

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

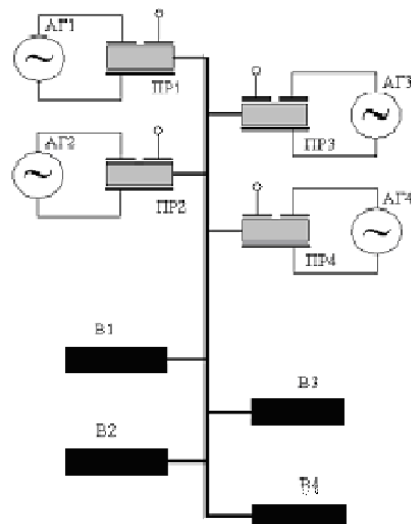
А.В. Балыков, А.О. Тицнер, В.Н. Седалищев

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

Среди множества проблем, возникающих при разработке в соответствии с концепцией создания «информационного общества» измерительных информационных систем (ИИС), в мировой практике широко рассматриваются вопросы, связанные с необходимостью повышения эффективности используемых первичных измерительных преобразователей (ИП) и каналов передачи информации, совершенствованием структуры ИИС. Основным элементом современных ИИС является ИП с встроенными программируемыми устройствами, позволяющими выполнять функции сбора, обработки и представления измерительной информации в реальном масштабе времени. Традиционные первичные преобразователи начинают уступать им место, но в некоторых случаях применение интеллектуальных датчиков с «электронной начинкой» по разным причинам не представляется возможным. Например, при автоматизации пожаро- и взрывоопасных производств, при необходимости проведения измерений в экстремальных условиях, характеризующихся наличием сильных тепловых, механических и других воздействий, возникают определенные трудности по оснащению систем сбора первичной измерительной информации не дорогими, но надежными в работе датчиками, с безопасными и помехоустойчивыми линиями передачи данных. Повышению эффективности применяемых при этом приборов и методов контроля может послужить поиск новых идей по разработке высокочувствительных, многофункциональных, надежных в эксплуатации датчиков, способов передачи и обработки измерительной информации, разработки новых типов приборов и методов контроля на их основе.

Анализ выпускаемых у нас в стране и за рубежом разнообразных типов датчиков неэлектрических величин показал, что для применения в экстремальных условиях эксплуатации наиболее пригодными являются конструкции электромеханических первичных измерительных преобразователей. Проведенные исследования позволили сделать вывод

о том, что дальнейшему совершенствованию устройств данного типа может послужить разработка нового поколения измерительных устройств с использованием режимов связанных колебаний в составных пьезорезонаторах [1-7]. Такие конструкции первичных преобразователей, включают в себя дополнительные узлы (металлические вибраторы, щупы, согласующие элементы и т.п.). Это позволяет исключить непосредственный контакт пьезоматериала с контролируемой средой, изолировать его от сильных внешних дестабилизирующих воздействий, при которых может произойти, например, расползание пьезокерамики, механическое ее разрушение, отпадает необходимость в размещении рядом с объектом измерения электронных узлов измерительной схемы. При этом практический интерес представляет создание сложных вариантов конструктивного исполнения первичных преобразователей, состоящие из системы акустически связанных составных пьезорезонаторов и вибраторов.



АГ – автогенератор, ПР – пьезорезонатор,
В – вибратор.

Рисунок 1 – Структурная схема акустической измерительной системы с использованием связанных колебаний между удаленными резонаторами.

Возбуждение колебаний в сложных акустических измерительных системах, основанных на реализации связанных колебаний резонаторов, осуществляется от отдельных автогенераторов. Таким образом, первичные преобразователи в таких устройствах представляют собой акустически связанные протяженные колебательные системы с распределенными параметрами.

Проектирование датчиков, основанных на использовании связанных колебаний в многоэлементных конструкциях, является достаточно сложной задачей. В настоящее время в теории электромеханических преобразователей учет связанных колебаний осуществляют с использованием приближенных методов. Для этой цели колебательную систему представляют в виде эквивалентной электрической схемы замещения путем замены отдельных элементов системы с распределенными параметрами, эквивалентными им по значению элементами с сосредоточенными параметрами. Задача существенно усложняется, когда реализуются автоколебательные процессы в нелинейных системах с конечным числом степеней свободы, в нелинейных системах с распределенными параметрами, каковыми являются составные пьезоэлектрические преобразователи. Для упрощенного решения задач анализа динамических процессов в таких колебательных системах их можно представить в виде линий передач с распределенными параметрами. Такие аналогии используются для анализа систем в теории колебаний и волн, в теории цепей и сигналов. При этом входной импеданс линии (z_i) и добротность (Q) можно определить с использованием известных формул [8]:

$$z_i = z_0 \frac{z_0 \cdot sh(a \cdot l) + z_i \cdot ch(a \cdot l)}{z_0 \cdot ch(a \cdot l) + z_i \cdot sh(a \cdot l)};$$

$$Q = \frac{\kappa}{2 \cdot \alpha} = \frac{\omega_0}{2 \alpha \cdot v};$$

$$a = \alpha + jk; \alpha = R_0/2z_0; k = 2\pi/\lambda = \omega_0/v,$$

где z_0 – волновое сопротивление вибратора;

v – фазовая скорость распространения колебаний;

a – константа распространения;

α – коэффициент затухания;

R_0 – активное сопротивление вибратора;

k – волновое число;

z_n – сопротивление нагрузки вибратора;
 l – длина линии.

В режиме стоячей волны активное сопротивление вибратора зависит от потерь, которые возрастают с увеличением его длины. Если акустическая нагрузка вибратора имеет комплексный характер, то происходит смещение узлов и пучностей по длине вибратора, изменяется частота собственных колебаний, что может быть использовано как один из факторов механизма чувствительности датчика. При возбуждении механических колебаний в системе с использованием двух и более автогенераторов могут происходить процессы синхронизации и биения колебаний вибраторов, сопровождающиеся образованием режимов стоячих или бегущих волн в линиях акустической связи между ними. Режимы связанных колебаний в такой системе зависят от уровня акустической связи между вибраторами, от степени расстройки их резонансных частот и амплитуд колебаний. При этом импеданс колебательной системы может иметь индуктивный, емкостный или резистивный характер. Механическая добротность преобразователя зависит от величины внутренних потерь энергии в вибраторах и от потерь энергии на излучение в среду, определяемых значением активного сопротивления эквивалентной схемы замещения преобразователя:

$$Q = \frac{\omega_0 Z_0}{R_0 g};$$

$$Z_i \approx \frac{Z_0}{\alpha \cdot l} \approx \frac{Z_0}{\frac{\pi}{2} - \kappa \cdot L} \approx \frac{Z_0}{\frac{\pi}{2} - \frac{\omega_0}{g} \cdot L \cdot \frac{1}{i}},$$

где i – число полувольт по длине вибратора;

L – длина вибратора.

В результате взаимодействия вибратора с контролируемой средой происходит изменение его импеданса, что сопровождается изменением амплитуды колебаний, парциальных частот и коэффициента связанности колебательной системы в целом. Поэтому при разработке первичных преобразователей данного типа необходимо обеспечить согласование параметров взаимодействующих резонаторов между собой, с элементом акустической связи и с измеряемой средой. Для этой цели может быть рекомендована следующая упрощенная методика расчета основных конструктивных параметров преобразователя [9].

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАНИЙ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

По величине механической добротности колебательной системы преобразователя (Q) определяется максимально допустимое значение относительной расстройки частот (ζ) взаимодействующих вибраторов с соблюдением условия:

$$2\zeta \leq Q.$$

Определяется минимально допустимое значение коэффициента акустической связи (γ) колебательной системы преобразователя:

$$\frac{1}{Q} \leq \gamma.$$

Длину элемента акустической связи вибратора можно определить исходя из условия, что затухание в металле незначительно:

$$l \ll \frac{1}{\alpha},$$

где l – длина звукопровода;
 α – коэффициент поглощения материала.

Значение коэффициента акустической связи между взаимодействующими резонаторами можно определить с использованием упрощенной формулы:

$$\gamma = \frac{Z_{эс}}{Z_0} \approx \frac{\rho_{эс} S_{эс}}{\rho_B \times S_B} \approx \frac{S_{эс}}{S_B},$$

где S_B , $S_{эс}$ – площади сечения вибратора и элемента связи.

Соответственно сечение звукопровода можно определить исходя из условия:

$$S_{\dot{Y}\dot{N}} > \frac{S_{\dot{A}}}{Q_{\dot{A}}}$$

Особенностью режимов сильносвязанных колебаний резонаторов является слабая зависимость отношения амплитуд их колебаний от изменения условий распространения сигнала по акустическому каналу связи между удаленными резонаторами. Это позволяет применять устройства данного типа для тех случаев, когда, например, размещение пьезоэлектрических преобразователей и электронных схем в непосредственной близости с контролируемым объектом по различным

причинам является нежелательным или даже невозможным. Важным достоинством устройств данного типа является возможность их применения в экстремальных условиях эксплуатации, характеризующихся наличием сильных дестабилизирующих воздействий на чувствительные элементы используемых датчиков.

Список литературы

1. Седалищев В.Н. Пьезорезонансные датчики на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2005. – № 11. – С. 41 – 43.
2. Седалищев В.Н. Использование связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Измерительная техника. – 2006. – № 3. – С. 59 – 61.
3. Седалищев В.Н. Особенности конструирования пьезоэлектрических измерительных устройств на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 4. – С. 44 – 46.
4. Седалищев В.Н. Устройство для измерения уровня сыпучих материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 6. – С. 49 – 50.
5. Седалищев В.Н. Дифференциальные пьезотрансформаторные измерительные преобразователи / Седалищев В.Н., Госьков П.И // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2006. – № 7. – С. 42 – 43.
6. Седалищев В.Н. Оценка эффективности использования связанных колебаний в пьезорезонансных измерительных устройствах // Измерительная техника. – 2006. – № 8. – С. 57 – 59.
7. Седалищев В.Н. Измерительные устройства, основанные на реализации режимов связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Ползуновский вестник. – 2006. – № 2. – С. 264 – 270.
8. Аронов Б.С. Электромеханические преобразователи из пьезоэлектрической пьезокерамики. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 272 с.
9. Седалищев В.Н. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации: монография / В.Н. Седалищев, О.И. Хомутов; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. – 184 с.