

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ИНДУКТИВНОСТЬ И ЕМКОСТЬ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: определение зависимости индуктивного и емкостного сопротивлений от частоты, а также определение угла сдвига фаз тока и напряжения.

Теоретические положения

Электрический ток, изменяющийся с течением времени, называется переменным электрическим током. Электрический ток называется периодическим, если его значения повторяются через равные промежутки времени (периоды). В электротехнике чаще всего используется гармонический ток — периодический переменный электрический ток, являющийся синусоидальной функцией времени.

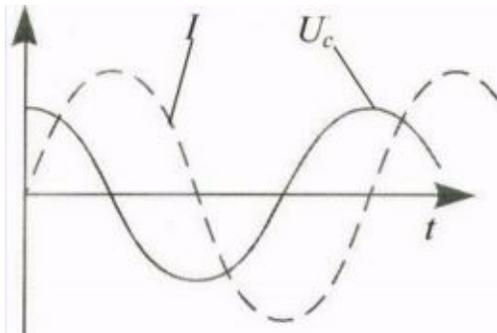
Если на участок цепи, содержащий резистор (сопротивление резистора называют активным), подать напряжение, изменяющееся по синусоидальному (гармоническому) закону

$$U = U_m \cos \omega t \quad (8.1)$$

(U_m – амплитудное значение напряжения, В; ω – циклическая частота, рад/с; t – время, с), то мгновенное значение тока I в цепи определяется законом Ома;

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U_m}{R} \cos \omega t = I_m \cos \omega t, \text{ где } I_m \text{ амплитуда силы тока}$$

$$I_m = \frac{U_m}{R}$$



На рис. 8.1,и приведены зависимости тока и напряжения от времени, а на рис. 8.1,6 векторная диаграмма для амплитудных значений тока и напряжения. Как можно видеть из рисунков, сдвиг фаз между U_m и I_m равен нулю.

Рассмотрим электрическую цепь, содержащую конденсатор (рис.8.2,а). Такая цепь является разомкнутой, так как обкладки конденсатора разделены диэлектриком и между ними не может протекать электрический ток. Следовательно, постоянный ток не может протекать по цепи, содержащей конденсатор.

Иначе обстоит дело с переменным током. Пусть к цепи, содержащей конденсатор, приложено переменное напряжение, изменяющееся по закону (8.1)

$$U = U_m \cos \omega t$$

В этом случае конденсатор будет всё время перезаряжаться и по цепи потечёт переменный ток. Если сопротивлением подводящих проводов можно пренебречь, то напряжение на конденсаторе

$$U_c = U = \frac{q}{C} = U_m \cos \omega t$$

где q - заряд конденсатора в момент времени t , Кл; C – ёмкость конденсатора, Ф.

Мгновенное значение силы тока

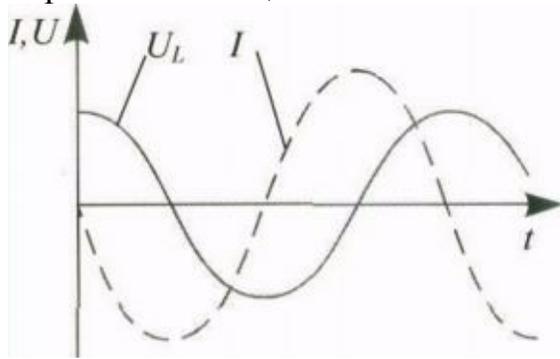
$$I = \frac{dq}{dt} = -\omega C U_m \sin \omega t = I_m \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

где $I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{1/(\omega C)}$ - амплитудное значение тока, А.

Величина $R_c = \frac{1}{\omega C}$ называется реактивным ёмкостным сопротивлением (или ёмкостным сопротивлением). Для постоянного тока ($\omega = 0$) $R_c = \infty$, т.е. постоянный ток в цепи, содержащей конденсатор, течь не может. Сопоставление выражений (8.2) и (8.3) приводит к выводу, что колебания силы тока опережают колебания напряжения на конденсаторе на $\pi/2$, что наглядно видно на векторной диаграмме (рис. 8.2,в). Это означает, что в момент, когда конденсатор начинает заряжаться, сила тока максимальна, а напряжение равно нулю. После того как напряжение достигает максимума, сила тока становится равной нулю и т.д. (рис. 8.2, б).

Рассмотрим электрическую цепь, содержащую катушку индуктивностью L (рис. 8.3, а), омическим сопротивлением и ёмкостью которой можно пренебречь ввиду их малости. Если к клеммам цепи а) приложено напряжение,

изменяющееся по гармоническому закону (8.1), то по цепи потечёт переменный ток,



в результате чего в катушке возникает ЭДС самоиндукции

$$E_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Поскольку активное сопротивление катушки практически равно нулю, то и напряжённость электрического поля внутри проводника в любой момент времени должна равняться нулю. Иначе сила тока, согласно закону Ома, была бы бесконечно большой. Отсюда следует, что напряжённость вихревого электрического поля \vec{E}_i , порождаемого переменным магнитным полем, в точности уравнивается в каждой точке проводника напряжённостью кулоновского поля \vec{E}_k , создаваемого зарядами, расположенными на зажимах источника и проводах цепи.

Из равенства $\vec{E}_i = \vec{E}_k$ следует, что работа вихревого поля по перемещению единичного положительного заряда (т. е. ЭДС самоиндукции E_s) равна по модулю и противоположна по знаку работе кулоновского поля, равной в свою очередь напряжению на концах катушки:

$$E_s = -U$$

Отсюда следует;

$$U_m \cos \omega t = L \frac{dI}{dt} \quad (8.4)$$

Так как внешнее напряжение приложено к катушке индуктивности, то

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (8.5)$$

есть падение напряжения на катушке. Из (8.4) следует, что

$$dI = \frac{U_m}{L} \cos \omega t dt$$

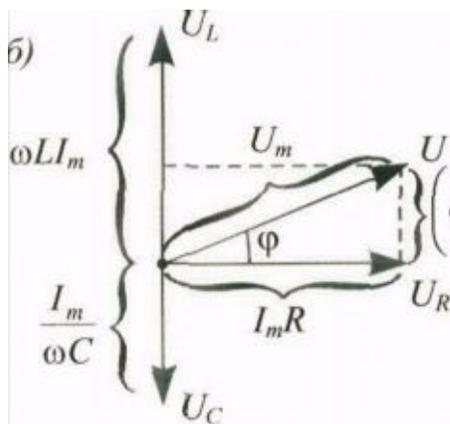
После интегрирования, принимая постоянную интегрирования равной нулю, получим

$$I = \frac{U_m}{L} \sin \omega t = \frac{U_m}{\omega L} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = I_m \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

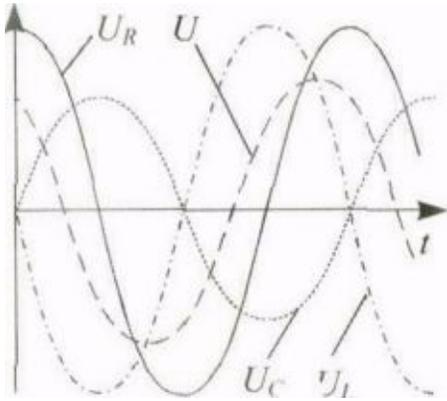
где $I_m = \frac{U_m}{\omega L}$ - амплитудное значение силы тока

Величина $R_L = \omega L$, называется индуктивным сопротивлением. Из этого определения следует, что индуктивное сопротивление катушки постоянному току ($\omega = 0$) равняется нулю.

Подставляя значение $U_m = \omega L I_m$ в (8.4) с учётом (8.5), получаем $U_L = \omega L I_m \cos \omega t$. Сравнивая полученное выражение с (8.6), приходим к выводу, что падение напряжения на катушке U_L опережает по фазе ток I , текущий через катушку, на $\pi/2$, что можно видеть на графике (см. рис. 8.3,б) и векторной диаграмме (рис.8.3 ,в).



Рассмотрим цепь (рис8.4,а), состоящую из резистора сопротивлением R , катушки индуктивностью L и конденсатора ёмкостью C , на концы которой подаётся переменное напряжение по закону (8.1). При этом на элементах цепи возникнут падения напряжения U_R , U_C и U_L .



На рис. 8.4,6 приведена векторная диаграмма амплитуд падений напряжений на элементах цепи и результирующего напряжения U_m . Амплитуда U_m приложенного напряжения равна сумме амплитуд падений напряжений на элементах цепи. Как видно из рис. 8.4,6, угол φ равен разности фаз между напряжением на концах цепи и силой тока.

Тогда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L - 1/(\omega C)}{R}$$

Из прямоугольного треугольника получаем

$$(RI_m)^2 + ((\omega L - 1/(\omega C))I_m)^2 = U_m^2$$

откуда амплитуда силы тока имеет значение

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/(\omega C))^2}}$$

Следовательно, если напряжение в цепи изменяется по закону (8.1), то в цепи потечёт ток

$$I = I_m \cos(\omega t - \varphi) \quad (8.9)$$

где φ и I_m определяются из уравнений (4.7) и (4.9). Графики зависимостей U_R , U_C , U_L и I от времени приведены на рис 8.4,в.

Выражение (8.8) представляет собой закон Ома для цепи переменного тока.

Величина

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + (R_L - R_C)^2}$$

называется полным сопротивлением цепи.

Описание установки

Лабораторная установка включает в себя лабораторный модуль и генератор гармонических колебаний (рис.8.5). В качестве измерительных приборов используются двухканальный осциллограф марки С1—83 и (или) микроультиметр и электронный вольтметр. Схема установки изображена на лицевой панели модуля (рис. 8.6).

К гнездам "PQ" на лицевой панели подключается генератор синусоидальных колебаний. Для определения зависимости реактивного сопротивления от частоты к гнездам "РА" подключается микроультиметр, а к гнездам "РОУ1" - электронный вольтметр. (Измерить ток I и напряжение U можно с помощью осциллографа, предварительно закоротив гнезда «РА»).

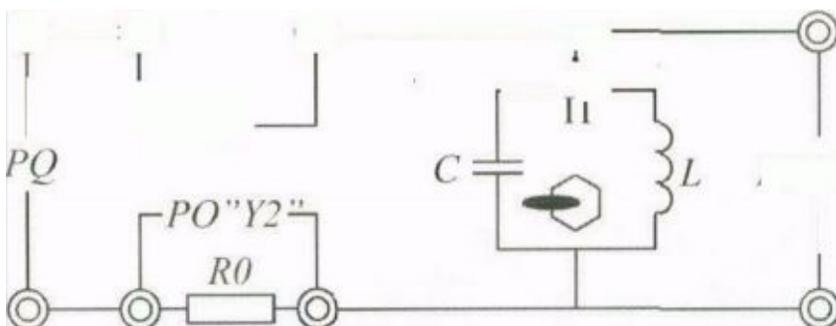


Рис. 8.6

Для определения угла сдвига фаз между током и напряжением к гнездам "РОУ2" подключается один из каналов электронного осциллографа, а к гнездам "РОУ1" - другой канал. Величина сигнала, подаваемого на канал "У2", будет пропорциональна току в цепи (а также падению напряжения на сопротивлении R_0), а на канал "У1 – напряжению на катушке или конденсаторе в зависимости от положения переключателя "П".

Задание 1

Определение зависимости реактивного сопротивления от частоты

Порядок выполнения работы

1. Подсоединить к гнездам "PQ" на лицевой панели модуля генератор гармонических колебаний.
2. Подсоединить к гнездам "РА" микроультиметр, а к гнездам "POY1" - электронный вольтметр.
3. Включить в сеть генератор гармонических колебаний, микроультиметр, электронный вольтметр.
4. Установить напряжение генератора равным 5 В.
5. Установить переключатель "П" в положение "С". Значения тока и напряжения (5-6 значений), результаты занести в табл. .1.

Таблица 8.1

№	C=...Ф			L=...Гн				
	$\nu, \text{Гц}$	$U_C, \text{В}$	$I_C, \text{А}$	$R_C, \text{Ом}$	$\nu, \text{Гц}$	$U_L, \text{В}$	$I_L, \text{А}$	$R_L, \text{Ом}$
1								
6								

6. Изменяя частоту генератора от 300 Гц до 2000 Гц, измерить значения
7. Установить положение переключателя в положение "L".
8. Прodelать те же измерения, что и в п. 6.

Обработка результатов измерений

1. По формуле $R_C = U_C / I_C$ рассчитать емкостное сопротивление и результаты занести в табл. 8.1.
2. По формуле $R_L = U_L / I_L$, рассчитать индуктивное сопротивление и результаты занести в табл.8.1.
3. Построить график зависимости $R_L = f(2\pi\nu)$ и определить тангенс угла наклона зависимости к оси абсцисс ($\text{tg}\alpha = L$).
4. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности определения индуктивности.
5. Построить график зависимости $R_C = f(1/2\pi\nu)$ и определить тангенс угла наклона зависимости к оси абсцисс ($\text{tg}\beta = 1/C$).
6. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности

определения ёмкости.

Задание 2

Определение угла сдвига фаз между током и напряжением

Порядок выполнения работы

1. Подсоединить к гнездам "POY1" первый канал усилителя вертикальной развертки, к гнездам "POY2" — второй канал усилителя вертикальной развертки осциллографа.
2. Замкнуть переключкой гнезда "РА".
3. Включить в сеть осциллограф.
4. Установить переключатель "П" в положение "С".
5. Установить значение частоты генератора 500 Гц.
6. Получить устойчивое изображение на экране осциллографа (рис. 8.7).
7. Измерить координаты $X(I)$ и $X(U)$ максимумов тока I (напряжения на R_0) и напряжения U . Примерный вид изображения на экране

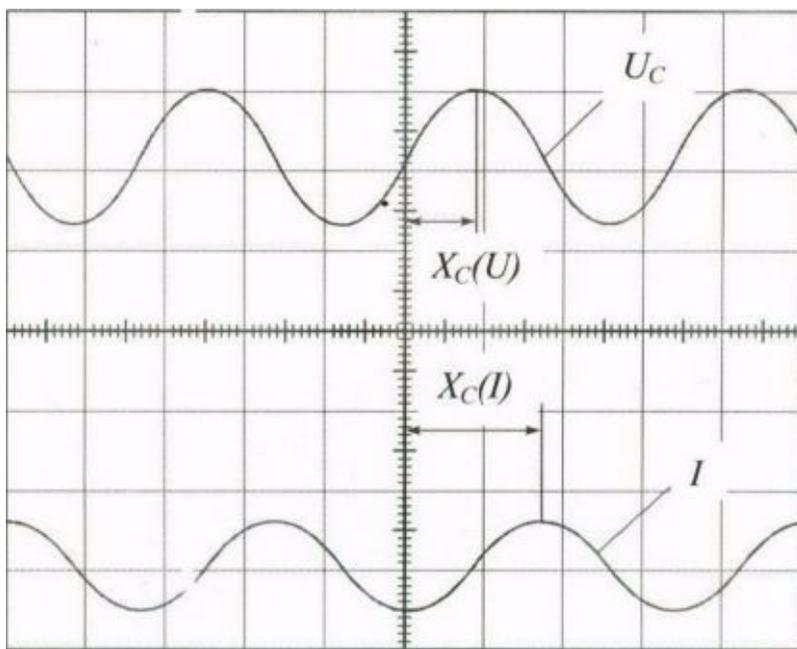


Рис. 8.7

осциллографа при подключении конденсатора приведён на рис. 8.7.

8. Установить переключатель "П" в положение "L".
9. Установить значение частоты генератора, равное 2000 Гц.
10. Прodelать измерения согласно п. 6 и 7.

Обработка результатов измерений

1. Рассчитать временные интервалы между двумя ближайшими максимумами тока и напряжения по формулам

$$\tau(R_C) = (X_C(I) - X_C(U))b_1;$$

$$\tau(R_L) = (X_L(I) - X_L(U))b_2;$$

где b_1, b_2 — коэффициенты усиления соответственно 1-го и 2-го каналов, с/дел;
 $X_L(I), X_L(U)$ — соответственно координаты максимумов тока и напряжения амплитуд и напряжения при подключении катушки, дел.

2. По формуле $\delta = 2\pi\tau\nu$, где τ — соответствующее значение временного интервала, рассчитать углы сдвига фаз для цепи с катушкой и ёмкостью. Сравнить полученные результаты с теоретическими значениями.

Контрольные вопросы

1. Записать закон Ома для цепи, содержащей R, L и C.
2. Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током в цепи, содержащей катушку, ёмкость?
3. Изобразить векторную диаграмму для цепи, содержащей R, C и L.
4. Можно ли подобрать R, C и L таким образом, чтобы напряжение на участке цепи, содержащем R, C и L и подключенном к источнику переменного напряжения, было равно нулю?
5. Каким образом можно уменьшить потери электрической энергии, затрачиваемой на прохождение тока в цепи, содержащей R, C, L.

Состав работы;

-лабораторный модуль _____ 1 шт.

-генератор гармонических колебаний
типа _____ 1 шт.

-двух канальный электронный осциллограф
типа _____ 1 шт.

Параметры работы:

-ёмкость конденсатора, $C = 50$ мкФ,

-индуктивность катушки, $L = 70$ мГн,

-частота генератора, $\nu = (10^3 \div 20 \cdot 10^3)$ Гц

