

Лабораторная работа № 1  
“Фоторезистор как датчик освещённости. Датчик Холла  
для измерения магнитного поля”  
Сенсоры и сенсорные системы

28 сентября 2021 г.

## Содержание

<b>1</b>	<b>Теория</b>	<b>1</b>
1.1	Фоторезисторы . . . . .	1
1.1.1	Измерение уровня освещённости . . . . .	2
1.2	Датчик Холла . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Лабораторная работа</b>	<b>6</b>
2.1	Цель работы . . . . .	6
2.2	Оборудование . . . . .	7
2.3	Ход работы . . . . .	7
2.3.1	Подключение . . . . .	7
2.3.2	Использование кода . . . . .	7
2.3.3	Работа с фоторезистором . . . . .	8
2.3.4	Работа с датчиком Холла . . . . .	8
2.4	Вопросы . . . . .	9

### Аннотация

Фоторезистор, датчик Холла. Устройство и принцип работы фоторезистора. Описание эффекта Холла. Принципиальные схемы включения датчиков.

## 1 Теория

### 1.1 Фоторезисторы

Изменение электрического сопротивления полупроводника, обусловленное непосредственным действием излучения, называют фоторезистивным эффектом, или внутренним фотоэлектрическим эффектом. Изменение сопротивления, или проводимости, вызывают изменением концентрации носителей заряда.

Фоторезисторы (рис. 1) предоставляют возможность определять интенсивность освещения. Они миниатюрны, недорогие, требуют мало энергии, легки в использовании, практически не подвержены износу. Именно из-за этого они часто используются в игрушках, гаджетах и приспособлениях. Фоторезисторы имеют различные размеры и технические характеристики, но в большинстве своем не очень точные. Каждый фоторезистор ведет себя несколько иначе по сравнению с другим, даже если они из одной партии от производителя. Различия в показаниях могут достигать 50% и даже больше! Так что рассчитывать на прецизионные измерения не стоит. В основном их используют для определения общего уровня освещенности в конкретных, “локальных”, а не “абсолютных” условиях.

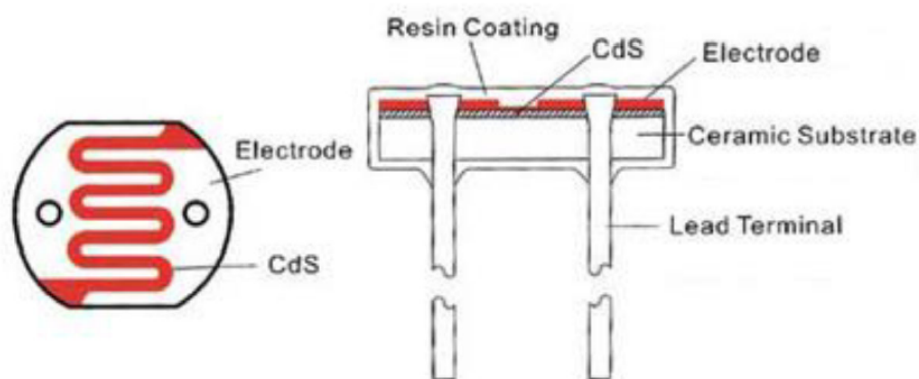


Рис. 1: Устройство фоторезистора

#### Основные параметры фоторезисторов:

- диапазон сопротивления: от 200 кОм (темно) до 10 кОм (светло);
- диапазон чувствительности: чувствительные элементы фиксируют длины волн в диапазоне от 400 нм (фиолетовый) до 600 нм (оранжевый).

##### 1.1.1 Измерение уровня освещённости

Как известно, сопротивление фоторезистора изменяется в зависимости от уровня освещения. Когда темно, сопротивление резистора увеличивается до 10 МОм. С увеличением уровня освещенности сопротивление падает. Приведенный ниже график (рис. 2) приблизительно отображает зависимость сопротивления сенсора от уровня освещенности. В общем, характеристика каждого отдельного фоторезистора будет несколько отличаться, эти характеристики отображают только общую тенденцию.

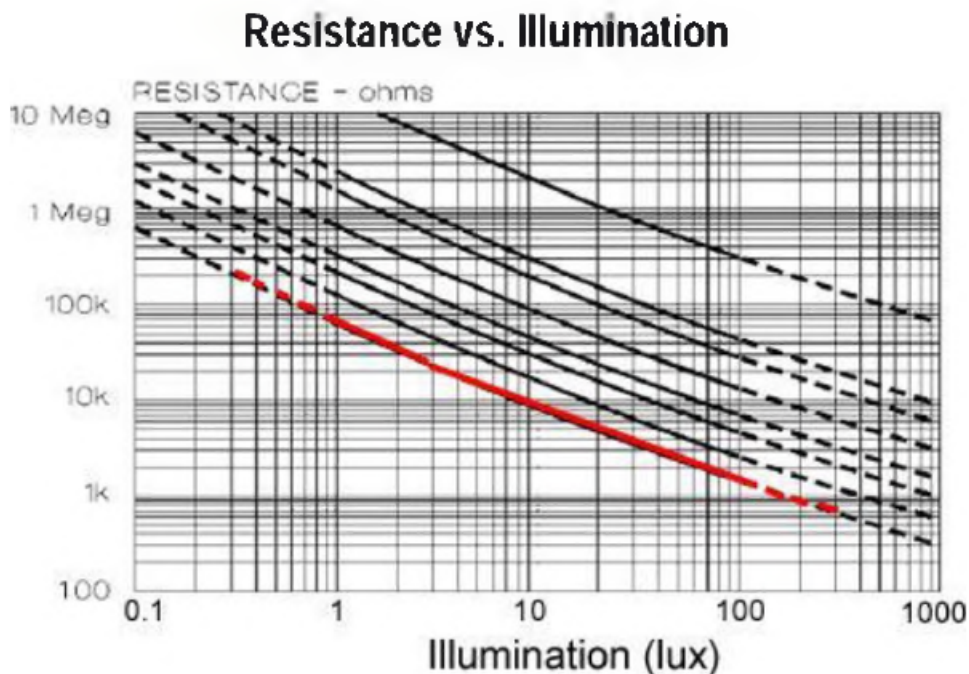


Рис. 2: Сопротивление фоторезистора в зависимости от уровня освещённости

Обратите внимание, что характеристика нелинейная, а имеет логарифмический характер.

В качестве примера уровней освещенности при различных условиях ниже приведена таблица 1.

Таблица 1: Уровни освещенности, воспринимаемые человеком

Освещение	Пример
0.002 лк	Безлунное чистое небо
0.2 лк	Необходимый минимум для экстренного освещения (AS2293)
0.27-1 лк	Чистое ночное небо при полной луне
3.4 лк	Граничный уровень освещённости под чистым небом
50 лк	Жилая комната
80 лк	Холл, туалет
100 лк	Очень пасмурный день
300-500 лк	Восход или закат в солнечный день. Хорошо освещённый офис
1000 лк	Вторая половина дня; освещение телевизионных студий
10000-25000 лк	Полдень (не прямые солнечные лучи)
32000-130000 лк	Прямые солнечные лучи

Фоторезисторы не воспринимают весь диапазон световых волн. В большинстве исполнений они чувствительны к световым волнам в диапазоне между 700 нм (красный) и 500 нм (зеленый) (см. рис. 3).

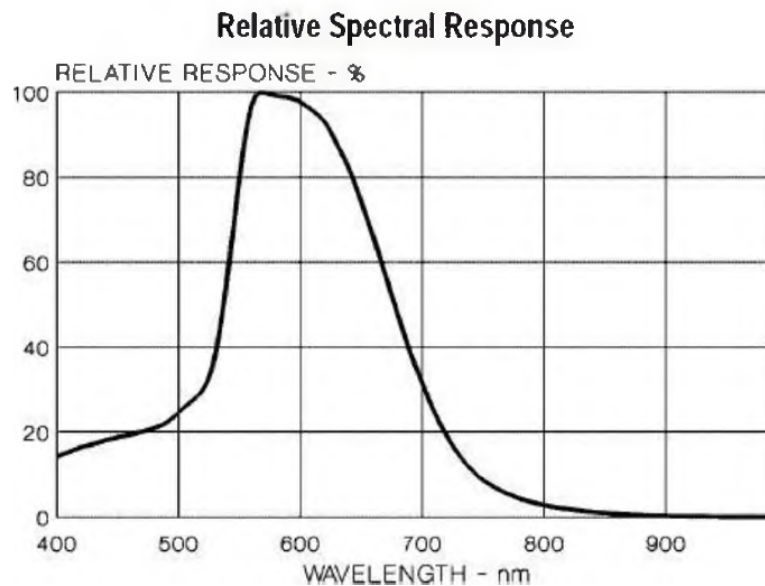


Рис. 3: Спектральная чувствительность фоторезистора

Фоторезистор включается в схему измерения, которая представляет собой делитель напряжения (рис. 4). Выходной сигнал снимается с нижнего плеча делителя, который представляет собой падение напряжения на фоторезисторе. Это напряжение можно измерить с помощью АЦП микроконтроллера.

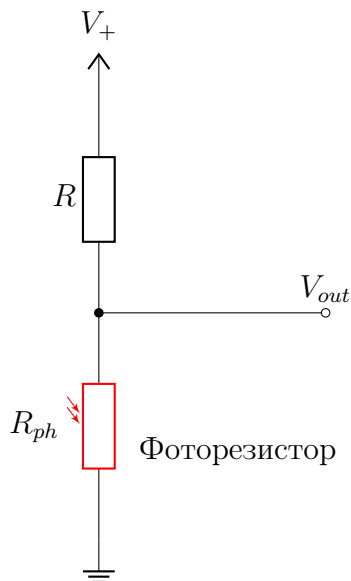


Рис. 4: Схема включения фоторезистора

Выходной сигнал схемы измерения - падение напряжения на фоторезисторе, вычисляется по следующей формуле:

$$V_{out} = V_+ \cdot \frac{R_{ph}}{R + R_{ph}},$$

где  $V_+$  - напряжение питания схемы (5В);

$R_{ph}$  - сопротивление фоторезистора при данном уровне освещённости;

$R$  - сопротивление верхнего плеча делителя напряжения,  $R = 1$  кОм;

Отсюда по известному падению напряжения  $V_+$  и резистора  $R$  можно найти сопротивление фоторезистора:

$$R_{ph} = R \cdot \frac{V_{out}}{V_+ - V_{out}}$$

Связь сопротивления фоторезистора  $R_{ph}$  с уровнем освещенности  $L$  можно аппроксимировать следующей формулой:

$$L = 531.21 \cdot R_{ph}^{-5/4}$$

## 1.2 Датчик Холла

Если через квадратную проводящую пластину пропустить постоянный ток, а саму пластину пронизать магнитным полем, чтобы линии индукции проходили через неё, то движущиеся по пластине электроны отклоняются силой Лоренца (рис. 5). Таким образом, с одного края электронов будет больше, чем с другой. Возникает разность потенциалов, то есть напряжение. И чем больше ток и сильнее поле, тем большая разность будет.

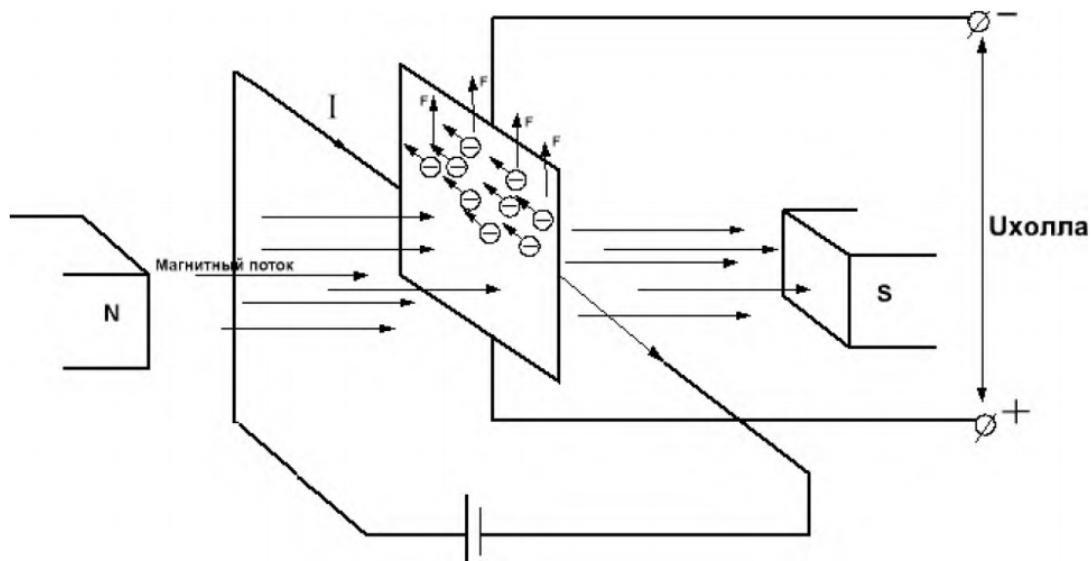


Рис. 5: Проявление эффекта Холла при протекании тока через тонкую пластину

Разновидности датчиков на эффекте Холла:

- **униполярные** (unipolar): низкое состояние выхода соответствует приложенному южному полюсу магнита, высокое - удалению магнита; на северный полюс датчики не реагируют;
- **биполярные** (bipolar): низкое состояние выхода соответствует приложенному южному полюсу магнита, высокое - северному полюсу; при удалении магнита состояние датчика не определено;
- **омниполярные** (latching): низкое состояние выхода соответствует приложенному южному полюсу магнита, высокое - северному полюсу; при удалении магнита состояние выхода не меняется, т.е. срабатывание датчика происходит только при смене полюсов.

В обучающем стенде представлен дискретный датчик магнитного поля на эффекте Холла. Сигнальный выход представляет из себя открытый коллектор, подтянутый резистором к питанию датчика (рис. 6).

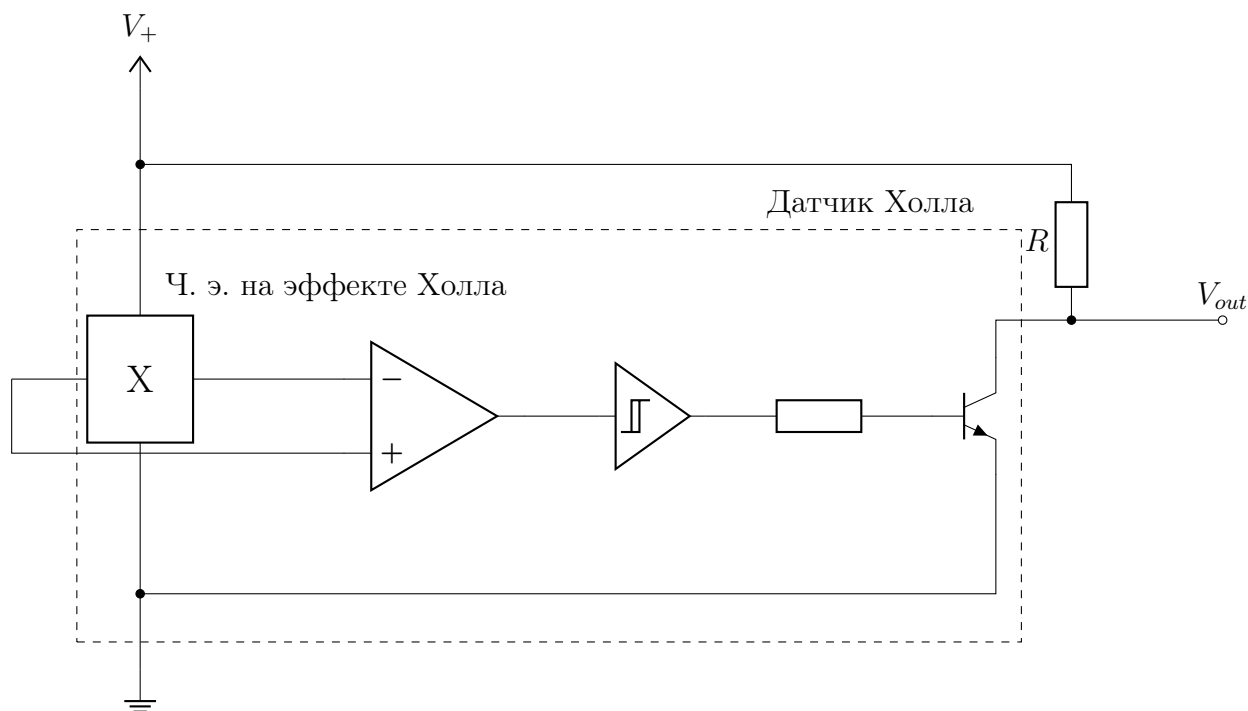


Рис. 6: Внутренне устройство датчика Холла и схема включения

Внутри микросхемы датчика сигнал с чувствительного элемента на эффекте Холла (генератор Холла) усиливается, далее через триггер Шмитта поступает на базу выходного транзистора, коллектор которого остается открытым. Схема подключения датчика включает в себя питание и подтягивающий резистор  $R$  на выход микросхемы датчика.

При поднесении к нему магнита нужной полярностью (правильной стороной) сигнальный вывод соединяется с общим проводом через p-p-n переход. Такие датчики как АЗ144 находят применение вместо морально устаревших герконов, в энкодерах, при измерении силы тока и в индикаторах вращения. Их можно применять как в релейной логике, просто подключив к выходу катушку электромагнитного реле, так и совместно с микроконтроллерами в качестве дискретного датчика холла.

## 2 Лабораторная работа

### 2.1 Цель работы

Знакомство со стендом: подключить модуль датчиков к модуля с микроконтроллером. Изучить основы работы с микроконтроллером, понятие простейшей периферии - порта и методики взаимодействия с ним. Изучить одну из разновидностей средств измерений - датчик. Овладеть знаниями о классификации датчиков. Определить, к какой группе датчиков следует относить датчик Холла и фоторезистор. Научиться получать правильные электрические показания с датчиков и преобразовывать в удобную для представления человека форму

2.2 Оборудование

Модуль датчиков. Модуль «Микроконтроллер ATMEGA32, компьютер/ноутбук.

2.3 Ход работы

2.3.1 Подключение

Подключите модуль "Микроконтроллер ATMEGA32 модуль "Модуль датчиков"к внешнему блоку питания (или у портам USB компьютера/ноутбука) с помощью кабеля USB. Выполните коммутацию модулей приборными проводами в соответствии с таблицей 3 и с рис. 7.

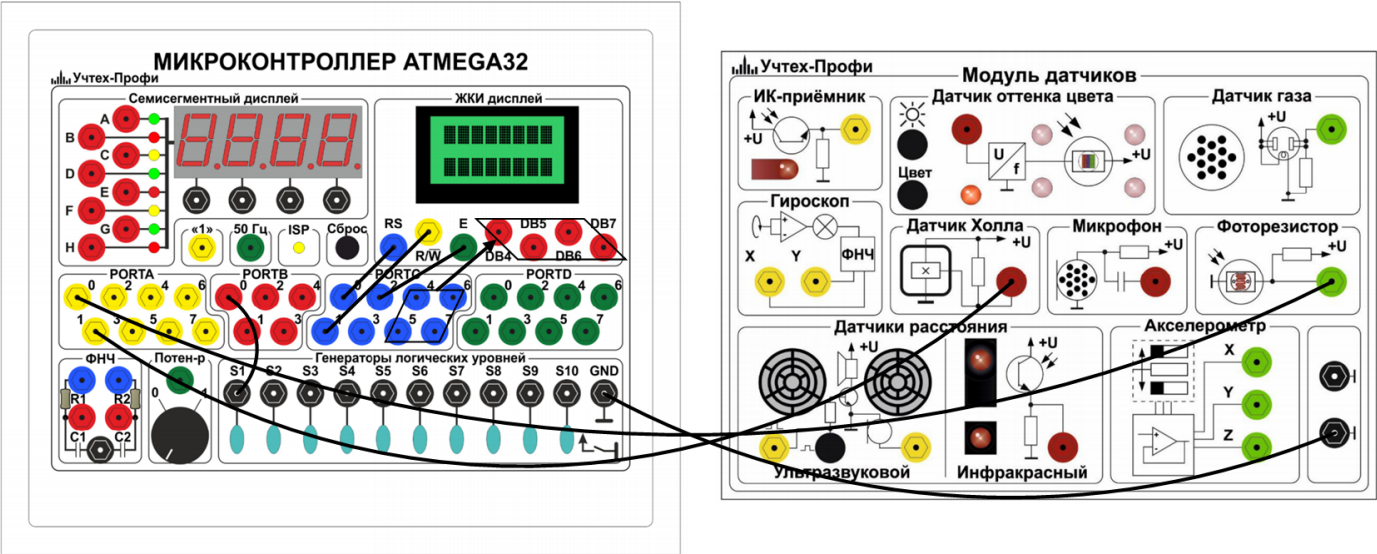


Рис. 7: Схема подключения модулей

Таблица 3: Коммутация модулей

Порт микроконтроллера ATMEGA32	Назначение
PORTD:0	ЖК-дисплей: RS
PORTD:1	ЖК-дисплей: R/W
PORTD:2	ЖК-дисплей: E
PORTD:4-7	ЖК-дисплей: DB4-DB7
PORTA:0	Фоторезистор
PORTA:1	Датчик Холла
PORTB:0	Генератор логических уровней: S1

2.3.2 Использование кода

Для проведения измерений в лабораторной работе необходимо загрузить программу в микроконтроллер ATMEGA32. В папке /src лежат файлы исходного кода программы. Заголовочные фай-

лы подключаемых модулей находятся `/include`. Основной выполняемый код находится в файле `/src/main.cpp`. Откройте его и проанализируйте код, который в нём содержится.

Запустите компиляцию и сборку прошивки нажав на кнопку "Build" на нижней панели VSCode. Затем загрузите файл прошивки в память микроконтроллера нажав на кнопку "Upload". После этого на ЖК-дисплее отобразятся измеряемые величины с подключённых датчиков. В случае с фоторезистором, на ЖК-дисплее будет отображено две строчки: сверху значение оцифрованное значение сигнала с фоторезистора 0-1023 ед., на нижней строчке будет отображено приблизительный уровень освещённости  $L$ , в [лк].

### 2.3.3 Работа с фоторезистором

1. Переключите тумблер S1 генератора логических уровней в начальное положение. Тумблером S1 выбирается датчик, фоторезистор или датчик Холла, с которого в данный момент снимаются измерения.
2. Используйте точечный источник света (например, светодиод телефона). Облучайте им фоторезистор и снимите несколько показаний оцифрованного напряжения с фоторезистора и уровня освещённости при различных расстояниях между источником света и фоторезистором. Используйте для этого линейку. Полученные значения для нескольких расстояний занесите в таблицу ниже. Проведите 5-10 измерений с различными расстояниями.

Таблица 5: Результаты измерений

Расстояние $H$ , мм	Значение АЦП	Напряжение $V_{out}$ <sup>1</sup>	Сопротивление $R_{ph}$ , кОм	Уровень освещённости $L$ , лк
5-10 измерений	-	-	-	-
-	-	-	-	-
-	-	-	-	-

3. По полученным данным постройте график зависимости  $L = f(H)$  уровня освещённости  $L$  от расстояния до источника света  $H$ .

### 2.3.4 Работа с датчиком Холла

1. Переключите тумблер S1 генератора логических уровней в крайнее положение. Таким образом выбираем датчик Холла в качестве источника измерений микроконтроллера.
2. Используя постоянный магнит проведите ряд измерения, поднося магниты обоими полюсами к датчика и фиксируя его показания. Определите максимальное расстояние, на котором датчик Холла срабатывает на постоянный магнит. Сделайте вывод о типе датчика по его реакции на полюса магнита (униполярный, биполярный, оминполярный).

<sup>1</sup>Разрядность АЦП микроконтроллера 10 бит, следовательно, диапазон значений АЦП 0..1023, где 1023 соответствует напряжению питания 5В.



## 2.4 Вопросы

1. Дайте определение фоторезистивному эффекту. Устройство и принцип работы фоторезистора.
2. Общая схема включения фоторезистора в измерительные схемы. Диапазон сопротивлений фоторезистора.
3. В чем заключается эффект Холла? Какие существуют типы датчиков на эффекте Холла?
4. Внутреннее устройство датчика Холла и схема его включения в измерительные схемы.