

## **Бюджетный скоростной измеритель перемещения в широком диапазоне с высоким разрешением**

**Цель работы:** снижение стоимости измерителя перемещений для цифровых систем управления.

**Задача работы:** построение высокоскоростного измерителя перемещений в широком диапазоне с высоким разрешением на базе датчиков Холла.

**Приборы и принадлежности:** Два датчика Холла с аналоговым выходом, магнит, контроллер с АЦП, персональный компьютер с МатЛАБ.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Существует множество измерителей перемещения построенных на разных принципах. Цифровые измерители абсолютного положения требуют большого количества портов для передачи параллельного кода. Передача кода через последовательный канал, например, I2C, снижает быстродействие измерителя. Датчикам относительного перемещения с инкрементальным выходом требуются аппаратные или программные счетчики. Использование прерываний для подсчета дискрет перемещения также ограничивает скорость измерения и может потребовать значительные вычислительные ресурсы. Датчики угловых перемещений с линейным аналоговым выходом имеют высокое разрешение, причем частота счета периодов выходного сигнала значительно ниже частоты счета инкрементальных датчиков. Снижение стоимости датчиков перемещения с аналоговым выходом и использование недорогих контроллеров (например, Arduino) позволяет построить недорогую быстродействующую систему перемещения, работающую в широком диапазоне измеряемых величин с высоким разрешением и с малыми вычислительными затратами. В этой работе рассматриваются характеристики существующих бесконтактных измерителей перемещения и предлагается вариант построения бюджетного высокоскоростного измерителя относительного перемещения в широком диапазоне величин с высоким разрешением.

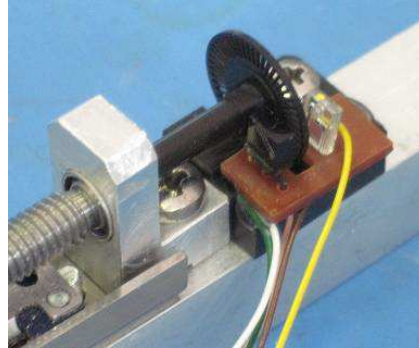
### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### **Инкрементальный датчик угловых перемещений**

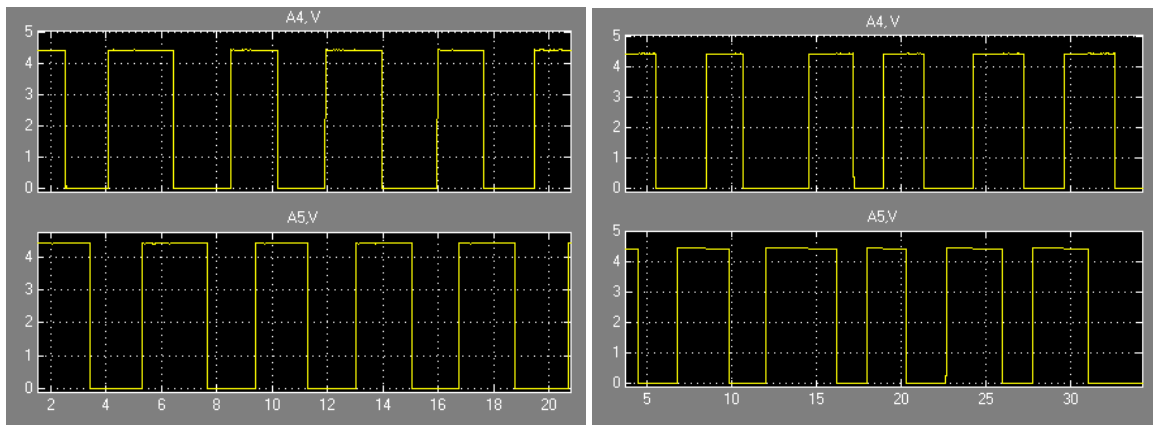
*Подсчет импульсов датчика с использованием прерываний*

Пример инкрементального датчика угловых перемещений на элементах компьютерной мыши (см. Рис. 1) рассмотрен в работе [1]. Импульсы датчика, генерируемые при перемещении объекта, поступают на входы прерываний (D2 и D3) контроллера Arduino UNO. Прерывания подсчитываются программными счетчиками. Измеритель работает при частоте импульсов датчика до 10 кГц, что соответствует измеряемой скорости линейной перемещения 50 мм/с (50 периодов структуры / оборот, четыре импульса / период, 1 мм линейного перемещения / оборот вала). Разрешение измерителя 5 микрон (1 / 200 оборота). Выходные сигналы двухканального датчика показаны на Рис. 2.

Примечание: На форуме Интернет (<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=13729.0>) сообщается о программном счетчике контроллера Arduino, работающим на прерываниях со скоростью до 72 КГц.



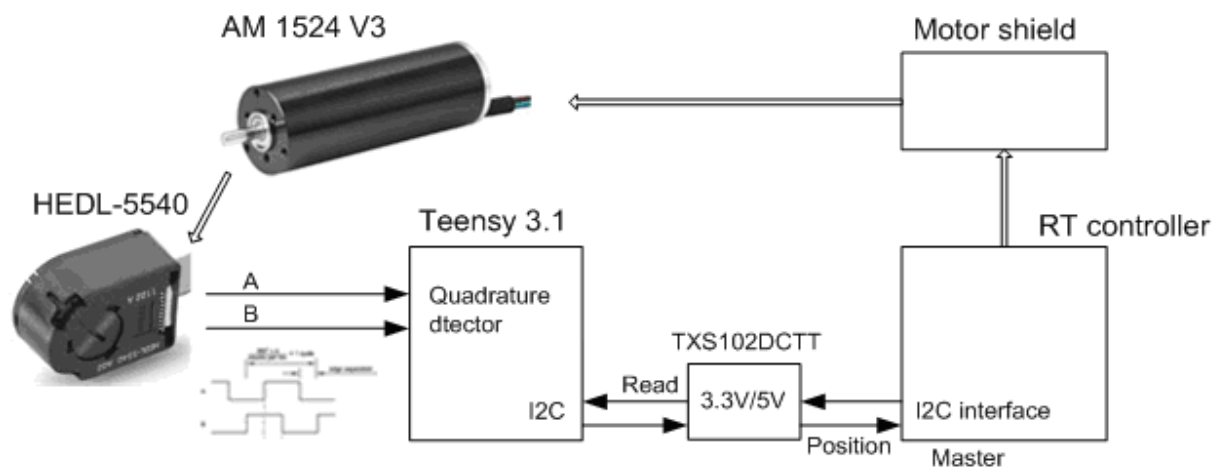
**Рис. 1.** Считывающий блок инкрементального углового датчика на двух оптопарах [1].



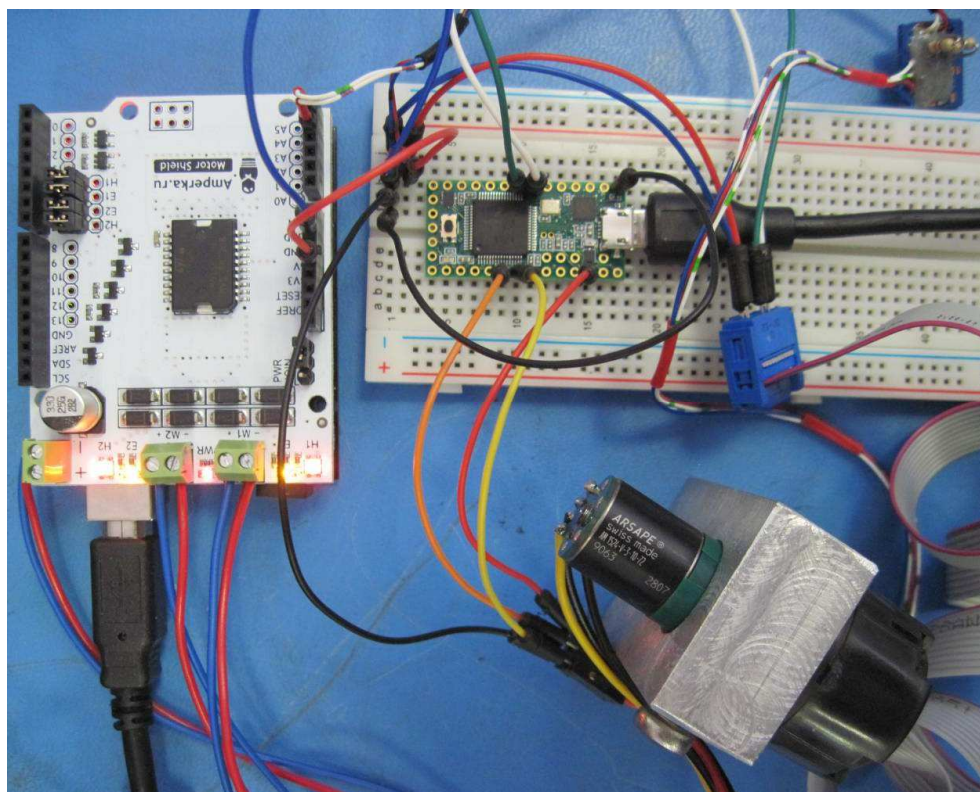
**Рис. 2.** Выходные сигналы инкрементального датчика при движении объекта в прямом (левый рисунок) и обратном (правый рисунок) направлениях.

#### *Подсчёт импульсов аппаратными средствами контроллера*

Для увеличения максимальной скорости измерения и разгрузки контроллера была собрана и проверена схема (Рис. 3), в которой роль реверсивного счетчика импульсов инкрементальной оптической головки HEDL-5540 выполнял аппаратный блок контроллера Teensy 3.1. Подсчет импульсов на высокой частоте аппаратными средствами не требует процессорного времени в отличие от подсчета программными средствами. Передача значений счетчика управляющему контроллеру Arduino UNO выполнялась по последовательному интерфейсу I2C.



**Рис. 3.** Применение контроллера Teensy 3.1. для подсчета инкрементов оптического датчика перемещения HEDL-5540 в контуре управления приводом на базе шагового двигателя AM 1524 V3 . Скорость счета удалось поднять до 100 кГц. Макет системы управления с оптической головкой для измерения угловых перемещений HEDL-5540 (Рис. 3) показан на Рис. 4.



**Рис. 4.** Измеритель угловых перемещений на базе оптической головки HEDL-5540, которая закреплена на оси шагового двигателя, и контроллера Teensy 3.1 (зеленая плата). Структурная схема шагового привода на базе контроллера Arduino UNO показана на Рис. 3. Управление шаговым двигателем выполнялось через плату сопряжения Amperka Motor shield (<http://amperka.ru/product/arduino-motor-shield>).

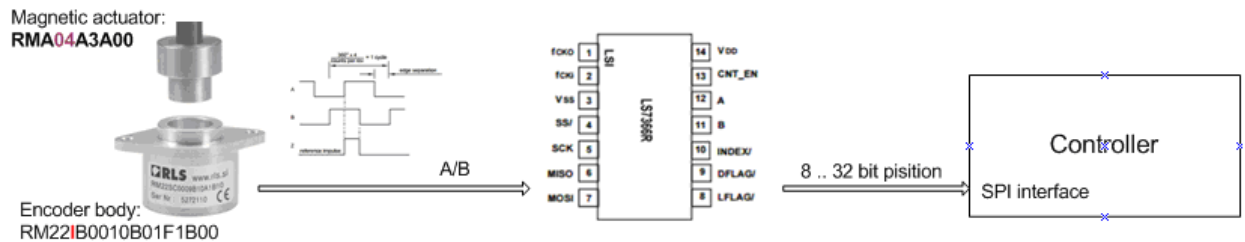
Arduino UNO	Teensy 3.1
<pre> #include &lt;Wire.h&gt;  #define current_A 5 #define dir_A 4 #define current_B 6 #define dir_B 7  #define port_address 0x38 // (0x38 = 56) of I2C in Master mode  int dt = 10; // motor step time byte buf[4];  void setup() {   // Sets 4, 5, 6, 7 pins for output   for(int i = 4; i &lt; 8; i++)     pinMode(i, OUTPUT);   analogWrite(current_A, 255);   analogWrite(current_B, 255);   digitalWrite(dir_A, HIGH);    Wire.begin(); // join i2c bus in Master mode    Serial.begin(9600); }  void loop() {   // run 4 motor steps   // Step 1   digitalWrite(dir_B, HIGH);   delay(dt);   // Step 2   digitalWrite(dir_A, LOW);   delay(dt);   // Step 3   digitalWrite(dir_B, LOW);   delay(dt);   // Step 4   digitalWrite(dir_A, HIGH);   delay(dt);    // get and print position   Wire.requestFrom(56, 4); // request 4 bytes from slave device   #56 (0x38)   int i = 0;   while(Wire.available()) // slave may send less than requested   {     buf[i] = Wire.read(); // receive a byte as character     i = i + 1;   }   unsigned long *lval = (unsigned long *) buf;   Serial.println(*lval); // } </pre>	<pre> #include &lt;Encoder.h&gt; #include &lt;Wire.h&gt;  #define port_address 0x38 // (0x38 = 56)  Encoder HEDL(5, 6); // DI pins = 5 and 6 long newPosition;  void setup() {   Serial.begin(9600);    Wire.begin(port_address); // join i2c bus in Slave mode   Wire.onRequest(requestEvent); // register event }  unsigned long position = 1000;  void loop() {   newPosition = HEDL.read();   if (newPosition &gt;= position + 10) {     Serial.print("Pos = ");     Serial.println(newPosition);     position = newPosition;   }   // delay(100); // delay half second }  void requestEvent() // respond with array of 4 bytes {   Wire.write((byte) newPosition); // Low byte   Wire.write((byte) (newPosition &gt;&gt; 8)); // 2nd byte   Wire.write((byte) (newPosition &gt;&gt; 16)); // 3rd byte   Wire.write((byte) (newPosition &gt;&gt; 24)); // 4th byte } </pre>

**Рис. 5.** Код контроллера Teensy для подсчета прерываний от инкрементального углового датчика и передачи результата контроллеру Arduino UNO по каналу I2C. И код контроллера Arduino UNO для управления шаговым двигателем и приёма показаний датчика из I2C канала.

Примечание: Стоимость контроллера Teensy 3.1 ~25 Евро.

### Подсчёт импульсов специализированной микросхемой

Подсчёт импульсов датчика вместо контроллера можно выполнить и с использованием специализированной микросхемы, например, LSI-LS7366R ([http://www.lscsi.com/pdfs/Data\\_Sheets/LS7366R.pdf](http://www.lscsi.com/pdfs/Data_Sheets/LS7366R.pdf)), которая содержит 32-разрядный реверсивный счетчик (40 МГц/5 В, 20 МГц/3 В) и последовательный интерфейс SPI. Arduino UNO поддерживает SPI-соединение через порты D10 (SS), D11 (MOSI), D12 (MISO), D13 (SCK). Для работы с интерфейсом существует SPI-библиотека.



**Рис. 6.** Структура измерителя: инкрементальный датчик RM22, счетчик LS7366R и контроллер с SPI-интерфейсом.

### Датчик перемещения с аналоговым выходом

#### Параметры датчиков серии RM22 компании RLS

Магнит в держателе бесконтактного датчика (Рис. 7, верхняя часть), вращаясь вместе с валом объекта, наводит переменное магнитное поле в неподвижном блоке датчика, который преобразует магнитную индукцию поля в электрический сигнал.



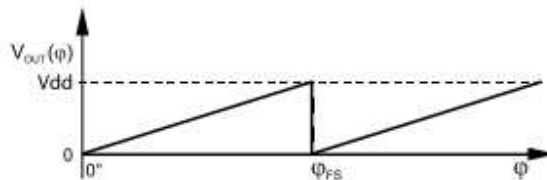
**Рис. 7.** Преобразователи угловых перемещений серий RM22 (слева, диаметр корпуса 22 мм) и RM08V (справа, диаметр корпуса 8 мм) компании RLS состоит из держателя магнита (верхняя часть), который закрепляется на оси вращения объекта, и неподвижного магнитоэлектрического преобразователя (encoder).

Характеристики датчиков серии RM22:

- Бесконтактный;
- Скорость вращения, до 500 об/с;
- Разрядность, до 13 разрядов (8 192 отсчетов на оборот);
- Формат выходного сигнала: абсолютный – параллельный 9-разрядный код, инкрементальный, аналоговый sin/cos, аналоговый линейный, последовательный (SSI\*) код;

- Точность  $\pm 0.5$  отсчета;
- Модификация датчика с линейным выходом 5В/10 разрядов на пол периода:
  - Напряжение питания:  $V_{dd} = 5 \text{ В} \pm 5\%$ ;
  - Потребление: 20 мА;
  - Выходное напряжение: 0 В до  $V_{dd}$  на 1/8; 1/4; 1/2; или полный оборот;

Electrical output/shaft position

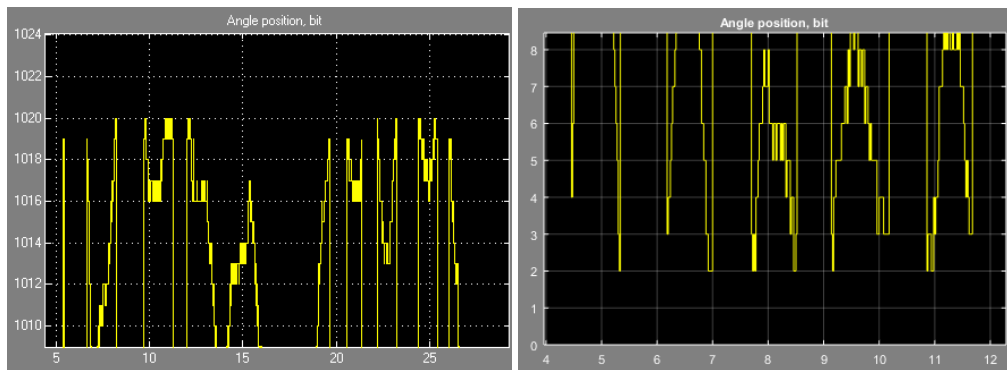


- Максимальный выходной ток: до 10 мА;
- Нелинейность: 1 %.
- Стоимость датчика без магнита: ~75 Евро

\* SSI интерфейс не входит в список интерфейсов контроллера Arduino.

### Диапазон выходного сигнала

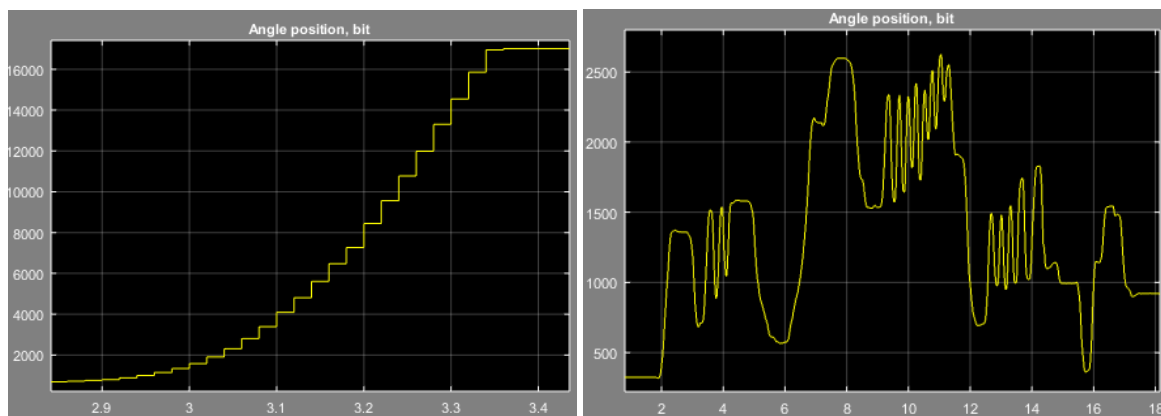
10-разрядный датчик с линейным аналоговым выходом RM22VB0010B10F1B00, подключенный к АЦП Arduino UNO, показал максимальное ( $5\text{В} \cdot 1020/1023$ ) и минимальное ( $5\text{В} \cdot 2/1023$ ) выходное напряжение, как показано на Рис. 8.



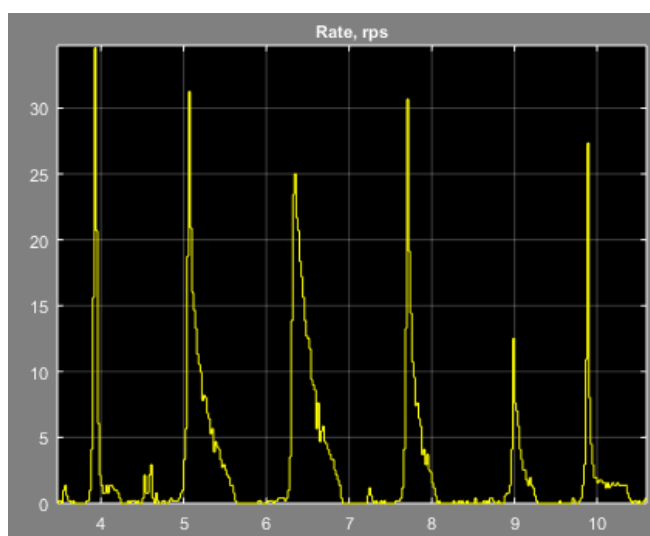
**Рис. 8.** Максимальное и минимальное значения 10 разрядного углового датчика. Ошибка в 3 разряда соответствует 15 мВ (как  $5\text{В} \cdot 3/1024$ ).

### Динамические характеристики датчика

Предварительная проверка динамических характеристик канала измерения, включающего измерительную головку датчика RM22V с линейным выходом 5В на пол оборота, 10 –разрядное АЦП и программу подсчета пилообразных сигналов (поворотов на пол оборота), выполнялась при ручном вращении магнитной головки датчика в углублении первичного преобразователя. Вид программной переменной выходного сигнала датчика показан на Рис. 9 и Рис. 10.



**Рис. 9.** Разгон датчика в диапазоне от 0.5 до 8.5 оборотов (1000 .. 17000 единиц датчика) за 0.4 сек (левый график. И реверсивное движение с максимальной скоростью 1200 бит/20 мс или 30 об/с (правый график).

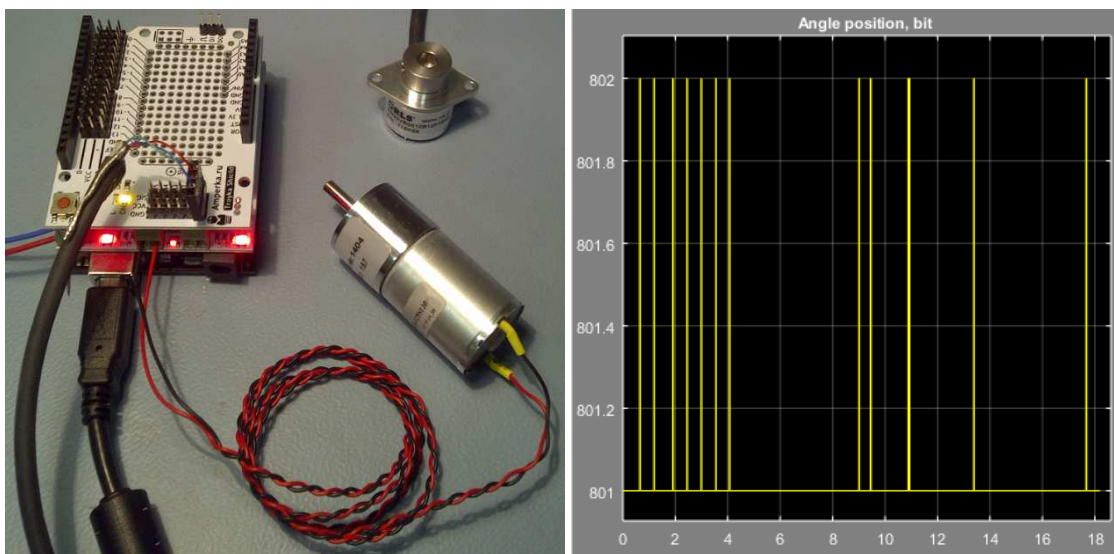


**Рис. 10.** График изменения скорости (бит/5мс) при ручном вращении держателя магнита в углублении датчика. Максимальная скорость 40бит/5мс или 8000/с или ~4 об/с.

### Шум в канале АЦП контроллера

Шум в канале АЦП датчика может ухудшить его точностные характеристики. Для подавления шума важно знать его спектр и уровень. В разрабатываемой системе управления на базе контроллера Arduino UNO датчик измерения положения подключен ко входу АЦП. Усиление PWM сигнала контроллера для управления током двигателя (6В/1.5А) выполнялось через плату расширения Amperka Motor Shield (<http://amperka.ru/product/arduino-motor-shield>). Шум, наводимый двигателем постоянного тока в канале АЦП контроллера с подключенным двигателем (Рис. 11, левый рисунок) не превышал единицы младшего разряда АЦП (Рис. 11, правый рисунок).

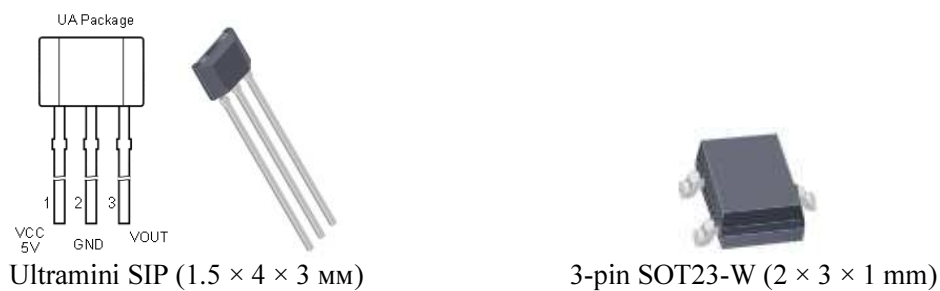
Проведенный тест показал, что работа двигателя не влияет на показания углового датчика положения с аналоговым выходом.



**Рис. 11.** Элементы системы позиционного управления двигателем постоянного тока на базе контроллера Arduino UNO и плат расширения. При работающем двигателе, пульсации в канале датчика измерения углового положения не превышают 1 бит (5мВ) 10 разрядного 5В АЦП контроллера.

### Работа датчиков Холла с аналоговым выходом

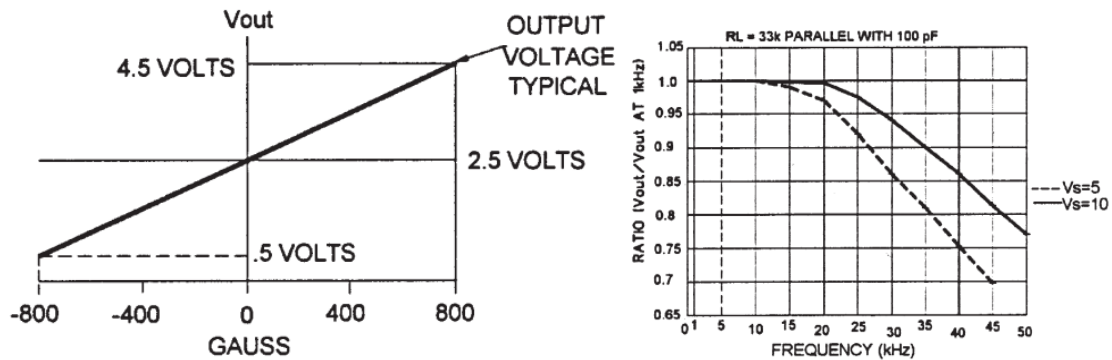
Выходной электрический сигнал датчика Холла пропорционален магнитной индукции поля. Стоимость датчика, например, А1324 (Рис. 3) около одного Евро.



**Рис. 12.** Корпуса и размеры датчика Холла А1324А.

Выходной сигнал и частотные характеристики датчика Холла А1324 показаны на Рис. 13.

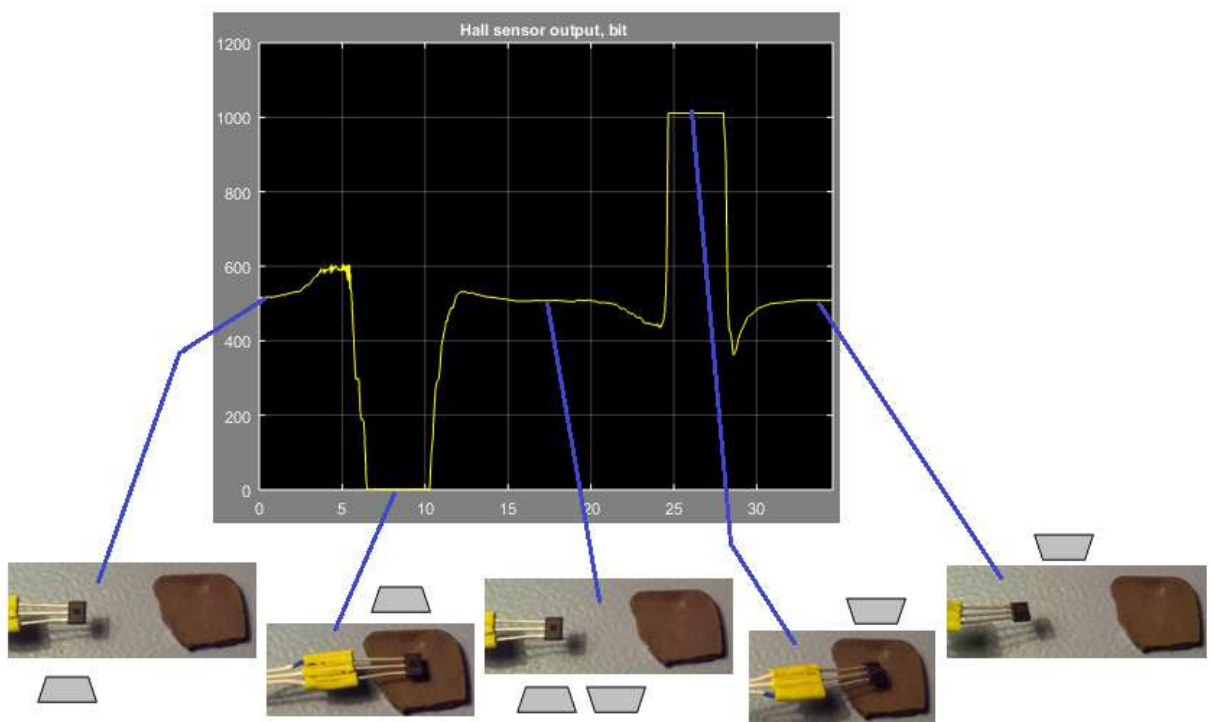




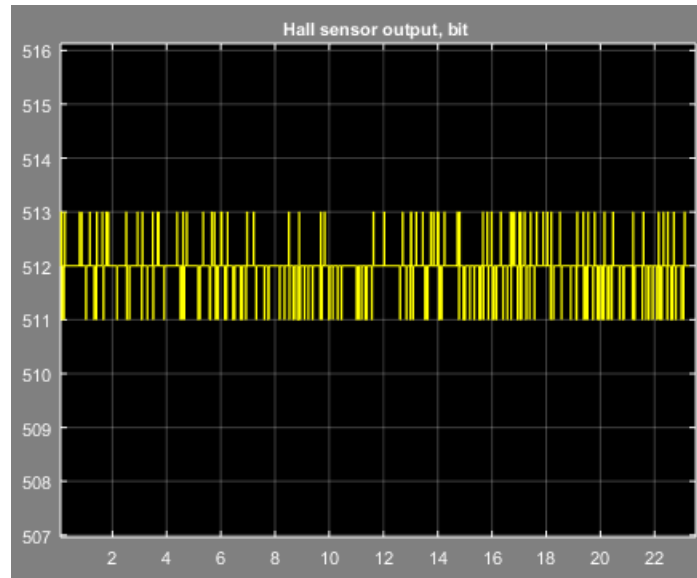
**Рис. 13.** Характеристики датчика Холла А1324А: Зависимость выходного напряжения от магнитной индукции поля (левый график) и зависимость амплитуды выходного сигнала датчика от частоты изменения магнитного поля (правый график).

Выходной сигнал датчика Холла наблюдался при помощи 10 разрядного 5В АЦП контроллера Arduino UNO, подключенного к графопостроителю среды Simulink MatLAB.

При приближении датчика к магниту (Рис. 14) напряжение сначала увеличилось с 5Вх510бит/1023бит до 5Вх600бит/1023бит, а затем, когда датчик оказался над магнитом, резко уменьшилось до нуля. При перемещении датчика над плоскостью магнита напряжение не изменялось. При перемещении перевернутого датчика сигнал изменялся на противоположный симметрично относительно линии 2.5В. Стабильность выходного сигнала при отсутствии магнитного поля показана Рис. 14.



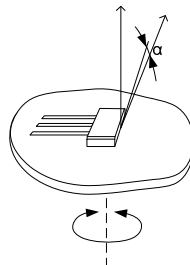
**Рис. 14.** Зависимость выходного напряжения датчика Холла А1324 от положения магнита, при постепенном смещении магнита. Сигнал 1023 бит на графике соответствует напряжению выходному напряжению датчика 5В. При отсутствии магнитного поля напряжение на выходе датчика изменялось на 1 бит датчика АЦП (2.5В +/- 5мВ).



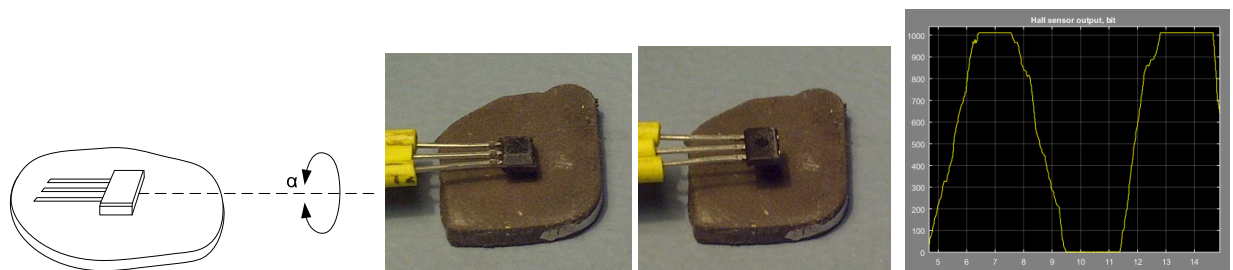
**Рис. 15.** Выходное напряжение датчика A1324 при отсутствии поля магнита.

Зависимость сигнала датчика Холла A1324 от его положения относительно магнитной пластины или держателя со встроенным магнитом, при вращении датчика или магнита, показана на Рис. 17, Рис. 18, Рис. 19.

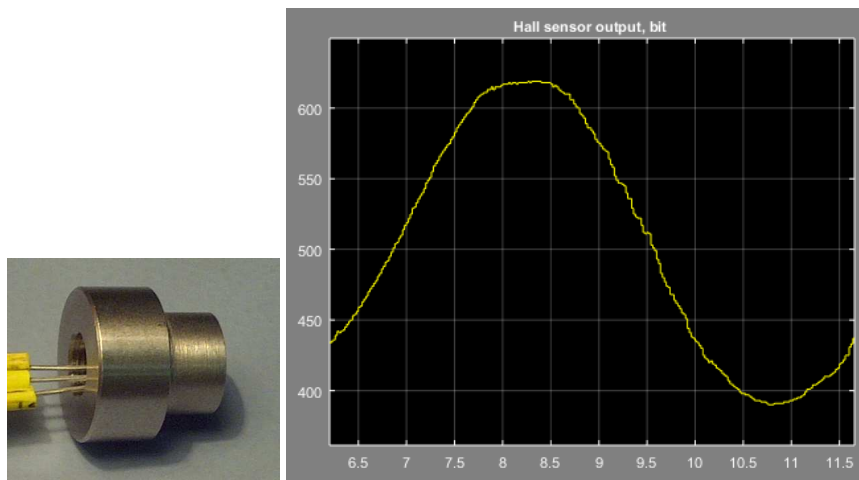
Сигнал датчика не изменяется при вращении магнита вблизи датчика в плоскости, параллельной плоскости датчика (Рис. 16). Амплитуда сигнала равняется его min или max значению в зависимости от того, какой стороной датчик обращен к магниту.



**Рис. 16.** Вращение магнита в плоскости, параллельной плоскости датчика.



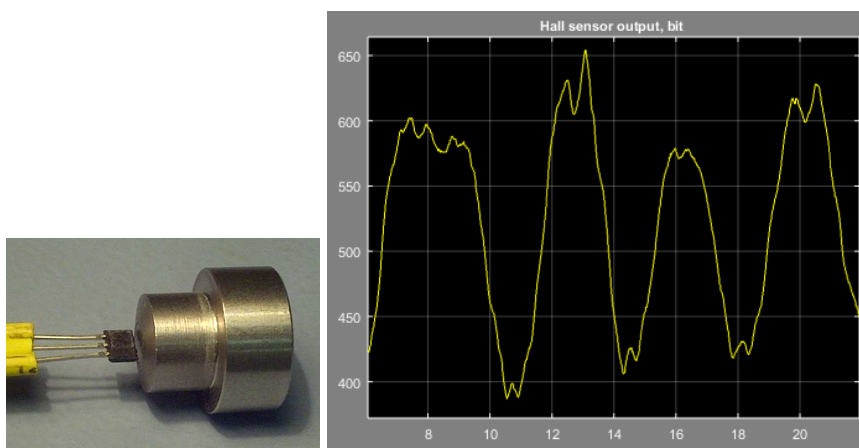
**Рис. 17.** Изменение выходного сигнала при вращении датчика вокруг оси, лежащей в плоскости параллельной плоскости магнита.



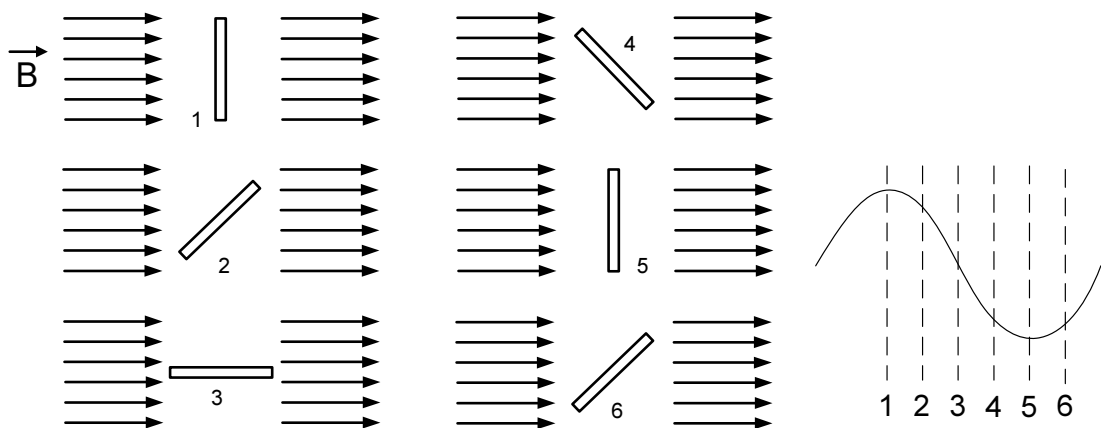
**Рис. 18.** Изменение выходного сигнала датчика Холла при его вращении вокруг оси магнитного держателя датчика RM22V. Датчик Холла расположен внутри держателя.

При расположении датчика Холла в месте первичного преобразователя датчика RM22V относительно держателя магнита (Рис. 19), наблюдается следующее изменение двойной амплитуды (max-min) сигнала датчика относительно расстояния между датчиком и держателем.

Расстояние	Амплитуда сигнала
< 2 мм	Насыщение, 0 .. 5 В
2 мм	5 В
5 мм	1 В
10 мм	0.12 В

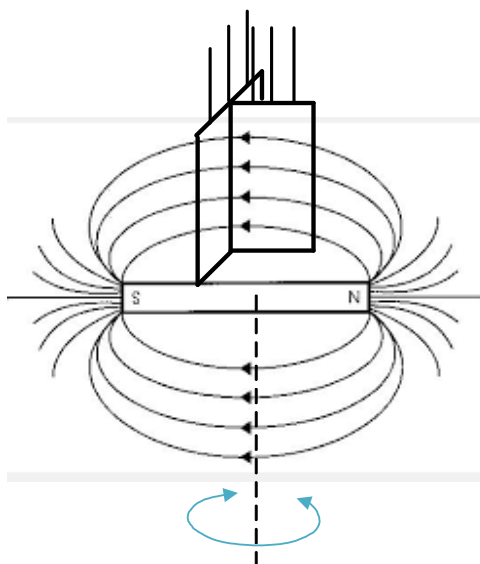


**Рис. 19.** Изменение выходного сигнала датчика Холла при его вращении вокруг оси магнитного держателя. Датчик Холла расположен снаружи держателя в месте первичного преобразователя датчика RM22V.



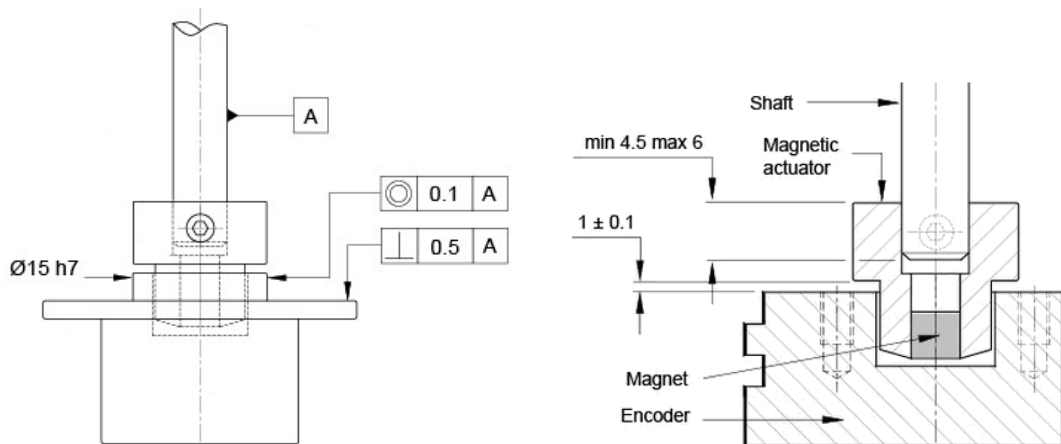
**Рис. 20.** Зависимость сигнала датчика Холла от угла между вектором магнитной индукции и нормалью к плоскости датчика.

Для получения синусоидального сигнала необходимо, чтобы плоскость датчика пересекала магнитный поток как показано Рис. 21.



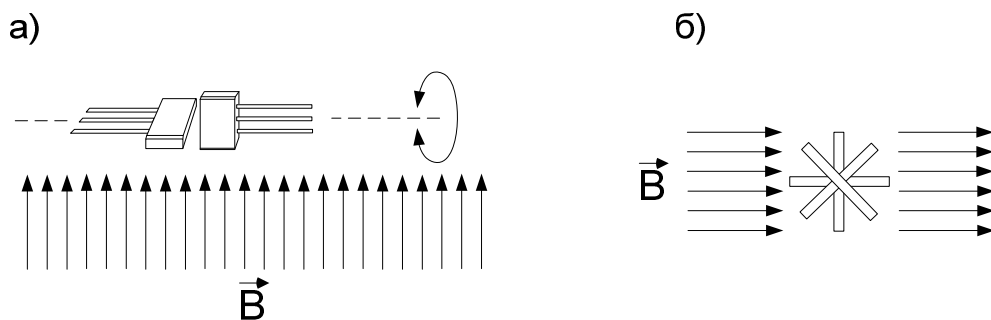
**Рис. 21.** Положение двух датчиков Холла относительно постоянного магнита и поток силовых линий, проходящих через плоскости датчиков. Вращение магнита меняет магнитный поток через плоскость датчиков. Перпендикулярное расположение датчиков относительно друг друга позволяет разнести их сигналы по фазе на четверть периода, что необходимо для вычисления угла.

Радиальные и осевые отклонения магнита углового датчика с относительным расположением элементов, как показано на Рис. 21, могут заметно изменять выходной сигнал датчика, поэтому биения необходимо ограничить. Пример величин допустимых отклонений магнита относительно датчика RM22 показаны на Рис. 22.



**Рис. 22.** Требования к точности положения держателя магнита (Magnetic actuator) относительно первичного преобразователя (Encoder) углового магнитного датчика RM22 <http://www.rls.si/rm22-rotary-magnetic-modular-encoder>.

На Рис. 23 показана схема датчика, нечувствительного к радиальным и осевым отклонениям. Недостатком этой схемы являются дополнительные затраты на передачу энергии и приём сигнала вращающихся электронных компонентов.



**Рис. 23.** Схема датчика нечувствительного к радиальным и осевым отклонениям.

### Подсчет периодов датчика с линейным выходом

Пример программы подсчета периодов линейного углового датчика, подключенного к АЦП 0 контроллера Arduino UNO:

```
const int adc_0 = A0; // номер АЦП = 0
int pos_ini = 1000; // начальное положение
int pos_prd = pos_ini; // текущее положение
word prd = 1024; // период сигнала датчика
word adc_0_smpl; // выход АЦП
word adc_old_smpl; // прежнее значение АЦП, формат: uint 0 .. 65635

unsigned long set_time = 0;

void setup() {
// Установка предыдущего значения АЦП
  adc_0_smpl = analogRead(adc_0);
```

```

    adc_old_smpl = adc_0_smpl;
}

void loop() {
    // чтение АЦП
    adc_0_smpl = analogRead(adc_0);

    unsigned long time = millis();
    if (time > set_time) {
        set_time = set_time + 20; // период вычислений 20 мс

        // вычисление текущей координаты при переходе через крайние значения сигнала: min,max
        if ((adc_old_smpl > 660) && (adc_0_smpl < 330)) pos_prd = pos_prd + prd;
        if ((adc_old_smpl < 330) && (adc_0_smpl > 660)) pos_prd = pos_prd - prd;

        // текущее положение
        pos = pos_prd + adc_0_smpl;
        // обновление предыдущего показания
        adc_old_smpl = adc_0_smpl;
    }
}

```

### Сравнительные характеристики датчиков

Сравнительные параметры рассмотренных датчиков перемещения для контроллерных систем приведены в таблице ниже.

Параметр	Инкрементальный датчик с подсчетом прерываний	Инкрементальный датчик с аппаратным счетчиком	Датчик с линейным выходом
Скорость	Минимальная (подсчет инкрементов)	Максимальная (подсчет инкрементов)	Максимальная (подсчет периодов)
Разрешение	Максимальное (инкремент)	Максимальное (инкремент)	Максимальное (инкремент)
Разрядность	Не ограничена	Ограничена (16, 32 бит)	Не ограничена
Зависимость измерения положения от шума в выходном канале датчика	Минимальная	Минимальная	Максимальная
Используемые вычислительные ресурсы	Максимальные (обработка прерываний, чтение портов, выделение, и суммирование импульсов)	Минимальные (передача данных контроллеру)	Минимальные (чтение АЦП и подсчет периодов)
Стоимость	Минимальная (стоимость датчика)	Максимальная (стоимость и счетчика)	Минимальная (стоимость датчика)

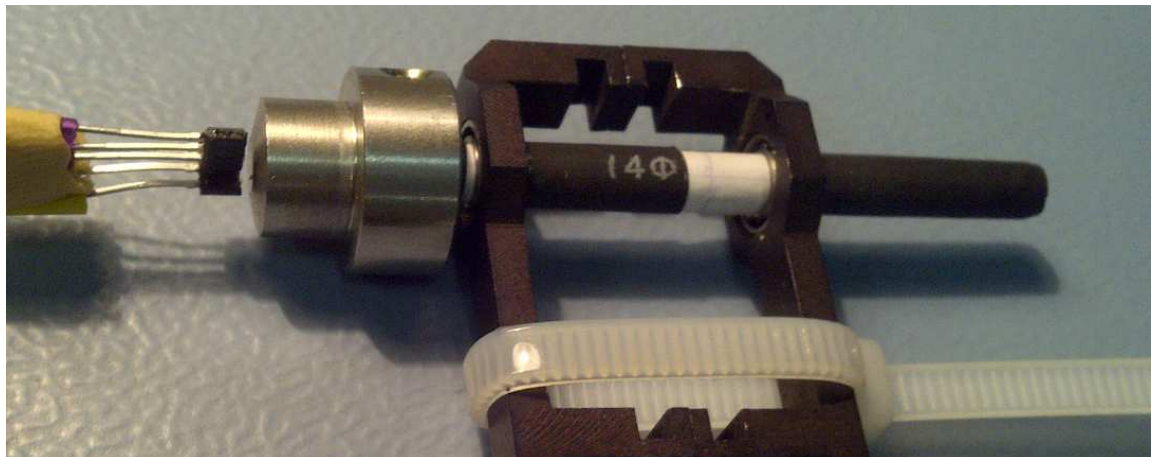
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Сравнительные данные таблицы показывают, что датчик с линейным выходом имеет лучшую интегральную характеристику, при условии, что уровень шумов на входе АЦП контроллера не высок, в идеальном варианте, не превышает разрешение датчика. Рассмотренный вариант построения датчика перемещения на двух датчиках Холла может пригодиться при разработке недорогих быстродействующих систем перемещения, работающих в широком диапазоне измеряемых величин с высоким разрешением с малым объемом вычислений. Построение собственного датчика углового перемещения целесообразно для бюджетных систем, поскольку стоимость его основных компонентов в десятки раз ниже стоимости покупных датчиков. Например, цена двух датчиков Холла А1324А равна 2 Евро, тогда как цена датчика RM22 без магнита равна 75 Евро.

## ПРИМЕРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОВЕРЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВАРИАНТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

**Задание 1.** Построение макета бюджетного бесконтактного измерителя перемещений на базе контроллера Arduino UNO для отработки алгоритма измерителя в среде Simulink, МатЛАБ.

1. Установите магнит на ось вращения и разместите два датчика Холла А1324 как показано на Рис. 20 и Рис. 21.



**Рис. 24.** Два неподвижных датчика Холла А1324А, установленных перпендикулярно друг к другу, и держатель с магнитом датчика RM22V, закрепленный на оси вращения.

2. Подключите датчики Холла (см. назначение контактов датчика на Рис. 12) к 10 разрядному АЦП, каналам ADC1 и ADC2 контроллера Arduino UNO.
3. Загрузите в контроллер следующую программу считывания показаний АЦП и передачи данных в COM порт на частоте 115200 бод каждые 20 мс.

/\*

Item: Hall angle position encoder

-Hall sensor 1 A1

-Hall sensor 2 A2

\*/

```
const int ADC_Hall_1_Pin = A1; // ADC 1 port number
```

```

const int ADC_Hall_2_Pin = A2; // ADC 2 port number

// Hall sensors
word ADC_Hall_1_Smpl; // reading 10 bit ADC value
word ADC_Hall_2_Smpl; // reading 10 bit ADC value

unsigned long Set_Time = 0;

void setup() {
  Serial.begin(115200); // 57600; for MatLAB
}

void loop() {
  unsigned long Time = millis();

  if (Time > Set_Time) {
    Set_Time = Set_Time + 20;

    // Hall sensors
    ADC_Hall_1_Smpl = analogRead(ADC_Hall_1_Pin);
    ADC_Hall_2_Smpl = analogRead(ADC_Hall_2_Pin);

    // data for Simulink MatLAB
    Serial.print("A"); // Header

    Serial.write((ADC_Hall_1_Smpl << 1) & 0xFE); // 7bits: 07:01
    Serial.write((ADC_Hall_1_Smpl >> 6) & 0xFE); // 7bits: 14:08
    Serial.write((ADC_Hall_1_Smpl >> 13) & 0xFE); // 2bit: 16:15

    Serial.write((ADC_Hall_2_Smpl << 1) & 0xFE); // 7bits: 07:01
    Serial.write((ADC_Hall_2_Smpl >> 6) & 0xFE); // 7bits: 14:08
    Serial.write((ADC_Hall_2_Smpl >> 13) & 0xFE); // 2bit: 16:15
  }
}

```

4. В среде Simulink создайте модель для приёма и отображения сигналов АЦП контроллера, подключенного к COM порту. Установите период модели 20 мс и номер COM порта, как у Arduino UNO (в приведенных результатах взаимодействие устройств происходит через COM5).



115200 baud  
RT clock: 20 ms

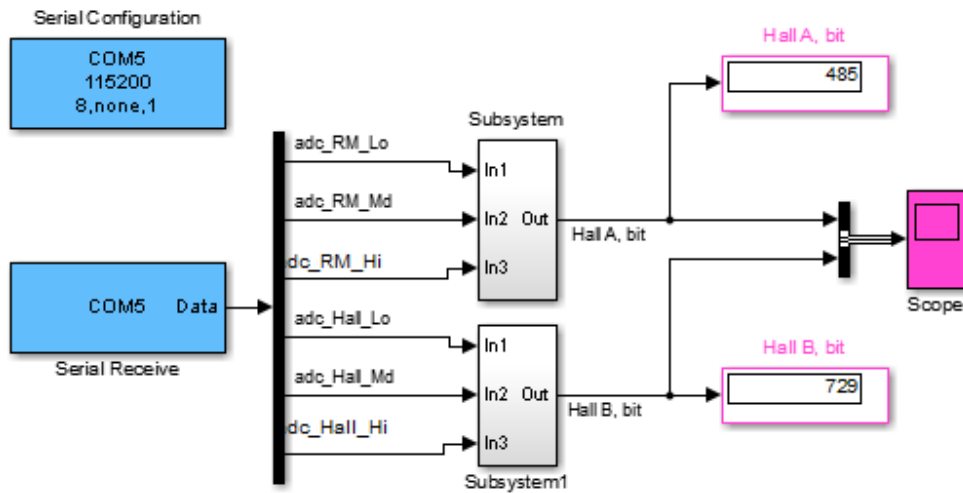


Рис. 25. Модель Simulink.

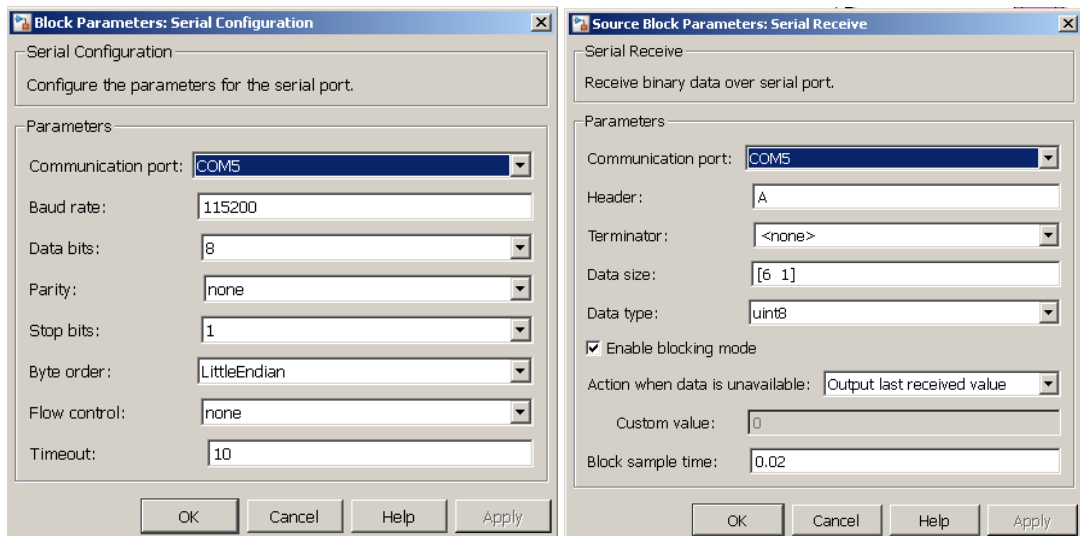


Рис. 26. Параметры блоков модели.

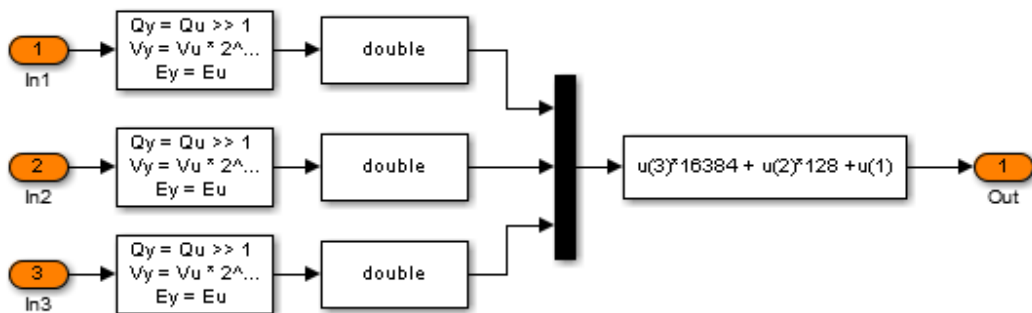
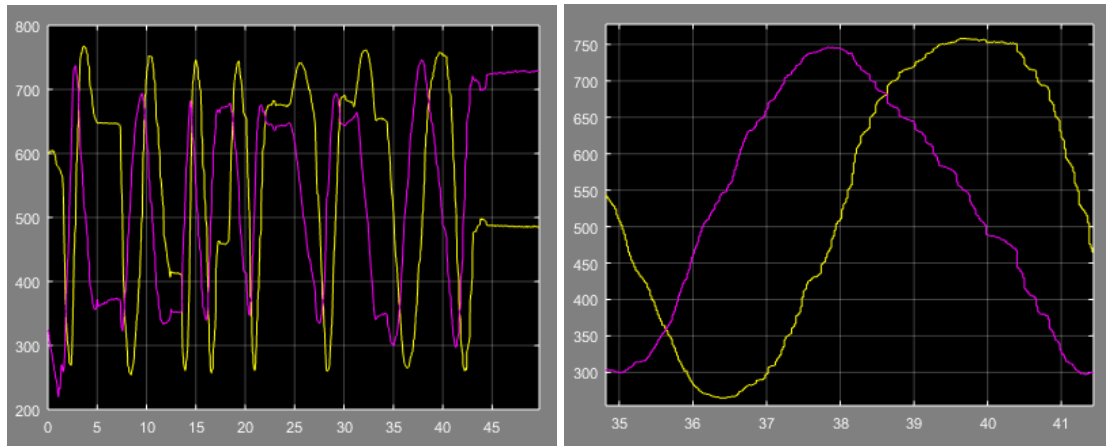


Рис. 27. Структура блоков "Subsystem" модели Simulink.

- Запустите линию датчики Холла – модель Simulink и, вращая магнит, убедитесь, что значения датчиков отображаются на графопостроителе Scope модели.



**Задание 2.** Масштабирование сигналов датчиков Холла и вычисление угловой координаты магнита.

- Доработайте модель задания 1, включив в нее библиотечные блоки поиска экстремумов сигнала: максимума и минимума.

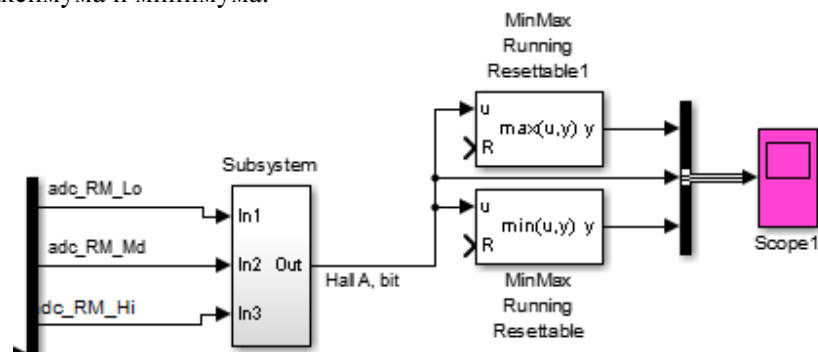


Рис. 28. Дополнительные блоки вычисления max и min сигнала.

- Проверьте работу установленных блоков.

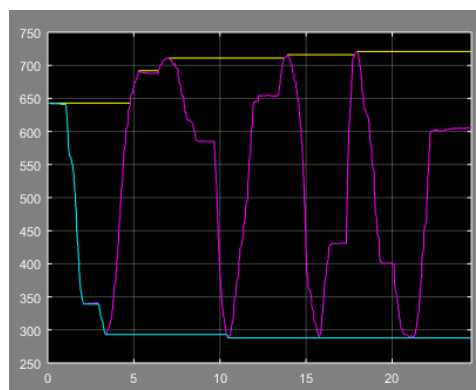


Рис. 29. Поиск максимального и минимального значения сигналов.

3. Используя значения экстремумов, постройте модель с масштабированием SIN/COS сигналов датчиков Холла и определения углового положения магнита.

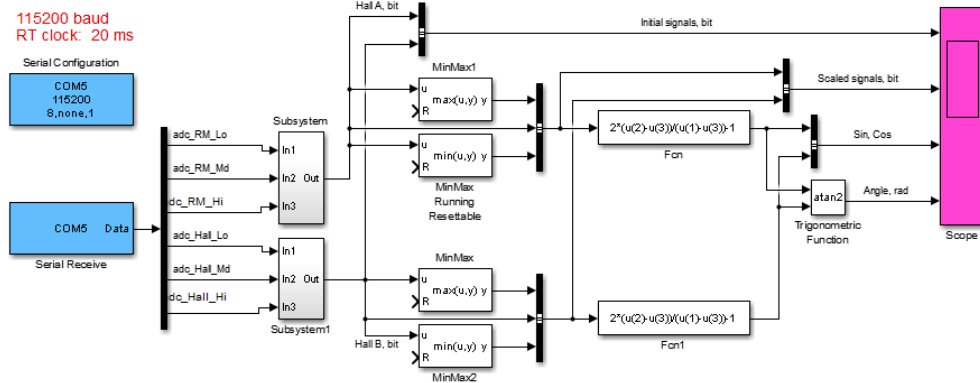


Рис. 30. Модель с масштабированием и вычислением углового значения SIN/COS сигналов.

4. Проверьте работоспособность измерителя угловых перемещений.

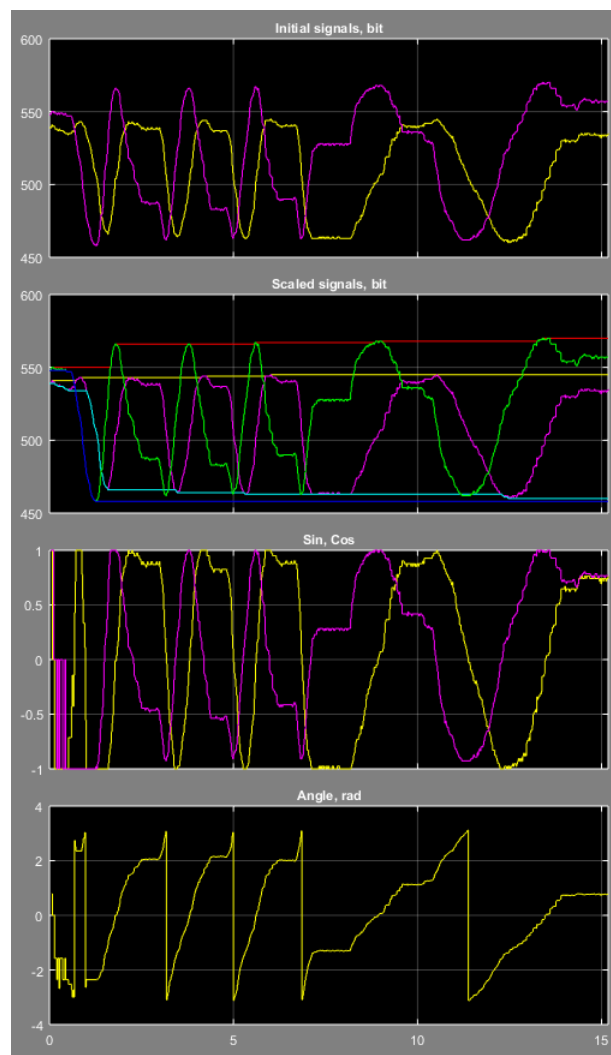


Рис. 31. Процесс масштабирования и вычисления угла по значениям SIN и COS.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Сравните по стоимости, быстродействию, диапазону измерения, разрешению и используемым вычислительным ресурсам инкрементальные датчики положения с программным и аппаратным счетом и датчики с аналоговым линейным выходом и программным счетом периодов.
2. Как изменяется выходной сигнал датчиков Холла при биении магнита в осевом и радиальном направлениях?

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Dr. Bob Davidov. Аппаратно-программные реализации датчиков перемещения. <http://portalnp.ru/2015/05/2583>.
2. Dr. Bob Davidov. Компьютерные технологии управления в технических системах <http://portalnp.ru/author/bobdavidov>.