

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).

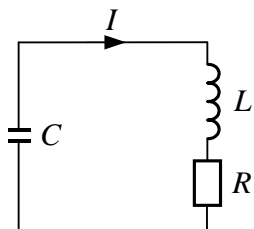


Рис. 401.1

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:

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

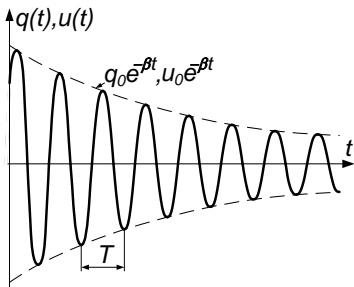
где  $\beta = R/2L$  – коэффициент затухания;  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  – частота собственных колебаний (в колебательном контуре без потерь, т.е. при  $R = 0$ ).

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

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  $\beta$ , 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 ( $\tau$  – 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  $\tau$ .

Из выражения (401.5) также следует, что

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

Поскольку период колебаний  $T$ , а следовательно, и логарифмический декремент затухания  $\delta$  определяются параметрами контура  $L, C, R$ , то  $\delta$  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  $\Delta W$  за один период колебаний, умноженное на  $2\pi$ :

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

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

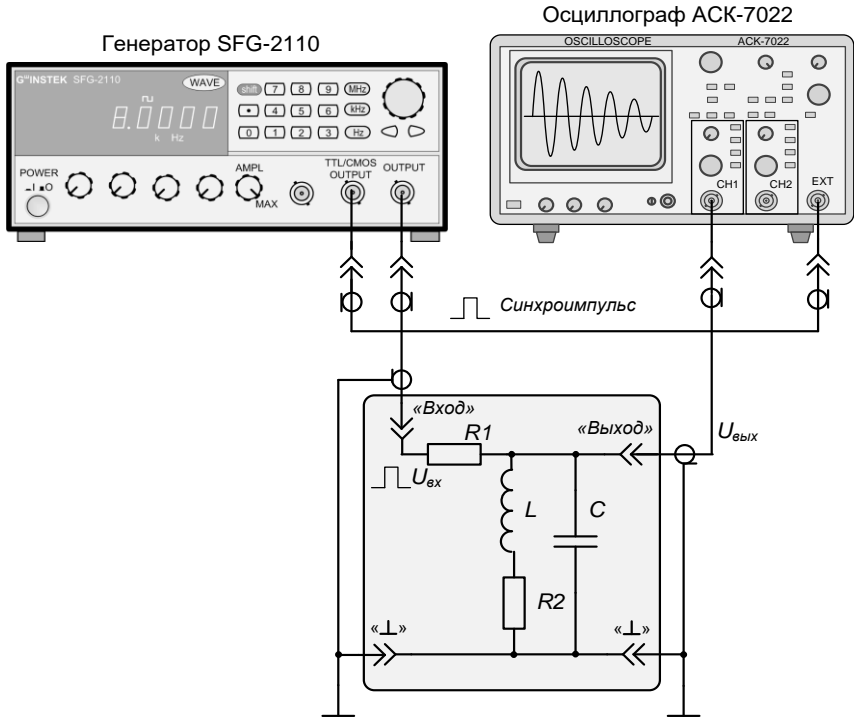


Рис. 401.3. Схема подключения измерительных приборов



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**).

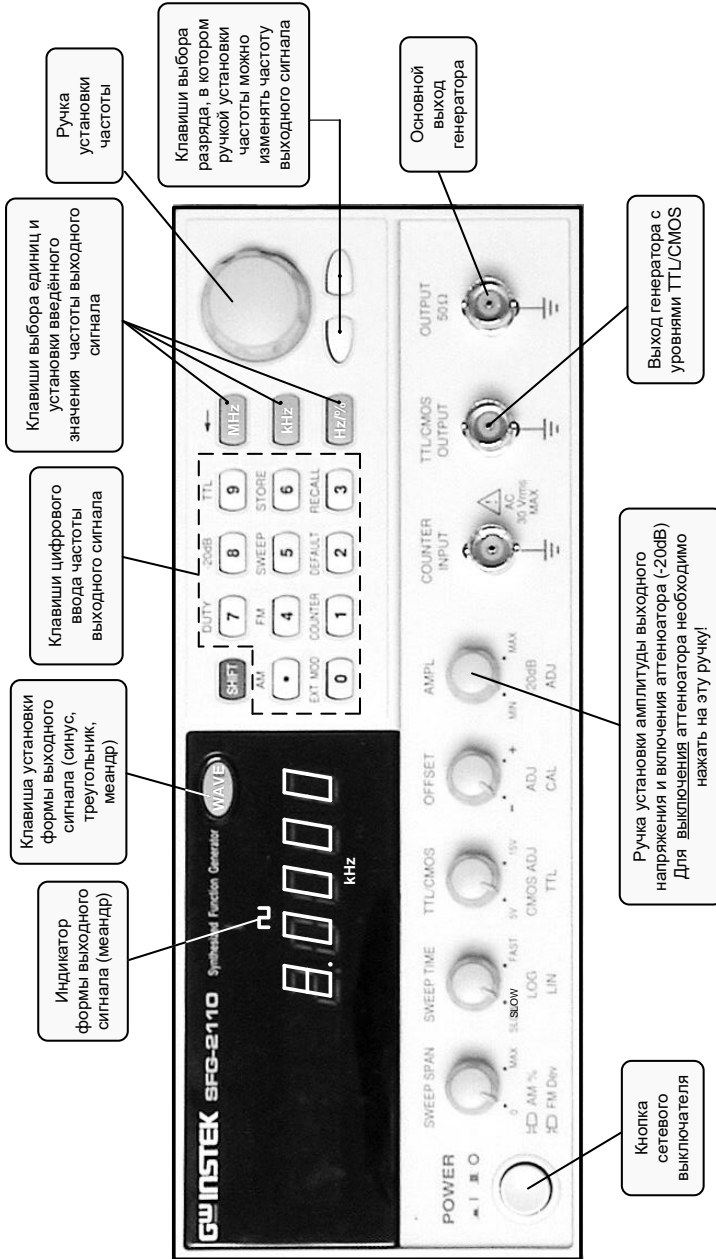


Рис. 401.4. Основные органы управления генератора SFG-2110

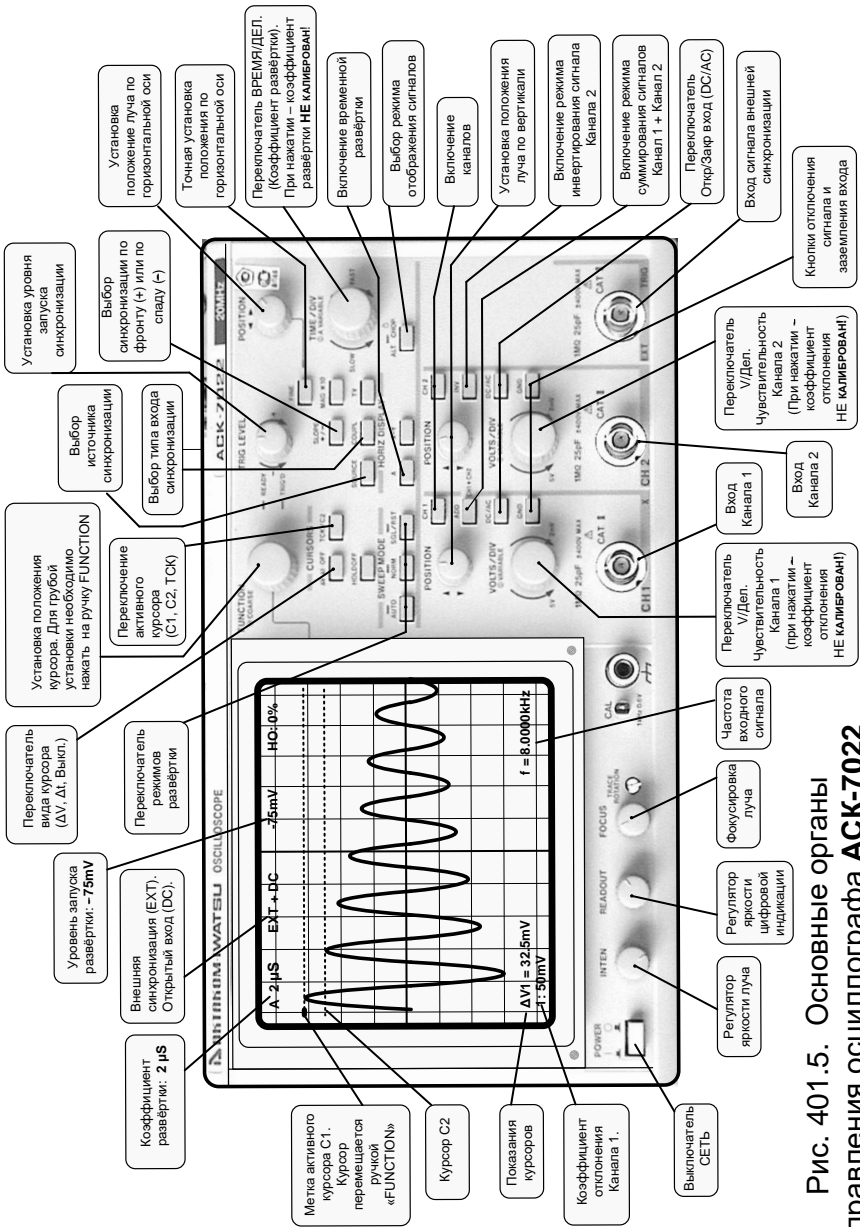


Рис. 401.5. Основные органы управления осциллографа АСК-7022

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  $2 \mu\text{S}$ . Индикация коэффициента развёртки «**A 2  $\mu\text{S}$** » 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  $\mu\text{S}$** ». 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  $50\text{mV}$  /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  $\Delta V$  по вертикальной оси и длительность временных интервалов  $\Delta t$  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  $\Delta V$ ) 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  $\Delta V$  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  $\Delta t$ . При этом на экране вверху справа появится надпись: «f: H – C1» или – «f: H – C2», в зависимости от выбранного активного курсора. Отсчёт показаний  $\Delta t$  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  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$  на рис. 401.6).

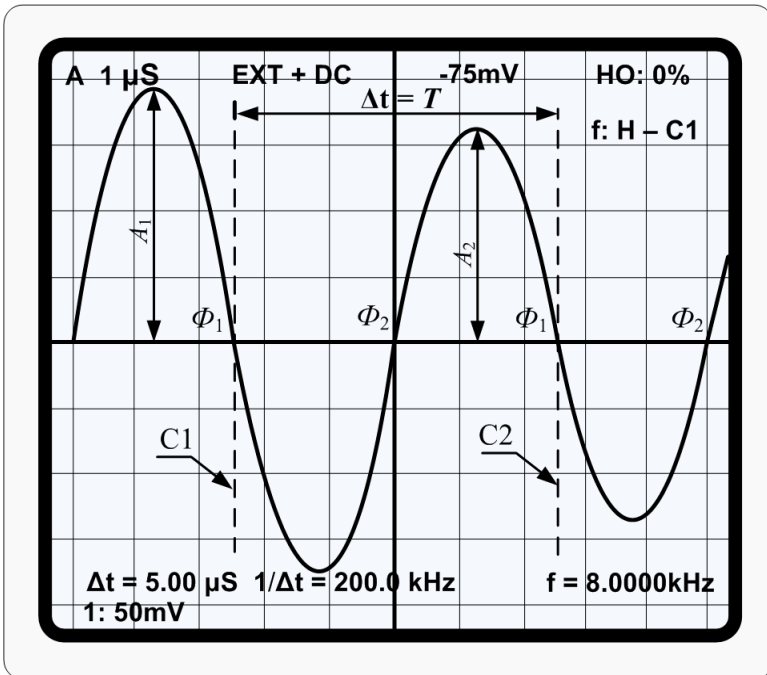


Рис. 401.6. Измерение периода затухающих колебаний с помощью курсоров



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/С2» курсор С2 и, вращая ручку «FUNCTION» (ФУНКЦИЯ), **совместить** его с нулевой линией. Затем снова **нажать** кнопку «GND» (ЗАЗЕМЛЕНИЕ) и **получить** изображение сигнала. **Активировать** кнопкой «TСК/С2» курсор С1, 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 С1 надо **установить** на вторую вершину (рис. 401.6) и **считать** показания. При измерениях амплитуд после установки курсора С2 на нулевую линию нельзя менять положение этого курсора и смещать осциллограмму ручкой «POSITION  $\updownarrow$ » (ПОЛОЖЕНИЕ  $\updownarrow$ ) в Канале-1.

24. **Определить** интервал времени  $\tau$ , 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 С2 и положение осциллограммы на экране (установленные в п. 23), **активировать** кнопкой «TСК/С2» курсор С1 и, вращая ручку «FUNCTION» (ФУНКЦИЯ), **получить** показания дисплея  $\Delta V = A_e$ , при этом курсор С1 займёт положение, отстоящее от нулевой линии (и курсора С2) на величину амплитуды  $A_e$ .

**Включить** кнопкой «СН2» Канал-2. На экране появится горизонтальная линия, которую можно использовать как **вспомогательный** курсор С3. **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  $\tau$ .

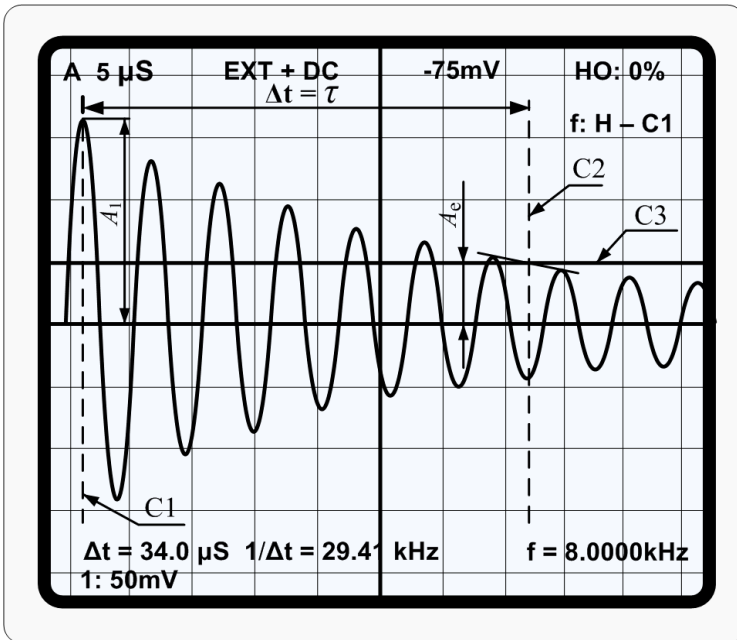


Рис. 401.7. Определение величины  $\tau$

25. **Определить** число полных колебаний  $N_e$  за время  $\tau$ .
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  $\delta$  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

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

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.