

Лабораторная работа № 5 Резонанс напряжений

В механической системе резонанс наступает при равенстве собственной частоты колебаний системы и частоты колебаний возмущающей силы, действующей на систему. Колебания механической системы, например колебания маятника, сопровождаются периодическим переходом кинематической энергии в потенциальную и наоборот. При резонансе механической системы малые возмущающие силы могут вызывать большие колебания системы, например большую амплитуду колебаний маятника.

В цепях переменного тока, где есть индуктивность и емкость, могут возникнуть явления резонанса, которые аналогично явлению резонанса в механической системе. Однако полная аналогия – равенство собственной частоты колебаний электрического контура частоте возмущающей силы (частоте напряжения сети, частоте генератора) – возможна не во всех случаях.

В общем случае под резонансом электрической цепи понимают такое состояние цепи, когда ток и напряжение совпадают по фазе, и, следовательно, эквивалентная схема цепи представляет собой активное сопротивление. Такое состояние цепи имеет место быть при определенном соотношении ее параметров R , L , C , когда резонансная частота цепи равна частоте приложенного к ней напряжения.

Резонанс в электрической цепи сопровождается периодическим переходом энергии электрического поля емкости в энергию магнитного поля индуктивности и наоборот.

При резонансе в электрической цепи малые напряжения, приложенные к цепи, могут вызвать значительные токи и напряжения на отдельных ее участках. В цепи, где R , L , C соединены последовательно, может возникнуть резонанс напряжений, а в цепи, где R , L , C соединены параллельно, – резонанс токов.

Рассмотрим явление резонанса напряжений на примере цепи рис. 1. Как отмечалось, при резонансе ток и напряжение совпадают по фазе, т.е. угол $\varphi = 0$, и полное сопротивление цепи равно ее активному сопротивлению:

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

Это равенство, очевидно, будет иметь место, если

$$X_L = X_C, \tag{1}$$

т.е. реактивное сопротивление цепи равно нулю: $X = X_L - X_C = 0$.

Выразив X_L и X_C соответственно через L , C и f , получим

$$X_L = \omega L = 2\pi fL, \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC},$$

где f – частота напряжения, подведенного к контуру.

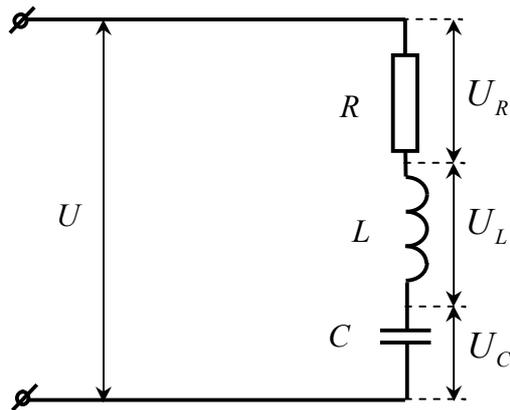


Рис.1. Эквивалентная схема последовательного колебательного контура

Следовательно, когда $f = f_{рез}$ с учетом (1):

$$2\pi f_{рез} L = \frac{1}{2\pi f_{рез} C}.$$

Откуда

$$f_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где $f_{рез}$ - резонансная частота. Резонансная частота зависит от индуктивности и емкости цепи и поэтому является собственной частотой цепи.

Таким образом, при $X_L = X_C$ в цепи возникает резонанс напряжений, так как резонансная частота равна частоте напряжения, подведенного к цепи.

Из выражения закона Ома

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

вытекает, что ток в цепи при резонансе равен напряжению, деленному на активное сопротивление:

Ток в цепи может оказаться значительно больше тока, который был бы при отсутствии резонанса. Так как L и C соединены последовательно, то

$$I_L = I_C = I.$$

Применяя закон Ома, получим

$$\frac{U_L}{X_L} = \frac{U_C}{X_C}.$$

С учетом (1)

$$U_L = U_C,$$

т. е. при резонансе напряжение на индуктивности равно напряжению на емкости.

При значениях X_L и X_C больших чем R эти напряжения могут во много раз превышать напряжение сети. Резонанс в цепи при последовательном соединении потребителей носит название резонанса напряжений.

Напряжение на активном сопротивлении при резонансе равно напряжению, приложенному к цепи:

$$U_R = IR = U .$$

На рис. 2 изображена векторная диаграмма цепи. Диаграмма подтверждает тот факт, что при резонансе ток совпадает по фазе с напряжением источника тока (напряжение сети, напряжение генератора), и что напряжение на активном сопротивлении равно напряжению источника тока.

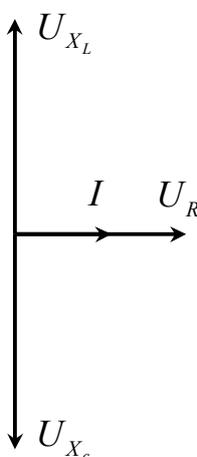


Рис. 2. Векторная диаграмма для резонанса напряжений

Реактивная мощность при резонансе равна нулю т. к. $U_L = U_C$:

$$Q = Q_L - Q_C = U_L I - U_C I = 0 ,$$

Полная мощность равна активной мощности:

$$S = P + Q = P ,$$

так как реактивная мощность равна нулю. Коэффициент мощности равен единице:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} = 1 .$$

Поскольку резонанс напряжений возникает, когда индуктивное сопротивление последовательной цепи равно емкостному, а их значения

определяются соответственно индуктивностью, емкостью цепи и частотой сети, то резонанс может быть получен или путем подбора параметров цепи при заданной частоте сети, или путем подбора частоты сети (генератора) при заданных параметрах цепи.

При резонансе реактивная энергия циркулирует внутри контура от индуктивности к емкости и обратно. Обмена реактивной энергией между источниками и цепью не происходит. Ток в проводниках, соединяющих источник с цепью, обусловлен только активной мощностью.

Для анализа цепей иногда используют частотный метод, позволяющий выяснить зависимость параметров цепи и других величин от частоты.

На рис. 3 изображены графики зависимости U_R , U_L , U_C , I , X_L , X_C от частоты при неизменном напряжении сети.

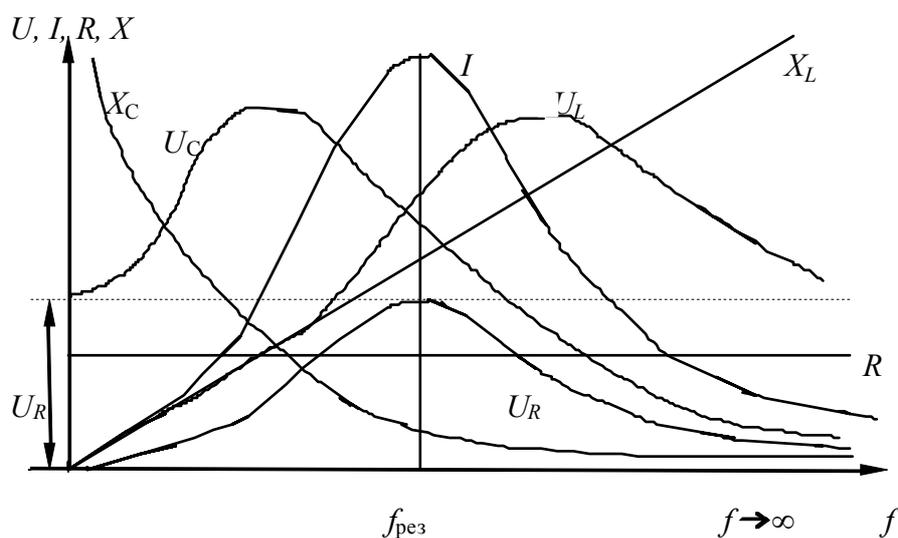


Рис. 3.

При $f=0$ сопротивления $X_L = 2\pi fL = 0$, $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \infty$, ток $I=0$,

напряжения $U_R = IR = 0$, $U_L = X_L I = 0$, $U_C = U$. При $f = f_{рез}$ $X_L = X_C$, $I = \frac{U}{R}$, $U_L = U_C$, $U_R = U$.

При $f \rightarrow \infty$ $X_L \rightarrow \infty$, $X_C \rightarrow 0$, $U_R \rightarrow 0$, $U_C \rightarrow 0$, $U_L \rightarrow U$.

В интервале частот от $f=0$ до $f = f_{рез}$ нагрузка имеет активно-емкостный характер, ток опережает по фазе напряжение сети. В интервале частот от $f = f_{рез}$ до $f \rightarrow \infty$ нагрузка носит активно-индуктивный характер, ток отстает по фазе от напряжения сети.

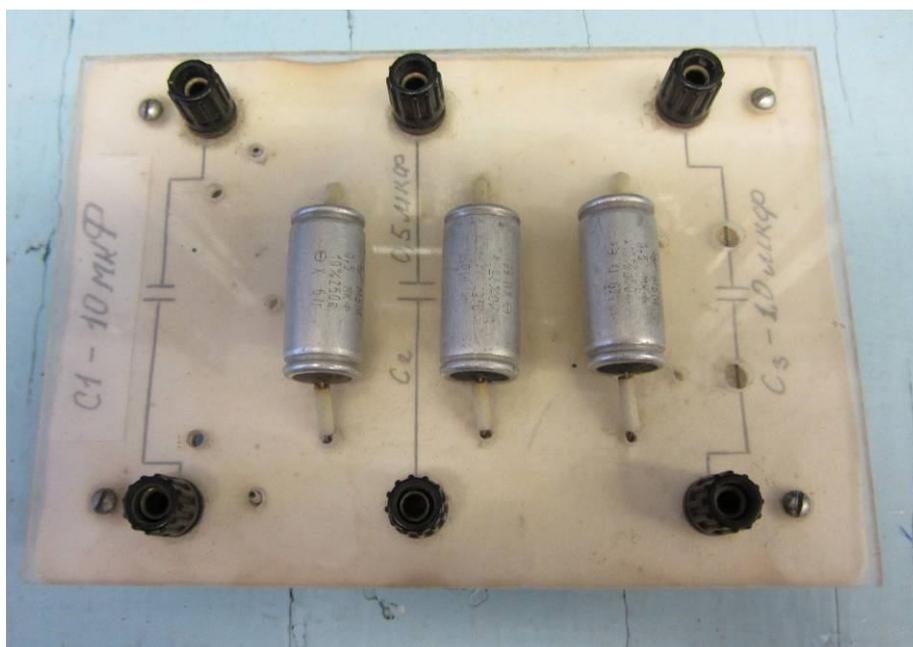
Явления резонанса широко используются в радиоэлектронных устройствах и в заводских промышленных установках.

Оборудование: катушка индуктивности, стенд с конденсаторами, генератор LG, миллиамперметр, вольтметр ВЗ-33 (2 шт), осциллограф С1-74, соединительные провода.

Катушка индуктивности



Стенд с конденсаторами



Соединительные провода



Осциллограф



ХОД РАБОТЫ

1. Собрать схему, изображенную на рис. 4.

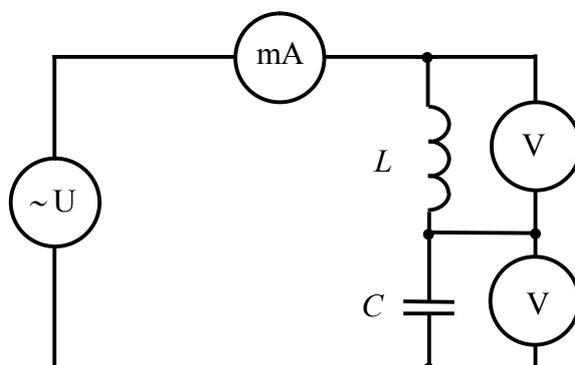


Рис. 4.

2. Определить резонансную частоту, пользуясь критериями резонанса $I = I_{\max}$, $U_L = U_C$. Результаты измерений занести в тетрадь.
3. Изменяя частоту генератора от $f_{\text{ген}} = \frac{f_{\text{рез}}}{2}$ до $f_{\text{ген}} = \frac{3}{2}f_{\text{рез}}$ с шагом $\frac{f_{\text{рез}}}{20}$ снять зависимости $U_L = f(f_{\text{ген}})$; $U_C = f(f_{\text{ген}})$; $I = f(f_{\text{ген}})$. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

№	$f_{\text{ген}}$, Гц	I , мА	U_L , В	U_C , В
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				
17.				
18.				
19.				
20.				

Таблица 1 (продолжение).

№	$f_{ген}, Гц$	I, mA	$U_L, В$	$U_C, В$
21.				
22.				
23.				
24.				
25.				
26.				
27.				
28.				
29.				
30.				
31.				
32.				
33.				
34.				
35.				
36.				
37.				
38.				
39.				
40.				

4. Определить значения напряжений U_L , U_C , U (напряженнее на генераторе); ток I на резонансной частоте.
5. Рассчитать активное сопротивление катушки R , индуктивность L , емкость C .
6. Рассчитать импеданс Z на резонансной частоте и построить векторную диаграмму напряжений и токов.
7. С помощью двухлучевого осциллографа измерить фазовые сдвиги напряжения U_L и U_C относительно приложенного напряжения генератора U .