

Работа 381

Свободные электромагнитные колебания

Решаемые задачи

- Регистрация зависимости тока и напряжения в колебательном контуре от времени с помощью CASSY.
 - Определение фазового сдвига между током и напряжением.
 - Определение частоты колебаний и коэффициента затухания в колебательном контуре.
-
-

Электромагнитные колебания обычно возникают при частотах, которые не позволяют наблюдать отдельные колебания при помощи простых измерительных приборов. В этой работе колебательный контур состоит из конденсатора с высокой емкостью ($C = 40$ мкФ) и катушки с большой индуктивностью ($L = 500$ Гн). При этом период колебаний оказывается равным примерно 1 с, что позволяет легко регистрировать происходящие в контуре изменения напряжения и силы тока.

Свободные колебания в контуре могут быть описаны уравнением:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0, \quad (1)$$

где q — заряд конденсатора, L — индуктивность катушки, C — емкость конденсатора, R — сопротивление в колебательном контуре.

Решением уравнения (1) являются затухающие колебания заряда конденсатора:

$$q = q_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi), \quad (2)$$

с коэффициентом затухания

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (3)$$

и круговой частотой

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}. \quad (4)$$

В этой работе с помощью системы CASSY регистрируется зависимость от времени напряжения на конденсаторе U_C и тока в контуре I . Напряжение U_C исходя из выражения (2) равно

$$U_C = \frac{q}{C} = U_0 \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi). \quad (5)$$

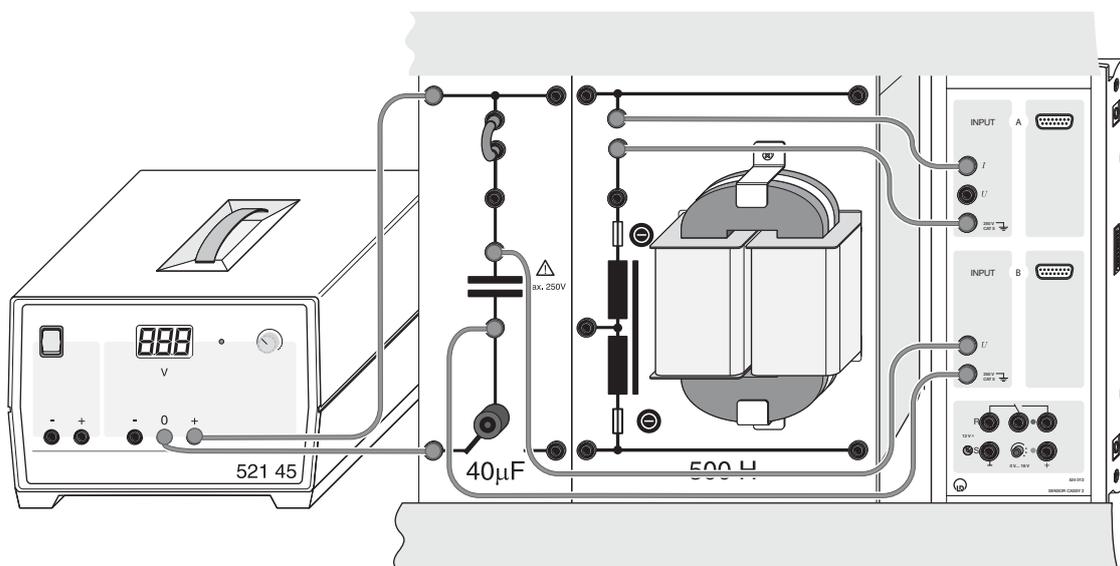


Рис.1. Схема экспериментальной установки для изучения свободных колебаний.

Оборудование

Катушка с высокой индуктивностью	1 шт.	517011
Конденсатор 40 мкФ	1 шт.	517021
Набор из 10 соединительных разъемов	1 шт.	50148
Источник питания постоянного тока 0 ± 15 В	1 шт.	52145
Модуль Sensor-CASSY 2	1 шт.	524013
Пара кабелей 100 см, красный/синий	3 шт.	50146
Ноутбук		

Порядок выполнения работы

Соберите схему для изучения свободных колебаний (см. рисунок 1).

- Для измерения напряжения на конденсаторе подключите его параллельно к входу «В» модуля Sensor-CASSY, для измерения силы тока в цепи удалите перемычку на плате катушки индуктивности и подключите освободившиеся гнезда к гнездам для измерения тока входа «А».
- Подключите источник питания постоянного тока к конденсатору. Установите выходное напряжение источника тока 10 В.
- Подайте на модуль Sensor-CASSY 2 напряжение питания 12 В с помощью адаптера.
- Подключите Sensor-CASSY 2 ко входу USB компьютера с помощью кабеля.
- Запустите на компьютере программу CASSY Lab 2. После запуска программы на экране появится окно «CASSYs», на котором будет схематично показан подключенный к компьютеру модуль Sensor CASSY 2. Закройте это окно, нажав на кнопку «Close» в его нижней части.
- Загрузите в программу настройки для проведения эксперимента. Для этого нажмите клавишу «F3» (или выберите пункт меню «File / Open»), в появившемся диалоговом

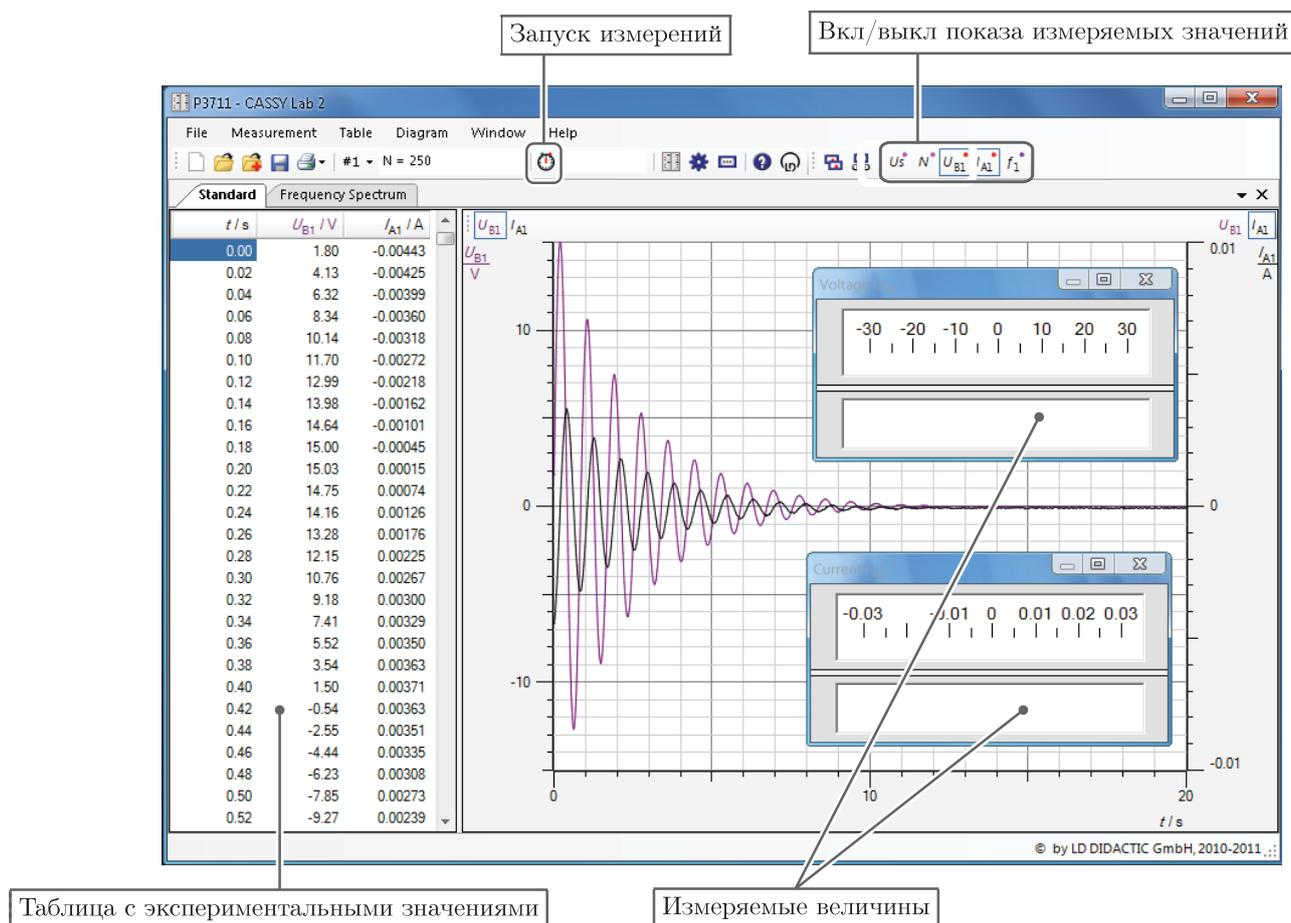


Рис.2. Окно программы CASSY Lab.

окне перейдите в папку «D:\Эксперименты», выберите в ней файл «P3711.labx» и нажмите кнопку «Открыть». После загрузки снова появится окно «CASSYs», на котором будет схематично показан подключенный к компьютеру модуль Sensor CASSY 2, при этом используемые в работе входы модуля будут выделены цветом. Закройте это окно, нажав на кнопку «Close» в его нижней части.

Проведение измерений

Регистрация зависимости напряжения и силы тока в колебательном контуре от времени в этой работе происходит автоматически, под управление программы CASSY Lab. Значения напряжения на конденсаторе U_{B1} и силы тока через в контуре I_{A1} отображаются на экране, каждое в своем окне. Графики зависимости этих величин от времени отображаются на экране (рис. 2).

- Переведите переключатель на плате конденсатора в положение, при котором происходит зарядка конденсатора от источника тока. (При этом конденсатор отключается от катушки индуктивности).
- Удалите старые экспериментальные данные, нажав клавишу «F4» на клавиатуре компьютера.
- Запустите измерительную клавишей «F9» на клавиатуре. При этом система готова к началу эксперимента.

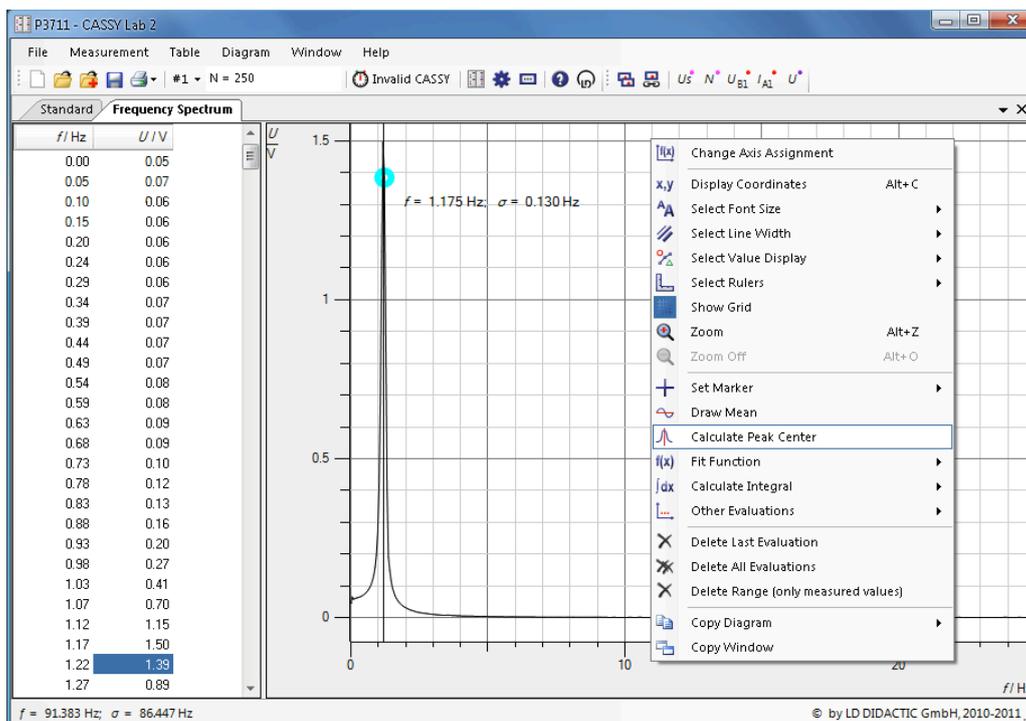


Рис.3. Определение частоты колебаний с помощью метода быстрого преобразования Фурье.

- Переведите переключатель на плате конденсатора в положение, при котором конденсатор подключен к катушке (см. 1). После этого в контуре начнутся колебания и измерительная система автоматически начнет запись значений тока и напряжения.
- Сохраните полученные результаты измерений. Для этого нужно нажать клавишу «F2» (или выбрать пункт меню «File / Save» в программе CASSY Lab), в появившемся диалоговом окне выбрать имя и место для сохранения файла с результатами. Можно также выбрать формат сохраняемого файла — «.labx» (результаты и настройки эксперимента можно будет прочитать программой CASSY Lab) или «.txt» (данные сохраняются в текстовый файл).

Обработка результатов

Определение разности фаз между током и напряжением

- Постройте график зависимости силы тока и напряжения к колебательному контуре от времени.
- Определите разность фаз между колебаниями силы тока и напряжения в контуре, объясните полученные результаты.

Определение частоты колебаний

Для определения частоты колебаний можно воспользоваться преобразованием Фурье. При этом из полученной зависимости напряжения от времени строится частотный спектр, т.е. затухающий во времени сигнал представляется в виде совокупности гармонических колебаний различных частот, зависимость амплитуды которых от частоты можно получить с помощью быстрого преобразования Фурье.

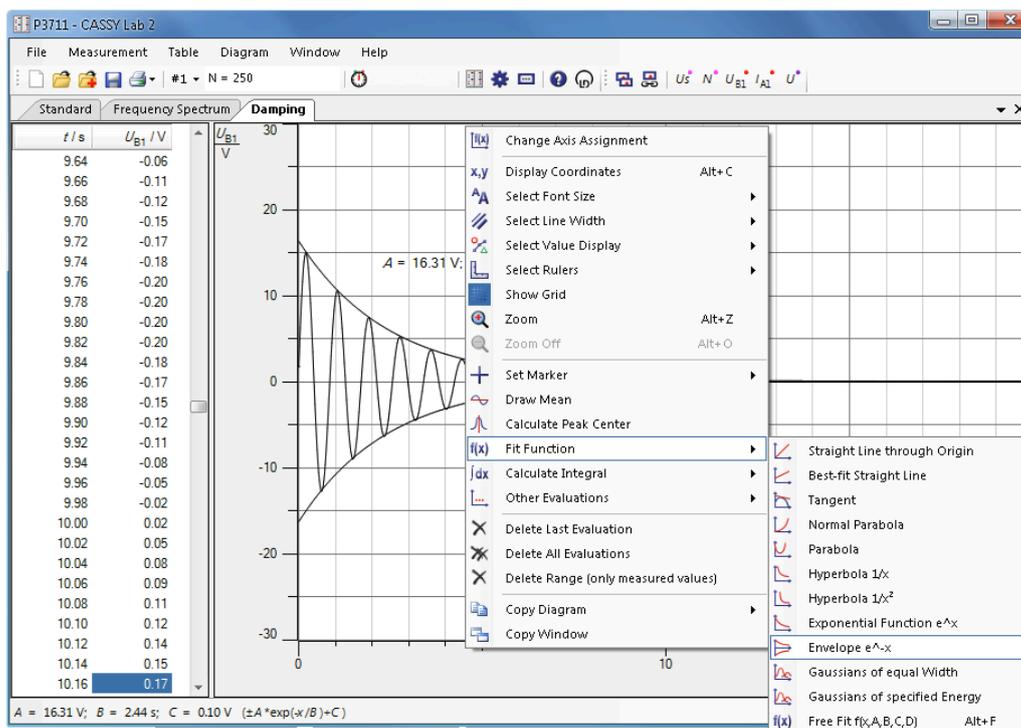


Рис.4. Определение коэффициента затухания δ при помощи огибающей.

- В окне программы CASSY Lab перейдите в вкладку «Frequency Spectrum».
- С помощью правой кнопки мыши или аналогичного устройства нажатием на спектре вызовите контекстное меню обработки результатов и выберите в нем пункт «Calculate Peak Center» (3).
- Нажмите левую кнопку мыши или аналогичного устройства и не отпуская ее выделите на графике область, содержащую максимум. После этого положение максимума будет отмечено на экране вертикальной линией, а значение максимума будет показано внизу экрана.
- Значение максимума можно нанести на график нажав комбинацию клавиш «Alt-T», нажав «OK» в возникшем диалоговом окне и выбрав за тем место расположения надписи на графике.
- Полученное значение резонансной частоты сравните с теоретически рассчитанным согласно уравнению (4). При этом можно сделать допущение, что сопротивление в контуре мало, т.е. $R \ll L$, Тогда частота колебаний может быть найдена из выражения:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}}$$

Значения емкости L и индуктивности C указаны на экспериментальной установке.

Определение коэффициента затухания

Коэффициент затухания колебания δ можно определить при помощи интерполяции огибающей колебаний т.е. сомножителя $U_0 \cdot e^{-\delta t}$ в выражении (5).

- В окне программы CASSY Lab перейдите в вкладку «Damping».

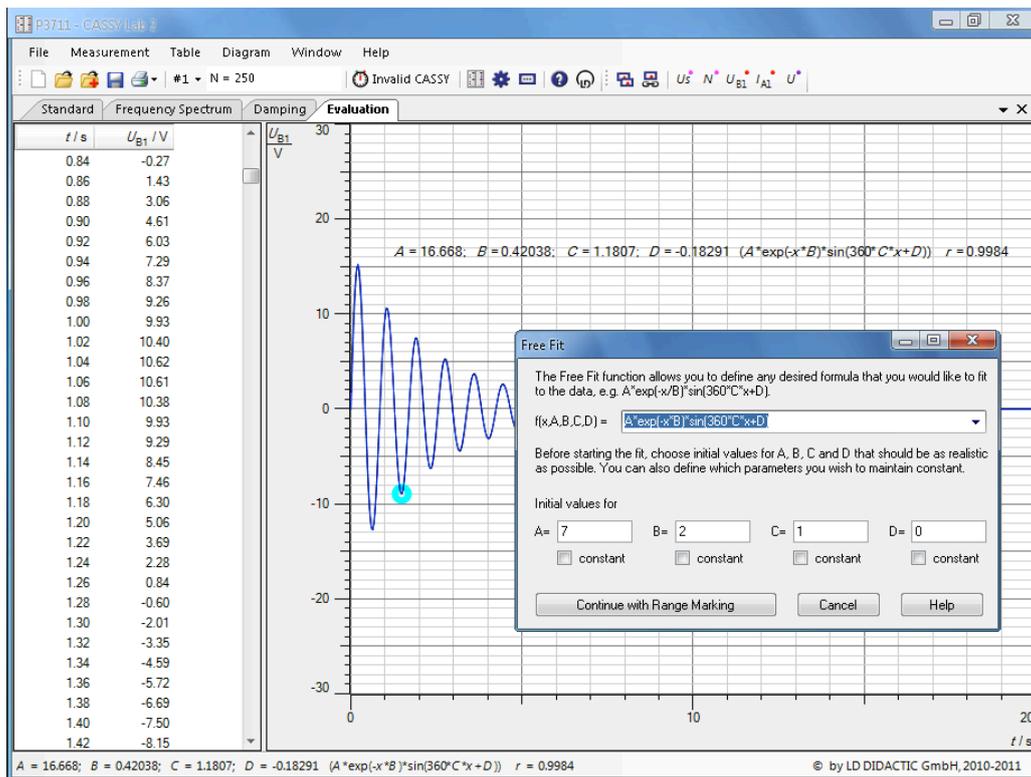


Рис.5. Определение частоты колебаний и коэффициента затухания δ при помощи аппроксимации экспериментальных данных.

- С помощью правой кнопки мыши или аналогичного устройства нажатием на спектре вызовите контекстное меню обработки результатов и выберите в нем пункт «Fit Function» / «Envelope e -x» (рис. 3).
- Нажмите левую кнопку мыши или аналогичного устройства и не отпуская ее выделите на графике область, для которой необходимо найти огибающую (можно выделить весь график). После этого в программе будут найдены параметры огибающей вида $A \cdot \exp(-t/B) + C$, наилучшим способом согласующейся с экспериментом. Значение найденных параметров A , B и C будет показано внизу экрана.
- Результаты оценки параметров огибающей можно нанести на график нажав комбинацию клавиш «Alt-T», нажав «OK» в возникшем диалоговом окне и выбрав за тем место расположения надписи на графике
- Из найденного значения параметра B найдите коэффициент затухания $\delta = 1/B$.

Определение частоты и коэффициента затухания путем аппроксимации экспериментальных данных

Частота колебаний и коэффициент затухания могут быть определены также путем аппроксимации экспериментальных данных функцией, заданной уравнением (5).

- В окне программы CASSY Lab перейдите в вкладку «Evaluation».
- При помощи комбинации клавиш «Alt-f» вызовите диалоговое окно выбора аппроксимирующей функции (рис. 5).

- Задайте выражение для функции « $f(x,A,B,C,D) = A \cdot \exp(-x \cdot B) \cdot \sin(360 \cdot C \cdot x + D)$ ».
- Введите начальные значения для коэффициентов аппроксимирующей функции:
 - $A = U_0 \approx 7 \text{ В}$ (начальная амплитуда колебаний)
 - $B = \delta \approx 2.5 \text{ с}$ (коэффициент затухания)
 - $C = f \approx 1 \text{ Гц}$ (частота колебаний)
 - $D = \varphi_0 \approx 0$ (начальная фаза колебаний)
- После задания функции и начальных значений параметров нажмите на кнопку «Continue with Range Marking» в нижней части окна.
- Нажмите левую кнопку мыши или аналогичного устройства и не отпуская ее выделите на графике область, для которой необходимо подобрать параметры аппроксимирующей функции (можно выделить весь график). После этого параметры функции будут подобраны так, чтобы наилучшим образом соответствовать экспериментальным данным. Значение найденных параметров A , B , C и D будет показано внизу экрана.
- Результаты оценки параметров огибающей можно нанести на график нажав комбинацию клавиш «Alt-T», нажав «OK» в возникшем диалоговом окне и выбрав за тем место расположения надписи на графике
- Из найденного значения параметра B найдите коэффициент затухания $\delta = B$, а из параметра C — частоту колебаний $f = C$.
- Сравните полученные значения с определенными ранее другими методами и объясните полученные результаты.

Вопросы для подготовки

1. Электрические колебания в цепях квазистационарного переменного тока.
2. Параллельный колебательный контур. Уравнение свободных колебаний и его решение.
3. Резонанс токов и напряжений.
4. Потери в колебательном контуре. Коэффициент затухания и добротность контура.