

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АБСОЛЮТНЫХ ЭНКОДЕРОВ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Шлейко Т.А., студент, e-mail: [timurslejko@gmail.com](mailto:timurslejko@gmail.com)

2024

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Ключевые слова: энкодеры, эффект Холла, промышленность, обратная связь.

Аннотация: в статье рассказано об физических основах работы абсолютных энкодеров на эффекте Холла. Показана типичная схема устройства типового модуля энкодера на основе эффекта Холла. Показана роль энкодеров в создании системы обратной связи для промышленного оборудования.

Развитие современных технологий автоматизации производства требует также развития средств контроля положения частей оборудования. В промышленных манипуляторах для решения прямой и обратной задач кинематики необходимо знать угол поворота валов двигателей. Для определения угла поворота используются энкодеры. В процессе их применения выделились основные виды: ёмкостные, магнитные и оптические. Ёмкостные энкодеры основаны на изменении ёмкости переменного конденсатора при повороте вала, оптические выдают информацию в виде количества делений, через которые смог пройти сигнал от источника светового сигнала до фототранзистора.

Подвидом магнитных энкодеров является энкодер на основе эффекта Холла. Принцип работы данного типа энкодеров основан на изменении магнитного поля, создаваемого постоянным магнитом. Данные энкодеры по принципу действия являются абсолютными, т.е. при подаче питания они сразу могут определять положения вала двигателя, но при этом они являются однооборотными и для подсчёта количества оборотов необходимо использовать в конструкции дополнительные датчики.

Основными преимуществами магнитных энкодеров являются высокая устойчивость к влиянию внешней среды, простота и надёжность конструкции, высокое разрешение и точность измерения.

В данной статье описано создание прототипа промышленного манипулятора, в котором реализована обратная связь с использованием энкодеров на основе эффекта Холла. В качестве примера для изучения устройства энкодеров на эффекте Холла была выбрана микросхема AS5600. Данная микросхема представлена модулем, который включает необходимую обвязку

для работы микросхемы и передачи данных измерений по интерфейсу I2C. Внешний вид модуля представлен на рисунке 1.

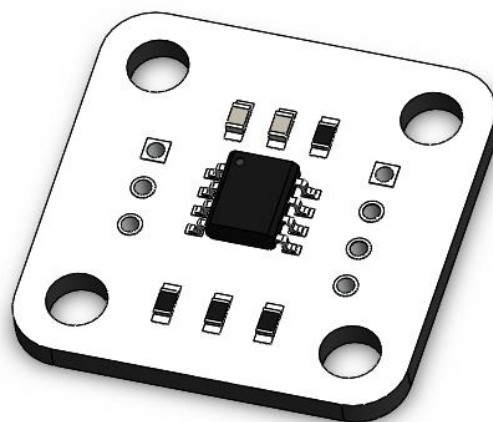


Рисунок 1 – 3Д модель модуля микросхемы AS5600

Для понимания принципов работы энкодеров на основе датчика Холла необходимо изучить внутреннее строение подобных микросхем. На рисунке 2 приведена схема внутреннего устройства микросхемы AS5600. Основным узлом микросхемы является датчик Холла, который при попадании в постоянное магнитное поле подаёт сигнал на аналоговый усилитель, т.к. выдаваемое напряжение Холла является слишком малой величиной и требует усиления. После этого усиленный сигнал идёт на вход Аналого-цифрового преобразователя (АЦП).



Рисунок 2 – Схема внутреннего устройства AS5600

В основе работы датчика Холла лежит эффект Холла. Эффект Холла был открыт американским физиком Эдвином Холлом в 1879 году, который представляет из себя возникновение разности потенциалов (напряжения Холла) на краях проводника, находящегося в поперечном магнитном поле, при протекании тока, перпендикулярного полю. При воздействии перпендикулярного магнитного поля на проводник возникает сила Лоренца, под действием которой заряженные частицы начинают отклоняться и создавать разность потенциалов на краю проводника. В зависимости от положения магнита относительно микросхемы идёт изменение направления силы

Лоренца, степени отклонения частиц в проводнике и, соответственно, напряжения Холла. Значение модуля напряжения Холла, которое возникает в проводнике (или полупроводнике) через который протекает ток  $I$  и помещённого в магнитное поле с индукцией  $B$ , находится по формуле (1):

$$U = R \frac{IB}{d}, \quad (1)$$

где  $U$  – значения напряжения Холла,  $I$  – сила тока, протекающего через проводник,  $B$  – индукция магнитного поля,  $R$  – постоянная Холла, которая для металлов и полупроводников  $n$ -типа  $R < 0$ , а для полупроводников  $p$ -типа  $R > 0$ .

Современные датчики Холла изготавливаются на основе полупроводников, которые в зависимости от требуемого режима работы датчика могут быть  $n$ -типа или  $p$ -типа и которые обладают электронной или дырочной проводимостью соответственно. Так как в полупроводниках плотность носителей заряда значительно меньше чем в металлах, поэтому значения напряжения Холла, которое возникает в полупроводниках, значительно меньше чем в металлах. Основными причинами использования полупроводников для изготовления датчиков Холла являются дешевизна производства полупроводниковых пластин, а также то, что в проводниках  $p$ -типа эффект Холла проявляется более явно и при этом имеет более низкий уровень шума при измерении. В производстве чаще всего используются примесные полупроводники. Например, для создания полупроводника  $p$ -типа в кристаллическую решётку кремния путём легирования помещаются атомы III-A группы (наиболее часто этим элементом является алюминий) и получается, что возникает ситуация, когда из четырех валентных электронов кремния связь образуют только три с тремя атомами алюминия, и в структуре полупроводника возникает дырка. В примесных полупроводниках присутствуют как дырки, так и свободные электроны, поэтому постоянная Холла в разных типах полупроводников характеризуется отношением свободных электронов к дыркам, их подвижностью и определяется по формуле (2):

$$R = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2}, \quad (2)$$

где  $\mu_e$  и  $\mu_h$  – подвижность свободных электронов и дырок,  $e$  – элементарный заряд,  $n$  и  $p$  – концентрация свободных электронов и дырок.

Для полупроводников  $p$ -типа концентрация дырок выше чем свободных электронов, поэтому, как было описано выше, постоянная Холла для данного типа полупроводников является положительной постоянной.

На рисунке 3 показано, как в полупроводниках происходит явление эффекта Холла. При прохождении через пластину постоянного тока  $I$  и нахождения в магнитном поле  $B$  возникает сила Лоренца, которая начинает действовать на носители заряда в полупроводнике (для  $p$ -типа которыми являются дырки с положительным зарядом). Дырки под действием силы Лоренца отклоняются в направлении действия силы и скапливаются у верхней грани, и между нижней и верхней гранями появляется разность потенциалов. При этом верхняя грань имеет положительный заряд, а нижняя – отрицательный. Эта разность потенциалов и есть напряжение Холла.

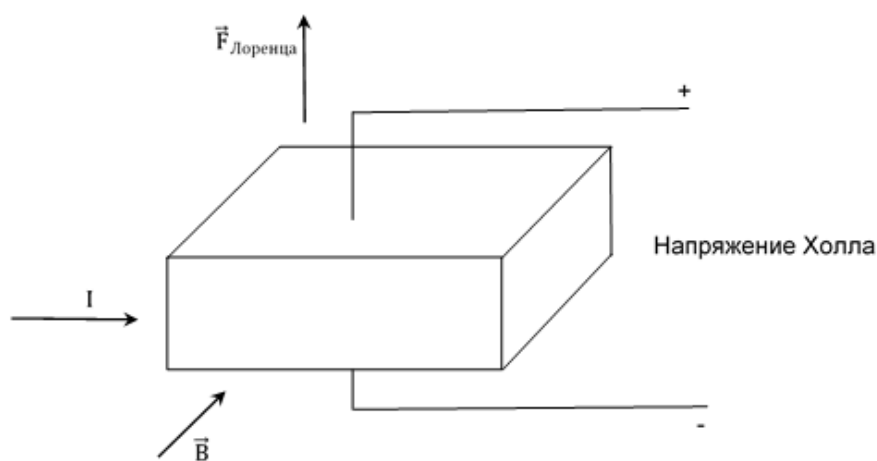


Рисунок 3 – Эффект Холла в полупроводниках  $p$ -типа

Для изучения практического применения абсолютных энкодеров на эффекте Холла был создан прототип промышленного манипулятора, который состоит из шагового мотора NEMA17, платы энкодера AS5600, системы управления на основе драйверов шаговых двигателей a4988, Arduino Nano и платы CNC Shield. На вал двигателя прикреплён магнит вместе с платой драйвера a4988. При вращении двигателя вместе с его валом вращается магнит, что приводит к изменению направления магнитной индукции и напряжения Холла. После этого обработанный сигнал из датчика передаётся по интерфейсу I2C в микроконтроллер, который передаёт управляющий сигнал на драйверы мотора для установления необходимого значения угла. В коде программы работы микроконтроллера был прописан алгоритм, который позволял задавать необходимое линейное перемещение в плоскости и преобразовывал линейные величины в положение углов поворота каждого звена

Таким образом, в ходе изучения энкодеров на основе эффекта Холла была изучена их внутренняя структура на примере микросхемы AS5600. На примере прототипа промышленного манипулятора были изучены особенности работы и выявлена высокая надежность и точность, которая позволяет разбить один оборот вала мотора на 4096 единиц и измерять углы поворота размером до 5 градусных минут. Возможность точного измерения угла поворота двигателя в

каждом узле манипулятора позволяет решать обратную и прямую задачи кинематики движения робота и реализовать возможность линейного перемещения рабочей части манипулятора в пространстве. В ходе проектирования было отмечено, что использование энкодеров на эффекте Холла из-за особенностей их установки позволяет значительно упростить и ускорить создание узлов обратной связи промышленных роботов.

#### Список использованных источников

1. Кучис, Е. В. Методы исследования эффекта Холла. — М.: Радио и связь, 1990. — 264 с.
2. Шалимова, К. В. Физика полупроводников / К. В. Шалимова. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – С. 115–172.
3. Бонч-Бруевич, В. Л. Физика полупроводников / В. Л. БончБруевич, С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1990. – С. 15–17, 440–446.
4. Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм: Учеб. пособие. - М.: Высш. М.: Высш. школа, школа, 1983.-. 463 с.