

УДК 004.31: 621.3.01

**А.П. ПОПОВ, М.Р. ВИНОКУРОВ, А.А. МОИСЕЕНКО**

## **МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ И ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА**

*Предложена конструкция датчика на основе времяимпульсного способа измерения крутящего момента. Разработана цифровая часть микропроцессорной системы на основе микроконтроллера и схемах первичного преобразования сигнала. Результаты аналитического исследования подтверждены экспериментальными данными.*

**Ключевые слова:** крутящий момент, времяимпульсный способ измерения, микропроцессорная система, микроконтроллер, схема первичного преобразования сигнала.

**Введение.** Использование все более совершенных средств контроля показателей технологических процессов является одной из основных задач автоматизации производства. Контроль такого показателя, как крутящий момент, необходим в системах защиты от механических перегрузок, при испытаниях двигателей и трансмиссий, исследовании механических характеристик рабочих механизмов и в системах управления. Системы управления механизмами и процессами для своей работы требуют применения различных датчиков, одним из которых является датчик крутящего момента. Лидером в производстве датчиков крутящего момента является немецкая компания НВМ, также на рынке распространены устройства японской компании Куоуа, немецкой Burster, корейской Dacell.

Данные компании предлагают широкий модельный ряд измерителей крутящего момента, большинство из которых имеют схожие принципы действия, основанные на использовании тензосхем. Датчики крутящего момента, основанные на тензометрии, преобразуют скручивание измерительного вала (торсионную деформацию) в соответствии с моментом в электрический сигнал и передают этот сигнал посредством контактных колец и щеток либо по принципу вращающегося трансформатора, либо оптическим способом. Среди перечисленных наибольший интерес вызывают бесконтактные датчики крутящего момента. В них отсутствуют щетки и контактные кольца, что делает эти датчики надежными и удобными в обслуживании.

Принцип действия современных бесконтактных датчиков с оптической передачей заключается в следующем: датчики осуществляют измерение торсионной деформации вала, вызванной крутящим моментом, посредством тензосхемы и преобразуют в сигнал по напряжению. Далее сигнал с тензосхемы усиливается и оцифровывается с помощью АЦП во вращающейся части и передается в оптическом виде через оптопары на стационарную часть. Переданный сигнал конвертируется ЦАП в аналоговый выходной сигнал, который затем поступает на регистрирующее устройство. Питание передается со статорной части на роторную посредством вращающегося трансформатора [1]. В качестве примера на рис.1. приведена структурная схема бесконтактного датчика с оптической передачей.

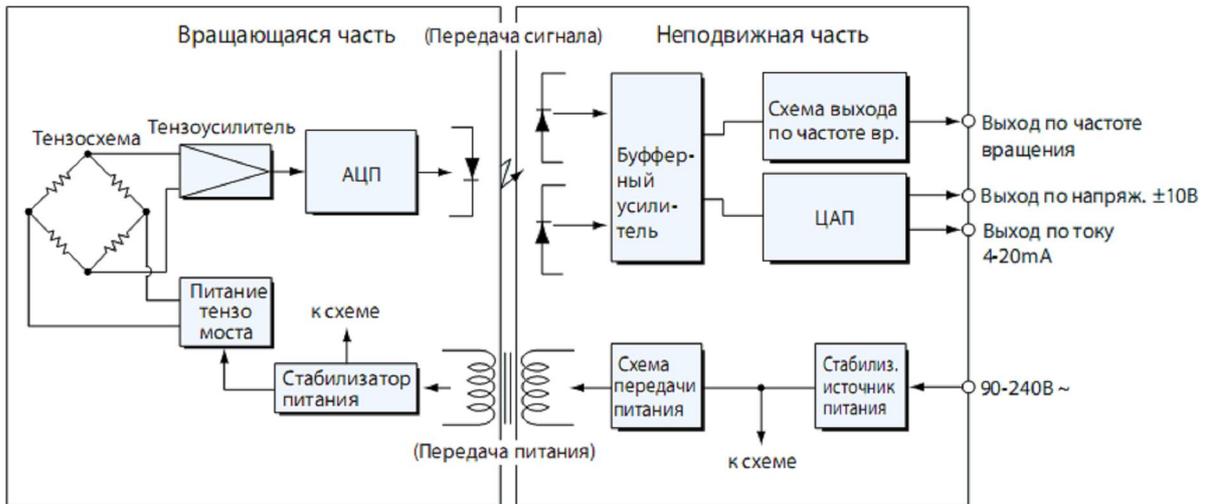


Рис.1. Структурная схема бесконтактного датчика с оптической передачей

Указанные выше типы бесконтактных датчиков крутящего момента требуют сложной технологии и имеют высокую стоимость, что позволяет, в конечном счете, обеспечить высокую точность измерений. В ряде случаев для целей контроля и защиты от перегрузок высокая точность не требуется, что позволяет использовать сравнительно простые и недорогие бесконтактные датчики момента.

**Постановка задачи.** Предлагаемый датчик крутящего момента не требует сложной технологии и основан на времяимпульсном способе измерения крутящего момента [2]. Суть времяимпульсного способа заключается в следующем. Два соосных вала нагрузки и рабочего механизма соединяют через упругий элемент. На концах упругого элемента устанавливают ферромагнитные зубцы. При отсутствии крутящего момента угловое смещение между первым и вторым зубцами равно нулю. На плоском жестком основании, параллельном осевой линии двигателя и рабочего механизма, установлены два индукционных датчика. При вращении валов в момент прохождения любого из зубцов через магнитное поле соответствующего датчика последний вырабатывает двухполярный импульс напряжения (рис. 2). Если крутящий момент не равен нулю, упругий элемент скручивается, а один из зубцов начинает отставать от другого на определенный угол. Интервал времени между импульсами первого и второго индукционных датчиков будет прямо пропорционален углу скручивания упругого элемента (т.е. крутящему моменту) и обратно пропорционален угловой скорости вращения зубцов.

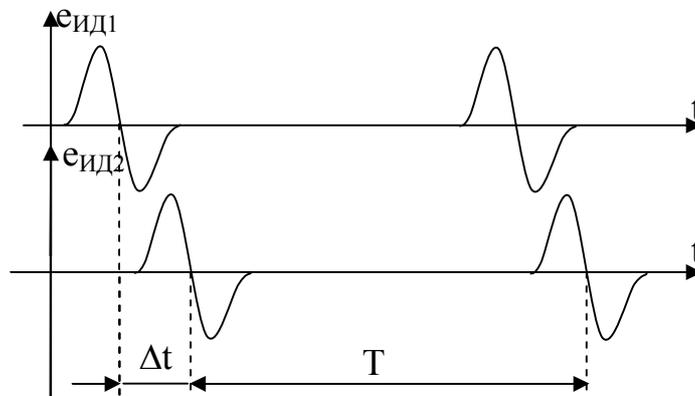


Рис. 2. Выходные двухполярные импульсы индукционных датчиков

Данный интервал времени  $\Delta t$  будем определять следующим выражением:

$$\Delta t = \frac{dl}{V_{BP}},$$

где  $dl$  – элемент длины окружности радиуса  $R_D$ , определяемый углом скручивания упругого элемента;

$$V_{BP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_D}{T} = \omega \cdot R_D,$$

где  $R_D$  – радиус окружности, описываемой вершиной зубца;  $T$  – период вращения вала двигателя;  $\omega$  – угловая скорость вращения зубцов.

Угол скручивания упругого элемента зависит от приложенного к нему момента и от его жесткости, тогда:

$$dl = M \cdot K_1,$$

где  $M$  – крутящий момент на валу двигателя;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от свойств упругого элемента.

Выразив величину измеряемого крутящего момента из последнего выражения, получим:

$$M = \frac{dl}{K_1} = \frac{\Delta t \cdot V_{BP}}{K_1} = \frac{\Delta t \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_D}{K_1 \cdot T} = \frac{\Delta t}{T} \cdot K_2, \quad (1)$$

где  $K_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot R_D}{K_1}$  – коэффициент пропорциональности.

Таким образом, задача определения крутящего момента сводится к измерению интервалов времени  $\Delta t$  и периода вращения вала  $T$ , что может быть выполнено с высокой точностью, а константа  $K_2$  определяется заранее в процессе градуировки с использованием точных средств измерения крутящего момента.

Одна из основных задач данного метода заключается в создании преобразователя крутящего момента в интервал времени, т.е. упругого элемента. Упругий элемент должен обладать достаточно высокой линейностью и необходимым динамическим диапазоном упругих перемещений.

Измерительные упругие элементы, к которым предъявляют требования линейности и постоянства рабочих характеристик во времени, изготавливаются из специальных сталей, обладающих незначительным гистерезисом, релаксацией, ползучестью и т. п. Обычно в качестве материалов для изготовления упругих элементов применяют высококачественные углеродистые стали У9А-У12А (ГОСТ 1435-74) и стали, легированные кремнием (60С2, 60С2А), марганцем (65Г), никелем, хромом, ванадием (50ХГА, 50ХФА, 65С2ВА) и т.п. [7].

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** Предлагаемый вариант конструкции датчика крутящего момента приведен на рис.3.

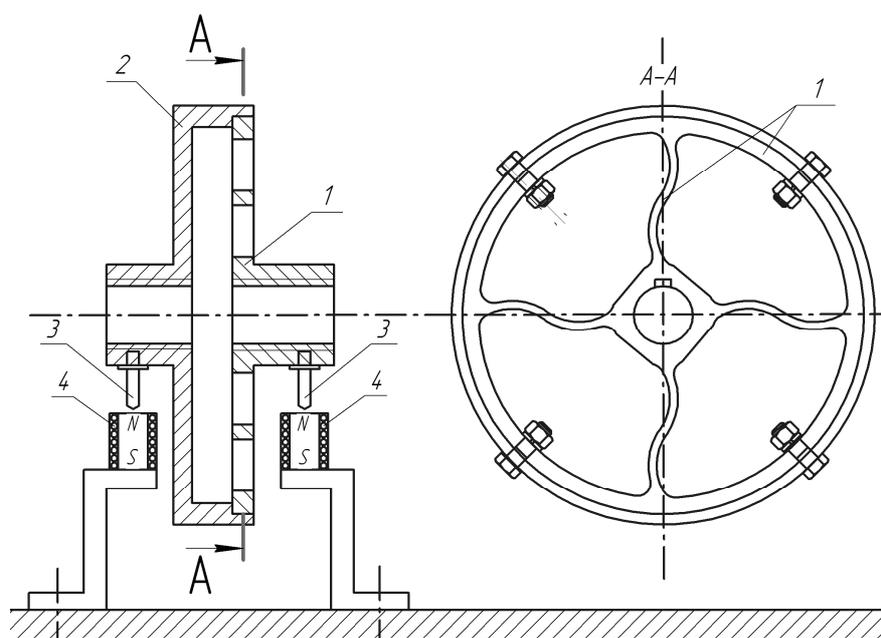


Рис. 3. Конструкция датчика: 1 – изгибаемый под действием крутящего момента упругий элемент; 2 – недеформируемая часть; 3 – ферромагнитные зубцы; 4 – индукционные датчики

Угол изгиба упругого элемента, толщина и радиус его рассчитываются исходя из амплитудного значения крутящего момента на валу рабочего механизма и марки стали. Недеформируемая часть упругого элемента изготавливается из обычной конструкционной стали, например, марки 45, а деформируемая часть - из пружинной стали, например, марки 65Г.

Выходные сигналы индукционных датчиков подаются на цифровую часть для дальнейшей обработки. Задача цифровой части состоит в достаточно точном вычислении сдвига по времени между импульсами индукционных датчиков  $\Delta t$ , расчете периода вращения вала двигателя  $T$ , расчете потребляемой рабочим механизмом мощности и крутящего момента. При этом система должна быть независимой от порядка подключения датчиков и направления вращения.

Цифровая часть микропроцессорной системы, приведенной на рис. 4, основана на микроконтроллере и схемах первичного преобразования сигнала. Выходные импульсы индукционных датчиков необходимо преобразовать в прямоугольные импульсы, что выполняется формирователем импульсов. Далее, уже прямоугольные импульсы могут быть с высокой точностью считаны микроконтроллером. Программа микроконтроллера [4] реагирует на поступление каждого из импульсов и осуществляет вычисление сдвига во времени между импульсами разных датчиков, а также рассчитывает период и скорость вращения вала двигателя по разнице во времени между импульсами с одного из датчиков.

Сигналы с датчика тока и датчика напряжения преобразуются с помощью схем смещения уровня так, что форма сигнала сохраняется, но все значения находятся в положительной плоскости. Это необходимо для ввода сигнала в АЦП микроконтроллера. Кроме того, программа микроконтроллера использует данные с АЦП и вычисляет действующие значения фазного тока и напряжения асинхронного двигателя.

Используя значения вычисленных параметров, программа осуществляет вычисление крутящего момента по формуле (1) и выводит вычисленные значения в цифровой форме по интерфейсу RS-232 и на ЖК-дисплей.

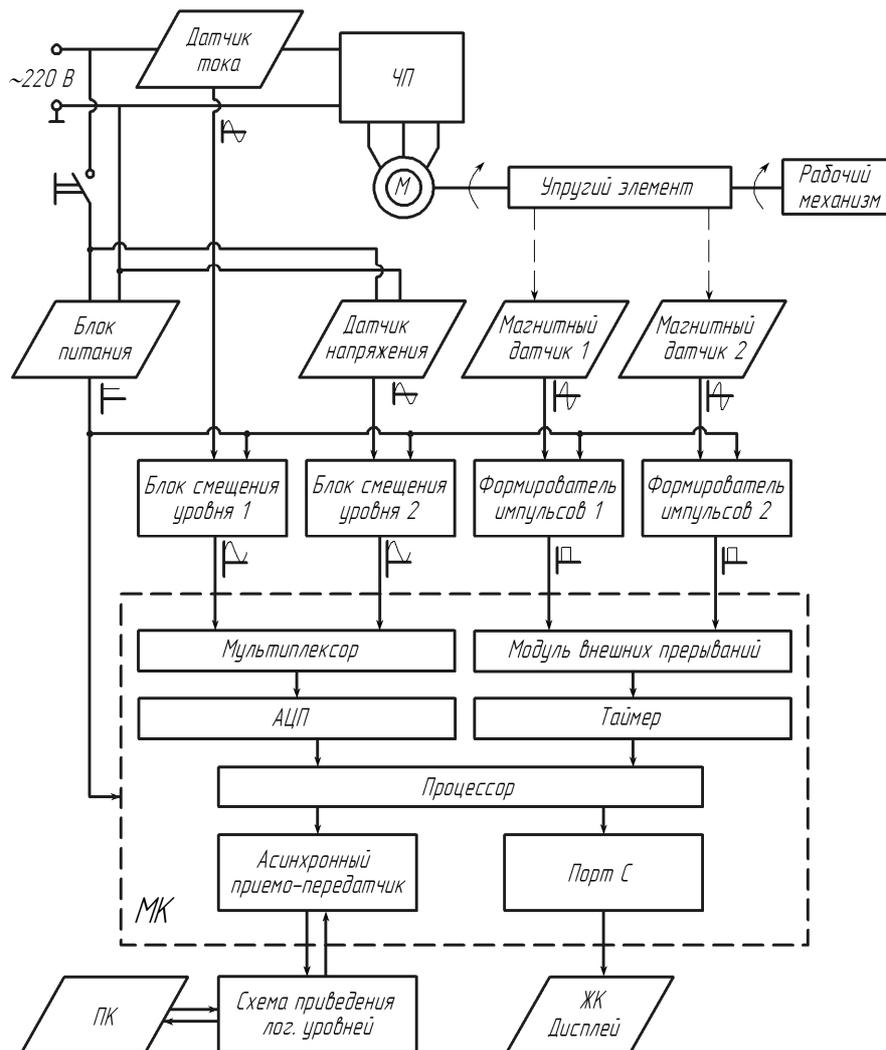


Рис.4. Структурная схема микропроцессорной системы бесконтактного контроля и измерения крутящего момента

На основе приведенной структурной схемы (см. рис.1) реализовано действующее микропроцессорное устройство измерения крутящего момента, используемое в учебном процессе. В качестве микроконтроллера был применен 8-битный микроконтроллер AVR Atmega16 компании Atmel.

Предварительные испытания показали, что при использовании упругого элемента, деформируемая часть которого изготовлена из стали 65Г, погрешность измерения имеет величину порядка 1%.

**Выводы.** 1. Предлагаемая конструкция упругого элемента датчика крутящего момента позволяет обеспечить необходимую угловую деформацию изгибаемой части упругого элемента датчика.

2. Предложены структура микропроцессорной системы преобразования сигналов индукционных бесконтактных датчиков и вычисления крутящего момента, а также программа, реализующая приведенную на рис. 4 структуру этой микропроцессорной системы [4].

#### Библиографический список

1. Kyowa corp. Датчики крутящего момента. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [www.kyowa.ru](http://www.kyowa.ru), 2007. – 11 с.

2. Пат. 2227304 РФ: МПК7 G01P3/487. Устройство для измерения мгновенной скорости вращения / А.П. Попов, А.А. Горшенков; - №2227304; опубл. 20.04.2004 в БИ №11..

3. Пономарев С. Д. Расчет упругих элементов машин и приборов. / С.Д. Пономарев, Л.Е. Андреева. – М.: Машиностроение, 1980. – 326 с.

4. Свидетельство об официальной регистрации. Программа микроконтроллер для цифрового датчика вращающего момента / А.П. Попов, А.А. Моисеенко. – №14230; зарег. 23.09.2009. – М.: Ин-т информатизации образования, 2009.

Материал поступил в редакцию 16.12.09.

**A.P. POPOV, M.R.VINOKUROV, A.A. MOISSEYENKO**

### **MICROPROCESSOR SYSTEM OF CONTACTLESS CONTROL AND MEASUREMENT OF THE TORSION TORQUE**

The design of the cycle-repeat timer's way of measurement of the torsion torque is offered. The digital part of the microprocessor system is developed on the basis of the microcontroller and the circuits of the primary signal transformation. The results of the analytical research are confirmed by the experimental data.

**Key words:** torsion torque, cycle-repeat timer's way of measurement, microprocessor system, microcontroller, circuit of the primary signal transformation.

**ПОПОВ Анатолий Петрович** (р.1937), заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета, доктор технических наук (1989), профессор (1990). Окончил Томский политехнический институт (1962).

Область научных интересов: электротехника, электроника, информатика.  
Автор более 140 научных публикаций.

popov@omgtu.ru

**ВИНОКУРОВ Михаил Романович** (р.1948), кандидат технических наук (1982), доцент (1983) кафедры «Электротехника и техническая кибернетика» Института энергетики и машиностроения ДГТУ, доцент кафедры «Электротехника и электроника» Донского Государственного технического университета. Окончил Омский политехнический институт (1972).

Область научных интересов – теоретическая электротехника.  
Автор более 30 научных публикаций.

vmr125@mail.ru

**МОИСЕЕНКО Андрей Александрович** (р.1986), аспирант кафедры «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета. Окончил Омский государственный технический университет (2008).

Область научных интересов – программирование, информационные технологии, схемотехника и измерительная техника.

Автор 5 научных публикаций.

cppdef@gmail.com