# Исследование частотных характеристик RL - и RC – цепей

**Цель:** Овладение практическими навыками исследования частотных характеристик последовательных и параллельных *RL*- и *RC*-цепей с использованием средств САПР Electronics Workbench.

**Результат обучения:** После успешного завершения занятия пользователь должен:

* Уметь создавать и редактировать простейшие схемы моделирования цепей переменного тока с использованием средств САПР Electronics Workbench;
* Уметь получать амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики *RL*- и *RC*-цепей средствами САПР.

**I. Исследование частотных характеристик *RL* - и *RC* – цепей.**

* 1. **Общие теоретические сведения.**

Пассивные RC- и RL-цепи применяют в фазосдвигающих устройствах и фильтрующих звеньях. Сопротивления индуктивности *XL* = ω*L* и конденсатора *XС* = 1/ω*C* зависят от частоты ω = 2πf входного сигнала *U*ВХ, поэтому амплитуда и фаза тока I, протекающего по элементам цепи, или напряжения *U*ВЫХ на выходе цепи также изменяются в зависимости от частоты.

Важное значение при описание цепей переменного тока имеют частотные характеристики. Свойства цепи с одним реактивным L или C элементом зависят от коэффициента преобразования K и постоянных времени T = RC или T = L/R, с учетом которых модуль амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) K(ω) и фазочастотная характеристика (ФЧХ) Φ(ω) описываются выражениями:

* инерционное звено

K(ω) = ; Ф(ω)= –arctg(ωT) ;

* Форсирующее звено

K(ω) = ; Ф(ω) = π/2 – arctg(ωT) .

На граничной частоте ωГР = 1/*T* или *f*ГР=1/2π*Т* модуль АЧХ уменьшается в  раз по сравнению с его максимальным значением, а угол фазового сдвига между входным и выходным сигналами составляет 45° для форсирующего звена и минус 45° для инерционного звена.

При построении логарифмических частотных характеристик обычно используют логарифмические координаты. По оси ординат откладывают усиление, измеряемое в децибелах (дБ). На графиках модуль АЧХ *K*(ω) выражают в децибелах *W*(ω)=20*lgK*(ω). В этом случае изменению отношения двух величин в 10 раз соответствует изменение усиления на 20 дБ. Значение *W*(ω) для инерционного и форсирующего звеньев на граничной частоте становится на 3дБ ниже максимального.

Последовательное или параллельное подключение резисторов к реактивному элементу изменяют: коэффициент преобразования *K* ; эквивалентное сопротивление (*R* = *R*1 + *R*2, *R* = *R*1||*R*2); постоянную времени *Т* и граничную частоту ωГР. Однако форма графиков АЧХ и ФЧХ при этом не изменяется.

**1.2. Исследование частотных характеристик последовательных *RL* - и *RC* – цепей.**

Рассмотрим схему последовательной электрической *RC* ***-*** цепи с одним реактивным сопротивлением, представленную на рис. 1.

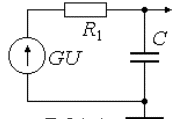


Рис. 1.

**Исходные данные:**

* Параметры источника входных сигналов:

- форма сигналов – синусоидальная;

- амплитуда колебаний – 10 В;

- частота колебаний – 100 Гц.

* Сопротивление резистора *R* = 2 Ком;
* Емкость конденсатора *C* = 2 .

**Задача исследования:**

1. Получить осциллограмму сигналов в последовательной *RC****–***цепи.
2. Получить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики *RC****–***цепи.

Схема исследования цепи, изображенной на рис. 1, имеет вид

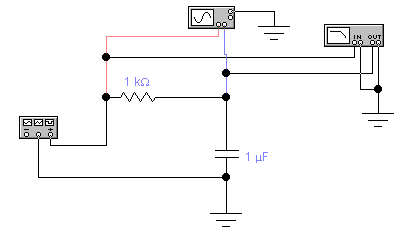
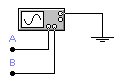


Рис. 2.

В схеме исследования цепи для моделирования источника синусоидальных сигналов используется функциональный генератор с пиктограммой вида



Получение осциллограмм сигналов производится с помощью двухлучевогоосциллографа. Подключение осциллографа показано на схеме

****

А – первый канал, В – второй канал.

Полное изображение осциллографа появляется после двухкратного щелчка мышью.

Расчет амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик цепи производится с помощью измерителя АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттер), имеющего пиктограмму



Подключение измерителя АЧХ и ФЧХ осуществляется с помощью зажимов IN (вход) и OUT (выход). Левые клеммы зажимов подключаются соответственно ко входу и выходу исследуемого устройства, а правые к общей шине.

**Построение схемы рис. 2.**

Построение схемы рис. 2 произведем в два этапа: сначала создадим схему *RC* ***-*** цепи, а затем последовательно подключим к ней измерительные приборы.

**Создание схемы *RC –* цепи**

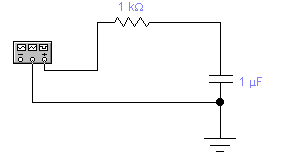


Рис. 3.

* + 1. Запустите при помощи ярлыка на рабочем столе Windows программу **Electronics Workbench**.
    2. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна приборного отсека вытащите функциональный генератор (в цепи приборов второй слева).

* + 1. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна пассивных элементов вытащите последовательно пиктограммы резистора и конденсатора.

* + 1. Развернем конденсатор, так как показано на рис. 2. Для этого выделите конденсатор (при этом он окрашивается в красный цвет) и на панели функций щелкните по кнопке поворота

.

* + 1. Расположите методом буксировки пиктограммы элементов так, как показано на рис. 3.

5. Соедините элементы согласно рис. 3. Для соединения элементов друг с другом нужно аккуратно подвести курсор к одному из выводов элемента, пока не появится черная точка, и нажать кнопку мыши. Затем удерживая нажатой кнопку перемещать мышь, подводя курсор к выводу другого элемента до тех пор, пока на его выводе не появится черная точка, после чего отпустить кнопку мыши.

6. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна активных элементов вытащите пиктограмму заземления и разместите ее согласно рис. 3.

7. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна пассивных элементов вытащите точку соединения проводников



и поместите ее на выходе конденсатора (см. рис. 3).

8. Соедините выход конденсатора с землей.

Для получения осциллограммы сигналов в последовательной *RC****–***цепи подсоединим к схеме рис. 3 осциллограф, в результате схема должна принять вид

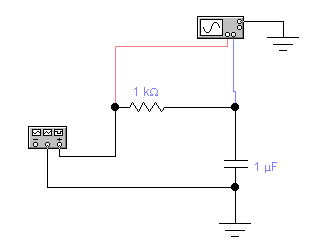


Рис. 4.

9. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна приборного отсека вытащите осциллограф (в цепи приборов третий слева).

10. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна активных элементов вытащите пиктограмму заземления и поместите ее согласно рис. 4.

11. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна пассивных элементов вытащите точку соединения проводников



и поместите ее на одном из выходов резистора (см. рис. 4) и аналогично поместите точку на выходе другого выхода.

12. Подсоедините осциллограф к выходам резистора и к земле, так как показано на рис. 4 и окрасьте соединительные провода.

**Примечание:** Для окрашивания проводов – дважды щелкните мышью на изображении провода. В появившемся диалоговом окне **Wire Properties** щелкните на кнопке **Site** **Wire Color** и выберите из меню нужный цвет.

Для получения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик цепи к схеме, изображенной на рис. 4, необходимо подключить измеритель АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттер).

13. Откройте панель приборного отсека (выполните действие 9), вытащите измеритель АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттер) (в цепи приборов четвертый слева) и поместите его согласно рис. 2.

14. Щелкните по кнопке



панели библиотек компонентов и контрольно-измерительных приборов. Из появившегося окна активных элементов вытащите пиктограмму заземления и поместите ее согласно рис. 2.

15. Подсоедините измеритель АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттер) к земле.

16. Из панели пассивных элементов последовательно вытащите точки соединения проводников (действие 11)



и поместите их так как показано на рис. 2, с тем, чтобы создать недостающие соединения измерителя АЧХ и ФЧХ.

17. Подсоедините измеритель АЧХ и ФЧХ к созданным точкам соединения проводников, так как показано на рис. 2.

**Получение осциллограммы сигналов в последовательной *RC –*цепи.**

Для получения осциллограммы сигналов необходимо запустить процесс моделирования. Однако запуску процесса моделирования предшествует установка параметров схемы в соответствии с заданными исходными данными.

1. Установите курсор на функциональном генераторе и двойным щелчком кнопки мыши откройте диалоговое окно для задания параметров. С помощью клавиатуры или кнопок счетчика ↑, ↓ установите частоту сигнала *f* = *100 Гц* и амплитуду сигнала *U*ВХ = 10 В. По умолчанию форма выходного сигнала генератора будет синусоидальная.
2. Установите курсор на резисторе и двойным щелчком кнопки мыши откройте диалоговое окно для задания его параметров. Установите значение сопротивления резистора *R* = 2 Ком.
3. Установите курсор на конденсаторе и двойным щелчком кнопки мыши откройте диалоговое окно для задания его параметров. Установите значение емкости конденсатора *C* = 2 . Сохраните файл в папке с вашей **Фамилией** под именем **Zan\_3\_01**.
4. Запустите процесс моделирования щелчком по выключателю в правом верхнем углу экрана. На вход цепи поступит синусоидальное напряжение от генератора. Остановите процесс моделирования с помощью выключателя.
5. Дважды щелкните мышкой на значке осциллографа, а затем нажмите на кнопку **EХPAND**, чтобы увеличить масштаб изображения (если лицевая панель имеет уменьшенный размер). Щелкая по кнопкам счетчика установки длительности развертки **Time base**, установите значение чувствительности 2.00 ms/Div.
6. Измерьте на экране осциллографа амплитуды входного и выходного синусоидальных напряжений. Для этого установите красный (1) и синий (2) визиры, перемещая их при помощи мышки, в точках максимума входного и выходного напряжений и в индикаторных окошках под экраном снимите показания

VA1 - *напряжение в точке пересечения красного визира 1 и осциллограммы канала А (красного) –* левое индикаторное окошко*,*

VB2 - *напряжение в точке пересечения синего визира 2 и осциллограммы канала B (синего)* - правое индикаторное окошко*.*

1. По результатам измерений определите экспериментальную величину коэффициента усиления как отношение амплитуды выходного напряжения к входному. Занесите результаты измерений в Отчет.
2. Измерьте на экране осциллографа разность фаз между синусоидами. Для этого установите красный (1) и синий (2) визиры так как показано на рис. 5

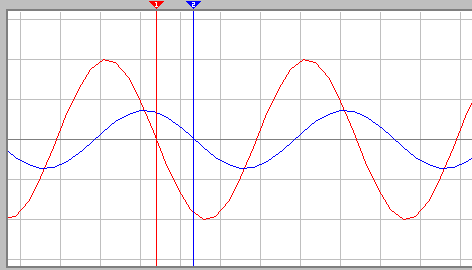


Рис. 5.

* + снимите показания Т2 – Т1 =
  + определите разность фаз в град по формуле

,

где =0,01 с

1. Занесите результаты измерений в Отчет.

**Получение амплитудно – частотной характеристики**

1. Закройте изображение осциллографа и откройте изображение Боде – Плоттера, щелкнув два раза мышкой по его пиктограмме. Переведите Боде – Плоттер в режим построения АЧХ, кнопка **Magnitude** должна быть утоплена.
2. При помощи стрелок на панели Боде – Плоттера

****

перемещайте визирную линию на экране и наблюдайте в соседних окнах величину коэффициента усиления по напряжению KU в зависимости от частоты сигнала.

1. Установите визирную линию на частоте равной 100 Гц. Снимите показания модуля АЧХ *K*(ω), выраженного в децибелах *W*(ω)=20*lgK*(ω). Занесите результаты измерений в Отчет.

**Получение фазо – частотной характеристики**

1. Переведите Боде – Плоттер в режим построения ФЧХ, нажав кнопку **Phase**.

Установите границу изменения фазы по вертикали – от – 180˚ до + 0˚.

Посмотрите ФЧХ на экране Боде – Плоттера. Снимите показания на частоте равной 100 Гц. При помощи стрелок на панели Боде – Плоттера перемещайте визирную линию на экране и наблюдайте в соседних окнах величину сдвига фазы между входным и выходным напряжениями в зависимости от частоты сигнала.

1. Определите значение граничной частоты *f*ГР=1/2π*Т* : модуль АЧХ уменьшается в  раз по сравнению с его максимальным значением, а угол фазового сдвига между входным и выходным сигналами составляет минус 45°. Вычислите значение постоянной времени цепи *Т*. Занесите результаты в Отчет.

**II.** **Самостоятельная работа.**

Рекомендуемое время

**80 минут**

**Задание №1.** Исследование частотных характеристик последовательных *RL* – цепей.

* 1. Создать схему исследования *RL* – цепи, изображенной на рис. 6.

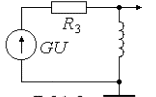


Рис. 6.

**Исходные данные:**

Параметры источника входных сигналов:

- форма сигналов – синусоидальная;

- амплитуда колебаний – 10 В;

- частота колебаний – 50 Гц.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *R,* ом | 10 | 10 | 20 | 20 | 15 |
| *L,* mH | 100 | 200 | 200 | 150 | 100 |

**Примечание:** Для удаления элемента, провода из схемы необходимо выделить его и нажать кнопку **Delete** на клавиатуре или щелкнуть по изображению ножниц на панели функций (удаление с сохранением в буфере обмена как и при нажатии комбинации клавиш **Ctrl+X**).

* 1. Сохранить файл в папке с вашей **Фамилией** под именем **Zan\_3\_02**.
  2. Получить осциллограмму сигналов в последовательной *RL* – цепи. Определить экспериментальную величину коэффициента усиления как отношение амплитуды выходного напряжения к входному. Занесите результаты измерений в Отчет.
  3. Получить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики *RL* – цепи.

**Примечание:** Установите границу изменения фазы по вертикали – от 0˚ до + 90˚ измерителя АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттера).

* 1. Определить значение граничной частоты *f*ГР=1/2π*Т* . Вычислите значение постоянной времени цепи *Т*. Занесите результаты в Отчет.

Запишите в отчет значения пороговых напряжений, измеренных по вольтметру и по осциллограмме.

**Задание №2.** Исследование частотных характеристик *RL* – цепей.

1. Создать схему исследования цепи, изображенной на рис. 7.

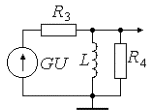


Рис. 7.

**Исходные данные:**

Параметры источника входных сигналов:

- форма сигналов – синусоидальная;

- амплитуда колебаний – 10 В;

- частота колебаний – 50 Гц.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *R3 ,* ом | 10 | 10 | 20 | 15 | 15 |
| *R4 ,* ом | 10 | 10 | 20 | 15 | 15 |
| *L,* mH | 100 | 200 | 200 | 150 | 200 |

1. Сохранить файл в папке с вашей **Фамилией** под именем **Zan\_3\_03**.
2. Получить осциллограмму сигналов в последовательной *RL* – цепи. Определить экспериментальную величину коэффициента усиления как отношение амплитуды выходного напряжения к входному. Занесите результаты измерений в Отчет.
3. Получить амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики *RL* – цепи.

**Примечание:** Установите границу изменения фазы по вертикали – от 0˚ до + 90˚ измерителя АЧХ и ФЧХ (Боде – Плоттера).

1. Определить значение граничной частоты *f*ГР=1/2π*Т*. Вычислите значение постоянной времени цепи *Т*. Занесите результаты в Отчет.

Покажите результаты работы преподавателю.