

Лабораторная работа № 10.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

ЦЕЛЬ: экспериментальное получение резонансной кривой, измерение индуктивности и емкости резонансным методом.

ОБОРУДОВАНИЕ: генератор сигналов специальной формы, миниблоки «Катушка», «Конденсатор» и «Сопротивление», мультиметр.

Введение

Резонансом называют явление возрастания амплитуды установившихся вынужденных колебаний при определенной частоте внешнего воздействия, близкой к собственной частоте системы. Электрические резонансы наблюдаются в колебательном контуре – цепи, состоящей из катушки индуктивности L с активным сопротивлением R и конденсатора емкости C . Для поддержания незатухающих колебаний в контур вводят источник переменного напряжения $U = U_m \cos \omega t$. Рассмотрим два вида резонансов в электрических цепях: резонанс напряжений и резонанс токов

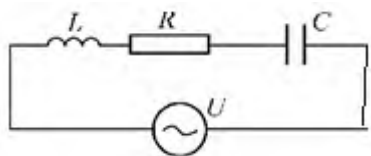


Рис.1. Последовательное соединение L , R , C

Явление резонанса напряжений происходит в цепи из последовательно соединенных катушки индуктивности и емкости (рис. 1). Записывая для контура второе правило Кирхгофа

$$U_c + IR = -L \frac{dI}{dt} + U_m \cos \omega t,$$

где IR – падение напряжения на активном сопротивлении; U_c – напряжение на конденсаторе; $-L \frac{dI}{dt}$ – ЭДС самоиндукции

в контуре; $U_m \cos \omega t$ – внешнее напряжение, получаем дифференциальное уравнение вынужденных колебаний тока I в цепи:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{I}{LC} = -\omega U_m \sin \omega t$$

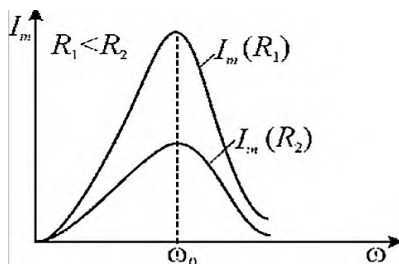


Рис. 2. Резонансные кривые

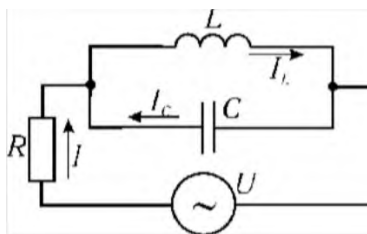


Рис. 3. Резонанс токов

Его решением при установившемся режиме является закон колебаний:

$$I(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi + \pi/2) \quad (1)$$

Амплитуда вынужденных колебаний тока I_m в этом уравнении зависит от параметров контура и циклической частоты внешнего напряжения ω ;

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

где U_m – амплитуда внешнего напряжения; Z – полное сопротивление переменному току (импеданс цепи); X – реактивное сопротивление контура;

$$X = X_L - X_C ; X_L = \omega L ; X_C = 1/\omega C$$

Как показывает уравнение (2), можно подобрать такую частоту, чтобы $\omega L = 1/\omega C$. При этом полное сопротивление цепи будет минимальным: $Z_{\min} = R$, а амплитуда тока в контуре – максимальной.

Такое явление называют резонансом напряжений: поскольку напряжения на индуктивности и емкости одинаковы ($U_L = U_C$) и колеблются в противофазе, то их сумма равна нулю, а падение напряжения U_R максимально и равно внешнему напряжению U_m .

Зависимости $I_m = f(\omega)$ для различных R (графики резонансных кривых) приведены на рис. 2. Согласно условию резонанса ($X_L = X_C$) значение резонансной частоты совпадает с собственной частотой контура ω_0 :

$$\omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC} = \omega_0 \quad (3)$$

Ширина резонансной кривой зависит от добротности колебательного контура:

$$Q = \pi/\lambda = (\sqrt{L/C})/R$$

где λ - логарифмический декремент затухания.

Чем меньше величина R , тем резче проявляется резонанс: уже резонансный пик.

Резонанс токов наблюдается в цепи, состоящей из параллельно включенных емкости и индуктивности (рис. 3).

Если активное сопротивление контура R равно нулю, то при резонансной частоте $\omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC}$ в соответствии с условием $X_L = X_C$ и законом Ома имеем:

$$I_L = U/X_L ; I_C = U/X_C$$

т.е. токи в параллельных ветвях одинаковы ($I_L = I_C$), но их

колебания происходят в противофазе. При этом в контуре циркулирует значительный ток, а в подводящих проводах ток I снижается до нуля. Это явление называют резонансом тока.

Метод измерений

Изменяя частоту внешнего напряжения, подаваемого на колебательный контур, и измеряя при этом ток или пропорциональное току падение напряжения на активном сопротивлении U_R , можно построить резонансную кривую $U_R = f(\omega)$.

В случае последовательного соединения емкости и индуктивности при резонансной частоте наблюдаются максимумы напряжения на сопротивлении R U_R и тока, а напряжение на участке LC минимально. Следовательно, по положению максимума резонансной кривой $U_R = f(\omega)$ можно определить значение резонансной частоты. Формула (3) позволяет по найденной частоте $\omega_{\text{рез}}$ определить индуктивность колебательного контура L , если известно значение емкости C_0 :

$$L = 1/C_0 \omega_{\text{рез}}^2 \quad (4)$$

Заменив конденсатор с известной емкостью на конденсатор с неизвестной емкостью C_x в контуре с той же индуктивностью L и измерив резонансную частоту $\omega_{\text{рез}}$, можно определить емкость конденсатора C_x по формуле

$$C_x = C_0 (\omega_{\text{рез0}} / \omega_{\text{рез}})^2 \quad (5)$$

При параллельном соединении конденсатора и катушки индуктивности резонанс в цепи можно обнаружить по минимальному напряжению на сопротивлении R в цепи контура или по максимальному напряжению на участке LC . Резонансная частота также совпадает с собственной частотой колебательного контура ω_0 .

Описание установки

Схемы электрических цепей для исследования резонансов приведены на рис. 4, монтажная схема – на рис 5.

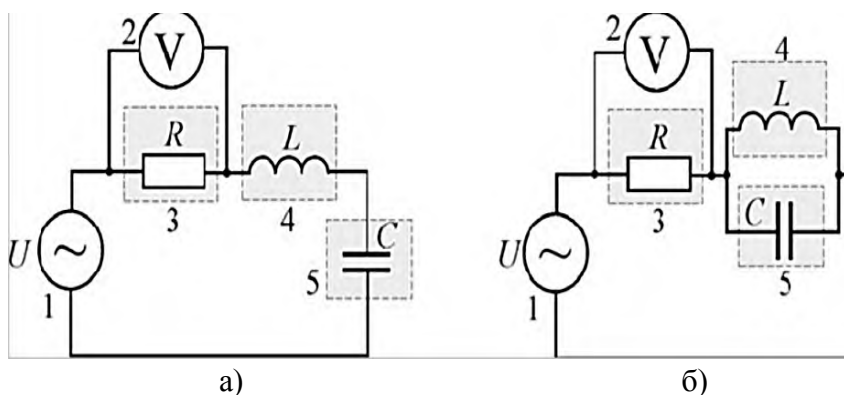


Рис. 4. Электрическая схема:

- 1- генератор сигналов специальной формы;
- 2- мультиметр (режим $V \sim 20$ В, входы COM, V Ω);
- 3-миниблок «Сопротивление» сопротивлением $R=470$ Ом;
- 4- миниблок «Катушка» с индуктивностью L_x ;
- 5 – миниблок «Конденсатор» емкостью C или C_x

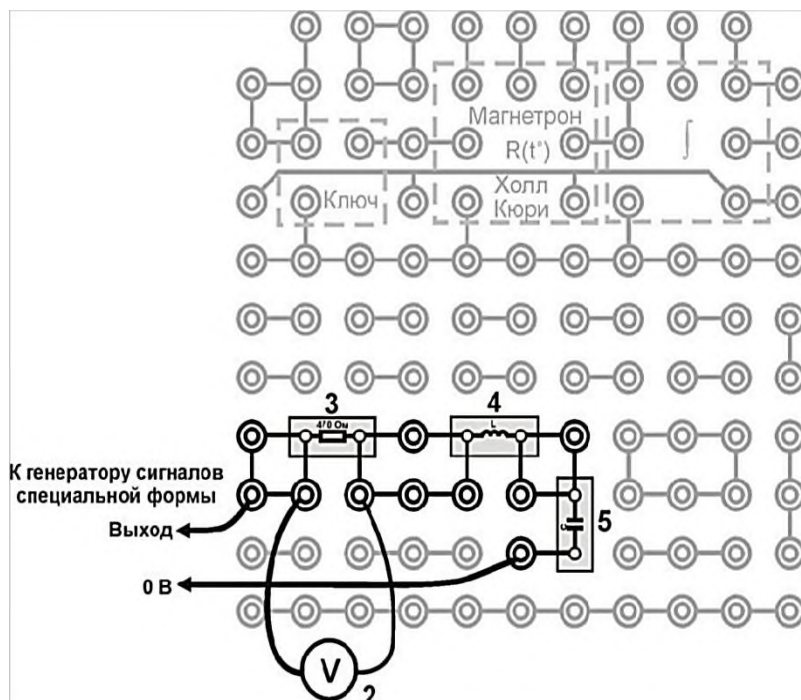


Рис. 5. Монтажная схема (рис. 4, схема а); 2, 3, 4, 5 – см. рис. 4

Электрическая цепь (см. рис. 4а) с последовательно соединенными элементами L и C предназначена для изучения резонанса напряжений, а цепь с параллельным соединением L и C (см. рис. 4б) – для резонанса токов.

Падение напряжения U_R на сопротивлении R измеряют мультиметром 2.

В качестве источника внешнего переменного напряжения используют генератор напряжений специальной формы 1.

Порядок выполнения работы

Выполнение измерений

1. Соберите по монтажной схеме, приведенной на рис. 5 электрическую цепь (см. рис. 4а), состоящую из последовательно соединенных конденсатора известной емкости C (ее значение внесите в таблицу) и неизвестной индуктивности L_x .
2. Включите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Нажмите кнопку «Исходная установка» (поз. 19, см. рис. 1 на стр. 93). Кнопками установки частоты «0.2 – 20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1 на стр. 93) установите частоту $\nu_1 = 0.20$ кГц. Соедините незадействованный в схеме мультиметр (*режим* $V \sim 20$ В, *выходы* $SOM, V\Omega$) с гнездами «ВЫХ.ГЕН.» (поз.9, см. рис. 1 на стр. 6) и кнопками установки уровня выхода «0 – 15 В» (поз. 10, см. рис. 1 на стр. 93) установите напряжение на выходе генератора 1-2 В.
3. Увеличивая частоту ν выходного сигнала генератора, найти максимальное напряжение на активном сопротивлении U_R и соответствующую ему частоту $\nu_{рез}$. Продолжая увеличивать частоту ν , установите напряжение, примерно в 3-4 раза меньше максимального. Отметьте соответствующую частоту ν_2 .
4. Разделите частотный интервал $(\nu_2 - \nu_{рез} - \nu_1)$ на 15 значений и для каждой частоты ν измерьте соответствующее напряжение U_R . Вдали от резонанса измерения можно производить с большим интервалом по частоте. Вблизи резонанса в области крутого подъема и спада кривой интервал следует уменьшить.

Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица

	Последовательное соединение L_x и C $R=470 \text{ Ом}, L_x = \dots \text{ мГн}$				Параллельное соединен L и C	
	$C = \dots \text{ мкФ},$ $\nu_{\text{рез}} = ? \text{ кГц}$		$C_x = ?$ $\nu_{x\text{рез}} = ? \text{ кГц}$		$C = \dots \text{ мкФ},$ $L_x = \dots \text{ мГн}$	
№	$\nu, \text{ Гц}$	$U_R, \text{ В}$	$\nu, \text{ Гц}$	$U_R, \text{ В}$	$\nu, \text{ Гц}$	$U_R, \text{ В}$
1						
.						
.						
.						
15						

5. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров. Замените конденсатор C в колебательном контуре на C_x и повторите измерения по пп. 2, 3, 4 для получения еще одной резонансной кривой.
6. Подключите мультиметр параллельно участку цепи $L_x C_x$. Изменяя частоту генератора в том же интервале, наблюдайте, что вблизи $\nu_{\text{рез}}$, для которой U_R максимально, значения напряжения U_{LC} минимально.
7. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.
8. Соберите электрическую цепь (см. рис. 4б), состоящую из последовательно соединенных конденсатора C (ее значение внесите в таблицу) и неизвестной индуктивности L_x . Выполните п. 2 и проведите измерение U_R в том же частотном диапазоне, что и при последовательном соединении. Результаты измерений запишите в таблицу.

9. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.

Обработка результатов измерений

1. По данным таблицы постройте на одном графике 3 резонансных кривых $U_R = f(\nu)$. Отметьте значения резонансных частот контура по положению максимума и минимума кривых $U_R = f(\nu)$.

2. По величине резонансной частоты $\nu_{\text{рез}}$ для контура с известной емкостью C найдите по формуле (4) индуктивность катушки L_x :

$$L = 1/C\omega_{\text{рез}}^2 = \dots \text{ мГн.}$$

По второй частоте $\nu_{x\text{рез}}$, формула (5) рассчитайте емкость C_x :

$$C_x = C_0(\omega_{\text{рез0}}/\omega_{\text{рез}})^2 = \dots \text{ мкФ}$$

Результаты вычислений запишите в таблицу.

3. В выводе по работе проведите анализ полученных данных:

а) опишите изменения зависимости $U_R = f(\nu)$ при изменении емкости колебательного контура;

б) сравните частоты, соответствующие максимуму резонансной кривой $U_R = f(\nu)$ при последовательном соединении конденсатора и индуктивности, и минимуму кривой $U_R = f(\nu)$ при параллельном подключении конденсатора и индуктивности

Контрольные вопросы

1. Запишите закон изменения тока в цепи при вынужденных колебаниях.

2. Чем определяются частота и амплитуда вынужденных колебаний?

3. Какая ЭДС вызывает вынужденные колебания?

4. Какие ЭДС действуют в колебательном контуре при

вынужденных колебаниях?

5. При каком условии наблюдается резонанс в колебательном контуре?

6. Какова величина полного сопротивления контура и тока в нем в случае резонанса напряжений (последовательного резонанса)?

7. Что характерно для величин тока I и напряжений U_{LC} , U_R при резонансе напряжений в колебательном контуре?

8. Чем объясняется, что

а) при резонансе напряжений ток в контуре максимальный;

б) при резонансе токов в подводящих к колебательному контуру проводах течет небольшой ток?

9. От каких величин зависит высота резонансного пика $I = f(0)$.

10. Какую форму имеют резонансные кривые $U_R = f(\nu)$ и $U_{LC} = f(\nu)$

а) при резонансе напряжений; б) при резонансе токов?

11. К какому участку колебательного контура нужно подключить мультиметр для получения резонансной кривой с максимумом (или с минимумом) в случаях:

а) последовательного соединения элементов L и C ;

б) параллельного соединения L и C ?

12. Каким образом в данном колебательном контуре можно изменять: а) частоту вынужденных колебаний; б) резонансную частоту контура?

13. Какие параметры колебаний в контуре изменятся, если изменить частоту колебаний генератора?

14. Каким путем в работе добиваются получения резонансов? Что служит признаком достижения резонанса?

15. С какой целью в работе строят график $U_R = f(\nu)$? Как

определяют по ним резонансную частоту контура?

16. Какие опытные данные используют для определения величин:

- а) индуктивности контура L ;
- б) емкости контура C_x ?

Приложения:

1. Построение графиков в EXCEL

(Версия- EXCEL. LTSC. MSO)

Назначение графика – наглядно представить результаты опыта при изучении зависимости одной величины от другой. График позволяет увидеть особенности исследуемой зависимости, выявить ее характер (например, линейная, квадратичная или экспоненциальная) и определить ее параметры. Все это становится доступным при грамотном применении графического метода, а для этого необходимо следовать определенным правилам построения графиков и использовать методы их обработки.

В Excel существуют специальные встроенные инструменты, которые позволяют не только строить диаграммы и графики различных видов, но и выполнять сглаживание экспериментальных результатов.

Для построения графиков зависимости физических величин нужно руководствоваться следующими правилами: