

УДК 681.2.085

ЦИФРОВОЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИНДИКАТОРА ЧАСОВОГО ТИПА

Чернега Е.Ю., Семенов В.С., Будогянц А.Р.

*Инструментальная мастерская CHERNEGA ROSE, Ростов-на-Дону,
e-mail: hellper1992@gmail.com*

В статье рассматривается способ модернизации индикаторов часового типа (ИЧ), в частности типа ИЧ-2. Предлагается модернизация, состоящая в установке на ИЧ цифрового модуля, измеряющего его показания и передающего их беспроводным способом на устройства пользователя, а также проводным способом – по интерфейсу USB. Предпосылкой к проведению данного исследования является то, что сегодня индикаторы часового типа широко распространены на производстве, а существующие на рынке их цифровые беспроводные аналоги имеют высокую стоимость. Но, поскольку в функции беспроводной передачи данных состоит ключевое преимущество перед механическими предшественниками в плане эргономики и безопасности применения, рассматривается модернизация механических индикаторов. Решение в виде цифрового модуля позволяет модернизировать уже существующую инструментальную базу до уровня современных цифровых устройств при себестоимости на 1–2 порядка меньше. Проводится обзор способов преобразования параметров механического движения узлов ИЧ в цифровой сигнал, приводится их сравнение по таким параметрам, как разрешение, количество импульсов на оборот, габаритные размеры и др. Дается обоснование выбранного вида энкодера. Представляется концепция конструкции и структуры электронной части конечного решения с примерами реализации его основных узлов.

Ключевые слова: индикатор часового типа, цифровой модуль, магнитный энкодер, цифровая модернизация

DIGITAL MODULE FOR DIAL GAUGE

Chernega E.Yu., Semenov V.S., Budogyants A.R.

CHERNEGA ROSE tool shop, Rostov-on-Don, e-mail: hellper1992@gmail.com

The article discusses a way to modernize dial gauge (ICh), in particular, ICh-2 type. Proposed upgrade consists in installing a digital module on the ICh to measure its readings and transmit them wirelessly to the user's devices, as well as by wired method – via USB interface. The prerequisite for this research is that today dial indicators are widespread in production, and their digital wireless counterparts existing on the market are of high cost. However, since the wireless data transmission function has a key advantage over mechanical predecessors in terms of ergonomics and safety of use, the modernization of mechanical indicators is being considered. The solution in the form of a digital module allows upgrading the existing tool base to the level of modern digital devices at a cost price that is 1-2 orders lower. Carried out a review of the methods of converting the parameters of the mechanical movement of the ICh units into a digital signal, their comparison is given in terms of such parameters as resolution, the number of pulses per revolution, overall dimensions, and others. Presented the concept of the mechanical and electrical parts of the final solution with examples of the implementation of its main units.

Keywords: dial gauge, digital module, magnetic encoder, digital upgrade

Точность изготовления деталей машин – жизненно важное условие их долговечности и надлежащего исполнения функций. Современное производство оперирует единицами и долями микронов при задании размеров деталей: для обеспечения нужных посадок, отсутствия нештатных зазоров и т.д. Наряду с современным оборудованием сегодня используются и механические инструменты, изобретенные за десятки лет до появления цифровых измерительных приборов. В данной статье рассматривается широко применяемый в машиностроении инструмент – индикатор часового типа (ИЧ) (рис. 1).

Этот простой прибор преобразует поступательное движение штока во вращательное движение стрелки, отображая смещение в сотых или тысячных долях миллиметра, в зависимости от конструкции индикатора [1]. Применяется ИЧ широко: в качестве центроискателя, для определения неравно-

мерности толщины покрытий, величины износа трущихся поверхностей, для измерения зазоров, амплитуды биения валов и многого другого. К его преимуществам следует отнести простоту и надежность конструкции, удобство использования в составе технологической оснастки, точность и повторяемость измерений. Недостатки, такие как дрожание стрелки или неравномерность ее перемещения ввиду проблем со смазкой механизма, в основном присущи самым простым и дешевым ИЧ. Но основным недостатком, представляющим проблему данной статьи, является необходимость визуального контакта со стрелочным прибором, используемым в процессе измерений. Это может быть затруднено, если требуется измерять параметры движущейся поверхности, к которой, по технике безопасности, нельзя приближаться, или заготовка расположена в обрабатывающем оборудовании так, что сложно увидеть циферблат ИЧ.



Рис. 1. Индикатор часового типа

Сотрудники производственного участка инструментальной мастерской Chernega Rose ежедневно сталкиваются с этой и другими проблемами производства, актуальными на любом предприятии машиностроения. Но в то время как большинство из них не решает описанные выше проблемы, не придавая должного значения их влиянию на качество выполняемых работ, руководством Chernega Rose была представлена к научному решению проблема использования ИЧ в качестве центрискателя, при которой часть станка или заготовки перекрывают циферблат ИЧ. Последствиями этой проблемы является повышение времени технологических операций и ухудшение качества измерений, что в конечном счете сказывается и на экономических показателях производства.

Данная проблема решается сегодня с помощью цифрового измерительного индикатора – прибора в том же форм-факторе, что и ИЧ, но отображающего показания на цифровом дисплее, с функцией беспроводной передачи данных. Именно беспроводная передача данных обеспечивает безопасность и эргономичность применения данного прибора. Показания можно наблюдать в приложении на смартфоне либо регистрировать в программе на рабочем ПК. Однако решение это является весьма дорогостоящим относительно простого механического ИЧ. Беспроводной цифровой

аналог может стоить в 10–80 раз дороже, что отражает экономический аспект проблематики данной статьи.

Принимая во внимание, что сегодня машиностроительное производство все еще повсеместно применяет ИЧ, а переход на высокоточные обрабатывающие центры многим предприятиям не под силу или вовсе нерентабелен, необходимо разработать решение, которое позволит получить цифровой беспроводной индикатор из обычного ИЧ посредством установки на него цифрового модуля. Целью данного исследования является разработка концепции цифрового модуля для ИЧ. Задачи, которые при этом необходимо решить, это определение технологии преобразования параметров движения механизмов ИЧ в цифровой сигнал, определение структуры цифрового модуля и общего вида его конструкции.

Исходные данные

Чтобы осуществить обоснованный выбор технологий, лежащих в основе работы цифрового модуля, зададим технические требования к цифровому модулю (табл. 1).

Способы преобразования параметров движения механизмов ИЧ в цифровой сигнал

Индикаторы часового типа содержат механизмы как поступательного, так и вращательного движений. Поступательные движения совершает шток ИЧ, вращательные – шестерни, выходной вал. Наиболее подходящим элементом конструкции, с которым будет связан разрабатываемый модуль, является выходной вал – для доступа к нему не требуется существенной разборки ИЧ. Рассмотрим в первую очередь способы преобразования параметров вращательного движения вала в электронный сигнал.

Потенциометр. Одним из самых простых и дешевых решений является поворотный переменный резистор, включаемый в электрическую цепь по схеме потенциометра [2, с. 32].

Таблица 1

Основные требования к цифровому модулю

Параметр	Значение
Точность	Согласно паспорту на ИЧ
Габариты	Не более 100% от размера ИЧ
Автономность работы	Не менее 3 ч без подзарядки внутреннего источника питания
Индикация, сбор данных	В приложении на смартфоне, в программе на ПК. Передача данных по Bluetooth, USB

Вал потенциометра сопрягается со-относно с выходным валом ИЧ с помощью какой-либо муфты. Вал при перемещениях штока ИЧ будет вращаться и передавать момент на вал переменного резистора. Сигнал на выходе потенциометра будет изменяться пропорционально перемещению штока ИЧ. Соответственно, для получения данных в цифровом виде модуль должен содержать аналого-цифровой преобразователь (АЦП), на вход которого будет поступать сигнал $U_{вых}$ с потенциометра.

Преимущества данного подхода: дешевизна. Переменные резисторы общего применения широко доступны, имеют низкую стоимость.

Недостатки: большие габариты, низкая точность, низкие повторяемость и стабильность резистивных характеристик, однооборотность. В изделиях, требующих точных измерений, применяются прецизионные переменные резисторы, стоимость которых превышает стоимость уже готовых цифровых ИЧ. Кроме того, переменные резисторы общего применения являются однооборотными. Простота его конструкции обуславливает стоимость, но в случае с ИЧ требуется совершать два и более оборота. Размеры переменного резистора сравнимы с размером самого ИЧ, что также может создать неудобства в его использовании.

По совокупности рассмотренных аспектов применения потенциометра, можно сделать вывод: решение на основе потенциометра не подходит для создания цифрового модуля.

Оптический энкодер. Самым распространенным в практике машиностроения способом преобразования параметров вращательного движения в электрический сигнал является применение оптического энкодера [3], рис. 2.

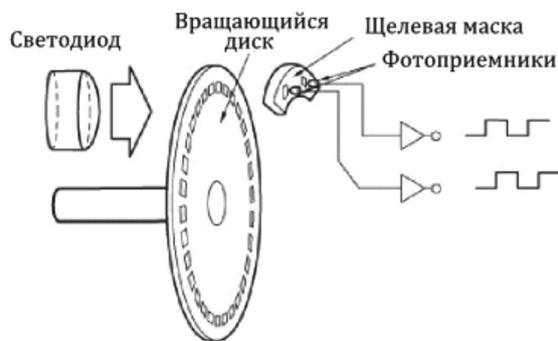


Рис. 2. Упрощенная схема оптического энкодера с квадратным выходом

Диск энкодера устанавливается на выходной вал ИЧ, а фотоприемники можно разместить на электронной плате или иным конструктивным образом. Электрические импульсы, получаемые на выходах фотоприемников, поступают на микроконтроллер для обработки, подсчета импульсов и определения направления вращения. Зная параметры диска, можно произвести расчет положения вала на основе текущего количества подсчитанных импульсов.

Преимущества данного подхода: высокое разрешение (количество импульсов на оборот от 1000 и более), высокая помехоустойчивость, надежность.

Недостатки: относительно высокая стоимость комплектов диск – фотодатчик с разрешением более 500 импульсов на оборот (наиболее дорогое решение из рассматриваемых, сравнимо со стоимостью существующих на рынке цифровых индикаторов), диск с фотодатчиком имеют габариты, сравнимые с размером ИЧ.

Поскольку идея цифрового модуля предполагает по возможности наиболее компактное и экономичное решение, применение оптического энкодера является нецелесообразным.

Ёмкостный энкодер. Существуют ёмкостные энкодеры [4] углового и линейного типов, изображенные на рис. 3 слева и справа соответственно.

Энкодер углового типа устанавливается на вращающийся вал, как и энкодеры предыдущих типов, а линейный датчик может быть установлен непосредственно на штоке ИЧ для измерения параметров его поступательного движения. Ёмкостные угловые энкодеры обычно используются в робототехнике, а именно в манипуляторах, где скорости перемещений невысоки, а диаметры валов составляют десятки миллиметров и более. Линейный датчик сегодня широко используется в цифровых штангенциркулях, а также в уже существующих в продаже цифровых индикаторах.

Преимущества ёмкостных энкодеров: наилучшая компактность среди рассматриваемых вариантов, простота конструктивного исполнения, высокая точность и разрешение.

Недостатки: подверженность электромагнитным помехам, потребность в прецизионной схеме обработки сигналов, сложность интеграции в исходную конструкцию ИЧ.

Ёмкостные энкодеры представляют особый интерес, несмотря на свои недостатки. Они позволяют достигать большой точности измерения, компактны и дешевы, а проблема помехозащиты имеет типовые решения.

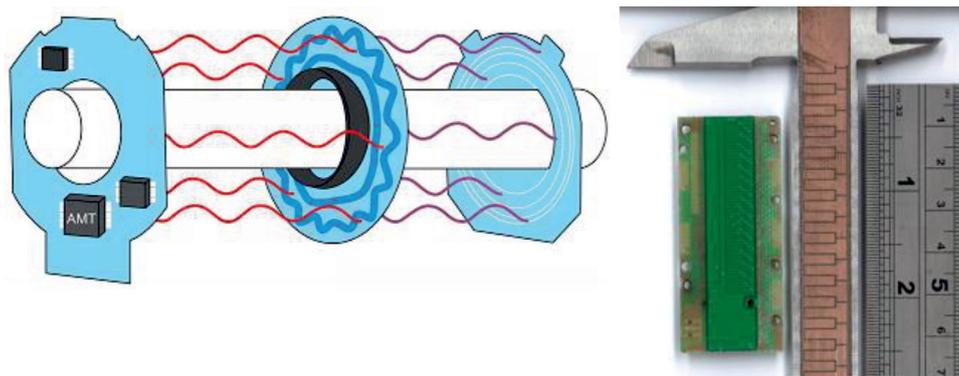


Рис. 3. Основные элементы углового энкодера (плата передатчика, плата с особым проводящим рисунком, плата приемника, вал) и линейного энкодера (подвижная и неподвижная части штангенциркуля)

Динамические характеристики (максимальная скорость поворота вала или движения рамки штангенциркуля, если приводить к движению измерительного механизма) в некоторых исполнениях емкостного энкодера несколько ограничивают применение данной технологии в ИЧ, но не исключают возможность ее применения.

В рамках задачи создания цифрового модуля для уже изготовленных механических ИЧ, ёмкостные энкодеры не подходят, однако их стоит рассматривать как основу для цифровых ИЧ собственного производства. Это является темой отдельной статьи и не входит в рамки данного анализа.

Другие типы энкодеров. К разряду «других» энкодеров отнесем механические и индуктивные энкодеры, которые имеют ряд существенных недостатков в контексте создания цифрового модуля для ИЧ. Ввиду данных недостатков (габариты, дрейбз контактов механического энкодера [5], низкая максимально допустимая частота вращения подвижной части [6]), исключим их из рассмотрения.

Магнитный энкодер. Альтернативой оптическому энкодеру является магнитный энкодер [7] на основе датчиков Холла. На рис. 4 показана упрощенная схема магнитного энкодера на дискретных элементах.

Сегодня магнитные энкодеры можно реализовать множеством исполнений. В случае определения параметров вращения вала подходящим вариантом будет применение высокоинтегральных микросхем-энкодеров, содержащих массив элементов Холла, цепи усиления, фильтрации и интерполяции, и цифровой интерфейс. Одним из типичных представителей такого рода микросхем является AS5040 производства AustriaMicroSystems.

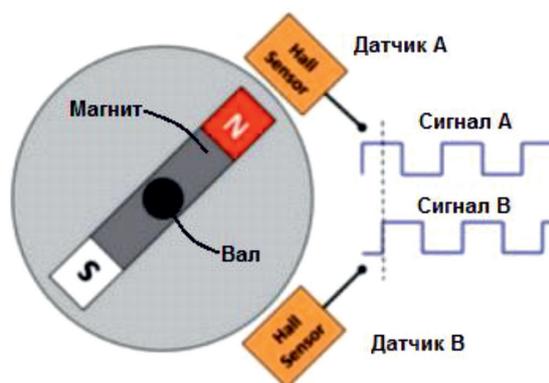


Рис. 4. Упрощенная схема магнитного энкодера с квадратурным выходом

Для применения данного вида энкодера на вал концентрично устанавливается цилиндрический диаметрально намагниченный магнит, а над ним располагается микросхема энкодера, причем ось вращения магнита должна проходить через геометрический центр корпуса микросхемы.

Преимущества данного подхода: хорошее разрешение (в среднем 512–1024 импульсов на оборот), динамические характеристики, помехоустойчивость, компактность, невысокая стоимость и легкодоступность элементов (магнит и микросхема).

Недостатки магнитного энкодера в применении к оцифровке параметров движения вала ИЧ на данный момент не очевидны. Исходя из представленных выше характеристик, отметим, что магнитный энкодер является наиболее подходящим решением в создании цифрового модуля для ИЧ.

Таблица 2

Характеристики энкодеров

Тип энкодера	Разрешение, импульсов на оборот	Габариты, % от габаритов ИЧ	Максимальная скорость вращения вала/ движения рамки	Стоимость решения относительно стоимости готового цифрового ИЧ, %
Потенциометр	1024...4096	40...60	не нормирована	4...100
Оптический	≥ 1000	25...60	12000 об/мин	70...90
Магнитный	512...2048	8...12	30000 об/мин	15...50
Ёмкостный	≥ 512	15...25	1,5 м/с	35...60

Сравнительный анализ. Теперь, когда рассмотрены все существующие типы энкодеров и рассмотрены аспекты их применения в создании цифрового ИЧ, сведем их характеристики в табл. 2.

Как видно из таблицы, наилучшими кандидатами для создания цифрового модуля для ИЧ являются магнитный и ёмкостный энкодеры. Стоимость решения на их основе не лишает смысла разработку цифрового модуля, а их габариты позволят сделать цифровой модуль небольшим и эргономичным.

Рассмотрев все варианты и приняв во внимание недостатки ёмкостного энкодера, можно делать обоснованный вывод о применении магнитного энкодера в качестве основы цифрового модуля для ИЧ.

Концепция исполнения цифрового модуля на основе магнитного энкодера

На основе требований, представленных в табл. 1, можно определить примерный состав цифрового модуля. Так, необходимо наличие интерфейса USB для возможности продолжительного измерения и/или передачи данных на ПК, а также модуль Bluetooth для реализации беспроводной передачи. В составе цифрового модуля также должен присутствовать основной элемент – магнитный энкодер, например AS5040, а также микроконтроллер, который будет управлять всеми функциями, считывать и отправлять данные.

Габаритные размеры ИЧ ограничивают емкость устанавливаемого аккумулятора, но, с учетом этого ограничения, добиться желаемого времени автономной работы не представляется сложным. Например, литий-полимерный аккумулятор размером 4x20x25 мм имеет емкость 150 мАч, что достаточно для работы в течение 4 ч при потреблении тока более 35 мА. Наличие аккумулятора, в свою очередь, предполагает наличие схемы управления питанием – для переключения между питанием от USB / от аккумулятора, и для обеспечения корректного заряда аккумулятора (в том числе во время работы цифрового модуля).

Потребление тока 35 мА является типовым для связки наиболее применяемого Bluetooth модуля HC-05/HC-06 и энергоэффективного микроконтроллера STM32 серии F1xxx. Также необходимо наличие кнопок управления и светодиодной индикации состояния модуля. Таким образом, электронная часть цифрового модуля должна иметь следующие узлы: аккумулятор, регулятор напряжения, зарядное устройство, энкодер, кнопки управления, светодиодная индикация, интерфейс USB, Bluetooth, микроконтроллер.

Для обеспечения возможности установки цифрового модуля необходимо демонтировать защитное стекло, стрелки, циферблат и кольцо установки нулевого положения стрелки. Корпус цифрового модуля будет монтироваться на три винта, проходящие сквозь плату, дистанцированную от ИЧ шестигранными стойками.

С учетом вышесказанного представим на рис. 5 конструкцию цифрового модуля и способ его монтажа на ИЧ.

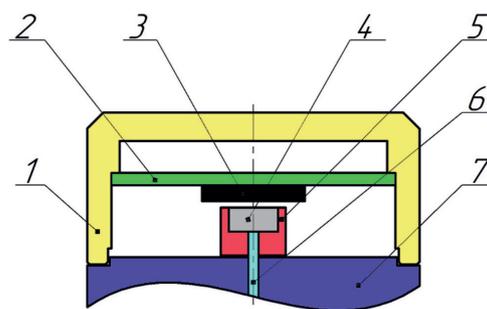


Рис. 5. Конструктивные элементы цифрового модуля, где 1 – корпус цифрового модуля, 2 – печатная плата, 3 – микросхема энкодера, 4 – магнит цилиндрической формы с диаметральным намагничиванием, 5 – переходная деталь для установки магнита на вал ИЧ, 6 – вал ИЧ, 7 – корпус ИЧ

Разработка электроники и ПО цифрового модуля будет производиться в бесплатных средах DipTrace и STM32CubeIDE соответ-

ственно. Оба пакета предоставляют все необходимые функции для разработки устройства, просты и удобны в использовании.

Заключение

В данной статье была определена проблема модернизации инструментальной базы предприятий на примере индикаторов часового типа, предложено и обосновано решение в виде цифрового модуля на основе магнитного энкодера. Разработка цифрового модуля для ИЧ позволит сократить время операций с его использованием, повысить их безопасность и качество благодаря новым функциям – проводной / беспроводной передаче данных и возможности производить их сбор, хранение и обработку. Цифровой модуль позволит производить как повседневные операции, так и длительные автоматизированные лабораторные испытания. Также большой потенциал использования ИЧ лежит в области обработки деталей на станках с программным управлением – наличие цифрового интерфейса позволяет организовать обратную связь от датчика в управляющую программу – в случае необходимости измерения параметров поверхности как перед обработкой детали, так и в самом процессе, в качестве промежуточных операций.

Разработка цифрового модуля целесообразна и с экономической точки зрения. Себестоимость цифрового модуля ожидает-

ся на 1–2 порядка ниже стоимости рыночных цифровых беспроводных индикаторов, что позволит не переоборудовать целые цеха предприятий новыми дорогостоящими приборами, а наделять цифровыми функциями давно проверенные механические ИЧ различных конструкций.

Список литературы

1. Никифорова Л.А. Измерение отклонений формы и поверхностей деталей машин индикатором часового типа: методические указания. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. 20 с.
2. Михайлов М.А., Манойлов В.В. Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования сканеров СЗМ // Научное приборостроение. 2013. № 2. С. 27–37.
3. Фатеев А.В. Виды и принципы действия датчиков угла поворота // Технический портал SMARTEN.INFO. 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://smarteht.info/post/datchiki-uglovogo-polozheniya-vidy-i-principy-deystviya.html> (дата обращения: 22.03.2021).
4. Глинов М.А. Введение в емкостные энкодеры // Конструкторское бюро роботизированных систем. 2016. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://kb-rs.ru/wp-content/uploads/2016/04/KBRS01-Vvedenie-v-emkostnye-enkodery.pdf> (дата обращения: 22.03.2021).
5. Ширяев В.В. Измеряя параметры вращения: энкодеры Bourns // Компэл. 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.compel.ru/lib/67028> (дата обращения: 25.03.2021).
6. Голошапов А.П. Энкодеры и датчики Zettlex на основе новой технологии индуктивных измерений // Элементарная база электроники. 2015. № 2. [Электронный ресурс]. URL: https://www.electronics.ru/files/article_pdf/4/article_4527_161.pdf (дата обращения: 25.03.2021).
7. Авдеев Б.А. Элементы и функциональные устройства судовой автоматики. СПб.: Научно-технические технологии, 2018. 261 с.