

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.16

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

изучение закона Ома для цепей переменного тока и экспериментального метода определения индуктивности катушки и емкости конденсатора.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

катушка индуктивности с тремя секциями на 1200, 2400 и 3600 витков, два конденсатора на 4 и 8 мкФ, реостат (600 Ом), омметр, амперметр переменного тока на 500 мА, вольтметр переменного тока до 300 В, ключ, источник тока ВС-24М.



Катушка



Конденсаторы



Источник напряжения ВС-24м

ВВЕДЕНИЕ

Переменным током называют ток, меняющийся по гармоническому закону:

$$I = I_m \cos(\omega t + \varphi).$$

Действующим (или эффективным) значением силы тока (I_e) или напряжения

(U_e) называют его *среднеквадратичное* значение. Для переменного тока (напряжения) действующие значения меньше амплитудных значений в $\sqrt{2}$ раз. Приборы, которыми пользуются для измерений в цепях переменного тока, обычно определяют именно действующие значения силы тока и напряжения.

В цепях переменного тока, содержащих емкость и/или индуктивность, между током и напряжением может быть разность фаз φ . Если напряжение на таком участке цепи $U = U_m \cos \omega t$, то ток $I = I_m \cos(\omega t + \varphi)$. Это значит, что прямой пропорциональности между *мгновенными* значениями U и I нет.

Однако есть пропорциональность между их амплитудными (а значит, и действующими) значениями.

Законом Ома для цепи переменного тока называют прямо-пропорциональную связь между амплитудными (а также действующими) значениями напряжения и тока.

Сопротивлением Z цепи переменного тока называют отношение амплитудных (или действующих) значений напряжения и тока:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_e}{I_e} \quad (1).$$

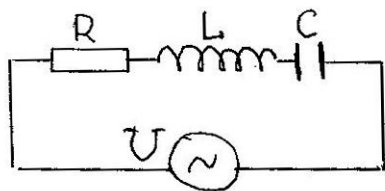
На конденсаторе, включенном в цепь переменного тока, напряжение отстаёт от тока на $\pi/2$. Амплитуда тока прямо пропорциональна амплитуде напряжения: $I_m = U_m \cdot \omega C$. Поэтому *сопротивление ёмкости* (ёмкостное сопротивление) $X_C = \frac{U_m}{I_m} = \frac{1}{\omega C}$.

На идеальной индуктивности напряжение опережает ток на $\pi/2$. Амплитуда тока прямо пропорциональна амплитуде напряжения: $I_m = \frac{U_m}{\omega L}$. Поэтому *сопротивление индуктивности* (индуктивное сопротивление) $X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L$.

Ёмкость и индуктивность называют реактивными элементами цепи, так как они в среднем не потребляют мощности: в течение половины периода они запасают энергию, в течение другой половины периода отдают ее обратно источнику. Резисторы же являются активными элементами цепи, потребляющими среднюю мощность (она выделяется на них в виде теплоты).

Реальную катушку можно представить как последовательное соединение идеальной катушки с индуктивностью L и резистора, активное сопротивление R которого равно сопротивлению проводов катушки.

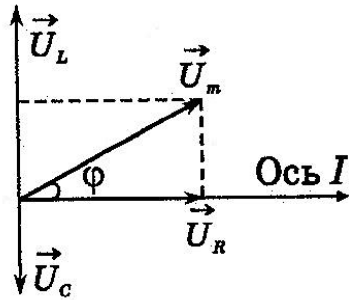
Для расчета сопротивления цепей переменного тока можно использовать метод векторных диаграмм.



Рассмотрим цепь, содержащую последовательно включенные активное сопротивление R , индуктивность L и ёмкость C . Мгновенные значения напряжений на этих элементах складываются:

$$U(t) = U_R(t) + U_L(t) + U_C(t).$$

Все слагаемые – это гармонические функции одной и той же частоты ω , но отличающиеся по фазе. *Мгновенное значение силы тока на всех участках последовательной цепи одинаково, поэтому фазы напряжений удобно отсчитывать от фазы тока.* Напряжение U_R на резисторе изменяется в фазе с током; напряжение U_L на идеальной катушке индуктивности опережает по фазе ток на $\pi/2$; напряжение U_C на конденсаторе отстает по фазе от тока на $\pi/2$.



В методе векторных диаграмм сложение гармонических функций заменяется сложением векторов. Направим ось диаграммы горизонтально – она называется *осью тока* и символизирует фазу тока. Вектор амплитуды напряжения $\vec{U}_R$ направлен вдоль оси тока, $\vec{U}_L$ – вертикально вверх (опережает ток) и $\vec{U}_C$ – вертикально вниз (отстает от тока).

Длина каждого из векторов равна амплитудному значению соответствующего напряжения. Амплитуда напряжения, приложенного к концам всего участка (т.е. напряжение источника), изображается на диаграмме вектором $\vec{U}_m$, равным сумме $\vec{U}_R + \vec{U}_L + \vec{U}_C$. Из рисунка видно, что длина результирующего вектора

$$U_m = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} \quad (2).$$

Подчеркнем еще раз, что в этой формуле фигурируют амплитудные значения всех напряжений. Очевидно также, что такое же соотношение справедливо и для действующих (эффективных) значений всех напряжений.

Выразим теперь амплитуду каждого из напряжений через амплитуду I_m силы тока: $U_R = I_m R$, $U_L = I_m X_L$, $U_C = I_m X_C$, где $X_L = \omega L$ и $X_C = 1/\omega C$ – соответственно индуктивное и емкостное сопротивления. После подстановки этих значений в формулу (1) получим для амплитуды полного напряжения:

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Величину $X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$ называют **реактивным сопротивлением**.

Полное сопротивление Z цепи равно отношению амплитудных (или действующих) значений напряжения и силы тока:

$$Z = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (3).$$

Угол φ на диаграмме между осью тока и вектором $\vec{U}_m$ полного напряжения равен разности фаз между током и напряжением, приложенным к цепи. Из диаграммы видно, что $\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{\omega L - (1/\omega C)}{R}$. Если, как это

изображено на диаграмме, $\varphi > 0$, говорят, что цепь имеет индуктивный характер; если $\varphi < 0$ – емкостный характер.

В данной работе проверяется закон Ома для цепи переменного тока и с помощью соотношения (3) находится индуктивность катушки и емкость.

ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

ЗАДАНИЕ 1. Определение индуктивности секций катушки.

С помощью омметра измерьте сопротивление отдельных секций катушки R_i . После этого соберите цепь по схеме (рис. 1). В качестве индуктивности используйте по очереди все три секции катушки. Источником напряжения служит ВС-24м (частота $f = 50$ Гц, $\omega = 2\pi \cdot f = 314\text{с}^{-1}$). Изменение тока через катушку осуществляется с помощью реостата. Перед подачей напряжения полностью введите реостат (его сопротивление максимально).

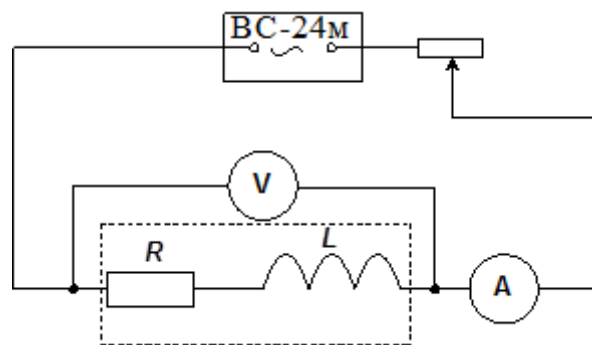


Рис.1

Регулируя ток через катушку с помощью реостата, установите силу тока в районе 50 мА и измерьте напряжение на катушке (по очереди используйте все три секции). Не забывайте, что приборы показывают вам действующие значения этих величин. Полученные данные (R_i , U , I) занесите в таблицу 1 и вычислите индуктивности Z_i секций катушки, а также индуктивности L_i секций.

Таблица 1

Число витков	$R_i, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$Z_i, \text{Ом}$	$L_i, \text{Гн}$
1200					
2400					
3600					

Зная точность измерения силы тока, напряжения и сопротивления R , оцените погрешность измерения Z и L .

ЗАДАНИЕ 2. Определение емкости конденсаторов.

Приборы соедините по схеме, изображенной на рис. 2, отрегулируйте силу тока с помощью реостата и проведите измерение I и U цепи для двух конденсаторов, а также для их последовательного и параллельного соединения. Результаты измерений (I , U) занесите в таблицу 2.

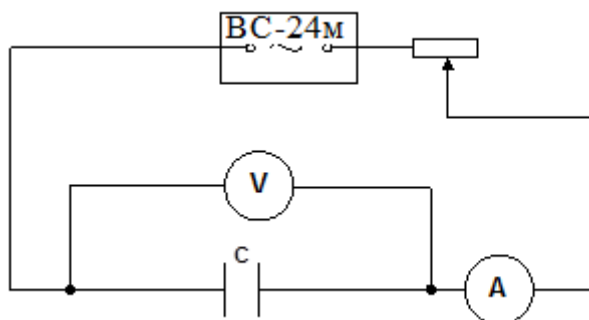


Рис. 2

Таблица 2

	I, A	U, B	$X_C, Ом$	$C_{эксп}, мкФ$	$C_{расч}, мкФ$
C_1					
C_2					
Последов.соедин.					
Параллель.соедин.					

Рассчитайте значения емкостного сопротивления конденсаторов X_C и рассчитайте емкость конденсатора. Вычислите емкости C_1 и C_2 конденсаторов. Затем произведите те же измерения при последовательном и параллельном соединении C_1 и C_2 . Результаты измерений и расчётов занесите в таблицу 2.

ЗАДАНИЕ 3. Проверка закона Ома для цепи переменного тока.

Проверка закона Ома сводится к сравнению сопротивления участка цепи, рассчитанного по показаниям амперметра и вольтметра:

$$Z_{эксп} = U / I,$$

с рассчитанным по формуле: $Z_{теор} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$, где R , L , C – величины, полученные при выполнении первого и второго заданий.

Приборы соедините по схеме, представленной на рис. 3, используя одну из секций катушки (3600 витков) и один из конденсаторов (C_2), установите с помощью реостата ток в районе 50-100 мА и проведите измерение I и U цепи.

Занесите в таблицу 3 значения R , C , L из задания 1 и 2, а также измеренные величины I и U . Рассчитайте $Z_{эксп}$ и $Z_{теор}$.

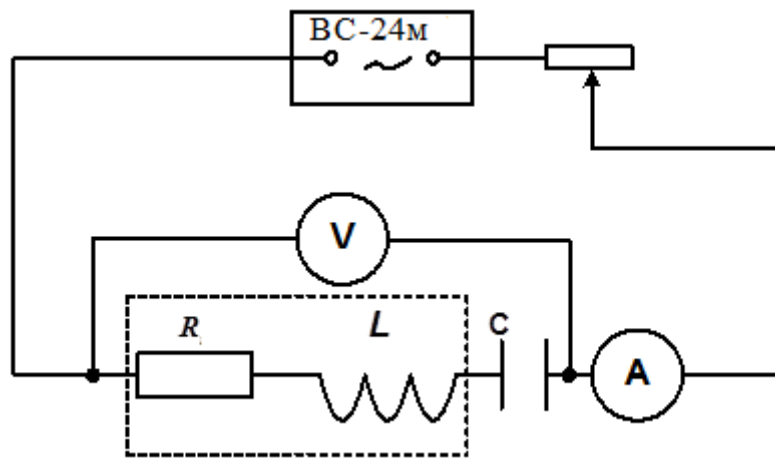


Рис.3

Таблица 3

$R, \text{ Ом}$	$C_2, \text{ мкФ}$	$L, \text{ Гн}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ мА}$	$Z_{\text{эксп}}, \text{ Ом}$	$Z_{\text{теор}}, \text{ Ом}$

ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ

1. Какие цепи называются квазистационарными?
2. Что такое эффективное значение тока, напряжения?
3. Какие элементы цепи обладают активным, а какие реактивным сопротивлением?
4. Докажите, что на идеальной индуктивности напряжение опережает ток на $\pi/2$, а на конденсаторе напряжение отстает от тока на $\pi/2$.
5. Объясните суть метода векторных диаграмм на примере цепи, содержащей последовательно соединенные катушку и конденсатор.
6. Как вычислить сдвиг фаз между током и напряжением на реальной катушке индуктивности?
7. Нарисуйте векторную диаграмму для участка цепи из задания 3, содержащего катушку и конденсатор, используя конкретные значения R, L и C и соблюдая масштаб. Какой характер имеет этот участок: индуктивный или емкостный? Вычислите разность фаз между током и напряжением на этом участке.