

# МУЛЬТИСЕНСОРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ИНДУКТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*Соломахо В.Л., д.т.н., профессор, Шапарь В.А., к.т.н., Соломахо Д.В., к.т.н.*

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

Усложнение современного производства, постоянное повышение требований к качеству продукции привело к увеличению количества контрольных операций и, соответственно, созданию технических средств, обеспечивающих возможность их реализации – информационно-измерительных систем. Анализируя область использования таких систем можно предложить следующую их классификацию по функциональному назначению: измерительные, диагностические, идентификационные и статистические.

К измерительным, относятся системы, предназначенные для контроля (измерительного контроля) физических величин, являющихся характеристиками объекта либо группы объектов измерения.

Системы идентификации (распознавания образа) предназначены для установления соответствия между объектом контроля и заданным образом. Так же как и при контроле, норма при распознавании образа может быть задана в виде образцового изделия или перечня определенных свойств и значений параметров (признаков) с указанием предельных значений.

Системы диагностики осуществляют измерение параметров, определяющих состояние объекта, сравнивают совокупность полученных данных с их нормируемыми значениями и определяют состояние диагностируемого объекта. В зависимости от сложности такие системы позволяют выдавать информацию о несоответствиях, на основании которой устанавливаются их причины, выявляются источники изменчивости, что позволяет принять необходимое решение для их устранения. Целью таких систем является долгосрочный контроль параметров объектов.

Статистические информационно-измерительные системы предназначены для сбора, струк-

турирования информации и представления ее в виде, удобном для пользователя.

В последнее время в технической литературе находит применение термин «мультисенсорная система», который применяется в отношении информационно-измерительных систем и учитывает такой их классификационный признак, как количество первичных измерительных преобразователей (датчиков) в системе. Однако, понятие «мультисенсорная система» не отражает порядок формирования сигнала измерительной информации, что является весьма существенным с точки зрения их метрологического обеспечения. В связи с этим предлагается ввести уточняющий термин «интегрированная мультисенсорная система» для систем, у которых сигнал измерительной информации является интегрированным. Такие системы по виду структурно-функциональной схемы можно классифицировать следующим образом (рис. 1).

В качестве первичных преобразователей в информационно-измерительных системах широко используются индуктивные преобразователи (ИП) контактного и бесконтактного типов. Их распространение стало возможным благодаря таким достоинствам, как простота конструкции и, соответственно, сравнительно низкая стоимость, подтвержденные длительной практикой использования высокие чувствительность, точность, стабильность и достаточно низкая реакция на изменения внешних условий. Положительное влияние на совершенствование служебных свойств аппаратуры с применением ИП оказывает и развитие электроники, в частности, выпуск специализированных микросхем для обработки измерительных сигналов, а также широкое применение с этой же целью программируемых микроконтроллеров.


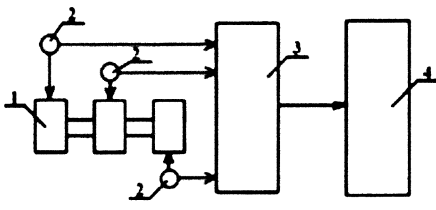

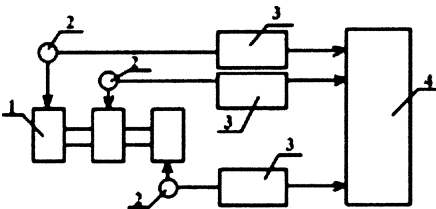
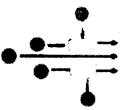
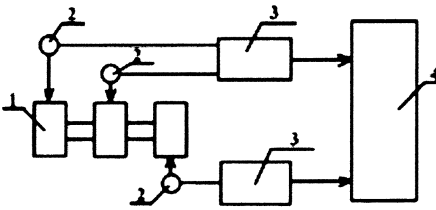
Наименование схемы	Графическое представление	Описание
<p>Последовательная</p> 		<p>Измерительная информация об объекте 1 от датчиков 2 поступает в блок сбора данных 3, в котором осуществляется «суммирование» сигналов от нескольких датчиков; интегрированный сигнал передается в блок управления 4 для выработки управляющего решения.</p>
<p>Параллельная</p> 		<p>Каждый датчик 2 имеет свой информационный канал и информационно-измерительная система действует как моносенсорная.</p>
<p>Последовательно-параллельная</p> 		<p>Параллельно-последовательная схема предполагает комбинацию двух первых видов структурно-функциональных схем.</p>

Рис. 1. Структурно-функциональная схема информационно-измерительных систем

В большинстве случаев с помощью ИП осуществляют измерения линейных размеров, перемещений (в т.ч. виброперемещений), деформаций, и др. В настоящее время ведущие мировые производители измерительной техники выпускают ИП для решения измерительных задач различных уровней точности и сложности. Типовые диапазоны измерений распространенных видов ИП находятся в области от  $\pm 0,2$  до  $\pm 250$  мм.

В ряде случаев весьма удобным является использование линейных бесконтактных индуктивных датчиков для измерения малых перемещений подвижных объектов, например, в системах активного контроля, автоматического регулирования параметров функциональных узлов технологического оборудования и др.

На рис. 2 схематически показано устройство одного из возможных вариантов исполнения бесконтактного индуктивного преобразователя [1]. Активная катушка 1 и компенсационная катушка 2 намотаны на тороидальных ферритовых сердечниках и размещены в гильзе 3 из изолирующего материала, которая, в свою очередь, закреплена в корпусе 4. Корпус 4, помимо иных функций, обеспечивает защиту от внешних электромагнитных полей. Катушки 1 и 2 в включают в смежные плечи моста переменного тока, при этом обеспе-

чивается компенсация составляющей погрешности, обусловленной влиянием температурных факторов. Изменение импеданса активной катушки при смещении объекта от нулевого положения вызывает разбаланс моста и, соответственно, появление на его выходе напряжения, амплитуда которого пропорциональна перемещению объекта относительно датчика. Регулировочный элемент 5 позволяет, при необходимости, осуществить дополнительную настройку измерительной цепи в конкретных условиях.

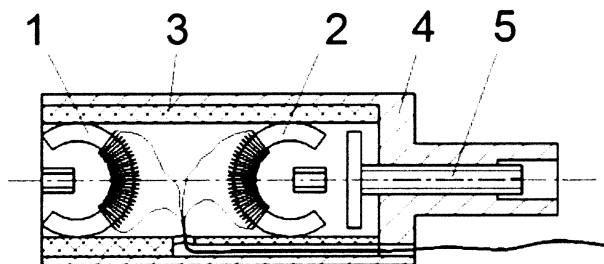


Рис. 2. Бесконтактный индуктивный преобразователь

Применение таких преобразователей позволяет решать специфические измерительные задачи, например, при проведении научных исследований, испытаниях свойств материалов, и др.

На рис. 3 показан пример сигнала, полученного на выходе канала измерения толщины масляной пленки в шарикоподшипниках. С помощью бесконтактного индуктивного преобразователя оценивалось изменение монтажной высоты радиально-упорного шарикоподшипника, нагруженного осевой силой, при частоте вращения  $12 \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$  в момент образования масляной пленки в контактах шариков с дорожками качения колец при переходе от режима граничного трения к жидкостному.



Рис. 3. Измерение толщины масляной пленки:  $h$  – значение сигнала на выходе измерительного канала;  $\mu$  – масштабный коэффициент;  $\delta a$  – относительное радиальное смещение колец подшипника

Основным сдерживающим фактором в распространении таких бесконтактных индуктивных датчиков является сравнительно малый диапазон измерений и нелинейность функции преобразования. На рис. 4 представлена типичная функция преобразования бесконтактного ИП (зависимость напряжения  $U_{\text{вых}}$  на выходе моста от зазора  $\delta$  между датчиком и контролируемым объектом). В качестве рабочего диапазона измерений выбирают участок общей кривой, на котором обеспечиваются приемлемые значения нелинейности. Рабочие характеристики описываемых преобразователей зависят от материала контролируемого объекта. Однако, при возможности размещения на объекте специальной металлической пластинки, необходимость дополнительных настроек отпадает. Применение современных методов линеаризации с использованием микропроцессорной техники позволяют значительно улучшить характеристики бесконтактных ИП.

ИП контактного типа изготавливают в настоящее время по нескольким типовым, достаточно простым, надежным и хорошо себя зарекомендовавшим схемам [2–5]. К числу таких ИП относятся линейные дифференциальные трансформаторы (ЛДТ), а также дифференциальные индуктивные преобразователи соленоидного типа. Наряду

с другими достоинствами, одним из основных положительных свойств перечисленных ИП является высокая линейность функции преобразования.

Схематическое изображение устройства ЛДТ показано на рис. 5.

На каркасе 1 из изоляционного материала намотаны первичная 2 и две вторичные 3, 4 обмотки, намотанные встречно по отношению друг к другу. Параметры последних, кроме направления намотки, идентичны друг другу. Первичная обмотка питается синусоидальным переменным напряжением, обычно в пределах  $1 \dots 24 \text{ В}$  (действующее значение), частотой  $50 \dots 20 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ . Обмотки 1–3 помещены в металлический корпус, защищающий их от внешних магнитных полей. В центральном отверстии каркаса 1 размещен ферромагнитный сердечник 7, закрепленный на штоке 6 из немагнитного материала. При центральном, симметричном относительно обмоток ЛДТ, положении сердечника 7 напряжение на выходе (крайние выводы обмоток 3, 4 на рис. 4) равно нулю, т.к. напряжения  $U_A$  и  $U_B$  равны друг другу, но противоположны по фазе, т.е.  $U_{\text{ВЫХ}} = U_A - U_B$ . При смещении сердечника 7 от нулевого положения напряжение на вторичной обмотке, в сторону которой смещается сердечник, возрас-

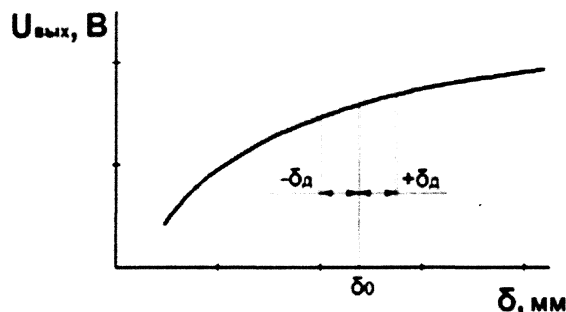


Рис. 4. Функция преобразования бесконтактного ИП

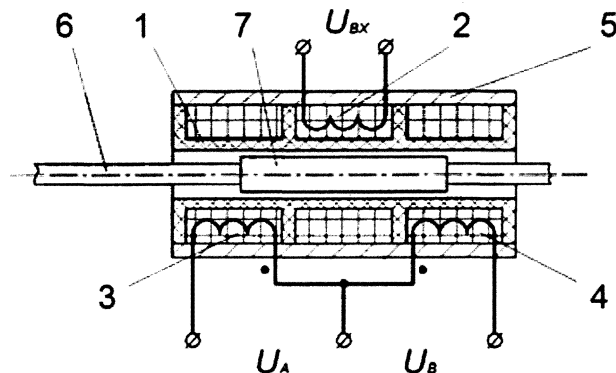


Рис. 5. Устройство линейного дифференциального трансформатора

тает, а на другой – уменьшается. Таким образом, напряжение на выходе ЛДТ пропорционально смещению сердечника относительно центрального положения. Измерение этого напряжения, например, с помощью вольтметра, не позволяет определить знак смещения сердечника. Кроме того, влияние определенных конструктивных и технологических факторов не позволяет получить действительно нулевое значение выходного сигнала при центральном положении сердечника. Для решения указанных проблем применяют соответствующие электронные устройства обработки измерительного сигнала, в том числе специальные микросхемы (например, AD 598 фирмы Analog Devices, Inc.).

Дифференциальные «полумостовые» индуктивные преобразователи конструктивно похожи на ЛДТ (рис. 6), однако имеют две обмотки, которые могут быть включены в смежные плечи моста переменного тока.

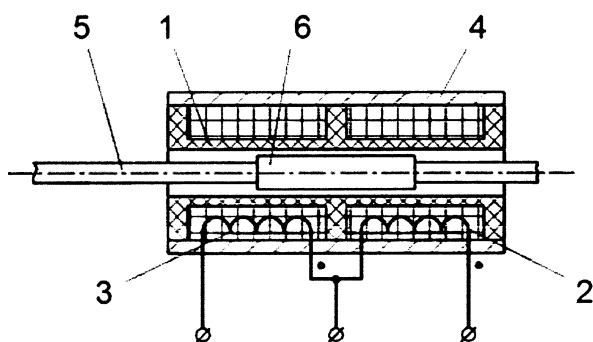


Рис. 6. Устройство «полумостового» дифференциального ИП:

1 – каркас; 2, 3 – обмотки; 4 – корпус; 5 – шток;  
6 – сердечник

При решении конкретных измерительных задач во многих случаях использование готовых решений, предлагаемых производителями измерительных преобразователей, вызывает затруднения, обусловленные, в первую очередь, особенностями конструкции объектов измерений. Так, например, достаточно сложной метрологической задачей является контроль деталей сложной геометрической формы, например, сферических. В таком случае приходится разрабатывать нестандартные средства измерений с оригинальной конструкцией датчиков [6–7].

Главной задачей метрологического обеспечения таких систем является оценка их погрешности ( $D$ ) и подтверждение справедливости соотношения  $D < [D]$ , где  $[D]$  – допустимое значение погрешности. Анализ приведенных структурно-функциональных схем показывает, что в случае применения параллельной схемы, когда измерительная информация, поступающая от каждого из первичных преобразователей независимо, задача нормирования погрешности для каждого датчика является тривиальной. Для двух других структурных схем, когда результирующий информационно-измерительный сигнал является интегрированным, задача нормирования точности датчиков, образующих мультисенсорные системы представляет собой сложную теоретическую и практическую задачу и во многом зависит от конструкции применяемых датчиков.

Проведенные исследования позволили разработать общий алгоритм и получить аналитические зависимости для оценки систематической  $D_{si}$  и случайной составляющей погрешности ( $D_{сл.}$ ).

### Литература

1. Бесконтактный индуктивный датчик: а.с. 863323 СССР, МКИ G 01 B 7 / 02 / В.Т. Минченя, Ю.В. Скорынин [и др.]. – 1981.
2. Schaevitz, Herman. The Linear Variable Differential Transformer / Herman Schaevitz // Proceedings of the SASE. – 1946.– Volume IV, No. 2,
3. Pallas-Areny, R. Sensors and Signal Conditioning / R. Pallas-Areny, J.G. Webster. – New York, Wiley, 2001. – 587 p.
4. Kester, Walt. Practical Design Techniques for Sensor Signal Conditioning / Walt Kester. – Analog Devices, 1999. – 366 p.
5. Этингоф, М.И. Индуктивные преобразователи для линейных измерений / М.И. Этингоф // Измерительная техника. – 2013. – № 4. – С. 35–38.
6. Метрологическое обеспечение измерений радиуса и отклонения центра неполной номинально сферической поверхности. / Д.В. Соломахо [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2011. – № 3. – С. 23–26.
7. Теория, расчет и проектирование оптимизированных методик координатного контроля в машиностроении. / В.Л. Соломахо [и др.] // Минск: БНТУ, 2012. – 239 с.