

Лабораторная работа №3

Изучение резонанса напряжений и определение индуктивности методом резонанса

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить индуктивность катушки методом резонанса.

ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Амперметр A
2. Вольтметр V
3. Магазин емкостей до 20 мкФ
4. Катушка индуктивности L
5. Сопротивление R
6. Переключатель.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Для получения незатухающих электромагнитных колебаний необходимо подводить в контур энергию извне. Это можно сделать, например, включением последовательно в колебательный контур источника тока с периодически изменяющейся ЭДС,

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$$

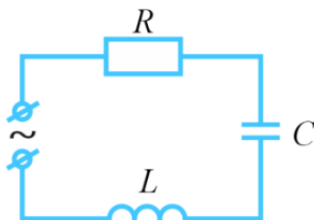


Рис.1. Колебательный контур

Колебания, возникающие в этом случае (так называемые **вынужденные** колебания), будут происходить с той же частотой ω , с какой изменяется «вынуждающая» их ЭДС.

В этом проявляется свойство колебательного контура – *сохранять гармонический вид колебаний* при действии внешней гармонической ЭДС.

В работе исследуются **вынужденные электромагнитные колебания** в контуре, состоящем из последовательно соединенных элементов (**рис.1**):

1. Емкость C
2. Индуктивность L
3. Активное сопротивление R
4. Источник переменной ЭДС.

Согласно второму правилу Кирхгофа, в любой момент времени t :

$$IR + U_C = \varepsilon + \varepsilon_i \quad (1)$$

где I – сила тока в цепи;

$U_C = \frac{q}{C}$ – напряжение на пластинах конденсатора;

q – заряд конденсатора;

$\varepsilon_i = -L \frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции.

Из правила Кирхгофа можно получить дифференциальное уравнение

$$IR + \frac{q}{C} + L \frac{dI}{dt} = \varepsilon(t) \quad (2)$$

Дифференцируя это уравнение по времени и учитывая связь между током в цепи и зарядом на пластинах конденсатора ($I = \frac{dq}{dt}$), имеем

$$L \frac{d^2 I}{dt^2} + R \frac{dI}{dt} + \frac{I}{C} = \varepsilon_m \omega \cos \omega t \quad (3)$$

Известно, что такое уравнение имеет решение в виде

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

где $I_m = \frac{\varepsilon_m}{z}$ – амплитуда тока;

$z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$ – **полное** сопротивление в цепи (или **импеданс**);

R – **активное** (омическое) сопротивление;

$R_L = \omega L$ – **индуктивное** сопротивление;

$R_C = \frac{1}{\omega C}$ – **емкостное** сопротивление;

φ – **разность фаз** между приложенной ЭДС и током в контуре, причем φ определяется из соотношения:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad \text{– тангенс сдвига фаз}$$

При определенной частоте $\omega = \omega_{PE3}$ полное сопротивление контура становится минимальным $z_{\min} = R$, а ток достигает наибольшего значения.

Это происходит тогда, когда $\omega_{PE3} L = \frac{1}{\omega_{PE3} C}$, т.е. при $\omega_{PE3} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ сила тока находится в фазе с ЭДС, т.е. разность фаз $\varphi = 0$, и контур действует как чисто активное сопротивление (**рис. 4**).

РЕЗОНАНС

Явление резкого возрастания амплитуды тока в контуре (одновременно напряжений на конденсаторе и катушке) при частотах, близких к ω_{PE3} , называется **резонансом напряжений**, а частота ω_{PE3} – **резонансной частотой**.

Таким образом, для тока резонансная частота совпадает с собственной частотой контура ω_0 и не зависит от активного сопротивления R .

$$\omega_{PE3} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

От R зависит лишь острота резонанса (**рис.2**). Чем меньше R (т.е. чем меньше коэффициент затухания $\beta = \frac{R}{2C}$), тем острее резонанс.

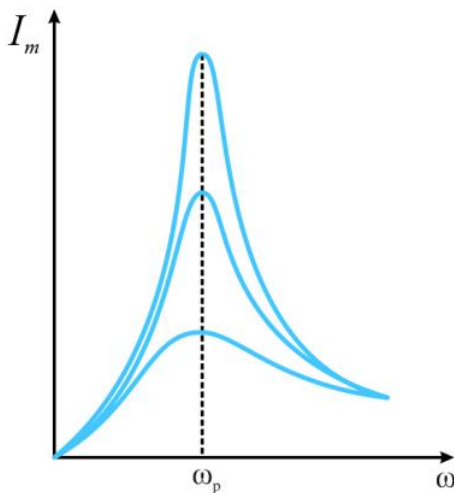


Рис.2. Резонансные кривые колебательного контура для различных коэффициентов затухания

Амплитуда тока при резонансе равна:

$$I_{mp} = \frac{\varepsilon_m}{R} \quad (6)$$

При этом амплитудные значения напряжений на индуктивности и емкости равны (**рис. 4**):

$$U_{mL} = \omega L I_{mp} = \frac{\omega L}{R} \varepsilon_m \quad (7)$$

$$U_{mC} = \frac{1}{\omega C} I_{mp} = \frac{1}{\omega CR} \varepsilon_m \quad (8)$$

ВНИМАНИЕ

С явлением резонанса связана и опасность: внешняя ЭДС или напряжение могут быть малы, однако при этом напряжения на отдельных элементах контура (на L или C) могут достигать **опасного для жизни** значения.

Это имеет место, если $\frac{1}{\omega_{PE3} C} = \omega_{PE3} L > R$, и, как следует из выражения (7)

и (8), напряжения U_L и U_C больше подаваемого в контур ε .

Полезно построить векторную диаграмму напряжений, на которой отложены векторы соответствующих амплитуд, а фаза определяется углом наклона векторов к горизонтальной оси (**рис.3** соответствует произвольной ω).

Важно отметить, что резонанс служит удобным и достаточно точным способом определения L или C , входящего в схему. Сняв резонансную кривую $I(\omega)$ определяют $\omega_{PE3} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, а затем находят неизвестное значение L или C .

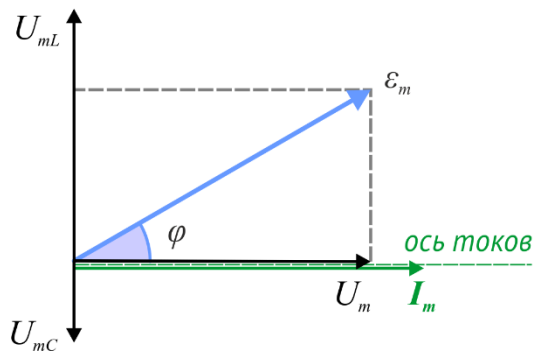


Рис.3. Векторная диаграмма при отсутствии резонанса

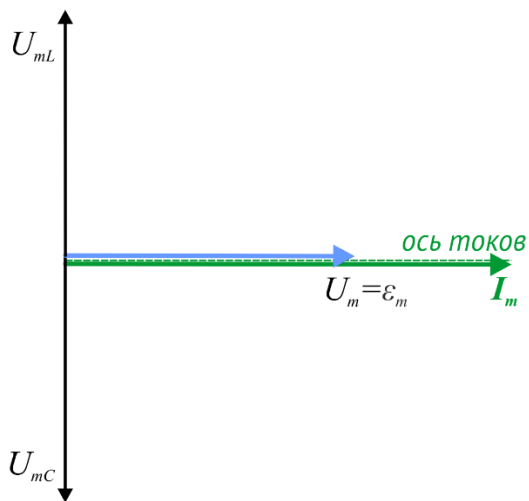


Рис.4. Векторная диаграмма при резонансе

Условие резонанса $\omega_{PE3}L = \frac{1}{\omega_{PE3}C}$ может достигнуто тремя способами:

1. изменением частоты внешней ЭДС;
2. изменением индуктивности;
3. изменением емкости.

В настоящей работе выбран третий способ - **резонанс при изменении емкости**.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Исследование резонанса напряжений производят с помощью схемы, представленной на **рис.5**.

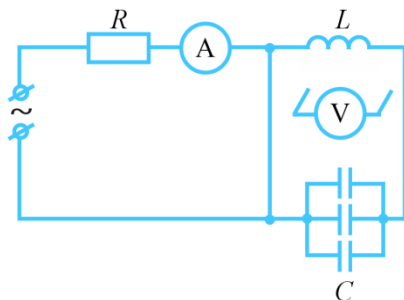


Рис.5. Схема установки

Приборы и принадлежности: амперметр A , вольтметр V , магазин емкостей до 20 мкФ , катушка индуктивности L , сопротивление R , переключатель.

Необходимо помнить, что все приборы показывают действующие значения тока и напряжения I и U , которые связаны с амплитудными значениями I_m и U_m соотношениями $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Установившиеся вынужденные электрические колебания можно рассматривать как протекание в цепи переменного тока под действием внешнего напряжения $U = U_m \sin \omega t$ (играющего роль внешней ЭДС).

ХОД РАБОТЫ

1. Собрать схему согласно **рис.5**.
2. Измерить зависимости $I(C)$, $U_C(C)$, $U_L(C)$, устанавливая на магнине емкостей значения 5,5; 6; 6,5 мкФ и т.д. через 0,5 мкФ до 12 мкФ.
Сначала снять показания амперметра, затем напряжение U_C , повернуть ключ и снять напряжение U_L .
3. Результаты занести в **Таблицу**.
4. Рассчитать полное сопротивление цепи Z , используя закон Ома для переменного тока $Z = \frac{U}{I}$.
5. На **одной координатной сетке** построить график резонансных кривых: $I = f(C)$, $z = f(C)$, $U_C = f(C)$, $U_L = f(C)$ и определить значение C_{PE3} .
6. Определить индуктивность из условия $\frac{1}{(\omega C_{PE3})} = \omega L$, откуда

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C_{PE3}}, \quad (9)$$

где $\nu = 50$ Гц - частота промышленного тока.

Чтобы получить индуктивность L в *генри*, величину емкости C следует подставлять в *фарадах*.

7. Сделать вывод.

Таблица

№	C , мкФ	I , А	U_C , В	U_L , В	U , В	z , Ом
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое электрический резонанс?
2. Какое сопротивление называется *активным*? Какое *реактивным*?
3. Объяснить механизм возникновения емкостного и индуктивного сопротивлений.
4. Чему равно полное сопротивление цепи при резонансе?
5. Постройте векторную диаграмму напряжений при резонансе.
6. Назовите условие возникновения резонанса и способы его получения.
7. Что такое действующее значение напряжений?
8. Выведите формулу (9) для определения индуктивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1977, §221, 222, 210.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.III. Электричество. – М.: Наука, 1983, §124, 127.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989, §28.1, 28.3.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1988, §91, 92.