

Как выбрать акустико-эмиссионную систему?

Данная заметка предназначена тем покупателям акустико-эмиссионных (АЭ) систем, которые желают получить дополнительную информацию при подготовке решения, непредвзято оценить готовящееся решение или еще раз утвердиться в правильности собственного выбора. Мы постараемся затронуть те аспекты выбора, которые могут быть неочевидны для людей, только входящих в мир акустико-эмиссионной диагностики.

Требования, предъявляемые к акустико-эмиссионной аппаратуре, представляют трудную задачу для инженеров-разработчиков. Требуется обеспечить высокую точность, высокий динамический диапазон, широкую полосу пропускания сигнала, высокую скорость обработки сигналов. Поэтому в разработках используют, как правило, новейшие достижения электронной промышленности: малозумящие АЦП, сигнальные процессоры и т.д. Этим отчасти объясняется высокая цена на качественные образцы АЭ аппаратуры.

Производители указывают в спецификациях много цифр, в которых непросто разобраться. На что надо обратить внимание?

Разрядность АЦП

Все современные производители АЭ оборудования используют цифровые способы обработки входного сигнала. Это значит, что сначала аналоговый входной сигнал переводится в цифровое представление с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП), затем полученный бинарный код обрабатывается цифровыми методами. Отсюда ясно, что характеристики АЦП играют ключевую роль в обработке сигнала и на его параметры надо обратить самое пристальное внимание. Производители оборудования, как правило, указывают разрядность АЦП и частоту дискретизации. Разрядность характеризует точность преобразования сигнала. 16 – разрядный АЦП разделяет диапазон входного сигнала на 65535 уровней, 12-разрядный на 4095, а, к примеру, 8-разрядный всего на 255 уровней. Динамический диапазон 16-разрядного АЦП, составляет 96дБ, 12-разрядного – 72дБ, 8-разрядного – 48дБ. АЦП с высокой разрядностью обеспечивают лучшую точность преобразования и больший динамический диапазон.

Частота дискретизации АЦП

Частота дискретизации определяет скорость работы АЦП, или, другими словами, число преобразований в единицу времени. К примеру, частота дискретизации 1 МГц соответствует 1 миллиону преобразований в секунду. Чем выше частота, тем более подробно оцифровывается входной сигнал, тем выше точность последующих вычислений энергии, длительности и других параметров сигнала.

Нетрудно догадаться, что ширина полосы в частотном диапазоне входного сигнала должна быть связана с частотой дискретизации. Для того, чтобы обеспечить хорошую точность обработки сигнала частота дискретизации должна быть в 5 раз выше частоты сигнала. К примеру, если полоса рабочих частот составляет 500кГц, АЦП должен иметь частоту дискретизации 2.5МГц или выше. Чем шире полоса, тем точнее передается быстроменяющийся сигнал, однако суммарный шум при этом увеличивается, что снижает динамический диапазон.

Цифровой аттенюатор.

В те далекие уже времена, когда не было достаточно быстрых АЦП с высокой разрядностью, часто использовали усилители с переключаемым коэффициентом усиления, чтобы отчасти компенсировать небольшой динамический диапазон. В тех случаях, когда ожидалось импульсы малой амплитуды, можно было увеличить усиление и добиться более высокой чувствительности системы. Сейчас такой подход все чаще заменяют цифровым аттенюатором, который также позволяет создать дополнительное усиление. Но благодаря возможности перестройки усиления с малым шагом, его можно использовать как эквалайзер для выравнивания коэффициентов акустико-электрического преобразования. Исходно эти коэффициенты отличаются из-за неодинаковости датчиков, а также неидеального акустического контакта при закреплении датчика на объекте. Эквалайзер компенсирует эти отклонения и позволяет сделать характеристику «усиление-номер канала» ровной, что повышает точность определения координат дефектов.

Регистрация формы импульса.

Современная аппаратура позволяет измерять как интегральные параметры импульсов (энергия,

длительность и т.д.), так и регистрировать форму импульса. Регистрация формы импульса позволяет дополнительно применять продвинутые способы фильтрации импульса, изучать его структуру, частотный спектр и т.д. Эта опция незаменима при научных исследованиях и полезна при промышленном контроле. Качественная аппаратура обеспечивает регистрацию формы импульса одновременно по всем каналам с максимальной частотой дискретизации. Регистрация формы импульса позволяет определить частотные составляющие сигнала, что дает возможность отстроиться от частотных помех и поэтому является обязательным требованием к современному АЭ-прибору.

Скорость сбора передачи данных.

Другой интересующий многих пользователей параметр – скорость сбора данных. После обработки импульса аппаратура должна передать в компьютер данные об импульсе и отсчеты АЦП. К примеру, в системе «РАНИС» для передачи данных об импульсе длительностью 1мс требуется 24 байта, а для передачи отчетов АЦП - более 6 тысяч байтов (при частоте АЦП 3МГц). Очевидно, что при большом числе входящих импульсов интерфейс передачи данных может испытывать «трудности». Поэтому при выборе аппаратуры желательно выяснить практическую пропускную способность интерфейса.

Измеряемые параметры

Измеряемые параметры импульсов примерно одинаковые у всех систем: длительность импульса, максимальная амплитуда, время нарастания, энергия, параметр MARSE, число выбросов. Диапазон измерений этих параметров может отличаться у разных производителей, но в целом тут нет серьезных различий. Некоторые устаревшие системы не могут измерять энергию импульса (квадратичная зависимость от амплитуды), предлагая взамен только параметр MARSE (линейная зависимость от амплитуды), что автоматически переводит такую аппаратуру в разряд не соответствующей современным требованиям по формальным признакам.

Фильтры.

Фильтрация входного сигнала часто необходима из-за присутствия посторонних звуковых помех и электрических наводок на длинный соединительный кабель. Фильтрация осуществляется либо с помощью аналоговых

цепей, либо цифровым способом. Качество фильтра определяется крутизной скатов фильтра выражаемых в дБ на октаву. Чем больше крутизна, тем лучше вы можете отстроиться от помех.

Если вас интересуют исследования формы импульса, то следует обратить внимание на наличие линейной фазовой характеристики фильтров. Дело в том, что в общем случае при цифровой фильтрации различные частотные компоненты фильтруемого сигнала смещаются относительно друг друга на различные отрезки времени, величина которых зависит от частоты. Таким образом, при нелинейной фазовой характеристике фильтра форма импульса может значительно исказиться после фильтрации. Применение узкополосных фильтров также снижает собственные шумы измерительной системы и повышает динамический диапазон.

Генерация сигналов.

Любой современный акустико-эмиссионный прибор должен обладать возможностью не только регистрировать импульсные сигналы на каждом канале, но и должен иметь возможность генерировать звуковой сигнал на любом из датчиков. Это необходимо для проверки работоспособности системы датчиков перед началом тестирования и изучения картины распространения звуковых сигналов для обеспечения точности лоцирования.

Объединение нескольких приборов в единую систему.

Возможность объединения нескольких приборов в единый комплекс с помощью простого кабельного соединения позволяет быстро формировать многоканальную систему в случае необходимости тестирования больших объектов. Поэтому эта возможность напрямую влияет на выбор аппаратуры.

Практические требования к АЭ-системе.

Весьма важными с точки зрения практической эксплуатации прибора являются:

- небольшие габариты и вес прибора
- небольшое энергопотребление (дает возможность проводить тестирование вдали от стационарных источников

электропитания, используя питание от аккумулятора)

- раздельное исполнение предусилителей и датчиков, которое дает как возможность использовать разные типы датчиков вместе с одним предусилителем, так и экономию средств в случае повреждения датчика и необходимости его замены
- наличие управляющего компьютера, выполненного отдельно от электронного блока, что дает возможность легко заменять быстро устаревающие (а иногда и часто выходящие из строя) компьютеры-ноутбуки. Данное требование является актуальным, поскольку типичный срок эксплуатации качественной АЭ-аппаратуры может превышать 10 лет.

После того как вы определились с производителем акустико-эмиссионной системы, необходимо уточнить ее комплектацию.

Комплектование системы можно разбить на следующие этапы:

1. Выбор требуемого числа каналов АЭ-системы.

Если система предназначена для проведения АЭ-диагностики промышленных объектов, то число каналов АЭ-системы нужно выбирать исходя из типа контролируемых объектов. Все промышленные объекты можно весьма условно разделить на 4 типа: трубы, сосуды небольшого размера, сосуды большого размера, наливные резервуары. Если объектами исследования будут только линейные магистральные трубопроводы, то 8 канальная система будет оптимальной покупкой.

Число каналов, требующееся для обследования цилиндрических сосудов небольшого диаметра, можно определить по формуле: $N = (H/5+1) * 3+2$. Где N - число требуемых каналов, H - высота сосуда в метрах. Смысл формулы в том, что через каждые 5 метров цилиндрического сосуда в горизонтальном сечении должно находиться 3 датчика. В дополнение к имеющимся на цилиндрической обечайке датчикам, на каждой из двух крышек сосуда должен быть установлен, как минимум, один датчик.

Для сосудов большого диаметра или сосудов с нестандартной геометрией количество каналов можно определить следующим образом:

а) Представьте сетку с треугольными ячейками, где в каждом узле находится датчик. Длина стороны треугольника не должна превышать 6 метров.

б) Накройте такой сеткой объект таким образом, чтобы вся поверхность объекта была покрыта ячейками сетки.

в) Рассчитайте, сколько датчиков понадобится для заполнения узлов такой сетки.

Обычно вместе с исследованием поверхности большого объекта требуется исследовать состояние его опор. На каждую опору требуется как минимум 2 датчика. Один из этих двух датчиков обычно может быть задействованным в сетке из треугольников, так что в большинстве случаев каждая опора добавляет 1 канал к общей сумме каналов.

Для больших объектов обычно достаточно 36-40 канальной системы.

Для проведения обучения АЭ-специалистов и научных исследований обычно достаточно 4-канальной системы.

2. Выбор требуемого числа кабелей и их длины.

Число кабелей, соединяющих внешний предусилитель или датчик со встроенным предусилителем с системой, обычно закупается равным числу каналов на основном электронном блоке АЭ-системы. Мы рекомендуем закупать как минимум 1 дополнительный кабель, для того, чтобы в случае случайного повреждения кабеля во время исследования (поверьте, такое периодически случается даже с самыми опытными бригадами специалистов и часто не по их вине), не прерывать работу для починки кабеля. С нашей точки зрения оптимальной является быстрая замена поврежденного кабеля на запасной с последующим ремонтом поврежденного кабеля, но в стационарных условиях.

Определение длины кабелей также тесно связано с типом контролируемых объектов. Если требуется исследовать большие по протяженности участки магистральных трубопроводов, то выбор будет падать на кабели длиной в 200, 150, 100 метров. Использование кабелей с длиной более 200 метров неудобно с точки зрения веса бухты такого

кабеля и его разматывания/смотывания. Для стационарных систем (систем мониторинга) длина кабелей может быть существенно большей. Если АЭ-система закупается для исследования небольших сосудов, то следует отдать предпочтение кабелям длиной 30 или 50 метров. Если объекты обладают большими геометрическими размерами, то комплект из 100-150 метровых кабелей будет оптимальным. Длина кабеля может также определяться соображениями безопасности при размещении оператора АЭ. Длина кабелей в составе систем, применяемых для проведения обучения АЭ-специалистов и в научных исследованиях, обычно равна 10-15 метрам. Возможно также наращивание длины кабелей с помощью отдельно покупаемых переходников.

В любом случае, фирма должна по требованию заказчика изготовить набор кабелей требуемой длины.

3. Выбор требуемого типа и числа предусилителей.

Предусилитель необходим для усиления слабого электрического сигнала от пьезоэлектрического датчика. Чувствительность и уровень собственных шумов предусилителя определяют чувствительность всей системы. Добиться малого уровня собственных шумов порядка одного микровольта – непростая инженерная задача. Чем ниже уровень собственных шумов, тем выше можно установить коэффициент усиления предусилителя, тем меньший акустический сигнал способна заметить система. Для ряда объектов, таких как наливные танки и резервуары, требования минимума собственных шумов является принципиально важным, поскольку уровень регистрируемых сигналов в этом случае весьма невелик. Уровень собственных шумов выражается через среднеквадратичное значение.

Предусилители ряда фирм имеют возможность пропускать через себя сигнал от прибора на датчик. В этом случае пьезокерамика датчика работает как излучатель звукового сигнала. Эта опция очень полезна для проверки работоспособности системы, калибровки и измерения скорости звука. Если предусилитель не имеет такой опции приходится использовать отдельный излучатель, перемещая его по поверхности объекта. Такой вариант неудобен при практическом применении, особенно в случаях, когда отсутствует легкий доступ к поверхности контролируемого объекта.

Предусилители большинства производителей имеют «фантомное» питание, т.е. питание производится по тому же кабелю, по которому передается выходной сигнал предусилителя. Обратите внимание на полосу пропускания предусилителя: чем она шире, тем меньшим искажениям подвергается передаваемый сигнал.

Предусилители питаются от напряжения постоянного тока 12в или 28в. Усилители с более высоким напряжением питания имеют большую амплитуду выходного сигнала и вследствие этого система обладает лучшей помехоустойчивостью.

Предусилители подразделяются на два основных типа: встроенные и внешние. "Встроенный"- означает, что предусилитель встроен в корпус датчика. Другими словами, датчик, предусилитель и, как правило, магнитное крепление представляют единое неразборное целое. "Внешний" - означает, что предусилитель расположен в отдельном корпусе.

Минимальное число внешних предусилителей в составе АЭ-системы должно быть равным числу каналов системы. Покупка запасных предусилителей может быть полезна с точки зрения обеспечения непрерывности дорогостоящего процесса диагностики в случае повреждения одного из них.

Преимущества датчиков со встроенными предусилителями по сравнению с вариантом "отдельный датчик + внешний предусилитель":

1. Компактность и малый вес. Диаметр корпуса - примерно 25-30 мм.
2. Удобство и скорость установки.
3. Отсутствуют потери сигнала и электрические помехи в коротком кабеле.

Преимущества внешних предусилителей по сравнению со встроенными предусилителями:

1. Как правило, малый уровень собственных шумов.
2. Возможность смены датчика в т.ч. в случае его поломки.
3. Возможность работы с высокотемпературными датчиками, а также при криогенных температурах, поскольку предусилители могут располагаться на некотором удалении от датчика.

Закупка датчиков с встроенными предусилителями более оправдана в том случае, если АЭ-система

будет использоваться только для проведения массового исследования однотипных несложных объектов (например, магистральных трубопроводов).

Для проведения обучения АЭ-специалистов и научных исследований удобнее использовать внешние предусилители с отдельными датчиками.

4. Определение требуемого типа и числа датчиков.

Минимальное число датчиков, покупаемое в составе АЭ-системы должно быть равным числу каналов системы. С учетом того, что у датчиков достаточно часто по неосторожности пользователя (обычно вспомогательного персонала) разбивается защитная и рабочая керамика, имеет смысл покупать запасные датчики для обеспечения непрерывности дорогостоящего процесса диагностики.

Область применения датчиков, поставляемые в комплекте к АЭ-системе "РАНИС", зависит от частоты:

1. Резонансные, 30 кГц. Используются для регистрации ослабленных АЭ-сигналов, точка генерации которых находилась достаточно далеко от точки регистрации. Типичное применение - диагностика днищ наливных резервуаров.
2. Резонансные, 90 кГц. Универсальные датчики. Могут быть использованы для регистрации импульсов как на трубопроводах, так и на сосудах.
3. Резонансные, 150 кГц. Имеют меньшую чувствительность, но позволяют обеспечить лучшую отстройку от шумов. Типичное применение - диагностика сосудов.
4. Широкополосные, 20-500 кГц. Имеют меньшую чувствительность. Используются как для диагностики, так и для научных исследований в области материаловедения.

Качественные отличия резонансных датчиков от широкополосных можно описать следующим образом:

1. Резонансные датчики имеют более высокую чувствительность по сравнению с широкополосными, т.е. в общем случае предпочтительны при проведении диагностики, поскольку позволяют

регистрировать более слабые сигналы. Чем ниже резонансная частота, тем выше чувствительность датчика.

2. Широкополосные датчики при меньшей чувствительности точнее преобразуют механическую волну в электрический сигнал, т.е. в случае, если для исследований требуется регистрация более точной формы звуковой волны, то предпочтение следует отдать широкополосным датчикам.

5. Источник питания системы.

Любая акустико-эмиссионная система требует источника питания. На промышленных объектах и в лабораториях – это обычно стандартный источник сетевого напряжения. Если вы собираетесь проводить работы за границей, следует убедиться, что аппаратура может работать от сети в этой стране.

Если вы работаете в полевых условиях, то источника сетевого напряжения рядом нет. В этом случае необходимо, чтобы либо аппаратура имела возможность работы напрямую от аккумулятора, либо приобрести преобразователь постоянного тока в переменный с выходным напряжением стандартной сети. Необходимо рассчитать емкость аккумулятора для сохранения работоспособности системы в течение всего времени диагностики. Отметим, что дешевые преобразователи зачастую создают серьезные помехи для аппаратуры, что может снизить динамический диапазон системы.