

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ТРИБОДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

**М.Ю. Ларионов, Е.М. Крючков, А.В. Новичихин, В.Н. Седалищев**  
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

В статье приведено описание принципов построения трибодатчиков параметрического типа, основанных на использовании связанных колебаний пьезорезонаторов, дана их классификация, рассмотрены особенности функционирования.

**Ключевые слова:** связанные колебания пьезорезонаторов, датчики параметрического типа, трибологические характеристики поверхности.

Первичные измерительные преобразователи могут быть двух типов: генераторные и параметрические. В первом случае для выработки измерительного сигнала используется непосредственно энергия самого объекта измерения, а во втором случае для этой цели необходим дополнительный источник энергии. Датчики генераторного типа широко применяют для измерения различных физических величин, в том числе механических. Их используют, например, для измерения усилий, параметров колебаний, вращений, перемещений, деформаций. Для этой цели применяют электромагнитные, пьезоэлектрические и другие преобразователи генераторного типа. Гораздо реже для этой цели используют трибоэлектрический эффект. Такие датчики, принцип работы которых основан на выработке электрических зарядов поверхностями трущихся тел, характеризуются высокой чувствительностью, но не способны обеспечивать столь же высокую точность измерений. Поэтому в настоящее время их применяют, в основном, для систем охранной сигнализации и т.п.

При измерении же статических и медленно изменяющихся во времени механических величин генераторный принцип первичного измерительного преобразования реализовать очень трудно или практически невозможно. В этом случае используют датчики параметрического типа. Принцип работы устройств такого типа основан на управлении в функции измеряемого воздействия пассивными параметрами

эквивалентной электрической схемы замещения измерительного преобразователя. Например, для измерения статических усилий с начала 60-х годов прошлого столетия широко используют пьезорезонансные датчики (ПРД) [1]. ПРД конструктивно просты, технологичны, имеют малые размеры и вес, обеспечивают высокую точность измерений.

Если провести аналогию между этапами применения в измерительной технике пьезоэффекта и трибоэлектрического эффекта, то можно сделать вывод о целесообразности исследования возможности создания трибодатчиков параметрического типа, основанных на использовании высокочувствительных процессов трения между контактирующими поверхностями для решения измерительных задач. В датчиках такого типа для создания взаимных перемещений поверхностей можно использовать различные типы движителей: электродвигатели, электромагниты, устройства, основанные на реализации магнитострикции, пьезоэффекта, электрострикции, а так же гидравлические, тепловые, механические, электромеханические и другие актюаторы. Но особый интерес представляет использование возможности создания гибридного варианта, основанного на использовании пьезо- и трибоэффектов – пьезорезонансных трибодатчиков параметрического типа.

Принцип работы датчиков такого типа может быть основан на реализации функциональной зависимости параметров ЭЭСЗ контакта пьезорезонаторов между собой или с элементами конструкции датчика

от измеряемых воздействий, характеристик контактирующих материалов. При этом модулируемым параметром пьезорезонансного трибодатчика могут являться эквивалентные активное сопротивление, емкость, индуктивность схемы замещения трибоконтакта. С помощью пьезорезонансных трибодатчиков можно будет не только измерять физические величины, но и исследовать физико-механические и трибологические характеристики контактирующих материалов и покрытий. С целью реализации дифференциального метода измерения представляет интерес возможность создания пьезорезонансных трибодатчиков, основанных на модуляции режимов связанных колебаний пьезорезонаторов - ПР МСК трибодатчиков [2, 3].

Необходимо отметить, что пьезорезонансные трибодатчики параметрического типа практически не разрабатывались. Очевидно, одной из возможных причин этого является то, что по отношению к трению и связанным колебаниям сложилось отрицательное мнение. Такие явления считаются вредными, нелинейными, мешающими, дестабилизирующими факторами, обуславливающими снижение стабильности, точности и срока службы измерительных устройств. Но, как показали проведенные исследования [1-7], при рациональном использовании различных режимов связанных колебаний контактирующих между собой пьезорезонаторов можно обеспечить достаточно высокую точность и чувствительность измерительного процесса. К достоинствам ПР МСК трибодатчиков параметрического типа можно отнести расширенные функциональные возможности, разнообразие их конструктивного исполнения и широкую область практического применения.

Для создания ПР МСК трибодатчиков параметрического типа могут применяться высоко- и низкодобротные пьезоматериалы. Удобно в качестве взаимодействующих резонаторов использовать составные пьезоэлектрические трансформаторы, что позволяет получать достаточно большие уровни выходных сигналов датчика. Пьезорезонансные МСК трибодатчики являются мало энергоемкими измерительными устройствами, имеют достаточно простую конструкцию, надежны в работе. Для того, чтобы уменьшить влияние

эффекта виброгладивания при взаимодействии колеблющихся поверхностей резонаторов лучше использовать тонкие пьезоэлементы и вибраторы, а в качестве чувствительных элементов использовать линии акустической связи между ними.

Классификацию возможных вариантов конструктивного исполнения ПР МСК трибодатчиков параметрического типа можно выполнить по разным признакам. Например:

- по числу степеней свободы колебательной системы датчика (на базе монолитных пьезоэлементов с двумя степенями свободы, многорезонаторные МСК ПРД);
- по реализуемым режимам связанных колебаний пьезорезонаторов (синхронного, асинхронного и бифуркационного типа);
- по виду и принципам формирования выходного сигнала (амплитудные, фазовые, частотные, с дифференциальным выходом);
- по типу модулируемого параметра (с управлением упругой, резистивной составляющих коэффициента связи);
- по метрологическим характеристикам;
- по области применения (для нормальных и экстремальных условий эксплуатации);
- по реализуемым функциям (для измерения физических величин; для контроля физико-механических и трибологических характеристик материалов).

Элемент связи между взаимодействующими пьезорезонаторами МСК трибодатчиков может быть твердое тело, а связь - жесткой или шарнирной. Элемент связи может иметь небольшие геометрические размеры или быть выполнен в виде протяженной линии акустической связи, быть явно и неявно выраженным (например, при реализации связанных колебаний в монолитных пьезорезонаторах). Элементом связи может быть с преобладающей ролью газообразного, жидкостного или твердотельного компонентов.

К числу пьезорезонансных трибодатчиков параметрического типа могут быть отнесены следующие типы разработанных к настоящему времени ПР МСК датчиков [4-7]:

- дифференциальные пьезотрансформаторные МСК датчики усилий на базе монолитных дисковых ПЭТ;
- ПР МСК датчики усилий с использованием элементов связи в качестве силопередающих элементов, с

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНЫХ ТРИБОДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

расположением их в центрах и на периферии взаимодействующих дисковых ПЭТ;

– ПР МСК датчики усилий, с приложением усилий в узлах колебаний жестко связанных по периферии дисковых ПЭТ;

– МСК датчики усилий на базе монолитных пьезоэлементов с использованием связанных колебаний электрических контуров;

– составной ПР МСК датчик уровня сыпучих материалов с использованием металлического вибратора в качестве чувствительного элемента (в том числе с протяженным элементом акустической связи между ПР и вибратором);

– ПР МСК датчик вязкости жидких сред на базе монолитного дифференциального пьезотрансформаторного измерительного преобразователя;

– ПЭТ датчик вязкости с металлическим вибратором в качестве чувствительного элемента МСК;

– датчик усилий с взаимодействующими через пьезоэлемент электрическими контурами;

– ПР МСК датчик для исследования физико-механических и трибологических характеристик поверхностей твердых тел и покрытий;

– ПР МСК датчик для определения вязкоупругих характеристик жидких сред.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малов, В.В. Пьезорезонансные датчики. – М: Энергоатом издат, 1989. – 272 с.

2. Седалищев, В.Н. Акусточувствительный датчик статических усилий с использованием связанных колебаний пьезорезонаторов / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов, С. П. Пронин, А. В. Новичихин, Е. М. Крючков // Ползуновский альманах. - 2012. - № 2. - С. 71-72.

3. Седалищев, В.Н. Использование связанных колебаний пьезорезонаторов для исследования физико-механических и трибологических характеристик поверхности твердых тел / В.Н. Седалищев, М.Ю. Ларионов Е. М. Крючков, А. В. Новичихин // Ползуновский альманах. - 2012. - № 2. - С. 6-10.

4. Седалищев, В.Н. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации / В.Н. Седалищев, О.И. Хомутов – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. -184 с.; 55 см. – Библиогр.; с. 180 – 184. – 100 экз. - ISBN 5-7568-0669-5

5. Седалищев, В.Н. Устройство для измерения уровня сыпучих материалов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2006. - № 6. - С. 49 – 50.

6. Седалищев, В.Н. Пьезорезонансные датчики на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2005. - №11. - С. 41 - 42.

7. Седалищев, В.Н. Измерительные устройства, основанные на реализации режимов связанных колебаний в пьезорезонансных датчиковых структурах // Ползуновский вестник. - 2006. - № 2. – С. 264 – 269.

**Седалищев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор, тел.:(3852) 260492, e-mail:Sedalischew@mail.ru; Новичихин Андрей Викторович-аспирант; Крючков Евгений Михайлович – аспирант; Ларионов Максим Юрьевич – аспирант.**