

ДИАГНОСТИКА ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕТОДОМ ВИДЕОФИКСАЦИИ

С.М. Бородин, Р.И. Замалетдинов,

М.К. Самохвалов (Ульяновский государственный технический университет)

Совершенствование бесконтактных методов измерения амплитуды вибрации малых объектов (с линейными размерами до нескольких миллиметров и менее) на достаточно высоких частотах в настоящее время является важной задачей, так как вибрационный контроль необходим в самых разных областях науки и техники. Рассматривается метод видеофиксации виброперемещений с использованием стробоскопического эффекта и цифровой обработки изображений. Разработаны алгоритм программы видеофиксации виброперемещений и соответствующее ПО. Предложенный метод независим от характеристик видеоаппаратуры. Проведены экспериментальные испытания разработанного метода. Анализ полученных снимков позволяет определить величину смещения исследуемого объекта.

Ключевые слова: диагностика, виброперемещение, видеофиксация, стробоскопический эффект, измерение амплитуды вибрации.

Введение

Существенным фактором, влияющим на надежность современных электронных средств, является устойчивость к механическим воздействиям. Этот фактор становится еще более влиятельным в случае установки изделия на объекте с повышенным уровнем вибрации. Поскольку в конструкциях электронных средств используются корпусированные электрорадиоэлементы с наличием внутренних соединительных проводников, закрепленных в двух точках, например, на кристалле и на выводе, увеличивается вероятность их резонанса. Как следствие, возможен внутренний обрыв и отказ изделия. Нельзя также не учитывать появление виброшумов при работе изделия в реальных условиях эксплуатации, что может привести к некорректному его функционированию. Одновременно ужесточаются требования к виброзащищенности электронных средств, так ГОСТ РВ 20.57.305-98 определяет максимальную частоту внешних вибраций 2000 Гц. В связи с этим является актуальной задача разработки и совершенствования бесконтактных методов измерения амплитуды вибрации малых объектов (с линейными размерами до нескольких миллиметров и менее) на достаточно высоких частотах (до 10 кГц) [1], так как вибрационный контроль необходим в самых разных областях науки и техники: в полупроводниковой электронике (контроль вибрации установок для выращивания кристаллов), в микроэлектронике (вибрация установок фотолитографии), в машиностроении (вибрация станков и биение деталей), в автомобильной промышленности и т. д.

Измерение амплитуды вибрации объектов

Для измерения амплитуды вибрации объектов применяются следующие группы методов [2]:

- пьезоэлектрические (преимущества: высокая точность в диапазоне низких частот и относительно больших амплитуд вибрации; недостатки: невозможность измерения вибраций высокой частоты и малой амплитуды вследствие инерционности датчика);
- индукционные (преимущества: нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с со-

стоянием контактов, отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания, высокая частота переключений — до 3000 Гц, устойчивость к механическим воздействиям; недостатки: сравнительно малая чувствительность, зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину):

- ультразвуковые (преимущества: бесконтактность, дешевизна и компактность аппаратуры, малое время измерения, высокая точность измерения низкочастотных вибраций, отсутствие ограничения снизу на частотный диапазон; недостатки: сильное затухание ультразвука в воздухе, зависимость от состояния атмосферы, уменьшение точности измерения с ростом частоты вибрации);

- емкостные (преимущества: высокая чувствительность и малая инерционность, простота реализации; недостатки: относительная сложность измерительных устройств, подверженность влиянию внешних электрических полей);

- оптические — интерференционные и фотомодуляционные (преимущества: бесконтактность, неподверженность влиянию внешних электрических полей, недостатки: сложность, громоздкость и высокая стоимость оборудования, высокие требования к качеству поверхности исследуемого объекта, вредное влияние лазера на зрение обслуживающего персонала и требование дополнительных мер предосторожности и защиты, высокие требования к состоянию атмосферы [3, 4]). Наибольшей точностью обладают интерференционные методы (доплеровские, голографические), но они требуют более сложного и громоздкого оборудования, процесс измерения является достаточно трудоемким и длительным.

Более простым и экспрессным является метод регистрации виброперемещений, основанный на скоростной видео- или фотосъемке объекта и использовании стробоскопического эффекта при визуальной регистрации [5]. Достоинством этого метода является также его бесконтактность: к объекту не требуется подключать датчики, которые изменяют его массу и, как следствие, резонансную частоту. Однако основы данного метода были разработаны в середине XX века и не обеспечи-



Рис. 1. Оптический метод измерения амплитуды вибрации испытуемого объекта

вали достаточно высокую точность измерений, так как реализовывались с помощью кинокамер и фотоаппаратов [5]. Применение современных компьютерных технологий позволяет существенно ускорить обработку результатов и повысить точность измерений [1].

Метод видеофиксации виброперемещений

Одним из наиболее перспективных методов оценки амплитуды вибрации является применение видеофиксации с цифровой обработкой для последующего сравнения полученных изображений в процессе перемещения (рис. 1). Связь между компьютером и вибростендом позволяет более четко реализовать стробо-

скопический метод измерения и снижает требования к быстродействию камеры. В основу принципа положена синхронизация момента съемки с временным сдвигом и положением платформы вибростенда.

Время задержки между последовательными снимками $\tau_{(n, n+1)}$ определяется следующим выражением:

$$\tau_{(n, n+1)} = T/N + T * a, \tag{1}$$

где N — число снимков, T — период вибрации, a — произвольное целое число, определяемое быстродействием камеры [3].

Способ измерения амплитуды вибрации на основе сравнения изображений предъявляет достаточно высокие требования к видеокамере. К таким параметрам относятся: высокая разрешающая способность, наличие возможности оптического увеличения изображения, светочувствительность. Также, чтобы измерения были точными, необходимо учитывать параметры видеокамеры: кратность зума, время выхода объектива из нулевого положения до максимального, а также функцию изменения оптического усиления (линейная, логарифмическая или обратная логарифмическая). Реальная кратность увеличения (K) будет определяться как функция:

$$K = K_{max} / t_{max} * t_{ynp} * f_{изм}, \tag{2}$$

где K_{max} — максимальная кратность увеличения; t_{ynp} — время подачи сигнала на выход объектива; t_{max} — время выхода объектива на максимальное усиление, $f_{изм}$ — функция изменения оптического усиления.

Поскольку параметры у разных камер могут отличаться, это может создать определенные проблемы при использовании камер различных типов. Предлагаемый способ позволяет избавиться от проблемы учета особенностей видеоаппаратуры. Новое решение в реализации метода видеофиксации заключается в отслеживании объекта с помощью специальной рамки, предусмотренной в разработанном ПО. Использование такой рамки позволяет не учитывать параметры конкретной видеокамеры, так как любое изменение ее размеров отражается на градуированной шкале, введенной в ПО. По этой шкале проводится анализ полученных снимков.

Реализация метода видеофиксации виброперемещений

На рис. 2 представлен алгоритм метода видеофиксации виброперемещений. Для разработки ПО использовалась интегрированная среда Microsoft Visual Studio и язык С#. На главном окне интерфейса про-

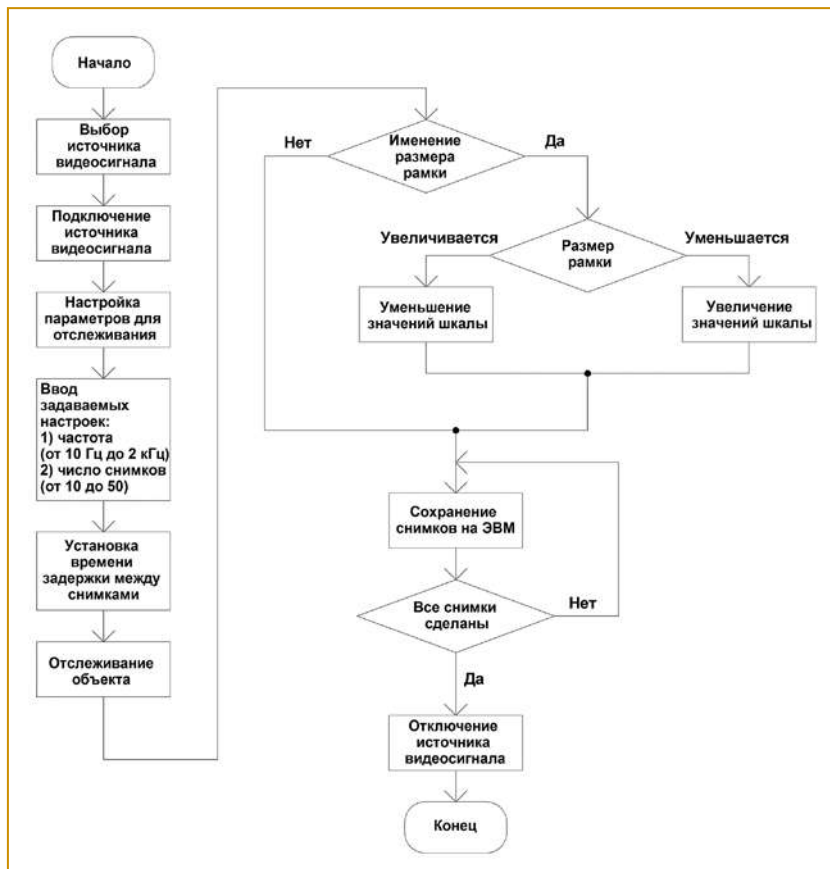
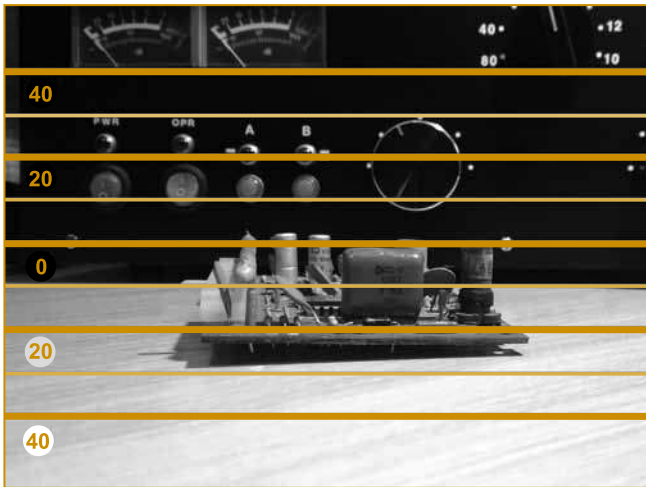


Рис. 2. Алгоритм программы видеофиксации виброперемещений



а)



б)



в)

Рис. 3. Фотография объекта исследования
а) без оптического усиления, б) при двукратном
в) при четырехкратном оптическом усилении

граммы представлены следующие основные функциональные элементы:

1) подключение/отключение источника видеосигнала;

- 2) выпадающий список доступных источников видеосигнала;
- 3) окно просмотра с градуированной шкалой;
- 4) окно слежения за объектом (окно предпросмотра);
- 5) поле настройки параметров для отслеживания объекта;
- 6) поле настройки параметров для реализации стробоскопического метода съемки.

Работа программы начинается с выбора источника видеосигнала и настройки специальных параметров для отслеживания объекта и реализации стробоскопического метода съемки объекта.

Для обработки изображения используется программная платформа Aforge.NET, которая содержит набор библиотек, каждая из которых предназначена для решения ряда задач обработки изображений.

В разработанной программе используется библиотека AForge.Imaging, содержащая специальные фильтры и инструменты, с помощью которых обрабатывается изображение от видеокамеры.

1) BlobCounter — инструмент, позволяющий выделить все объекты, отличные от черного цвета.

2) EuclideanColorFiltering — фильтр, который работает с цветовой моделью RGB (аддитивная цветовая модель, описывающая способ кодирования цвета для цветопроизведения).

3) HSLFiltering — фильтр, который работает с цветовой моделью HSL, в которой цветовыми координатами являются тон, насыщенность и яркость.

С помощью ПО EuclideanColorFiltering и HSLFiltering в окне предпросмотра выделяется определенный цвет объекта, где далее класс BlobCounter библиотеки Aforge.NET обводит объект видеофиксации в специальную рамку, изменение размеров которой отслеживается программой. Если размер рамки изменяется, то соответственно пересчитывается градуированная шкала в окне просмотра на экране монитора.

Программа рассчитывает время между снимками, которое необходимо для реализации стробоскопического метода съемки. Расчет проводится с учетом выбранных параметров: частота (от 10 Гц до 2 кГц) и число снимков (10...50 ед.). Выполняется заданное число снимков, которые сохраняются в памяти ПК. Анализ полученных снимков позволяет определить величину смещения исследуемого объекта.

Для практической реализации предложенного метода был использован фотоаппарат Olympus FE-200 со следующими техническими параметрами: матрица 6,4 МП (1/2,5"); оптический зум 5x; экран 2,5".

Для подключения источника видеосигнала к ПК используется устройство видеозахвата EasyCAP USB 2.0. Захват видео (Video capture) — процесс преобразования видеосигнала из внешнего источника в цифровой видеопоток и запись его в видеофайл с целью последующей обработки, хранения или воспроизведения. EasyCAP USB 2.0 — это устройство, позволя-

ющее захватывать видео- и аудиосигнал напрямую через USB-порт, без применения каких-либо дополнительных технических средств. Устройство оснащено выведенными разъемами для подключения RCA-кабелей и разъемом для подключения S-Video.

Для оценки эффективности применения программы были выполнены снимки с разным оптическим усилением. Объект исследования — конденсатор К73-17, установленный на печатной плате (рис. 3).

Когда размер объекта исследования увеличивается в кадре с помощью оптического усиления, градуированная шкала изменяется в соответствующей пропорции. Очевидно, что четырехкратное оптическое усиление позволило увеличить размер изображения отслеживаемого объекта в кадре в четыре раза.

Таким образом, применение оптического усиления позволяет увеличивать число пикселей на 1 мм объекта, что позволяет повышать точность измерения виброперемещений. Соответственно n-кратное оптическое усиление позволило в n-раз уменьшить погрешность измерения.

Максимальная реализуемая чувствительность (или минимальная погрешность) измерений для данного метода определяется разрешающей способностью фотоматриц и для современных цифровых фотоаппаратов составляет 30...100 мкм [2].

Заключение

Разработан метод измерения виброперемещений с использованием видеофиксации, стробоскопиче-

ского эффекта и цифровой обработки изображений с последующим сравнением полученных изображений в процессе перемещения. Разработаны алгоритм программы видеофиксации виброперемещений и ПО для реализации данного метода, что позволяет избавиться от проблемы учета особенностей видеоаппаратуры.

Способ измерения амплитуды вибрации на основе сравнения изображений позволяет устранить дополнительные механические воздействия и обеспечивает проведение измерений в условиях практически идентичных предполагаемым условиям эксплуатации.

Список литературы

1. *Бородин С.М.* Общие подходы к измерению виброперемещений на основе сравнения изображений / Радиоэлектронная техника: межвузовский сборник научных трудов / Под ред. В.А. Сергеева. Ульяновск: УлГТУ, 2013. 240 с.
2. *Петрухин В.В., Петрухин С.В.* Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации. М.: Инфра-Инженерия. 2010. 176 с.
3. *Дворкович В.П., Дворкович А.В.* Метрологическое обеспечение видеоинформационных систем. М.: Техносфера. 2015. 784 с.
4. *Самохвалов М.К.* Элементы и устройства оптоэлектроники / М.К. Самохвалов, 2-е изд. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 223 с.
5. Вибрации в технике. Справочник в 6 т. Т.5. Измерения и испытания / Под ред. М.Д. Генкина. М.: Машиностроение. 1981. 496 с.

*Замалетдинов Ришат Ирекевич — аспирант,
Бородин Сергей Михайлович — канд. техн. наук, доцент,
Самохвалов Михаил Константинович — д-р физ.-мат. наук, профессор
кафедры «Проектирование и технология электронных средств» УлГТУ.
Контактный телефон (8422)-778-101.
E-mail: rishattz@mail.ru sborodin@gmail.com sam@ulstu.ru*

Первый серийно выпускаемый отечественный защищенный планшет

С каждым годом планшеты набирают популярность в различных промышленных секторах. Идя в ногу со временем, российский производитель электроники для ответственных применений Fastwel запустил в серийное производство защищенный планшетный компьютер ОНИКС08 собственной разработки.

Защищенный планшет ОНИКС08 разработан для использования в качестве персонального компьютера с сенсорным управлением на транспорте и в АСУТП.

Устройство может применяться в качестве:

- сенсорного терминала для контроля и управления оборудованием по сетям CAN и Ethernet;
- коммуникатора (две SIM-карты, поддержка технологий ГЛОНАСС, Wi-Fi);
- персонального носимого компьютера специалиста АСУТП.

ОНИКС08 полностью — от уровня схемотехники и исходных кодов системного программного обеспечения разработан российскими инженерами, что гарантирует отсутствие аппаратных и программных "закладок" и недокументированных функций. Планшет успешно прошел приемочные испытания в соответствии с техническими условиями и подтвердил способность безотказно работать при температурах от -30 °С, ударах до 100g, а также устойчивость к воздействию пыли и влаги.

Поддержка открытых ОС Android и Linux Ubuntu, а также российских ОС AstraLinux и КПДА позволяет разработчикам ПО быстро перенести существующие программы на планшет и применить изделие на практике. Эти ОС дают возможность компаниям-интеграторам, использующим планшеты в ка-

честве аппаратной платформы, создавать специализированные решения для удовлетворения самых сложных и нетривиальных технических требований клиента. Благодаря открытости ОС Android и Linux можно собрать собственный дистрибутив, отключить ненужные или запрещенные функции/сервисы.

Российское происхождение и производство гарантируют длительный срок доступности изделия — не менее 10 лет, важный для ответственных проектов с длительным периодом эксплуатации оборудования.

Планшет выполнен на мощном четырехъядерном процессоре Freescale iMX6 с частотой 1 ГГц и имеет оперативную память 4 Гб. Этого достаточно, например, для быстрой загрузки различных карт и работы с ними. Операционная система и прикладное ПО записываются на напаянный твердотельный диск объемом до 32 Гб, а дополнительные данные, в том числе карты местности, могут располагаться на съемном носителе microSD.

В конструкции ОНИКС08 применены решения, оптимальные для продукта массового производства, в частности, литой корпус из магниевого сплава, благодаря чему стоимости изделия находится на уровне наиболее распространенных зарубежных аналогов.

Для работы в кабине транспортного средства ОНИКС08 дополнительно укомплектовывается док-станцией с встроенными блоком питания от бортовой сети, выходами антенн беспроводных сетей и интерфейсами для контроля и управления бортовым оборудованием — GbEthernet, USB 2.0, RS-232 и CAN 2.0.

Устройство работает с сетями LTE и GSM 900/1800, имеет встроенные модули Wi-Fi, Bluetooth и навигационный приемник GLONASS/GPS. Время автономной работы устройства на одной зарядке составляет не менее 8 ч, а в режиме ожидания — до 150 ч.

[Http://platforms.prosoft.ru](http://platforms.prosoft.ru)