

В этой задаче не требуется оценка погрешностей!

Комплект оборудования включает в себя набор из двух пьезоэлектрических элементов, которые могут быть использованы как приёмник и передатчик акустических волн. Приёмник и передатчик следует установить на направляющую. Шкала на направляющей позволяет определить расстояние между устройствами. Сигнал на передатчик подаётся с генератора сигналов. Параметры сигналов, поступающих на передатчик и приёмник, можно анализировать с помощью осциллографа.

Оборудование

Приёмник и передатчик акустических волн, направляющая, генератор сигналов, осциллограф, соединительные кабели.

1 Измерение параметров пьезоэлектрических элементов

Пьезоэлектрические элементы, используемые в эксперименте, рассчитаны на работы с гармоническим сигналом фиксированной (рабочей) частоты. Сигналы других частот пьезоэлемент принимает и передает значительно хуже.

Задание:

В случае отсутствия опыта работы с осциллографом и генератором, подключите генератор напрямую к осциллографу. Попробуйте при различных типах сигнала, подающегося с генератора, получить стабильную картинку на экране осциллографа в режиме триггера «Авто».

Установите приёмник и передатчик на рельс таким образом, чтобы резонаторы располагались напротив друг друга на расстоянии порядка 10 см. Подключите приборы согласно рис. 1 (1 - генератор сигналов, 2 - осциллограф, 3 - передатчик, 4 - приёмник, 5 - первый канал осциллографа, 6 - второй канал осциллографа). Настройте генератор на режим подачи синусоидального сигнала максимальной амплитуды. Получите стабильную картинку на экране осциллографа в триггерном режиме «Авто» по первому каналу (каналу, подключенному к передатчику). Изменяя частоту генератора, наблюдайте за изменением амплитуды сигнала, поступающего с приёмника. Определите с точностью до третьего знака значение частоты f_0 генератора, при которой сигнал на приёмнике максимальный. Учтите, что частота f_0 порядка десятка кГц.

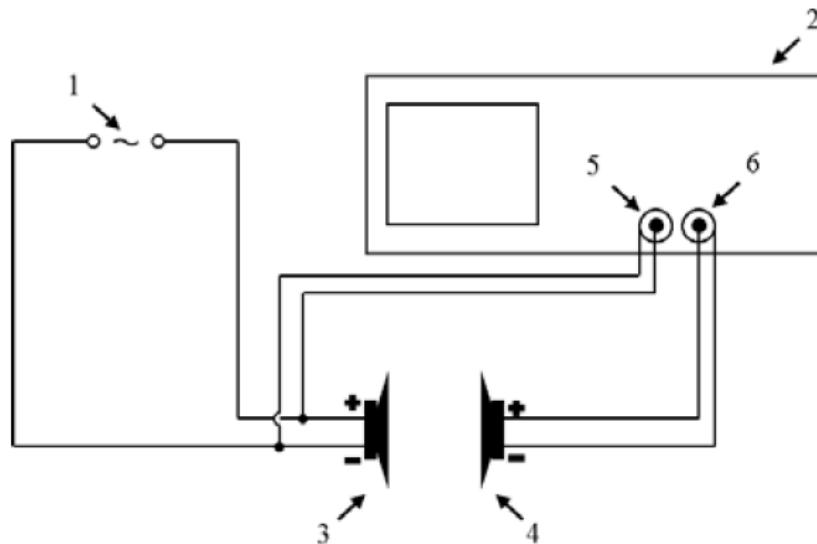


Рис. 1. Схема подключения.

2 Измерение скорости распространения акустических волн в воздухе

Задание

Не меняя частоты генератора, найденной в пункте 1, перемещайте приемник относительно передатчика по рельсу. Осциллограмма канала приемника в этом случае будет перемещаться по экрану относительно осциллограммы передатчика. По величине этого смещения определите длину упругой волны, созданной передатчиком в воздухе. Проведите измерения не менее, чем для 5-ти расстояний между приёмником и передатчиком.

Рассчитайте скорость звука в воздухе по полученным данным.

3 Изучение рядов Фурье

Любую периодическую функцию можно представить в виде бесконечного ряда, представляющего собой сумму гармонических функций (рис. 2):

$$f(x) = const + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx). \quad (1)$$

a_n, b_n - численные коэффициенты.

На практике это представление часто используют для анализа электрических сигналов. Анализируемый сигнал – периодическая функция напряжения от времени $U(t)$ – представляется в виде суммы гармонических сигналов с частотой $\omega_n = n\omega$:

$$U(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t), \quad (2)$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$, где T – характерный период сигнала.

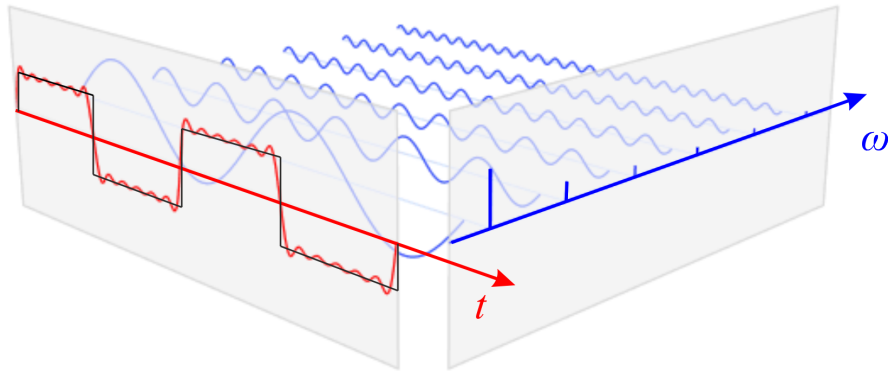


Рис. 2. Представление периодического сигнала в виде суммы гармонических функций.

Установим приемник и передатчик на направляющую таким образом, чтобы резонаторы располагались вплотную друг к другу. Подадим на передатчик какой-либо сигнал с частотой ω . С помощью осциллографа будем считывать напряжение на выводах приёмника (выходной сигнал). В этом случае система, образованная двумя пьезоэлектрическими элементами, будет работать как фильтр, выделяющий из сигнала, подаваемого на передатчик, гармонический сигнал частоты, равной рабочей частоте ω_0 пьезоэлектрического элемента. Если уменьшить частоту сигнала, подаваемого на передатчик, в n раз, приёмник будет принимать гармонический сигнал с частотой $\omega_0 = n\omega = \omega_n$. Таким образом, мы можем проанализировать по отдельности слагаемые ряда Фурье, в виде которого можно представить подаваемый на передатчик сигнал.

Стоит учитывать, что система «передатчик – приёмник» имеет свой коэффициент передачи k , связывающий амплитуду гармонического сигнала U_{in} частоты ω_0 , подаваемого на передатчик, и амплитуду сигнала U_{out} на выходе приёмника:

$$k = \frac{U_{out}}{U_{in}}.$$

Его следует учитывать, решая задачу об определении параметров a_n, b_n

3.1 Представление сигнала прямоугольной формы в виде ряда Фурье

Импульсами прямоугольной формы называют импульсы, которые можно проиллюстрировать рисунком 3.

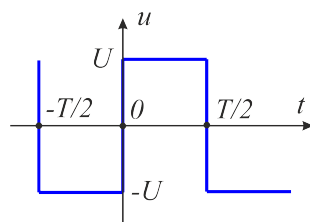


Рис. 3. Сигнал прямоугольной формы.

Для таких импульсов представление в виде ряда (формула (2)) имеет следующий вид:

$$\bar{U}(t) = U \frac{a}{\pi} \sum_{p=1}^{\infty} \left(\frac{\sin p\omega t}{p} \right), \quad p = 1, 3, 5\dots$$

a - некоторое целое число, которое требуется найти в этом упражнении.

Задание:

В течение этого и следующего упражнений положения приёмника и передатчика должны оставаться неизменными!

1. Установите приёмник и передатчик на направляющую таким образом, чтобы резонаторы располагались вплотную друг к другу.

Настройте генератор таким образом, чтобы он создавал гармонический сигнал. Подключите генератор и осциллограф к передатчику и приёмнику по схеме, изображённой на рис. 1. На генераторе установите максимальное значение амплитуды выходного сигнала. С помощью осциллографа измерьте амплитуды сигналов U_{in} и U_{out} на приёмнике и передатчике. Вычислите коэффициент k .

2. Настройте генератор таким образом, чтобы он создавал сигнал прямоугольной формы.
3. Подавая на передатчик сигналы с характерными частотами $\omega_0, \frac{\omega_0}{3}, \frac{\omega_0}{5}, \dots, \frac{\omega_0}{p}, \dots$, измерьте зависимость амплитуды напряжения U на выходе приёмника от числа p . Поддерживайте амплитуду сигнала генератора неизменной в течение всего эксперимента.
4. Используя результаты проведённых измерений, определите число a . Методика расчетов должна включать в себя построение как минимум одного линейного графика.

3.2 Представление сигнала треугольной формы в виде ряда Фурье

Импульсами треугольной формы называют импульсы, которые можно проиллюстрировать рисунком 4.

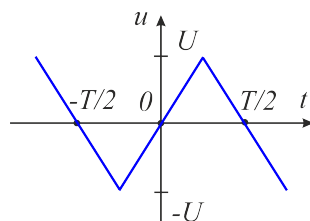


Рис. 4. Сигнал треугольной формы.

Для таких импульсов представление в виде ряда (формула (2)) имеет следующий вид:

$$\hat{U}(t) = U \frac{b}{\pi^2} \sum_{l=1}^{\infty} (-1)^{\frac{l-1}{2}} \left(\frac{\sin l\omega t}{l^2} \right), \quad l = 1, 3, 5\dots$$

b, d - некоторые целые числа, которое требуется найти в этом упражнении.

Задание:

1. Настройте генератор таким образом, чтобы он создавал сигнал треугольной формы.
2. Подавая на передатчик сигналы с характерными частотами $\omega_0, \frac{\omega_0}{3}, \frac{\omega_0}{5}, \dots, \frac{\omega_0}{l}, \dots$, измерьте зависимость амплитуды напряжения U на выходе приёмника от числа l . Поддерживайте амплитуду сигнала генератора неизменной в течение всего эксперимента.
3. Используя результаты проведенных измерений, определите числа b и d . Методика расчетов должна включать в себя построение как минимум одного линейного графика.