

53(07)
P – 851

№ 5507

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
"Южный федеральный университет"
Инженерно-технологическая академия**



КАФЕДРА ФИЗИКИ

**РУКОВОДСТВО К ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА ПО РАЗДЕЛУ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ**

Учебно-методическое пособие

Таганрог
Издательство Южного федерального университета

2016

УДК 53(076.5) + 533.951(076.5)

Сластен М.И., Какурина Н.А., Какурин Ю.Б. Руководство к выполнению лабораторных работ по дисциплине "Физика" по разделу "Колебания и волны". – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016. – 38 с.

Руководство содержит методические рекомендации к выполнению лабораторных работ и предназначено в помощь студентам, выполняющим лабораторные работы по разделу «Колебания и волны». Представлен цикл лабораторных работ по затухающим колебаниям в колебательном контуре и измерению скорости звука в воздухе. Имеются краткие теоретические сведения.

Предназначено для студентов технических направлений подготовки.

Табл. 4. Ил. 13. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент Колпачёв А.Б., канд. физ.-мат. наук, доцент каф. физики ИНЭП ЮФУ.

401. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

401.1. Цель работы

Изучение свободных колебаний в колебательном контуре и определение их основных характеристик.

[2. С. 262 – 265; 3. С. 229 – 232]

401.2. Разделы теории

Параллельный колебательный контур. Уравнение затухающих колебаний. Коэффициент затухания. Логарифмический декремент затухания. Добротность.

401.3. Приборы и принадлежности

Электронный осциллограф АСК-7022, генератор SFG-2110 и лабораторный стенд.

401.4. Теоретическое введение

Параллельный колебательный контур представляет собой цепь, содержащую емкость C , индуктивность L и электрическое сопротивление R (рис. 401.1).

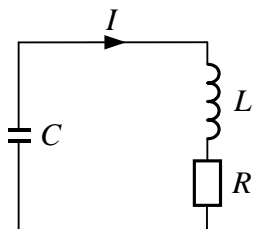


Рис. 401.1

Колебания в электрическом контуре можно вызвать, сообщив обкладкам конденсатора C некоторый начальный заряд или возбуждив в катушке индуктивности L индукционный ток внешним магнитным полем.

Первоначальная энергия, запасенная в контуре, постепенно будет уменьшаться вследствие потерь на активном сопротивлении, и, следовательно, свободные колебания в таком контуре будут с течением времени затухать.

Дифференциальное уравнение, описывающее свободные затухающие колебания в контуре, имеет вид

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{LC} q = 0.$$

Это уравнение запишем следующим образом:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0, \quad (401.1)$$

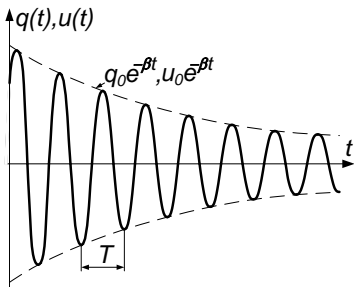
где $\beta = R/2L$ – коэффициент затухания; $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – частота собственных колебаний (в колебательном контуре без потерь, т.е. при $R = 0$).

При условии, что $\beta^2 < \omega_0^2$, т.е. $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$, решением уравнения (401.1) является функция

$$q = q_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (401.2)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота затухающих колебаний.

Отсюда видно, что с течением времени амплитудное значение заряда на конденсаторе убывает по экспоненциальному закону (рис. 401.2), причем, чем больше β , тем быстрее затухают колебания в контуре.



Учитывая, что напряжение на конденсаторе $U = q/C$, из (401.2) найдем

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} t + \varphi), \quad (401.3)$$

где $U_0 = q_0/C$. Следовательно, напряжение на конденсаторе изменяется по тому же закону, что и заряд на нем.

Рис. 401.2

Для нахождения тока в контуре необходимо продифференцировать по времени выражение (401.2), поскольку $I = dq/dt$.

Тогда

$$I = \omega q_0 e^{-\beta t} \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} t + \varphi + \psi),$$

где
$$\operatorname{tg} \psi = -\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} / \beta.$$

Величина ψ определяет разность фаз между током и напряжением на конденсаторе, причем ψ принимает значения в интервале от $\pi/2$ до π .

Таким образом, при наличии потерь в контуре ($\beta > 0$) ток опережает по фазе напряжение на конденсаторе более чем на $\pi/2$. При $\beta = 0$ $\psi = \pi/2$.

Период затухающих колебаний $T = 2\pi/\omega$ не совпадает с периодом собственных колебаний $T_0 = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{LC}$:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4\pi^2}{T_0^2} - \beta^2}},$$

откуда

$$T_0 = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4\pi^2}{T^2} + \beta^2}}. \quad (401.4)$$

Из выражения (401.4) видно, что чем больше β , тем сильнее различие между T и T_0 .

Рассмотрим основные характеристики затухающих колебаний. Возьмем момент времени $t = 1/\beta$, тогда из (401.3) для амплитуды колебаний получим $U(t) = U_0/e$, где e – основание натурального логарифма. Следовательно, коэффициент затухания численно равен обратной величине такого промежутка времени $t = \tau$, в течение которого амплитуда колебаний уменьшается в e раз (τ – время релаксации).

Рассмотрим теперь два момента времени t и $t+T$. Им соответствуют амплитуды колебаний

$$U(t) = U_0 e^{-\beta t} \text{ и } U(t+T) = U_0 e^{-\beta(t+T)} .$$

Натуральный логарифм отношения этих амплитуд

$$\ln \frac{U(t)}{U(t+T)} = \beta T = \delta \quad (401.5)$$

называется логарифмическим декрементом затухания.

С учетом (401.5) закон убывания амплитуды колебаний можно записать в виде

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{\delta}{T} t} . \quad (401.6)$$

Если выбрать момент времени $t = \tau$, то из (401.6) следует, что $\delta\tau/T = 1$ и $\delta = T/\tau = 1/N_e$. Таким образом, логарифмический декремент затухания обратно пропорционален числу колебаний N_e , совершаемых за время τ .

Из выражения (401.5) также следует, что

$$\delta = \beta T = \frac{RT}{2L} .$$

Поскольку период колебаний T , а следовательно, и логарифмический декремент затухания δ определяются параметрами контура L , C , R , то δ также является характеристикой колебательного контура.

На практике часто пользуются другой характеристикой контура – добротностью Q , которая равна

$$Q = \frac{\pi}{\delta} = \pi N_e .$$

Добротность определяют как отношение энергии W , запасенной в контуре в данный момент времени, к убыли этой энергии ΔW за один период колебаний, умноженное на 2π :

$$Q = 2\pi \frac{W}{\Delta W}. \quad (401.7)$$

Если учесть, что энергия колебаний W пропорциональна квадрату амплитуды, то на основании выражения (401.6) формулу (401.7) можно представить в другом виде:

$$Q = 2\pi \frac{U^2(t)}{U^2(t) - U^2(t+T)}, \quad (401.8)$$

где $U(t) = A_1$ и $U(t+T) = A_2$ – амплитуды двух колебаний, разделенных по времени на период. Отсюда видно, что, измерив амплитуды двух соседних колебаний, можно экспериментально определить добротность контура Q .

401.5. Описание установки

Для исследования затухающих колебаний используется схема, представленная на рис. 401.3.

Экспериментальная установка состоит из электронного осциллографа АСК-7022, генератора SFG-2110 и лабораторного стенда.

Прямоугольные импульсы с амплитудой 20 В и частотой следования 2 кГц с выхода калибратора поступают через согласующее сопротивление R_C в колебательный контур и возбуждают в нем затухающие колебания, которые можно наблюдать на экране осциллографа.

401.6. Порядок выполнения экспериментальной части работы

1. **Собрать** экспериментальную установку по схеме (рис. 401.3). Установка состоит из электронного осциллографа АСК-7022, функционального генератора SFG2110, выдающего прямоугольные

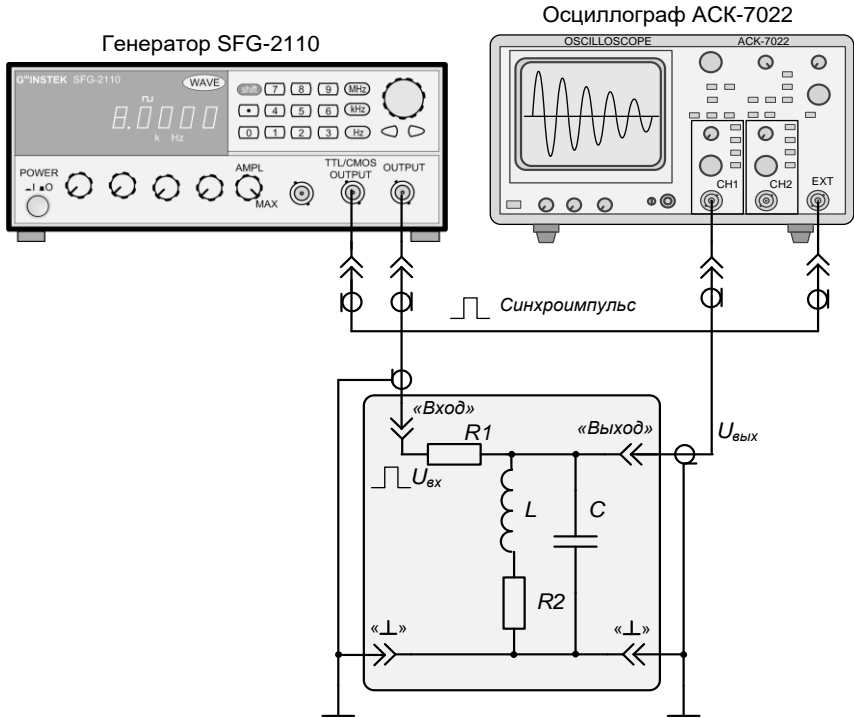




Рис. 401.3. Схема подключения измерительных приборов

импульсы, и лабораторного стенда. Прямоугольные импульсы амплитудой 10 В и частотой следования 8 кГц с генератора через резистор R_1 поступают на колебательный контур и возбуждают в нём затухающие колебания, которые можно наблюдать на экране осциллографа и измерять их параметры.

2. Подключить питание генератора и включить его кнопкой «POWER» (СЕТЬ).

3. Установить на генераторе SFG2110 (рис. 401.4) ручку «AMPL» (АМПЛИТУДА) в крайнее правое положение, вращая её по часовой стрелке. Эта ручка должна находиться в нажатом положении. Генератор будет выдавать максимальное напряжение на выходе «OUTPUT» (ВЫХОД) (~10 В).

4. **Установить** с помощью клавиш цифрового набора частоту сигнала 8 кГц и после набора частоты **нажать** клавишу «кHz». При этом на дисплее будут видны цифры **8.0000**, а под ними – значение единиц измерения частоты **кHz**.

5. Клавишей «**WAVE**» (ФОРМА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА) **выбрать** прямоугольную форму сигнала (). На дисплее над цифрами частоты сигнала будет светиться индикатор импульсов прямоугольной формы «».

Остальные органы управления генератора не используются в данной работе.

6. **Подключить** питание осциллографа **АСК-7022** и **включить** сетевой выключатель «**POWER**» (СЕТЬ) (рис. 401.5).

7. После прогрева осциллографа, регулятором «**INTEN**» (ЯРКОСТЬ) **установить** необходимую яркость луча. При необходимости регулятором «**READOUT**» (ПОКАЗАНИЯ) **произвести установку** яркости дисплея (буквенно-цифровой индикации в верхней и нижней части экрана), а регулятором «**FOCUS**» (ФОКУСИРОВКА) **произвести** фокусировку луча.

На этом дисплее отображаются основные параметры и режимы работы осциллографа.

8. **Нажать** кнопку « **A** » (ВКЛЮЧЕНИЕ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЁРТКИ). В этом режиме развёртку по горизонтали осуществляет блок развёртки с генератором пилообразного напряжения и блоком синхронизации, а развёртку по вертикали – два канала усилителей «**CH1**» (КАНАЛ 1) и «**CH2**» (КАНАЛ 2).

В осциллографе АСК-7022 используется электроннолучевая трубка (ЭЛТ) с одной электронной пушкой, а получение на экране двух осциллограмм осуществляется с помощью электронного коммутатора. Такой тип осциллографа называется двухканальным.

9. **Включить** Канал-1 кнопкой «**CH1**» (КАНАЛ 1), а кнопкой «**CH2**» (КАНАЛ 2) **выключить** Канал-2. Если включён только Канал-1, на дисплее будет надпись « **1 : ...mV** ».

10. **Включить** кнопкой «**AUTO**» (АВТОМАТИЧЕСКАЯ РАЗВЁРТКА) переключателя режимов развёртки « **SWEEP MODE**» режим автоматической развёртки (**первый режим**).

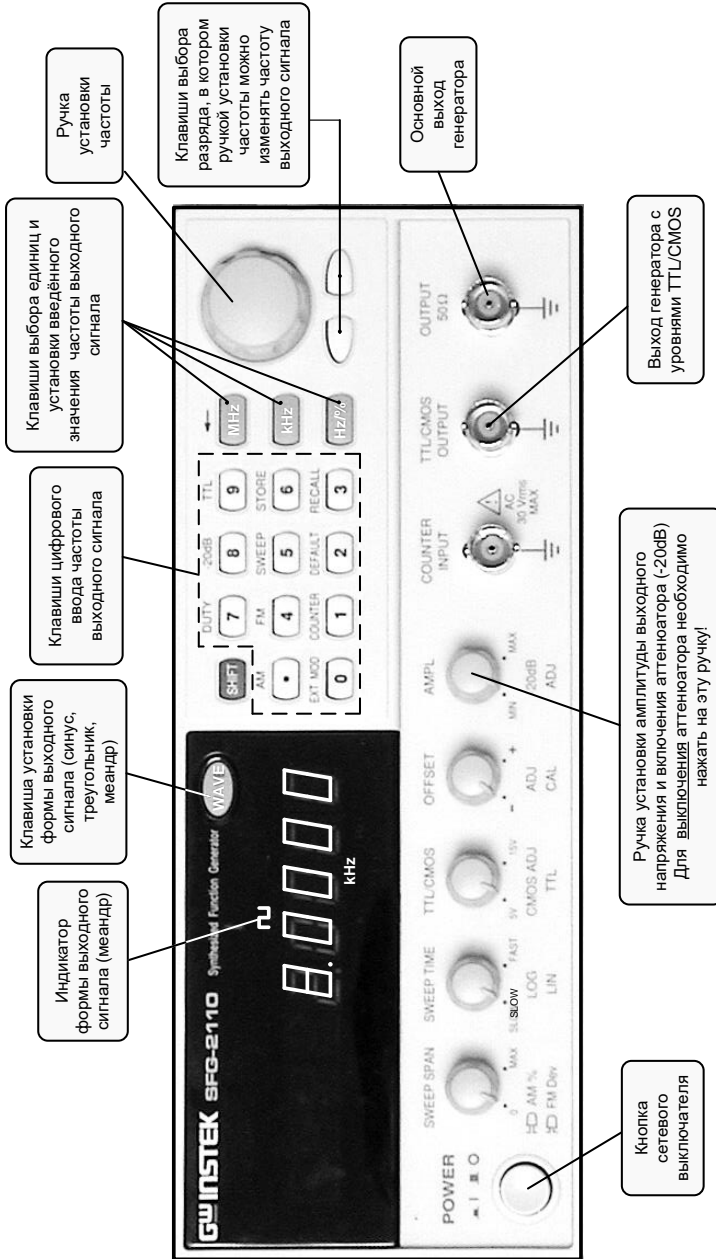


Рис. 401.4. Основные органы управления генератора SFG-2110

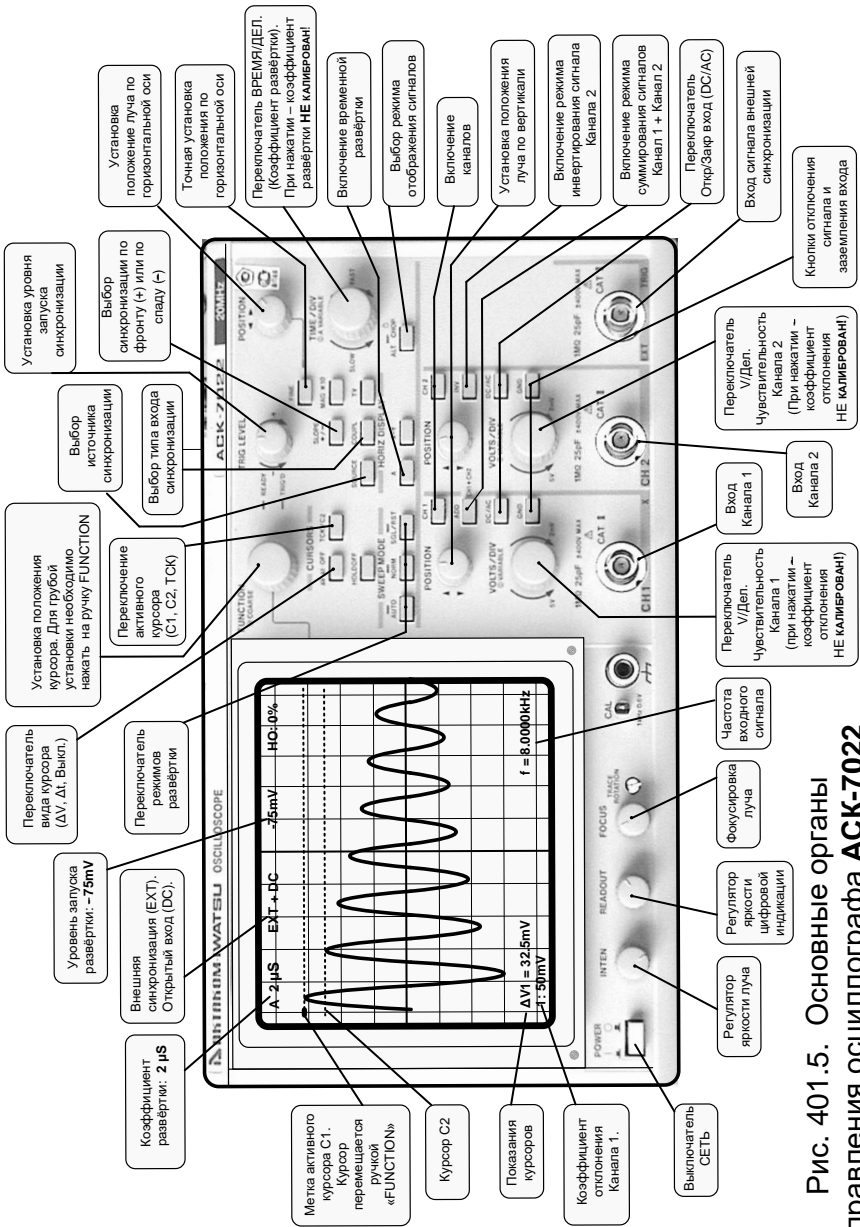


Рис. 401.5. Основные органы управления осциллографа АСК-7022

В этом режиме запуск развёртки происходит даже при отсутствии сигнала синхронизации, но при этом, конечно, осциллограмма будет не стабильна, потому что генератор развёртки будет работать на частоте собственных колебаний, которая никак не связана с частотой исследуемого сигнала. Когда же сигнал синхронизации присутствует, то в режиме автоматической развёртки происходит синхронизация развёртки и на экране будет устойчивое положение исследуемого сигнала.

Во **втором режиме** (кнопка «**NORM**» (ЖДУЩАЯ РАЗВЁРТКА)) при отсутствии сигнала синхронизации запуск развёртки не происходит, и на экране не будет линии развёртки, что не всегда удобно. Например, если амплитуда сигнала синхронизации окажется меньше уровня запуска развёртки, то осциллограмма может просто исчезнуть с экрана. Поэтому этот режим не используется в данной работе.

Третий режим (кнопка «**SGL/RST**» (ОДНОКРАТНАЯ РАЗВЁРТКА)) служит для одиночного прохода развёртки и в данной работе не используется.

11. Кнопкой «**SOURCE**» (ВЫБОР ИСТОЧНИКА СИГНАЛА СИНХРОНИЗАЦИИ) **выбрать** режим «**EXT**» (ВНЕШНЯЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ). В этом режиме сигнал синхронизации будет поступать через разъём «**EXT TRIG**» (ВНЕШНЯЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ) с разъёма «**OUTPUT TTL/CMOS**» (ВЫХОД TTL/CMOS) генератора **SFG2110** (рис. 401.3). Достоинством внешней синхронизации является то, что стабильность осциллограммы не зависит от формы исследуемого сигнала и его амплитуды. Кнопкой «**SOURCE**» можно также выбирать и другие источники сигнала синхронизации (от Канала 1, от Канала 2 или от напряжения сети), но они в данной работе не используются.

12. Кнопкой «**COUPL**» (ВЫБОР ТИПА ВХОДА СИНХРОНИЗАЦИИ) **выбрать** тип открытого «**DC**» или закрытого «**AC**» входа синхронизации. Этой же кнопкой можно выбирать типы входов «**HF REJ**» (ПОДАВЛЕНИЕ ВЧ) или «**LF REJ**» (ПОДАВЛЕНИЕ НЧ), при этом сигнал синхронизации проходит через фильтры, которые подавляют высокочастотные или низкочастотные компоненты сигнала синхронизации. В данной работе фильтры в канале синхронизации не используются.

13. Кнопкой «**SLOPE +/-**» (ВЫБОР СИНХРОНИЗАЦИИ ПО ФРОНТУ ИЛИ ПО СПАДУ) включается способ запуска развёртки по фронту $_ \uparrow _$ сигнала синхронизации (+) (сигнал меняется от минимума к максимуму) или по спаду $_ \downarrow _$ сигнала синхронизации (-) (сигнал меняется от максимума к минимуму). Для получения осциллограммы, такой как на рис. 401.6, необходимо **производить** синхронизацию по фронту (+). При выборе внешней синхронизации (EXT), открытого входа (DC) и выбора синхронизации по фронту (+) в верхней части экрана появится надпись «**EXT + DC**».

14. Установить, вращая ручку переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.), коэффициент развёртки, равный **2 μ S**. Индикация коэффициента развёртки «**A 2 μ S**» будет видна в левом верхнем углу экрана. При нажатии на ручку «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) и её вращении устанавливается некалиброванный коэффициент развёртки, при этом дисплей будет показывать «**A > 2 μ S**». Этот режим не используется в данной работе.

15. Вращая ручку «**TRIG LEVEL**» (УРОВЕНЬ ЗАПУСКА), необходимо **получить** устойчивую осциллограмму затухающих колебаний на экране осциллографа.

В нижнем правом углу экрана появится надпись «**f = 8.000 kHz**», показывающая частоту входного сигнала, поступающего по каналу внешней синхронизации с генератора **SFG2110**.

16. Кнопкой «**MAG x 10**» (РАСТЯЖКА ЛИНИИ РАЗВЁРТКИ В 10 РАЗ) можно «растянуть» длину линии развёртки – увеличить её в 10 раз, при этом в правом нижнем углу экрана появляется надпись «**MAG**». Но из-за возрастания скорости перемещения луча по экрану уменьшается его яркость, поэтому этот режим не используется в данной работе.

17. Установить переключателем «**VOLTS/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) Канала-1 «**CH1**» коэффициент отклонения в положение **50mV /дел.** При этом в левом нижнем углу экрана дисплей будет показывать «**1 : 50mV**». Нажатие на ручку этого переключателя приведёт к установке некалиброванного коэффициента отклонения канала. При этом на экране появится надпись: «**1 : > 50mV**». Этот режим не используется в данной работе, и для его отключения следует повторно нажать на эту ручку.

18. Кнопка «**AC/DC**» служит для переключения входов Канала-1

в режим закрытого или открытого входа. При закрытом входе на надписи «**1 : 50mV**» над буквой **V** появляется знак « ~ ». В данной работе эта кнопка может быть в любом положении.

19. В результате выполнения предыдущих пунктов на экране должно появиться устойчивое изображение затухающих колебаний. С помощью регуляторов установки положения луча по вертикали «**POSITION** \updownarrow » (ПОЛОЖЕНИЕ \updownarrow) в Канале-1 **установите** изображение исследуемого сигнала симметрично относительно центральной горизонтальной оси сетки экрана (рис. 401.7). Положение вдоль горизонтальной оси можно **устанавливать**, регулятором «**POSITION** < >» (он находится в правом верхнем углу передней панели осциллографа), причём при нажатии кнопки «**FINE**» (ПЛАВНО) производится плавная регулировка.

Все описанные операции служат для предварительной настройки осциллографа.

20. Далее при выполнении измерений различных параметров исследуемого сигнала можно устанавливать переключателем «**VOLTS/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) Канала-1 «**CH1**» другие коэффициенты отклонения, изменяя размер изображения, а с помощью переключателя «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) производить «сжатие» или «растяжку» изображения затухающих колебаний по горизонтальной оси.

21. На осциллографе АСК-7022 возможно производить измерения с помощью курсоров.

Использование курсоров ускоряет измерения и значительно уменьшает погрешность измерения по сравнению с традиционными методами измерения с помощью масштабной сетки экрана осциллографа.

В режиме временной развёртки можно измерять разность напряжения ΔV по вертикальной оси и длительность временных интервалов Δt по горизонтальной оси. Для включения курсорных измерений необходимо нажать кнопку « **$\Delta V \Delta t$ OFF**» ($\Delta V \Delta t$ ВЫКЛ.), которая переключает виды курсоров в последовательности: **горизонтальные курсоры – вертикальные курсоры – выкл.** При включении горизонтальных курсоров (измерение разности напряжения ΔV) на экране появляются две пунктирные горизонтальные линии курсора С1 и курсора С2, причём кнопкой выбора активного курсора «**ТСК/С2**» можно сделать активным любой из курсоров: С1 или С2. В режиме **ТСК** (СЛЕЖЕНИЕ) будут активны оба курсора (режим слежения в

данной работе не используется). Если выбран активным курсор C1, то в верхнем правом углу экрана появится надпись «**f: V – C1**». Если выбран активным курсор C2, то появится надпись: «**f: V – C2**». Активный курсор на экране выделен яркой меткой на конце пунктира, и его можно перемещать, вращая ручку «**FUNCTION**» (ФУНКЦИЯ), которая при нажатии на неё и вращении осуществляет грубое перемещение. Отсчёт показаний курсоров ΔV будет показан в нижнем левом углу экрана. Например, « **$\Delta V1 = 32,5 \text{ mV}$** ».

Выбрав кнопкой « **$\Delta V \Delta t \text{ OFF}$** » ($\Delta V \Delta t$ ВЫКЛ.) вертикальные курсоры, можно по горизонтальной оси измерять длительности временных интервалов Δt . При этом на экране вверху справа появится надпись: «**f: H – C1**» или – «**f: H – C2**», в зависимости от выбранного активного курсора. Отсчёт показаний Δt будет показан в нижнем левом углу экрана. Например, если дисплей (при произвольно установленных курсорах) показывает:

« **$\Delta t = 4,00 \mu\text{S}$ $1/\Delta t = 250,0 \text{ kHz}$** », то надпись « **$1/\Delta t = 250,0 \text{ kHz}$** » означает, что микроконтроллер осциллографа «**вычислил**» величину, обратную измеренному интервалу $\Delta t = 4,00 \mu\text{S}$, и получилось **250 кГц**. Для того чтобы эта частота соответствовала частоте колебаний контура $f = 1/T$, необходимо поставить курсоры так, чтобы они указывали на точки с одинаковой фазой, и расстояние между ними было равно одному периоду колебаний T (рис. 401.2.).

Остальные органы управления осциллографа не используются в данной работе.

22. **Измерить** с помощью курсоров период затухающих колебаний T . Для этого можно «растянуть» переключателем «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) изображение сигнала так, чтобы на экране было видно $1 \div 2$ периода затухающих колебаний, а величину изображения по вертикали с помощью переключателя «**VOLT/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) Канала-1 «**CH1**» установить на весь экран. При определении периода, для уменьшения погрешности, лучше устанавливать вертикальные курсоры не на вершины синусоиды, как показано на рис. 401.2, а на точки перехода синусоиды через нуль. В точках перехода крутизна наклона синусоиды больше по сравнению с «пологой» вершиной, поэтому курсор можно установить точнее. Для того чтобы определить положение точек перехода, необходимо чтобы изображение сигнала затухающих колебаний было симметрично относительно центральной горизон-

тальной оси масштабной сетки экрана. Проще всего это **сделать**, нажав на кнопку «**GND**» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) в Канале-1, которая отключит сигнал и заземлит вход канала осциллографа, при этом вместо сигнала затухающих колебаний на экране будет видна горизонтальная линия (нулевая линия), которую ручкой «**POSITION** \updownarrow » (ПОЛОЖЕНИЕ \updownarrow) в Канале-1 необходимо **совместить** с центральной горизонтальной осью масштабной сетки экрана. Затем снова **нажать** кнопку «**GND**» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) и на экране вновь появится изображение сигнала, но его положение уже будет симметрично относительно центральной горизонтальной линии экрана, а точки перехода синусоиды через нуль будут лежать на этой нулевой линии (точки Φ_1 , Φ_2 на рис. 401.6).

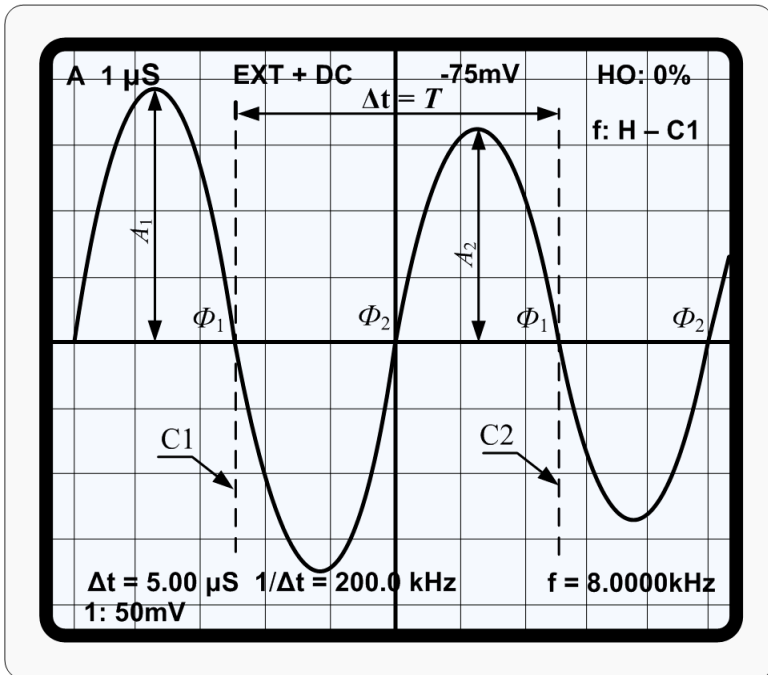


Рис. 401.6. Измерение периода затухающих колебаний с помощью курсоров

Затем кнопкой « $\Delta V \Delta t$ OFF» ($\Delta V \Delta t$ ВЫКЛ.) **выбрать** вертикальные курсоры и, устанавливая их в эти точки (точки пересечения линии сигнала с центральной осью), **получить** отсчёт величины $\Delta t = T$. При этом надо выбирать точки с одинаковой фазой, например, $\Phi_1 - \Phi_1$ (рис. 401.6), а также задавать расстояние между курсорами, равное одному периоду колебаний.

23. **Измерить** с помощью курсоров амплитуды первого A_1 и второго A_2 колебаний.

Для измерения амплитуды необходимо выбрать кнопкой « $\Delta V \Delta t$ OFF» ($\Delta V \Delta t$ ВЫКЛ.) горизонтальные курсоры. Нажав кнопку «GND» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ), **получить** вместо сигнала горизонтальную нулевую линию, **активировать** кнопкой «TСК/C2» курсор C2 и, вращая ручку «FUNCTION» (ФУНКЦИЯ), **совместить** его с нулевой линией. Затем снова **нажать** кнопку «GND» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) и **получить** изображение сигнала. **Активировать** кнопкой «TСК/C2» курсор C1, установить его ручкой «FUNCTION» (ФУНКЦИЯ) на вершину первой полуволны синусоиды и **получить** отсчёт (в нижнем левом углу экрана) $\Delta V = \dots \text{mV}$, который и будет равен амплитуде A_1 . Для измерения амплитуды A_2 курсор C1 надо **установить** на вторую вершину (рис. 401.6) и **считать** показания. При измерениях амплитуд после установки курсора C2 на нулевую линию нельзя менять положение этого курсора и смещать осциллограмму ручкой «POSITION \updownarrow » (ПОЛОЖЕНИЕ \updownarrow) в Канале-1.

24. **Определить** интервал времени τ , по истечении которого амплитуда колебаний уменьшится в e раз ($e = 2,72$) и будет равна $A_e = A_1 / 2,72 = 0,37 A_1$, где A_1 – амплитуда первой полуволны затухающих колебаний, определённая в п. 23.

Вычислить амплитуду A_e . Не меняя положение курсора C2 и положение осциллограммы на экране (установленные в п. 23), **активировать** кнопкой «TСК/C2» курсор C1 и, вращая ручку «FUNCTION» (ФУНКЦИЯ), **получить** показания дисплея $\Delta V = A_e$, при этом курсор C1 займёт положение, отстоящее от нулевой линии (и курсора C2) на величину амплитуды A_e .

Включить кнопкой «CH2» Канал-2. На экране появится горизонтальная линия, которую можно использовать как **вспомогательный** курсор C3. **Совместить** ручкой «POSITION \updownarrow » (ПОЛОЖЕ-

НИЕ ↓) **Канала-2!** вспомогательный курсор C3 с курсором C1. Переключателем «**TIME/DIV**» (ВРЕМЯ/ДЕЛ.) «**сжать**» осциллограмму так, чтобы было видно $8 \div 10$ периодов сигнала.

Переключить кнопкой « **$\Delta V \Delta t$ OFF**» ($\Delta V \Delta t$ ВЫКЛ.) вид курсоров на вертикальные курсоры. Курсор C1 **установить** на вершину первой полуволны, а курсор C2 **установить** в положение, где горизонтальная линия вспомогательного курсора C3 наиболее близко подходит к одной из вершин затухающих колебаний. Если линия курсора C3 будет проходить между вершинами, то необходимо **использовать** интерполяцию (рис. 401.7).

Внизу экрана появится отсчёт $\Delta t = \dots \mu\text{S}$, который равен искомой величине τ .

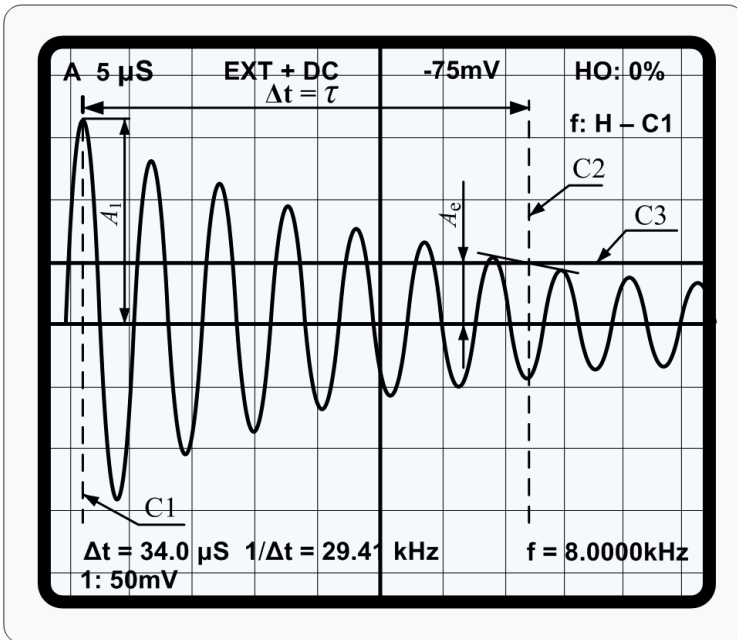


Рис. 401.7. Определение величины τ

25. **Определить** число полных колебаний N_e за время τ .
26. Результаты измерений **занести** в табл. 401.1.

Таблица 401.1

$T, \text{с}$	$\tau, \text{с}$	$A_1, \text{В}$	$A_2, \text{В}$	N_e

27. **Записать** в табл. 401.2 величину сопротивления R колебательного контура, указанную на лабораторном макете.

401.7. Обработка результатов измерений

1. Рассчитать:

- коэффициент затухания по формуле $\beta = 1/\tau$;
- период собственных колебаний T_0 по формуле (401.4);
- логарифмический декремент затухания по формуле $\delta = 1/N_e$;
- добротность контура по формуле $Q = \pi/\delta$;
- величину индуктивности L по формуле $L = R/2\beta$;
- емкость конденсатора по формуле $C = T_0^2 / (4\pi^2 L)$.

2. **Рассчитать** логарифмический декремент затухания δ и добротность Q по формулам (401.5) и (401.8) на основании измерений в п. 26 и **сравнить** их с результатами расчётов в п.1. Результаты расчётов **занести** в табл. 401.2.

Таблица 401.2

$R, \text{Ом}$	$T, \text{с}$	$\beta, \text{с}^{-1}$	$T_0, \text{с}$	δ	Q	$L, \text{Гн}$	$C, \text{Ф}$

3. **Оценить** абсолютную и относительную погрешность измерений.

Контрольные вопросы

1. Выведите дифференциальное уравнение, описывающее затухающие колебания в контуре.
2. Объясните, каким образом возникают колебания в контуре.
3. Приведите и объясните решение дифференциального уравнения.
4. Как зависят от времени заряд и напряжение на конденсаторе, а также ток в контуре? Запишите соответствующие выражения.
5. Дайте определение коэффициента затухания и объясните его физический смысл.
6. Дайте определение логарифмического декремента затухания и объясните его физический смысл.
7. От чего зависит период затухающих колебаний в контуре?
8. Как меняется заряд конденсатора во времени, если $\beta > \omega_0$?
9. Дайте определение добротности, поясните ее физический смысл.
10. Объясните, почему происходит затухание колебаний в контуре.
11. Объясните, как получены выражения (401.7) и (401.8) для добротности контура.

402. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

402.1. Цель работы

Изучение методов измерений скорости звука в воздухе и ее экспериментальное определение.

[1. С. 201 – 204; 2. С. 289 – 291, 295 – 300; 3. С. 227 – 229, 243 – 245, 247 – 249]

402.2. Разделы теории

Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Уравнение плоской механической волны. Скорость и длина волны. Стоячие волны, узлы и пучности стоячей волны.

402.3. Приборы и принадлежности

Электронный осциллограф АСК-7022, генератор сигналов низкочастотный ГЗ-123 и лабораторный стенд.

402.4. Теоретическое введение

Скорость звука зависит от физических характеристик среды, в которой распространяются звуковые волны. Так, для газа скорость звука v определяется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}, \quad (402.1)$$

где $\gamma = C_p/C_v$ – отношение молярных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме (для воздуха $\gamma = 1,4$); ρ – средняя плотность; P – среднее давление.

Учитывая, что

$$\frac{P}{\rho} = \frac{RT}{\mu},$$

где R – универсальная газовая постоянная; T – абсолютная температура; μ – молярная масса (для воздуха $\mu = 29$ г/моль), выражение (402.1) можно переписать в виде

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}}. \quad (402.2)$$

Скорость звука в воздухе также может быть определена на основе анализа распространения звуковых волн в нем. Пусть мы имеем две звуковые волны, прошедшие различные пути в одной среде (воздухе) и оказавшиеся в одной точке:

$$\begin{aligned} x_1 &= A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} l_1\right), \\ x_2 &= B \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} l_2\right), \end{aligned}$$

где l_1 и l_2 – пути, пройденные волнами; A и B – амплитуды колебаний; $\omega = 2\pi\nu$; ν – частота колебаний; λ – длина волны.

В точке наблюдения частицы среды участвуют в колебаниях, связанных с обеими волнами, поэтому результирующее колебание есть сумма колебаний рассматриваемых волн. Результат сложения этих волн зависит от разности фаз $\Delta\varphi$, которая определяется как

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} l_2 - \frac{2\pi}{\lambda} l_1 = \frac{2\pi}{\lambda} (l_2 - l_1) = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l, \quad (402.3)$$

где $\Delta l = l_2 - l_1$ – разность хода волн.

Из формулы (402.3) определяется длина звуковых волн:

$$\lambda = \frac{2\pi}{\Delta\varphi} \Delta l. \quad (402.4)$$

Длина волны λ связана со скоростью распространения v и частотой ν следующим образом:

$$\lambda = \nu / \nu. \quad (402.5)$$

Сравнивая выражения (402.4) и (402.5), получаем

$$\nu = \frac{2\pi\Delta l}{\Delta\varphi} \nu. \quad (402.6)$$

Разность фаз $\Delta\varphi$ легко определить, если колебания происходят во взаимно перпендикулярных направлениях. Для определения $\Delta\varphi$ складываемых волн проанализируем колебание, представляющее результат сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты.

Пусть имеются два колебания:

$$\begin{aligned} x &= A \cos \omega t, \\ y &= B \cos(\omega t + \Delta\varphi). \end{aligned} \quad (402.7)$$

Найдем результат сложения этих колебаний в обычной форме, исключив из уравнений (402.7) время t :

$$\begin{aligned} \cos \omega t &= \frac{x}{A}, \\ \sin \omega t &= \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}}. \end{aligned} \quad (402.8)$$

Применяя формулу косинуса суммы и заменяя $\cos \omega t$ и $\sin \omega t$ их значениями из (402.8), получим

$$\frac{y}{B} = \frac{x}{A} \cos \Delta\varphi - \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \sin \Delta\varphi. \quad (402.9)$$

Уравнение (402.9) приводится к виду

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \Delta\varphi = \sin^2 \Delta\varphi. \quad (402.10)$$

Полученный результат (402.10) представляет собой уравнение эллипса с произвольной ориентацией его полуосей относительно координатных осей.

Ориентация эллипса сложным образом зависит от разности фаз колебаний $\Delta\varphi$.

Проведем анализ формы траектории результирующего колебания для некоторых частных случаев.

1. Разность фаз $\Delta\varphi = 0$. Тогда уравнение (402.10) принимает вид

$$\left(\frac{x}{A} - \frac{y}{B} \right)^2 = 0,$$

откуда получается уравнение прямой

$$y = \frac{B}{A} x.$$

Следовательно, колеблющаяся точка будет перемещаться по прямой, длина которой от начала координат равна $r = \sqrt{x^2 + y^2}$. Таким образом, зависимость перемещения от времени определяется как

$$r(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \cos \omega t. \quad (402.11)$$

Из (402.11) следует, что результирующее колебание является гармоничес-

ким с частотой ω и амплитудой $\sqrt{A^2 + B^2}$.

2. Разность фаз $\Delta\varphi = +\pi$. В этом случае уравнение (402.10) принимает вид

$$\left(\frac{x}{A} + \frac{y}{B}\right)^2 = 0.$$

Отсюда получается, что результирующее колебание представляет собой гармоническое колебание вдоль прямой

$$y = -\frac{B}{A}x.$$

3. При разности фаз $\Delta\varphi = \pm\pi/2$ уравнение (402.10) преобразуется в уравнение эллипса, полуоси которого совпадают с координатными осями:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1.$$

При значениях $\Delta\varphi = \pi/2$ и $\Delta\varphi = -\pi/2$ направления движения по эллипсу противоположны.

Таким образом, при равенстве амплитуд исходных колебаний ($A=B$) и изменении разности фаз $\Delta\varphi$ от 0 до π траектория результирующего колебания принимает формы, представленные на рис. 402.1. При изменении разности фаз $\Delta\varphi$ от π до 2π формы результирующего колебания будут аналогичными, но наклон полуосей эллипсов изменится на $\pi/2$.

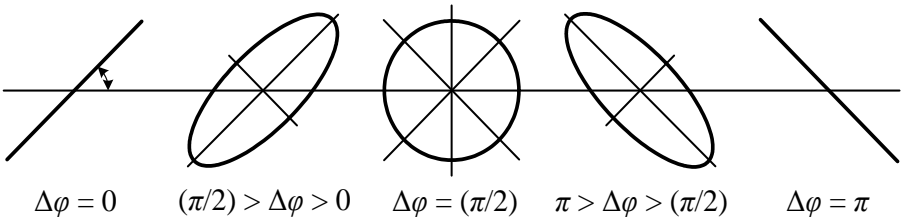


Рис. 402.1. Фигуры Лиссажу

Из анализа форм кривых результирующего колебания (называемых фигурами Лиссажу) вытекает возможность по виду и положению этих кривых определить разность фаз $\Delta\varphi$ складываемых колебаний. Тогда на основании соотношения (402.6) легко может быть определена и искомая скорость звука в воздухе.

В данной работе используется и другой способ определения скорости звука в воздухе – метод стоячей волны. Если расположить источник звуковых волн и отражающую поверхность на расстоянии L друг от друга, то между ними возникает стоячая волна с характерным распределением максимумов и минимумов смещения частиц среды относительно положения равновесия.

Рассмотрим две плоские волны с различными амплитудами, движущиеся навстречу друг другу:

$$\begin{aligned}\xi_1(x, t) &= A_1 e^{i(\omega t - kx)}, \\ \xi_2(x, t) &= A_2 e^{i(\omega t + kx)},\end{aligned}$$

где A_1 и A_2 – амплитуды падающей и отраженной волн соответственно. В реальных условиях всегда $A_1 > A_2$.

Результат сложения волн $\xi_1(x, t)$ и $\xi_2(x, t)$ представим в виде

$$\begin{aligned}\zeta(x, t) &= \xi_1(x, t) + \xi_2(x, t) = \\ &= A_1 e^{i(\omega t - kx)} + A_2 e^{i(\omega t + kx)} = e^{i(\omega t - kx)} (A_1 + A_2 e^{2ikx}) = \\ &= (A_1 - A_2) e^{i(\omega t - kx)} + A_2 (1 + e^{2ikx}) e^{i(\omega t - kx)} = \\ &= (A_1 - A_2) e^{i(\omega t - kx)} + 2A_2 (\cos kx) e^{i\omega t}.\end{aligned}\tag{402.12}$$

Первое слагаемое в выражении (402.12) представляет собой волну, бегущую в направлении возрастающих значений x , амплитуда которой равна разности $(A_1 - A_2)$ двух встречных волн. Второе слагаемое описывает колебательный процесс, локализованный в пространстве, с частотой ω и амплитудой $2A_2 \cos kx$, т.е. стоячую волну.

Положение максимумов (пучностей) в результирующей волне определяется из условия

$$kx = \frac{2\pi}{\lambda} x = \pm n\pi, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

причем амплитуда волны A' в этих точках равна

$$A' = A_1 - A_2 + 2A_2 = A_1 + A_2$$

или сумме амплитуд встречных волн.

Положение минимумов (узлов) определяется из условия

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = \pm \left(n + \frac{1}{2} \right) \pi, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (402.13)$$

Амплитуда волны A'' в этих точках равна

$$A'' = A_1 - A_2,$$

т.е. разности амплитуд встречных волн.

Из соотношений (402.5) и (402.13) следует, что для образования стоячей волны нужно, чтобы расстояние между источником и отражающей поверхностью L удовлетворяло условию

$$L = \frac{1}{2} n \lambda = \frac{n\nu}{2\nu}, \quad (402.14)$$

где n – целое число, ν – частота.

Из соотношения (402.14) следует, что если минимум, который будем считать нулевым, наблюдается при значении L_0 , а n -й при L_n , то искомая скорость равна

$$\nu = \lambda \nu = \frac{2(L_n - L_0)}{n} \nu. \quad (402.15)$$

402.5. Описание экспериментальной установки и методики измерений

Схема экспериментальной установки для измерения скорости звука в воздухе методом сложения взаимно перпендикулярных колебаний и методом стоячей волны показана на рис. 402.2.

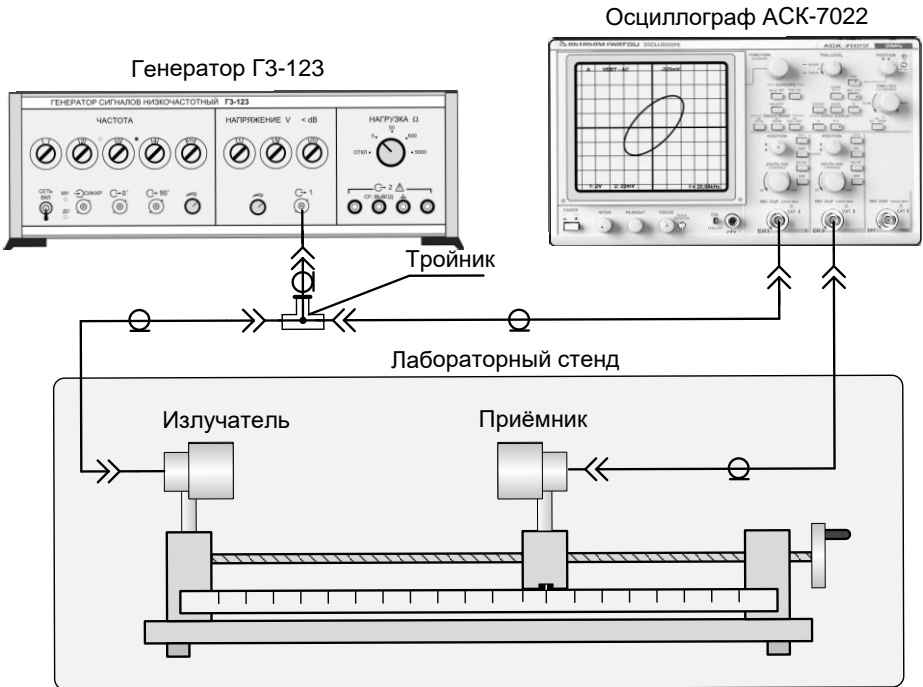


Рис. 402.2. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка содержит: 1 – генератор сигналов низкочастотный ГЗ-123; 2 – тройник СР-50-95ФВ; 3 – лабораторный стенд и 4 – электронный осциллограф АСК-7022.

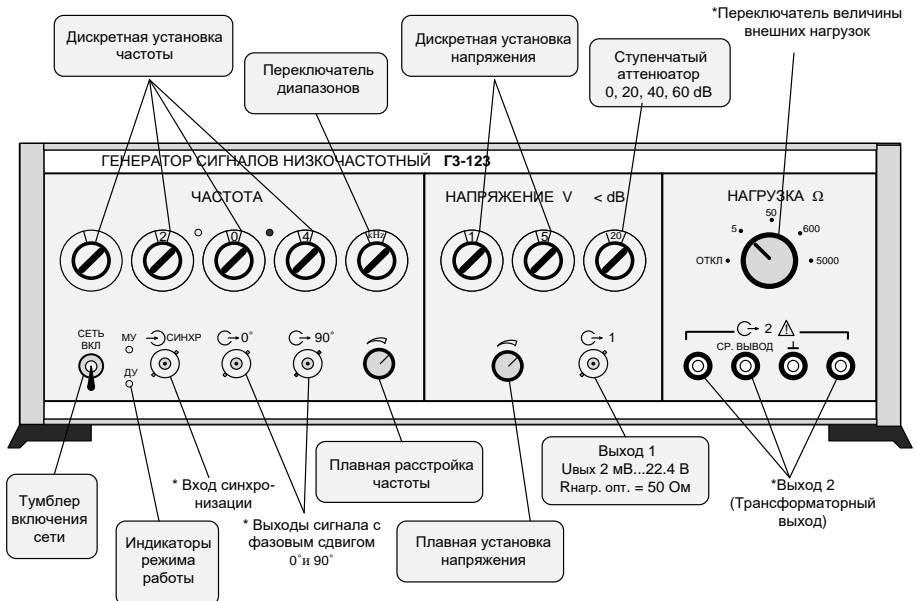
Лабораторный стенд представляет собой два установленных относительно излучающего и приемного ультразвуковых преобразователя, расстояние между которыми можно изменять. Положение приемного

преобразователя относительно излучающего преобразователя можно измерять по линейке.

Внешний вид генератора сигналов низкочастотного ГЗ-123 представлен на рис. 402.3.

Внешний вид лабораторного стенда представлен на рис. 402.4.

Внешний вид электронного осциллографа АСК-7022 представлен на рис. 402.5.



* Органы управления, неиспользуемые в данной лабораторной работе

Рис. 402.3. Внешний вид генератора ГЗ-123

При использовании метода сложения взаимно перпендикулярных колебаний электрические колебания от генератора одновременно подаются на пластины X осциллографа и излучающий преобразователь. Это – одно из складываемых колебаний. Второе колебание подается на пластины Y осциллографа от приемного преобразователя, который принимает звуковую волну, излученную преобразователем, и преобразует ее в электрический сигнал. Эти колебания различаются по фазе на $\Delta\varphi$ ($\Delta\varphi$ определяется из уравнения (402.3)) за счет про-

хождения звуковой волной расстояния между преобразователями Δl . Длину Δl можно измерить линейкой и изменять ее путем перемещения преобразователя.

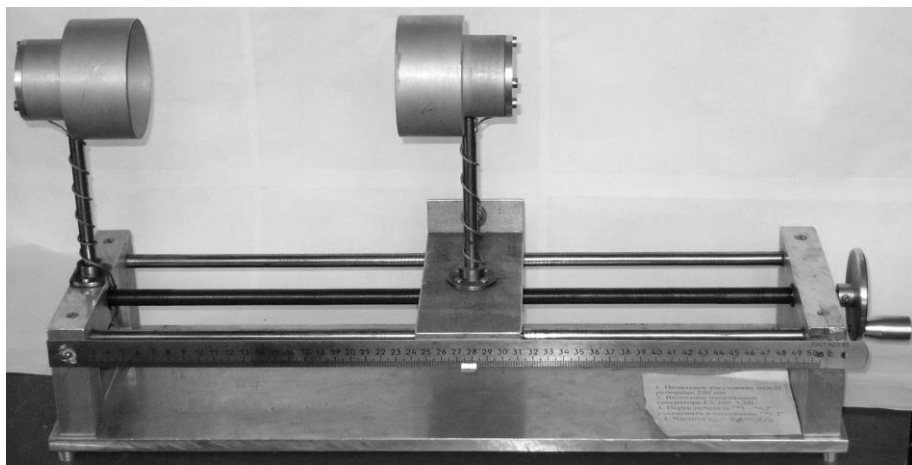


Рис. 402.4. Внешний вид лабораторного стенда

Весь процесс измерения сводится к получению известных кривых (фигур Лиссажу) результирующего колебания (см. рис. 402.1) на экране осциллографа при перемещении преобразователя 6. Например, при одном положении преобразователя 6 на экране получается эллипс, одна из осей которого горизонтальна. Это $\Delta\varphi = \pi/2$. Далее перемещают преобразователь 6 до тех пор, пока эллипс не превратится в прямую, при этом $\Delta\varphi = 0$. Таким образом, за счет дополнительной разности хода звуковых волн изменилась разность фаз $\Delta\varphi$ складываемых колебаний. Подставляя полученные значения $\Delta\varphi$, Δl и частоту генератора ν в формулу (402.6), находят скорость распространения звука v в воздухе.

При использовании метода стоячей волны электрические колебания от генератора 1 подаются на излучающий преобразователь 5. Излученная преобразователем 5 звуковая волна, пройдя расстояние L , попадает на приемный преобразователь 6, частично отражается от него и накладывается на падающую, образуя стоячую волну. С приемного преобразователя 6 электрический сигнал поступает на вертикальные пластины Y осциллографа 4 (горизонтальная развертка

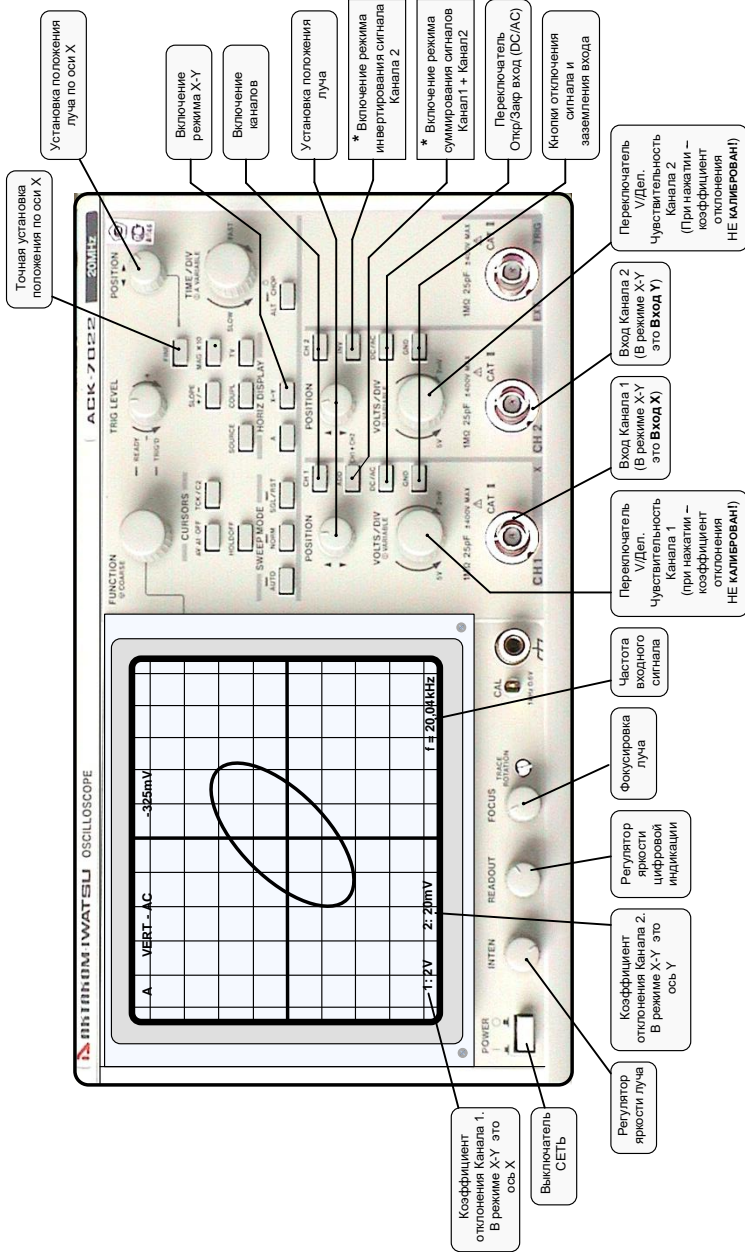


Рис. 402.5. Основные органы управления осциллографа АСК-7022 в режиме X-Y

осциллографа при этом отключена). Перемещая приемный преобразователь 6 с помощью винта, находят положение одного из минимумов (по минимальному размеру вертикальной линии на экране осциллографа) и записывают расстояние L_0 между преобразователями 5 и 6. Затем, перемещая далее преобразователь 6, записывают порядковый номер минимумов n и соответственно расстояния L_n . Полученные значения L_0, \dots, L_n , n и частоту генератора ν подставляют в формулу (402.15) и определяют скорость звука v в воздухе.

Для снижения влияния размеров преобразователей на результаты измерений необходимо, чтобы расстояние между преобразователями удовлетворяло условию $L > d^2/\lambda$ (d – диаметр преобразователя).

402.6. Порядок выполнения работы

402.6.1. Измерение скорости звука методом сложения взаимно перпендикулярных колебаний

1. **Собрать** экспериментальную установку, состоящую из лабораторного стенда, генератора сигналов ГЗ-123 и осциллографа АСК-7022 по схеме (см. рис. 402.2).

2. **Установить** по линейке лабораторного стенда расстояние между ультразвуковыми преобразователями 250 мм.

3. **Подключить** питание генератора сигналов низкой частоты (НЧ) ГЗ-123 и **включить** сетевой тумблер.

4. **Установить** частоту генератора ГЗ-123 (см. рис. 402.3), равную резонансной частоте ультразвуковых преобразователей, указанную на лабораторном стенде. **Установить** выходное напряжение 1.5 В. Для этого с помощью переключателей дискретной установки напряжения выставить напряжение 15 В и переключить ступенчатый аттенуатор в положение – 20 dB. **Установить** переключатель внешних нагрузок в положение «ОТКЛ.».

5. **Подключить** питание осциллографа АСК-7022 и включить сетевой выключатель «**POWER**» (СЕТЬ) (см. рис. 402.5).

6. После прогрева осциллографа регулятором «**INTEN**» (ЯРКОСТЬ) **установить** необходимую яркость луча.

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ: Не устанавливать чрезмерную яркость луча, так как если на экране осциллографа видна яркая неподвижная

точка, то возможно повреждение люминофора экрана!

При необходимости **произвести** установку яркости цифровой индикации регулятором «**READOUT**» (ПОКАЗАНИЯ), а фокусировку луча – регулятором «**FOCUS**» (ФОКУСИРОВКА).

7. **Включить** на осциллографе режим X-Y, нажав кнопку «X-Y». При этом Канал-1 осциллографа будет производить отклонение луча по оси X, а Канал-2 – по оси Y.

8. **Установить** переключателями чувствительности каналов «**VOLTS/DIV**» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) коэффициент отклонения Канала -1 в положение 1V/дел., а Канала-2 в положение 20 mV/дел.

При этом в левом нижнем углу экрана цифровые индикаторы будут показывать «**1 : 1V 2 : 20mV**».

Нажатие на ручку этого переключателя приведёт к установке некалиброванного коэффициента отклонения соответствующего канала. (При этом на экране появится надпись: «**1 : 1V 2 : > 20mV**».) Этот режим не используется в данной работе, поэтому для установки калиброванного коэффициента следует повторно нажать на эту ручку.

9. Кнопками включения каналов «**CH1**» (КАНАЛ 1) и «**CH2**» (КАНАЛ 2) и с помощью регуляторов установки положения луча на экране «**POSITION**» (ПОЛОЖЕНИЕ) **установите** изображение одной из фигур Лиссажу в центре экрана. Положение по оси X можно устанавливать регулятором «**POSITION < >**» (в правом верхнем углу передней панели осциллографа), причём при нажатии кнопки «**FINE**» (ПЛАВНО) производится плавная регулировка.

10. Кнопка «**INV**» (ИНВЕРТИРОВАНИЕ) в Канале-2 производит инвертирование изображения (изменения полярности сигнала). Кнопка «**ADD**» (СУММИРОВАНИЕ) в Канале-1 включает режим суммирования сигналов, поступающих на входы каналов. В данной лабораторной работе эти кнопки не используются и должны быть выключены.

11. Кнопки «**AC/DC**» служат для переключения входов каналов в режим закрытого или открытого входа. При закрытом входе на надписи «**1 : 1V 2 : 20mV**» над буквой V появляется знак « ~ ». В данной работе эта кнопка может находиться в любом положении.

12. Для более точной настройки частоты генератора на резонансную частоту лабораторного стенда **нажать** кнопку «**GND**» Канала-1. При этом на вход Канала-1 (Вход X) не будет поступать сигнал,

луч будет отклоняться только по оси Y и на экране будет видна вертикальная линия. Изменяя частоту генератора переключателями дискретной установки частоты и регулятором плавной расстройки частоты, **получить** максимальную длину вертикальной линии на экране осциллографа, при этом возможно потребуется изменить чувствительность Канала-2 «VOLTS/DIV» (ВОЛЬТ/ДЕЛ.) осциллографа. Как правило, частота может незначительно отличаться от указанной на стенде, поэтому достаточно использовать только младшую декаду переключателя дискретной установки частоты и регулятор плавной расстройки частоты.

После проведения точной настройки необходимо повторным нажатием на кнопку «GND» Канала-1 вновь **получить** на экране изображение фигуры Лиссажу.

13. Принять одну из фигур Лиссажу (например, прямую линию, $\Delta\varphi = 0$) за исходную и **измерить** расстояние между излучателем и приёмником по линейке лабораторного стенда. Затем медленно перемещая приёмник, пронаблюдать прямые линии, соответствующие разности фаз π , 2π , 4π , 6π , записать расстояния между излучателем и приёмником и определить разности хода $\Delta\ell$.

14. Результаты измерений записать в табл. 402.1.

Таблица 402.1

Разность фаз $\Delta\varphi$, рад.	0	π	2π	4π	6π
Отсчёт по линейке ℓ , мм					
Разность хода $\Delta\ell$, мм					
Скорость звука v , м/с					

402.6.2. Измерение скорости звука методом стоячей волны

1. **Нажать** кнопку «GND» Канала-1 осциллографа. При этом на экране появится вертикальная линия. Медленно перемещая приёмник,

проверить наличие максимумов и минимумов по изменению размера вертикальной линии на экране осциллографа.

2. Принять один из минимумов за начало отсчета. Перемещая приёмник с помощью винта, найти последующие 4 четных минимума и по линейке измерить соответствующие этим минимумам расстояния L_n между излучателем и приёмником. Измерения начинать от значения $L > 250$ мм.

3. Результаты измерений записать в табл. 402.2.

Таблица 402.2

Номер минимума n	0	2	4	6	8
Отсчёт по линейке L_n , мм					
Разность хода $L_n - L_0$, мм					
Скорость звука v , м/с					

402.7. Обработка результатов измерений и оценка погрешностей

1. Рассчитать скорость звука v в воздухе по формуле (402.6), используя результаты измерений Δl и $\Delta \varphi$ из табл. 402.1.

2. Оценить погрешность измерения скорости, полагая $\Delta v = 0$. Результат записать в виде

$$v = v_0 \pm \Delta v.$$

3. Определить температуру T , соответствующую условиям данного эксперимента, по формуле (402.2), используя табличные значения R и μ , а также измеренное значение скорости звука v в воздухе.

4. Оценить погрешность измерения температуры T . Результат представить в виде

$$T = T_0 \pm \Delta T.$$

5. Рассчитать скорость звука v в воздухе по формуле (402.15), используя значения n , L_0 и L_n из табл. 402.2 и значение частоты ν генератора.

6. Оценить погрешность измерения скорости, считая погрешности ΔL_0 и ΔL_n одинаковыми, а $\Delta \nu = 0$.

7. Сравнить полученные в пп. 1 и 5 результаты и сделать соответствующие выводы.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит скорость звука в воздухе?
2. В чем состоит сущность измерения скорости звука по методу сложения взаимно перпендикулярных колебаний?
3. При каких фазовых соотношениях между исходными колебаниями на экране осциллографа наблюдаются прямая линия, круг или эллипс?
4. Выведите уравнение (402.10), описывающее результирующее колебание.
5. Объясните, почему при перемещении преобразователя b происходит изменение формы кривой результирующего колебания, наблюдаемого на экране осциллографа.
6. Объясните, что представляют собой фигуры Лиссажу.
7. В чем состоит сущность измерения скорости звука в воздухе по методу стоячей волны?
8. От каких параметров зависит положение максимумов и минимумов (узлов и пучностей) в стоячей волне?
9. Напишите уравнение стоячей волны и дайте ее определение.
10. Получите формулы для нахождения погрешностей измерений.
11. Выведите уравнение стоячей волны (402.12).

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1986. – Т.1. – 432 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1988. – Т.2. – 496 с.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.

**Сластен Михаил Иванович
Какурина Наталья Андреевна
Какурин Юрий Борисович**

**РУКОВОДСТВО К ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ФИЗИКА ПО РАЗДЕЛУ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ**

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск Какурин Ю.Б.
Редактор Проценко И.А.
Корректор Проценко И.А.

Подписано в печать
Заказ № Тираж 20 экз.
Формат 60x84 1/16. Усл. п. л. – 2,3. Уч.-изд. л. – 2,1.

Издательство Южного федерального университета
344091, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1. Тел. (863)2434166.
Отпечатано в Секторе обеспечения полиграфической продукцией в
г. Таганроге отдела полиграфической, корпоративной и сувенирной
продукции ИПК КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1. Тел. (8634)371717.