

Лабораторная работа

Резонанс в электрических цепях

Цель работы:

1. Экспериментально исследовать явление резонанса в контурах последовательного и параллельного питания при гармоническом воздействии.
2. Овладеть навыками теоретического построения частотных характеристик резонансных цепей.

Объект и средства исследования

Последовательный и параллельный контуры собираются на наборном поле согласно соответствующей схеме задания. В схемах используются элементы из набора миниблоков: конденсатор $C = 0,22 \text{ мкф}$, катушка индуктивности $L = 33 \text{ мГн}$ и резисторы $R = 100 \text{ Ом}$ и $R_0 = 470 \text{ Ом}$.

Питание контуров производится от генератора *синусоидального* напряжения из блока генераторов. Для измерений используются вольтметры и амперметр, расположенные на коннекторе, а также комбинированный цифровой прибор и виртуальный двухлучевой осциллограф.

Общие сведения

Резонансом называется такой режим пассивной цепи, содержащей катушки индуктивности и конденсаторы, при котором ее входное реактивное сопротивление или ее входная реактивная проводимость равны нулю. При резонансе *ток* на входе цепи, если он отличен от нуля, *совпадает по фазе с напряжением*.

Если рассматривать последовательное соединение сопротивления, индуктивности и емкости (рис. 8.1,а), или *последовательный колебательный контур*, резонанс наступает в случае $X = X_L - X_C = 0$ или $X_L = X_C$, т.е.

$$\omega L = 1/\omega C .$$

При $X_L = X_C$ значения противоположных по фазе напряжений на индуктивности и емкости равны (рис. 8.1,б), поэтому резонанс в рассматриваемой цепи называют *резонансом напряжений*.

Напряжения на индуктивности и емкости при резонансе могут значительно превышать напряжение на зажимах цепи, которое равно напряжению на активном сопротивлении. Полное сопротивление цепи Z при $X = 0$ минимально: $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = R$, а ток I при заданном напряжении U достигает наибольшего значения U/R .

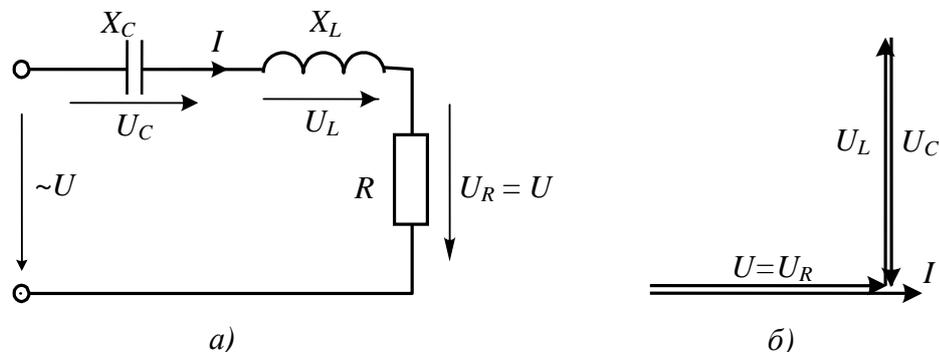


Рис. 8.1

Из условия $\omega L = 1/\omega C$ следует, что резонанса можно достичь, изменяя либо частоту напряжения источника, либо параметры цепи – индуктивность или емкость. Угловая частота, при которой наступает резонанс, называется *резонансной угловой частотой*

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}.$$

Рассмотрим теперь цепь с двумя параллельными ветвями: одной – с сопротивлением и индуктивностью, другой – с емкостью (рис. 8.2,а). Такую цепь часто называют *параллельным колебательным контуром*. Резонанс наступает, когда входная реактивная проводимость $B = B_1 + B_2 = 0$ или $B_2 = -B_1$, где B_1 и B_2 – реактивные проводимости ветвей.

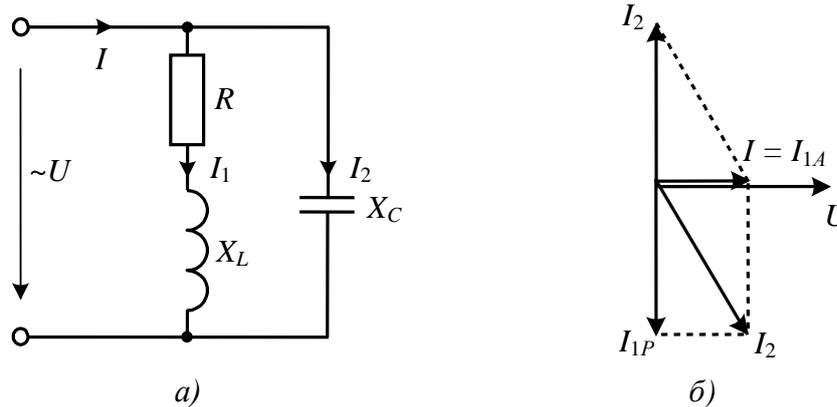


Рис. 8.2

При $B_2 = -B_1$ противоположные по фазе реактивные составляющие токов равны (рис. 8,2,б), поэтому резонанс в рассматриваемой цепи получил название *резонанса токов*. Из векторной диаграммы видно, что при резонансе ток I на входе цепи может быть значительно меньше токов в ветвях.

Подставив в условие резонанса значения B_1 и B_2 , выраженные через параметры цепи и частоту, получим:

$$\frac{\omega L}{R^2 + (\omega L)^2} - \omega C = 0.$$

Решая это уравнение относительно ω , находим следующее значение для резонансной угловой частоты:

$$\omega_0' = \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{L/C - R^2}{L/C}} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}$$

Рабочее задание

1. Измерить омметром активное сопротивление R_k катушки индуктивности $L = 33 \text{ мГн}$, записать значение в протокол.
2. На наборном поле собрать последовательный колебательный контур по схеме, приведенной на рис. 8.3.
3. Подать на первый канал осциллографа выходное напряжение генератора. Подать на второй канал осциллографа напряжение на резисторе R .
4. Установить напряжение генератора $U_{\text{вх}} = 5 \text{ В}$.

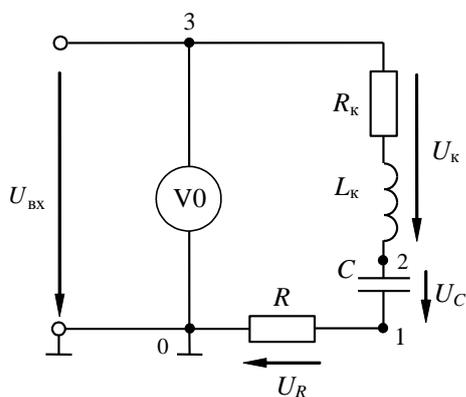


Рис. 8.3

5. Изменяя частоту напряжения генератора, подобрать такую ее величину, при которой совпадают по фазе кривые на экране осциллографа. Наблюдаемый режим работы цепи называется *резонансом напряжений*.

6. Установить по вольтметру напряжение генератора $U_{BX} = 5$ В и измерить напряжения на катушке, конденсаторе и резисторе.

7. По результатам измерений построить в масштабе методом «засечек» векторную диаграмму напряжений и тока, направив вектор тока по действительной оси.

8. Включить амперметр A_1 в исследуемую цепь и **снять зависимость тока в цепи от частоты в области, включающей резонансную частоту, частоты меньше и больше резонансной**. В процессе измерений необходимо поддерживать *неизменное выходное напряжение генератора*.

9. Результаты измерений оформить в виде таблицы и в виде графика.

10. На наборном поле собрать параллельный контур (рис. 8.4) из катушки и конденсатора, использованных в предыдущем эксперименте. В качестве резистора используется $R_0 = 470$ Ом. **Предварительно самостоятельно изобразить монтажную схему и дать на проверку преподавателю**.

11. Подать на первый канал осциллографа выходное напряжение генератора. Подать на второй канал осциллографа напряжение на резисторе R_0 .

12. Установить напряжение генератора $U_{BX} = 5$ В. Изменяя частоту напряжения генератора, настроить контур в резонанс, который фиксируется по минимальному напряжению на резисторе R_0 и совпадению по фазе синусоид входных напряжения и тока. *Записать значение частоты в режиме резонанса токов*.

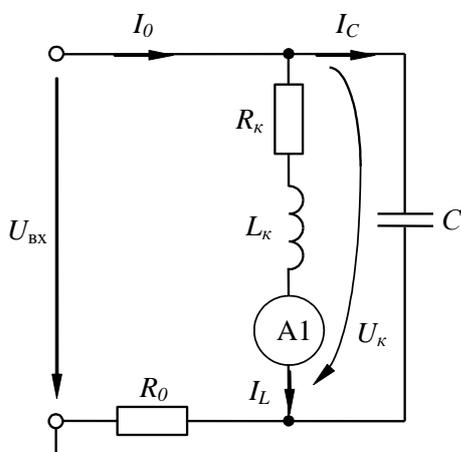


Рис. 8.4

13. В резонансном режиме измерить токи в катушке и в конденсаторе с помощью амперметра A_1 .

14. С помощью вольтметра измерить напряжения на резисторе и на конденсаторе.

15. Построить векторную диаграмму токов и напряжений, направив вектор напряжения генератора по действительной оси.

16. Включить амперметр A_1 последовательно в неразветвленную часть исследуемой цепи и снять зависимость входного тока от частоты в области, включающей резонансную частоту, частоты меньше и больше резонансной. В процессе измерений необходимо поддерживать неизменное выходное напряжение генератора.

17. Результаты измерений оформить в виде таблицы и в виде графика.

18.* Для параметров катушки и конденсатора, использованных в данной работе, записать выражение для резонансной частоты f_0 и тока в цепи последовательного контура в комплексной форме. Построить при помощи программы Mathcad кривые изменения модуля и аргумента тока в функции частоты. Принять диапазон изменения частоты $f = 0.8 f_0 \dots 1.2 f_0$. Сравнить с кривыми, полученными экспериментальным путем.

19.* Получить теоретически и построить при помощи программы Mathcad частотные характеристики, исследованные в данной работе, для параллельного контура. Сравнить с результатами, полученными в п. 16.

Методические указания и рекомендации

1. Графики частотных характеристик исследуемых схем можно построить на ЭВМ с помощью программы Mathcad, причем удобнее использовать комплексную форму записи. Для этого заранее следует ввести значения параметров использованных элементов схемы, указанные на ярлыках миниблоков, а также измеренное значение R_k . Следует также задать пределы и шаг изменения частоты f . Далее следует определить входное сопротивление цепи в зависимости от частоты $Z(f)$ и входной ток:

$$I(f) := \frac{U}{Z(f)}.$$

Зависимость модуля тока от частоты (амплитудно-частотная характеристика, или АЧХ) и фазы тока от частоты (фазочастотная характеристика, или ФЧХ) определяются средствами Mathcad соответственно, как $|I(f)|$ и $\arg(I(f))$.

2. Входное сопротивление последовательного контура для схемы рис. 8.3 запишем следующим образом:

$$Z(f) := R + R_k + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k + \frac{1}{j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}.$$

3. Для параллельного контура (рис. 8.4) входное сопротивление запишем как

$$Z(f) := R_0 + \frac{1}{\frac{1}{R_k + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k} + j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}.$$

Контрольные вопросы

1. Что называется резонансом напряжений?
2. Что называется резонансом токов?
3. Дать математическое выражение условий фазового резонанса напряжений и токов.

4. Почему в цепи, собранной по схеме, приведенной на рис. 8.5, нельзя измерить непосредственно напряжение на конденсаторе и на катушке, если один зажим генератора и один зажим вольтметра заземлены?

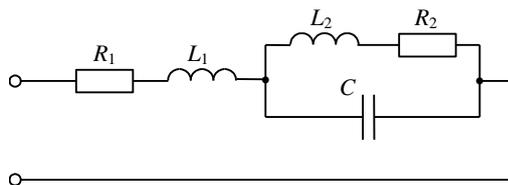


Рис. 8.5

5. При каких значениях (больших или малых) сопротивления генератора целесообразно применять параллельный контур, а при каких – последовательный?

6. Как вычислить параметры катушки R_k и L_k в схеме, приведенной на рис. 8.3, если известны величины C , ω_0 , U_C и $U_{вх}$ при резонансе?

7. Для цепи, показанной на рис. 8.5, записать условие резонанса напряжений и резонанса токов.