

ТЕХПОДДЕРЖКА

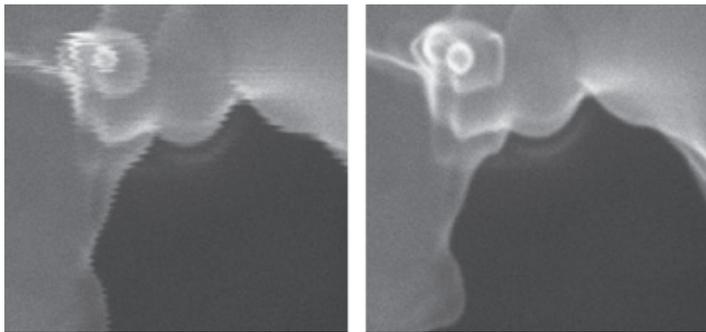
Защита от вибраций на производстве: виброизолирующие системы AVOS



Текст: Александр Фролов



Статья посвящена объяснению базовой концепции вибрации и технологии, используемой для подавления её воздействия на растровых электронных микроскопах, научно-исследовательских и лабораторных приборах.



1
Пример вибраций до и после виброизоляции

Вибрация – это колебание твердых тел. О вибрации также говорят в более узком смысле, подразумевая механические колебания, оказывающие ощутимое влияние на лабораторный прибор. Также вибрация – это механическое движение вокруг точки равновесия (рис 1). Другими словами, это механическое явление, когда к конструкциям или перекрытиям прилагается динамическая внешняя сила, вызывающая колебательное движение, которое повторяется через определенный промежуток времени. Среди других источников вибрации низкочастотная вибрация не ощущается во время повседневной деятельности, но может отрицательно влиять на высокопроизводительные метрологические инструменты в области полупроводников, производства дисплеев, электронной микроскопии, фотоники.

Классификация вибрации

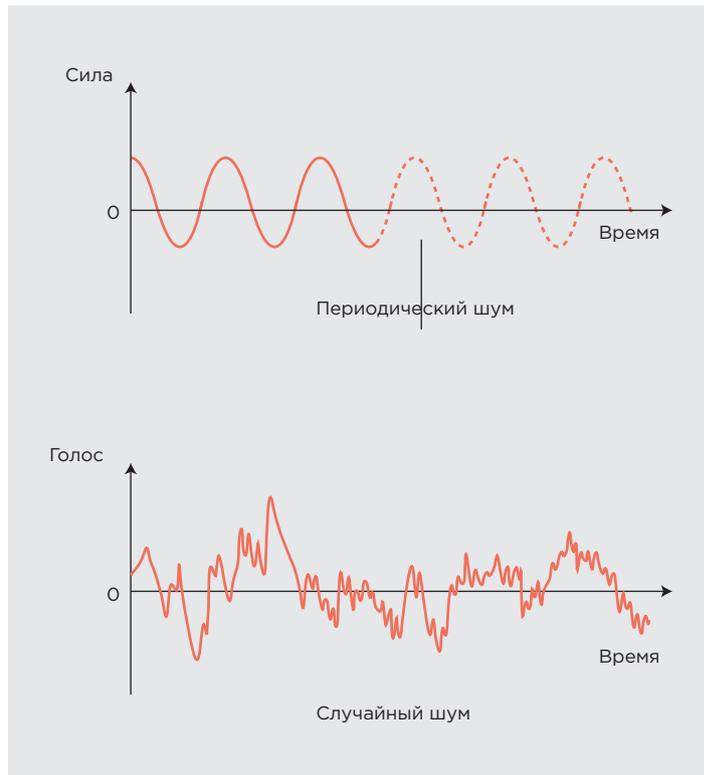
Периодический шум определяется как известная величина возбуждения, действующего на колебательную систему в любой момент времени. Обычно это вызвано вибрацией самого оборудования. Случайный шум вызван непредсказуемым возбуждением – скоростью ветра, неровность дороги, пешеходное и автомобильное движение, а также движение грунта во время различных действий (рис 2).

Источники вибрации в лабораториях

Вибрации грунта. Факторы, вызывающие вибрацию пола, включают пешеходное и автомобильное движение.

Внешние шумы. Ветер, дующий на здания, сейсмическая активность, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, многие другие типы механического оборудования в непосредственной близости. Вибрация зависит от того, как здание либо гасит эти колебания, либо передает их на конструкцию.

Акустические шумы. Факторы, которые непосредственно воздействуют на полезную нагрузку, например, громкий шум, ветер от вентиляторов, открытие и закрытие дверей.



2
Периодический и случайный вибрационный шум

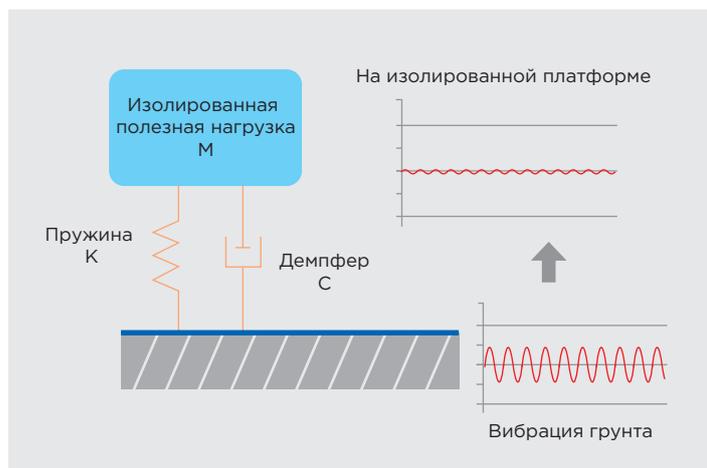
Прямая сила. Сила, которая непосредственно применяется к полезной нагрузке на платформе, включая кабели, соединяющие все оборудование, и моторизованные линейные ступени (рис 3).

Собственная частота и резонанс

Собственная частота – это частота, на которой система резонирует или колеблется, когда на неё не воздействует внешняя сила. Более высокая жесткость и меньшая масса указывают на высокую собственную частоту, а меньшая жесткость и большая масса – на низкую собственную частоту.



3
Источники вибраций



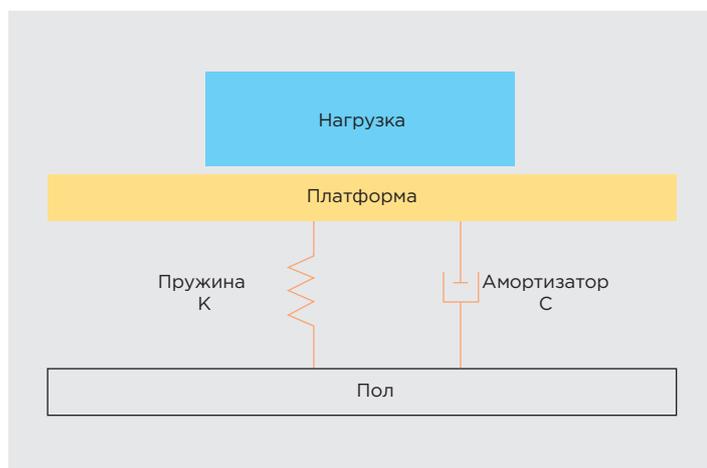
4

Изоляционная схема гашения вибраций

Резонанс возникает, если вынужденная частота совпадает с собственной частотой системы, что приводит к большим колебаниям. Частота, при которой амплитуда отклика является относительным максимумом, известна как резонансная частота. Такие материалы как эластомеры и пружины, часто используемые для виброизоляции, могут фактически ухудшить вибрацию полезной нагрузки, если их собственная или резонансная частота близки к той же частоте, что и вибрация, которую необходимо ослабить.

Виброизоляция

Виброизоляция – это процесс изоляции объекта от источников вибрации. Теория виброизоляции заключается в том, чтобы сделать собственную частоту системы ниже, чем вынужденная частота, и подавить резонанс на собственной частоте системы. Технология виброизоляции, по сути, требуется для изоляции вибраций от высокопроизводительных метрологических инструментов.



6

Пассивный метод гашения вибраций



5

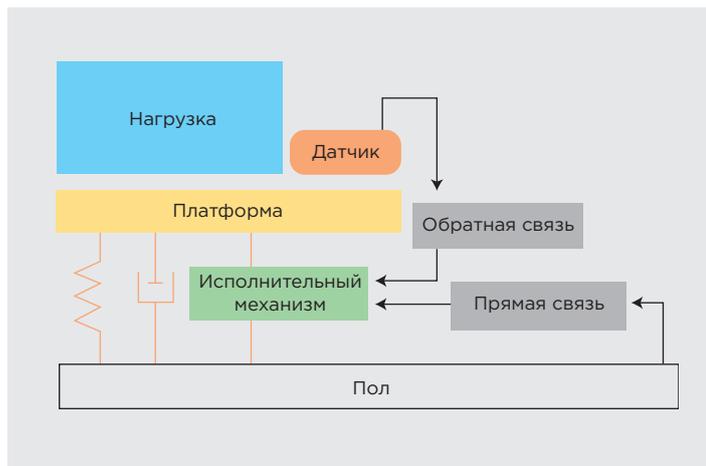
Трансmissивность (передаваемость вибраций)

Передачная способность (T) указывает отношение амплитуды вибрации, передаваемой на изолированную полезную нагрузку, к амплитуде возбуждающей вибрации. Эффективность виброизоляции повышается с более низкой собственной частотой, что означает, что чем ниже передаточная способность, тем лучше характеристики виброизоляции (рис 4). Соотношение частот является функцией принудительной частоты и собственной частоты системы и используется в качестве критерия оценки для определения характеристик виброизоляции.

Когда отношение частот достигает $1,414FN$, и T становится меньше 1 для всех превышающих значений, возникает эффект изоляции. Но когда коэффициент проводимости меньше 1,414, вибрация усиливается. Следовательно, частота проводимости ($1,414FN$) является разумным значением для определения предельной частоты каждой собственной частоты, поскольку частота проводимости ($1,414FN$) не зависит от значения демпфирования. Если отношение частот равно 1, то амплитуда вибрации максимальна (т. е. резонанс возникает, когда принудительная и собственная частоты совпадают).

Демпфирование – это уменьшение или ограничение механических колебаний путем рассеивания энергии, накопленной в колебательной системе. Незатухающая пружина приводит к пикам амплитуды колебаний на резонансной частоте. С другой стороны, демпфированная пружина уменьшает амплитуду колебаний при резонансе. Однако существует компромисс между характеристиками виброизоляции и демпфированием, при котором характеристики виброизоляции ухудшаются по мере увеличения демпфирования (рис 5).

Коэффициент демпфирования – это системный параметр, обозначаемый ζ (дзета), который может варьироваться от незатухающего ($\zeta = 0$) до недостаточно затухающего.



7

Активный метод гашения вибраций

Принципы системы пассивной виброизоляции

Система пассивной виброизоляции состоит из трех элементов: изолированной массы (полезная нагрузка), пружины (K) и демпфера (C), которые работают как гармонический осциллятор (рис 6). Полезная нагрузка и жесткость пружины определяют собственную частоту системы изоляции. Если пружина (изолятор) снижает передачу вибраций пола на изолированную полезную нагрузку, то демпфер устраняет колебания, которые усиливаются в системе изоляции. В большинстве случаев в системах пассивной изоляции используется пневматическая пружина благодаря ее низкой резонансной частоте, которая обеспечивает превосходную виброизоляцию и демпфирование.

Хотя простой состав системы изоляции позволяет достичь максимальной эффективности виброизоляции, существуют также ограничения, например, явление резонанса в диапазоне низких частот, более длительное время оседания, а также отсутствие возможности контроля.

Принципы АКТИВНОЙ системы виброизоляции

Система активной виброизоляции состоит из систем управления с обратной и упреждающей связью со встроенными датчиками и исполнительными механизмами для изоляции наиболее чувствительного оборудования от низкочастотной вибрации. Пассивные системы изоляции обычно усиливают эти вибрации из-за резонансных частот. Чувствительные датчики обнаруживают входящие вибрации во всех шести степенях свободы, а цифровой контроллер преобразует измеренные данные о вибрации, полученные от датчиков, в цифровые сигналы. Затем контроллер отправляет сигналы исполнительным механизмам, и исполнительные механизмы гасят вибрации, создавая равные и противоположные силы (рис 7).



8

Активная антивибрационная платформа AVOS

Системы активной виброизоляции AVOS на основе технологии Voice Coils

ООО «Остек-АртТул» предлагает клиентам собственную линейку виброзащиты AVOS, которая включает настольные изолирующие платформы (активные и пассивные), а также модульные системы для защиты от шумов тяжелого оборудования весом до 4000 кг (по требованию можно рассчитать конфигурацию и на оборудование большего веса).

Активные виброизолирующие платформы (рис 8) серии AVOS AR предназначены для защиты от шумов настольных измерительных приборов, таких как атомно-силовой микроскоп, зондовая станция, растровый или оптический микроскопы. В линейке AVOS реализованы наиболее современные конструкторские решения (рис 9).

В качестве активного элемента системы подавления шумов мы используем уникальную технологию электромагнитных приводов (Voice coils). В отличие от активных элементов предыдущего поколения, работающих на пьезоэффекте, электромагнитные приводы не имеют резонансов на низких частотах и обладают более широким диапазоном перемещения (для виброзащиты на пьезодатчиках он составляет порядка 20 мкм, для электромагнитных приводов – более 250 мкм). Это обеспечивает наиболее надежную защиту от шумов с частотой менее 2 Гц, а также позволяет эффективно подавлять даже очень сильные шумы.

Наши активные виброзащиты уникальны на рынке по своим техническим характеристикам. Если конкуренты заявляют 90 % поглощения шумов на частотах от 2,5 Гц, 3,5 Гц или 4 Гц, системы AVOS поглощают те же 90 % уже на частоте 1,5 Гц.

Полностью развязанная патентованная архитектура позволяет осуществлять отдельную обработку вибраций по трём осям X, Y и Z в шести степенях свободы. Благодаря этому минимизируется перекрёстное влияние шумов от различных источников в процессе их подавления.



9

Пример: установка растрового электронного микроскопа Сохем ЕМ 30АХР на активной антивибрационной платформе AVOS

Специальное программное обеспечение позволяет нашему инженеру подключаться по удалённому доступу и проводить тонкую настройку параметров активного подавления шумов, если в лаборатории появился новый источник вибраций. Интеллектуальные алгоритмы позволяют инженеру сдвигать полосу подавления в диапазоне от 0 до 3000 Гц, подстраиваясь даже под самые редкие источники. При этом виброизолирующие системы AVOS работают полностью в автоматическом режиме и не требуют пользовательской настройки.

Отдельно нужно отметить модульные активные виброизолирующие системы серии AVOS MD, предназначенные для защиты от шумов крупногабаритных аналитических приборов (РЭМ, ТЭМ и т. п.) и установок для полупроводникового производства.

В зависимости от веса изолируемый прибор можно установить на 4-8 активных платформ. Мы специально минимизировали их размер, который составляет 270 × 230 × 75 мм. Благодаря этому установка системы AVOS MD очень проста – для нее не требуется поднимать уровень пола в лаборатории, что очень часто приходится делать при использовании аналогичных установок других производителей.

Кроме активных вибростолов и систем изоляции в линейке AVOS есть и пассивные решения (AVOS ST), в которых изоляция осуществляется с помощью амортизированных пружин. Пассивные решения также могут предлагаться как настольные платформы для небольшого оборудования или как системы платформ для тяжёлых аппаратов.

Особенность наших пассивных решений заключается в том, что мы смогли минимизировать их резонансы в области низких частот до 3-4 Гц. Любая пассивная система изоляции из-за этих резонансов усиливает шумы в диапазоне частот вплоть до 10 Гц, особенно когда речь идет не об одночастотном шуме, а о пакете шумов. Усиление шума в AVOS ST на низких частотах в несколько раз меньше, чем у оптических столов на пневмозащите, что делает их значительно удобнее. При этом на высоких частотах они по характеристикам не уступают аналогам.

Опционально вместе с системой активной виброзащиты мы можем поставить генераторы вибраций, «шейкеры». С их помощью можно создавать вибрацию определённой частоты на рабочем месте и считывать ответную реакцию в точке расположения изолируемого прибора.

Даже незначительные вибрации при работе с лабораторным оборудованием, например, с растровым электронным микроскопом, зондовой станцией или профилометром, могут помешать получить качественный и точный результат, поэтому эти вибрации необходимо исключить. Активные антивибрационные платформы AVOS – оптимальное решение данной задачи:

- можно использовать для оборудования лабораторного класса;
- нет специальных требований к подключению, работают без сжатого воздуха и имеют малые габариты;
- позволяют оптимально изолировать самые чувствительные системы лабораторного оборудования;
- выпускаются с разными моделями виброизоляции (пассивные и активные);
- активную антивибрационную платформу достаточно отключить от электропитания, чтобы она стала пассивной.