

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Физический факультет

Практикум кафедры физики колебаний

Руководство по выполнению задачи. СВЯЗАННЫЕ LC КОНТУРЫ. Моделирование.

А.В. Степанов

Москва 2022 г.

Для выполнения задачи необходимо загрузить симулятор IdealCircuit и схему «LC\_контуры.ic».

Теоретические сведения по задаче содержатся в описании «Связанные колебательные контуры» (файл «Svyaz\_kol\_kontury.pdf»).

Краткие сведения по работе с симулятором содержатся в файле «Пояснения по моделированию.pdf», полное руководство – в файле «manual.pdf».

Материалы размещены на сайте кафедры физики колебаний.

### МОДЕЛИРУЕМАЯ СХЕМА

Моделируются процессы в системе двух связанных LC контуров с индуктивной связью. Параметры контуров примерно соответствуют параметрам одноименной лабораторной установки.

Схема для моделирования показана на Рис.1. Помимо связанных контуров она содержит измерители напряжений в контурах, генератор и измеритель входного напряжения, а также специальный генератор для измерения АЧХ/ФЧХ. С помощью переключателей измерители напряжений в контурах можно отключить/подключить к схеме (если мешает наблюдению другого сигнала). Также в окне Transient можно разделить диаграммы сигналов.

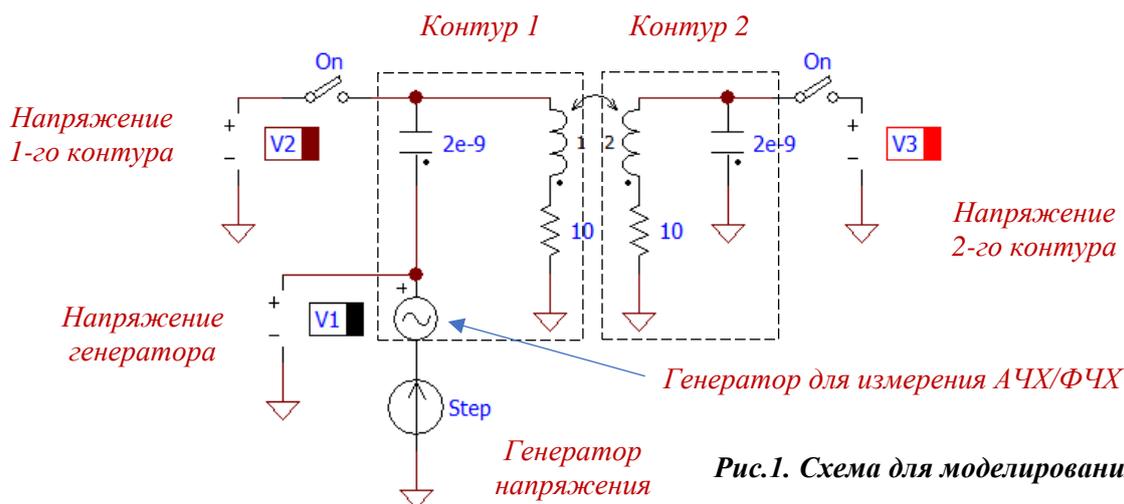
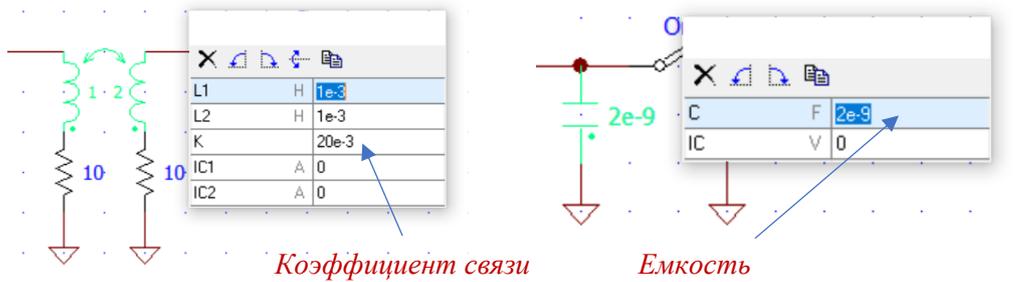


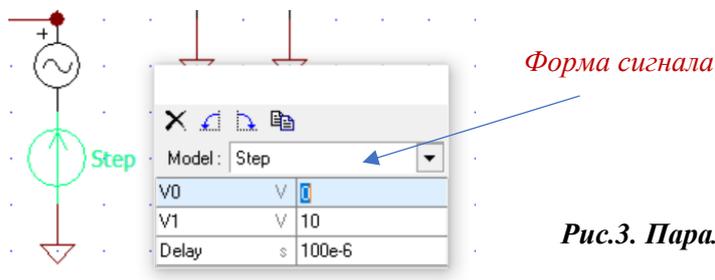
Рис.1. Схема для моделирования.

Значения индуктивностей контуров и коэффициент связи устанавливаются в окне параметров элемента «связанные индуктивности», значения емкостей – в окнах соответствующих элементов «конденсатор» (Рис.2). При желании можно изменить значения добротностей контуров, изменяя значения соответствующих сопротивлений.



**Рис.2. Параметры элементов.**

В меню генератора задается вид и параметры генерируемого сигнала. Для измерения переходной характеристики нужно задать ступенчатый сигнал (Рис.3). Амплитуда сигнала (по умолчанию, 10В) не имеет значения, т.к. система линейная.

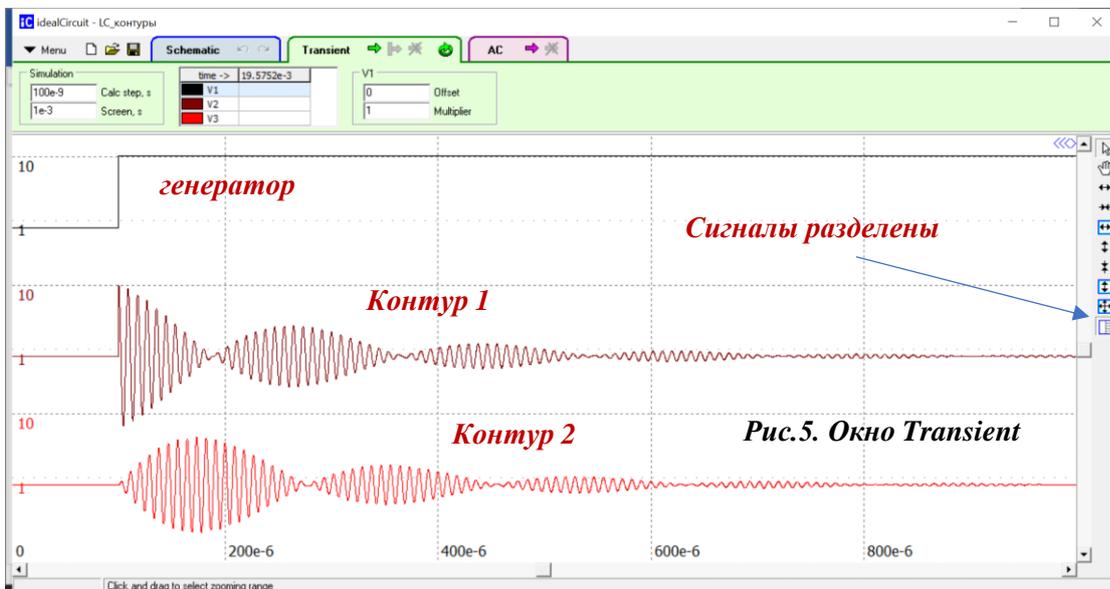
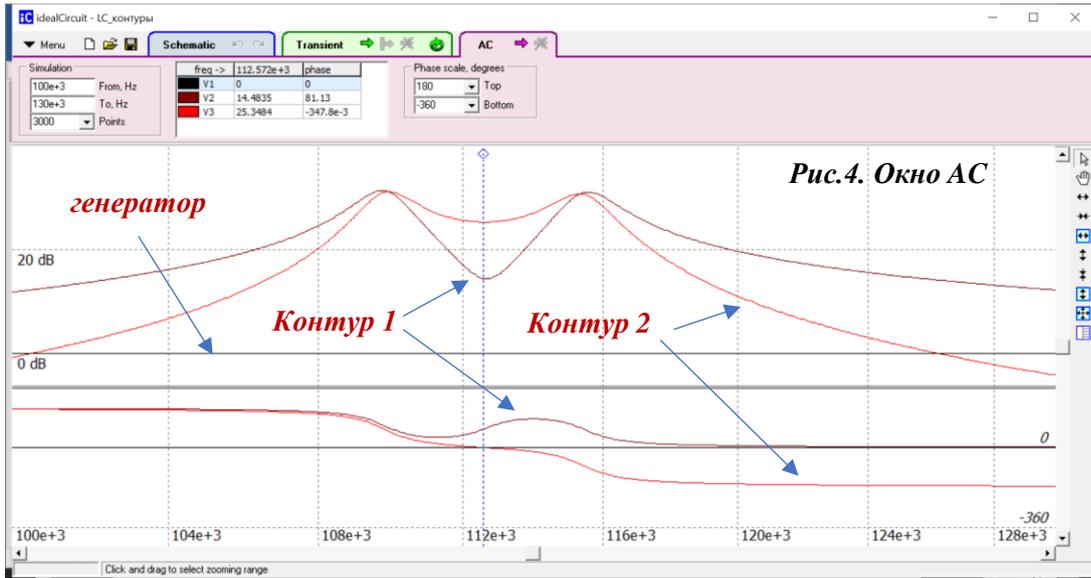


**Рис.3. Параметры генератора.**

## ПОРЯДОК РАБОТЫ

1. Ознакомьтесь с исследуемым явлением и работой симулятора по соответствующим описаниям.
2. Рассчитайте резонансную частоту и добротность одиночного контура для того, чтобы ориентироваться во временном масштабе явлений и правильно управлять симулятором.
3. Запустите симулятор, загрузите схему и выполните рекомендуемые упражнения.
4. Можете самостоятельно изменять параметры системы и изучать их влияние на ее характеристики.

Вид окон симулятора при первоначальной загрузке схемы и запуске симуляции показан на Рис.4 – АЧХ и ФЧХ, и на Рис.5 – временные диаграммы сигналов (переходная характеристика).



## УПРАЖНЕНИЯ

### 1. Вынужденные колебания в системе одинаковых контуров. Параметры: $L1=L2=1\text{mH}$ , $C1=C2=2\text{nF}$ , $R1=R2=10\text{Ohm}$

1.1. Уберите связь между контурами ( $K=0$ ). Получите АЧХ и ФЧХ контура 1 (Окно AC). Определите резонансную частоту, полосу пропускания, добротность контура  $Q$ .

1.2. Определение критической связи. Установите гармонический сигнал генератора с частотой, равной резонансной (определена в п.1.1). Измерьте зависимость амплитуды напряжения контура 2 от коэффициента связи  $K$  (Окно Transient). Определить критическое значение коэффициента связи  $K_{кр}$  по максимуму измеренной кривой. Проверьте условие  $KQ = 1$ . Определите предельное значение коэффициента связи  $K_{пр}$ , - значение  $K$ , при котором значение напряжения контура 2 уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз (на

3дВ) по сравнению с максимальным значением (при этом достигается максимальная полоса пропускания связанных контуров).

Эти измерения можно делать и в окне АС, не используя/переключая генератор напряжения, Поступайте так, как вам удобнее и понятнее.

1.3. *Получите АЧХ и ФЧХ контуров для критической, предельной и максимальной связи (окно АС).* Проследите за изменением их формы и полосы пропускания, а также за положением максимумов. Объясните полученные результаты. Определите, во сколько раз увеличивается полоса пропускания при критической и при предельной связи по сравнению с полосой первого контура, измеренной в п.1.1.

1.4. *Получите зависимость резонансных частот от коэффициента связи (окно АС).* Для этого нужно устанавливать различные значения коэффициента связи (как больше, так и меньше  $K_{кр}$ ) и регистрировать значения частоты, соответствующей экстремумам (максимумам и минимумам) АЧХ. Представьте полученную зависимость графически. Определите из нее значение  $K_{кр}$ , сравните его со значением критической связи, найденным в п.1.2.

## **2. Вынужденные колебания в контурах с разными частотами.**

**Параметры:**  $L1=L2=1mH$ ,  $C1=2nF$ ,  $C2=3nF$ ,  $R1=R2=100\Omega$

2.1. Рассчитайте парциальную частоту второго контура после изменения емкости. *Получите АЧХ и ФЧХ контуров 1 и 2 при сильной связи (окно АС).* Обратите внимание на гашение колебаний в контуре 1. Сравните частоту, на которой происходит гашение, с парциальной частотой второго контура.

2.2. Сопоставьте полученные АЧХ и ФЧХ с резонансными кривыми в двухконтурной системе без затухания (рис. 5 в описании задачи «Связанные колебательные контуры»). Объясните полученные результаты. Можете также установить нулевые значения сопротивлений контуров и посмотреть на результаты симуляции.

## **3. Собственные колебания в контурах с одинаковыми частотами. Биения.**

**Параметры:**  $L1=L2=1mH$ ,  $C1=C2=2nF$ ,  $R1=R2=100\Omega$

3.1. Установить слабую связь. Связь должна быть достаточно слабой для того, чтобы период биений был заметно больше периода колебаний. Но, с другой стороны, колебания не должны успевать затухать за период биений. Установите ступенчатый сигнал генератора.

Получите картину биений для контуров 1 и 2 (Окно Transient). Измерьте период биений  $T_b$  и период заполняющего колебания  $T$ . Рассчитайте коэффициент связи (формула (13) в описании задачи «Связанные колебательные контуры»). Сравните его с установленным значением коэффициента связи.

3.2. *Измерение зависимости разности собственных частот от коэффициента связи.* Постепенно увеличивая коэффициент связи, измерьте период биений (до тех пор, пока выходное напряжение можно трактовать как «биения») и по нему рассчитайте разность собственных частот. Постройте график зависимости разности собственных частот от коэффициента связи. Нанесите на этот же график разность «экстремальных» частот из п.1.4.

Для устранения затухания можно установить нулевые значения сопротивлений контуров.