

Работа 342

Измерение э.д.с. индукции в катушке, помещенной в изменяющееся магнитное поле

Решаемые задачи

- Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от площади витка.
 - Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от числа витков.
 - Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от скорости изменения магнитного поля.
-
-

Напряжения и токи, возникающие в результате действия изменяющегося магнитного поля называются индукционными напряжениями и токами, а само явление называется электромагнитной индукцией. Если рамка из проводника помещена в магнитное поле \mathbf{B} магнитный поток через рамку определяется как

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}, \quad (1)$$

где $d\mathbf{S}$ — векторный элемент площади поверхности, определяемый как $d\mathbf{S} = \mathbf{n} \cdot dS$, \mathbf{n} — единичный вектор, нормальный к поверхности dS .

Если вместо одиночной проводящей рамки используется катушка с количеством витков N_1 , каждый из которых перпендикулярен направлению магнитного поля, магнитный поток через катушку равен

$$\Phi = B \cdot S \cdot N_1. \quad (2)$$

Если магнитное поле \mathbf{B} не изменяется, магнитный поток остается постоянным. Если маг-

нитное поле и, соответственно, магнитный поток через катушку изменяется со временем, то в катушке возникает электрический ток. Величина и направление тока индукции зависят от того, как изменяется магнитное поле. Закон электромагнитной индукции Фарадея позволяет найти э.д.с. индукции:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad (3)$$

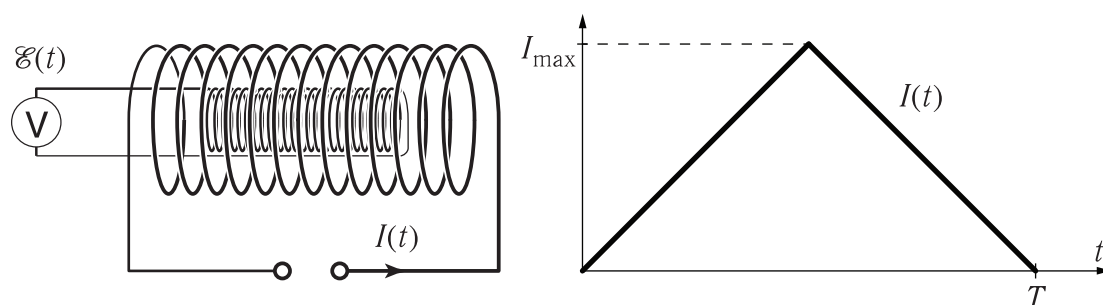
тогда для катушки с N_1 витками, с учетом выражения (2):

$$\mathcal{E} = -\frac{dB}{dt} \cdot S \cdot N_1. \quad (4)$$

С другой стороны, электрический ток порождает магнитное поле. Магнитное поле внутри длинной цилиндрической катушки длины L с числом витков N_2 равно

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N_2}{L} \cdot I, \quad (5)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Вс/Ам — магнитная постоянная, I — сила тока в катушке.



В этой работе используется длинная цилиндрическая катушка (соленоид) через которую протекает изменяющийся электрический ток $I(t)$, который создает магнитное поле $B(t)$, направленное вдоль оси катушки. Прямоугольные катушки с различной площадью поперечного сечения S и количеством витков N_1 помещаются внутрь соленоида. Э.д.с. индукции, возникающая в прямоугольных катушках может быть найдена

из выражения

$$\mathcal{E} = -\frac{dI}{dt} \cdot \mu_0 \cdot S \cdot \frac{N_2}{L} \cdot N_1, \quad (6)$$

В работе исследуется зависимость э.д.с. индукции от скорости изменения тока I в соленоиде, от площади витка S и числа витков N_1 . С помощью модуля Power-CASSY на соленоид подается переменный ток треугольной формы, с постоянной скоростью нарастания dI/dt .

Оборудование

Рис.1. Экспериментальная установка для изучения электромагнитной индукции.

Индукторная катушка, диаметр 120 мм	1 шт.	516244
Набор индукционных катушек	1 шт.	516241
Power-CASSY	1 шт.	524011
Сенсор-CASSY 2	1 шт.	524013
Измеритель микровольтного напряжения (Адаптер μV)	1 шт.	524040
Пара кабелей 100 см, красный/синий	2 шт.	50146
Ноутбук		

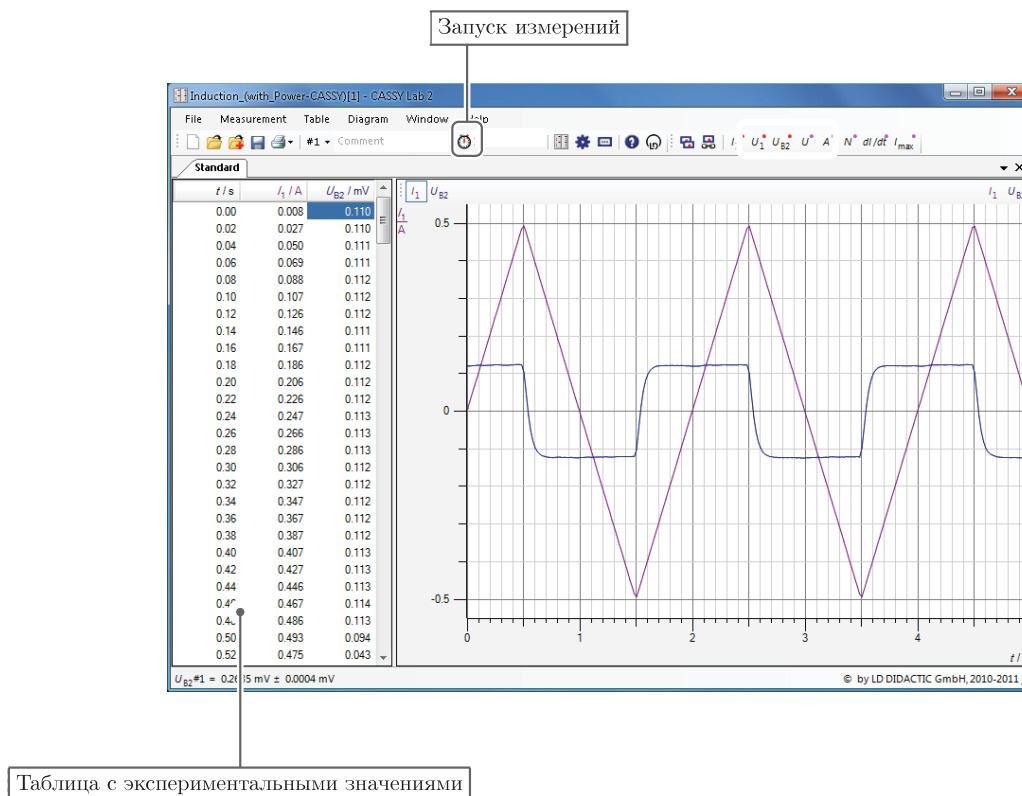


Рис.2. Окно программы CASSY Lab. Зависимость силы тока в катушке и э.д.с. индукции времени отображаются в виде графиков.

Порядок выполнения работы

Соберите схему для изучения электромагнитной индукции (см. рисунок 1).

- Подключите выводы большой цилиндрической катушки к выходу блока Power–CASSY.
- Подайте на модули Power–CASSY и Sensor–CASSY 2 напряжение питания 12 В (каждый модуль питается от своего адаптера).
- Подключите Power–CASSY 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 модули Power–CASSY и 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 окне перейдите в папку «D:\Эксперименты», выберите в ней файл «P432.labx» и нажмите кнопку «Открыть». После загрузки снова появится окно «CASSYs», на котором будет схематично показан подключенные к компьютеру модули Power–CASSY и Sensor CASSY 2, при этом используемые в работе клеммы модулей будут выделены цветом. Закройте это окно, нажав на кнопку «Close» в его нижней части.

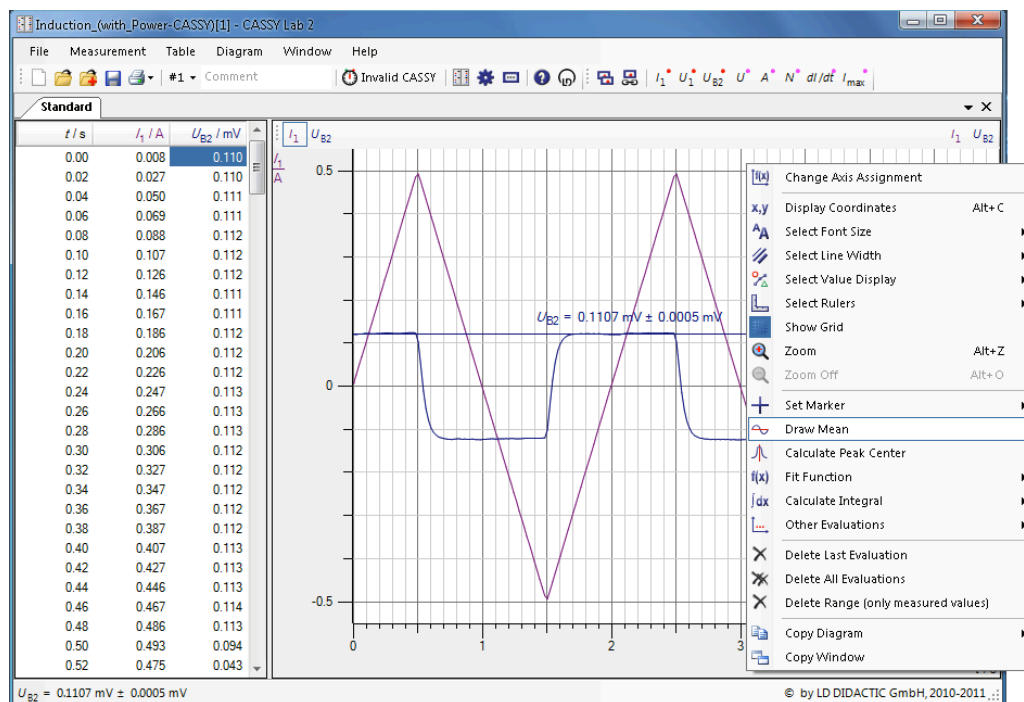


Рис.3. Определение э.д.с. индукции с помощью инструмента «Draw Mean».

Проведение измерений

Регистрация зависимости э.д.с. индукции U_{B1} и силы тока в соленоиде I_1 от времени в этой работе происходит автоматически, под управление программы CASSY Lab. Графики зависимости этих величин от времени отображаются на экране (рис. 2).

Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от площади витка

- Поместите прямоугольную катушку №1 ($S = 5 \times 5 \text{ см}^2$, $N_1 = 300$ витков) внутрь цилиндрической катушки и подключите ее проводами к μV -адаптеру.
- Запустите измерения с помощью клавиши «F9» компьютера.
- Для определения э.д.с индукции:
 - С помощью правой кнопки мыши или аналогичного устройства нажатием на графике вызовите контекстное меню обработки результатов и выберите в нем пункт «Draw Mean» (рис. 3).
 - Нажмите левую кнопку мыши или аналогичного устройства и не отпуская ее выделите на графике область, содержащую линейный участок графика $U(t)$. После значение э.д.с. будет показано внизу экрана.
 - Значение э.д.с. можно нанести на график нажав комбинацию клавиш «Alt-T», нажав «OK» в возникшем диалоговом окне и выбрав за тем место расположения надписи на графике.
- Повторите измерения для катушек №2 ($S = 3 \times 5 \text{ см}^2$, $N_1 = 300$ витков) и №3 ($S = 2 \times 5 \text{ см}^2$, $N_1 = 300$ витков). Результаты (число витков N_1 , сечение S , э.д.с. \mathcal{E} занесите в таблицу).

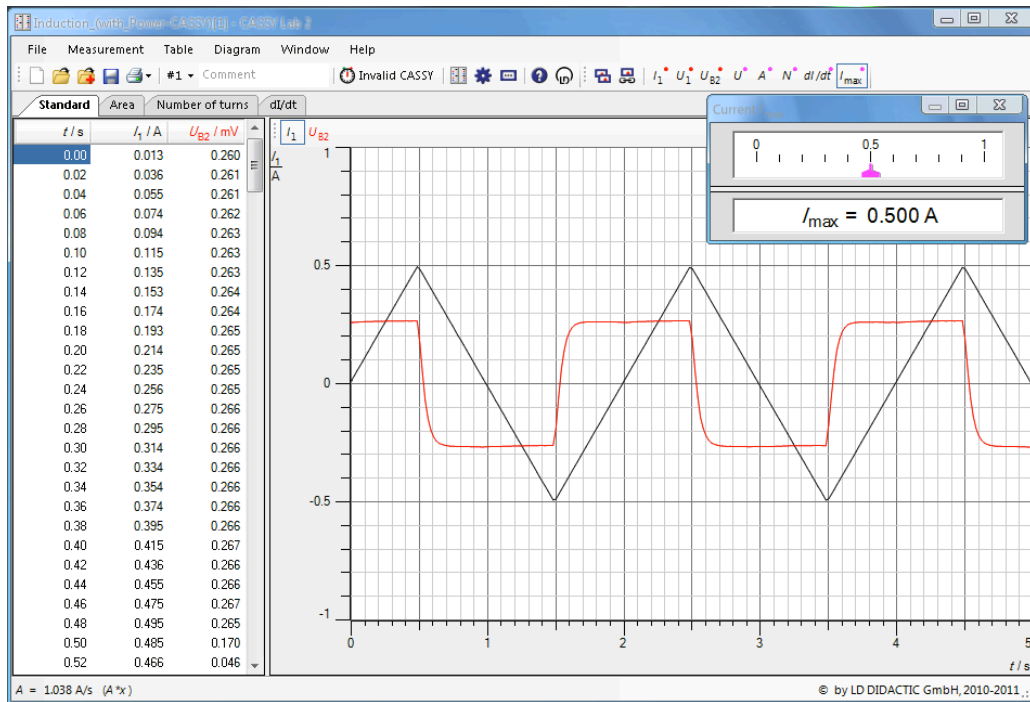
- Сохраните полученные результаты измерений. Для этого нужно нажать клавишу «F2» (или выбрать пункт меню «File / Save» в программе CASSY Lab), в появившемся диалоговом окне выбрать имя и место для сохранения файла с результатами. Можно также выбрать формат сохраняемого файла — «.labx» (результаты и настройки эксперимента можно будет прочитать программой CASSY Lab) или «.txt» (данные сохраняются в текстовый файл).
- Постройте график зависимости э.д.с. индукции \mathcal{E} от поперечного сечения катушки S .

Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от числа витков

- Поместите прямоугольную катушку №1 ($S = 5 \times 5 \text{ см}^2$, $N_1 = 300$ витков) внутрь цилиндрической катушки и подключите ее проводами к μV -адаптеру.
- Запустите измерения с помощью клавиши «F9» компьютера.
- Определите э.д.с. индукции \mathcal{E} , так как это описано выше.
- Повторите измерения для других секций катушки (подключая провода к выводам с $N_1 = 200$ витков и $N_1 = 100$ витков). Результаты (число витков N_1 , сечение S , э.д.с. \mathcal{E} занесите в таблицу).
- 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).
- Постройте график зависимости э.д.с. индукции \mathcal{E} от числа витков N_1 .

Изучение зависимости э.д.с. индукции в катушке от скорости изменения магнитного поля

- Поместите прямоугольную катушку №1 ($S = 5 \times 5 \text{ см}^2$, $N_1 = 300$ витков) внутрь цилиндрической катушки и подключите ее проводами к μV -адаптеру.
- Запустите измерения с помощью клавиши «F9» компьютера.
- Определите э.д.с. индукции \mathcal{E} , так как это описано выше.
- Повторите измерения для других значений (например 0,4 А, 0,3 А, 0,2 А, 0,1 А) амплитуды силы тока в катушке I_{max} . Для этого нажмите на надпись I_{max} в верхней строке окна программы и перетащите указатель в окне «Current max» на нужное значение. Результаты измерений (I_{max} , э.д.с. \mathcal{E} занесите в таблицу).
- 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).
- Постройте график зависимости э.д.с. индукции \mathcal{E} от скорости изменения силы тока в соленоиде dI/dt .

Рис.4. Изменение I_{\max} в программе Cassy Lab.

Вопросы для подготовки

1. Электромагнитная индукция. ЭДС индукции.
2. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Правило Ленца.
3. Токи Фуко. Самоиндукция. Индуктивность.
4. Токи при замыкании и размыкании цепи.
5. Энергия магнитного поля контура с током. Плотность энергии магнитного поля.