

6. Сафронов А.И., Иконников А.С., Чижова П.С. Особенности отображения плановых графиков движения пассажирских поездов по Кольцевой линии Московского метрополитена / Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта». – Москва: Издательство РУТ (МИИТ), 2020. – С. 50-57.

---

**Скворцов О.Б.**

### **IoT системы вибрационного мониторинга для поддержки принятия решений по защите энергетического оборудования**

**Аннотация:** Совершенствования цифровых систем диагностики и защиты энергетического оборудования на протяжении последних лет показывает, что переход к полностью автоматическим системам, работающим без участия оператора, связан со значительным увеличением количества датчиков для первичного сбора данных и числа каналов контроля. Получение динамических данных, таких как вибрационные и акустические сигналы, связано с передачей значительных потоков данных на нижних уровнях систем мониторинга. Использование при этом большого количества высокоскоростных каналов цифровой передачи данных ограничивается значительным энергопотреблением интернет интерфейсов. Этим ограничивается применение получивших в настоящее время интерфейсные решения с передачей данных и питания первичных измерительных преобразователей. В работе рассмотрены возможности построения экономичных структурных решений с применением бюджетных средств сбора данных о состоянии оборудования и новых инновационных интерфейсных решений.

**Ключевые слова:** вибрация, энергетическое оборудование, промышленный интернет вещей, диагностика, противоаварийная защита, цифровизация, интерфейс, экономичность

Разрабатываемые в течение последних 25-30 лет для АСУ ТП с использованием SCADA цифровые системы мониторинга

энергетического оборудования являются хорошим примером цифровизации применительно к промышленному оборудованию. Структура таких систем сама по себе близка к нейроморфным системам обработки данных [1]. Повышение надежности и достоверности функционирования таких систем при переходе к возможности полностью автоматической работе сопровождается увеличением количества каналов контроля таких динамических параметров как акустические и вибрационные сигналы в широкой полосе частот [2]. Применение датчиков, реализованных по технологии MEMs позволяет снизить затраты на реализацию нижнего уровня таких систем, для которых стоимость датчиков составляет существенную часть общих затрат на систему. Это связано с тем, что масштабирование компьютерных и программных решений не требует существенных затрат, а увеличение количество точек контроля и средств сбора и надежной передачи данных с них по каналам обмена становится существенно более затратным.

Возможности применения современных решений в виде промышленного интернета вещей (IIoT) может быть обеспечено микроэлектронными средствами при использовании MEMs технологии, но достоверная передача широкополосных сигналов [2, 3] по интернет каналам и обеспечение синхронизации данных требует относительно большого энергопотребления в интерфейсных узлах. Такое потребление в сотни раз превышает мощность, необходимую для работы MEMs первичного измерительного преобразователя. Необходимость передачи такой, относительно большой мощности для питания к первичным измерительным преобразователям является одной из наиболее сложных проблем в системах IIoT, особенно при их реализации с использованием беспроводных технологий. С учетом этого более эффективным оказывается использование в системах мониторинга таких аналоговых величин как вибрация датчиков имеющих аналоговый выход. В настоящее время наиболее широкое распространение получило использование датчиков с встроенной электроникой и двухпроводным аналоговым интерфейсом, который используется как для передачи сигнала от датчика к контроллеру IIoT так и для передачи от контроллера питания для строенной электроники датчика.

Такая тенденция связана со снижением числа проводников необходимых для организации входных интерфейсов. Использование одного проводника в линии связи как для передачи сигнала от датчика к контроллеру ПОТ, так и для питания от контроллера ПОТ к датчику позволяет снизить затраты на сами линии связи, их монтаж, количество контактов в соединителях и необходимое место для размещения таких соединителей. Последнее ограничение обычно определяет общие габаритные размеры многоканального контроллера.

Организация аналоговых интерфейсных решений показана на рисунке 1. Все более широкое распространение получают двухпроводные интерфейсы (рисунок 1b-1d). Интерфейсы «токовая петля» требуют сравнительно высокого напряжения питания (как правило, 24 Вольта). Такое напряжение нетипично для современной микроэлектроники, что существенно усложняет технические решения и увеличивает их стоимость. Относительно большая величина тока в линиях связи требует применения сравнительно больших сечений проводников, особенно если используется какой либо общий проводник для передачи питания к группе датчиков. Интерфейс I<sup>2</sup>C используют очень широко в системах мониторинга, поскольку он более экономичен. Постоянный ток в линиях связи при его использовании задается в пределах от 2 до 10 мА. К недостаткам этого интерфейса следует отнести необходимость использования сравнительно высокого напряжения питания (от 18 до 36 Вольт). Это также затрудняет его использование совместно с современными микроэлектронными элементами, которые ориентированы на напряжение питания менее 5 Вольт. Ограничение по напряжению для интерфейса I<sup>2</sup>C связано с тем, что общее напряжение на шине передачи сигналов складывается из напряжения питания встроенной электроники датчика (5 вольт) и размаха возможного передаваемого сигнала (10 вольт), а также падения напряжения на генераторе постоянного тока.

Для снятия таких ограничений на напряжение питания был предложен новый вид двухпроводного интерфейса, в котором сигнал от MEMs или другого датчика с низковольтной встроенной электроникой передается по двухпроводной линии связи в виде

изменений тока при постоянном напряжении на линии, близком к напряжению питания встроенной электроники (рисунок 1d).

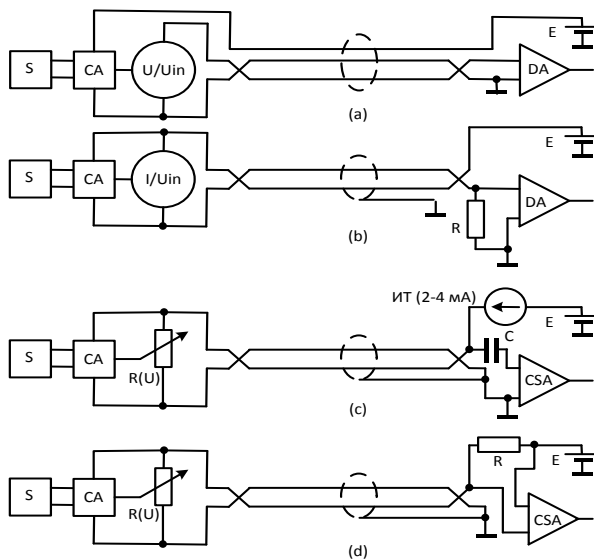


Рисунок 1 – Основные типы аналоговых интерфейсных решений

Трехпроводная схема с передачей сигналов напряжения (а). Передача сигнала уровнем тока по двухпроводной линии связи «токовая петля 4-20 мА» с передачей по линии связи и питания для датчика (b). Передача сигнала и питания по двухпроводной линии по интерфейсу IЕPE (с). Передача токового сигнала от первичного измерительного преобразователя с низковольтным питанием при постоянном напряжении на линии связи (d).

Примеры выполнения такого интерфейса представлены на рисунке 2. Напряжение, передаваемое от стабилизатора STU для питания датчика, практически не меняется при изменении токового сигнала от датчика, поскольку величина резистор на входе для измерения тока мала и падение напряжение на нем незначительно.

Стоимость современных датчиков в многоканальных системах мониторинга часто составляет более половины общей стоимости такой системы. Микросхемы MEMs датчиков, как правило, имеют низкую стоимость, но выпускаемые на их основе датчики по

стоимости сравнимы с другими датчиками аналогичного назначения. Это связано с тем, что микросхема датчика должна быть установлена на специальную печатную плату, которую устанавливают и закрепляют в специальном корпусе, который имеет высокую стоимость.

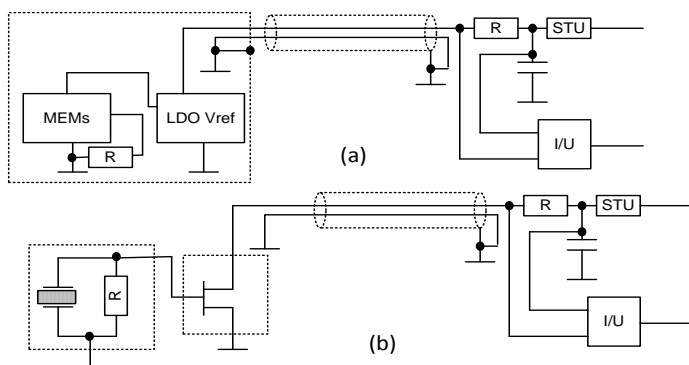


Рисунок 2 – Примеры выполнения низковольтного двухпроводного интерфейса с передачей сигналов изменением тока при использовании MEMs (а) и пьезоэлектрического (б) первичных измерительных преобразователей

Снизить стоимость датчика при использовании дешевых MEMs преобразователей можно в случае размещения всей схемы внутри печатной платы. Многослойная печатная плат при этом выполняет функции корпуса, а также внешнего и внутреннего электрического экранирования. Общая надежность при этом практически не снижается. Прочность материала основания современных печатных плат превосходит прочность используемых кабелей, используемых при построении систем мониторинга.

Использование резисторов для приема токовых сигналов от датчиков связано с падением на них части напряжения, используемого для питания датчика. Это падение может быть исключено при использовании для измерения тока бесконтактных датчиков магнитного поля, например, датчиков Холла. При этом просто обеспечить работу с гальванически развязанными входными цепями IIoT системы мониторинга, что существенно для обеспечения высокой помехоустойчивости.

## Выводы

При анализе возможностей построения многоканальных IoT систем мониторинга состояния промышленного оборудования предложен ряд инновационных решений, которые позволяют существенно упростить и снизить стоимость таких систем. Эти решения касаются выполнения датчиков с использованием MEMS технологий и соответствующих им интерфейсных решений. Данные решение могут широко применяться при создании средств IoT систем контроля, диагностики и противоаварийной защиты различного механического оборудования.

## Литература:

1. *Skvorcov O.B. and Pravotorova E.A.* Vibration monitoring systems for power equipment as an analogue of an artificial neural network / CSDEIS 2019: Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics. – P. 145-153 [Электронный ресурс]. – URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39216-1\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-39216-1_14) (дата обращения 20.10.2020)
2. *Skvorcov O.B.* Selection of vibration norms and systems structures when designing means of monitoring units with gear transmissions / New Approaches to Gear Design and Production. – 2020. – P. 495-511 [Электронный ресурс]. – URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34945-5\\_23](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34945-5_23) (дата обращения 20.10.2020).
3. *Skvorcov O.B.* Estimation of vibrating durability of elements of hydro power turbines under operating conditions by results of vibration control by stationary systems of vibrating / 13th International Conference on New Trends in Fatigue and Fracture (NT2F13). – Moscow: IMASH RAS, 2013. – P. 205-222.

---

**Бурлов В.Г., Миронова М.В., Шершнева А.И., Шавуров С.А.**

### **Поиск оптимальных климатических моделей при обеспечении экологической безопасности**

**Аннотация:** Климат оказывает непосредственное влияние на экологическую безопасность. Изменения климата связаны не только с антропогенной деятельностью, но и с естественными процессами. Для нахождения взаимосвязей