

развертывания на месте расположения акустической мишени другой блокирующей аппаратуры, которая не мешает движению и не создает потерь энергии пули, удовлетворяет требованиям равенства дальности от дульного среза до средней точки блокировки и позволяет определять скорость пули.

Экспериментальные исследования дозвуковой акустической мишени подтвердили адекватность приведенных выше математических моделей исследуемому объекту, т. е. значения вычисленных координат ТП и скорости движения пули с помощью мишени соответствовали реальным значениям для каждого выстрела.

Таким образом, исследования показывают, что для испытаний изделий с дозвуковой скоростью движения пули можно применить ИИС, построенную на дозвуковой акустической мишени, которая дает возможность для одного выстрела одновременно определять не только координаты точки попадания, но и скорость движения пули на дальности ус-

тановки мишени. К недостаткам этой мишени можно отнести наличие расходного материала (формирователей). Преимуществом является низкая стоимость по сравнению со световой мишенью.

Библиографические ссылки

1. Пат. 2392577 Российская Федерация, МПК F41 J 5/06. Устройство определения внешнебаллистических параметров на основе акустических датчиков / Афанасьев Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В., Коробейников В. В.; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УРО РАН. – № 2008129855/02; заявл. 18.07.2008; опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17-ил.

2. Коробейников В. В. Модель дозвуковой акустической мишени // Вестник ИжГТУ. – 2011 – № 1. – С. 100–102.

3. URL: <http://www.lcard.ru/info/news>

4. Коробейников В. В., Казаков В. С. Выбор конструкции дозвуковой акустической мишени для физической модели информационно-измерительной системы // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1(49). – С. 185–190.

V. V. Korobeynikov, PhD, Institute of Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk

V. S. Kazakov, PhD, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Subsonic Acoustic Target for Measurement of Hit Point Coordinates and Bullet Speed

The paper considers the layout and mathematical model of the target, allowing to define hit point coordinates and bullet speed for each shot.

Key words: acoustics, target, coordinate, speed, sensor.

УДК 621.385.833

П. В. Гуляев, кандидат технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

Е. Ю. Шелковников, доктор технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

А. В. Тюриков, кандидат физико-математических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

С. Г. Селетков, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Н. И. Осипов, кандидат технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

С. Р. Кизнерцев, кандидат технических наук, Институт прикладной механики УрО РАН, Ижевск

СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА ИНЕРЦИОННОГО ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Исследованы вопросы приема и обработки данных с магнитоиндукционного датчика скорости линейных перемещений, интегрированного в инерционный пьезоэлектрический привод. Описаны его конструкция, работа, приведены временные диаграммы. Рассмотрены присущие этому датчику особенности помех, предложены средства их подавления и компенсации.

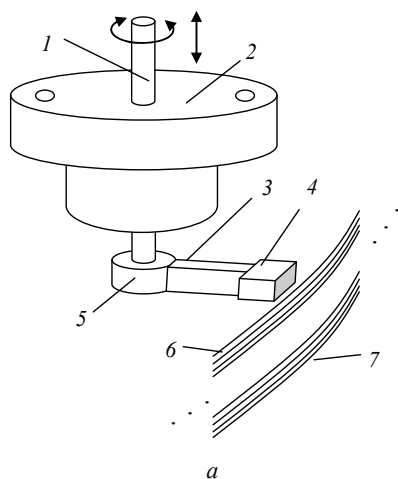
Ключевые слова: инерционный пьезопривод, магнитоиндукционный датчик скорости, помехоустойчивость, фильтрация, обработка сигналов.

В настоящее время инерционные пьезоэлектрические приводы находят широкое применение для высокоточного позиционирования образцов и зондов [1, 2, 3]. Наибольшей точностью перемещений обладают инерционные пьезоприводы вращательно-поступательного типа, позволяющие осуществлять высокоточные угловые перемещения и преобразовывать их в сверхмалые (единицы нм)

линейные перемещения [4, 5, 6]. Однако их использование в системах позиционирования с координатной привязкой [7] ограничивается необходимостью постоянного мониторинга величины и скорости перемещений. Для выполнения такого мониторинга без существенного усложнения системы позиционирования используются недорогие магнитоиндукционные датчики скорости перемещений, органично вписывающиеся

в конструкцию инерционных пьезоэлектрических приводов. Вследствие чувствительности данного типа датчиков к различного рода помехам разработка помехоустойчивой системы измерения и обработки данных с магнитоиндукционного датчика инерционного привода представляется весьма актуальной.

Конструкция типичного инерционного пьезоэлектрического привода вращательно-поступательного типа (рис. 1) с магнитоиндукционным датчиком включает в себя безлюфтовую пару «винт – гайка», пьезоэлементы (пьезопластины), инерционный элемент (с магнитом), крепежный элемент, катушки.



б

Рис. 1. Инерционный пьезоэлектрический привод: а – конструкция (1 – винт; 2 – гайка; 3 – изгибный пьезоэлемент; 4 – инерционный элемент с магнитом; 5 – крепежный элемент; 6 – измерительная катушка; 7 – вспомогательная катушка); б – внешний вид

Привод работает следующим образом. На электроды пьезоэлементов 3 подается несимметричный пилообразный управляющий сигнал. При формировании пологого фронта управляющего сигнала происходит изгиб пьезоэлементов и медленное смещение элемента 4. Сила трения при этом сдерживает вращение винта в гайке. При формировании крутого среза напряжение между обкладками пьезоэлементов 3 за короткий промежуток времени (десятки мкс) становится равным нулю. Элемент 4 в силу инерционных свойств не может столь же быстро перемес-

тись в исходную точку. В результате упругие силы деформированных пьезоэлементов преодолевают силу трения в паре «винт – гайка», вызывая поворот и поступательное перемещение винта. При этом в качестве датчика используются размещенный на инерционном элементе магнит и расположенная рядом катушка. Для регистрации вертикальной составляющей скорости v_v перемещения магнита необходимо размещать катушку в непосредственной близости от магнита, либо использовать корпусные элементы для формирования однородного магнитного поля в месте пересечения силовых линий поля проводников катушки. Тогда индуцированную ЭДС в катушке датчика можно оценить согласно закону электромагнитной индукции:

$$\xi = Blv_v \sin \alpha,$$

где α – угол между проводником и направлением скорости пересечения этим проводником линий магнитной индукции B ; l – длина участка проводника, находящегося в магнитном поле.

Как упоминалось выше, катушки датчика чувствительны к низкочастотным помехам, среди которых можно выделить помеху, обусловленную излучением пьезоэлемента при воздействии на него среза управляющего сигнала, а также сетевые помехи (50–100 Гц). Для устранения помехи первого типа использовалась дополнительная катушка 7, находящаяся вне силовых линий поля магнита (см. рис. 1). Схема подключения катушек к входному усилителю (ВхУ) измерительного канала представлена на рис. 2, а характерный график скорости перемещения на выходе входного усилителя – на рис. 3. График получен в режиме холостого хода привода, поэтому кривая перемещения будет представлять собой выброс с крутым передним фронтом и плавным срезом по экспоненциальной кривой [8]. Регулируемый резистор используется для установления нулевого сигнала на выходе при формировании управляющих сигналов в отсутствии магнита на инерционном элементе, что соответствует полной компенсации помехи от излучения пьезоэлемента. Однако это не гарантирует полной компенсации сетевых помех, которые наряду с напряжением смещения нуля операционного усилителя сдвигают уровень полезного сигнала относительно нуля (рис. 4). Как показали исследования, применение фильтров высоких частот для отделения полезного сигнала искажает сам сигнал (рис. 5), содержащий низкочастотные составляющие в завершающей части переходного процесса после формирования среза управляющего сигнала. Если частота полезного сигнала достаточно высока, чтобы рассматривать сетевую помеху как постоянную составляющую, то для устранения влияния помехи достаточно выделить постоянную составляющую с помощью фильтра низких частот (ФНЧ) и произвести ее вычитание из основного сигнала. Для повышения точности компенсации постоянной составляющей необходимо организовать задержку основного сигнала на

величину, сопоставимую с быстродействием ФНЧ (десятки мс). Сквозность управляющего сигнала также должна устанавливаться с учетом быстродействия ФНЧ. Интегрирование полученного таким образом сигнала (рис. 5) приводит к результатам, соответствующим результатам прямых измерений, представленным в работах [4, 8].

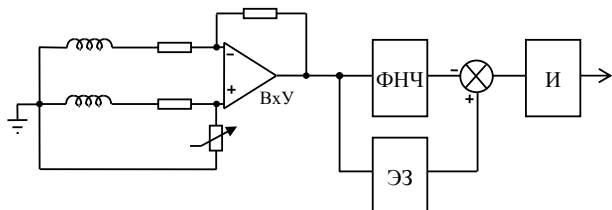


Рис. 2. Схема обработки сигналов с катушек датчика: ВхУ – входной усилитель, ФНЧ – фильтр низких частот; ЭЗ – элемент задержки, И – интегратор

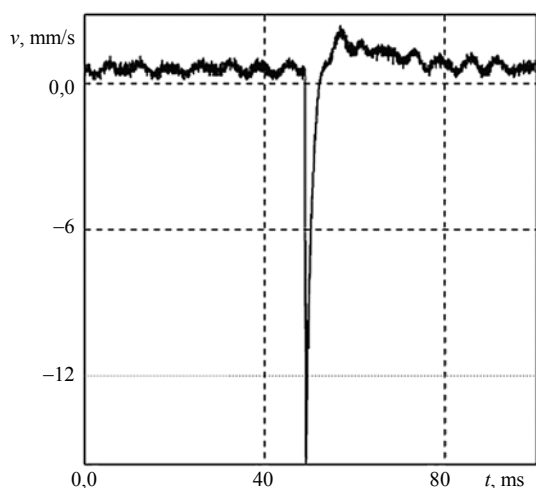


Рис. 3. Типичный сигнал скорости на выходе ВхУ при формировании среза управляющего сигнала

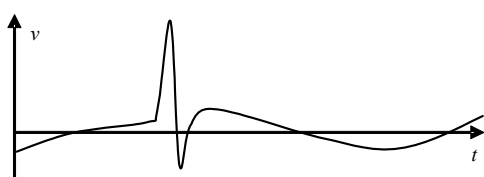


Рис. 4. Изображение полезного сигнала на фоне помехи

Возможности представленной на рис. 2 базовой схемы обработки сигналов магнитоиндукционного датчика могут быть расширены при ее программной реализации на базе микроконтроллера или сигнального процессора. Для этого сигнал с ВхУ через аналогово-цифровой преобразователь должен быть передан непосредственно в микроконтроллер (в частности это может быть микроконтроллер, формирующий управляющие сигналы). Дальнейшая обработка сигнала осуществляется в цифровом виде. Применение программной обработки упрощает реализацию элемента задержки за счет формирования выборок сигнала $V1$, $V2$, используемых, соответственно, для вычисления постоянной составляющей

и конечной величины шагового перемещения. Выборка $V1$ формируется в промежуток времени $T1$, определяемый исходя из быстродействия ФНЧ, а выборка $V2$ – в промежуток времени $T2$, соответствующий продолжительности переходного процесса (рис. 6). В качестве дополнительных функциональных возможностей, появляющихся при использовании программной обработки, можно отметить анализ формы и величины шаговых перемещений, а также автоматизированную настройку оптимальных параметров управляющих сигналов под конкретные тип и величину нагрузки.

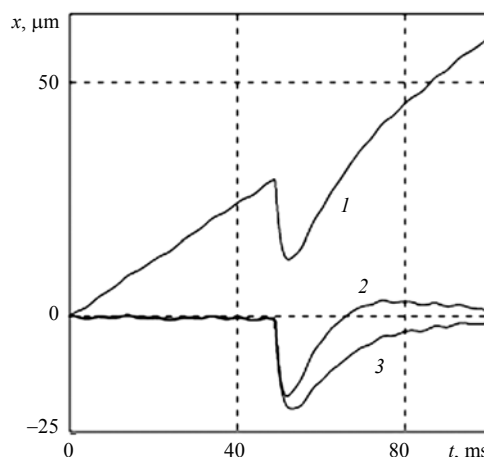


Рис. 5. Графики перемещения, полученные при различных вариантах обработки сигнала с выхода ВхУ: 1 – интегрирование необработанного сигнала; 2 – выделение полезного сигнала с помощью фильтра высоких частот с последующим интегрированием; 3 – выделение постоянной составляющей с помощью ФНЧ, удаление ее из исходного сигнала и последующее интегрирование

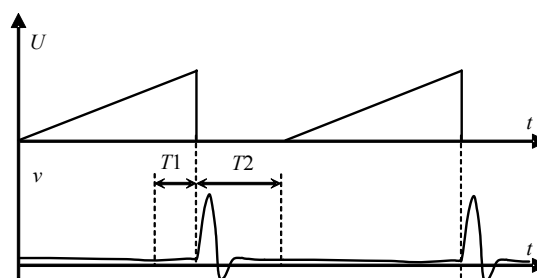


Рис. 6. Расположение временных интервалов формирования выборок сигнала относительно управляющих сигналов привода

Таким образом, основными особенностями системы обработки данных с магнитоиндукционного датчика инерционного пьезоэлектрического привода является наличие средств подавления и компенсации помех. К ним в первую очередь следует отнести дополнительную катушку и дифференциальный входной усилитель, позволяющие взаимно уничтожать синфазные помехи, а также цифровую или аналоговую схему удаления постоянной составляющей сигнала датчика. При этом применение цифровой обработки значительно расширяет функциональные возможности системы управления инерционным пьезоэлектрическим приводом.

Библиографические ссылки

1. Anders M., Thaeer M., Heiden C. Simple micropositioning devices for STM // Surface Science. – 1987. – Vol. 181. – No. 1–2. – P. 176–182.
2. Пат. 2297072 Российская Федерация. Инерционный двигатель. № 2005134280/28 ; заявл. 08.11.2005 ; опубл. 10.04.2007. Бюл. № 10.
3. Липанов А. М., Гуляев П. В., Шелковников Е. Ю. Прецизионный пьезодвигатель наноперемещений для сканирующего туннельного микроскопа // Датчики и системы. – 2004. – № 9. – С. 30–33.
4. Высокоточный инерционный пьезоэлектрический привод вращательно-поступального типа / П. В. Гуляев [и др.] // Электротехника. – 2010. – № 10. – С. 8–11.

5. Инерционный пьезоэлектрический шаговый привод субнанометровой точности / А. М. Липанов [и др.] // ПТЭ. – 2009. – № 5. – С. 121–122.
6. Zhigang Yang Impact drive rotary precision actuator with piezoelectric bimorphs / Hongzhuang Zhang [et al.] // Front. Mech. Eng. China. – 2008. – No. 3(1). – P. 71–75.
7. Построение изображений поверхности при многокадровом режиме сканирующего туннельного микроскопа / Ю. К. Шелковников [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2008. – Т. 10. – № 4. – С. 514–520.
8. Формирование наноперемещений пьезоэлектрическим осциллятором и кинематической парой вращения / А. М. Липанов [и др.] // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – № 15. – С. 55–61.

P. V. Gulyaev, PhD, Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk
 E. Yu. Shelkovnikov, DSc, Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk
 A. V. Tyurikov, PhD (Physics and Mathematics), Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk
 S. G. Seletkov, DSc, Kalashnikov Izhevsk State Technical University
 N. I. Osipov, PhD, Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk
 S. R. Kiznertsev, PhD, Institute of Applied Mechanics of the Ural Branch of RAS, Izhevsk

Measuring and Processing System for Signals from Magnetic Induction Sensor of Inertial Piezoelectric Drive

Questions of reception and processing of data taken from magnetic induction speed sensor for linear displacements, integrated into the inertial piezoelectric drive, are investigated in the paper. Layout and operation of the sensor are described, time diagrams are shown. Noise features specific for this sensor are described, means of noise suppression and compensation are proposed.

Key words: inertial piezoelectric drive, magnetic induction speed sensor, noise-immunity, filtration, signal processing.

УДК 621.391:681.142

И. Г. Корнилов, кандидат технических наук, доцент, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ ПОПАДАНИЯ В СТРЕЛКОВОМ ТРЕНАЖЕРЕ КОЛЛЕКТИВНОГО БОЯ

Представлен вариант системы определения точки попадания для стрелкового тренажера коллективного боя.

Ключевые слова: тренажер, стрельба.

Большое влияние на структуру системы определения точки попадания оказывает выбор оптической схемы построения датчика координат и выбор режима разделения излучателей имитаторов оружия.

Проведенный анализ существующего положения показал, что для исключения взаимного влияния стрелков друг на друга при определении принадлежности световых пятен можно производить разделение пятен по длине волны, по времени и по форме.

При построении системы, использующей разделение по длине волны, требуется более совершенная оптико-электронная система, способная отфильтровывать излучения определенных, достаточно узких и близко расположенных диапазонов, что приводит к сложности и высокой стоимости системы (количе-

ство регистраторов точки попадания пропорционально количеству стрелковых мест). К достоинствам данного способа стоит отнести тот факт, что данные системы могут работать на более высоких частотах регистрации, чем системы с разделением по времени.

В системах с разделением по форме пятна разные излучатели формируют на экране световые пятна различной формы, например, круг, квадрат и т. д. Такие системы получаются более простыми по структуре, но требуют использования матричных датчиков (видеокамер) с высоким разрешением и высоким быстродействием, что опять ведет к повышению стоимости.

Системы с разделением по времени не имеют недостатков двух предыдущих систем, связанных с большей сложностью и стоимостью, но более же-