

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

**М. Ю. Ларионов, В. Н. Седалищев**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова  
г. Барнаул

Принципиально важной тенденцией совершенствования измерительной техники на современном этапе является интеллектуализация процессов получения, передачи и обработки измерительной информации, предполагающей функциональное и конструктивное объединение этапов получения, передачи и обработки измерительной информации. Современные тенденции развития отрасли производства измерительных устройств определяются использованием прогрессивных технологий производства датчиков, уменьшением массогабаритных показателей первичных измерительных преобразователей, снижением энергопотребления, разработкой интеллектуальных измерительных устройств, основанных на использовании нелинейных физических эффектов. Миниатюризация чувствительных элементов датчиков позволяет интегрировать их в многофункциональные модули, рассредоточивать в виде нейросети, органически вписывать по всему профилю или объему изделия, узла или детали. Чувствительные элементы таких датчиков могут размещаться и в местах, в которых могут возникать сильные механические нагрузки, скачки температуры, на них могут воздействовать агрессивные среды и т.п., что обуславливает появление дополнительных составляющих погрешностей измерений.

Для снижения неопределенности результатов измерений используют различные технические устройства, в частности, производят обработку массивов данных, полученных от большого числа датчиков, расположенных в различных точках объекта измерения. С усложнением измерительных систем растет объем измерительной информации, особенно если приходится следить за изменением параметров во времени. Производить быструю обработку таких объемов информации современными средствами вычислительной техники уже сейчас является достаточно трудоемкой задачей. Выходом из этой ситуации может послужить объединение процессов получения, передачи и обработки изме-

рительной информации в одном интеллектуальном измерительном устройстве. Такие системы уже на начальных этапах получения измерительной информации способны обеспечивать ее предварительную обработку, например, осуществлять усреднение сигналов от большого числа однотипных датчиков, выполнять простейшие функциональные преобразования, производить оптимизацию режимов работы измерительных устройств, осуществлять их адаптацию к изменяющимся условиям работы. Для решения таких задач необходимо создавать интеллектуальные измерительные системы. Очевидно, что интеллектуализацию процессов первичного преобразования желательно осуществлять в условиях максимального приближения к объекту измерения. Для достижения этой цели необходимо использовать нелинейные измерительные преобразователи, способные выполнять дополнительные функции, обеспечивающие адаптацию их к изменяющимся условиям эксплуатации. Такие устройства должны быть эффективными в метрологическом и в экономическом аспекте.

В связи с этим в измерительную технику широко стали внедряться достижения из области разработки искусственного интеллекта. В основу создания таких устройств положены принципы перехода от четкой программируемости их поведения в направлении приближения к принципам функционирования живых систем. Основное свойство таких интеллектуальных измерительных устройств состоит в способности адаптации их характеристик, структур, режимов работы к изменяющимся параметрам объекта измерения и условиям работы. Такие измерительные устройства являются действительно интеллектуальными, только тогда, когда они становятся способными реагировать на изменение условий эксплуатации, путем изменения своих функциональных характеристик. Кроме этого, измерительные устройства нового поколения должны иметь не только высокую способность адаптации к изменяющимся условиям, но и

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

даже могут быть способными к самообучению.

По сравнению с обычными измерительными устройствами интеллектуальные устройства имеют множество преимуществ: обеспечивают более высокие метрологические характеристики, они эффективнее, надежнее в работе, имеют меньшие эксплуатационные затраты. Принципы работы таких измерительных систем могут быть весьма сложными, поэтому для их функционирования приходится использовать достаточно сложные алгоритмы обработки полученных сигналов. Для создания таких устройств широко используют идеи, основанные на изучении биологических объектов. Органы чувств – это интеллектуальные средства измерений, адаптируемые, нелинейные, с обратными связями. Можно сделать вывод о том, что дальнейшее совершенствование измерительной техники пойдет по пути широкого применения нейросетевых технологий, которые будут использоваться для получения, передачи и обработки измерительной информации. Но разработка интеллектуальных систем требует отхода от традиционных методов проектирования измерительных устройств. Подобно естественному отбору в природе, в технике также происходит постепенное развитие конструкций, усложнение принципов работы устройств, их последующие поколения значительно отличаются от предыдущих. Очевидно, что такие измерительные устройства должны быть нелинейными, управляемыми, должны содержать цепи обратной связи. Это позволит не только улучшить их метрологические характеристики, но и повысить информативность процессов получения, передачи и обработки измерительной информации.

Таким образом, для разработки измерительных устройств нового типа должны использоваться нелинейные физические эффекты, нелинейные материалы, нелинейные режимы работы достаточно сложных устройств. Например, усиление сигнала можно обеспечить не только за счет использования традиционных усилителей, но и путем накопления энергии, перераспределения ее между отдельными элементами схемы. Для этой цели удобно использовать связанные колебания в системах с конечным числом степеней свободы. На их основе могут быть разработаны измерительные системы нового поколения – осцилляторные нейроноподобные измерительные устройства (ОНИУ). Конструктивно они могут состоять из взаимодейст-

вующих электромеханических резонаторов, электромагнитных контуров, лазеров и других измерительных преобразователей, реализующих в своих структурах колебательные и волновые процессы.

Представляет интерес исследование возможности использования сложных динамических систем и для разработки высокочувствительных устройств контроля, устройств, предназначенных для решения задач распознавания образов. В основу создания таких устройств могут быть также положены принципы функционирования осцилляторных нейроноподобных систем. К достоинствам таких интеллектуальных многоэлементных первичных измерительных преобразователей можно отнести то, что с их помощью можно осуществлять параллельную, а не последовательную обработку измерительных сигналов. Этот фактор является крайне важным, в связи с тем, что автоматизация технологических процессов, проведение современных научных исследований сопровождается ростом числа используемых датчиков, потребностью в повышении их чувствительности, разрешающей способности, быстродействия. При этом требуется производить большой объем вычислительных операций, возрастает сложность алгоритмов выполняемых вычислительных операций.

Знание основных закономерностей образования структур в сетях, состоящих из большого числа активных элементов, позволяет перейти к целенаправленному созданию распределенных динамических систем, которые формируют те или иные пространственные структуры. Одним из основных приложений при этом являются задачи аналоговой обработки информации. Использование в качестве элементарной единицы обработки информации не отдельных сигналов, а протяженных пространственных структур дает возможность резко повысить эффективность устройства обработки информации, может послужить решению проблемы создания искусственного интеллекта, так как имеются свидетельства того, что аналоговые механизмы лежат в основе работы человеческого мозга.

Синергетический подход существенно повлиял на развитие различных научных направлений, в том числе в последние годы с этих позиций все чаще рассматривают создание новых технологий и основу инженерной деятельности – задачи измерений. В основе теории измерений лежит процедура сопоставления прогноза с результатами измерений

для объекта, состояние которого изменяется со временем. Согласно синергетике оказывается, что для множества объектов с нелинейной динамикой малые причины могут привести к большим последствиям. Такие явления реализуются в сложных нелинейных динамических системах, обладающих чувствительностью к начальным условиям. Суть этого явления заключается в том, что при сколь угодно малой погрешности в определении начального положения системы результаты измерений ее характеристик с течением времени расходятся. С практической точки зрения это означает, что нелинейная динамика становится научной основой анализа сложных систем, систем с чувствительностью к начальным условиям. Это позволяет ставить и решать принципиально новые задачи, связанные с измерением или контролем сверхмалых величин. В процессе измерения параметров таких систем привносится статистический, вероятностный элемент, причем это определяется не совершенством используемых приборов, а внутренними свойствами исследуемого объекта.

Подход к измерительной технике с нелинейных позиций, теории самоорганизации требует переосмысления многих классических проблем в этих областях, ставит ряд новых задач. В связи с этим, в настоящее время происходит переход теории измерений на новый уровень, связанный с широким использованием нелинейных принципов и подходов, как к разработке измерительных устройств, так и для реализации процессов передачи и обработки измерительной информации.

Создание измерительных устройств с использованием достижений нелинейной динамики может послужить решению ряда принципиально важных проблем, существующих в настоящее время в теории измерений. Как известно из теории колебаний [1], сложные динамические системы, состоящие из большого числа взаимодействующих осцилляторов, способны формировать очаги хаоса и порядка в системе. Это связано с тем, что осцилляторы могут накапливать и отдавать энергию, взаимодействуя с другими осцилляторами, образовывать синхронизированные ансамбли осцилляторов и т.п. В результате этого происходит изменение структуры функциональных преобразователей, что, в свою очередь, обуславливает возможность модификации реализуемых ими функции. Число комбинаций состояний системы резко возрастает при увеличении числа

взаимодействующих осцилляторов. Такие системы могут изменять свое состояние во времени. В связи с этим представляет интерес исследование возможности использования определенных режимов синхронизации в системе для решения логических задач методами нечеткой логики. Взаимодействие между осцилляторами сопровождается наличием гистерезиса при изменении входных параметров системы. Это позволяет реализовать на их основе не только обработку измерительной информации с использованием принципов нечеткой логики, но и обеспечить ее устойчивость при резких изменениях входных величин, например, в результате возникновения переходных и других динамических, быстротекущих процессов.

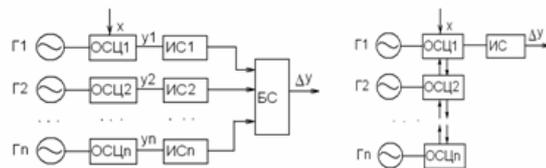
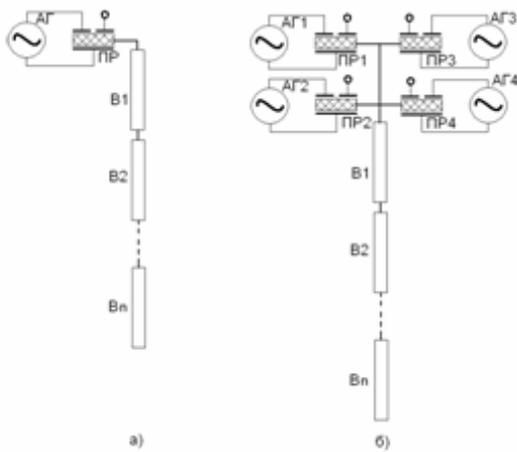


Рисунок 1 - Структурные схемы многоэлементных измерительных устройств традиционного типа и с использованием связанных колебаний осцилляторов

Достоинством многоэлементных измерительных преобразователей (рисунок 1), основанных на модуляции связанных колебаний пьезорезонаторов (МЭ МСК ПРД), является возможность создания высокочувствительных контрольно-измерительных устройств, способных работать в тяжелых условиях и применимых для управления сложными динамическими системами, технологическими процессами. Дело в том, что в традиционных контрольно-измерительных устройствах осуществляется выделение и передача в вычислительное отдельных измеряемых физических величин с помощью дополнительных устройств, что может привести к потере части измерительной информации, обусловленной слабыми изменениями контролируемых параметров. Этого можно избежать за счет применения предварительной обработки измерительной информации в условиях максимального приближения к месту ее получения за счет реализации высокочувствительных бифуркационных процессов в многоосцилляторных ансамблях. При этом выходным сигналом таких устройств может являться как один из параметров колебательной системы, так и определенное состояние системы, ко-

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

торое необходимо дополнительно обработать, например, путем распознавания полученных образов, для формирования выходного сигнала системы.



Условные обозначения:  
АГ – автогенератор,  
ПР- пьезорезонатор,  
В – вибратор

Рисунок 2 – Разновидности конструктивного исполнения МЭ МСК ПРД уровня сыпучих материалов с расширенным диапазоном измерения

В результате проведенных исследований был разработан ряд устройств - датчиков и приборы для контроля и измерения различных физических величин (рисунок 2). К достоинствам данных устройств относится обеспечение высокой чувствительности и применимость их для тяжелых условий эксплуатации.

Таким образом, разработка многоэлементных измерительных устройств является одним из современных направлений развития измерительной техники. Устройства такого типа требуются как для целей измерения, так и контроля в самых различных областях науки и техники, от решения задач по автоматизации технологических процессов, до создания распределенных систем охранной сигнализации

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланда П. С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы / П.С. Ланда. – М.: Наука, 1980. – 359 с.
2. Седалищев В.Н., Хомутов О.И. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации. – Барнаул: АлтГТУ, 2006. 184 с.