

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф.МОРОЗОВА»

Кафедра электротехники, теплотехники и гидравлики

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

*Исследование неразветвлённой электрической цепи однофазного
синусоидального тока с резисторами, индуктивными катушками
и конденсаторами. Резонанс напряжений*

Работу выполнил:

студент группы №_____ **Петров П.С.**

Работу принял:

Преподаватель доцент Панченко С.Л.

Воронеж- 2024

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЁННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ОДНОФАЗНОГО СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА С РЕЗИСТОРАМИ, ИНДУКТИВНЫМИ КАТУШКАМИ И КОНДЕНСАТОРАМИ. РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ

ЦЕЛИ РАБОТЫ

1. Экспериментальное исследование режимов работы последовательно включенных резистора, индуктивной катушки и электрического конденсатора в цепи переменного тока промышленной частоты.
2. Настройка исследуемой электрической цепи на режим "Резонанс напряжений".
3. Обработка результатов измерений, построение векторных диаграмм.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Под переменным током обычно подразумевают такой ток в установившемся режиме, величина и направление которого изменяются по периодическому закону. Значения тока повторяются через равные промежутки времени, называемые периодом T .

Всякая цепь переменного тока характеризуется следующими основными параметрами:

- активным сопротивлением R ;
- индуктивным сопротивлением X_L
- емкостным сопротивлением X_C .

$$X_L = \omega L ,$$

$$X_C = 1/(\omega C)$$

где ω - угловая скорость (вектора), рад/с, $\omega = 2\pi f$ (f - частота, равная 50 Гц);

L - коэффициент самоиндукции (индуктивность),

C - емкость, Ф.

При переменном токе возникает переменное магнитное поле, которое непрерывно индуцирует ЭДС самоиндукции. Ее влияние на ток электрической цепи учитывается так называемым индуктивным сопротивлением X_L .

При переменном токе на режим работы цепи оказывает влияние также емкость. Влияние емкости учитывается емкостным сопротивлением X_C .

Если максимальные и нулевые значения токов и напряжений не совпадают во времени, то говорят, что они сдвинуты по фазе. В цепях переменного тока с одним лишь резистором ток совпадает по фазе (или во времени) с приложенным к цепи напряжением.

В цепях переменного тока с идеальной индуктивностью (при $R = 0$ и $C = 0$):

- ток отстает по фазе от приложенного напряжения на угол $\pi / 2$ или на четверть периода во времени;
- в течение первой и третьей четвертей периода при возрастании тока от нуля до максимума генератор посылает энергию в цепь (мощность положительна), где она накапливается в индуктивности как энергия магнитного поля; при этом ЭДС самоиндукции направлена против тока;
- при убывании тока в течение второй и четвертой четвертей периода накопленная в индуктивности энергия магнитного поля возвращается генератору, при этом ЭДС самоиндукции совпадает по направлению с током.

Так происходит колебательный процесс с непрерывным обменом энергией между источником питания и индуктивностью цепи. ЭДС самоиндукции играет роль как бы промежуточного механизма в этом обмене. Поскольку $R = 0$, полная энергия источника за период равна нулю;

В цепях переменного тока с чистой емкостью ($R = 0$ и $L = 0$):

- ток опережает по фазе приложенное напряжение на угол $\pi / 2$ или на четверть периода во времени;
- в течение первой и третьей четвертей периода при возрастании напряжения от нуля до максимума генератор посылает энергию в цепь (мощность положительная), где она накапливается в конденсаторе в виде энергии электрического поля;
- при убывании напряжения в течение второй и четвертой четвертей периода накопленная в конденсаторе энергия электрического поля возвращается к генератору, при этом ЭДС емкости совпадает по направлению с током.

Таким образом в цепи с емкостью, так же как и в цепи с индуктивностью, происходит непрерывный обмен энергией между источником питания и емкостью (конденсатором). Поскольку $R = 0$, полная энергия источника питания за период равна нулю.

При последовательном соединении активного, индуктивного, емкостного сопротивлений (рис.1) полное сопротивление цепи может быть определено по следующей формуле:

$$z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

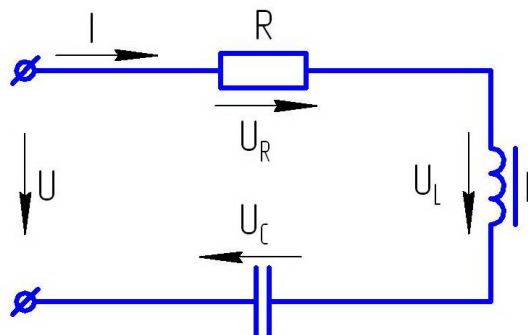


Рис.1 Электрическая цепь с последовательным соединением резистора, идеальной индуктивной катушки и конденсатора

Тогда действующее значение тока в цепи с последовательным соединением сопротивлений определится по закону Ома из формулы $I = U / z$.

В цепях переменного тока действующее значение напряжения на зажимах равно геометрической (комплексной) сумме действующих значений напряжений на отдельных участках цепи, т.е. $\underline{U} = \underline{U}_L + \underline{U}_C + \underline{U}_R$.

$$\underline{U}_R = \underline{I}R; \underline{U}_L = \underline{I}X_L; \underline{U}_C = \underline{I}X_C.$$

Векторная диаграмма тока и напряжений на участках цепи может быть представлена следующим образом (рис. 2).

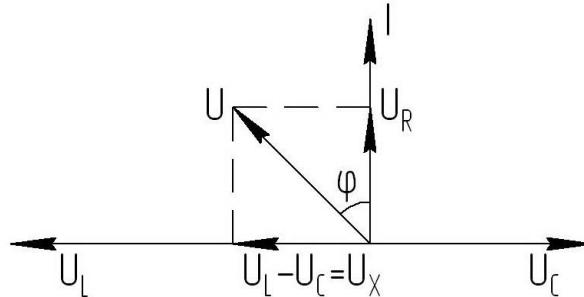


Рис.2.Треугольник напряжений

При $X_L = X_C$ или $\omega L = 1/(\omega C)$ ток в цепи достигает наибольшего значения

$$I = U / \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = U / z = U / R,$$

а полное сопротивление z уменьшается до активного R .

Тогда напряжение на индуктивности $\underline{U}_L = \underline{I}X_L$ будет равно и противоположно напряжению на емкости $\underline{U}_C = \underline{I}X_C$. Приложенное к зажимам цепи напряжение U будет уравнивать лишь одно активное падение напряжения и, следовательно, совпадать по фазе с током. Это явление носит название резонанса напряжений.

$$U_L = IX_L = (U / R)X_L = (X_L / R)U,$$

$$U_C = IX_C = (U / R)X_C = (X_C / R)U$$

т.е. напряжения на зажимах индуктивности и на обкладках конденсаторов при резонансе напряжений во столько раз больше приложенного к цепи напряжения, во сколько раз сопротивления $X_L = X_C$ больше активного сопротивления R .

Вследствие повышенных напряжений на отдельных участках цепи могут быть повреждены приборы, находящиеся на этих участках, а также пробита изоляция проводов или диэлектрика конденсатора. Однако работа электрической цепи в режиме резонанса напряжений находит широкое применение в радиотехнике, электронике, автоматике и других слаботочных цепях. Такую цепь часто называют последовательным (колебательным) контуром.

Разделив стороны треугольника $UO U_R$ (см.рис.2) на I , получим треугольник сопротивлений

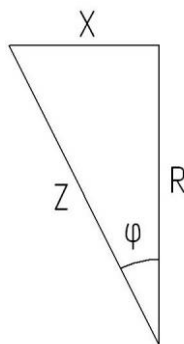


Рис.3. Треугольник сопротивлений

Сдвиг фаз φ между током в цепи и напряжением на ее зажимах может быть определен из формулы: $\cos \varphi = R / z = U_R / U$.

Или $\operatorname{tg} \varphi = X / R = (U_L - U_C) / U_R = U_X / U_R$.

Мощность, потребляемая цепью, которая содержит R , L и C , расходуется на нагрев резистора, создание магнитного поля в индуктивности и создание электрического поля в емкости (конденсаторе).

При возрастании энергии магнитного поля убывает энергия электрического поля. Энергия, преобразуемая в тепло или механическую работу, называется активной.

Энергия, запасенная в магнитном и электрическом поле и затем отдаваемая обратно генератору, называется реактивной.

Активная мощность, Вт, переменного тока выражается формулой:
 $P = UI \cos \varphi$;

реактивная мощность, вар, - формулой: $Q = UI \sin \varphi$.

Полная (кажущаяся) мощность, ВА: $S = UI$.

Если каждую сторону треугольника UOU_R (см.рис.2) умножить на I , то можно получить треугольник мощностей (рис.4).

$$U_R I = UI \cos \varphi = P; \quad U_X I = UI \sin \varphi = Q; \quad UI = S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Из треугольника следует, что $\cos \varphi = P / S$ и $\sin \varphi = Q / S$.

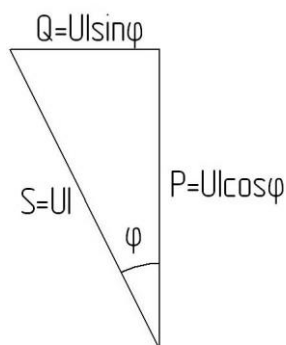


Рис.4.Треугольник мощностей

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы. Записать их технические данные в табл.1.

2. Собрать электрическую цепь, указанную на схеме (рис.5), и дать ее проверить преподавателю или лаборанту.

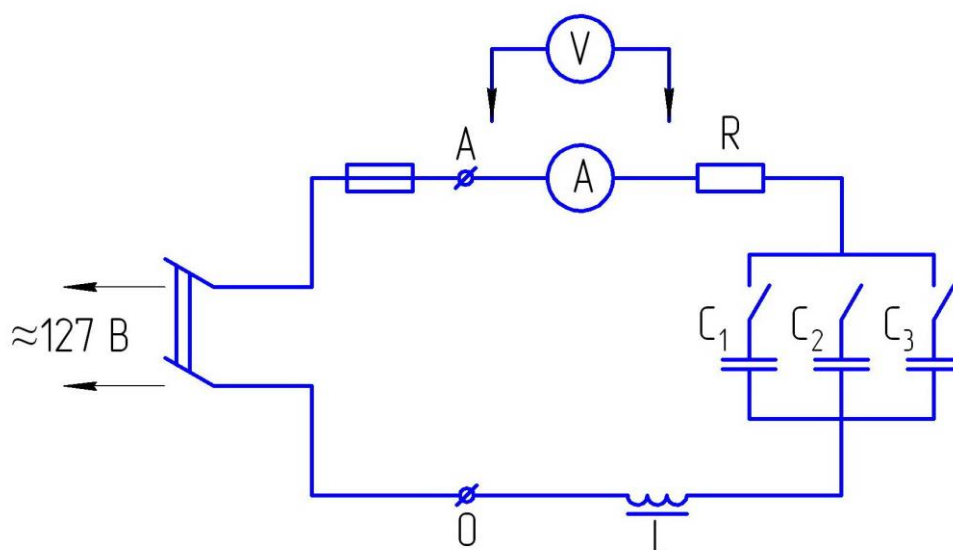


Рис.5. Неразветвленная электрическая цепь однофазного синусоидального тока

3. При постоянных значениях индуктивности L , сопротивления резистора R , частоты f и напряжения U на зажимах цепи изменением емкости C получить резонанс напряжений. Необходимо сделать не менее пяти измерений, т.е. две точки до резонанса, одну точку при резонансе, две точки после резонанса.

Результаты опытов занести в таблицу. **Точка 3 является точкой резонанса напряжений.**

Таблица

№	f, Гц	C, мкФ	Измерено		Вычислено											
			I, А	U_R , В	R, Ом	L, Гн	X_C , Ом	X_L , Ом	U_C , В	U_L , В	Z, Ом	U, В	P, Вт	Q, вар	S, В·А	cosφ
1	50	20	0,35	105												
2	50	30	0,37	111												
3	50	50	0,41	123												
4	50	80	0,39	117												
5	50	100	0,373	112												

4. Показать преподавателю результаты опытов.

5. Разобрать электрическую цепь, привести в порядок рабочее место.

6. Рассчитать все необходимые для заполнения таблицы величины в соответствии с нижеприведенной методикой, заполнить таблицу.

7. Построить векторные диаграммы для случаев

$$X_L < X_C; X_L = X_C; X_L > X_C.$$

8. Составить отчет о работе, содержащий:

- наименование и цель работы;
- схему опытной установки;

- техническую характеристику приборов и аппаратов;
- таблицу измерений и расчетных данных;
- расчетные формулы;
- векторные диаграммы и графики.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Емкостное сопротивление, Ом,

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{10^6}{2\pi f C}$$

2. Индуктивность катушки, Гн,

$$L = \frac{1}{\omega^2 C_{рез}} = \frac{10^6}{(2\pi f)^2 C_{рез}}.$$

где $C_{рез}$ - емкость конденсаторов при резонансе напряжений, Φ (в таблице значение емкости в точке 3).

3. Индуктивное сопротивление, Ом,

$$X_L = \omega L = 2\pi f L.$$

4. Активное сопротивление, Ом,

$$R = \frac{U_{R_{рез}}}{I_{рез}},$$

где $U_{R_{рез}}$ и $I_{рез}$ - соответственно активное напряжение и ток в цепи при резонансе напряжений (в таблице значения активного напряжения и тока в цепи в точке 3).

5. Полное сопротивление цепи, Ом,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

6. Напряжение на конденсаторах

$$U_C = I \cdot X_C$$

7. Напряжение на катушке индуктивности

$$U_L = I \cdot X_L$$

8. Напряжение на зажимах всей цепи, В,

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

9. Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = R / Z.$$

10. Активная мощность цепи, Вт,

$$P = UI \cos \varphi.$$

11. Реактивная мощность цепи, вар,

$$Q = UI \sin \varphi,$$

где $\sin \varphi = (X_L - X_C) / Z$.

12. Полная мощность цепи, В·А,

$$S = UI.$$

Расчет всех параметров, по вышеуказанной методике и заносимых в таблицу, следует вначале провести для **опыта резонанса напряжений!** (в таблице опыту резонанса соответствует строка под **номером 3**). Необходимо рассчитать один раз по экспериментальным данным этого опыта значения L , X_L и R , и **оставить их неизменными** для дальнейших вычислений (две точки до резонанса и две после). Другие параметры электрической цепи в точке резонанса напряжений будут равны:

$$X_L = X_C; z = R; U = U_R; \cos \varphi = 1; Q = 0; P = S.$$

Только при получении таких результатов вычислений можно приступать к расчету других точек!

После заполнения таблицы необходимо построить векторные диаграммы, отложив значения тока, а также напряжений U_R (совпадает по фазе с током I), U_C (отстает от тока I на угол сдвига фаз $\varphi = 90^\circ$), U_L (опережает ток I на угол сдвига фаз $\varphi = 90^\circ$). Необходимо построить диаграммы для всех рассчитанных пяти точек, причем для точек 1 и 2, когда $U_L < U_C$, $X_L < X_C$, диаграммы должны получиться как на рис. 6, а (резльтирующее напряжение U на зажимах всей цепи U отстает от тока I на угол сдвига фаз φ), а на диаграмме резонансной точки 3 напряжение U совпадает по фазе с током I ($\varphi = 0$, рис. 6, б). Для точек 4 и 5, когда $U_L > U_C$, $X_L > X_C$, диаграммы должны получиться как на рис. 6, в (резльтирующее напряжение U опережает ток I на угол сдвига фаз φ).

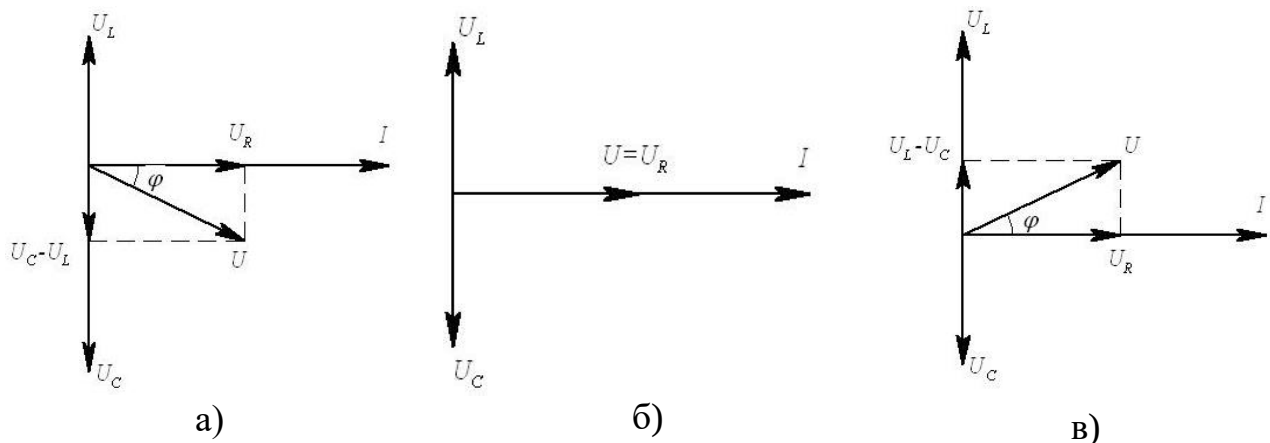


Рис. 6. Векторные диаграммы токов и напряжений в неразветвленной цепи однофазного синусоидального тока с резистором, конденсатором и катушкой индуктивности:
а – при $U_L < U_C$; б – при $U_L = U_C$ (резонанс напряжений); в – при $U_L > U_C$

