

E. S. Gribkova

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ABOUT THE POSSIBILITY TO USE THE CHARACTERISTICS OF SURFACE ACOUSTIC WAVES IN MOTION SENSORS

The task of surface acoustic wave (SAW) propagation into rotating anisotropic solid-state media is considered. The SAW characteristics to be used as informative parameters for angular velocity determination are found. New constructions of gyro sensitive elements based on SAW are proposed.

Surface acoustic wave, anisotropic solid-state media, non-inertial system, motion sensor

УДК 531.768

Д. П. Лукьянов, С. Ю. Шевченко, А. С. Кукаев, Р. К. Теличкин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

О возможности построения пассивного беспроводного микрогироскопа

Анализируются существующие принципы построения пассивных беспроводных микрогироскопов на поверхностных акустических волнах (ПАВ), приводится их конструктивная критика. Описывается новая концепция построения микрогироскопа на ПАВ с фазовым методом измерения, приводятся результаты ее предварительных исследований.

Микрогироскоп, поверхностные акустические волны, пассивный сенсор, беспроводные датчики

Беспроводные измерительные системы с использованием датчиков на поверхностных акустических волнах (ПАВ) открывают новые перспективы для дистанционного мониторинга и контроля за различными параметрами [1]–[3]. Преимуществами таких датчиков являются:

- надежность;
- отсутствие механических соединений (контактов);
- возможность работы при больших нагрузках и температурах;
- высокая вибро- и ударопрочность;
- нечувствительность к влажности.

Беспроводные системы можно разделить на несколько типов. Активные устройства используют энергию от аккумулятора. Полуактивные датчики питаются напряжением, получаемым при помощи индуктивной связи или сильного высокочастотного сигнала. Существуют также полностью пассивные устройства, в которых энергии

сигнала запроса достаточно для отправки ответного сигнала и получения информации. Передача сигналов осуществляется по беспроводному высокочастотному (ВЧ) каналу. Именно пассивные устройства раскрывают весь потенциал беспроводных датчиков на ПАВ. В активных системах необходимо иметь доступ к аккумулятору и периодически осуществлять его подзарядку. Полуактивные должны иметь малое расстояние до источника магнитной индукции, чтобы преобразовывать энергию. В отличие от перечисленных датчики на ПАВ позволяют использовать пассивные системы построения.

В общем случае сигнал опроса по каналу радиосвязи передается с блока опроса на приемопередающее устройство на ПАВ. Ответ через этот же канал связи передается назад в блок опроса, но уже неся в себе информацию с датчика [4]. На рис. 1 показано схематичное расположение элементов в устройстве.

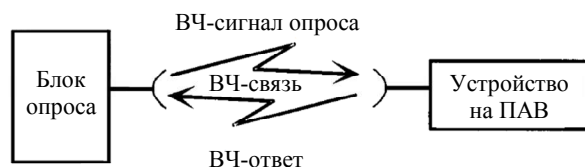


Рис. 1

На сегодняшний день существует несколько концепций построения твердотельных гироскопов на поверхностных акустических волнах. Такие датчики имеют высокие показатели вибро- и ударопрочности (до 45 000 g) и большой диапазон измерения угловых скоростей (до 10 000 $^{\circ}/с$) [5]. Также стоит отметить, что датчики на ПАВ являются высоконадежными и не требуют обслуживания в процессе эксплуатации. Концепции построения беспроводных твердотельных микрогироскопов (ТМГ) на ПАВ являются наиболее привлекательными. Это связано с возможностью размещения таких датчиков в труднодоступных местах и возможностью отказаться от источников питания и подводящих проводов, что повышает их надежность и технологичность. Существует несколько принципов построения беспроводных пассивных гироскопов на ПАВ. Рассмотрим их более подробно.

Пассивный беспроводной ТМГ на ПАВ на основе двух линий задержки. Структура предлагаемого в [6] датчика представлена на рис. 2.

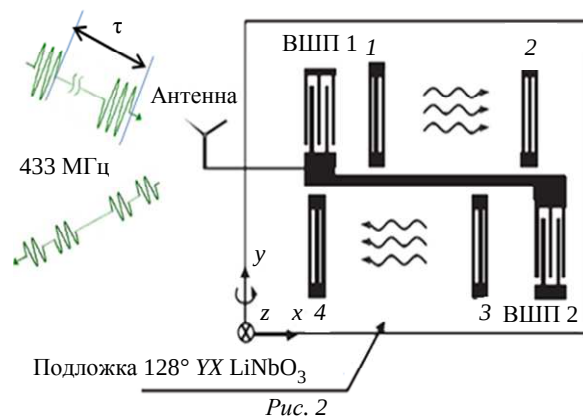


Рис. 2

Конструкция содержит две линии задержки, образованные встречно-штыревыми преобразователями ВШП 1, ВШП 2 и отражателями 1–4. При этом в линии задержки (ЛЗ) волны распространяются в противоположных направлениях и имеют разную длину (4.56 и 4.82 мм соответственно). Гармонический сигнал от внешнего генератора передается по радиоканалу и попадает на антенну датчика, которая принимает данный сигнал. После этого он посредством ВШП 1 и ВШП 2 трансформируется в ПАВ и попадает в линии задержки. Рассмотрим происходящие процессы на примере ЛЗ, образованной ВШП 1 и отражателями 1, 2. Волна частично отражается на отражателе 1, частично проходит дальше. Отраженная компонента попадает на ВШП 1 и по радиотракту передается на измерительную аппаратуру, образуя пик 1 (рис. 3).

Оставшаяся часть волны распространяется дальше, отражается от рефлекторов 2 и также попадает обратно на ВШП 1, образуя пик 2. Аналогично происходит и со второй линией задержки, но с небольшим временным сдвигом, обусловленным разными длинами ЛЗ. При наличии угловой скорости, направленной вдоль оси y , на волны, бегущие между отражателями 1–2 и 3–4, будет действовать ускорение Кориолиса. Подробно эффект Кориолиса для бегущих ПАВ описан в [5], [7]. Он приведет к наличию дополнительных фазовых набегов в каждой из волн и, следовательно, к перемещению второй пары пиков относительно первой (рис. 3). При этом сдвиг для двух линий будет иметь противоположные знаки, поскольку ПАВ распространяются в противоположных направлениях. В результате образуется дифференциальная схема, позволяющая повысить чувствительность и исключить влияние температурных эффектов.

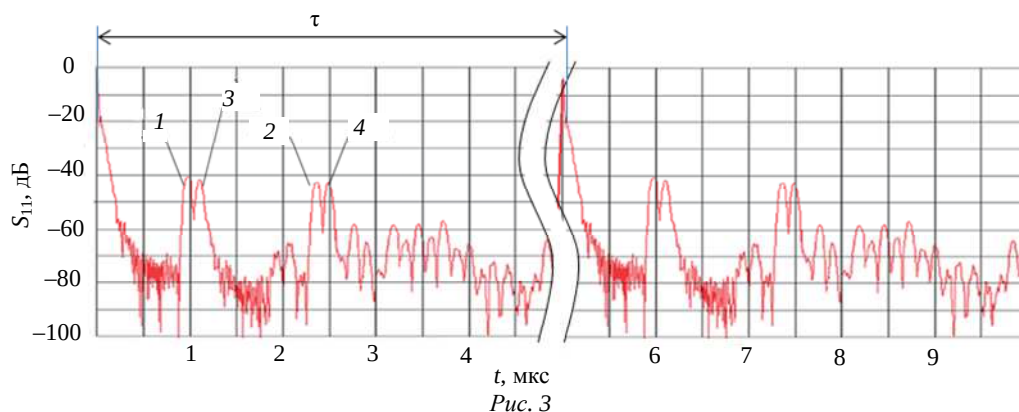
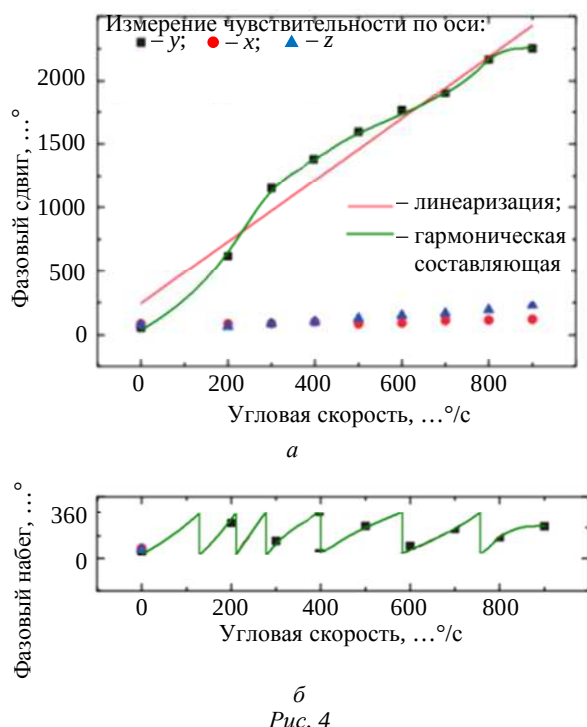


Рис. 3



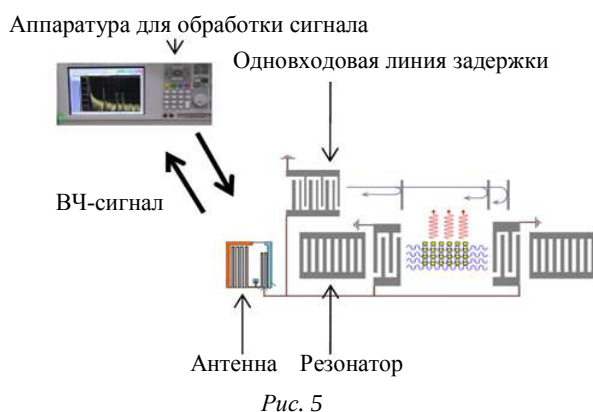
Авторами работы [6] был проведен ряд экспериментов и получены основные характеристики датчика, приведенные в таблице.

Параметр		Значение
Материал подложки		128° YX LiNbO ₃
Рабочая частота (f), МГц		434
Невозмущенная скорость ПАВ (v ₀), м/с		3951
Длина волны (λ), мкм		9.1
Длительность импульса, мкс		~0.1
Максимальная угловая скорость, ...°/с		± 900
Масштабный коэффициент, °/с		2.42
Время задержки, мкс	ВШП 1 – отражатель 2 – ВШП 1	1
	ВШП 2 – отражатель 4 – ВШП 2	1.12

Выходная характеристика предлагаемого сенсора приведена на рис. 4, а. Как видно из рисунка, выходная характеристика и масштабный коэффициент приведены в виде зависимости фазового набег от угловой скорости [6]. Следует отметить, что фазовые измерения обладают рядом специфических особенностей. Одной из них является неоднозначность – одно и то же значение выходного параметра повторяется раз за период. Так, если через каждые 360° обнулять значения выходного сигнала, как это происходит в фазовом детекторе, то выходная характеристика примет вид, приведенный на рис. 4, б. Вторым недостатком является неравноточность фазовых измерений – производная фазового набег по времени меняется от нуля до

максимума в различных точках выходной характеристики. В результате различные значения угловой скорости определяются с разной точностью. Для борьбы с этими недостатками существует целый ряд способов: изменение длины линии задержки (укорочение до 1 периода); использование низких частот или низкочастотной модуляции сигнала; счет фазовых циклов. В [6] ни один из предложенных методов не обсуждался. Кроме того, принцип действия описанного устройства вызвал целый ряд вопросов, описанных в [8], [9].

Микрогирискоскоп смешанного типа. Датчик включает в себя несколько базовых элементов, схематичное представление такого устройства показано на рис. 5 [10].



Конструкция содержит два устройства на ПАВ (резонатор и ЛЗ) на одной пьезоэлектрической подложке и антенну, которая имеет две резонансные частоты (80 и 160 МГц). При приеме антенной гармонических сигналов различной частоты от внешнего генератора происходит одновременная активация резонатора и одновходовой ЛЗ. ПАВ-резонатор, состоящий из двух ВШП и отражателей, активируется при приеме сигнала с частотой 80 МГц, что приводит к появлению стабильной стоячей волны между ВШП. Инерционные массы (ИМ), расположенные в пучностях волны, под ее воздействием также начинают вибрировать в ортогональном направлении по отношению к подложке. Сигнал с частотой 160 МГц активирует одновходовую ЛЗ, которая состоит из ВШП и трех отражателей. На ВШП происходит преобразование входного импульса в ПАВ, которая распространяется в сторону отражателей и, отразившись, возвращается, после чего происходит обратное преобразование в ВЧ-сигнал. Приемная аппаратура анализирует информацию, поступившую с датчика.

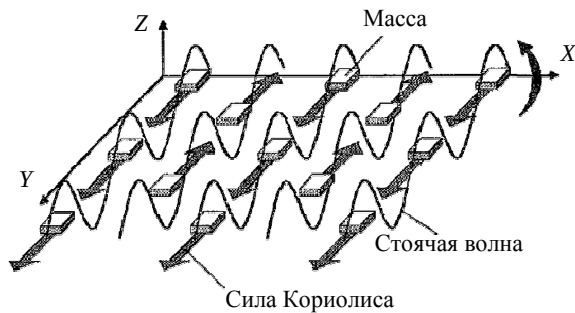
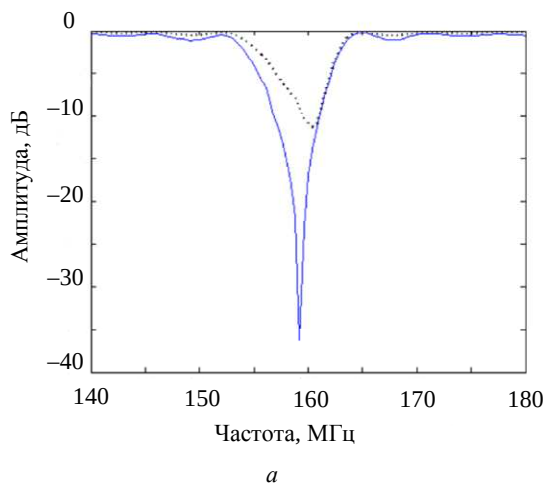


Рис. 6

При наличии угловой скорости, направленной вдоль оси Y, на стоячую волну и ИМ (рис. 6), будет действовать ускорение Кориолиса, а следовательно, появится и сила Кориолиса. Она приведет к появлению вторичной волны, которая будет ортогональна



первичной. Инерционные массы усилят этот эффект, так как сила Кориолиса пропорциональна массе m точки, вибрирующей со скоростью v и угловой скорости Ω : $\vec{F}_K = 2m[\vec{\Omega} \times \vec{v}]$.

Вторичная волна воздействует на одновходовую линию задержки, вызывая изменения скорости волны, распространяющейся в ней, что приводит к сдвигам резонансной частоты и отраженных пиков во времени (рис. 7). После анализа этих отклонений

можно получить информацию о скорости вращения подложки.

Для увеличения полезного эффекта необходимо увеличить силу Кориолиса, проще всего это реализовать за счет увеличения массы каждой металлической точки. Тем не менее, избыточная нагрузка воздействует на стоячую волну и приводит к изменению ее резонансной частоты. Тяжелые металлические точки искажают устойчивую стоячую волну, вызывая изменение скорости ПАВ.

Рассмотренные концепции построения пассивных беспроводных микрогироскопов на ПАВ позволяют говорить о принципиальной возможности создания таких датчиков. Вместе с тем, существует целый ряд нерешенных вопросов,

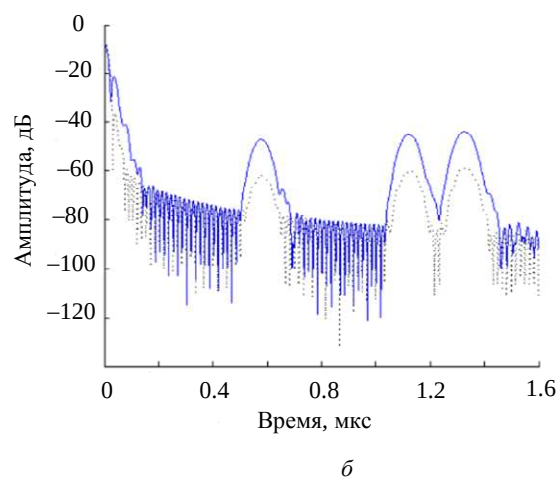


Рис. 7

связанных с построением конкретных устройств. На сегодняшний день в рамках разработки пассивного беспроводного ТМГ на кафедре ЛИНС разработан макет на основе одной линии задержки и фазового детектора. О результатах его испытаний будет сообщено в последующих докладах.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых – кандидатов наук, шифр МК – 6435.2014.8, договор № 14.Z56.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Murphy O. H. Continuous in vivo blood pressure measurements using a fully implantable wireless SAW sensor // Biomedical microdevices. 2013. Т. 15, № 5. P. 737–749.
2. Pereira da Cunha M. Wireless acoustic wave sensors and systems for harsh environment applications // Wireless Sensors and Sensor Networks (WiSNet). IEEE Topical Conference on. IEEE. 2011. P. 41–44.
3. Lee K. A novel 440 MHz wireless SAW microsensor integrated with pressure-temperature sensors and ID tag // J. of Micromechanics and Microengineering. 2007. Т. 17, № 3. С. 515.
4. Bulst W. E., Fischerauer G., Reindl L. State of the art in wireless sensing with surface acoustic waves // Industrial Electronics, IEEE Transactions on. 2001. Т. 48, № 2. P. 265–271.
5. Lukyanov D., Shevchenko S., Kukaev A. Micro rate gyros for highly dynamic objects // Microsystem Technologies. 2014. Т. 20, № 12. P. 2137–2146.
6. Wang W. Wireless and passive gyroscope based on surface acoustic wave gyroscopic effect // Applied physics express. 2011. Т. 4, № 8. P. 086601.
7. A micro rate gyroscope based on the SAW gyroscopic effect / S. W. Lee, J. W. Rhim, S. W. Park, S. S. Yang // J. Micromech. Microeng. 2007. № 17. P. 2272–2279.

8. Lukyanov D. Comment on «Wireless and Passive Gyroscope based on Surface Acoustic Wave Gyroscopic Effect» // Applied Physics Express. 2012. Т. 5, № 10. С. 109101.

9. Пассивный беспроводной микрогирискоскоп на поверхностных акустических волнах за рубежом и в России / С. Ю. Шевченко, А. С. Кукаев, Д. В. Сафронов, Е. П. Филиппова; под общ. ред. акад. РАН В. Г. Пешехо-

нова // Материалы XV конф. молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ „Электроприбор“», 2013. С. 416–421.

10. Fu C., Elmarzia O., Lee K. Implementation of wireless battery-free microgyrosensor by utilizing one-port SAW delay line and an antenna with double resonant frequencies // SPIE MOEMS-MEMS. Intern. Society for Optics and Photonics. 2014. P. 897503-897503-11.

D. P. Lukyanov, S. Yu. Shevchenko, A. S. Kukaev, R. K. Telichkin
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ON THE POSSIBILITY OF CONSTRUCTING PASSIVE AND WIRELESS MICROGYROSCOPE

Analyzes and criticizes existing design concepts of a wireless passive gyroscope on surface acoustic waves (SAW). A new design concept of a SAW-based gyro with a phase output I proposed along with preliminary test results.

Microgyroscope, surface acoustic waves, passive sensor, wireless sensors
