Лабораторная Работа № 9.
ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В КОНТУРЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ИНДУКТИВНОСТЬ

ЦЕЛЬ: исследовать зависимости электрического сопротивления и индуктивности контура от частоты переменного тока.

ОБОРУДОВАНИЕ: миниблок «Катушка со съемным сердечником», миниблок «Сопротивление» - 470 Ом, генератор сигналов специальной формы, мультиметры.

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 ε, будет наводиться ЭДС самоиндукции

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

Ток в таком контуре колеблется с той же частотой ω, что и приложенная ЭДС, но отстает по фазе на φ:

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

Амплитуда тока I_m пропорциональна амплитуде ЭДС:

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

где Z – полное сопротивление контура переменному току (импеданс контура),

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \qquad (2)$$

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

ν - частота тока.

Индуктивность характеризует свойство контура создавать

собственное потокосцепление и равна магнитному потоку Φ_m, сцепленному с контуром, при единичном токе в нем:

$$\Phi_m = LI$$

Индуктивность контура зависит от его размеров, формы и магнитной прони- цаемости среды μ_r, окружающей контур. Например, величина индуктивности длинного соленоида

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

где μ_0 - магнитная постоянная; N – число витков соленоида; S – площадь сечения сердечника соленоида; l – длина средней осевой линии сердечника.

Индуктивность соленоида с ферромагнитным сердечником зависит еще и от тока I, протекающего в обмотке. Это следует из того, что магнитная проницаемость ферромагнетиков μ_r зависит от напряженности H магнитного поля, которая определяется током в соленоиде:

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

Метод измерений

В данной работе измерение полного сопротивления цепи Z основано, согласно закону Ома (1), на измерениях действующих значений переменного тока I и напряжения U:

$$Z = U/I \qquad (4)$$

Согласно выражению (2) в случае малой величины активного сопротивления (как правило, $R<<Z$) полное сопротивление соленоида совпадает с индуктивным:

$$Z = \omega L \qquad (5)$$

Это позволяет определить индуктивность по формуле

$$Z = \frac{1}{2\pi\nu}\frac{U}{I}, \qquad (6)$$

измеряя сопротивление катушки переменному току известной частоты ν.

Напряжение, измеренное на обмотке соленоида, в соответствии с выражениями (4) и (5) зависит от частоты переменного тока:

$$U = IZ = I\omega L \qquad (7)$$

Зависимость $U = f(\omega)$ полученная при фиксированном значении тока I, по форме совпадает с зависимостью $Z = f(\omega)$ и является линейной, если индуктивность соленоида L постоянна (не зависит от частоты). В таком случае величину L определяют экспериментально по угловому коэффициенту прямой $U = f(\omega)$, равному $K = IL$. Согласно формуле (3), это соответствует постоянному значению магнитной проницаемости μ_r, что характерно для неферромагнитных сред. Для соленоида с ферромагнитным сердечником, как было отмечено, индуктивность зависит от силы тока, протекающего по обмотке. Вид этой зависимости можно установить экспериментально, определяя индуктивное сопротивление соленоида при различных токах.

Таким образом, измеряя напряжение на обмотке соленоида при протекании переменного тока различной частоты (при фиксированной величине действующего значения I), можно экспериментально определить индуктивность соленоида и ее частотную зависимость.

Описание установки

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

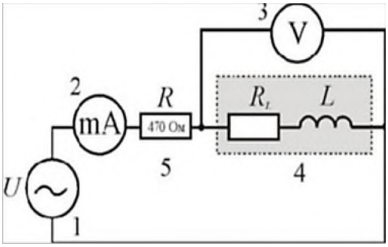

Рис. 1. Электрическая схема:
1 – генератор сигналов специальной формы;
2 – мультиметр (*режим A~20mA, входы COM, mA*);
3 – мультиметр (*режим V~2B, входы COM,VΩ*);

4-миниблок «Катушка со съемным 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, соединенные последовательно, подключают к генератору сигналов специальной формы 1.

Напряжение на катушке измеряют мультиметром 3 с большим входным сопротивлением.

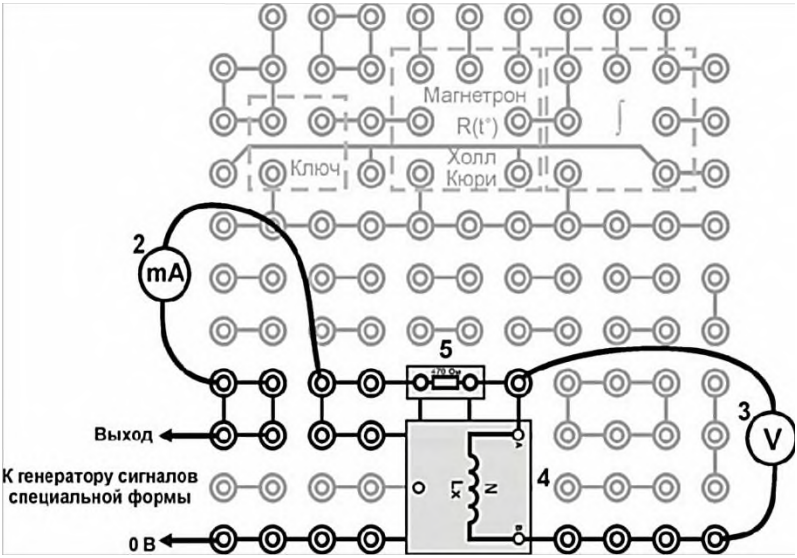

Рис.2. Монтажная схема; 2, 3, 4, 5 – см. рис. 1

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, приведенной 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 на стр. 93). Загорится индикатор (поз. 6, см. рис. 1 на стр. 93) сигнала синусоидальной формы.

Таблица 1

Катушка $R_L = \cdots$ Ом							
без сердечника				С ферромагнитным сердечником			
$I = \cdots$ мА				$I = \cdots$ мА			
ν, кГц	U, мВ	Z, Ом	L, Гн	ν, Гц	U, мВ	Z, Ом	L, Гн
0,75				50			
1,00				60			
1,25				70			
1,5				80			
1,75				90			
2,00				100			
2,25				110			
2,5				120			
2,75				130			
3,00				140			
3,25				150			
3,5				160			
3,75							
4,00							

4. Кнопками установки частоты «0.2 – 20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1 на стр. 93) установите максимальное значение частоты 4 кГц. С помощью кнопок установки уровня выхода «0 - 15 В» (поз. 10, см. рис. 1 на стр. 93) установите значение тока в цепи в пределах от 2 до 7 мА. При этом фиксированном значении тока, изменяя частоту тока ν в соответствии с заданием (табл. 1), измеряйте и записывайте в таблицу 1 для каждого значения ν напряжение U на катушке.

Внимание. По мере изменения частоты следует поддерживать заданный ток *I*, регулируя его величину кнопками установки уровня выхода «0 - 15 В».

5. Выключите блок генераторов напряжения и блок мультиметров. Устано- вите в катушку сердечник и переведите мультиметр 3 в *режим* $V\sim 20$ В. 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.

Обработка результатов измерений

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

$$Z = \frac{U}{I} = \cdots \qquad \text{Ом}$$

и индуктивность по формуле (6)

$$L = \frac{1}{2\pi\nu}\frac{U}{I} = \cdots \quad \text{Гн}$$

Результаты расчетов запишите в табл. 1.

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

2. Постройте графики 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» питания блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 93). Кнопками установки частоты «0.2 – 20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1 на стр. 93) установите частоту тока 1…3 кГц

3. Изменяя силу тока I кнопками установки уровня выхода «0 - 15 В» (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.

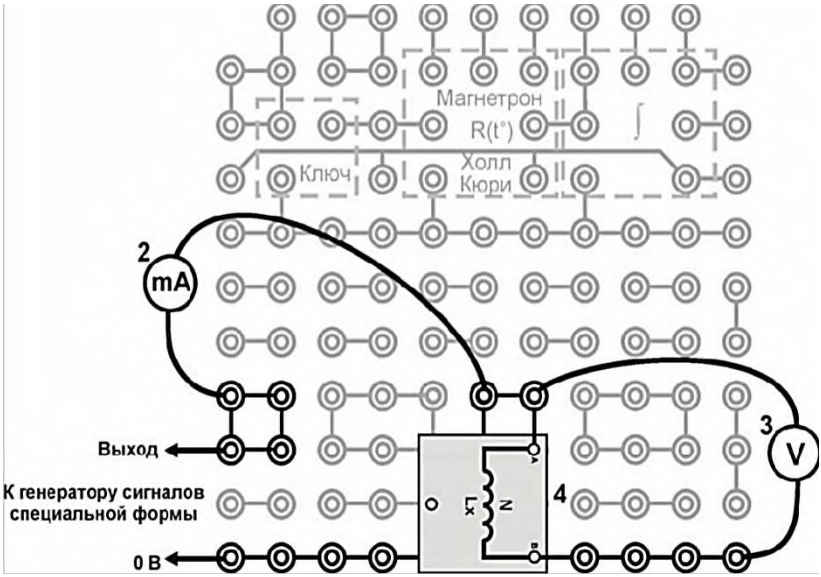

Рис.3. Монтажная схема; 2, 3, 4 – см. рис. 1

Таблица 2

Катушка $R_L = \cdots$ Ом						
без сердечника				С ферромагнитным сердечником		
$\nu =$ Гц				$\nu =$ Гц		
I, мА	U, мВ	Z, Ом	L, Гн	U, мВ	Z, Ом	L, Гн
1,0						
1,2						
1,4						
1,6						
1,8						
2,0						
2,2						
2,4						
2,6						
3,0						
3,2						
3,4						
3,6						
3,8						
4,0						

Обработка результатов измерений

1. Вычислите значения Z и L по формулам (4) и (6) для обеих катушек. Результаты расчетов запишите в табл. 2.

2. Постройте графики зависимости $L = f(I)$. Сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1. Запишите закон изменения тока в цепи при вынужденных колебаниях.

2. Чем определяются 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 чем 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 определяют 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.