

ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

**Дмитрий Николаевич Афоничев
Роман Михайлович Панов
Сергей Александрович Филонов**

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Моментометры эксплуатируются в неблагоприятных производственных условиях, при этом они находятся на определённых расстояниях до вторичных приборов, автоматических устройств управления, вследствие чего возникают помехи. При исследовании электроприводов расстояние передачи сигналов составляет несколько метров, а при исследовании ветрогенераторов – несколько сотен метров. Разработан микропроцессорный моментометр, включающий следующие элементы, установленные в корпусе: датчик, состоящий из четырёх тензорезисторов, соединённых в измерительный мост, и измерительного усилителя; микроконтроллер AVR со стабилизатором напряжения и фильтром от высокочастотных помех; источник питания. Прибор оснащён оптическим коммуникационным устройством, осуществляющим передачу цифрового оптического сигнала и состоящим из передатчика, выполненного на инфракрасном диоде и токоограничивающем резисторе, оптического волокна и приёмника оптического сигнала. Применение оптического коммуникационного устройства обеспечивает надёжную передачу данных на SPI-дисплей и компьютер, а также комфортные условия работы персонала, так как позволяет значительно удалить устройства воспроизведения информации от объекта контроля. К выходу приёмника оптического сигнала могут быть подключены SPI-дисплей, передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T или конвертер (преобразователь интерфейса) для соединения с компьютером. Для измерений крутящих моментов на ветроэлектрических установках моментометр дополнительно может быть оснащён системой беспроводной передачи данных на компьютер, которая состоит из передатчика радиосигнала HOPE-RF HM-T и приёмника радиосигнала HOPE-RF HM-R, работающих на частоте 433 МГц. Расстояние передачи радиосигнала составляет 370 м. Для передачи данных с приёмника на компьютер применяется преобразователь USB-UART, который подключается к USB-порту компьютера. Регистрация и обработка данных на компьютере осуществляются посредством программного обеспечения LabVIEW (лаборатория виртуальных приборов) или SCADA-системой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микропроцессорный моментометр, крутящий момент, тензорезистор, микроконтроллер, оптическое волокно, цифровой сигнал, оптическое коммуникационное устройство.

IMPROVING RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION AT TORQUE READING

**Dmitriy N. Afonichev
Roman M. Panov
Sergey A. Filonov**

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

Torque meters perform in unfavorable operating conditions being located at certain distances from secondary devices, automatic control devices, as a result of which interference occurs. In the study of electric drives, the signal transmission distance is of several meters, and in the study of wind-powered generators is of several hundred meters. A microprocessor-controlled torque meter has been developed that includes the following elements installed in the housing: a sensor (consisting of four strain gages connected to a measuring bridge, and measuring amplifier), AVR microcontroller with voltage stabilizer and high-frequency interference filter, power supply. The device is equipped with an optical communication unit transmitting digital optical signal and consisting of a transmitter made on an infrared diode and a current-limiting resistor, an optical fiber and an optical signal receiver. The use of an optical communication device ensures reliable data transmission to the SPI display and computer, as well as comfortable working conditions for personnel, as it allows installing information playback devices at a considerable distance from the object of control. SPI display, HOPE-RF HM-T signal transmitter or a converter (interface converter) can be connected to the output of the optical signal receiver and to a computer.

The torque meter can also be equipped with a system for wireless data transmission to a computer, which can be used for measuring torques on wind electric set. Wireless data transmission consists of a HOPE-RF HM-T signal transmitter and a HOPE-RF HM-R radio receiver operating at a frequency of 433 MHz. The radio signal transmission distance is 370 m. To transfer data to the computer from the receiver, a USB-UART converter is used, which is connected to the computer USB port. Data registration and processing on the computer are performed using the LabVIEW software (virtual instrument laboratory) or a SCADA system.

KEYWORDS: microprocessor-controlled torque meter, torsion, strain gauge, microcontroller, optical fiber, digital signal, optical communication device.

Введение

Широкое разнообразие сфер применения измерений крутящего момента определило и разнообразие используемых в этих целях средств измерений, которые принято называть моментомерами, или датчиками крутящего момента [3, 5, 9, 13]. Их подразделяют на стационарные и переносные. Стационарными моментомерами называются измерительные установки, содержащие источник энергии, поглотитель энергии и измеритель крутящего момента. Переносные моментомеры устанавливаются в цепь передачи крутящего момента между источником и поглотителем энергии. Моментомеры предоставляют возможность измерений крутящего момента как на неподвижном, так и на вращающемся валу. Стационарные моментомеры для измерений на вращающемся валу подразделяются на балансирные моментомеры, основанные на косвенных методах измерений, и механо-фрикционные [3, 5, 9, 13].

Балансирные моментомеры преобразуют крутящий момент на вращающемся валу в реактивный момент невращающегося статора моментомера, установленного на балансирную (поворачивающуюся) платформу [3, 5, 9, 13]. На балансирную платформу также могут устанавливаться либо источник энергии (двигатель), либо поглотитель энергии, либо промежуточное звено (редуктор). Реактивный момент измеряется по принятой классификации стационарными или переносными моментомерами для измерений на неподвижном валу. В качестве поглотителей энергии используют гидравлические, аэродинамические, механические и электрические тормоза. К последним относятся порошковые тормоза, тормоза на базе электромашин постоянного и переменного тока, индукторные тормоза, основной областью применения которых является оценка механической мощности двигателей внутреннего сгорания, турбин, генераторов, электродвигателей, насосов, вентиляторов и т. д.

Принцип действия стационарных моментомеров основан на измерениях следующих показателей [3, 5, 9, 13]:

- ускорения при известном моменте инерции вращающихся элементов (используют при определении крутящего момента в переходных и неустановившихся режимах);
- частоты вращения вала и электрических параметров электромашин (используют при контроле крутящего момента и механической мощности в технологических процессах и аварийной сигнализации);
- угла закручивания или напряжения металла штатных упругих элементов стационарных энергетических установок с передачей информации с вращающегося вала.

Основная область применения указанных моментомеров – это контроль энергетических параметров процессов бурения, работы прокатных станов, судовых установок, сигнализация при возникновении аварийной ситуации и т. д.

Моментомеры выдают результаты измерений в виде электрических сигналов, которые преобразуются в показания вторичных приборов (стрелочных или цифровых) [3, 5, 9, 13]. Моментомеры эксплуатируются непосредственно на контролируемых объектах – различных валах, то есть в неблагоприятных производственных условиях [12, 15],

что обуславливает наличие определённых расстояний до вторичных приборов, автоматических устройств управления и, как следствие, возникновение помех. Необходимо отметить, что расстояние передачи сигналов зависит от исследуемых объектов. При исследовании электроприводов расстояние передачи сигналов составляет несколько метров [8, 12], а при исследовании ветрогенераторов требуется передать сигналы на расстояния в несколько сотен метров [15].

В настоящее время интенсивно развивается микропроцессорная техника [10, 11, 14], в частности, создаются различные микропроцессорные измерительные приборы, позволяющие производить обработку результатов измерений и их передачу цифровыми сигналами с использованием различных линий связи: проводных электрических, волоконно-оптических, беспроводных [1, 7]. В литературе, посвященной моментомерам, нет описания приборов, включающих микроконтроллеры и выдающих цифровые сигналы [3, 5, 9, 13].

Материалы и методы исследования

Выполнен анализ конструкций и электрических принципиальных схем моментомеров и структурных схем микропроцессорных приборов. Структура разработанного моментомера принята типичная для микропроцессорных приборов и включает датчик (чувствительные элементы и преобразователь) и микропроцессорный блок, которые размещаются в корпусе.

Конструкция корпуса состоит из двух фланцев, к которым прикрепляются валы от источника крутящего момента и от нагрузки (рис. 1).

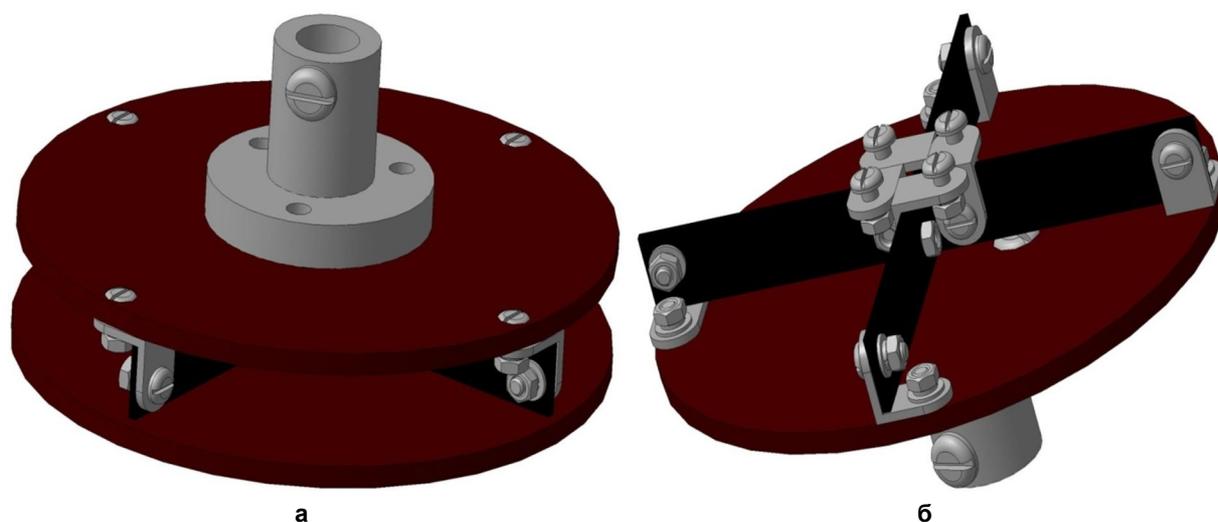


Рис. 1. Корпус датчика: а – фланец и диски; б – упругие пластины

На каждом фланце установлены диски, которые соединены между собой четырьмя упругими пластинами. Материал и толщина пластин выбираются в зависимости от максимального крутящего момента так, чтобы обеспечивалась необходимая упругость при измерениях и фиксировалась величина измеряемого момента с помощью тензорезисторов, наклеенных на этих пластинах. Между дисками размещаются элементы датчика, микроконтроллер и источник питания. На дисках закрепляется кожух, который закрывает внутренние компоненты устройства и обеспечивает защиту от попадания внутрь посторонних предметов. В качестве чувствительных элементов используются полупроводниковые тензорезисторы [2].

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлен общий вид разработанного микропроцессорного моментомера, который включает следующие элементы, установленные в корпусе:

- датчик, состоящий из четырёх тензорезисторов и измерительного усилителя;
- микроконтроллер AVR со стабилизатором напряжения и фильтром от высокочастотных помех;
- источник питания.



Рис. 2. Общий вид микропроцессорного моментомера

На рисунке 3 приведена электрическая принципиальная схема предлагаемого микропроцессорного моментомера. На схеме показаны:

- четыре тензорезистора RK1–RK4;
- источник питания GB1 (четыре аккумулятора 1,2 В);
- измерительный усилитель DA2;
- стабилизатор напряжения 5 В (DA3, C3, C4 и C5);
- фильтры от высокочастотных помех (C2 и C6);
- микроконтроллер DD1.
- оптическое коммуникационное устройство, осуществляющее передачу цифрового оптического сигнала, состоящее из передатчика, выполненного на инфракрасном диоде VD1 и токоограничивающем резисторе R3, и приёмника оптического сигнала DA1.

сигнала HOPE-RF HM-R, которые работают на частоте 433 МГц [6]. Расстояние передачи радиосигнала составляет до 370 м. Для передачи данных на компьютер с приёмника применяется преобразователь USB-UART, который подключается к USB-порту компьютера. Регистрация и обработка данных на компьютере осуществляется посредством программного обеспечения LabVIEW (лаборатория виртуальных приборов) [1] или SCADA-системой [7].

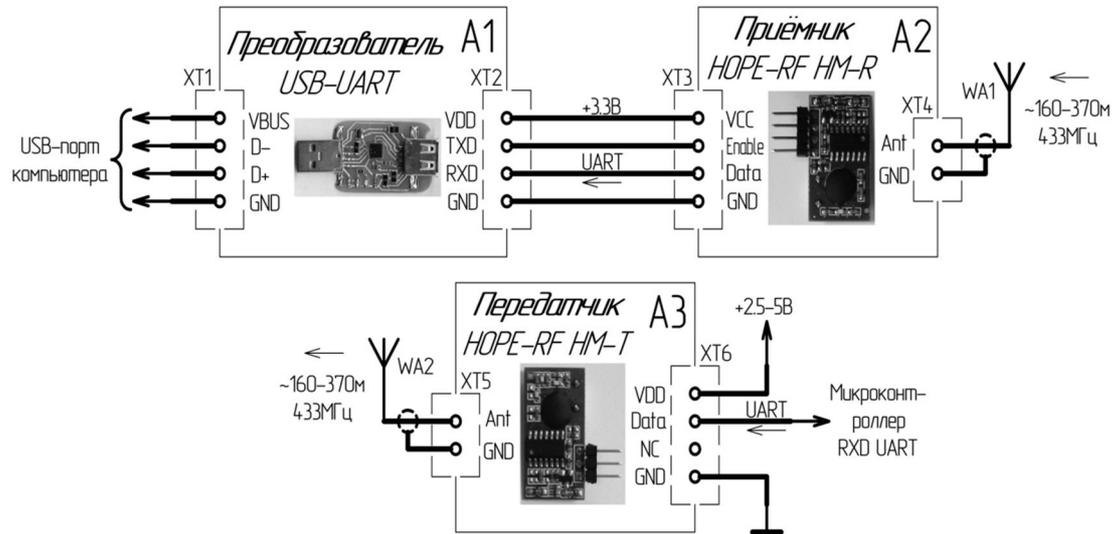


Рис. 4. Структурная схема беспроводной передачи данных с моментомера на компьютер

Вариант подключения передатчика радиосигнала HOPE-RF HM-T к выводу XT12 более предпочтительный, так как при подключении в выводу XT13 передатчик радиосигнала HOPE-RF HM-T находится во вращающемся корпусе моментомера.

Выводы

1. Предложенный микропроцессорный моментомер, выполненный на тензорезисторах и микроконтроллере AVR и оснащённый оптическим коммуникационным устройством, позволяет измерять крутящие моменты на вращающихся и неподвижных валах, обрабатывать результаты измерения и выдавать их в виде цифрового оптического сигнала, который передаётся по оптическому волокну.

2. Применение в моментомере оптического коммуникационного устройства обеспечивает надёжную передачу данных на SPI-дисплей и компьютер, а также комфортные условия работы персонала, так как позволяет значительно удалить устройства воспроизведения информации от объекта контроля.

Библиографический список

1. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 (30 лекций) / П.А. Бутырин и др. – Москва : ДМК Пресс, 2009. – 265 с.
2. Автоматика : учеб. пособие / Д.Н. Афоничев, С.Н. Пиляев, М.Ю. Еремин и др. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – 231 с.
3. Бауманн Э. Измерение сил электрическими методами / Э. Бауманн ; пер. с немецкого А.С. Вишенкова и С.Н. Герасимова ; под ред. И.И. Смылова. – Москва : Мир, 1978. – 430 с.
4. Безруких П.П. Ветроэнергетика : справочно-методическое издание / П.П. Безруких, П.П. Безруких (мл.), С.В. Грибов ; под общ. ред. П.П. Безруких. – Москва : Теплоэнергетик, 2014. – 304 с.
5. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления : конспект лекций / М.П. Белов, А.Л. Ляшенко, И.А. Кучеренко. – Санкт-Петербург : СатиСЪ, 2013. – 113 с.
6. Беспроводные технологии. Радиомодули HOPE-RF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wireless-e.ru/radiomoduli/hope-rf/> (дата обращения: 20.10.2020).
7. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием : монография / В.В. Денисенко. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2009. – 606 с.
8. Панов Р.М. Преобразователь частоты для питания трехфазного асинхронного электродвигателя от однофазной сети / Р.М. Панов, Н.В. Прибылова, С.А. Филонов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 1 (60). – С. 122–127.
9. Поляков С.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов : учеб. пособие / С.И. Поляков. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», 2008. – 372 с.
10. Сажнев А.М. Цифровые устройства и микропроцессоры : учеб. пособие / А.М. Сажнев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2020. – 139 с.
11. Смирнов Ю.А. Основы микроэлектроники и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 496 с.
12. Устройство защиты электродвигателя от неполнофазных режимов работы и перегрузки / Д.Н. Афоничев, В.И. Калашник, Н.В. Прибылова, С.А. Филонов // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (55). – С. 117–123.
13. Шалыгин М.Г. Автоматизация измерений, контроля и испытаний : учеб. пособие / М.Г. Шалыгин, Я.А. Вавилин. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 172 с.
14. Шаляпин В.В. Основы микропроцессорной техники / В.В. Шаляпин. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2011. – 214 с.
15. Shepherd W. Electricity generation using wind power / W. Shepherd, L. Zhang. – London : World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2017. – 288 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Дмитрий Николаевич Афоничев – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Роман Михайлович Панов – старший преподаватель кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: panov1982@yandex.ru.

Сергей Александрович Филонов – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Россия, г. Воронеж, e-mail: filonovser@yandex.ru.

Дата поступления в редакцию 16.10.2020

Дата принятия к печати 28.11.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Dmitriy N. Afonichev, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Roman M. Panov, Senior Lecturer, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: panov1982@yandex.ru.

Sergey A. Filonov, Candidate of Engineering Sciences, Docent, the Dept. of Electrical Engineering and Automation, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Russia, Voronezh, e-mail: filonovser@yandex.ru.

Received October 16, 2020

Accepted after revision November 28, 2020