

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.14

### ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ИНДУКТИВНОСТЬ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Исследовать зависимости электрического сопротивления и индуктивности контура от частоты переменного тока.

#### 2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики: Учеб. пособие для студентов вузов.- [В 3-х т.].- Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.- М.: Наука, 1989.- 496 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - 19-е изд. - Академия, 2012. – 560 с.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- Академия, 2009. – 720 с.
4. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1977. - §§219-220.

#### 3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Вынужденные электрические колебания происходят в контуре под действием переменного напряжения. Если в электрическую цепь, содержащую катушку с индуктивностью  $L$ , включить переменную ЭДС

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t$$

То в цепи, кроме, будет наводиться ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Ток в таком контуре колеблется с той же частотой, что и приложенная ЭДС, но отстаёт по фазе на  $\varphi$ :

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

Амплитуда тока  $I_m$  пропорциональна амплитуде ЭДС:

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} \quad (1)$$

Где  $Z$  – полное сопротивление контура переменному току (импеданс контура),

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}; \quad (2)$$

$R$ - активное сопротивление цепи;  $X_L = \omega L$  - индуктивное сопротивление цепи;  $L$ - индуктивность соленоида;  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота переменного тока;  $\nu$ =частота тока.

Индуктивность характеризует свойство контура создавать собственное потокоцепление и равна магнитному потоку  $\Phi_m$ , сцепленному с контуром, при единичном

$$\Phi_m = LI$$

Индуктивность контура зависит от его размеров, формы и магнитной проницаемости среды  $\mu_r$ , окружающей контур. Например, величина индуктивности длинного соленоида

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2 S}{l} \quad (3)$$

Где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  $N$  – число витков соленоида;  $S$  – площадь сечения сердечника соленоида;  $l$  – длина средней осевой линии сердечника.

Индуктивность соленоида с ферромагнитным сердечником зависит ещё и от тока  $I$ , протекающего в обмотке. Это следует из того, что магнитная проницаемость ферромагнетиков  $\mu_r$  зависит от напряжённости  $H$  магнитного поля, которая определяется током в соленоиде:

$$H = I \frac{N}{l}$$

#### 4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Миниблок «Катушка со съёмным сердечником».
2. Миниблок «Сопротивление» - 470 Ом.
3. Генератор сигналов специальной формы.
4. Мультимеры.

#### 5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Электрическая схема установки показана на рис. 1, монтажная на - рис. 2.

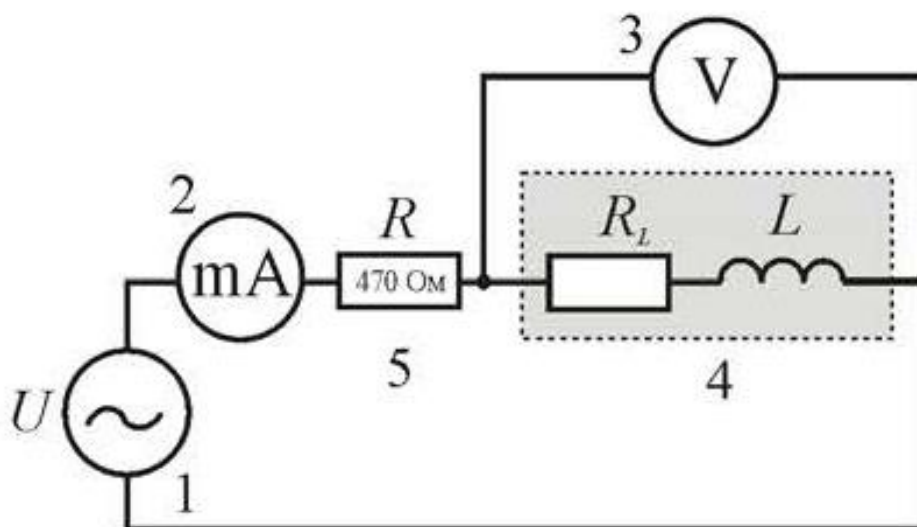


Рис. 1. Электрическая схема: 1 - генератор сигналов специальной формы; 2 - мультиметр (режим А~20 мА, входы СОМ, mA); 3 - мультиметр (режим V ~2В, входы СОМ, VΩ); миниблок «Катушка со съёмным сердечником» с индуктивностью  $L$  и сопротивлением  $R$ ; 5 - миниблок «Сопротивление» - ограничительное сопротивление 470 Ом.

Катушка 4, имеющая индуктивность  $L$  и сопротивление  $R$  и мультиметр 2, соединённые последовательно, подключают к генератору сигналов специальной формы 1. Напряжение на катушке измеряют мультиметром 3 с большим входным сопротивлением.

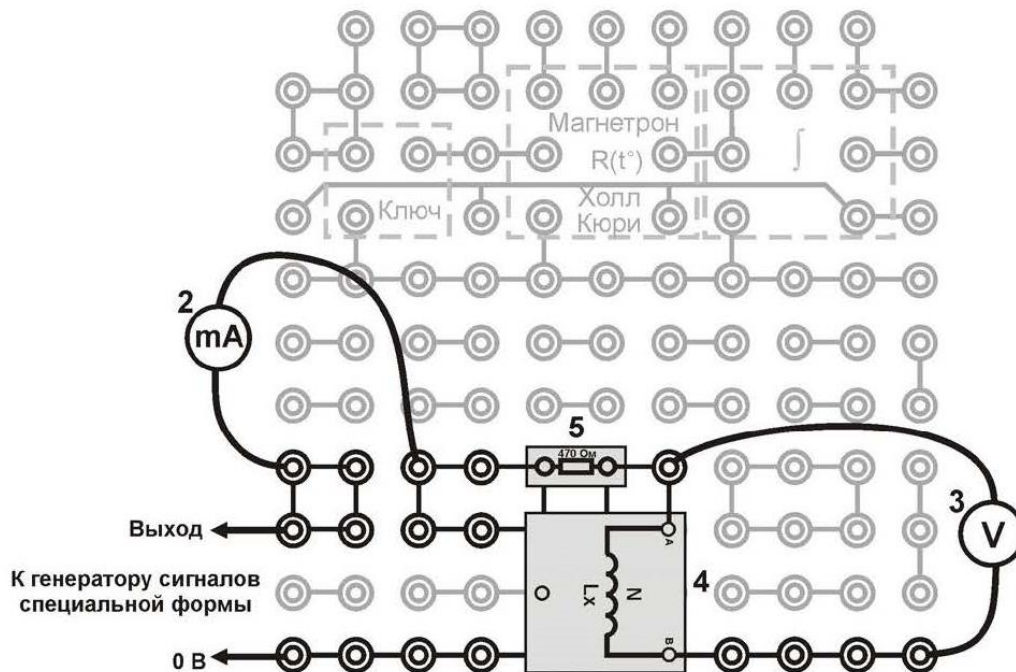


Рис. 2. Монтажная схема; 1,2,3,4,5 – см. рис. 1

## 6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Задание 1.** Исследование зависимости полного сопротивления  $Z$  от частоты.  
*Выполнение измерений*

1. С помощью мультиметра измерьте сопротивление  $R_L$  катушки и запишите его в табл. 1.
2. Соберите электрическую цепь по монтажной схеме, приведённой на рис.2, подключив катушку  $L$  без сердечника.
3. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз.19, см. рис. 1). Загорится индикатор (поз. 6 см. рис. 1) сигнала синусоидальной формы.

Таблица1

Катушка $R_L = \dots$ Ом	
Без сердечника	С ферромагнитным сердечником

$I = \dots \text{мА}$				$I = \dots \text{мА}$			
$\nu, \text{кГц}$	$U, \text{В}$	$Z, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$	$\nu, \text{Гц}$	$U, \text{В}$	$Z, \text{Ом}$	$L, \text{мГн}$
0.75				50			
1.0				60			
1.25				70			
1.5				80			
1.75				90			
2.0				100			
2.25				110			
2.5				120			
2.75				130			
3.0				140			
3.25				150			
3.5				160			
3.75							
4.0							

4. Кнопками установки частоты «0.2–20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1) установите максимальное значение частоты 4 кГц. С помощью кнопок установки уровня выхода «0–15 В» (поз. 10, см. рис. 1)

Установите значение тока в цепи в пределах от 2 до 7 мА. При этом фиксированном значении тока, изменяя частоту тока  $\nu$  в соответствии с заданием (табл. 1), измеряйте и записывайте в таблицу 1 для каждого значения  $\nu$  напряжение  $U$  на катушке.

Внимание. По мере измерения частоты следует поддерживать заданный ток  $I$ , регулируя его величину кнопками установки уровня выхода «0–15В»

5. Выключите блок генераторов напряжения и блок мультиметров. Установите в катушку сердечник и переведите мультиметр 3 в режим  $V 20V$ . Включите блок генераторов напряжения и блок мультиметров. Проведите измерения, описанные в п. 4. Ток  $I$  подбирайте (см. п. 4) при частоте 160 Гц, Результаты измерений запишите в таблицу 1.

6. Выключите блок генераторов напряжения и блок мультиметров.

## 7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Вычислите для катушки индуктивности без сердечника с сердечником полное сопротивление переменному току  $Z$  по формуле (4)

$$Z = \frac{U}{I} = \dots \text{Гн}$$

и индуктивность по формуле (6)

$$L = \frac{1}{2\pi\nu} \frac{U}{I} = \dots \Gamma\text{H}$$

Результаты расчётов запишите в таблицу 1.

Сравнивая  $R_L$  и  $Z$ , убедитесь в справедливости приближения  $R_L \ll Z$  для рабочих формул (5), (6), (7). Выполните это для обеих катушек

2. Постройте график зависимостей  $Z = f(\omega)$  для обеих катушек.

3. В выводе по работе:

а) сравните зависимости полного сопротивления  $Z$  от частоты двух соленоидов: с ферромагнитным сердечником и без него;

б) отметьте особенности зависимости индуктивности от частоты для двух соленоидов.

**Задание 2.** Исследование зависимости индуктивности соленоида от тока.

*Выполнение измерений*

1. Для исследования катушки без сердечника используется та же электрическая цепь, что и в задании 1. Для исследования катушки с сердечником используется электрическая цепь без дополнительного резистора, монтажная схема рис. 3.
2. Подключите катушку  $L$  без сердечника. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1) установите частоту тока 1 ... 3 кГц.
3. Изменяя силу тока  $I$  кнопками установки уровня выхода «0 – 15В» (от 1 мА до 20 мА с шагом ~1 мА), запишите в табл. 2 для каждого тока напряжение  $U$  на катушке.
4. Выключите блок генераторов напряжения и блок мультиметров. Установите ферромагнитный сердечник в катушку  $L$ . Соберите монтажную схему рис. 3. Включите кнопками «Сеть» питания блока генераторов напряжения и блока мультиметров и нажмите кнопку «Исходная установка». Кнопками установки частоты «0.2 – 20 кГц» установите частоту 50...70 Гц. Проведите измерения по п. 3. Результаты занесите в табл. 2

Катушка без сердечника				С ферромагнитным сердечником		
$\nu = \dots \text{Гц}$				$\nu = \dots \text{Гц}$		
$I, \text{мА}$	$U, \text{мВ}$	$Z, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$	$U, \text{мВ}$	$Z, \text{Ом}$	$L, \text{Гн}$

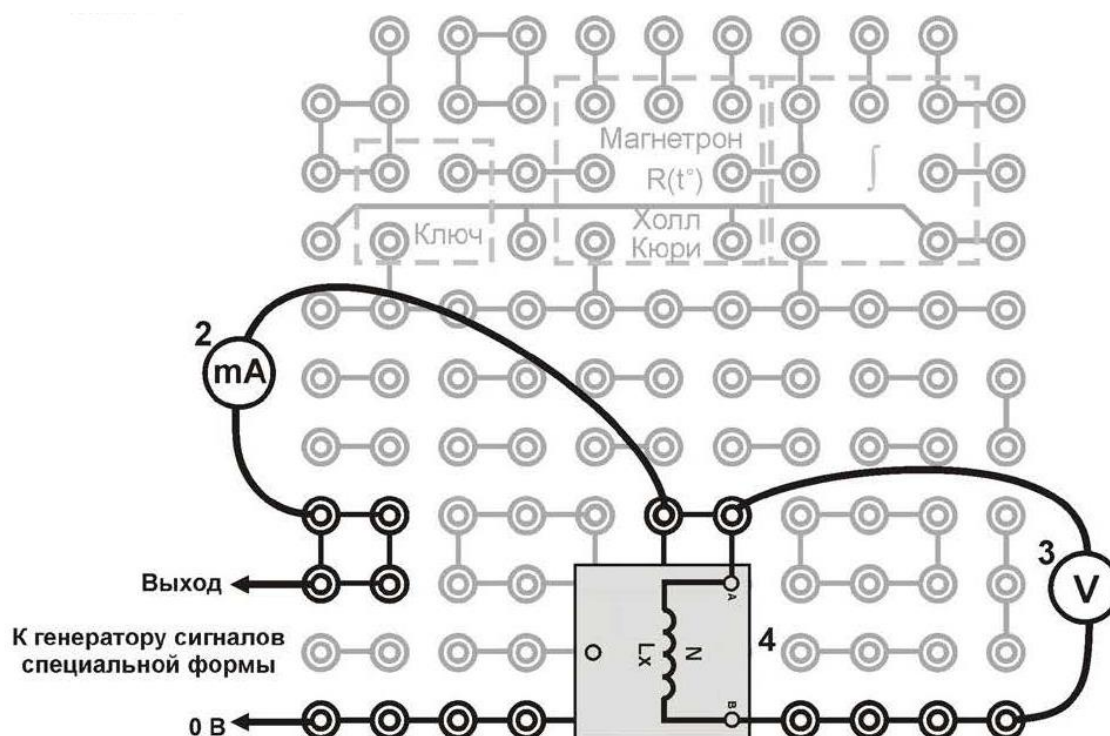


Рис. 3. Монтажная схема; 2,3,4 – см. рис. 1

### Обработка результатов исследования

5. Вычислите значения  $Z$  и  $L$  по формулам (4) и (6) для обеих катушек. Результаты расчётов запишите в табл. 2.
6. Постройте график зависимости  $L = f(I)$ . Сделайте выводы.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите закон изменения тока в цепи при вынужденных колебаниях.
2. Чем определяется частота и амплитуда вынужденных колебаний.
3. Какая ЭДС вызывает вынужденные колебания?
4. Какие ЭДС действуют в колебательном контуре при вынужденных колебаниях? Запишите выражение для ЭДС самоиндукции.
5. Что характеризует и от каких величин зависит индуктивность цепи?
6. От каких параметров зависит полное сопротивление контура переменному току?
7. Чем объясняется зависимость индуктивности соленоида с ферромагнитным сердечником от частоты тока?
8. На чём основано измерение полного сопротивления цепи  $Z$  в данной работе?
9. Какой характер имеет зависимость  $U(\omega)$ , полученная при фиксированном значении тока  $I$  в случае соленоида без сердечника?
10. Какой прибор используется в работе в качестве источника переменного тока?

11. С какой целью в работе определяется активное  $R$  и полное сопротивление  $Z$  катушки индуктивности?
12. Каким образом определяют в данной работе индуктивность катушки с сердечником и без него? Запишите рабочие формулы.