

Дополнительные указания к лабораторной работе 36.

Основные закономерности простых колебательных систем.

Лабораторная работа состоит из трех частей. Первая часть — измерение статического прогиба стержня при различных нагрузках. Эту часть работы делать не нужно. Вторая часть — изучение вынужденных колебаний и измерение резонансной амплитудно-частотной характеристики колебательной системы. Третья часть — изучение затухающих колебаний.

Первым делом нужно получить у лаборанта колебательную систему — стержень прямоугольного сечения с размерами примерно (100*3*1) миллиметров. Стержень имеет заостренный конец, колебание которого и нужно будет наблюдать. Укрепите стержень. Включите лампу и направьте ее свет на конец стержня. Для этого поставьте руку за стержнем, направьте свет на ладонь руки. Свет освещает конец стержня, если на ладони видна тень от конца стержня.

Кроме стержня нужно получить у лаборанта подзорную трубу. В эту трубу нужно будет рассматривать конец стержня. Удобнее рассматривать освещенный стержень, когда он находится на сером или черном фоне. В качестве фона можно использовать описание лабораторной работы, если у описания серая обложка, или черный магазин сопротивлений, или черную сумку. Труба состоит из двух линз и шкалы. На шкале есть цифры — это миллиметры и есть более мелкие деления. Одной рукой держите трубу, а другой — поворачивайте ближнюю к глазу линзу — окуляр. Поворотом окуляра относительно трубы добейтесь резкого изображения шкалы.

Укрепите трубу. Подберите расстояние от трубы до стержня так, чтобы конец стержня был виден в трубу резко. Это может вызвать некоторые затруднения. Тогда сначала попробуйте увидеть в трубу ладонь своей руки, перемещая руку при неподвижной трубе. Запомните примерное расстояние от трубы до руки, когда руку видно резко. Теперь попытайтесь увидеть в трубу стержень, расположив трубу примерно на том же расстоянии, на котором была рука, когда ее было видно резко.

Если настроить трубу не слишком хорошо, то при малых вертикальных смещениях глаза изображения острого конца стержня и шкалы будут смещаться относительно друг друга. Это означает, что изображения находятся в разных плоскостях. Окончательно подобрать расстояние между трубой и стержнем нужно так, чтобы изображения шкалы и стержня не смещались друг относительно друга при смещении глаза.

Экспериментальная установка содержит источник постоянного напряжения 40 Вольт, ключ, звуковой генератор, электромагнит. Все эти элементы следует включить последовательно. Не бойтесь, генератор невозможно случайно подключить так, чтобы он испортился. Установите по шкале генератора частоту примерно 100 Гц. Установите большую амплитуду напряжения генерации. Амплитуда контролируется стрелочным прибором генератора.

Электромагнит нужно установить под стержнем, на 1 мм ниже стержня и по возможности ближе к закрепленному концу стержня. Электромагнит притягивает стержень независимо от направления тока в обмотке. Если на обмотку подать синусоидальное напряжение, то сила притяжения будет пропорциональна квадрату напряжения. Квадрат синуса содержит слагаемое с косинусом удвоенной частоты. Следовательно, вынуждающая сила будет совершать колебания на частоте вдвое больше частоты напряжения с генератора. Это неудобно. Чтобы исправить положение на обмотку электромагнита подают сумму постоянного напряжения 40 Вольт и напряжения с генератора. Тогда квадрат напряжения содержит кроме слагаемого на удвоенной частоте слагаемое на частоте генератора. Будем считать, что именно это слагаемое и раскачивает стержень.

Первым делом после включения электрической схемы нужно найти резонансную частоту колебаний стержня. Для этого нужно достаточно медленно изменять частоту генерации в диапазоне от 30 до 150 Гц, наблюдая за амплитудой колебаний стержня без помощи трубы. На резонансной частоте амплитуда колебаний увеличится в сотни раз. Как обсуждалось выше, квадрат синуса содержит слагаемое с косинусом удвоенной частоты, поэтому может оказаться, что стержень раскачивается на частоте вдвое большей, чем частота генератора. Чтобы убедиться, что стержень раскачивается именно на частоте генератора нужно, поймав резонанс, удвоить частоту генератора и убедиться, что на удвоенной частоте резонанса нет.

Найдя приблизительно резонансную частоту колебаний, следует подобрать амплитуду напряжения генератора. Для этого нужно уменьшить амплитуду напряжения генератора так, чтобы размах (удвоенная амплитуда) колебаний острого конца стержня составил примерно 5 мм. Из-за нелинейных процессов резонансная частота колебаний несколько зависит от амплитуды колебаний. Поэтому, уменьшив амплитуду, нужно вновь поискать генератором резонансную частоту колебаний вблизи уже известного значения частоты для прежней большей амплитуды. Если на новой резонансной частоте амплитуда снова оказалась слишком большой, то ее нужно снова уменьшить до 5 мм, снова поискать резонансную частоту и т. д.

В результате вы нашли резонансную частоту колебаний и подобрали амплитуду напряжения генератора так, чтобы размах колебаний составил примерно 4–5 мм. Запишите значение резонансной частоты.

Теперь нужно снять амплитудно-частотную характеристику колебательной системы. Для этого нужно измерить зависимость размаха колебаний от расстройки (разности) частоты генератора относительно частоты резонанса колебаний. Размах колебаний нужно измерять в миллиметрах по шкале подзорной трубы. Расстройка частоты генератора слишком мала, чтобы ее измерять по основной шкале генератора. Поэтому нужно воспользоваться специальной ручкой генератора, позволяющей изменять частоту в пределах $\pm 1.5\%$ от значения частоты, установленного по основной шкале. Результаты измерений каждой точки зависимости размаха от расстройки нужно сразу же отображать на графике в Вашем рабочем журнале. По результатам измерений должна получиться колоколообразная зависимость,

похожая на $y = \frac{1}{1+x^2}$. Если не пытаться сразу же строить график, то окажется, что около максимума измеряемой зависимости измеренных точек слишком мало для того, чтобы найти высоту максимума. По измеренной ширине на уровне $\frac{1}{\sqrt{2}}$ высоты зависимости размаха колебаний от расстройки частоты вы рассчитаете добротность колебательной системы.

Может оказаться, что зависимость размаха колебаний от частоты при изменении частоты снизу вверх отличается от графика при изменении частоты сверху вниз. По этой причине нельзя бессистемно менять частоту то в одну то в другую сторону. Нужно провести измерения сначала с монотонным увеличением частоты, а затем с монотонным уменьшением частоты. В обоих случаях каждую измеренную точку надо сразу ставить на графике в рабочем журнале до измерения следующей точки, иначе может оказаться, что при построении графика вы будете неприятно удивлены.

Следующая часть работы — изучение затухающих колебаний. Установите резонансную частоту, соответствующую максимальной амплитуде колебаний. Установите размах колебаний 10–12 мм. Размыкая ключом цепь питания электромагнита, нужно измерить секундомером время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в два, три или четыре раза. Наверное, в четыре раза — удобнее.

Возбудить затухающие колебания можно и другим способом. Разомкните цепь питания электромагнита, оттените конец стержня вниз или вверх от положения равновесия и отпустите стержень. Наблюдая за колебаниями в подзорную трубу, можно включить секундомер тогда, когда размах колебаний будет составлять 8 мм, и остановить секундомер, когда размах будет равен 2 мм. Проведите измерение раз десять, чтобы усреднить результат. По измерениям рассчитайте коэффициент затухания системы.

Последняя часть работы состоит в том, чтобы, используя строботометр, прокалибровать шкалу расстройки частоты генератора на $\pm 1.5\%$.

Строботометр — это лампа-вспышка с измеряемой и изменяемой частотой вспышек. Переведите переключатель "сеть" строботометра в среднее положение, дайте прибору прогреться пару минут, переведите переключатель "сеть" в правое положение. В правом положении включается лампа-вспышка. Строботометр имеет три диапазона частоты вспышек. Выберите переключателем нужный диапазон и по соответствующей ему шкале измеряйте частоту вспышек лампы. Частота указана в оборотах в минуту, если число, указанное на шкале прибора, умножить на 100. Разделите частоту в оборотах в минуту на 60 и получите частоту в Герцах. Осветите колеблющийся конец стержня лампой-вспышкой, а обычную лампу выключите. Если частота вспышек совпадает с частотой колебаний стержня, то вы увидите стержень, подсвеченный в одной и той же фазе колебания. Если частоты различаются, то подсвеченное состояние стержня будет совершать колебания с разностной частотой. Установите частоту строботометра равной частоте генератора. Вы должны увидеть стержень, подсвеченный в одной и той же фазе колебаний. Затем удвойте частоту вспышек строботометра. Теперь Вы должны увидеть подсвеченный стержень в двух разных фазах или как бы два стержня. Если Вы по-прежнему видите один стержень, то новая, а не старая, частота вспышек совпадает с частотой колебаний стержня и, следовательно, частота колебаний стержня вдвое выше частоты генератора. В таком случае частоту генератора нужно удвоить и поискать резонансное увеличение амплитуды колебаний стержня около этой новой частоты.

Установите частоту строботометра равной резонансной частоте колебаний стержня. Измените частоту колебаний на 1.5% по шкале расстроек генератора синусоидального напряжения. Измерьте частоту биений колебания стержня и лампы вспышки по секундомеру. Сравните измеренную частоту с частотой рассчитанной, как 1.5% от резонансной частоты. Найдите поправочный коэффициент к шкале расстроек генератора. График размаха колебаний от частоты расстройки строите с учетом поправочного коэффициента.