

В.В. Громов, С.А. Дехтяр, В.Г. Томашевич

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Текстовый электронный образовательный ресурс

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теоретические основы электротехники» для студентов всех форм и технологий обучения направления 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Подготовлено кафедрой «Электротехника» УралЭНИН УрФУ

Текстовый электронный образовательный ресурс содержит описание лабораторных работ, задания по подготовке к выполнению работ и по обработке результатов опытов.

Екатеринбург
2023

Оглавление

Введение	3
Работа № 8. Трёхфазная система, соединённая в звезду	4
Работа № 9. Трёхфазная система, соединённая в треугольник	7
Работа № 10. Симметричные составляющие линейных напряжений	11
Работа № 11. Переходные процессы в цепях, запасующих энергию в одной форме	14
Работа № 12. Переходные процессы в цепях, запасующих энергию в двух формах	16
Работа № 13. Четырёхполюсник в установившихся режимах	19
Работа № 14. Четырёхполюсник в переходных режимах	22
Библиографический список	24

Введение

Настоящий ресурс является продолжением методических указаний к выполнению лабораторных работ во *второй части* дисциплины «Теоретические основы электротехники». Как и в *первой части* (работы № 1–7) методических указаний «Линейные цепи в установившихся режимах», принят прежний порядок выполнения работ: 1) предварительная подготовка, включающая в себя ответы в письменной форме на вопросы, выполнение расчётов, построение векторных диаграмм и графиков согласно разделу "*Подготовка к работе*"; 2) после допуска к работе (сдачи коллоквиума)–проведение эксперимента по программе, заданной в разделе "*Экспериментальная часть*". Окончательный отчёт оформляется каждым студентом и защищается на собеседовании с преподавателем. Вариант задания совпадает с номером рабочего места студента.

РАБОТА № 8

ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА, СОЕДИНЁННАЯ В ЗВЕЗДУ

Цель работы

Исследование распределения токов и напряжений в трёхфазной системе, соединённой в звезду, как в симметричном, так и в несимметричных режимах.

Схема исследуемой цепи представлена на рис. 8.1.а. Несимметрия режима может быть вызвана несимметрией как нагрузки, так и питающих напряжений. Последняя возникает, например, при ненормальном присоединения нагрузки к источнику. Сам же источник в условиях лаборатории симметричен (см. векторную диаграмму рис. 8.1.б).

Каждый студент исследует пять режимов: 1–симметричный, 2, 3, 4, 5–несимметричные. Характер несимметрии меняется в зависимости от номера варианта и указан в табл.8.1.

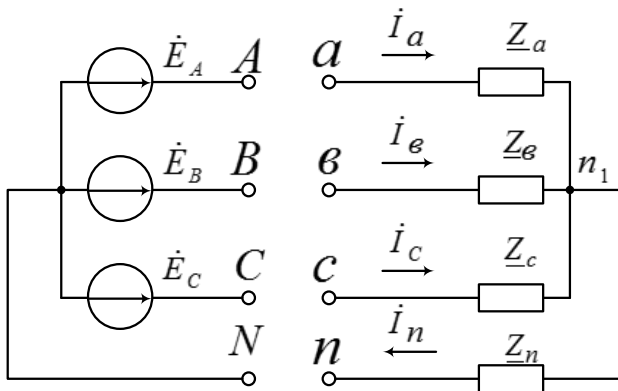


Рис. 8.1.а

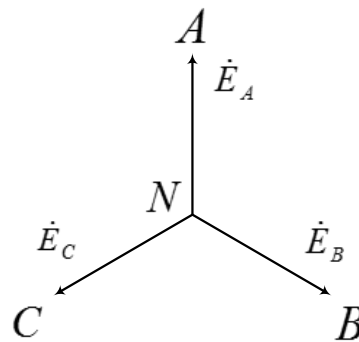


Рис. 8.1.б

1. Подготовка к работе

1.1. Режим 1–симметричный. Построить качественно топографическую диаграмму напряжений и совмещенную с ней диаграмму токов для случая $Z_a = Z_b = Z_c = R$, $Z_n = 0$ при симметричной системе питающих напряжений. Зависит ли режим работы от Z_n ? Во сколько раз отличается линейное напряжение от фазного?

1.2. Для режима 2 (см. табл. 8.1) изобразить схему, соответствующую описанному в таблице условию (знак «—» означает отсутствие соединения, обрыв). Допускается источник показывать только выводами А, В, С, N. На схеме указать приборы

для измерения токов, а также линейных и фазных напряжений электроприемника. Построить топографическую векторную диаграмму напряжений и совмещённую с ней диаграмму токов. Сравнить исследуемый режим с симметричным, т.е. найти полученные на основании диаграммы или расчёта отношения $U_{\phi}/U_{\phi 1}$, $I_{\phi}/I_{\phi 1}$ для каждой фазы нагрузки. Здесь $U_{\phi 1}$, $I_{\phi 1}$ – фазные напряжение и ток в симметричном режиме п. I.I. При наличии нейтрального провода найдите также $I_n/I_{\phi 1}$.

1.3. То же, что 1.2, но для режима 3, без указания измерительных приборов.

1.4. То же, что 1.2, но для режима 4 без указания измерительных приборов.

1.5. Для режима 5 начертить схему, соответствующую описанному в табл. 8.1 условию. Продумать, как по данным эксперимента построить топографическую векторную диаграмму напряжений и совмещённую с ней диаграмму токов цепи.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Измерить фазные и линейные напряжения, а также все токи в симметричном режиме 1 при $Z_n = \infty$ и $Z_n = 0$. Сравнить с выводами п. I.I.

2.2. Измерить все токи, а также линейные и фазные напряжения в режимах 2, 3, 4. По результатам опыта рассчитать для каждой фазы нагрузки отношения $U_{\phi}/U_{\phi 1}$, $I_{\phi}/I_{\phi 1}$, а также отношение $I_n/I_{\phi 1}$ при наличии нейтрального провода. Здесь $U_{\phi 1}$, $I_{\phi 1}$ – фазные напряжение и ток симметричного режима, измеренные в п. 2.1. Сравнить результаты эксперимента с результатами расчёта.

2.3. Измерить все токи, а также фазные и линейные напряжения в режиме 5. По данным опыта в удобочитаемом масштабе построить топографическую векторную диаграмму напряжений и совмещённую с ней диаграмму токов. При построении диаграммы иметь в виду, что символом L в табл. 8.1, как и на панели А4 стенда, обозначена катушка, обладающая не только индуктивным, но и резистивным сопротивлением. По диаграмме найти угол между фазным напряжением и током в фазе с катушкой. Рассчитать тот же угол, зная параметры элементов (см. паспорт оборудования рабочего места). Сравнить результаты.

Таблица 8.1

Номер варианта	Номер режима	Питание (присоединение точек a, b, c, n нагрузки к точкам А,В,С,Н источника)				Нагрузка (обозначение элемента на панели А4, включаемого в фазы нагрузки; сопротивление Z_n)			
		a	b	c	n	a	b	c	Z_n
1	2	A	B	C	N	$2R$	R	R	0
	3	A	B	C	-	0	R	R	∞
	4	A	B	N	C	R	R	R	∞
	5	A	B	C	N	R	R	L	0
2	2	A	B	C	-	$2R$	R	R	∞
	3	A	B	C	-	R	/0	R	∞
	4	A	B	N	C	R	R	R	0
	5	A	B	C	-	R	R	L	∞
3	2	A	B	C	N	R	R	∞	0
	3	A	B	C	-	R	R	∞	∞
	4	A	B	C	-	R	R	0	∞
	5	A	B	C	-	R	$2C$	R	∞
4	2	A	B	C	-	0	R	R	∞
	3	A	B	C	N	$2R$	∞	R	0
	4	A	N	C	B	R	R	R	0
	5	A	C	B	-	R	R	L	∞
5	2	A	B	C	-	R	R	0	∞
	3	A	B	C	-	$2R$	R	∞	∞
	4	A	B	N	C	$2R$	R	R	0
	5	A	C	B	-	R	$2C$	L	∞
6	2	A	B	C	N	∞	R	R	0
	3	A	B	C	-	∞	R	R	∞
	4	A	N	C	B	R	R	R	∞
	5	A	C	B	-	R	$10C$	R	∞
7	2	A	B	C	N	R	∞	R	0
	3	A	B	C	-	R	∞	R	∞
	4	N	B	C	A	R	R	R	∞

	5	A	C	B	N	R	$10C$	R	0
8	2	A	B	C	-	R	0	R	∞
	3	A	B	C	-	2R	∞	R	∞
	4	N	B	C	A	R	R	R	0
	5	A	B	C	-	R	2C	L	∞
9	2	A	B	C	-	∞	R	R	∞
	3	A	B	C	N	∞	R	R	0
	4	A	N	C	B	2R	R	R	0
	5	A	C	B	N	R	2C	L	0
10	2	A	B	C	-	∞	R	R	∞
	3	A	B	C	N	∞	R	R	0
	4	A	N	C	B	2R	R	R	0
	5	A	C	B	N	R	2C	L	0
11	2	A	B	C	-	R	R	∞	∞
	3	A	B	C	N	R	R	∞	0
	4	A	B	N	C	0	R	R	∞
	5	A	C	B	-	R	R	L	∞

РАБОТА № 9

ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА, СОЕДИНЁННАЯ В ТРЕУГОЛЬНИК

Цель работы

Исследование распределения токов и напряжений в трёхфазной системе, соединённой в треугольник (рис. 9.1.а), как в симметричном, так и в несимметричных режимах.

Несимметрия режима может быть вызвана несимметрией как нагрузки, так и питающих напряжений U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} . Последняя может возникнуть либо при обрыве линейного провода, либо при нештатном присоединении нагрузки к источнику. Сам же источник в условиях лаборатории остаётся практически симметричным (см. векторную диаграмму на рис. 9.1.б).

Каждый студент исследует шесть режимов: 1–симметричный, 2, 3, 4, 5, 6–несимметричные. Характер несимметрии меняется в зависимости от номера варианта и указан в табл. 9.1.

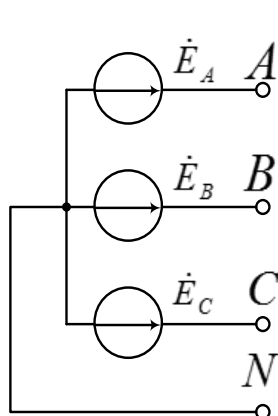


Рис. 9.1.а

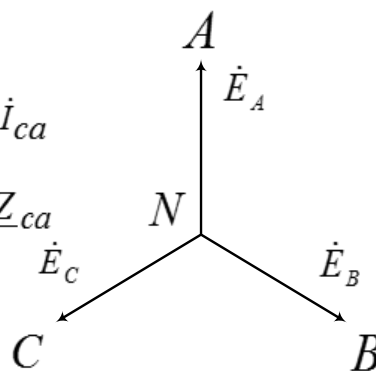
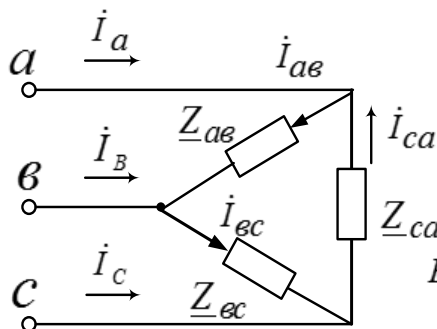


Рис. 9.1.б

1. Подготовка к работе

1.1. Режим 1–симметричный. Построить качественно топографическую векторную диаграмму напряжений и совмещённую с ней диаграмму токов для случая $\underline{Z}_{ab} = \underline{Z}_{bc} = \underline{Z}_{ca} = R$ при симметричной системе питающих напряжений. Во сколько раз отличается линейный ток от фазного?

1.2. Для режима 2 (см. табл. 9.1) изобразить схему, соответствующую описанному в таблице условию (знак «—» означает отсутствие соединения, обрыв). Допускается источник показывать только выводами А, В, С, N. На схеме указать приборы для измерения фазных и линейных токов и напряжений приемника. Построить топографическую векторную диаграмму напряжений и диаграмму токов. Сравнить исследуемый режим с симметричным, т.е. найти на основании диаграммы или расчёта отношения $U_\phi / U_{\phi 1}$, $I_\phi / I_{\phi 1}$, $I_\text{л} / I_{\text{л}1}$ для каждой фазы и линии. Здесь $U_{\phi 1}$, $I_{\phi 1}$, $I_{\text{л}1}$ – фазное напряжение, фазный и линейный токи в симметричном режиме.

1.3. То же, что 1.2, но для режима 3, без указания измерительных приборов.

1.4. То же, что 1.2, но для режима 4, без указания измерительных приборов.

1.5. Для режимов 5 и 6 начертить схемы, соответствующие описанному в табл. 9.1 условию. Продумать, как по измеренным фазным и линейным токам построить

векторную диаграмму и определить угол сдвига тока от напряжения в той фазе, в которую включены катушка или конденсатор.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Измерить фазные напряжения, а также фазные и линейные токи в симметричном режиме 1. Сравнить отношение $I_{\text{л}}/I_{\text{ф}}$ с теоретическим в п.1.1.

2.2. Измерить фазные и линейные токи, напряжения в режимах 2, 3, 4. По результатам измерений рассчитать отношения $U_{\text{ф}}/U_{\text{ф1}}$, $I_{\text{ф}}/I_{\text{ф1}}$, $I_{\text{л}}/I_{\text{л1}}$ для каждой фазы нагрузки и линии. Сравнить найденные отношения с расчётными п. 1.2.

2.3. По данным опыта для режима 5 построить в удобном масштабе топографическую векторную диаграмму напряжений и совмещённую с ней диаграмму токов. По диаграмме найти угол сдвига тока от напряжения в той фазе, в которую включены катушка или конденсатор. Рассчитайте тот же угол, зная параметры элементов (см. паспорт оборудования рабочего места). Сравните результаты.

2.4. По данным эксперимента для режима 6 постройте диаграмму напряжений и токов с учетом угла сдвига тока и напряжения в фазе с реактивными элементами, найденным в пункте 2.5.

Таблица 9.1

Но- мер вари- анта	Но- мер ре- жима	Питание (присоедине- ние точек a, b, c, n нагрузки к точкам A,B,C,N источника)			Нагрузка (обозначение элемента на панели А4, включаемого в фазы нагрузки)		
		a	b	c	ab	bc	ca
1	2	A	B	C	∞	R	R
	3	-	B	C	R	R	R
	4	N	B	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	R	L
	6	B	A	C	R	R	L
2	2	A	B	C	R	∞	R
	3	A	-	C	R	R	R
	4	A	N	C	R	R	R

продолжение таблицы 9.1

	5	A	B	C	R	R	L
	6	A	B	-	R	R	L
3	2	A	B	C	R	∞	R
	3	A	-	C	R	R	R
	4	A	N	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	10C	R
	6	A	C	B	R	10C	R
4	2	A	B	C	∞	R	R
	3	-	B	C	R	R	R
	4	N	B	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	R	R, L последовательно
	6	A	C	B	R	R	R, L последовательно
5	2	A	B	C	R	R	∞
	3	A	B	-	R	R	R
	4	A	B	N	R	R	R
	5	A	B	C	R	R	R, L последовательно
	6	A	B	C	R	∞	R, L последовательно
6	2	A	B	C	∞	R	R
	3	-	B	C	R	R	R
	4	N	B	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	R, 10C последовательно	R
	6	B	A	C	R	R, 10C последовательно	R
7	2	A	B	C	∞	R	R
	3	-	B	C	R	R	R
	4	N	B	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	10C	R
	6	C	B	A	R	10C	R
8	2	A	B	C	R	R	∞
	3	A	B	-	R	R	R
	4	A	B	N	R	R	R
	5	A	B	C	R	10C	R

	6	A	-	C	R	10C	R
9	2	A	B	C	R	R	∞
	3	A	B	-	R	R	R
	4	A	B	N	R	R	R
	5	A	B	C	R	R	L
	6	C	B	A	R	R	L
10	2	A	B	C	R	∞	R
	3	A	-	C	R	R	R
	4	A	N	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	R	R, L последовательно
	6	-	B	C	R	R	R, L последовательно
11	2	A	B	C	R	∞	R
	3	A	-	C	R	R	R
	4	A	N	C	R	R	R
	5	A	B	C	R	R, 10C последовательно	R
	6	A	B	C	-	R, 10C последовательно	R

РАБОТА № 10

СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЛИНЕЙНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы

Исследование несимметрии линейных напряжений электроприемника в трёхфазной системе.

Аналізу подлежат симметричные составляющие и коэффициент несимметрии линейных напряжений нагрузки U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} в цепи рис. 10.1. Источник E_A, E_B, E_C предполагается симметричным. Несимметрия напряжений U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} возникает при ненормальном соединении нагрузки с источником, например, при обрыве провода, соединявшего нагрузку с источником, и по другим причинам.

Измерение симметричных составляющих осуществляется с помощью фильтра симметричных составляющих (ФСС). Схема фильтра показана на рис. 10.1.

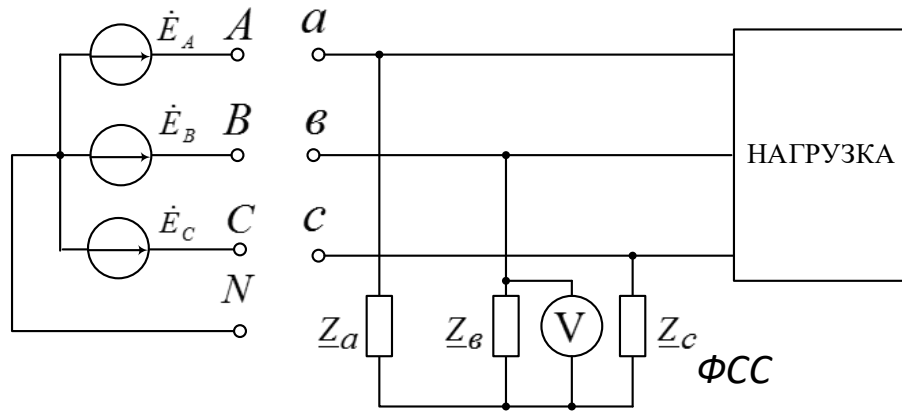


Рис. 10.1

1. Подготовка к работе

1.1. Записать выражения для расчёта симметричных составляющих U_1 , U_2 , U_0 линейных напряжений нагрузки.

1.2. Чему равна составляющая нулевой последовательности U_0 ?

1.3. Доказать, что если сопротивления фаз фильтра $Z_a = Z \cdot e^{-j60^\circ}$, $Z_b = Z \cdot e^{j0}$, $Z_c = Z \cdot e^{j60^\circ}$, то показание вольтметра (рис. 10.1) пропорционально составляющей прямой последовательности U_1 . Определить коэффициент пропорциональности.

Методическое указание (один из возможных путей решения): а) выразить напряжение на резисторе фильтра через исследуемые линейные напряжения и проводимости фаз фильтра; б) в полученном выражении заменить линейные напряжения их симметричными составляющими.

1.4. То же, для симметричной составляющей обратной последовательности U_2 , но при $Z_a = Z \cdot e^{j60^\circ}$, $Z_b = Z \cdot e^{j0}$, $Z_c = Z \cdot e^{-j60^\circ}$.

1.5. Для схем рис. 10.2–10.5 построить векторные диаграммы линейных напряжений на нагрузке и симметричных составляющих этих напряжений. Симметричные составляющие найти графически или аналитически в соответствии с формулами п. 1.1. Для каждой схемы рассчитать отношения действующих значений найденных симметричных составляющих к линейному напряжению симметричного режима, а также коэффициент несимметрии напряжений $K = U_2 / U_1$.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Собрать схемы рис. 10.2–10.5, подключить ФСС по рис. 10.1 и измерить линейные напряжения U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} и их симметричные составляющие U_1, U_2 . По результатам опытов рассчитать отношения симметричных составляющих к линейному напряжению симметричного режима, коэффициент несимметрии. Сравнить с теоретическими значениями, найденными в п.1.5.

2.2. То же, для схемы 10.6. Несимметрия напряжений создаётся включением в один из линейных проводов конденсатора “10 С”. В этом опыте рекомендуется измерить также напряжение на конденсаторе. По результатам опыта построить диаграмму линейных напряжений нагрузки, графически разложить их на симметричные составляющие (по п. 1.1) и сравнить с измеренными фильтром.

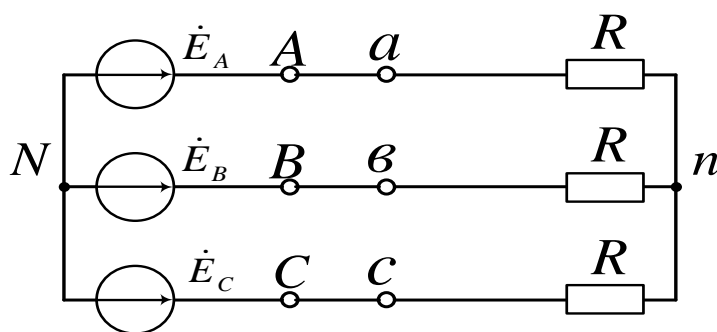


Рис. 10.2 Симметричный режим

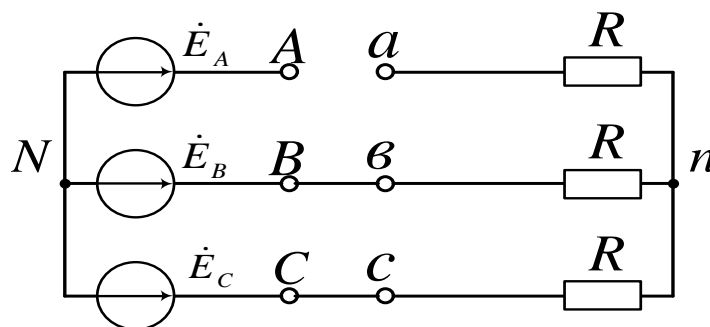


Рис. 10.3 Обрыв фазы “а”

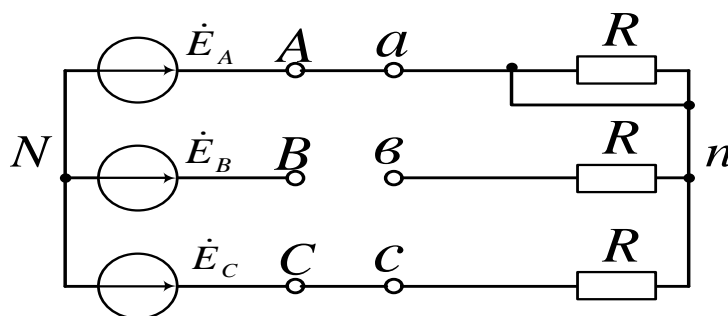


Рис. 10.4 Короткое замыкание фазы “а” и обрыв фазы “в”

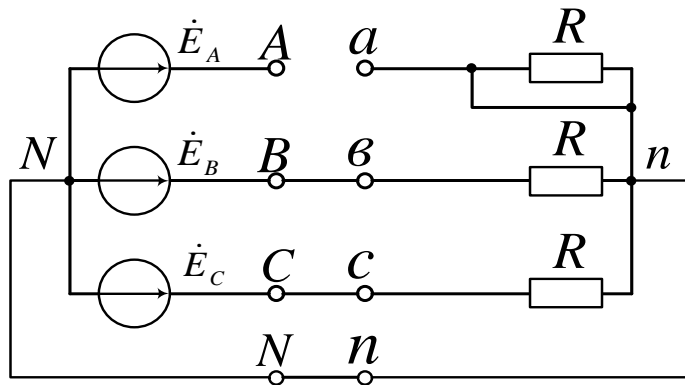


Рис. 10.5 Обрыв фазы “а” в цепи с нейтральным проводом

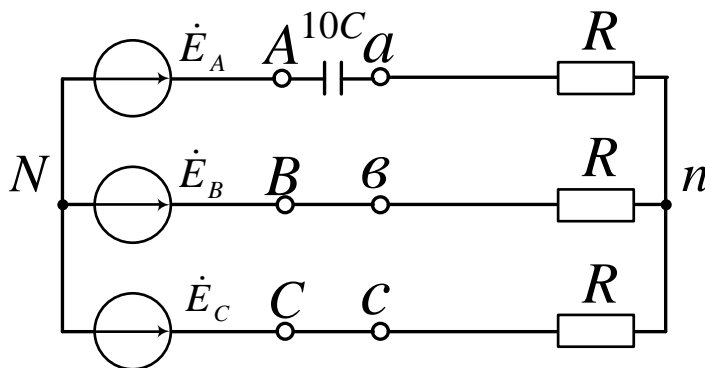


Рис. 10.6 Питание нагрузки несимметричным напряжением

РАБОТА № 11

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ, ЗАПАСАЮЩИХ ЭНЕРГИЮ В ОДНОЙ ФОРМЕ

Цель работы

Исследование характеристик переходных процессов в неразветвлённых цепях, которые описываются дифференциальным уравнением первого порядка (показаны на рис. 11.1).

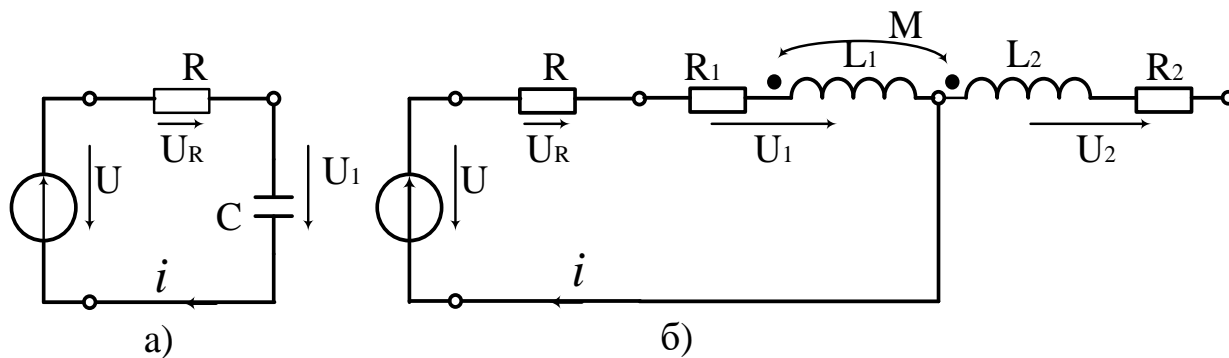


Рис. 11.1

Вариант цепи и её параметры выбираются по табл. 11.1. Переходный процесс исследуется при напряжении на входе $u(t)$, изображённом на рис. 11.2

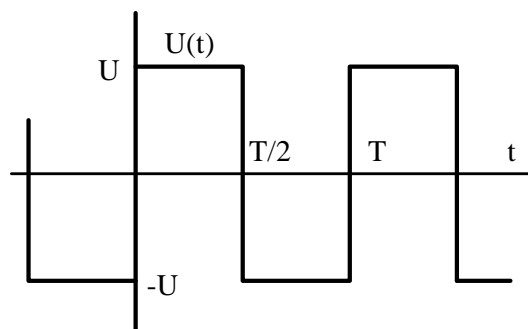


Рис. 11.2

1. Подготовка к работе

1.1. Для заданной цепи в промежутке времени $0 < t < T/2$ в общем виде рассчитать и построить $u_R(t)$, $u_1(t)$, $u_2(t)$, $i(t)$. При анализе принять $T/2 = 5\tau$ где τ - постоянная времени цепи, то есть время $T/2$ предполагается достаточным для окончания переходного процесса. Графики построить по точкам для значений времени $0, \tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau$. Построить графики этих же величин на интервале $T/2 < t < T$, учитывая их новые начальные и установившиеся значения.

1.2. Как влияет значение сопротивления R на процесс в цепи, а именно: а) на постоянную времени, б) на начальные и установившиеся значения указанных переменных? Построить графики величин п. 1.1 в тех же масштабах, но при увеличении сопротивления R в 10 раз для цепи " $R-L$ ", и уменьшении сопротивления R в 2 раза для цепи " $R-C$ ". Кроме того, ответить на вопросы: а) и б), если в исследуемых цепях, вместо R , меняются индуктивность катушки L или ёмкость конденсатора C .

1.3. Как по графику экспоненты определить постоянную времени?

1.4. Как на характеристики переходного процесса влияют амплитуда и частота входного напряжения (рис. 11.2) ?

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Собрать цепь и настроить генератор на требуемый режим работы (частота $f=1/T$, где $T = 10\tau$). Рекомендуется: использовать гнездовую сборку четырёхплюсника панели А3 и осциллограф подключить к гнездам для вольтметра, а в качестве сопротивления R включить регулируемый резистор R_4 панели А2.

2.2. Для исходного значения параметров цепи снять осциллограммы $u_R(t)$, $u_1(t)$, $u_2(t)$ за период их изменения. Сравните с п. 1.1. их общий вид, а также начальные и установившиеся значения переменных.

2.3. По одной из осциллограмм определить постоянную времени цепи, сравнить с расчётной.

2.4. Проверить экспериментально выводы, полученные в п. 1.2, при изменении R и C в цепи.

Таблица 11.1

Номер варианта	Схема рис.11.1	R (Ом)	C (мкФ)	R_1 (Ом)	L_1 (мГн)	M (мГн)
1	а	700	2			
2	а	600	2			
3	б	40		13,2	90	54
4	а	500	2			
5	а	400	2			
6	б	80		16,4	115	47
7	а	400	4			
8	б	70		14,2	95	44
9	а	300	4			
10	а	200	4			
11	б	50		11	91	54
12	б	80		15,7	89	46

РАБОТА № 12

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПЯХ, ЗАПАСАЩИХ ЭНЕРГИЮ В ДВУХ ФОРМАХ

Цель работы

Исследование характеристик переходных процессов в неразветвленной цепи, описываемых системой дифференциальных уравнений второго порядка.

Схема исследуемой цепи представлена на рис. 12.1.

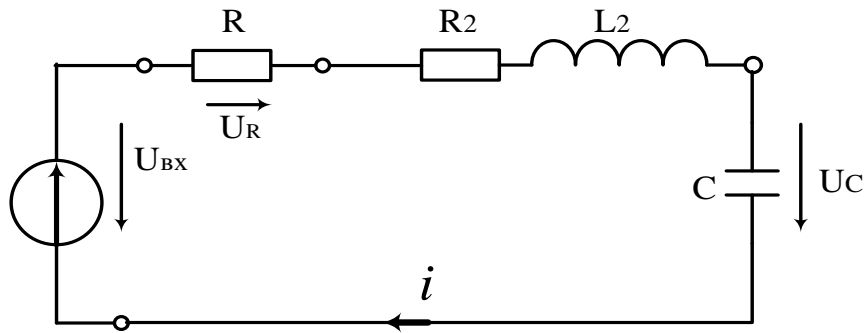


Рис. 12.1

Параметры цепи выбираются по табл. 12.1 в соответствии с вариантом. Переходный процесс исследуется при входных напряжениях, изображённых на рис. 12.2.

1. Подготовка к работе

1.1. По известным параметрам цепи рассчитать критическое сопротивление $R_{кр}$ контура. При каком соотношении между суммарным активным сопротивлением контура и $R_{кр}$ переходный процесс носит: а) колебательный характер; б) апериодический?

1.2. Вычислить частоту, период и декремент колебания для трёх значений сопротивления R : 10, 20, 40 Ом (необходимо учесть еще сопротивление R_2 катушки). Как меняются эти показатели колебательного процесса в зависимости от значения активного сопротивления контура?

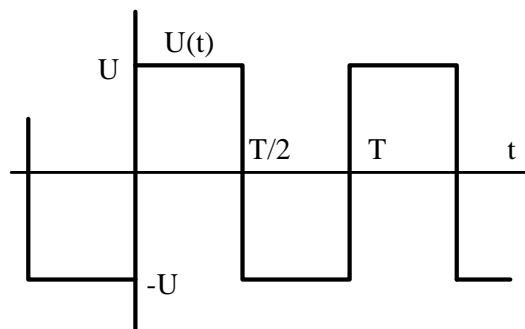


Рис. 12.2

1.3. Проанализировать одну из переменных цепи: $u_R(t)$, $u_C(t)$, $i(t)$. Переменная и параметры цепи заданы в табл. 12.1. Воздействие на цепь имеет вид, показанный на рис.12.2. Причем амплитуда напряжения U при расчете используется в об-

щем, буквенном виде, а время $T/2$ предполагается достаточным для окончания переходного процесса. Построить график рассчитанной переменной. График может быть построен качественно, но с учётом численных значений периода и декремента колебания.

1.4. Рассчитать и построить качественно в промежутке времени $0 < t < T/2$ ток цепи $i(t)$ при $R = R_{кр}$. Найти значение максимума тока и время его наступления.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

При сборке цепи в качестве сопротивления R необходимо использовать регулируемый резистор $R4$ панели А2 и катушку с маркировкой “ L_2 ” панели А3. Осциллограф подключать к гнездам вольтметра на панели А3.

2.1. Установить в цепи $R = R_{кр}$ соответственно расчёту п.1.1. Изменяя R , в одну и другую сторону от $R_{кр}$, убедитесь в правильности вывода п. 1.1, наблюдая и фиксируя осциллограммы процессов.

2.2. Измерить период и декремент колебания для трёх значений R соответственно п. 1.2, сняв нужные фрагменты (достаточно три полупериода) режимов на осциллограммы. Сравнить результаты опыта и расчёта.

2.3. Снять осциллограмму величины, рассчитанной и построенной в п. 1.3. Сравнить результаты эксперимента и расчёта.

2.4. Проверить экспериментально п. 1.4, приложив осциллограмму тока. На осциллограмме указать показатели критического режима, сравнить их с расчетными.

Таблица 12.1

номер варианта	L_2 (мГн)	R_2 (Ом)	C (мкФ)	R (Ом)	величина, определяемая в п.1.3
1	18	5,4	1	10	$u_R(t)$
2	59	9,9	1	10	$u_R(t)$
3	59	10,5	1	10	$u_C(t)$
4	53	9	1	20	$u_R(t)$
5	60	10	1	20	$u_R(t)$

6	45	9,1	1	20	$u_C(t)$
7	68	12,8	1	30	$u_C(t)$
8	50	7,3	1	20	$i(t)$
9	51	9,8	1	20	$i(t)$
10	61	9,6	1	20	$i(t)$
11	62	9,1	1	20	$i(t)$
12	44	11	1	10	$i(t)$

РАБОТА № 13

ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИК В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Цель работы

Исследование основных свойств четырёхполюсника и его частотных характеристик в установившихся режимах.

Исследуются четырехполюсники рис. 13.1 или рис. 13.2 в зависимости от варианта по табл. 13.1. На схемах R , L – активное сопротивление и индуктивность катушки, составленной из последовательно соединенных катушек с маркировкой « L_1 » и « L_2 ». Емкость конденсатора C , нагрузка для четырехполюсника выбираются по варианту табл. 13.1

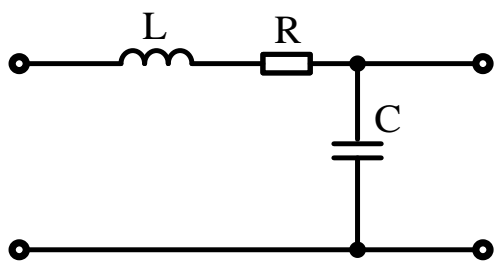


Рис. 13.1

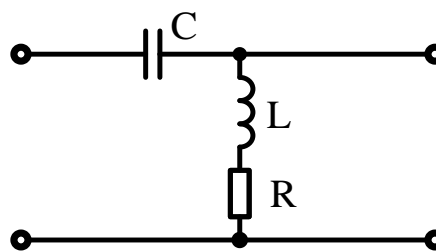


Рис. 13.2

1. Подготовка к работе

1.1. Как опытным путем определить комплексные входные сопротивления четырехполюсника в предельных режимах Z_{10} , Z_{20} , Z_{1k} , Z_{2k} , используя амперметр, вольтметр, ваттметр? Записать соотношение, связывающее входные сопротивления четырехполюсника. Изобразить схемы эксперимента для измерения Z_{10} , Z_{20} , Z_{1k} , Z_{2k} , $|\varphi_{10}|$, $|\varphi_{20}|$, $|\varphi_{1k}|$, $|\varphi_{2k}|$ и формулы для расчета этих величин по показаниям приборов.

Известно, что по показаниям указанных приборов невозможно определить знак (характер) угла φ комплексного сопротивления. Поэтому требуются дополнительные исследования, когда этот знак не очевиден. Для определения знака угла φ рекомендуется схема, показанная на рис. 13.3.

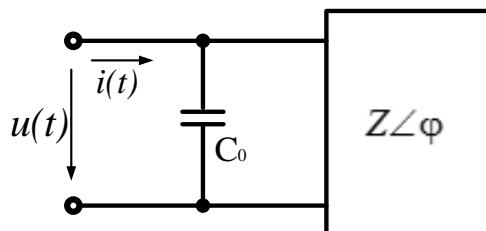


Рис. 13.3

Измеряя ток I до и после подключения конденсатора C_0 при одинаковом напряжении, можно судить о знаке угла φ . Для исключения ошибки емкость конденсатора не должна превышать некоторого граничного значения, определяемого комплексным сопротивлением двухполюсника $Z\angle\varphi$. Построить векторные диаграммы напряжения и токов схемы (рис. 13.3) до и после подключения конденсатора для двух случаев: $\varphi < 0$ и $\varphi > 0$; пояснить с их помощью методику определения знака угла φ . Определить граничное значение C_0 .

1.2. Привести формулы для расчета комплексных постоянных \underline{A} , \underline{B} , \underline{C} , \underline{D} четырехполюсника через сопротивления \underline{Z}_{10} , \underline{Z}_{20} , \underline{Z}_{1k} , \underline{Z}_{2k} и записать соотношение между ними.

1.3. Предложить методику опытной проверки уравнений четырехполюсника в \underline{A} - постоянных для режима прямого включения при двух видах нагрузки: резистивной и емкостной. Считать измеренными действующие значения входных и выходных напряжений.

1.4. Приняв параметры C , L , R , по табл. 14.1, записать частотную передаточную функцию $W(j\omega) = U_2(j\omega) / U_1(j\omega)$ в режиме х.х. четырёхполюсника, представив ее произведением элементарных типовых передаточных функций. Построить асимптотическую логарифмическую амплитудно-частотную характеристику (ЛАЧХ) сложением типовых при изменении частоты в диапазоне $\omega = 2\pi \cdot (20 \div 2000)$ рад/с. Указать (рассчитав) частоты "изломов" и порядок наклона участков ЛАЧХ.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

Входное напряжение в необходимых для опытов случаях рекомендуется устанавливать не выше 35В.

2.1. Измерить сопротивления Z_{10} , Z_{20} , Z_{1k} , Z_{2k} и проверить результат по методике п.1.1. Конденсатор C_0 для нахождения знака угла φ использовать с панели А4. Поскольку знаки углов φ_{20} , φ_{1k} для исследуемого четырехполюсника очевидны, потребуется определить знаки только φ_{10} , φ_{2k} .

2.2. Найти \bar{A} - постоянные четырехполюсника и проверить результат по выражениям п.1.2.

2.3. Проверить уравнения прямого включения четырехполюсника по методике п. 1.3 для одного из нагрузочных режимов.

2.4. Снять экспериментально ЛАЧХ в расчетном диапазоне частоты, п. 1.4, (емкость C установить из табл.14.1), подключив цепь к генератору синусоидального сигнала переменной частоты. Перед началом опыта проверить отсутствие постоянной составляющей в выходном напряжении генератора. Поддерживая напряжение генератора постоянным, и меняя частоту в нужном диапазоне, измерять выходное напряжение. Результаты опыта записать в таблицу и после приведения к логарифмическому масштабу, отметить на расчетной асимптотической ЛАЧХ точками. Сделать выводы о типе четырёхполюсника по его частотным (фильтрующим) свойствам.

Таблица 13.1

№ варианта	схема ч-ка, рисунок	C , мкФ	нагрузка четырехполюсника
1	13.1	8	емкостная
2	13.1	12	емкостная
3	13.2	16	резистивная
4	13.2	28	резистивная
5	13.1	24	емкостная
6	13.1	28	емкостная
7	13.2	30	резистивная
8	13.2	20	резистивная
9	13.1	24	емкостная
10	13.1	48	емкостная
11	13.2	20	резистивная
12	13.2	22	резистивная

РАБОТА № 14

ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИК В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

Цель работы

Исследование типовых переходных процессов в четырёхполоснике, таких как, реакция четырёхполосника на воздействие в виде единичной ступенчатой и единичной импульсной функций.

В работе используются те же четырёхполосники, что и в работе № 13 и некоторые ее результаты.

1. Подготовка к работе

1.1. Для четырёхполосника с заданными структурой и параметрами записать операторную передаточную функцию $W(p) = U_2(p) / U_1(p)$ в режиме х.х. четырёхполосника, используя ее связь с частотной передаточной функцией

$W(j\omega) = U_2(j\omega) / U_1(j\omega)$, полученной в работе № 13, п.1.4 при тех же условиях.

1.2. Выразить операторную переходную характеристику $H(p)$ четырёхполосника, связав ее с операторной передаточной функцией: $H(p) = \frac{1}{p} W(p)$.

1.3. Рассчитать переходную характеристику $h(t)$ как оригинал изображения $H(p)$, используя возможные пути преобразования (рекомендуется использовать теорему разложения, представив характеристику отношением полиномов $H(p) = M(p) / N(p)$). Определить начальные и конечные значения характеристики, время и характер переходного процесса, в случае колебательного процесса - период и декремент колебания. Построить график функции $h(t)$ на интервале времени переходного процесса.

2. Экспериментальная часть и обработка результатов опытов

2.1. Собрать схему четырёхполосника на панели АЗ. Подключить генератор переменного напряжения ко входу, а осциллограф к выходу четырёхполосника. Настроить вид напряжения генератора в соответствии с рис. 14.1, которое

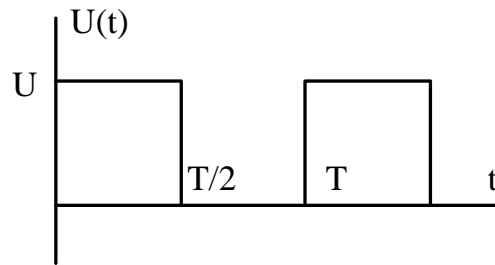


Рис. 14.1

имитирует единичную ступенчатую функцию $I(t)$. Амплитуду U напряжения условно принять за единицу, а частоту (период) установить с тем расчетом, чтобы за время $T/2$ переходный процесс закончился, либо сохранялись нужные его фрагменты.

2.2. Снять осциллограмму выходного напряжения $U_2(t)$ четырёхполюсника, которое, по определению, при указанном воздействии является его переходной характеристикой $h(t)$. После масштабных приведений сопоставить экспериментальную характеристику с расчетной. Сделать выводы.

Таблица 14.1

№ вар-та	C , мкФ	L , Гн	R , Ом
1	6	0,26	22
2	7	0,25	21,6
3	7	0,257	23,7
4	7	0,246	20,7
5	6	0,26	22,6
6	6	0,254	25,4
7	7	0,246	27,2
8	7	0,232	23
9	7	0,239	22,4
10	6	0,265	21,6
11	6	0,261	19,7
12	7	0,225	26,7

Библиографический список

Электронные ресурсы (издания)

1. Малинин, Л. И.; Теория цепей современной электротехники [Электронный ресурс] : учебное пособие / Л. И. Малинин; Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.– URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135597> (дата обращения: 18.03.2023).
2. Нейман, В. Ю.; Теоретические основы электротехники в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учебное пособие. Четырехполюсники и трехфазные цепи / В. Ю. Нейман; Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013.– URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228780> (дата обращения: 18.03.2023).
3. Фриск, В. В.; Основы теории цепей. Использование пакета Microwave Office для моделирования электрических цепей на персональном компьютере [Электронный ресурс] / В. В. Фриск; Москва: IPR SMART [сайт]., 2016. URL: <http://www.iprbookshop.ru/90379.html> (дата обращения: 18.03.2023).

Печатные издания

1. Теоретические основы электротехники: учебник для студентов вузов [в 3 т.] / К.С Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин.–Москва; Санкт-Петербург; Нижний Новгород [и др.]; Питер, 2006, Т1- 463 с, Т2-576 с, Т3-377 с.–ISBN 5-94723-620-6
2. Новгородцев, А.Б. Теоретические основы электротехники. 30 лекций по теории цепей : учебное пособие / А.Б. Новгородцев.–Санкт-Петербург: Питер, 2006, 576 с. –ISBN 5-469-00149-0

Громов Владимир Васильевич
Дехтяр Сергей Александрович
Томашевич Виктор Григорьевич

ТРЕХФАЗНЫЕ ЦЕПИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Теоретические основы электротехники»
для студентов всех форм и технологий обучения
направления 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Компьютерная верстка *С.А.Дехтяр*

Рекомендовано Методическим советом УрФУ
протокол No ____ от «__» _____ 202_
Электронный формат – pdf



<https://study.urfu.ru>