

УДК 681.2.084 + 681.586

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО БАЛАНСИРОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В.А. Смирнов, Л.Н. Петрова

Приведены результаты работ по модернизации измерительной системы балансировочного станка дорезонансного типа, включающие в себя разработку модуля индуктивного датчика микроперемещений. Показаны особенности модуля, обеспечивающие определение частотных характеристик элементов аналогового тракта и выполнение цифровой обработки, обеспечивающей высокую точность преобразования.

Ключевые слова: индуктивный датчик микроперемещений, компенсация искажений аналогового сигнала.

Операция балансировки является неотъемлемой составляющей технологических процессов, направленных на изготовление деталей – роторов, то есть изделий, эксплуатация которых предполагает их вращение. В ходе балансировки осуществляется коррекция имеющейся в роторе неуравновешенности (статической, моментной или динамической) до величины, регламентируемой конструкторской документацией.

Определение неуравновешенности ротора производится с использованием специального измерительного оборудования. Для широкого класса роторов в качестве такого оборудования выступают дорезонансные (низкочастотные) балансировочные станки, главная особенность которых – невысокая скорость вращения ротора в процессе измерения – единицы и десятки оборотов в минуту. Невысокая скорость вращения ротора предопределила тип используемых в этом оборудовании датчиков: в дорезонансном оборудовании, особенно выпущенном в конце прошлого века, широко применялись индуктивные трансформаторные датчики микроперемещения.

На рис. 1 представлена схема одного из вариантов трансформаторного датчика с линейным перемещением якоря 2. Первичная обмотка датчика I расположена на центральном стержне сердечника 1 и должна быть подключена к источнику переменного напряжения U. Вторичные обмотки II₁ и II₂ расположены на крайних стержнях и соединяются последовательно и встречно. При симметричном положении якоря 2 по отношению к статору датчика (сердечник 1 с обмотками I, II₁ и II₂) ЭДС, индуцирующиеся во вторичных обмотках, также равны.

Так как фазы этих ЭДС противоположны (за счет встречного включения обмоток II₁ и II₂), то напряжение на выходе датчика будет равно

нулю. При смещении якоря, который механически связан с подвижной частью объекта, изменяются площади поперечного сечения воздушных зазоров и между якорем и крайними стержнями сердечника. В результате индуцирующие во вторичных обмотках ЭДС изменятся и на выходе датчика появится переменное напряжение, амплитуда которого равна разности амплитуд ЭДС, а фаза выходного напряжения будет определяться фазой большей из ЭДС.

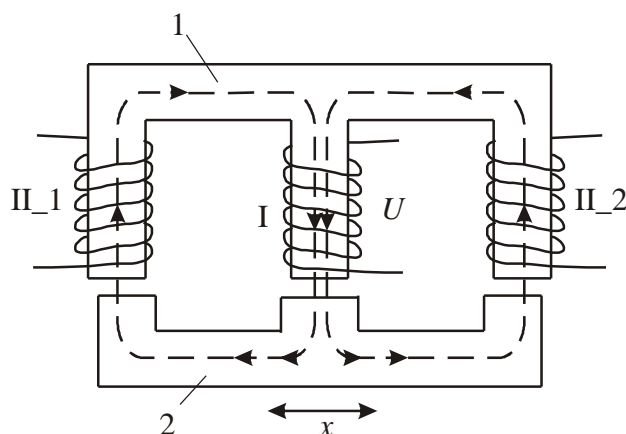


Рис. 1. Трансформаторный индуктивный датчик

Характеристика такого датчика будет реверсивной и линейной (в рабочей зоне). Точность преобразования у дифференциальных трансформаторных датчиков очень высока, так как ввиду симметричности конструкции и схемы датчика частично взаимно компенсируются погрешности от изменения окружающей температуры и частоты источника питания.

Применение трансформаторных датчиков предполагает показанное на рис. 2 построение аналогового тракта измерительной системы балансировочного станка.

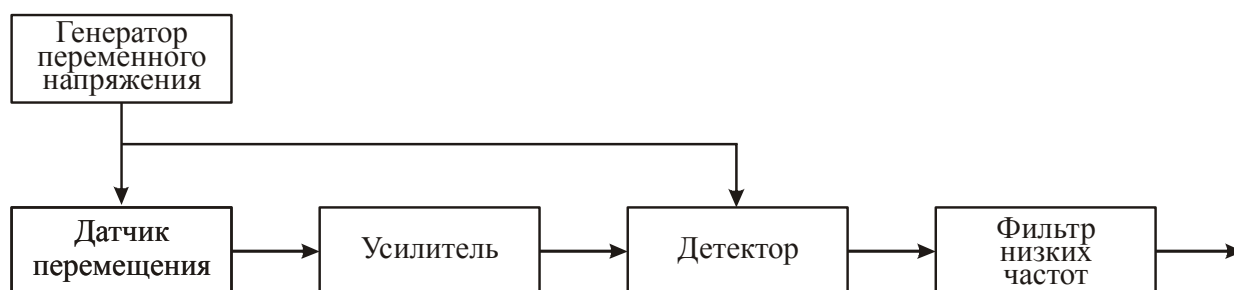


Рис. 2. Типовая структура аналогового тракта измерительной системы с трансформаторными датчиками

В аналоговом тракте должны присутствовать:

- генератор переменного напряжения, обеспечивающий питание обмотки I трансформаторного датчика;
- усилитель, обеспечивающий усиление переменного напряжения, формируемого датчиком;
- детектор, преобразующий усиленное переменное напряжение в пульсирующее (имеющее постоянную составляющую); для сохранения информации о начальной фазе регистрируемого датчиком колебания используют синхронное детектирование;
- фильтр низких частот (ФНЧ) – обеспечивает фильтрацию сигнала с целью уменьшения его высокочастотных составляющих, определяемых паразитными колебаниями элементов механической системы балансировочного станка.

Кроме того, в аналоговом тракте может присутствовать ФНЧ, предназначенный для борьбы с помехами, присутствующими в регистрируемом сигнале и определяемыми, например, собственными колебаниями механической системы станка.

Как показало обследование нескольких дорезонансных балансировочных станков, выпущенных в 90-е годы прошлого века, снижение качества их функционирования объясняется физическим старением элементной базы, использованной для создания аналогового тракта. При этом:

- механические системы станков практически не изношены;
- индуктивные трансформаторные датчики полностью сохранили свою функциональность.

Для восстановления работоспособности обследованного балансировочного оборудования было принято решение о замене их измерительных систем, включая аналоговые тракты. Современная элементная база позволила изменить структуру всей измерительной системы станка, реализовав в едином конструктивном исполнении с трансформаторным датчиком следующие функциональные модули (рис. 3):

- генератор переменного напряжения;
- усилитель переменного напряжения;
- синхронный детектор;
- фильтр нижних частот;
- усилитель с переменным коэффициентом усиления;
- аналого-цифровой преобразователь;
- модуль расчета параметров сигналов;
- модуль связи с промышленным компьютером.

Функциональные модули расчета параметров сигналов и связи с промышленным компьютером реализованы с использованием микроконтроллера STM32F303C6. Выбранная модель характеризуется высоким быстродействием, наличием 12-ти разрядного АЦП и 10-ти разрядного ЦАП.

Цифро-аналоговый преобразователь используется для формирования синусоидального напряжения, используемого для питания первичной обмотки датчика перемещения.

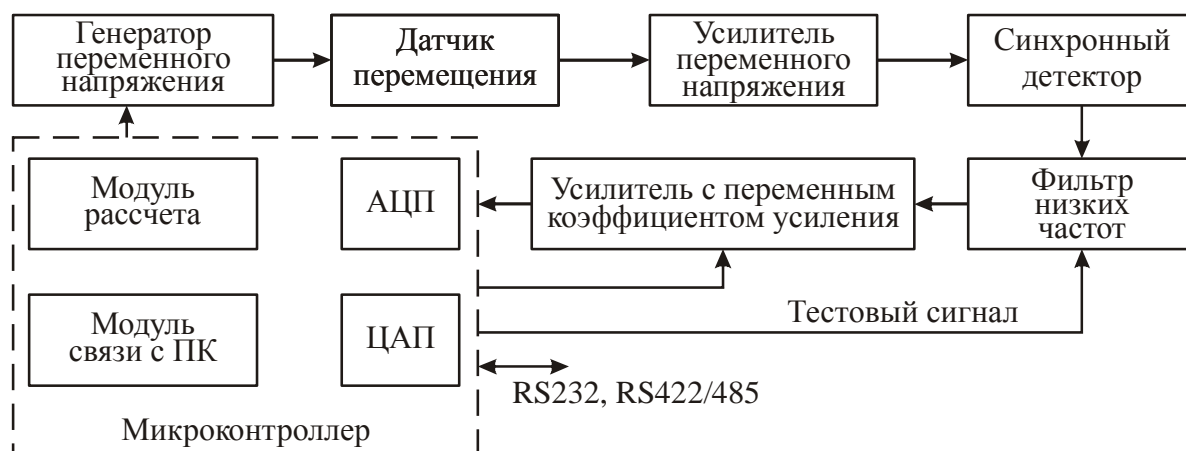


Рис. 3. Структура интеллектуального датчика

Включение в состав аналогового тракта фильтра нижних частот приводит к следующим негативным моментам:

- изменению амплитуды полезной составляющей сигнала (предполагается, что полезная составляющая, характеризующая неуравновешенность ротора, является гармоникой с частотой, равной частоте вращения ротора при его балансировке);

- изменению начальной фазы полезной составляющей сигнала.

Изменение амплитуды может быть в какой-то мере скомпенсировано при настройке станка, при условии, что частота вращения ротора при балансировке постоянна. Компенсация изменения начальной фазы является существенно более сложной задачей, особенно в случае непостоянства частоты вращения ротора при балансировке [1, 2].

Практически полная компенсация изменений сигнала, осуществляемых фильтром, возможна, если известны его частотные характеристики – АЧХ и ФЧХ. Наличие в составе микроконтроллера цифро-аналогового преобразователя позволило обеспечить определение этих характеристик в «реальном времени», средствами интеллектуального датчика без использования дополнительного оборудования. Процедура определения АЧХ и ФЧХ включает в себя:

- формирование на входе фильтра тестовых гармонических сигналов с известными параметрами (частота, амплитуда, начальная фаза);

- преобразование сигналов, прошедших фильтр, в цифровую форму и определение амплитуд и начальных фаз этих сигналов;

- расчет зависимостей, аппроксимирующих АЧХ и ФЧХ фильтра в требуемом диапазоне частот.

Наличие в составе интеллектуального датчика усилителя с переменным коэффициентом усиления позволило обеспечить широкий диапазон регистрируемых перемещений, включая микроперемещения на уровне долей микрометра. Определение коэффициента усиления осуществляется микроконтроллером из анализа сигнала, поступающего на АЦП. Подбор коэффициента осуществляется от большего к меньшему, критерий подбора – отсутствие «зашкаливания» АЦП по верхней и нижней границам.

Мощные вычислительные возможности используемого микроконтроллера позволили реализовать на его основе вычисление параметров полезной составляющей сигнала, поступающего на АЦП в процессе балансировки ротора, с последующей передачей этой информации в промышленный компьютер по последовательному протоколу. Тем самым существенно снижены требования к быстродействию канала передачи информации от датчика к ПК и программно-алгоритмическому обеспечению ПК.

На рис. 4 показан пример сигналов, присутствующих в аналоговом тракте интеллектуального датчика: сигнал после синхронного детектора и не подвергнутый фильтрации и дополнительному усилению, и сигнал, полностью прошедший аналоговый тракт. Оба сигнала характеризуют один оборот балансируемого ротора.

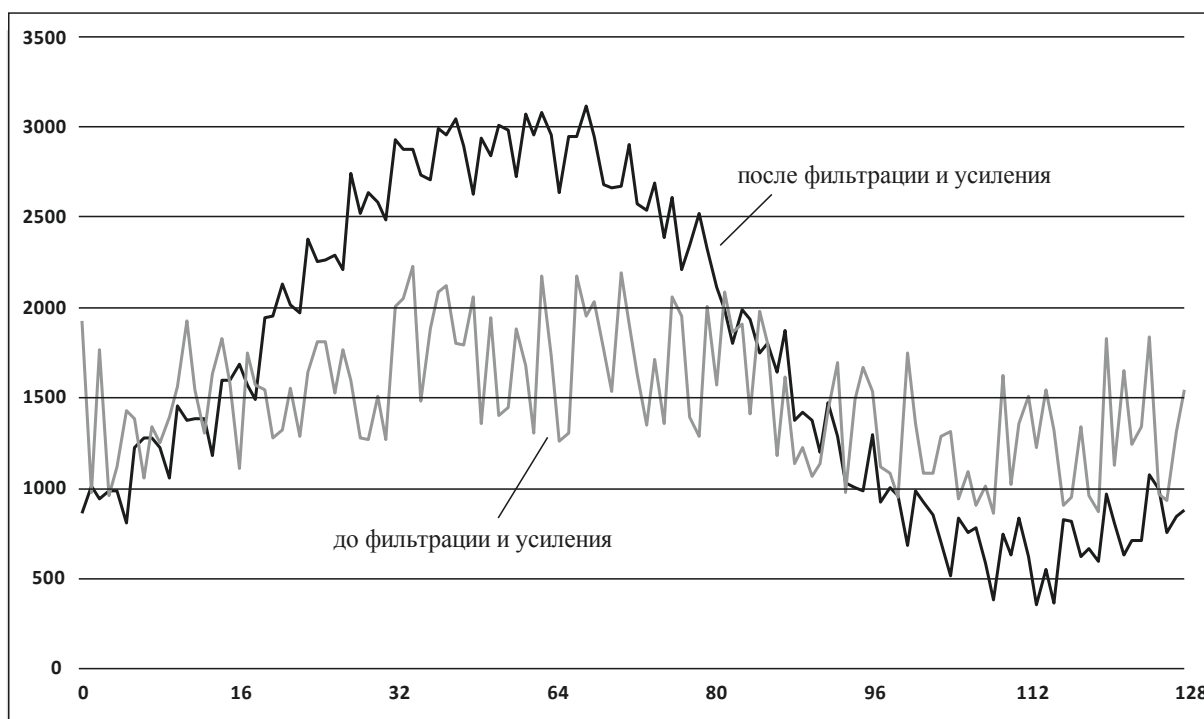


Рис. 4. Сигналы в аналоговом тракте интеллектуального датчика

Как видно, прошедший аналоговый тракт сигнал:

- имеет существенно большее соотношение сигнал/помеха в сравнении с сигналом, не подвергшимся фильтрации;
- занимает практически весь диапазон 12-ти разрядной сетки АЦП, что свидетельствует о качественном выборе коэффициента усиления.

Формирование тестовых аналоговых сигналов показало, что погрешность компенсации негативных факторов, связанных с использованием аналогового фильтра, составила для амплитуд – менее 0,3 %, для фаз – менее 1 градуса.

Заключение. Современная элементная база позволила создать модуль датчика микроперемещений, включающий в себя как собственно первичный преобразователь индуктивного типа, так и электронные компоненты, обеспечивающие:

- питание первичного преобразователя;
- усиление и фильтрацию аналогового сигнала;
- определение частотных характеристик элементов, обеспечивающих фильтрацию аналогового сигнала;
- цифровую обработку сигнала с последующей передачей результатов в промышленный компьютер.

В результате была выполнена глубокая модернизация балансировочного оборудования, оснащенного индуктивными датчиками микроперемещений, обеспечившая необходимую точность определения параметров неуравновешенности.

Библиографический список

1. Бондаренко, Г.Д. Совершенствование измерительных систем балансировочных станков при балансировке на выбеге / Г.Д. Бондаренко, В.А. Смирнов, В.Б. Федоров // Автоматизация расчета и контроля параметров изделий в машиностроении: Сб. Научных трудов. – Челябинск: ЧГТУ, 1994. – С. 56–62.
2. Самсаев, Ю.А. Балансировка неравномерно вращающихся роторов на станках различных классов: Балансировка роторов на дорезонансных балансировочных станках / Ю.А. Самсаев // Автоматизация и современные технологии. – 1998. – № 1. – С. 2–7.

[К содержанию](#)