

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. КОНДЕНСАТОР И КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

**Цель работы.** Научиться определять параметры конденсатора и катушки индуктивности с помощью амперметра, вольтметра и фазометра, строить векторные диаграммы, а также проверить выполнение законов Кирхгофа в цепи синусоидального тока.

#### Пояснения к работе

Реальный конденсатор, в отличие от идеального, обладает некоторыми тепловыми потерями энергии из-за несовершенства изоляции. В расчетах электрических цепей такой конденсатор представляют обычно параллельной схемой замещения.

Параметры этой схемы –  $g$  и  $C$  – можно экспериментально определить по показаниям амперметра  $I$ , вольтметра  $U$  и фазометра  $\varphi$  следующим образом.

Сначала найти по закону Ома полную проводимость конденсатора

$$y = \frac{I}{U},$$

потом активную ( $g = y \cos \varphi$ ) и емкостную ( $b_C = -y \sin \varphi$ ) проводимости, а затем по известной угловой частоте синусоидального напряжения сети ( $\omega = 314$  рад/с) подсчитать емкость  $C = \frac{b_C}{\omega}$ .

При параллельном соединении элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  по законам Ома и Кирхгофа в комплексной форме для входного тока имеем:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \dot{U}\dot{Y},$$

где  $\dot{Y} = g - jb = ye^{-j\varphi}$  – комплексная проводимость;

$g$  – активная проводимость;

$b = b_L - b_C$  – реактивная проводимость;

$y$  – полная проводимость;

$\varphi = \arctg \frac{b}{g}$  – угол сдвига фаз напряжения и тока;

$b_L = \frac{1}{\omega L}$  – индуктивная проводимость;

$b_C = \omega C$  – емкостная проводимость.

Напряжение на конденсаторе отстает по фазе от тока (угол сдвига фаз  $\varphi < 0$ ,  $b = -b_C$ , так как  $b_L = 0$ ).

Угол потерь, характеризующий несовершенную изоляцию конденсатора, равен  $\delta = \arctg \frac{g}{\omega C}$ ; очевидно,  $\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg}(90^\circ + \varphi)$ .

Реальная катушка индуктивности также обладает тепловыми потерями в отличие от идеальной катушки. Эквивалентную схему замещения такой катушки обычно представляют в виде последовательного соединения элементов  $R$  и  $L$ . Эти параметры можно экспериментально определить по показаниям вышеупомянутых приборов, воспользовавшись формулами:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad R = Z \cos \varphi, \quad X = Z \sin \varphi, \quad L = \frac{X}{\omega}.$$

При последовательном соединении элементов  $R$ ,  $L$ ,  $C$  по законам Ома и Кирхгофа в комплексной форме входное напряжение равно:

$$\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I} \underline{Z},$$

где  $\underline{Z} = R + jX = Ze^{j\varphi}$  – комплексное сопротивление;

$R$  – активное сопротивление;

$X = X_L - X_C$  – реактивное сопротивление;

$Z$  – полное сопротивление;

$\varphi = \arctg \frac{X}{R}$  – угол сдвига фаз напряжения и тока;

$X_L = \omega L$  – индуктивное сопротивление;

$X_C = \frac{1}{\omega C}$  – емкостное сопротивление.

Ток в катушке отстает по фазе от напряжения (угол сдвига фаз  $\varphi > 0$ ,  $X = X_L$ , так как  $X_C = 0$ ). Тангенсом этого угла оценивается добротность катушки:  $Q_L = \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R}$ .

### Подготовка к работе

Проработав теоретический материал, ответить на вопросы и выполнить задания.

1. Какие физические явления отражают в схеме замещения конденсатора элементы  $g$ ,  $C$ , а в схеме замещения катушки индуктивности – элементы  $R$ ,  $L$ ?

2. Что такое активная, емкостная, индуктивная, реактивная, полная проводимости? Как они связаны между собой?
3. Что такое активное, емкостное, индуктивное, реактивное, полное сопротивление? Как они связаны между собой?
4. В каких пределах может изменяться угол сдвига фаз напряжения и тока на входе пассивного двухполюсника?
5. Записать уравнение первого закона Кирхгофа для схемы рис. 3.1 (ключ  $K$  замкнут,  $0 < R_1 < \infty$ ) и уравнение второго закона для схемы рис. 3.2 ( $0 < R_1 < \infty$ ) как для мгновенных, так и для комплексных значений токов и напряжений.

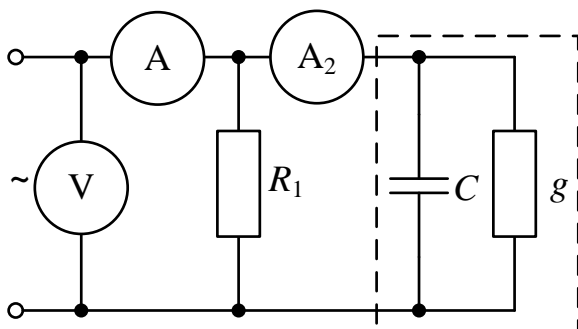


Рис. 3.1

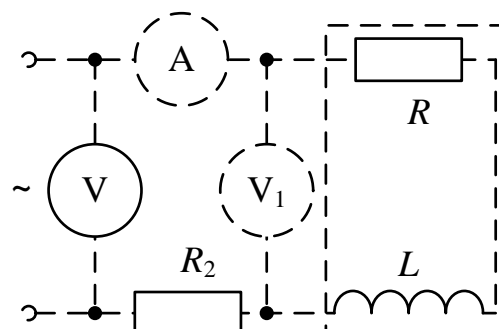


Рис. 3.2

## Исследование активно-емкостной цепи

### Схема электрической цепи

Схема активно-емкостной цепи, исследуемой в работе, показана на рис. 3.3. Питание осуществляется от источника синусоидального напряжения с частотой 50 Гц и действующим значением напряжения 100 В.

Конденсатор в схеме представлен блоком, который нужно выбрать в поле компонентов из набора cond1 ÷ cond10 в соответствии с вариантом.

Для управления положением ключа служит клавиша 1. При разомкнутом ключе можно по показаниям приборов определить параметры схемы замещения конденсатора, состоящей из параллельно включенных  $C$  и  $R$ .

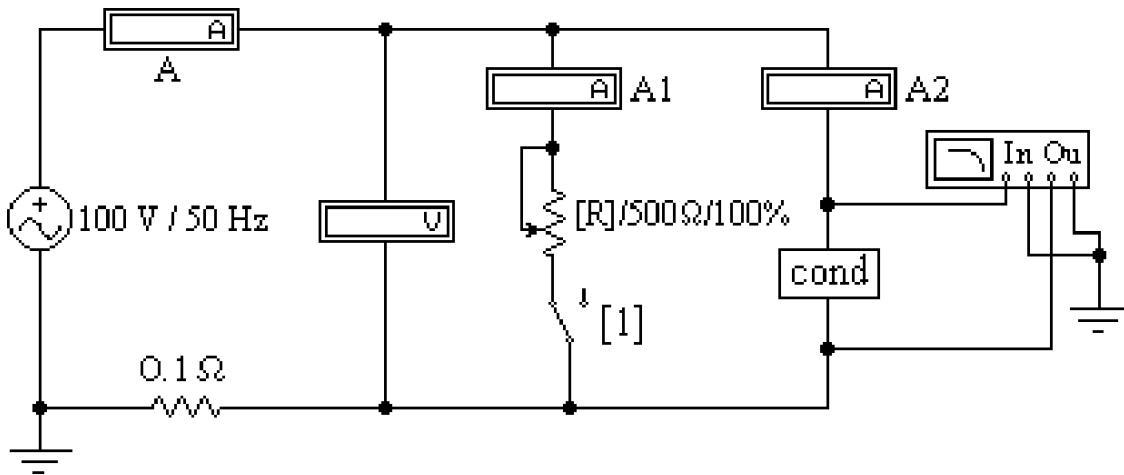


Рис. 3.3

Роль фазометра в схеме исполняет прибор *Bode-Plotter*, пределы измерения которого от  $-90^\circ$  до  $+90^\circ$  уже установлены. Его нужно извлечь из поля контрольно-измерительных приборов *Instruments* (у правого края второй строки меню). Увеличенное изображение прибора появляется в нижней части рабочего поля после двойного щелчка левой клавишей мыши, когда курсор находится на символе прибора в схеме. При замкнутом ключе угол сдвига фаз можно изменять за счет изменения сопротивления реостата (управляющая клавиша *R*) в пределах от 500 до 50 Ом (следует избегать слишком малых значений этого сопротивления во избежание нарушения работы программы).

### Программа работы

1.1. Открыть файл *LW3a* и извлечь из поля компонентов *Favorites* блок *cond*, соответствующий номеру своего варианта. Собрать остальную часть схемы, показанной на рис. 3.3.

1.2. Ключ с помощью управляющей клавиши 1 установить в правое положение (разомкнуть). Включить кнопку «Пуск» и записать показания приборов в верхнюю строку табл. 3.1.

Таблица 3.1

Данные опыта						Результаты расчета					
$U$	$I$	$\varphi$	$I_1$	$I_2$	$C$	$g$	$\delta$	$\dot{I}$	$\dot{I}_1$	$\dot{I}_2$	$\dot{I}$
В	А	град	А	А	мкФ	См	град	А	А	А	А
			0					–	0	–	–
					–	–	–				

1.3. Вычислить параметры конденсатора  $y$ ,  $g$ ,  $b_C$ ,  $C$ , а также угол потерь  $\delta$ . Записать результаты в ту же строку.

1.4. Замкнуть ключ и с помощью управляющей клавиши  $R$  подобрать такое значение сопротивления реостата, чтобы обеспечить заданную в соответствии с вариантом по табл. 3.3 величину угла сдвига фаз напряжения и тока на входе схемы  $\varphi_1$  (в пределах от  $-15^\circ$  до  $-75^\circ$ ). Напомним, что при каждом измерении угла сдвига фаз нужно предварительно выключить и включить кнопку «Пуск». Показания приборов внести в нижнюю строку табл. 3.1.

1.5. Принять начальную фазу входного напряжения равной нулю и записать комплексные действующие значения токов  $\dot{I}$ ,  $\dot{I}_1$ , и  $\dot{I}_2$  в этом режиме в ту же строку. Подсчитать  $\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2$  и сравнить результат со значением  $\dot{I}$ , полученном в эксперименте, проверив тем самым выполнение первого закона Кирхгофа.

1.6. По данным табл. 3.1 построить лучевую диаграмму токов. Пример лучевой диаграммы токов приведен на рис. 3.4.

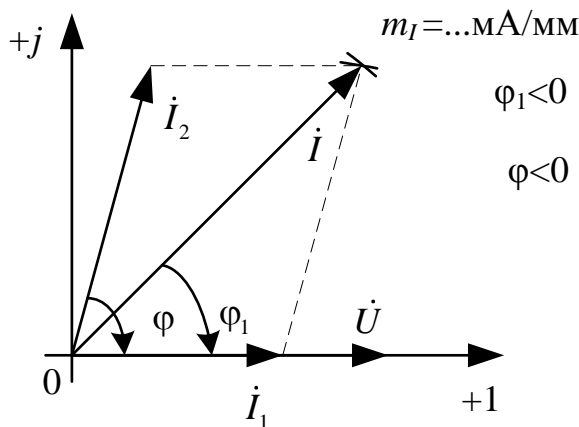


Рис. 3.4

## Исследование активно-индуктивной цепи

### Схема электрической цепи

Схема, показанная на рис. 3.5, питается от источника синусоидального напряжения с частотой 50 Гц и действующим значением напряжения 100 В. Катушка индуктивности в схеме, представлена блоком, который нужно выбрать в поле компонентов *Favorites* из набора  $\text{ind1} \div \text{ind10}$  в соответствии с вариантом. Когда сопротивление реостата  $R_1$  равно нулю, по показаниям приборов можно вычислить параметры схемы замещения катушки  $R$  и  $L$ .

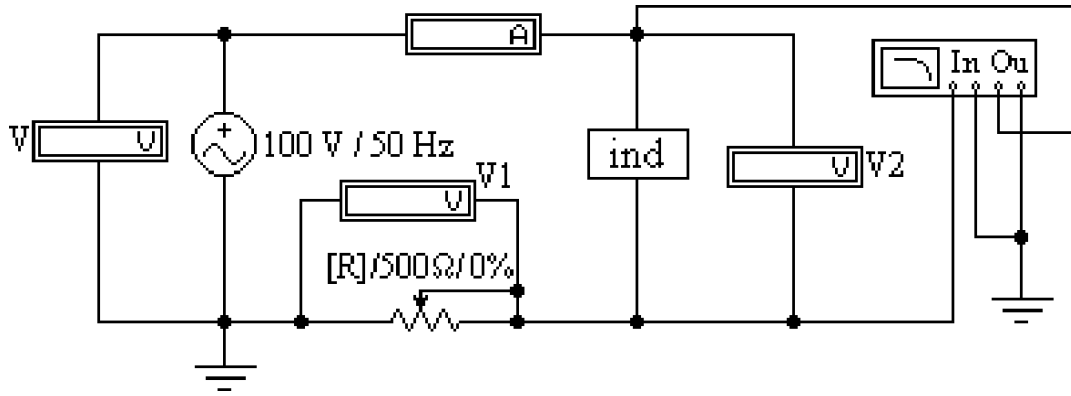


Рис. 3.5

Прибор *Vode-Plotter* исполняет и в этой схеме роль фазометра с теми же особенностями измерения угла сдвига фаз напряжения и тока на входе цепи. За счет изменения сопротивления реостата можно добиться изменения угла до значения, указанного в табл. 3.3 в соответствии с вариантом.

### Программа работы

2.1. Открыть файл *LW3b* и извлечь из поля компонентов *Favorites* подсхему *ind*, соответствующую номеру своего варианта. Собрать остальную часть схемы, показанной на рис. 3.5.

2.2. Вывести реостат с помощью управляющей клавиши *R* (установить  $R = 0$ ). Включить кнопку «Пуск» и записать показания приборов в верхнюю строку табл. 3.2.

Таблица 3.2

Данные эксперимента						Результаты расчета					
$U$	$I$	$\varphi$	$U_1$	$U_2$	$L$	$R$	$Q_L$	$\dot{U}$	$\dot{U}_1$	$\dot{U}_2$	$\Sigma \dot{U}$
В	А	град	В	В	Гн	Ом	–	В	В	В	В
			0					–	0	–	–
					–	–	–				

2.3. Вычислить параметры катушки индуктивности  $R$ ,  $Z$ ,  $X$ ,  $L$ , а также ее добротность  $Q_L$ . Записать результаты в ту же строку.

2.4. С помощью управляющей клавиши *R* подобрать такое значение сопротивления реостата, чтобы обеспечить заданную в соответствии с вариантом по табл. 3.3 величину угла сдвига фаз напряжения и тока на входе схемы  $\varphi_2$  (в пределах от  $15^\circ$  до  $75^\circ$ ). Напомним, что при каждом измерении угла сдвига фаз нужно предварительно выключить

и включить кнопку «Пуск». Показания приборов внести в нижнюю строку табл. 3.2.

2.5. Принять в этом режиме начальную фазу входного тока равной нулю и записать комплексные действующие значения напряжений  $\dot{U}$ ,  $\dot{U}_1$ , и  $\dot{U}_2$  в ту же строку. Подсчитать  $\sum \dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2$  и сравнить результат со значением  $\dot{U}$ , полученном в эксперименте, проверив тем самым выполнение второго закона Кирхгофа.

2.6. По данным второй строки табл. 3.2 построить топографическую диаграмму напряжений.

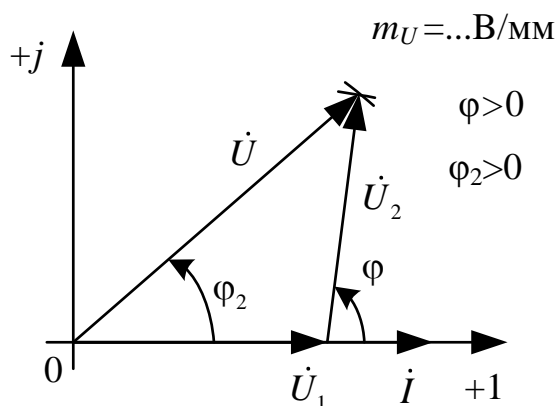


Рис. 3.6

2.7. Сделать общие выводы по работе.

Таблица 3.3

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi_1$ (град)	-20	-30	-40	-50	-55	-60	-65	-70	-75	-80
$\varphi_2$ (град)	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75

### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы электрической цепи.
3. Ответы на вопросы подготовки к работе.
4. Основные соотношения.
5. Табл. 3.1–3.2. Расчёты к таблицам.
6. Векторные диаграммы для п. 1.6. и п. 2.6.
7. Выводы.

**Рекомендуемая литература:** [1, с. 59–63], [3, с. 10–26], [4, с. 168–173], [5, с. 89–93].