

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «ТОЭ и ОЭ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Теоретические основы электротехники», часть II
для студентов энергетических специальностей**

Бишкек 2018 г.

«Рассмотрено»
и одобрено на заседании
кафедры «ТОЭ и ОЭ»
пр. №5 от 29.01.2018г

«Рекомендовано»
Методической комиссией
энергетического факультета
протокол №7 от 19.03. 2018 г

Составители: к.т.н., доцент Э.Б. Исакеева, к.т.н., доцент. С.М. Асанова,
к.т.н. Арфан Аль Хакам, ст. прпеод. Самсалиева Р.Ж.

УДК 621.311

Теоретические основы электротехники: Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «ТОЭ» для студентов специальностей энергетического факультета КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, 2018. с. 59

Излагается методика выполнения лабораторных работ, даны схемы установок, краткие теоретические сведения по физическим процессам, наблюдаемым в электрических цепях.

Рецензент: к.т.н., доцент Сатаркулов К.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Правила техники безопасности и правила работы в лабораториях кафедры.....	4
Порядок выполнения лабораторных работ.....	5
<i>Лабораторная работа 1.</i> Исследование трехфазной цепи соединенной звездой.....	6
<i>Лабораторная работа 2.</i> Исследование трехфазной цепи соединенной треугольником.....	14
<i>Лабораторная работа 3.</i> Переходные процессы в линейных электрических цепях с одним накопителем.....	18
<i>Лабораторная работа 4.</i> Переходные процессы в линейных электрических цепях с двумя накопителями.....	26
<i>Лабораторная работа 5.</i> Линейные цепи несинусоидального периодического тока	32
<i>Лабораторная работа 6.</i> Нелинейные электрические цепи постоянного тока.....	39
<i>Глоссарий</i>	45

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИЯХ КАФЕДРЫ

1. К работе в лаборатории студенты допускаются только после инструктажа по технике безопасности.
2. Напряжения источников, используемые в лаборатории, являются опасными для жизни, поэтому при работе в лаборатории необходимо быть предельно собранным, внимательным и строго выполнять правила работы на универсальных лабораторных стендах.
3. Перед началом работы необходимо убедиться в том, что все элементы стенда не находятся под напряжением, а рабочее место освобождено от посторонних предметов.
4. Сборку электрической цепи рекомендуется производить в следующей последовательности: в первую очередь следует собирать токовые цепи, а затем - цепи напряжения. Рекомендуется избегать излишнего перекрещивания проводов на рабочем столе и соединений нескольких проводов в одной точке.
5. Прежде чем включить источник питания, необходимо его регулятор вывести в нулевое положение, а на регулируемых элементах (резисторах, конденсаторах, катушках индуктивностей) установить заданные значения параметров.
6. Включение цепи под напряжение можно производить только с разрешения руководителя работ (преподавателя или лаборанта) после проверки правильности ее сборки.
7. Любые изменения в структуре цепи можно производить только при отключенном источнике питания. Повторное включение цепи под напряжение производится с разрешения руководителя работ.
8. При выполнении экспериментальной части работы нельзя прикасаться к открытым токоведущим элементам цепи, а также к трубам и радиаторам отопительной системы.
9. После завершения экспериментальных исследований результаты работы должны быть предъявлены руководителю для их проверки и утверждения.
10. Запрещается выполнение лабораторных работ при отсутствии преподавателя или лаборанта.
11. При обнаружении на рабочем месте неисправностей, способных вызвать поражение электрическим током, или порчу оборудования, следует немедленно отключить источник питания и поставить в известность преподавателя или лаборанта.
12. При несчастном случае следует немедленно отключить источник питания, поставить в известность руководителя работ и принять меры по оказанию первой медицинской помощи пострадавшему.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Выполнение лабораторной работы предполагается в два этапа.

Первый этап (подготовительный) выполняется заранее во время, предусмотренное для самостоятельной работы. На этом этапе студент обязан:

- 1) уяснить цель и содержание работы;
- 2) изучить теоретический материал по учебнику или конспекту;
- 3) оформить расчетную часть отчета по работе, а именно, заполнить титульный лист, зарисовать схемы цепей и таблицы.

Без подготовленного отчета по расчетной части студент не допускается к выполнению экспериментальной части работы.

Второй этап работы (экспериментальная часть и анализ результатов) выполняется непосредственно на рабочем месте в учебной лаборатории во время занятий по расписанию.

Получив разрешение от руководителя работ на выполнение экспериментальной части, бригада студентов (2-3 человека) выполняет сборку исследуемой цепи и проводит в ней измерения физических величин согласно заданию. Результаты измерений обрабатываются и вносятся в соответствующие таблицы. При проведении экспериментов следует соблюдать правила техники безопасности и правила работы в электроустановках.

По окончании экспериментальных исследований проводится анализ результатов работы, экспериментальные результаты сопоставляются с расчетными, в письменной форме делается заключение по работе.

Полностью оформленный отчет по работе в конце текущего занятия предъявляется преподавателю для проверки и получения зачета по работе. При защите отчета студенту могут быть заданы контрольные вопросы по теоретической или экспериментальной части работы.

Отчет по лабораторной работе оформляется на отдельных листах или в отдельной тетради и должен содержать следующие элементы:

- 1) титульный лист;
- 2) цель работы;
- 3) исходные данные (эквивалентные схемы и параметры их элементов);
- 4) основные формулы и уравнения, применяемые в расчетах;
- 5) таблицы результатов расчетов и измерений;
- 6) предусмотренные заданием графические и векторные диаграммы;
- 7) выводы по работе.

Лабораторные работы по ТОЭ выполняются на универсальных стендах фронтальным методом, при котором вся группа студентов (до 30 человек) выполняет одно и то же задание. Наличие на стендах регулируемых элементов позволяет задавать каждой бригаде студентов (2-3 человека) свой индивидуальный вариант исходных данных к каждой работе.

Оборудование универсального стенда позволяет проводить комплексные исследования различных по структуре и параметрам электрических цепей и

обеспечивает материальную базу для выполнения всех лабораторных работ по теории линейных электрических цепей.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование трехфазной цепи, соединенной звездой

1. Цель работы

Изучить влияние изменения параметров приемников на ток в нейтральном проводе, на смещение нейтрали, а также на суммарную активную мощность всей группы этих приемников. Опытная проверка соотношений между фазными и линейными напряжениями и токами.

2. Основные теоретические положения

Под трехфазной симметричной ЭДС понимают совокупность трех синусоидальных ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе на угол 120° . Графики их мгновенных значений изображены на рис.1,а; векторная диаграмма - на рис. 1,б.

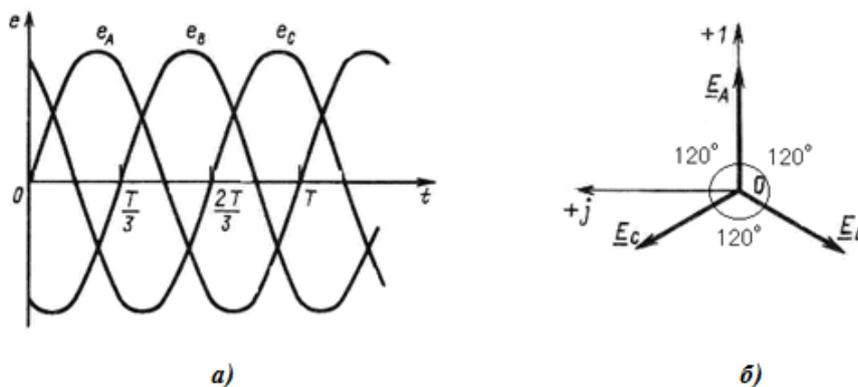


Рис. 1

Принцип получения трехфазной системы ЭДС иллюстрирует рис.2.

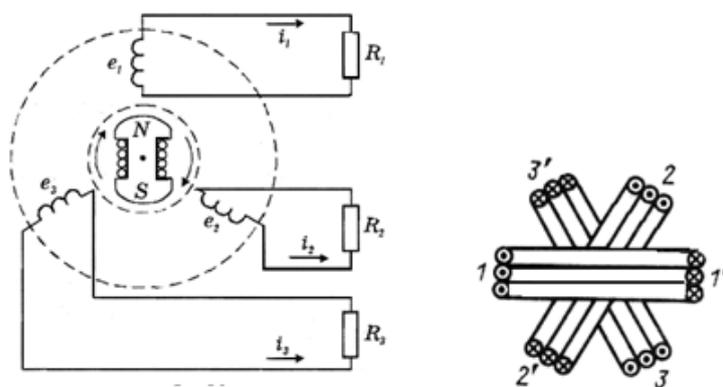


Рис. 2

В равномерном магнитном поле с постоянной угловой скоростью ω вращаются три одинаковых жестко скрепленных друг с другом катушки. Плоскости катушек смещены в пространстве друг относительно друга на 120° . В каждой катушке наводится синусоидальная ЭДС одинаковой амплитуды, но по фазе они сдвинуты на 120° . ЭДС трехфазного генератора обозначают следующим образом: одну из ЭДС обозначают \dot{E}_A , отстающую от нее на 120° ЭДС \dot{E}_B , а опережающую на 120° ЭДС \dot{E}_C .

Последовательность прохождения ЭДС через одинаковые значения (например, через нулевое значение) называют последовательностью фаз.

При симметрии токов трехфазного приемника, соединенного звездой с нейтральным проводом,

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

и ток в нейтральном проводе I_0 равен нулю.

При равномерной нагрузке нейтральный провод можно устранить. Линейные напряжения U_L связаны с фазными напряжениями U_ϕ следующими соотношениями:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B; \quad \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A \quad (1)$$

При симметричной системе ЭДС

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi \quad (2)$$

линейные токи равны фазным

$$I_L = I_\phi \quad (3)$$

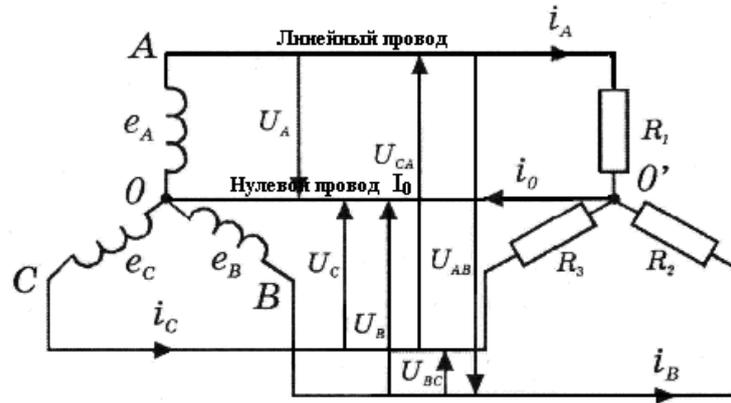
Если трехфазная система не имеет нейтрального провода, то геометрическая сумма линейных (фазных) токов при любой нагрузке равна нулю

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad (4)$$

В этом случае при неравномерной нагрузке фаз между нейтральными точками генератора 0 и приемника $0'$ (рис.3) появляется напряжение $U_{0'0}$; кроме того, напряжения на фазах приемника U'_A , U'_B и U'_C не равны по величине и сдвинуты относительно друг друга на разные углы. Поэтому, чтобы избежать значительного нарушения симметрии системы напряжений приемника при

неравномерной нагрузке фаз, включают нейтральный провод, обеспечивающий независимую работу отдельных фаз.

Нейтральный провод позволяет также включать приемники между линейными проводами на линейное напряжение, а между одним линейным проводом и нейтральным проводом – на фазное напряжение.



Пусть генератор и приемник соединены звездой с нейтральным проводом, проводимость которого имеет конечное значение (рис.3,а). Тогда при принятых направлениях напряжений векторная диаграмма напряжений будет иметь вид рис.3,б. При этом в общем случае между точками 0 и 0' будет действовать некоторое напряжение $U_{0'0}$ изображение вектором 0'0.

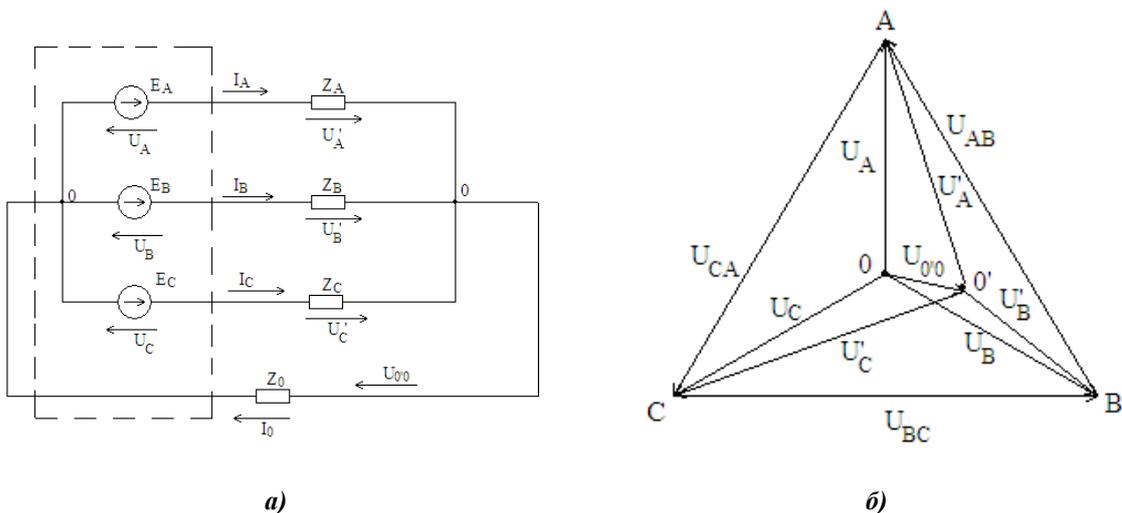


Рис. 3

Для расчета комплексного значения $U_{0'0}$ можно воспользоваться методом узловых напряжений для схемы с двумя узлами:

$$\dot{U}_{0'0} = \frac{\dot{U}_A Y_A + \dot{U}_B Y_B + \dot{U}_C Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} \quad (5)$$

Тогда на основании векторной диаграммы рис.б напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}'_A = \dot{U}_A - \dot{U}_{0'0}; \quad \dot{U}'_B = \dot{U}_B - \dot{U}_{0'0}; \quad \dot{U}'_C = \dot{U}_C - \dot{U}_{0'0} \quad (6)$$

Токи в фазах приемника и нулевом проводе

$$\dot{I}_A = \dot{U}'_A Y_A; \quad \dot{I}_B = \dot{U}'_B Y_B; \quad \dot{I}_C = \dot{U}'_C Y_C; \quad \dot{I}_0 = \dot{U}_{0'0} Y_0$$

Если нейтрального провода нет, то в выражении (5) надо принять $Y_0 = 0$.

В частных случаях точка $0'$ диаграммы напряжений может лежать вне треугольника линейных напряжений, а также в его вершине или на одной из сторон.

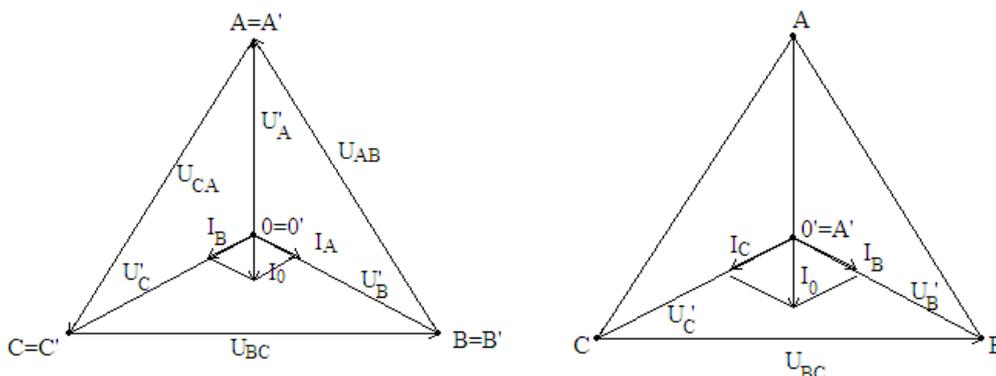
Рассмотрим подробнее случаи неравномерной нагрузки приемника при соединении звездой с нейтральным проводом $Z_0 = 0$.

При обрыве одной из фаз, например фазы A , ток в ней станет равным нулю ($Z_A = \infty$). Токи в двух других фазах не изменяются, так как напряжения на фазах, считая и поврежденную, останутся без изменения. Ток в нейтральном проводе будет равен геометрической сумме токов неповрежденных фаз.

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

При активной и равномерной нагрузке неповрежденных фаз приемника векторная диаграмма напряжений и токов, соответствующая этому случаю, приведена на рис.4,а.

Если в трехфазной системе, соединенной звездой с нейтральным проводом, при равномерной нагрузке фаз произойдет обрыв одного линейного провода, например провода A , то это вызовет исчезновение не только тока в фазе A , но и напряжения на этой фазе.



а)

б)

Рис. 4

Вершина A' треугольника линейных напряжений (рис.4,б) переместится в точку O' . Фазные напряжения на неповрежденных фазах останутся без изменения. При активной нагрузке токи в неповрежденных фазах и ток нейтрального провода остаются такими же, как в предыдущем случае ($I_0 = I_\Phi$).

Короткое замыкание одной из фаз при наличии нейтрального провода приводит к аварии, так как сопротивление этой фазы уменьшается до нуля.

Для трехфазного приемника, соединенного звездой без нейтрального провода, связывающего нейтральные точки приемника и генератора, характерна взаимная зависимость режимов работы отдельных фаз.

При равномерной нагрузке фаз соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями сохраняются теми же, что в случае симметричного режима в звезде с нейтральным проводом. Нейтральная точка приемника располагается в центре тяжести треугольника линейных напряжений, следовательно, напряжение $U_{O'O} = 0$.

При обрыве одной из фаз приемника, например, фазы A , неповрежденные фазы B и C оказываются соединенными последовательно и подключенными к одному линейному напряжению U_{BC} . Так как геометрическая разность фазных напряжений U'_B и U'_C должна составлять линейное напряжение U_{BC} , то начало фазных напряжений, определяющее положение нейтральной точки O' на рис.5,а переместится на середину отрезка между вершинами B и C при равномерной нагрузке неповрежденных фаз.

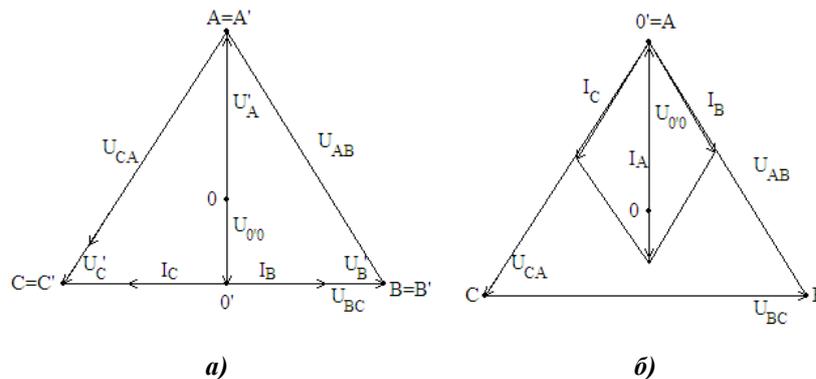


Рис.5

Напряжение на оборванной фазе в этом случае будет равно

$$U'_A = U_{л} \cos \frac{\pi}{6} = \sqrt{3} U_{\phi} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{3}{2} U_{\phi}$$

а напряжения на фазах B и C уменьшается

$$U'_B = U'_C = U_{л} \sin \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_{\phi}$$

по сравнению с равномерной нагрузкой фаз. Векторная диаграмма для этого случая при активной нагрузке фаз показана на рис.5,а.

Обрыв линейного провода сходен с рассмотренным случаем обрыва фазы и характерен превращением трехфазной цепи в однофазную.

Короткое замыкание одной из фаз приемника, соединенного звездой без нейтрального провода, не вызывает аварии, так как линейные напряжения сети воспринимаются двумя другими неповрежденными фазами. В случае замыкания накоротко фазы A напряжение на ней падает до нуля, а напряжение двух других фаз становятся равными линейным напряжениям, т.е. увеличиваются в $\sqrt{3}$ раз. Соответственно во столько же раз увеличиваются и токи этих фаз. При этом фазный ток в фазе A увеличивается в три раза против нормального режима. На векторной диаграмме рис.5,б показано перемещение нейтральной точки O' приемника в вершину A треугольника линейных напряжений, а напряжение $U_{O'O}$ между нейтральными точками приемника и генератора при коротком замыкании фазы будет равно фазному напряжению сети.

3. Описание установки

В качестве источника электроэнергии используется трехфазная сеть переменного тока, к которой подключены первичные обмотки трехфазного понижающего трансформатора. На стенд выведены клеммы фаз «А», «В», «С» и нулевая точка «0» вторичных обмоток этого трансформатора. В качестве приемников используются проволочные резисторы и батареи конденсаторов. Для измерения токов используются миллиамперметры, пределы измерения которых можно менять. Для измерения напряжения используются электронные вольтметры ВЗ-38 и В7-26.

Для полноценного исследования трехфазных цепей возможно выполнение лабораторной работы с применением математического пакета «Electronics Workbench».

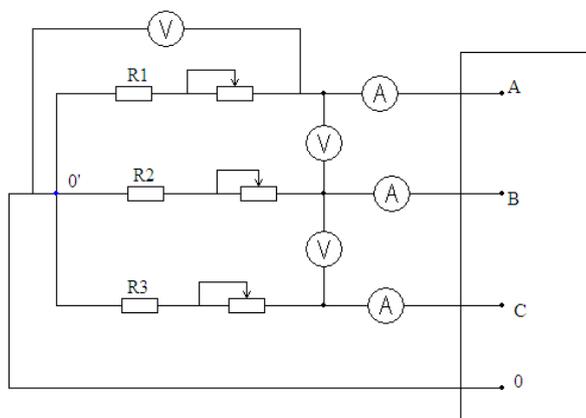


Рис. 6

4. Рабочее задание

1. Собрать рабочую цепь, изображенную на рис. 6, для исследования четырехпроводной системы.
2. Изменяя сопротивления нагрузки исследовать режимы, указанные в пунктах 1-6 таблицы. Результаты измерений свести в таблицу.
3. Отключить нейтральный провод в цепи рис.6.
4. После проверки преподавателем правильности сборки, исследовать трехпроводную цепь в соответствии с пунктами 7-12 таблицы.
5. Проверить соотношения между линейным и фазным напряжениями и токами для симметричной нагрузки трехпроводной цепи при соединении приемников энергии звездой.

Соединение приемников	Характер нагрузки	ИЗМЕРЕНО								ВЫЧИСЛЕНО				
		U_{Δ}	U_A	U_B	U_C	I_A	I_B	I_C	$U_{0'0}$	I_0	$P_{3\Phi}$	P_A	P_B	P_C
Звезда с нейтральным проводом	равномерная													
	неравномерная													
	обрыв фазы													
	обрыв линии													
	к.з. фазы													
	емкость в фазе C													
Звезда без нейтрального провода	равномерная													
	неравномерная													
	обрыв фазы													
	обрыв линии													
	к.з. фазы													
	емкость в фазе C													

5. Обработка результатов эксперимента

1. Проверить соотношения между фазными и линейными величинами при симметричной нагрузке для всех случаев соединения звездой.
2. Рассчитать активные мощности потребляемые цепью для всех режимов работы.
3. Построить векторные диаграммы для всех режимов.

6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой:
 - а) Схема рис.7;
 - б) Таблица 1;
 - в) Расчетные формулы;
 - г) Векторные диаграммы.
3. Выводы.

7. Контрольные вопросы

1. Как производить определение порядка следования фаз?
2. Почему и в каких случаях важно иметь определенный порядок следования фаз в трехфазной системе?
3. Каковы соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями при соединении звездой о равномерной нагрузке?
4. В чем заключается роль нейтрального провода?
5. В чем отличие соединения звездой с нейтральным проводом от соединения звездой без нейтрального провода?
6. Опасно ли короткое замыкание фазы при соединении звездой с нейтральным проводом?
7. Опасно ли короткое замыкание фазы при соединении звездой без нейтрального провода?
8. Назовите основные особенности трехфазных электрических цепей?
9. Какие напряжения и токи называются фазными?
10. Какие напряжения и токи называются линейными?

11. Как определяется нулевое напряжение при неравномерной нагрузке фаз приемника в схеме звезды без нулевого провода?

12. Как выражается активная мощность трехфазной цепи через линейное напряжение и линейные токи?

13. Как найти активную мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке?

14. Как изменится активная мощность трехфазной цепи, если при симметричной активной нагрузке произойдет обрыв линейного провода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование трехфазной цепи, соединенной треугольником

1. Цель работы

Изучить влияние изменения параметров приемников на соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями при соединении приемников треугольником.

2. Основные теоретические положения

При соединении треугольником фазные напряжения равны линейным, а линейные токи равны геометрической разности двух фазных токов, подходящих вершине треугольника. Поэтому для положительных направлений токов (рис. 1, а) между токами существует следующая зависимость:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{CA} + \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{AB} + \dot{I}_{BC}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{BC} + \dot{I}_{CA} \quad (7)$$

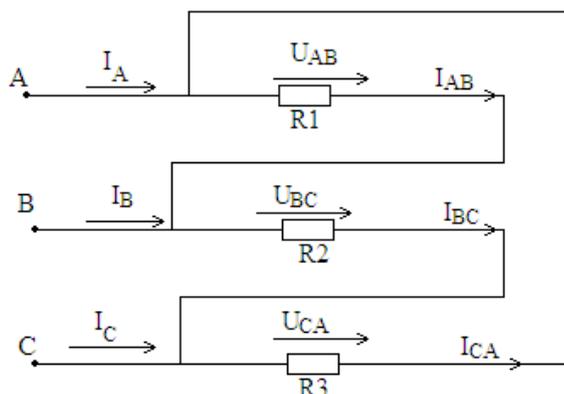


Рис. 1, а

Фазные токи рассчитывают по известным линейным напряжениям и проводимости фаз приемника:

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{AB} Y_{AB} ; \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{BC} Y_{BC} ; \quad \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{CA} Y_{CA} \quad (8)$$

При симметричной системе ЭДС и равномерной нагрузке

$$I_{\text{Л}} = \sqrt{3} I_{\Phi} \quad (9)$$

На рис.1,б приведена векторная диаграмма линейных напряжений, фазных и линейных токов для случая симметричной системе напряжений и неравномерной активной нагрузки фаз.

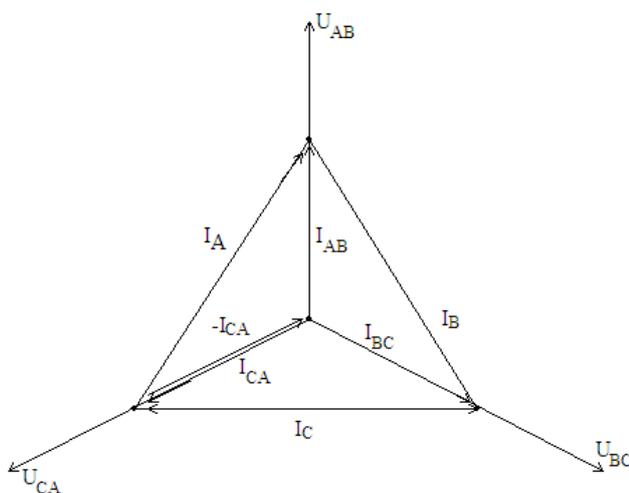


Рис. 1, б

В случае обрыва одной из фаз приемника, например фазы *AB* (рис.1,в), ток в этой фазе будет равен нулю. Токи двух других фаз не изменяется, как и фазные напряжения приемника. В проводе *C*, не связанном фазой, линейный ток I_C остается неизменным. Линейные тока I_A и I_B станут равны фазным, т.е. уменьшатся в $\sqrt{3}$ раз относительно $I_{\text{Л}}$ при равномерной нагрузке.

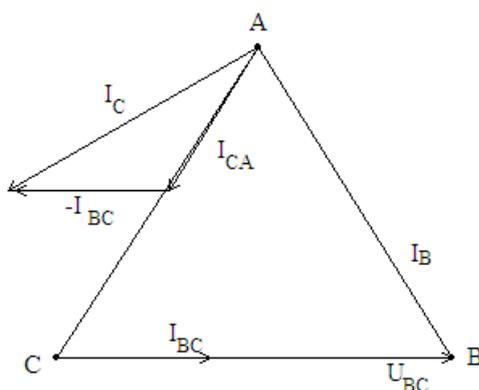


Рис. 1, в

При обрыве одного из линейных проводов трехфазная система превращается в однофазную. Напряжения и ток в фазе, не связанной с оборванным линейным проводом, остаются без изменения. Две другие фазы (например, AB и CA) при обрыве линейного провода A оказываются соединенными последовательно и включенными параллельно фазе BC .

Короткое замыкание одной из фаз приемника при соединении треугольником приводит к очень большому увеличению фазного и линейных токов и является аварийным режимом.

3. Описание установки

В качестве источника электроэнергии используется трехфазная сеть переменного тока, к которой подключены первичные обмотки трехфазного понижающего трансформатора. На стенд выведены клеммы фаз «А», «В», «С» и нулевая точка «0» вторичных обмоток этого трансформатора. В качестве приемников используются проволочные резисторы. Для измерения токов используются миллиамперметры, пределы измерения которых можно менять. Для измерения напряжения используются электронные вольтметры В3-38 и В7-26.

Для полноценного исследования трехфазных цепей возможно выполнение лабораторной работы с применением математического пакета «Electronics Workbench».

4. Рабочее задание

1. Собрать рабочую цепь, изображенную на рис. 2
2. Изменяя сопротивления нагрузки исследовать режимы, указанные в пунктах таблицы. Результаты измерений свести в таблицу.

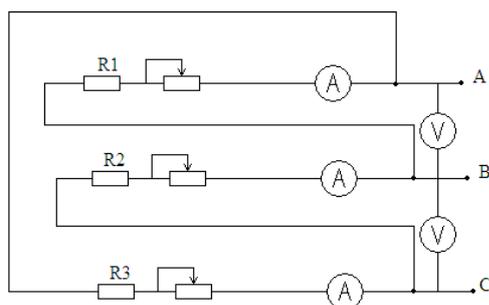


Рис. 2

Соединение приемника	ИЗМЕРЕНО									ВЫЧИСЛЕНО			
	U_{AB}	U_{BC}	U_{CA}	I_{AB}	I_{BC}	I_{CA}	I_A	I_B	I_C	P_{AB}	P_{BC}	P_{CA}	$P_{3\phi}$
Равномерная нагрузка													
Неравномерная нагрузка													
Обрыв одной фазы при равномерной нагрузке													
Обрыв двух фаз при равномерной нагрузке													
Обрыв линейного провода при равномерной нагрузке													
К.З. фазы АВ													
Емкость в фазе ВС													

6. Обработка результатов эксперимента

1. По данным таблицы проверить соотношения между фазными и линейными величинами при симметричной нагрузке.
2. Рассчитать активные мощности потребляемые цепью для всех режимов работы.
3. Построить векторные диаграммы для всех режимов.

7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исследование трехфазной цепи при соединении нагрузки в треугольник:
 - а) Схема рис.2;
 - б) Таблица;
 - в) Расчетные формулы;
 - г) Векторные диаграммы.
3. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Чем опасно короткое замыкание фазы при соединении приемников треугольником?
2. Каковы соотношения между фазными и линейными токами и напряжениями при соединении приемников треугольником?
3. Как производить определение порядка следования фаз?

4. Почему и в каких случаях важно иметь определенный порядок следования фаз в трехфазной системе?
5. Назовите основные особенности трехфазных электрических цепей?
6. Какие напряжения и токи называются фазными?
7. Какие напряжения и токи называются линейными?
8. Укажите минимальное число проводов для соединения трехфазного источника с трехфазным приемником?
9. Как изменится активная мощность симметричной нагрузки, если фазы приемника, соединенные треугольником, соединить звездой?

Лабораторная работа № 3

Переходные процессы в линейных электрических цепях с одним накопителем.

1. Цель работы

Ознакомление на опыте с переходными процессами в простейших электрических цепях с постоянными параметрами (R , L , C) и сопоставление результатов экспериментального и расчетного исследования при питании цепи от источника прямоугольных импульсов.

2. Основные теоретические положения.

Нестационарные процессы в электрических цепях возникают при их коммутации или при подаче непериодических сигналов. В результате таких воздействий на электрическую цепь в ней на некоторое время устанавливается особый режим, при котором цепь переходит из некоторого начального стационарного состояния в другое конечное стационарное состояние. Этот переход цепи из одного состояния в другое называют переходным процессом, так как он связывает между собой два стационарных состояния – начальное и конечное.

Задача анализа электрических цепей в переходном режиме обычно сводится к определению реакции $y(t)$, представляющей собой ток или напряжение в какой-либо ветви, на некоторое возмущающее воздействие $x(t)$. Расчет электромагнитных процессов связан с решением дифференциального уравнения, которое составляют на основе законов Кирхгофа и уравнений элементов цепи.

1. Переходные процессы в цепи с последовательным соединением сопротивления и индуктивности.

а) Короткое замыкание в цепи.

При коротком замыкании цепи с последовательным соединением R и L (рис. 1) уравнение переходного тока i , равного в этом случае свободному току $i_{св}$, имеет вид:

$$iR + L \frac{di}{dt} = 0 \quad (1)$$

Характеристическое уравнение $R + Lp = 0$ имеет корень $p = -\frac{R}{L}$, тогда

$$i = i_{св} = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{R}{L}t} \quad (2)$$

Если до момента короткого замыкания по цепи протекал постоянный ток $I_0 = \frac{U_0}{R}$, где U_0 - постоянное напряжение цепи (рис.1), это значение тока сохранится и для первого мгновения после замыкания цепи, откуда определяется постоянная интегрирования: $i(0) = I_0 = A$.

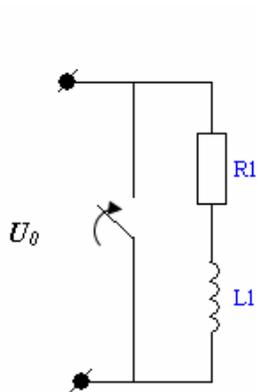


Рис. 1.

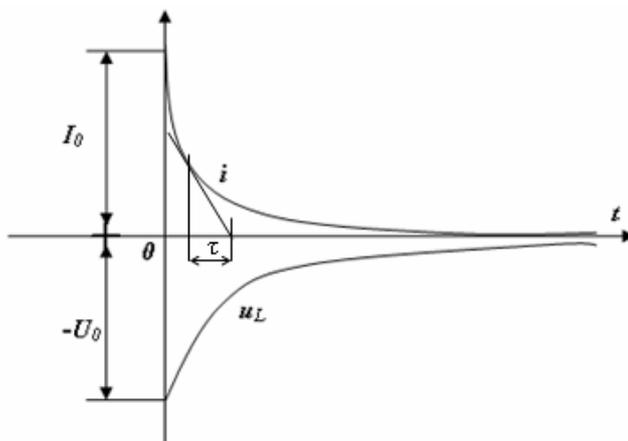


Рис. 2

Следовательно,

$$i = Ae^{pt} = I_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad (3)$$

это выражение изображается затухающей кривой – экспонентой, ордината которой при $t=0$ равна I_0 .

Уменьшение тока i происходит тем быстрее, чем больше коэффициент затухания $\frac{R}{L}$ или чем меньше обратная величина $\tau = \frac{L}{R}$, имеющая размерность времени и называемая *постоянной времени*.

Постоянная времени равна длине подкасательной в любой точке кривой i (рис.2). За время, равное $(4 \div 5)\tau$ переходный процесс практически заканчивается.

Напряжение на индуктивности в короткозамкнутой цепи принимает значение $-U_0$ при $t=0$ (рис.2)

$$u_L = L \frac{di}{dt} = L \left(-\frac{R}{L} \right) \frac{U_0}{R} e^{-\frac{R}{L}t} = -U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (4)$$

б) Включение цепи на постоянное напряжение.

При включении цепи R, L на постоянное напряжение U_0 (рис. 3) принужденный ток $i_{np} = \frac{U_0}{R}$, а переходный ток

$$i = i_{np} + i_{ce} = \frac{U_0}{R} + Ae^{-\frac{R}{L}t}.$$

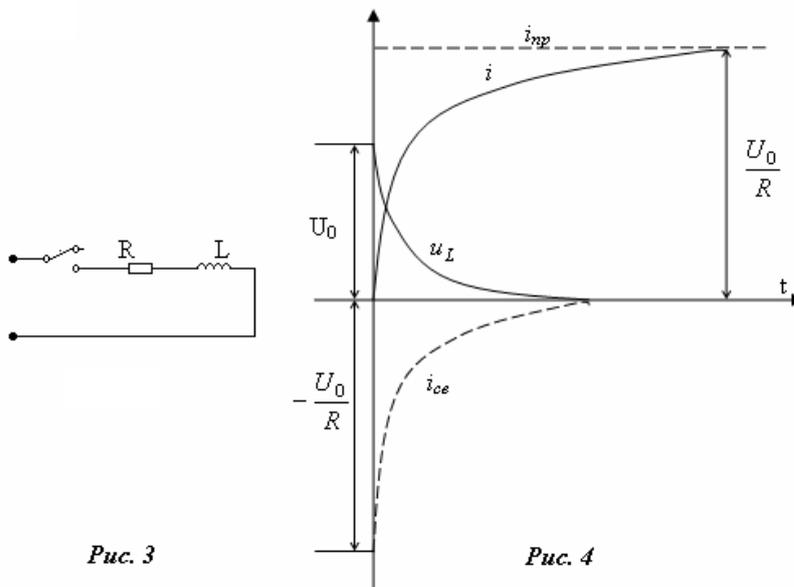


Рис. 3

Рис. 4

Ток до переходного процесса, а следовательно, и в первый момент после включения равен нулю: $i_{(0)} = \frac{U_0}{R} + A = 0$, отсюда $A = -\frac{U_0}{R}$.

Тогда

$$i = \frac{U_0}{R} - \frac{U_0}{R} e^{-\frac{R}{L}t} = \frac{U_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right), \quad (5)$$

т.е. переходный ток постепенно нарастает до своего окончательного значения I_0 и тем медленней, чем больше постоянная времени $\tau = \frac{L}{R}$ (рис.4)); здесь показаны также принужденная и свободная составляющие переходного тока.

Напряжения на участках цепи

$$u_0 = R \cdot i = U_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right); \quad u_L = L \frac{di}{dt} = U_0 e^{-\frac{R}{L}t} \quad (6)$$

Следовательно, в первый момент напряжение цепи целиком сосредоточено на индуктивности и затем постепенно переходит на сопротивление.

2. Переходные процессы в цепи с последовательным соединением сопротивления и емкости.

а) Короткое замыкание цепи.

При коротком замыкании с последовательным соединением R и C элементов (рис. 5)

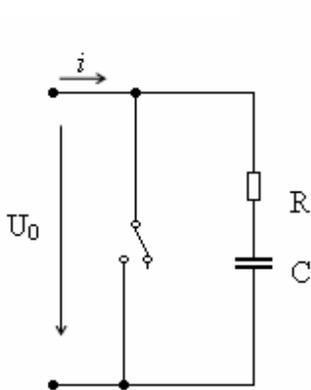


Рис. 5

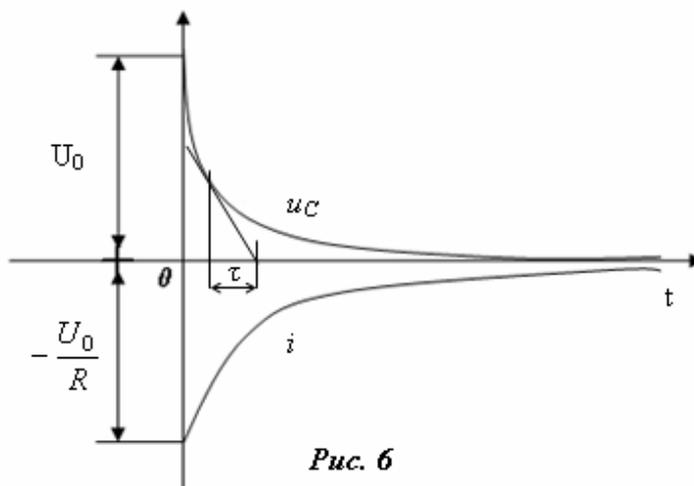


Рис. 6

$$R \cdot i + u_C = 0 \quad (7).$$

Так как $i = C \frac{du_C}{dt}$, уравнение для переходного емкостного напряжения u_C , равного в этом случае свободному значению $u_{C_{св}}$, будет

$$RC \frac{du_C}{dt} + u_C = 0 \quad (8)$$

Характеристическое уравнение $R \cdot Cp + 1 = 0$ имеет корень $p = -\frac{1}{RC}$, тогда

$$u_C = u_{C_{св}} = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{1}{RC}t} = Ae^{-\frac{t}{\tau}} \quad (9)$$

где $\tau = RC$ - постоянная времени этой цепи.

Если начальное напряжение на емкости было равно U_0 , оно сохранится и для первого мгновения после замыкания, откуда определится постоянная интегрирования:

$$u_{C(0)} = A = U_0.$$

Следовательно, напряжение на емкости убывает по экспоненте (рис.6)

$$u_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

Ток

$$i = C \frac{du_C}{dt} = CU_0 \left(\frac{-1}{RC} \right) e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

возникает при коротком замыкании цепи скачкообразно, принимая значение $-\frac{U_0}{R}$, а затем убывает по тому же экспоненциальному закону. Так как это ток разряда, знак его отрицательный.

б) Включение цепи на постоянное напряжение.

При включении цепи R, C на постоянное напряжение (рис. 7) емкость будет заряжаться до принужденного напряжения $u_{C_{пр}} = U_0$.

Тогда переходное напряжение

$$u_C = u_{C_{пр}} + u_{C_{св}} = U_0 + Ae^{-\frac{t}{RC}} \quad (12)$$

Напряжение на емкости до переходного процесса, а следовательно, и в первый момент после включения равно нулю:

$$u_{C(0)} = U_0 + A = 0$$

откуда $A = -U_0$, тогда

$$u_C = U_0 - U_0 e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (13)$$

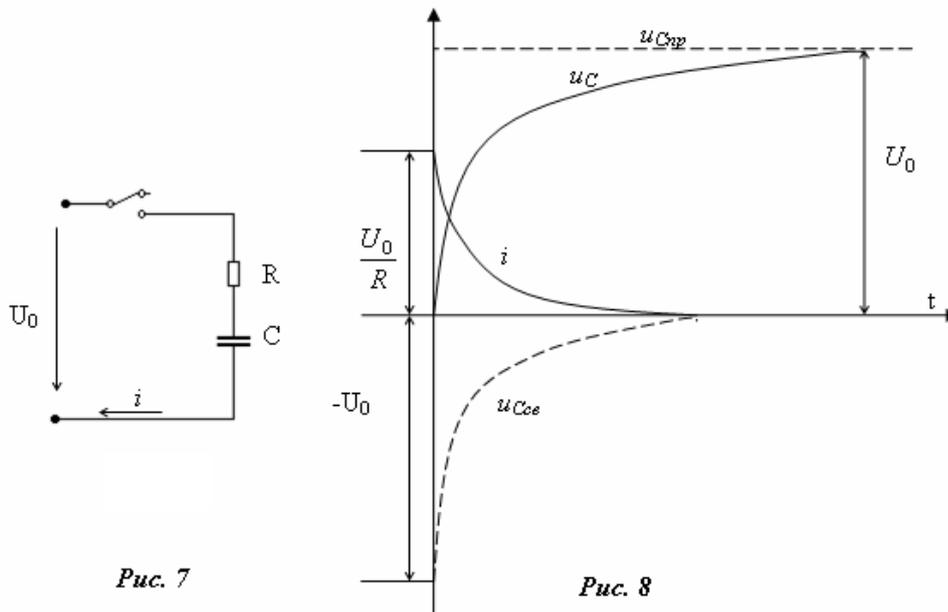


Рис. 7

Рис. 8

т.е. напряжение на емкости постепенно нарастает до своего окончательного значения и тем медленней, чем больше постоянная времени $\tau = RC$ (рис.8).

Ток зарядки

$$i_C = C \frac{du_C}{dt} = -CU_0 \left(-\frac{1}{RC}\right) e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (14)$$

при включении цепи возникает скачком и изменяется по тому же показательному закону, что и ток разряда, но имеет положительный знак (рис.8).

3. Описание лабораторной работы

На панели установлены катушка индуктивности с параметрами R_L , L батарея конденсатора C , магазин сопротивлений R_2 , электронный осциллограф С-1-68, генератор сигналов Г-6-15.

Экспериментальное исследование переходных процессов затруднено их кратковременностью. Однако, при исследовании простейших цепей возможно длительное наблюдение кривых напряжения или тока на экране осциллографа, обеспечиваемое периодическим повторением переходного процесса с помощью специального генератора прямоугольных импульсов, который с частотой f производит включение схемы на напряжение $(+U_0)$ и $(-U_0)$.

Величины параметров элементов схем замещения катушки индуктивности и конденсатора, частоты и амплитуды прямоугольного импульса указаны на стенде.

Длительность импульса
$$t_1 = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}.$$

Масштабы
$$m_t = \frac{t_1}{l_1}; \quad m_u = \frac{U_0}{l_2}$$

где l_1 и l_2 – длины изображающих отрезков.

Исследование кривых токов и напряжений осуществляется с помощью электронного осциллографа.

Необходимо помнить, что при изменении усиления по оси X и Y меняются масштабы m_t и m_U .

4. Порядок выполнения работы

1. Собрать схему (рис.9). Батарея конденсаторов C представляет собой три конденсатора емкостью 1000 пФ; 0,1 мкФ; 1,0 мкФ, которые при необходимости могут включаться параллельно (с помощью тумблеров). Сопротивление R_2 является магазином сопротивлений, позволяющим изменять сопротивление от 0 до 10000 Ом. После проверки схемы преподавателем, экспериментально подобрать параметры схемы так, чтобы переходный процесс практически заканчивался в течении полупериода прямоугольного напряжения частотой f . Снять на кальку осциллограммы тока $i(t)$ и напряжения на обкладках конденсатора $u_C(t)$ при заряде и разряде конденсатора.

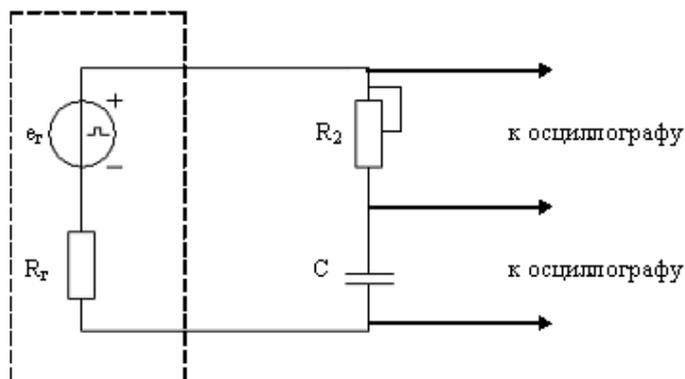


Рис. 9

2. Собрать схему рис. 10 и после проверки преподавателем повторить эксперимент, изложенный в пункте 1. Следует отметить, что осциллограмма

напряжения на катушке $u_k(t)$ будет отличаться от теоретической кривой $u_L(t)$ вследствие учета осциллографом падения напряжения на активном сопротивлении катушки R_L (R_L - указано на стенде)

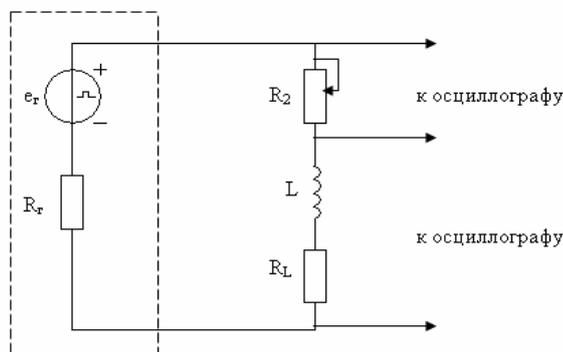


Рис. 10

5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы рис. 9, 10.
3. Расчетные формулы и вычислительные значения постоянных времени, декремента колебания, угловой частоты.
4. Полученные экспериментально постоянные времени, декремент колебания, угловая частота.
5. Полученные экспериментально и перерисованные в соответствующих масштабах кривые переходных процессов.
6. Выводы.

6. Контрольные вопросы

1. Какие законы коммутации вы знаете?
2. Какова физическая и математическая сущность принужденных и свободных составляющих?
3. Что такое постоянная времени цепи?
4. Чем определяется периодичность и аperiodичность переходного процесса?
5. Что такое начальные условия? Как они определяются?
6. Как определить постоянные интегрирования общего решения переходного тока (напряжения)?

7. Каковы причины возникновения переходных процессов?
8. Что такое нулевые и ненулевые начальные условия?
9. Какой вид имеет свободная составляющая переходных колебаний в цепях первого порядка?
10. В чем заключается достоинства операторного метода расчета переходных процессов по сравнению с классическим методом?
11. В чем заключается сущность расчета переходных процессов методом интеграла Дюамеля?
12. В чем сущность операторного метода расчета переходного процесса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Переходные процессы в линейных электрических цепях с двумя накопителями.

1. Цель работы

Ознакомление на опыте с переходными процессами в простейших электрических цепях с постоянными параметрами (R , L , C) и сопоставление результатов экспериментального и расчетного исследования при питании цепи от источника прямоугольных импульсов.

2. Основные теоретические положения.

Переходные процессы в цепи с последовательным соединением сопротивления, индуктивности и емкости.

Если разряжать конденсатор емкостью C на катушку (рис.1), то характер процесса будет зависеть от соотношения параметров R , L , C цепи разряда. При $R > 2\rho$ (где $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - волновое сопротивление контура) i , u_L , u_C будут определяться выражениями

$$\begin{aligned}
 i &= -\frac{U_0}{2L\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}}(e^{p_1 t} - e^{p_2 t}); \\
 u_L &= -\frac{U_0}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}}(p_2 e^{p_2 t} - p_1 e^{p_1 t}); \\
 u_C &= -\frac{U_0}{2\sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}}(p_1 e^{p_2 t} - p_2 e^{p_1 t})
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где ω' - собственная резонансная частота колебательного контура R, L, C ;
 $p_{1,2} = \delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$

Корни p_1 и p_2 будут вещественными, причем $p_1 < 0, p_2 < 0, |p_1| < |p_2|$. Это значит, что все вычисленные выше величины состоят из алгебраической суммы двух экспонент, имеющих разные знаки, причем первая экспонента затухает медленней, чем вторая. В результате напряжение конденсатора (рис.2), начиная с U_0 , непрерывно убывает, оставаясь всегда положительным, так как его первая экспонента положительная и больше второй отрицательной.

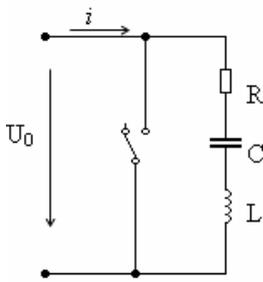


Рис. 1

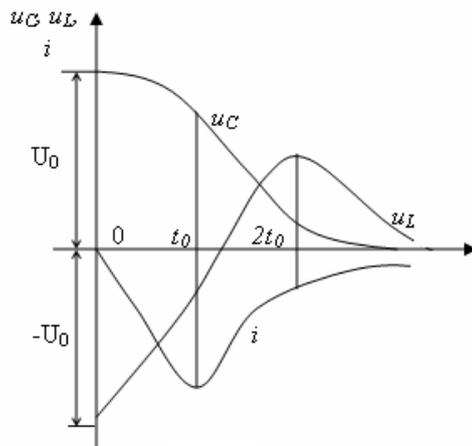


Рис. 2

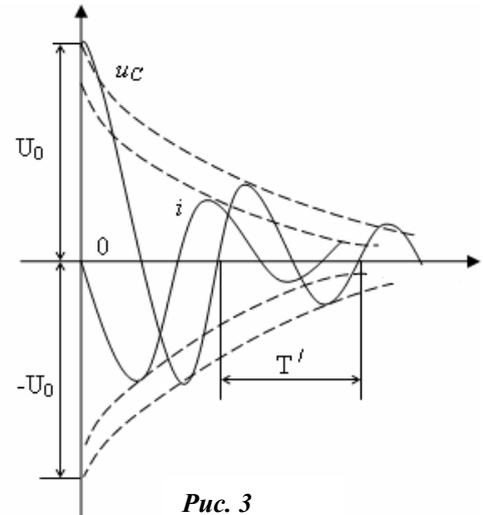


Рис. 3

Ток i цепи и напряжение $U_0 = iR$ на сопротивлении, начиная с нуля, всегда отрицательны, что соответствует току разряда. Напряжение U_L на индуктивности возникает скачком, принимая значение $-U_0$; проходит через нуль в момент t_0 при равенстве значений своих экспонент, т.е. при $p_1 e^{p_1 t_0} = p_2 e^{p_2 t_0}$, откуда

$$t_0 = \frac{\ln \frac{p_2}{p_1}}{p_1 - p_2}$$

и затем становится положительным. Так как U_L пропорционально производной $\frac{di}{dt}$, в момент $t=t_0$ абсолютное значение тока проходит через максимум. Приравнявая производную $\frac{du_L}{dt}$ нулю, можно видеть, что u_L имеет максимум при $t=2t_0$ (рис. 2).

Рассмотренный вид разряда называется *апериодическим*.

Энергетическая сторона апериодического процесса заключается в следующем. Так как напряжение U_C непрерывно уменьшается, емкость отдает энергию. Индуктивность с ростом тока накапливает энергию, но, начиная с $t=t_0$, ток убывает и индуктивность постепенно отдает энергию. В течении всего процесса сопротивление рассеивает потребляемую энергию.

На рисунке 2 приведены примерные осциллограммы для случая апериодического разряда конденсатора.

Если $R < 2\rho$, то разряд имеет колебательный характер с затухающей амплитудой

$$\left. \begin{aligned} i &= -I_0 \sin \omega' t e^{-\delta t}; \\ u_L &= -I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \cos(\omega' t + \beta) e^{-\delta t}; \\ u_C &= I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \cos(\omega' t - \beta) e^{-\delta t}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где ω' - угловая частота затухающих колебаний при разряде конденсатора:

$$\omega' = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}; \quad \frac{\delta}{\omega'} = tg\beta; \quad I_0 = \frac{U_0}{\omega' L}$$

На рисунке 3 приведены примерные осциллограммы для колебательного разряда конденсатора.

Энергетический процесс заключается, в основном, в обмене энергиями между емкостью и индуктивностью с непрерывным рассеянием энергии сопротивлением. Переходный процесс закончится, когда энергия $\frac{1}{2} C U_0^2$, первоначально запасенная в емкости, будет целиком рассеяна.

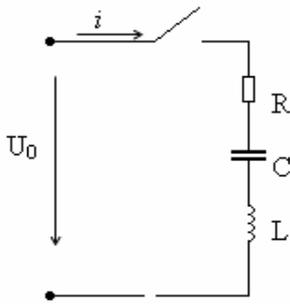


Рис. 4

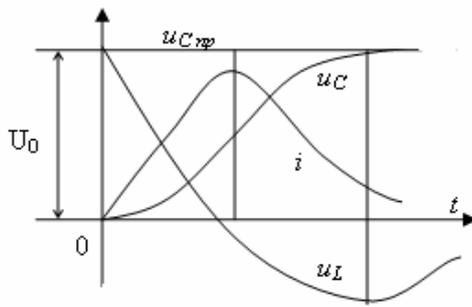


Рис. 5

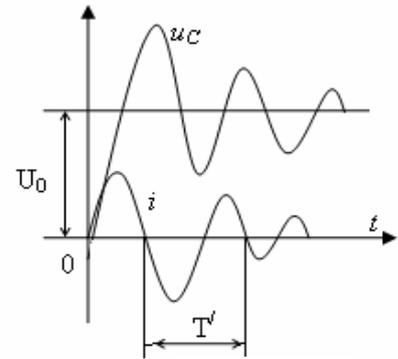


Рис. 6

При включении такой цепи на постоянное напряжение и $R < 2\rho$, (рис. 4) закон изменения тока будет $i = I_0 \sin \omega' t e^{-\delta t}$, т.е. он будет отличаться знаком от аналогичного выражения для разряда конденсатора на катушку. Закон изменения напряжения на катушке и конденсаторе будет

$$\left. \begin{aligned} u_L &= I_0 \sqrt{\frac{L}{C}} \cos(\omega' t + \beta) e^{-\delta t}; \\ u_C &= U_0 \left[1 - \frac{\omega_0}{\omega'} \cos(\omega' t - \beta) e^{-\delta t} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

На рисунке 5 приведены примерные осциллограммы аperiodического и колебательного (рис. 6) заряда конденсатора.

В колебательных переходных процессах быстрота затухания колебания определяется декрементом колебания, равным отношению двух последующих амплитуд одного знака:

$$\Delta = I_0 e^{-\delta t} : I_0 e^{-\delta(t+T')} = e^{\delta T'} \quad (4)$$

Чаще применяют не декремент колебаний, а его натуральный логарифм, называемый логарифмическим декрементом колебания

$$\gamma = \ln \Delta = \delta \cdot T' \quad (5)$$

3. Описание лабораторной работы

На панели установлены катушка индуктивности с параметрами R_L , L батарея конденсатора C , магазин сопротивлений R_2 , электронный осциллограф С-1-68, генератор сигналов Г-6-15.

Экспериментальное исследование переходных процессов затруднено их кратковременностью. Однако, при исследовании простейших цепей возможно

длительное наблюдение кривых напряжения или тока на экране осциллографа, обеспечиваемое периодическим повторением переходного процесса с помощью специального генератора прямоугольных импульсов, который с частотой f производит включение схемы на напряжение $(+U_0)$ и $(-U_0)$.

Величины параметров элементов схем замещения катушки индуктивности и конденсатора, частоты и амплитуды прямоугольного импульса указаны на стенде.

Длительность импульса $t_1 = \frac{T}{2} = \frac{1}{2f}$.

Масштабы $m_t = \frac{t_1}{l_1}$; $m_U = \frac{U_0}{l_2}$,

где l_1 и l_2 – длины изображающих отрезков.

Исследование кривых токов и напряжений осуществляется с помощью электронного осциллографа.

Необходимо помнить, что при изменении усиления по оси X и Y меняются масштабы m_t и m_U .

4. Порядок выполнения работы

Ознакомится со схемой рис. 7 и собрать ее.

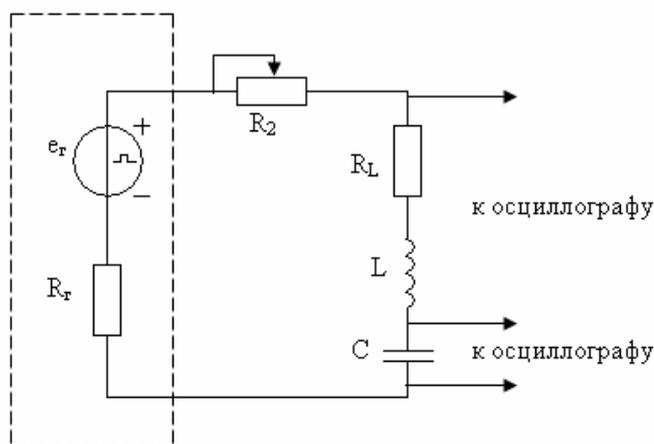


Рис. 7

После проверки преподавателем исследовать переходные процессы в цепи R, L, C при апериодическом и колебательном режимах.

При апериодическом режиме:

а) включить конденсатор емкостью C

б) зарисовать на кальку осциллограммы тока $i(t)$; напряжения на конденсаторе $u_C(t)$ и катушке $u_K(t)$.

При колебательном режиме:

а) установить емкость конденсатора $C = \underline{\hspace{2cm}}$. Плавно изменяя сопротивление магазина R_2 , заметить положение движков, при которых апериодический процесс переходит в колебательный. Это критическое сопротивление $R_{кр} = R_L + R_2$ затем рассчитать теоретически по параметрам катушки и емкости. Снять кривую переходного тока при $R = R_{кр}$.

б) установить $R < R_{кр}$, получить на экране осциллографа колебательный процесс. Снять кривые тока $i(t)$; напряжения на конденсаторе $u_C(t)$ и катушке $u_K(t)$ на кальку.

5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема рис. 7.
3. Расчетные формулы и вычислительные значения постоянных времени, декремента колебания, угловой частоты.
4. Полученные экспериментально постоянные времени, декремент колебания, угловая частота.
5. Полученные экспериментально и перерисованные в соответствующих масштабах кривые переходных процессов.
6. Выводы.

6. Контрольные вопросы

1. Какие законы коммутации вы знаете?
2. Какова физическая и математическая сущность принужденных и свободных составляющих?
3. Что такое постоянная времени цепи?
4. Чем определяется периодичность и апериодичность переходного процесса?
5. Что такое начальные условия? Как они определяются?
6. Как определить постоянные интегрирования общего решения переходного тока (напряжения)?

7. Каковы причины возникновения переходных процессов?
8. Что такое нулевые и ненулевые начальные условия?
9. Какой вид имеет свободная составляющая переходных колебаний в цепях первого порядка?
10. В чем заключается достоинства операторного метода расчета переходных процессов по сравнению с классическим методом?
11. В чем заключается сущность расчета переходных процессов методом интеграла Дюамеля?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Линейные цепи несинусоидального периодического тока

1. Цель работы

Изучение несинусоидальных кривых напряжения и тока. Исследование влияния индуктивности и емкости на форму тока в цепи с несинусоидальным напряжением. Экспериментальное определение и графоаналитический расчет дискретного частотного спектра.

2. Основные теоретические положения

В электротехнических и радиотехнических устройствах часто встречаются периодические ЭДС, напряжения и токи, закон изменения которых во времени отличен от синусоидального. Кривые таких ЭДС, напряжений и токов называются несинусоидальными.

Расчет режима любой цепи несинусоидального тока производится по методу наложения в три этапа. Сначала несинусоидальные по форме ЭДС источников представляются в виде суммы отдельных гармоник: $e(t) = E_{1m} \sin \omega t + E_{3m} \sin 3\omega t$. Затем проводится расчет схемы для каждой гармоники в отдельности как для цепи синусоидального тока. При переходе от одной гармоники к другой необходимо учитывать зависимость реактивных сопротивлений элементов от частоты и, следовательно, от номера гармоники:

$X_{Lk} = k \cdot \omega L = k \cdot X_{L1}$, $X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C} = \frac{X_{C1}}{k}$, где k – номер гармоники, для которой выполняется расчет. На заключительном этапе расчета выполняется синтез отдельных решений в соответствии с принципом наложения определяются: мгновенные значения несинусоидальных токов и напряжений как алгебраические суммы соответствующих значений отдельных гармоник $i = i_1 + i_3$, $u = u_1 + u_3$; действующие значения несинусоидальных токов и напряжений по формулам $I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2}$, $U = \sqrt{U_1^2 + U_3^2}$; активные мощности отдельных элементов как алгебраические суммы активных мощностей отдельных гармоник $P = P_1 + P_3$.

Расчет токов и напряжений в исследуемых схемах для каждой из гармоник может быть выполнен по закону Ома в обычной форме:

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}, \quad U_R = I \cdot R \quad U_L = I \cdot X_L \quad U_C = I \cdot X_C.$$

При расчете токов и напряжений в схемах необходимо учитывать зависимость реактивных сопротивлений элементов от частоты и, следовательно, от номера гармоники $X_{L1} = \omega L$, $X_{C1} = \frac{1}{\omega C}$, $X_{L3} = 3\omega L$, $X_{C3} = \frac{1}{3\omega C}$.

Измерения действующих значений несинусоидальных токов и напряжений производится измерительными приборами электродинамической или электромагнитной системы (лабораторными стрелочными приборами). Применение для этих целей цифровых электронных приборов может привести к большой погрешности измерений.

3. Описание установки

Источником синусоидального напряжения служит генератор специальных сигналов. Напряжение генератора может быть получено прямоугольной формы, в форме разнополярных остроугольных импульсов, в форме однополярного выпрямленного напряжения и др.

Для выделения напряжения какой-либо гармоники применяется параллельный контур L, C высокой добротности, который собирается из катушек индуктивности и конденсатора, смонтированных на той же панели, и имеет

резонансную частоту f_0 . Форма кривой напряжения или тока наблюдается на экране осциллографа. Для наблюдения формы кривой тока и измерения его величины в цепь включается дополнительно измерительное сопротивление, малое по сравнению с сопротивлением других участков цепи; в виду малости это сопротивление практически не влияет на величину тока в цепи; по падению напряжения на нем можно определить величину тока, поэтому его и называют измерительным.

4. Подготовка к работе

1. Записать ряды Фурье, ограничиваясь пятью слагаемыми, для напряжения прямоугольной формы без постоянной составляющей (меандра) и для однополупериодного выпрямленного синусоидального напряжения.
2. Построить в масштабе (на миллиметровой бумаге) линейчатые (дискретные) спектры напряжений по п.1. полагая амплитуду основной (первой) гармоники равной единице.
3. Объяснить, как в цепи рис. 1, где G - генератор синусоидального напряжения, L , C - параллельный контур с резонансной частотой f_0 , r_1 -дополнительно включенный резистор, экспериментально определить амплитуду второй гармоники преобразователя, работающего как однополупериодный выпрямитель.
4. Определить спектр тока в последовательной цепи, содержащей резистор с сопротивлением r и катушку с индуктивностью L , если $r = \omega_0 L$ при питании от источника напряжения в форме меандра с частотой f_0 и амплитудой первой гармоники равной единице.

Повторить расчет для цепи, в которой вместо катушки включен конденсатор емкостью C при условии $\frac{1}{\omega_0 C} = \omega_0 L$. Рассчитать, во сколько раз при этом изменится отношение амплитуды тока для третьей гармоники к амплитуде первой.

5. Вычислить резонансную частоту f_0 параллельного контура L , C (рис. 1), полагая, что индуктивность катушки $L=26 \text{ МГн}$, а емкость $C=0,1 \text{ мкФ}$.

5. Рабочее задание

Часть I. Экспериментальное получение спектров периодических напряжений различной формы.

1. Собрать цепь рис.1. Входной зажим «У» осциллографа подключить к точке «А». Элементы на панели выбрать так, чтобы удовлетворить следующим значениям параметров цепи $L=26 \text{ мГн}$, $C=0,1 \text{ мкФ}$, $r_1=120 \text{ КОм}$.
2. Переключатель генератора установить так, чтобы на выходе преобразователя получить напряжение синусоидальной формы. Установить частоту настройки генератора синусоидального напряжения равной резонансной f_0 , полученной в п. 5 подготовке к работе.
3. Медленно изменяя частоту напряжения, найти ее значение f_0' , при котором вольтметр V покажет наибольшее значение напряжения. Убедиться при помощи осциллографа, что напряжение как на выходе генератора, так и на параллельном контуре (потенциал точки В) синусоидальное. Добиться на экране осциллографа устойчивого изображения полутора периодов синусоиды, занимающих большую часть экрана. (В дальнейшем при выполнении всей работы добиваются того же расположения рассматриваемой кривой).
4. Установить переключатель генератора так, чтобы получить напряжение прямоугольной формы (меандр); частоту настройки установить равной f_0' . При помощи регулятора выходного напряжения генератор установить напряжение $U=7 \text{ В}$. Подключить осциллограф к точке В, убедиться, что на экране осциллографа наблюдается кривая, близкая к синусоиде, которая представляет собой первую гармонику напряжения в форме меандра.
5. Уменьшая частоту напряжения генератора, определить при помощи амплитуды трех первых гармоник напряжения. Значения частоты, номера гармоник и показания вольтметра свести в таблицу 1
6. Установить переключатель генератора так, чтобы получить напряжение в форме разнополярных остроугольных импульсов, частоту настройки генератора установить равной f_0 . Определить при помощи электронного вольтметра амплитуды первых трех гармоник спектра. Значения частоты, номера гармоник и показания вольтметра свести в таблицу 4.

7. По результатам измерений (п.5, 6) построить дискретные спектры в относительных единицах, полагая амплитуду первой гармоники равной единице. Спектры напряжений по п. 5 построить на тех же графиках, что и рассчитанные при подготовке к работе. Сопоставить их с полученными в п.2 подготовки к работе.

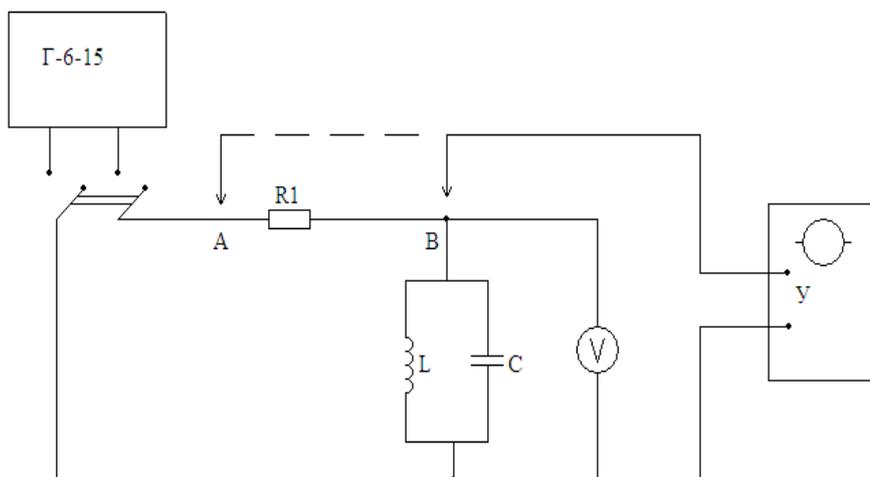


Рис. 1

Таблица 1

$U_{\text{ген}}$	$U_{\text{конт}}$	f_0	f	Γ_i
В	В	Гц	Гц	кОм
а) сигнал в форме прямоугольного импульса				
б) сигнал в форме разнополярных остроугольных импульсов				

Часть II. Исследование влияния индуктивности и емкости на форму кривой тока.

8. Собрать цепь по рис. 2. Переключатель генератора установить так, чтобы на выходе получить напряжение в форме прямоугольных импульсов частотой f_0 равной резонансной частоте параллельного контура L, C пункта 3, часть I рабочего задания. Величины L, r_L, r_H указаны на стенде. При этом сопротивление цепи будет практически чисто индуктивным.

9. Подключить зажимы «У» к точке «D» и перенести на кальку с экрана осциллографа кривую тока в цепи. Сопоставить кривые тока и напряжения.

10. Вместо катушки индуктивности L (рис. 2) включить конденсатор емкостью $C=0,1$ мкФ. При частоте напряжения генератора f_0 . Перенести на кальку кривую тока.

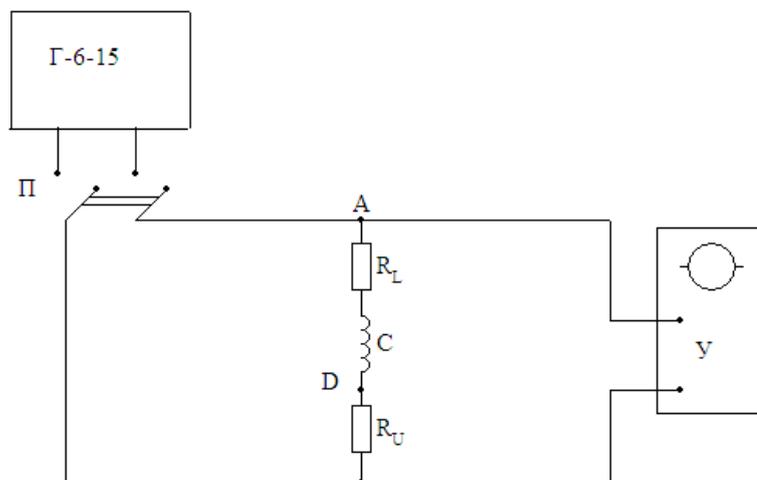


Рис. 2

6. Обработка результатов эксперимента

1. По результатам измерений п. 5, 6 рабочего задания построить дискретные спектры в относительных единицах, полагая амплитуду первой гармоники равной единице. Спектры напряжений по п. 5 построить на тех же графиках, что и рассчитанные при подготовке к работе. Сопоставить их с полученными в п. 2 подготовки к работе.

2. Графоаналитическим способом разложить кривую тока, полученные в п.10 или п. 9 (по указанию преподавателя) на гармонические составляющие, ограничиваясь вычислением первой и третьей гармоники. Провести анализ влияния структуры схемы на коэффициент 3-й гармоники $k_{г3}$ в токах $i(t)$. Дать пояснение полученным результатам.

3. Сравнить результаты эксперимента с данными расчета и дать заключение о степени их соответствия. В случае их существенного расхождения указать возможные причины.

7. Содержание отчета

Отчет по данной лабораторной работе должен содержать:

1) цель работы;

- 2) исходные данные (эквивалентные схемы исследуемых цепей и параметры их элементов);
- 3) таблицы с результатами вычислений и измерений;
- 4) основные расчетные формулы и уравнения;
- 5) кривые, разложенные графоаналитически в ряд Фурье, согласно п.9 или п.10 рабочего задания
- б) выводы и заключение о степени соответствия расчетных и экспериментальных результатов.

8. Методические указания

1. Если на выходе генератора напряжение несинусоидальное с основной частотой f_0 , то на контуре L, C выделяется напряжение, пропорциональное напряжению первой гармоники, так как на основной частоте сопротивление контура во много раз больше, чем на частоте любой высшей гармоники. Для определения k -ой гармоники напряжения необходимо, чтобы частота этой гармоники совпадала с резонансной частотой контура f_0 . При уменьшении частоты напряжения генератора до величины резонансная частота контура и частота k -ой гармоники напряжения на выходе совпадут; вольтметр V при этом покажет действующее значение k -ой гармоники напряжения. Например, если контур настроен на частоту $f_0 = 900$ Гц, то при частоте напряжения генератора $f_0 = 900$ Гц вольтметр покажет напряжение первой гармоники; если установить частоту напряжения генератора $f_0 = 300$ Гц, то напряжение на контуре будет напряжением третьей гармоники, так как контур по-прежнему настроен на частоту f_0 .

Таким образом, для экспериментального определения амплитуд спектра нужно установить частоту напряжения генератора, а затем, уменьшая ее в k раз, измерить напряжение на контуре, соответствующее k -ой гармонике

Контрольные вопросы

1. В чем сущность метода наложения применительно к цепям несинусоидального тока?
2. Какие напряжения и токи называются несинусоидальными?

3. Какому математическому уравнению соответствует периодическое колебание любой формы?
4. В чем заключается анализ и синтез несинусоидальных кривых тока и напряжения?
5. Как графическим способом разложить несинусоидальную кривую в ряд Фурье?
6. Как определить коэффициент искажения несинусоидальной кривой?
7. Как определяются действующие значения несинусоидальных токов и напряжений?
8. Почему действующие значения несинусоидальных токов и напряжений нельзя измерять цифровыми электронными приборами?
9. Почему при одинаковой ЭДС источника коэффициент 3-й гармоники гармоник для токов в схемах рис.1, 2, 3 оказался различным?
10. Какие бывают причины возникновения несинусоидальных напряжений и токов в электрических цепях?
11. Как по виду установить, содержит ли она четные гармоники?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Нелинейные электрические цепи постоянного тока

1. Цель работы

Опытная проверка графического метода расчета неразветвленных и разветвленных нелинейных электрических цепей постоянного тока.

2. Основные теоретические положения

Нелинейные цепи и элементы.

Электрическая цепь считается *нелинейной*, если она содержит хотя бы один нелинейный элемент, т.е. такой элемент, который обладает нелинейной вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Любой элемент электрической цепи (как источник, так и приемник) характеризуется вольт-амперной характеристикой,

представляющей собой зависимость $u(i)$ напряжения на зажимах элемента от тока, протекающего через этот элемент, или обратную зависимость $i(u)$ тока от напряжения.

По виду ВАХ нелинейные элементы делятся на две основные группы *симметричные* и *несимметричные*. *Симметричными* называются такие элементы, ВАХ которых не зависят от направления тока на них, например лампы накаливания с угольной и металлической нитью, бареттеры, термосопротивления. *Несимметричными* элементами называются такие элементы, у которых ВАХ неодинаковы при различных направлениях тока, например электрическая дуга, электрическая лампа, вентиль.

Нелинейную ВАХ $i = f(u)$ элемента получают в результате эксперимента и представляют в виде графика, таблицы или аналитического выражения.

Если ВАХ можно представить аналитическими функциями, то расчет нелинейных цепей проводят аналитическим методом. Однако, в большинстве случаев ВАХ не поддаются замене аналитическими функциями и нелинейные цепи приходится рассчитывать графическим методом, основанным на графическом решении уравнений, составленным по законам Кирхгофа.

Графический метод расчета нелинейных цепей.

Вольт-амперная характеристика одиночного нелинейного элемента сразу позволяет определить ток по заданному напряжению или напряжение по заданному току (рис. 1).

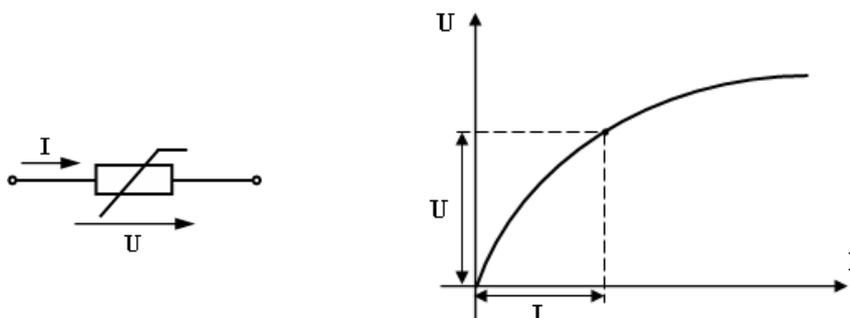


Рис. 1

При последовательном соединении любого числа нелинейных и линейных элементов ВАХ всей цепи строятся путем суммирования характеристик отдельных элементов в соответствии с зависимостью:

$$U_0(I) = U_1(I) + U_2(I) + \dots + U_n(I)$$

для чего, задаваясь произвольными значениями тока складывают соответствующие напряжения.

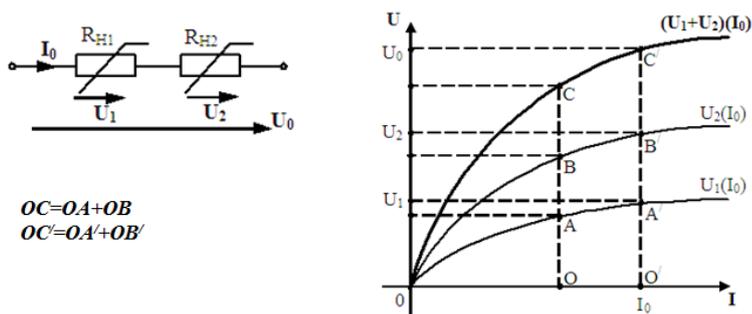


Рис. 2

На рис. 2 выполнено такое построение для двух последовательно соединенных нелинейных элементов.

По характеристике всей цепи для заданного значения напряжения определяется

соответствующий ему ток I , а по нему - падения напряжения на участках цепи U_1 и U_2 .

При параллельном соединении ВАХ всей цепи строят путем суммирования характеристик отдельных элементов в соответствии с зависимостью:

$$I_0(U) = I_1(U) + I_2(U) + \dots + I_n(U)$$

для чего, задаваясь произвольными значениями напряжения складывают

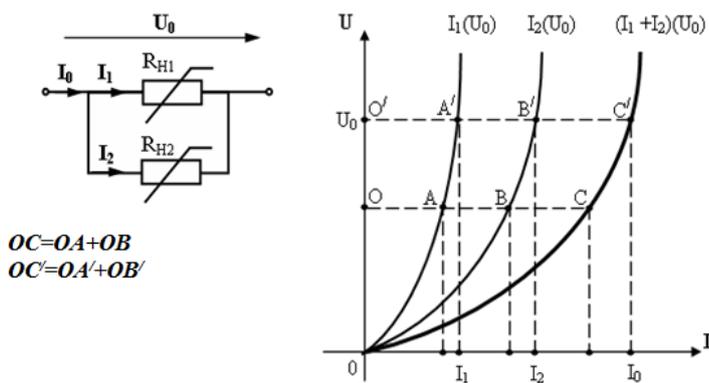


Рис. 3

соответствующие значения тока (см. рис. 3).

По ВАХ для всей цепи для любого заданного значения I_0 определяют значение приложенного напряжения U_0 , а затем токи в нелинейных элементах I_1 и I_2

При смешанном соединении, например, при расчете цепи (рис.4,а) также строится суммарная вольтамперная характеристика всей цепи по характеристикам отдельных элементов (рис.4,б).

С помощью суммирования абсцисс, т.е. токов I_2 и I_3 строится характеристика параллельного разветвления

$$U_{23}(I_2 + I_3) = U_{23}(I_1), \quad \text{т.е.} \quad I_1 = I_2 + I_3$$

затем суммируя координаты этой характеристики и характеристики $U_1(I_1)$, т.е. $I_1 = I_2 + I_3$, затем суммируются координаты этой характеристики и характеристики $U_1(I_1)$ т.е. напряжения U_{23} и U_1 всей цепи $(U_1 + U_{23})I_1 = U_0 I_1$

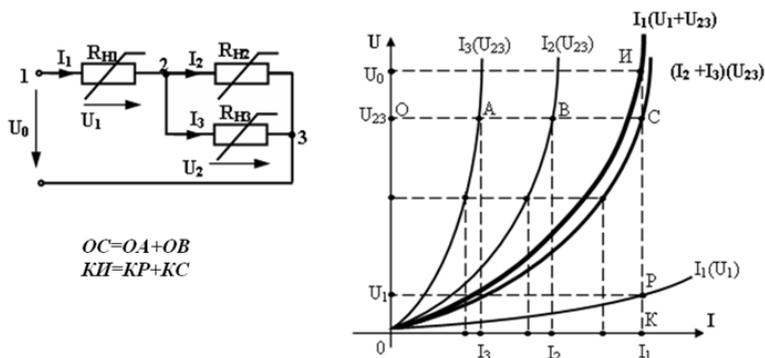


Рис 4

По этой характеристике для заданного напряжения U_0 определяют общий ток цепи I_1 , после чего по характеристике $U_1 I_1$ и $U_{23} I_1$ находят напряжения на участках U_1 и U_{23} , а затем, зная U_{23} по характеристикам

$U_{23}(I_2)$ и $U_{23}(I_3)$ определяют токи I_2 и I_3 .

3. Описание установки

Элементами исследуемых цепей являются два нелинейных сопротивления (бареттеры 1В 10 ÷ 17) и одно линейное $R = 20$ Ом. В качестве источника питания используется постоянное напряжение 24 В. Напряжение в цепь следует подавать через делитель напряжения ДН. В качестве делителя напряжения целесообразно использовать проволочный реостат с небольшим сопротивлением (20 ÷ 100 Ом), т.к. в этом случае обеспечена более плавная регулировка напряжения. Не следует допускать тока в цепи более одного ампера.

4. Подготовка к работе

1. Снятие вольтамперной характеристики.

1.1. Собрать цепь для снятия вольтамперной характеристики исследуемых элементов (рис. 5).

1.2. Плавно изменяя напряжение от 0 до U_{max} снять ВАХ HC_1 , HC_2 и R поочередно. Результаты измерений занести в табл. 1.

1.3. Изобразить ВАХ исследуемых элементов на графике.

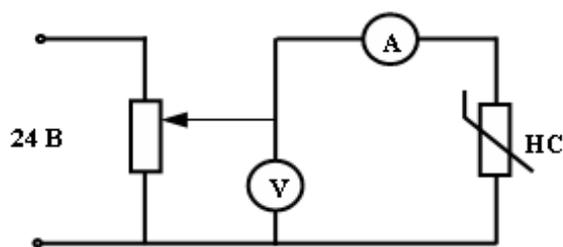


Рис. 5

Таблица 1.

№ опыта		1	2	3	4	5	6	7
НС ₁	U							
	I							
НС ₂	U							
	I							
R	U							
	I							

2. Последовательное соединение элементов.

2.1. Собрать цепь рис. 6.

2.2. Снять ВАХ цепи. Результаты измерений занести в табл. 2.

2.3. По данным таблицы 2 построить ВАХ цепи. Сравнить ее с расчетной, построенной графическим методом по известным вольтамперным характеристикам НС₁ и R см. п. 1.3. По расчетным ВАХ определить величину тока I напряжений на элементах U₁ и U₂, при заданном преподавателем значении общего напряжения U.

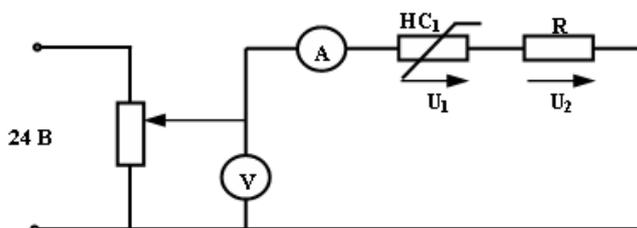


Рис. 6

Таблица 2.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

3. Параллельное соединение элементов.

3.1. Собрать схему рис 7.

3.2. Снять ВАХ цепи. Результаты измерений занести в табл.3.

3.3. Построить ВАХ цепи по данным табл.3 и расчетным путем, используя ВАХ HC_2 и R (см. п. 1.3). Результаты построения сравнить. По расчетным ВАХ определить величины токов I_1 и I_2 напряжения U при значении тока I заданном преподавателем.

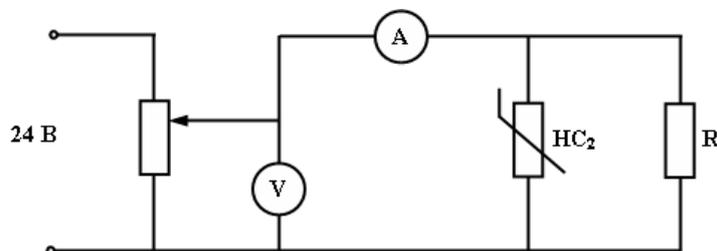


Рис. 7

Таблица 3.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

4. Смешанное соединение элементов.

4.1. Собрать цепь рис. 8.

4.2. Снять ВАХ всей цепи. Результаты измерений занести в табл.4.

4.3. Построить ВАХ цепи по данным табл. 4 и расчетным путем, используя ВАХ элементов (п. 1.3). Сравнить эти характеристики. По расчетным данным ВАХ определить величины I, I_1, I_2, U_1, U_2 при заданном преподавателем напряжении.

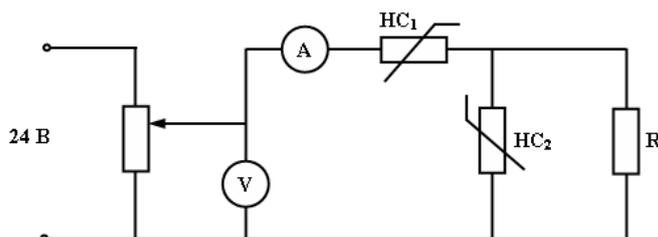


Рис. 8.

Таблица 4.

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7
U							
I							

Контрольные вопросы.

1. Что называют нелинейным элементом?
2. Что называют нелинейной цепью?
3. Что называется вольтамперной характеристикой?

4. Как опытным путем получить ВАХ нелинейного элемента?
5. Как построить ВАХ нелинейного элемента?
6. Какие нелинейные элементы называются симметричными?
7. Какие нелинейные элементы называются несимметричными?
8. Как графически рассчитать нелинейную цепь при последовательном соединении элементов?
9. Как графически рассчитать нелинейную цепь при параллельном соединении элементов?
10. Как графически рассчитать цепь при смешанном соединении элементов?

ГЛОССАРИЙ

А

Активная мощность – мощность, соответствующая электрической энергии, преобразуемой двухполюсником в неэлектрические виды при данном напряжении и токе на входе двухполюсника.

Активная проводимость – вещественная часть комплексной проводимости, определяющая интенсивность преобразования двухполюсником электрической энергии в неэлектрические виды.

Активное напряжение – составляющая входного напряжения двухполюсника, совпадающая по фазе с током и соответствующая активной мощности, преобразуемой двухполюсником при данном входном токе.

Активное сопротивление – вещественная часть комплексного сопротивления, определяющая интенсивность преобразования двухполюсником электрической энергии в неэлектрические виды.

Активный ток – составляющая входного тока двухполюсника, совпадающая по фазе с напряжением и соответствующая активной мощности, преобразуемой двухполюсником при данном входном напряжении.

В

Вебер-амперная характеристика – зависимость потокосцепления участка электрической цепи от протекающего по нему тока.

Векторная диаграмма – совокупность векторов, изображающая синусоидальные токи, напряжения и ЭДС, действующие в электрической цепи.

Ветвь электрической цепи – связная совокупность элементов электрической цепи, образующих путь для протекания тока между двумя узлами.

Вихревые токи (токи Фуко) – электрический ток, возникающий под действием ЭДС индукции в проводящей среде, находящейся в изменяющемся магнитном потоке, и замыкающийся по concentрическим контурам, охватывающим магнитные линии.

Внешняя характеристика источника электрической энергии – зависимость напряжения на выходе источника от тока в нагрузке.

Внешняя характеристика трансформатора – зависимость напряжения на вторичной обмотке трансформатора от величины тока нагрузки.

Вольт-амперная характеристика – зависимость напряжения на участке электрической цепи от протекающего по нему тока.

Вольт-кулонова характеристика – зависимость напряжения на участке электрической цепи от величины заряда на его концах.

Вращающееся магнитное поле – магнитное поле, ось которого проходящая через центры полюсов вращается в пространстве.

Вторичная обмотка трансформатора – обмотка, к которой подключается нагрузка трансформатора.

Д

Двухполюсник – часть электрической цепи, подключённая к ней двумя проводами (в двух точках).

Действующее (эффективное, среднеквадратичное) значение синусоидальной величины – значение эквивалентное по количеству тепла, выделяющемуся в цепи постоянного тока при тех же условиях.

Дифференциальное (динамическое) сопротивление – отношение приращения падения напряжения на нелинейном резистивном элементе к приращению протекающего по нему тока вблизи некоторой точки вольт-амперной характеристики.

Добротность катушки индуктивности – отношение индуктивного сопротивления катушки к её активному сопротивлению.

Добротность конденсатора – отношение ёмкостного сопротивления конденсатора к его активному сопротивлению.

\ddot{E}, E

Ёмкостное сопротивление – параметр ёмкостного элемента электрической цепи, определяющий соотношение между величиной тока и напряжения на нём.

Ёмкостный элемент – идеальный элемент электрической цепи (идеальный конденсатор), обладающий только электрической ёмкостью.

Ёмкость (электрическая ёмкость) – параметр, характеризующий способность конденсатора формировать электрическое поле с определённым запасом энергии и численно равный отношению величины заряда, накапливаемого конденсатором к величине напряжения на его электродах.

Естественный заземлитель – используемые для заземления металлические конструкции и коммуникации зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землёй.

З

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством.

Заземляющее устройство (заземлитель) – совокупность соединённых между собой металлических проводников, находящихся в соприкосновении с землёй.

Закон полного тока – линейный интеграл вектора напряжённости магнитного поля, взятый по замкнутому контуру, равен полному электрическому току, проходящему сквозь поверхность, ограниченную этим контуром.

Законы коммутации – следствия закона сохранения энергии, отражающие непрерывность тока в индуктивном элементе и напряжения на ёмкостном элементе при коммутации.

Зануление – преднамеренное электрическое соединение токопроводящих частей электроустановки, нормально не находящихся под напряжением, с глухозаземлённой нейтралью генератора или трансформатора.

И

Идеальный ключ – элемент электрической цепи, имеющий два состояния, в которых он обладает нулевым и бесконечно большим активным сопротивлением, и мгновенно меняющий состояние в заданный момент времени.

Измерительные трансформаторы – трансформаторы напряжения и тока, включаемые между прибором и измерительной цепью для обеспечения безопасности измерений и приведения измеряемых величин к уровню доступному измерению стандартными приборами.

Индуктивное сопротивление – параметр индуктивного элемента электрической цепи, определяющий соотношение между величиной тока и напряжения на нём.

Индуктивность – параметр, определяющий энергию магнитного поля участка электрической цепи и численно равный отношению величины потокосцепления этого участка к величине протекающего по нему тока

Индуктивный элемент – идеальный элемент электрической цепи (идеальная катушка), обладающий только индуктивностью.

Источник тока – источник электрической энергии, формирующий в подключённой к нему электрической цепи ток, не зависящий от величины и направления падения напряжения.

Источник ЭДС (источник напряжения) – источник электрической энергии, формирующий в точках подключения к нему электрической цепи разность потенциалов, не зависящую от величины и направления протекания тока.

Источник электрической энергии – преобразователь неэлектрических видов энергии (механической, химической, тепловой и др.) в электрическую.

К

Катушка – группа последовательно соединённых витков, уложенных в одни и те же пазы, и имеющая помимо изоляции отдельных витков общую изоляцию от стенок паза.

Катушка индуктивности – элемент электрической цепи (физический объект), предназначенный для формирования магнитного поля с заданными свойствами.

Коммутация – мгновенное изменение схемы соединения или параметров элементов электрической цепи.

Комплексная амплитуда – комплексное число, соответствующее вектору с модулем, равным амплитуде синусоидальной величины и составляющему с вещественной осью угол, равный её начальной фазе.

Комплексная проводимость – параметр электрической цепи, обратный комплексному сопротивлению и определяющий амплитудное и фазовое соотношения между напряжением и током двухполюсника.

Комплексное действующее значение (комплексное значение) – комплексное число, соответствующее вектору с модулем, равным действующему значению синусоидальной величины и составляющему с вещественной осью угол, равный её начальной фазе.

Комплексное сопротивление – параметр электрической цепи, определяющий амплитудное и фазовое соотношения между напряжением и током двухполюсника.

Комплексный (символический) метод расчёта – основной метод расчёта электрических цепей переменного тока, заключающийся в замене синусоидальных величин и параметров цепи комплексными числами (символами величин), в результате чего расчёт сводится к решению алгебраических уравнений.

Конденсатор – элемент электрической цепи (физический объект), в электрическом поле которого происходит накопление энергии.

Контур электрической цепи – замкнутый путь вдоль ветвей электрической цепи.

Коэрцитивная сила – напряжённость магнитного поля, необходимая для снижения до нуля остаточной индукции.

Коэффициент трансформации (приведения) – отношение числа витков первичной обмотки трансформатора к числу витков вторичной обмотки, определяющее отношение номинальных напряжений первичной и вторичной обмоток.

Круговая диаграмма – окружность, представляющая собой геометрическое место точек концов векторов активного и реактивного напряжения (тока) двухполюсника при всех возможных вариациях его параметров и постоянном входном напряжении (токе).

Л

Лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) – вид автотрансформатора с плавным регулированием выходного напряжения.

Линейная катушка индуктивности – катушка, обладающая линейной вебер-амперной характеристикой

Линейные напряжения – напряжения между линейными проводами трёхфазной цепи.

Линейные токи – токи в линейных проводах трёхфазной цепи.

Линейный источник электрической энергии – источник, обладающий линейной внешней характеристикой

Линейный провод – проводник, соединяющий источник с нагрузкой в трёхфазной цепи.

Линейный резистор – резистор, обладающий линейной вольт-амперной характеристикой

М

Магнитная индукция – векторная величина, определяющая силу, действующую на движущуюся заряжённую частицу со стороны магнитного поля.

Магнитная цепь – совокупность технических устройств и объектов, возбуждающих магнитные поля и формирующих пути для их распространения,

электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий магнитодвижущей силы, магнитного потока и разности магнитных потенциалов.

Магнитный поток (поток вектора магнитной индукции) – скалярная величина, определяющая магнитную индукцию в области пространства ограниченной замкнутым контуром и равная потоку вектора магнитной индукции через поверхность этого контура.

Магнитодвижущая сила – линейный интеграл вектора напряжённости магнитного поля, взятый по замкнутому контуру, охватывающему полный электрический ток, создающий это поле.

Магнитомягкие (магнитотвёрдые) материалы – ферромагнитные материалы с малой (большой) коэрцитивной силой.

Магнитопровод – конструкция из ферромагнитного материала, предназначенная для усиления и формирования магнитного потока.

H

Намагничивающий ток – часть тока первичной обмотки, расходуемая на возбуждение магнитного потока и на компенсацию тепловых потерь в магнитопроводе.

Напряжение на заземляющем устройстве – напряжение, вызванное током замыкания на землю и распределённое вокруг точки ввода тока в заземляющее устройство.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю при одновременном прикосновении к ним человека.

Напряжение шага – напряжение между двумя точками на земле, находящимися на расстоянии одного метра, вызванное растеканием тока замыкания на землю.

Напряжённость магнитного поля – векторная величина, определяющая свойства системы возбуждения магнитного поля и численно равная разности векторов индукции и намагниченности среды.

Начальные условия переходного процесса – токи в индуктивных элементах и напряжения на ёмкостных элементах цепи непосредственно перед коммутацией.

Нейтральная (нулевая) точка (нейтраль) – узел в соединении звездой источников или приёмников трёхфазной цепи.

Нейтральная линия (геометрическая нейтраль) – геометрическая ось симметрии между главными полюсами машины постоянного тока.

Нейтральный (нулевой) провод – проводник, соединяющий нейтральные (нулевые) точки источников и приемников в трёхфазной цепи.

Нелинейная электрическая цепь – электрическая цепь, содержащая, по крайней мере, один нелинейный элемент.

Нелинейные элементы электрической цепи – элементы электрической цепи, параметры которых зависят от протекающего по ним тока или от приложенного к ним напряжения, т.е. элементы с нелинейной вольт-амперной, вебер-амперной или кулон-вольтной характеристикой.

Несвязанная трёхфазная система – трёхфазная цепь, не имеющая электрической (гальванической) связи между фазами.

Номинальное напряжение вторичной обмотки – напряжение на вторичной обмотке при отключённой нагрузке трансформатора.

Номинальное напряжение первичной обмотки – расчётное напряжение на первичной обмотке трансформатора.

Номинальный режим работы электрической цепи – режим, при котором элементы электрической цепи работают в условиях соответствующих данным их проектирования

О

Обратная задача расчёта магнитной цепи – определение магнитных потоков в магнитной цепи при заданных геометрических и магнитных параметрах элементов и магнитодвижущих силах.

Опыт короткого замыкания – искусственно созданный режим короткого замыкания при напряжении питания пониженном до значения, при котором ток первичной обмотки равен номинальному, проводимый с целью определения параметров схемы замещения и качества изготовления трансформатора.

Опыт холостого хода – искусственно созданный режим холостого хода для определения параметров схемы замещения и качества изготовления трансформатора.

Основной магнитный поток трансформатора – магнитный поток в магнитопроводе трансформатора, пронизывающий обе обмотки.

Остаточная индукция – индукция в ферромагнитном материале после уменьшения до нуля напряжённости магнитного поля.

П

Пассивные элементы электрической цепи – элементы, не производящие электрическую энергию (резистор, катушка индуктивности, конденсатор).

Пассивный двухполюсник – двухполюсник, не содержащий источников электрической энергии.

Первичная обмотка трансформатора – обмотка, подключаемая к источнику электрической энергии.

Переменные потери в трансформаторе – тепловые потери энергии в трансформаторе зависящие от его нагрузки и равные потерям в обмотках.

Переходные процессы – электромагнитные процессы в электрической цепи, возникающие при изменении её состояния и обусловленные перераспределением и преобразованием энергии.

Повышающий (понижающий) трансформатор – трансформатор, у которого номинальное напряжение вторичной обмотки больше (меньше) номинального напряжения первичной обмотки.

Полная (кажущаяся) мощность – условная величина, вводимая для удобства в систему оценок мощности и численно равная предельно возможной активной мощности при данном напряжении и токе на входе двухполюсника.

Полная проводимость – модуль комплексной проводимости, определяющий соотношение действующих (амплитудных) значений тока и напряжения.

Полное сопротивление – модуль комплексного сопротивления, определяющий соотношение действующих (амплитудных) значений тока и напряжения.

Порядок чередования фаз – последовательность, в которой фазные ЭДС проходят через одинаковые состояния, например, через нулевые значения.

Постоянные потери в трансформаторе – тепловые потери энергии в трансформаторе не зависящие от его нагрузки и равные потерям в магнитопроводе.

Потери в «меди» – тепловые потери в проводе обмотки электромагнитного устройства, вызванные протеканием электрического тока.

Потери в «стали» – сумма тепловых потерь электрической энергии в материале магнитопровода от гистерезиса и вихревых токов.

Потери от вихревых токов – тепловые потери электрической энергии, вызванные протеканием вихревых токов в материале магнитопровода.

Потери от гистерезиса – тепловые потери электрической энергии, связанные с перемагничиванием материала магнитопровода и пропорциональные площади петли гистерезиса.

Потокоцепление – сумма магнитных потоков, сцеплённых с витками катушки.

Приведение параметров обмотки – математическая операция замены реальных значений параметров элементов схемы замещения, тока, напряжений и ЭДС одной из обмоток расчётными эквивалентами, соответствующими числу витков другой обмотки, при условии сохранения мощности элементов схемы. Приведение параметров производится для замены магнитной связи обмоток эквивалентной электрической связью.

Приёмник электрической энергии – преобразователь электрической энергии в другие виды энергии (механическую, химическую, тепловую и др.).

Принцип суперпозиции – реакция электрической цепи на суммарное воздействие равно сумме реакций на элементарные воздействия.

Принципиальная электрическая схема – изображение электротехнических устройств, образующих электрическую цепь, и их связей с помощью условных обозначений.

Проводимость – величина обратная сопротивлению.

Прямая задача расчёта магнитной цепи – определение магнитодвижущих сил в магнитной цепи при заданных геометрических и магнитных параметрах элементов и магнитных потоков.

P

Реактивная мощность – мощность, соответствующая электрической энергии, участвующей в периодическом обмене между двухполюсником и внешней цепью при данном напряжении и токе на входе двухполюсника.

Реактивная проводимость – мнимая часть комплексной проводимости, определяющая интенсивность обмена энергией между двухполюсником и внешней цепью.

Реактивное напряжение – составляющая входного напряжения двухполюсника, смещённая по фазе относительно входного тока на 90° и соответствующая мощности периодического обмена энергией между двухполюсником и внешней цепью при данном входном токе.

Реактивное сопротивление – мнимая часть комплексного сопротивления, определяющая интенсивность обмена энергией между двухполюсником и внешней цепью.

Реактивный ток – составляющая входного тока двухполюсника, смещённая по фазе относительно входного напряжения на 90° и соответствующая мощности периодического обмена энергией между двухполюсником и внешней цепью при данном входном напряжении.

Реальный источник – источник электрической энергии, обладающий внутренними потерями.

Режим короткого замыкания – аварийный режим работы трансформатора при замкнутых между собой выводах вторичной обмотки.

Режим холостого хода – режим работы трансформатора при разомкнутой цепи вторичной обмотки.

Режим холостого хода электрической цепи – режим работы источника электрической энергии с отключённой нагрузкой.

Резистивный элемент – идеальный элемент электрической цепи (идеальный резистор), обладающий только сопротивлением.

Резистор – элемент электрической цепи (физический объект), в котором происходит необратимое преобразование электрической энергии в тепловую и основным параметром которого является электрическое сопротивление.

Резонанс – режим пассивного двухполюсника, содержащего индуктивные и ёмкостные элементы, при котором его входное реактивное сопротивление равно нулю.

Резонанс напряжений – явление резонанса в последовательном контуре, при котором напряжения на реактивных элементах компенсируют друг друга.

Резонанс токов – явление резонанса в параллельном контуре, при котором реактивные токи в ветвях компенсируют друг друга.

С

Связанная трёхфазная система – трёхфазная цепь, в которой источники электрической энергии электрически соединены между собой и приёмники (нагрузка) соединены между собой.

Симметричная нагрузка – приёмник (нагрузка) с одинаковыми комплексными фазными сопротивлениями.

Синусоидальный ток – электрический ток, изменяющийся во времени по синусоидальному закону.

Согласованный режим работы электрической цепи – режим, при котором источник электрической энергии отдаёт в нагрузку максимально возможную мощность.

Сопротивление – параметр, характеризующий способность резистора осуществлять преобразование энергии и численно равный отношению величины напряжения на резисторе к величине протекающего по нему тока.

Среднее значение синусоидальной величины – среднее значение синусоидальной величины за положительный полупериод.

Статическое сопротивление – отношение падения напряжения на нелинейном резистивном элементе к протекающему по нему току.

Схема замещения магнитной цепи – схема, в которой с помощью условных обозначений, принятых в электрических цепях, изображена взаимосвязь магнитодвижущих сил и магнитных потоков в магнитной цепи.

Схема замещения электрической цепи – условное изображение параметров устройств и объектов электрической цепи, принимаемых в расчёт при анализе электромагнитных процессов.

T

Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю через место замыкания.

Топология – раздел математики, изучающий топологические свойства фигур, т.е. свойства фигур, не изменяющиеся при взаимно однозначных непрерывных отображениях.

Трансформатор напряжения – статическое (не имеющее движущихся частей) электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования одного переменного синусоидального напряжения в другое той же частоты.

Трёхпроводная трёхфазная система – трёхфазная цепь без нейтрального (нулевого) провода.

Трёхфазная цепь – совокупность трёх пар источников электрической энергии и приёмников, причём амплитуды и частоты ЭДС источников одинаковы, а начальные фазы смещены относительно друг друга на 120° .

Трёхфазный трансформатор – трансформатор с фазными обмотками, расположенными на общем магнитопроводе, в результате чего между фазами сети кроме электрической существует также магнитная связь.

У

Узел электрической цепи – соединение трёх и более ветвей.

Ф

Фаза трёхфазной цепи – часть трёхфазной цепи, включающая источник электрической энергии и подключённый к нему приёмник (нагрузку).

Фазное сопротивление – сопротивление фазы приёмника (нагрузки).

Фазные ЭДС, напряжения и токи – ЭДС, напряжения и токи в фазах трёхфазной цепи.

Феррорезонанс – резонанс в электрической цепи, содержащей катушку с ферромагнитным сердечником.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения (тока) – устройство для поддержания постоянным значения напряжения (тока) в электрической цепи, использующее для этого вольт-амперную характеристику феррорезонансного контура.

Ц, Ч

Цикл (петля) гистерезиса – зависимость магнитной индукции от напряжённости магнитного поля при её симметричном циклическом изменении, имеющая форму замкнутой кривой (петли).

Четырёхпроводная трёхфазная система – трёхфазная цепь с нейтральным (нулевым) проводом.

Э

Эквивалентные синусоиды – синусоидальные величины тока и напряжения, действующие значения и активная мощность которых равны действующим значениям и активной мощности несинусоидальных периодических величин на входе двухполюсника.

Электрическая сеть с глухозаземлённой нейтралью – сеть, в которой нейтральная точка (нейтраль) генератора или трансформатора непосредственно присоединена к заземляющему устройству.

Электрическая сеть с изолированной нейтралью – сеть, в которой нейтральная точка (нейтраль) генератора или трансформатора не присоединена к заземляющему устройству.

Электрическая цепь – совокупность технических устройств и объектов, по которым протекает электрический ток, и электромагнитные процессы в которых могут быть описаны понятиями электродвижущей силы, тока и напряжения.

Электрический ток – направленное движение электрических зарядов.

Электрический фильтр – устройство, предназначенное для усиления или подавления в электрической цепи токов или напряжений определённой частоты или диапазона частот.

Электрическое напряжение (падение напряжения, напряжение) – работа, необходимая для перемещения зарядов на некотором участке электрической цепи и численно равная энергии, отдаваемой единичным зарядом на этом участке.

Электродвижущая сила – сила, действующая на электрические заряды и вызывающая их движение и численно равная энергии, получаемой единичным зарядом на участке действия этой силы.

Я

Явление гистерезиса – зависимость значения магнитной индукции при данной напряжённости магнитного поля от её предшествующих значений.

Литература:

1. Г.В. Зеваке, П.А. Инкин, А.В. Натушил, С.В.Страхов. Основы теории цепей.
2. Л.А.Бессонов. Теоретические основы электротехники. В.Ш.
3. Г.А. Атабеков и др. Теоретические основы электротехники. Энергия.
4. Л.Н. Неман, К.С. Демирчан. Теоретические основы электротехники.