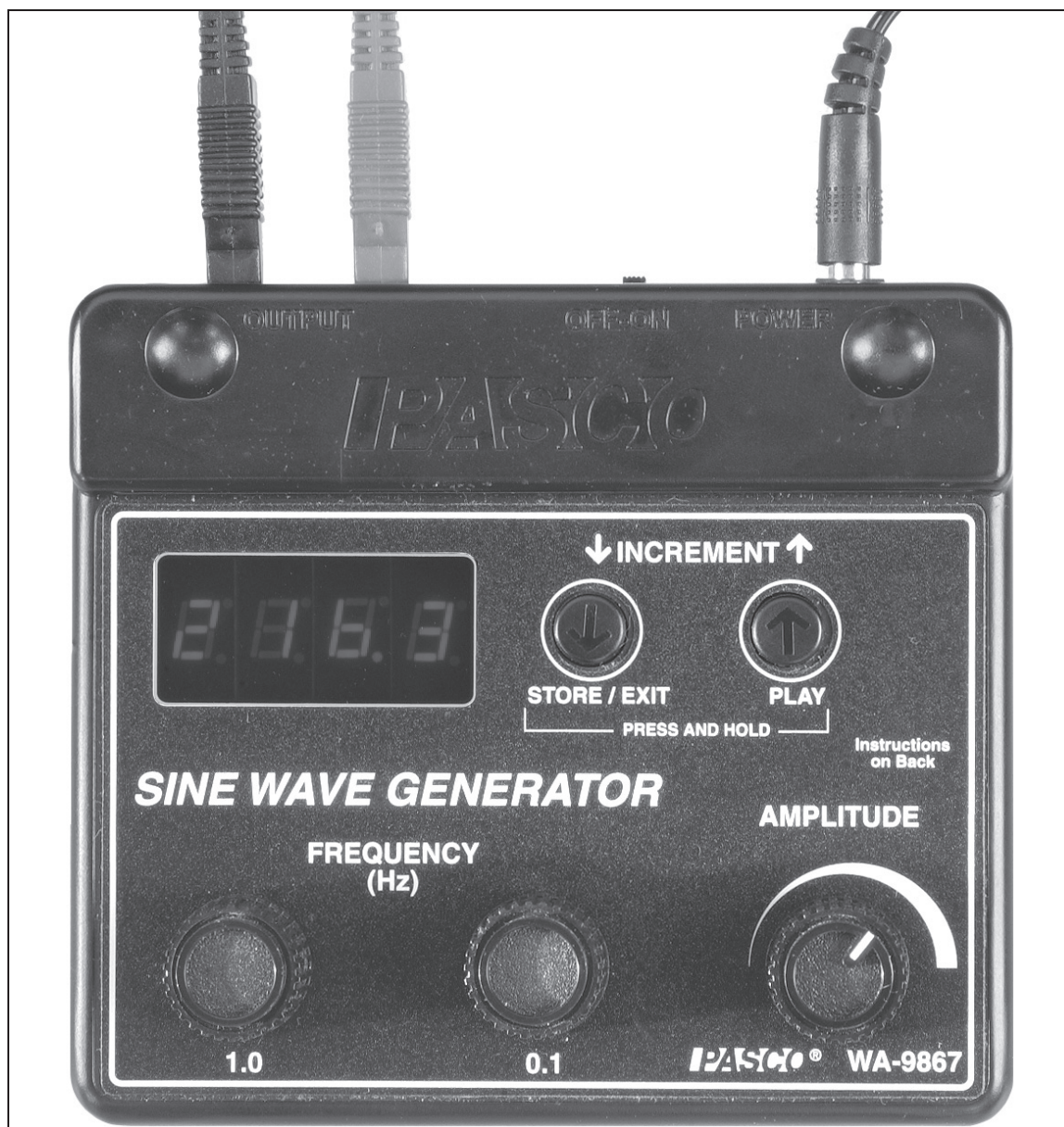


Струнный синусоидальный генератор волн PASCO

Артикул WA-9867



Содержание

Введение	3
Настройка оборудования	4
Эксплуатация	5
Спецификации	9
Рабочая схема	10
Применение	11
Эксперимент 1: Стоячие волны в струнах	15
Эксперимент 2: Резонансные трубы	21
Эксперимент 1: Заметки преподавателя – стоячие волны в струнах	27
Эксперимент 2: Заметки преподавателя – резонансные трубы	29
Техника безопасности	31
Техническая поддержка	31
Авторское право и гарантия	31

Струнный синусоидальный генератор волн PASCO

Артикул WA-9867



струнный синусоидальный генератор волн

ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Входящее в комплектацию оборудование

- Струнный синусоидальный генератор волн PASCO
- Источник питания

Артикул

- WA-9867
- 540-057

Предлагаемое дополнительное оборудование

- Устройство для демонстрации струнных колебаний
- Механический генератор волн для демонстрации струнных колебаний
- Механический генератор волн PASCO
- Динамик открытого типа
- Резонансная труба
- Набор проводов

Артикул

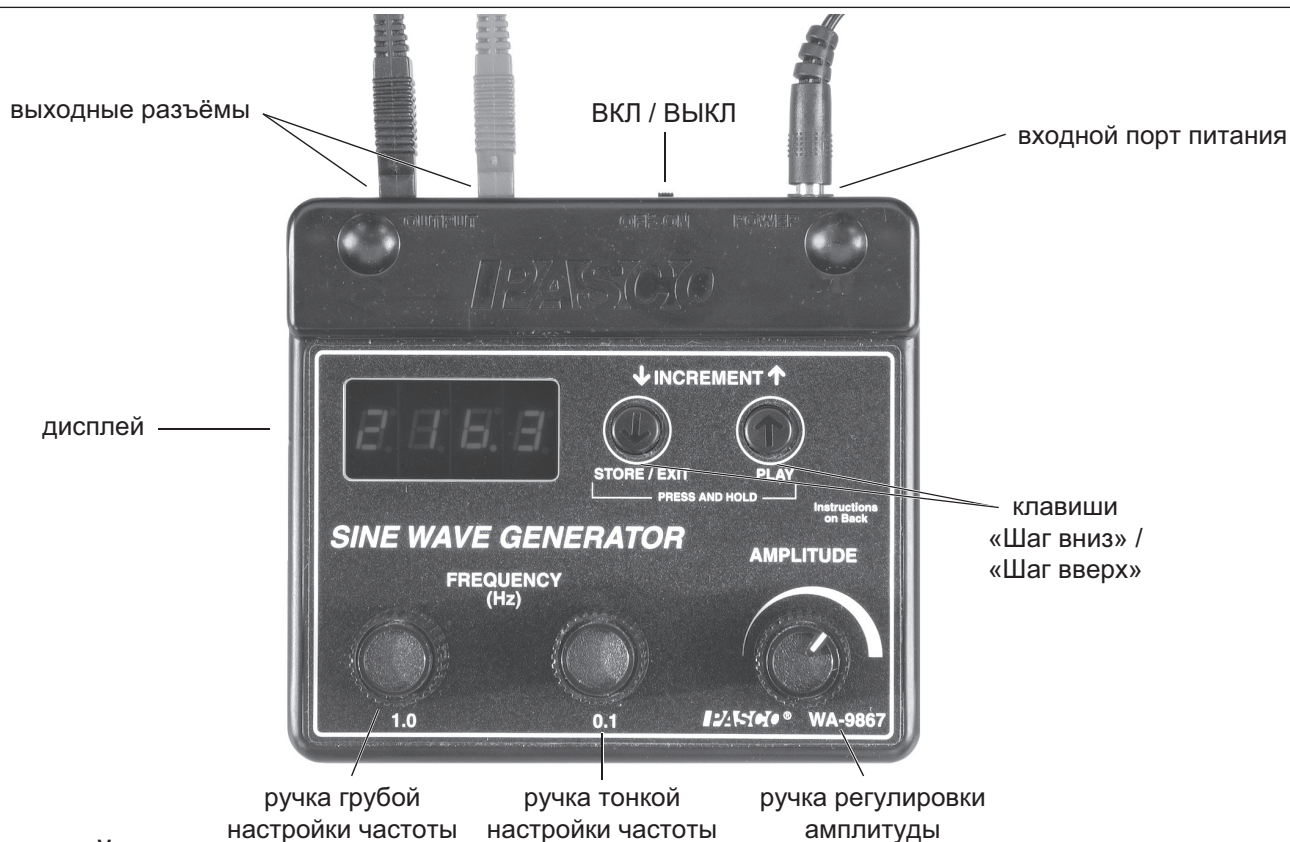
- WA-9858
- WA-9854
- SF-9324
- WA-9900
- WA-9495
- SE-7123

Введение

Струнный синусоидальный генератор волн PASCO питает переменным током регулируемой частоты динамики, генераторы волн, устройства для демонстрации струнных колебаний. Благодаря цифровому дисплею и удобной регулировке частоты и амплитуды генератор идеально подходит для работы в студенческих лабораториях.

Для расширения возможностей и организации демонстрационных показов с автоматической вариацией сигнала предусмотрены следующие дополнительные функции: Auto Play (автоматическое воспроизведение), Advanced Mode (расширенный режим) с записью и воспроизведением.

Струнный синусоидальный генератор волн PASCO вырабатывает переменный ток с амплитудой напряжения до 10 Вольт (20 Вольт – от пика к пику) и силой тока 1 ампер. Диапазон выходной частоты с шагом регулировки 0,1 Гц составляет 1 – 800 Гц.



Настройка

Питание на генератор

К входному порту питания на струнном синусоидальном генераторе волн PASCO подключите входящий в комплект поставки источник питания. Чтобы включить прибор, сдвиньте ползунок выключателя вправо.

Питание от генератора

К выходным разъёмам струнного синусоидального генератора волн подключите какое-либо устройство, например, динамик или устройство для демонстрации струнных колебаний. Для подключения понадобятся два съёмных соединительных шнура со штекерами типа «банан». На разъёмах формируются сигналы переменного тока с противоположными фазами, поэтому полярность соблюдать не обязательно (обратите внимание, что выходы не заземлены).

Если в цепи, к которой подключен генератор, происходит короткое замыкание, защита устройства от короткого замыкания отключит выработку питания. Устраните короткое замыкание и завершите цикл для восстановления выработки питания.

Монтаж и хранение

Для монтажа генератора на вертикальную штангу (как показано на иллюстрации) можно использовать расположенный сзади встроенный зажим. Монтаж на штангу улучшает обзорность дисплея во время демонстрационных показов, позволяет обеспечить удобный доступ к ручкам регулировки для настроек оборудования.

Хранить устройства можно, складывая их друга на друга: для этого ножки в нижней части одного прибора вставляются в углубления в верхней части другого.



Эксплуатация

Помимо приведённой здесь инструкции изучите рабочую схему на странице 10.

Ручное регулирование

Амплитуда

Регулируйте амплитуду выходного сигнала с помощью соответствующей ручки регулировки амплитуды. Примерный диапазон амплитуд составляет 0 – 10 Вольт.

Частота

Выходную частоту установите с помощью ручек грубой и тонкой настройки частоты (с маркировками «1,0» и «0,1»). Светодиодный дисплей отображает частоту с разрешением до 0,1 Гц. При первом включении генератора значение частоты по умолчанию составит 100 Гц. Частоту выходного сигнала можно регулировать в диапазоне от 1 Гц до 800 Гц.

Ручки настройки частоты являются механическими энкодерами с 24 фиксированными положениями в пределах одного оборота. При «перещёлкивании» ручки тонкой настройки из одного положения в другое частота меняется на шаг, равный 0,1 Гц, при перещёлкивании ручки грубой настройки частота меняется на 1,0 Гц (медленное перещёлкивание) и 4,0 Гц (быстрое перещёлкивание). Это позволяет ускорить регулировку частоты в пределах довольно широкого диапазона.

Для изменения частоты можно воспользоваться клавишами «Шаг вниз» / «Шаг вверх». При каждом коротком нажатии на клавишу частота меняется на сохранённое значение шага. Шаг по умолчанию составляет 100 Гц. Инструкция о том, как изменить и задать новый шаг, приводится в разделе ниже (при нажатии и удерживании этих клавиш активируются другие функции, поэтому для регулировки частоты нажатия должны быть короткими, без удерживания клавиш).

В разделах ниже приводятся инструкции по изменению сохранённого шага регулировки частоты и программированию генератора для воспроизведения тонов в автоматической последовательности. Если вы желаете перейти к практическим демонстрационным показам, изучите раздел «Применение» на странице 11.

Клавиши «Шаг вниз» / «Шаг вверх»

Клавиши со стрелками вниз и вверх имеют несколько функций. Функция пошагового уменьшения или увеличения активируется следующим образом: нажмите на клавишу один раз и быстро её отпустите. Другие функции активируются нажатием и удерживанием клавиш. Например, чтобы активировать функцию Play (воспроизведение), нажмите и удерживайте клавишу со стрелкой вверх (удерживайте в течение 1 секунды). В инструкции может быть написано: «нажмите и удерживайте клавишу Play» или «нажмите на клавишу «Шаг вверх». Обе эти фразы относятся к одной и той же клавише, но к разным функциям. Под клавишами имеются надписи: (Store/Exit and Play – сохранение/выход и воспроизведение). Они обозначают те функции, которые активируются нажатием и удерживанием клавиш.

Изменение выходной частоты с сохранённым шагом

При каждом коротком нажатии клавиш «Шаг вниз» / «Шаг вверх» выходная частота меняется на значение сохранённого шага. Шаг по умолчанию (при первом включении прибора) составляет 100 Гц. Поэтому при разовом нажатии на клавишу «Шаг вверх» выходная частота увеличится на 100 Гц. Попробуйте выполнить следующие действия:

1. Включите генератор (если он уже включен, выключите его на секунду, а затем включите повторно). Исходная выходная частота составит 100 Гц.
2. Нажмите на клавишу «Шаг вверх». Выходная частота увеличится на 100 Гц и составит 200 Гц. Нажмите клавишу повторно, и частота будет равна 300 Гц. Нажмите на клавишу «Шаг вниз», и значение частоты снова составит 200 Гц.
3. С помощью ручек для настройки частоты установите её на 220 Гц.
4. Нажмите на клавишу «Шаг вверх». Выходная частота изменится и будет равна 320 Гц.
5. Нажмите на клавишу «Шаг вверх» несколько раз, пока значение выходной частоты не составит 720 Гц. Если далее нажимать клавишу «Шаг вверх», ничего не изменится, так как диапазон выходной частоты равен 800 Гц, а шаг 100 Гц.

Настройки и сохранение шага

Гармоники резонирующего устройства (колеблющейся струны или трубы) обычно имеют одинаковые шаги частот. Рекомендуется настроить и сохранить в памяти то значение шага, которое подходит к вашему устройству.

Под клавишей «Шаг вверх» предусмотрена маркировка Store/Exit (сохранение и выход). Если клавишу нажать и удерживать, активируется функция сохранения. Сохранённый шаг изменится и будет равен значению на дисплее (значению выходной частоты). Попробуйте выполнить следующие действия:

1. С помощью клавиш со стрелками вверх / вниз и ручек настройки задайте значение частоты, равное 120 Гц.
2. Нажмите и удерживайте клавишу памяти. Через секунду, когда дисплей начнёт мигать, отпустите клавишу. Теперь сохранённый шаг будет равен 120 Гц.
3. Нажимайте клавишу со стрелкой вверх несколько раз. При каждом нажатии частота будет увеличиваться на 120 Гц.

Значение будет сохраняться до тех пор, пока не будет заменено новым, или до отключения устройства.

Auto Play (автоматическое воспроизведение)

В режиме Auto Play вы можете запрограммировать генератор на автоматическое сканирование гармоник устройства.

Настройка

Под клавишей «Шаг вверх» имеется маркировка Play (воспроизведение). Автоматическое воспроизведение начнётся после нажатия и удерживания этой клавиши. Попробуйте выполнить следующие действия:

1. Задайте и сохраните шаг, равный 120 Гц (согласно инструкциям выше).
2. С помощью ручки регулировки амплитуды измените значение выходной частоты до 60 Гц.
3. Нажмите и удерживайте клавишу Play. Мигание дисплея будет означать, что автоматическое воспроизведение уже началось, и теперь клавишу можно отпустить.
4. Генератор воспроизведёт начальный тон (60 Гц), далее – другие тоны пошагово повышающейся частоты: 180 Гц, 300 Гц, 420 Гц. Каждый тон будет воспроизводиться в течение 1,5 секунд. Для регулирования выходной частоты можно воспользоваться ручкой регулировки амплитуды.

Продолжительность каждого тона

В режиме Auto Play менять продолжительность тона можно с помощью ручек регулировки частоты. По умолчанию продолжительность составляет 1,5 секунды. Если ручку грубой настройки (1,0) по часовой стрелке переключить из одного положения в другое, продолжительность увеличится на 1 секунду. Дисплей переключится на режим отображения продолжительности (в секундах), после чего снова продолжить отображать значения частот. Если ручку тонкой настройки (0,1) переключить из одного положения в другое, продолжительность изменится на 0,1 с. Продолжительность можно регулировать в пределах 0,1 – 99,9 с.

Циклический возврат

Режим Auto Play будет продолжать пошагово увеличивать частоту до максимума (800 Гц, но не более). Далее произойдёт циклический возврат, и изначальная последовательность возобновится. Для циклического возврата Auto Play при более низкой частоте нажимайте и удерживайте Play, когда последовательность дойдёт до самого высокого тона (через 1 секунду дисплей начнёт мигать, это значит, что вы можете отпустить клавишу).

Выход из Auto Play

Чтобы выйти из Auto Play, нажмите и удерживайте Store/Exit (через 1 секунду дисплей начнёт мигать, и это значит, что клавишу можно отпустить). После этого генератор перейдёт в нормальный режим, а выходная частота примет прежнее, исходное значение.

Advanced Mode: расширенный режим с записью и воспроизведением

В расширенном режиме вы можете устанавливать, сохранять и воспроизводить последовательность максимум из 80 тонов. Генератор будет записывать частоту и *амплитуду* каждого тона. Расширенный режим особенно эффективен при демонстрации резонанса на колеблющихся струнах, так как он позволяет вам задать оптимальную частоту и амплитуду для каждой гармоники.

Данный режим является скрытым, так как слишком сложен для нормальной эксплуатации в лабораторных условиях и может привести обучающихся в замешательство. Данный режим предназначен для преподавателя, организующего демонстрационные показы. Несмотря на «скрытость», режим легко доступен и прост в обращении.

Как войти в расширенный режим

Нажмите и удерживайте *обе* клавиши со стрелками (как показано на иллюстрации) до тех пор, пока дисплей не переключится на режим отображения числа записанных тонов. Если последовательность не сохранена, на дисплее будет отображаться «0».

После входа в режим возможны 3 варианта:

Exit (Выход): нажмите и удерживайте Store/Exit для выхода из расширенного режима и возврата к нормальному режиму.

Play the Stored Sequence (воспроизведение сохранённой последовательности): нажмите и удерживайте Play (воспроизведение). Генератор войдёт в режим воспроизведения и будет воспроизводить последовательность записанных тонов (при отсутствии записанной последовательности данное действие приведёт к выходу из расширенного режима).

Вход в Record Mode (режим записи): снова одновременно нажмите и удерживайте обе клавиши. На дисплее будет отображаться «0» (это означает, что ранее записанная последовательность была удалена). Далее дисплей начнёт мерцать, что означает, что вход в режим записи выполнен.



Запись последовательности тонов

В режиме записи дисплей постоянно мерцает. После входа в этот режим на дисплее отобразится значение выходной частоты. Подключите к генератору устройство (например, устройство для демонстрации струнных колебаний), чтобы настроить частоту и амплитуду для каждой гармоники.

1. Войдите в режим записи (согласно инструкциям ниже).
2. Настройте частоту и *амплитуду* первого тона в последовательности (как правило, это основная резонансная частота устройства).

Ручки регулировки частоты и шаговые клавиши функционируют в нормальном режиме. Для пошагового уменьшения / увеличения клавиши следует нажимать, не удерживая их. Значение шага задаётся перед входом в расширенный режим.

3. Нажмите и удерживайте Store до изменения режима отображения дисплея. Одно мгновение дисплей будет отображать число сохранённых тонов, а затем снова будет частоту.
4. Отрегулируйте частоту и амплитуду следующего тона последовательности и вернитесь к шагу 3.
5. После сохранения всей последовательности тонов, нажмите и удерживайте клавишу Play до тех пор, пока дисплей не перестанет мерцать. Далее генератор переключится в режим воспроизведения и начнёт воспроизводить записанную вами последовательность.

Будьте внимательны во время записи последовательности, избегайте ошибок. После сохранения возможности отредактировать тон внутри последовательности не будет. После того, как вы войдёте в режим записи, все предыдущие тоны будут удалены, и вам придётся начать всё заново. После сохранения тона изменить или удалить его не получится.

Воспроизведение сохранённых тонов

После входа генератора в режим записи и при воспроизведении сохранённой последовательности у вас будет три варианта:

Амплитуда: если вы повернёте ручку регулировки амплитуды до самого верха, устройство будет воспроизводить сохранённые тоны с точной такой же амплитудой, с которой вы их записывали. Если вы повернёте ручку вниз, амплитуда уменьшится на соответствующую долю.

Продолжительность: продолжительность звучания каждого тона можно менять с помощью ручек регулировки частоты. Продолжительность по умолчанию составляет 1,5 с. При перещёлкивании ручки грубой настройки (1,0) продолжительность меняется на одну секунду, если перещёлкнуть ручку тонкой настройки (0,1), то на 0,1 с. Если вы выйдете из расширенного режима и вернётесь в него позже, генератор «вспомнит» предыдущие настройки продолжительности.

Пауза: чтобы поставить воспроизведение сохранённой последовательности на паузу, нажмите (но не удерживайте) клавишу со стрелкой вниз. Для возобновления воспроизведения нажмите и удерживайте Play до мигания дисплея.

После постановки на паузу короткими нажатиями клавиш со стрелками вверх/вниз можно переключить последовательность воспроизведения тонов (переключить на следующий / вернуться к предыдущему). Во время паузы с помощью ручек регулировки частоты можно менять значение выходной частоты. Это полезно для демонстрации того, что происходит, если задающая частота несколько «выбивается» из резонанса. Меняя во время паузы частоту (с помощью ручек регулировки частоты), вы однако не меняете сохранённые тоны.

Новое начало последовательности: после воспроизведения последнего сохранённого тона произойдёт циклический возврат, и генератор начнёт повторное воспроизведение с первого тона. В режиме воспроизведения в любой момент времени нажатие (без удерживания) клавиши со стрелкой вверх инициирует повтор последовательности с самого первого тона.

Останов воспроизведения: нажмите и удерживайте Store/Exit для возврата в нормальный режим. Выходная частота примет значение сохранённого шага.

Последовательность будет сохранена. Вы можете вернуться в расширенный режим и повторно воспроизвести последовательность, даже если в промежутке вы отключали и отсоединяли устройство.

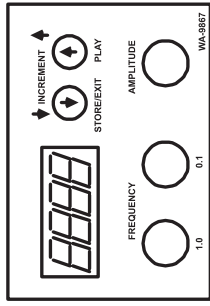
Спецификации

Частота	Диапазон: 1 – 800 Гц, регулировка частоты с шагом 0,1 Гц
Выход	2-тактный выход, настроенный по постоянному току
Амплитуда	От 0 до 10 Вольт (пик)
Ток	>1А с нагрузкой 8 Ом
Память	До 80 сохранённых тонов
Дисплей	4-значный светодиодный дисплей
Подводимое питание	100–240 Вольт переменного тока, 50/60 Гц
Размеры	12 × 11 × 5 см (без источника питания)

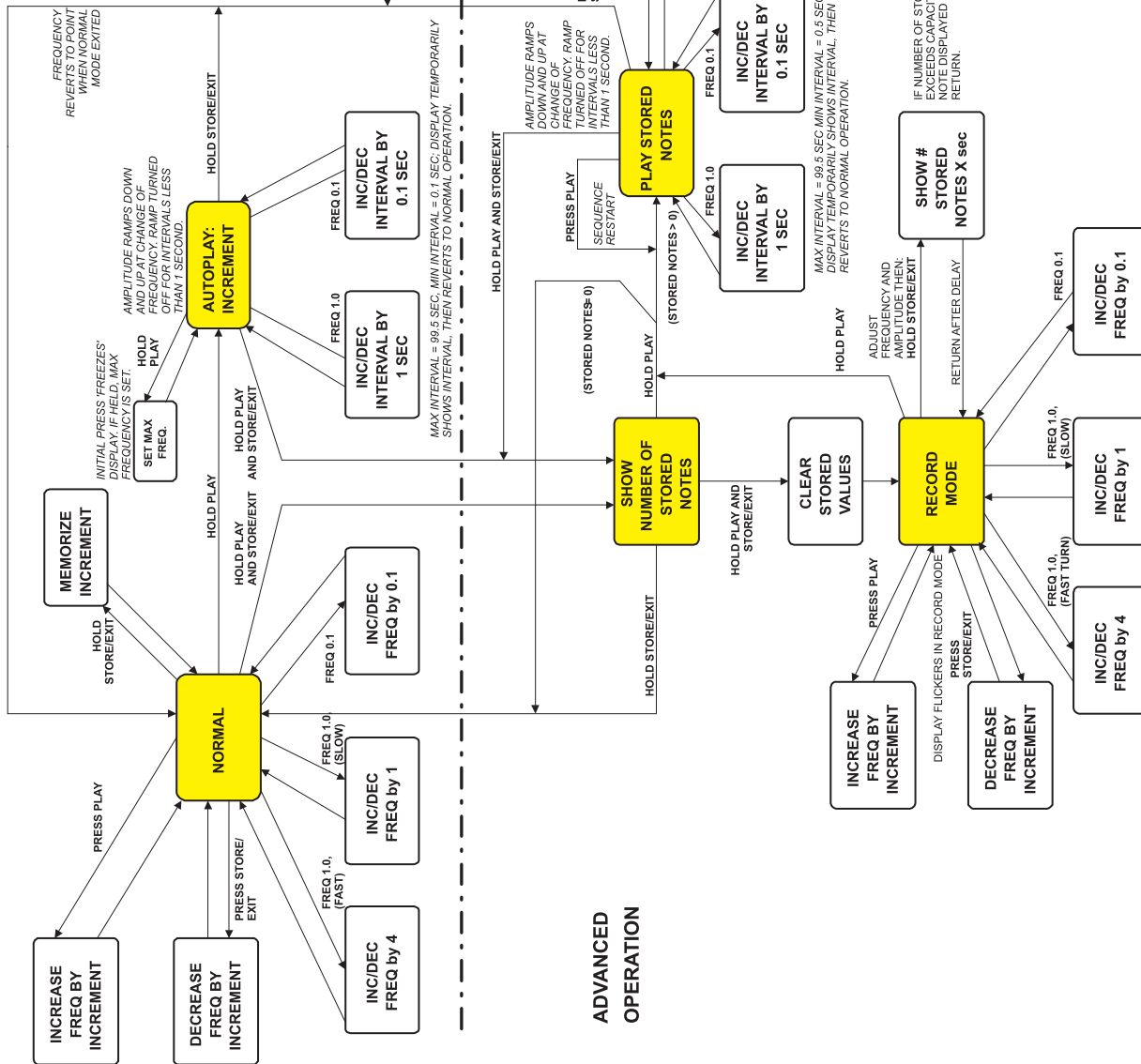
РАБОЧАЯ СХЕМА СТРУННОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ВОЛН, АРТИКУЛ WA-9867

NOTES:

1. "PRESS" means press the button then immediately release.
2. "HOLD" means press and hold the button(s) for at least one second, then release. In most modes the display will "blink" after the key has been held for the required amount of time.



BASIC OPERATION



Версия документа:
1.01 05/07/2004

Применение

Открытая резонансная труба

У представленной на иллюстрации ниже резонансной трубы оба края открыты, а основная резонансная частота составляет 120 Гц. Демонстрационное оборудование собирается так, что труба возбуждается либо динамиком, либо генератором (особое значение при этом имеет положение и угол динамика относительно края трубы).



Существует два метода применения Auto Play (автоматического воспроизведения) для демонстрации резонанса. Первый: генератор «проходит» серию резонансных частот. Второй метод заключается в медленном сканировании частотного диапазона и охвате одной резонансной частоты.

Метод 1: прохождение гармоник

1. С помощью ручек регулировки частоты настройте значение выходной частоты равным значению основной резонансной частоты трубы (в данном случае – 120 Гц). В процессе регулировки слушайте очень внимательно, чтобы определить оптимальную частоту возбуждения.
2. Нажмите и удерживайте Store/Exit (сохранение и выход), сохраните значение шага 120 Гц (или сохраните в качестве шага иное текущее значение выходной частоты).

3. Нажмите и удерживайте клавишу Play (воспроизведение), чтобы активировать режим Auto Play (автоматическое воспроизведение). Динамик будет воспроизводить частоты 120 Гц, 240 Гц и т.д. до 720 Гц. Далее последовательность будет повторяться.
4. Вы заметите, что выше определённой частоты труба резонирует плохо. Когда при прохождении последовательности будет достигнут самый высокий тон, нажмите и удерживайте Play (воспроизведение). После этого тона произойдёт циклический возврат.
5. Отрегулируйте амплитуду возбуждающего сигнала (с помощью ручки регулировки амплитуды).
6. Отрегулируйте продолжительность каждого тона (используя для этого ручки грубой (1.0) и тонкой (0.1) настроек частоты).
7. Чтобы остановить автоматическое воспроизведение, нажмите и удерживайте Store/Exit (сохранение и выход).

Метод 2: сканирование резонанса на основной частоте

1. С помощью ручек регулировки частоты задайте её значение, равное 1 Гц. При медленном перещёлкивании ручки грубой настройки частота будет меняться на 1 Гц. При быстром перещёлкивании частота будет меняться на 4 Гц.
2. Чтобы сохранить значение шага 1 Гц, нажмите и удерживайте Store/Exit (сохранение и выход).
3. С помощью ручек регулировки частоты задайте значение частоты 110 Гц.
4. Для начала Auto Play (автоматическое воспроизведение) нажмите и удерживайте клавишу Play (воспроизведение). Когда частота достигнет 130 Гц, повторно нажмите и удерживайте Play (воспроизведение) для циклического возврата и повтора.
5. С помощью ручек регулировки частоты установите продолжительность каждого тона примерно на 0,5 с.

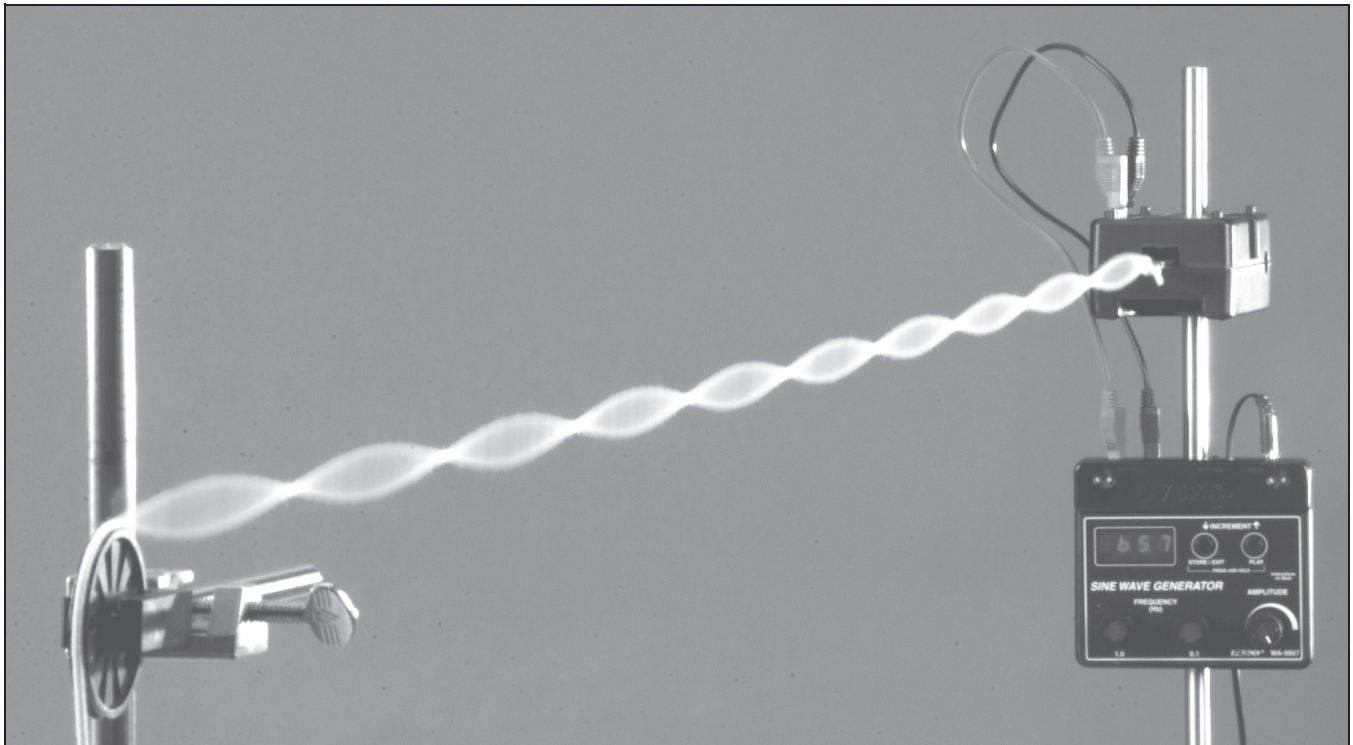
Генератор будет многократно сканировать резонанс при частоте 120 Гц. Снимите трубу и покажите, что уровень громкости исходящего от динамика звука является постоянным. Далее установите трубу на место и продемонстрируйте, насколько громче становится звук каждый раз, когда частота приближается к резонансу.

Закрытая резонансная труба

1. Снимите трубу, которая использовалась для предыдущего демонстрационного показа (с открытыми краями), и замените её трубой с 1 открытым и 1 закрытым краями (основная резонансная частота трубы должна составлять 60 Гц).
2. С помощью ручек регулировки частоты установите значение выходной частоты на значение основного резонанса, далее нажмите и удерживайте Play (воспроизведение), чтобы динамик воспроизводил следующие частоты: 60 Гц, 120 Гц, 180 Гц и т.д.
3. Почему труба не резонирует при 120 Гц? Это отличный способ показать, что труба с закрытым концом воспроизводит только нечётные гармоники.

Вы также можете настроить генератор для воспроизведения исключительно нечётных гармоник.

1. С помощью ручек регулировки частоты установите частоту на 120 Гц.
2. Для сохранения шага 120 Гц нажмите и удерживайте Store/Exit (сохранение и выход).
3. С помощью ручек регулировки частоты установите исходное значение частоты – 60 Гц.
4. Нажмите и удерживайте Play (воспроизведение): динамик будет воспроизводить частоты 60 Гц, 180 Гц, 300 Гц и т.д.



Колебания струн

Демонстрация колебания струн является хорошим примером полезности применения расширенного режима. С помощью 2-метрового эластичного шнура и демонстрационного набора «Колебания и волны» PASCO (артикул WA-9857) вы сможете легко получить стоячую волну из 10 и более сегментов.

В данном демонстрационном показе генератор сканирует резонансные частоты – вы увидите колебания струн в 1, 2 и 3 сегментах. Генератор монтируется вертикально – для визуализации частоты возбуждения. После установки и настройки цикл будет длиться бесконечно, и в результате у вас получится непрерывный и увлекательный показ.

Для получения наиболее оптимальных результатов воспользуйтесь Advanced Record (режим расширенной записи) и Playback Mode (режим воспроизведения). Если вы будете использовать обычный режим Auto Play, могут возникнуть следующие проблемы: во-первых, оптимальной амплитуды возбуждающего сигнала низкочастотных гармоник может быть недостаточно для возбуждения видимых колебаний при гармониках более высоких частот. Во-вторых, могут возникнуть затруднения с идеальной настройкой значения единого шага, чтобы частоты возбуждения для всех 10 гармоник были абсолютно правильными.

Обе эти проблемы решаются с помощью Advanced Mode (расширенный режим), так как вы сохраняете и частоту, и амплитуду каждого тона в последовательности. Так как во время записи последовательности генератор работает, вы сможете очень точно настроить возбуждающий сигнал и достичь максимального эффекта каждой гармоники.

Инструкции по программированию Advanced Mode приводятся на странице 7. Описание механической части сборки и настройки демонстрационного набора «Колебания и волны» PASCO (артикул WA-9857) приводятся в соответствующей инструкции по эксплуатации.

Эксперимент 1: Стоячие волны в струнах

Оборудование	Артикул
Струнный синусоидальный генератор волн	WA-9867
Демонстрационный набор «Колебания и волны» PASCO	WA-9857
Плетёная нить (лавсан, 320 м, неэластичная, низкой плотности)	SE-8050 или аналог
Жёлтый плетёный шнур (неэластичный, более высокой плотности)	ME-9409 или аналог
Эластичный шнур	Компонент WA-9857, SE-9409 или аналог
Набор соединительных проводов (со штекерами типа «банан»)	SE-7123 или аналог
Крепление для стола, малое	SE-7286 или аналог
Блок подвижный PASCO	ME-9450
Стержень для крепления блока	SA-9242
Крепление для стола, большое	ME-9472 или аналог
Набор грузов с держателями	ME-8967 или аналог
Весы рычажные	SE-8765A или аналог
Лента мерная (30 м)	SE-8712A или аналог
Стробоскоп цифровой	SF-9211 или аналог

Введение

Как выглядят волны, можно увидеть в время демонстрационного показа стоячих волн в струнах. Данный тип волны имеет большое значение, так как по большей части колебания вытянутых тел, например, ножек камертона в пианино, являются стоячими волнами. С помощью данного эксперимента вы узнаете, как на скорость волны в колеблющейся струне влияют плотность струны, сила натяжения и частота волны.

Теоретическая часть

Стоячие волны создаются интерференцией двух волн с одинаковой длиной, амплитудой и скоростью, но распространяющихся в разных направлениях в одной и той же среде. Для создания стоячих волн требуется соблюдение следующих обязательных условий: волны на натянутой струне должны создаваться колеблющимся телом. На одном конце волны должны отражаться, а на другом – складываться как интерференционные волны со встречными волнами.



Натянутая струна имеет множество форм собственных колебаний (ниже приводятся три примера подобных форм). Если струна закреплена с обоих краёв, на каждом из которых должен находиться узел. Струна может колебаться целым сегментом, и в этом случае длина (L) струны будет равна половине длины волны (λ). Струна может колебаться в двух сегментах, если на каждом краю будет по 1 узлу, и дополнительно 1 узел в середине. В этом случае длина волны будет равна длине струны. Целое число сегментов может быть и большим, но в любом случае длина струны будет равна целому числу половин длин волны.

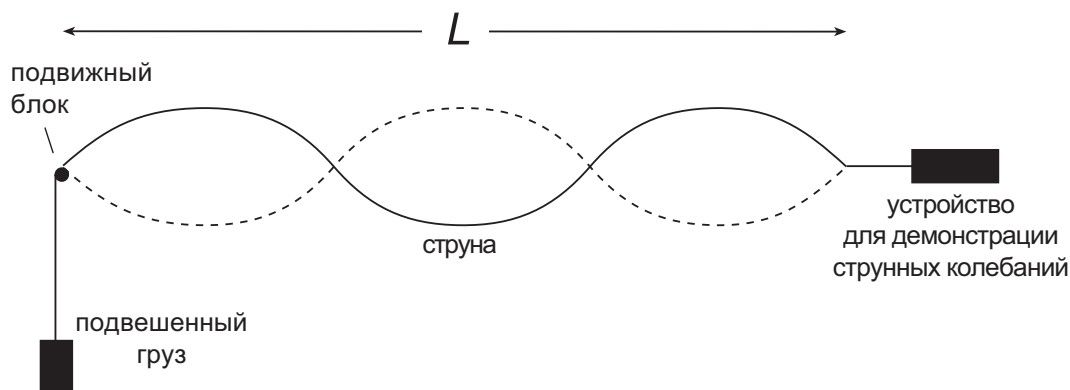
Если вы возбудите струну при произвольной частоте, какой-то конкретной формы колебаний наблюдать не получится, так как в данном случае будут скомбинированы несколько форм колебаний. Однако если правильно настроить возбуждающую частоту, натяжение струны и длину, одна форма колебаний проявится с более высокой амплитудой, чем остальные.

Скорость v для любой длины волны λ и частоты f рассчитывается по следующей формуле:

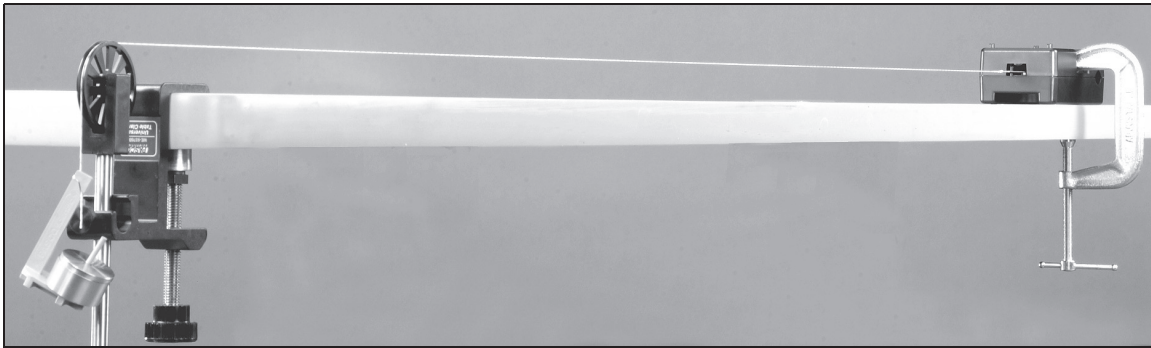
Уравнение 1:

$$v = \lambda f$$

В настоящем эксперименте стоячие волны в натянутой струне создаются за счёт колебаний устройства для демонстрации струнных колебаний с электрическим приводом. Схема устройства приводится на иллюстрации ниже. Натяжение струны равно весу подвешенного через подвижный блок груза. Менять натяжение можно, изменяя массу груза (применяя грузы различных масс). Регулировать частоту и амплитуду волн можно, регулируя вырабатываемую генератором мощность, от которой питается устройство для демонстрации струнных колебаний.



Настройка оборудования



1. Закрепите генератор и подвижный блок на расстоянии 120 см друг от друга, как показано на иллюстрации выше. Край плетёной нити длиной около 1,5 м зафиксируйте на виброноже, перекиньте нить через подвижный блок и подвесьте к ней груз массой 150 г.
2. Измерьте расстояние от петли, за которую нить крепится к устройству для демонстрации струнных колебаний, до верха подвижного блока. Это будет длина L . Обратите внимание на то, что L является *не* всей длиной струны, а только той её части, которая будет подвергаться колебаниям.
3. Включите генератор, поверните ручку регулировки амплитуды до конца вниз (против часовой стрелки). Подключите генератор к устройству для демонстрации струнных колебаний, используя для этого соединительные шнуры со штекерами типа «банан». Полярность в данном случае значения не имеет.

Часть I:

Длина волны и частота

1. Ручку регулировки амплитуды установите в серединное положение. С помощью ручек грубой (1.0) и тонкой (0.1) настроек частоты генератора настройте колебания так, чтобы струна колебалась в 1 сегменте. Отрегулируйте частоту и амплитуду возбуждения так, чтобы получить волну большой амплитуды. Проверьте край виброножа. На точке крепления нити (исполняющей «роль» струны) должен быть узел. «Правильный» узел на виброноже даже более важен, чем максимальная амплитуда. Впрочем, важны оба условия: наличие широкой амплитуды и «правильного» узла.
2. Запишите значение частоты. Насколько велик разброс значений? Насколько нужно изменить частоту, прежде чем появится эффект?
3. Повторите шаги 1 и 2 для стоячей волны с *двумя* сегментами. Колеблющаяся струна должна иметь один узел в середине, а два других – по краям.
4. Каково соотношение частот 2- волны и 1-сегментной волн? Рассчитайте соотношение частот. Ожидали ли вы такое соотношение?
5. Когда волна колеблется в 2 сегментах, длина струны L будет равна длине волны λ . Похожа ли струна на волну? Так как струна перемещается с высокой скоростью, крайне трудно увидеть, когда одна её часть находится сверху, а другая внизу. Проверить, колеблется ли струна, можно с помощью цифрового стробоскопа (при наличии такового). Настройте его частоту максимально близко к частоте генератора. Струна будет выглядеть так, будто её колебания являются замедленными.

6. Попробуйте прикоснуться к струне в области пучности. Что происходит? Попробуйте прикоснуться к струне на узле в середине. Можете ли вы удерживать струну на узле, не оказывая значительного влияния на процесс колебаний?
7. Какой была длина волны при колебании струны в 1 сегменте? Для расчёта скорости 1-сегментной волны воспользуйтесь уравнением 1.
8. Рассчитайте скорость 2-сегментной волны. Сопоставимы ли значения? Они *примерно* одинаковые? Почему?
9. Отрегулируйте частоту так, чтобы струна колебалась в 3 сегментах. Как изменилась скорость? Зависит ли скорость волны от её длины и частоты?

Дальнейшие исследования

Изменение натяжения

1. Отрегулируйте частоту так, чтобы струна колебалась в 2 сегментах. Теперь, не меняя частоту, уменьшайте массу груза на держателе до тех пор, пока струна не будет колебаться в 4 сегментах (для получения оптимальной формы волны вы можете использовать небольшие грузы). Помните о том, что наличие «правильного» узла на краю виброножа важнее, чем максимальная амплитуда.
2. Запишите общую массу подвешенного груза, включая массу держателя. Рассчитайте соотношение новой и исходной масс. Почему данное соотношение не равно 2? Более подробная информация о соотношении скорости волны и натяжении струны приводится в Части II.

Изменение длины

1. Подвесьте груз исходной массы. Частоту настройте на значение между частотами, создававшими волны из 2 и 3 сегментов. Частоту отрегулируйте так, чтобы стоячей волны не было.
2. Освободите устройство для демонстрации струнных колебаний от зажима, медленно подвиньте его к подвижному блоку (не отпускайте устройство, не прикрепив его к столу).
3. Не меняя частоты возбуждения или массы подвешенного груза, уменьшайте длину колеблющейся струны до тех пор, пока колебания не будут происходить в двух сегментах. Отрегулируйте положение так, чтобы узел находился на ноже (Если подвешенный груз касается пола, закрепите его на струне на более высокой позиции).
4. Измерьте новое значение длины волны и рассчитайте её скорость. Скорость аналогична той, что была ранее? Скорость волны зависит от длины струны?

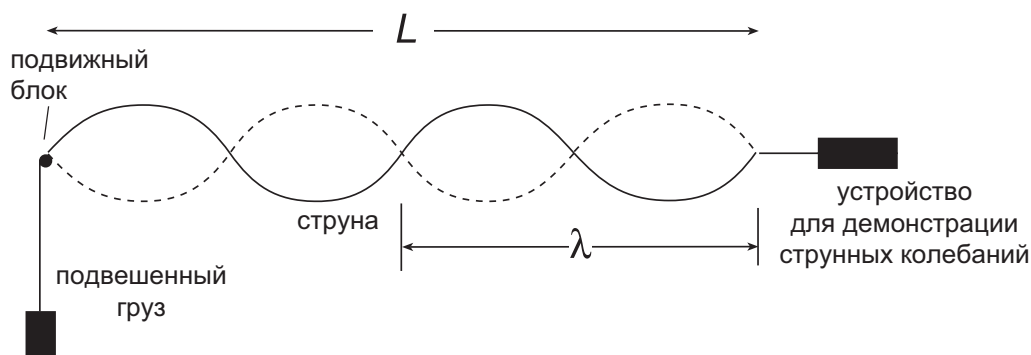
Часть II Скорость волны и плотность струны

Теоретическая часть

Как указано в Уравнении 1, скорость любой волны зависит от длины волны и частоты. Что касается волны в струне, то скорость также зависит от натяжения струны (F) и линейной плотности (μ) струны, и это выражается следующим уравнением:

Уравнение 2:
$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Линейная плотность (μ) – это масса на единицу длины струны. Натяжение (F) создаётся подвешенным грузом (m) и равняется его массе (mg).



Для данной части эксперимента частоту всегда настраивайте так, чтобы волна колебалась в 4 сегментах, то есть, чтобы длина струны всегда равнялась двум длинам волн ($L = 2\lambda$).

В данном случае $F = mg$ и $L = 2\lambda$. Эти уравнения можно скомбинировать с уравнениями 1 и 2 и получить уравнение 3:

Уравнение 3:
$$f^2 = \frac{4g}{\mu L^2} m$$

где

- f = частота возбуждения генератора
- g = гравитационное ускорение
- m = общая масса подвешенного груза
- L = длина струны (только той части, которая подвергается колебаниям)
- μ = линейная плотность струны (масса/длина)

Ход эксперимента

1. Закрепите устройство для демонстрации струнных колебаний примерно в 120 см от подвижного блока. К струне прикрепите груз массой 50 г и перекиньте струну через подвижный блок. Измерьте расстояние от узла на виброноже до верха подвижного блока. Это будет расстояние L . Обратите внимание: L – это длина не всей струны, а только колеблющейся её части.
2. Запишите общую массу подвешенного груза (вместе с держателем).
3. Частоту генератора отрегулируйте так, чтобы струна колебалась в 4 сегментах. Как и ранее, отрегулируйте амплитуду возбуждения и частоту так, чтобы получить волну широкой амплитуды и идеальные узлы, в том числе и узел на краю виброножа. Значение частоты запишите.
4. К подвешенному грузу добавьте груз 50г, повторите шаги 2 и 3.
5. Поэтапно доведите массу груза минимум до 250 г. Результаты фиксируйте в таблице.
6. Составьте график зависимости квадрата частоты, f^2 , от массы подвешенного груза, m . (Обрабатывать данные будет легче, если в графике массу указать в кг). График является линейным?
7. Определите наклон (включая погрешности) линии наибольшего соответствия.
8. С помощью Уравнения 3 вы можете определить наклон графика зависимости f^2 от m

$$\text{Наклон} = \frac{4g}{\mu L^2}$$

По наклону графика рассчитайте плотность (μ) струны. Существует ли разброс (погрешность)?

9. Определите фактическую плотность струны, измерив массу известной длины. Если у вас нет весов с ценой деления 0,01 г, в расчёты включите длину струны, равную нескольким метрам.
10. Сравните плотность, измеренную в шаге 8, с фактической плотностью, полученной в шаге 9. Рассчитайте отклонение в %.

$$\% \text{ отклонение} = \frac{\text{Измеренное значение} - \text{Фактическое значение}}{\text{Фактическое значение}} \times 100\%$$

Дальнейшие исследования

1. Повторите эксперимент, используя жёлтый шнур. Перенесите данные струны и шнура на один и тот же график, чтобы продемонстрировать различия значений их плотности.
2. Повторите эксперимент с эластичным шнуром. Плотность намного выше, поэтому составьте отдельный график. Посмотрите на этот график внимательно. Является ли он линейным, как первые два? Рассчитайте плотность, используя как минимальный, так и максимальный наклоны.
3. Измерьте, насколько растягивается эластичный шнур при подвешивании груза максимальной массы. На основании плотности не растянутого шнура и длины, на которую он растягивается, рассчитайте плотность растянутого шнура. Сравните это значение со значениями плотности, которые были получены по графику.

Эксперимент 2: Резонансные трубы

Оборудование	Артикул
Струнный синусоидальный генератор волн	WA-9867
Динамик открытого типа	WA-9900 или аналог
Набор проводов	SE-7123 или аналог
Резонансная труба (2 шт.)	WA-9495
Звуковые трубы (опция)	SE-8692 (4 шт.)

Введение

Данный эксперимент позволит продемонстрировать соотношение между длиной волны, скоростью волны и частотой звуковых волн в резонансных трубах. Вы узнаете об узлах, пучности волн и концевом эффекте труб с закрытыми и открытыми краями.

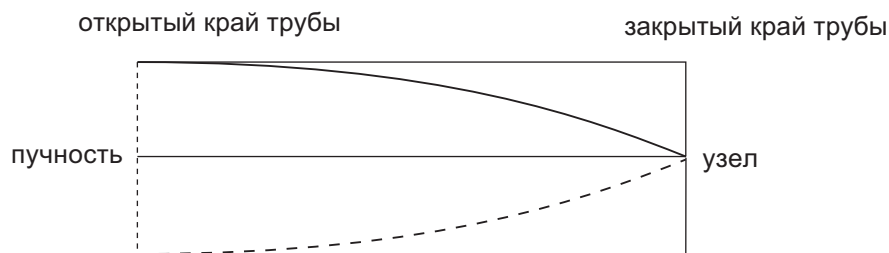
Настройка

1. Включите генератор и поверните ручку регулировки амплитуды до конца вниз (против часовой стрелки).
2. Подключите генератор к динамику с помощью соединительных шнуров со штекерами типа «банан». Полярность соблюдать не обязательно.
3. Поместите резонансную трубу горизонтально, как показано на иллюстрации – открытым концом к динамику. Динамик поставьте под углом 45° относительно края трубы, не направляйте его прямо на трубу.



Часть 1:**Закрытая труба регулируемой длины****Теоретическая часть**

В резонансной трубе с одним закрытым и другим открытым концом узел всегда будет находиться на закрытом конце, а пучность, соответственно, на открытом. Узел представляет собой область, в которой скорость воздуха является минимальной (равной нулю), а пучность – это та область, в которой скорость воздуха является максимальной. Если труба резонирует при минимально возможной (основной) частоте, узлы и пучности наблюдаться не будут. Их отсутствие показано на иллюстрации ниже, где кривые линии отображают профиль скорости воздуха внутри трубы.



На синусоидальной волне расстояние от одной максимы до следующей точки, где она пересекает нуль, составляет четверть длины волны. Поэтому в трубе с одним закрытым и другим открытым краем соотношение длины трубы L и длины волны λ выражается следующим уравнением:

Уравнение 1:
$$\lambda = 4L$$

Для всех типов волн соотношение частоты (f) и скорости (v) волны выражается следующим уравнением:

Уравнение 2:
$$v = \lambda f$$

В резонансной трубе v является скоростью, с которой звук проходит через воздух в трубе, а f является частотой данного звука. В нашем эксперименте частотой звука будет частота генератора.

Комбинируя уравнения 1 и 2, получаем Уравнение 3:

Уравнение 3:
$$L = \frac{1}{4} v \frac{1}{f}$$

Таким образом, мы видим, что длина трубы обратно пропорциональна основной частоте.

Ход эксперимента

1. Раздвиньте трубу до отметки 100 см на шкале (белая труба вдвигается внутрь синей). С помощью мерной рейки проверьте точность показаний шкалы. Если разброс превышает 0,2 мм, запишите значение отклонения и вводите поправку на это отклонение в дальнейших измерениях.

2. Раздвиньте трубу на 120 см. Частоту генератора установите на значение 50 Гц, амплитуду увеличьте до приемлемого уровня.
3. Медленно повышайте частоту ручкой грубой настройки (1.0), прислушивайтесь к резонансу. Когда до основной частоты останется несколько Герц, громкость звука резко увеличится (вы услышите резонанс до того, как частота достигнет 100 Гц). С помощью ручки грубой настройки повышайте / понижайте частоту по всему резонансу. Слушайте внимательно и определите, при какой частоте достигается максимальная громкость. Попробуйте определить резонансную частоту с точностью до 1 Гц. Внесите значения длины трубы и частоты в таблицу.
4. Уменьшите длину трубы до 110 см и повторите предыдущий шаг. Каждый раз, уменьшая длину трубы на 10 см, фиксируйте необходимые данные (и так до тех пор, пока не дойдёте до 50 см). Может получиться так, что резонансная частота превысит значение 100 Гц.
5. Составьте график зависимости обратной частоты от длины трубы (соотношение L и $1/f$). Внимание: обратная частота представлена горизонтальной линией.
6. Определите наклон и точку пересечения оси Y линии, составленной на основании этих данных (линии наибольшего соответствия).
7. Из уравнения 3 мы видим, что:

$$\text{Наклон} = \frac{1}{4} v$$

По значению наклона рассчитайте скорость звука в воздухе. Оцените погрешность.

8. *Фактическая* скорость звука зависит от температуры воздуха.

$$v = 331 \text{ м/с} + 0.6 T$$

где T является температурой воздуха в градусах Цельсия. Измерьте температуру воздуха и рассчитайте фактическую скорость звука.

9. Сравните скорость, измеренную в шаге 7, с фактической скоростью. Рассчитайте отклонение в %.

$$\% \text{ отклонение} = \frac{\text{Измеренное значение} - \text{Фактическое значение}}{\text{Фактическое значение}} \times 100\%$$

10. Вопрос: почему график соотношения L и $1/f$ не пересекается с осью Y на 0? Точка пересечения находится ниже 0?

Если точка пересечения находится ниже 0 на оси Y , это означает, что *эффективная* длина трубы выше длины *фактической*. Пучность на открытом конце трубы образуется фактически за этим концом, то есть за пределами трубы. Данный феномен называется «концевым эффектом». Дополнительная длина, создающая этот эффект, пропорциональна диаметру трубы. Эмпирически это можно выразить следующим образом:

$$\text{Концевой эффект} = 0.3 \times \text{диаметр трубы}$$

Измерьте диаметр трубы и с помощью уравнения выше рассчитайте концевой эффект. Насколько полученное значение сопоставимо с точкой пересечения оси Y вашего графика?

Дальнейшие исследования

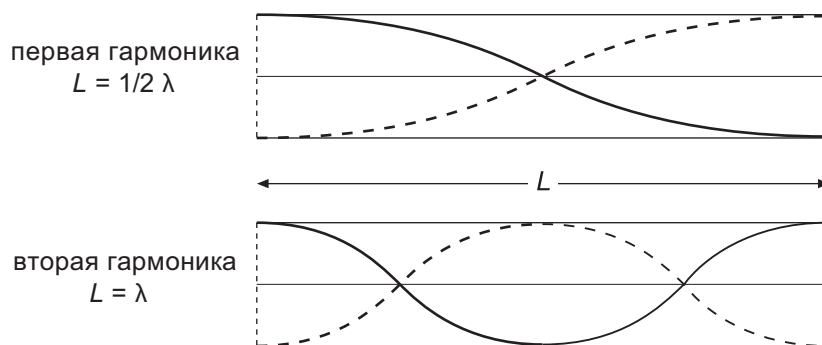
1. Значение частоты установите на 230 Гц. Трубу раздвиньте так, чтобы её длина составляла 120 см. Не меняя частоты, медленно укорачивайте трубу, пока не услышите резонанс. Найдя резонанс, уменьшайте / увеличивайте длину трубы, чтобы определить, где находится узел. Зафиксируйте положение узла и длину трубы.
2. Не меняя частоты возбуждения, продолжайте укорачивать трубу, пока не услышите резонанс снова. Зафиксируйте положение узла.
3. Расстояние между двумя точками резонанса (между двумя соседними узлами) равно $\frac{1}{2} \lambda$. Почему?
4. По расстоянию между узлами рассчитайте длину волны. Теперь по длине волны и частоте генератора рассчитайте скорость звука. Насколько оно сопоставимо с полученным ранее значением?
5. Начертите волну рядом со схемой со страницы 22: с двумя узлами и аналогичной частотой. Помните о том, что узел должен находиться на закрытом конце трубы, а пучность – на открытом. Совет: трубы на чертежах не должны иметь одинаковую длину, однако длины волн должны быть одни и те же.

Часть II:

Открытые и закрытые трубы фиксированной длины

Теоретическая часть

В открытой (с обоих краёв) резонансной трубе пучность всегда будет на обоих краях, а между этими концами – как минимум один узел. Вообще, количество узлов зависит от длины волны и гармоники. Первая гармоника имеет один узел, вторая – два, и т.д. Это показано на иллюстрации ниже:



При более высоких гармониках частота выше, а длина волны – короче (длина трубы при этом постоянна).

Ход эксперимента

1. Выдвиньте внутреннюю трубу на всю длину, отделите её от наружной трубы. Для эксперимента вам понадобится только синяя труба с двумя открытыми концами.

2. Настройте генератор и динамик по инструкциям выше. Начните с частоты 50 Гц, далее медленно повышайте её с помощью ручки грубой настройки (1.0). Найдите основную частоту (с точностью до 1 Гц). Почему основная частота у открытой трубы выше, чем у закрытой?
3. На основании частоты и скорости звука рассчитайте длину волны. Используйте уравнение 2 и скорость звука, которую вы определили в шаге 8 части 1 (знать длину трубы вам не обязательно).
Посмотрите на диаграмму основной частоты (первой гармоники), воспользуйтесь данными для расчёта *эффективной длины* трубы.
4. С помощью мерной рейки определите фактическую длину трубы. Насколько она сопоставима с эффективной длиной? Насколько масштабен «концевой эффект»? (Эффект примерно в два раза больше по сравнению с предыдущей трубой, так как у этой трубы оба конца открытые).
5. Для сохранения основной частоты в памяти генератора нажмите и удерживайте клавишу Store/Exit (сохранение и выход), пока дисплей не начнёт мигать. Нажмите на клавишу со стрелкой вверх для пошагового увеличения частоты до первой гармоники. Передвигайте трубу, чтобы убедиться в том, что она находится на резонансе. Повторите действия для получения третьей гармоники. Начертите волну, отображающую третью гармонику, рядом со схемой со страницы 24 (при этом помните, что L является постоянной величиной).
6. Вернитесь к значению основной частоты, далее замените трубу с открытыми концами на трубу с закрытыми концами. Резонанс ещё присутствует? Понижайте частоту с помощью ручки грубой настройки до тех пор, пока не найдёте основной резонанс закрытой трубы.
7. Рассчитайте соотношение частот открытой и закрытой труб. Каким оно должно быть? Почему?
8. Нажмите и удерживайте клавишу Store/Exit, чтобы сохранить основную частоту закрытой трубы. Нажмите на клавишу со стрелкой вверх, чтобы увеличить частоту (шагом) до второй гармоники. Вы слышите резонанс? Отодвиньте трубу и проверьте снова. Резонанс громче, если труба находится ближе? Повторно нажмите на клавишу со стрелкой вверх, чтобы увеличить частоту (шагом) до третьей гармоники. Теперь вы слышите резонанс? Объясните, почему.

Дальнейшие исследования

1. Почему труба с обоими открытыми концами воспроизводит все гармоники, а труба с одним закрытым концом только нечётные (1, 3, 5 и т.д.)? Каким является соотношение между длиной трубы и длиной волны третьей гармоники в закрытой трубе?
2. Начертите волну рядом со схемой из Части I на странице 22 (закрытая труба), отображающую третью гармонику в трубе той же длины. Помните о том, что узел должен находиться на закрытом конце, а пучность – на открытом. Почему эта серия чертежей отличается от тех, что вы начертили в Части 1? Во всех случаях – что является «вынужденно» постоянным, а что может меняться?
3. Если у вас есть гибкие звуковые трубы, согните одну из них в круг. Если вы будете вращать полувыводившийся круг с разными скоростями, вы услышите разные тоны. Какова связь между этими тонами? Теперь сделайте круг из трубы другой длины и вращайте его. При какой длине частота ниже? Как связана длина трубы с частотой?

Эксперимент 1:

Заметки учителя – стоячие волны в струнах

Нить

Наклон = 97900 Гц²/кг

$$\text{Плотность} = \mu = \frac{4(9.8 \text{ м/с}^2)}{(97900 \text{ Гц}^2/\text{кг})(1.23 \text{ м})^2} = 2.65 \times 10^{-4} \text{ кг/м} = 0.265 \text{ г/м}$$

Actual Density = $\frac{1.58 \text{ г}}{6.09 \text{ м}} = 0.259 \text{ г/м}$

% отклонение = 2%

Шнур

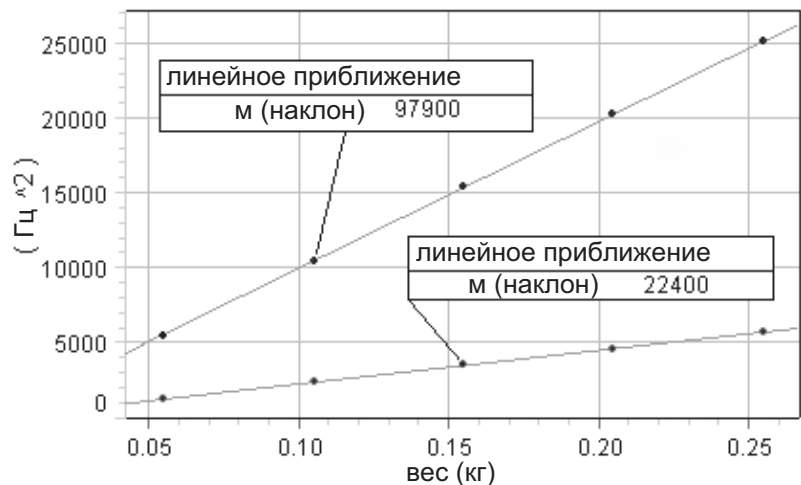
Наклон = 22400 Гц²/кг

$$\text{Плотность} = \mu = \frac{4(9.8 \text{ м/с}^2)}{(22400 \text{ Гц}^2/\text{кг})(1.23 \text{ м})^2} = 1.16 \times 10^{-3} \text{ кг/м} = 1.16 \text{ г/м}$$

Actual Density = $\frac{2.36 \text{ г}}{2.00 \text{ м}} = 1.18 \text{ г/м}$

% отклонение = -2%

m (кг)	нить		шнур	
	f (Гц)	f ² (Гц ²)	f (Гц)	f ² (Гц ²)
0.055	74.1	5491	34.8	1211
0.105	102.1	10424	48.2	2323
0.155	124.1	15401	58.9	3469
0.205	142.2	20221	67.7	4583
0.255	158.3	25059	75.4	5685



Эластичный шнур

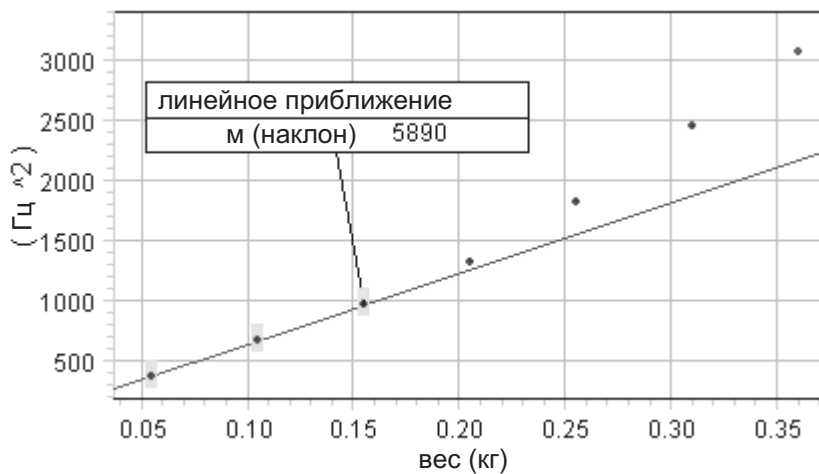
Минимальный наклон = $5890 \text{ Гц}^2/\text{кг}$

$$\text{Плотность} = \mu = \frac{4(9.8 \text{ м/с}^2)}{(5890 \text{ Гц}^2/\text{кг})(1.23 \text{ м})^2} = 4.4 \times 10^{-3} \text{ кг/м} = 4.4 \text{ г/м}$$

$$\text{Фактическая плотность (в не натянутом состоянии)} = \frac{5.58 \text{ г}}{1.3 \text{ м}} = 4.3 \text{ г/м}$$

% отклонение = 2%

m (кг)	нить	
	f (Гц)	f^2 (Гц ²)
0.055	19.3	372
0.105	25.7	660
0.155	31.0	961
0.205	36.3	1318
0.255	42.7	1823
0.310	49.4	2440
0.360	55.4	3069



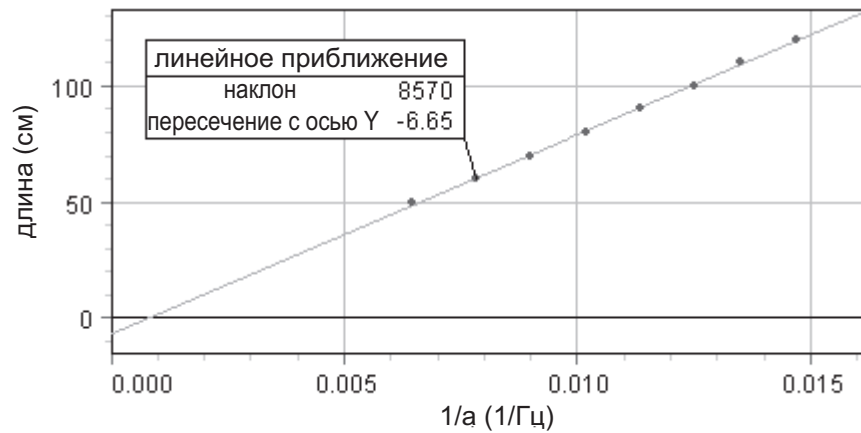
Эксперимент 2:

Заметки учителя – резонансные трубы

При наличии гибких звуковых труб (артикул SE-8692) согните их в круги несколько отличающихся длин так, чтобы трубы воспроизводили разные тоны.

Часть I

<i>L</i> (см)	<i>f</i> (Гц)	<i>1/f</i> (1/Гц)
120	68	0.015
110	74	0.014
100	80	0.013
90	88	0.011
80	98	0.010
70	111	0.0090
60	128	0.0078
50	155	0.0065



Наклон = 8570 см/с = 85,7 м/с

$v = 4 (85,7 \text{ м/с}) = 343 \text{ м/с}$

$v = 331 \text{ м/с} + (0,6)(25^\circ\text{C}) = 346 \text{ м/с}$ (в данной формуле коэффициент пересчёта должен иметь единицы K^{-1} . Данная деталь опущена для упрощения).

% отклонение = -1%

Диаметр трубы = 14,5 см

Концевой эффект = $(0,3)(14,5) = 4,4$ см. Если сравнить с точкой пересечения с осью Y, то она составляет 6,7 см. Однако факт, что волна распространяется за пределы конца трубы на несколько сантиметров, подтверждается. Попросите обучающихся рассмотреть отклонение точки, которую на оси Y пересекает линия наибольшего соответствия.

Дальнейшие исследования:

$f = 230 \text{ Гц}$

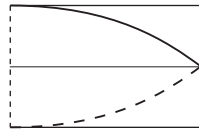
положение первого узла = 104 см

положение второго узла = 28 см

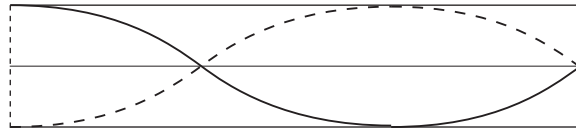
$\lambda = 2 (104 \text{ см} - 28 \text{ см}) = 152 \text{ см}$

$v = \lambda f = (1,52 \text{ м})(230 \text{ Гц}) = 350 \text{ м/с}$

% отклонение = 1%



первая гармоника



третья гармоника

Часть II

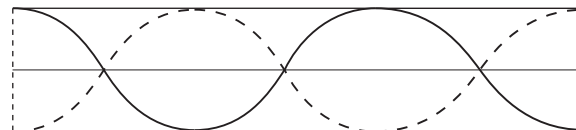
$f_1 = 122$ Гц (основная частота)

$\lambda = (346 \text{ м/с}) / (122 \text{ Гц}) = 2,84 \text{ м}$

$L = 1/2 \lambda = 1,42 \text{ м}$ (эффективная длина)

Фактическая длина трубы = 1,31 м

Концевой эффект (каждый конец) = $(1,42 \text{ м} - 1,31 \text{ м}) / 2 = 5,5 \text{ см}$, что является промежуточным значением по сравнению с теми, что были получены в Части I.



третья гармоника

Техника безопасности

Перед использованием продукта внимательно изучите инструкции. Работа обучающихся с приборами и устройствами должна быть организована строго под руководством и присмотром преподавателей. При применении продукта соблюдайте положения из руководства по эксплуатации и национальные положения по ТБ, относящиеся к работе с таким оборудованием.

Техническая поддержка

За консультацией по любому продукту PASCO можно обратиться непосредственно к производителю:

Адрес: PASCO scientific,
10101 Бульвар Футхиллз,
Розвилл, Калифорния 95747-7100

Телефон: 916-786-3800
800-772-8700

Электронная
почта: techsupport@pasco.com
Сайт: www.pasco.com

Авторское право и гарантия

Уведомление об авторском праве

Инструкция по эксплуатации PASCO scientific 012-08678A Sine Wave Generator Instruction Manual («Струнный синусоидальный генератор волн PASCO») защищена авторским правом. Копирование любой части настоящей инструкции разрешается некоммерческим образовательным учреждениям при условии использования исключительно в лабораториях и аудиториях и неосуществлении продаж с целью получения прибыли. При других обстоятельствах копирование без письменного разрешения со стороны PASCO scientific запрещается.

Ограниченная гарантия

Описание условий гарантии на продукцию PASCO приводится в каталоге PASCO.

Authors: Jon Hanks
Alec Ogston

PASCO®

10101 Бульвар Футхиллз,
Розвилл, Калифорния 95747-7100
Телефон: (916) 786-3800
Факс: (916) 786-8905
www.pasco.com

better
ways to
teach science

