

РУБРИКА 2: Научные и технические разработки
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 62-531.7
DOI 10.17816/transsyst2020615-14

© **Т. А. Раянов**

Санкт-Петербургский Государственный университет
морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
(Санкт-Петербург, Россия)

ОБЗОР НОВЫХ ТИПОВ ДАТЧИКОВ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

В последнее время огромную популярность получили современные системы измерения крутящего момента они применяются в автомобильном, железнодорожном, авиационном и судовом транспорте, а также в целлюлозной, бумажной, металлургической промышленности. Данные метрологические системы обеспечивают точное измерение значения крутящего момента в сложных эксплуатационных условиях, а также в агрессивных средах. Благодаря внедрению микропроцессоров в данные устройства стало возможным увеличивать быстродействие, появилось возможность подключать следящие автоматические системы крутящего момента по сетевому интерфейсу к единому центру автоматического управления и производить дистанционное управление датчиками крутящего момента.

При помощи использования современного программного обеспечения повышается коммуникабельность автоматических систем измерения крутящего момента. Разрабатываются различные программные модели для автоматических систем измерения крутящим моментом которые имеют возможность, либо частично имитировать данную систему, либо работать в качестве устройства-помощника адаптируя системы автоматического измерения к различным неопределенностям таким как температура окружающей среды и свойства ферромагнитных материалов. Повышается безопасность эксплуатации транспортных систем, грузоподъемных устройств и производственных установок.

Целью данной статьи является обзор и анализ новых типов датчиков крутящего момента от известных мировых производителей.

Рассмотрены конструкции и состав современных измерительных систем проанализированы их преимущества и недостатки. Приведено техническое описание по каждому из преобразователей крутящего момента.

Ключевые слова: крутящий момент, бесконтактные вращающиеся датчики, магнитоупругий эффект, измерительный фланец, программное обеспечение, индуктивное напряжение, изменение магнитного поля

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field - Electrical Engineering

© **T. A. Raianov**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
(St. Petersburg, Russia)

OVERVIEW OF NEW TYPES OF TORQUE FORCE SENSORS

In recent years, modern torque measurement systems have become very popular. they are used in road, rail, aviation and ship transport, as well as in the pulp, paper, and metallurgical industries. These metrological systems provide accurate torque measurement in difficult operating conditions as well as in aggressive environments. Thanks to the introduction of microprocessors in these devices, it became possible to increase the speed, it became possible to connect automatic torque tracking systems via a network interface to a single automatic control center and to perform remote control of torque sensors. With the use of modern software increases communication automatic torque measurement systems. Various software models are being developed for automatic torque measurement systems that have the ability to either partially simulate this system or work as an assistant device adapting automatic measurement systems to various uncertainties such as ambient temperature and properties of ferromagnetic materials. Safety of operation of transport systems, load-lifting devices and production facilities is increased.

The purpose of this article is to review and analyze new types of torque sensors well-known manufacturers. The design and composition of modern measuring systems are considered and their advantages and disadvantages are analyzed. The technical description for each of the torque converters is given.

Keywords: torque, non-contact rotating sensors, magnetoelastic effect, measuring flange, software, inductive voltage, magnetic field change

ВВЕДЕНИЕ

Измерение крутящего момента важно и полезно в производственной сфере, но в то же время мониторинг и измерение этого параметра должны быть точными и экономичными. Несмотря на то, что тензометрические датчики крутящего момента обеспечивают высокую точность, дороговизна и громоздкость таких приборов ограничивают их использование главным образом в исследовательских лабораториях и конструкторских бюро, а также при тестировании изделий на качество для проверки стандартов. Кроме того, такие датчики требуют высокого уровня обслуживания, что делает их непригодными для массовой интеграции в производственные системы. Были опробованы недорогие методы измерения крутящего момента в производственной среде, включая не прямые системы, которые,

например, контролируют изменения в потреблении электроэнергии. Но такие методы обычно обеспечивают низкое разрешение и недостаточно точны для практического применения [1].

Современные системы автоматического измерения крутящего момента имеют существенное отличие от тех систем, которые использовались несколько десятилетий назад, так как появилось возможность внедрения в них микропроцессорных систем автоматического управления. Использование микропроцессорных систем автоматического управления дало возможность дистанционного управления следящими системами автоматического управления, из-за появления у измерительных систем крутящего момента возможностей персонального компьютера. Стало возможным использования сетевых промышленных интерфейсов и протоколов таких как Modbus, Profibus DP и Industrial Ethernet. У любой современной системы имеется свой IP адрес по которому можно отследить устройство и оценить его техническое состояние находясь на огромных расстояниях от него [2]. Появилось возможность записывать все показания измерений в специальный жесткий диск чтобы потом по этим значениям оценивать оставшееся эксплуатационное время у гребного вала или производственной установки. Это все заставляет оптимистично смотреть на дальнейшее развитие систем автоматического измерения крутящего момента [3].

ДАТЧИКИ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ФЛАНЦЕВОГО ТИПА ФИРМЫ MAGTROL

Датчик крутящего момента Magtrol фланцевого типа со своей компактностью, отсутствием подшипников и необходимости обслуживания имеет ряд преимуществ для применения при измерении момента. Непосредственное жесткое закрепления датчика на валу или фланце допускает использование муфты только с одной стороны. Это позволяет облегчить установку в испытательной системе, укоротить общую длину испытательного стенда и снизить расходы [4].

Телеметрическая система датчика TF позволяет с высокой точностью передать сигнал, основанный на тензометрической технологии. Усилитель сигнала, установленный на измеряющем валу, усиливает измеренный сигнал, модулируя его до высокой частоты, передает его индуктивно (через ВЧ передатчик) на преобразователь. В преобразователе оцифрованный сигнал момента переходит в аналоговый выходной сигнал ± 5 В. Частота вращения может быть измерена и преобразована датчиком частоты через TTL выходной сигнал. Благодаря бесконтактному исполнению датчика момента, допустимый промежуток между измерительным фланцем и ВЧ передатчиком до 5 мм (в основном 1–3 мм)

позволяет производить прием сигнала независимо от осевых и радиальных перемещений. Еще одним преимуществом датчика TF является отсутствие интерференции сигнала и в отличие от других датчиков, TF не нуждается в круговой антенне на измерительном фланце. Дополнительно, датчик может быть закрыт кожухом, который не будет влиять на измеряемый сигнал

Датчики крутящего момента фланцевого типа могут измерять статический и динамический моменты на стационарном или вращающемся валу. В основном они используются на испытательных стендах двигателей внутреннего сгорания, электродвигателей и редукторов, а также могут быть установлены в линию для непосредственного контроля момента трансмиссии, приводов, ветрогенераторов, газовых турбин, судовых двигателей и др. (Рис. 1), [4].



Рис. 1. Комплект датчика крутящего момента серии TF

Датчик имеет следующий состав и характеристики:

- 1) Измерительный фланец;
- 2) ВЧ Передатчик;
- 3) Преобразователь;
- 4) Коаксиальный кабель (4 м).

Преимущества:

- 1) Бесконтактная передача сигнала, телеметрическая связь;
- 2) Крутящий момент: от 20 Нм до 150000 Нм;
- 3) Высокая точность: от 0,1 % до 0,25 %;
- 4) Компактный, прост в установке;
- 5) Высокая жесткость при кручении;
- 6) Не нуждается в обслуживании, так как отсутствуют подшипники и трущиеся детали;
- 7) Превосходная помехозащищенность и класс защиты: IP42 (опция IP 54).

Недостатки:

- 1) Не высокая максимальная скорость контролируемого вала;
- 2) При малых скоростях для определения момента диаметр вала должен быть мал;
- 3) Изнашиваемость контактных колец и, как следствие, недолгий срок службы датчика при использовании на больших скоростях;
- 4) Со временем снижается точность изменения сопротивления;

**СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА
НА БАЗЕ ДАТЧИКА RS420 ФИРМЫ DATUM**

Техническое описание системы измерения крутящего момента на базе датчика RS420.

Комплектация системы:

1. Цифровой датчик крутящего момента бесподшипниковый бесконтактный RS420 с диапазоном измерений до 2000 Н*м;
2. Модуль интерфейса датчика с аналоговым выходом и индикатором (RS232 и USB опционально);
3. Кабель USB 2 м для подключения к ПК;
4. Кабель соединительный 1 м (опционально до 10 м);
5. Сетевой адаптер 15–24В постоянного тока;
6. Программное обеспечение TorqueLog;
7. Калибровочный сертификат.

Характеристики датчика RS420:

Вращающийся цифровой бесконтактный бесподшипниковый датчик крутящего момента серии RS420 работает с использованием полномостовой тензорезисторной схемы.

Съём сигнала и питание тензомоста, установленного на роторе, происходит бесконтактным индуктивным способом. Благодаря установленному на валу преобразователе, сигнал передается на статор в цифровом формате, что позволяет избежать влияния сторонних воздействий и осуществить высокоточные измерения.

Статор устанавливается с зазором 3–5 мм по отношению к валу. Передача сигнала осуществляется по стандартному цифровому интерфейсу RS232 или USB, что позволяет транслировать калиброванные данные непосредственно с модуля на валу и избежать помех от внешних источников и интерференционных эффектов [5].

Аналоговые выходы интерфейса 0–10В или 4–20мА позволяют построить на датчике систему управления приводом. Встроенный в интерфейс индикатор отображает текущее значение крутящего момента (скорость и мощность опционально). При необходимости датчик можно использовать как с непосредственным подключением к ПК с предустановленным ПО TorqueLog, так и с различными индикаторами серий 300, 310, 370 (заказываются отдельно) (Рис. 2), [5].

Основные характеристики и преимущества датчика M425

1. Диапазоны от 0–5 Нм до 0–60,000 Нм;
2. Высокая дискретизация крутящего момента;
3. Высокая скорость передачи данных;
4. Опции точности и разрешения;
5. Бесконтактная передача данных;
6. Измерение статического и динамического момента;
7. Стабильная работа;
8. Магнитный датчик скорости – не подвержен загрязнению;
9. Легко интегрируется;
10. Надежная конструкция;
11. Выбор частоты опроса: 1–4000 опросов в секунду;
12. Низкое энергопотребление.

Недостатки:

1. при малых скоростях для определения момента диаметр вала должен быть мал;
2. со временем точность изменения сопротивления снижается;
3. фольговые датчики имеют малую механическую прочность;
4. проволочные датчики чувствительны к температуре [7].



Рис. 2. Подключение модульного интерфейса к датчику крутящего момента M425

КОЛЬЦЕВОЙ МАГНИТОУПРУГИЙ ДАТЧИК КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ФИРМЫ АВВ

В судостроении и судоходстве существует необходимость измерять такие важные параметры, как накопленная энергия, расход накопленной энергии, удельный расход энергии на 1 кВт/ч мощности, изменения (тенденции) и т.д. Таким образом, обеспечивается надежная информация для мониторинга, оценки и сокращения операционных расходов [6].

Главным элементом системы Torductor® 500 является датчик крутящего момента. Этот датчик базируется на технологии АВВ Pressductor®, использующей принцип изменения магнитного поля (Рис. 3), [6].



Рис. 3. Главный компонент системы измерения крутящего момента на валу и эффективности расхода топлива Torductor® 500

Torductor® главным образом предназначен для измерения крутящего момента. Он измеряет крутящий момент на вращающемся гребном валу, а также частоту его вращения, и вычисляет мощность на валу и энергию, производимую валом. Если в наличии имеются еще и топливные расходомеры, их можно подключить к системе Torductor® и таким образом вычислять удельный расход топлива.

Применение:

Измерение крутящего момента на валу и топливной эффективности позволяет получать данные в режиме реального времени. В результате вы можете:

- контролировать и оценивать состояние настройки главных двигателей,
- контролировать и оценивать работу всей двигательной установки,
- оптимизировать скорость и шаг винта при разных нагрузках,
- контролировать загрязнение корпуса судна/винта и прогнозировать сроки их технического обслуживания для очистки,
- защитить вал винта от превышения крутящего момента.

Преимущества:

- 1) Измерение крутящего момента производится со следующими преимуществами;
- 2) Превосходная долговременная стабильность: 0,5 % за 10 лет;
- 3) Отсутствует механический контакт с валом;
- 4) Не нужны хрупкие оптические приборы, что делает систему нечувствительной к влажности и загрязнениям;

- 5) Отсутствуют движущиеся части в системе, что исключает износ или смещение элементов;
- 6) Датчику требуется всего лишь 25 см свободной длины постоянного трубчатого или сплошного сечения;
- 7) Непревзойденная надежность и долговременная стабильность позиционирования.

Недостатки:

- 1) Невозможность определения направления приложения момента;
- 2) При проектировании необходимо учитывать материал вала [7].

ВЫВОДЫ

На основе проведенного обзора были проделаны следующие выводы по современным датчикам крутящего момента:

1. Системы, в которых в качестве первичного измерительного преобразователя используются тензорезисторы, имеют низкую надежность и ремонтпригодность в судовых условиях эксплуатации.

2. Системы с индуктивными преобразователями в свою очередь имеют низкую помехоустойчивость, обусловленную чувствительностью к вибрации и изменениям температуры.

3. Опыт эксплуатации кольцевых магнитоупругих преобразователей в системах измерения крутящего момента и крутильных колебаний, доказал их надежность и эффективность, обусловленную простотой, малой инерционностью, стабильностью характеристик и бесконтактным методом съема сигнала [8].

4. Появилась возможность использования сетевого промышленного интерфейса что в свою очередь дает возможность дистанционного управления системами автоматического измерения крутящего момента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Олещук В.А., Верещагина А.С. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. – Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2015. – 92 с. [Oleshuk VA, Vereshagina AS. Methods and means of measurement, testing and control: schoolbook. Komsomolsk-on-Amur: KnAGTU, 2015. 92 p. (In Russ.)].
2. Левинтов С.Д., Борисов А.М. Бесконтактные магнитоупругие датчики крутящего момента. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 88 с. [Levintov SD, Borisov AM. *Beskontaktnye magnitouprugie datchiki krutyashchego momenta*. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 88 p. (In Russ.)].
3. Борисов А.М., Нестеров А.С. Средства автоматизации и управления: учеб. пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2007. – 207 с. [Borisov AM, Nesterov AS. *Sredstva avtomatizatsii i upravleniya: schoolbook*. Chelyabinsk: SUSU, 2007. 207 p. (In Russ.)].

4. Ловейкін В.С, Паламарчук Д.А, Іщук В.В. Експериментальне дослідження руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана при зміні вильоту вантажу // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. – 2011. – №. 77. – С. 38–43. [Lovejkin VS, Palamarchuk DA, Ishchuk VV. Eksperimental'ne doslidzhennya ruhu sharnirno-zchlenovanoї strilovoї sistemi kрана pri zmini vil'otu vantazhu. *Girnichі, budivel'ni, dorozhni ta meliorativni mashini*. 2011;(77):38-43. (In Ukr.)].
5. Ясинский В.А. Модернизация испытательного стенда электроприводов: дипломный проект. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК), Кафедра вычислительной техники (ВТ); науч. рук. А. Н. Мальчуков. – Томск, 2016. – 250 с. [Yasinsky VA. *Modernizaciya ispytatel'nogo stenda elektroprivodov: diplomnyj proekt*. National research Tomsk Polytechnic University(TPU), Institute of Cybernetics (IC), Department of computer engineering (VT); scientific. Tomsk, 2016. 250 p. (In Russ.)].
6. Wallin C, Ling H, Rasool A. Evaluation of torque pulses in industrial applications using the torquesensor torductor (R)-S //SIcon/01. Sensors for Industry Conference. Proceedings of the First ISA/IEEE. Sensors for Industry Conference (Cat. No. 01EX459). IEEE, 2001. pp. 95-100. doi 10.1109/SFICON.2001.968506
7. Гуманюк М.Н. Магнитоупругие датчики. – Киев: Техніка, 1968. – 157 с. [Gumanyuk MN. *Magnitouprugie datchiki*. Kiev: Tehnika, 1968. 157 p. (In Russ.)].
8. Жадобин Н.Е, Алексеев Н.А, Крылов А.П. Электронные и микропроцессорные системы управления судовых энергетических и электроэнергетических установок: учеб. пособие. – М.: Проспект, 2010. – 528 с. [Zhadobin NE, Alekseev NA, Krylov AP. *Elektronnye i mikroprocessornye sistemy upravleniya sudovyh energeticheskikh i elektroenergeticheskikh ustanovok: schoolbook*. Moscow: Prospect, 2010. 528 p. (In Russ.)].

Сведения об авторе:

Раянов Тимур Александрович; аспирант;
eLibrary SPIN: 9507-8454; ORCID: 0000-0002-6423-0978;
E-mail: rayanov.timur@yandex.ru

Information about the author:

Raianov Timur Alexndrovich; postgraduate student;
eLibrary SPIN: 9507-8454; ORCID: 0000-0002-6423-0978;
E-mail: rayanov.timur@yandex.ru

Цитировать:

Раянов Т.А. Обзор новых типов датчиков крутящего момента // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 5–14. doi: 10.17816/transsyst2020615-14

To cite this article:

Raianov TA. Overview of new Types of Torque Sensors. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(1):5-14. doi: 10.17816/transsyst2020615-14