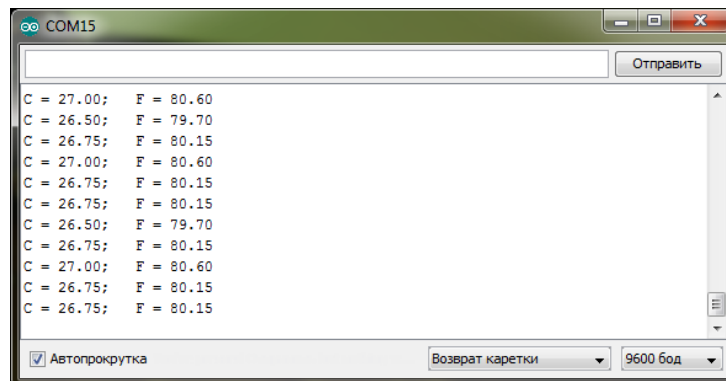


Рис. 19. Монитор последовательного порта с данными с термопары

Кроме классических термопар для измерения температуры к микроконтроллеру Arduino можно подключать цифровой датчик температуры DS12B20 (рис. 20).



Рис. 20. Цифровой датчик температуры DS12B20

DS12B20 - это цифровая интегральная микросхема, внутреннее устройство изображено на рис. 21.

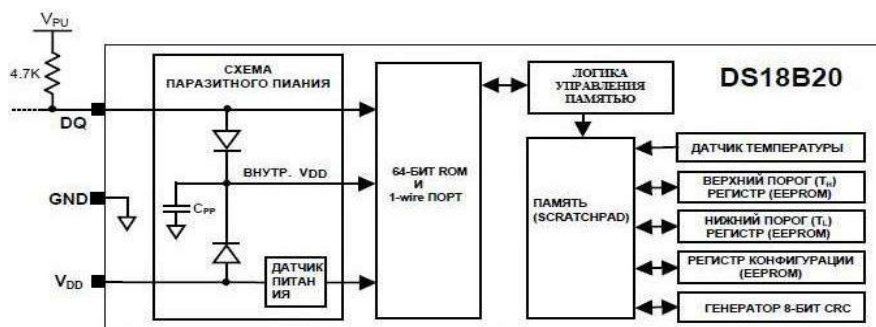


Рис. 21. Блоки ИС DS12B20

Схема подключения DS12B20 к плате приведена на рис. 22.

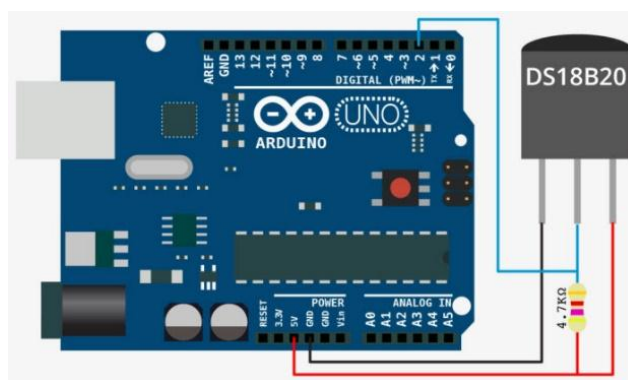


Рис. 22. Схема подключения DS12B20 к микроконтроллеру Arduino

Характеристики DS18b20:

- погрешность менее 0,5 °C в диапазоне температур от -10 до +85 °C;
- калибровка не требуется;
- диапазон измерений от -55 до +125 °C;
- напряжение питания VCC от 3,3 до 5 В;
- разрешающая способность до 0,0625 °C задается в коде программы;
- разрядность 12 бит; каждый модуль имеет уникальный серийный код, что удобно для использования нескольких одинаковых датчиков в одном проекте;
- интерфейс для связи 1-Wire;
- обвязка не требуется
- максимальное число датчиков на одной линии - 127 штук;
- возможность использования режима паразитного питания (датчик питается напрямую от линии связи; не гарантируется измерение температуры выше, чем 100 °C).

На рис. 23 приведена таблица перевода двоичного кода сигнала DS18b20 в значения температуры, °C.

ТЕМПЕРАТУРА	ЦИФРОВОЙ КОД (двоичный)	ЦИФРОВОЙ КОД (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

Рис. 23. Перевод двоичного кода в температуру

Пример программы для считывания значений температуры приведен на рис. 24.

```
#include <OneWire.h>
/*
 * Описание взаимодействия с цифровым датчиком ds18b20
 * Подключение ds18b20 к ардуино через пин 8
 */
OneWire ds(8); // Создаем объект OneWire для шины 1-Wire,
                // с помощью которого будет осуществляться работа с датчиком

void setup(){
    Serial.begin(9600);
}

void loop(){
    // Определяем температуру от датчика DS18B20
    byte data[2]; // Место для значения температуры

    ds.reset(); // Начинаем взаимодействие со сброса всех предыдущих команд и параметров
    ds.write(0xCC); // Даем датчику DS18B20 команду пропустить поиск по адресу.
                    // В нашем случае только одно устройство
    ds.write(0x44); // Даем датчику DS18B20 команду измерить температуру.
                    // Само значение температуры мы еще не получаем - датчик его положит во внутреннюю память

    delay(1000); // Микросхема измеряет температуру, а мы ждем.

    ds.reset(); // Теперь готовимся получить значение измеренной температуры
    ds.write(0xCC);
    ds.write(0xBE); // Просим передать нам значение регистров со значением температуры

    // Получаем и считываем ответ
    data[0] = ds.read(); // Читаем младший байт значения температуры
    data[1] = ds.read(); // А теперь старший

    // Формируем итоговое значение:
    // - сперва "склеиваем" значение,
    // - затем умножаем его на коэффициент,
    // соответствующий разрешающей способности (для 12 бит по умолчанию - это 0,0625)

    float temperature = ((data[1] << 8) | data[0]) * 0.0625;

    // Выводим полученное значение температуры в монитор порта
    Serial.println(temperature);
}
```

Рис. 24. Скетч для управления датчиком температуры

ВМР180, ВМР280, ВМЕ280 Датчики атмосферного давления

Электронные барометры собираются на базе датчиков атмосферного давления (рис. 25). Широкое распространение получили следующие варианты:

- ВМР180;
- ВМР280;
- ВМЕ280.

Датчик **ВМЕ280** – это миниатюрная метеостанция, в которую встроено 3 датчика:

- температуры;
- давления;
- влажности.

Технические характеристики датчика ВМЕ280:

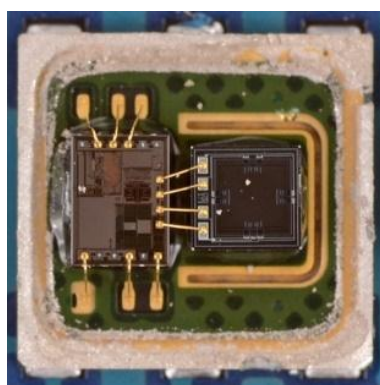
- размеры $2,5 \times 2,5 \times 0,93$ мм;
- металлический LGA-корпус, оснащенный 8 выходами;

- напряжение питания от 1,7 до 3,6 В;
- наличие интерфейсов I²C и SPI;
- потребляемый ток в режиме ожидания 0,1 мкА.

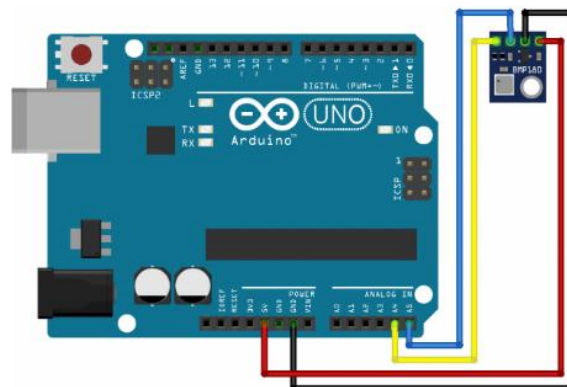
BMP180	BMP280
• Пределы измеряемого давления 225-825 мм рт. ст. • Напряжение питания 3,3 – 5В; • Ток 0,5мА; • Поддержка интерфейса I2C; • Время срабатывания 4,5мс; • Интерфейс I2C • Размеры 15 x 14 мм.	• Габариты 2 x 2,5 x 0,95 мм. • Давление 300-1100гПа; • Температуры от 0С до 65 С; • Поддержка интерфейсов I2C и SPI; • Напряжение питания 1,7В – 3,6В; • Средний ток 2,7мкА; • режим сна, • Интерфейсы I2C и SPI; • FORCED (проведение измерения, считывание значения, переход в спящий режим), • NORMAL (циклическая работа: сон, выход из сна, измерение, считывание показаний, сохранение измерений, сон).
	

Рис. 25. Основные характеристики и внешний вид датчиков давления

Данные датчики - это МЭМС-барометры (схема датчика в разрезе – рис. 26 (а)). Схема подключения датчика ВМЕ280 к микроконтроллеру Arduino приведена на рис. 26 (б).



(а)



(б)

Рис. 26. Вскрытый датчик датчика ВМЕ280 и схема его подключения

Скетч для управления датчиком BME280 приведен на рис. 27.

```
#include <SFE_BMP180.h>
#include <Wire.h>

SFE_BMP180 pressure;

void setup(){
    Serial.begin(9600);
    pressure.begin();
}

void loop(){
    double P;
    P = getPressure();
    Serial.println(P, 4);
    delay(100);
}

double getPressure(){
    char status;
    double T,P,p0,a;

    status = pressure.startTemperature();
    if (status != 0){
        // ожидание замера температуры
        delay(status);
        status = pressure.getTemperature(T);
        if (status != 0){
            status = pressure.startPressure(3);
            if (status != 0){
                // ожидание замера давления
                delay(status);
                status = pressure.getPressure(P,T);
                if (status != 0){
                    return(P);
                }
            }
        }
    }
}
```

Рис. 27. Скетч для управления датчиком BME280

В коде программы пошагово реализуется:

1. Вызов подпрограммы (функции) считывания сигнала с датчика.
2. Запрос показаний встроенного в барометр датчика температуры.
3. Ожидание заданного времени для получения датчиком температуры данных и их стабилизации.
4. Считывание результата измерения температуры.
5. Запрос величины давления.
6. Ожидание некоторого времени для измерения давления.
7. Считывание значения давления.
8. Расчёт значения давления из функции.

Возможно четыре варианта считывания значений, которые задаются в качестве аргумента в функции «*startPressure*» вторым знаком от 0 до 3, где 0 – грубая оценка, а 3 – точная.

HC-SR501 Датчик движения

Самым распространенным датчиком движения для Arduino является модуль **HC-SR501** на базе ИК-сенсора. В датчике есть регулировка для настройки расстояния срабатывания и времени задержки выходного сигнала после срабатывания.



Рис. 28. Датчик движения HC-SR501

Характеристики модуля:

- напряжение питания 4,5 – 20 В;
- ток покоя порядка 50 мкА;
- напряжение выходного сигнала (логический уровень) 3,3 В;
- диапазон рабочих температур от -15 до 70 °С;
- размеры 32 × 24 мм;
- поле зрения 110°;
- максимальная дистанция срабатывания от 3 до 7 м с возможностью настройки; при температуре более 30 °С расстояние может уменьшаться.

Схема подключения приведена на рис. 29.

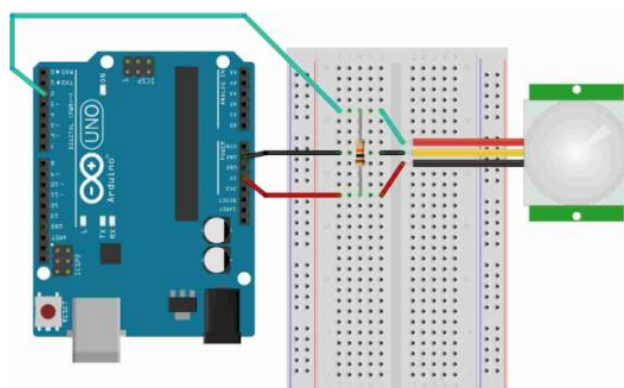


Рис. 29. Схема подключения датчика движения

WS Датчик уровня воды

Датчик уровня жидкости (воды) используется для индикации уровня жидкостей (рис. 30).

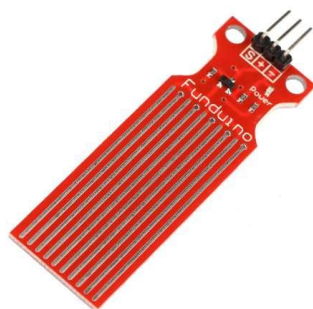


Рис. 30. Внешний вид датчик уровня жидкости

Характеристики датчика:

- напряжение питания от 3 до 5 В;
- ток потребления >20 мА;
- аналоговый сигнал на выходе с датчика;
- размеры измерительной зоны 40 × 16 мм;
- допустимая влажность от 10 до 90 %.

Пример программного кода приведен на рис. 31.

```

01 void setup()
02 {
03     pinMode(0, INPUT);
04     digitalWrite(0, HIGH);
05     Serial.begin(9600);
06 }
07
08 void loop()
09 {
10     int val = analogRead(0);
11     Serial.println (val);
12 }

```

Рис. 31. Скetch для управления датчиком уровня жидкости

Выходные значения на экране монитора или дисплее измерительного комплекса находятся в диапазоне от 0 (в сухом состоянии) до 685 (максимальное значение может отличаться, так как определяется проводимостью измеряемой среды). Датчик не подходит для использования в агрессивных средах, так как измерительный элемент может раствориться при электролизе.

YL-83 Датчик протечки

Модуль состоит из двух частей – сам датчик и компаратор (рис. 32), может быть построен на LM393, LM293 или LM193.



Рис. 32. Набор элементов датчика протечки

Благодаря компаратору происходит преобразование аналогового сигнала в цифровой.

Схема подключения датчика показана на рис. 33.

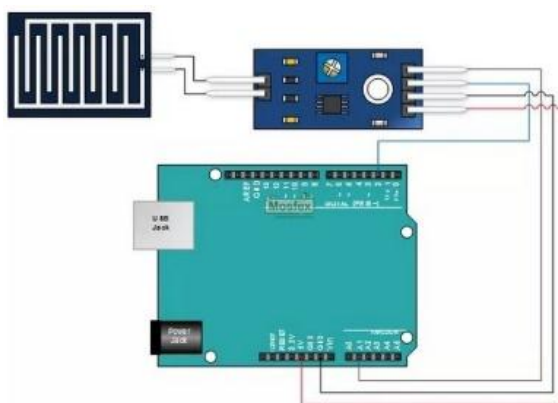


Рис. 33. Схема подключения датчика протечки YL-83

Подключение (слева направо):

- VCC = питание 5 В;
- GND = общий контакт;
- AO = аналоговый сигнал;
- DO = цифровой сигнал.

На плате компаратора есть подстроечный резистор, который устанавливает чувствительность датчика. Датчик протечки может использоваться как сигнализация дождя или протечки, а при объединении с краном (рис. 34) может работать как защита от протечки трубопровода в помещениях.



Рис. 34. Кран с электроприводом для защиты от протечки в помещениях

FC-28 Датчик влажности

Датчик влажности почвы используется в проектах автоматического полива, для определения влажности грунта. Он состоит из электродов и платы с потенциометром и компаратором (рис. 35).

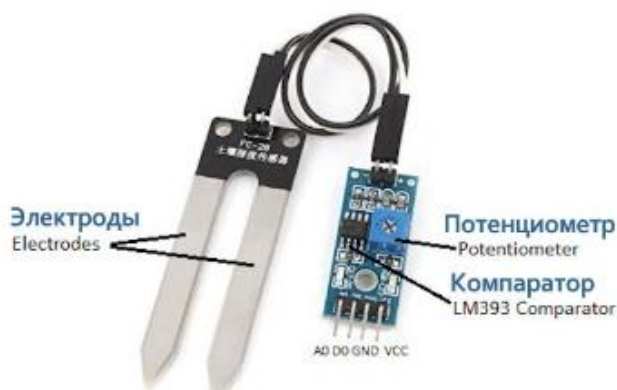


Рис. 35. Электроды и плата управления датчиком влажности почвы

Модуль работает в аналоговом и цифровом режиме.
Схема подключения представлена на рис. 36.

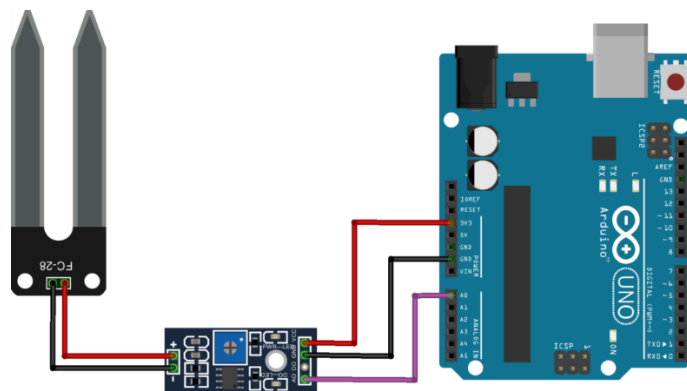


Рис. 36. Система управления поливом на базе датчика влажности почвы FC-28

Пример программного кода для обработки цифрового сигнала с датчика влажности приведен на рис. 37.

```
#define solPin A1 // порт для подключения датчика
#define ledPin 13 // порт для подключения светодиода

int minsol = 200; // минимальное значение влажности почвы
int sol;

void setup(){
  Serial.begin(9600);

  pinMode(solPin, INPUT);
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void loop(){
  sol = analogRead(solPin);
  Serial.print("sol = ");
  Serial.println(sol);

  if (sol > minsol) { digitalWrite(ledPin, LOW); }
  if (sol < minsol) { digitalWrite(ledPin, HIGH); }

  delay(1000);
}
```

Рис. 37. Скетч для управления датчиком влажности

FSR-402 Резистивный датчик давления

Резистивный датчик давления - это переменный резистор, сопротивление которого зависит от силы, приложенной к чувствительному элементу (рис. 38).



Рис. 38. Резистивный датчик давления FSR-402

TCRT5000 Аналоговый датчик линии

Аналоговый датчик линии (рис. 39) может определять черную и белую поверхности, а также воспринимает другие цвета и промежуточные оттенки. После калибровки модуль позволяет измерять расстояние до поверхности выбранного цвета.

Датчик линии работает в инфракрасном спектре. Для точной калибровки при настройке датчика используется индикаторный светодиод. Регулировка чувствительности датчика осуществляется при помощи подстроечного резистора, который меняет её в большом диапазоне.

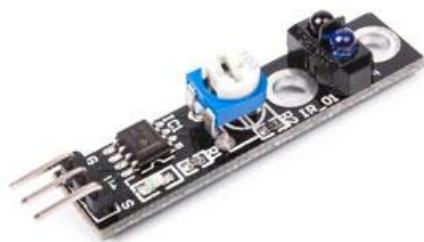


Рис. 39. Датчик линии аналоговый

GY-521 Трёхосевой гироскоп и акселерометр

GY-521 – это модуль с гироскопом, акселерометром и термометром на базе микросхемы MPU-6050 (рис. 40). Схема используется в любительской робототехнике для определения положения в пространстве.

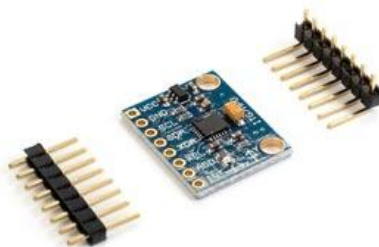


Рис. 40. Трёхосевой гироскоп и акселерометр GY-521 (MPU 6050)

TCS230 Датчик цвета

Датчик цвета используется для определения цвета предмета (рис. 41). Модуль измеряет три канала в спектре: красный, синий, зелёный.

Микросхема состоит из 64 (4×16) фотодиодов, определяющих выбор фильтра: синий, зеленый, красный или без фильтра.

Схема измеряемый объект, который установлен параллельно чувствительной области на расстоянии ≤ 10 мм. На корпусе датчика расположено четыре светодиода, которые используются для подсветки места измерения.



Рис. 41. Датчик цвета TCS230

GY-61 Трехосевой акселерометр

Данный акселерометр применяется для определения вектора ускорения. Он имеет три оси, следовательно, определяет вектор ускорения в трёхмерном пространстве. Так как сила земного притяжения - это тоже вектор, акселерометр может определять свою собственную ориентацию в трёхмерном пространстве относительно центра Земли.

Если датчик сильно встряхнуть вдоль вертикальной оси Z, то значение Z_{out} будет больше, чем 1g, Максимальное измеряемое ускорение равно 3g по каждой из осей в любом из направлений.



Рис. 42. Трехосевой акселерометр GY-61 ADXL335

HTU-21D Датчик температуры и влажности

Датчик HTU21D – это цифровой датчик для измерения температуры и влажности (рис. 43), который подключается интерфейсу I²C. Датчик измеряет температуру с разрешением от 11 до 14 бит, влажность - с разрешением от 8 до 12 бит. Разрешение может быть изменено в управляющей программе.

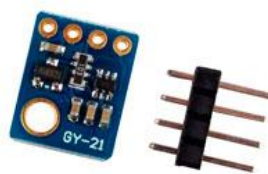


Рис. 43. Датчик температуры и влажности HTU-21D (GY-21)

GYML8511 Датчик ультрафиолетового излучения

Датчик УФ-излучения (рис. 44) – это аналоговый модуль, который определяет интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне UV-A (ближний УФ от 400 до 315 нм) и UV-B (средний УФ от 315 до 280 нм).

Модуль построен на плате ML8511, на которой также размещены УФ светодиод и операционный усилитель. Дополнительно в модуле установлен стабилизатор напряжения LM6206 на 3,3 В для питания схемы от напряжения 5 В через вход VIN.

Модуль работает на принципах внутреннего фотоэффекта: рабочая поверхность УФ светодиода поглощает кванты света УФ диапазона (UV-A и UV-B); электроны получают энергию фотонов и переходят на внешний энергетический уровень, становясь свободными (не связанными с кристаллической решеткой). Увеличение количества свободных электронов приводит к возникновению тока, который затем усиливается операционным усилителем. Уровень напряжения на выходе OUT прямо пропорционален силе тока, протекающего через ультрафиолетовый светодиод, то есть интенсивности УФ излучения.



Рис. 44. Датчик ультрафиолетового излучения GYML8511

YL-63 Цифровой инфракрасный датчик обхода препятствий

Модуль обхода препятствий YL-63 (может иметь маркировку FC-51) позволяет определять наличие объекта, но не рассчитывает точное расстояние до него. Датчик состоит из ИК излучателя и фотоприемника (рис. 45).



Рис. 45. Инфракрасный датчик препятствий YL-63

ACS712 Датчик тока

Модуль ACS712 – это датчик тока (рис. 46), который обеспечивает измерение и контроль протекающего через него тока. Датчик применяется в схемах защиты от перегрузки по току, в зарядных устройствах, в импульсных источниках питания, в программируемых источниках тока и других устройствах.



Рис. 46. Датчик тока ACS712

GP2Y0A21YK0F ИК датчик расстояния

GP2Y0A21YK0F - это ИК дальномер (рис. 47), который определяет расстояние до объекта в диапазоне от 10 до 80 см. Дальномер используется для объезда препятствий и ориентирования в пространстве.



Рис. 47. Инфракрасный датчик расстояния

MQ-7 Датчик угарного газа

Модуль MQ-7 - это датчик угарного газа (CO) (рис. 48). Основным рабочим элементом MQ-7 - нагревательный элемент, с помощью которого на чувствительной поверхности датчика протекает химическая реакция. На аналоговом выходе модуля выгружается значение в ppm, пропорциональное концентрации угарного газа в измеряемом пространстве. На цифровом – порог срабатывания схемы датчика. Для получения стабильных показаний новый сенсор необходимо один раз прогреть (оставить включённым) в течение 48 часов. После этого стабилизация параметров на датчике после его включения занимает порядка 1 минуты. Показания датчика зависят от температуры и влажности окружающей среды.



Рис. 48. Датчик угарного газа MQ7

140C001 Датчик вибрации

Модуль 140C001 – это датчик вибрации (рис. 49), который используется для определения внешних вибрационных воздействий. Датчик используется в схемах сигнализации.

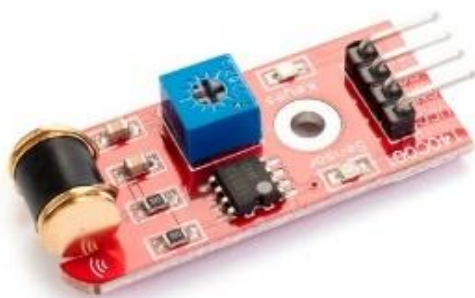


Рис. 49. Датчик вибрации 140C001

DHT11 Цифровой датчик влажности и температуры

Цифровой датчик влажности и температуры (рис. 50) DHT11 состоит из термистора и емкостного датчика влажности, и позволяет контролировать параметры среды в помещениях.

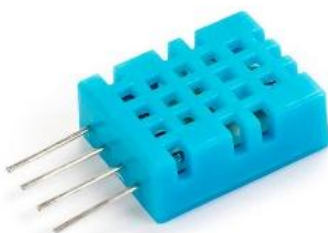


Рис. 50. Датчик влажности и температуры DHT11

LM-393 Датчик уровня звука

LM-393 – это датчик уровня звука. Модуль используется для контроля уровня шума или обнаружения громких сигналов (хлопков, стука, свиста и других звуков).



Рис. 51. Датчик уровня звука

MQ-4 Датчик природного газа

Датчик MQ-4 (рис. 52) обнаруживает утечки бытового газа, поэтому может использоваться как элемент сигнализации в системе «Умный дом».



Рис. 52. Датчик газа MQ-4

Wsp1110 Датчик диоксида азота

Модуль датчика для измерения диоксида азота Wsp1110 (рис. 53) позволяет определять концентрацию искомого газа в диапазоне от 0,1 до 10 ppm.



Рис. 53. Датчик диоксида азота Wsp1110 NO₂

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон. - Москва: Техносфера, 2007. – 384 с. – Текст: непосредственный.
2. Карвинен Т. Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry PI / Т. Карвинен, К. Карвинен, В. Валтоари. – Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 432 с. – Текст: непосредственный.
3. Датчики. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/>. – Текст: электронный.
4. Модули и датчики для Arduino. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://arduino.pro.ru/moduli-i-datchiki/>. – Текст: электронный.
5. Как выбрать датчик для Arduino/ - Электрон. дан. – Режим доступа: <https://amperka.ru/page/kak-vybrat-datchik-dlya-arduino>. - – Текст: электронный.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Структура курса «Физические основы сенсорики»	3
Алгоритм выполнения практической работы (8 пар)	3
Лабораторные работы.....	4
Темы направлений разработки проектов.....	4
Разработка проекта.....	5
Краткое описание датчиков для лабораторных и практических работ....	7
КУ-001 Датчик температуры.....	9
КУ-002 Вибровыключатель (датчик вибрации 520d)	11
КУ-003 Магнитный датчик (датчик Холла) (цифровой)	11
КУ-004 Кнопка.....	12
КУ-005 Инфракрасный светодиод.....	12
КУ-006 Пассивная пищалка.....	12
КУ-008 Красный лазер 650 нм.....	13
КУ-009 Полноцветный RGB SMD светодиод.....	13
КУ-010 Датчик с оптическим прерывателем.....	14
КУ-011 Двухцветный светодиодный модуль (красный и зеленый) 5 мм.	15
КУ-012 Активный звуковой модуль.....	15
КУ-013 Аналоговый температурный датчик.....	15
КУ-015 Модуль с датчиком температуры и влажности – DHT11.....	16
КУ-016 Трёхцветный RGB светодиодный модуль.....	16
КУ-017 Переключатель срабатывающий в зависимости от наклона.....	16
КУ-018 Фоторезистор.....	17
КУ-019 Реле на 5 В.....	17
КУ-020 Датчик наклона.....	18
КУ-021 Модуль с герконом нормально разомкнутым.....	18
КУ-022 Модуль ИК-приемника на базе кристалла VS1838B.....	18
КУ-023 Двухосевой (X-Y) джойстик.....	19
КУ-024 Магнитный линейный датчик Холла с цифровым интерфейсом.	20
КУ-025 Модуль с герконом.....	20
КУ-026 Датчик пламени.....	20
КУ-027 Ртутный датчик наклона со светодиодом.....	21
КУ-029 Светодиодный модуль с двухцветным светодиодом с общим катодом (зеленый и красный) 3 мм.....	21
КУ-031 Модуль датчика удара.....	22
КУ-028 Температурный датчик с цифровым и аналоговым выходом...	22
КУ-033 Инфракрасный датчик приближения.....	23
КУ-034 Автоматический мигающий яркий семицветный светодиодный модуль 5 мм.....	23
КУ-035 Аналоговый датчик Холла на микросхеме SS49E.....	23
КУ-036 Сенсорный модуль с металлическим контактом.....	24
КУ-037 Модуль микрофона с высокой чувствительностью с двумя выходами.....	24

KY-038 Звуковой сенсор с конденсаторным микрофоном и двумя выходами.....	25
KY-039 Датчик для измерения пульса на пальце.....	26
KY-040 Энкодер с кнопкой.....	27
D-53 и GY-302 Датчики света или освещенности.....	27
KY-32 Инфракрасный датчик обнаружения препятствий.....	31
HC-SR04 Датчик расстояния.....	32
DS12B20 Измерение температуры с помощью термодпар.....	34
BMP180, BMP280, BME280 Датчики атмосферного давления.....	38
HC-SR501 Датчик движения.....	41
WS Датчик уровня воды.....	41
YL-83 Датчик протечки.....	42
FC-28 Датчик влажности.....	44
FSR-402 Резистивный датчик давления.....	45
TCRT5000 Аналоговый датчик линии.....	45
GY-521 Трёхосевой гироскоп и акселерометр.....	46
TCS230 Датчик цвета.....	46
GY-61 Трёхосевой акселерометр.....	47
HTU-21D Датчик температуры и влажности.....	47
GYML8511 Датчик ультрафиолетового излучения.....	47
YL-63 Цифровой инфракрасный датчик обхода препятствий.....	48
ACS712 Датчик тока.....	48
GP2Y0A21YK0F ИК датчик расстояния.....	49
MQ-7 Датчик угарного газа.....	49
140C001 Датчик вибрации.....	50
DHT11 Цифровой датчик влажности и температуры.....	50
LM-393 Датчик уровня звука.....	50
MQ-4 Датчик природного газа.....	51
Wsp1110 Датчик диоксида азота.....	51
Библиографический список.....	52

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕНСОРИКИ: ДАТЧИКИ НА ARDUINO

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для проведения лабораторных и практических работ
для студентов направления
11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»
всех форм обучения

Составитель
Плотникова Екатерина Юрьевна

В авторской редакции

Подписано к изданию 24.01.2024.
Уч.-изд. л. 2,9.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84