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

Кафедра инфраструктурных энергетических систем

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ О.Г. Локтионова
«_21_» _03_ 2024 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

Методические указания по выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники

Курск 2024

УДК 621.3 (076.1)

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

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

Исследование трёхфазной цепи при соединении потребителей звездой : методические указания по выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов технических специальностей и направлений подготовки / Юго-Зап. гос. ун-т ; сост.: А. С. Романченко, И. А. Башмакова. - Курск, 2024. - 11 с.: ил. 4, табл. 1. - Библиогр.: с. 11.

Методические указания содержат сведения по экспериментальному исследованию трехфазной цени при соединении потребителей звездой. Указывается порядок выполнения лабораторной работы, правила оформления отчета. Лабораторная работа относится к разделу «Трехфазные цепи» и охватывает материал по следующим темам: схемы соединения трехфазных источников и нагрузок, понятия фазных и линейных напряжений и токов, симметричная и несимметричная нагрузка, назначение нейтрального провода, построение векторных диаграмм, измерение мощности трехфазной цепи.

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

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

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 21.03.2024. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. *0,6*. Уч.-изд.л. *0,6*. Тираж 50 экз. Заказ 180. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Исследование различных режимов работы трехпроводной и четырехпроводной трехфазных цепей при соединении источника питания и нагрузки звездой.

1.2. Установление соотношений между линейными и фазными напряжениями и токами.

2. ПОДГОТОВКА К ИССЛЕДОВАНИЯМ

2.1. Изучить по конспекту лекций и рекомендованному учебнику в разделе «Трехфазные цепи» следующие вопросы:

1) трехфазные цепи при соединении нагрузки звездой;

2) линейные и фазные напряжения;

3) нейтральный (нулевой) провод и его назначение;

4) активная, реактивная и полная мощности трехфазной цепи;

5) построение векторных диаграмм для трехфазной цепи.

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

2.3. Заготовить отчёт со схемой экспериментальной установки, таблицами для экспериментальных и расчетных данных.

3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Под трехфазной системой понимается совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол $2\pi/3$ (120°), создаваемые общим источником электрической энергии (например, синхронным генератором).

При соединении обмоток генератора или приемников звездой концы трех фаз соединены в общую точку, называемую нейтральной или нулевой.

На практике применяются две схемы соединения фаз генератора и приемника, соединенных звездой:

а) звезда – звезда с нулевым проводом (четырехпроводная цепь);

б) звезда – звезда без нулевого провода (трехпроводная цепь).

На рисунке 3.1 изображена схема трехфазной цепи соединения звезда – звезда с нулевым проводом, а на рисунке 3.2 – звезда – звезда без нулевого провода.

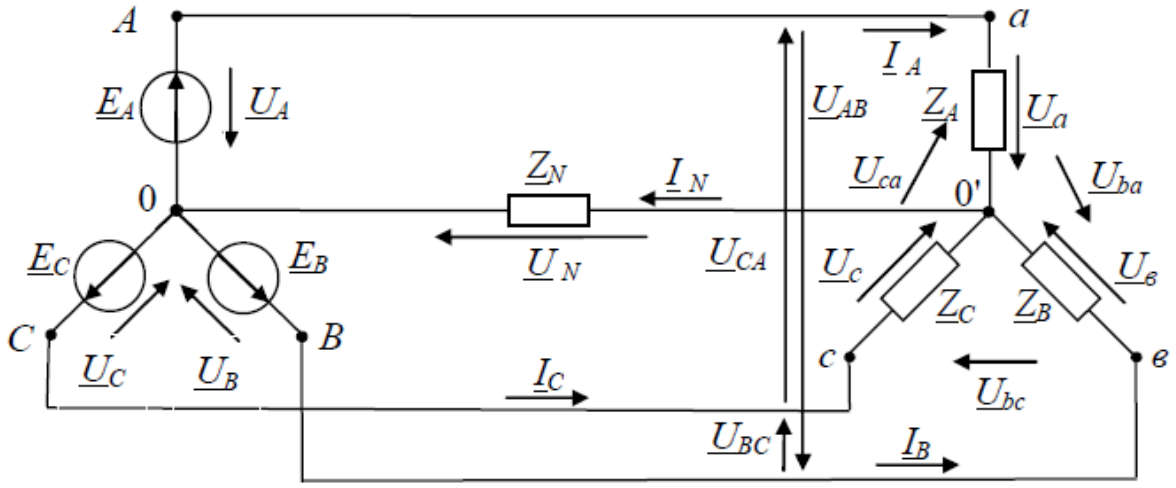


Рисунок 3.1 – Трехфазная цепь звезда – звезда с нулевым проводом

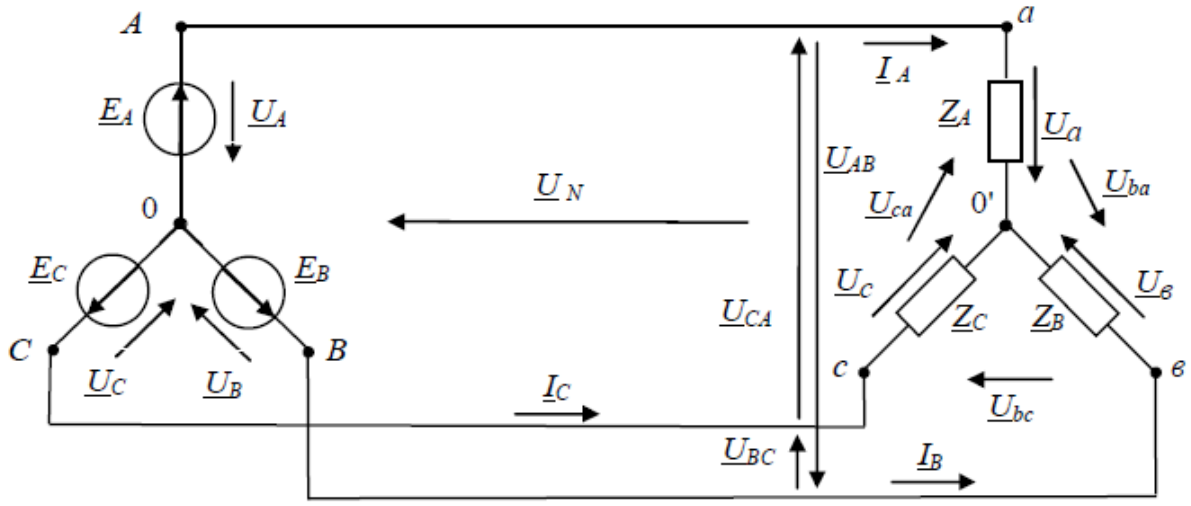


Рисунок 3.2 – Трехфазная цепь звезда – звезда без нулевого провода

ЭДС, наводимые в фазных обмотках генератора, напряжения на их зажимах, напряжения на фазах нагрузки и токи в них называются соответственно фазными ЭДС, напряжениями и токами и обозначаются: $E_Ф$ или E_A, E_B, E_C; $U_Ф$ или U_A, U_B, U_C; $I_Ф$ или I_A, I_B, I_C (имеются в виду действующие значения).

Напряжения между началами фаз генератора или приемника называются линейными напряжениями, а токи в линейных проводах – линейными токами и обозначаются соответственно: $U_Л$ или U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}; $I_Л$ или I_A, I_B, I_C.

Очевидно, что для схем при соединении фаз приемника звездой в линейных проводниках и в нагрузке протекает один и тот же ток: $I_Л = I_Ф$.

В данной лабораторной работе проводится исследование режимов работы трехфазной цепи при условии симметричной системы ЭДС генератора. При этом считаем, что фазные ЭДС генератора равны их фазным напряжениям, т.е. не учитываем их внутренние сопротивления. Сопротивлениями соединительных проводов пренебрегаем.

Для схемы четырехпроводной цепи (рисунок 3.1) имеют место следующие соотношения:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_N, \qquad (3.1)$$

где ток I_N – ток нулевого (нейтрального) провода.

При заданной системе фазных ЭДС генератора токи в линейных проводах и в нейтральном проводе определяются по формулам:

$$\underline{I}_A = (\underline{E}_A - \underline{U}_N)\underline{Y}_A,$$
$$\underline{I}_B = (\underline{E}_B - \underline{U}_N)\,\underline{Y}_B,$$
$$\underline{I}_C = (\underline{E}_C - \underline{U}_N)\,\underline{Y}_C,$$
$$\underline{I}_N = \underline{U}_N\underline{Y}_N.$$

где $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ – комплексные проводимости фаз нагрузки (величины, обратные комплексным сопротивлениям $\underline{Z}_A$, $\underline{Z}_B$, $\underline{Z}_C$);

$\underline{Y}_N$ – комплексная проводимость нулевого провода (величина, обратная $\underline{Z}_N$);

$\underline{U}_N$ – напряжение между нейтральными точками приемника 0' и генератора 0 (напряжение смещения нейтрали):

$$\underline{U}_N = \underline{U}_{0'0} = \frac{\underline{E}_A\underline{Y}_A + \underline{E}_B\underline{Y}_B + \underline{E}_C\underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}. \qquad (3.2)$$

Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с диаграммой токов, изображена на рисунке 3.3.

При симметричной нагрузке фаз $\underline{Y}_A = Y_B = \underline{Y}_C$ расчет упрощается: $\underline{E}_Ф = \underline{U}_Ф$, $U_N = 0$, $U_Л = \sqrt{3}U_Ф$, $I_N = 0$.

При соединении приемника звездой без нейтрального провода, фазные напряжения можно определить, зная линейные напряжения и комплексные проводимости фаз нагрузки, по следующим формулам:

$$\underline{U}_A = \frac{\underline{U}_{AB}\underline{Y}_B - \underline{U}_{CA}\underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C},$$

$$\underline{U}_B = \frac{\underline{U}_{BC}\underline{Y}_C - \underline{U}_{AB}\underline{Y}_A}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C},$$

$$\underline{U}_C = \frac{\underline{U}_{CA}\underline{Y}_A - \underline{U}_{BC}\underline{Y}_B}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}.$$

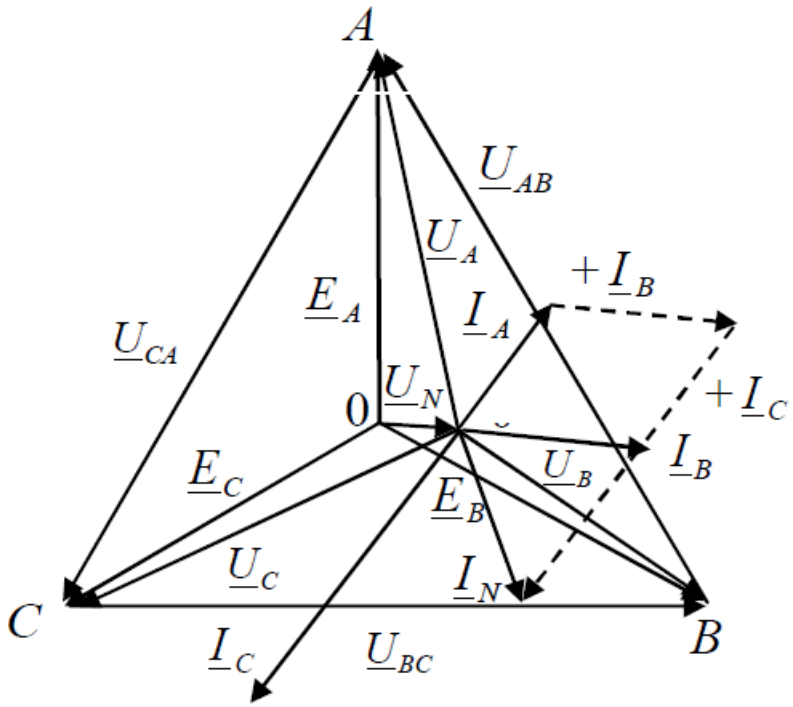


Рисунок 3.3 – Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с диаграммой токов

Фазные токи определяются по закону Ома: $\underline{I}_A = \underline{U}_A\underline{Y}_A$, $\underline{I}_B = \underline{U}_B\underline{Y}_B$, $\underline{I}_C = \underline{U}_C\underline{Y}_C$. Кроме того, очевидно, что $\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0$.

4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ

Для выполнения лабораторной работы используется следующая аппаратура стенда: блок включения с выводами трехфазной сети *A*, *B*, *C*, 0; трехфазная нагрузка, измерительные приборы.

Трехфазная система напряжений блока включения включается общим выключателем «СЕТЬ», напряжения подаются непосредственно от трансформатора и не регулируются.

В качестве нагрузки используются три реостата с номинальным сопротивлением 540 Ом и длительно допустимым током 0,5 А или блок ламповых реостатов. При первом включении вновь собранной цепи следует предварительно ввести полное сопротивление всех реостатов или включить все лампы.

Измерительные приборы: четыре амперметра электромагнитной системы с предельным током 1 А, вольтметр электромагнитной системы, устанавливаемый на предельное напряжение 150 В для измерения фазных напряжений и 300 В для измерения линейных напряжений, два ваттметра электродинамической системы с пределами измерения тока 1 А и напряжения 300 В.

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1. Ознакомиться с используемыми приборами и аппаратурой, определить цену деления измерительных приборов.

5.2. Собрать электрическую схему (рисунок 5.1) и дать её проверить лаборанту или преподавателю. При этом все тумблеры схемы должны находиться в включенном состоянии (верхнее положение), а выключатель «СЕТЬ» в выключенном состоянии (горизонтальное расположение).

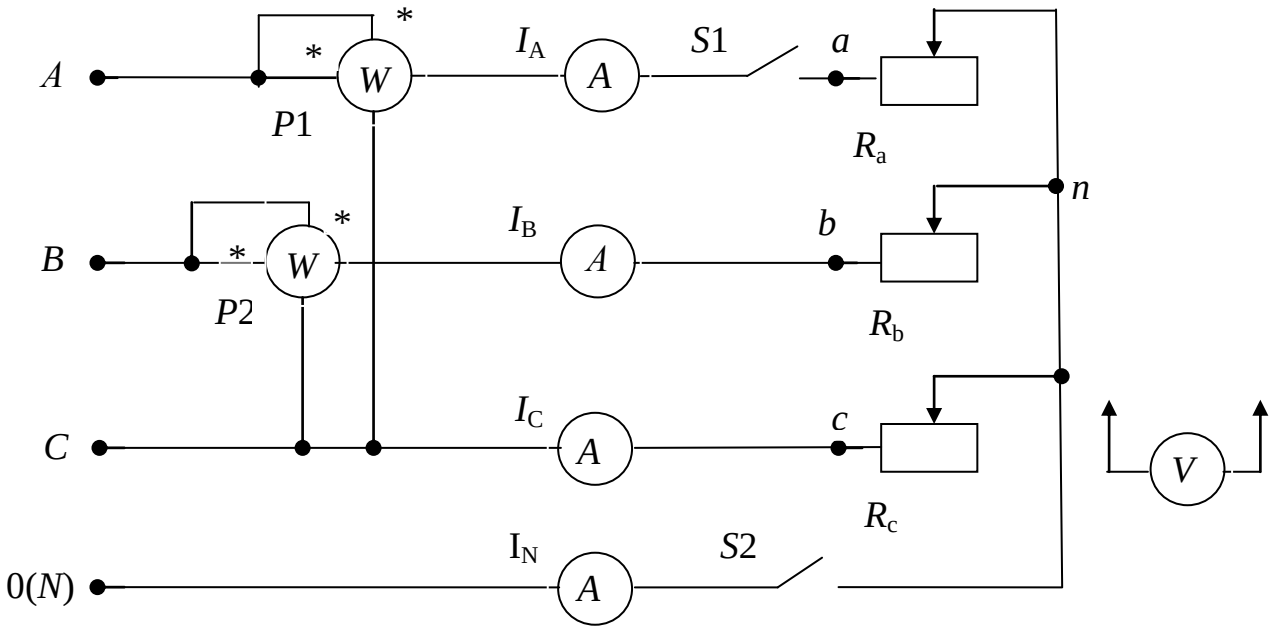


Рисунок 5.1 – Схема экспериментальной установки

5.3. Исследование четырехпроводной цепи.

5.3.1. Установить переключатели *S*1 и *S*2 в положение "Вкл.".

5.3.2. Создать режим симметричной нагрузки. Для этого в фазах *A*, *B* и *C* реостатами установить одинаковые значения фазных токов (контроль – по показаниям амперметров в фазах нагрузки). Следить, чтобы фазовый ток не превосходил допустимого значения для реостатов нагрузки.

При использовании ламповых реостатов включить одинаковое количество ламп. Измерить токи в фазах и в нейтральном проводе. Установить вольтметр на предел 150 В и измерить фазные напряжения на нагрузке. Установить вольтметр на предел 300 В и измерить линейные напряжения на нагрузке. Результаты занести в таблицу 1.

5.3.3. Создать режим несимметричной нагрузки, для этого по указанию преподавателя реостатами установить разные значения токов в фазах или (при использовании ламповых реостатов) в фазе *A* изменить количество включенных ламп. Как и в предыдущем опыте измерить токи и фазные и линейные напряжения на нагрузке и результаты занести в таблицу 1.

5.3.4. Создать режим обрыва в фазе *A*. Для этого выключателем *S*1 отключить реостат в фазе *A*. Измерить токи и напряжения на нагрузке и результаты занести в таблицу 1.

5.4. Исследование трехпроводной цепи.

5.4.1. Выключателем *S*2 отключить нейтральный провод.

5.4.2. Создать режим симметричной нагрузки такой же, какой он был в четырехпроводной цепи. Для этого в фазах *A*, *B* и *C* реостатами установить такие же одинаковые значения фазных токов, а при использовании ламповых реостатов включить такое же количество ламп. Измерить линейные и фазные напряжения на нагрузке, а также напряжение смещения нейтрали переносным вольтметром и токи в фазах амперметрами. Результаты записать в таблицу 5.1.

5.4.3. Создать режим несимметричной нагрузки. Для этого повторить пункт 5.3.3 испытаний, но с трехпроводной цепью. Измерить фазные и линейные напряжения на нагрузке, а также напряжение смещения нейтрали и токи фаз. Результаты записать в таблицу 5.1.

5.4.4. Создать режим обрыва фазы. Для этого с помощью выключателя *S*1 отключить реостат в фазе *A*. Измерить фазные и линейные напряжения на нагрузке, а также напряжение смещения нейтрали и токи фаз. Результаты измерений занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Данные исследования трехфазной цепи

Режим нагрузки	Симметричная нагрузка	Несимметричная нагрузка	Отключение нагрузки в фазе *A*	Короткое замыкание в фазе *A*	Емкостная нагрузка в фазе *A*
Четырехпроводная цепь					
Измерено:					
I_A, А				--	--
I_B, А				--	--
I_C, А				--	--
I_N, А				--	--
U_{an}, В				--	--
U_{bn}, В				--	--
U_{cn}, В				--	--
U_{ab}, В				--	--
U_{bc}, В				--	--
U_{ca}, В				--	--
Вычислено:					
P_a, Вт				--	--
P_b, Вт				--	--
P_c, Вт				--	--
P_Σ, Вт				--	--
Трехпроводная цепь					
Измерено:					
I_A, А					
I_B, А					
I_C, А					
U_{an}, В					
U_{bn}, В					
U_{cn}, В					
U_{ab}, В					
U_{bc}, В					
U_{ca}, В					
U_{nN}, В					
P_1, Вт					
P_2, Вт					
Вычислено:					
P_a, Вт					
P_b, Вт					
P_c, Вт					
P_Σ, Вт					
$P_{экс}$, Вт					

5.4.5. Создать режим короткого замыкания фазы *A* приемника. Для этого включить выключатель *S*1. Предварительно установив симметричный режим, перемычкой замкнуть накоротко реостат фазы *A*. При использовании лампового реостата проводником со штеккерными выводами замкнуть клеммы *a* и *x* лампового реостата. Установить предел измерения вольтметра 300 В. Произвести измерения токов и напряжений на нагрузке, а также напряжения смещения нейтрали. Результаты занести в таблицу 5.1.

ВНИМАНИЕ! Строго запрещается создавать режим короткого замыкания приемника при включенном нейтральном проводе. Выключатель *S*2 должен быть обязательно выключен!

5.5. Нарушение симметрии только за счет реактивного сопротивления – случай, когда $Z_a = X_C$. Для этого отключить питание. Рассчитать емкость из условия $1/\omega C = R$, где $R = U_ф/I_ф$, $U_ф$ и $I_ф$ – показания фазовых приборов в симметричном режиме. Заменить реостат в фазе батареей конденсаторов с общей емкостью, близкой к рассчитанной. Включив питание, снять показания приборов и занести в таблицу 5.1.

5.6. Отключить стенд от сети. Не разбирая схемы, показать результаты измерений преподавателю. После утверждения результатов привести выключатели и регуляторы в исходное состояние.

6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Выполнить вычисления и занести их в таблицу 5.1. Так как нагрузка фаз чисто активная, активную мощность для каждой фазы определяем как произведение соответствующих фазных напряжений и токов. При этом:

$$P_\Sigma = P_a + P_b + P_c ,$$

$$P_{экс} = P_1 + P_2 .$$

6.2. Для каждого опыта построить в масштабе совмещенные топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Поясните условия и признаки симметричных режимов в трехфазных системах, соединенных звездой.

2 Каковы соотношения между действующими значениями линейных и фазных величин симметричной цепи?

3 Как объяснить отсутствие тока в нейтрали, в то время как фазные токи отличны от нуля? К чему сводится роль нейтрали?

4 Короткое замыкание в цепи с нейтралью есть недопустимый режим. Почему?

5 Поясните, как ведет себя смещение нейтрали (величина U_{nN}) при чисто активной нагрузке, если сопротивления фаз *b* и *c* одинаковы, а сопротивление фазы меняется от нуля до бесконечности. Покажите на топографической диаграмме траекторию движения нейтральной точки *n* при этом.

6 Пусть в симметричной цепи с нейтралью $Z_ф = R$. Будет ли нарушением симметрии замена фазного резистора конденсатором с $X_C=R$?

7 Может ли служить фазоуказателем трехфазная цепь, в которой вместо емкости используется индуктивность, отвечающая условию $\omega L= R_b= R_c$? Поясните с помощью векторных диаграмм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

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

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

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