

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

А.И. Солдатов

Изучение преобразователей тока на основе датчика Холла и на основе резистивного шунта

Методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Измерительные преобразователи в робототехнических комплексах» для студентов направлений

15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Управление разработками робототехнических комплексов

Томск 2023

УДК 372.862

ББК 30

С 60

Рецензент:

**Костина М.А.**, доцент каф. управления инновациями ТУСУР,  
канд. техн. наук

**Солдатов, Алексей Иванович**

С 60 Изучение преобразователей тока на основе датчика Холла и на основе резистивного шунта: метод. указания по выполнению студентами лабораторных работ/ А.И. Солдатов. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 25 с.

Методические указания по выполнению студентами лабораторной работы «Изучение преобразователей тока на основе датчика Холла и на основе резистивного шунта» разработаны для студентов магистратуры, обучающихся по направлению подготовки 15.04.06 Мехатроника и робототехника.

Одобрено на заседании научно-методической комиссии ФИТ, протокол № 5 от 28.12.2022 г.

УДК 372.862

ББК 30

© Солдатов А.И., 2023

© Томск.гос. ун-т систем упр. и  
радиоэлектроники, 2023

## Оглавление

Цель .....	4
Задачи .....	4
Введение.....	4
Краткие теоретические сведения.....	5
Описание лабораторного стенда .....	12
Описание программного продукта Arduino IDE.....	15
Статистическая обработка данных.....	19
Программа работы .....	22
Содержание отчета.....	23
Контрольные вопросы .....	23
Литература .....	25

## **Лабораторная работа.**

### **Изучение преобразователей тока на основе датчика Холла и на основе резистивного шунта**

#### **Цель**

Изучение принципов получения информации о протекающем токе в нагрузке.

#### **Задачи**

Изучить принцип работы датчика тока на эффекте Холла. Изучить принцип работы датчика тока на основе резистивного шунта. Изучить характеристику преобразования датчика Холла. Определить чувствительность и разрешающую способность датчика Холла. Определить погрешность преобразователя на основе эффекта Холла

**Оборудование:** лабораторный стенд, персональный компьютер с программным продуктом Arduino IDE

#### **Введение**

Для осуществления мониторинга силовых цепей и ее диагностики в робототехнических устройствах и систем применяют различные типы датчиков тока. Существуют следующие типы:

- резистивные датчики (токовый шунт);
- датчики тока, основанные на эффекте Холла;
- трансформаторы тока;
- волоконно-оптические датчики тока, основанные на эффекте Фарадея;
- пояс Роговского.

Специфика работы каждого датчика определяет области их применения. Основными особенностями датчиков является: гальваническая связь у резистивных датчиков тока, не возможность измерения постоянного тока у

трансформаторного типа датчика тока, а также у пояса Роговского. Наибольшее применение получили датчики тока резистивного типа и на эффекте Холла. Резистивные обладают простотой конструкции и применения, а также как и датчики тока на эффекте Холла способны измерять и постоянный и переменный токи с высокой точностью и высокой разрешающей способностью. В таблице 1 приведены основные характеристики данных типов датчиков тока.

Таблица 1. Сравнительные характеристики основных типов датчиков тока.

Датчик	Ток	Диапазон измерения, А	Гальваническая развязка	Частотный диапазон	Погрешность, %	Относительная стоимость
Резистор	постоянный	<20	-		<1	низкая
	переменный			500 кГц		
Холла	Пост./перемен.	<1000	+	200 кГц	<10	высокая

Область применения:

- электродвигатели с регулируемой скоростью вращения;
- системы автомобильной электроники;
- защита от замыкания на землю;
- системы защиты от перегрузки и мониторинга двигателей;
- мониторинг токовой системы электросварочного оборудования;
- защита силовых полупроводников;
- системы диагностики.

### Краткие теоретические сведения

Преобразователи тока – устройства, при помощи которых преобразовывают энергию источника электрического тока одного вида в другой.

#### 1.1 Резистивные датчики

Измерительным элементом является сопротивление, подключаемое в измеряемую цепь, имеет название токовый шунт. Способно измерять напряжение в низковольтных цепях постоянного и переменного тока. Самый распространённый способ измерения тока в цепи. Единственный недостаток — это гальваническая связь с измеряемой цепью.

Токовый шунт включают в разрыв фазного провода. Наиболее популярными являются без выводных резисторов для поверхностного монтажа как показано на рисунке 1, с номиналами от 0,01 до 1 Ом, номинальной мощностью не более 5 Вт и допуском  $\pm 0,5\%$  и  $\pm 1\%$ . Подключаются в измерительную цепь с током до 5 А. Для измерения больших токов используют сопротивления номиналом от 0,00025 до 0,01 Ом. Сопротивление, мощность и ТКС выбирают таким, чтобы при эксплуатации изменение сопротивления из-за разогрева не превышал 0,1%.

Падение напряжения на шунте пропорционально протекающему току через шунтирующий резистор. По закону Ома можно рассчитать падение напряжения на резисторе:

$$U = I * R$$

Падение напряжения на измерительном резисторе приведет к потерям мощности, выделяемым в теплоту.

Рассеиваемая мощность резистора рассчитывается по формуле:

$$P = I^2 * R$$

где  $I$  – ток, протекающий в цепи,  $R$  – сопротивление измерительного резистора (шунта).

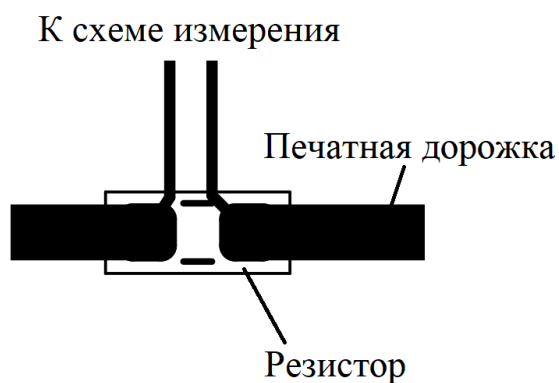


Рис. 1 Посадочное место токоизмерительного резистора на плате.

Для высокоточных измерений существуют резисторы с четырьмя выводами, два из которых токовые, а два потенциальные собранные по схеме Кельвина.

Падение напряжение на измерительном резисторе обычно составляет десятки или даже единицы сотен мВ. Для фиксации низкого напряжение необходимо усилить его, например с помощью операционного усилителя, как показано на рисунке 2. Коэффициент усиления в среднем от 20 до 40.

Для усиления однополярного сигнала, можно использовать источник питания для операционного усилителя с однополярным питанием, а для усиления разнополярного сигнала, например переменного тока, необходим источник питания с разнополярным питанием соединённые в средней точке.

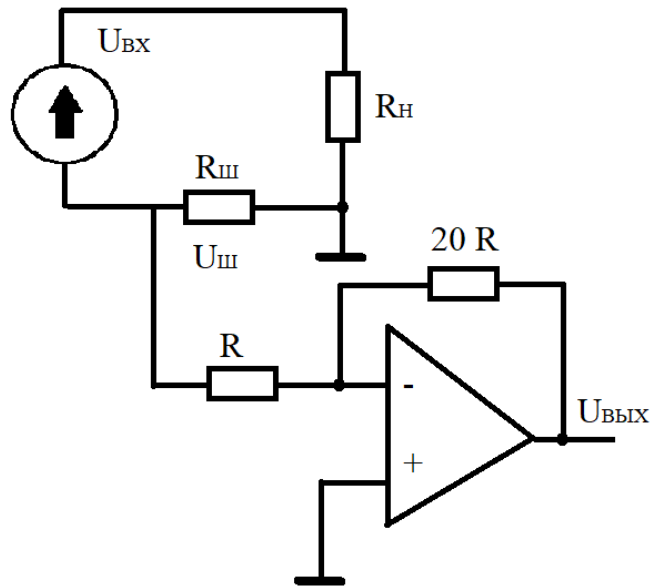


Рис.2 Схема усиления на операционном усилителе с однополярным питанием.

## 1.2 Датчики Холла.

Эффект Холла — это возникновение в электрическом проводнике разности потенциалов (напряжения Холла) на краях образца, помещённого в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярного полю. Эффект был обнаружен Эдвидом Холлом в плоских пластинках золота, когда ученый обнаружил на их краях образовавшуюся разность потенциалов, в 1879 году и получил его имя.

*Физическая природа эффекта Холла.* При подключении напряжения к электрическому проводнику, по проводнику потечет ток. Скорость  $v$  движения электронов по проводнику, называется скоростью дрейфа. При воздействии на проводник магнитного поля сила Лоренца будет воздействовать на электроны. Которые начнут притягиваться к сторонам, расположенным перпендикулярно протекающему току.



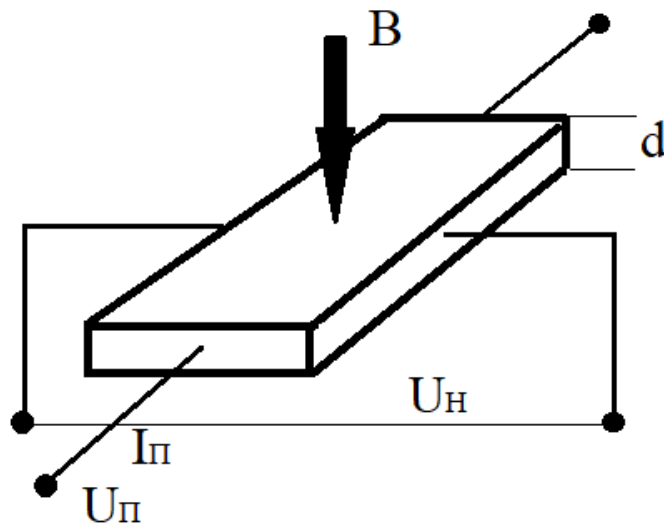


Рис.3 Эффект Холла

$U_{\text{п}}$ ,  $I_{\text{п}}$  – приложенное напряжение и ток от источника питания,  $B$  – магнитная индукция образованная протекающим током, который необходимо измерить,  $d$  – толщина проводника или полупроводника,  $U_{\text{н}}$  – выходное напряжение.

Вы можете представить это как разделение зарядов сходное с разделением зарядов в конденсаторе. На противоположных сторонах будут находиться электроны с положительным и отрицательным зарядом, образуя таким образом электрическое поле. Создаваемое зарядами электрическое поле будет воздействовать на электроны силой Лоренца. Разделение зарядов может закончиться если эти две силы будут одинаковыми.

На сторонах с разделенными зарядами можно снимать напряжение, по аналогии как с конденсатора. Это напряжение будет являться напряжением Холла, линейно возрастающим с увеличением магнитного поля, и убывающим плотности носителей заряда.

*Вычисление напряжения Холла.* Для того чтобы понять, как появляется напряжения Холла, необходимо разобраться с векторными исчислениями.

Ниже будет представлены расчеты напряжения возникновения эффекта Холла для металлических образцов, только для одного типа носителей зарядов.

Действующая на проводник тока в постоянном магнитном поле сила Лоренца имеет вид:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

Где, сила Лоренца  $F$ ,  $q$  — электрический заряд,  $v$  — скорость и магнитное поле  $B$ . В эффекте Холла возникает электрическое поле  $E$ , которое нейтрализует отклоняющую силу магнитного поля. Поэтому:

$$q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = 0$$

Для упрощения зададим систему координат так, чтобы носители заряда двигались в направлении  $x$ , а магнитное поле действовало в направлении  $z$ . Это дает  $v = (v_x, 0, 0)$  и  $B = (0, 0, B_z)$ . После деления на  $q$  получается  $y$ -компонента:

$$E_y - v_x B_z = 0$$

Плотность тока  $J$  в проводнике выражается через  $J = n \cdot q \cdot v$ , при плотности носителей заряда  $n$ . Если преобразовать это уравнение в  $v_x$  и подставить его в вышеприведенное уравнение, то получится:

$$E_y = j_x \cdot B_z \cdot (1 / n \cdot q) = A_H \cdot j_x \cdot B_z .$$

Мы определили коэффициента Холла  $A_H$ , которая характеризует силу эффекта Холла.

Поскольку разделение зарядов в проводнике, на который действует магнитное поле аналогично разделению зарядов в конденсаторе, для упрощения используем следующее обозначение:

$$E_y = U_H / b$$

Плотность тока выраженная через  $j_x = I / b \cdot d$ , где  $I$  — сила тока,  $b$  — ширина проводника и  $d$  — толщина проводника. Объединяя последние два выражения получаем напряжение Холла:

$$U_H = A_H * (I * B_z / d)$$

*Расчёт коэффициента Холла.* В качестве примера возьмем медную пластину с шириной 0,021 м, толщиной 0,0013 м). Она вносится в магнитное поле с плотностью магнитного потока  $B = 0,9$  Тл. Если через пластину протекает электрический ток в 8 А, то можно измерить напряжение Холла  $U_H = - 0,84 * 10^{-6}$  В.

Если взять приведенную выше формулу и преобразовать ее в  $A_H$ , то получится:  $A_H = U_H * d / I * B$ .

Подставляя значения, можно вычислить коэффициент Холла, то есть:  $A_H = - 0,84 * 10^{-6} * 0,0013 / 8 * 0,9 = - 15,2 * 10^{-11}$  мм<sup>3</sup> / Кл

Знак минус говорит о том, что носителями зарядов являются электроны, а не дырки.

*Применение эффекта Холла.* Эффект Холла нашел применение в датчиках для измерения магнитных полей. Зная коэффициент Холла для материала, использующегося в датчике и зная силу тока, проходящего по проводнику, рассчитывается напряжение Холла, образованное измеряемым магнитным полем.

Эффект Холла можно использовать для расчета плотности носителей зарядов. Из уравнения можно выразить плотность носителей заряда зная коэффициент Холла для измеряемого материала.

Датчики тока на эффекте Холла способны измерять токи постоянного, переменного и импульсных токов. Конструкции датчиков разделяется на датчики с открыто и закрытой петлей. Датчики тока с закрытой петлей еще называются датчиками компенсационного типа. Имеют надежную электрическую изоляцию и широкий частотный диапазон, а также не выделяют тепло.

Датчик тока на эффекте Холла, представляет из себя кольцо, через которое пропущен один из проводников тока, измерить силу проходящего тока по проводнику и сравнить ее с расчетной. В качестве нагрузки для протекания

тока по проводнику используются лампы накаливания по 95 Вт, включенные параллельно. Включив несколько ламп одновременно, увеличивается потребляемая мощность и соответственно протекающий по проводнику ток. Зная сколько ламп включено, можно рассчитать протекающий ток и сравнить с измеренным датчиком тока.

Материалы проводника, применяемые для изготовления датчиков тока на эффекте Холла, германий и кремний. Для улучшения характеристик проводника в эти элементы добавляют мышьяк или фосфорную сурьму, таким образом легируют их. Легирование придает им нужные физические свойства способные снизить зависимость показаний от влияния внешних факторов, таких как температура.

### **Описание лабораторного стенда**

Лабораторный стенд представляет из себя макетную плату на платформе Arduino Mega 2560, к которой подсоединен датчик тока по схеме, приведенной на рисунке 4. Датчик тока располагается на одном из проводников тока, подключенного с одной стороны к промышленной сети переменного тока напряжением 230 В, а с другой стороны к нагрузке. В качестве нагрузки выступают лампы накаливания мощностью 95 Вт, подключенные параллельно 3 штуки. Включая лампы вместе можно регулировать проходящий по проводнику ток.

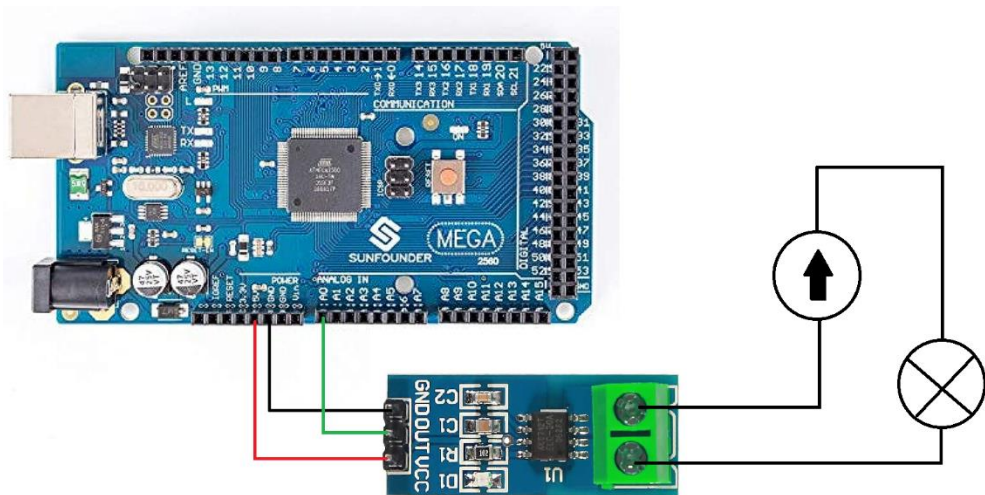


Рис.4. Подключение датчика тока ACS712 к Arduino Mega 2560.

Arduino Mega 2560 – на платформе Arduino расположен микроконтроллер фирмы Atmel серии ATmega2560, это 8-битный микроконтроллер. Память микроконтроллера предоставлено для Flash – 256 КБ, оперативная память SRAM – 8 КБ, для хранения данных 4 КБ энергонезависимой памяти EEPROM. Максимальная тактовая частота 16 МГц. На платформе Arduino расположено 54 цифровых входа -выхода, 15 из них могут работать в режиме ШИМ. 16 аналоговых входов с разрядностью оцифровки в 10 бит.

На платформе Arduino Mega 2560, так же присутствует микроконтроллер фирмы Atmel серии ATmega16. Предназначен для обеспечения связи с ЭВМ. Определяется в системе Windows как виртуальный COM Port и служит для передачи данных.



Рис.5 – Внешний вид Arduino Mega

Датчик тока ACS712 имеет три вывода. Два из них подключены к питанию макетной платы на платформе Arduino Mega 2560, а третий контакт является измерительным и подключается к аналоговому выходу макетной платы. На этом выводе появляется уровень аналогового напряжения пропорциональный протекающему через датчик току. Измерительный выход датчика тока пропорционален току в проводнике, выходной линейный сигнал точно воспроизводит форму измеряемого тока.

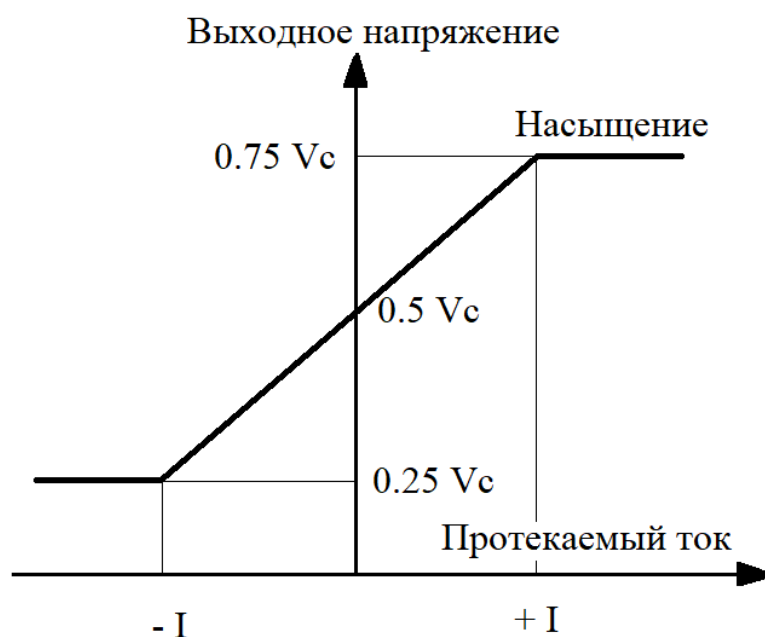


Рис. 6 Диаграмма выходного напряжения от протекающего тока

Для оцифровки аналогового сигнала в микроконтроллере предусмотрен модуль Аналого-цифрового преобразования (АЦП), который способен оцифровать аналоговый сигнал и передать его значение в цифровом виде. Датчик дает оценку величины магнитного поля, создаваемого протекающим током, но не сам ток. Датчики тока, основанные на эффекте Холла, имеют зависимость выходного напряжения от температуры. Типовые датчики тока имеют величину температурного коэффициента сдвига напряжения до  $\pm 5\%/^{\circ}\text{C}$

Пример программы для оцифровки аналогового сигнала приведен ниже:

```
#define SENSOR A0
float result;
```

```

int readValue;

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

void loop()
{
    readValue = analogRead(SENSOR);
    result = (readValue * 5) / 1023.0;
    Serial.print("I = ");
    Serial.print(result);
    Serial.println(" A");
}

```

Программу необходимо загрузить в макетную плату на платформе Arduino Mega 2560. Предварительно необходимо установить программное обеспечение Arduino IDE, распространяющееся на безвозмездной основе. Скачать ПО, можно на официальном сайте [Arduino.cc](http://Arduino.cc)

Модуль аналого-цифрового преобразования платформы Arduino Mega 2560, преобразует напряжение на входе с вывода A0 из диапазона от 0 до 5 В в цифровой код разрядностью 10 бит в диапазон значений от 0 до 1023. Считывание аналогового сигнала и перевод в цифровой код происходит в бесконечном цикле, в этом же цикле реализована передача данных на персональный компьютер через виртуальный COM Port со скоростью 9600 бод в секунду. Время между измерениями АЦП составляет примерно 500 мкс.

Полученные значения с аналогового входа передаются на ЭВМ для дальнейшей обработки. Так как данные

## **Описание программного продукта Arduino IDE**

Работа в программе Arduino IDE, интегрированной среде разработки (IDE) для программирования платформы Arduino, обычно включает в себя следующие шаги:

1. Подключите Arduino-плату к компьютеру через USB-порт.
2. Для создания нового проекта откройте Arduino IDE.

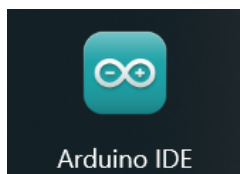


Рис. 7 – Пиктограмма программы Arduino IDE

3. Создайте новый файл проекта, выбрав пункт «File» -> «New» в верхнем меню.

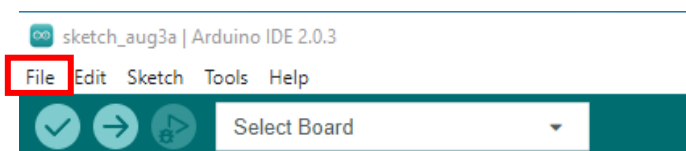


Рис. 8 – Вкладка «File» программы Arduino IDE

4. Откроется окно с основной структурой вашей программы.

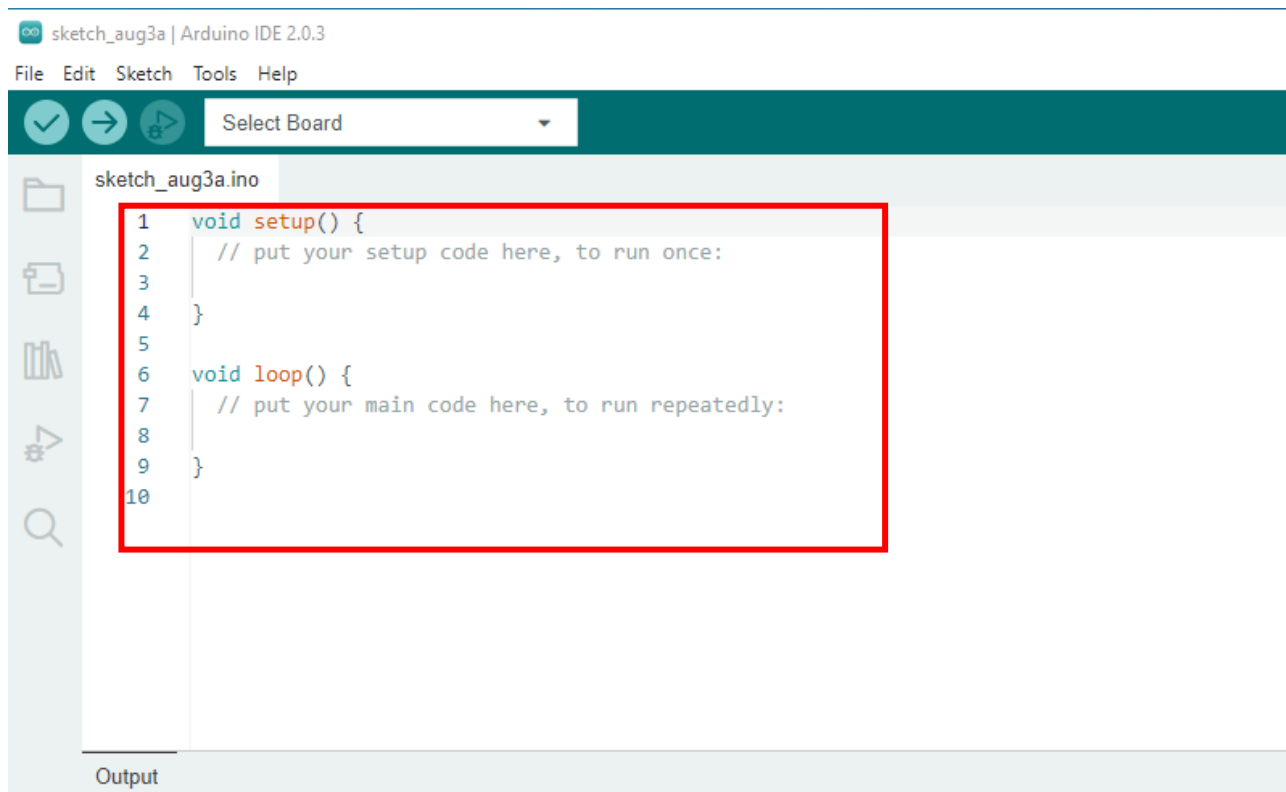


Рис. 9 – Окно редактора Arduino IDE



5. Напишите код вашей программы в окне редактора Arduino IDE, используя вышеуказанные функции, команды и конструкции языка C/C++.

Используйте встроенные библиотеки Arduino, чтобы расширить возможности вашей программы. Интересующие библиотеки можно найти в разделе «Library Manager» в Arduino IDE (пункт «Sketch» -> «Include Library» или на панели слева).

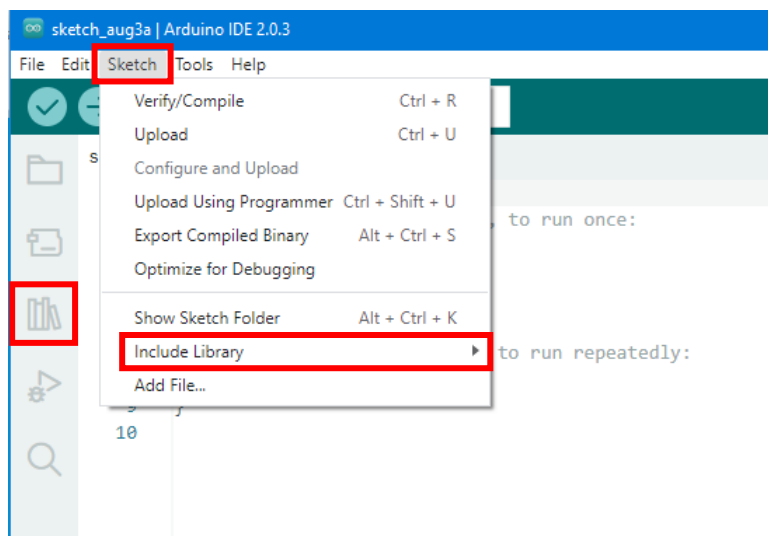


Рис. 10 – Вкладка «Sketch» для выбора встроенных библиотек Arduino

6. Проверьте синтаксис вашего кода, нажав кнопку «Verify» (галочка) в верхней панели Arduino IDE.

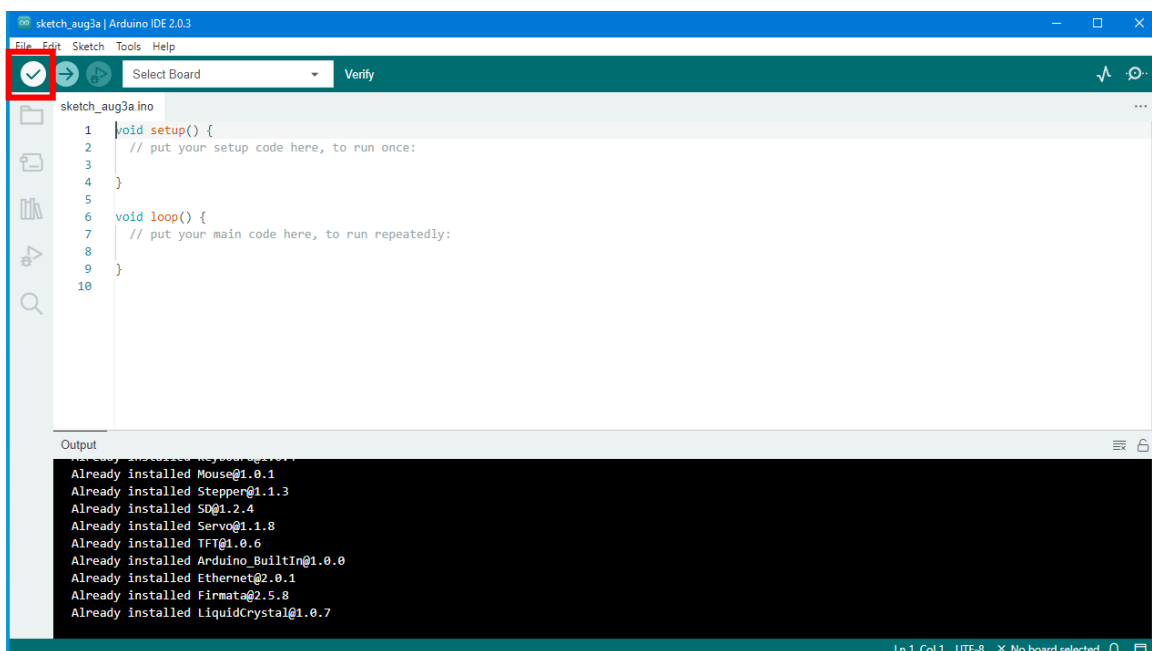


Рис. 11 – Кнопка «Verify» программы Arduino IDE

Если нет ошибок, ваш код будет успешно скомпилирован в машинный код, готовый для загрузки на Arduino-плату.

7. Убедитесь, что выбрана правильная плата и порт коммуникации в меню «Tools».

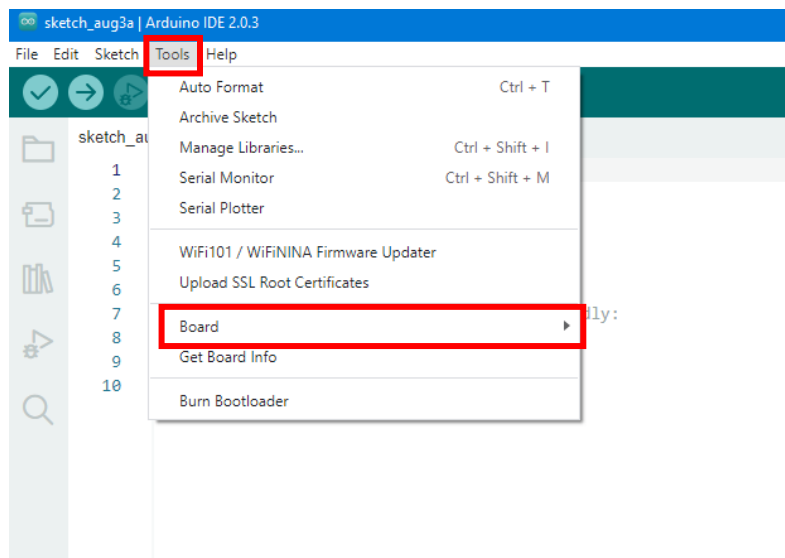


Рис. 12 – Вкладка «Tools» для выбора платы

8. Нажмите кнопку «Upload» (стрелка вниз) в верхней панели Arduino IDE, чтобы загрузить скомпилированный код на Arduino.

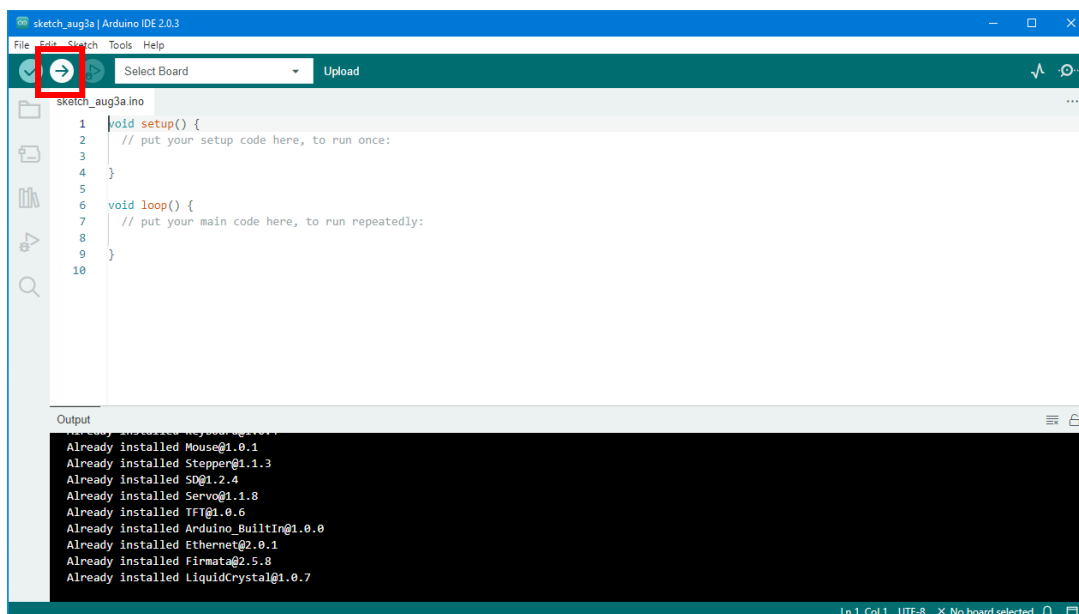


Рис. 13 – Кнопка «Upload» программы Arduino IDE

Плата будет перезагружена и начнет выполнять Вашу программу.

9. Откройте монитор порта, выбрав пункт «Tools» -> «Serial Monitor» в верхнем меню или плоттер по последовательному соединению, выбрав пункт «Serial Plotter».

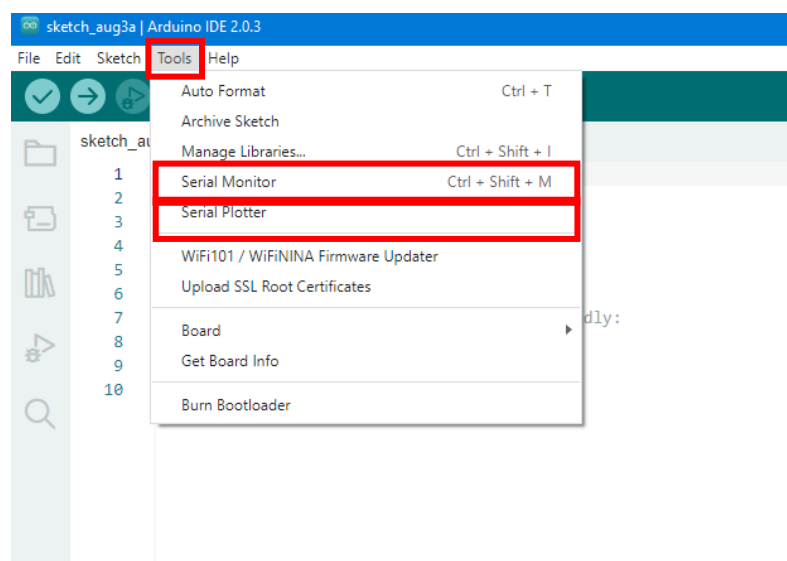


Рис. 14 – Вкладка «Tools» для выбора просмотра полученных данных

В мониторе порта вы сможете просматривать числовые данные, выводимые вашей программой, а в плоттере по последовательному соединению данные отображаются в графическом виде.

Arduino IDE также предлагает другие функции, такие как создание библиотек, сохранение и управление проектами, использование дополнительных инструментов шага за шагом для отладки и т.д.

### **Статистическая обработка данных**

Обработка экспериментальных данных необходима обобщения получаемых данных и выявления скрытых закономерностей. Данные получаемые с модуля АЦП микроконтроллера не используются в «сыром» виде. Данные с АЦП необходимо с начала обработать, есть стандартные методы обработки, включающие в себя накопление необходимого количества данных, нахождение математического ожидания случайной величины, среднее арифметическое значение, среднеквадратическое отклонение, нахождение дисперсии, определение разброса выборки. Оценка этих величин покажет на

сколько накопленные данные различаются между собой, соответственно можно судить о типичности накопленных данных.

Математическое ожидание — в теории вероятности одно из важнейших понятий, определяющее среднее значение выборки случайных величин. Применяется на практике вычислением среднего арифметического накопленных значений аналоговых данных

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}.$$

Среднеквадратическое отклонение — показатель разброса накопленных аналоговых значений относительно рассчитанного математического ожидания. Обозначается греческой буквой  $\sigma$  (сигма). Среднеквадратическое отклонение рассчитывается как квадратный корень из дисперсии случайной величины:

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

Правило 3 сигм. Вероятность того, что случайная величина отклонится от своего математического ожидания более чем на три среднеквадратических отклонения, практически равна нулю. Правило можно применить только для аналоговых значений, распределенных по нормальному закону.

Дисперсия равна разности среднего арифметического квадратов всех аналоговых значений и квадрата среднего самих этих значений:

$$D = \overline{x^2} - \bar{x}^2.$$

Чем меньше расчетные значения дисперсии и стандартного отклонения, тем меньше вариация, тем большее количество аналоговых значений находится вблизи выборочного среднего значения.

Разброс (размахом) аналоговых значений обозначается буквой  $R$ . Рассчитывается как разность между максимальным и минимальным значениями накопленных аналоговых данных:

$$R = X_{\max} - X_{\min}.$$

Не стабильность измеряемого параметра при измерении аналогового значения может привести к большому размаху накопленных данных, что приведет к увеличению расчётного параметра  $R$ .

Отношение стандартного отклонения к среднему, выраженное в процентах, называется коэффициентом вариации:

$$V = \frac{\sigma}{x_B} \times 100\%.$$

Коэффициент вариации способен помочь оценить на сколько разнообразны накопленные аналоговые данные. И на сколько типичны среднее значение накопленных данных

- при  $V < 10\%$  значения данные находятся близко друг к другу, а значит разнообразие слабое;
- при  $V = 10\text{--}20\%$  — разнообразие среднее;
- при  $V > 20\%$  — разнообразие сильное.

Сильно разбросанные значения накопленных аналоговых данных говорит об ошибочности проведенного эксперимента и такие данные использовать дальше нельзя. Необходимо провести эксперимент еще раз или изменить условия проведения эксперимента.

В качестве примера рассмотрим выборку из 10 измерений. В результате 10 независимых измерений получены экспериментальные данные, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Результаты 10 независимых измерений

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
7,1	6,3	6,2	5,8	7,7	6,8	6,7	5,9	5,7	5,1

Находим среднее значение:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{7,1+6,3+6,2+5,8+7,7+6,8+6,7+5,9+5,7+5,1}{10} = 6,33.$$

Находим дисперсию

$$D = \overline{x^2} - \bar{x}^2 = 40,591 - 6,33^2 = 0,5221.$$

Среднее арифметическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{0,5221} = 0,7226.$$

Коэффициент вариации

$$V = 11,4\%.$$

Коэффициент вариации получился больше 10 %, но меньше 20 %, это говорит о среднем разнообразии накопленных аналоговых данных. По этим данным можно рассчитывать математическое ожидание и использовать эти данные.

## Программа работы

Используя датчик тока на эффекте Холла, представляющий из себя кольцо, через которое пропущен один из проводников тока, измерить силу проходящего тока по проводнику и сравнить ее с расчетной. В качестве нагрузки для протекания тока по проводнику используются три лампы накаливания: 95 Вт, 60 Вт и 45 Вт, включенные параллельно. Включив несколько ламп одновременно, увеличивается потребляемая мощность и соответственно протекающий по проводнику ток. Зная сколько ламп включено, можно рассчитать протекающий ток и сравнить с измеренным датчиком тока.

Повторить эксперимент три раза, провести статистическую обработку накопленных данных. Рассчитать:

- математическое ожидание;

- среднее арифметическое значение;
- среднеквадратическое отклонение;
- найти дисперсию;
- определить разброс выборки.

### **Содержание отчета**

- Цель лабораторной работы;
- Методы измерения;
- Структурная схема прибора и описание по ней принципа работы прибора;
- Расчетные и экспериментальные зависимости;
- Получить аппроксимирующее уравнение для полученных графиков;
- Выводы по проделанной работе;
- Ответы на контрольные вопросы;

### **Контрольные вопросы**

1. Опишите физический смысл эффекта Холла?
2. В чем различие между токовыми электродами и электродами Холла?
3. Почему на боковых гранях проводника с током в поперечном магнитном поле появляются электрические заряды?
4. Какова природа электрического поля в образце?
5. Запишите условие равновесия для электрической и магнитной составляющих силы Лоренца.
6. Как постоянная Холла зависит от проводимости дырок и электронов в случае слабых полей?
7. Как зависит постоянная Холла от способа изготовления пластинки из поликристаллического образца?
8. Для каких материалов характерен эффект Холла?
9. Почему знак постоянной Холла совпадает со знаком носителей заряда?

### **Определение разрешающей способности датчика**

Определение разрешающей способности датчика зависит от типа датчика и его параметров, включая диапазон измерения и точность.

Разрешающая способность датчика определяется по формуле 10:

$$p_a = p_{max} / (2^n - 1), \quad (3)$$

где  $p_a$  - разрешающая способность датчика,  $p_{max}$  - максимальное значение тока, измеряемого датчиком, а  $n$  - количество битов (разрядность) АЦП (аналого-цифрового преобразователя), используемого для преобразования аналогового сигнала датчика в цифровой вид.

Однако, стоит учесть, что разрешающая способность датчика может быть ограничена шумом и другими нежелательными факторами, такими как нелинейность, дрейф и шум усиления. Поэтому, чтобы получить точные результаты измерений, необходимо учитывать не только разрешающую способность датчика, но и другие параметры, в том числе частоту дискретизации, уровень шума и допустимую ошибку измерения.

### **Определение чувствительности датчика**

Чувствительность датчика — это отношение изменения выходного сигнала датчика к изменению усилия нажатия, действующего на датчик.

Чувствительность датчика определяется по формуле 11:

$$S = (V_2 - V_1) / (P_2 - P_1), \quad (4)$$

где  $S$  - чувствительность датчика,  $V_2$  и  $V_1$  - выходные значения датчика при двух различных токах  $P_2$  и  $P_1$  соответственно.

Чувствительность датчика зависит от его конструкции, свойств материалов и используемых технологий. Обычно, чувствительность датчиков давления указывается в технической спецификации датчика, или может быть определена экспериментально при использовании датчика в определенных условиях эксплуатации.



## Литература

1. Данилов А. Современные промышленные датчики тока / А. Данилов // Современная электроника. – 2004. – октябрь. С.26–35.  
Волович Г. Интегральные датчики Холла [Электронный ресурс] / Г. Волович // НПФ Электропривод. – Режим доступа: [www.gearmotor.ru/holl.htm](http://www.gearmotor.ru/holl.htm). – Загл. с экрана.
2. Клименко, К. А. Сравнительный анализ современных датчиков тока / К. А. Клименко. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2011. — № 8 (31). — Т. 1. — С. 66-68. — URL: <https://moluch.ru/archive/31/3552/> (дата обращения: 22.08.2022).