7 Цепь синусоидального тока при последовательном соединении R, L, и C.

7.1 Общие сведения

В цепи переменного тока кроме сопротивлений используются также катушки индуктивности и конденсаторы.

На сопротивлениях, которые в цепи переменного тока называют ещё ***активными сопротивлениями***, связь между током и напряжением определяется законом Ома. Если по активному сопротивлению R протекает синусоидальный ток $i = I_м\sin\omega t$, то напряжение на этом сопротивлении $u = U_м\sin\omega t$, где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, а амплитуды тока и напряжения связаны законом Ома: $U_м = RI_м$.

Если по идеальной индуктивности L (т.е. активное сопротивление провода катушки равно нулю) протекает ток $i = I_м\sin\omega t$, то напряжение на ней $u = U_м\sin(\omega t+90^o)$, т.е. напряжение на катушке опережает ток на 90^o, или ток отстаёт от напряжения по фазе на 90^o. Амплитуды тока и напряжения связаны соотношением, аналогичным закону Ома: $U_м = X_L I_м$, где $X_L = \omega L$ – ***индуктивное сопротивление***.

Наконец, если по конденсатору, ёмкость которого C, протекает синусоидальный ток $i = I_м\sin\omega t$, то напряжение на нём $u = U_м\sin(\omega t-90^o)$ отстаёт от тока по фазе на 90^o. Амплитуда напряжения связана с током также выражением, аналогичным закону Ома: $U_м = X_C I_м$, где $X_C = 1/\omega C$ – ***ёмкостное сопротивление***.

Выражения аналогичные закону Ома применяются и для действующих значений синусоидальных токов и напряжений:

$$U_R = RI_R; \qquad U_L = X_L I_L; \qquad U_C = X_C I_C.$$

При последовательном соединении R, L, и C (рис.7.1а) через все элементы протекает один и тот же ток. Тогда напряжение на всей цепи можно определить по второму закону Кирхгофа, как сумму напряжений на отдельных элементах. При сложении, чтобы учесть фазовые сдвиги между напряжениями, удобно использовать векторные диаграммы. На векторной диаграмме действующие (или амплитудные) значения токов и напряжений изображают векторами, длины которых равны численным значениям токов и напряжений, а углы между ними соответствуют фазовым сдвигам (рис. 7.1б).

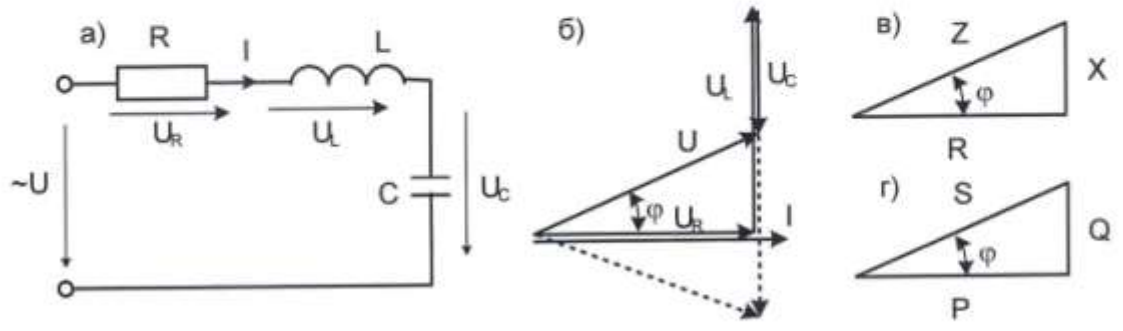


Рис. 7.1

Из векторной диаграммы следует, что напряжение на всей цепи

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = \sqrt{R^2 I^2 + (X_L I - X_C I)^2} = ZI,$$

где $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$ - ***полное сопротивление*** цепи при последовательном соединении R, L, и C, а $X = X_L - X_C$ – реактивное сопротивление.

Из векторной диаграммы следует также, что угол сдвига между током и напряжением

$$\varphi = \operatorname{arctg}\frac{U_L - U_C}{U_R} = \operatorname{arctg}\frac{X_L - X_C}{R} = \operatorname{arctg}\frac{X}{R}.$$

Все соотношения между активным, реактивным и полным сопротивлениями, также углом φ, хорошо иллюстрируются с помощью треугольника сопротивлени (рис. 7.1в), который подобен треугольнику напряжений.

Если $X_L > X_C$, то угол φ положительный и напряжение опережает ток. Эт случай показан на векторной диаграмме сплошными линиями. Если же $X_L < X_C$, то уг φ отрицательный, и напряжение отстаёт от тока (показано на векторной диаграм пунктиром). Если же, наконец, $X_L = X_C$, тогда и $U_L = U_C$ и $\varphi = 0$, и ток совпадает напряжением по фазе. Этот случай называется резонансом напряжений.

Условие резонанса $X_L = X_C$ или $\varphi = 0$ можно также записать в виде:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{или} \quad \omega^2 LC = 1.$$

Отсюда можно определить частоту, индуктивность или ёмкость, при которой цепи будет наблюдаться резонанс.

При синусоидальном токе мощность, потребляемая цепью, периодичес изменяется во времени с двойной частотой. Однако, кроме переменной составляюще она содержит также и постоянную составляющую. Среднее значение мощности период называется ***активной мощностью***: $P = UI\cos\varphi = I^2R$. Она измеряется в Е Кроме активной мощности в цепях переменного тока используют понятия ***полн мощности*** $S = UI = I^2Z$, (В·А), ***реактивной мощности*** $Q = UI\sin\varphi = I^2X$, (вар), а так индуктивной мощности $Q_L = I^2X_L$, (вар) и ёмкостной мощности $Q_C = I^2X_C$, (ва Очевидно, что $Q = Q_L - Q_C$. Все соотношения между мощностями мож проиллюстрировать треугольником мощностей, подобным треугольникам напряжен и сопротивлений (рис. 7.1г). При резонансе, когда $X = X_L - X_C = 0$ и $\varphi = 0$, реактивн мощность также равна нулю, а активная равна полной мощности.

Параметры цепи переменного тока R, X_L и X_C можно определить по показани трёх приборов вольтметра, амперметра и ваттметра. Измерив этими приборами U, I P, определяем $Z = U/I$ и $\varphi = \arccos P/UI$. Затем из треугольника сопротивлен определяем $R = Z\cos\varphi$ и $X = Z\sin\varphi$.

7.2 Экспериментальная часть

Задание

Определить экспериментально параметры цепи с последовательным соединением R, L и C для трёх случаев $X_L > X_C$, $X_L = X_C$ и $X_L < X_C$. Построить векторные диаграммы. Сделать расчёт цепи при резонансе и сравнить результаты расчёта с экспериментальными данными.

Порядок выполнения работы

- Измерьте омметром и запишите активное сопротивление катушки индуктивности 900 витков. R_K = ……..Ом.
- Снимите с трансформатора катушку 900 витков, вставьте в неё ***только одну половинку*** разъёмного сердечника и соберите цепь, принципиальная схема которой показана на рис. 7.2, а монтажная – на рис. 7.3.

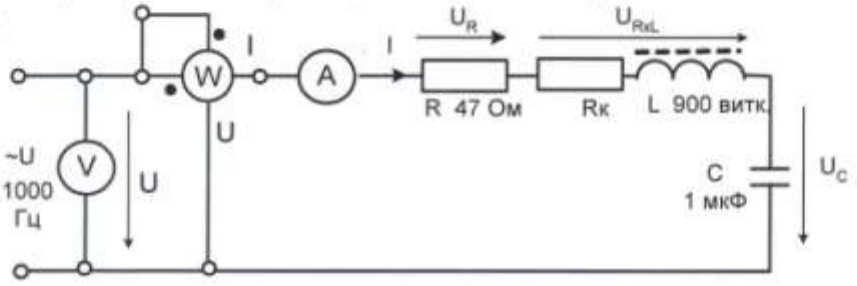


Рис.7.2

- Установите переключатель сигналов генератора напряжений в положение «~», регулятор частоты – в положение 1000 Гц и регулятор напряжения в крайнее правое положение (максимальная амплитуда).
- Включите генератор и, регулируя частоту, добейтесь резонанса по максимуму тока.
- Измерьте мощность, ток и напряжения на входе цепи, на резисторе, на катушке с с активным внутренним сопротивлением и на конденсаторе. Запишите эти показания приборов в строку $X_L = X_C$ табл. 7.1. ***При измерении мощности следите за сигнализацией ошибок в выборе пределов измерения I>, I<, U>, U<.***

Таблица 7.1

f = ……Гц	Измерения						Вычисления	
	P, мВт	I, мА	U, В	U_R, В	U_{RkL}, В	U_C, В	$U_{Rк}=R_кI$, В	$U_L=\sqrt{U_{RkL}^2-U_R^2}$, В
C = 1 *мкФ* ($X_L=X_C$)								
C = 1,47 *мкФ* ($X_L>X_C$)								
C = 0,47 *мкФ* ($X_L<X_C$)								

- Включите параллельно конденсатору 1 мкФ конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L > X_C$.
- Оставьте в цепи один конденсатор 0,47 мкФ и запишите показания приборов в строку $X_L < X_C$.
- По опытным данным рассчитайте напряжения на активном и индуктивном сопротивлениях катушки и занесите результаты также в табл. 7.1.
- На рис. 7.4 постройте в масштабе векторные диаграммы для всех случаев.
- По экспериментальным данным определите параметры цепи Z, φ, R, X и сведите результаты расчёта в табл.7.2.

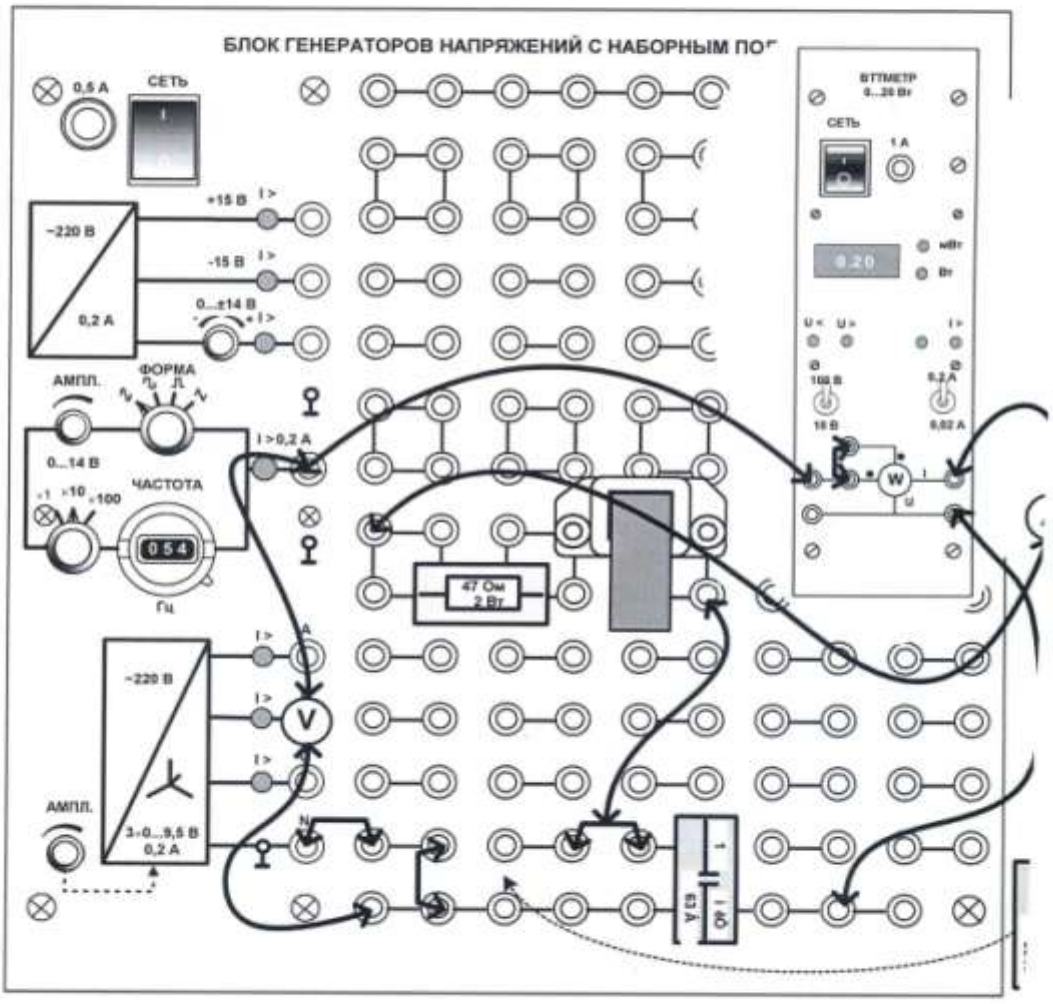


Рис. 7.3

- Определите те же эквивалентные параметры цепи Z, φ, R, X по номинальным данным, указанным на этикетках (кроме катушки) и сведите результаты расчёта в табл. 7.3. Сравните результаты.

Векторные диаграммы, масштаб напряжений: .....В/см

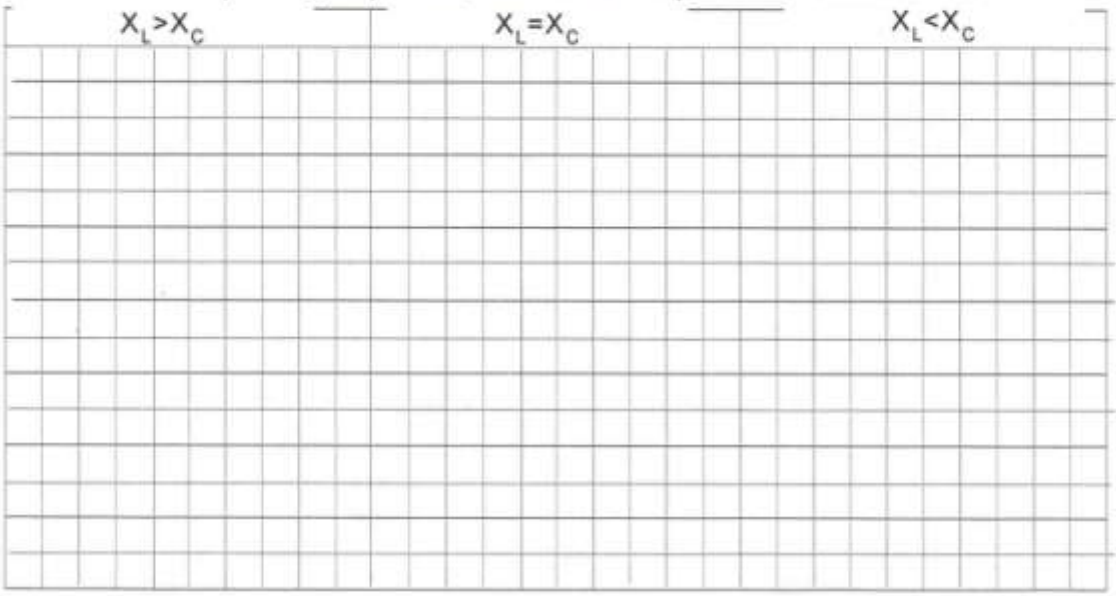


Рис. 7.4

Таблица 7.2