

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## «Исследование элементов электрических цепей постоянного тока»

### Цель работы:

1. Освоить методику применения системы схемотехнического моделирования Electronics Workbench для исследования электрических цепей.
2. Освоить методику измерения токов, напряжений и сопротивлений в электрических цепях.
3. Ознакомиться с методикой снятия вольтамперных характеристик пассивных и активных элементов электрических цепей.

**Продолжительность занятия:** 4 часа.

### 1 Основные сведения о программе Electronics Workbench

Electronics Workbench (EWB) позволяет собирать и исследовать аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной степени сложности.

Исследуемая схема собирается на **рабочем поле** при одновременном использовании **мыши** и **клавиатуры**. Применение в работе только клавиатуры невозможно. При построении и редактировании схем выполняются следующие **операции**:

- выбор компонента из библиотеки компонентов;
- выделение объекта;
- перемещение объекта;
- копирование объектов;
- удаление объектов;
- соединение компонентов схемы проводниками;
- установка значений компонентов;
- подключение приборов.

Если схема не помещается на экране монитора, любой её участок можно просмотреть при помощи линеек прокрутки, расположенных справа и под рабочим полем.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### «Исследование метода наложения»

#### Цель работы:

1. Исследовать возможность использования метода наложения для расчета электрических цепей.

**Продолжительность занятия:** 2 часа.

#### 1 Краткие сведения из теории

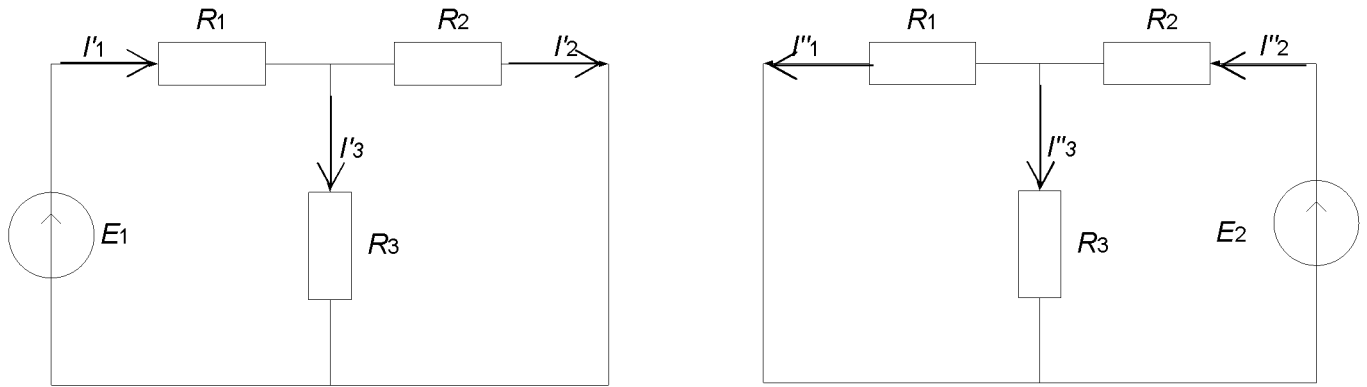
Метод наложения (суперпозиции), применяемый для расчета электрических цепей, основан на том, что любой источник ЭДС, находящийся в одной из ветвей сложной электрической цепи, вызывает ток в каждой ветви этой цепи. Вследствие этого ток в любой ветви электрической цепи численно равен алгебраической сумме токов, вызываемых в этой ветви каждым из источников ЭДС в отдельности.

Сущность метода состоит в том, что любая сложная электрическая цепь, содержащая  $n$  источников ЭДС, заменяется  $n$  цепями, каждая из которых содержит только один источник ЭДС в  $i$ -ой ветви ( $i = \overline{1, n}$ ), а остальные источники исключаются с заменой их на сопротивления, численно равные внутренним сопротивлениям этих источников. Для каждой полученной электрической цепи находят токи во всех ветвях одним из способов, после чего определяют токи в ветвях исходной электрической цепи, как алгебраическую сумму токов в одноименных ветвях цепей, содержащих по одному источнику ЭДС.

Рассмотрим пример использования метода наложения для расчета токов в электрической цепи, представленной на рисунке 1.

Рисунок 1

Получим на основе исходной схемы (рисунок 1) две более простые



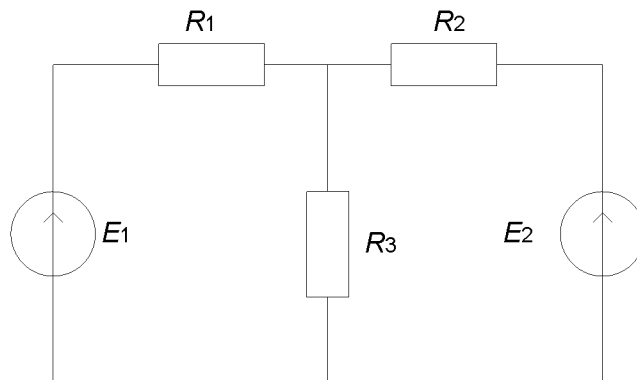
схемы (рисунок 2, а, б) и найдем токи в ветвях каждой из этих схем:

а

б

Рисунок 2

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{E_1 (R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$



$$I'_2 = I'_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} = \frac{E_1 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_3' = I_1' \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{E_1 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_2'' = \frac{E_2}{R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} = \frac{E_2 (R_1 + R_3)}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_1'' = I_2'' \frac{R_3}{R_1 + R_3} = \frac{E_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_3'' = I_2'' \frac{R_2}{R_1 + R_3} = \frac{E_2 R_2}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}.$$

Токи в ветвях схемы, приведенной на рисунке 1, при действии обоих источников ЭДС будут равны:

$$I_1 = I_1' - I_1'' = \frac{E_1 (R_2 + R_3) - E_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_2 = I_2'' - I_2' = \frac{E_2 (R_1 + R_3) - E_1 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3};$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}.$$

## 2 Задание на проведение исследований

2.1. Собрать схему электрической цепи в соответствии с вариантом задания.

2.2. В каждую ветвь схемы включить амперметр. В ветвях, содержащих источники ЭДС, согласовать полярность источника и амперметра.

2.3. Включить моделирование. Занести в отчет значения токов в каждой ветви схемы (показания амперметров).

2.4. Поочередно исключая из схемы по два источника ЭДС и оставляя один, трижды повторить измерения (не меняя полярность амперметров). Результаты измерений занести в отчет.

2.5. Найти алгебраическую сумму одноименных токов, полученных в результате трех последних измерений. Полученные результаты сравнить с результатами измерений по п. 2.3.

Сформулировать выводы о возможности применения метода наложения для расчета электрических цепей.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

№№ п/п	E1, В	E2, В	E3, В	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	R5, Ом	R6, Ом	Схема (рис.)
1	5	10	8	10	16	5	10	9	11	1
2	7	12	9	20	17	7	11	8	13	2
3	8	14	7	30	18	8	12	7	15	3
4	10	16	6	20	19	10	13	6	16	4
5	12	6	5	10	20	12	14	5	16	5
6	15	4	4	12	21	15	15	4	14	6
7	20	8	3	13	22	20	16	3	13	7
8	12	9	10	14	23	12	17	2	12	8
9	11	3	11	12	24	11	18	3	11	9
10	5	15	12	15	25	5	19	4	18	10

11	7	20	13	20	26	7	20	5	17	11
12	8	17	14	30	27	8	10	6	16	12
13	9	13	15	20	28	9	10	7	15	13
14	6	12	16	10	29	6	10	8	14	14
15	4	8	17	15	30	4	20	9	14	15
16	9	4	18	12	15	9	20	10	15	1
17	20	6	7	13	14	8	20	9	16	2
18	14	5	8	14	13	7	15	8	17	3
19	6	3	9	15	12	6	15	7	19	4
20	13	15	4	16	10	20	15	6	18	5

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### «Исследование резонансных явлений в линейных электрических цепях»

#### Цель работы:

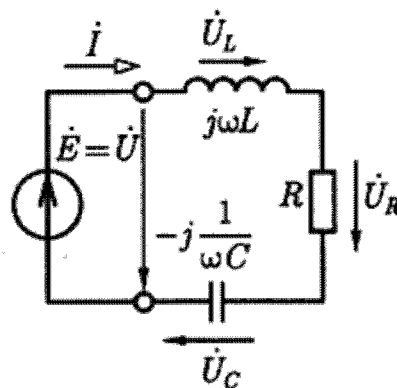
1. Исследование условий возникновения и особенностей проявления резонанса в электрических цепях.
2. Исследование влияния сопротивления потерь в колебательном контуре на ширину резонансной характеристики.

Продолжительность занятия: 4 часа.

#### 1 Краткие сведения из теории

*Резонансом* называется режим электрической цепи, при котором собственная частота колебаний цепи совпадает с частотой вынужденных (внешних) колебаний. Различают два вида резонанса: **резонанс напряжений** и **резонанс токов**.

**Резонанс напряжений** возникает в цепи, когда ее эквивалентное сопротивление относительно зажимов источника приобретает чисто резистивный характер, при этом реактивные составляющие входного сопротивления взаимно компенсируются. В наиболее простом случае последовательного соединения элементов  $R$ ,  $L$  и  $C$  (рисунок 1) входное сопротивление двухполюсника (относительно зажимов источника ЭДС)



равно

$$\dot{Z}_{вх} = R + j(\omega L - 1/\omega C) = R + j(X_L - X_C),$$

а его модуль равен

$$Z_{вх} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}.$$

### Рисунок 1

Резонанс возникает при условии, когда  $\omega L - \frac{1}{\omega C} = X_L - X_C = 0$ . При этом частота, определяемая из равенства  $\omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ , называется резонансной частотой колебательного контура.

Учитывая, что  $\omega = 2\pi f$ , можно записать

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

Параметр, определяемый из соотношения

$$\omega_{рез}L = \frac{1}{\omega_{рез}C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho,$$

называется *характеристическим сопротивлением контура*.

При резонансе напряжений модуль комплексного входного сопротивления двухполюсника (резонансного контура)  $Z_{вх} = R$ , а аргумент



комплексного сопротивления  $\varphi = \arctg \frac{(X_L - X_C)}{R} = 0$ . Ток в цепи в этом случае достигает наибольшего значения  $I_{рез} = \frac{U}{R}$ , где  $U$  – действующее значение приложенного к контуру напряжения. А поскольку  $X_L = X_C$ , то

$$U_{Lрез} = U_{Cрез} = \omega_{рез} L I_{рез} = I_{рез} / \omega_{рез} C.$$

При резонансе напряжения на емкостном и индуктивном элементах могут (и во много раз) превысить напряжение питания, если выполняется условие

$$\omega_{рез} L = \frac{1}{\omega_{рез} C} > R.$$

Добротность контура  $Q$  может быть определена как

$$Q = U_{Lрез} / U = U_{Cрез} / U = \rho / R,$$

а, следовательно,  $Q$  можно определить опытным путем, измеряя  $U_{Cрез}$  или  $U_{Lрез}$ . Исследование частотных характеристик высокодобротных цепей показывает, что при приближении частоты к резонансной напряжения на реактивных элементах резко нарастают. Поэтому такое явление и получило название **резонанса напряжения**.

Напряжения на индуктивности и емкости достигают максимума на частотах, несколько отличающихся от резонансной. Этот сдвиг зависит от добротности контура и при высокой добротности невелик. Если добротность  $Q > 3$ , можно условно считать, что максимумы  $U_C$  и  $U_L$  совпадают с частотой резонанса.

Входное сопротивление контура может быть записано в виде

$$\dot{Z}_{вх} = R \sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2} e^{j \arctg Q \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)},$$

что дает возможность построить амплитудно-частотную (АЧХ) и фазо-частотную (ФЧХ) характеристики для  $Z_{вх}$  (рисунок 2).

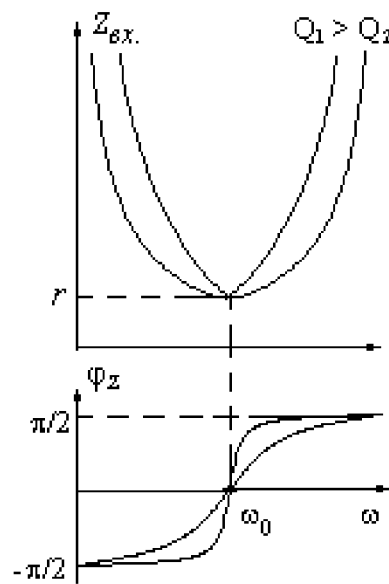
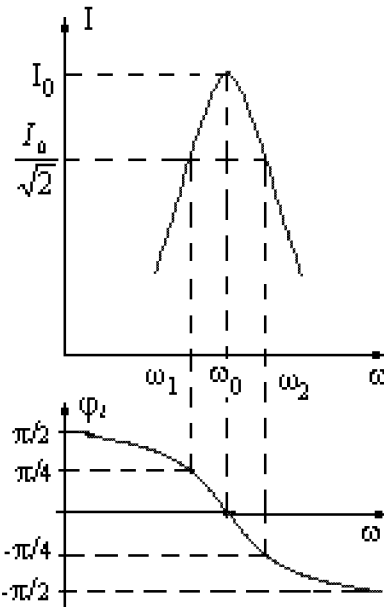


Рисунок 2

Характер АЧХ и ФЧХ для тока в контуре  $I = \frac{U}{Z_{вх}}$  показан на рисунке 3.

Одним из основных параметров АЧХ колебательного контура является **полоса пропускания** ( $2\Delta f = \Pi = f_2 - f_1$ ) – область частот, в пределах которой ток в контуре уменьшается не более чем в  $\sqrt{2}$  раз (то есть  $\frac{I}{I_{рез}} \geq \frac{1}{\sqrt{2}}$ ). Из соотношения  $\frac{R}{Z} = \frac{I}{I_{рез}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}}$  следует, что на границах



полосы пропускания справедливо равенство  $R = \pm X$ . При таких соотношениях  $R$  и  $X$   $\varphi = \pm \frac{\pi}{4}$ . Это дает возможность определить частоты на границе полосы пропускания ( $f_1, f_2$ ) по ФЧХ (рисунок 3).

Рисунок 3

Справедливо соотношение

$$\frac{I}{I_{рез}} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta\omega Q}{\omega_0}\right)^2}},$$

где величина  $a = \frac{2\Delta\omega Q}{\omega_0}$ , называемая *обобщенной расстройкой контура*, на границах полосы пропускания принимает значение, равное *единице*. С учетом этого граничные частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$  могут быть найдены следующим образом:

$$\omega_1 = \omega_{рез} - \Delta\omega,$$

$$\omega_2 = \omega_{рез} + \Delta\omega.$$

Соотношение  $\frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} = \frac{1}{Q} = d$  определяет *затухание* в контуре.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### «Исследование частотных характеристик пассивных четырехполюсников»

#### Цель работы:

1. Исследование зависимости коэффициентов передачи напряжения простейших пассивных четырехполюсников от частоты.
2. Исследование фазочастотных характеристик простейших пассивных четырехполюсников.

Продолжительность занятия: 4 часа.

#### 1 Краткие сведения из теории

В общем случае под *частотной характеристикой* понимают зависимость какого-либо параметра элемента или электрической схемы (тока, напряжения, сопротивления, коэффициента передачи тока, напряжения и т. д.) от частоты. В частности,

*амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) четырехполюсника называется зависимость модуля комплексного коэффициента передачи напряжения ( $K(\omega)$ ) от частоты;*

*фазочастотной характеристикой (ФЧХ) четырехполюсника называется зависимость аргумента ( $\varphi(\omega)$ ) комплексного коэффициента передачи напряжения (разности фаз выходного и входного напряжений) от частоты.*

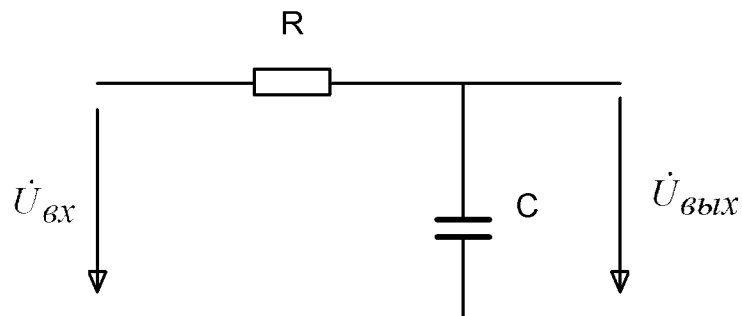
Комплексный коэффициент передачи напряжения  $K(j\omega)$  четырехполюсника (рисунок 1) может быть представлен следующим образом

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\dot{a}\dot{n}\dot{o}}}{\dot{U}_{\dot{a}\dot{o}}} = K(\omega)e^{j\varphi(\omega)},$$

где  $K(\omega) = \sqrt{\{\text{Re}[K(j\omega)]\}^2 + \{\text{Im}[K(j\omega)]\}^2}$ ,

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}[K(j\omega)]}{\text{Re}[K(j\omega)]}.$$

Рисунок 1

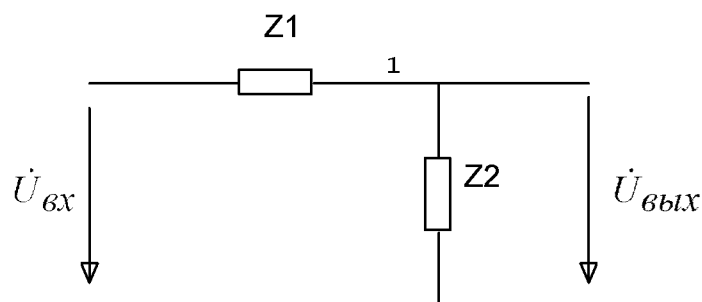


Четырехполюсник, изображенный на рисунке 1, представляет собой делитель напряжения, поэтому для комплексного коэффициента передачи напряжения можно записать

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad (1)$$

где сопротивления элементов  $Z_1$  и  $Z_2$  в общем случае носят комплексный характер.

Рассмотрим в качестве примера четырехполюсник (интегрирующую



цепь), представленный на рисунке 2.

## Рисунок 2

В рассматриваемой схеме элемент  $Z_1 = R$  является чисто активным, а элемент  $Z_2 = \frac{1}{j\omega C}$  – чисто реактивным и носит емкостный характер.

В соответствии с выражением (1), комплексный коэффициент передачи напряжения четырехполюсника запишем в виде

$$K(j\omega) = \frac{\dot{U}_{\text{вых}}}{\dot{U}_{\text{вх}}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}, \quad (2)$$

где  $\tau = RC$  – постоянная времени цепи.

Преобразуем выражение (2) к виду, позволяющему выделить действительную и мнимую части. Для этого помножим числитель и знаменатель на выражение, комплексно сопряженное знаменателю:

$$K(j\omega) = \frac{1 - j\omega\tau}{(1 + j\omega\tau)(1 - j\omega\tau)} = \frac{1 - j\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} = \frac{1}{1 + \omega^2\tau^2} - j \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2}.$$

Тогда выражение для модуля комплексного коэффициента передачи напряжения будет иметь вид

$$K(\omega) = \sqrt{\frac{1}{(1 + \omega^2\tau^2)^2} + \frac{\omega^2\tau^2}{(1 + \omega^2\tau^2)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}} \quad (3)$$

а для аргумента – соответственно вид

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}\left[-\frac{\omega\tau(1+\omega^2\tau^2)}{(1+\omega^2\tau^2)}\right] = \operatorname{arctg}(-\omega\tau). \quad (4)$$

Используя выражения (3) и (4) можно построить, соответственно, амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики четырехполюсника, представленного на рисунке 2.

Ниже представлен фрагмент программы построения АЧХ и ФЧХ в математическом пакете MathCAD (рисунок 3).

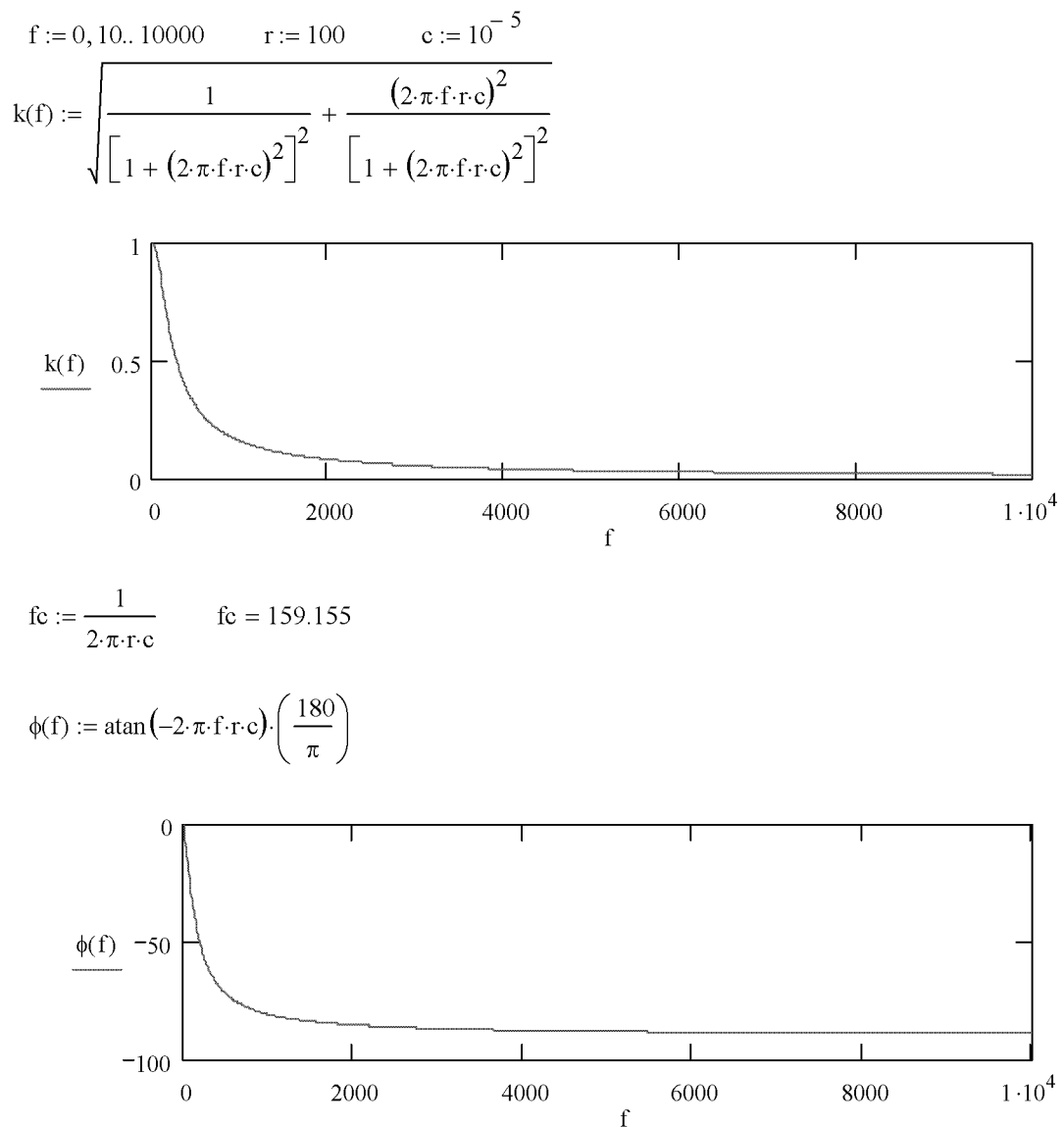


Рисунок 3



Частота, на которой модуль коэффициента передачи напряжения уменьшается в  $\sqrt{2}$  раз относительно своего максимального значения, называется *частотой среза* (или *граничной частотой*). Частота среза тесно связана с постоянной времени цепи и может быть определена из выражения

$$\omega_{cp} = \frac{1}{\tau}, \quad f_{cp} = \frac{1}{2\pi\tau}.$$

На граничной частоте фазовый сдвиг выходного напряжения относительно входного составляет  $-45^\circ$  по сравнению с фазовым сдвигом на частоте  $f = 0$ .

АЧХ рассмотренного четырехполюсника соответствует АЧХ фильтра низких частот (ФНЧ).

## **2 Задание на проведение исследований**

2.1 Исследовать АЧХ простейших четырехполюсников.

2.2 Исследовать ФЧХ простейших четырехполюсников.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### «Исследование переходных процессов в линейных электрических цепях»

#### Цель работы:

1. Исследовать особенности протекания переходных процессов в электрических цепях, содержащих накопители энергии.
2. Получить представление об условиях существования установившихся режимов в цепи и их связи с вынужденным режимом.

**Продолжительность занятия:** 2 часа.

#### 1 Краткие сведения из теории

Электрические цепи, содержащие только источники ЭДС и резистивные элементы в качестве потребителей энергии, не накапливают электрической энергии. В таких цепях токи в ветвях и напряжения на участках цепи в текущий момент времени не зависят от предшествующего состояния цепи и определяются схемой соединения и параметрами резистивных элементов и ЭДС на данный момент.

По-иному ведут себя электрические цепи, содержащие реактивные элементы – индуктивности и емкости. Реакция таких электрических цепей на внешнее воздействие (например, подключение или отключение источников ЭДС, изменение схемы соединения элементов и др.) зависит не только от характера этого воздействия, но и от запасов энергии на реактивных элементах в момент возникновения внешнего воздействия.

Режим электрической цепи, при котором токи в ее ветвях (их амплитудные или действующие значения) и напряжения на отдельных ее участках (для цепей переменного тока – их амплитудные или действующие значения) являются неизменными, называется **установившимся режимом**. Процесс, возникающий в электрической цепи при переходе от одного установившегося режима к другому, называется **переходным процессом**.

Переходные процессы связаны с изменением среднего значения энергии, запасенной в реактивных элементах.

Переходные процессы в линейных электрических цепях описываются линейными дифференциальными уравнениями. Полное решение этих уравнений обычно рассматривают как сумму **общего** и **частного** решений. Частное решение не зависит от запасов энергии на реактивных элементах и определяется внешними источниками, а также конфигурацией и параметрами элементов цепи. Оно характеризует процессы, протекающие в электрической цепи в установившемся режиме. Токи и напряжения установившегося режима называют **установившимися**.

Общее решение дифференциальных уравнений в основном определяется состоянием реактивных элементов и описывает процессы в цепи без источников ЭДС. Эти процессы называют **свободными процессами**, а токи и напряжения при свободных процессах – **свободными токами и напряжениями**.

Таким образом, во время переходного процесса токи и напряжения могут быть представлены выражениями:

$$i = i_y + i_{св},$$

$$u = u_y + u_{св}.$$

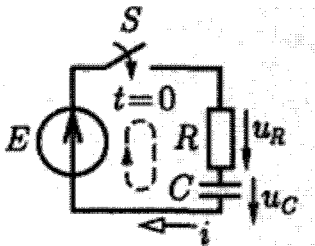
Рассмотрим в качестве примера анализ переходных процессов в некоторых электрических цепях. Проанализируем процесс заряда емкостного элемента от источника постоянной ЭДС через резистивный элемент (рисунок 1).

Рисунок 1

Уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа, имеет вид

$$u_R + u_C = Ri + u_C = RC \frac{du_C}{dt} + u_C = E.$$

Общее решение уравнения представляет собой сумму двух



составляющих:

$$u_C = u_{Cу} + u_{Cсв}.$$

Первая составляющая соответствует установившемуся режиму

$$u_{Cу} = E,$$

так как зарядка емкостного элемента закончится, когда напряжение  $u_C$  будет равно напряжению источника ЭДС.

Вторая составляющая соответствует свободному процессу, т. е. решению однородного дифференциального уравнения первого порядка

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0$$

и равна

Свободное напряжение на емкости

$$u_{C\text{св}} = Ae^{-t/RC} = Ae^{-t/\tau},$$

где  $\tau = RC$  – называется **постоянной времени цепи** и измеряется в секундах.

Общее решение дифференциального уравнения примет вид:

$$u_C = E + Ae^{-t/\tau}.$$

Так как до замыкания ключа конденсатор не был заряжен, т. е. при  $t = 0_-$  напряжение  $u_C(0_-) = 0$ , то  $A = -E$  и, следовательно,

$$u_C = E(1 - e^{-t/\tau}).$$

Для тока получим

$$i_C = C du_C / dt = (E/R) e^{-t/\tau},$$

тогда напряжение на резистивном элементе

$$u_R = Ri = E e^{-t/\tau}.$$

Вид зависимостей тока и напряжений на элементах цепи от времени показан на рисунке 2. В сущности, процесс зарядки конденсатора окончательно заканчивается при  $t = \infty$ . Но в большинстве случаев его можно

считать законченным через интервал времени, равный  $3\tau$ , когда напряжение на конденсаторе достигнет значения  $0,95E$ .

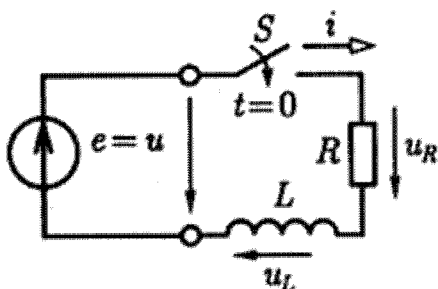
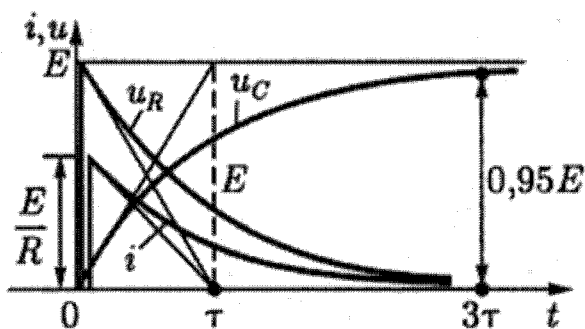


Рисунок 2

Переходные процессы имеют место и в цепях с источниками синусоидальных ЭДС. Проанализируем процессы, протекающие в электрической цепи, содержащей резистивный и индуктивный элементы, при подключении ее к источнику синусоидальной ЭДС.

В такой цепи (рисунок 3) с источником синусоидальной ЭДС  $e = u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$  в установившемся режиме синусоидальный ток равен



$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_u - \varphi),$$

где  $I_m = U_m / \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$  – амплитуда тока;  $\varphi = \arctg(\omega L/R)$  – аргумент комплексного сопротивления цепи;  $\psi_u$  – начальная фаза напряжения источника ЭДС.

Рисунок 3

Неоднородное дифференциальное уравнение переходного процесса, возникающего после замыкания ключа, имеет вид

$$u_L + u_C = L di/dt + Ri.$$

Его общее решение равно сумме свободной и установившейся составляющих тока:

$$i = i_y + i_{св} = I_m \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + A e^{-\frac{R}{L}t}.$$

На основании закона коммутации для индуктивного элемента в момент времени  $t = 0$  справедливо соотношение

$$i(0_-) = 0 = i(0_+) = I_m \sin(\psi_u - \varphi) + A,$$

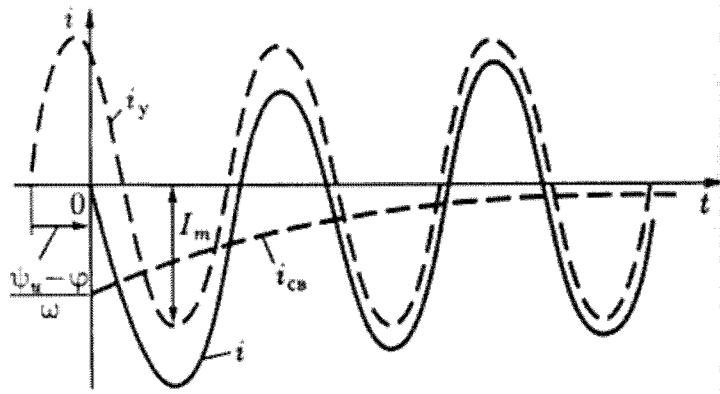
откуда определяем постоянную интегрирования

$$A = -I_m \sin(\psi_u - \varphi).$$

Получим окончательное выражение для тока

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) - I_m \sin(\psi_u - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

где  $\tau = L/R$  – постоянная времени цепи.



Таким образом, во время переходного процесса ток в цепи состоит из синусоидальной составляющей и свободной составляющей, убывающей экспоненциально (рисунок 4). Практически через интервал времени  $3\tau$  после замыкания ключа свободной составляющей можно пренебречь.

Рисунок 4

Если момент коммутации ( $t = 0$ ) выбран так, что начальная фаза напряжения источника  $\psi_u = \varphi$ , то свободная составляющая тока равна нулю, т. е. переходного процесса нет и в цепи сразу устанавливается синусоидальный ток.

Если начальная фаза напряжения источника  $\psi_u = \varphi + \pi/2$  то интенсивность переходного процесса будет наибольшая.

## 2 Задание на проведение исследований

2.1 Для схемы электрической цепи, приведенной на рисунке 1, выполнить расчет постоянной времени  $\tau$  и напряжения на конденсаторе  $U_c$  через интервал времени  $t = 3\tau$ . Принять  $E = 10$  В.

2.2 Собрать схему лабораторной установки (рисунок 5) и задать параметры  $R$  и  $C$  в соответствии с вариантом исходных данных (таблица 2). Установить параметры переключателя  $S$ :  $T_{ON} = 0.05$  с,  $T_{OFF} = 0.06$  с.



## Рисунок 5

2.3 Запустить моделирование. Определить время нарастания ( $\tau_{фр}$ ) и время спада ( $\tau_{ср}$ ) напряжения на конденсаторе  $C$ , а также напряжение  $U_{с max}$ . Занести полученные результаты в таблицу 1.

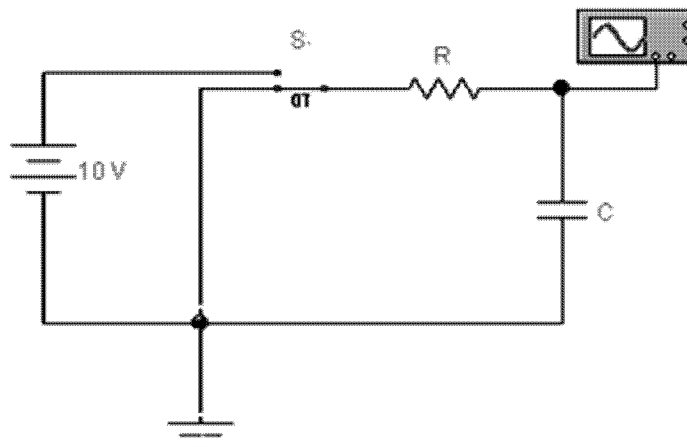
Таблица 1 – Результаты исследований

$\tau_{и}$ , мс	$\tau_{фр}$ , мс	$\tau_{ср}$ , мс	$U_{с max}$ , В

2.4 Изменяя длительность импульса (с помощью переключателя  $S$ ) в диапазоне от 10 мс до  $10\tau$  мс, определять значения  $\tau_{фр}$ ,  $\tau_{ср}$ ,  $U_{с max}$ . Результаты заносить в таблицу 1.

Сравнить значения  $U_c$  при  $t = 3\tau$ , полученные расчетным и экспериментальным способом.

Сформулировать выводы о зависимости параметров  $\tau_{фр}$ ,  $\tau_{ср}$ ,  $U_{с max}$  от



длительности входного сигнала.

2.5 При  $\tau_{и} = 10\tau$  провести исследование зависимости скорости нарастания напряжения на конденсаторе от постоянной времени цепи (изменяя поочередно сопротивление  $R = 0.5R$ ;  $2R$  и емкость  $C = 0.5C$ ;  $2C$ ). Для

двух-трех вариантов измерений привести графики зависимостей, совмещенные на одной координатной плоскости.

Сформулировать выводы.

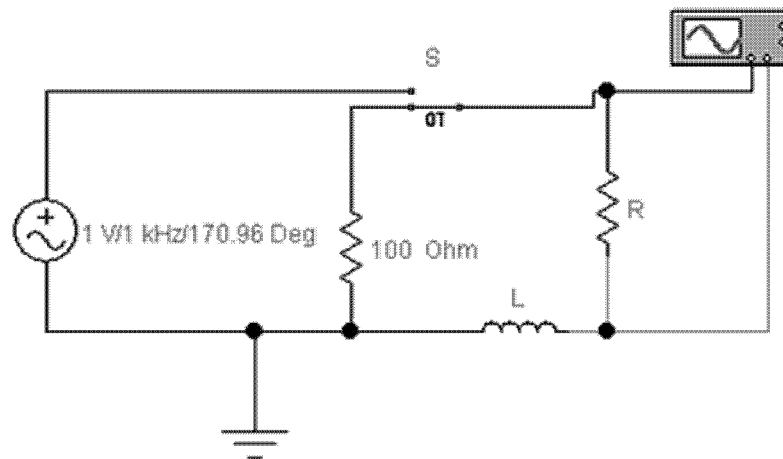
2.6 Для схемы электрической цепи, приведенной на рисунке 3, выполнить расчет постоянной времени  $\tau$  и аргумента комплексного сопротивления  $\varphi$  (в градусах).

2.7 Собрать схему лабораторной установки (рисунок 6) и задать параметры  $R$  и  $L$  в соответствии с вариантом исходных данных (таблица 2). Установить параметры переключателя  $S$ :  $T_{ON} = 0.1$  с,  $T_{OFF} = 0.11$  с.

Рисунок 6

2.8 Провести исследование переходных процессов в цепи при начальной фазе напряжения источника ЭДС, равной:  $\psi_u = \varphi$ ;  $\psi_u = \varphi + \pi/4$ ;  $\psi_u = \varphi + \pi/2$ . Значение начальной фазы устанавливать в градусах.

Занести в отчет график зависимости  $u_L = f(t)$  при наибольшей



интенсивности переходного процесса.

Сравнить длительность переходного процесса в цепи с периодом колебаний напряжения источника ЭДС.

Сформулировать выводы о полученных результатах исследований.

Таблица 2 – Исходные данные для расчетов

№ п/п	R1, Ом	R2, кОм	L, мГн	C, мкФ	№ п/п	R1, Ом	R2, кОм	L, мГн	C, мкФ
1	90	10,5	105	0,8	16	105	9,0	90	0,8
2	91	10,6	106	0,9	17	106	9,1	91	0,9
3	92	10,7	107	1,0	18	107	9,2	92	1,0
4	93	10,8	108	1,1	19	108	9,3	93	1,1
5	94	10,9	109	1,2	20	109	9,4	94	1,2
6	95	11,0	110	0,8	21	110	9,5	95	0,8
7	96	8,5	85	0,9	22	85	9,6	96	0,9
8	97	8,6	86	1,0	23	86	9,7	97	1,0
9	98	8,7	87	1,1	24	87	9,8	98	1,1
10	99	8,8	88	1,2	25	88	9,9	99	1,2
11	100	8,9	89	0,8	26	89	10,0	100	0,8
12	101	11,1	111	0,9	27	111	10,1	101	0,9
13	102	11,2	112	1,0	28	112	10,2	102	1,0
14	103	11,3	113	1,1	29	113	10,3	103	1,1
15	104	11,4	114	1,2	30	114	10,4	104	1,2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### «Исследование спектров периодических и аperiodических сигналов»

#### Цель работы:

1. Получить представление о спектральном составе периодических и непериодических сигналов.
2. Исследовать зависимость между временными и частотными параметрами сигналов.

Продолжительность занятия: 4 часа.

#### 1 Краткие сведения из теории

Все сигналы, представляющие собой электрические колебания различной формы, можно разделить на **периодические** и **непериодические**. *Периодическим называется сигнал, значения которого повторяются через определенные равные промежутки времени, называемые периодом повторения сигнала ( $T$ ), или просто периодом.* Для непериодического сигнала это условие не выполняется.

Простейшим периодическим сигналом является **гармоническое** колебание (рисунок 1, а):

$$u(t) = U_0 \sin(\omega t),$$

где  $U_0$ ,  $\omega$  - соответственно, амплитуда и угловая частота колебания, равная  $\omega = 2\pi f = 2\pi / T$ ;

$T$  – период колебания.

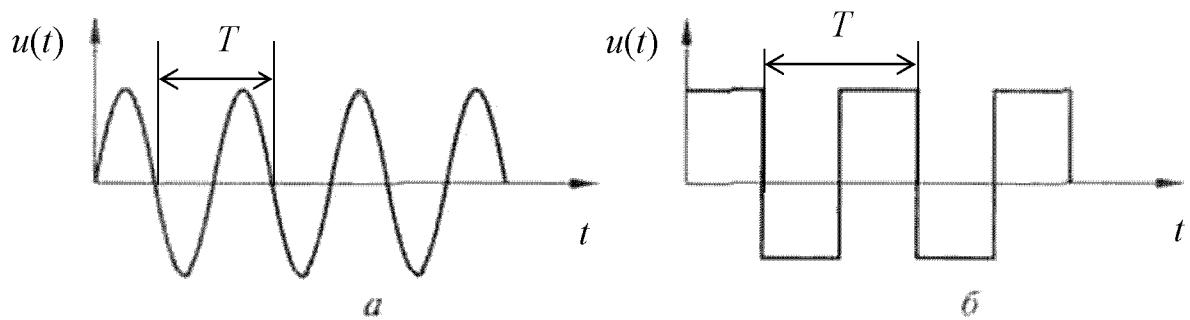


Рисунок 1 – Простейшие периодические сигналы

Другим примером периодического сигнала является последовательность прямоугольных импульсов (рисунок 1, б). Можно показать, что такая последовательность импульсов является результатом сложения бесконечного числа гармонических колебаний с разными амплитудами, частотами и начальными фазами.

На рисунке 2 показан процесс синтеза последовательности прямоугольных импульсов с использованием гармонических колебаний. В качестве исходной выбрана синусоида, у которой период колебаний совпадает с периодом  $T$  прямоугольных импульсов (рисунок 2, а, б):