



Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Электротехника»
для студентов специальности 7100302
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
дневной и заочной форм обучения

часть 1
«Электрические цепи»

Заказ № ____ от « ____ » _____ 2008 г. Тираж ____ экз.
Изд-во СевНТУ

Севастополь
2008



УДК 621.3

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Электротехника» для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности 7100302 «Эксплуатация судовых энергетических установок» в двух ч./ Сост. В.В. Костюков. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. Ч. 1: «Электрические цепи». –67 с.

Методические указания предназначены для подготовки и проведения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника» студентов специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры СПЭМС (протокол № 5 от 11 января 2008 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

Маригодов В.К., доктор технических наук, профессор

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Линейная электрическая цепь постоянного тока с одним источником энергии.....	5
Лабораторная работа № 2. Определение параметров схемы замещения и исследования режимов работы реального источника напряжения.....	10
Лабораторная работа № 3. Схемы замещения реальных пассивных элементов электрической цепи.....	16
Лабораторная работа № 4. Последовательное соединение сопротивления, индуктивности и емкости при синусоидальном токе.....	22
Лабораторная работа № 5. Параллельное соединение сопротивления, индуктивности и емкости при синусоидальном токе.....	26
Лабораторная работа № 6. Разветвленная цепь синусоидального тока.....	31
Лабораторная работа № 7. Мощности в цепях синусоидального тока.....	35
Лабораторная работа № 8. Трехфазная цепь при соединении нагрузки звездой.....	40
Лабораторная работа № 9. Трехфазная цепь при соединении нагрузки треугольником.....	46
Лабораторная работа № 10. Переходные процессы заряда и разряда емкости через сопротивление.....	50
Лабораторная работа № 11. Выпрямители.....	57
Лабораторная работа № 12. Параметрический стабилизатор постоянного напряжения.....	62
Библиографический список.....	67



ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для подготовки, выполнения и оформления студентами специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок» дневной и заочной форм обучения лабораторных работ по дисциплине «Электротехника».

Выполнение лабораторных работ производится на универсальных лабораторных стендах с помощью соединительных проводов в соответствии со схемами, приведенными в методических указаниях. Перед выполнением эксперимента студенты должны изучить теоретическую часть соответствующей лабораторной работы.

В методических указаниях используются общепринятые обозначения электротехнических величин:

u, U, U_m – соответственно мгновенное, действующее и амплитудное значение напряжений;

i, I, I_m – соответственно мгновенное, действующее и амплитудное значение токов;

R, X, z – соответственно активное, реактивное и полное сопротивления;

G, b, y – соответственно активная, реактивная и полная проводимость;

p, P, Q, S – соответственно мгновенная, активная, реактивная и полная мощности;

f, ω – соответственно циклическая и угловая частоты.

При выполнении и подготовке к защите лабораторных работ рекомендуется использовать учебную и справочную литературу [1-5].

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ЛИНЕЙНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ОДНИМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальная проверка соотношений между напряжениями и токами в линейной цепи постоянного тока.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В линейных электрических цепях простой структуры с одним источником энергии расчет токов и напряжений можно осуществить методом эквивалентных преобразований.

Эквивалентным называют такое преобразование части электрической схемы, когда в неизменных элементах токи и напряжения остаются прежними.

При таком расчете удобно пользоваться понятием двухполюсника. Двухполюсником называется любая сколь угодно сложная цепь, которая рассматривается относительно пары зажимов (полюсов) (рисунок 1).

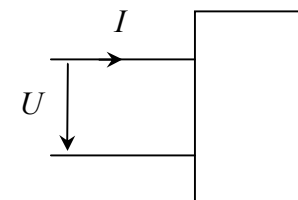


Рисунок 1 - Двухполюсник

Связь между током и напряжением на зажимах двухполюсника выражается законом Ома:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (1)$$

В линейных электрических цепях сопротивление R отражает только структуру самого двухполюсника и не зависит от тока или напряжения.

Идея метода эквивалентных преобразований заключается в следующем. Изначальная схема путем поэтапной замены нескольких сопротивлений одним «сворачивается» относительно зажимов источника энергии.

При таком сворачивании используют замену последовательно или параллельно соединенных сопротивлений одним – рисунок 2.



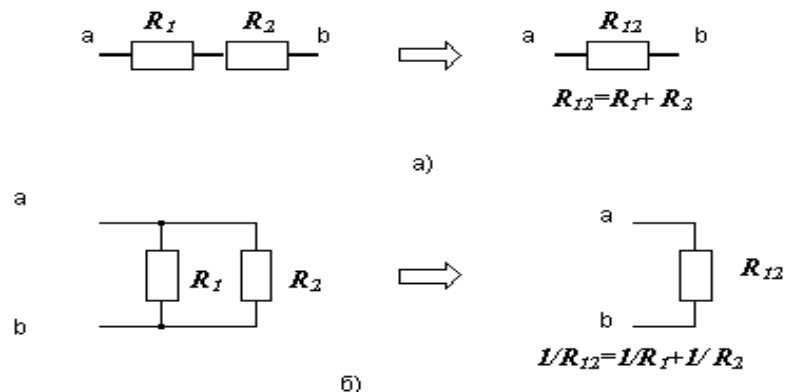


Рисунок 2 – Эквивалентное преобразование последовательного а) и параллельного б) соединения сопротивлений электрической цепи

Когда вся схема относительно зажимов источника будет заменена одним сопротивлением, сопротивление которого известно, можно определить неизвестный ток или напряжение источника энергии.

Далее схема поэтапно разворачивается. Переход к следующему этапу необходимо производить, когда все токи и напряжения предшествующего этапа найдены. После такого перехода на новом этапе оценивается, какие токи и напряжения уже известны, и с их помощью находятся неизвестные.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используются аналоговые амперметры, а напряжений – аналоговый вольтметр.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

- 4.1. Собрать цепь согласно рисунку 3.
- 4.2. Подать напряжение $U_{\text{вх}}$ от регулируемого источника постоянного напряжения (от 100 до 200 В).
- 4.3. Включить ключ K_1 , показания амперметра и вольтметра записать в таблицу 1.
- 4.4. Отключить ключ K_1 .
- 4.5. Пункты 4.3 и 4.4 повторить для остальных ключей.
- 4.6. По закону Ома (1) рассчитать сопротивления резисторов $R_1 - R_6$, результаты расчетов занести в таблицу 1.
- 4.7. Собрать цепь согласно рисунку 4.
- 4.8. Подать напряжение $U_{\text{вх}}$ от регулируемого источника постоянного напряжения так, чтобы ток любого амперметра не превышал 0.3 А.



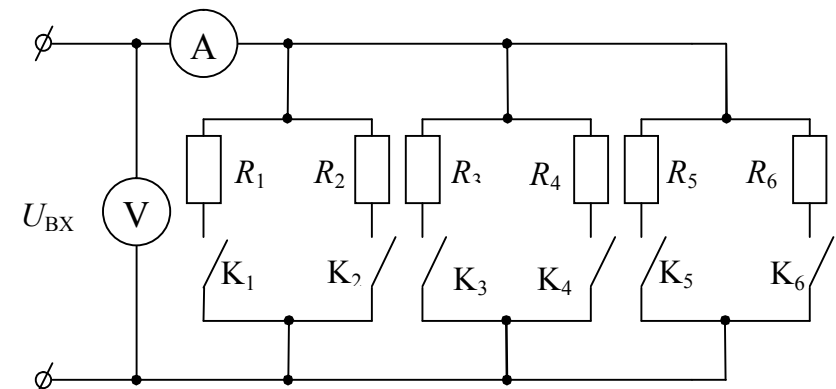


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Результат Параметр	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	Примечание
U , В							Измерено
I , А							
R , Ом							Вычислено

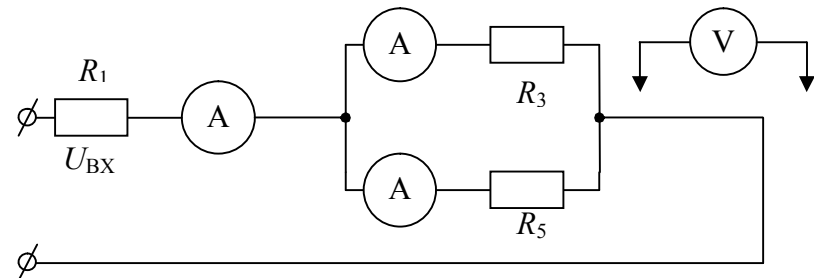


Рисунок 4 – Схема эксперимента

4.9. Напряжения на резисторах измерить вольтметром в дежурном режиме. т.е. одним вольтметром измеряются напряжения на различных элементах. В дежурном режиме для вольтметра можно использовать провода, например, только красного цвета, в других частях схемы красные провода не использовать.

4.10. Показания амперметров и вольтметра занести в строку «Эксперимент» таблицы 2.

4.11. Собрать цепь согласно рисунку 5.



4.12. Подать напряжение $U_{\text{вх}}$ от регулируемого источника постоянного напряжения так, чтобы ток любого амперметра не превышал бы 0.3 А.

Таблица 2 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значения величин						
	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I_5, \text{А}$
Эксперимент							
Расчет							

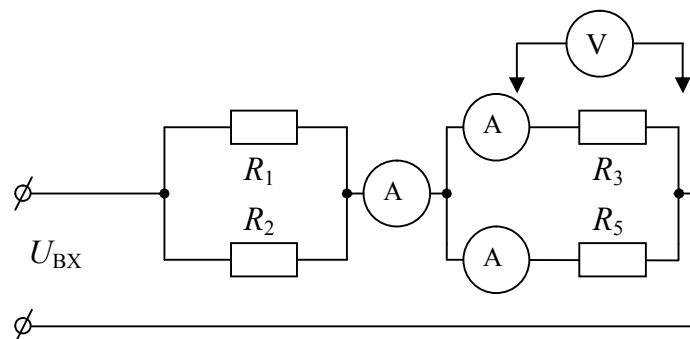


Рисунок 5 – Схема эксперимента

4.13. Напряжения на резисторах измерить вольтметром в дежурном режиме.

4.14. Показания амперметров и вольтметра занести в строку «Эксперимент» таблицы 3.

Таблица 3 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результата	Значения величин							
	$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_5, \text{В}$	$I, \text{А}$	$I_3, \text{А}$	$I_5, \text{А}$
Эксперимент								
Расчет								

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. Рассчитать токи и напряжения на элементах цепей, изображенных на рисунках 4 и 5 методом эквивалентных преобразований. Значение напряжения $U_{\text{вх}}$ взять из результатов экспериментов. Результаты расчетов занести в таблицы 2 и 3.

5.2. Сравнить экспериментальные и расчетные данные обеих таблиц и обосновать расхождения.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схемы экспериментов с указанием типов приборов.
- 6.3. Таблицы с экспериментальными и расчетными данными.
- 6.4. Последовательность расчетных формул и расчет токов и напряжений для схем на рисунках 4 и 5.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Что такое двухполюсник, и какова связь между током и напряжением на его зажимах?
- 7.2. В чем заключается метод эквивалентных преобразований?
- 7.3. Какие эквивалентные преобразования в линейных электрических цепях Вы знаете?
- 7.4. По полученным экспериментальным данным проиллюстрируйте выполнение законов Кирхгофа.
- 7.5. Как изменятся токи и напряжения в цепях, если амперметры удалить, а появившиеся разрывы - замкнуть?
- 7.6. Как изменятся токи и напряжения в цепях, если параллельно всем сопротивлениям подключить вольтметры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА НАПРЯЖЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение параметров схемы замещения и исследование режимов работы реального источника напряжения.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Источником электрической энергии называется техническое устройство, в котором неэлектрические виды энергии (механическая, химическая, световая и т. д.) преобразовываются в электрическую энергию.

С точки зрения потребления электрической энергии наиболее полной характеристикой источника является внешняя характеристика, которая связывает ток и напряжение источника.

Различают две разновидности источников электрической энергии: источник напряжения и источник тока. В свою очередь, в каждой из этих разновидностей выделяют идеальные и реальные источники.

Идеальным источником напряжения (источником ЭДС) называется источник, напряжение на зажимах которого не зависит от тока источника (рисунок 1) и равно ЭДС источника E . Идеальный источник напряжения является удобной идеализацией, которая удовлетворяет опыту только в некоторых пределах.

Например, в режиме короткого замыкания мощность идеального источника напряжения была бы равна бесконечности, что невозможно.

Линеаризованная внешняя характеристика реального источника напряжения имеет вид, представленный на рисунке 2.

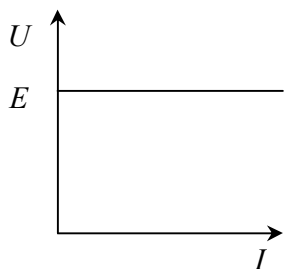


Рисунок 1- Внешняя характеристика идеального источника напряжения

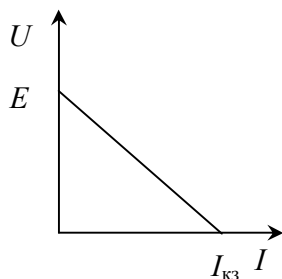


Рисунок 2- Внешняя характеристика реального источника напряжения

Точка пересечения внешней характеристики с осью напряжения соответствует режиму холостого хода. В этом режиме зажимы источника разомкнуты, и напряжение на них равно ЭДС источника E , а ток равен нулю.

Точка пересечения внешней характеристики с осью тока соответствует режиму короткого замыкания. В этом режиме зажимы источника замкнуты, и напряжение на них равно нулю. Ток $I_{кз}$ – это максимально возможный ток источника.

Зависимость, представленная на рисунке 2, выражается формулой

$$U = E - R_{вн} I. \quad (1)$$

Коэффициент $R_{вн}$, стоящий перед током в (1), имеет размерность сопротивления и называется внутренним сопротивлением источника.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа, формуле (1) соответствует эквивалентная схема замещения реального источника напряжения (рисунок 3).

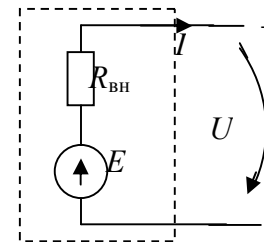


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения реального источника напряжения

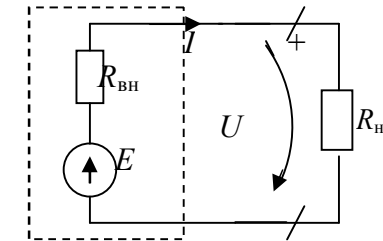


Рисунок 4 – Эквивалентная схема замещения реального источника напряжения с нагрузкой

Экспериментально параметры реального источника напряжения проще всего определить из опытов холостого хода ($E = U_{хх}$) и короткого замыкания. При коротком замыкании напряжение на зажимах источника равно нулю и из формулы (1) получают $R_{вн}$:

$$R_{вн} = \frac{E}{I_{кз}}. \quad (2)$$

При подключении к источнику напряжения сопротивления нагрузки $R_н$ (рисунок 4) ток источника может быть рассчитан по формуле

$$I = \frac{E}{R_{вн} + R_н}. \quad (3)$$

Важное значение имеет величина мощности, потребляемой нагрузкой $P_н$, которая определяется по формуле



$$P_H = UI. \quad (4)$$

Если в (4) вместо U подставить правую часть формулы (1) и раскрыть скобки, получится следующее выражение

$$P_H = EI - R_{\text{вн}} I^2, \quad (5)$$

которое связывает мощность нагрузки с параметрами реального источника ЭДС. График зависимости мощности нагрузки от тока представляет собой перевернутую параболу (рисунок 5).

Из рисунка 5 видно, что мощность в нагрузке при некотором значении тока $I_{P_{\text{max}}}$ достигает максимума. Режим работы, при котором в нагрузке выделяется максимальная мощность, называется согласованным.

Исследовав выражение (5) на максимум ($dP_H/dI=0$), можно получить значение тока $I_{P_{\text{max}}}$:

$$I_{P_{\text{max}}} = \frac{E}{2R_{\text{вн}}} = \frac{I_{\text{кз}}}{2}, \quad (6)$$

где $I_{\text{кз}}$ – ток короткого замыкания источника, А.

При согласованном режиме справедливо соотношение $R_{\text{вн}} + R_{\text{н}} = 2R_{\text{вн}}$. Следовательно, согласованный режим устанавливается в случае, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника

$$R_{\text{вн}} = R_{\text{н}}. \quad (7)$$

Подставив правую часть (6) в формулу (5), получим максимальную мощность в нагрузке, которую может обеспечить данный источник

$$P_{H_{\text{max}}} = \frac{E^2}{4R_{\text{вн}}}. \quad (8)$$

В мощных электрических цепях немаловажное значение имеет коэффициент полезного действия реального источника:

$$\eta = \frac{P_H}{P_E} = \frac{EI - R_{\text{вн}} I^2}{EI} = 1 - \frac{R_{\text{вн}} I}{E} = 1 - \frac{I}{I_{\text{кз}}}, \quad (9)$$

где P_E – мощность источника, Вт.

График зависимости КПД от тока источника представлен на рисунке 6.

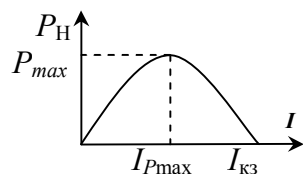


Рисунок 5 – График зависимости мощности нагрузки источника ЭДС от тока

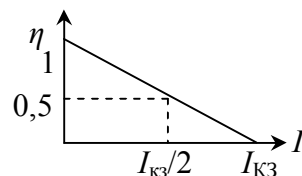


Рисунок 6 – График зависимости КПД источника ЭДС от тока

Из рисунка видно, что при согласованном режиме коэффициент полезного действия равен 0,5.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используется аналоговый амперметр. Напряжение измеряется аналоговым вольтметром.

В качестве идеального источника ЭДС E взят регулируемый источник постоянного напряжения. В качестве внутреннего сопротивления $R_{вн}$ реального источника напряжения взяты параллельно соединенные резисторы R_1 и R_2 . Нагрузкой источника $R_{н}$ служат параллельно соединенные резисторы $R_1 - R_6$, расположенные в верхней части наборного поля.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Собрать цепь в соответствии с рисунком 7.

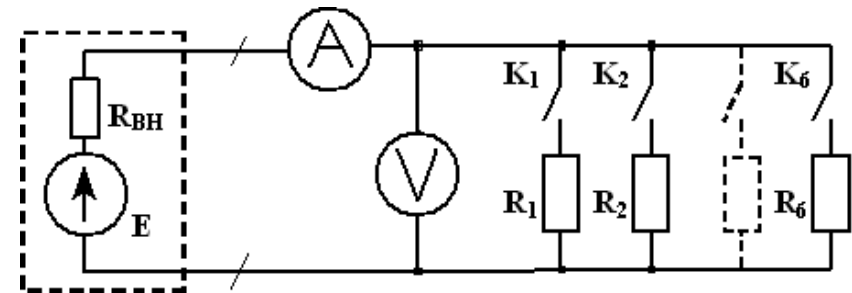


Рисунок 7 – Схема эксперимента

4.2. Подготовить цепь к проведению опыта. Для этого все тумблеры $K_1 - K_6$ установить в верхнее положение (включено).

Регулятором постоянного напряжения постепенно увеличивать напряжение источника. Увеличение напряжения источника прекратить при достижении амперметром тока 1 А.

4.3. Исследование источника в различных режимах. Отключая последовательно по одному тумблеру, довести количество включенных тумблеров до нуля (опыт холостого хода). Измеряя ток и напряжение во всех случаях, результаты эксперимента записать в таблицу 1.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. Из опыта холостого хода определить величину ЭДС реального источника напряжения



$$E=U_{xx}. \quad (10)$$

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Количество включенных тумблеров	Измерено		Вычислено		
	U , В	I , А	$P_E=EI$, Вт	$P_H=UI$, Вт	$\eta=P_H/P_E$
6					
5					
4					
3					
2					
1					
0					

5.2. Опыт короткого замыкания, из которого можно определить ток короткого замыкания I_{K3} , крайне нежелателен, так как связан с перегрузками по току. Поэтому для определения тока короткого замыкания необходимо построить внешнюю характеристику по экспериментальным данным (рисунок 2). На оси ординат отложить величину ЭДС, отметить остальные экспериментальные точки. Через точку ЭДС и экспериментальные точки провести прямую. Точка пересечения прямой с осью тока дает величину I_{K3} .

5.3. Из формулы (2) определить внутреннее сопротивление реального источника напряжения.

5.4. На построенной характеристике разбить интервал по оси абсцисс от нуля до тока I_{K3} на десять равных участков:

$$\Delta I = I_{K3}/10. \quad (11)$$

5.5. Для значений токов $I_k = k\Delta I$ ($k=1 \div 10$) по формуле (5) рассчитать значения мощности в нагрузке, результаты расчета занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Мощности в нагрузке

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k = k\Delta I$										
$P_H = EI_k - R_{BH} I_k^2$										

5.6. По найденным E , R_{BH} и данным таблицы 2 построить теоретические графики зависимостей $U=f(I)$, $P_E=f(I)$, $P_H=f(I)$, $\eta=f(I)$.

5.7. На теоретические графики нанести экспериментальные точки.

5.8. По формуле (8) рассчитать максимально возможную мощность в нагрузке реального источника напряжения.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схемы эксперимента с указанием типов приборов.
- 6.3. Таблицы 1, 2 с экспериментальными и расчетными данными.
- 6.4. Теоретические графики $U=f(I)$, $P_E=f(I)$, $P_H=f(I)$, $\eta=f(I)$ с нанесенными экспериментальными значениями.
- 6.5. Выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Как классифицируются источники электрической энергии?
- 7.2. Как изменится внешняя характеристика реального источника напряжения, если при неизменной ЭДС его внутреннее сопротивление увеличится в два раза?
- 7.3. Как изменится график мощности в нагрузке $P_H=f(I)$, если при неизменном внутреннем сопротивлении величина ЭДС уменьшится в два раза?
- 7.4. Как изменится график КПД $\eta=f(I)$, если внутреннее сопротивление увеличится в два раза?
- 7.5. Каково значение КПД источника, если сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника?
- 7.6. Для исследуемого Вами источника определите КПД в режиме, когда сопротивление нагрузки в два раза больше внутреннего сопротивления источника.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ ПАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное определение параметров схем замещения реальных пассивных элементов электрической цепи.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Если не рассматривать источники электрической энергии, то в пассивных элементах электрической цепи (резисторы, катушки и конденсаторы) происходит два процесса – превращение электрической энергии в другие виды энергии (например, в тепловую) и накопление электрической энергии. Накопление электрической энергии в пассивных элементах осуществляется в форме магнитного и электрического полей. Причем эти процессы в реальных элементах происходят одновременно. Однако бывают ситуации, когда некоторый энергетический процесс преобладает над остальными. Элемент, в котором учитывается только один энергетический процесс, называется идеальным. К идеальным элементам электрической цепи относят:

- сопротивление, в котором учитывается только превращение электрической энергии в другие виды энергии;
- индуктивность, в которой учитывается только накопление элементом энергии в форме магнитного поля;
- емкость, в которой учитывается только накопление элементом энергии в форме электрического поля.

Замена реального элемента идеальными называется составлением схемы замещения реального элемента. Для определения параметров идеальных элементов существует несколько способов (метод амперметра – вольтметра – ваттметра, метод трех вольтметров и т. д.). Наличие в схеме замещения того или иного идеального элемента определяется не только интенсивностью энергетического процесса, но и точностью измерительных приборов.

В данной лабораторной работе необходимо построить схемы замещения трех реальных элементов: резистора, катушки и конденсатора. Для определения параметров идеальных элементов схемы замещения используем метод переменного и постоянного тока. Каждый из реальных элементов вначале подключается к источнику постоянного напряжения, и измеряются ток и напряжение каждого элемента. Найдя отношение постоянного напряжения к постоянному току, найдем r – активное сопротивление, отражающее процесс превращения электрической энергии в другие виды энергии:

$$r = \frac{U}{I}. \quad (1)$$



Постоянный ток конденсатора может оказаться равным нулю. Это означает, что амперметр оказался недостаточно точным для измерения малого тока утечки в изоляторе конденсатора. Следовательно, в схеме замещения конденсатора будет отсутствовать такой идеальный элемент, как сопротивление.

Затем каждый из реальных элементов подключают к источнику переменного (синусоидального) напряжения, и измеряются ток и напряжение каждого из элемента. Найдя отношение переменного напряжения к переменному току, определяется z – полное сопротивление, отражающее все энергетические процессы:

$$z = \frac{U}{I} . \quad (2)$$

Может оказаться, что для резистора активное сопротивление будет равно полному сопротивлению. Следовательно, точность измерительных приборов не позволяет обнаружить процессы, связанные с накоплением энергии, а значит, в схеме замещения резистора будут отсутствовать индуктивность и емкость.

Если же активное сопротивление оказалось меньше полного, значит в реальном элементе процессы превращения и накопления энергии соизмеримы и, следовательно, в схеме замещения будут присутствовать как сопротивление, так и индуктивность или емкость (идеальный реактивный элемент).

Сопротивление и идеальный реактивный элемент можно соединить двумя способами – параллельно и последовательно. Поэтому существует две схемы замещения – параллельная и последовательная.

Для катушки физически более наглядной представляется последовательная схема замещения, так как на постоянном токе индуктивность можно заменить идеальным проводником и, следовательно, параллельная схема замещения не учитывала бы в этом случае сопротивление. Поэтому в данной работе необходимо определить параметры именно последовательной схемы замещения катушки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Последовательная схема замещения катушки

Зная активное и полное сопротивления, можно определить индуктивное сопротивление

$$X_L = \sqrt{z^2 - r^2} . \quad (3)$$



По известному индуктивному сопротивлению находится индуктивность катушки

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f}, \quad (4)$$

где $f=50$ Гц – циклическая частота тока в сети.

Для конденсатора физически более наглядной является параллельная схема замещения, т. к. на постоянном токе емкость – это разрыв, и тогда в последовательной схеме наличие тока утечки невозможно объяснить. Поэтому в данной работе необходимо определить параметры именно параллельной схемы замещения конденсатора (рисунок 2).

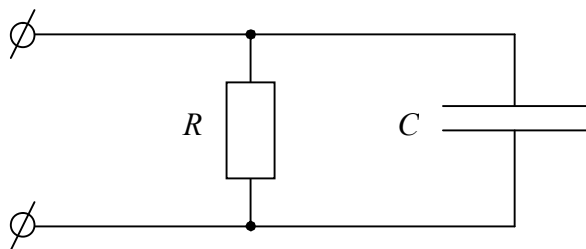


Рисунок 2 – Параллельная схема замещения конденсатора

Зная активное и полное сопротивления, можно определить емкостное сопротивление

$$X_C = \frac{rz}{\sqrt{r^2 - z^2}}. \quad (7)$$

По известному емкостному сопротивлению находится емкость конденсатора

$$C = \frac{1}{X_C \omega}. \quad (8)$$

Зная ток, который одинаков во всех элементах последовательной схемы замещения катушки, можно определить напряжения на идеальных элементах:

$$U_r = rI, \quad (9)$$

$$U_L = X_L I. \quad (10)$$

Зная напряжение, которое одинаково на всех элементах параллельной схемы замещения конденсатора, можно определить токи каждого идеального элемента:

$$I_r = \frac{U}{r}, \quad (11)$$

$$I_C = \frac{U}{X_C}. \quad (12)$$

Построение векторных диаграмм для синусоидальных напряжений и токов удобно начинать с вектора, который одинаков на обоих элементах схемы замещения. Длины векторов определяются из формул (9)–(12).

При определении направления векторов необходимо учитывать, что на емкости вектор тока опережает вектор напряжения на 90° , а на индуктивности – наоборот, отстает на те же 90° .

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используются аналоговый амперметр, а напряжения – аналоговый вольтметр.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Исследование реальных элементов (резистора, катушки и конденсатора) на постоянном токе.

4.1.1. Собрать электрическую цепь, согласно рисунку 3, и подключить ее к источнику постоянного регулируемого напряжения.

4.1.2. Поочередно подключая в цепь резистор R , катушки L_{0-9} , конденсатор C_7 и постепенно увеличивая подаваемое напряжение, необходимо следить, чтобы ток не превышал 1 А.

Внимание! При эксперименте с катушкой необходимо особенно медленно увеличивать напряжение, т.к. на постоянном токе катушка имеет очень маленькое сопротивление.

Для каждого элемента значения токов и напряжений занести в таблицу 1.

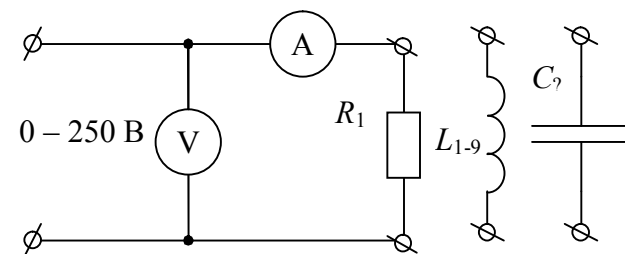


Рисунок 3 – Схема эксперимента для исследования элементов на постоянном токе



Таблица 1 – Результаты эксперимента на постоянном токе

Элемент Параметр	Резистор	Катушка	Конденсатор
U , В			
I , А			
r , Ом			

4.2. Исследование тех же реальных элементов на переменном (синусоидальном) токе.

4.2.1. Собрать электрическую цепь, согласно рисунку 4, и подключить ее к источнику регулируемого синусоидального напряжения.

4.2.2. Поочередно подключая в цепь резистор R_1 , катушки L_{0-9} , конденсатор $C_?$ и постепенно увеличивая подаваемое напряжение, необходимо следить, чтобы ток не превышал 1 А.

Для каждого элемента значения токов и напряжений занести в таблицу 2.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. По результатам экспериментов вычислить r – активное (1) и z – полное (2) сопротивления реальных элементов. Результаты вычислений занести в таблицы 1, 2 и 3.

5.2. Выбрать схемы замещения реальных элементов и рассчитать параметры элементов выбранных схем, результаты расчета занести в таблицу 3.

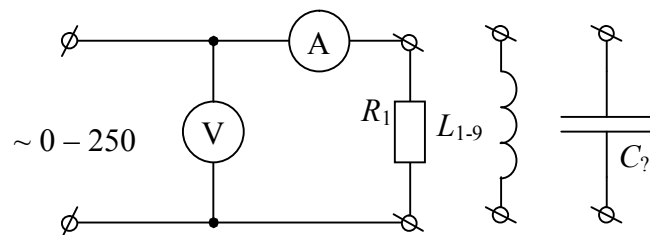


Рисунок 4 – Схема эксперимента для исследования элементов на переменном токе

Таблица 2 – Результаты эксперимента на переменном токе

Элемент Параметр	Резистор	Катушка	Конденсатор
U , В			
I , А			
z , Ом			

Параметр Элемент	z	X	r	L	C
Резистор					
Катушка					
Конденсатор					

5.3. По известному входному синусоидальному напряжению и параметрам элементов схем замещения рассчитать токи и напряжения на всех элементах схем замещения.

5.4. Для каждой из схем замещения построить векторные диаграммы напряжений и токов, найденных в п. 5.3.

6. СОДЕЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схемы экспериментов с указанием токов измерительных приборов.
- 6.3. Схемы замещения реальных элементов.
- 6.4. Данные экспериментальных исследований.
- 6.5. Параметры элементов схем замещения.
- 6.6. Расчеты токов и напряжений идеальных элементов.
- 6.7. Векторные диаграммы найденных токов и напряжений идеальных элементов.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. В чем отличие понятий «катушка индуктивности» и «индуктивность»?
- 7.2. В чем отличие понятий «конденсатор» и «емкость»?
- 7.3. Приведите схемы замещения реальных катушки и конденсатора.
- 7.4. Какие ограничения накладывают измерительные приборы на схемы замещения?
- 7.5. Для катушки назовите физические явления, которые соответствуют идеальным элементам ее схемы замещения.
- 7.6. Для конденсатора назовите физические явления, которые соответствуют идеальным элементам его схемы замещения.

Таблица 3 – Результаты обработки экспериментов

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ТОКЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование режимов работы последовательно соединенных сопротивлений, индуктивности и емкости.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При последовательном соединении сопротивления, индуктивности (активным сопротивлением катушки пренебрегаем) и емкости комплексное сопротивление имеет вид:

$$Z = Z_r + Z_L + Z_C = r + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = z e^{j\varphi}, \quad (1)$$

где $z = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$ – полное сопротивление;

$\varphi = \arctg \left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{r} \right)$ – сдвиг фаз между напряжением и током.

Комплексное действующее значение тока в такой цепи определяется по формуле

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U e^{j\psi_u}}{z e^{j\varphi}} = \frac{U}{z} e^{j(\psi_u - \varphi)} = I e^{j\psi_i}. \quad (2)$$

Напряжение на сопротивлении определяется по формуле

$$U_r = Z_r I = r I e^{j\psi_i}. \quad (3)$$

Напряжение на индуктивности находится из формулы

$$U_L = Z_L I = X_L e^{j90^\circ} \cdot I e^{j\psi_i} = \omega L I e^{j(\psi_i + 90^\circ)}. \quad (4)$$

Напряжение на емкости вычисляется по формуле

$$U_C = Z_C I = X_C e^{-j90^\circ} \cdot I e^{j\psi_i} = \frac{I}{\omega C} e^{j(\psi_i - 90^\circ)}. \quad (5)$$

В пассивных линейных двухполюсниках, включающих в себя индуктивности и емкости возможен специфический режим, при котором мощности ин-

дуктивности и емкости компенсируют друг друга. Такой режим называется резонансом. При резонансе двухполюсник ведет себя как чисто активное сопротивление. Поэтому общее условие резонансного режима можно сформулировать так: мнимая часть комплексного входного сопротивления равна нулю. Математически это запишется в виде:

$$\operatorname{Im}(Z)=0. \quad (6)$$

Если двухполюсник включает последовательно соединенные сопротивление, индуктивность и емкость, условие резонанса (6) имеет вид:

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0. \quad (7)$$

Из формул (4) и (5) следует, что при резонансе действующие значения напряжений на индуктивности и емкости одинаковы. Поэтому резонанс в этом случае называют резонансом напряжений.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используется аналоговый амперметр типа А301. Для измерения напряжения применяется цифровой вольтметр А301. В качестве источника используется регулируемый источник переменного напряжения. В качестве емкости - батарея переменных конденсаторов.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Исследование при резонансном режиме

4.1.1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рисунке

2.

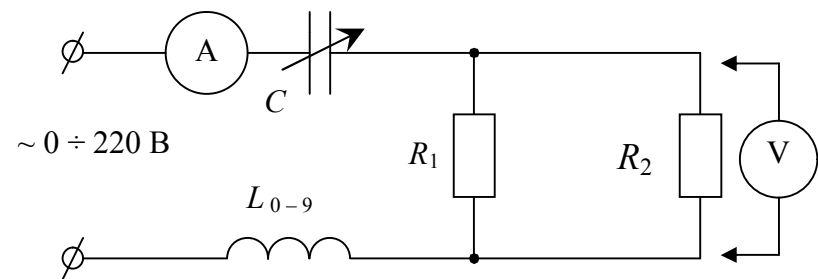


Рисунок 2 – Схема эксперимента

4.1.2. Из данных, приведенных на стенде, вычислить величину индуктивности катушки L_{0-9} , активное сопротивление катушки не учитывать.

4.1.3. Из условия резонанса (7) по формуле



$$C_p = \frac{1}{\omega^2 L_{0-9}} \quad (9)$$

вычислить значение емкости C_p , при которой наступает резонанс.

Установить на батарее конденсаторов C_p .

4.1.4. Медленно источником переменного регулируемого напряжения увеличивать входное напряжение, контролируя при этом изменение тока. Увеличение входного напряжения прекратить при достижении тока 1 А.

4.1.5. Записать величину достигнутого входного напряжения U и в дальнейшем поддерживать его неизменным.

4.1.6. Вольтметром в дежурном режиме измерить напряжения на элементах схемы. Результаты занести в строку № 4 таблицы 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

№ режима	Режим	C , мкФ	I , А	U_R , В	U_L , В	U_C , В	z , Ом
1	$C=0$						
2	$C=C_p/3$						
3	$C=2C_p/3$						
4	$C=C_p$						
5	$C=2C_p$						
6	$C=3C_p$						

4.2. Исследование при нерезонансных режимах

4.2.1. Поочередно устанавливать на батарее конденсаторов величины емкостей, указанных в столбце «Режим» таблицы 1.

4.2.2. При каждом режиме измерять ток и напряжение и данные занести в таблицу 1.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. По известному входному напряжению U рассчитать полное сопротивление z двухполюсника для всех режимов

$$z = \frac{U}{I}, \quad (9)$$

и результаты занести в таблицу 1.

5.2. По данным таблицы 1 построить графики зависимости C , I , U_R , U_L , U_C , z от емкости.

5.3. Для строк 2, 4, 6 таблицы 1 построить векторные диаграммы токов и напряжений.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схема эксперимента с указанием типов измерительных приборов.
- 6.3. Таблица экспериментальных и расчетных данных.
- 6.4. Графики зависимостей $I(C)$, $U_R(C)$, $U_L(C)$, $U_C(C)$, $Z(C)$.
- 6.5. Векторные диаграммы для строк 2, 4, 6 таблицы 1.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Кроме изменения емкости, какие еще возможны способы получения резонанса?
- 7.2. Чему равно полное сопротивление при резонансе последовательно соединенных сопротивления, индуктивности и емкости?
- 7.3. Почему напряжение на реактивном элементе может превосходить входное напряжение?
- 7.4. Используя векторные диаграммы, найти напряжение на последовательно соединенных:
 - а) индуктивности и емкости;
 - б) индуктивности и сопротивлении;
 - в) емкости и сопротивлении.
- 7.5. Как выглядят графики зависимостей $r(C)$ и $x_L(C)$?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИНДУКТИВНОСТИ
И ЕМКОСТИ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОМ ТОКЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование режимов работы параллельно соединенных сопротивлений, индуктивности и емкости.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью. По известным параметрам элементов можно определить комплексные проводимости этих элементов:

– для сопротивления

$$Y_r = \frac{1}{Z_r} = \frac{1}{r} = g, \quad (1)$$

– для индуктивности

$$Y_L = \frac{1}{Z_L} = \frac{1}{j\omega L} = -j \frac{1}{\omega L} = -jb_L = b_L e^{-j90^\circ}, \quad (2)$$

– для емкости

$$Y_C = \frac{1}{Z_C} = \frac{1}{j \frac{1}{\omega C}} = j\omega C = jb_C = b_C e^{j90^\circ}. \quad (3)$$

При параллельном соединении сопротивления, индуктивности (активным сопротивлением катушки пренебрегаем) и емкости комплексная выходная проводимость составляет

$$Y = Y_r + Y_L + Y_C = g - jb_L + jb_C = g - (b_L - b_C). \quad (4)$$

В показательной форме комплексная проводимость имеет вид:

$$Y = ye^{-j\varphi}, \quad (5)$$

где $y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2}$ – полная проводимость;

$\varphi = \arctg\left(\frac{b_L - b_C}{g}\right)$ – сдвиг фаз между входным напряжением и током.

ком.

Комплексное действующее значение тока в такой цепи определяется по формуле

$$\dot{I} = \dot{U}Y = Ue^{j\psi_u} \cdot ye^{-j\varphi} = yUe^{j(\psi_u - \varphi)} = Ie^{j\psi_u} \quad (6)$$

Ток в сопротивлении определяется по формуле

$$\dot{I}_r = \dot{U}Y_r = gUe^{j\psi_u} \quad (7)$$

Ток в индуктивности находится по формуле

$$\dot{I}_L = \dot{U}Y_L = Ue^{j\psi_u} \cdot b_L e^{-j90^\circ} = b_L Ue^{j(\psi_u - 90^\circ)} \quad (8)$$

Ток в емкости вычисляется по формуле

$$\dot{I}_C = \dot{U}Y_C = Ue^{j\psi_u} \cdot b_C e^{j90^\circ} = b_C Ue^{j(\psi_u + 90^\circ)} \quad (9)$$

Векторные диаграммы напряжения и токов можно построить по их найденным комплексным действующим значениям. Но в простых цепях для построения векторных диаграмм достаточно иметь только показания приборов. Выбрав масштабы напряжения и тока, векторную диаграмму в таких цепях удобно начинать построения с вектора, который является одинаковым для нескольких элементов цепи. При параллельном соединении элементов таким вектором является напряжение. При построении векторов токов необходимо учитывать, что вектор тока на сопротивлении совпадает по направлению с вектором напряжения, на индуктивности – отстает на 90° , а на емкости – опережает на 90° вектор напряжения.

Считается, что вектора вращаются против часовой стрелки с частотой $\omega = 2\pi f$.

При параллельном соединении сопротивления, индуктивности и емкости векторная диаграмма может выглядеть так, как показано на рисунке 1.

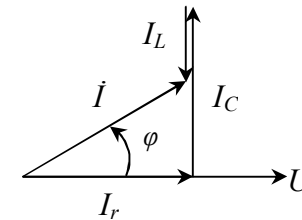


Рисунок 1 – Возможная векторная диаграмма напряжения и токов при параллельном соединении R, L, C

Длины векторов зависят от соотношения $R, b_L = 1/\omega L$ и $b_C = \omega C$.

В пассивных линейных двухполюсниках, в состав которых входят индуктивности и емкости, возможен специфический режим, при котором мощности индуктивностей и емкостей компенсирует друг друга. Такой режим называется резонансным. При резонансе двухполюсник ведет себя как активное сопротивление. Поэтому общее условие резонансного режима можно

сформулировать так: мнимая часть комплексной входной проводимости равна нулю. Математически это условие запишется в виде:

$$\operatorname{Im}(Y) = 0. \quad (9)$$

Если двухполюсник состоит из параллельно соединенных сопротивлений, индуктивности и емкости, это условие имеет вид:

$$\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) = 0. \quad (10)$$

Из формул (7) и (8) следует, что при резонансе действующие значения токов в индуктивности и емкости одинаковы. Поэтому резонанс в этом случае называют резонансом токов.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используется аналоговый амперметр типа А301. Для измерения напряжения применяется цифровой вольтметр А301. В качестве источника используется регулируемый источник переменного напряжения. В качестве емкости - батарея переменных конденсаторов.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Исследование при резонансном режиме.

4.1.1. Собрать электрическую цепь, как показано на рисунке 2.

4.1.2. Из данных, приведенных на стенде, выписать величину индуктивности катушки L_{0-9} . Активное сопротивление катушки не учитывать.

4.1.3. Из условия резонанса (10) по формуле

$$C_P = \frac{1}{\omega^2 L_{0-9}} \quad (11)$$

вычислить значение емкости C_P , при которой наступает резонанс. Установить на батарее конденсаторов емкость, равную C_P .

4.1.4. Источником переменного регулируемого напряжения медленно увеличивать напряжение, контролируя при этом изменение токов. Увеличение напряжения прекратить при достижении любым из токов значения 0,7 А.

4.1.5. Записать величину достигнутого входного напряжения и в дальнейшем поддерживать его неизменным.

4.1.6. В строку 4 таблицы 1 записать величину емкости и значения токов всех амперметров.

4.2. Исследование при нерезонансных режимах.

4.2.1. Поочередно устанавливать на батарее конденсаторов величины емкостей, указанных в столбце «Режим» таблицы 1.

4.2.2. Оставляя неизменным входное напряжение, при каждом режиме

величины измеренных токов заносить в таблицу 1.

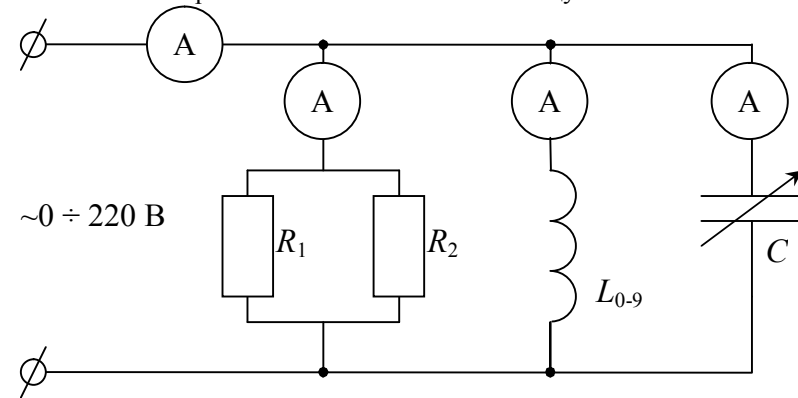


Рисунок 2 – Схема эксперимента

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

№ режима	Режим	C , мкФ	I , А	I_R , А	I_L , А	I_C , А	y , См
1	$C = 0$						
2	$C = C_p/3$						
3	$C = 2C_p/3$						
4	$C = C_p$						
5	$C = 2C_p$						
6	$C = 3C_p$						

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. По известному входному напряжению U рассчитать полную проводимость y двухполюсника для всех режимов

$$y = \frac{I}{U}, \quad (12)$$

и результаты занести в таблицу 1.

5.2. По данным таблицы 1 построить графики зависимости I , I_R , I_L , I_C , y от емкости.

5.3. Для строк 2, 4, 6 таблицы 1 построить векторные диаграммы токов и напряжения.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов измерительных приборов.



6.3. Таблица экспериментальных и расчетных данных.

6.4. Графики зависимостей $I(C)$, $I_R(C)$, $I_L(C)$, $I_C(C)$, $y(C)$.

6.5. Векторные диаграммы для строк 2, 4, 6 таблицы 1

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Какие существуют способы получения резонанса, кроме изменения емкости?

7.2. Чему равна эквивалентная проводимость при резонансе параллельно соединенных сопротивления, индуктивности и емкости?

7.3. Почему ток реактивного элемента может превосходить входной ток?

7.4. Используя векторные диаграммы, найдите суммарный ток параллельно соединенных:

а) индуктивности и емкости;

б) индуктивности и сопротивления;

в) емкости и сопротивления;

7.5. Как по построенным графикам определить величину резонансной емкости?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 РАЗВЕТВЛЕННАЯ ЦЕПЬ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальная проверка анализа разветвленной цепи гармонического тока.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Анализ электрических цепей гармонического тока удобно проводить в комплексной форме. Если в цепи действует один источник гармонического напряжения или тока, то такую цепь проще анализировать методом эквивалентных преобразований. Анализ проводится по следующему алгоритму.

Заданному мгновенному значению, например, гармонического источника ЭДС, ставится в соответствие комплексное действующее значение ЭДС. Если мгновенное значение ЭДС

$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \Psi_e), \quad (1)$$

то соответствующее ему комплексное действующее значение

$$\dot{E} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} e^{j\Psi_e}. \quad (2)$$

Если же известно действующее значение входного напряжения U , то начальную фазу Ψ_U этого напряжения можно выбирать произвольно (удобно выбрать $\Psi_U = 0$). В этом случае комплексное действующее значение входного напряжения запишется в виде

$$\dot{U} = U e^{j\Psi_U}.$$

Определяются комплексные сопротивления пассивных элементов:

а) сопротивления

$$Z_r = R; \quad (3)$$

б) индуктивности

$$Z_L = j\omega L = \omega L e^{j90^\circ}; \quad (4)$$

в) емкости

$$Z_c = -j \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{\omega c} e^{-j90^\circ}. \quad (5)$$

Сворачивая схему, определяется комплексное эквивалентное сопротивление схемы (относительно зажимов источника) Z .

Используя закон Ома в комплексной форме



$$\dot{I} = \frac{U}{Z} = \frac{U e^{j\Psi_u}}{z e^{j\varphi}} = \frac{U}{z} e^{j(\Psi_u - \varphi)} = I e^{j\Psi_i}, \quad (6)$$

разворачиваем схему, определяя комплексные действующие значения напряжений и токов.

От комплексных действующих значений напряжений и токов возвращаются к мгновенным значениям.

Наглядным средством при анализе гармонического тока являются векторные диаграммы. Если известно комплексное действующее значение, например, тока

$$\dot{I} = I_e + I_m = I e^{j\Psi_i}, \quad (7)$$

то этот вектор можно построить на комплексной плоскости – рисунок 1.

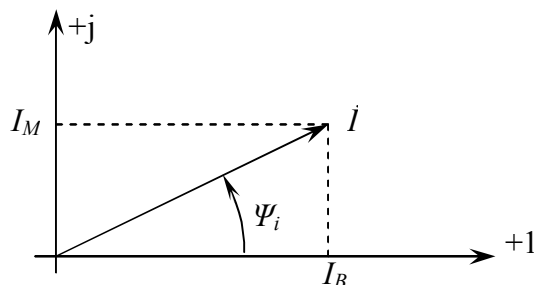


Рисунок 1 – Векторная диаграмма тока

Построить его можно двумя способами. При первом способе используется алгебраическая форма записи комплексного числа, когда по вещественной оси откладывается вещественная, а по мнимой – мнимая часть.

При втором способе используется показательная форма записи. При этом от положительной вещественной оси против часовой стрелки откладывается положительный угол Ψ_i , и под этим углом проводится луч. На луче от начала координат откладывается отрезок длиной I .

Для комплексных действующих значений токов и напряжений справедлив оба закона Кирхгофа.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используются аналоговые амперметры.



Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используются аналоговые амперметры. Для измерения напряжения применяется аналоговый вольтметр в дежурном режиме. В качестве источника энергии взять регулируемый источник переменного напряжения.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1. Собрать электрическую цепь, схема которой приведена на рисунке 2.

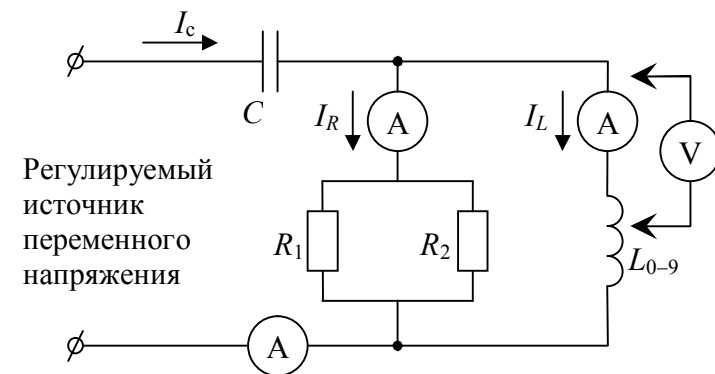


Рисунок 2 – Схема эксперимента

4.2. На переменном конденсаторе выставить значение емкости $C=20$ мкФ. Из данных, приведенных на стенде, выписать величины индуктивности L_{0-9} , а величины сопротивлений R_1 , R_2 взять из лабораторной работы № 1.

4.1. Медленно увеличивая входное напряжение, контролируйте ток и в ветвях схемы. Увеличение входного напряжения прекратить при достижении одним из токов значения 0,5А.

4.2. Вольтметром в дежурном режиме измерять входное напряжение и напряжения на элементах схемы.

4.3. Величины измеренных напряжений и токов занести в строку «Эксперимент» таблицы 1

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

5.1. При известных параметрах элементов и входном напряжении рассчитать в комплексной форме методом эквивалентных преобразований все токи и напряжения схемы, изображенной на рисунке 2.

5.2 Построить векторную диаграмму токов и напряжений.



Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Способ получения результатов	Величины						
	$U_{вх},$ В	$U_C,$ В	$U_r,$ В	$U_L,$ В	$I_C,$ А	$I_r,$ А	$I_L,$ А
Эксперимент							
Расчет							

5.3. Представив все токи и напряжения, найденные в пункте 5.1, в показательной форме, записать модули соответствующих величин в строку «Расчет» таблицы 1.

5.4. Сравнить опытные и расчетные данные в таблице 1. Сделать вывод об их соответствии.

5.5. Для одного из узлов схемы проверить выполнение первого закона Кирхгофа.

5.6. Для внешнего контура схемы на рисунке 2 проверить выполнение второго закона Кирхгофа.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.

6.3. Расчет исследуемой электрической цепи комплексным методом.

6.4. Таблица экспериментальных и расчетных данных.

6.5. Векторная диаграмма токов и напряжений исследуемой электрической цепи.

6.6. Проверка правильности расчетов по законам Кирхгофа.

6.7. Выводы о соответствии экспериментальных и расчетных данных.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. В чем идея расчета электрической цепи методом эквивалентных преобразований?

7.2. Чем отличаются методы расчета цепей гармонического тока от методов расчета цепей постоянного тока?

7.3. Задано комплексное число $3+j5$. Запишите это число в показательной форме.

7.4. Задано комплексное число $5e^{j40^\circ}$. Запишите это число в алгебраической форме.

7.5. С помощью векторных диаграмм докажите, что выполняется первый закон Кирхгофа.

7.6. С помощью векторных диаграмм докажите, что выполняется второй закон Кирхгофа.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Освоение методов измерения и расчета мощностей в цепях гармонического тока.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Электромагнитные процессы в электрических цепях связаны с поглощением и выделением энергии как отдельными элементами, так и всей цепью. Скорость изменения энергии характеризуется мощностью. Различают несколько видов мощности. Наиболее полно энергетические изменения характеризует мгновенная мощность p .

Мгновенная мощность пассивного линейного двухполюсника может быть найдена как произведение мгновенного значения напряжения u на мгновенное значение тока i

$$p=ui. \quad (1)$$

Так как мгновенная мощность – величина, изменяющаяся во времени, ею не всегда удобно пользоваться.

Поэтому в цепях гармонического тока вводятся другие виды мощностей: активная, реактивная и полная.

Активной мощностью P называется среднее за период значение мгновенной мощности

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt. \quad (2)$$

Активная мощность измеряется в ваттах (Вт).

Реактивные элементы индуктивность и емкость не только поглощают энергию от источника, но и возвращают ее, т.е. обмениваются энергией с источником.

Максимальная скорость обмена энергией реактивного элемента с внешней цепью за период называется реактивной мощностью. Реактивная мощность обозначается прописной буквой Q и измеряется в вольт-амперах реактивных (ВАР).

Полной мощностью называется амплитуда переменной составляющей мгновенной мощности - рисунок 1. Полная мощность обозначается прописной буквой S и измеряется в вольт-амперах (В·А).

Все названные выше мощности можно найти, пользуясь мгновенными значениями токов и напряжений. Но проще это сделать, если известны комплексные действующие значения тока и напряжения двухполюсников



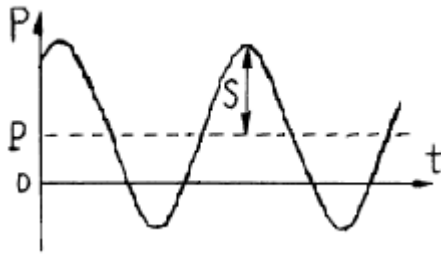


Рисунок 1 – Временная диаграмма мгновенной мощности

$$\dot{I} = I e^{j\Psi_I}, \dot{U} = U e^{j\Psi_U}. \quad (3)$$

Комплексной мощностью называется комплексное число $\underline{S}$, равное произведению комплексного действующего значения напряжения на комплексно-сопряженное действующее значение тока

$$\underline{S} = \dot{U} \dot{I}^* = U e^{j\Psi_U} \cdot I e^{-j\Psi_I} = UI e^{j(\Psi_U - \Psi_I)} = S e^{j\varphi}. \quad (4)$$

Здесь S - полная мощность, а φ - сдвиг фаз между напряжением и током. Комплексная мощность в алгебраической форме, имеет вид

$$\underline{S} = S \cos \varphi + j S \sin \varphi = P + jQ. \quad (5)$$

Здесь $P = S \cos \varphi$ - активная мощность, а $Q = S \sin \varphi$ - реактивная мощность двухполюсника.

В цепях гармонического тока справедлив баланс комплексной мощности.

$$\sum \underline{S}_{\text{ист}} = \sum \underline{S}_{\text{потреб}}. \quad (6)$$

Проиллюстрируем приведенные выше соотношения на примере последовательно соединенных сопротивления R , индуктивности L и емкости C .

В этом случае активная мощность вычисляется по формуле

$$P = I^2 r. \quad (7)$$

Реактивная емкость определяется из выражения

$$Q = Q_L - Q_C. \quad (8)$$

Здесь Q_L - реактивная мощность индуктивности

$$Q_L = X_L I^2, \quad (9)$$

Q_C - реактивная мощность емкости

$$Q_C = X_C I^2. \quad (10)$$

Переход от алгебраической формы записи комплексной мощности (5) к показательной форме (4) дает связь между мощностями

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}. \quad (11)$$

Комплексную мощность, как и любое комплексное число, можно построить на комплексной плоскости. При этом значение активной мощности откладывается по вещественной оси, значение Q_L – по мнимой положительной, а значение Q_C – по мнимой отрицательной оси. Тогда длина вектора $\underline{S}$ равна полной мощности, а угол φ – это угол между напряжением и током (рисунок 2).

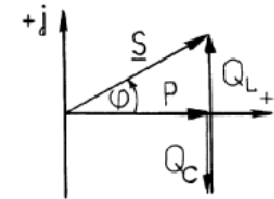


Рисунок 2 – Векторная диаграмма мощностей

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов в работе используется аналоговый амперметр. Для измерения напряжения применяется аналоговый вольтметр в дежурном режиме.

Для измерения активной мощности служит астатический ваттметр, механизм которого состоит из двух обмоток: токовой и напряжения. Токовая обмотка включается последовательно с двухполюсником, ее выводы обозначены на ваттметре «5 A» и «I*». Обмотка напряжения включается параллельно двухполюснику, ее выводы обозначаются «150 V» и «U*».

В ваттметрах направление отклонения указателя зависит от относительного направления токов в обеих обмотках. Поэтому зажимы имеют разметку: зажимы, которые должны быть подключены к источнику питания, называют генераторными и обозначают звездочкой (*) или точкой (·). Цена деления ваттметра 5 Вт.

В качестве источника энергии используется регулируемый источник переменного напряжения.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Собрать электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 3.

4.2. Из данных лабораторной работы № 3 или приведенных на стенде, выписать величины сопротивлений резисторов R_1 и R_2 и индуктивность катушки L_{0-9} , и сопротивление катушки R_K .



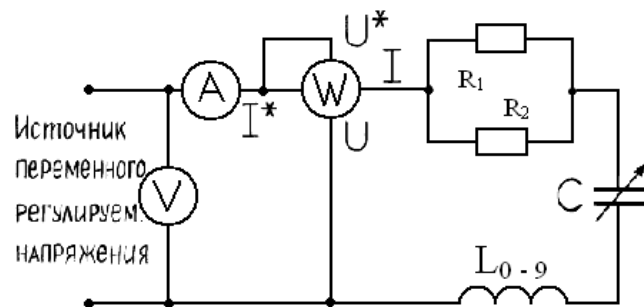


Рисунок 3 – Схема эксперимента

4.3. Рассчитать резонансное значение емкости по формуле

$$C_P = \frac{1}{\omega^2 L_{0-9}} \quad (12)$$

и установить резонансную емкость на батарее конденсаторов.

4.4. Источником переменного регулируемого напряжения увеличивать входное напряжение и контролировать при этом изменение тока. Увеличение входного напряжения прекратить при достижении током величины 1 А.

4.5. Записать величину достигнутого входного напряжения $U_{вх}$ и в дальнейшем поддерживать это напряжение неизменным.

4.6. Значение тока и активной мощности записать в строку $C=C_P$ таблицы 1 в части «измерено».

Таблица 1– Экспериментальные и расчетные данные

Режим цепи	Измерено			Вычислено				
	C , мкФ	I , А	P , Вт	$S=UI$	$P=I^2 R$	$Q_L=I^2 X_L$	$Q_C=X_C I^2$	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
$C=C_P/2$								
$C=C_P$								
$C=2C$								

4.7. Изменяя значение емкости в соответствии с требованиями таблицы 1, повторить измерения и результаты занести в таблицу 1.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. Для всех значений емкостей подсчитать полную, активную и реактивные мощности и заполнить таблицу в части «Вычислено». При этом величины сопротивлений определяются:

активного

$$r = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + r_K ; \quad (13)$$

индуктивного

$$X_L = \omega l; \quad (14)$$

емкостного

$$X_C = \frac{1}{\omega C} . \quad (15)$$

5.2. Для всех значений емкостей построить векторные диаграммы комплексных мощностей.

5.3. Записать значение комплексных мощностей в показательной и алгебраической формах для всех значений емкостей

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Название и цель работы.
- 6.2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.
- 6.3. Таблица экспериментальных и расчетных данных.
- 6.4. Векторные диаграммы комплексных мощностей для трех значений емкостей.
- 6.5. Значения комплексных мощностей в показательной и алгебраической формах.
- 6.6. Выводы о соотношении расчетных и экспериментальных данных.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Какая характеристика наиболее полно описывает энергетические изменения в электрической цепи и как ее можно рассчитать?
- 7.2. Какую характеристику измеряет ваттметр и каков ее физический смысл ?
- 7.3. Каков физический смысл величин Q_L , Q_C и $Q = Q_L - Q_C$?
- 7.4. Комплексная мощность равна $\underline{S} = 10 + j5$. Определите сдвиг фаз между напряжением и током.
- 7.5. Каков физический смысл баланса комплексной мощности?
- 7.6. Если $C < C_p$, какой математический знак будет иметь Q ? Какой физический смысл этого знака?
- 7.7. В чем особенности включения в цепь ваттметра?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ЗВЕЗДОЙ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование различных режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки звездой.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Трехфазной называется электрическая цепь, в которой действует три синусоидальных ЭДС с одинаковыми амплитудами, одинаковыми частотами, и с разными начальными фазами. Если начальные фазы ЭДС отличаются друг от друга на 120° , то такая система ЭДС называется симметричной. В подавляющем большинстве случаев используется симметричная система ЭДС.

Три источника ЭДС можно соединить несколькими способами. Распространенным является способ соединения источников ЭДС в виде звезды. Общая точка источников называется нейтралью источников.

Распространенным способом соединения нагрузки трехфазной цепи также является соединение звездой. Общая точка нагрузки называется нейтралью нагрузки. В общем случае нейтраль нагрузки и нейтраль источников соединяются проводом, который называется нейтральным, или нулевым.

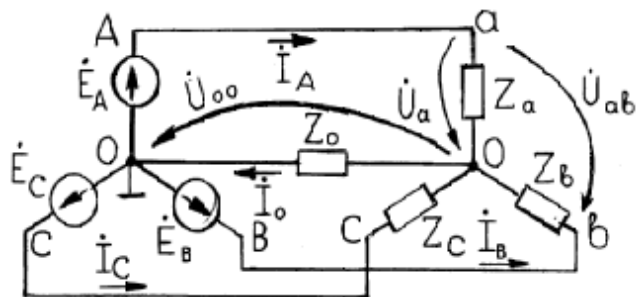


Рисунок 1 – Трехфазная цепь при соединении источников и нагрузки звездой

Провода, соединяющие выводы звезд нагрузки и источников, называются линейными.

Обозначим элементы цепи в соответствии с рисунком 1. Если выполняется условие

$$Z_a = Z_b = Z_c, \quad (1)$$

то такая нагрузка называется симметричной. Токи в линейных проводах называются линейными и обозначаются I_A, I_B, I_C . Токи в сопротивлениях $Z_a, Z_b,$

Z_c называются фазными и обозначаются $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$. Ток в нулевом проводе обозначается $\dot{I}_0$ и направляется к нейтрали источников.

Напряжения между линейными и нулевым проводом называются фазными и обозначаются $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$. Напряжения между линейными проводами называются линейными и обозначаются $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}$. Напряжение между нейтралью нагрузки $0'$ и нейтралью источников 0 $\dot{U}_{0'0}$ называется напряжением смещения нейтрали.

Анализ трехфазных цепей можно производить в комплексной форме любым методом. Но в случае, когда и источники, и нагрузка соединены звездой, это удобнее делать методом узловых потенциалов.

Заземлим нейтраль источников и будем считать, что в узле $0'$ существует неизвестный узловой потенциал $\phi_{0'}$. Уравнение для этого потенциала будет иметь вид

$$\left(\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_0} \right) \phi_{0'} = \frac{\dot{E}_A}{Z_a} + \frac{\dot{E}_B}{Z_b} + \frac{\dot{E}_C}{Z_c}. \quad (2)$$

Отсюда неизвестный узловой потенциал равен

$$\phi_{0'} = \frac{\frac{\dot{E}_A}{Z_a} + \frac{\dot{E}_B}{Z_b} + \frac{\dot{E}_C}{Z_c}}{\frac{1}{Z_a} + \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_0}}. \quad (3)$$

Далее определяется напряжение смещения нейтрали

$$\dot{U}_{00'} = \phi_{0'} - 0 = \phi_{0'}.$$

На основании второго закона Кирхгофа находятся фазные напряжения на нагрузке

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{E}_A - \dot{U}_{00'}, \\ \dot{U}_b &= \dot{E}_B - \dot{U}_{00'}, \\ \dot{U}_c &= \dot{E}_C - \dot{U}_{00'}. \end{aligned} \quad (4)$$

По фазным напряжениям находятся фазные, они же линейные, токи

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}, \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}, \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}. \quad (5)$$

Ток в нулевом проводе может быть найден или по закону Ома

$$\dot{I}_0 = \frac{\dot{U}_{00'}}{Z_0}, \quad (6)$$



или по первому закону Кирхгофа

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c. \quad (7)$$

Приведенная выше последовательность расчетов справедлива при любых значениях сопротивлений нагрузки.

Частным случаем является трехфазная цепь при сопротивлении нулевого провода равном нулю. При этом $1/Z_0 = \infty$ и $\varphi_0 = 0$, и

$$\begin{aligned} \dot{U}_a &= \dot{E}_A, \\ \dot{U}_b &= \dot{E}_B, \\ \dot{U}_c &= \dot{E}_C. \end{aligned} \quad (8)$$

Из уравнения (5) видно, что фазные токи не зависят от элементов, стоящих в других частях (фазах) цепи. Понятие «фаза» имеет теперь два значения, первое – это аргумент синуса, а второе – часть электрической цепи, в которой протекает одинаковый ток.

Следовательно, нейтральный провод с нулевым сопротивлением делает работу фаз (участков цепи) независимой друг от друга.

При соединении нагрузки звездой линейные токи соответствующих фаз равны фазным токам.

При симметричной нагрузке модули линейных напряжений U_L связаны с модулями фазных напряжений U_Φ соотношением

$$U_L = \sqrt{3} U_\Phi. \quad (9)$$

При несимметричной нагрузке из (4) следует, что сумма соответствующего фазного напряжения и напряжения смещения нейтрали дает соответствующую фазную ЭДС (рисунок 2).

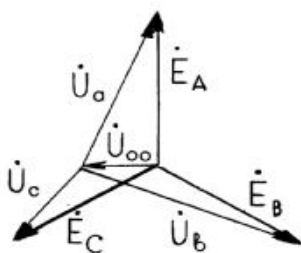


Рисунок 2 - Векторная диаграмма трехфазной цепи при несимметричной нагрузке

Эта особенность позволяет строить графически векторы фазных напряжений, если известны только действующие значения этих векторов. Для этого

в выбранном масштабе строим векторы ЭДС. Затем из конца вектора $\vec{E}_A$ проводим радиусом U_a дугу. Аналогично из конца вектора $\vec{E}_B$ проводим дугу радиусом U_b , а из конца вектора $\vec{E}_C$ проводим дугу радиусом U_c . Все три дуги должны пересечься в одной точке $0'$. Вектор, проведенный из точки 0 в точку $0'$, будет вектором напряжения смещения нейтрали $\vec{U}_{00'}$. Проведя из точки $0'$ вектор в конце вектора $\vec{E}_A$, получим вектор фазного напряжения $\vec{U}_a$. Аналогично можно построить векторы других фазных напряжений $\vec{U}_b$ и $\vec{U}_c$.

Частным случаем несимметричной нагрузки является обрыв нагрузки, когда сопротивление нагрузки в одной из фаз равно бесконечности.

Еще одним частным случаем несимметричной нагрузки является короткое замыкание нагрузки одной из фаз. При наличии нулевого провода короткое замыкание нагрузки одной фазы приводит к бесконечному току в этой фазе, т.е. к аварии.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используются аналоговые амперметры.

Для измерения напряжений применяется аналоговый вольтметр в дежурном режиме. В качестве источников энергии используется трехфазная система ЭДС, соединенная звездой.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Трехфазная цепь при наличии нулевого провода. Собрать электрическую цепь согласно схеме, показанной на рисунке 3. В случае отсутствия необходимого количества амперметров фазные токи можно рассчитать по закону Ома, используя значения сопротивлений $R_1 \div R_6$. Амперметр в нулевом проводе установить обязательно.

4.2. Симметричный режим. Включить все резисторы и измерить: фазные токи I_a, I_b, I_c ; ток в нулевом проводе I_0 ; фазные напряжения U_a, U_b, U_c ; линейные напряжения U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} . Данные опыта занести в таблицу 1.

4.3. Несимметричный режим. Увеличить сопротивление нагрузки фазы А, отключив резистор R_1 . Измерить все величины и результаты занести в таблицу 1.

4.4. Обрыв нагрузки фазы. Для обрыва нагрузки фазы А отключите также резистор R_2 . Измерить все величины и результаты занесите в таблицу 1.

4.5. Трехфазная цепь без нулевого провода.

4.5.1. Выключив источник питания, удалить из схемы нулевой провод.

4.5.2. Симметричный режим. Включить все резисторы и измерить линейные и фазные напряжения и напряжение смещения нейтрали. Измерить



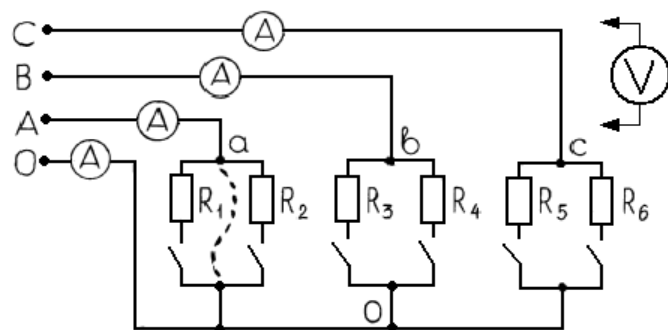


Рисунок 3 – Схема эксперимента

Таблица 1 - Экспериментальные исследования режимов с нулевым проводом

Измеряемая величина	Режим		
	Симметричный	Несимметричный	Обрыв фазы
$U_a, \text{В}$			
$U_b, \text{В}$			
$U_c, \text{В}$			
$U_{ab}, \text{В}$			
$U_{bc}, \text{В}$			
$U_{ca}, \text{В}$			
$I_a, \text{А}$			
$I_b, \text{А}$			
$I_c, \text{А}$			
$I_0, \text{А}$			

фазные (они же линейные) токи. Данные опыта занести в таблицу 2.

4.5.3. Несимметричный режим. Увеличить сопротивление нагрузки фазы A , отключив резистор R_1 . Измерить напряжения и токи и результаты занести в таблицу 2.

4.5.4. Обрыв нагрузки фазы. Для обрыва нагрузки фазы A отключить также резистор R_2 . Измерить напряжения и токи и результаты занести в таблицу 2.

4.5.5. Короткое замыкание – обязательно без нулевого провода.

Отключить питание и замкнуть нагрузку фазы A , как показано пунктиром на рисунке 3. Включить питание и измерить напряжения и токи, результаты занести в таблицу 2.

4.6. Выписать со стенда значения линейных и фазных ЭДС и величины сопротивлений нагрузки.

Таблица 2 –Исследования режима без нулевого провода

Измеряемая величина	Режим			
	Симметричный	Несимметричный	Обрыв фазы	Короткое замыкание
$U_a, \text{В}$				
$U_b, \text{В}$				
$U_c, \text{В}$				
$U_{ad}, \text{В}$				
$U_{bc}, \text{В}$				
$U_{ca}, \text{В}$				
$U_{00'}, \text{В}$				
$I_a, \text{А}$				
$I_b, \text{А}$				
$I_c, \text{А}$				

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. Считая сопротивление нулевого провода равным нулю, в соответствии с таблицей 1, построить векторные диаграммы напряжений и токов.

5.2. На основании методики, изложенной в теоретической части, в соответствии с таблицей 2, построить векторные диаграммы напряжений и токов.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов используемых приборов.

6.3. Векторные диаграммы всех исследуемых режимов.

6.4. Таблицы экспериментальных данных.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. В чем сходство, и в чем различие ЭДС, действующих в трехфазных цепях?

7.2. Какие условия должны выполняться, чтобы трехфазная цепь была симметричной?

7.3. На схеме трехфазной цепи укажите точки, между которыми можно измерить линейные и фазные напряжения, а также напряжение смещения нейтрали.

7.4. Какова роль нулевого провода с нулевым сопротивлением?

7.5. В каких ситуациях в трехфазных цепях можно, а в каких - нельзя проводить опыт короткого замыкания??

7.6. Как на комплексной плоскости можно определить точку, соответствующую напряжению смещения нейтрали, если известны действующие значения фазных напряжений



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ТРЕУГОЛЬНИКОМ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование различных режимов работы трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В трехфазной цепи (см. лабораторную работу №8, теоретическую часть) еще одним распространенным способом соединения нагрузки является соединение треугольником (рисунок 1).

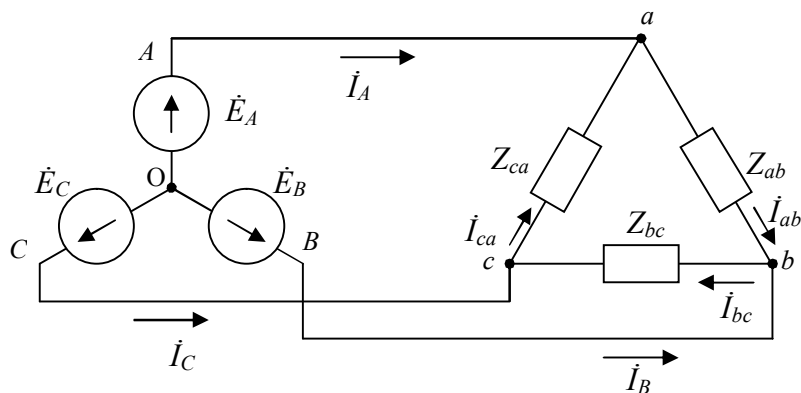


Рисунок 1 – Трехфазная цепь при соединении нагрузки треугольником

Провода, соединяющие вершины звезды источников ЭДС с вершинами треугольника нагрузки, называются линейными. Если для нагрузки выполняется условие

$$Z_{ab}=Z_{bc}=Z_{ca}, \quad (1)$$

то такая нагрузка называется симметричной.

Токи в линейных проводах называются линейными и обозначаются I_A, I_B, I_C . Токи в сопротивлениях Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca} называются фазными и обозначаются I_{ab}, I_{bc}, I_{ca} .

Напряжения между линейными проводами называются линейными и обозначаются $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}$. Напряжения на сопротивлениях нагрузки, как и при соединении нагрузки звездой, называются фазными. Если нагрузка соединена треугольником, то фазные и линейные напряжения равны.

Анализ трехфазной цепи при соединении нагрузки треугольником удобно проводить с помощью законов Кирхгофа.

Применив второй закон Кирхгофа к контуру AabBOA, получим выражение для комплексного действующего значения фазного (линейного) напряжения

$$\dot{U}_{ab} = \dot{E}_A - \dot{E}_B. \quad (2)$$

Аналогично находятся остальные фазные (линейные) напряжения:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{E}_B - \dot{E}_C, \quad (3)$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{E}_C - \dot{E}_A. \quad (4)$$

Из закона Ома для комплексных действующих значений находятся фазные токи

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{ab}}{Z_{ab}}; \quad \dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{bc}}{Z_{bc}}; \quad \dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{ca}}{Z_{ca}}. \quad (5)$$

Записав первый закон Кирхгофа для вершин треугольника нагрузки, можно найти связь между линейными и фазными точками.

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}, \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}. \quad (6)$$

При симметричной нагрузке модули линейных токов I_L связаны с модулями фазных токов I_ϕ соотношением

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi. \quad (7)$$

При несимметричной нагрузке не выполняется условие (1). Частным случаем несимметричной нагрузки является обрыв фазы, когда сопротивление одной из сторон треугольника равно бесконечности.

Аварийным режимом работы трехфазной сети является обрыв линии – когда оборван один из линейных проводов.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения токов используются аналоговые амперметры. Для измерения напряжений применяют аналоговый вольтметр в дежурном режиме.

В качестве источников энергии используется трехфазная система ЭДС, соединенная звездой.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

4.1. Собрать электрическую цепь, как показано на рисунке 2.

4.2. Симметричный режим. Включить все тумблеры и измерить линейные токи I_A , I_B , I_C и фазные напряжения U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} . Данные опыта занести в таблицу 1.



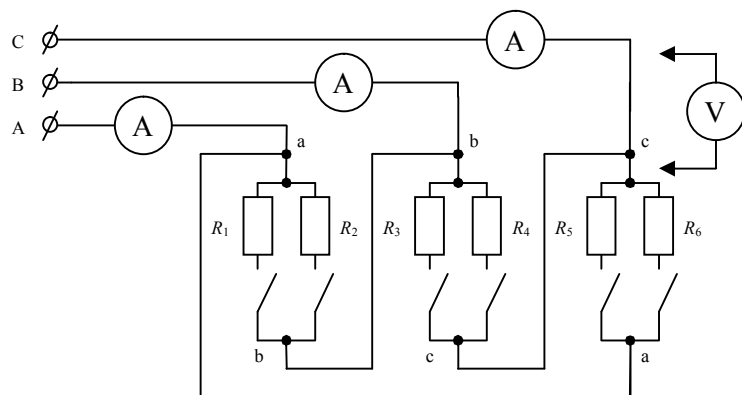


Рисунок 2 – Схема эксперимента

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные

Режим		Симметричный	Несимметричный	Обрыв фазы	Обрыв линии
Измерено	Величина				
	$U_{ab}, \text{В}$				
	$U_{bc}, \text{В}$				
	$U_{ca}, \text{В}$				
	$I_A, \text{А}$				
	$I_B, \text{А}$				
Вычислено	$I_C, \text{А}$				
	$I_{ab}, \text{А}$				
	$I_{bc}, \text{А}$				
	$I_{ca}, \text{А}$				

4.3. Несимметричный режим. Увеличить сопротивление фазы ab , отключив резистор R_1 . Измерить все величины и данные занести в таблицу 1.

4.4. Обрыв фазы. В фазе ab отключить резистор R_2 , доведя тем самым сопротивление этой фазы до бесконечности. Измерить токи и напряжения.

4.5. Обрыв линии. Отключить трехфазную систему питания. Включить тумблеры сопротивлений R_1 и R_2 . Удалить линейный провод Aa . Включить питание и, измерив токи и напряжения, занести их в таблицу 1.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

5.1. Для всех исследуемых режимов вычислить действующие значения фазных токов:



$$I_{ab} = \frac{U_{ab}}{Z_{ab}}, I_{bc} = \frac{U_{bc}}{Z_{bc}}, I_{ca} = \frac{U_{ca}}{Z_{ca}}. \quad (8)$$

Результаты вычислений занести в таблицу 1 в строки «Вычислено».

5.2. Считая систему линейных напряжений симметричной, для всех режимов построить векторные диаграммы напряжений и токов.

5.3. Из построенных векторных диаграмм определить действующие значения линейных токов и сравнить с их измеренными значениями.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1. Название и цель работы.

6.2. Схема эксперимента с указанием типов измерительных приборов.

6.3. Таблица экспериментальных и расчетных данных.

6.4. Векторные диаграммы всех исследуемых режимов.

6.5. Выводы о соотношении экспериментальных и расчетных данных.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Какие условия должны выполняться, чтобы трехфазная цепь при соединении нагрузки треугольником была симметричной?

7.2. На схеме трехфазной сети укажите линейные и фазные токи и напряжения.

7.3. Какая связь между линейными и фазными токами при симметричной нагрузке, соединенной треугольником?

7.4. Какие и как изменятся токи, если сопротивление $Z_{ab}=R$ увеличится в два раза?

7.5. Какие и как изменятся токи при переходе от симметричного режима к режиму обрыва фазы?

7.6. Какие и как изменяются напряжения и токи при переходе от симметрично режима к режиму обрыва линии?



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10
ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА ЕМКОСТИ ЧЕРЕЗ
СОПРОТИВЛЕНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Исследование переходных процессов заряда и разряда емкости через сопротивление.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.

Режим работы электрической цепи, при котором основные параметры токов и напряжений не меняются, называется установившимся режимом. В цепях синусоидального тока такими параметрами являются амплитуда, частота, начальная фаза. Но установившийся режим существовал в цепи не всегда. До подачи питания в цепи не было токов. Подключение питания, изменение количества ветвей схемы, скачкообразное изменение параметров элементов – все это называется коммутацией. После коммутации новый установившийся режим наступает в цепи не сразу. Процесс перехода от одного установившегося режима к другому называется переходным процессом.

Рассмотрим переходный процесс на примере заряда и разряда емкости через сопротивление.

Рассмотрим заряд емкости.

Пусть в момент времени $t=0$ емкость C ключом K подключается через сопротивление r к постоянной ЭДС E (рисунок 1).

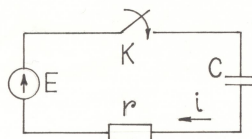


Рисунок 1. Подключение емкости через сопротивление к источнику постоянной ЭДС

Будем считать, что подключаемая емкость не заряжена, т.е. в начальный момент времени напряжение на емкости отсутствовало.

$$U_c(0^+) = 0. \quad (1)$$

Запишем уравнение по второму закону Кирхгофа для схемы после коммутации

$$u_c + u_r = E \quad (2)$$

Но уравнение одно, а неизвестных величин две: u_c и u_r . Выразим напряжение на сопротивлении через ток, а ток через напряжение на емкости:



$$u_c + rc \frac{du_c}{dt} = E. \quad (3)$$

Согласно классическому методу, решение дифференциального уравнения (3) имеет вид

$$u_c(t) = u_c^* + u_c^{**} \quad (4)$$

где u_c^* - принужденная составляющая, равная значению напряжения на емкости в новом установившемся режиме, u_c^{**} - свободная составляющая, соответствующая решению однородного дифференциального уравнения.

Для определения U_c^{**} рассмотрим схему в новом установившемся режиме (рисунок 2).

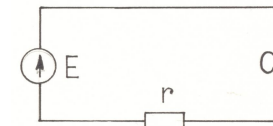


Рисунок 2 – Схема в новом установившемся режиме

Так как ЭДС постоянна, то в новом установившемся режиме ток также будет постоянным. Но постоянный ток через емкость не проходит ($I=0$). Поэтому вместо емкости на рисунке 2 изображен разрыв.

Из второго закона Кирхгофа для рисунка 2 получим значение напряжения на емкости в новом установившемся режиме

$$U_c^* = E. \quad (5)$$

Свободная составляющая U_c^{**} ищется в виде

$$U_c^{**} = Ae^{\alpha t} \quad (6)$$

где A – постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий; α – корень характеристического уравнения.

Характеристическое уравнение, соответствующее дифференциальному уравнению (3) имеет вид.

$$\alpha + rc = 0 \quad (7)$$

Отсюда корень характеристического уравнения

$$\alpha = -\frac{1}{rc} \quad (8)$$

Согласно (4), решение дифференциального уравнения (3) будет иметь вид:



$$U_c = E + Ae^{-\frac{t}{rc}} \quad (9)$$

Для определения постоянной интегрирования A подставим в (9) нулевой момент времени и углом (1)

$$U_c(0^+) = E + A = 0 \quad (10)$$

Следовательно,

$$A = -E \quad (11)$$

Окончательно зависимость напряжения на емкости от времени при заряде емкости имеет вид

$$U_c(t) = E - Ee^{-\frac{t}{rc}} \quad (12)$$

График этой зависимости представлен на рисунке 3.

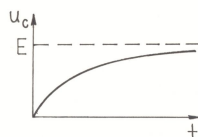


Рисунок 3 – Зависимость напряжения на емкости от времени при заряде

Ток заряда определим, воспользовавшись формулой

$$i = c \frac{du_c}{dt} \quad (13)$$

Подставив в (12) выражение (11), получим

$$i_c(t) = \frac{E}{r} e^{-\frac{t}{rc}} \quad (14)$$

График зависимости тока заряда от времени представлен на рисунке 4

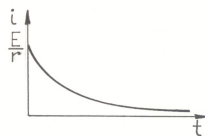


Рисунок 4 - Зависимость тока емкости от времени при заряде

Рассмотрим разряд емкости. Будем считать, что в момент времени $t=0$ заряженная до напряжения U_0 емкость C подключается к сопротивлению r – рисунок 5.

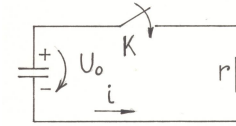


Рисунок 5 – Подключение заряженной емкости к сопротивлению

Проведя рассуждения, аналогичные изложенным выше для заряда емкости, получим выражение для напряжения на емкости при разряде

$$U_c(t) = U_0 e^{-\frac{t}{rc}} \quad (15)$$

График этой зависимости представлен на рисунке 6.

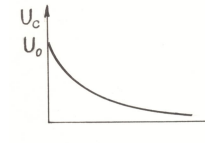


Рисунок 6 - Зависимость напряжения на емкости от времени при разряде

Формула для тока при разряде имеет вид

$$i_c(t) = -\frac{U_0}{r} e^{-\frac{t}{rc}} \quad (16)$$

График зависимости тока при разряде от времени представлен на рисунке 7.

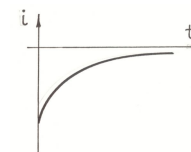


Рисунок 7 - Зависимость тока емкости от времени при разряде

Длительность переходного процесса характеризуется величиной, которая называется постоянной времени цепи τ . Постоянной времени цепи τ называется время, за которое величина изменяется в e раз. В общем случае постоянная времени

$$\tau = 1/|\alpha|. \quad (17)$$

Для цепей, изображенных на рисунках 1 и 5,

$$\tau = rc. \quad (18)$$



Теоретически, переходный процесс длится бесконечно. Практически считается, что длительность переходного процесса равна трем постоянным времени цепи.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Лабораторная работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Для измерения тока используется микроамперметр. В качестве емкости используется батарея емкостей. В качестве источника применяется регулируемый источник постоянного напряжения. Для проведения эксперимента необходим секундомер или часы с секундной стрелкой.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Собрать электрическую цепь согласно схемы, изображенной на рисунке

8.

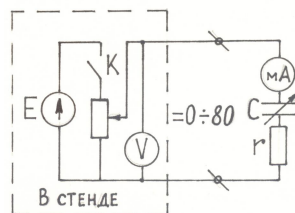


Рисунок 8 – Схема экспериментальной установки

На батарее емкостей выставить значение емкости приблизительно 15 мкФ.

В качестве сопротивления r выбрать резистор с сопротивлением приблизительно 500 кОм.

Закоротить емкость и, медленно увеличивая напряжение регулируемого источника постоянного напряжения, контролировать увеличение тока через микроамперметр. Если ноль микроамперметра расположен слева и стрелка отклоняется влево, то необходимо изменить полярность подключения микроамперметра.

Увеличение напряжения прекратить, когда стрелка микроамперметра достигает $\frac{3}{4}$ своего максимально возможного отклонения.

Зафиксировать величину входного напряжения и в дальнейшем не менять положения ручки плавной регулировки, напряжения.

Ключом К отключить питание.

Убрать проводник, закорачивающий емкость.

Одновременно включить секундомер и ключом К питание схемы. Начиная с нулевого момента времени, через каждые пять секунд записывать в таблицу 1 значения тока.

Измерения прекратить, когда стрелка микроамперметра станет неподвижной, т.е. емкость зарядится.

Таблица 1. Экспериментальные данные

$t, \text{с}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
$i, \text{мкА}$										

Для исследования разряда емкости при необходимости переключите полярность микроамперметра

Измерения прекратить, когда стрелка микроамперметра станет неподвижной, т.е. емкость разрядится.

Увеличив приблизительно вдвое значение емкости, повторить пункты 4.7÷4.11, исследовав тем самым процессы заряда и разряда другой емкости.

Вернув первоначальное значение емкости, увеличьте приблизительно вдвое величину сопротивления и повторите пункты 4.7...4.11, исследовав тем самым процессы заряда и разряда при другом сопротивлении.

Перепишите со стенда значения сопротивлений, емкостей и напряжения питания, при которых проводились исследования.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для всех экспериментальных режимов при заданных ЭДС, r и C по приведенным выше формулам провести расчет токов и напряжений на емкости для моментов времени, соответствующих таблице 1. Данные расчетов занести в таблицу, аналогично таблице 1.

На основании расчетных данных построить графики зависимостей токов и напряжений на емкостях от времени.

На теоретические графики нанести крестиками экспериментальные данные.

Для всех режимов рассчитать постоянные времени τ .

Сделать письменный вывод о соответствии экспериментальных и теоретических данных.

Сделать письменный вывод о влиянии емкости и сопротивления на ход переходного процесса.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Наименование и цель работы.

Схема эксперимента с указанием тока используемого измерительного прибора.



Таблицы экспериментальных и расчетных данных.

Теоретические графики с нанесенными на них экспериментальными данными.

Значения постоянных времени для всех режимов.

Выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Что такое установившийся режим, переходный процесс, коммутация ?

Какова последовательность анализа переходных процессов?

Как определяется принужденная и свободная составляющие?

Чему равна практическая длительность переходного процесса?

Чем ток заряда отличается от тока разряда?

Как влияют r и C на начальный скачок тока?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 ВЫПРЯМИТЕЛИ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Исследование однополупериодных и двухполупериодных выпрямителей на полупроводниковых диодах, изучение влияния емкостного фильтра на качество сглаживания.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Радиоэлектронные устройства и системы питаются постоянным током. В то же время передача постоянных токов на значительные расстояния связана с большими потерями. Поэтому производство и передача электроэнергии осуществляется на переменном токе. Следовательно, возникает необходимость преобразования тока переменного в ток постоянный. Устройства, преобразующие энергию переменного тока в энергию постоянного тока, называются устройствами питания (УП) или вторичными источниками питания.

Типовые УП состоят из трансформатора, выпрямителя, фильтра и стабилизатора. Трансформатор необходим для получения переменного напряжения требуемой амплитуды. Выпрямитель преобразует двухполярное напряжение в напряжение одной полярности (пульсирующее). Фильтр сглаживает пульсации. Стабилизатор уменьшает изменения выпрямленного напряжения или тока, обусловленные колебаниями напряжения питающей сети или изменением нагрузки.

Устройства питания характеризуются системой параметров, которые подразделяются на параметры режимов эксплуатации и точностные параметры.

Режим эксплуатации характеризуется:

- диапазон допустимого изменения входного напряжения;
- номинальное выходное напряжение;
- максимально допустимый ток нагрузки;
- коэффициент полезного действия η

$$\eta = \frac{P_o}{P} = \frac{U_0^2}{U^2} \quad (1)$$

где U_0 - среднее значение напряжения на нагрузке (измеряется приборами магнитоэлектрической системы ($\square$));

U – действующее значение напряжения на нагрузке (измеряется приборами электромагнитной системы (∇)).

Группа точностных параметров отражает степень несоответствия реального УП идеальному. К ним относят коэффициент пульсаций КП, учитывающий наличие на выходе переменной составляющей напряжения $U_{\sim}$



$$K_n = \frac{U_{\sim}}{U_0} = \frac{\sqrt{U^2 - U_0^2}}{U_0} \quad (2)$$

Схема простейшего выпрямителя представлена на рисунке 1. Этот выпрямитель называется однополупериодным, так как ток в нагрузку поступает только полпериода, а во вторую половину диод закрыт и препятствует этому.

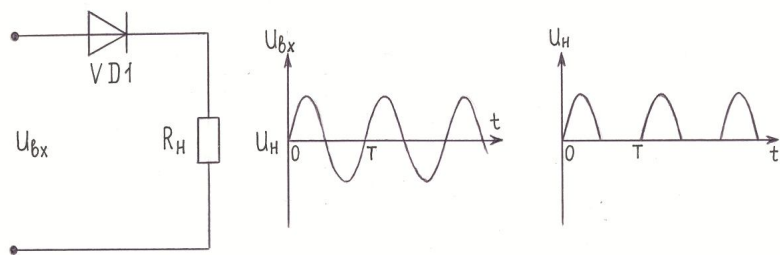


Рисунок 1 - Однополупериодный выпрямитель и его временные диаграммы

Улучшить показатели выпрямителя можно, подключив параллельно нагрузке фильтр в виде емкости (рисунок 2). Когда через диод проходит ток он будет заряжать емкость. При закрытом диоде емкость разряжается через нагрузку и пульсации сглаживаются.

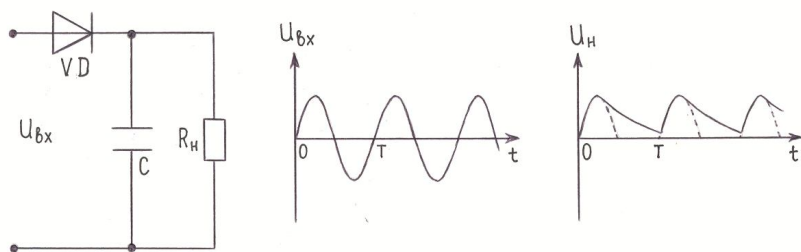


Рисунок 2 - Однополупериодный выпрямитель с емкостным фильтром и его временные диаграммы

В наиболее распространенной мостовой схеме выпрямителей используются оба полупериода входного напряжения (рисунок 3).

Аналогично предшествующему выпрямителю параллельно нагрузке можно поставить емкостной фильтр.

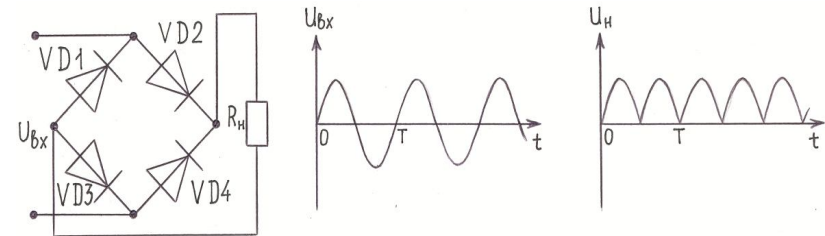


Рисунок 3 - Двухполупериодный выпрямитель и его временные диаграммы

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. В качестве источника энергии используется регулируемый источник переменного напряжения. Для построения выпрямителей используются или один из диодов, или диодный мост. В качестве фильтра необходимо взять батарею переменных конденсаторов.

Для визуального наблюдения формы напряжения применяется электронный осциллограф. Для измерения действующего U и среднего U_0 значений напряжений используются вольтметры соответственно электромагнитной и магнитоэлектрической систем.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Исследование однополупериодного выпрямителя.

4.1.1. Соберите электрическую цепь согласно схемы, изображенной на рисунке 4. Значками «Y», « $\perp$ » обозначено подключение осциллографа.

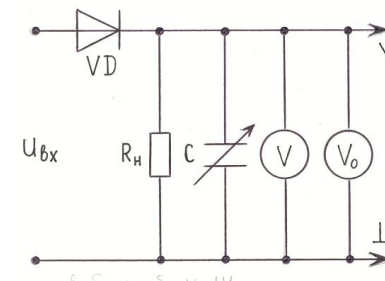


Рисунок 4 Схема эксперимента.

Вход осциллографа должен быть открыт, т.е. осциллограф должен воспринимать как переменную, так и постоянную составляющую исследуемого напряжения. Для этого кнопка « $\sim$ » осциллографа должна быть нажата



4.1.2. Исследование выпрямителя без фильтра.

4.1.2.1. Отключить фильтр C и подать на вход выпрямителя напряжения 40 В.

4.1.2.2. Ручками управления осциллографа получить на экране один период с максимальным заполнением по вертикали.

4.1.2.3. Тщательно (по клеточкам) срисовать осциллограмму, записать положение ручек управления и в дальнейшем их не менять.

4.1.2.4. Показания приборов занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Экспериментальные и расчетные данные

C , мкф	0	10	20	∞
U_0 , В				
U , В				
$U_{\sim}$, В				
K_{Π}				
η				

4.1.3. Исследование выпрямителя с фильтром.

Поочередно подключайте емкости, указанные в таблице 1.

Повторите для этих ситуаций пункты 4.1.2.3. и 4.1.2.4.

4.1.4. Исследование выпрямителя при бесконечной емкости.

Эффект бесконечной емкости можно получить при конечной емкости, установив бесконечное сопротивление нагрузки.

Повторите для этой ситуации пункты 4.1.2.3. и 4.1.2.4..

4.2. Исследование двухполупериодного выпрямителя.

4.2.1. Собрать электрическую цепь согласно схеме, изображенной на рисунке

5.

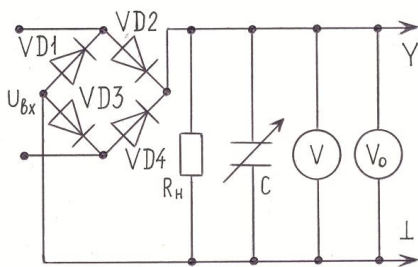


Рисунок 5 - Схема эксперимента

4.2.2. Для двухполупериодного выпрямителя проведите исследования, аналогичные однополупериодному, повторив пункты 4.1.2. ÷ 4.1.4.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. Для обоих выпрямителей при всех значениях емкостей по формулам, приведенным в разделе 2, подсчитайте действующее значение переменной составляющей $U_{\sim}$, коэффициент пульсаций- K_p и η .

Данные расчетов занесите в таблицы.

5.2. Для обоих выпрямителей постройте графики зависимости U_o , U , $U_{\sim}$, K_p , η от емкости фильтра.

5.3. Сделайте вывод о влиянии емкости фильтра на качество работы выпрямителя. Сравните показатели качества двух видов выпрямителей при одной и той же емкости.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

61. Наименование и цель работы.

2. Схемы экспериментов с указанием типов используемых приборов.

3. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.

4. Осциллограммы для всех экспериментов.

5. Расчетные формулы.

6. Графики зависимости экспериментальных и расчетных данных от емкости сглаживающего фильтра.

7. Выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каково назначение и составные части вторичных источников питания?

2. Какими параметрами характеризуются устройства питания?

3. Объясните принцип действия однополупериодного выпрямителя.

4. Объясните принцип действия двухполупериодного выпрямителя.

5. Каково назначение и принцип действия емкостного фильтра?

6. Проведите сравнительный анализ исследуемых выпрямителей.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12 ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СТАБИЛИЗАТОР ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Экспериментальное определение характеристик параметрического стабилизатора постоянного напряжения.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Кроме выпрямителя, составной частью вторичного источника питания является стабилизатор. Стабилизатором напряжения называется электротехническое устройство, автоматически поддерживающее неизменным напряжение на потребителе (нагрузке) электрической энергии при действии различных дестабилизирующих факторов.

Качество работы стабилизатора напряжения оценивают с помощью коэффициента стабилизации $k_{ст}$, показывающего, во сколько раз относительное приращение напряжения на потребителе меньше относительного приращения напряжения на входе стабилизатора.

$$k_{ст} = (\Delta U_{вх} / U_{вх}) : (\Delta U_{н} / U_{н}). \quad (1)$$

В состав стабилизатора напряжения всегда входит нелинейный элемент, сопротивление которого изменяется при дестабилизирующем воздействии.

Если в стабилизаторе используется неуправляемый нелинейный элемент, такой стабилизатор называется параметрическим. Общим для параметрических стабилизаторов является использование нелинейного элемента (стабилитрона) на вольт-амперной характеристике которого имеется участок, где напряжение на стабилитроне не зависит от его тока.

Если в стабилизаторе используется управляемый нелинейный элемент, такой стабилизатор называется компенсационным. Общим для компенсационных стабилизаторов является наличие обратной связи, благодаря которой сопротивление нелинейного элемента будет зависеть от напряжения на потребителе.

Рассматриваемый в этой работе параметрический стабилизатор напряжения является простейшим из всех возможных стабилизаторов. Вольт-амперная характеристика применяемого в нем стабилитрона изображена на рисунке 1.

Участок на обратной ветви вольт-амперной характеристики между I_1 и I_2 является рабочим участком. Здесь при значительном изменении тока напряжение меняется мало. Основными параметрами стабилитрона являются напряжение стабилизации $U_{ст}$, соответствующее точке на середине рабочего участка, и дифференциальное сопротивление

$$R_0 = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} \quad (2)$$



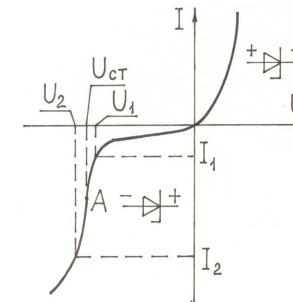


Рисунок 1 – Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Схема простейшего параметрического стабилизатора напряжения представлена на рисунке 2.

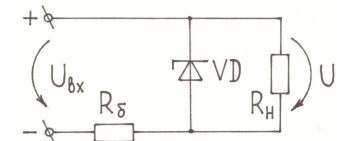


Рисунок 2 – Схема параметрического стабилизатора

R_b – балластное сопротивление, ограничивающее ток стабилитрона и одновременно забирающее на себя излишек напряжения, R_n – сопротивление потребителя энергии (нагрузки).

Балластное сопротивление R_b должно выбираться из условия

$$\frac{U_{вх\max} - U_{ст}}{I_{ст\max}} < R_b < \frac{U_{вх\min} - U_{ст}}{I_{ст\min}}, \quad (3)$$

где $I_{ст\max}$ – максимально допустимый обратный ток стабилитрона (из справочника),

$I_{ст\min}$ – минимальный ток стабилизации,

$U_{вх\max}$ – максимально возможное входное напряжение,

$U_{вх\min}$ – минимально возможное входное напряжение.

Естественно, должно выполняться условие $U_{вх\min} > U_{ст}$.

Для стабилизации напряжения во всем диапазоне изменения входного напряжения сопротивление нагрузки должно удовлетворять условию

$$R_n > \frac{U_{вх\min}}{I_{ст\min}} - R_b.$$



Коэффициент стабилизации может быть выражен через параметры элементов:

$$k_{cm} = \frac{U_n(R_{\delta}R_n + R_{\delta}R_n + R_{\delta}R_{\delta})}{U_{ex}R_nR_{\delta}}. \quad (4)$$

При часто выполняемых условиях $R_{\delta} \ll R_n$, $R_{\delta} \ll R_{\delta}$, коэффициент стабилизации находится по приближенной формуле

$$k_{cm} \approx \frac{U_nR_{\delta}}{U_{ex}R_{\delta}}. \quad (5)$$

Однако простота устройства стабилизатора обуславливает небольшой коэффициент стабилизации и низкий коэффициент полезного действия (КПД), который может быть вычислен по формуле

$$\eta = \frac{P_n}{P_n + P_{cm} + P_{\delta}} = \frac{P_n}{U_{ex}I}, \quad (6)$$

где $P_n = U_n^2 / R_n = U_n I_n$ - мощность в нагрузке, $I_{cm} = I - I_n$ - ток стабилизатора, $P_{cm} = U_n I_{cm}$ - мощность стабилизатора, $P_{\delta} = I_{ex}^2 R_{\delta}$ - мощность балластного резистора.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная работа проводится на универсальном лабораторном стенде. В качестве источника энергии используется регулируемый источник постоянного напряжения. Входное напряжение может быть измерено встроенным в стенд вольтметром, измеряющим регулируемое напряжение. В качестве вольтметра, измеряющего напряжение на стабилизаторе и сопротивлении нагрузки, используется цифровой вольтметр Ц4313. Для измерения тока можно воспользоваться амперметром М 42100. Сопротивление $R_{\delta} = 470 \text{ Ом}$.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Снятие вольт-амперной характеристики стабилизатора.

4.1.1. Собрать цепь по схеме на рисунке 3.

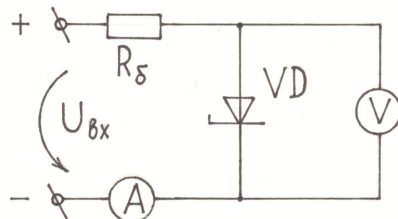


Рисунок 3 – Схема эксперимента

4.1.2. Изменяя входное напряжение, занести в таблицу 1 ток и напряжение стабилитрона для прямой ветви вольт-амперной характеристики

Таблица 1 - Прямая ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона

U_{cm}, B								
I_{cm}, A								

4.1.3. Изменив полярность входного напряжения, снять и занести в таблицу 2 токи и напряжения стабилитрона для обратной ветви вольт-амперной характеристики.

Таблица 2 - Обратная ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона

U_{cm}, B								
I_{cm}, A								

4.2. Исследование работы параметрического стабилизатора напряжения

4.2.1. Собрать цепь по схеме на рис. 4.

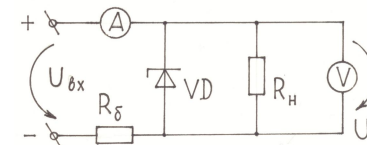


Рисунок 4 – Схема эксперимента для исследования работы параметрического стабилизатора напряжения

Сопротивление нагрузки R_H подобрать равным 750 Ом.

4.2.2. Изменяя входное напряжение от нуля до 60 В, исследовать работу параметрического стабилизатора и занести в таблицу 3 показания приборов.

Таблица 3 - Экспериментальные данные

$U_{вх}, B$								
I, A								
U_H, B								

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

5.1. По данным табл. 1, 2 построить вольт-амперную характеристику стабилитрона.



- 5.2. Взяв на середине рабочего участка вольт-амперной характеристики точку, определить для нее U_{cm} – напряжение стабилизации.
- 5.3. Используя вольт-амперную характеристику стабилитрона, для рабочего участка по формуле (2) определить дифференциальное сопротивление.
- 5.4. По данным табл. 3 построить зависимость выходного напряжения от входного – характеристику «Вход – выход».
- 5.5. На характеристике «Вход – выход» найти участок стабилизации и для него по формуле (1) вычислить коэффициент стабилизации.
- 5.6. Рассчитать коэффициент стабилизации по формуле (4).
- 5.7. Рассчитать коэффициент стабилизации по приближенной формуле (5).
- 5.8. Для одного из режимов на участке стабилизации в соответствии с данными табл. 3 по формуле (6) рассчитать коэффициент полезного действия.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 6.1. Наименование и цель работы
- 6.2. Схемы экспериментов с указанием типов измерительных приборов.
- 6.3. Таблицы экспериментальных данных.
- 6.4. Графики вольт-амперной характеристики стабилитрона и характеристики «Вход – выход» стабилизатора.
- 6.5. Рассчитанные значения R_o , k_{cm} , η .

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Укажите назначение и приведите классификацию стабилизаторов напряжения.
- 7.2. Что общего и чем отличаются параметрические и компенсационные стабилизаторы напряжения?
- 7.3. Напряжение на входе стабилизатора в два раза больше, чем на нагрузке. Коэффициент стабилизации равен 5. На сколько изменится напряжение на нагрузке, если входное напряжение увеличилось на 10 вольт?
- 7.4. Приведите вольт-амперную характеристику стабилитрона и объясните, как с ее помощью определить основные параметры стабилитрона.
- 7.5. Приведите схему простейшего параметрического стабилизатора напряжения и охарактеризуйте назначение ее элементов.
- 7.6. Как будет изменяться коэффициент стабилизации, если величина балластного сопротивления увеличивается, а $U_{вх} = \text{const}$?
- 7.7. Как будет изменяться коэффициент стабилизации, если использовать стабилитрон с меньшим дифференциальным сопротивлением?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротехника /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1985. – 480 с.
2. Общая электротехника /Под ред. В.С. Пантюшина. – М.: Высш. шк., 1970. – 383 с.
3. Трегуб А.П. Электротехника /А.П. Трегуб. – К.: Вища. шк., 1987. – 600 с.
4. Касаткин А.С. Электротехника /А.С. Касаткин, П.В. Немцов. – М.: Высш. шк., 2000. – 542 с.
5. Данилов И.А. Общая электротехника с основами электроники /И.А.Данилов, П.М. Иванов. – М.: Высш. шк., 2005. – 752 с.

