

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет»

ФИЗИКА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ФИЗИКЕ

Омск
Издательство ОмГТУ
2011

Составители:

Ласица Александр Михайлович, к.т.н., доцент

Егорова Виктория Александровна, к.т.н., доцент

Сазанова Наталья Геннадьевна, к.п.н., доцент

Методические указания предназначены для студентов дневного и вечернего отделения. Они включают в себя описания лабораторных работ по физике к разделу «Физика колебательных процессов».

Подготовлены на кафедре «Физика» ОмГТУ и одобрены редакционно-издательским советом ОмГТУ.

Лабораторная работа № 6.21

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ КОЛЕБАТЕЛЬНОМ КОНТУРЕ

Цель работы: изучение явления резонанса в RLC- контуре, определение резонансной частоты и добротности контура.

Приборы и принадлежности: генератор АНР-1002, вольтметр АВ1, стенд СЗ-ЭМ01, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

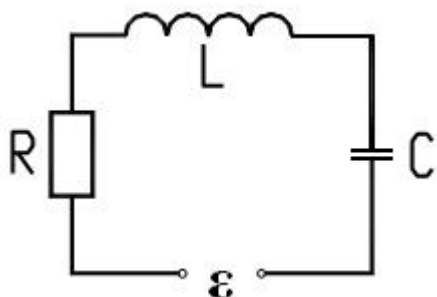


Рис. 1

Последовательный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью C , соленоида индуктивностью L , омического сопротивления R и источника переменной ЭДС ε , включенных последовательно (рис. 1).

По закону Ома для неоднородного участка цепи сила тока:

$$I = (\varepsilon + \varepsilon_s - \Delta\varphi) / R, \quad (1)$$

где ε - ЭДС источника переменного напряжения, которая изменяется по синусоидальному закону $\varepsilon = \varepsilon_0 \sin(\Omega t)$, ε_s - ЭДС самоиндукции, возникающая в соленоиде, $\Delta\varphi$ - разность потенциалов на обкладках конденсатора, которую в дальнейшем будем обозначать через U .

Преобразуя (1), составим дифференциальное уравнение, описывающее колебательный процесс в рассматриваемом контуре:

$$IR = \varepsilon - LdI/dt - U, \quad (2)$$

где $\varepsilon_s = -LdI/dt$, $\Delta\varphi = U$.

Силу тока в цепи I и напряжение на конденсаторе U можно связать, рассматривая процесс изменения заряда конденсатора:

$$I = dq/dt, \quad U = q/C, \quad I = CdU/dt \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU}{dt} + \frac{1}{LC} U = \frac{\varepsilon_0}{LC} \sin \Omega t. \quad (4)$$

Введём обозначения: $R/2L = \beta$, $1/CL = \omega_0^2$ и $\varepsilon_0/CL = E_0$ (ω_0 - частота собственных колебаний контура, β - коэффициент затухания, Ω - частота внешней ЭДС). После их подстановки в (4) имеем неоднородное дифференциальное уравнение вынужденных колебаний:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + 2\beta \frac{dU}{dt} + \omega_0^2 U = E_0 \sin \Omega t. \quad (5)$$

Решением его является сумма частного решения неоднородного уравнения и общего решения соответствующего однородного уравнения, которым в установившемся режиме колебаний можно пренебречь. Частное

решение неоднородного уравнения (5) имеет вид:

$$U = U_0(\Omega) \sin(\Omega t + \varphi), \quad (6)$$

где амплитуда напряжения на конденсаторе U_0 может быть найдена подстановкой (6) в (5). Параметр φ , представляющий собой сдвиг фаз колебаний напряжения на конденсаторе по отношению к колебаниям вынуждающей ЭДС, в лабораторной работе не определяется.

График вынужденных колебаний напряжения на конденсаторе (уравнение (6)) представлен на рис. 2. Вынужденные колебания происходят с частотой вынуждающей ЭДС Ω .

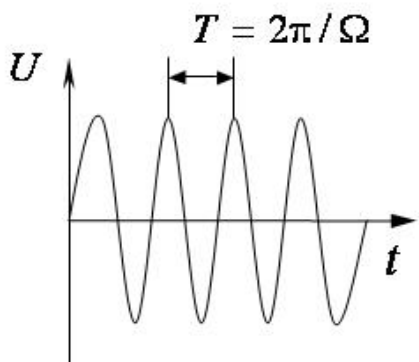


Рис. 2

При приближении частоты внешнего вынуждающего воздействия Ω к собственной частоте колебаний ω_0 в контуре резко возрастает амплитуда колебаний напряжения на конденсаторе – происходит явление резонанса. В работе исследуется зависимость амплитуды колебаний напряжения на конденсаторе U_0 от Ω при разных сопротивлениях контура R .

контура R .

Амплитуда вынужденных колебаний:

$$U_0(\Omega) = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2\Omega^2}} \quad (7)$$

Из формулы (7) видно, что величина U_0 зависит прямо пропорционально от амплитуды вынуждающей ЭДС ε_0 и сложным образом от параметров колебательного контура ω_0 и β . Исследование зависимости $U_0(\Omega)$ показывает:

1) при $\Omega \rightarrow 0$ напряжение на конденсаторе $U_0 \rightarrow \varepsilon_0$;

2) функция $U_0(\Omega)$ обладает

максимумом при частоте генератора:

$$\Omega_{рез} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}. \quad (8);$$

3) напряжение на конденсаторе U_0 стремится к нулю при $\Omega \rightarrow \infty$.

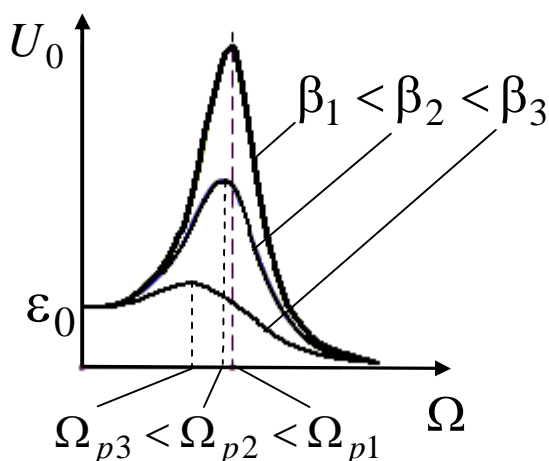


Рис. 3

Графики зависимости $U_0(\Omega)$ для различных коэффициентов затухания β приведены на рис. 3. Данные графики отражают явление резонанса напряжений. Частота вынуждающей ЭДС, при которой $U_0 = U_0^{max}$, называется резонансной. Она зависит от параметров колебательного контура (формула (8)).

Следует отметить, что резонанс для силы тока наблюдается при частоте

ω_0 , не зависящей от β .

Для колебательного контура вводится понятие добротности:

$$Q_i = U_{oi}^{\max} / \epsilon_0, \quad (9)$$

или:

$$Q = \frac{V_{\text{рез}}}{2\Delta\nu}, \quad (10)$$

где $2\Delta\nu$ - ширина резонансной кривой при $U_c = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$.

Порядок выполнения работы

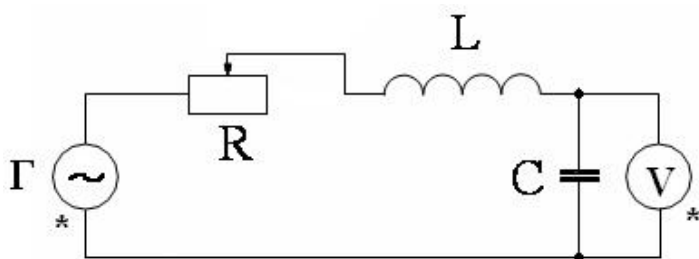


Рис. 4

1. Собрать схему, приведенную на рисунке 4. По указанию преподавателя подключить одну из емкостей C_1 или C_2 .

2. Убедиться, что на генераторе АНР-1002 отжаты клавиши регулировки симметрии фронта 4

(SYMMETRY) и клавиша регулировки постоянной составляющей сигнала 5 (OFFSET). На блоке переключателей для управления режимом качания частоты 7 (SWEEP) зафиксируйте конечную частоту, нажав кнопку STOP и отжав ON .

3. Подключить питание генератора АНР-1002 клавишей включения и выключения питания 1 (POWER) и блока амперметра-вольтметра АВ1 клавишей СЕТЬ на передней панели блока.

4. На генераторе АНР-1002 с помощью переключателей выбора формы выходного сигнала 14 установить синусоидальный сигнал .

5. На блоке амперметра-вольтметра АВ1 установить режим измерений переменного напряжения (нажать клавишу « \approx »).

6. С помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши \uparrow и \downarrow) и регулятора частоты выходного сигнала 11 (FREQUENCY) установить частоту выходного сигнала генератора порядка 50 Гц.

7. На блоке амперметра-вольтметра АВ1 установить диапазон измерений 2 В.

8. С помощью регулятора амплитуды выходного сигнала генератора (AMPLITUDE) установить амплитуду сигнала U_{co} в интервале $1 \div 2$ В. Значение записать в таблицу 1.

9. Установить величину сопротивления $R=0$.

10. Переключить диапазон измерений блока амперметра-вольтметра АВ1 на 200 В.

11. Выявить диапазон частот, соответствующий резонансу. Для этого после каждого переключения интервала частот (с помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши $\hat{\uparrow}$ и $\hat{\downarrow}$)) регулятором частоты выходного сигнала 11 (FREQUENCY) очень плавно изменять частоту сигнала генератора (от минимума к максимуму или наоборот) и следить за показаниями вольтметра. В искомом диапазоне амплитуда сигнала должна увеличиться в несколько раз (порядка 10 и более).

12. Определить приблизительно резонансную частоту контура ν_p и максимальное значение напряжения на емкости U_m . Значения записать в табл. 1.

13. Выбрать интервал изучения резонансной кривой в пределах ± 10 кГц от значения резонансной частоты ν_p . Плавно изменяя частоту генератора в выбранном интервале (от $(\nu_p - 10 \text{ кГц})$ до $(\nu_p + 10 \text{ кГц})$), получить 20 пар значений (U_{ci}, ν_i) . Результаты занести в таблицу. При работе необходимо выбирать оптимальный диапазон измерений вольтметра. Частоту генератора следует изменять с переменным шагом, уменьшая его в области резкого возрастания амплитуды напряжения на конденсаторе. Рекомендуемый шаг: $(1,5 \div 2)$ кГц в области малых изменений амплитуды и $(0,1 \div 0,5)$ кГц при резонансе.

14. Установить величину сопротивления $R=200 \text{ Ом}$ и повторить пункты 12-13 в том же диапазоне частот.

15. Изменить величину емкости и определить резонансную частоту ν_{p2} при $R=0$. Результат занести в табл. 1.

Таблица 1

№	$U_{co}, \text{ В}$	$C_i, \text{ мкФ}$	$R=0$		$R=200$		$C_j, \text{ мкФ}$	$\nu_{p2}, \text{ кГц}$
			$\nu_i, \text{ кГц}$	$U_{ci}, \text{ В}$	$\nu_i, \text{ кГц}$	$U_{ci}, \text{ В}$		
1								
2								
...								
21								

16. По результатам измерений построить резонансные кривые (на миллиметровой бумаге или с использованием компьютерных программ) и определить добротности контура при каждом значении R по соотношению (10).

17. Сделать выводы по влиянию сопротивления на амплитуду напряжения и резонансную частоту.

18. Проверить справедливость соотношения: $\frac{\nu_{p1}}{\nu_{p2}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$. Сделать вывод о влиянии емкости на резонансную частоту.

Контрольные вопросы

1. Дифференциальное уравнение колебаний в последовательном RLC-контуре.

2. Вынужденные колебания в колебательном контуре. Амплитуда и частота вынужденных колебаний.
3. Собственная частота, коэффициент затухания и добротность колебательного контура.
4. Явление резонанса в последовательном RLC –контуре. Способы, какими можно вызвать резонанс напряжения на конденсаторе. Резонансная частота.
5. Влияние параметров RLC –контура на вид резонансной кривой.

Лабораторная работа № 6.22

СВОБОДНЫЕ (ЗАТУХАЮЩИЕ) КОЛЕБАНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ RLC-КОНТУРЕ.

Цель работы: наблюдение затухающих колебаний на экране осциллографа и экспериментальное определение характеристик колебаний и параметров контура.

Приборы и принадлежности: генератор прямоугольных импульсов (в блоке ГН1), цифровой осциллограф PicoScore 2203, стенд С-ЭМ01, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

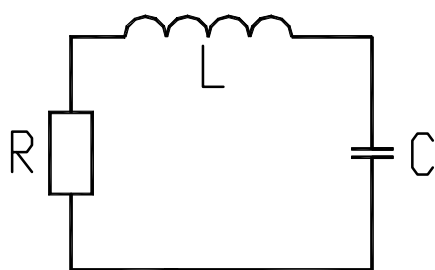


Рис. 1

Уравнение свободных колебаний в последовательном RLC –контуре (рис.1) может быть получено из второго правила Кирхгофа:

$$U_c + U_R = \varepsilon_s,$$

$$\text{где } U_c = \frac{q}{C}, U_R = I \cdot R = R \cdot \frac{dq}{dt}, \varepsilon_s = -L \cdot \frac{dI}{dt}.$$

Окончательно уравнение принимает вид

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + 2\beta \frac{dU_c}{dt} + \omega_0^2 U_c = 0, \quad (1)$$

$$\text{где } \beta = \frac{R}{2L}, \omega_0^2 = \frac{1}{LC}.$$

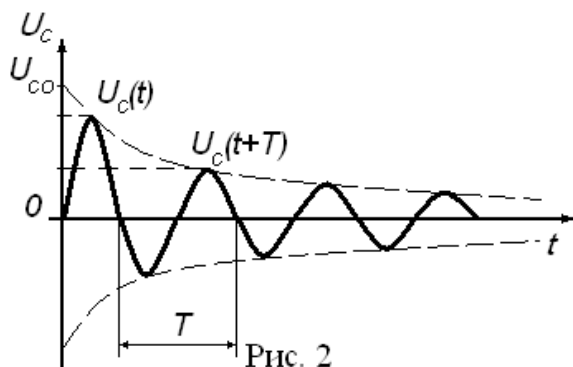
Решением уравнения (1) при малом затухании ($\beta^2 \ll \omega_0^2$) является функция, описываемая уравнением:

$$U_c(t) = U_{co} e^{-\beta t} \text{Cos}(\omega t + \alpha), \quad (2)$$

где ω -частота затухающих колебаний, β -коэффициент затухания, α - начальная фаза, U_{co} -максимальное напряжение на конденсаторе.

Период затухающих колебаний T при малом затухании можно приближенно считать равным периоду незатухающих колебаний T_0 :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}; T_0 = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (3)$$



Важной характеристикой затухающих колебаний является логарифмический декремент затухания λ , характеризующий уменьшение амплитуды колебаний за один период

$$\lambda = \ln \frac{U_c(t)}{U_c(t+T)} = \beta T, \quad (4)$$

где $U_c(t)$ - амплитуда затухающих колебаний в момент времени t ; $U_c(t+T)$ - амплитуда затухающих колебаний через период в момент времени $t+T$.

При малом затухании ($\omega \approx \omega_0$) для λ можно использовать формулу:

$$\lambda \approx \pi R_{\text{конт}} \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{конт}}$ - общее активное сопротивление контура.

$$R_{\text{конт}} = R + r + r_L, \quad (6)$$

где R - внешнее сопротивление, r - внутренне сопротивление источника тока, r_L - активное сопротивление катушки.

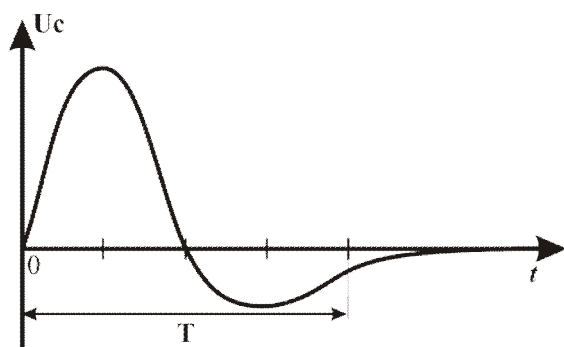


Рис.3

Критическое сопротивление контура, при котором колебательный процесс переходит в апериодический (рис.3), может быть найдено из условия $\beta_{кр} = \omega_0$.

$$R_{\text{конт}} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (7)$$

Добротность контура Q равна:

$$Q = 2\pi \frac{W(t)}{W_{\text{потерь}}(t+T)} = \frac{\pi}{\lambda} = \frac{\omega L}{R_{\text{конт}}}. \quad (8)$$

где $W(t)$ - энергия контура в некоторый момент времени t , $W_{\text{потерь}}(t+T)$ - энергия потерь за период.

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему, приведённую на рис. 4. По указанию преподавателя подключите нужный вариант катушки индуктивности (L_1 или L_2) и емкость C_1 .

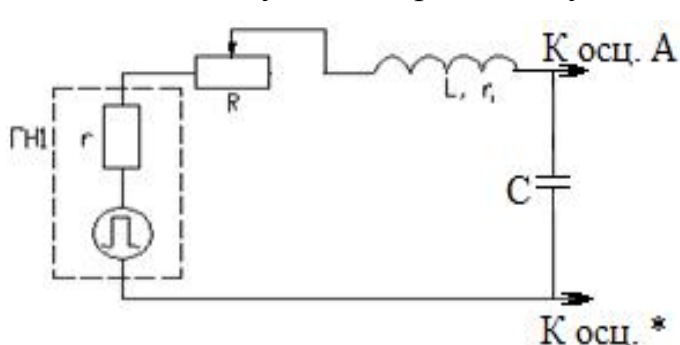



Рис. 4

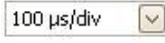
При подключении осциллографа соблюдайте полярность. Включите внутреннее сопротивление ГН1 (кнопка « $R_{вн}$ » нажата). Установите частоту 1200 Гц.

2. Запустив программу «PicoScore», включите цифровой осциллограф.


3. Для канала А установите на панели настройки канала автоматический диапазон входного



сигнала осциллографа

4. Нажав клавишу автоматической установки  на **панели захвата изображения**, получите оптимальное изображение сигналов на осциллографе.

5. На **панели захвата изображения** измените коэффициент развёртки, выбрав в меню выбора коэффициента развёртки  такое значение, при котором на экране осциллографа будет полностью отображаться процесс затухания 1-2 колебаний (см. рис. 2).

Примечание: приставка μ перед единицами измерений означает микро-, приставка m – мили-, приставка n – нано-.

6. Остановите обработку данных осциллографом, нажав на **панели Запуска/Остановки** в левом нижнем углу экрана клавишу «Стоп» .

*Примечание: функции **панели увеличения** , а также меню растяжки по горизонтали  на **панели захвата изображения** позволяют выбирать для просмотра отдельные участки сигнала и менять их масштаб. Например, увеличив масштаб (следовательно, и точность измерений), можно разместить на экране только один период или сдвинуть полученную осциллограмму относительно горизонтальной или вертикальной осей для удобства вычислений.*

7. Определите период затухающих колебаний при нулевом сопротивлении R . Для этого щёлкните левой кнопкой мыши на соседние максимумы кривой, при этом на экране отобразятся соответствующие им моменты времени. Период равен разности этих времён. Результаты занесите в табл. 1.

8. Отожмите клавишу «Стоп» .

9. Прodelайте пункты 1-8 для емкостей C_2 и C_3 .

10. Для одной из ёмкостей (по указанию преподавателя) определите $U_c(t)$ и $U_c(t+T)$ по вертикальной шкале на экране осциллографа. Полученные результаты занесите в табл. 1.

11. Наблюдая сигнал на осциллографе при выбранном значении ёмкости, доведите величину переменного сопротивления R до значения, при котором периодический процесс переходит в аperiodический. Полученное значение R_k занесите в табл. 2.

12. Используя формулы (3), (4), (8), рассчитайте индуктивность контура L , логарифмический декремент затухания λ и добротность Q при $R = 0$. Результаты занесите в табл. 1.

13. Рассчитайте абсолютную и относительную погрешности индуктивности ΔL и ε_L по методу косвенных невоспроизводимых измерений.

14. По формуле (5) рассчитайте значение $R_{\text{конт}}$. Определите значение $(r + r_L)$ по формуле (6) при $R = 0$. Результат занесите в табл. 2.

15. Получите опытное значение критического сопротивления $R_{\text{крит}}$, подставив значение $R = R_k$ в формулу (6).

16. Рассчитайте теоретическое значение критического сопротивления $R_{\text{кр}}$ по формуле (7). Сравните его с опытным значением и отразите это в выводе.

Таблица 1

№	$C_i, \text{мкФ}$	$T_i, \text{мкс}$	$U_c(t), \text{дел.}$	$U_c(t+T), \text{дел.}$	λ	Q	$L_i, \text{мГн}$	$\langle L \rangle, \text{мГн}$	$\Delta L, \text{мГн}$	$\varepsilon, \%$
1										
2										
3										

Ёмкость по указанию преподавателя _____

Индуктивность по указанию преподавателя _____

Таблица 2

$C, \text{мкФ}$	$\langle L \rangle, \text{мГн}$	λ	$(r+r_L), \text{Ом}$	$R_K, \text{Ом}$	$R_{\text{крит.}}, \text{Ом}$	$R_{\text{кр. теор.}}, \text{Ом}$

Контрольные вопросы:

1. Дифференциальное уравнение колебаний в последовательном RLC – контуре.
2. График затухающих колебаний. Коэффициент затухания, частота и период колебаний.
3. Логарифмический декремент затухания, добротность контура.
4. Определение индуктивности контура в лабораторной работе.
5. Определение логарифмического декремента затухания.

Лабораторная работа № 6.24

ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ

Цель: экспериментально исследовать явления, происходящие при сложении колебаний.

Приборы и принадлежности: блок генератора напряжений ГН1, блок амперметра-вольтметра АВ1, функциональный генератор АНР-1002, стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01, цифровой осциллограф PicoScope 2203, соединительные провода.

Краткие теоретические сведения

1. Сложение сонаправленных колебаний

Рассмотрим два гармонических колебания, совершаемые в одном направлении.

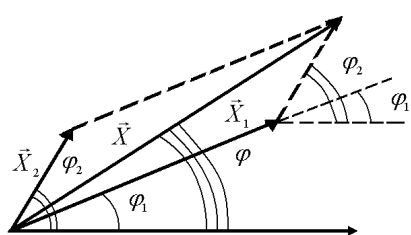


Рис. 1

$$X_1 = A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_{10}) = A_1 \cos \varphi_1$$

$$X_2 = A_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_{20}) = A_2 \cos \varphi_2$$

Для вычисления амплитуды и фазы результирующего колебания применяется метод векторных диаграмм. Сущность метода заключается в том, что каждому колебанию сопоставляется вектор, модуль которого пропорционален амплитуде колебания, а направление будет отличаться от

некоторого, наперед заданного, на угол равный фазе колебания. Данное правило проиллюстрировано на рис. 1. Колебаниям X_1 и X_2 соответствуют вектора \vec{X}_1 и \vec{X}_2 . Результирующему колебанию соответствует вектор $\vec{X} = \vec{X}_1 + \vec{X}_2$. Как видно из рисунка амплитуда результирующего колебания может быть легко найдена по теореме косинусов

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\pi - (\varphi_2 - \varphi_1)),$$

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1),$$
(1)

а начальная фаза определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$$
(2)

Картина колебаний является неизменной, если их амплитуда не изменяется со временем. Из (1) видно, что это возможно только в случае, если частоты складываемых колебаний ω_1 и ω_2 одинаковы.

2. Биения

Биениями называются колебания, получающиеся при сложении двух сонаправленных колебаний с близкими частотами, такими, что $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 \ll \omega_1, \omega_2$. В этом случае амплитуда результирующих колебаний является медленно меняющейся периодической функцией времени. Типичная картина биений приведена на рис. 2.

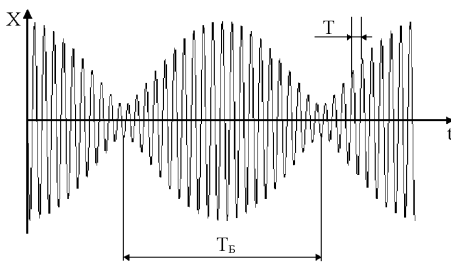


Рис. 2

Для простоты рассмотрим сложение двух колебаний с равными амплитудами $A_1 = A_2 = A_0$ и одинаковыми начальными фазами $\varphi_{10} = \varphi_{20}$. В соответствии с (1) амплитуда результирующего колебания (рекомендуется самостоятельно проделать преобразования)

$$A = \left| 2 \cdot A_0 \cdot \cos\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2} t\right) \right|.$$
(3)

В последнем выражении поставлен модуль, так как амплитуда по своему смыслу не может быть отрицательной. Из (3) следует, что амплитуда колебаний будет меняться от минимального значения до максимального (в общем случае от $|A_1 - A_2|$ до $A_1 + A_2$) с частотой, называемой частотой биений.

$$\nu_B = |\nu_1 - \nu_2|$$
(4)

3. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.

Рассмотрим движение точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, происходящих вдоль осей X и Y :

$$\begin{cases} x = A \cdot \cos \varphi, \\ y = B \cdot \cos(\varphi + \Delta\varphi) \end{cases}$$
(5)

где $\varphi = \omega t$ - фаза колебаний/

Перепишем уравнения в другом виде:

$$\frac{x}{A} = \cos \varphi, \quad \frac{y}{B} = \cos(\varphi + \Delta\varphi) = \cos \varphi \cdot \cos \Delta\varphi - \sin \varphi \cdot \sin \Delta\varphi. \quad (6)$$

Заменяя во втором уравнении $\cos \varphi$ на $\frac{x}{A}$, а $\sin \varphi$ на $\sqrt{1 - \left(\frac{x}{A}\right)^2}$, получим уравнение:

$$\frac{x^2}{A^2} - \frac{2 \cdot x \cdot y}{A \cdot B} \cos \Delta\varphi + \frac{y^2}{B^2} = \sin^2 \Delta\varphi. \quad (7)$$

В случае, когда складываются колебания с одинаковой частотой и разность их фаз остается постоянной, последнее уравнение описывает эллипс, оси которого произвольно ориентированы относительно осей X и Y. В общем случае, когда частоты складываемых колебаний различны, траектории колеблющейся точки представляют собой сложные линии. Если частоты колебаний вдоль взаимно перпендикулярных осей соотносятся как целые числа:

$$\frac{\nu_x}{\nu_y} = \frac{n_x}{n_y}, \quad (8)$$

то линии оказываются замкнутыми и называются фигурами Лиссажу (числа n_x , n_y можно определить, посчитав количество пересечений линии, образующей фигуру Лиссажу, с осями координат X и Y, причем, если ось проходит через точку пересечения ветвей фигуры Лиссажу, то эту точку считают дважды). Вид этих кривых зависит от соотношения частот, амплитуд и разности фаз складываемых колебаний, поэтому анализ фигур Лиссажу широко используется при исследовании колебаний.

Порядок выполнения работы

Часть 1. Определение разности фаз сонаправленных колебаний.

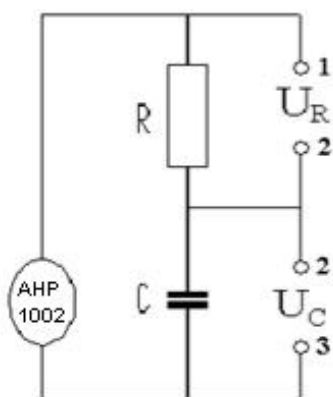


Рис. 3

1. Соберите схему в соответствии с рис. 3. Для измерения напряжений используется блок амперметра-вольтметра АВ1. В качестве активного сопротивления R подключите резистор R_3 или R_4 , в качестве реактивного сопротивления X – конденсаторы C_1 , C_2 или C_3 по заданию преподавателя. Данные занести в табл. 1.

2. Установите на функциональном генераторе АНР-1002 с помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши \uparrow и \downarrow) и регулятора частоты 11 (регулятор «FREQUENCY») частоту выходного сигнала в диапазоне от 8 до 12 кГц.

Занесите выбранное значение в таблицу 1.

3. Переведите амперметр – вольтметр в режим измерения переменного напряжения (кнопка «= \approx » на АВ1 должна быть нажата). Измерить напряжение

U_R . Результат занесите в табл. 1 (A_1).

4. Измерьте напряжение U_C между точками 2 и 3 на схеме. Результат занесите в табл. 1 (A_2).

5. Измерьте напряжение U между точками 1 и 3 на схеме. Результат занесите в табл. 1 (A).

6. По формуле (1) определите разность фаз колебаний $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Результат занесите в табл. 1.

Таблица 1

R, Ом	C, Ф	ν , Гц	A_1	A_2	A	$\Delta\varphi$, рад

Часть 2. Определение частоты неизвестных колебаний исследованием биений.

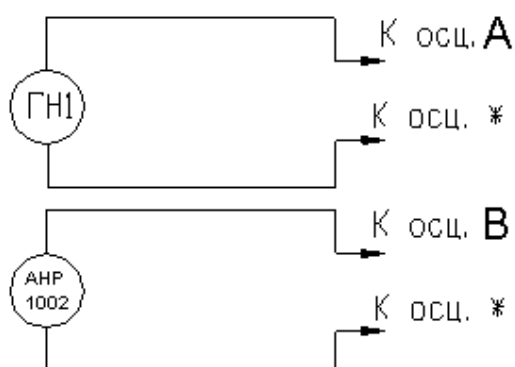



Рис. 4


1. Соберите схему, представленную на рис. 4. В качестве источников сигналов используются генератор напряжений ГН -1 (сигнал подается на канал А осциллографа) и функциональный генератор АНР-1002 (сигнал подается на канал В осциллографа). При подключении генераторов к осциллографу тщательно следите за полярностью сигнала.

2. Выберите на генераторе напряжений ГН -1 неизвестный сигнал X1, X2, **по заданию преподавателя**.

6. Запустив программу “PicoScope” включите цифровой осциллограф.

4. На **панели настройки канала** установите автоматический диапазон входного сигнала для обоих каналов осциллографа .

5. Для улучшения изображения сигнала на цифровом осциллографе на **панели настройки канала** в меню **дополнительных параметров** канала  увеличьте разрешение каналов А и В до 12 бит.

6. Нажав на **панели захвата изображения** клавишу автоуставки , получите оптимальное изображение сигналов на осциллографе.

7. На **панели синхронизации** выберите режим автоматической синхронизации .

8. Вращением регулятора амплитуды выходного сигнала 15 (регулятор “AMPLITUDE”) установить амплитуду выходного сигнала функционального генератора АНР-1002 близкой к амплитуде неизвестного сигнала.

8. С помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши \uparrow и \downarrow) и регулятора частоты 11 (регулятор «FREQUENCY») установите на функциональном генераторе АНР-1002 частоту выходного сигнала ν_r близкой к частоте неизвестных колебаний. Значение частоты ν_r занесите в таблицу 2.

9. Добавьте для наблюдения на экране осциллографа канал суммирования

колебаний (вкладка “Инструменты” -> “ Σ -Каналы Математики” -> “А+В”).


10. Отключите наблюдение отдельных каналов на осциллографе (вкладка “Просмотр” -> “Каналы” -> снять галочки отображения каналов А и В).

10. На **панели захвата изображения** измените коэффициент развертки (меню) таким образом, что бы на экране осциллографа отображалось 2-3 периода биений (см. рис. 2).

11. Остановите обработку данных осциллографом нажав на **панели Запуска/Остановки** клавишу – “Стоп” .

12. Определите времена начала t_0 и окончания t_K одного биения (левой кнопкой мыши нажать в областях начала и окончания биения). Полученные значения занесите в таблицу 2 с учетом знака.

13. Определите период биений T_B как разность времен окончания и начала биения $T_B = t_K - t_0$. Результат занесите в табл. 2.

14. Включите обработку данных осциллографом нажав на **панели Запуска/Остановки** клавишу клавишу– “Запуск” .

15. Включите наблюдение отдельных каналов на осциллографе (вкладка “Просмотр” -> “Каналы” -> установить галочки отображения каналов А и В).

16. Повторите измерения по п. 6 – п. 15 еще два раза. Результат занесите в табл. 2.

17. Для каждого измерения в п. 6 – п.15 вычислите частоту биений $\nu_B = \frac{1}{T_B}$, а затем по формуле (4) частоту неизвестных колебаний ν_X . Результаты обработайте по методике косвенных невоспроизводимых измерений.

Таблица 2

№	ν_r , Гц	t_0 , с	t_K , с	T_B , с	ν_B , Гц	ν_X , Гц	$\langle \nu_X \rangle$, Гц	Δ_{ν_X} , Гц	ϵ_{ν_X}
1									
2									
3									

Часть 3. Определение частоты неизвестных колебаний исследованием фигур Лиссажу.

1. Нажав на **панели захвата изображения** клавишу автоуставки , получите оптимальное изображение сигналов на осциллографе.

2. Добавьте в осциллограф окно просмотра фазовых зависимостей между сигналами (вкладка “Просмотр” -> “Добавить Окно” -> XY) .

3. Изменяя частоту выходного сигнала на функциональном генераторе АНР-1002 с помощью клавиш установки частотного диапазона 3 (клавиши \uparrow и \downarrow) и регулятора частоты 11 (регулятор «FREQUENCY») добейтесь получения одной из фигур Лиссажу (рекомендованная фигура – эллипс).

4. По формуле (8) рассчитайте частоту неизвестных колебаний. Сравните

ее со значением v_x .

Контрольные вопросы

1. Сложение сонаправленных колебаний. Метод векторных диаграмм. Определение разности фаз колебаний.
2. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Анализ вариантов траектории движения.
3. Биения. Амплитуда и частота биений.
4. Методы определения частоты неизвестных колебаний.

Руководство по работе с цифровым осциллографом PicoScope 2203

Цифровой осциллограф PicoScope 2203 представляет собой двухканальный цифровой осциллограф с интерфейсом подключения к компьютеру. Принципиальная схема устройства приведена на рис. 1.

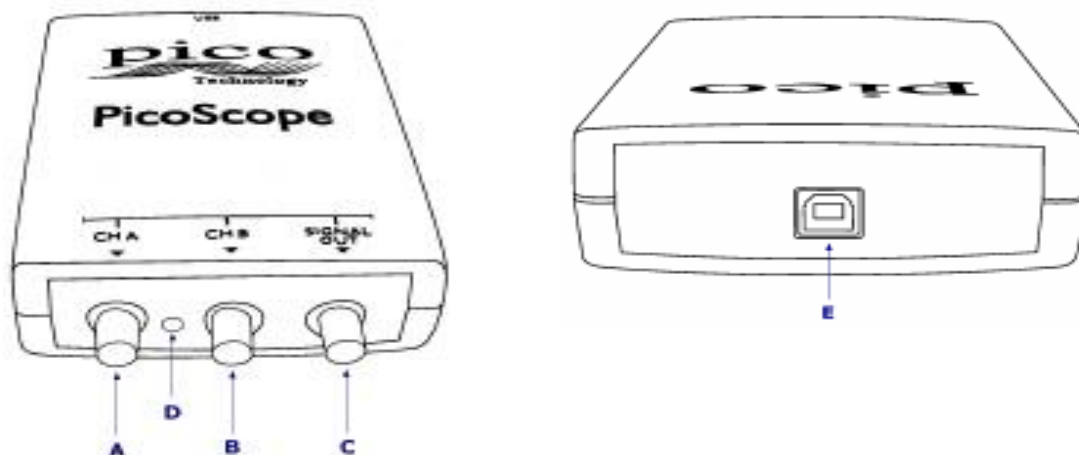


Рис. 1.

- А — вход канала А осциллографа,
- В — вход канала В осциллографа,
- С — выход внутреннего генератора сигналов,
- Д – индикатор питания,
- Е — USB разъем для подключения к компьютеру.

Взаимодействие пользователя с осциллографом осуществляется через программу “PicoScope 6” ярлык которой  расположен на рабочем столе.

Главное окно программы представлено на рис.2.

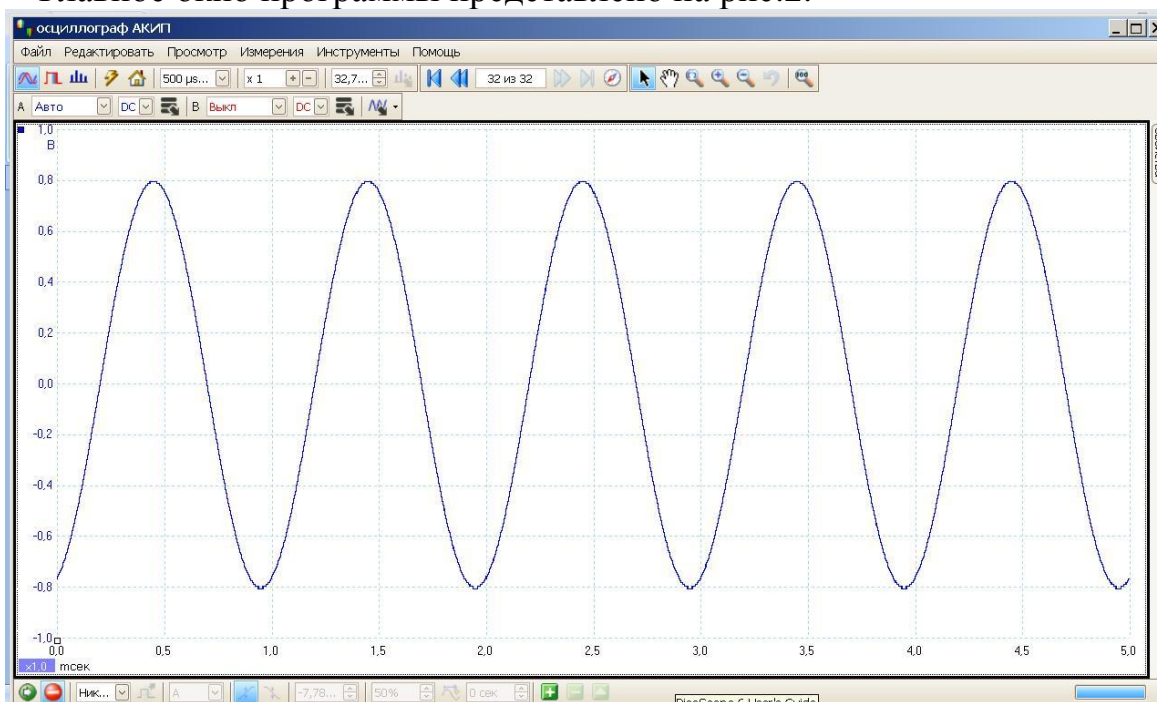
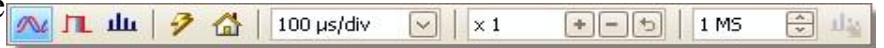


Рис. 2.

Панели инструментов

Для управления работой цифрового осциллографа PicoScope 2203 используются следующие панели инструментов.



Панель захвата изображения

содержит клавиши и меню управления изображением осциллограммы:



- режим осциллографа,



- режим послесвечения,



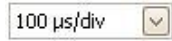
- режим спектроанализатора,



- клавиша автоматической установки (автоматически подбирает параметры наилучшего изображения осциллограммы),



- клавиша сброса параметров осциллографа (восстанавливает исходные настройки осциллографа),



- меню выбора коэффициента развертки (определяет время приходящееся на одно деление),

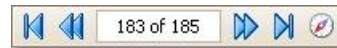


- меню растяжки по горизонтали (позволяет масштабировать осциллограмму в горизонтальном направлении),



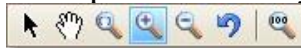
- длина памяти (определяет максимальное число осциллограмм запоминаемых осциллографом).

Панель навигации буфера обмена



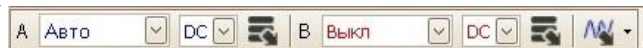
позволяет просматривать осциллограммы сохраненные в буфере обмена осциллографа.

Панель увеличения



позволяет выбирать для просмотра отдельные участки осциллограмм.

Панель настройки канала



позволяет настраивать параметры каналов осциллографа по отдельности. Содержит следующие меню и клавиши:



- меню диапазона входного сигнала (позволяет устанавливать масштаб вертикальной оси осциллографа).



- меню связи канала. Можно выбрать одно из двух значений: АС- в этом режиме осциллограф игнорирует постоянное смещение (отбрасываются колебания с частотой ниже одного герца), что позволяет с высокой точностью измерять переменную составляющую сигнала. В данном режиме нет возможности определить значение потенциала относительно земли. В режиме DC показывается величина сигнала относительно земли (учитывается и постоянная и переменная составляющие).



- меню дополнительных параметров канала (позволяет выбирать масштаб изображения сигнала, устанавливать смещение, менять разрешение, применять фильтры сигнала).





- меню управления внутренним генератором сигнала (позволяет настраивать форму сигнала, его частоту и амплитуду).

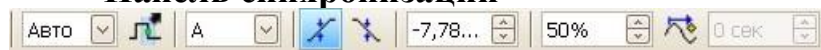
Панель Запуска/Остановки





позволяет запускать либо

останавливать обработку сигнала осциллографом (клавиши  и ).

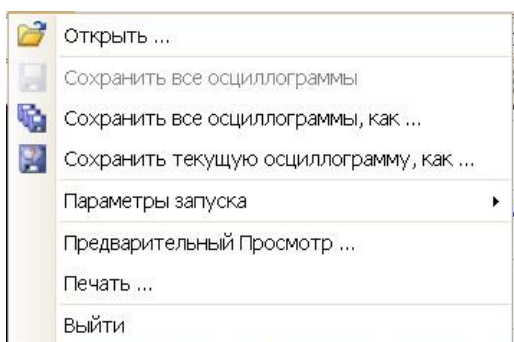
Панель синхронизации



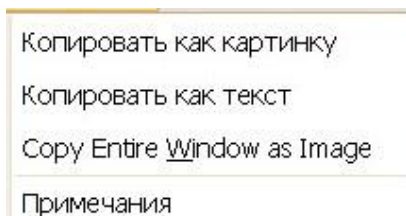
позволяет выбрать режим синхронизации (“Никакой”, “Авто”, “Повтор”, “Однократный”), канал синхронизации (A или B), выбирать синхронизацию по нарастающему  или спадающему  фронту, определить уровень сигнала, при котором происходит запуск развертки.

Рабочее окно программы

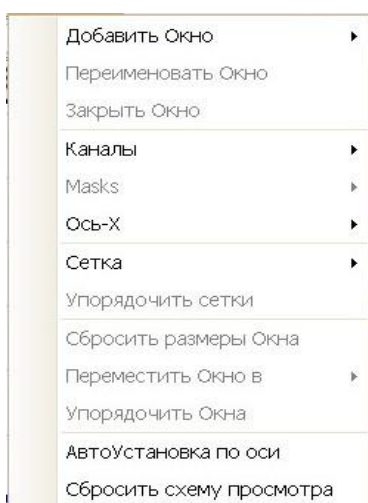
В верхней части рабочего окна программы находится строка меню, содержащая следующие подменю:



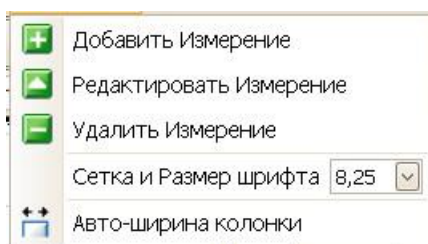
«Файл» – позволяет сохранять и загружать осциллограммы, определяет параметры запуска осциллографа.



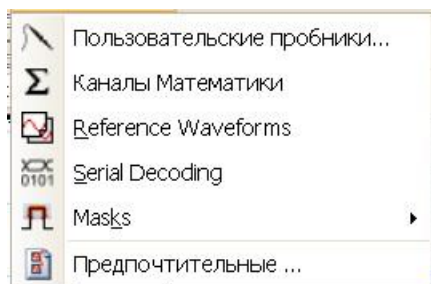
«Редактировать» – позволяет сохранить текущую осциллограмму в виде графического или текстового файла.



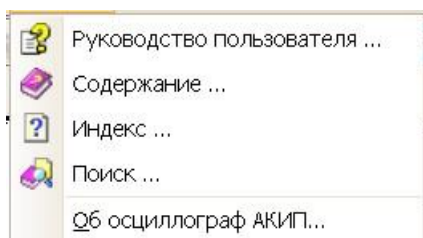
«Просмотр» – позволяет выбирать вид окна просмотра («Осциллограф», «Спектр», «XY») и добавлять новые окна просмотра. Подключает изображение каналов осциллографа, определяет выбор горизонтальной оси, вид сетки окон, позволяет настраивать вид осциллограммы.



«Измерения» – позволяет добавлять различные виды измерений автоматически осуществляемых осциллографом.



«Инструменты» – позволяет устанавливать характеристики пробников используемых при измерениях, добавлять каналы математической обработки данных, настраивать режим работы осциллографа.



«Помощь» - содержит руководство пользователя, справку по работе осциллографа, сведения о программном обеспечении.

Библиографический список

1. Савельев И.В. Курс общей физики.- М.: Наука, Физматлит, 1982, кн.1-3.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высшая школа, 1999.
3. Трофимова Т.И. Курс физики. — М: Высшая школа, 2001.
4. Курс физики.: в 2-х т., под ред. Лозовского В.Н., С-П.: «Лань», 2001.
5. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. — М: Высшая школа, 1983.