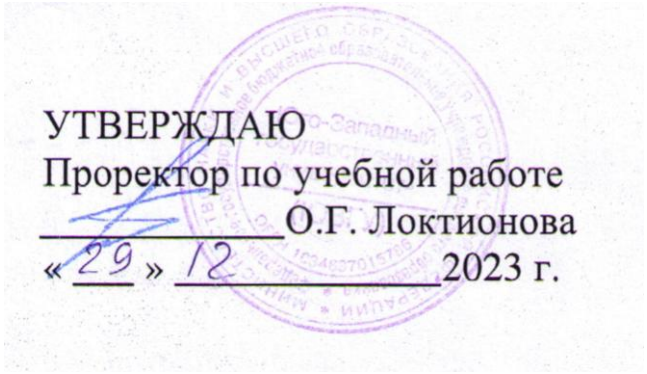
МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра инфраструктурных энергетических систем



ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по теоретическим основам электротехники

Курск 2023

УДК 621.3 (076.1)

Составители: А. С. Романченко, И. А. Башмакова

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *А .С. Чернышёв*

Переходные процессы : методические указания по выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов технических специальностей и направлений подготовки / Юго-Зап. гос. ун-т ; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. - Курск, 2023. - 9 с.: ил. 2, табл. 2. - Библиогр.: с. 9.

Методические указания содержат сведения по исследованию переходных процессов в простых электрических цепях постоянного тока, содержащих один или два накопителя энергии. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчета. Лабораторная работа относится к разделу переходных процессов в линейных электрических цепях, включая определение параметров переходного процесса экспериментальным и расчетным путем.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Теоретические основы электротехники».

Предназначены для студентов технических специальностей и направлений подготовки при проведении лабораторных занятий.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. . Уч.-изд.л. . Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является исследование переходных процессов в простейших электрических цепях с одним или двумя накопителями энергии разного типа.

Для этого экспериментально исследуются свойства и переходные режимы простых цепей, содержащих резистор, индуктивную катушку и конденсатор, при многократных включениях и выключениях источника постоянного напряжения. Проводятся опыты с вариантами соединений R-L, R-C и R-L-C. Соответствующие выводы получаются путём наблюдений с помощью осциллографа и в результате расчетов и обработки осциллограмм.

2. ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЯМ

2.1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику в разделе «Переходные процессы в линейных электрических цепях» параграфы, относящиеся к анализу переходных процессов в цепях первого и второго порядка и классическому методу расчета переходных процессов.

2.2. Освоить методику выполнения лабораторной работы по настоящим методическим указаниям.

2.3. Заготовить таблицу для экспериментальных данных.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Переходным процессом называют все изменения режима цепи, которые происходят после коммутации, т.е. включения или выключения источника питания или любого элемента в цепи, короткого замыкания и т.п. Эти процессы не могут протекать мгновенно, так как невозможны мгновенные изменения энергии, запасённой в электрических и магнитных полях цепи. Электрические поля сосредоточены в конденсаторах, а магнитные поля связаны, в основном, с индуктивными катушками. Тогда если обозначить момент коммутации, т.е. момент времени начала переходного процесса как t=0, а момент времени, бесконечно близкий к начальному, но до коммутации, обозначить как t=0-, то тогда для индуктивности и емкости получаем:

$$i_L(0) = i_L(0-), \quad (3.1)$$

$$u_C(0) = u_C(0-), \quad (3.2)$$

т.е.: I) ток в индуктивной катушке не может измениться мгновенно (первый закон коммутации), 2) напряжение на конденсаторе не может измениться мгновенно (второй закон коммутации).

С помощью законов коммутации находят значения токов и напряжений в начальный момент времени (начальные условия). Из законов коммутации следует, что если к моменту коммутации токи катушек и напряжения конденсаторов равны нулю, то в начальный момент идеальные индуктивные катушки ведут себя как разрыв цепи, а конденсаторы – как короткозамкнутые участки. Если до коммутации токи и напряжения были ненулевые, то для начального момента времени катушки представляют собой источники тока, а конденсаторы – источники ЭДС.

Основной целью теоретического анализа или экспериментального исследования переходных процессов является определение не одного или нескольких чисел, а функций времени в виде аналитических зависимостей или экспериментальных кривых, т.е. рассматриваются выражения для мгновенных значений токов и напряжений.

В основе методов расчёта переходных процессов лежат первый и второй законы Кирхгофа, справедливые для мгновенных значений, и закон Ома, который через мгновенные значения можно записать лишь для сопротивления *R*.

Ток или напряжение любого участка цепи в переходном процессе имеет две составляющие: принуждённую и свободную. Первая существует от начального момента всё время, пока действует «принуждающая сила» – ЭДС источника. Она зависит от источников энергии, структуры и параметров цепи, получающейся после коммутации, и определяется с использованием известных методов расчета цепей постоянного или переменного тока.

Свободная составляющая существует только в переходном процессе, и характер её зависит не от источников, а от структуры и параметров цепи и энергии, запасённой в цепи до коммутации. В общем виде она определяется выражением

$$x_{св} = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + ... + A_n e^{p_n t}, \qquad (3.3)$$

где p_1, … p_n − корни характеристического уравнения, составленного для цепи после коммутации (их число равно числу «накопителей энергии» – числу индуктивностей и емкостей в цепи после коммутации);

A_1, … A_n – постоянные интегрирования, рассчитываемые с использованием независимых и зависимых начальных условий.

В зависимости от вида корней характеристического уравнения переходной процесс может быть апериодическим или колебательным. В цепи с одним «накопителем энергии» (индуктивностью или емкостью) может быть только апериодический переходный процесс, длительность которого равна (4-5)τ, где τ – постоянная времени цепи.

Величина τ – промежуток времени, зависящий только от параметров цепи, в течение которого интенсивность процесса ослабляется в e раз. Для простейших *RL* и *RC* цепей постоянная времени определяется следующими выражениями: $\tau_L=L/R$, $\tau_C=RC$. Можно показать, что на графике величина τ_L или τ_C в масштабе времени равна подкасательной в любой точке кривой свободной составляющей тока или напряжения.

Например, на рисунке 1 подкасательная в точке A равна отрезку DF, и τ=DF•m_t, где m_t – масштаб по горизонтали (по оси времени) Точка F лежит на пересечении касательной и оси времени. Для более точного определения DF сначала следует найти отрезок CD = AD / e, а затем параллельно оси времени *t* провести прямую до пересечения с кривой $u_{св}(t)$ в точке B. Отрезок CB будет равен DF.

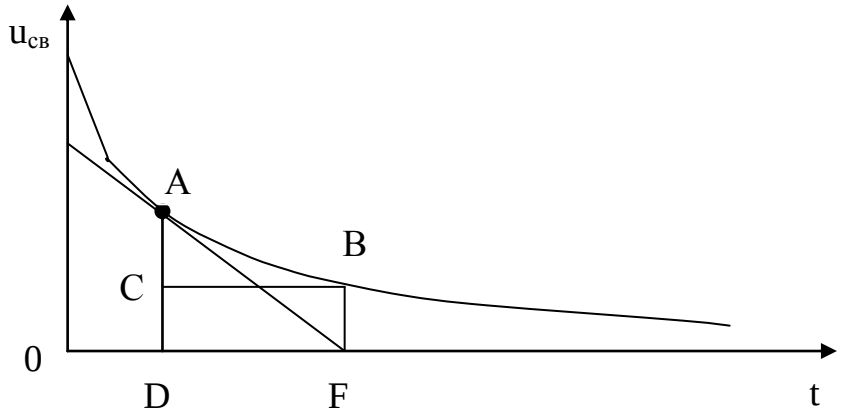


Рисунок 1. Графическое определение постоянной времени цепи

4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Рабочая цепь лабораторной установки (рисунок 2) включает в себя исследуемую цепь, два понижающих трансформатора, выпрямитель и реле. Измерения осуществляются электронно-лучевым осциллографом.

Исследуемую цепь в работе составляют магазин сопротивлений (типа Р32 и Р33), одна из секций катушки L1 стенда и батарея конденсаторов. Переходные процессы в исследуемой цепи вызываются

включением под действие постоянного напряжения и последующим замыканием зажимов цепи.

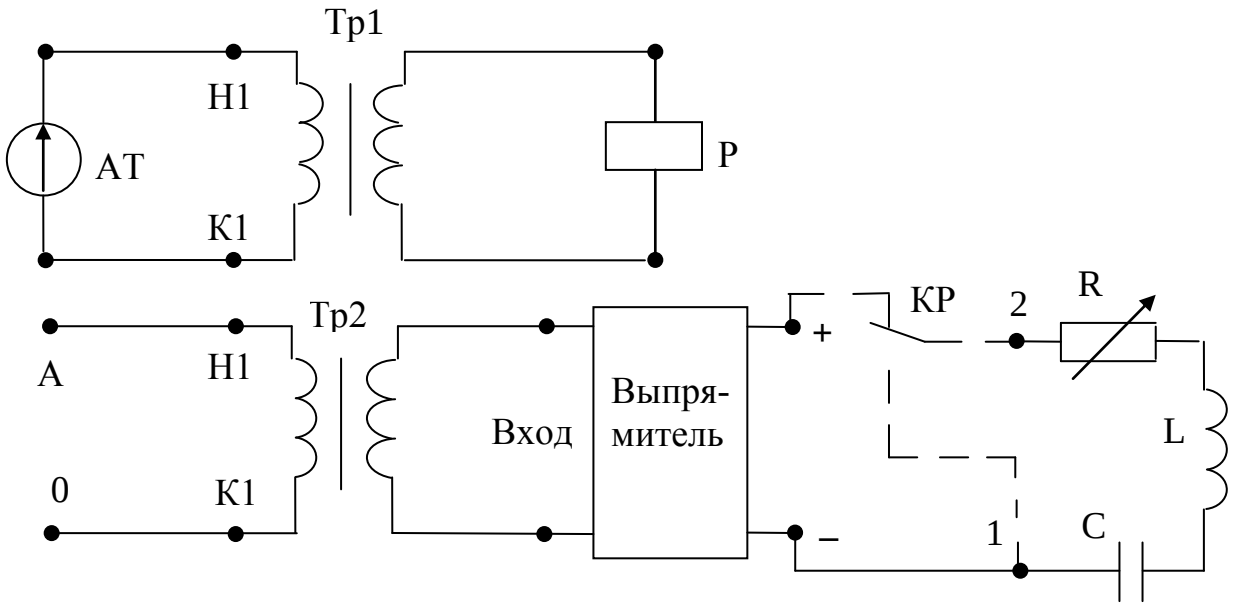


Рисунок 2. Рабочая цепь лабораторной установки

В связи с тем, что используемый осциллограф не позволяет наблюдать кривую однократного переходного процесса, во вспомогательной части рабочей цепи предусмотрено поляризованное реле, которое своими контактами осуществляет включение и замыкание с частотой сети. При этом на экране осциллографа наблюдается след многократно повторяемых процессов. На рисунке 2 обозначено: Р – обмотка реле, КР – контакт реле (переключающий), а соединения, обозначенные пунктиром, выполнены внутри стенда.

В исследуемую цепь включается (по указанию преподавателя) одна, две или три секции катушки L1 (Ниже приводится таблица 1 параметров получающихся при этом комбинаций секций и подходящие диапазоны ёмкостей конденсаторов, в которых для всей работы следует выбирать только одно значение).

Таблица 1. Параметры элементов цепи

Номера зажимов катушки L1	R_K, Ом	L, Гн	C, мкФ
1-2	33,5	0,13	0,5-2,0
1-3	82	0,63	0,25-1,0
1-4	156,6	1,82	0,25-0,5
2-3	51,3	0,26	0,5-2,0
2-4	117,9	1,2	0,25-0,5
3-4	68,6	0,43	0,25-1,0

Источником питания в работе являются лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) АТ, установленный внутри стенда (зажимы 0 ... 250 В) и подключаемый тумблером ЛАТР, и фазное напряжение трехфазной сети (выводы А и 0 на стенде). Перед сборкой схемы пакетный выключатель трехфазной сети (выключатель «СЕТЬ») и тумблер ЛАТР должен быть в положении ВЫКЛ, а ручка регулировки напряжения автотрансформатора – в нулевом положении, т.е. против часовой стрелки до упора.

Для питания обмотки реле используется понижающий трансформатор Тр1, подключенный к автотрансформатору АТ. Для питания исследуемой цепи используется понижающий трансформатор Тр2, подключенный к фазному напряжению трехфазной сети, и выпрямитель.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Ознакомиться с используемыми приборами и аппаратурой.

5.2. Собрать рабочую цепь по схеме рисунок 2 и дать её проверить лаборанту или преподавателю. При этом выключатель «СЕТЬ» и тумблер ЛАТР должны находиться в выключенном состоянии (нижнее положение тумблера), а регулятор автотрансформатора в положении до упора против часовой стрелки.

5.3. Для исследования процесса в цепи *R-L* замкнуть накоротко конденсатор. Осциллограф подключить к зажимам магазина сопротивлений. Снять наблюдаемые кривые при двух значениях сопротивления. Здесь и далее величину сопротивления следует выбирать так, чтобы в пределах видимой части периодической кривой наблюдалось начало и практически полное затухание переходного процесса.

В ходе исследований одной и той же цепи масштабы отклонений луча на экране осциллографа не меняются. Осциллограммы снабжаются пометками о соответствующих значениях величин *R,L* и *C*.

5.4. Для изучения процесса в цепи *R-C* замкнуть накоротко индуктивную катушку. Осциллограф подключить к батарее конденсаторов и снять кривые напряжения на конденсаторе при двух значениях сопротивления.

5.5. Исследовать процессы в контуре *R-L-C*. Снять кривые напряжения на конденсаторе, устанавливая такое сопротивление *R*, чтобы в одном случае наблюдался апериодический процесс, в двух других случаях – колебательный процесс.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Начертить пропорционально увеличенные осциллограммы всех опытов. На каждом чертеже дать обозначение величины, представляемой данной кривой (напряжение на зажимах магазина сопротивлений или конденсатора), и варианта исследуемой цепи (*R-L, R-C* или *R-L-C*). Написать также соответствующие значения *R*, *L* и *C* (при наличии катушки $R=R_M+R_K$, где R_M и R_K – сопротивления магазина и катушки соответственно) и значения масштабов m_u *(В/мм)* и m_t *(с/мм)*.

6.2. Выполнить графическое определение постоянных времени и декремента затухания. Те же величины рассчитать также по параметрам *R*, *L* и *C*. Результаты расчётов объединить в виде таблицы 2.

Таблица 2. Постоянные времени и декремент затухания цепи

Из опытов					По параметрам *R, L* и *C*		
№	*R*,	τ, с		Δ	τ, с		Δ
п/п	Ом	*R-L*	*R-C*	*R-L-C*	*R-L*	*R-C*	*R-L-C*
1							
2							

6.3. Сделать выводы о влиянии сопротивления цепей *R* на характер, скорость и длительность переходного процесса.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему в электрической цепи любому установившемуся режиму предшествует переходный процесс?

2. Дайте формулировку первого закона коммутации. В чем его физический смысл?

3. Дайте формулировку второго закона коммутации. В чем его физический смысл?

4. Как объяснить, что для начального момента времени переходного процесса участок цепи с индуктивной катушкой можно заменить бесконечно большим сопротивлением или участком с источником тока? Какое значение это имеет для анализа переходных процессов?

5. Как объяснить, что для начального момента времени переходного процесса конденсатор можно заменить короткозамкнутым уча-

стком или источником ЭДС? Какое значение это имеет для анализа переходных процессов?

6. Дайте характеристику составляющих, которые содержат ток или напряжение любого участка цепи во время переходного процесса.

7. Поясните, почему невозможно, чтобы затухание тока или напряжения какого-либо участка цепи происходило быстрее или медленнее, чем на другом участке той же цепи.

8. Что такое постоянная времени простой цепи с одним накопителем энергии?

9. Как можно экспериментально определить постоянную времени простой цепи с одним накопителем энергии?

10. Что такое декремент затухания и как его определить экспериментально?

11. Чем определяется скорость затухания и длительность переходного процесса в контуре *R-L-C* в случае апериодического и колебательного характера процесса?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник / Л. А. Бессонов. – 10-е изд. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с. – Текст непосредственный.

2. Попов, В. П. Основы теории цепей : учебник для вузов / В. П. Попов. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2000. - 575 с. – Текст непосредственный.

3. Бакалов, В. П. Основы теории электрических цепей и электроники : учебник для вузов / В. П. Бакалов, А. Н. Игнатов, Б. И. Крук. – М.: Радио и связь, 1989. – 525 с. – Текст непосредственный.

4. Основы теории цепей : учебник для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с. – Текст непосредственный.