

## ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ДАТЧИК УСИЛИЙ С КОНТРОЛЕМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

*Виктор Николаевич Седалищев, д.т.н., профессор, алтайский государственный университет, кафедра вычислительной техники и электроники, россия, г. барнаул, sedalischew@phys.asu.ru,*

*Яна Сергеевна Сергеева, аспирант кафедры вычислительной техники и электроники, алтайский государственный университет, кафедра вычислительной техники и электроники, россия, г. барнаул, sergeevays@phys.asu.ru*

Статья посвящена исследованию возможности создания multifunctional пьезотрансформаторного датчика усилий с контролем проскальзывания.

**Ключевые слова:** пьезотрансформаторный датчик, трибологические характеристики, датчик усилий

## PIEZOTRANSFORMER SENSOR OF FORCE WITH SLIPPING CONTROL

*Victor Nikolaevich Sedalischew, doctor of technical sciences, professor, altai state university, department of computer engineering and electronics, russia, barnaul, sedalischew@phys.asu.ru,*

*Yana Sergeevna Sergeeva, post-graduate student of the department of computer science and electronics, altai state university, department of computer engineering and electronics, russia, barnaul, sergeevays@phys.asu.ru*

The article is devoted to the study of the possibility of creating a multifunctional piezotransformer force sensor with slip control.

**Keywords:** piezotransformer sensor, tribological characteristics, force sensor

Датчики усилий широко используются при автоматизации технологических процессов. При этом возрастают требования не только к их метрологическим характеристикам, но и расширяется круг решаемых с их помощью задач. Например, в робототехнических системах требуются датчики, способные не только измерять усилия, но и фиксировать контакт с объектами, контролировать появление проскальзывания объектов при их удержании захватным устройством манипуляторов [1].

Идея предлагаемого устройства с расширенными функциональными возможностями, способного измерять усилие удержания изделия и осуществлять контроль его проскальзывания, заключается в измерении трибологических характеристик контактирующих поверхностей.

На рисунке 1 приведена структурная схема датчика усилий вибрационного типа на базе взаимосвязанных пьезоэлектрических трансформаторов (ПЭТ).

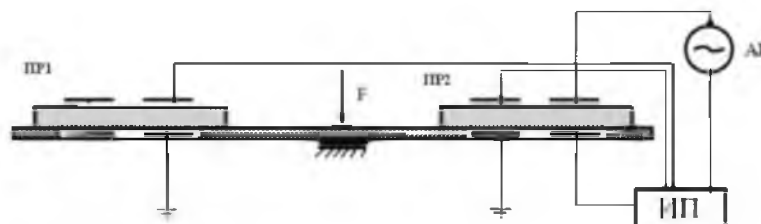


Рис. 1 - Структурная схема датчика усилий с внешней связью между составными ПЭТ

В общем случае конструкции чувствительных элементов датчиков такого типа могут представлять собой достаточно сложные колебательные системы с сосредоточенными и распределенными параметрами (Рис. 2).

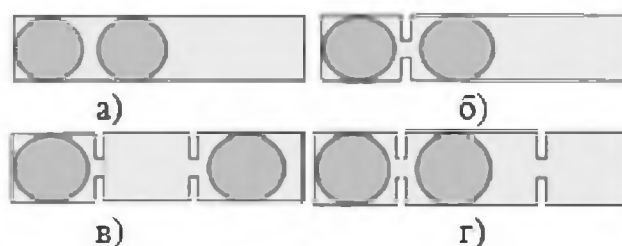


Рис. 2 - Варианты конструктивного исполнения чувствительных элементов с одной (а), двумя (б) и тремя (в, г) степенями свободы

Принцип работы датчика основан на использовании зависимости процессов трения в области контакта между поверхностями твердых тел от величины сжимающего их усилия (Рис. 3).

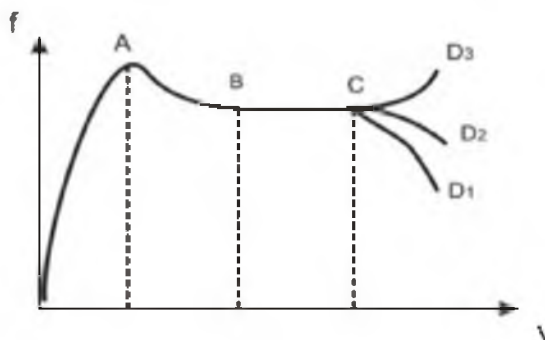


Рис. 3 - Зависимость отношения амплитуд колебаний взаимосвязанных ПЭТ от напряжения возбуждающего генератора

Использование в таких устройствах резонансных режимов работы, а также реализация механизмов акусто- тензо- и трибочувствительности позволит не только обеспечивать высокую чувствительность измерительного процесса, но и осуществлять контроль появления проскальзывания контактирующих поверхностей [2].

Как следует из приведенного графика, отношение выходных напряжений ПЭТ зависит от степени сдавливания контакта и амплитуды взаимных перемещений контактирующих поверхностей. Очевидно, что при слабых усилиях сдавливания контакта и малых амплитудах колебаний резонаторов будет преобладать механизм упругих деформаций микронеровностей. Уменьшение измеряемого усилия обусловит снижение жесткости контакта, появится проскальзывание между контактирующими поверхностями, возрастут потери на трение. Такие процессы можно представить в виде соответствующих изменений параметров ЭЭСЗ датчика.

Измеряемое усилие может прикладываться в месте контакта объекта непосредственно с одним из резонаторов или с элементом связи между ними. Возникающее при этом изменение емкости и активного сопротивления в эквивалентной электрической схеме замещения датчика (ЭЭСЗ) обуславливает соответствующие изменения амплитуд и частот взаимосвязанных колебаний резонаторов [3].

На рисунке 4 приведены АЧХ колебательной системы датчика при изменении активного сопротивления (а) и емкости (б) в элементе связи. Видно, что воздействие на элемент связи приводит к изменению параметров связанных колебаний резонаторов только на НЧС противофазных колебаний в системе.

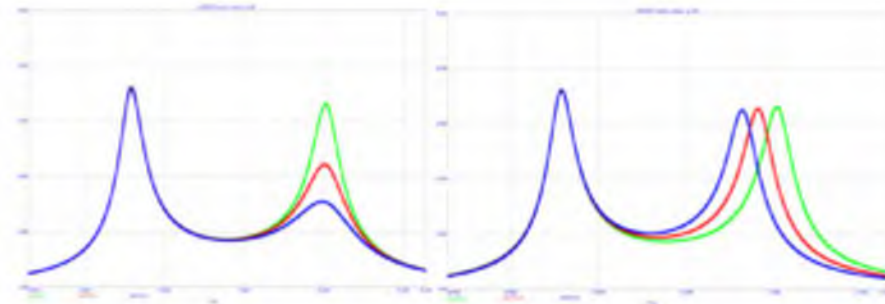


Рис. 4 - АЧХ колебательной системы датчика при изменении активного сопротивления (а) и емкости (б) в элементе связи

В отличие от рассмотренного случая воздействие измеряемым усилием непосредственно на параметры резонаторов обуславливает изменение амплитуд колебаний резонаторов на обеих НЧС системы. Уровень чувствительности датчика зависит от конструкции чувствительного элемента датчика и места приложения измеряемого усилия. Например, для первых двух вариантов конструктивного исполнения чувствительного элемента датчика появление проскальзывания в месте контакта обуславливает возрастание эквивалентной емкости и уменьшение активного сопротивления составных ПЭТ. Для третьего варианта построения чувствительного элемента датчика изменение контактной жесткости и условий трения в области контакта обусловят соответствующие изменения емкости и активного сопротивления ЭЭСЗ элемента связи между резонаторами. Четвертый вариант конструктивного исполнения датчика отличается от рассмотренных тем, что измеряемое воздействие модулирует параметры отдельного вибратора, который сильнее связан с одним из ПЭТ [4].

В таблицах 1 и 2 приведены результаты имитационного моделирования, позволяющие произвести сравнительную оценку чувствительности к изменению емкости  $K(C)$  и активного сопротивления  $K(R)$  в одном из взаимосвязанных резонаторов в датчиках с двумя и тремя степенями свободы.

Таблица 1

Значения коэффициентов относительной чувствительности при изменении активного сопротивления и емкости одного из резонаторов для различных вариантов датчика с двумя степенями свободы

	Для отношения амплитуд колебаний					
	ГВ*		В*Г		Г*Г	ГГ*
	1НЧС	2НЧС	1НЧС	2НЧС	1НЧС	2НЧС
	U1/U2	U1/U2	U1/U2	U1/U2	U1/U2	U1/U2
K(R)	0.09	0.7	0.04	0.09	0.04	0.1
K(C)	23	11	12	27	22	27

Значком (\*) обозначается резонатор, параметры которого изменяются; Г – возбуждаемый резонатор; В- ведомый резонатор.

Таблица 2

Значения коэффициентов относительной чувствительности к изменению емкости и активного сопротивления одного из резонаторов в системах с тремя степенями свободы

Схема	Выход	1НЧС		2НЧС		3НЧС	
		Kc	Kr	Kc	Kr	Kc	Kr
ГВ*В	U1/U2	7,0	0,06	0,4	0,04	7,0	0,2

	U1/U3	4,3	0,09	0,5	0,04	1,8	0,2
	U2/U3	2,6	0,15	0,9	0,005	9,2	0,02
ГВВ*	U1/U2	2,0	0,07	21,1	0,72	0,1	0,06
	U1/U3	18	0,06	9,0	0,09	10,2	0,08
В*ГВ	U2/U3	15,8	0,14	12,7	0,82	10,3	0,02
	U1/U2	12,8	0,03			10,6	0,008
	U1/U3	19,5	0,03			12,7	0,009
ВГВ*	U2/U3	7,1	0,004			2,0	0,001
	U1/U2	6,5	0,01			2,2	0,002
	U1/U3	20,4	0,03			12,7	0,01
В*ВГ	U2/U3	13,4	0,02			10,6	0,009
	U1/U2	13,2	0,02	36,7	0,8	10,8	0,008
	U1/U3	15,3	0,1	12,2	0,05	12,6	0,04
ВВ*Г	U2/U3	2,3	0,1	23,0	0,7	1,7	0,04
	U1/U2	8,1	0,05	0,6	0,005	8,2	0,01
	U1/U3	1,7	0,04	2,1	0,03	0,2	0,06
ГГВ*	U2/U3	6,2	0,008	2,8	0,02	8,8	0,07
	U1/U2	5,0	0,02	8,2	0,64	1,9	0,09
	U1/U3	18,1	0,04	2,3	0,24	12,7	0,09
ГВ*Г	U2/U3	12,8	0,02	5,9	0,9	11,0	0,004
	U1/U2	7,3	0,007			7,6	0,06
	U1/U3	1,3	0,0007			0,9	0,001
В*ГГ	U2/U3	5,8	0,008			8,8	0,05
	U1/U2	12,9	0,7	12,1	0,45	10,7	0,53
	U1/U3	18,7	1	6,3	0,45	11,6	0,55
	U2/U3	6,1	0,3	19,1	0,95	0,8	0,01

Из приведенных таблиц следует, что в датчики такого типа характеризуются высокой чувствительностью к изменению контактной жесткости составных ПЭТ и гораздо менее чувствительны к изменению условий трения между контактирующими поверхностями. С учетом того, что появление проскальзывания в месте контакта обусловлено резким изменением жесткости контакта измерительные устройства такого типа могут найти применение не только для измерения статических усилий, но и для контроля проскальзывания. Основанием для этого могут служить результаты экспериментальных исследований трибологических свойств контакта поверхностей твердых тел с использованием высокочувствительного устройства, приведенного на рисунке 5.

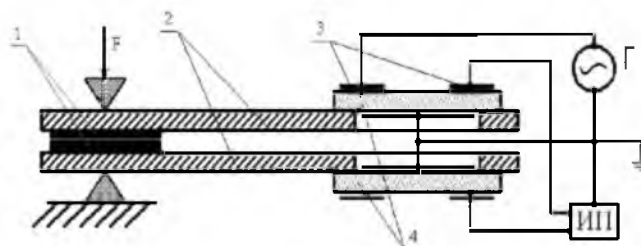


Рис. 5 - Структурная схема датчика с внутренней связью между составными ПЭТ

На рисунке 6 приведены зависимости отношения выходных напряжений ПЭТ от величины напряжения возбуждения на частоте противофазных колебаний составных ПЭТ для разных усилий сдвливания контакта.

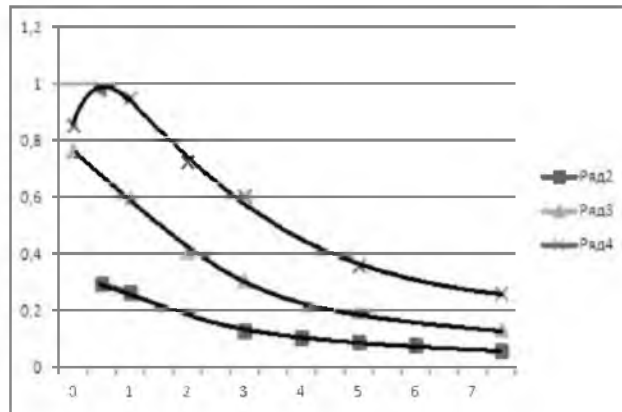


Рис. 6 - Зависимость отношения выходных напряжений ПЭТ от величины напряжения возбуждения при разных усилиях сдвигания контакта

Очевидно, что максимум данного графика характеризует наступление граничного режима перехода между трением покоя и трением движения. Увеличение сдвигающих усилий приводит к тому, что максимум графика смещается вправо, в область больших амплитуд колебаний резонаторов. Это можно объяснить тем, что при увеличении амплитуд противофазных движений резонаторов начинает проявлять себя явление проскальзывания в месте их контакта. При этом в результате возрастания потерь на трение уменьшается доля энергии, передаваемой от ведущего к ведомому ПЭТ, что служит дополнительным фактором механизма чувствительности [5].

Таким образом, на основании полученных зависимостей можно сделать вывод о возможности использования отношение выходных напряжений ПЭТ на частоте их противофазных колебаний для регистрации появления проскальзывания между контактирующими поверхностями.

На рисунке 7 приведены зависимости коэффициента связи от величины напряжения возбуждения ПЭТ. Как следует из приведенных графиков проскальзывание контактирующих поверхностей приводит к резкому снижению уровня связи между резонаторами.

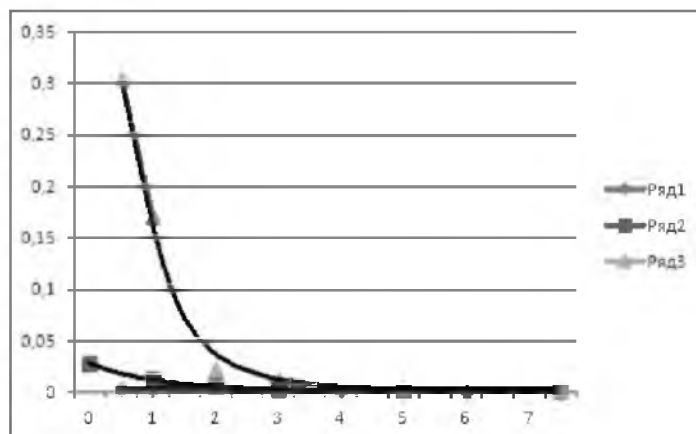


Рис. 7 Зависимость коэффициента связи от величины напряжения возбуждения ПЭТ при разных усилиях сдвигания контакта

К достоинствам предложенного способа измерения статических усилий и контроля появления проскальзывание в области контакта твердых тел можно отнести то, что устройства такого типа могут иметь небольшие размеры и низкую стоимость, потребляют мало энергии, удобны в эксплуатации и обслуживании.

**Список литературы**

1. Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989.
2. Седалищев, В.Н. Пьезорезонансные датчики на связанных колебаниях. – Барнаул: Изд-во Приборы и системы, 2005. – 142 с.
3. Седалищев В.Н. Пьезотрансформаторные измерительные преобразователи: Монография. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015г.- 167 с.
4. Седалищев, В.Н. Особенности конструирования пьезоэлектрических измерительных устройств на связанных колебаниях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2006. – 127 с.
5. Датчики теплофизических и механических параметров. Справочник, т.1, кн.1 / Под общ. ред. Коптева Ю.Н., под ред. Багдатьяева Е.Е., Гориша А.В., Малкова Я.В.- М.: ИПЖР, 1998.