

## **Правильный выбор акселерометра**

При выборе акселерометра важно определить, что будет измеряться, вибрации или перемещение. Измерение вибраций означает измерение вибрационной характеристика объекта, подверженного воздействию низких или высоких частот. Измерение перемещения означает определение скорости или смещения исследуемого объекта. Следует также учесть и другие факторы, в том числе специальные требования: например, особые условия проведения измерений, окружающую среду, нормы и стандарты, которым должен соответствовать акселерометр. И наконец, для правильного выбора акселерометра важно выбрать акселерометр с более широким диапазоном измерений, чем имеет исследуемый параметр. Это обеспечит оптимальное функционирование акселерометра и наиболее надежные измерения. Компании Brüel&Kjær и ENDEVCO предлагают широкий спектр акселерометров, отвечающих различным потребностям и приложениям в области измерений перемещений и вибраций. Эта адаптация к потребностям пользователей проявляется в широком ассортименте акселерометров, предназначенных для работы в определенных средах, отраслях промышленности, задачах и условиях, а также устройств общего назначения с широким рабочим интервалом. Однако такая универсальность и выбор могут оказаться избыточными. Поэтому, чтобы помочь покупателю сделать выбор, в данном разделе описываются различные технологии, лежащие в основе наших акселерометров. Это позволит ему оставить более ясное представление о целях разработки и области применения устройств. Таблицу в разделе «Выбор акселерометров» можно использовать как краткое справочное руководство, где все акселерометры разделены на категории в соответствии с основными областями их применения.

### **Зарядные/пьезоэлектрические акселерометры**

Пьезоэлектрические акселерометры используют пружинно-массовую систему для генерации силы, эквивалентной амплитуде и частоте вибрации. Эта сила прикладывается к пьезоэлектрическому элементу, который создает на своих выходах заряд, пропорциональный вибрационному перемещению. Уникальная конструкция пьезоэлектрических акселерометров компании Brüel&Kjær обеспечивает одновременно высокий сейсмический резонанс и прочность, поэтому акселерометры данного типа являются универсальными акселерометрами общего назначения. Их исключительные высокочастотные характеристики также идеально подходят для измерения высокочастотных вибраций: например, при анализе шума редуктора или мониторинге турбины высокоскоростного роторного оборудования. Пьезоэлектрические материалы являются самогенерирующими, и поэтому не требуют внешнего источника энергии. Они способны работать при экстремальных температурах, но их отличает низкая выходная чувствительность (что характерно для конструкции пружинно-массового датчика). Поскольку большинство высокочастотных акселерометров являются недемпфированными, высокочастотные гармоники конструкции могут вызвать «звон» акселерометра и привести к перегрузке в последующих электронных схемах. Поэтому резонансная частота акселерометра должна быть достаточно высокой, чтобы быть выше высокочастотных сигналов, присутствующих в конструкции.

### **IEPE-акселерометры**

IEPE-акселерометры – это пьезоэлектрические акселерометры с интегральными предусилителями, которые выдают в линии питания выходной сигнал в виде модуляции напряжения. IEPE-акселерометры компании Brüel&Kjær специально предназначены для

измерения вибраций в малых структурах (например, малогабаритных). Их высокая выходная чувствительность, высокое отношение сигнал/шум и широкая полоса пропускания позволяют использовать их и как устройства общего назначения, и для измерения высокочастотных вибраций. Эти дешевые и легкие акселерометры являются инструментами с очень хорошими рабочими характеристиками, имеющими более высокую выходную чувствительность, чем стандартные пьезоэлектрические акселерометры (без интегральных предусилителей). Они герметизированы для защиты от загрязнений окружающей среды, имеют низкую восприимчивость к электромагнитному излучению на радиочастотах и низкое выходное полное сопротивление благодаря внешнему источнику постоянного тока. Низкоимпедансный выход позволяет использовать недорогие коаксиальные кабели. IERE-акселерометры являются недемпфированными высокочастотными акселерометрами. При измерениях следует принимать меры, чтобы избежать «звона» акселерометра и возникновения условий перегрузки.

## **Пьезорезистивные акселерометры**

Датчики деформации пьезорезистивных акселерометров изменяют электрическое сопротивление пропорционально приложенному механическому напряжению. Монолитный датчик акселерометра включает в себя встроенные механические ограничители и обладает очень высокой прочностью при очень хорошем соотношении сигнал/шум. Акселерометры этого типа идеально подходят для измерения перемещения, низкочастотной вибрации и ударного воздействия и предназначены для испытаний на столкновение с препятствием, на флаттер, на езду по трудным дорогам, а также для биодинамических измерений и тому подобных приложений, требующих минимальной нагрузки массы и широкой частотной характеристики. Их можно также использовать для ударных испытаний легких систем или конструкций, они соответствуют спецификациям SAEJ 211 для антропоморфной макетной измерительной аппаратуры. Имея частотную характеристику, которая простирается до постоянного тока, т.е. до установившегося ускорения, эти акселерометры идеально подходят для измерений длительных переходных процессов, а также кратковременных ударных воздействий. Во многих случаях чувствительность оказывается достаточно высокой и предусиления выходного сигнала не требуется. Пьезорезистивные акселерометры имеют минимальное демпфирование, поэтому не создают фазового сдвига на низких частотах. Однако им присущи проблемы при измерениях на низких частотах, и для преодоления этих недостатков требуется принимать специальные меры.

## **Акселерометры переменной емкости**

В акселерометрах переменной емкости уникальный микродатчик переменной емкости создает емкостное устройство с параллельным расположением пластин. В результате получается датчик с реакцией на входные ускорения постоянного тока, со стабильной характеристикой демпфирования, которая максимизирует частотную характеристику, и с достаточной прочностью, чтобы противостоять очень высоким ударным и ускорительным нагрузкам. Эти low-g акселерометры идеально подходят для измерения перемещений и низкочастотных вибраций и предназначены для использования в таких областях, как мониторинг траектории, оценка конструкции самолета/автомобиля, испытания на флаттер, испытание подвесок и тормозов автомобиля. Газовое демпфирование (gas damping) и встроенные ограничители на выход за пределы диапазона позволяют микродатчикам акселерометра противостоять ударным и ускорительным нагрузкам, присущим типичным high-g –приложениям.

При high-g –испытаниях часты физические повреждения датчика; поэтому при выборе ударного акселерометра мы советуем переоценивать максимальный уровень ударного воздействия. Общее правило: чем ближе акселерометр к источнику (взрывного или ударного воздействия), тем выше входной g-уровень. Также рекомендуется использовать припаянные клеммы и резиновые провода из-за их малого веса, но при установке и работе с этими нежными соединениями следует обращаться очень аккуратно.

## Условия монтажа

Для точного измерения вибраций необходимо, чтобы полезный частотный и динамический диапазон не были ограничены вследствие неправильного монтажа акселерометра. Одним из основных требований правильного монтажа акселерометра является жесткий механический контакт между основанием акселерометра и поверхностью, на которой он крепится. Для этого компании Brüel&Kjær и ENDEVCO предлагают большой набор разнообразных специализированных принадлежностей для монтажа. Однако при выборе аксессуара следует принять во внимание изложенные далее соображения.

## Выбор правильного метода монтажа

### Монтаж на шпильке

Крепление акселерометра с помощью стальной шпильки является наилучшим способом монтажа, поскольку таким образом удастся достичь самой высокой резонансной частоты монтажа. Поэтому используйте этот метод монтажа во всех случаях, где это возможно.

### Цементирование шпилек

В местах, где невозможно или нежелательно просверливать и пробивать крепежные отверстия, оптимальным монтажным решением может стать цементирование шпильки. Такая зацементированная гайка может быть закреплена на испытываемом объекте с помощью эпоксидной смолы или цианоакрильного клея.

Частотная характеристика при таком способе будет почти такой же хорошей, как и при

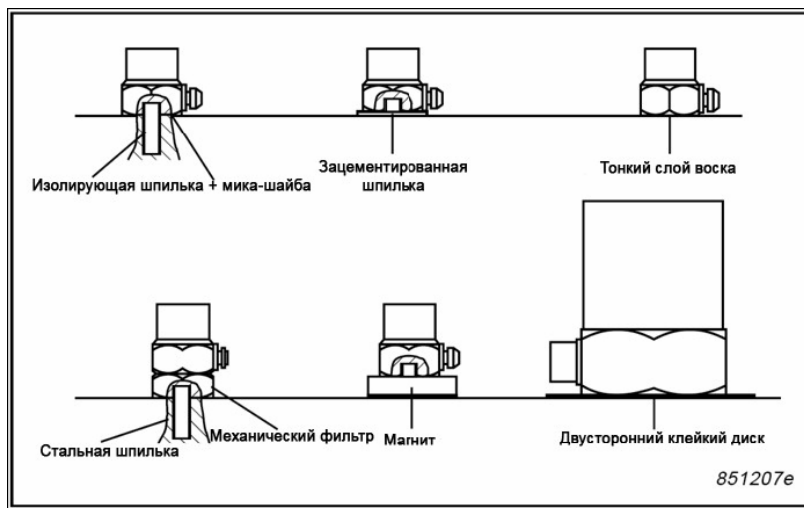
использовании обычной шпильки. Следует избегать мягких клеев, т.к. значительное снижение жесткости соединения существенно сужает частотный диапазон акселерометра.

### Монтаж с помощью пчелиного воска

Для быстрого крепления акселерометра (например, при наблюдении за вибрациями в разных точках путем перемещения акселерометра) можно использовать пчелиный воск для удобства монтажа и демонтажа. Поскольку при высоких температурах пчелиный воск размягчается, этот метод ограничен температурой примерно 40°C.

### Монтаж с изоляцией

Там, где желательно электрически изолировать акселерометр от объекта, можно использовать изолирующую шпильку и мика-шайбу. Это может потребоваться, если электрический потенциал исследуемого объекта отличается от потенциала земли измерительного оборудования, или если непосредственная установка шпильки создает контур заземления,



который может повлиять на результаты измерений. Последнее служит наиболее частой причиной выбора метода монтажа с изоляцией. Для использования при высоких температурах имеются также специальные изолирующие монтажные подушки, изготовленные из спаянных вместе керамики и металла.

#### **Монтаж с помощью постоянного магнита**

Удобный метод монтажа акселерометра состоит в использовании постоянного магнита, который можно быстро и легко переместить из одного положения в другое, что особенно удобно, когда требуется провести наблюдения в большом количестве точек измерения за минимально возможное время испытаний. Этот метод ограничен установкой на чистых и плоских ферромагнитных поверхностях, а его динамический диапазон ограничен вследствие ограниченной силы магнита. Но, тем не менее, метод может дать хорошую высокочастотную характеристику, особенно на плоских поверхностях. Установка на магнит самоклеящегося диска обеспечит электрическую изоляцию между акселерометром и поверхностью, на которой он крепится.

#### **Монтажные зажимы и шарнирные основания**

В корпусах некоторых акселерометров имеются пазы, которые позволяют использовать монтажные зажимы для быстрой установки акселерометра на исследуемый объект. Монтажные зажимы приклеиваются к исследуемому объекту с помощью термоклейки или крепятся двухсторонней клейкой лентой. Имеется монтажный зажим с уникальной конструкцией шарнирного основания, который позволяет легко выровнять акселерометр в соответствии с заданной системой координат. Для этих целей используется спиртовой уровень. Имеется несколько видов монтажных зажимов, дающих уникальные преимущества в сложных монтажных ситуациях: например, монтажный зажим с толстым основанием, которое можно спилить так, чтобы оно соответствовало кривизне монтажной поверхности. Имеются жаропрочные монтажные зажимы, а также зажимы специальной конструкции, позволяющие ускорить калибровку акселерометра. Все монтажные зажимы проходят всесторонние испытания для обеспечения высокого качества, надежности и достоверности результатов измерений.

#### **Использование ручного щупа**

Ручной щуп с установленным на него акселерометром очень удобен для быстрого обследования и проведения измерений в местах, доступ к которым затруднен. Однако из-за низкой общей механической жесткости и отсутствия достаточного контактного усилия резонансная частота монтажа обычно бывает очень низкой. При использовании этого метода существует потенциальный риск больших погрешностей измерений.

#### **Монтаж акселерометра на длинной штанге**

Для измерения вибраций в труднодоступных местах можно установить акселерометр на конец стальной трубы или штанги с резиновым кольцом. На монтажную поверхность акселерометра можно установить слегка скругленный наконечник, чтобы обеспечить нужный механический контакт с исследуемым объектом даже на слегка скошенных углах. Характеристика при использовании этого метода значительно превосходит характеристику, получаемую при использовании ручного щупа.

#### **Механический фильтр**

Резонансный пик частотной характеристики акселерометра можно отсечь или уменьшить его амплитуду с помощью электронных фильтров, входящих в состав измерительного оборудования. Поскольку основная электронная фильтрация выполняется после входного каскада в предусилителе, это не предотвращает перегрузку входного каскада или акселерометра. С помощью механического фильтра, установленного между акселерометром и исследуемым объектом, можно обеспечить эффективную фильтрацию механического

вибросигнала, защитив таким образом всю измерительную цепь. Механический фильтр обеспечивает электрическую изоляцию между основанием акселерометра и точкой монтажа.

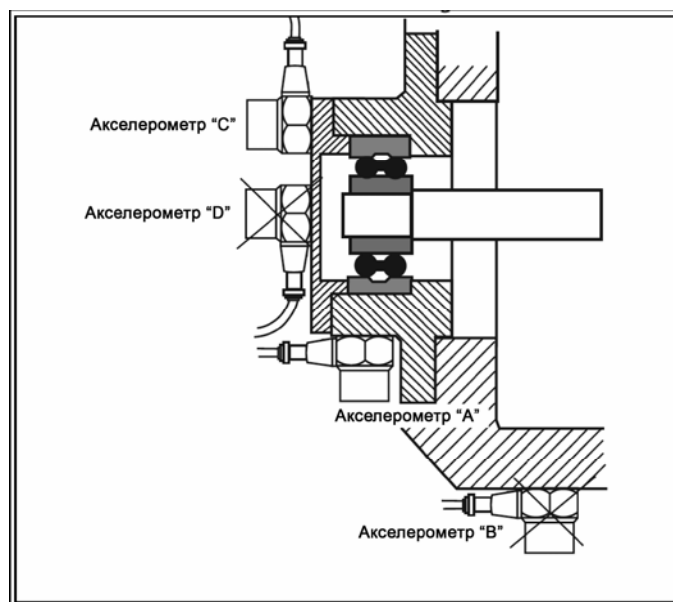
#### Выбор точки монтажа акселерометра

Акселерометр следует монтировать так, чтобы нужное направление измерения совпало с основной осью чувствительности.

Акселерометры слегка чувствительны к вибрациям в поперечном направлении, но обычно это можно не учитывать, т.к. максимальная поперечная чувствительность составляет лишь несколько процентов от чувствительности по основной оси. Цель измерений во время виброиспытаний обычно диктует место установки акселерометра. На рис. 4 целью является мониторинг условий вала и подшипника. В данном примере акселерометр следует установить так, чтобы сохранить прямой путь до вибрации подшипника. Таким образом, акселерометр 'А' обнаруживает вибросигнал с подшипника, преобладающий над вибрациями остальных деталей машины, а акселерометр 'В' получает вибрацию подшипника, модифицированную переносом через соединение и смешанную с сигналами от других деталей машины.

Аналогично, акселерометр 'С' установлен на более прямом пути, чем акселерометр 'D'.

Очень трудно сформулировать общие правила установки акселерометров, т.к. реакция механических объектов на вынужденную вибрацию является сложным явлением, так что можно ожидать, что, особенно на высоких частотах, даже в соседних точках измерений одной и той же детали машины будут получены существенно различные вибрации и частотные спектры.



*Место установки акселерометра при мониторинге условий вала и подшипника*