

Мониторинг состояния конструкций (Structural Health Monitoring - SHM) представляет собой встраиваемую технологию неразрушающего контроля (Non Destructive Testing - NDT), которая требует технического слияния различных инженерных дисциплин, таких как: обработка сигналов, электроника, акустика и механика. Одной из наиболее часто используемых технологий обнаружения является передача и прием ультразвуковых волн с помощью пьезоэлектрических преобразователей, закрепленных на конструкции. Распространение волны анализируются для оценки наличия дефектов внутри структуры. Этот метод ультразвуковой диагностики особенно подходит для наблюдения больших структур, систематические проверки которых являются обязательными, но дорогостоящими, таких как: самолеты, космические аппараты, лодки, мосты, кабели, трубы и т.д. ...

Cedrat Technologies (СТЕС) имеет обширный опыт в области пьезоэлектрических преобразователей и связанной с ними электроники (усилители, преобразователи сигналов, контроллеры), которая служила в качестве основы для разработки специализированной электроники для мониторинга состояния конструкций. Предлагаемые решения состоят из усилителей и преобразователей датчиков, в диапазоне решений от аналоговых блоков до полностью программируемых решений с графическим интерфейсом пользователя (Graphical User Interface - GUI).

> Требования к оборудованию для мониторинга состояния конструкций

Мониторинг состояния конструкций является быстро развивающимся направлением деятельности с большим количеством различных областей применения, каждое из которых требует применения специального оборудования в зависимости от различных параметров, таких как:

- Материал, на который прикреплены пьезо пакеты.
- Размер конструкции и требуемая дистанция распространения.
- Тип дефекта, который должен быть обнаружен.
- Стратегия обнаружения (например, технология фазированных активных решеток).
- Уровень интеграции решения: от лабораторного доказательства концепции до полной встроенной системы обнаружения.

На основе этих вводных данных, компания (CEDRAT TECHNOLOGIES – СТЕС) может проанализировать потребности заказчиков для того, чтобы обеспечить полное аппаратное решение, с различными уровнями модификации. Некоторые из аппаратных характеристик, которые могут быть настроены для соответствия задаче:

- Тип пьезо-пакетов (емкость и рабочее напряжение).
- Количество пьезо-пакетов и каналов передачи / приема.
- Характеристики усилителя (коэффициент усиления, полоса пропускания, отношение сигнал-шум, вариант с переменным коэффициентом усиления, и т.д.)
- Характеристики преобразователя сигнала датчика (ширина полосы, соотношение сигнал-шум и т.д.)



Рис. 1: 8 канальная лабораторная стойка полнофункциональных каналов SHM (источник питания постоянного тока, излучение, прием)

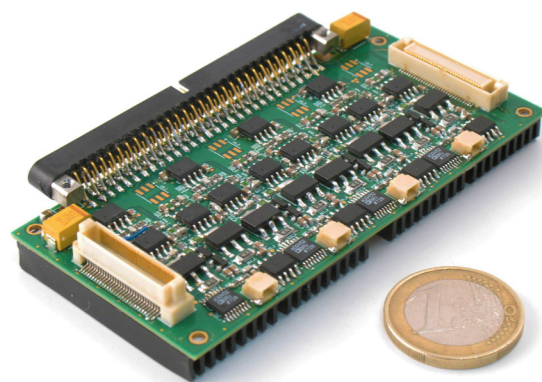


Рис. 2: 4-канальная полнофункциональная (импульс-эхо) встраиваемая платформа для мониторинга состояния конструкции

> Принцип работы и технологии

С аппаратной точки зрения, структура полнофункционального канала мониторинга состояния конструкции, подходящая для пьезо-пакетов описана на рисунке 3. Обычно такой канал состоит из трех аналоговых функций:

- Усилитель мощности, приводящий пьезо-пакеты в действие, для излучения акустических волн в исследуемой конструкции.
- Преобразователь сигналов датчика, обладающий возможностью прочесть входные акустические колебания, приходящие на пьезоэлектрические пакеты.
- Функция переключения для обеспечения возможности переключения пьезоэлектрического пакета между режимами передачи и приема.

Усилители мощности обеспечивают широкую полосу пропускания, по меньшей мере 25 кГц, для того чтобы достигнуть ультразвукового диапазона и обладают высоким отношением сигнал-шум (более 70 дБ). Они специально предназначены для работы с емкостными нагрузками, так как пьезоэлектрические элементы демонстрирует емкостное поведение. Кроме того, усилители обеспечивают различные выходные напряжения в зависимости от типа используемой пьезокерамики.

Преобразователи сигнала обеспечивают широкую полосу пропускания для того, чтобы соответствовать пропускной способности усилителя и очень высокое отношение сигнал-шум, чтобы иметь возможность получить слабые акустические волны. При необходимости преобразователи сигнала могут обеспечивать регулируемый коэффициент усиления, что особенно интересно для лабораторных настроек.

Функция переключения позволяет реализовывать технологию импульс-эхо и позволяет переключать пакет между двумя режимами (излучение или прием). Это позволяет излучать сигнал с помощью пьезо пакета и получать отраженный сигнал на том же пакете, сохраняя минимальное количество пакетов, кабелей и соединителей плат. Таким образом получается экономически эффективное решение, которое уменьшает сложность системы. Время коммутации должно быть очень коротким (менее 1 мкс) для того чтобы воспользоваться преимуществом этой функции и уловить отраженный сигнал. Примеры переданного, отраженного и переданного в электрическую цепь сигналов показаны на рисунке 4:

В дополнение к предыдущим функциям, для передачи команд, а также для записи принятых сигналов для анализа, необходимы некоторые функции генерации и оцифровки. Это может быть сделано с помощью обычных генераторов и осциллографов или с помощью платформ сбора данных. Тем не менее, в приложениях мониторинга состояния здоровья часто требуется специальное оборудование, так как необходимо несколько каналов, а также очень высокие скорости обновления. Для того, чтобы сократить время сбора данных и уменьшить сложность настройки, рекомендуется использовать специализированные платформы генерации и сбора данных. Эти платформы обеспечивают:

- Несколько синхронизированных входных или выходных каналов с частотой обновления до 10 миллионов выборок в

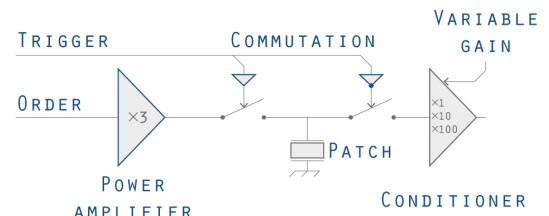


Рис. 3: Структура канала мониторинга состояния конструкции

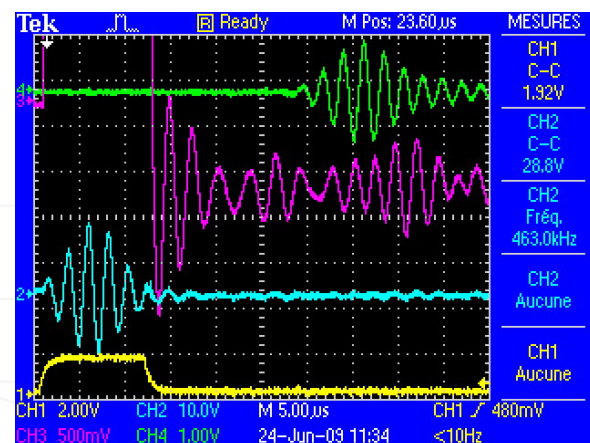


Рис. 4: [CH1] Команда импульс-эхо (желтый), [CH2] излучаемый сигнал (синий), [CH3] отраженный сигнал, т.е. эхо (фиолетовый), [CH 4] передаваемый в электрическую цепь сигнал (зеленый)

секунду (Mega Samples per Second - MSps).

- Высокое разрешение, чтобы соответствовать высоким требованиям отношения сигнал-шум для задач мониторинга состояния конструкций.
- Каналы генератора произвольных сигналов, позволяющие пользователю генерировать любую желаемую форму сигнала, соответствующую области применения.
- Интерфейс с компьютерами и специализированные графические интерфейсы для загрузки сигналов, которые должны быть сгенерированы и восстановление записанных данных.

> Примеры решений CEDRAT TECHNOLOGIES

В зависимости от требований заказчика, CEDRAT TECHNOLOGIES может разработать необходимое решение, начиная от аналоговой лабораторной стойки до полностью программируемого решения с графическим интерфейсом пользователя. Примеры различных электронных конструкций представлены на рисунках 5 – 7 для демонстрации широкого спектра возможностей, предлагаемых CEDRAT TECHNOLOGIES. Заказчику может быть поставлено полное решение, обеспечивающее излучение и прием или частичное решение, если пользователь решает остальную часть системы обнаружения делать самостоятельно.

> Ключевые слова

мониторинг состояния конструкций, неразрушающий контроль, пьезо-электрические пакеты, высокочастотный усилитель мощности, преобразователь сигнала датчика с низким уровнем шума, генератор сигналов произвольной формы.



Рис. 5: 36-канальный блок передачи с выходным напряжением ± 15 В в диапазоне 100-1000 кГц



Рис. 6: 18-канальный блок передачи с выходным напряжением ± 200 В для приложений в диапазоне 25-40 кГц



Рис. 7: 12-канальный генератор произвольной формы сигнала с частотой дискретизации 10 MSps, разрешением 14 бит и специализированным графическим интерфейсом для конфигурации.