

## РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

б) пропускной способности -

$$B_o = (qn_i w_i / ((q(t_o + t_a) + t_n) + \sum_{i=1}^{\infty} \text{round}(q(1 - (1 - p_b)^{(n_i w_i + c_n)})^i) \cdot ((t_o + t_a) / 2 + t_n))$$

### Заключение

В статье были рассмотрены статические методы анализа аппаратных устройств. Они дают очень быстрые результаты, которые позволяют оценить целесообразность создаваемого устройства канального уровня еще на этапе проектирования. Однако для более точного анализа необходимо использовать динамические или смешанные модели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gogniat, G. "Communication synthesis and HW/SW integration for embedded system design/

- M. Auguin, L. Bianco, A. Pegatoquet.- " CODES 1998, pp 49-53.
2. Kalla, P. A flexible framework for communication evaluation in SoC design / P. Kalla, X. Hu and J. Henkel, - журнал "Parallel Programming on Embedded Processors", Vol. 36, No. 5, October 2008, pp. 457-477.
3. Knudsen, P. Communication Estimation for Hardware/Software Codesign/ P. Knudsen, J. Madsen.-" CODES 1998, pp. 55-59.
4. Knudsen, P. Integrating communication protocol selection with hardware/software codesign/ P. Knudsen, J. Madsen. - ISSS 1998, pp. 111-116.
5. Renner, F-M. Automated Communication Synthesis for Architecture-Precise Rapid Prototyping of Real-Time Embedded Systems/ F-M. Renner, J. Becker, M. Glesner - RSP 2000, pp. 154-159.

Аспирант, магистр техники и технологий  
**Яблоков Е.Н.**, тел. (812) 571-15-22, e-mail: Yablokov@guar.ru, Государственный университет аэрокосмического приборостроения, каф. 51 (г. Санкт-Петербурга).

УДК 681.586.773

## РАЗРАБОТКА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЬЕЗОРЕЗОНАТОРОВ

А.О. Тицнер, А.В. Балыков, А.С. Назаров, А.А. Тятюхин, М.Ю. Ларионов, В.Н.Седалищев

В статье рассматриваются новые принципы построения многоэлементных первичных измерительных преобразователей, основанные на использовании связанных колебаний составных пьезорезонаторов. Устройства данного типа могут найти практическое применение для измерения и контроля различных физических величин.

**Ключевые слова:** составной пьезорезонатор, ансамбль взаимодействующих осцилляторов, связанные колебания, многоэлементный первичный измерительный преобразователь

Современные тенденции развития отрасли производства датчиков определяются в основном использованием прогрессивных технологий их производства, а также использованием новых физических принципов их функционирования. Основными задачами, которые приходится решать при создании новых типов датчиков, являются: повышение быстродействия измерений, точности измерений, термоустойчивости, надежности, пожаро- и взрывобезопасности, обеспечение дистанционности измерений. Для снижения неопределенности результатов измерений приходится производить обработку массивов данных, полученных от большого числа датчиков, расположенных в различных точках объекта измерения. С усложнением измери-

тельных 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.

### Решение проблемы

Выходом из этой ситуации может послужить объединение процессов получения, передачи и обработки измерительной информации в одном интеллектуальном измерительном устройстве. Такие системы уже на начальных этапах получения измерительной информации могут обеспечивать ее предварительную обработку, например, осуществ-

РАЗРАБОТКА МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЬЕЗОРЕЗОНАТОРОВ

лять усреднение сигналов от большого числа однотипных датчиков, выполнять простейшие функциональные преобразования, производить оптимизацию режимов работы первичных измерительных преобразователей, осуществлять их адаптацию к изменяющимся условиям работы.

Для решения задач интеллектуализации процессов получения, передачи и обработки измерительной информации представляет интерес возможность использования ансамблей взаимодействующих осцилляторов. Рациональное применение режимов связанных колебаний в таких сложных многоосцилляторных системах позволит повысить разрешающую способность первичных преобразователей, надежность и качество измерений.

Повышение чувствительности измерительных устройств данного типа достигается за счет реализации нелинейных режимов работы сложных динамических систем, а повышение точности измерения – за счет усреднения сигналов, поступающих от большого числа однотипных датчиков. Создание многоэлементных первичных преобразователей с использованием ансамблей взаимодействующих осцилляторов позволяет реализовать параллельный принцип предварительной обработки сигналов от большого числа датчиков. При этом структура устройства первичной обработки информации формируется и трансформируется в соответствии с учетом предыстории процесса и зависит от текущего состояния системы, соотношения входных воздействий. В результате такое устройство получения и обработки информации становится нелинейным, саморегулируемым, имеющим обратные связи, оно, как бы, приспосабливается к изменяющимся условиям работы.

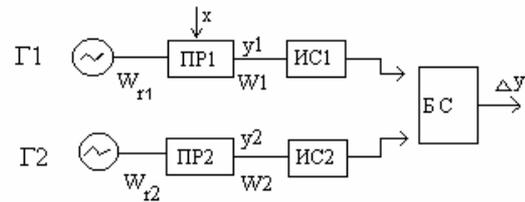
В основу создания таких интеллектуальных измерительных устройств могут быть положены принципы функционирования осцилляторных нейроноподобных систем. Практически они могут быть выполнены, например, в виде ансамблей взаимосвязанных пьезорезонаторов.

Развитие принципов построения пьезорезонансных измерительных устройств можно представить в следующей последовательности.

Для повышения точности измерений используют дифференциальный принцип построения измерительных схем (Рисунок 1).

Использование линейного принципа выделения разностного сигнала позволяет обеспечивать высокую точность измерений,

но чувствительность измерительного процесса при этом не увеличивается. Для решения этой задачи было предложено [1] использовать нелинейные режимы связанных колебаний пьезорезонаторов (Рисунок 2).



Условные обозначения: Г – генератор, ПР – пьезорезонатор, ИС – измерительная схема; БС – блок выделения сигнала.

Рисунок 1 - Структурная схема дифференциального измерительного устройства

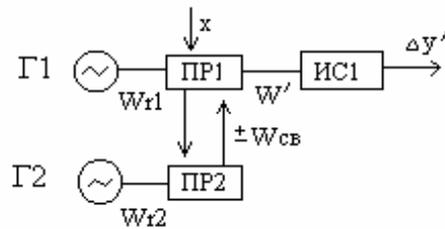


Рисунок 2 - Структурная схема нелинейного измерительного устройства, основанного на использовании связанных колебаний пьезорезонаторов.

Достоинством устройств такого типа является их высокая чувствительность, но точность измерений при этом снижается по сравнению с традиционным дифференциальным вариантом. Для повышения точности измерений предлагается использовать трехосцилляторную модель датчика, представляющую собой нелинейный вариант дифференциального первичного измерительного преобразователя.

Структурная схема датчика такого типа с использованием составных пьезорезонаторов представлена на рисунке 3 [2,3].

Математическая модель устройства, состоящего из трех взаимосвязанных осцилляторов, в упрощенном виде может быть представлена в виде системы их трех нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка.

$$\begin{cases} \ddot{a}_1 - \mu_1 F_1 \dot{a}_1 + \eta_1^2 a_1 = \gamma_{11} \ddot{a}_2 + \gamma_{21} \ddot{a}_3 + \gamma_{12} \dot{a}_2 + \gamma_{13} \dot{a}_3 + \gamma_{14} a_2 + \gamma_{15} a_3, \\ \ddot{a}_2 - \mu_2 F_2 \dot{a}_2 + \eta_2^2 a_2 = \gamma_{21} \ddot{a}_1 + \gamma_{22} \ddot{a}_3 + \gamma_{23} \dot{a}_1 + \gamma_{24} \dot{a}_3 + \gamma_{25} a_1 + \gamma_{26} a_3, \\ \ddot{a}_3 - \mu_3 F_3 \dot{a}_3 + \eta_3^2 a_3 = \gamma_{31} \ddot{a}_1 + \gamma_{32} \ddot{a}_2 + \gamma_{33} \dot{a}_1 + \gamma_{34} \dot{a}_2 + \gamma_{35} a_1 + \gamma_{36} a_2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $a$  – переменная величина колебатель-

## РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СИНТЕЗА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ной системы;

$n$  – собственная частота колебательного контура;

$\mu$  – малый параметр, характеризующий близость данной системы к линейной;

$F(a)$  – функция, определяющая нелинейность колебательного контура;

$r_{11}, r_{12}, r_{13}$  – упругая (емкостная), инерционная (индуктивная) и диссипативная (резистивная) составляющие коэффициента связи колебательной системы преобразователя.

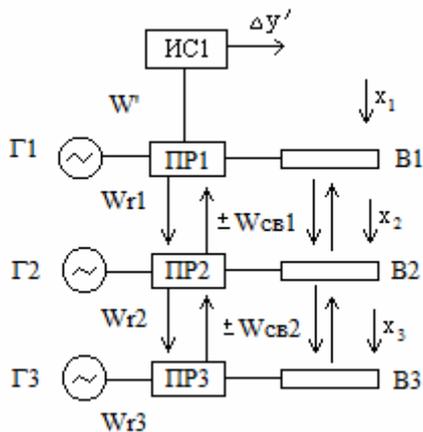


Рисунок 3 - Структурная схема нелинейного дифференциального измерительного устройства на основе взаимодействующих составных пьезорезонаторов

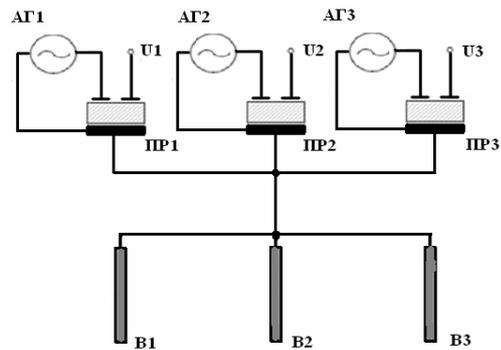
Анализ математической модели такого устройства в общем виде является достаточно сложной задачей. В связи с этим был осуществлено имитационное моделирование динамических процессов в эквивалентной электрической схеме замещения такого устройства с использованием программного модуля Micro-sap.

Полученные теоретические результаты и экспериментальные исследования подтвердили возможность повышения чувствительности и точности измерительного процесса за счет использования нелинейных режимов взаимодействия в многорезонаторных колебательных системах.

К достоинствам измерительных устройств такого типа необходимо отнести также возможность передачи измерительной информации по линиям связи с использованием режимов сильносвязанных колебаний между пьезорезонаторами и удаленными вибраторами, а также возможность осуществления предварительной обработки измерительной информации за счет реализации режимов

бифуркации слабосвязанных колебаний между взаимодействующими пьезорезонаторами.

Для примера на рисунке 4 представлено конструктивное исполнение первичного измерительного преобразователя, основанного на использовании связанных колебаний трех составных пьезорезонаторов с общим каналом акустической связи.



Условные обозначения: АГ – автогенераторы, ПР – пьезоэлементы, В – вибраторы, чувствительные элементы.

Рисунок 4 - Конструктивное исполнение нелинейного дифференциального датчика с использованием связанных колебаний составных пьезорезонаторов.

На рисунке 5 представлена выходная характеристика измерительного преобразователя уровня сыпучих материалов, основанного на использовании связанных колебаний составных пьезорезонаторов, полученная путем имитационного моделирования. Приведенная график отражает изменение выходного сигнала датчика во времени при ступенчатом изменении измеряемого параметра.

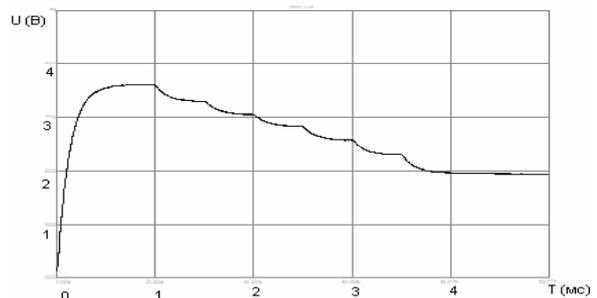


Рисунок 5 – Изменение выходного сигнала датчика уровня при ступенчатом изменении измеряемого параметра.

### Выводы

Датчики данного типа могут быть использованы для измерения усилий, уровня, вязкости, плотности сред и других физических величин. Достоинством устройств данного типа является возможность применения их в усло-

## АНАЛИЗ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ И НЕРЕГУЛЯРНОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ

виях сильных тепловых, механических и других влияющих факторов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седалищев, В.Н., Хомутов, О.И. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации: монография. Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006.
2. Балыков, А.В. Принципы построения и области применения интеллектуальных измерительных устройств, основанных на использовании связанных колебаний в пьезорезонансных

датчиковых структурах / А.В. Балыков. Ползуновский альманах №2. ВИС-2008, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, 2008, – С. 93-95.

3. Тицнер, А.О. Анализ принципов построения пьезорезонансных датчиков, основанных на использовании связанных колебаний / А.О. Тицнер - Ползуновский альманах №2. ВИС-2008, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, 2008, – С. 104.

*Аспиранты Тицнер А.О., Балыков А.В., студенты Назаров А.С., Тятюхин А.А., Ларионов М.Ю., д.т.н., профессор Седалищев В.Н. – Алтайский гостехуниверситет, тел. (3852) 26-04-92*

УДК 537.228.1(088.8)

## АНАЛИЗ РАБОТЫ АКУСТИЧЕСКОГО ТРАКТА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ И НЕРЕГУЛЯРНОСТИ КОНТРОЛИРУЕМОЙ СРЕДЫ

Н.П. Воробьев, Ю.В. Кандрин, О.В. Цымбалист

Приведено теоретическое обоснование особенностей проектирования ультразвуковых преобразователей для контроля нерегулярных волоконных сред.

**Ключевые слова:** ультразвук, преобразователь, контроль, нерегулярный, волоконный, акустический, волна, давление, приемник.

Целью работы является теоретическое обоснование путей построения ультразвуковых (УЗ) датчиков для контроля слабодисперсных нерегулярных волоконных сред, которые всегда связаны с минимизацией погрешностей измерений, достижением необходимой чувствительности и разрешающей способности проектируемых устройств.

В соответствии с требованиями обеспечения режима бегущей волны в зоне размещения контролируемого материала (в зоне с изменяемыми параметрами среды), а также достижения наиболее равномерной удельной чувствительности датчика по поверхности прозвучивания, необходимо проанализировать работу акустического тракта при приеме плоской амплитудно-модулированной по фронту волны преобразователем с наклонными отражающими гранями.

В результате анализа требуется получить для амплитуды и фазы воспринимаемых приемником колебаний необходимые расчетные соотношения, которые, с учетом полученных в [1] экспериментальных данных, могут дать объективную количественную оценку важнейшего параметра разрабатываемого датчика - удельной чувствительности прием-

ной поверхности, а также выявить возможные пути минимизации неравномерности удельной чувствительности.

Анализ работы датчика в условиях нерегулярной волоконной структуры имеет целью установление оптимальных (по критерию минимизации погрешности измерений) параметров датчика для заданных пределов изменения входного параметра.

Анализ приема акустических колебаний преобразователем с наклонными отражающими гранями

Наклонное расположение приемной поверхности обусловлено требованиями, которые необходимо выполнять при измерениях звукового давления в волне. А при контроле плотности среды следует обеспечить отсутствие интерференции прямых и отраженных от приемника волн только в зоне размещения контролируемого изделия.

Синтезированное в [1] построение акустического тракта (рисунок 1), очевидно, не может являться единственным и, тем более, оптимальным вариантом.

Учитывая симметрию акустических полей реальных вибраторов, имеет смысл исполь-