

Принцип разработки устройств, основанных на измерении количества оборотов с помощью датчиков Холла

В. А. Бутонин¹, Е. С. Сулоева²

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹vabutonin@stud.etu.ru, ²suloewa@list.ru

Аннотация: В работе представлены общие сведения об устройствах, в которых измерения осуществляются с помощью цифровых датчиков Холла, задачей которых является фиксирование определенных положений детали, осуществляющей обороты. Целью работы являются составление алгоритма, с помощью которого разрабатываемая модель устройства будет считать количество оборотов, а также оценка погрешности измерения данной моделью.

Ключевые слова: Датчики Холла, моделирование, модель, измерение частоты вращения

I. УСТРОЙСТВА С ЦИФРОВЫМИ ДАТЧИКАМИ ХОЛЛА

Существует ряд устройств, принцип работы которых основан на измерении частоты вращения (измерении количества оборотов) с помощью цифровых датчиков Холла [1]. Основными из них являются тахометры, расходомеры и счетные шкивы.

Тахометры [2] используются для измерения частоты вращения вала двигателя. Зная частоту вращения вала, можно судить об исправности работы двигателя, что позволяет при отклонении от номинального режима работы принимать решения по устранению проблемы.

Расходомер [3] используется для измерения расхода объема жидкости или газа. Существуют различные методы измерения расхода с использованием цифровых датчиков Холла, но принцип у них, как правило, общий: каждое изменение магнитного потока через датчик соответствует некоторой порции жидкости или газа, прошедшей через трубопровод. На рис. 1 магнитное поле создается постоянными магнитами, установленными на лопастях рабочего колеса. Рабочее колесо (рис. 2) вращается потоком жидкости (газа). Устройство выдает два импульса за оборот колеса.

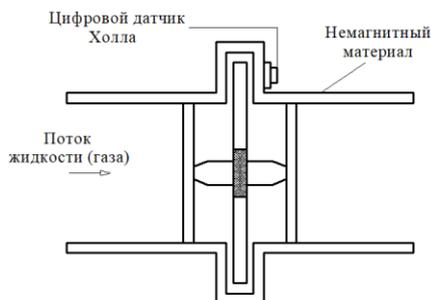


Рис. 1. Устройство измерения расхода

Счетные шкивы [4] предназначены для измерения развернутой длины троса, например, буксирного гидролокатора. Метод измерения длины троса схож с методом измерения расхода жидкости или газа: каждое изменение магнитного потока через датчик соответствует некоторой длине, разворачиваемого троса.

В основе разработки данных устройств лежит общий принцип: измерение частоты вращения (количества оборотов), вращающейся детали (вала, колеса, шкива).

Далее рассматривается метод измерения частоты вращения на примере колеса расходомера (рис. 2). Оно имеет на двух перпендикулярных диагоналях по два магнита, причем полярности различных диагоналей отличаются.

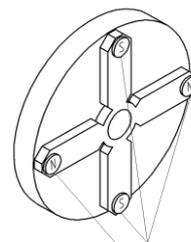


Рис. 2. Колесо расходомера

Важно отметить, что для построения рассматриваемого типа устройств используются биполярные датчики Холла, которые изменяют свое состояние в зависимости от полярности магнитов. Это позволяет формировать импульсы определенной частоты. Зная частоту импульсов легко рассчитать другие параметры (количество оборотов, угловую скорость, линейную скорость, расстояние).

На рис. 3 представлена временная диаграмма, которая показывает импульсы от датчиков Холла при вращении колеса расходомера.

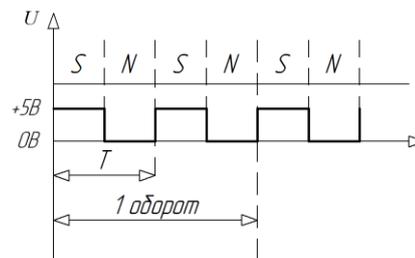


Рис. 3. Временная диаграмма

Колесо начинает движение с положения, когда магнит южного полюса S расположен под датчиком Холла, т. е. на выходе датчика будет высокий уровень напряжения +5В (рис. 2.), когда через датчик пройдет магнит северной полярности N на его выходе будет низкий уровень напряжения 0V. Как только снова через датчик пройдет магнит южной полярности, колесо пройдет пол оборота, что соответствует 1-му периоду T импульса.

В результате дальнейшего вращения получаются импульсы, зная частоту которых можно рассчитать количество оборотов колеса. В данном примере одному обороту соответствуют два импульса. Принцип измерения частоты вращения у тахометра и шкива аналогичны.

II. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА, СЧИТЫВАЮЩИХ ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ

Для рассматриваемого типа устройств характерны общие принципы построения электрических схем.

Функциональная схема устройств, считывающих частоту вращения, представлена на рис. 4.

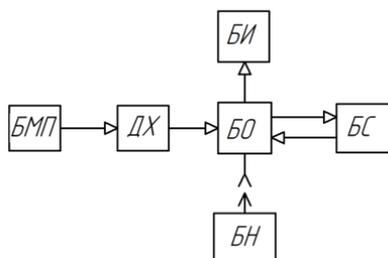


Рис. 4. Функциональная схема

где БМП – блок магнитного поля; ДХ – датчик Холла; БО – блок обработки; БИ – блок индикации; БН – блок настройки.

Датчики Холла реагируют на наличие магнитного поля с блока, который представляет собой вращающуюся деталь с магнитами. Выходные импульсы с датчиков поступают на блок обработки, где происходит расчет параметров частоты импульсов в единицу времени, частоты вращения (количества оборотов) колеса, при необходимости возможен расчет угловой скорости, линейной скорости (например, для спидометра) и пройденного расстояния. В качестве БО могут выступать логические схемы или микроконтроллер, при использовании последнего можно настраивать его режимы (изменять прошивку) с помощью блока БН.

Блок индикации служит для отображения результатов измерения, а блок связи БС для подключения устройства к внешним приборам, например к компьютеру. Данный блок нужен, если необходимо производить контроль устройства.

III. РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УСТРОЙСТВА, СЧИТЫВАЮЩЕГО ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ

Функциональная схема, разрабатываемого устройства, представлена на рис. 5. Она состоит из микроконтроллера МК [5], двух датчиков Холла, блока индикации, программатора, преобразователя интерфейсов и терминала.

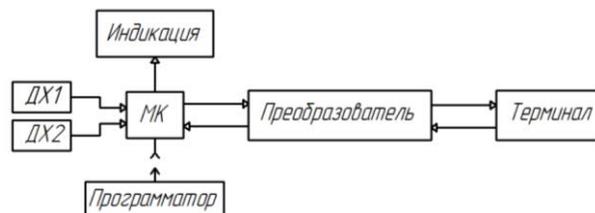


Рис. 5. Функциональная схема устройства

На рис. 6 представлен рисунок части платы модели устройства счета оборотов расходомера, показывающий связь микроконтроллера с датчиками Холла и микросхемой FT232R.

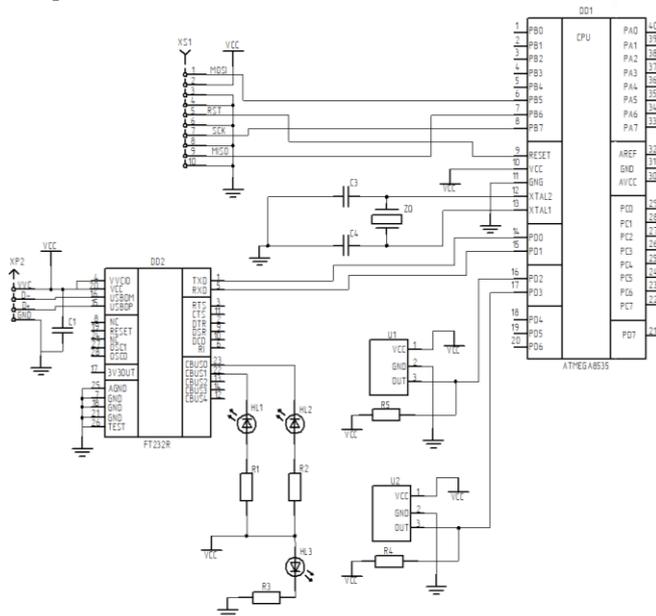


Рис. 6. Электрическая схема

FTDI232 [6] является преобразователем интерфейса USB в интерфейс UART на базе чипа FT232R. На плате установлены разъемы miniUSB-B для связи с компьютером и 6-контактный штыревой разъем для связи с микроконтроллерами и устройствами.

Для реализации динамической индикации выводы порта A микроконтроллера подключаются к анодам сегментов индикатора.

На схеме (рис. 6) имеются «нагрузочные» конденсаторы, которые подключаются к кварцевому резонатору ZD, для обеспечения стабильности его работы, их номиналы должны составлять от 10 мкФ до 20 мкФ, что прописано в документации на МК.

Выходы OUT датчиков Холла U1 и U2 подсоединены к выводам PD2, PD3 микроконтроллера и к подтягивающим к питанию резисторам R4 и R5.

IV. АЛГОРИТМ РАБОТЫ МОДЕЛИ

На рис. 7 представлен алгоритм программы, разрабатываемой модели устройства. В первую очередь устанавливаются флаги, использующиеся для определения условий выполнения инструкций в программе, например, если флаг T установлен в единицу, то требуется передать значение переменной counter в терминал.

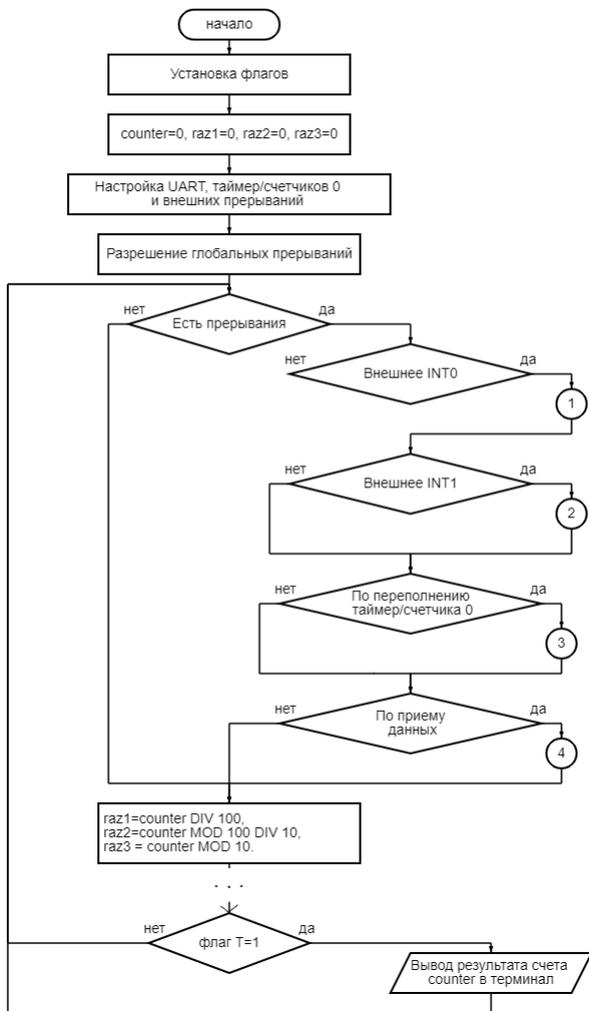


Рис. 7. Алгоритм работы модели

Входными переменными программы являются counter – количество оборотов, raz1, raz2, raz3 – 1-й, 2-й и 3-й разряды числа counter (нужны для отображения результата измерения на семисегментных индикаторах).

Далее производятся настройки:

- UART для приема/передачи данных: установка скорости передачи, формат посылки, разрешение прерываний по приему данных.
- Таймера/счетчика 0 для отображения динамической индикации: установка прерывания по переполнению таймер/счетчика и делителя частоты.
- Внешних прерываний INT0 и INT1: установка прерывания при получении входного сигнала с выхода датчика Холла.

После разрешения глобальных прерываний начинается бесконечный цикл (программа в устройстве работает, до выключения питания или сброса микроконтроллера), в котором ранее настроенные прерывания начинают срабатывать. Алгоритм (рис. 7) представляет порядок прерываний по их приоритету (в один момент времени могут поступить несколько запросов на прерывания, первым выбирается тот, у которого приоритет больше).

Цифрами 1–4 (рис. 7) обозначены алгоритмы программ в прерываниях, которые рассматриваются далее. Трехточие в алгоритме указывает на очередную проверку запросов на прерывания.

При срабатывании Датчиков Холла, сигналы с их выходов поступают на выходы PD2 и PD3 (рис. 6) микроконтроллера и запускают внешние прерывания INT0 и INT1, алгоритмы программ которых представлены на рис. 8 и 9,

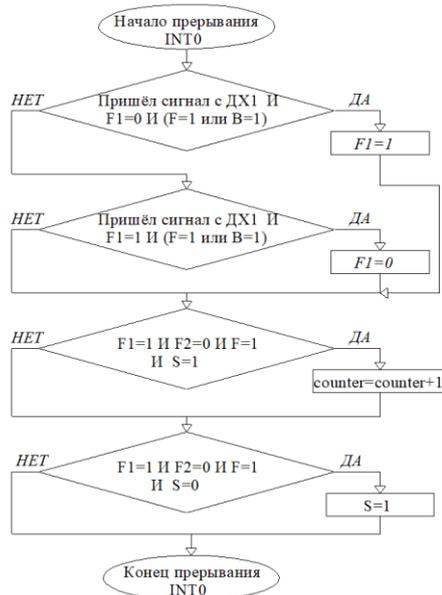


Рис. 8. Алгоритм программы прерывания INT0

где F1 и F2 – флаги, фиксирующие срабатывания первого и второго датчика Холла (ДХ1 и ДХ2), F – флаг установки прямого счета, S – флаг начала отсчета, B – флаг установки обратного счета.

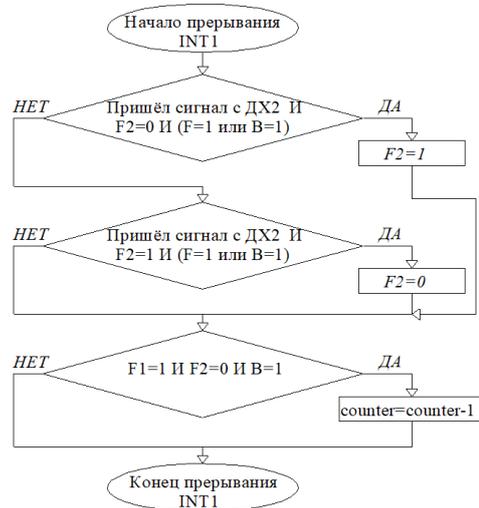


Рис. 9. Алгоритм программы прерывания INT1

Алгоритмы внешних прерываний позволяют рассчитать количество оборотов, вращающейся детали. Далее необходимо отразить это количество на устройстве индикации. Это позволяет сделать алгоритм программы прерывания по переполнению таймер/счётчика 0. Суть алгоритма заключается в быстром переключении между разрядами индикатора и

подаче комбинации 1 и 0, соответствующей цифре разряда семисегментного индикатора.

На рис. 10 представлен алгоритм программы прерывания по приему данных. С помощью данного алгоритма устанавливаются флаги, соответствующие командам, посланным с терминала, а также производится сброс счётчика в 0.

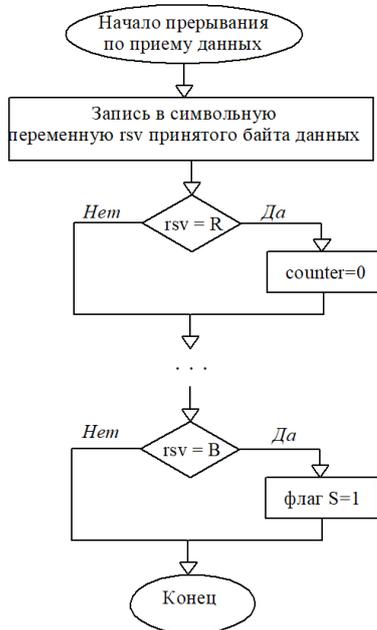


Рис. 10. Алгоритмы программы прерывания по приему данных

Пример работы модели по вышеприведённому алгоритму (рис. 7) в программе proteus представлен на рис. 11.

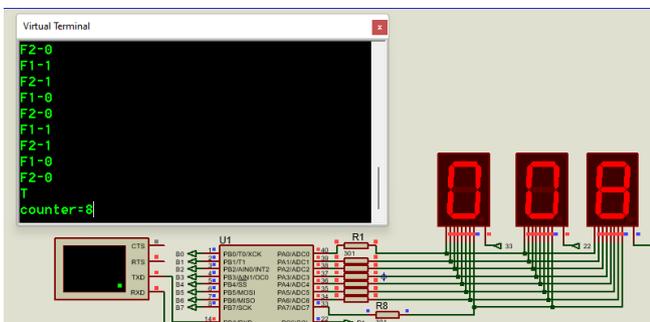


Рис. 11. Пример работы модели: ввод команды Т в терминале, в результате чего выводится результат счета counter

V. ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Разрабатываемая модель предназначена для измерения от 10 об/с до 100 об/с.

В идеальном случае при запуске устройства магнит должен находиться над датчиком Холла, на практике это не так, и часть оборота за время, за которое один из магнитов первым дойдет до датчика, будет являться одной из составляющих погрешности измерения.

Колесо начинает вращение при максимально удаленном положении магнита от датчика Холла, когда датчик срабатывает, колесо совершит $\Delta f_{с\max}=0,2$ оборота, что не учитывается при измерении.

Также погрешность возникает из-за времени срабатывания и отпускания датчиков Холла. В разрабатываемом устройстве время срабатывания и отпускания датчиков составляют 2 мкс, из-за чего смещение импульсов $\Delta t_{\partial x}$ при измерении частоты составляет 4 мкс.

Погрешность при измерении вращения детали с истинной частотой вращения $f_u=10$ об/с можно рассчитать по формуле (1):

$$\Delta f_{10} = \left(\frac{1}{T_u + \Delta t_{\partial x}} + f_{с\max} \right) - f_u \approx 0,2 \text{ об/с}, \quad (1)$$

где T_u – время одного оборота.

В данном случае погрешность составит 0,4% от измеряемой величины.

Для частоты $f_u=100$ об/с погрешность $\Delta f_{100}=0,16$ об/с, что соответствует 0,16% от измеряемой величины.

Ошибки алгоритма обработки данных, вибрации, электромагнитные поля и другие факторы окружающей среды, также могут являться составляющими погрешности измерения, но их влияние настолько мало, что ими можно пренебречь.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были представлены устройства, работа которых основана на измерении частоты вращения детали. Основными блоками, которые должны быть включены при разработке данного типа устройств, являются: блок датчиков – один или несколько датчиков Холла, блок магнитного поля – вращающаяся деталь с магнитами, блок обработки и управления – логические схемы или микроконтроллер, блок индикации и блок связи с внешними устройствами.

Составлен алгоритм для измерения количества оборотов колеса разрабатываемой моделью, и рассчитаны погрешности при измерении частоты вращения в 10 об/с и 100 об/с, при условии, что случайная погрешность, зависящая от стартового положения колеса, была максимальной. Их значения равны 0,4 % и 0,16 % соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кобус А., Тушинский Я. Датчики Холла и магниторезисторы. Москва: Энергия, 1971. 352 с.
- [2] Глухов В.В., Соловьев Ю.С. Авиационные приборы и информационно-измерительные системы. Москва: МГТУ ГА, 2008. 20 с.
- [3] Hall Effect Sensing and Application, [Электронный ресурс], URL: https://win.adrirobot.it/sensori/sensore_magnetico/Esempi_applicativi_sensore-magnetico.pdf/ (дата обращения 08.04.2022)
- [4] The CM2 SIDESCAN SONAR SYSTEM, [Электронный ресурс], URL: https://irp.cdnwebsite.com/5409427c/files/uploaded/CM2%20User%20Manual%204_0_online.pdf/ (дата обращения 15.05.2022)
- [5] Вставская Е.В., Константинов В.И. Микропроцессорные средства систем управления. Челябинск: ЮУрГУ, 2010. 91 с.
- [6] FT232R USB UART I.C., [Электронный ресурс], URL: <https://static.chipdip.ru/lib/222/DOC000222844.pdf/> (дата обращения 24.11.2022)
- [7] Прокопенко В.С. Программирование микроконтроллеров ATMEGA на языке С. СПб: «КОРОНА-ВЕК», 2015. 320 с.