

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСА В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Экспериментальное получение резонансной кривой, измерение индуктивности и емкости резонансным методом.

2. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев И.В. Курс физики: Учеб. пособие для студентов вузов.- [В 3-х т.].- Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.- М.: Наука, 1989.- 496 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. - 19-е изд. - Академия, 2012. – 560 с.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики.- Академия, 2009. – 720 с.
4. Калашников С.Г. Электричество.- М.: Наука, 1977.- §§220-222,225.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Резонансным называют явление возрастания амплитуды установившихся вынужденных колебаний при определенной частоте внешнего воздействия, близкой к собственной частоте системы. Электрические резонансы

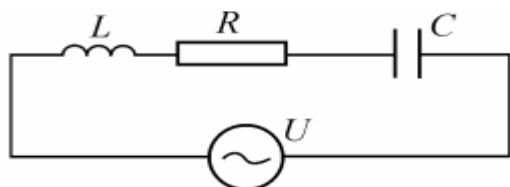


Рис. 1. Последовательное соединение L, R, C

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.

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

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

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 точка I в цепи:

$$\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = -\omega U_m \sin \omega t.$$

Его решением при установившемся режиме является закон колебаний:

$$I(t) = \dot{I}_m \cos(\omega t + \varphi + \pi/2). \quad (1)$$

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;

$$X = X_L - X_C; \quad X_L = \omega L; \quad X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Как показывает уравнение (2), можно подобрать такую частоту, чтобы $\omega L = \frac{1}{\omega C}$. 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 .

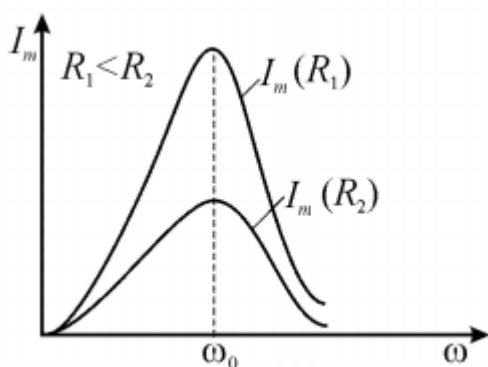


Рис. 2. Резонансные кривые

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 :

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

Ширина резонансной кривой зависит от добротности колебательного

контура:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} \cong \frac{\sqrt{L/C}}{R},$$

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 $\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ в соответствии с усло-

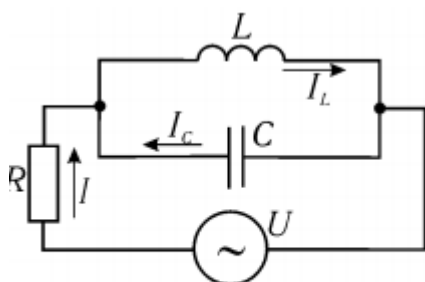


Рис. 3. Резонанс токов

вием $X_L = X_C$ и законом Ома имеем: $I_L = \frac{U}{X_L}$; $I_C = \frac{U}{X_C}$, 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.

4. ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Генератор сигналов специальной формы.
2. Миниблоки «Катушка».
3. «Конденсатор».
4. «Сопротивление».
5. Мультиметр.

5. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

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

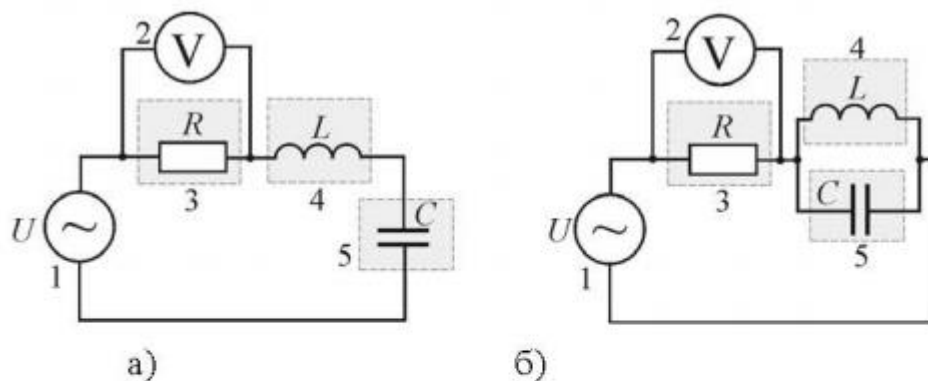


Рис. 4. Электрическая схема:

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

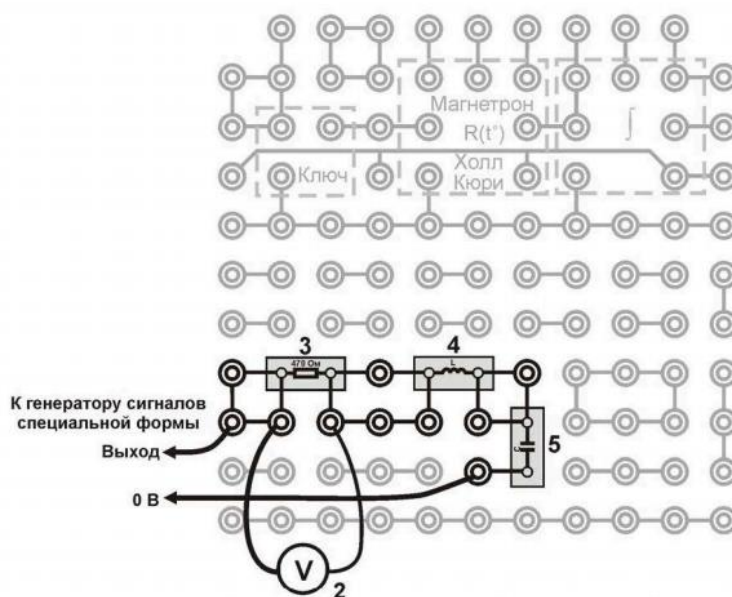


Рис. 5. Монтажная схема (рис. 4, схема а);
 2, 3, 4, 5 – см. рис. 4

Электрическая цепь (см. рис. 4а) с последовательно соединёнными элементами L и C предназначена для излучения резонанса напряжений, а цепь с параллельными соединениями L и C (см. рис. 4б) – для резонанса токов.

Падение напряжений U_R на сопротивлении R измеряют мультиметром 2.

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

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Соберите по монтажной схеме, приведённой на рис. 5 электрическую цепь (см. рис. 4а), состоящую из последовательно соединённых конденсатора известной ёмкости C (её 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). Кнопками установки частоты «0.2-20 кГц» (поз. 11, см. рис. 1) установите частоту $V_1 = 0.20$ кГц. Соедините незадействованный в схеме мультиметр (режим $V \sim 20$ В, входы COM , $V\Omega$) с гнездами «ВЫХ.ГЕН.» (поз.9, см. рис. 1) и кнопками установки уровня выхода «0-15 В» (поз.10, см. рис. 1) установите напряжение на выходе генератора 1-2В.
3. Увеличивая частоту ν выходного сигнала генератора, найти максимальное напряжение на активном сопротивлении U_R и соответствующую ему частоту $V_{рез}$. Продолжая увеличивать частоту V , установите напряжение, примерно в 3-4 раза меньше максимального. Отметьте соответствующую частоту V_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 подъёма и спада кривой интервал следует уменьшить. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица:

Последовательное соединение $C=1\text{мкФ}$, $R=470\text{ Ом}$, $L_x=\dots\text{ мГн}$					Параллельное соедине- ние L и C	
$C=1\text{мкФ}$, $V_{\text{рез}}=\dots\text{кГц}$			$C_x=\dots\text{ мкФ}$ $V_{x\text{рез}}=\dots\text{ кГц}$		$C=1\text{ мкФ}$, $L_x=\dots\text{ мГн}$	
$N_{\text{о}}$	ν , Гц	U_R , В	ν , Гц	U_R , В	ν , Гц	U_R , 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 измерение по п. 2,3,4 для получения еще одной резонансной кривой. Выключите сеть.
6. Подключите мультиметр параллельно участку цепи $L_x C_x$. Включите сеть. Изменяя частоту генератора в том же интервале, наблюдайте, что вблизи $\nu_{рез}$, для которой U_R максимально, значение напряжения U_{LC} минимально.
7. Выключите кнопками «Сеть» питание блока генераторов напряжения и блока мультиметров.
8. Соберите электрическую цепь (см. рис. 4б), состоящую из параллельно соединённых 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.

7. 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 $\nu_{рез}$ для контура с известной емкостью C найдите по формуле (4) индуктивность катушки L_x :

$$L_x = \frac{1}{C \omega_{рез}^2} = \dots \text{мГн} .$$

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

$$C_x = C \left(\frac{\omega_{рез}}{\omega_{хрез}} \right)^2 = \dots \text{мкФ} .$$

Результаты вычислений запишите в таблицу.

3. В выводе по работе проведите анализ полученных данных:
А) опишите изменение 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.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите закон изменения тока цепи при вынужденных колебаниях.
2. Чем определяется 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 нём в случае резонанса напряжений (последовательного резонанса)?
7. Что характерно для величин тока I и напряжений U_{LC} и 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 течёт 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 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 $U_R=f(v)$? Как определяют по ним резонансную частоту контура?
 16. Какие опытные данные используют для определения индуктивности контура L ?
 17. Какие опытные данные используют для определения емкости контура C_x ?