

## РАБОТА 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА НАПРЯЖЕНИЙ

**Цель работы.** Изучение и экспериментальное исследование резонанса в цепи с последовательным соединением катушки индуктивности и конденсатора.

#### Пояснения к работе

Резонансом называют такой режим работы пассивной цепи, при котором входной ток совпадает по фазе с входным напряжением, несмотря на наличие в цепи реактивных элементов.

Если цепь представляет собой последовательное соединение двухполюсников, содержащих реактивные элементы разного характера, то возникновение резонанса объясняется взаимной компенсацией реактивных составляющих напряжений на этих двухполюсниках. В этом случае говорят о резонансе напряжений.

Простейший вариант такого резонанса получается при последовательном соединении катушки индуктивности с параметрами  $R$ ,  $L$  и конденсатора с емкостью  $C$  (рис.6.1).

При питании этой цепи от источника синусоидального напряжения  $u = U\sqrt{2} \sin(\omega t)$ , в ней протекает ток  $i = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$ , где

$$I = \frac{U}{Z}, \quad Z = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad X = X_L - X_C,$$

$$X_L = \omega L, \quad X_C = \frac{1}{\omega C}, \quad \varphi = \operatorname{arctg} \frac{X}{R}.$$

Отсюда ясно, что ток совпадает по фазе с напряжением ( $\varphi = 0$ ) при условии  $X = 0$ , т.е. в данном случае при  $X_L = X_C$  или  $\omega^2 LC = 1$ . Таким образом, резонанса можно добиться, изменяя либо частоту, либо индуктивность, либо емкость. В частности, если заданы  $\omega$  и  $L$ , то резонанс получится при емкости  $C_{\text{рез}} = \frac{1}{\omega^2 L}$ . В этом случае будут равны напряжения на индуктивности  $U_L = X_L I$  и емкости  $U_C = X_C I$ . Они могут превысить напряжение на входе цепи  $U$  (равное падению напряжения на активном сопротивлении  $U_R = RI$ ), если характеристическое сопротив-

ление контура  $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$  окажется больше его активного сопротивления  $R$

(иными словами, добротность контура  $Q = \frac{\rho}{R} > 1$ ).

### Схема электрической цепи

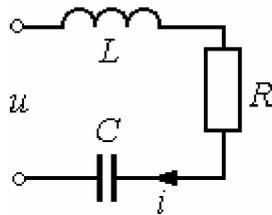


Рис. 6.1

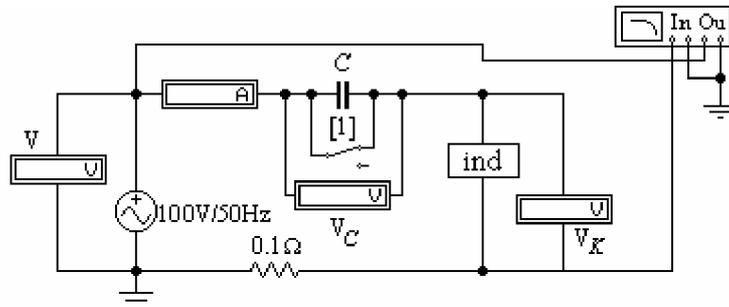


Рис. 6.2

Схема, показанная на рис. 6.2, питается от источника синусоидального напряжения с действующим значением 100 В и частотой 50 Гц.

Катушка индуктивности представлена блоком **ind1 ÷ ind10**, который нужно выбрать из поля подсхем **Favorites** по указанию преподавателя. Роль фазометра в схеме исполняет прибор **Bode-Plotter**, пределы измерения которого от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  уже установлены. Каждому измерению угла сдвига фаз напряжения и тока на входе схемы должно предшествовать отключение **О** и включение **И** кнопки «**Пуск**» в верхнем правом углу экрана (перезапуск моделирования данного режима).

При замкнутом ключе, который управляется клавишей **1**, по показаниям приборов можно вычислить параметры катушки. А при разомкнутом – оценить влияние емкости конденсатора на значения тока и угла сдвига фаз тока и напряжения на входе схемы.

### Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, ответить на вопросы.

1. Какой режим работы электрической цепи называют резонансом напряжений?

2. Изменением каких параметров цепи или источника питания в схеме, изображенной на рис. 6.1, можно добиться резонанса? Записать его условие для этой схемы.

3. Как по величине входного тока установить, что достигнут резонанс?

4. При каком соотношении параметров цепи напряжения на реактивных элементах могут быть значительно больше входного? Как определить добротность контура?

5. Как экспериментально определить параметры катушки  $R$ ,  $L$  и как вычислить резонансную емкость? Запишите формулы.

6. Построить качественные векторные диаграммы для схемы рис. 6.1 при трех значениях емкости:  $C = C_{\text{рез}}$ ,  $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C > C_{\text{рез}}$ .

7. Как меняется знак угла сдвига фаз напряжения и тока  $\varphi$  при изменении емкости от нуля и до бесконечности?

### Программа работы

1. Открыть файл **LW6**. Из поля подсхем **Favorites** извлечь блок катушки индуктивности **ind** с номером своего варианта, а из поля КИП **Instruments** – прибор **Bode-Plotter**. Собрать остальную часть схемы.

2. Снять показания приборов при замкнутом ключе и записать их в табл. 6.1.

**Таблица 6.1**

Показания приборов		Результаты расчета							
$U$	$I$	$\varphi$	$Z$	$R$	$X_L$	$L$	$C_{\text{рез}}$	$\rho$	$Q$
В	А	град	Ом	Ом	Ом	Гн	мкФ	Ом	–

3. По результатам измерений определить параметры катушки индуктивности. Вычислить резонансную емкость, характеристическое сопротивление и добротность резонансной цепи. Результаты вычислений внести в ту же таблицу.

4. Разомкнуть ключ и снять показания приборов при пяти различных значениях емкости:  $C = C_{\text{рез}}$ , два значения  $C < C_{\text{рез}}$ , и два значения  $C > C_{\text{рез}}$ . Результаты измерений внести в табл.6.2.

*Указание.* Для измерения фазы необходимо перезапускать схему при каждом изменении её параметров.

**Таблица 6.2**

$U$	$C$	$I$	$U_C$	$U_K$	$\varphi$
В	мкФ	А	В	В	град

5. Рассчитать ток в цепи и напряжения на элементах схемы для трех режимов из п. 4 ( $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C = C_{\text{рез}}$ ,  $C > C_{\text{рез}}$ ). Угол сдвига фаз вычислить по формуле  $\varphi = \arctg \frac{X}{R}$ . Результаты внести в табл.6.3 и сравнить с данными опыта по п. 4.

6. Построить векторные диаграммы по результатам расчета.

**Таблица 6.3**

$U$	$C$	$X_C$	$X$	$Z$	$I$	$U_C$	$U_L$	$U_R$	$U_K$	$\varphi$
В	мкФ	Ом	Ом	Ом	А	В	В	В	В	В

7. Построить графики зависимостей  $\varphi(C)$  и  $I(C)$  по данным табл. 6.2.

8. Сравнить результаты эксперимента и расчета, проанализировать зависимости п. 7, сделать общие выводы по работе.

## РАБОТА 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАНСА ТОКОВ

**Цель работы.** Изучение и экспериментальное исследование резонанса при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора переменной емкости.

#### Пояснения к работе

Явление совпадения по фазе тока и напряжения на входе пассивной цепи, содержащей индуктивности и емкости, называют резонансом. Если он происходит за счет взаимной компенсации реактивных состав-

ляющих токов в параллельно включенных двухполюсниках с реактивными элементами разного характера, то говорят о резонансе токов. Простейший случай такого резонанса имеет место в цепи с параллельным соединением катушки индуктивности с параметрами  $R$ ,  $L$  и конденсатора  $C$  (рис. 7.1).

Если к этой цепи приложено синусоидальное напряжение  $u = U\sqrt{2} \sin(\omega t)$ , то ток равен  $i = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$ , где

$$I = yU, \quad y = \sqrt{g^2 + b^2}, \quad g = \frac{R}{Z_K^2}, \quad b = b_K - b_C,$$

$$b_C = \omega C, \quad b_K = \frac{\omega L}{Z_K}, \quad Z_K = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{b}{g}.$$

Отсюда ясно, что входной ток совпадает по фазе с напряжением ( $\varphi = 0$ ) при условии равенства нулю входной реактивной проводимости ( $b = 0$ ). Резонанса можно добиться либо изменением частоты приложенного напряжения, либо изменением параметров цепи. Например, при заданных  $R$ ,  $L$ ,  $\omega$  резонанс получится при  $C_{\text{РЕЗ}} = \frac{L}{Z_K^2}$ .

При резонансе токи в параллельных ветвях схемы рис. 7.1  $I_C = \omega C U$  и  $I_K = \frac{U}{Z_K}$  могут во много раз превышать входной ток  $I = Uy$ , если  $\omega C_{\text{РЕЗ}} > g$ .

### Схема электрической цепи

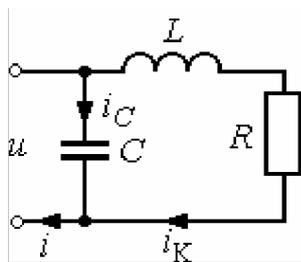


Рис. 7.1

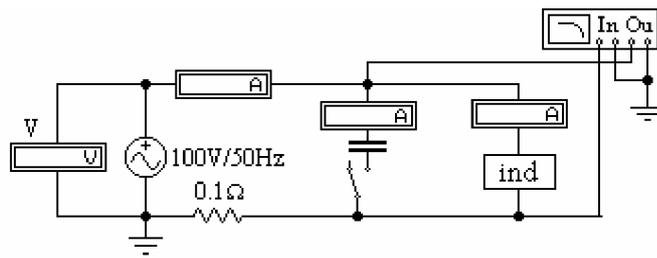


Рис. 7.2

Схема, показанная на рис. 7.2 питается от источника синусоидального напряжения с действующим значением 100 В и частотой 50 Гц. Катушка индуктивности в схеме представлена блоком **ind1 ÷ ind10**, который нужно выбрать из поля подсхем **Favorites** по указанию преподавателя.

Роль фазометра в схеме исполняет прибор **Bode-Plotter**, пределы измерения которого от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  уже установлены. Каждому измерению угла сдвига фаз напряжения и тока на входе схемы должно предшествовать отключение **О** и включение **И** кнопки «**Пуск**» в верхнем правом углу экрана (перезапуск моделирования данного режима).

При разомкнутом ключе, который управляется клавишей **1**, по показаниям приборов можно вычислить параметры катушки, при замкнутом – оценить влияние емкости конденсатора на значения тока и угла сдвига фаз напряжения и тока на входе схемы.

### Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, ответить на следующие вопросы.

1. Какой режим работы электрической цепи называется резонансом токов?

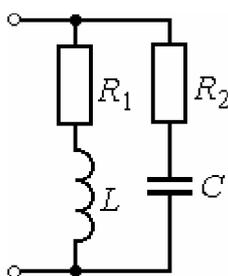


Рис.7.3

2. Записать условие резонанса для схемы рис. 7.3 и вывести из него, как частный случай, условие резонанса для схемы рис. 7.1. Изменением каких величин можно добиться резонанса токов в исследуемой цепи?

3. Как по величине входного тока установить, что достигнут резонанс?

4. Построить качественные векторные диаграммы токов для различных емкостей: при  $C = C_{рез}$ ,  $C < C_{рез}$ ,  $C > C_{рез}$ .

5. Как будет изменяться ток в индуктивности в этих случаях при  $U = const$ ?

6. Как меняется знак угла сдвига фаз  $\varphi$  в тех же случаях? К каким значениям стремится этот угол при  $C \rightarrow 0$  и  $C \rightarrow \infty$ ?

7. При каком соотношении параметров цепи в режиме резонанса токи в параллельных ветвях превысят ток на входе цепи?

## Программа работы

1. Открыть файл **LW7**. Из поля подсхем **Favorites** извлечь блок катушки индуктивности **ind** с номером своего варианта, а из поля КИП **Instruments** – прибор **Bode-Plotter**. Собрать остальную часть схемы.
2. Снять показания приборов при разомкнутом ключе и записать их в табл. 7.1.

**Таблица 7.1**

Показания приборов				Результаты вычислений			
$U$	$I$	$\varphi$	$Z$	$R$	$X_L$	$L$	$C_{\text{рез}}$
В	А	град	Ом	Ом	Ом	Гн	мкФ

3. По результатам измерений определить параметры катушки индуктивности. Вычислить резонансную емкость. Результаты вычислений внести в ту же таблицу.
4. Замкнуть ключ и снять показания приборов при пяти различных значениях емкости: двух значениях  $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C = C_{\text{рез}}$ , и двух значениях  $C > C_{\text{рез}}$ . Результаты измерений внести в табл.7.2.

**Таблица 7.2**

$U$	$C$	$I$	$I_C$	$I_K$	$\varphi$
В	мкФ	А	А	А	град

5. Рассчитать ток в цепи и напряжение на элементах схемы для трех режимов из п. 4 ( $C < C_{\text{рез}}$ ,  $C = C_{\text{рез}}$ ,  $C > C_{\text{рез}}$ ). Угол сдвига фаз напряжения и тока на входе цепи вычислить по формуле  $\varphi = \arctg \frac{b}{g}$ . Результаты внести в табл. 7.3 и сравнить с данными опыта по п. 4.
6. Построить векторные диаграммы по результатам расчета п. 5.
7. Построить графики зависимостей  $\varphi(C)$  и  $I(C)$  по данным табл. 7.2.

**Таблица 7.3**

$U$	$C$	$\omega C$	$b$	$y$	$I$	$I_C$	$I_K$	$\phi$
В	мкФ	См	См	См	А	А	А	град

8. Сравнить результаты эксперимента и расчета, проанализировать зависимости п.7, сделать общие выводы по работе.