

Интеллектуализация магнитострикционных датчиков перемещения

В.Х. Ясовеев

Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: yasov@mail.ru

А.А. Шмелев

Факультет авиационного приборостроения
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
e-mail: sasha_sh_88@mail.ru

Аннотация¹

В настоящей статье проведен анализ актуальности использования интеллектуализации датчиков. Приведен обзор и классификация функций интеллектуальных датчиков и систем. Рассмотрены структурные схемы интеллектуальной измерительной системы для магнитострикционных датчиков линейных перемещений.

1. Введение

Непрерывный рост требований к уровню качества и надежности технических средств порождает необходимость повышения точности измерений, применяемых повсеместно, в том числе в сфере контроля и управления в технических системах и науке. Обеспечение условий качества измерений на современном уровне, то есть повышение точности и скорости процессов получения и регистрации измерительной информации на сегодняшний день реализуется массой методов и подходов. Одним из таких методов является интеллектуализация приборов и систем [1].

2. Принцип действия магнитострикционных датчиков линейного перемещения

Широкое применение автоматизированных систем контроля и управления, работающих в реальном масштабе времени, является особенностью современной тенденции развития техники. Эффективность применения подобных систем зависит от измерительной информации о контролируемых объектах и процессах, и, как следствие, от основных метрологических характеристик средств измерения, которые предоставляют измерительную информацию автоматизированной системе. Немалую долю в комплексе физических величин занимают линейные перемещения. Магнитострикционные преобразователи перемещения (МПП), относящиеся к

ультразвуковому локационному типу преобразователей, являются, на сегодняшний день, весьма перспективными по сравнению с такими часто применяемыми типами преобразователей линейного перемещения, как потенциометрические, емкостные, индуктивные, трансформаторные, оптические. Преимуществами МПП являются достаточно высокая разрешающая способность менее 0,1 мм и малая погрешность преобразования при широком диапазоне преобразуемых перемещений (единицы - десятки метров), высокая степень линейности, возможность бесконтактного преобразования в широком диапазоне рабочих температур, невысокая стоимость.

На рис. 1 представлен первичный МПП, который состоит из таких основных частей как:

- волновод;
- позиционер, содержащий постоянный магнит;
- преобразователь крутильных волн в продольные;
- демпфирующий узел.

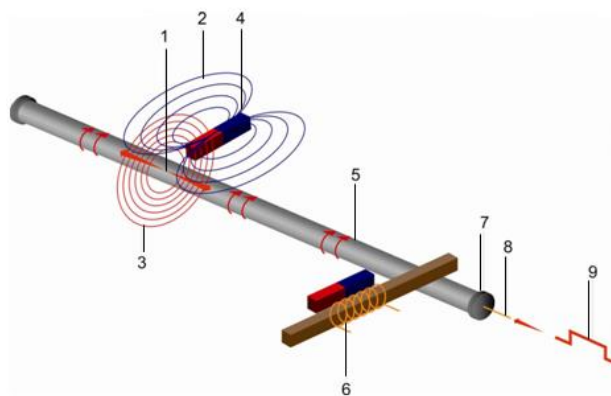


Рис. 1. Конструкция МПП:

- 1 – направления распространения ультразвуковой волны; 2 – магнитное поле постоянного магнита-позиционера; 3 – магнитное поле, создаваемое возбуждающим импульсом тока; 4 – постоянный магнит; 5 – волновод; 6 – преобразователь крутильных волн в продольные; 7 – акустический демпфер; 8 – контакт ввода возбуждающего импульса тока; 9 – форма возбуждающего импульса тока

¹ Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014

Волновод датчика изготовлен из магнитострикционного материала. При

прохождении импульса тока по волноводу, вокруг него образуется радиальное магнитное поле. Это поле, при взаимодействии с магнитным полем постоянного магнита, вызывает ультразвуковую волну, которая распространяется от места возникновения в оба конца волновода. В одном из концов волна демпфируется, что позволяет исключить помехи от отраженных волн. Преобразователь крутильных волн преобразует ультразвуковую волну в электрический сигнал. Этот преобразователь состоит из расположенной поперек волновода и жестко связанной с ним пластины из магнитострикционного материала, катушки индуктивности на этой пластине и неподвижного постоянного магнита. Информационный сигнал с приемного преобразователя крутильных волн подвергается дальнейшей обработке и представлен на осциллограмме (Рис. 2).

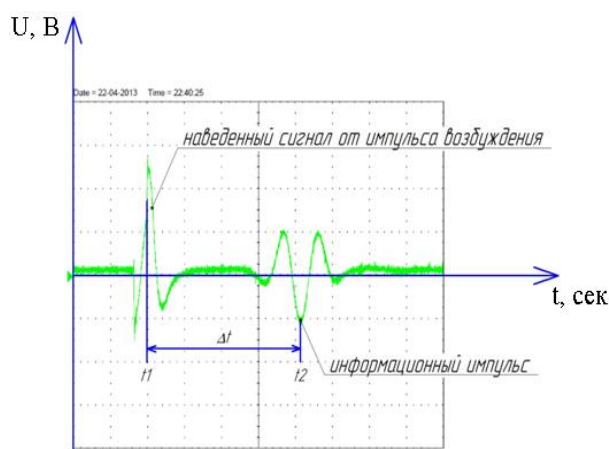


Рис. 2. Осциллограмма сигнала в приемной обмотке наведенного от импульса возбуждения и информационного сигнала

Существует множество традиционных схем для обработки информационного сигнала с первичного МПП [2, 3]. В данной работе используется новая схема обработки информационного сигнала с более высокой разрешающей способностью и самокалибровкой. Она осуществляется с помощью электронного блока обработки (Рис. 3).

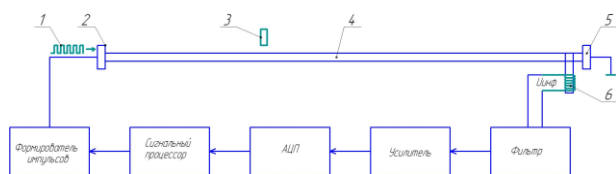


Рис. 3. Электронный блок обработки сигнала: 1 – импульсы тока; 2, 5 – акустические демпферы; 3 – постоянный магнит, жестко соединенный с объектом измерения; 4 – волновод; 6 – преобразователь крутильных волн в продольные

В преобразователе крутильных волн, ультразвуковая волна преобразуется в электрический информационный сигнал. Информационный сигнал

поступает в блок фильтра, где обеспечивается максимальное соотношение сигнал/шум. После этого сигнал усиливается и преобразуется с помощью АЦП в двоичный код. Далее цифровой сигнал поступает в сигнальный процессор, где осуществляется его обработка. Сначала определяется время t_1 появления возбуждающего импульса тока в волновод (определяется по достижению порогового значения наведенного сигнала от импульса возбуждения). Далее определяется время t_2 пика информационного сигнала. Обработка информационного сигнала и наведенного сигнала от возбуждающего импульса тока выполняется для исключения погрешности, вызванной временной задержкой аппаратной и программной части. Расчет параметров перемещения определяется по формуле:

$$x = (t_2 - t_1) \times V_{зв} \pm \Delta_{сум}$$

где x – значение положения магнита - позиционера, t_1 – время появления возбуждающего импульса тока, t_2 – время соответствующего пика информационного сигнала, $V_{зв}$ – скорость звука в волновод, $\Delta_{сум}$ – суммарная погрешность.

Расчет параметров перемещения МПП осуществляется следующим образом:

$$x = v \times t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \times t,$$

где v – скорость ультразвуковой волны; t – временной интервал, пропорциональный положению магнита - позиционера; x – положение магнита - позиционера; G – модуль сдвига; ρ – удельная плотность материала звукопровода.

Положение магнита - позиционера с учетом погрешностей МПП, определяется как:

$$x_{изм} = x \pm \Delta_{сум} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \times t \pm \Delta_{сум},$$

где $\Delta_{сум}$ – сумма погрешностей МПП, включающая в себя:

- нелинейность статической характеристики (источником возникновения погрешности является непостоянное значение скорости распространения ультразвуковой волны вдоль звукопровода);
 - температурную нестабильность;
 - погрешность квантования интервала времени;
 - погрешность от затухания ультразвуковой волны;
 - смещение нуля (источником возникновения погрешности является задержка информационного сигнала в катушке возбуждения, приемной катушке, погрешность операционных усилителей, задержка переключения компаратора, изменение формы импульса тока возбуждения, изменения условий подмагничивания);
 - погрешность из-за помех в измерительном канале.
- Наиболее существенными источниками погрешностей МПП, являются нестабильность скорости распространения ультразвуковой волны вдоль магнитострикционного звукопровода и затухание

ультразвуковой волны в процессе ее распространения, т.к. погрешность смещения нуля легко исключается из результата преобразования путем вычитания, а погрешности, вызываемые другими источниками, имеют сравнительно меньшее значение. Также значительную по величине погрешность может вносить в результат преобразования присутствие в измерительном канале напряжения помех [4]. На рис. 4 представлены погрешности, влияющих на точность преобразования МПП.

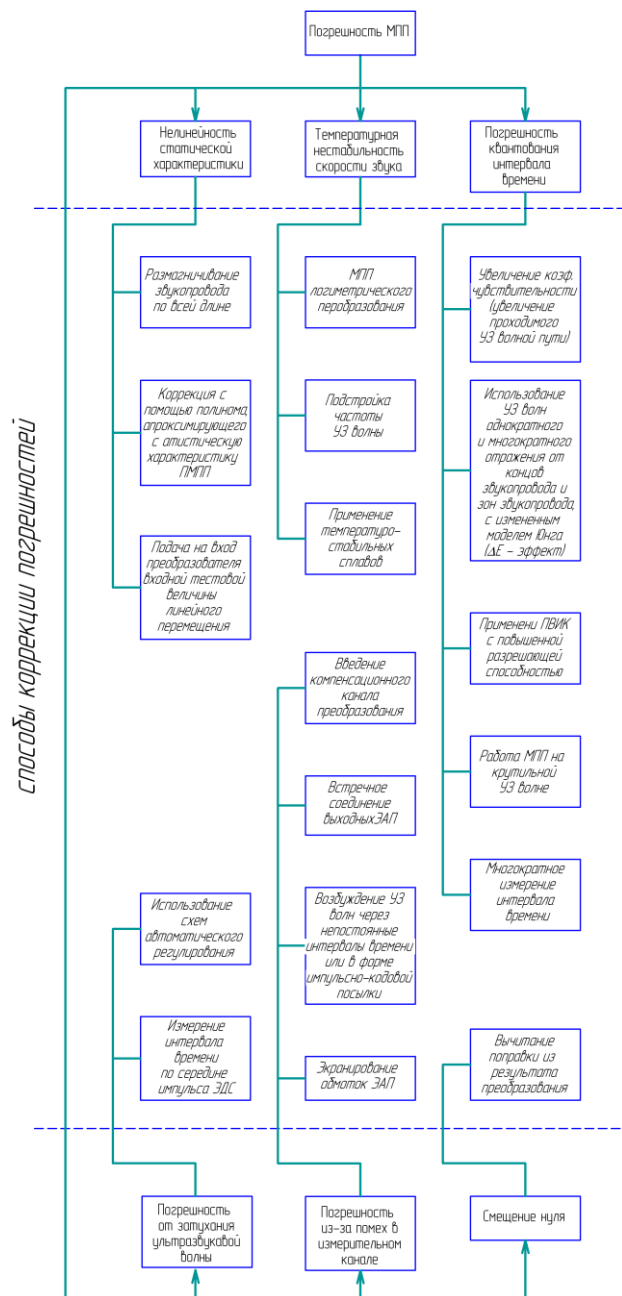


Рис. 4. Классификация погрешностей МПП и способы их коррекции

3. Интеллектуальная измерительная система для магнитострикционных датчиков линейных перемещений

Интеллектуализация работы МПП позволяет:

- непосредственно вычислять измеренные величины с коррекцией дестабилизирующих факторов на уровне датчика;
- определять оптимальную по быстродействию тактовую частоту;
- формировать оптимальные по амплитуде и длительности импульсы возбуждения ультразвука;
- осуществлять цифровое управление коэффициентом усиления усилителя считывания;
- осуществлять выделение экстремумов сигналов считывания;
- формировать цифровые коды измерительного и опорного интервалов времени и передавать их в процессор;
- осуществлять двухстороннюю связь с системой управления;
- осуществлять диагностику процессов измерения;
- осуществлять самокалибровку процессов измерения;
- производить самодиагностику и дистанционное обслуживание;
- получать цифровой сигнал на выходе преобразователя [1, 5].

Принцип работы интеллектуального магнитострикционного датчика представлен на рис. 5. Генератор возбуждающих импульсов генерирует электрический импульс, вызывающий ультразвуковую волну в магнитострикционном волноводе датчика, которая преобразуется в электрический сигнал. Данный сигнал усиливается и преобразуется с помощью АЦП в код, который поступает в микроконтроллер, где осуществляется обработка сигнала и расчет параметров перемещений. На карте памяти хранятся формулы и алгоритмы расчета параметров перемещения. Датчик температуры необходим для обеспечения корректировки выходных параметров в зависимости от изменения температуры окружающей среды.

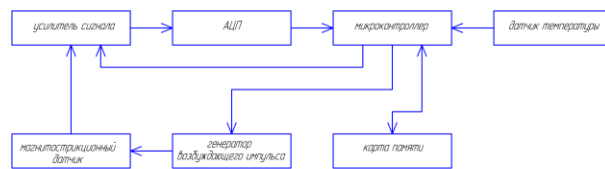


Рис. 5. Структурная схема интеллектуального магнитострикционного датчика линейных перемещений

Подробнее остановимся на операциях производимых в микроконтроллере (рис. 6). Информационный сигнал с датчика после АЦП фильтруется и поступает в блок «математическая обработка сигнала», где осуществляется расчет времени прихода информационного ультразвукового сигнала. Расчет

производится по формулам и алгоритмам, которые сохранены на карте памяти. После определения времени регистрации информационного сигнала производится расчет параметров перемещения (положение, перемещение, скорость и ускорение); корректировка расчетов в зависимости от внешних факторов, которые вызывают изменение скорости распространения ультразвуковой волны в магнитострикционном материале, ее прогиб; корректировка погрешностей. Данные операции осуществляются с помощью датчика температуры, блока самокалибровки, блока провиса струны. Кроме того предусмотрен режим самокалибровки, обеспечивающий проверку точности измерения датчика по контрольным точкам, информация о которых хранится на карте памяти.

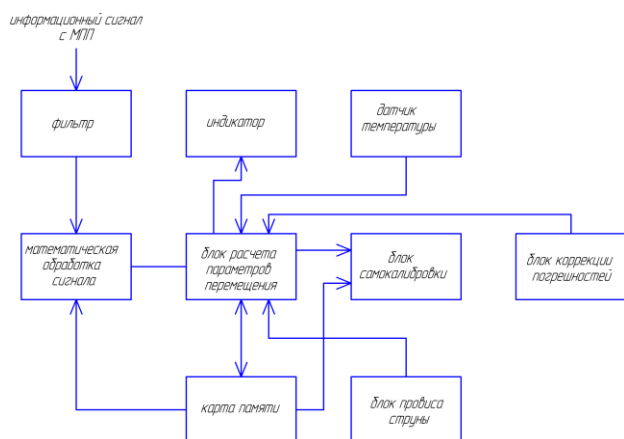


Рис. 6. Структурная схема архитектуры микроконтроллера интеллектуального магнитострикционного датчика линейных перемещений

В вышеописанной схеме предусмотрена функция самокалибровки, которая обеспечивает корректировку расчетных значений и формул для расчета погрешностей, влияющих на точность расчета параметров перемещений. На рис. 7 представлена структурная схема блока самокалибровки.

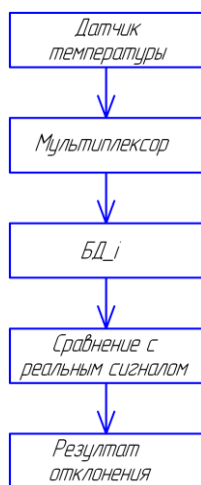


Рис. 7. Структурная схема блока самокалибровки

Для самокалибровки необходимо исследовать семейство характеристик при различных температурах в контрольных точках и информацию о них занести во внутреннюю память микропроцессора. Датчик температуры регистрирует показания с МПП и направляет данные в микропроцессор, где встроенный мультиплексор перебирает ранее записанные контрольные точки БД_i с определенным шагом (выбирается в зависимости от требуемых условий, например, диапазон измерений и разрешающая способность МПП) и сравнивает их с реальным сигналом. При прохождении подвижного элемента МПП (например, постоянного магнита) через контрольные точки, система автоматически осуществляет сравнение и вносит соответствующую корректировку.

4. Заключение

Применение интеллектуальной измерительной системы для магнитострикционных датчиков линейных перемещений позволяет увеличить точность измерения, уменьшить время обработки информационного сигнала с первичного магнитострикционного преобразователя за счет адаптивной системы обработки сигнала, в зависимости от требуемых параметров датчика.

Система самокалибровки обеспечивает стабильную работу датчиков при различных дестабилизирующих факторах.

Список используемых источников

1. Ясовеев В.Х., Уразаев А.Е. Интеллектуальные датчики и системы: учебное пособие / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 117 с.
2. Надеев А.И. Магнитострикционные интеллектуальные преобразователи параметров движения. Монография. / Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань, АГТУ, 1999. – 155с.
3. Ясовеев В.Х., Исхаков Р.Р. Принципы построения магнитострикционных датчиков перемещения // Датчики и системы. 2001. №3. с 53-60.
4. Ясовеев В.Х., Шмелев А.А. Магнитострикционные преобразователи перемещений // Материалы VIII международной – научно - технической конференции «Инновации и перспективы сервиса». Уфа, 2011. с 120-124.
5. Надеев А.И. Интеллектуальные магнитострикционные преобразователи параметров движения сверхбольшого диапазона. Астрахань, 2000. – 365 с.