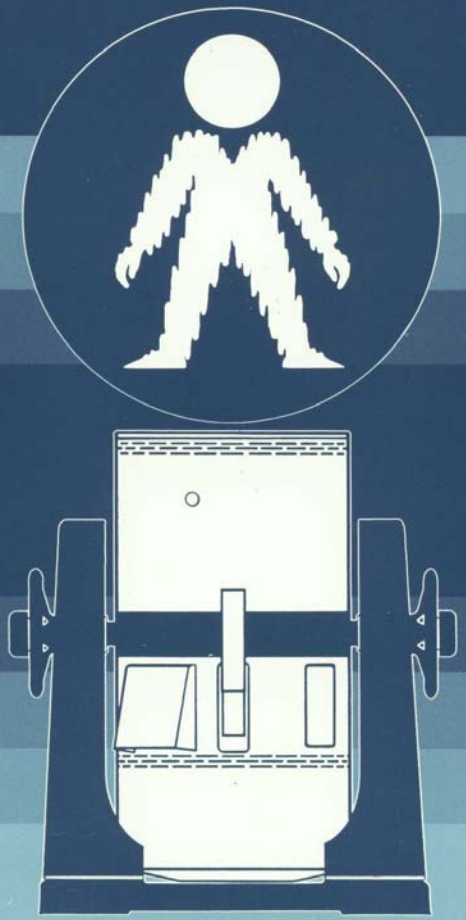
Вибрационные испытания



Brüel & Kjær

Brüel & Kjær

Sound & Vibration Measurements A/S

Московский Технический Центр

127287, Москва, Петровско-Разумовский пр. 29
Тел.: (095)748-16-45, Факс: (095)733-90-48,
e-mail: info@bruel.ru

Введение

В этой брошюре рассказывается об основах вибрационных испытаний, а также приводится описание возбудителей и контрольно-измерительного оборудования, используемого в испытаниях на воздействие окружающей среды и при определении динамических свойств конструкций.

Введение 1
Зачем нужны вибрационные испытания? 2
Как работает возбудитель? 3
Усилитель мощности 4
Управление возбудителем 4
Основные аппаратурные средства, необходимые для работы с возбудителем 5
Синусоидальное возбуждение 5
Случайное возбуждение 6
Испытания на воздействие окружающей среды 7
Установка испытуемого объекта 7
Зажимные приспособления 8
Компенсация статических эффектов 9
Анализ вибрационных характеристик 10
Моделирование реальных условий эксплуатации с предельным воздействием 11
Испытания с использоваиием синусоидальных колебаний с качающейся частотой 11
Моделирование на одиночных частотах 12
Испытания на случайную вибрацию 13
Расчет данных, полученных в испытаниях 14
Структурные исследования 15
Механический импеданс и подвижность 16
Сложение импедансов и мобильностей 17
Комплексный модуль упругости 18
Анализ мод 19
Анализ резонанса 20
Использование комплексных графиков 21
Методы возбуждения 22
Многовибраторные системы 23

Зачем нужны вибрационные испытания?

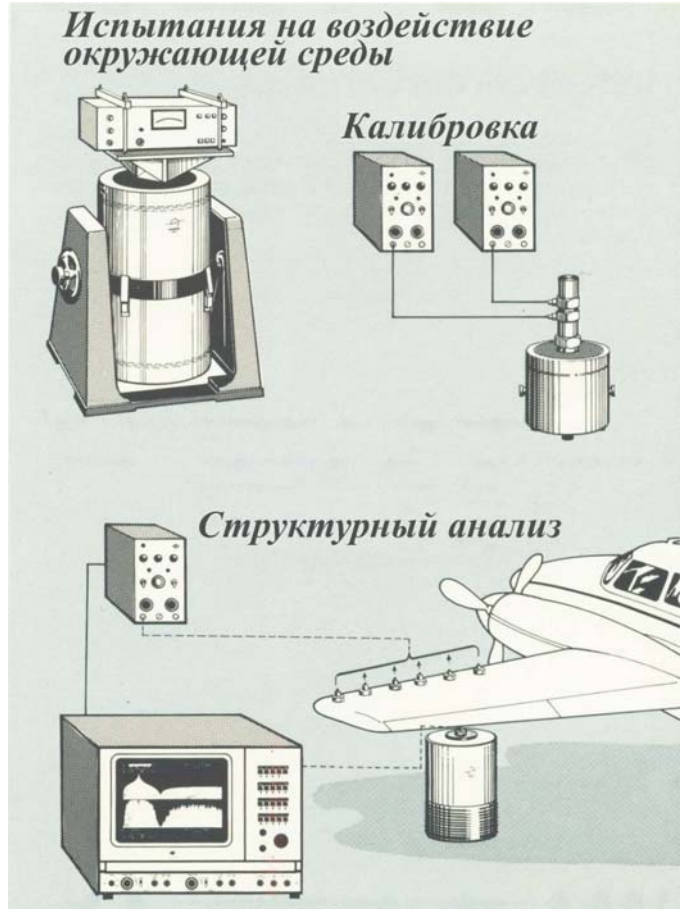
В связи с потребностью в работе на высоких скоростях и применением легких конструкций в современном оборудовании статические испытания на сжатие/растяжение не являются достаточными. Необходимы динамические измерения, что и послужило предпосылкой к широкому применению вибрационных испытаний.

В лабораторных условиях вибрационные испытания проводятся, как часть программы контроля качества компании, наряду с такими испытаниями, как температурные и испытания на влагостойкость. Испытуемый объект подвергается воздействию вибрации определенного уровня, в соответствии с процедурой, определенной национальными и международными стандартами.

Для выяснения динамических свойств какой-либо конструкции важна ее реакция на воздействие вибрации, а не действительный уровень вибрации. Понятие отклика используется, например, при определении способности передавать или гасить вибрацию или выявлении колебательных мод какой-либо конструкции в резонансе.

При калибровке вибродатчиков производится сравнение на заданном уровне вибрации между датчиком, подлежащим калибровке, и датчиком-эталоном.

Для создания определенной вибрации используется электромагнитный возбудитель (называемый также вибратором), который преобразует электрический сигнал в механическое движение и в заданном режиме поддерживает определенный уровень или силу вибрации.

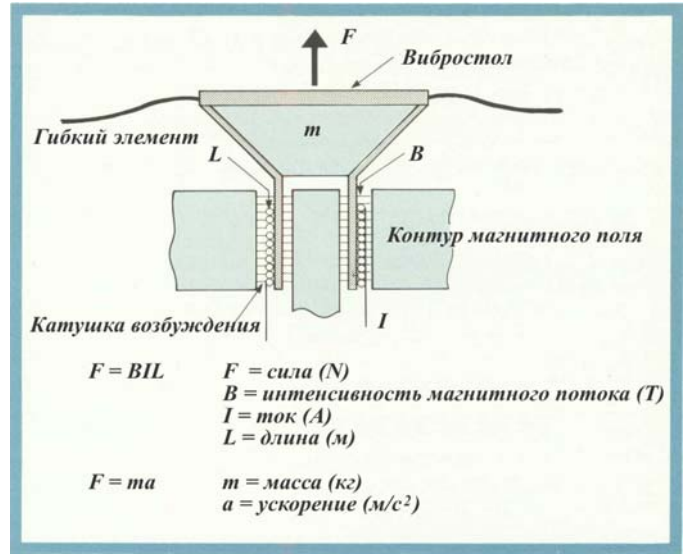


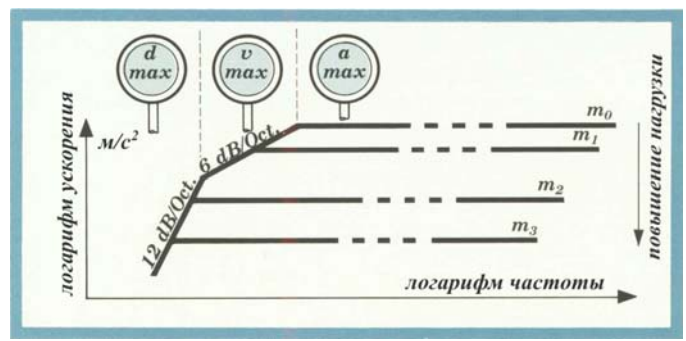
Как работает возбудитель?

В принципе, электромагнитный возбудитель работает, как звуковая колонка, где движение возникает при прохождении тока через катушку в магнитном поле. Сила, используемая для ускорения подвижного элемента, пропорциональна току возбуждения и магнитному потоку. Таким образом, регулируя ток, можно регулировать уровень вибрации возбудителя.

В небольших возбудителях магнитное поле вырабатывается постоянным магнитом, тогда как для более мощных вибраторов требуется электромагнит. Достижимый уровень ускорения определяется максимальным током и нагрузкой. Однако на низких частотах уровень ускорения снижается из-за ограниченности смещения подвижного элемента. Резонанс подвижного элемента формирует верхний частотный предел.

Характеристика возбудителя представлена в виде графика зависимости максимального ускорения от частоты. На двойной логарифмической шкале предел смещения представляет собой прямую линию с угловым коэффициентом 12 дБ/октава. Часто можно также встретиться с ограничением по скорости (особенно при испытаниях с возбудителями больших размеров), которая показана линией с угловым коэффициентом 6 дБ/октава.





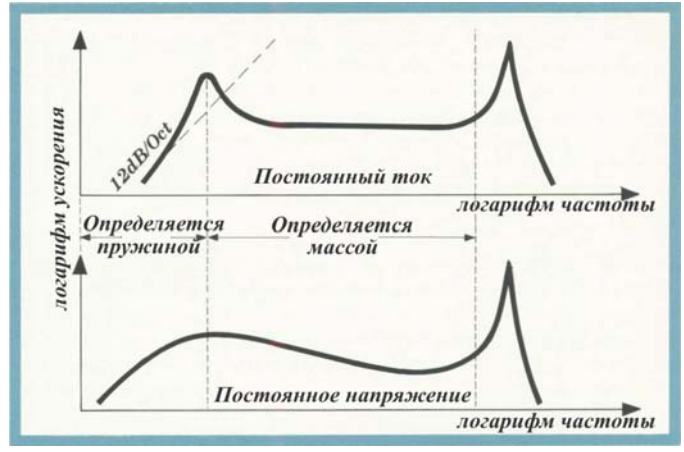
Усилитель мощности

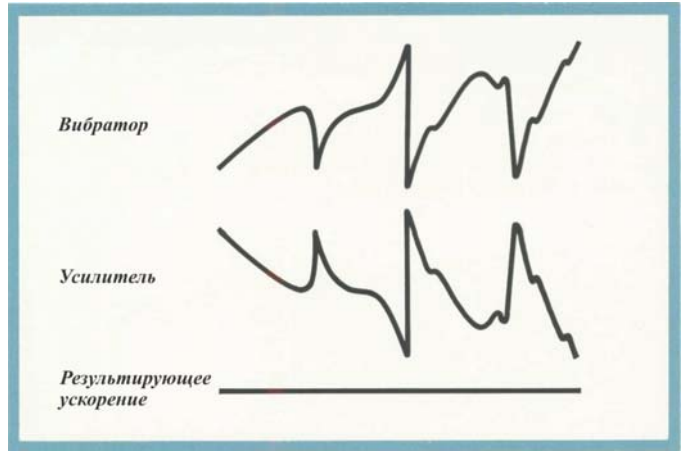
График частотной характеристики возбудителя, работающего при постоянном токе, делится на три различные зоны. Первые две зоны представляют собой систему «пружина-масса» подвижного элемента, а также его подвески с типичным положением резонанса 20 Гц. В третьей зоне, которая находится обычно выше 5 кГц для возбудителей большого размера, происходит осевой резонанс подвижного элемента, который определяет верхний предел рабочей частоты возбудителя.

Амплитудно-частотная характеристика возбудителя, работающего при постоянном напряжении на входе, имеет такие же зоны регулирования. Однако нижний резонанс значительно подавлен, что облегчает регулировку уровня. При испытаниях, как правило, предпочтение отдается управлению по напряжению (при помощи усилителя с низким импедансом). Однако в некоторых случаях, лучше оказывается управление по току, в основном, когда возбудитель используется в качестве генератора силы или если требуется управление без обратной связи с использованием среднего частотного диапазона возбудителя. Здесь необходим выход с высоким импедансом, по причине чего многие усилители имеют функцию выбора выходного импеданса.

Управление возбудителем

При использовании возбудителя уровень вибрации вибростола должен быть постоянным. Однако его кривая амплитудно-частотной характеристики не является плоской – в ней присутствуют резонансы, кроме того, при установке на вибростоле испытуемого объекта добавляются новые резонансы. При работе в некотором частотном диапазоне мощность, подаваемая усилителем, должна варьироваться по мере изменения частоты. Это достигается при помощи контроллера, получающего информацию обратной связи от испытуемого объекта. Таким образом, основные элементы управления возбудителем – это генератор частоты, измеритель вибрации и схема управления уровнем вибрации.



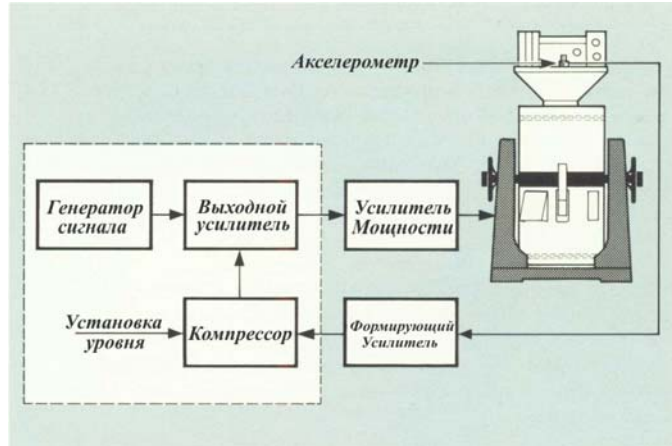


Основные аппаратурные средства, необходимые для работы с возбудителем

Основной комплект аппаратуры включает: возбудитель, усилитель мощности, блок управления возбудителем, акселерометр или датчик силы и формирующий усилитель.

Выбор возбудителя зависит в основном от требуемого значения силы или ускорения, но могут быть важны и другие параметры, такие, как устойчивость к боковым нагрузкам, поперечная вибрация и искажение формы сигнала.

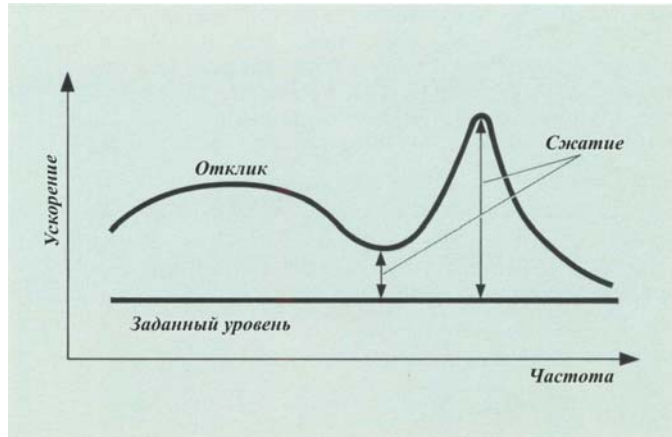
Возбудитель изолируется от основания при помощи пружин, что в большинстве случаев дает достаточную защиту от вибрации внешнего окружения при установке непосредственно на пол. Однако для подавления вибраций, излучаемых мощными возбудителями и передаваемых строению, такие возбудители устанавливают на упругом материале или на сейсмическом блоке.



Синусоидальное возбуждение

Синусоидальные сигналы с одиночной или качающейся частотой используются на входе возбудителя чаще всего. Основные преимущества: сравнительно простое управление, большое количество справочных материалов по этой теме, легкость измерения сигналов реакции. При использовании качающейся частоты применяется управление с обратной связью, также называемое компрессором. Компрессор должен быть достаточно быстрым, с тем, чтобы реагировать на слабо подавленные резонансы даже при высоких скоростях качания. Обычно используются компрессоры с динамическим диапазоном не менее 80 дБ и скоростью сжатия 1000 дБ/сек.

Синусоидальные сигналы характеризуются частотой и амплитудой. В вибрационных испытаниях амплитуда обычно измеряется с помощью пиковых значений (смещение от положительного пика к отрицательному), при этом частотный диапазон варьируется от 2 до 10 000 Гц.



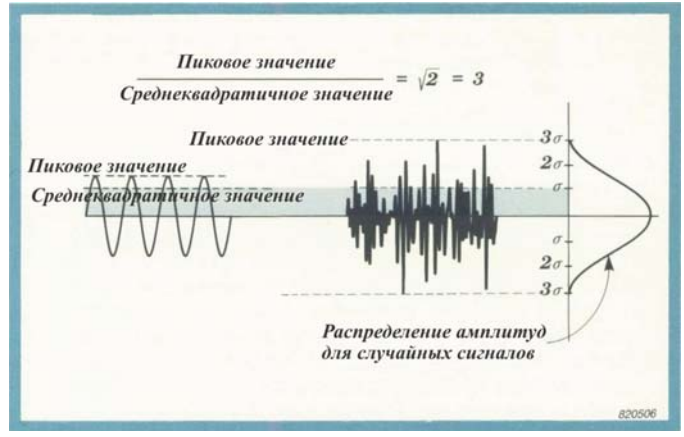
Случайное возбуждение

Случайный сигнал, используемый в вибрационных испытаниях, имеет непрерывный спектр с амплитудой, варьирующейся в соответствии с гауссовым распределением. Внутри заданного частотного диапазона должны присутствовать все амплитуды, но на практике усилители и генераторы вносят в этот диапазон ограничения. При вибрационных испытаниях необходимо, чтобы пиковые значения случайного сигнала в три раза превышали среднеквадратичное значение.

Сила, генерируемая возбудителем, ограничивается в основном эффектом нагревания при протекании тока, т. е. среднеквадратичным значением. В то же время номинальные характеристики усилителя мощности зависят от пиковых значений. Для генерации силы такой же величины, как при синусоидальном возбуждении, усилитель должен быть более мощным.

Случайный спектр характеризуется спектральной плотностью мощности или ускорения ($(м/с^2)^2$/Гц). Для формирования сигнала и управления им необходимо использовать узкополосный частотный анализатор, и в каждой полосе провести обработку контуром компрессора. Обычно для этого используются численные методы, основанные на преобразованиях Фурье, а управление осуществляется при помощи компьютера; этот процесс называется уравновешиванием.

Мощность случайного возбуждения возбудителя определяется, как максимальная спектральная плотность ускорения при различных нагрузках, причем форма спектра должна соответствовать международному стандарту ИСО 5344.



Испытания на воздействие окружающей среды

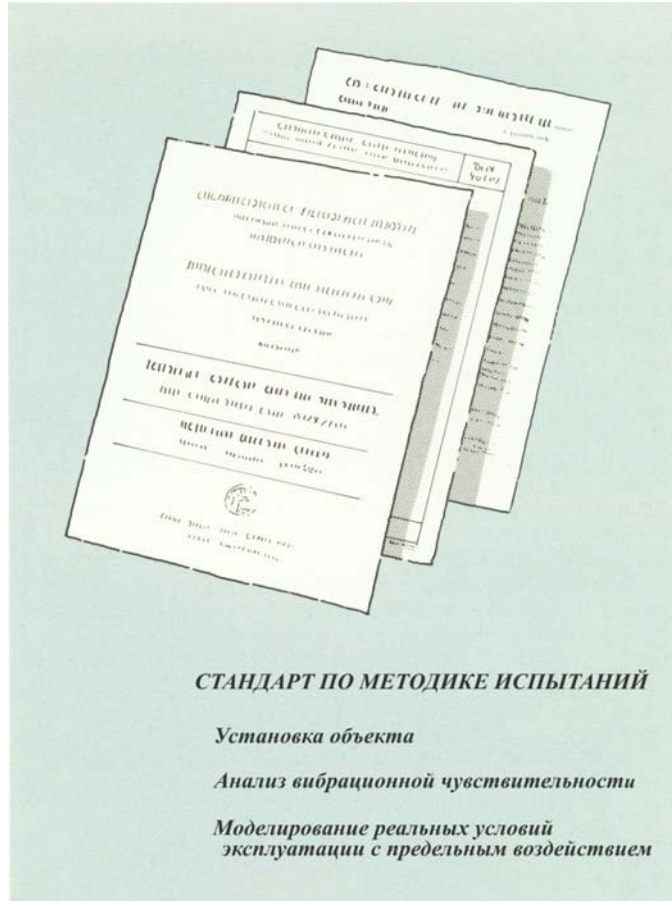
Данные испытания предназначены для определения способности оборудования выдерживать заданные уровни вибрации, ударное воздействие, заданную температуру, влажность и т. д. Необходимые параметры могут быть установлены пользователем или поставщиком, в соответствии с определенным национальным или военным стандартом. В таких стандартах описаны процедуры испытаний, однако уровни для отдельных испытаний там не установлены.

Основными стандартами являются стандарты IEC(МЭК) 68, испытания Fc и Fd, принятые во многих странах в качестве национальных стандартов. Информацию, содержащуюся в этих стандартах, можно грубо разделить на 3 части: установка испытуемого объекта, моделирование реальных условий эксплуатации (с предельным воздействием) и анализ реакции на вибрацию.

Установка испытуемого объекта

Так как данное испытание моделирует воздействие окружающей среды, объект должен быть закреплен на вибростоле обычным для него способом. Однако в большинстве случаев необходимо специальное зажимное приспособление, которое позволяло бы осуществлять вибрацию испытуемого объекта по определенным осям.

В испытательной документации должна быть описана процедура установки испытуемого объекта, а также указано место подключения к нему контрольного акселерометра Там же должна содержаться информация о необходимости функционирования испытуемого объекта во время испытаний.



Зажимные приспособления

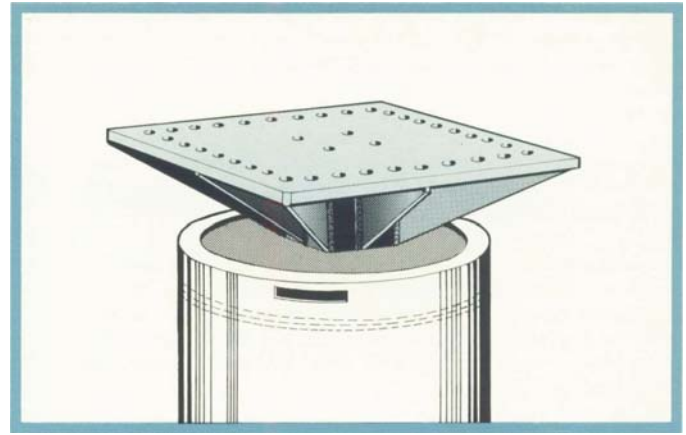
В случаях, когда невозможно зафиксировать объект непосредственно на вибростоле, используются специальные, часто довольно сложные, зажимные приспособления. Такие приспособления должны быть достаточно жесткими, с тем, чтобы равномерно передавать объекту генерируемую силу или движение и не вносить какого-либо резонанса. Важное значение имеет проверка данной конструкции, путем измерения акселерометром уровня вибрации на поверхности зажимного приспособления. Все обнаруженные резонансы должны лежать за пределами частотного диапазона испытаний.

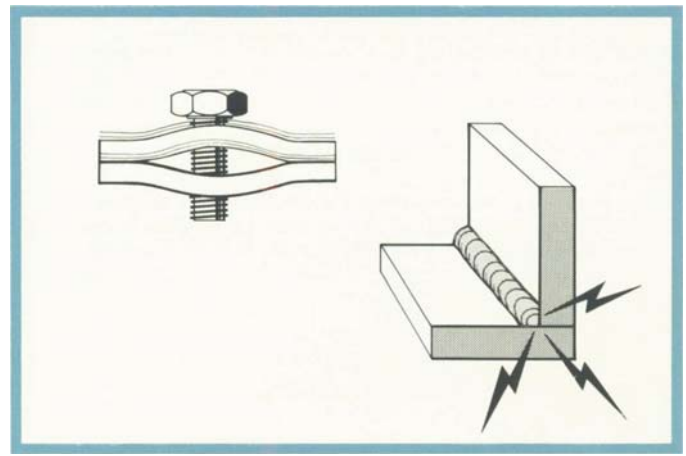
Собственная частота конструкции мало зависит от того, выполнена ли она из стали или алюминия, но, так как общий вес испытуемого объекта и зажимного приспособления является ограничивающим фактором при использовании возбудителя, лучшим материалом чаще всего оказывается алюминий.

Для работы на высоких частотах резонансов конструкция должна всегда иметь избыточные размеры, поэтому никаких специальных мер для того, чтобы обеспечить достаточную механическую прочность, обычно предпринимать не требуется..

Для максимального облегчения зажимного приспособления его конструкция может состоять из сравнительно тонких пластин с поддержкой ребрами жесткости. Пластины имеют простую геометрическую форму, и их частотные характеристики легко рассчитываются. При сборке необходимо проявить предусмотрительность: болты могут вызвать эффект «пружина-масса», а сварка – внутреннее напряжение.

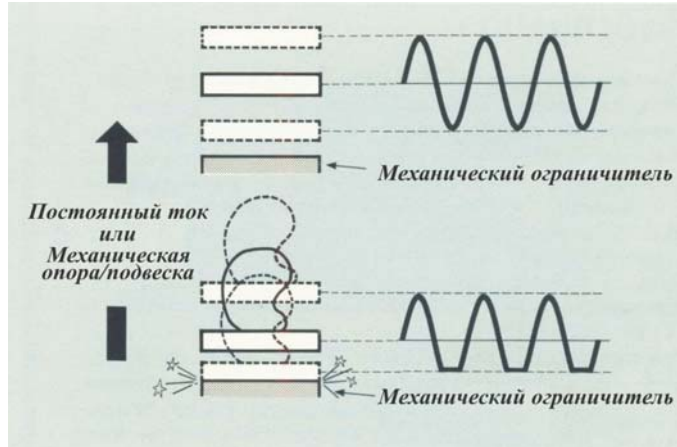
Если резонанса нельзя избежать, эффект демпфирования можно увеличить при помощи резиновых накладок и путем заполнения полостей пенопластом.

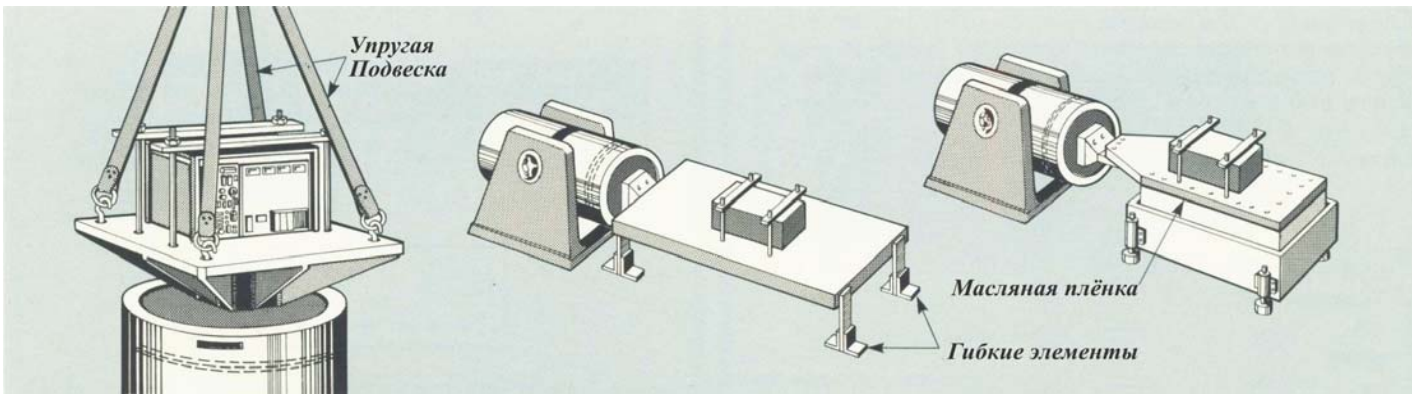




Компенсация статических эффектов

Тяжелые испытуемые объекты вызывают статический прогиб вибростола (в зависимости от жесткости его гибкой части), что сокращает амплитуду возможного смещения при определении динамических свойств. Вследствие этого может возникнуть необходимость компенсации данной статической нагрузки, особенно при больших динамических смещениях, т. е. в низкочастотном диапазоне. Простым способом компенсации является подача постоянного тока на подвижную катушку, однако по причине того, что этот ток вызывает нагрев возбудителя и усилителя мощности, динамические характеристики будут занижены. По этой причине компенсация чаще всего осуществляется при помощи внешней механической опоры/подвески, например, с использованием закрепленных на потолке пружин, горизонтальных столов на гибких элементах, а также с применением скольжения на масляной пленке.

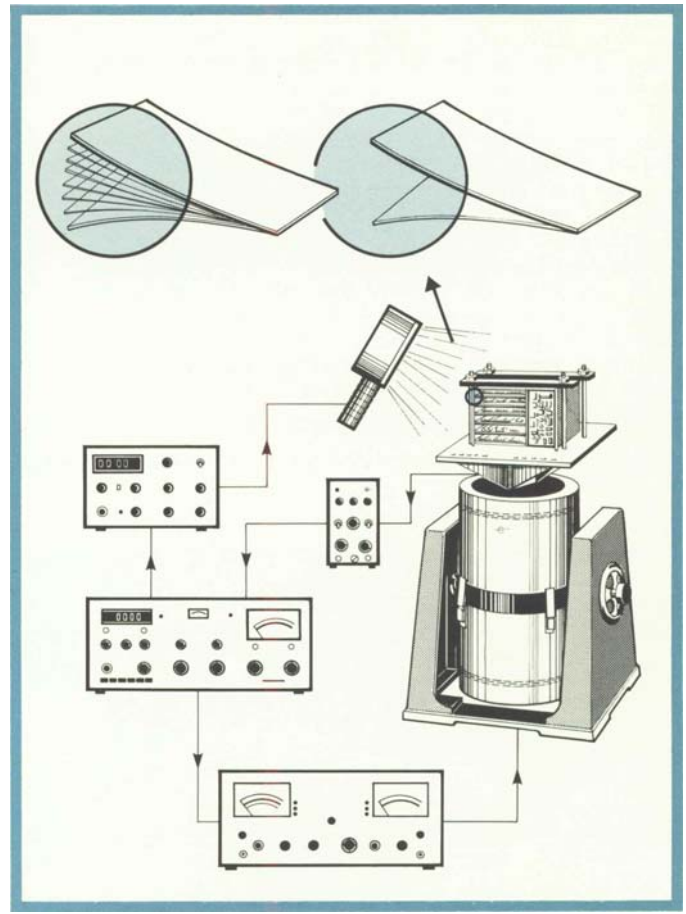




Анализ вибрационных характеристик

Первым шагом после установки испытуемого объекта является анализ вибрационных характеристик, с целью проверки его функционирования и изучения воздействия резонанса по всему частотному диапазону. Для всех типов испытаний резонансы определяются при помощи синусоидальных колебаний. Затем частоты резонансов измеряются, и детально изучается поведение конструкции путем ручного управления частотой. В конце процедуры испытания проводится аналогичный анализ для сравнения.

Поведение конструкции наиболее легко проанализировать при помощи стробоскопической лампы, запускаемой от схемы управления возбудителя и работающей с частотой возбуждения. Было бы лучше, однако, чтобы сигнал запуска немного отличался по частоте от сигнала возбуждения, что отображается в виде как бы медленно двигающейся картинки. Такую частоту замедленного движения, обычно 3-5 Гц, можно задать на стробоскопе, добавив ее к частоте возбуждения. Дальнейшее изучение поведения конструкции можно продолжить путем ручного ввода задержки сигнала запуска, передвигая таким образом картинку на один или более циклов, или при помощи двойных вспышек, которые позволяют увидеть полную амплитуду колебания резонирующей части.



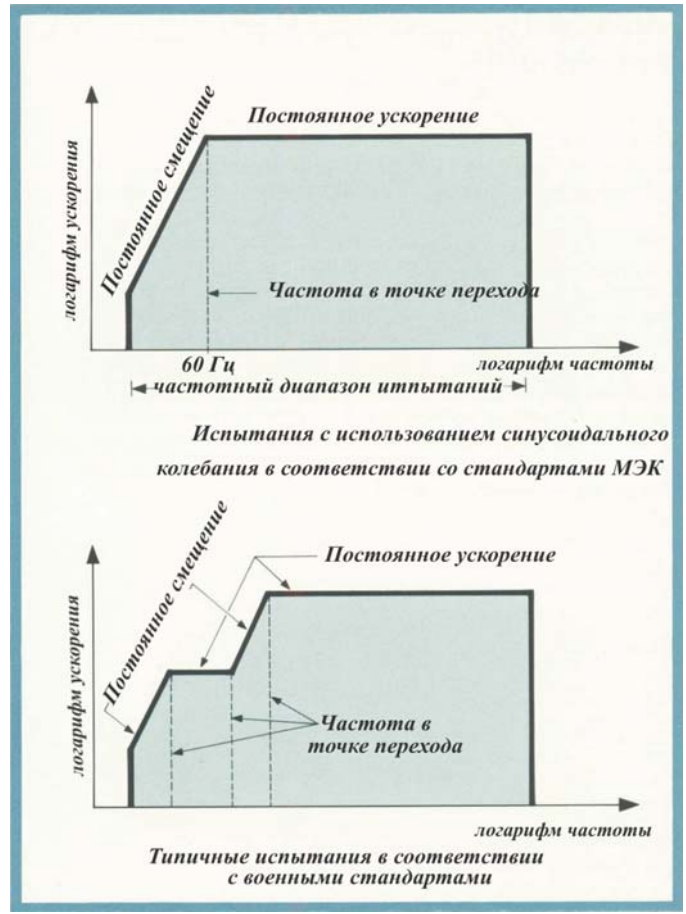
Моделирование реальных условий эксплуатации с предельным воздействием

При моделировании реальных условий эксплуатации объект подвергается воздействию вибрации, интенсивность которой, т. е. частотный диапазон, уровень и продолжительность, должна обеспечить проверку способности объекта к нормальному функционированию в реальных условиях. В зависимости от этих требований, моделирование осуществляется при помощи: синусоидальных колебаний, синусоидальных испытаний на резонансных частотах или других заданных частотах, а также случайной вибрации.

Испытания с использоваиием синусоидальных колебаний с качающейся частотой

При таких испытаниях частота сигнала, направляемого на возбудитель, непрерывно качается вверх и вниз внутри требуемого частотного диапазона. Главным контрольным параметром является уровень ускорения, однако ниже определенной частоты (точка перехода) основным контрольным параметром становится постоянное смещение. В испытаниях по стандартам МЭК (международной электротехнической комиссии), значение частоты точки перехода равняется 60 Гц, а уровни смещения и ускорения выбираются так, чтобы обеспечить непрерывность перехода от одного параметра к другому. Другие стандарты, например, военные, могут требовать еще больших изменений уровня или параметров вибрации.

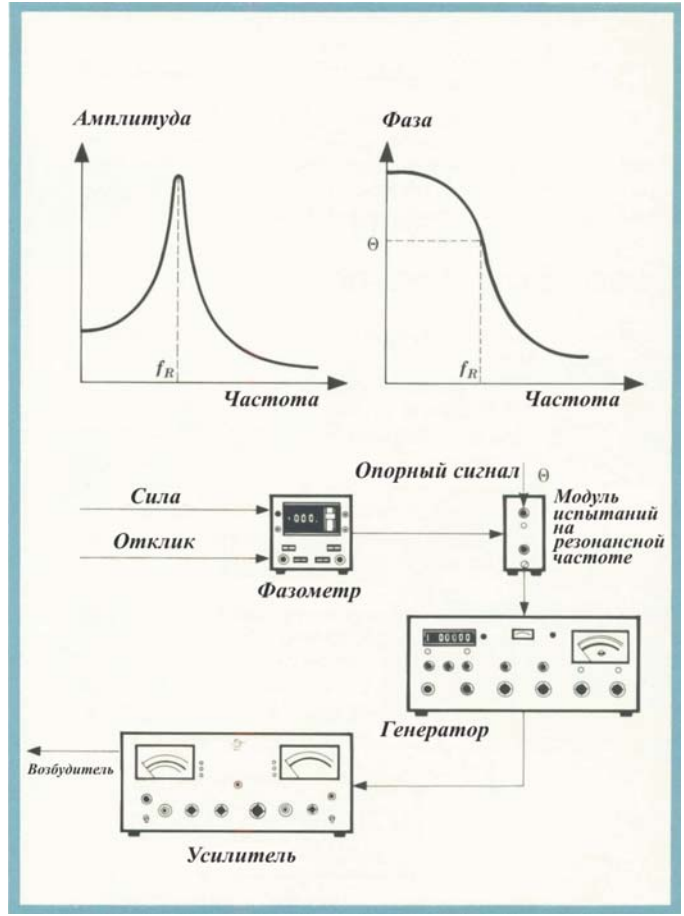
Вследствие этого блок управления возбудителем для испытаний на воздействие окружающей среды должен иметь, по крайней мере, два измерительных канала с интегратором для определения уровней смещения и скорости, на основании значения ускорения, измеряемого контрольным акселерометром. Необходимо также предусмотреть переключающее устройство, с тем, чтобы по достижении частоты точки перехода можно было переключить измерительный канал.



Моделирование на одиночных частотах

Если в окружающей среде предполагаемой эксплуатации доминирует одна или несколько дискретных частот, то при моделировании реальных условий используются именно эти частоты, часто для испытаний на усталость до разрушения материала.

Объекты с четко различимыми резонансами можно с успехом испытывать на этих резонансах. Из-за изменений в конструкции во время испытаний частота резонанса, скорее всего, сдвинется, и поэтому для автоматического изменения частоты возбуждения используется модуль испытаний на резонансной частоте. Принцип его работы заключается в том, что в резонансе фазовый угол между возбуждением и сигналом отклика радикально меняется. Таким образом, фазовый угол можно считать характеристикой резонанса. После определения его значения он затем используется, как опорный сигнал для контура обратной связи, контролирующего частоту возбуждения.



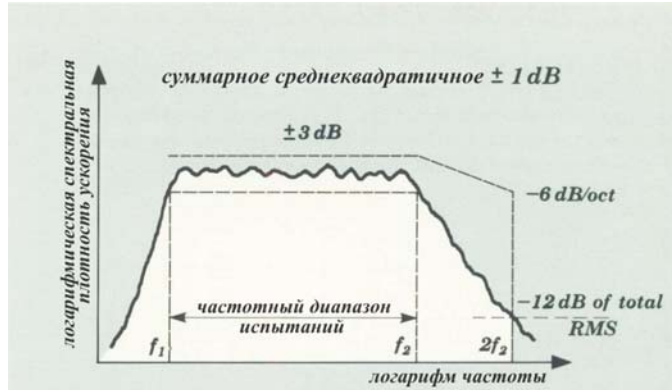
Испытания на случайную вибрацию

Несмотря на то, что синусоидальные испытания являются самыми популярными среди виброиспытаний из-за сравнительно низкой стоимости и простого набора аппаратуры, случайное возбуждение лучше моделирует реальную окружающую среду. При испытаниях методом синусоидального возбуждения одновременно возбуждается лишь один резонанс, и поэтому взаимное влияние резонансов друг на друга не может иметь места. Еще одним преимуществом испытаний методом случайного возбуждения является сокращенный период испытательного воздействия, по причине одновременного возбуждения всех резонансов.

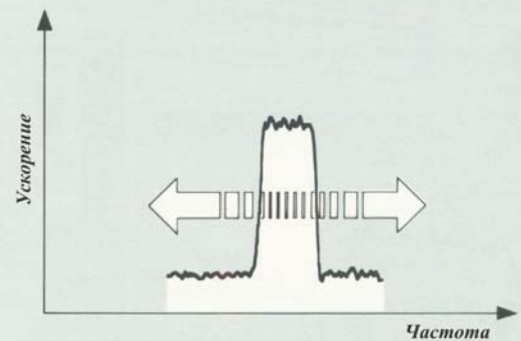
Характеристикой испытания на случайную вибрацию является диапазон спектральной плотности ускорения, который формируется выравнивателем и зависит от среднеквадратичного уровня суммарного ускорения этого диапазона.

Преградой, ограничивающей широкое применение данного метода, является высокая цена и сложность. В качестве компромисса автоматическую коррекцию возбуждения заменяют, к примеру, записью определенного диапазона на пленку, что оправдано в случае, когда воспроизводимость не имеет большого значения.

Существует подход, сочетающий простоту управления с обратной связью со многими преимуществами случайного спектра – это метод качания частоты в узком диапазоне. В стандартной синусоидальной схеме управления одиночный частотный сигнал заменяется полосой слчайно задаваемых частот, при этом общий уровень вибрации контролируется компресором. При достаточно узкой полосе частот такое управление является эффективным, даже в отношении слабо подавленных резонансов.



Испытания методом случайного возбуждения в соответствии со стандартами МЭК, высокая воспроизводимость

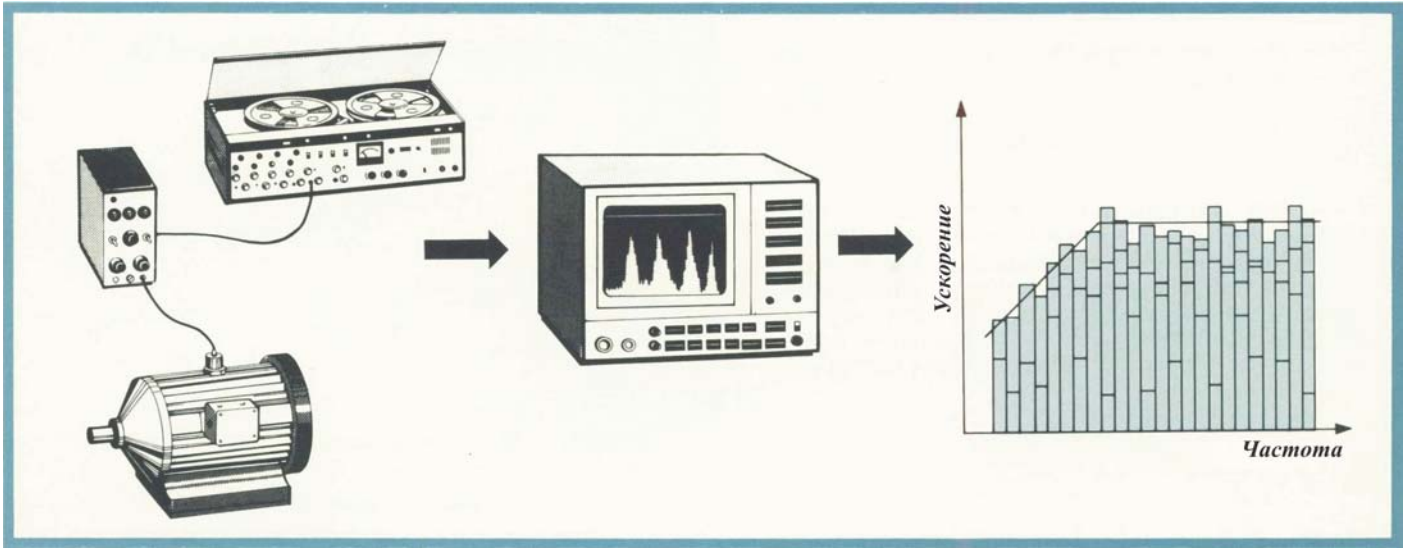


Испытание с качанием частоты в узком диапазоне

Расчет данных, полученных в испытаниях

Основной задачей стандартов испытаний является обеспечение воспроизводимости испытаний. В них приводится диапазон уровней испытаний, которые являются лишь общей информацией, недостаточной в применении к конкретному объекту, вследствие чего изготовитель или покупатель должны руководствоваться собственным опытом при выборе интенсивности необходимого воздействия.

В любом случае, основой технических требований к испытаниям служит хорошее знание предполагаемых условий эксплуатации. Такую информацию можно получить путем продолжительных измерений уровня вибрации в условиях эксплуатации, обычно с использованием портативной аппаратуры, включающей регистратор показаний контрольно-измерительных приборов. Полученные показания приборов затем анализируются, и рассчитанная информация используется при испытаниях.



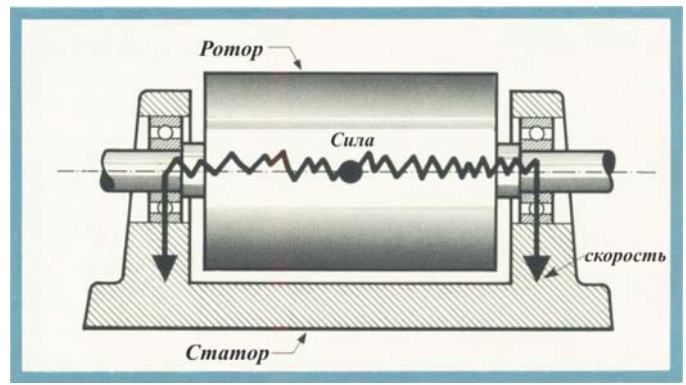
Структурные исследования

Изучение воздействия вибрации на конструкции предполагает измерение реакции объекта, в ответ на воздействие силы. Частотную реакцию часто называют механическим импедансом, однако, строго говоря, это сложное соотношение силы и скорости. В приведенной таблице перечисляются другие соотношения, включающие параметры вибрации, силы, ускорения, скорости, смещения.

Несмотря на то, что спектр любого параметра несет в себе одинаковую информацию, для характеристики вибрации повсеместно используется параметр скорости, так как опыт показывает, что он имеет наиболее «плоскую» кривую, что предполагает более широкий динамический диапазон. Скорость также наиболее близко связана с уровнем деформации конструкции. Таким образом, наиболее часто используемые параметры – это механический импеданс и подвижность.

К примеру, подвижность необходимо принимать во внимание при вибрационных испытаний машин с целью получения данных о механическом напряжении внутри оборудования. Эту силу нельзя измерить напрямую, а только через вибрационную реакцию на подшипниках и т. д. Реакция, в свою очередь, зависит от подвижности (импеданса) конструкции, и поэтому, например, изменение спектра подвижности после ремонта конструкции приведет к изменению измеряемой реакции.

Динамическая масса	$\frac{F}{a}$	Приведённое ускорение	$\frac{a}{F}$
Механический импеданс	$\frac{F}{v}$	Подвижность	$\frac{v}{F}$
Жёсткость	$\frac{F}{d}$	Коэффициент податливости	$\frac{d}{F}$



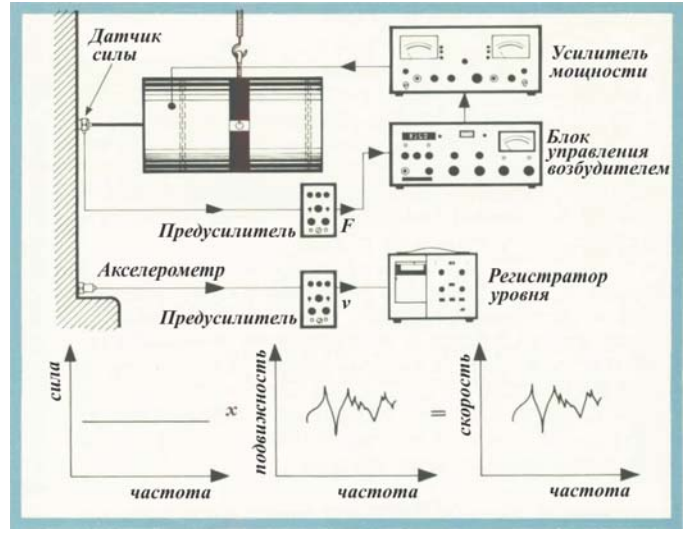
Механический импеданс и подвижность

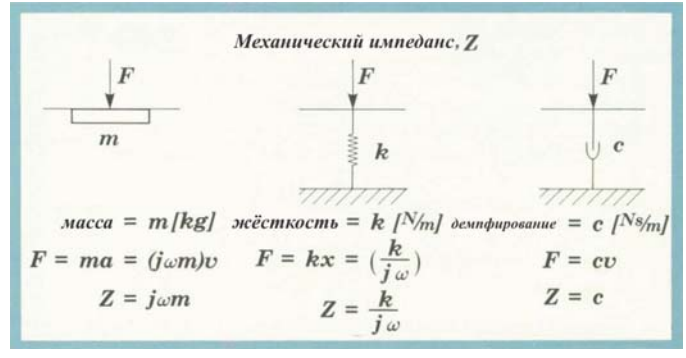
Спектр подвижности можно определить при помощи синусоидального колебания с приложением постоянной силы, вырабатываемой возбудителем и направленной на конструкцию. Сила затем передается толкателем и поддерживается на постоянном уровне при помощи аппаратуры, подобной той, которая используется в испытаниях на воздействие окружающей среды, с той лишь разницей, что уровень измеряется датчиком силы. Реакция измеряется акселерометром, после чего передается на регистратор, который синхронизирован с частотой генератора.

Аналогичным способом, а именно поддержанием постоянной скорости и измерением силы, можно определить и спектр импеданса.

В большинстве случаев, интерес представляет лишь поведение объекта в резонансе, и, так как сила в этом случае лишь компенсирует внутреннее демпфирование, то даже для крупных конструкций достаточно небольшого возбудителя. При испытаниях легких конструкций масса акселерометра должна быть малой, с тем, чтобы минимизировать влияние дополнительной массы на динамическое поведение конструкции.

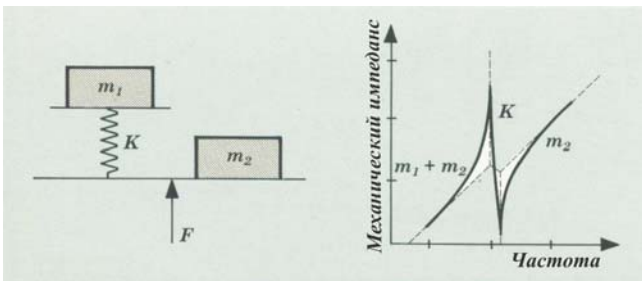
Для получения необходимой информации часто достаточно иметь график импеданса или подвижности в виде частотной функции, но иногда требуется дальнейший анализ реакции для получения полной картины динамических свойств.

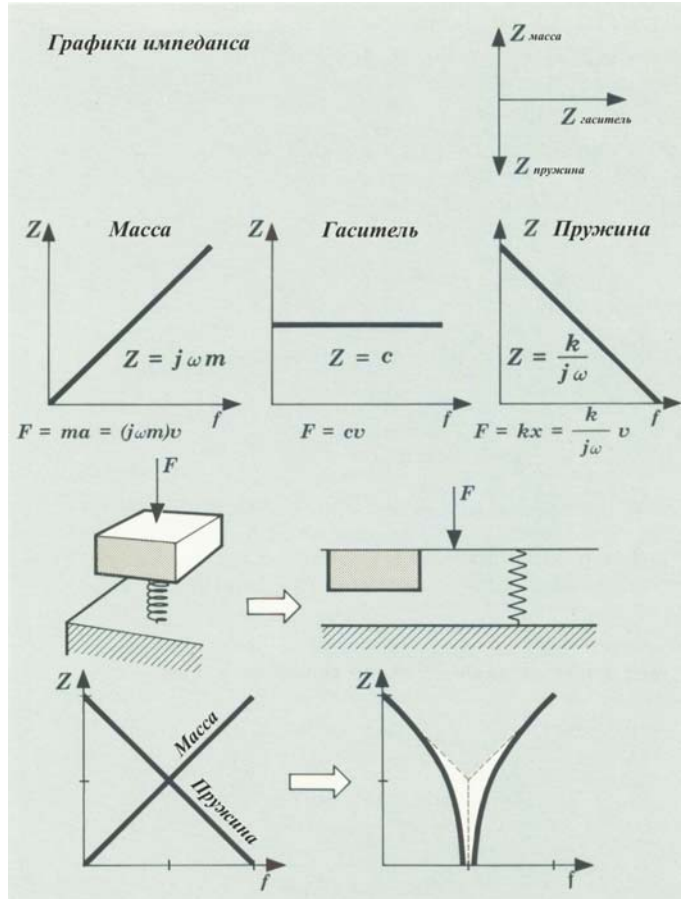




Сложение импедансов и мобильностей

На двойных логарифмических кривых импеданс одиночных элементов конструкции отображается в виде прямых линий, а исходя из кривых одиночных элементов, можно рассчитать кривые импеданса (мобильности) в сложных системах. На рисунке справа показана простая система «пружина-масса» без демпфирования с параллельным действием силы. Суммарный импеданс такой параллельной системы составляет векторную сумму двух одиночных импедансов, что можно отобразить в виде кривой импеданса. В то же время, в последовательной системе общая подвижность равняется сумме подвижностей. На рисунке ниже проиллюстрирована комбинированная (параллельно-последовательная) система, а также ее механический импеданс в виде функции частоты. Графики импеданса и подвижности не только дают информацию о резонансных частотах – отображаемое ими поведение (типа пружины или массы) дает конструктору ценную информацию о возможных модификациях.





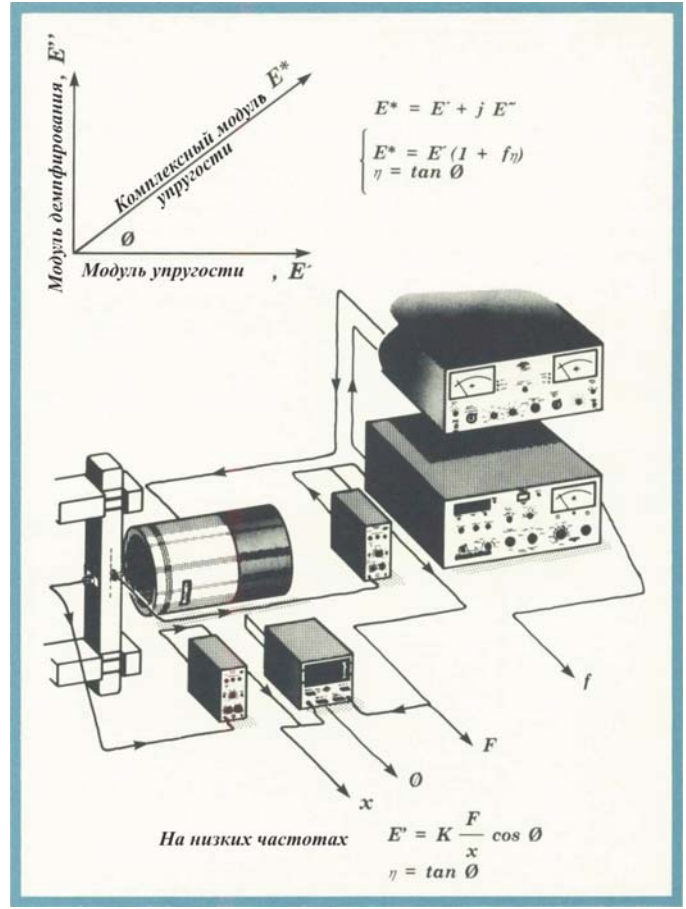
Комплексный модуль упругости

Модуль упругости E конструкции определяется соотношением напряжения σ к деформации ε. Статическое определения модуля не учитывает внутреннее демпфирование, вследствие которого напряжение и деформация при воздействии вибрации выходят из синфазности. Там, где необходимо учитывать внутреннее демпфирование, например, при испытаниях пластика, асфальта, бетона и других высокоэластичных материалов, измеряется комплексный модуль упругости.

Данный модуль представляет собой векторную сумму модуля упругости и модуля демпфирования. Это связано с коэффициентом потерь η материала, где η - тангенс фазового угла φ между модулем упругости и комплексным модулем упругости.

Таким образом, динамические испытания состоят из возбуждения с приложением постоянной силы и измерения соответствующих значений смещения и фазы.

На рисунке отображен один из методов с применением упрощенной формулы, где испытаниям подвергалась балка, возбуждаемая в средней точке синусоидальным воздействием. Формула включает коэффициенты коррекции для компенсации эффекта, вызываемого установкой щупа, датчиков и т. д.

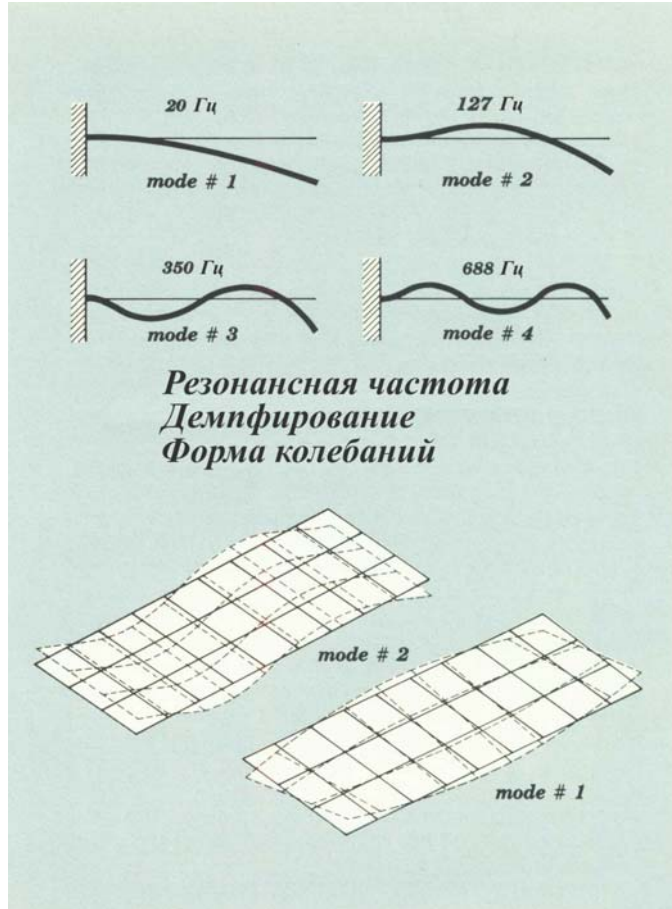


Анализ мод

Результатом измерения подвижности, или механического импеданса является функция частотной характеристики между точкой возбуждения и любой другой точкой конструкции.

Однако функция частотной характеристики существует между любыми точками конструкции, и, если описывать конструкцию таким образом, то в результате получится огромный набор функций. Поэтому необходимо сокращение данных, и нужен метод определения мод конструкции.

На определенных частотах, а именно собственных частотах, конструкция будет вибрировать по определенной форме, называемой формой моды. Эти частоты также являются резонансами конструкции и характеризуются минимальным значением на кривых механического импеданса и максимальным — на кривых подвижности.



Анализ резонанса

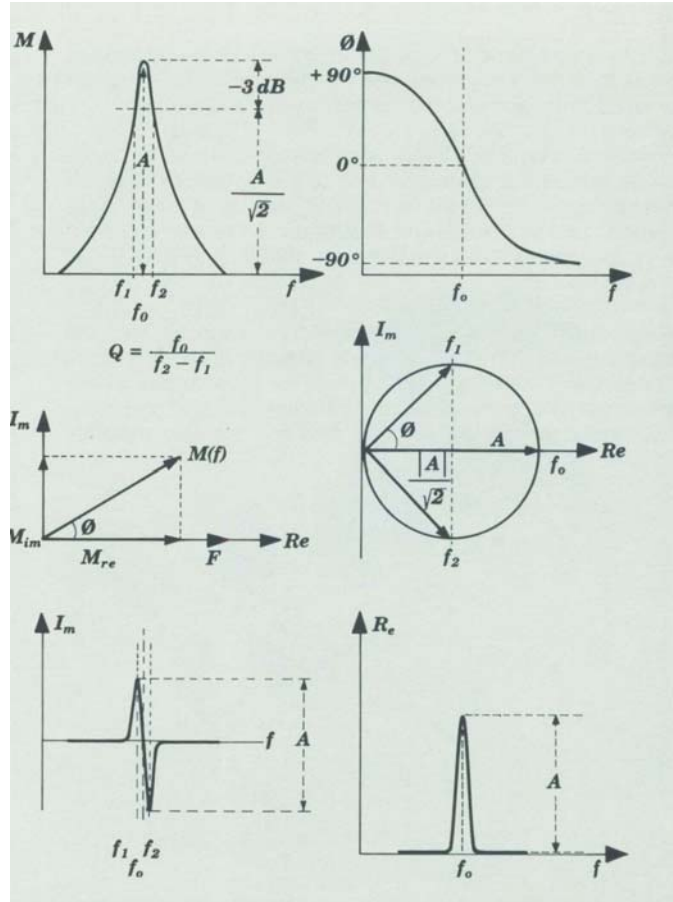
Поведение конструкции в резонансе отличает увеличение амплитуды вибрации и фазовый сдвиг между приложенной силой и реакцией. Более высокое демпфирование дает более низкий и широкий пик, а также фазовый сдвиг в более широком частотном диапазоне. Демпфирование определяется добротностью Q, которая связана с шириной спектра кривой реакции в точках половинной мощности (3дБ от максимальной амплитуды).

График фазы и амплитуды дает адекватную информацию о четко разделенных резонансах, но графики, на которых вершины кривых резонансов сильно перекрываются, сложно интерпретировать.

Наиболее удобным векторным графиком для выведения кривой реакции является диаграмма Найквиста. Оси диаграммы Найквиста – это действительная и мнимая части сигнала реакции. Модуль вектора равен амплитуде, а угол с осью действительных чисел равен фазовому углу между возбуждением и реакцией. Таким образом, каждая точка кривой соответствует определенной частоте.

Резонанс на такой диаграмме будет иметь вид окружности, при этом пересечение с осью происходит на резонансной частоте, а сама ось зависит от фазового соотношения между воздействием и реакцией. Размер окружности зависит от степени демпфирования – чем больше демпфирование, тем меньше окружность.

Вместо отображения зависимости действительной и мнимой части можно строить графики зависимости действительной и мнимой частей от частоты.

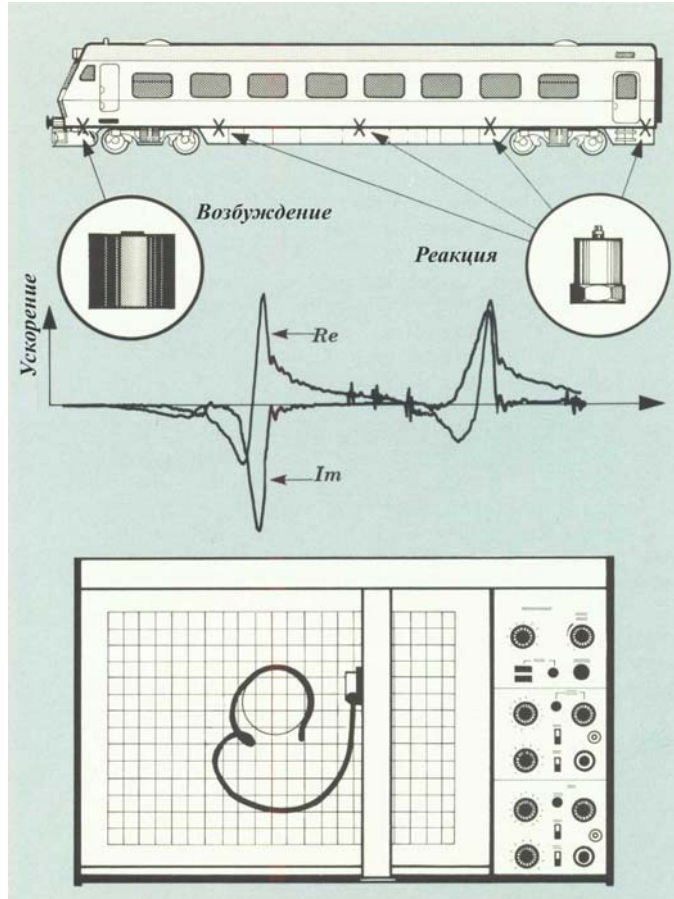


Использование комплексных графиков

Исходя из графика Найквиста, можно легко вычислить демпфирование, так как точки уровня 3 дБ легко найти. Однако на практике кривые не являются окружностями и не проходят через нуль по причине влияния других резонансов. Тем не менее, всегда можно начертить окружность, соответствующую кривой в резонансе. Эта окружность представляет собой реакцию для одиночной моды, и, исходя из этого, можно вычислить демпфирование.

При качании частоты каждый резонанс дает свою окружность, что иногда делает сложным определение резонансных частот. Таким образом, для анализа одиночного резонанса идеальным является график Найквиста, а уже для резонансной частоты больше подходят графики для компонентов комплексных величин в зависимости от частоты. В сравнении с графиком амплитуды, вершины кривых более узки, а направление пика свидетельствует о фазе между возбуждением и реакцией. Кривые, изображенные на рисунке, показывают, что испытуемая часть конструкции вибрирует с противоположными фазами на двух резонансных частотах.

Современные блоки управления возбудителями позволяют вычислять комплексные функции, представляя их виде аналоговых сигналов. При использовании цифровых анализаторов функции рассчитываются на основании данных по амплитуде и фазе, полученных при измерении спектров возбуждения и реакции.

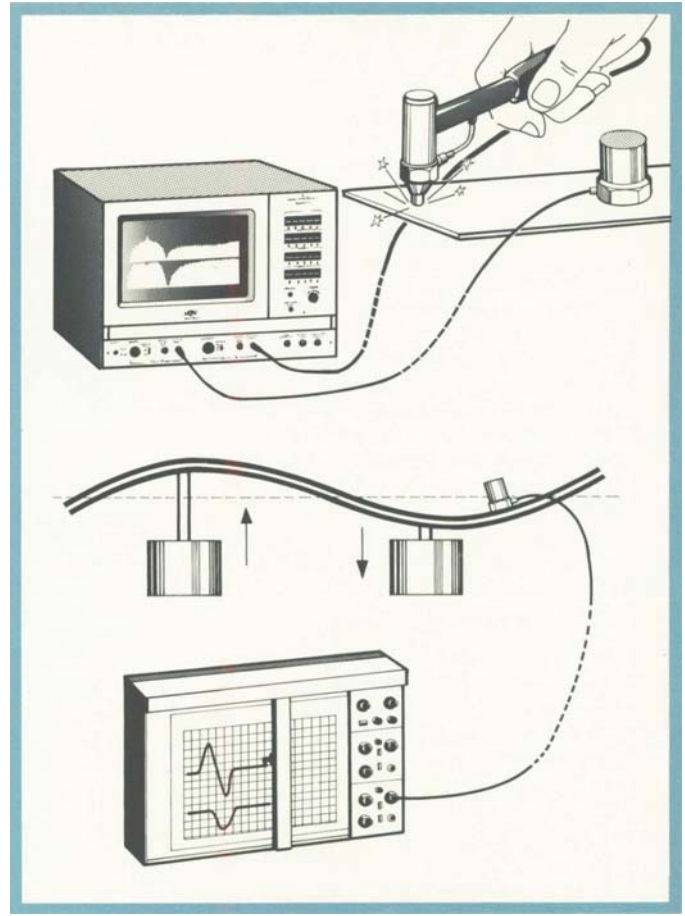


Методы возбуждения

Возбудитель является прекрасным средством для силового воздействия на конструкцию, которое анализируется посредством подачи синусоидального или широкополосного сигнала. В последнем случае, входные и выходные сигналы измеряются и анализируются при помощи метода быстрого преобразования Фурье (БПФ). Частотная характеристика рассчитывается на основании входного спектра, измеряемого датчиком силы, и выходного спектра, обычно измеряемого акселерометром.

Для создания широкополосного возбуждения вместо возбудителя можно использовать ударный молот с установленным на нем датчиком силы. Ударный метод является очень быстродейственным: в импульсе содержится энергия во всем частотном диапазоне, что вызывает возбуждение всех мод колебаний. Для организации такого испытания потребуется минимум времени и оборудования. Однако коэффициент «сигнал-шум» здесь является низким, и в применении к крупным, хрупким конструкциям с большой степенью демпфирования невозможно получить достаточно интенсивный ответный сигнал, не повредив испытуемый объект. Возбудитель вибрации имеет высокий коэффициент «сигнал-шум», характеризуется простотой управления с возможностью выбора формы сигнала возбуждения, а также возможностью возбуждать несколько точек одновременно.

Вне зависимости от метода возбуждения, ответная реакция изучается в соответствии с описанным в предыдущих главах, и для получения формы мод колебаний возбуждение или измерение ответного сигнала должно выполняться в нескольких точках конструкции.

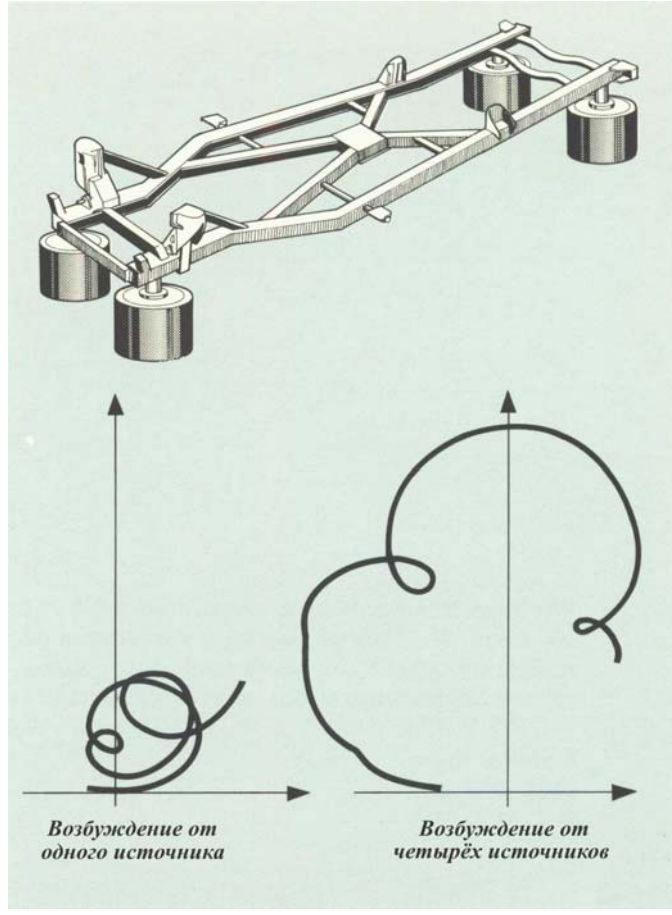


Многовибраторные системы

Предпосылкой для увеличения количества возбудителей на испытании может служить необходимость в более мощном воздействии или в распределении суммарной силы при помощи воздействия на различные точки, однако чаще всего многовибраторные системы используют с целью разделения мод вибрации.

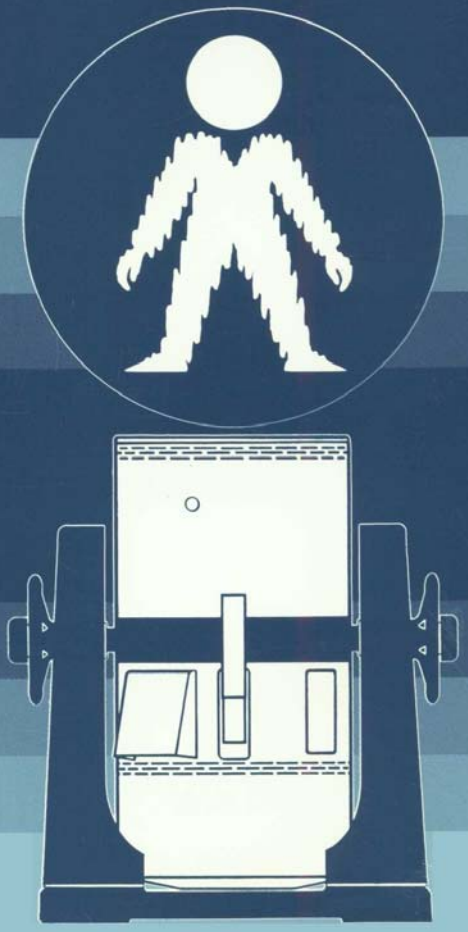
Если вибрация однородной конструкции происходит в одной чистой моде, все ее точки будут вибрировать либо в фазе, либо в противофазе, что на практике случается редко. Вибрация – это результат нескольких мод колебаний, что отображается на комплексном графике в виде окружностей, несимметричных по отношению к оси координат. При использовании нескольких возбудителей для одной конструкции, появляется возможность регулировать их относительную силу для устранения вибраций, обусловленных модами, отличными от изучаемой, в результате чего в комплексном графике появляется симметричность.

На каждую моду колебаний, подлежащую устранению, требуется возбудитель, однако обычно достаточно нескольких возбудителей для получения практически чистой моды. При небольшом количестве возбудителей можно настроить их силу вручную для синфазности или антифазности реакции. В больших же системах настройка возбудителей и обработка данных компьютеризированы.



Мы надеемся, что эта брошюра ответила Вам на множество вопросов, и будет всегда служить для Вас удобным справочным пособием. Если у Вас есть еще вопросы относительно методики измерений или измерительного оборудования, просьба связаться с нашими местными представительствами или написать непосредственно нам по адресу:

Brüel & Kjær
2850 Nærum
Denmark



Brüel & Kjær