

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»

для студентов специальности 15.02.07

Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)
(базовая подготовка)

Челябинск, 2019г.

Методические
рекомендации составлены
в соответствии с
программой учебной
дисциплины
«Электротехника»

ОДОБРЕНО
Предметной (цикловой)
комиссией специальности
15.02.07 Автоматизация
технологических процессов
и производств
протокол № _____
от «__» _____ 2019 г.
Председатель ПЦК
_____ В.В.Лыкова

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по НМР
_____ Т.Ю. Крашакова
«__» _____ 2019 г.

Автор: Лыкова В.В., преподаватель Южно-Уральского государственного
технического колледжа

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по учебной дисциплине «Электротехника» предназначены для обучающихся по специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) базовой подготовки.

Лабораторные занятия являются важным элементом учебной дисциплины. В процессе выполнения лабораторных работ обучающиеся систематизируют и закрепляют полученные теоретические знания, развивают интеллектуальные и профессиональные умения, формируют элементы компетенций будущих специалистов.

Методические рекомендации предназначены для организации выполнения лабораторных работ по учебной дисциплине «Электротехника».

Программой учебной дисциплины «Электротехника». предусмотрено выполнение 15 лабораторных работ, направленных **на формирование элементов следующих компетенций:**

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

ПК 2.1 Выполнять работы по монтажу систем автоматического управления с учетом специфики технологического процесса.

ПК 2.2. Проводить ремонт технических средств и систем автоматического управления.

ПК 2.3. Выполнять работы по наладке систем автоматического управления.

знаний:

- физических процессов в электрических цепях;
- методов расчета электрических цепей;
- методов преобразования электрической энергии.

умений:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

Описание каждой лабораторной работы содержит номер, название и цель работы, формируемые в процессе выполнения работы знания, умения и элементы компетенций, теоретическое изложение необходимого материала (при необходимости примеры выполнения заданий), варианты заданий,

описание алгоритма выполнения работы и контрольные вопросы (с целью выявить и устранить недочеты в освоении материала).

- номер работы;
- наименование;
- цель;
- элементы компетенций,
- перечень оборудования и приборов;
- электрическую принципиальную схему ;
- теоретическое изложение необходимого материала;
- варианты заданий;
- порядок выполнения и оформления работы;
- контрольные вопросы.

Отчеты студентов по лабораторным работам должны содержать

- номер работы;
- наименование;
- цель;
- перечень оборудования и приборов;
- электрическую принципиальную схему ;
- таблицы опытных и расчетных данных;
- расчеты;
- ответы на контрольные вопросы;
- вывод.

Титульный отчета лист должен быть оформлен в соответствии с приложением А.

Для получения дополнительной, более подробной информации по основным вопросам учебной дисциплины в конце методических рекомендаций приведен перечень рекомендуемой литературы.

ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ л/р	Раздел и тема	Наименование работ	Часы
Раздел 2. Электрические цепи постоянного тока			
1	Тема 2.2. Законы электрических цепей	Проверка закона Ома и формул мощности.	2
2		Анализ параметров электрической цепи при последовательном и параллельном соединении сопротивлений.	2
3		Построение и анализ потенциальных диаграмм.	2
4	Тема 2.3. Расчет электрических цепей постоянного тока	Определение токов ветвей путем измерения и расчета частичных токов.	2
5		Определение параметров эквивалентного генератора.	2
Раздел 3. Магнитное поле			
6	Тема 3.5 Магнитные цепи	Исследование разветвленной магнитной цепи.	2
Раздел 4. Электрические цепи переменного тока			
7	Тема 4.2. Расчет линейных электрических цепей переменного тока.	Исследование цепи переменного тока с реальной катушкой.	2
8		Исследование цепи переменного тока с реальным конденсатором.	2
9		Исследование неразветвленной цепи с последовательным соединением активного сопротивления, катушки и конденсатора.	2
10		Исследование электрической цепи в режиме резонанса напряжений.	2
11		Исследование электрической цепи в режиме резонанса токов.	2
Раздел 5 Трехфазные цепи			
12	Тема 5.2 Расчет трехфазной цепи при соединении источника и приемника звездой.	Исследование трехфазной цепи при соединении звездой.	2
13	Тема 5.3 Расчет трехфазной цепи при соединении источника и приемника треугольником.	Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником	2
Раздел 7 Нелинейные цепи			
14	Тема 7.1 Нелинейные цепи при периодических синусоидальных токах и напряжениях	Исследование характера потерь мощности в катушке с ферромагнитным сердечником	2
Раздел 8 Переходные процессы в электрических цепях			
15	Тема 8.2 Анализ переходных процессов в катушке индуктивности и конденсаторе	Исследование переходных процессов в активно – емкостной цепи.	2
Всего:			30

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Проверка закона Ома и формул мощности

Цели работы: Опытное подтверждение работы закона Ома в электрической цепи. Формирование умений осуществлять измерения и применять формулы при расчете параметров электрической цепи. Совершенствование умений собирать электрические схемы и проверять их работу; измерять параметры электрических цепей.

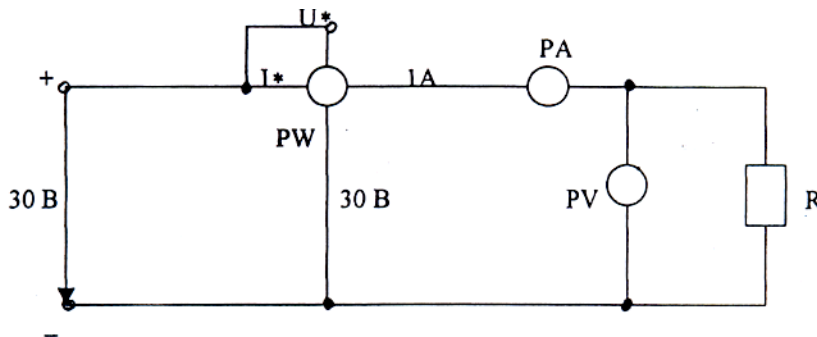
Знания (актуализация):

- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема опыта.



2 Теоретическое обоснование.

Электропроводность- это свойство вещества проводить под действием не изменяющегося во времени электрического поля не изменяющийся электрический ток. Явление электрического тока проводимости имеет огромное практическое значение: получение электрической энергии из других видов энергии, передача электрической энергии на расстояние и ее использование. Все энергетические преобразования осуществляются в электрических цепях.

Электрическая цепь - это совокупность устройств и объектов, образующих замкнутый путь для электрического тока. Отдельное устройство, входящее в состав электрической цепи и выполняющее в ней определенные функции, называется элементом электрической цепи.

Схема электрической цепи - это графическое изображение электрической цепи, содержащее условные обозначения ее элементов, показывающее соединения этих элементов.

Электрическим током проводимости называется направленное движение электрических зарядов в веществе или в вакууме. Электротехника рассматривает явление электрического тока в проводниках первого вида - металлах. Электроны в проводниках движутся не свободно, а испытывают соударения с ионами кристаллической решетки, что тормозит их поступательное движение.

Сопротивление проводника $R(r)$ - это противодействие проводника направленному движению электрических зарядов (электронов). Сопротивление проводника зависит от:

- материала;
- геометрических размеров проводника;
- формы проводника;
- температуры.

Закон Ома для участка цепи: сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на зажимах участка и обратно пропорциональна сопротивлению участка $I = U/R$

Единица измерения сопротивления - **1 Ом** : **1 Ом** равен сопротивлению проводника, по которому течет ток силой **1 А** при напряжении на концах проводника **1 В**.

По закону **Джоуля - Ленца** количество электрической энергии, преобразуемой в проводнике в тепловую энергию, пропорционально квадрату тока и электрическому сопротивлению проводника $W_{np} = I R t$

Мощность приемника - скорость преобразования электрической энергии

W в другой вид энергии $P_{np} = I^2 \cdot R$, согласно закону Ома $U = I \cdot R$, поэтому $P_{np} = U \cdot I$. Единица измерения мощности **1 Вт**.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Сопротивление R, Ом	100	90	80	70	60	50	85	65

4 Перечень приборов:

1. Источник энергии постоянного тока - 30 В.
2. Магазин сопротивлений - 1 шт.
3. Вольтметр - 1 шт. (0÷30 В).
4. Амперметр - 1 шт. (0÷2 А).
5. Вольтметр - 1 шт. (0÷150 Вт).

5 Порядок выполнения работы:

1. Определить размещение приборов на столе.
2. Определить цену деления приборов.
3. Собрать электрическую схему цепи.
4. Установить заданное сопротивление на магазине сопротивлений.
5. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
6. Включить автомат постоянного тока.
7. Записать показания приборов в таблицу.

Установить		измерить			вычислить				
U	R	I	U	P	$R=U/I$	$R=P/I^2$	$P=IU$	$P=I^2R$	$P=U^2/R$
В	Ом	А	В	Вт	Ом	Ом	Вт	Вт	Вт

8. Убедиться, что:

$$R = \frac{U}{I}; \quad R = \frac{P}{I^2}; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = I^2 R.$$

9. Сделать вывод.

6 Контрольные вопросы.

1. Дать определение электрической схемы.
2. Что называется электрическим сопротивлением?
3. Что влияет на величину электрического сопротивления?
4. Дать определение электрического тока.
5. Формулировка закона Ома для участка цепи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Анализ параметров электрической цепи при последовательном и параллельном соединении сопротивлений.

Цель работы: Подтверждение опытом свойств последовательного и параллельного соединений сопротивлений.

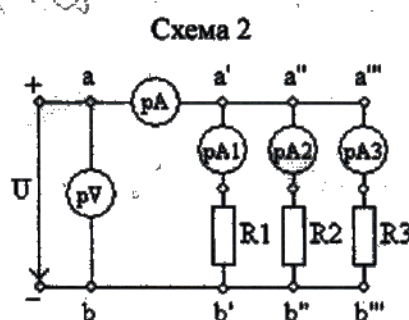
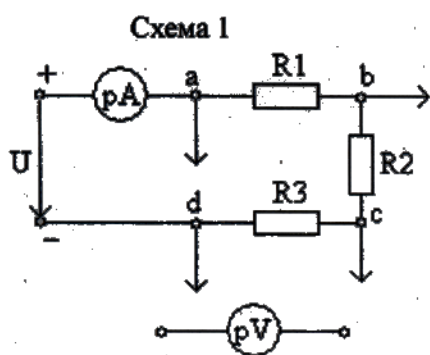
Знания (актуализация):

- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схемы опытов



2 Теоретическое обоснование.

Последовательное соединение резисторов.

При последовательном соединении участков или отдельных элементов электрической цепи ток в них один и тот же. Этому признаку последовательного соединения соответствует схема на рисунке 2.1, где три

резистора с сопротивлениями R_1, R_2, R_3 соединены в таком порядке: начало следующего элемента соединено с концом предыдущего, входными зажимами данной группы элементов являются начало первого и конец последнего элемента (H_1 и K_3). Между входными зажимами действует напряжение U , которое согласно второму закону Кирхгофа равно сумме падений напряжения на отдельных элементах (участках):

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3;$$

$$U = I(R_1 + R_2 + R_3) = IR_3;$$

Обозначим

$$R_3 = R_1 + R_2 + R_3.$$

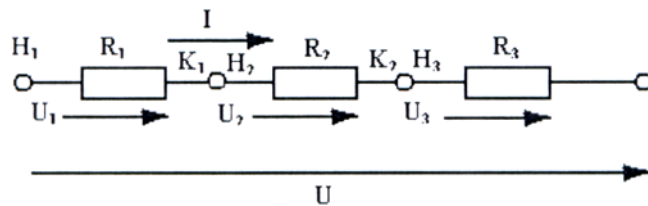


Рисунок 2.1. - Схема последовательного соединения резисторов.

Для последовательного соединения произвольного количества резисторов (n) можно написать аналогичное выражение. Сопротивление R_3 по своему действию эквивалентно сопротивлениям n резисторов. Поэтому группу можно заменить одним резистором (эквивалентным) и получить более простую схему цепи рисунок 2.2, в которой значение тока и напряжение остаются без изменения.

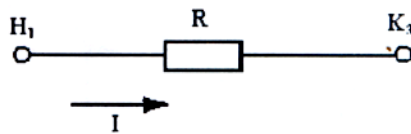


Рисунок 2.2. - Эквивалентная схема последовательного соединения резисторов.

Мощность цепи P равна сумме мощностей P_n отдельных сопротивлений, т.е. $P =$

$\sum_1^n P_n$, а так как по всем элементам цепочки протекает один и тот же ток I , то

$\sum_1^{n=3} P_n = (R_1 + R_2 + R_3)I^2$, баланс мощностей выполняется.

Параллельное соединение резисторов.

При параллельном соединении резисторов все они присоединены к одной паре узлов, т.е. находятся под действием одного и того же напряжения. Этому признаку параллельного соединения соответствует схема на рисунке 2.3, где начала трех резисторов R_1 , R_2 , R_3 соединены в узле Н, а концы - в узле К. Между узловыми точками действуют напряжения: $U=U_1=U_2=U_3$.

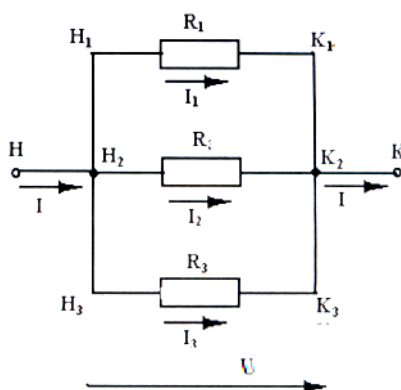


Рисунок 2.3. - Параллельное соединение резисторов

При параллельном соединении резисторов в расчете удобно использовать проводимости ветвей, $G_1 = \frac{1}{R_1}$; $G_2 = \frac{1}{R_2}$; $G_3 = \frac{1}{R_3}$;

а токи в ветвях $I_1=UG_1$; $I_2=UG_2$; $I_3=UG_3$.

Согласно первому закону Кирхгофа, общий ток I группы ветвей равен сумме токов ветвей и направлен в данном случае от узла Н к узлу К:

$$I=I_1+I_2+I_3=UG_1+UG_2+UG_3;$$

$I=U(G_1+G_2+G_3)=UG_{\Sigma}$, где G_{Σ} - эквивалентная проводимость цепи

$$G_{\Sigma}=G_1+G_2+G_3.$$

Для параллельного соединения произвольного количества резисторов (n) можно написать аналогичные выражения. Общая проводимость G_{Σ} по своему действию эквивалентна проводимостям n резисторов при сохранении значения общего тока и баланса мощностей цепи. Поэтому группу резисторов можно заменить одним резистором (эквивалентным) и получить более простую схему (рисунок 2.4), в которой $R_{\Sigma} = 1/G_{\Sigma}$

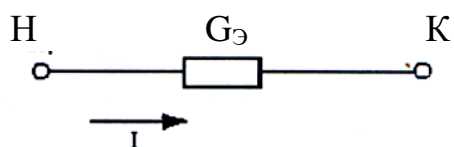


Рисунок 2.4. - Эквивалентная схема параллельного соединения резисторов.

Мощность P , потребляемая всеми сопротивлениями, равна сумме мощностей отдельных сопротивлений: $P = \sum_1^n P_n$.

Мощность P_n каждого сопротивления можно выразить через проводимость G_n и напряжение U_n :

$$P_n = P_n \cdot I_n^2 = U_n \frac{U_n}{R_n} = G_n \cdot U_n^2$$

Учитывая, что напряжение на всех сопротивлениях одинаковое, можно записать $P = (G_1 + G_2 + G_3)U^2 = \sum_1^n G_n U^2$

Мощность эквивалентной цепи: $P = G_{\text{э}} U^2$

3 Варианты заданий.

Опыт 1	Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8
	Сопротивления R, Ом	R ₁	20	50	40	60	10	20	10	50
		R ₂	40	30	40	10	30	20	30	10
		R ₃	40	20	20	30	60	40	30	20
Опыт 2	Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8
	Сопротивление R, Ом	R ₁	100	60	50	80	80	70	100	60
		R ₂	80	80	60	100	50	100	70	80
		R ₃	80	100	100	60	70	50	100	50

4 Перечень приборов:

1. Источник электрической энергии постоянного тока - ЗОВ;
2. Магазин сопротивлений - 3 шт.;
3. Вольтметр - 2 шт. (0 ÷ 30)В;
4. Амперметр - 4 шт. (0 ÷ 2)А.

5 Порядок выполнения работы:

1. Определить размещение приборов на столе

Опыт 1. Последовательное соединение.

2. Собрать электрическую схему цепи.
3. Определить цену деления приборов, исходя из установленных пределов измерения.
4. Установить заданные преподавателем параметры сопротивления на резисторах.
5. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
6. Включить автомат постоянного тока, измерить напряжение по вольтметру, результаты записать в таблицу 1.
7. Переносным вольтметром измерить напряжение на клеммах резисторов R_1 , R_2 , R_3 , а также ток в цепи. Результаты записать в таблицу 1.
8. Убедиться, что:

$$U=U_1+U_2+U_3; \quad R=R_1+R_2+R_3; \quad P_1=U_1 I = I^2 R_1; \quad P_2=U_2 I = I^2 R_2;$$

$$P_3=U_3 I = I^2 R_3; \quad R_1 = \frac{U_1}{I}; \quad R_2 = \frac{U_2}{I}; \quad R_3 = \frac{U_3}{I}$$

Таблица 1- Параметры последовательного соединения сопротивлений

Установить		Измерить		Вычислить		
Участок цепи	R	1	U	R	P = UI	P = I ² R
	Ом	A	B	Ом	Вт	Вт
$U_{ab} = U_1$						
$U_{bc} = U_2$						
$U_{cd} = U_3$						
$U_{ad} = U$						

Опыт 2. Параллельное соединение.

1. Собрать электрическую схему цепи.
2. Определить цену деления приборов.
3. Установить заданные преподавателем параметры резисторов.
4. Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
3. Включить автомат (постоянного тока), установить заданное напряжение, записать его значение в таблицу 2.

6. Записать показания амперметров.

7. Убедитесь, что:

$$I = I_1 + I_2 + I_3; \quad G = G_1 + G_2 + G_3; \quad G = \frac{1}{R}; \quad G_1 = \frac{1}{R_1}; \quad G_2 = \frac{1}{R_2}; \quad G_3 = \frac{1}{R_3};$$

$$I = \frac{U}{R}; \quad I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Таблица 2- Параметры параллельного соединения сопротивлений

Установить		Измерить		Вычислить			
Участок цепи	R	I	U	$G = \frac{I}{U}$	$G = \frac{1}{R}$	$P = U I$	$P = U^2 G$
	Ом	А	В	См	См	Вт	Вт
a'b', R_1							
a''b'', R_2							
a'''b''', R_3							
ab, R_{Σ}							

8. Сделайте вывод.

6 Контрольные вопросы

1. Какие соединения резисторов называют последовательным, и какие параллельным?
2. Как определить общее сопротивление резисторов при последовательном и при параллельном соединении?
3. Что называется проводимостью и в чём она измеряется?
4. Чему равен общий ток цепи и напряжения на участках последовательного и параллельного соединения?
3. Как определяется мощность на участках цепи и во всей цепи при последовательном и параллельном соединении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Построение и анализ потенциальных диаграмм.

Цель работы: Развитие умений осуществлять измерение потенциалов точек электрической цепи в лабораторных условиях и сопоставлять их с расчетной потенциальной диаграммой.

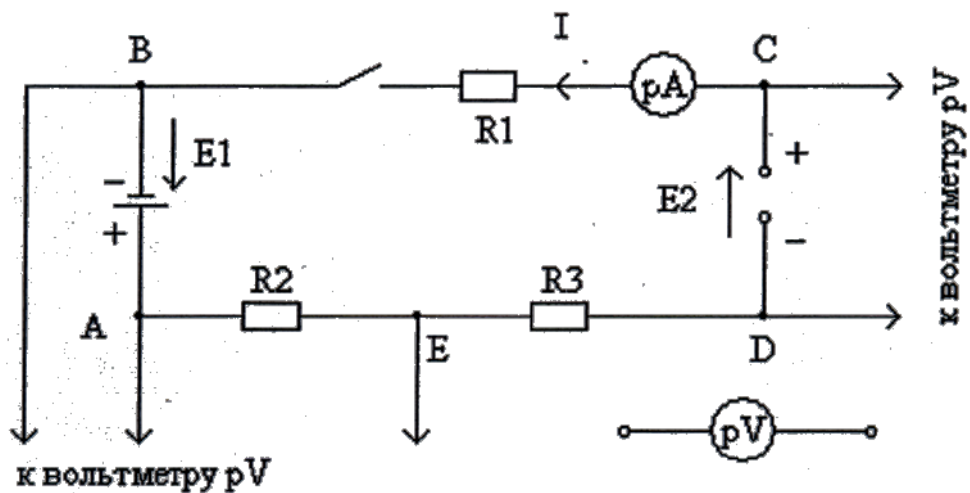
Знания (актуализация):

- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема.



2 Теоретическое обоснование.

Электрическим потенциалом данной точки называется разность электрических потенциалов данной точки и другой, произвольно выбранной точки, потенциал которой принимают равным нулю. Потенциал обозначается φ , измеряется в вольтах [В].

В электрических цепях важно знать разность потенциалов между некоторыми двумя точками цепи.

Разность потенциалов двух точек называется **электрическим напряжением** между этими точками, $\varphi_1 - \varphi_2 = U_{12}$.

За начало отсчета потенциалов электрической цепи можно выбрать любую точку, потенциал которой будем считать равным нулю. Потенциалы точек электрических цепей различных устройств задаются таблицей, где каждой точке цепи соответствует свой потенциал. Для наглядности распределение потенциалов может задаваться графиком, который называется потенциальной диаграммой.

Потенциальная диаграмма - это график изменения потенциала при обходе цепи, построенный в прямоугольной системе координат, в которой по оси абсцисс откладываются в определенном масштабе сопротивления участков, а по оси ординат - потенциалы соответствующих точек.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5
Обозначение точки с $\varphi=0$	A	B	C	D	E

4 Перечень приборов:

- 1) Вольтметр - 1 шт., 30В;
- 2) Источник электрической энергии постоянного тока - 2 шт. 4,5В; 30В;
- 3) Магазин сопротивлений — 3 шт.
- 4) Ключ (тумблер) - 1 шт.

5 Порядок выполнения работы:

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему цепи.
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Установить на магазинах сопротивлений заданные преподавателем значений сопротивлений R_1 , R_2 ; R_3 .
- 5) Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
- 6) Включить ключ S , измерить переносным вольтметром потенциалы точек: A, B, C, D, E - относительно точки с нулевым потенциалом $\varphi = 0$, по заданному варианту, напряжения U_{AC} , U_{BD} , записать показания вольтметра в таблицу.

- 7) Построить в масштабе по данным таблицы опытную потенциальную диаграмму для контура АВСДЕА. По установленным данным рассчитать потенциалы точек А, В, С, Д, Е. Результаты расчёта занести в таблицу.

По второму закону Кирхгофа: $E_1 + E_2 = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + I \cdot R_3$

$$I = \frac{E_1 + E_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

- 8) Построить в масштабе расчетную потенциальную диаграмму.

Таблица опытных и расчетных величин.

Установить			Из расчета								Из опыта							
R1	R2	R3	I	φ_B	φ_C	φ_D	φ_E	φ_A	U_{AC}	U_{BD}	I	φ_B	φ_C	φ_D	φ_E	φ_A	U_{AC}	U_{BD}
Ом	Ом	Ом	А	В	В	В	В	В	В	В	А	В	В	В	В	В	В	В

- 9) По результатам опыта и расчета сделать вывод.

6 Контрольные вопросы

- 1) Что называется потенциалом точки электрической цепи?
- 2) Что называют напряжением?
- 3) В каких единицах измеряют потенциал?
- 4) Что называют потенциальной диаграммой?
- 5)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение токов ветвей путем измерения и расчета частичных токов

Цель работы: Приобретение навыков определения токов ветвей путем измерения и расчета частичных токов.

Знания (актуализация):

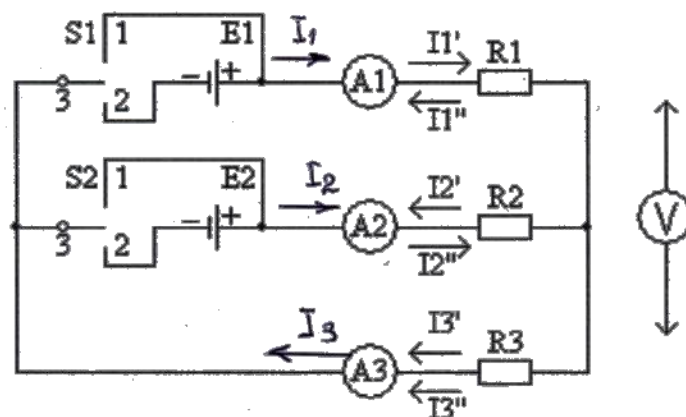
- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;

- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование

Принцип наложения (суперпозиция).

Принцип наложения является теоретической основой рассматриваемого метода расчета цепей - метода наложения.

Применительно к электрическим цепям принцип наложения заключается в независимом действии отдельных источников энергии и формулируется следующим образом:

Ток в любой ветви равен алгебраической сумме токов, возникающих в ней под действием каждого из источников электрической цепи в отдельности.

Токи, вызываемые действием каждого источника в отдельности, называют **частичными**. Сформулированный принцип применительно к рисунку 4. Означает, что, например, ток I_1 может быть представлен алгебраической суммой двух токов, один из которых I_1' (рис. 4,б), создается ЭДС E_1 , а другой I_1'' - ЭДС E_2 (рис.1,в), т.е. $I_1 = \pm I_1' \pm I_1''$.

Метод наложения.

Сущность метода состоит в определении частных токов, создаваемых отдельными источниками питания, и последующем их алгебраическом суммировании. Вычисление частных токов производится в цепи с одним источником энергии, что является уже известной задачей,

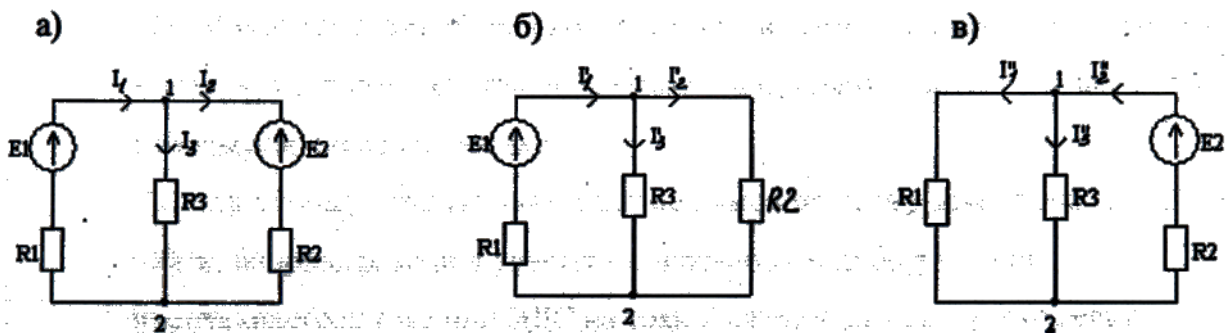


Рисунок 4 - а) Исходная схема;

б) Расчетная схема, в которой действует только E_1 ;

в) Расчетная схема, в которой действует только E_2 .

Число расчетных схем равно числу источников. В каждой схеме сохраняется только один источник, а другие исключаются, но внутренние сопротивления (проводимости) источников учитываются, т.е. ветви с источниками тока удаляются (разрываются), а идеальные источники ЭДС замыкаются накоротко.

Направление частичных токов определяется с учетом полярности источника ЭДС или направления источника тока.

Частичные токи требуется **вычислять с более высокой точностью**, так как при их алгебраическом суммировании погрешность результата (фактического тока) может возрасти относительно погрешности слагаемых.

При определении напряжения на участке цепи также можно использовать метод наложения. Так, например, для k -й ветви, где включено сопротивление R_k с током I_k , его напряжение

$$U_k = R_k I_k = R_k (I_k' + I_k'' + I_k^{(n)}). \text{ Здесь } I_k', I_k'', \dots, I_k^{(n)} - \text{источники ток}$$

соответственно 1-м, 2-м и т.д. источником питания.

Ток в любой ветви равен алгебраической сумме частичных токов, возникающих в ней под действием каждого из источников электрической цепи в отдельности, если частичный ток совпадает с направлением тока в ветви, то в уравнении его берут со знаком "+", если противоположно, то со знаком «-».

Таким образом, метод наложения позволяет заменить расчет одной сложной цепи с несколькими источниками расчетом нескольких цепей с одним источником энергии в каждом.

3 Варианты заданий.

Сопротивления, Ом	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R₁	100	250	250	150	200	200	100	150
R₂	200	100	100	100	150	100	100	200
R₃	200	150	100	100	100	150	100	200

4 Перечень приборов:

- 1) Источники энергии постоянного тока 4,5 В, 2 шт.
- 2) Вольтметр - 1 шт. (0 - 30) В
- 3) Амперметр - 3 шт. (0 -1) А
- 4) Ключ - 2 шт.
- 5) Магазин сопротивлений - 3 шт.

5 Порядок выполнения работы:

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему, установить заданные сопротивления.
- 3) Определить цену деления приборов.
Предъявить собранную схему преподавателю.
- 4) Включить источник E₁, отключить E₂. Измерить частичные токи. Данные измерений занести в таблицу.
- 5) Отключить источник E₁ включить E₂. Измерить частичные токи второй исследуемой схемы. Данные измерений занести в таблицу.
- 6) Включить оба источника E₁ и E₂ и измерить токи электрической цепи.
Данные измерений занести в таблицу.

Просуммировать измеренные частичные токи. Результаты вычислений

$$\text{занести в таблицу. } I_1 = I_1' - I_1'' \quad I_2 = I_2'' - I_2' \quad I_3 = I_3' + I_3''$$

- 7) Рассчитать схему исследуемой электрической цепи методом наложения.
Результаты вычислений занести в таблицу.

Таблица 1 – Частичные токи.

№ п/п	Способ определения величины	E_1 В	E_2 В	I_1 А	I_2 А	I_3 А	I_1 А	I_2 А	I_3 А	I_1 А	I_2 А	I_3 А
1	Из опыта											
2	Наложение измеренных токов											
3	Расчет											

8) Сделать вывод.

6.Контрольные вопросы

- 1) В чем состоит существо метода наложения токов?
- 2) Каково количество исследуемых схем?
- 3) Почему точность определения частичных токов должна быть более высокой?
- 4) Как определить направление частичных токов в данной исследуемой схеме?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 Определение параметров эквивалентного генератора.

Цель работы: Формирование умений определения параметров эквивалентного генератора опытным и расчетным путем; опытное подтверждение расчета тока в диагонали мостовой схемы.

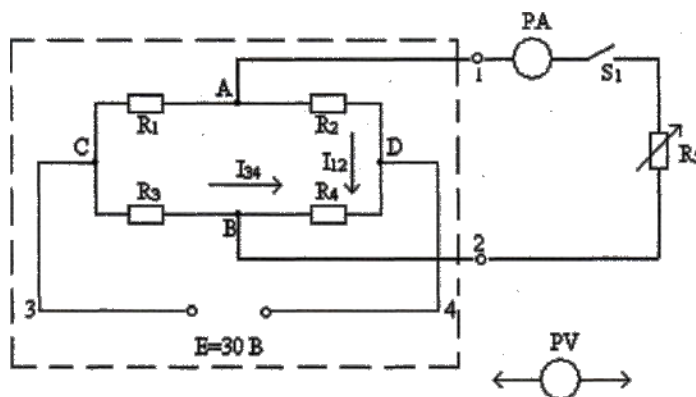
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Активные и пассивные двухполюсники.

В сложной электрической цепи всегда можно выделить ветвь, которая присоединяется к остальной цепи в двух точках.

Двухполюсник - это обобщенное название любой схемы, рассматриваемой относительно двух выводов или полюсов. Двухполюсники условно изображают в виде некоторых прямоугольников (рисунок 5.1).

Если в двухполюснике имеются источники энергии, не компенсирующие друг друга, то такой двухполюсник называют активным и в прямоугольнике, его изображающем, ставят букву А. Сопротивление исследуемой ветви является нагрузкой активного двухполюсника и обычно обозначается R_H .

Двухполюсник, не содержащий источников энергии, называют пассивным и в прямоугольнике ставят букву П. Пассивный двухполюсник, являясь приемником энергии, может быть охарактеризован внутренним сопротивлением $R_{в\tau}$ или входным сопротивлением относительно выводов *аб*. Это сопротивление определяют расчетным путем по известной схеме или экспериментально, если внутренняя схема пассивного двухполюсника неизвестна.

Эквивалентный источник.

Активный двухполюсник (рисунок 5.1.а) можно заменить эквивалентным источником (рисунок 5.2.а) с определенными значениями его ЭДС $E_{эк}$ и внутреннего сопротивления $R_{в\tau}$.

Эквивалентность активного двухполюсника и источника понимается в том смысле, что в любой ветви, подключаемой к активному двухполюснику или источнику, ток будет одинаковым.

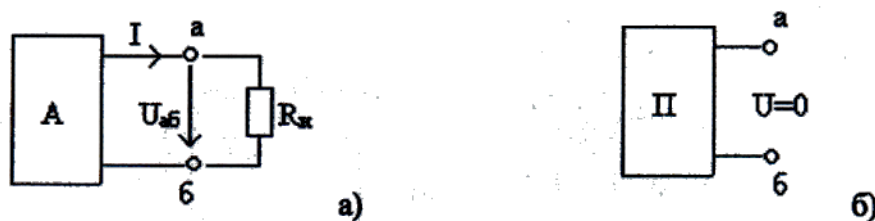


Рисунок 5.1 - Двухполюсники: а) Активный; б) пассивный

Будем полагать, что активный двухполюсник имеет линейную ВАХ (рисунок 5.2.б). Соответственно и эквивалентный источник должен иметь такую же зависимость напряжения от тока. Для совпадения двух прямых достаточно совпадения двух их точек.

В нашем случае, если режимы ХХ ($E_{\text{ЭК}} = U_x$; $I=0$) и КЗ ($U=0$; I_K) сравниваемых цепей совпадают, то и ВАХ совпадут.

При отсутствии тока в цепи $I=0$ (режим ХХ) напряжение между точками *a* и *б* одинаково в обеих схемах: $U_x = E_{\text{ЭК}}$ (рисунок 5.2. в). При отсутствии напряжения на выводах *ab* $U_{ab}=0$ (режим КЗ) ток (рисунок 5.2.г) определяется только внутренним сопротивлением $R_{\text{ВТ}}$ источника или входным сопротивлением двухполюсника:

$$I_K = \frac{E_{\text{ЭК}}}{R_{\text{ВТ}}}$$

При равенстве этих сопротивлений $R_{\text{ВТ}} = R_{\text{ВХ}ab}$ и напряжений в режиме ХХ ВАХ исследуемых схем одинаковы.

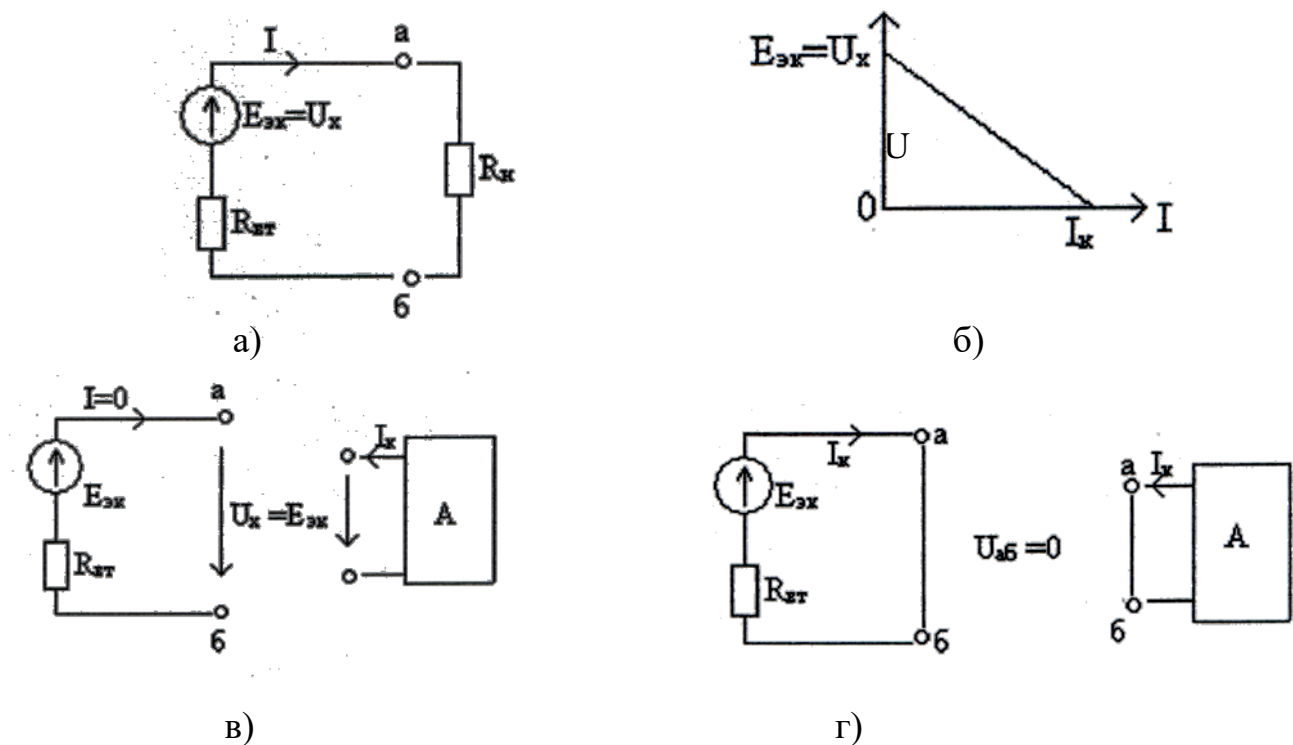


Рисунок 5.2 – Активный двухполюсник:

а) Схема; б) ВАХ; в) Режим ХХ; г) Режим КЗ.

Теорема об активном двухполюснике.

Активный двухполюсник можно заменить эквивалентным источником, ЭДС которого равна напряжению XX на выводах двухполюсника, а внутреннее сопротивление равно входному сопротивлению этого же, но пассивного двухполюсника.

Входное сопротивление двухполюсника относительно выводов **аb** определяется при устранении из схемы активного двухполюсника всех источников (ветви с источниками тока разрываются, а источники ЭДС в ветвях закорачиваются).

3 Варианты заданий

Сопротивление Ом	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R_1	100	50	50	200	50	100	150	200
R_2	200	100	50	150	200	50	100	50
R_3	50	200	100	100	150	200	50	50
R_4	50	50	200	50	100	150	200	100

4 Перечень приборов:

- 1) Вольтметр - 1 шт. (0÷30) В
- 2) Амперметр - 3 шт. (0÷2) А
- 3) Магазин сопротивлений - 1 шт.
- 4) Резисторы

5 Порядок выполнения работы:

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему цепи.
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Установить на магазинах сопротивлений значения R_5 , заданные преподавателем для первого опыта.
- 5) Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.

- 6) При отключенном ключе S_1 переносным вольтметром измерить ЭДС (E_r) эквивалентного генератора между точками (А,В) или на контактах разомкнутого ключа S . Результаты записать в таблицу.
- 7) Включить ключ S_1 , измерить ток короткого замыкания $I_{кз}$. Результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1- Параметры эквивалентного генератора.

Установить					№ опыта	R_5 Ом	$I_{5изм}$ А	$I_{5рас}$ А	Из опыта			Из расчета		
R_1	R_2	R_3	R_4	U	1				$I_{кз}$	$E_{эг}$	$R_{эг}$	$I_{кз}$	$E_{эг}$	$R_{эг}$
Ом	Ом	Ом	Ом	В	2				А	В	Ом	А	В	Ом
					3									

- 8) Зная из опыта ЭДС эквивалентного генератора и ток, определить его внутреннее сопротивление R_r . Результаты записать в таблицу 1.
- 9) Рассчитать U_{12xx} по схеме рисунок 1, $I_{5гкз}$ по схеме рисунок 2 и вычислить $R_{эг}$
- 10) При трех, заданных преподавателем, значениях R_5 , измерить ток I_5 .
- 11) По формуле для таких значений R_5 , вычислить ток I_5 , записать в таблицу 1.
- 12) Сделать вывод.

Расчетные формулы: $R_r = \frac{E_r}{I_{кз}};$ $I_5 = \frac{E_r}{R_5 + R_r}$

6 Контрольные вопросы:

- 1) Что называется двухполюсником?
- 2) Какой двухполюсник называется активным, а какой пассивным?
- 3) По какой формуле определяется ток ветви по методу эквивалентного генератора?
- 4) Как практически определяется ЭДС и внутреннее сопротивление двухполюсника?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Исследование разветвленной магнитной цепи.

Цель работы: Формирование умений устанавливать взаимосвязи между направлением тока в катушке и направлением магнитного потока, экспериментальное подтверждение 1-ого закона Кирхгофа.

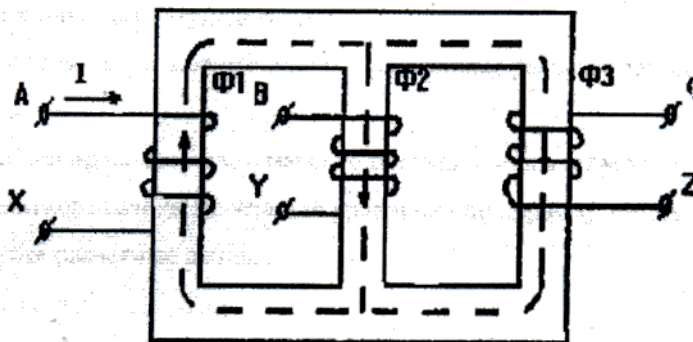
Знания (актуализация):

- методы расчета электрических цепей;
- методы преобразования электрической энергии.

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Магнитные цепи служат для формирования рабочего магнитного потока в электрических машинах, трансформаторах, электроизмерительных приборах и других электромагнитных устройствах.

Часть электромагнитного устройства, содержащую ферромагнитные тела, в которой при наличии намагничивающей силы возникает и вдоль которой замыкается магнитный поток, называют *магнитной цепью*.

Намагничивающую силу создают обмотки с электрическим током или постоянные магниты. Часть магнитной цепи, по которой замыкается магнитный

поток, изготавливают в основном из ферромагнитных материалов и называют *магнитопроводом*.

Магнитные цепи выполняют неразветвленными и разветвленными .

Различают также магнитные цепи однородные и неоднородные.

Магнитопровод однородной цепи на всем его протяжении выполнен из одного материала и имеет одинаковое по форме и размерам поперечное сечение; в неоднородной цепи магнитопровод состоит из нескольких участков, отличающихся в общем случае по длине, поперечному сечению, материалам.

Для расчетов магнитных цепей используют аналогии с электрическими цепями:

Φ , *магнитный поток* – электрический ток I ;

R_M , *магнитное сопротивление* - электрическое сопротивление R ;

U_M , *магнитное напряжение* - электрическое напряжение U ;

F_M , *магнитодвижущая сила* - электродвижущая сила E .

В разветвленной магнитной цепи , по аналогии с электрической цепью, можно выделить контуры, ветви и отметить узлы. Можно составить узловые уравнения и сформулировать первый закон Кирхгофа для магнитной цепи.

Алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитной цепи равна нулю $\sum \Phi = 0$.

4 Приборы и оборудование:

- 1) Трехстержневой трансформатор.
- 2) Вольтметр электромагнитной системы с $U_{ном} = 150 \text{ В}$.

5 Порядок выполнения работы:

- 1) Подключите катушку АХ трехфазного трансформатора к напряжению $U_{\phi} = 127 \text{ В}$.
- 2) Включите напряжение и измерьте ЭДС остальных обмоток. Данные измерений занесите в таблицу 1.
- 3) Повторите опыт для катушек ВХ, СЗ.
- 4) Рассчитать величины магнитных потоков. Данные расчетов занесите в таблицу 2.

5) Для заданной преподавателем магнитодвижущей силы вычертите конфигурацию магнитного потока и составьте уравнения по первому закону Кирхгофа, используйте расчетные данные.

6) Сделайте вывод.

Таблица 1- ЭДС обмоток.

№ п/п	Схема включения	E_{AX}	E_{BY}	E_{CZ}	E_{ax}	E_{by}	E_{cz}
1							
2							
3							

Формула расчета амплитуды магнитного потока

$$\Phi_m = \frac{E}{4,44 \cdot f \cdot w}$$

Где E – ЭДС вторичных обмоток E_{ax} , E_{by} , E_{cz}

$f = 50$ Гц - частота напряжения сети;

$w = 690$ - число витков вторичной обмотки.

Таблица 2- Магнитные потоки ветвей МЦ.

№ п/п	Φ_{m1} Вб	Φ_{m2} , Вб	Φ_{m3} , Вб
1			
2			
3			

Вычертить картинку магнитного поля, записать уравнение, связывающее магнитные потоки.

$$\Phi_1 - \Phi_2 - \Phi_3 = 0$$

6 Контрольные вопросы

- 1) Дайте определение магнитной цепи.
- 2) Классификация магнитных цепей по конфигурации и применяемым материалам.
- 3) Что такое магнитный поток?
- 4) Что такое магнитодвижущая сила?

- 5) Почему сердечники силовых трансформаторов, в том числе применяемых в бытовых электротехнических и радиотехнических устройствах, изготавливают из стали? Можно ли применить алюминий?
- 6) Сформулируйте первый закон Кирхгофа для магнитной цепи.

Лабораторная работа № 7

Исследование цепи переменного тока с реальной катушкой

Цель работы: Опытная проверка свойств цепи переменного тока с индуктивным сопротивлением.

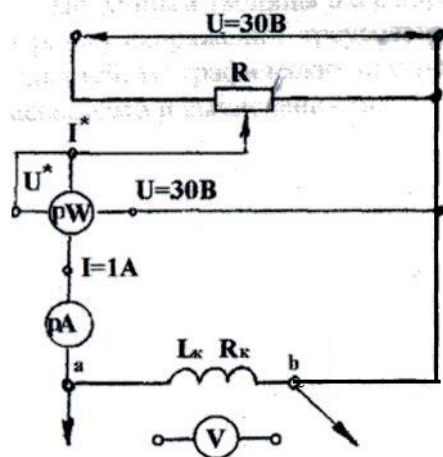
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



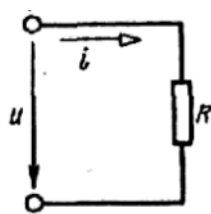
2 Теоретическое обоснование.

В линейных электрических цепях переменного тока рассматривают три вида сопротивлений:

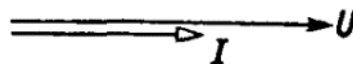
- активное сопротивление $R(r)$, в котором электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии (например: лампы накаливания, реостаты, бытовые нагревательные приборы и др.);
- реактивное сопротивление индуктивности X_L или индуктивное сопротивление. Сопротивление, зависящее от частоты тока, называется реактивным, $X_L = 2\pi fL$ или $X_L = \omega L$;
- реактивное сопротивление емкости X_c или емкостное сопротивление $X_c = 1/2\pi fC$ или $X_c = 1/\omega C$.

Цепь с активным сопротивлением.

В цепи, содержащей только сопротивление R (рисунок 7.1.-а), синусоидальное напряжение $u = U_m \sin \omega t$ источника электроэнергии создает синусоидальный ток $i = I_m \sin \omega t$.



а)



б)

Рисунок 7.1. – а) Цепь с активным сопротивлением;
б) Векторная диаграмма.

Закон Ома для действующих значений $I = \frac{U}{R}$, для амплитудных

значений $I_m = \frac{U_m}{R}$. Мгновенная мощность

$$p = u \cdot i = U_m I_m \sin^2 \omega t = \frac{U_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

или $p = UI - UI \cos 2\omega t$, $p \geq 0$,

средняя мощность цепи равна амплитуде мгновенной мощности $P = UI$,

рисунок 7.2..

Вывод:

1) Ток и напряжение в цепи с активным сопротивлением *совпадают по фазе*, рисунок 7.1. б.

2) Мгновенная мощность всегда положительна, независимо от направления тока, энергия в цепи всегда передается в одном направлении - от источника к приемнику. Средняя мощность называется активной мощностью, $P=UI$, измеряется в ваттах (Вт).

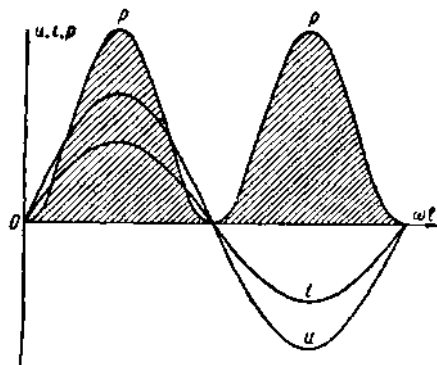


Рисунок 7.2. - Временные диаграммы для цепи с идеальным активным сопротивлением.

Цепь с индуктивностью.

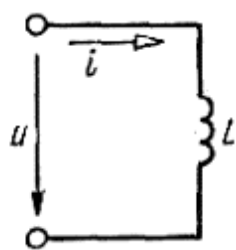
В цепи с идеальной индуктивностью (рисунок 7.3. а) ($R = 0$) напряжение u на зажимах цепи уравнивается э.д.с. самоиндукции e_L

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt},$$

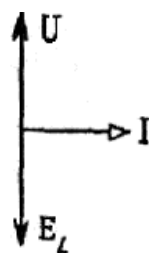
где di/dt - скорость изменения тока во времени. Если $i = I_m \sin \omega t$, тогда

$$u = L \frac{di}{dt} = I_m \omega L \cos \omega t = I_m X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right),$$

где $U_m = I_m X_L$ - максимальное значение напряжения на индуктивности (закон Ома для амплитудных значений), для действующих значений $U = I \cdot X_L$



а)



б)

Рисунок 2.3. – а) Цепь с идеальной индуктивностью;

б) Векторная диаграмма цепи с идеальной индуктивностью

Мгновенная мощность чисто индуктивного приемника

$$p = u \cdot i = U_m I_m \sin \omega t \cos \omega t = U_m I_m \frac{1}{2} \sin 2\omega t = UI \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

следовательно, эта мощность - синусоидальная величина, частота ее в 2 раза больше частоты тока, рисунок 7.4. Среднее значение мгновенной мощности p за целое число периодов равно нулю, т.е. активная мощность у чисто индуктивного приемника отсутствует $P = 0$.

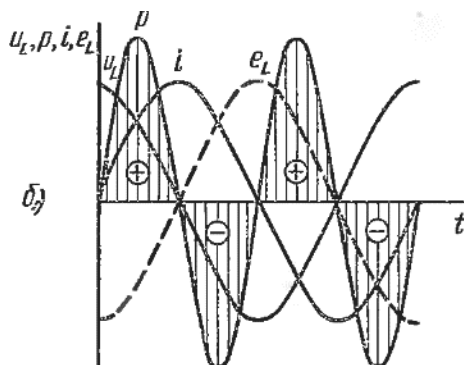


Рисунок 7.4. - Временные диаграммы параметров
для цепи с идеальной индуктивностью.

Вывод:

1) В цепи с идеальной индуктивностью *напряжение опережает по фазе ток* на угол $\frac{\pi}{2}$, рисунок 2.3. –б.

2) В цепи с индуктивностью происходят *колебания энергии между источником напряжения и магнитным полем приемника*. Ток в цепи не совершает работы, он обуславливается колебаниями энергии и называется реактивным. Реактивный ток бесполезно загружает источник энергии и провода линии электропередач.

Амплитуда мгновенной мощности индуктивности называется реактивной мощностью $Q_L = UI$, измеряется в ВАР - ах (вольт-ампер реактивный).

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Напряжение, U, В	18	20	24	26	28	16

4 Перечень приборов:

- 1) Источник энергии переменного тока ЗОВ.
- 2) Реостат - 1 шт..
- 3) Вольтметр - 1 шт. (0-100)В.
- 4) Ваттметр - 1 шт. (30-1200)Вт.
- 5) Амперметр - 1 шт. (1-2)А.
- 6) Катушка индуктивности - 1 шт.

5 Порядок выполнения работы.

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему .
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Предъявить собранную электрическую схему для проверки.
- 5) Включить автоматический выключатель переменного тока, установить с помощью реостата заданное напряжение и удерживать его в течение опыта постоянным.
- 6) Измерить переносным вольтметром и ваттметром напряжение и мощность на катушке.
- 7) Записать показания приборов в таблицу 1.

Таблица 1- Опытные параметры.

U	I	P	R _к
В	А	Вт	Ом

8) Выполнить вычисления по формулам

$$U_a = \frac{P}{I} ; \quad S = U \cdot I; \quad Z = \frac{U}{I} ; \quad Q_L = I^2 \cdot X_L ;$$
$$X_L = \sqrt{Z^2 - R_k^2} ; \quad R_k = \frac{U_a}{I} ; \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} ;$$

Результаты вычислений поместить в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные параметры.

Z	S	Q_L	$\cos\varphi$	R_K	X_L	U_a	U_p
Ом	ВА	ВАр		Ом	Ом	В	В

9) По данным таблицы 2 в выбранных масштабах построить векторную диаграмму напряжений, треугольник сопротивлений, треугольник мощностей. Из графических построений найти U , Z , S , $\cos\varphi$, сравнить с измерениями и вычислениями.

10) Сделать вывод

6 Контрольные вопросы

- 1) Какое сопротивление электрической цепи называется реактивным и почему?
- 2) Назовите виды реактивных сопротивлений, запишите определяющие их формулы.
- 3) Какова величина сдвига по фазе между напряжением и током в цепи с активным сопротивлением?
- 4) Какова величина сдвига по фазе между напряжением и током в цепи с индуктивным сопротивлением?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Исследование цепи переменного тока с реальным конденсатором

Цель работы: Опытная проверка свойств цепи переменного тока с емкостным сопротивлением.

Знания (актуализация):

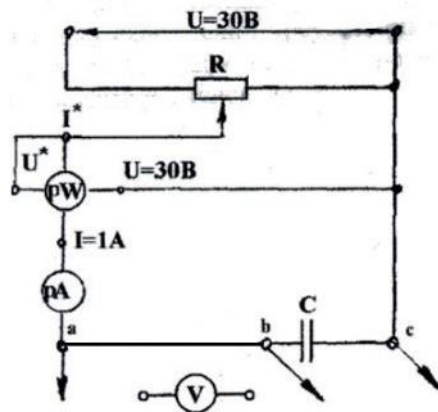
- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;

- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2. Теоретическое обоснование

2.1 Цепь с емкостью.

Постоянный ток в цепи с емкостью проходит только тогда, когда емкость заряжается при подключении на постоянное напряжение. Но если емкость C включена на переменное напряжение и, то ее заряд $q = u \cdot C$ изменяется периодически вместе с изменением напряжения. Это вызывает поступательное и возвратное движение зарядов в проводниках, соединяющих емкость с источником переменного напряжения. Если переменное напряжение $u = U_m \sin \omega t$, то ток в цепи с емкостью

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{d(U_m \sin \omega t)}{dt} = U_m \omega C \cos \omega t = U_m \frac{1}{X_C} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

т. к. по закону Ома для амплитудных значений $I_m = \frac{U_m}{X_C}$,

тогда $i = I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$.

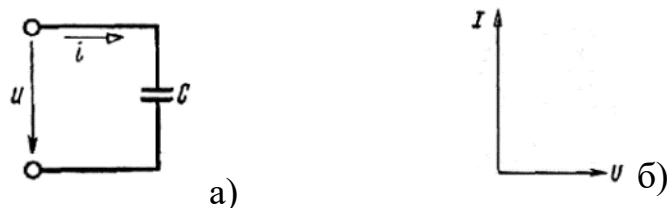


Рисунок 8.1- Цепь с идеальной емкостью:

а - схема; б – векторная диаграмма.

$$\text{Мгновенная мощность } p = ui = U_m I_m \sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{U_m I_m}{2} \sin 2\omega t$$

$$p = UI \sin 2\omega t$$

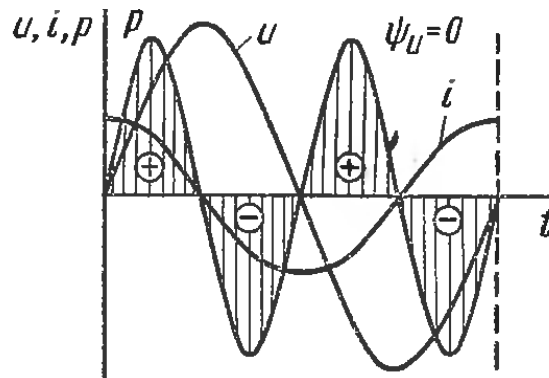


Рисунок 8.2 Временные диаграммы параметров для цепи с идеальной емкостью.

Так же как и в индуктивности, мгновенная мощность в емкости - синусоидальная величина, частота которой в 2 раза больше частоты тока, среднее значение p за целое число периодов равно нулю, рисунок 8.2. Активная мощность цепи с идеальной емкостью $P = 0$. Вывод:

- 1) В цепи с идеальной емкостью **ток опережает** по фазе напряжение на угол $\frac{\pi}{2}$
- 2) В цепи с емкостью происходят **колебания энергии электрического поля** между источником напряжения и емкостью; в ней проходит лишь реактивный емкостный ток, обусловленный этими колебаниями. Амплитуда мгновенной мощности называется реактивной мощностью емкости $Q_c = UI$, измеряется в ВАРах.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Схема	1	2	2	1	2	1
Напряжение, U, В	18	20	24	26	28	16

4 Перечень приборов:

- 1) Источник энергии переменного тока 30В.
- 2) Реостат - 1 шт..
- 3) Вольтметр - 1 шт. (0-100)В.
- 4) Ваттметр - 1 шт. (30-1200)Вт.
- 5) Амперметр - 1 шт. (1-2)А.
- 6) Магазин ёмкостей - 1 шт. (121 мкФ).

5 Порядок выполнения работы.

Опыт 1

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему 1.
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Предъявить собранную электрическую схему для проверки.
- 5) Включить автоматический выключатель переменного тока, установить с помощью реостата заданное напряжение и удерживать его в течение опыта постоянным.
- 6) С помощью магазина ёмкостей установить заданную ёмкость C , измерить переносным вольтметром и ваттметром падения напряжений и мощностей.
- 7) Записать показания приборов в таблицу 1.

Таблица 1- Опытные параметры.

U	I	P
В	А	Вт

- 8) Выполнить вычисления по формулам

$$S = U \cdot I; \quad Z = \frac{U}{I}; \quad Q_c = U_p \cdot I$$
$$\cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad X_e = \frac{U_2}{I}; \quad U_a = \frac{P}{I}$$

Результаты вычислений поместить в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные параметры.

Z	S	Q	cosφ	U _a	U _p	Q	X _c
Ом	ВА	ВАр		В	В	ВАр	Ом

9) По данным таблицы 2 в выбранных масштабах построить векторную диаграмму напряжений, треугольник сопротивлений, треугольник мощностей. Из графических построений найти U , Z , S , $\cos\varphi$, сравнить с измерениями и вычислениями.

10) Сделать вывод

6 Контрольные вопросы

- 1) Почему ёмкостное сопротивление называется реактивным?
- 2) Какова величина фазового сдвига между током и напряжением для
 - идеальной ёмкости?
 - реальной емкости?
 Почему?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

Исследование неразветвленной цепи с последовательным соединением активного сопротивления, катушки и конденсатора.

Цель работы: Формирование умений осуществлять измерение параметров участков неразветвленной цепи переменного тока с активными и реактивными сопротивлениями, построения векторной диаграммы цепи по опытным данным.

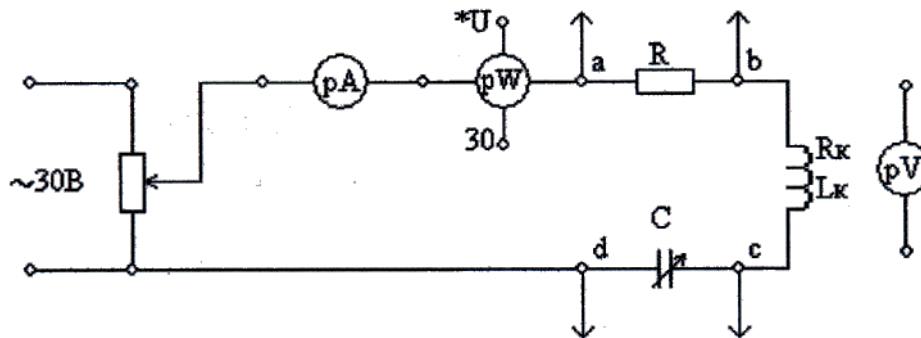
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование

При последовательном соединении катушки и конденсатора на расчетной схеме (рисунок 9.1) каждый из этих элементов электрической цепи может быть представлен активным и реактивным сопротивлениями.

Предположим известными параметры катушки r_1 L и конденсатора r_2 , C; ток в цепи $i = I_m \sin \omega t$.

Требуется определить напряжение на U участках цепи и мощность.

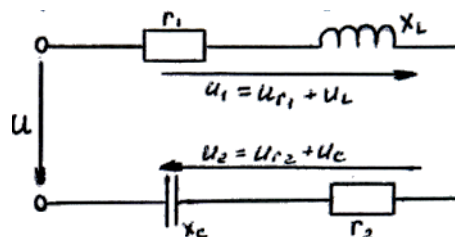


Рисунок 9.1. Схема последовательного соединения катушки индуктивности и конденсатора.

Мгновенное значение общего напряжения можно представить суммой мгновенных значений напряжений на отдельных элементах схемы:

$$u = u_{1r} + u_L + u_{2r} + u_c.$$

Имея в виду несовпадение по фазе активных и реактивных напряжений, значение общего напряжения получим векторным сложением:

$$U = U_{1r} + U_L + U_{2r} + U_c$$

Для построения векторной диаграммы находим:

$$U_{1r}=I r_1 ; U_{2r} = I r_2; U_L = I \cdot X_L; U_c = I \cdot X_c.$$

Рассмотрим соотношение величин реактивных сопротивлений индуктивности и емкости $X_L > X_C$. Векторная диаграмма представлена на рисунке 9.2. На диаграмме построены треугольники напряжений для катушки и конденсатора и найдены векторы напряжения \vec{U}_1 и \vec{U}_2 на этих элементах.

Векторная сумма напряжений $\vec{U}_1 + \vec{U}_2 = \vec{U}$ дает общее напряжение в цепи. Вместе с тем вектор U является гипотенузой прямоугольного треугольника, катеты которого - составляющие вектора по двум взаимно перпендикулярным осям:

$$U_a = U_{1r} + U_{2r} - \text{активное напряжение цепи,}$$

$$U_p = U_l - U_c - \text{реактивное напряжение цепи.}$$

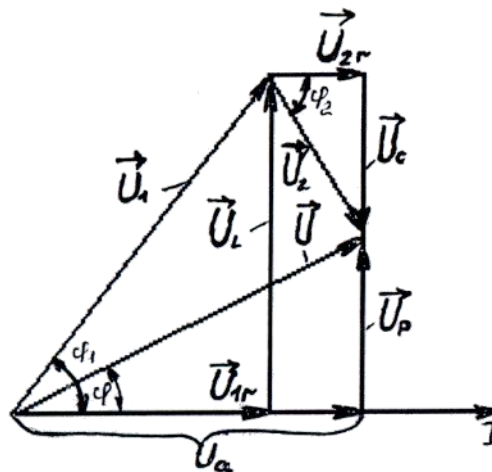


Рисунок 9.2 Векторная диаграмма последовательного соединения катушки индуктивности и конденсатора при $x_L > x_C$

Векторы активных составляющих напряжения направлены в одну сторону, поэтому их численные значения складываются.

Векторы реактивных составляющих напряжения направлены по одной прямой в противоположные стороны, поэтому им придают разные знаки: реактивное напряжение индуктивности считают положительным, а напряжение емкости - отрицательным.

При одинаковом токе во всех элементах цепи $U_L > U_C$. Ток отстает от общего напряжения по фазе на угол φ . Из треугольника напряжений следует:

$$U = \sqrt{(U_{1r} + U_{2r})^2 + (U_1 + U_c)^2} = I\sqrt{(r_1 + r_2)^2 + (x_L + x_C)^2},$$

или

$$U = I\sqrt{r^2 + x^2}$$

где $r=r_1 + r_2$ - общее активное сопротивление цепи;

$X = X_L - X_C$ - общее реактивное сопротивление цепи;

$z = \sqrt{r^2 + x^2}$ - полное сопротивление цепи.

Эти три сопротивления графически могут быть изображены сторонами прямоугольного треугольника сопротивлений, который можно получить уже известным способом из треугольника напряжений.

Полное сопротивление цепи z является коэффициентом пропорциональности между действующими значениями тока и общего напряжения цепи:

$$U=I \cdot z; \quad I=\frac{U}{Z}; \quad z=\frac{U}{I}$$

Из треугольников напряжений и сопротивлений определяют величины:

$$\cos\varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{r}{z}; \quad \sin\varphi = \frac{U_L - U_C}{U} = \frac{x_L - x_C}{z};$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_L - U_C}{U_a} = \frac{x_L - x_C}{r}$$

Угол сдвига по фазе между напряжением и током в цепи положительный ($\varphi > 0$).

Рассмотрим случай $x_L < x_C$. Векторная диаграмма изображена на рисунке 9.3 ($U_L < U_C$), поэтому общее напряжение отстает от тока на угол φ

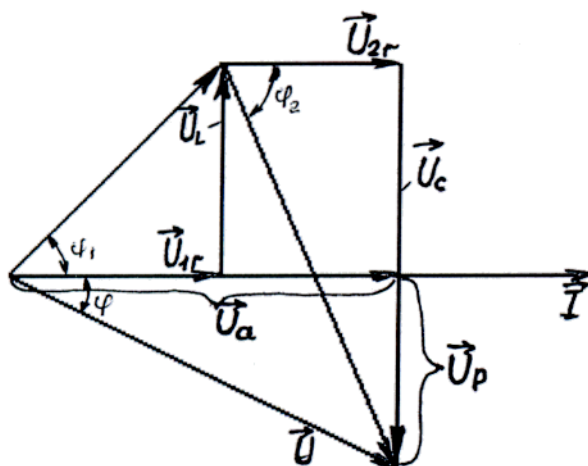


Рисунок 9.3 Векторная диаграмма цепи последовательного соединения катушки индуктивности и конденсатора при $X_L > X_C$

Реактивное сопротивление цепи носит емкостный характер.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
U, В	28	24	22	20	16	18
R, Ом	20	20	30	40	40	30
C, мкФ	30	100	30	90	40	110

4 Перечень приборов

- 1) Источник энергии переменного тока - ЗОВ.
- 2) Реостат - 1 шт.
- 3) Вольтметр - 1 шт. (0 ÷ 100)В
- 4) Ваттметр - 1 шт. (0 ÷ 1200)Вт
- 5) Амперметр - 1 шт. (0 ÷ 2)А
- 6) Катушка индуктивности - 1 шт.
- 7) Магазин сопротивлений - 1 шт.
- 8) Магазин емкостей - 1 шт. 121 мкФ

5 Порядок выполнения работы

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему.

- 3) Определить цену деления приборов, установить заданное преподавателем значение R.
- 4) Предъявить собранную электрическую схему для проверки.
- 5) Включить автомат переменного тока, установить с помощью реостата заданное напряжение и удерживать его в течении опыта постоянным.
- 6) С помощью магазина емкостей установить C, снять показания приборов, измерить переносным вольтметром и ваттметром падение напряжений и мощности на катушке, резисторе, конденсаторе. Записать показания приборов в таблицу 1.

Таблица 1- Параметры электрической цепи.

Участок цепи	U В	I А	P Вт	R _{ЭК} Ом	Z Ом	X Ом	U _a В	U _p В	S ВА	Q ВАр	tg φ	φ град	C мкФ

- 7) По измеренным и вычисленным данным построить векторные диаграммы напряжений. Диаграммы строить на миллиметровой бумаге в масштабе:
масштаб напряжения - $M_U = \text{В/см}$,
масштаб тока - $M_I = \text{А/см}$.
- 8) Расчетные формулы:

$$\begin{aligned}
P &= I^2 \cdot R; & R &= \frac{P}{I^2}; & Z &= \frac{U}{I}; & Z_k &= \frac{U_k}{I}; & \operatorname{tg} \varphi &= \frac{X_k - X_c}{R}; \\
X_c &= \frac{10^6}{314 \times C} \quad [C] = [\text{мкФ}]; & X_k &= \sqrt{Z_k^2 - R^2}; & X &= X_k - X_c; \\
Q_L &= U_L \cdot I; & Q_c &= U_c \cdot I; & Q &= Q_L - Q_c; & Q &= \sqrt{S^2 - P^2}; \\
S &= U \cdot I; & U_a &= I \cdot R; & U_p &= I \cdot X.
\end{aligned}$$

- 9) Сделать вывод.

6 Контрольные вопросы

- 1) Что такое реактивная энергия в цепи с индуктивностью?
- 2) Как определить характер нагрузки?

3) Что означает $\varphi > 0$; $\varphi < 0$?

4) Какой сдвиг по фазе получен в лабораторной работе?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

Исследование электрической цепи в режиме резонанса напряжений

Цель работы: Формирование умений исследовать параметры неразветвленной цепи переменного тока в режиме резонанса напряжений.

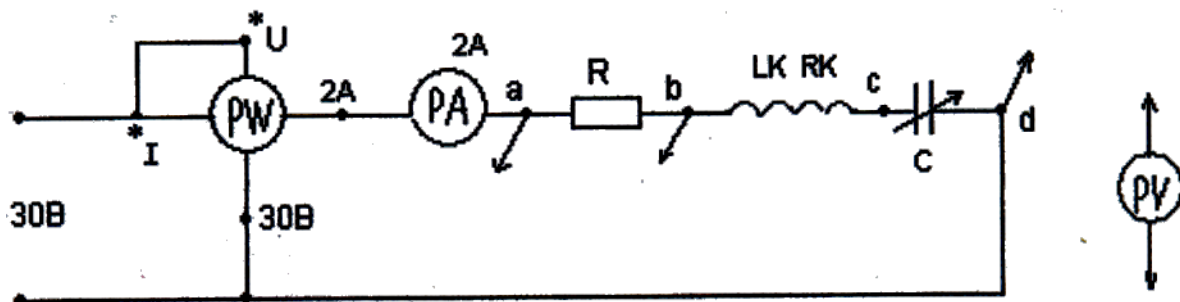
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Режим электрической цепи при последовательном соединении участков с индуктивностью и ёмкостью, характеризующийся равенством индуктивного и ёмкостного сопротивлений, называют **резонансом напряжений**.

При равенстве реактивных сопротивлений $x_L = x_C$ реактивные составляющие напряжения катушки и конденсаторы равны по величине и взаимно компенсированы: $U_L = U_C$ (рисунок 10.1). Поэтому реактивная составляющая общего напряжения и общее реактивное сопротивление равны

нулю, а полное сопротивление цепи $z = r$. Общее напряжение совпадает по фазе с током и равно по величине активной составляющей напряжения.

Угол сдвига фаз между током и общим напряжением равен нулю.

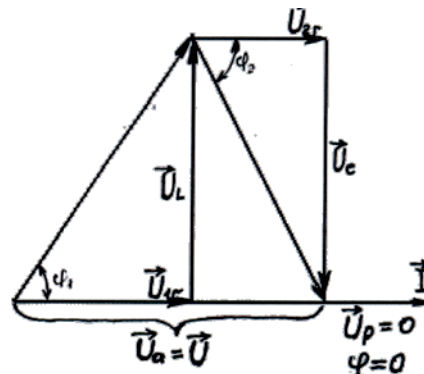


Рисунок 10.1- Векторная диаграмма цепи при последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора при $X_L = X_C$

Катушка и конденсатор представляют собой последовательный колебательный контур. Реактивные сопротивления X_L и X_C зависят от частоты

$$x_L = \omega L; \quad x_C = \frac{1}{\omega C}.$$

При резонансе напряжений $x_L = x_C$; $\omega = \omega_p$ $\omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$

Отсюда определяется резонансная частота

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

В данном случае выражение для резонансной частоты совпадает с формулой для частоты собственных колебаний в контуре без потерь.

В неразветвлённой цепи обмен энергией между катушкой и конденсатором совершается через источник энергии, который восполняет потери энергии в активных сопротивлениях.

Резонанс напряжений в цепи можно установить двумя путями:

- изменением параметров L и C (одного из них или обоих вместе) при постоянной частоте источника;

- или изменением частоты источника энергии при постоянных L и C .

Графики зависимости напряжений и токов на отдельных элементах цепи от частоты называются *резонансными кривыми* (рисунок 10.2).

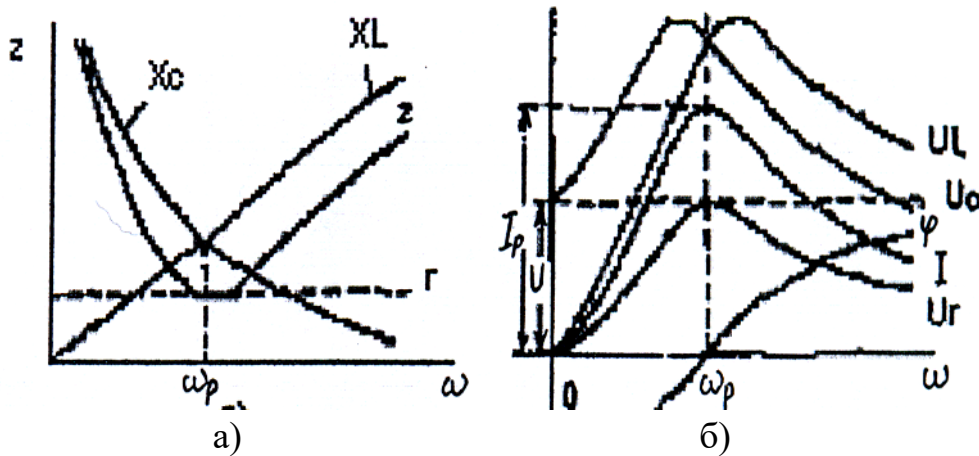


Рисунок 10.2 - Резонансные кривые:
а) сопротивления; б) напряжения и ток.

Реактивные сопротивления с изменением частоты изменяются: при увеличении частоты X_L увеличивается пропорционально частоте, а X_C уменьшается по закону обратной пропорциональности.

Полное сопротивление Z цепи при резонансной частоте ω_p минимальным, равным активному сопротивлению r ; при частоте $\omega < \omega_p$ полное сопротивление увеличивается с уменьшением частоты за счёт роста X_C ; при частотах $\omega > \omega_p$ полное сопротивление растёт с увеличением частоты за счёт роста X_L .

При постоянном напряжении ток достигает максимума на резонансной частоте. $I = U / Z = U / R$.

Резонанс напряжений может оказаться опасным в установках сильного тока, где его возникновение специально не предусматривается.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Сопротивление, R , Ом	40	35	15	20	25	30

4 Перечень приборов

- 1) Источник энергии переменного тока - 30 В.
- 2) Вольтметр - 1 шт. (0 ÷ 100) В.
- 3) Ваттметр - 1 шт. (0 ÷ 1200) Вт.
- 4) Амперметр - 1 шт. (0 ÷ 2) А.
- 5) Катушка - 1 шт.
- 6) Магазин ёмкостей - 1 шт. $C = 121$ мкФ.
- 7) Магазин сопротивлений - 1 шт.

5 Порядок выполнения работы:

Определить размещение приборов на столе.

- 1) Собрать электрическую схему цепи.
- 2) Определить цену деления приборов.
- 3) Предъявить собранную электрическую схему преподавателю.
- 4) Включить автомат переменного тока.
- 5) Записать показания приборов при шести значениях ёмкостей в таблицу 1.

Таблица 1- Параметры цепи.

	Установить			Измерить					Вычислить							
№	U В	R Ом	C мкФ	I А	P Вт	U _R В	U _K В	U _C В	Z Ом	cosφ	φ град	U _L В	U _a В	Q _L ВАр	Q _C ВАр	Q ВАр
1																
2																
3																
4																
5																
6																

- б) Вычислить параметры, результаты занести в таблицу 1.

$$Z_k = \frac{U_k}{I}; \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad U_L = I \cdot X_k; \quad U_{ak} = I \cdot R_k; \quad U_a = U_R + U_{ak};$$

$$X_c = \frac{10^6}{314 \times C} \quad U_C = I \cdot X_C; \quad Z = \frac{U}{I}; \quad Q_L = U_L \cdot I;$$

$$Q_C = U_C \cdot I; \quad Q = Q_L - Q_C; \quad S = U \cdot I;$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad X = X_L - X_C; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R + R_k}; \quad \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R + R_k}$$

7) По измеренным и вычисленным значениям построить в общих координатах графики резонансных кривых. Графики построить на миллиметровой бумаге.

$$U_L = f(C); U_C = f(C); U_a = f(C); I = f(C); P = f(C); Q = f(C); \cos\varphi = f(C).$$

8) Сделать вывод.

6 Контрольные вопросы

- 1) Какое явление в цепях переменного тока называют резонансным?
- 2) Перечислите параметры цепи при резонансе напряжений.
- 3) Какая мощность выделяется в цепи при резонансе напряжений?
- 4) Практическое значение резонанса напряжений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11

Исследование электрической цепи в режиме резонанса токов

Цель работы: Формирование умений осуществлять исследование параметров разветвленной цепи переменного тока в режиме резонанса токов.

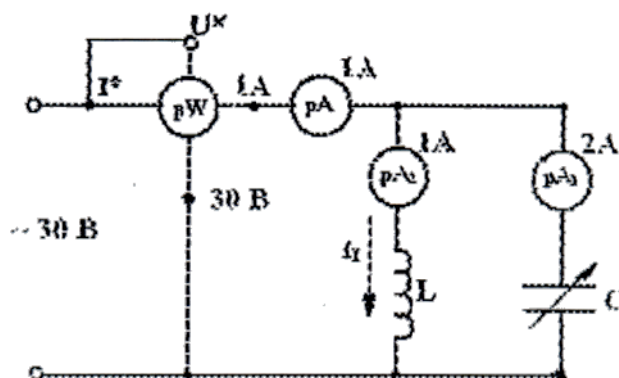
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

Разветвленная цепь.

Разветвленная цепь содержит ветви, соединенные параллельно. Для примера рассмотрим цепь (смотрите рисунок 11.1) в которой параллельно соединены резистор R_1 , индуктивная катушка R_3, L_3 , конденсатора без потерь C_2 .

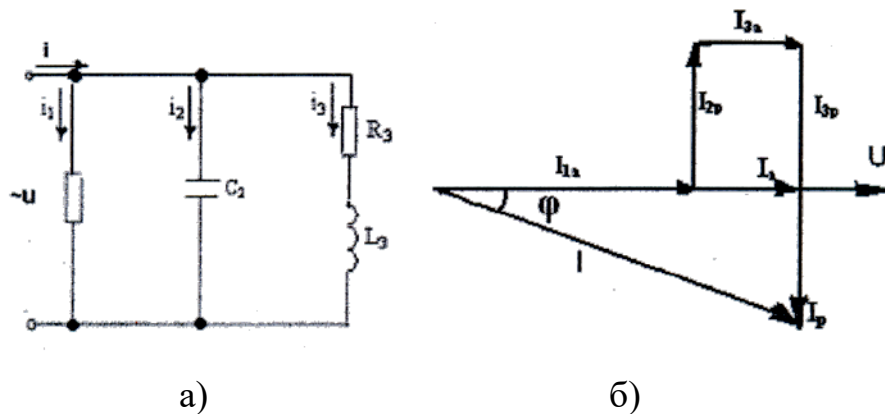


Рисунок 11.1- Разветвленная цепь: а) схема; б) векторная диаграмма.

Векторная диаграмма. Предположим, что напряжение в цепи выражается уравнением $u = U_m \sin \omega t$.

Мгновенное значение общего тока в неразветвленной части цепи равно сумме мгновенных значений токов в ветвях (по первому закону Кирхгофа):

$i = i_1 + i_2 + i_3 = i_{1a} + i_{2p} + i_{3a} + i_{3p}$ Для действующих значений запишем векторную сумму:

$$I = I_{1a} + I_{2p} + I_{3a} + I_{3p}$$

Для построения векторных диаграмм находим значения токов.

$$I_{1a} = I_1 = \frac{U}{R} = UG; \quad I_{3a} = I_3 \cos \varphi_3 = \frac{UR_3}{Z_3^2} = UG_3 \quad (1)$$

$$I_{3p} = I_3 \sin \varphi_3 = \frac{UX_3}{Z_3^2} = UB; \quad I_{2p} = I_2 = \frac{U}{X_2} = UB_2 \quad (2)$$

Где $G = \frac{1}{R_1}$ - активная проводимость первой ветви; $B_2 = \frac{1}{X_2}$ реактивная

(ёмкостная) проводимость второй ветви; $G = \frac{R_3}{Z_3^2}$ активная проводимость

третьей ветви; $B_3 = \frac{X_3}{Z_3^2}$ - реактивная (индуктивная) проводимость третьей ветви.

Векторная диаграмма на рисунке 11.1б соответствует полученному векторному уравнению токов. При её построении первым нанесён вектор напряжения, а затем проведены векторы активных и реактивных токов, причем, направления их относительно векторов напряжения определены по характеру проводимостей: активные токи I_{1a} ; I_{3a} совпадают по фазе с напряжением, индуктивный ток $I_{3L} = I_{3p}$ отстает от напряжения, а ёмкостный ток $I_{2c} = I_{2p}$ опережает напряжение на 90° . На векторной диаграмме видно, что активные токи I_{1a} ; I_{3a} направлены одинаково, вдоль вектора напряжения, поэтому векторное сложение их можно заменить арифметическим и найти активную составляющую вектора общего тока:

$$I_a = I_{1a} + I_{3a}$$

Векторы реактивных токов перпендикулярны вектору напряжения, но направлены в противоположные стороны. Поэтому векторная сумма их равна алгебраической сумме, в которой индуктивный ток принимают положительным, а ёмкостный - отрицательным:

$$I_p = I_{3p} - I_{2p} = I_{3L} - I_{2C}$$

Расчетные формулы.

Значение тока выражает гипотенуза прямоугольного треугольника, катетами которого являются векторы активного и реактивного токов. Действующее значение тока в цепи :

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{(I_{1a} + I_{3a})^2 + (I_{3L} - I_{2C})^2} \quad (3)$$

Уравнение тока $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$

Если величины токов выразить через напряжения [(1),(2)]и подставить в формулу (3), то получим:

$$I = U \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_3 - B_2)^2} \quad (4)$$

$$I = UY \quad (5)$$

где $Y = \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_3 - B_2)^2} \quad (6)$

Полная проводимость разветвленной цепи переменного тока. В общем случае

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}, \text{ где}$$

$$G = \sum_{i=1}^n G_n \quad B = \sum B_L - \sum B_C$$

Если стороны треугольника токов разделить на напряжение U, то получим треугольник проводимостей, подобный треугольнику токов (рисунок 11. 2а):

$$G = Y \cos \varphi \quad B = Y \sin \varphi, \quad \cos \varphi = \frac{G}{Y}$$

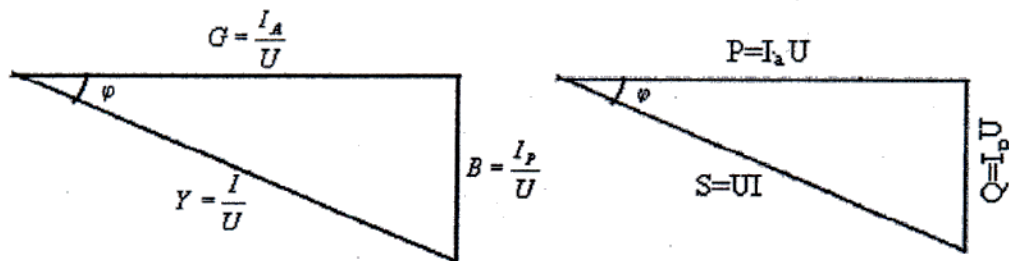


Рисунок 11.2 – а) Треугольник проводимостей;
б) Треугольник мощностей

Если стороны треугольника токов умножим на напряжение U, то получим треугольник мощностей подобный треугольнику токов (рисунок 11.2б).

В треугольнике мощностей один катет выражает активную мощность:

$$P = I_A U = (I_{1A} + I_{3A}) U = P_1 + P_3$$

Другой катет - реактивную $Q = I_P U = (I_3 - I_2) U = P_1 + P_3$

А гипотенуза - полная мощность

В общем случае $S = IU = \sqrt{(P_1 + P_3)^2 + (Q_L + Q_C)^2}$ (7)

$$\cos \varphi = \frac{\sum P}{S} \quad (8)$$

Резонанс токов.

В третьем случае $B_L = B_C$ напряжение во всех ветвях одно и то же, поэтому реактивные токи ветвей I_L и I_C равны по величине, но находятся в противофазе (рисунок 11.3)

Реактивный ток равен нулю: $\overline{I_P} = \overline{I_L} + \overline{I_C} = 0$ $I_P = I_L - I_C = 0$

Поэтому ток в цепи равен активной составляющей тока $I = I_A$

Реактивная проводимость $B = B_L - B_C = 0$, поэтому полная проводимость $Y = G$.

Реактивная мощность $Q = Q_L - Q_C = 0$ поэтому полная мощность $S = P$.

Напряжение $U = \frac{I}{G}$, совпадает по фазе с током, т.к. $\cos \varphi = \frac{G}{Y} = 1$, $\varphi = 0$

В данном случае рассматриваемая цепь находится в режиме резонанса токов. Явление резонанса в участке электрической цепи, содержащем индуктивный и емкостный элементы, соединенные параллельно при равенстве их проводимостей называется **резонансом токов**.

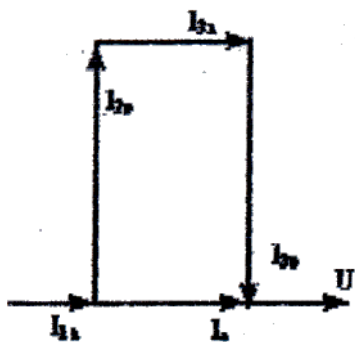


Рисунок 11.3 Векторная диаграмма при резонансе токов

На рисунке 11.4 показаны частотные характеристики такого параллельного контура. При резонансе токов общая проводимость цепи наименьшая и равна активной проводимости цепи $Y = G$, поэтому ток в цепи наименьший.

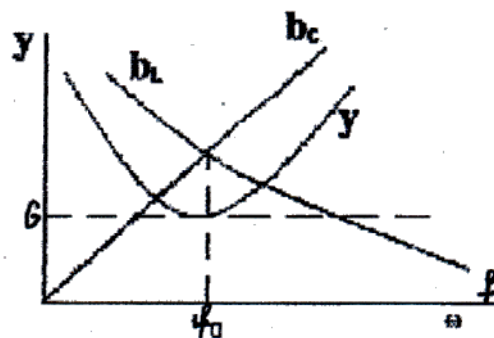
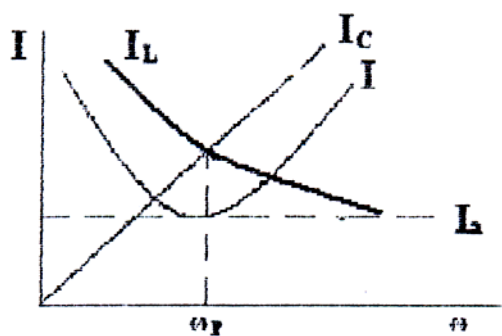


Рисунок 11.4 - Частотные характеристики параллельного контура.

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6
Напряжение, U, В	18	20	24	26	22	28

4 Перечень приборов:

- 1) Источник энергии переменного тока - 30 В
- 2) Реостат - 1 шт.
- 3) Вольтметр - 1 шт. (0÷100В).
- 4) Амперметр – 3шт. (0÷2А)
- 5) Катушка - 1 шт.
- 6) Магазин емкостей – 1 шт. C=121 мкФ

5 Порядок выполнения работы

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему.
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Предъявить собранную схему для проверки преподавателю
- 5) Включить автомат переменного тока измерить заданное напряжение
- 6) Снять показания приборов при шести значениях емкости. Показания записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Резонанс токов.

№ п/п	Установить		Измерить				Вычислить				
	U	C	I	I _l	I ₂	P	Z	X _C	cosφ	φ	Q
	В	мкФ	А	А	А	Вт	Ом	Ом		град.	ВАр
1											
2											
3											
4											
5											
6											

7) Выполнить расчеты параметров по формулам и занести в таблицу 1.

$$Z = \frac{U}{I}; \quad Z_k = \frac{U}{I_1}; \quad X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2}; \quad b_k = \frac{X_k}{Z^2}; \quad X_c = \frac{U}{I_2} = \frac{10^6}{3,14 \times C}$$

$$g_k = \frac{R_k}{Z_k^2}; \quad b_c = \frac{X_c}{Z_k^2}; \quad Q_k = U^2 \times b_k; \quad Q_c = U^2 b_c; \quad Q = Q_k - Q_c;$$

$$S = UI; \quad I_c = Ub_k; \quad I = Ug_k; \quad Z_k = \sqrt{R_k^2 + (X_k - X_c)^2}$$

8) По измеренным и вычисленным данным построить векторные диаграммы. Диаграммы построить на миллиметровой бумаге в масштабе.

9) Построить на одном поле графики:

$$I = f(C); \quad I_1 = f(C); \quad I_2 = f(C);$$

$$\varphi = f(C); \quad \cos \varphi = f(C); \quad Q = f(C);$$

10) Сделать вывод.

6 Контрольные вопросы

- 1) В каких электрических цепях может возникнуть резонанс токов?
- 2) Почему при резонансе токов, ток в конденсаторе или катушке может быть больше тока в неразветвленной части цепи?
- 3) В чем состоят особенности цепи при резонансе токов?
- 4) Как практически определить состояние цепи при резонансе токов?
- 5) Практическое применение резонанса токов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Исследование трехфазной цепи при соединении звездой.

Цель работы: Экспериментальное подтверждение расчета тока в нейтральном проводе при различных режимах работы трехфазной цепи.

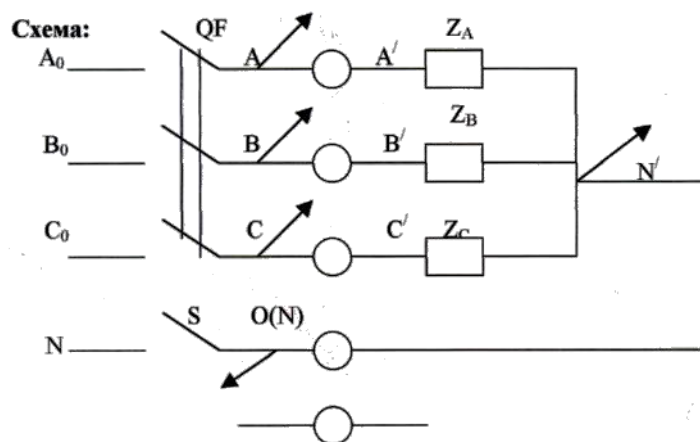
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема.



2 Теоретическое обоснование.

Под действием трехфазной системы ЭДС на зажимах трехфазного потребителя создается трехфазная симметричная система напряжений, сдвинутых по фазе на угол 120° , т. е. на угол $2\pi/3$, и имеющих одинаковые амплитудные и действующие значения (векторная диаграмма представлена на рисунке 12.1, $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$).

В трехфазной системе потребители электроэнергии соединяются звездой или треугольником. Передача электрической энергии от источника к потребителю в трехфазной трех проводной системе осуществляется с помощью линейных проводов.

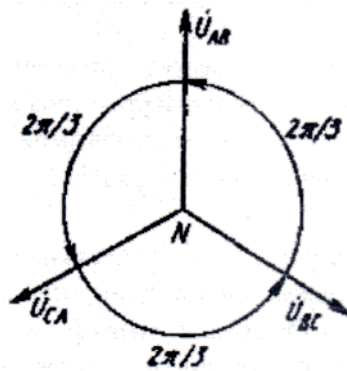


Рисунок 12.1- Симметричная система напряжений источника.

В четырех проводной трехфазной системе имеется четвертый, нейтральный (N-n) провод, соединяющий общие точки фаз источника N и потребителя n . Соединение, при котором концы всех трех фаз потребителя объединяют в общую точку n , называемую нейтральной точкой, а начала фаз подсоединяют к трехфазному источнику питания посредством линейных проводов, называется соединением звездой трехфазного потребителя (рисунок 12.2).

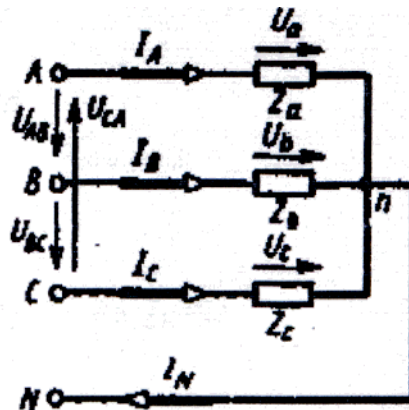


Рисунок 12.2 -Схема четырех проводной трехфазной цепи.

Токи I_A , I_B и I_C в соответствующих линейных проводах называются линейными, токи, протекающие по фазам, — фазными. Ток I_N в нейтральном проводе — нейтральным. При рассмотрении трехфазной системы исходим из предположения, что трехфазный источник является симметричным, фазные

напряжения которого равны между собой и сдвинуты по фазе относительно друг друга на угол 120° .

Напряжения между линейными проводами потребителя U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} называются линейными, а между началом и концом фаз потребителя, включенного звездой, U_A , U_B и U_C — фазными.

Из схемы рисунка 12.2 видно, что при соединении потребителя звездой по его фазам протекают те же токи I_A , I_B и I_C , что и по линейным проводам. Это означает, что при соединении потребителя звездой фазные токи оказываются равными соответствующим линейным токам: $I_\phi = I_L$. При этом по первому закону Кирхгофа для нейтральной точки n можно записать

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C = \vec{I}_N.$$

При соединении потребителя звездой, независимо от величины и характера сопротивлений его фаз, а также от того, имеется или отсутствует нейтральный провод, между линейными и фазными напряжениями потребителя существуют следующие соотношения, полученные по второму закону Кирхгофа: $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B$; $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C$; $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A$.

В большинстве практических случаев трехфазные потребители представляют собой симметричную нагрузку, подключенную к симметричному трехфазному источнику питания.

Нагрузка, при которой комплексные сопротивления всех фаз потребителя равны между собой ($Z_A = Z_B = Z_C$) называется симметричной. При этом $R_A = R_B = R_C$; $X_A = X_B = X_C$; $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{CA}$; $\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_C$.

Сопротивления линейных проводов, так же как и сопротивление нейтрального, обычно малы и ими можно пренебречь.

При соединении потребителя электроэнергии звездой при симметричной нагрузке между фазными и линейными напряжениями существует соотношение:

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi$$

Фазные токи потребителя определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_a = \dot{U}_A / \underline{Z}_A, \quad \dot{I}_B = \dot{U}_B / \underline{Z}_B, \quad \dot{I}_C = \dot{U}_C / \underline{Z}_C.$$

При этом напряжение между нейтральными точками $U_{nN}=0$. Так как фазные напряжения и фазные сопротивления потребителя электроэнергии равны между собой, то фазные токи при симметричной нагрузке также равны между собой $I_A = I_B = I_C = I_\phi$ и сдвинуты относительно фазных напряжений на равные углы $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_\phi$ определяемые из выражений

$$\operatorname{tg} \varphi_A = X_A / R_A = \operatorname{tg} \varphi_B = X_B / R_B = \operatorname{tg} \varphi_C = X_C / R_C.$$

При симметричной нагрузке ток в нейтральном проводе, определяемый как векторная сумма фазных токов, оказывается равным нулю, поэтому при симметричной нагрузке этот провод становится не нужным и применять его нет смысла. При несимметричной нагрузке комплексные сопротивления всех трех фаз в общем случае не равны между собой, т. е. $\underline{Z}_A \neq \underline{Z}_B \neq \underline{Z}_C$

Пренебрегая сопротивлениями линейных проводов, можно считать, что линейные напряжения потребителя независимо от характера нагрузки равны соответствующим линейным напряжениям генератора, т. е. система линейных напряжений и при несимметричной нагрузке симметрична.

При включении нейтрального провода и несимметричной нагрузке (сопротивлением нейтрального провода пренебрегаем) потенциал нейтральной точки потребителя n равен потенциалу нейтральной точки N генератора. Следовательно, фазные напряжения потребителя равны соответствующим фазным напряжениям генератора, а напряжение между нейтральными точками $U_{nN}=0$.

При наличии нейтрального провода и несимметричной нагрузке геометрическая сумма фазных токов трехфазной системы в соответствии с первым законом Кирхгофа для нейтральной точки равна току в нейтральном проводе

$$\vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C \neq 0$$

Векторная диаграмма для несимметричной нагрузки с нейтральным проводом имеет вид, представленный на рисунке 12.3а.

При отключении нейтрального провода потенциал нейтральной точки n потребителя электроэнергии не равен потенциалу нейтральной точки N генератора при несимметричной нагрузке, так как эти точки не соединены между собой. При этом нейтральная точка n на векторной диаграмме потребителя сместится из своего первоначального положения в другое (n'), при котором геометрическая сумма фазных токов потребителя равна нулю:

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

В этом случае векторная диаграмма принимает вид, представленный на рисунке 12.3б, из которой следует, что при несимметричной нагрузке в трехфазной системе без нейтрального провода фазные напряжения потребителя оказываются не равными друг другу. При этом на одних фазах может быть пониженное напряжение по сравнению с фазными напряжениями генератора, а на других — повышенное.

В этом случае между фазными токами, напряжениями и сопротивлениями существуют те же соотношения, обусловленные законом Ома, что и при симметричной нагрузке.

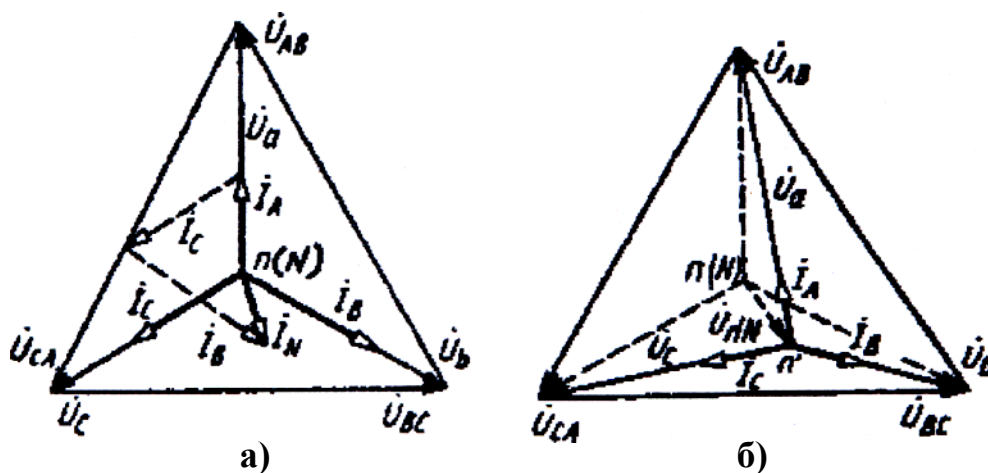


Рисунок 12.3 – а) Векторная диаграмма фазных токов при несимметричной активной нагрузке; б) Векторная диаграмма фазных напряжений при отключении нейтрального провода при несимметричной нагрузке.

3 Перечень приборов.

- 1) Трехфазный источник переменного тока, $U_{л}= 52В$; $f=50Гц$
- 2) Амперметр - 4 шт. ($0÷ 2$) А
- 3) Вольтметр - 1 шт. ($0÷ 100$) В
- 4) Магазин сопротивлений – 3 шт.

4 Порядок выполнения работы.

- 1) Определить на столе размещение приборов.
- 2) Собрать электрическую схему.
- 3) Определить цену деления приборов, установить на магазинах сопротивлений заданные параметры Z (см. табл. 1 ключ S включен).
- 4) Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
- 5) Установить величины нагрузок:
 - первый и второй опыты - симметричная нагрузка $Z_A = Z_B = Z_C$;
 - третий и четвертый опыты - несимметричная нагрузка $Z_A \neq Z_B \neq Z_C$;
 - пятый опыт - обрыв линейного провода фазы ($Z_{\phi} = \infty$);
 - шестой опыт - короткое замыкание одной из фаз $Z_{\phi} = 0$;
- 6) Включить автомат переменного тока, снять показания амперметров I_A , I_B , I_C и записать их в таблицу 1.
- 7) Измерить переносным вольтметром фазные U_A , U_B , U_C и линейные U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} напряжения, записать в таблицу 1.
- 8) Измерить ток нейтрального провода I_N (I_0) и напряжение смещения нейтрали U_N (U_0), данные записать в таблицу 1.

Таблица 1- Параметры трехфазной цепи.

Опыт	Нагрузка	Ключ S	I_A A	I_B A	I_C A	I_N A	U_A B	U_B B	U_C B	U_{NN} B	U_{AB} B	U_{BC} B	U_{CA} B
1	$Z_A =$	Вкл.											
2	$Z_B =$ $Z_C =$	Выкл.											
3	$Z_A =$	Вкл.											
4	$Z_B =$ $Z_C =$	Выкл.											
5	$Z_A =$	Вкл.											
6	$Z_B =$ $Z_C =$	Выкл.											

Для опытов № 1,3, 4, 5, 6 построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений.

9) Сделать вывод.

5 Контрольные вопросы

- 1) Какое из соединений трехфазной цепи называют соединением звездой?
- 2) Чему равно отношение при соединении звездой линейных и фазных токов и напряжений?
- 3) Что такое симметричная и не симметричная нагрузка?
- 4) Какую роль играет нейтральный провод?
- 5) Какое напряжение называют смещением нейтрали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13

Исследование трехфазной цепи при соединении треугольником

Цель работы: Экспериментальное подтверждение расчета линейных токов при различных режимах работы трехфазной цепи.

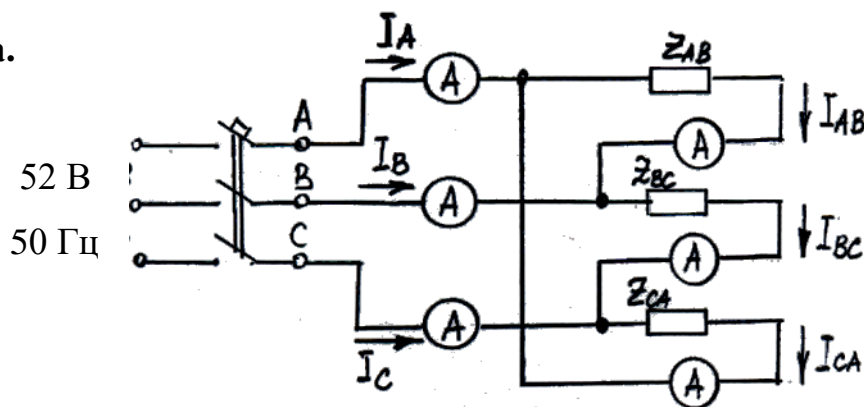
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема.



2 Теоретическое обоснование.

Для соединения фаз нагрузки треугольником необходимо начало фазы соединить с концом предыдущей, т.е. каждая фаза потребителя присоединяется соответственно к двум линейным проводам. Поэтому при соединении потребителя треугольником фазные напряжения оказываются равными соответствующим линейным напряжениям: $U_{\phi}=U_{\text{л}}$.

Фазные токи при соединении трехфазного потребителя треугольником не равны линейным, так как в начале каждой фазы потребителя имеется узел разветвления токов. При этом независимо от сопротивлений потребителя между фазными и линейными токами существуют соотношения, полученные на основании первого закона Кирхгофа для узлов разветвления токов:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{ab} - \dot{I}_{ca}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{bc} - \dot{I}_{ab}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{ca} - \dot{I}_{bc}.$$

Пользуясь указанными соотношениями, по векторам фазных токов, I_{ab} , I_{bc} , I_{ca} можно построить векторы линейных токов I_A , I_B и I_C .

Соотношения между фазными напряжениями, токами и сопротивлениями при соединении потребителя треугольником находят в соответствии с законом Ома:

$$I_{ab} = U_{ab} / Z_{ab}; \quad I_{bc} = U_{bc} / Z_{bc}; \quad I_{ca} = U_{ca} / Z_{ca}$$

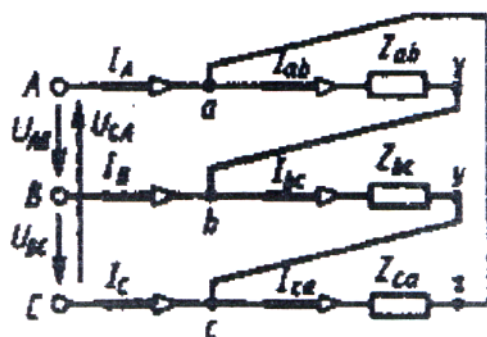


Рисунок 13.1 - Схема соединения фаз нагрузки треугольником.

На рисунке 1 принято: $\underline{Z}_{ab}=R_{ab}$, $\underline{Z}_{bc}=R_{bc}$, $\underline{Z}_{ca}=R_{ca}$. Углы сдвига по фазе между векторами фазных напряжений, \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{ca} и соответствующих фазных токов \dot{I}_{ab} , \dot{I}_{bc} , \dot{I}_{ca} определяются фазными сопротивлениями потребителя:

$$\varphi_{ab} = \arctg X_{ab} / R_{ab}; \quad \varphi_{bc} = \arctg X_{bc} / R_{bc}; \quad \varphi_{ca} = \arctg X_{ca} / R_{ca}.$$

При симметричной нагрузке комплексные сопротивления всех трех фаз одинаковы, т. е. $\underline{Z}_{ab}=\underline{Z}_{bc}=\underline{Z}_{ca}$. При этом как активные, так и реактивные сопротивления фаз потребителя равны: $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}$; $X_{ab}=X_{bc}=X_{ca}$, причем реактивные сопротивления имеют одинаковый (индуктивный или емкостный) характер. В этом случае фазные токи и соответствующие углы сдвига по фазе между фазными напряжениями и фазными токами будут равны между собой:

$$I_{ab}=I_{bc}=I_{ca}=I_{\phi}, \quad \varphi_{ab}=\varphi_{bc}=\varphi_{ca}=\varphi_{\phi}.$$

Таким образом, при соединении трехфазного потребителя электроэнергии треугольником при симметричной нагрузке токи всех трех фаз равны между собой и сдвинуты относительно соответствующих линейных напряжений на одинаковые углы. Из векторной диаграммы для симметричной нагрузки при соединении потребителя треугольником, представленной на рисунке 13.2 видно, что линейные токи оказываются равными и сдвинутыми относительно друг друга по фазе на угол 120° .

При этом между фазными и линейными токами существует соотношение:
 $I_L = \sqrt{3} I_{\phi}$

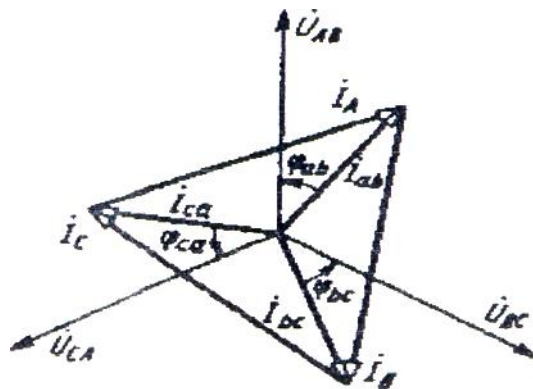


Рисунок 13.2 - Векторная диаграмма линейных токов для симметричной нагрузки фаз.

При несимметричной нагрузке фазные токи и углы сдвига по фазе между фазными токами и фазными напряжениями в общем случае не одинаковы. Так же как и при симметричной нагрузке, они могут быть определены по соответствующим формулам. Векторная диаграмма, построенная для случая несимметричной активной нагрузки трехфазного потребителя при соединении треугольником, представлена на рисунке 13.3.

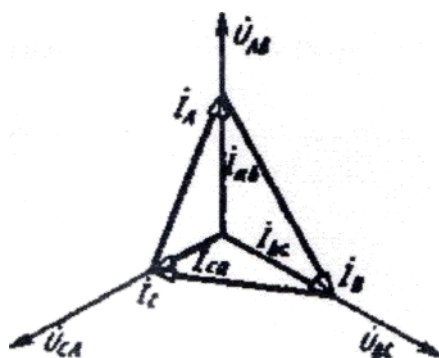


Рисунок 13.3- Векторная диаграмма линейных токов для несимметричной активной нагрузки.

Отключение нагрузки одной из фаз следует рассматривать как частный случай несимметричной нагрузки, когда сопротивление отключенной фазы равно бесконечности. В этом случае векторная диаграмма приобретает вид, представленный на рисунке 13.4 ($Z_{ab} = \infty$).

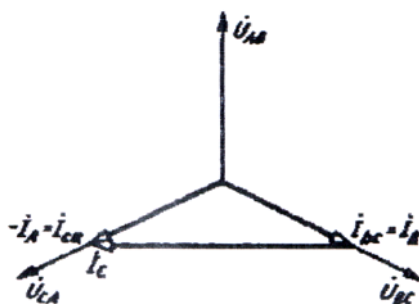


Рисунок 13.4- Векторная диаграмма линейных токов при холостом ходе фазы АВ.

При обрыве линейного провода в цепи трехфазного потребителя электроэнергии, соединенного треугольником, следует рассматривать его как

потребителя, подключенного к однофазному источнику (U_{bc}). Векторная диаграмма токов и напряжений для этого случая представлена на рисунке 13.5

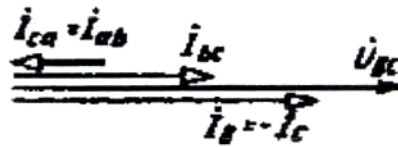


Рисунок 5- Векторная диаграмма линейных токов
при обрыве фазы АВ.

Активную мощность трехфазного потребителя электроэнергии в общем случае можно определить как сумму активных мощностей всех его фаз: при соединении звездой:

$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a \cos \varphi_a + U_b I_b \cos \varphi_b + U_c I_c \cos \varphi_c$$

при соединении треугольником:

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = U_{ab} I_{ab} \cos \varphi_{ab} + U_{bc} I_{bc} \cos \varphi_{bc} + U_{ca} I_{ca} \cos \varphi_{ca}.$$

При симметричной нагрузке фазные напряжения, токи и углы сдвига фаз оказываются равными. Вследствие этого равны также и активные мощности всех трех фаз потребителя электроэнергии. Активная мощность трехфазного потребителя независимо от схемы его соединения может быть найдена через линейные токи и напряжения:

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_\phi \text{ или } P = \sqrt{3} U I \cos \varphi_\phi.$$

Аналогично можно получить и формулу для реактивной мощности трехфазного потребителя при симметричной нагрузке:

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi.$$

Полная мощность трехфазного потребителя при симметричной нагрузке:

$$S = \sqrt{3} U I.$$

3 Перечень приборов

- 1) Трехфазный источник переменного тока с $U_\phi = 30 \text{ В}$, $U_L = 52 \text{ В}$; $f = 50 \text{ Гц}$
- 2) Амперметр - 6 шт. ($0 \div 2$) А

- 3) Вольтметр - 1 шт. (0÷100) В
- 4) Магазин сопротивлений - 3 шт.

4 Порядок выполнения работы работы.

- 1) Определить размещение на столе приборов.
- 2) Собрать электрическую схему.
- 3) Определить цену деления приборов, установить на магазинах сопротивлений заданные параметры нагрузки (см. табл. 1).
- 4) Предъявить собранную электрическую схему для проверки преподавателю.
- 5) Включить автомат переменного тока, снять показания приборов I_A , I_B , I_C , I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} измерить переносным вольтметром напряжение источника U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} четырех опытов.
 - первый опыт - симметричная нагрузка $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$
 - второй опыт - несимметричная нагрузка $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$
 - третий опыт - обрыв одного из фазных проводов $Z_{\phi} = \infty$
 - четвертый опыт - при несимметричной нагрузке $Z_{AB} \neq Z_{BC} \neq Z_{CA}$ обрыв одного из линейных проводов.

Результаты измерений четырех опытов записать в таблицу 1, провести вычисления.

Таблица 1.

№ опыта	Нагрузка	ИЗМЕРИТЬ									ВЫЧИСЛИТЬ			
		U_{AB} В	U_{BC} В	U_{CA} В	I_A А	I_B А	I_C А	I_{AB} А	I_{BC} А	I_{CA} А	P_{AB} Вт	P_{BC} Вт	P_{CA} Вт	P Вт
1	$Z_{AB}=$ $Z_{BC}=$ $Z_{CA}=$													
2	$Z_{AB}=$ $Z_{BC}=$ $Z_{CA}=$													
3	$Z_{AB}=$ $Z_{BC}=$ $Z_{CA}=$													
4	$Z_{AB}=$ $Z_{BC}=$ $Z_{CA}=$													

- 6) Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы токов и напряжений.
- 7) Сделать вывод.

5 Контрольные вопросы

- 1) Какое из соединений трехфазной цепи называют соединением в треугольник?
- 2) Чему равно отношение при соединении в треугольник линейных и фазных токов и напряжений?
- 3) Как определяется линейный ток при симметричной и несимметричной нагрузках?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14

Исследование характера потерь мощности в катушке с ферромагнитным сердечником.

Цель работы: Формирование умений проводить исследование характера мощности потерь в ферромагнитном сердечнике катушки.

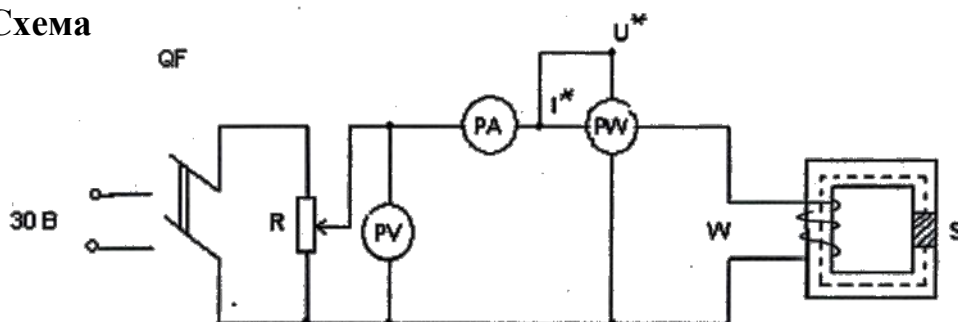
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

При исследовании электрических и магнитных полей было замечено, что тела из проводящих материалов (сталь, медь, алюминий), расположенные в изменяющемся магнитном поле, нагреваются. Причем, чем больше скорость изменения магнитного поля, тем больше степень нагревания проводников. Согласно закону электромагнитной индукции при возникновении переменного магнитного потока в различных слоях проводника возникают ЭДС электромагнитной индукции, под действием которых в слоях полупроводника протекают вихревые токи. Вихревые токи в соответствии с законом Джоуля-Ленца вызывают нагрев проводника. Для сердечников электрических машин такой нагрев нежелателен, так как создает опасный режим и непроизводительный расход энергии в устройствах и снижение КПД. В целях уменьшения потерь энергии сердечники устройств переменного тока собираются из листовой электротехнической стали, листы которой изолируют друг от друга специальными лаками (рисунок 14.1). Уменьшение токов таким способом достигается за счет того, что сплошные контуры цельного сердечника оказываются разрезанными на части, изолированные друг от друга. Толщина листа, а следовательно и ширина контура вихревого тока мала, а, следовательно малы и индуцированные в нем токи.

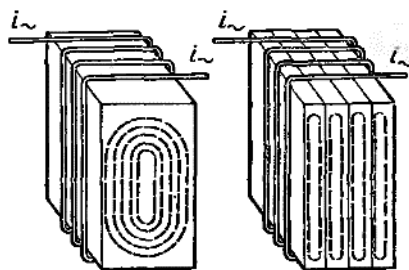


Рисунок 14.1 Вихревые токи в цельном и шихтованном сердечниках.

Если пренебречь неравномерностью распределения магнитного потока в поперечном сечении листов магнитопровода, то мощность потерь от вихревых токов можно подсчитать по следующей формуле:

$$P_B = \sigma_B f^2 B_m^2 G,$$

где σ_B - коэффициент вихревых токов, зависящий от сорта стали и толщины стальных листов;

f - частота тока;

B_m - амплитуда магнитной индукции;

G - масса сердечника.

Мощность потерь от гистерезиса описывается эмпирической формулой

$$P_H = \sigma_H f B_m^n G,$$

где σ_H - гистерезисный коэффициент, зависящий от сорта стали и размеров стальных листов (определяется экспериментально); n - показатель амплитуды магнитной индукции ($n = 1,6$ при $B_m < 1$ Тл и $n = 2$ при $B_m = 1 - 1,6$ Тл).

Для уменьшения потерь на гистерезис сердечники электротехнических устройств, работающих на переменном токе, изготавливают из магнитомягких ферромагнетиков с узкой петлей гистерезиса.

3 Перечень приборов:

- 1) Источник переменного тока 30В.
- 2) Вольтметр (0÷100)В.
- 3) Амперметр (0 ÷2) А .
- 4) Ваттметр (0 ÷12)Вт .
- 5) Реостат
- 6) Катушка со стальным сердечником.

Параметры катушки:

- а) количество витков $W=160$ витков.
- б) сечение сердечника $S=4,8$ см²
- в) вес стали $G= 0,5$ кг.
- г) сопротивление катушки $R= 1,2$ Ом.

4 Порядок выполнения работы

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему.
- 3) Определить цену деления приборов.
- 4) Предъявить собранную схему цепи для проверки преподавателя.
- 5) Включить автомат переменного тока, предварительно установив реостат в положение U . Изменяя напряжение, подводимое к катушке от нуля до максимально возможного напряжения, снять показания приборов, занести в таблицу 1.

Таблица 1- Потери в сердечнике.

Измерить					Вычислить			
№ опыта	U В	I А	P Вт	f Гц	P _{ст} Вт	P _м Вт	P _о Вт / кг	B _м Тл
1								
2								
3								
4								
5								
6								

По измеренным U , I , P , вычислить $P_{ст}$ - потери в стали, $P_{м}$ - потери в меди, P_0 – удельные потери, B_m - максимальное значение магнитной индукции.

$$P_{ст} = P - P_{м}; \quad P_{м} = I^2 R_k; \quad P_0 = \frac{P_{ст}}{G}; \quad B_m = \frac{U \times 10^4}{4,44 f W S}$$

- 6) По полученным данным построить графики:

$$I=f(U); \quad P_0=f(B_m).$$

- 7) Сделать вывод

5 Контрольные вопросы:

- 1) Какие нелинейные элементы применяются в цепях переменного тока и какие практические задачи в технике решаются с их помощью?
- 2) Как изменяется индуктивность катушки с ферромагнитным сердечником при изменении напряжения на ней?

- 3) Как влияет магнитный гистерезис на форму кривой тока в катушке со стальным сердечником?
- 4) Какие потери энергии называют потерями в стали и какие потерями в меди?
- 5) Что такое магнитное рассеяние?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №15

Исследование переходных процессов в активно – емкостной цепи.

Цель работы: Формирование умений получать экспериментальные графики переходных процессов в конденсаторе.

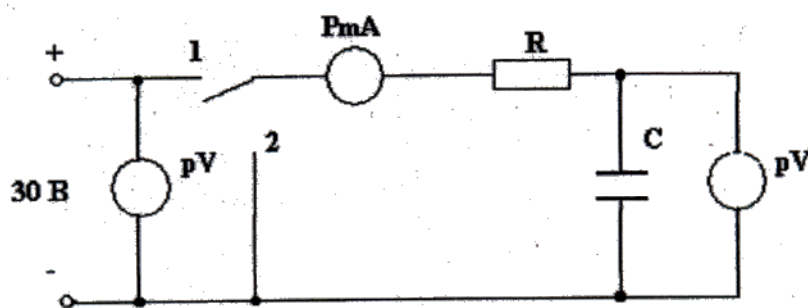
Знания (актуализация):

- физические процессы в электрических цепях;
- методы расчета электрических цепей

Умения:

- рассчитывать параметры и элементы электрических и электронных устройств;
- собирать электрические схемы и проверять их работу;
- измерять параметры электрических цепей.

1 Схема



2 Теоретическое обоснование.

В установившемся режиме напряжения и токи во всех участках электрической цепи остаются неизменными в течение сколь угодно большого промежутка времени. В понятие неизменных напряжений и токов в данном случае включаются не только постоянные, но и синусоидальные напряжения, и токи с постоянной амплитудой и частотой.

По условиям эксплуатации и характеру работы электроустановок или по другим (в том числе случайным) причинам происходит изменения режимов в электрических цепях.

Для перехода от одного установившегося режима к другому требуется некоторый переходный период, в течение которого величины токов и напряжений в электрической цепи изменяются.

Причины возникновения переходных процессов.

Электромагнитные процессы, происходящие в электрических цепях при переходе от одного установившегося режима к другому, называют *переходными процессами*.

Время, в течение которого продолжается переходный процесс в электрической цепи, называют переходным периодом. Величины токов и напряжений, изменяющиеся в течение переходного периода, называют переходными токами и напряжениями.

Переходные процессы возникают вследствие изменения э. д. с. в цепи, напряжения, приложенного к цепи, или в связи с изменением ее параметров — сопротивления, индуктивности или емкости.

Непосредственными причинами возникновения переходных процессов могут быть: коммутационные изменения режимов, т. е. включение и выключение источников питания, приемников энергии; короткие замыкания на участках электрических цепей; изменения механической нагрузки электродвигателей и др.

Продолжительность переходных процессов в электрических цепях чаще всего составляет десятые в сотые доли секунды. Однако знание характера их очень важно, так как и за малое время возможны резкие увеличения токов и напряжений, которые могут оказаться опасными для электрических установок.

В устройствах связи, автоматики, вычислительной техники, радиотехники с помощью переходных процессов формируются импульсы — сигналы, несущие определенную информацию.

Изучение переходных процессов в этих устройствах необходимо для оценки тех изменений, которые они могут внести в электрические сигналы.

Соотношение длительностей установившихся и переходных режимов может быть самым различным и зависит от условий эксплуатации и назначения электрических цепей. Одни из них по продолжительности практически все время работают в установившемся режиме (двигатели с длительной, не меняющейся нагрузкой, лампы электрического освещения), другие, наоборот, непрерывно находятся в переходном режиме (двигатели с повторно-кратковременной нагрузкой, линии связи во время передачи информации, импульсные устройства автоматики, вычислительные машины в период работы).

Второй закон коммутации.

Второй закон коммутации применяется к цепям, обладающим емкостью. Согласно этому закону, **напряжение на емкости не может измениться скачком**. Поэтому мгновенное значение напряжения на емкости в первый момент переходного периода остается таким, каким оно было в последний момент предшествующего установившегося режима.

Рассуждения, подтверждающие второй закон коммутации, проведем применительно к случаю зарядки конденсатора через резистор (включение цепи с r и C на постоянное напряжение, рисунок 15.1) до замыкания рубильника P установившийся режим характеризуется тем, что ток в цепи, напряжения на резисторе и конденсаторе равны нулю.

С момента замыкания рубильника возникает переходный процесс, в течение которого напряжение на конденсаторе увеличивается до напряжения источника U (конденсатор заряжается), изменяются ток и цепи и напряжение на резисторе.

Электрическое состояние цепи (рисунок 15.1) в любой момент переходного периода характеризуется уравнением, составленным по второму закону Кирхгофа:

$$U = u_c + u_r = u_c + ir$$

Ток в цепи пропорционален скорости изменения напряжения на конденсаторе:

$$i = C \frac{du_c}{dt} \quad (3)$$

Учитывая это, получим:

$$U = u_c + rC \frac{du_c}{dt} \quad (4)$$

Приложенное к цепи напряжение (напряжение источника) делится на две части: одна из них $(rC \frac{du_c}{dt})$ компенсирует падение напряжения в резисторе, а другая (u_c) равна напряжению в конденсаторе.

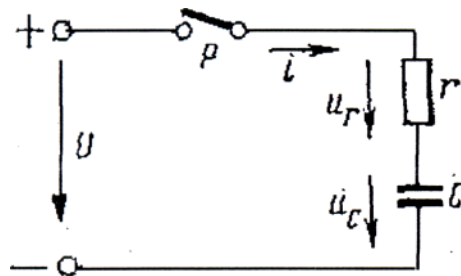


Рисунок 2.1- Зарядка конденсатора через сопротивление.

В установившемся режиме при замкнутом рубильнике Р напряжение на конденсаторе не изменяется, т. е. скорость изменения напряжения на конденсаторе равна нулю: $\frac{du_c}{dt} = 0$, поэтому и ток в цепи равен нулю: $i_{уст} = 0$. Напряжение на резисторе равно нулю, и, следовательно, напряжение источника полностью приложено к конденсатору: $u_{уст} = U$ (т. е. цепь разомкнута конденсатором).

Доказательства существования переходного периода при зарядке конденсатора аналогичны тем, которые ранее были приведены для цепи с катушкой индуктивности.

Предположим, что в момент замыкания рубильника Р напряжение на конденсаторе изменилось скачком от 0 до U . Такое предположение означает конечное изменение напряжения за время, равное нулю, т. е. $\frac{du_c}{dt} = \infty$, что противоречит уравнению (4), в котором напряжение источника является

конечной величиной. Кроме того, при изменении напряжения на конденсаторе скачком энергия электрического поля должна увеличиться мгновенно от 0 до

$W_э = \frac{CU^2}{2}$. Для такого скачкообразного изменения энергии требуется источник бесконечно большой мощности, чего не может быть в действительности. Из второго закона коммутации следует, что в начальный момент переходного периода (при $t=0$) напряжение на конденсаторе равно нулю ($u_{C0}=0$) (конденсатор как бы замкнут накоротко). Напряжение на резисторе равно напряжению источника $i_0 r = U$, а ток в цепи

$$i_0 = \frac{U}{r}$$

Уравнение кривых переходного тока и напряжения на конденсаторе

Закон изменения напряжения на конденсаторе и зарядного тока можно найти, решив дифференциальное уравнение (4). Путем разделения переменных это уравнение приводится к виду, удобному для интегрирования.

$$\frac{du_c}{U - u_c} = \frac{dt}{rC}$$

Интегрирование и последующие преобразования, приводит к решению уравнения в виде

$$u_c = U + K_4 e^{-\frac{t}{rC}},$$

где K_4 - постоянная интегрирования.

Из начальных условий ($t=0$, $U_{C0}=0$) находим: $K_4 = -U$.

Уравнение кривой напряжения на конденсаторе принимает вид

$$u_c = U(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (5)$$

Уравнение зарядного тока легко найти из предыдущего уравнения (5), если учесть выражение (3)

$$i = C \frac{du_c}{dt} = C \frac{d}{dt} \left[U \left(1 - e^{-\frac{t}{rC}} \right) \right] = \frac{CU}{rC} e^{-\frac{t}{rC}} \quad (6)$$

В дальнейшем для анализа переходных процессов при зарядке конденсаторов потребуется выражение скорости изменения напряжения на конденсаторе в

начальный момент времени. Это выражение нетрудно получить, используя

формулы (3) и (6):
$$\left(\frac{du_c}{dt}\right)_0 = \frac{i_0}{C} = \frac{U}{rC} \quad (7)$$

Графики зависимости напряжения на конденсаторе u_c и зарядного тока i_3 от времени изображены на рисунке 15.2.

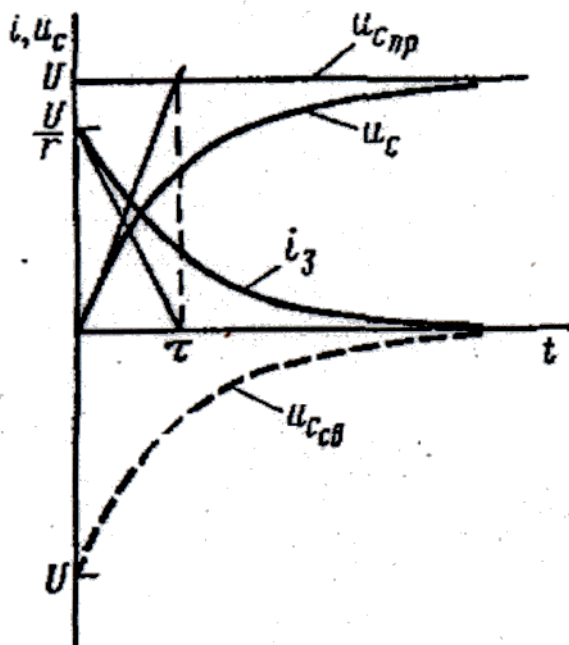


Рисунок 15.2 - График переходных напряжений и тока при зарядке конденсатора

Как видно из этих графиков, скорость увеличения напряжения на конденсаторе и скорость уменьшения зарядного тока непрерывно снижаются. Напряжение u_c и зарядный ток асимптотически стремятся к своим пределам: u_c — к величине напряжения источника U , а ток i — к нулю. Теоретически переходный процесс продолжается бесконечно долго, что подтверждают уравнения (5) и (6) ($u_c=U$, $i=0$, $t=\infty$). Однако практически считают, что переходный процесс заканчивается за время, равное $(4\div 5)\tau$. Величина τ в уравнениях (5) и (6) — постоянная времени цепи:

$$\tau = rC \quad (8)$$

Постоянная времени, которая зависит от параметров цепи r , C , как и в цепи с индуктивностью, является показателем продолжительности переходного процесса.

В уравнении (5) можно выделить принужденную и свободную составляющие напряжения на конденсаторе:

$$u_C = u_{Cnp} + u_{Cсв};$$

$$u_{Cnp} = U_{Cycm} = U; \quad (9)$$

$$u_{Cсв} = -Ue^{-\frac{t}{\tau}} \quad (10)$$

Зарядный ток состоит только из свободной составляющей

$$i = i_{св} = \frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

а принужденная составляющая $i_{np} = i_{ycm} = 0$.

Разрядка конденсатора на сопротивление.

Переходный процесс при разрядке конденсатора рассмотрим по схеме рисунка 7, предполагая, что заряженный до напряжения $u_{Cycm} = U$ конденсатор емкостью C отключается от источника энергии и его обкладки замыкаются на сопротивление r .

После переключения по схеме рисунок 15.3 конденсатор не может разрядиться мгновенно, т. е, напряжение u_C не может уменьшиться скачком до нуля, а поддерживается в течение переходного периода за счет энергии, накопленной в электрическом поле конденсатора.

При этом в активном сопротивлении r совершается необратимый процесс превращения электрической энергии в тепловую. Запас энергии в электрическом поле непрерывно сокращается, а вместе с этим уменьшается и напряжение на конденсаторе. Во время переходного периода конденсатор является источником энергии.

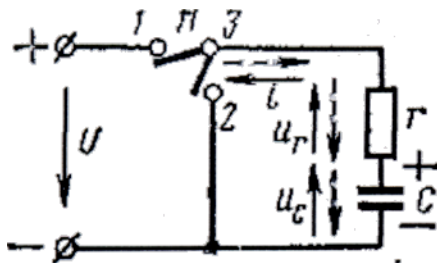


Рисунок 15.3 - Схема разрядки конденсатора

Характер изменения напряжения на конденсаторе при его разрядке можно установить пока без математического анализа несложными рассуждениями, предположив, что конденсатор замкнут на то же сопротивление r , через которое он заряжается.

В начальный момент переходного периода значение напряжения на конденсаторе сохраняется, как и следует из второго закона коммутации. В дальнейшем закон уменьшения напряжения будет определяться изменением энергии в электрическом поле конденсатора, подобно тому, как при зарядке изменением энергии электрического поля определяется свободная составляющая напряжения на конденсаторе (рисунок 15.4). Отличие заключается лишь в том, что при зарядке энергия в электрическом поле накапливалась, а при разрядке она расходуется. Графики, относящиеся к процессу зарядки, показаны пунктиром, а графики при разрядке — сплошными линиями).

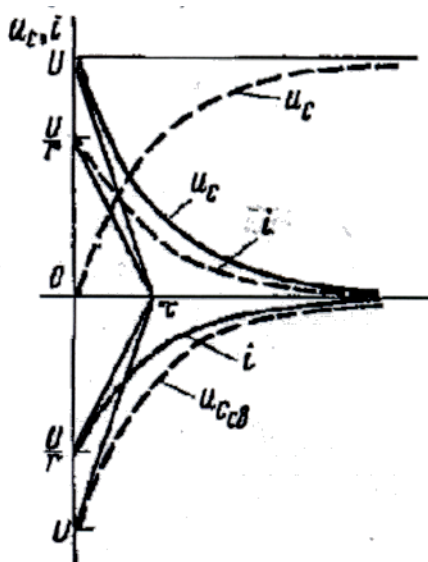


Рисунок 2.4 - Графики переходных напряжения и тока при разрядке конденсатора.

Касательная к графику u_c в точке с координатами $t=0, u_c = U$ отсечет на оси времени отрезок τ , выражающий постоянную времени цепи, которая и при разрядке алгебраически определяется формулой (13).

Уравнение напряжения на конденсаторе и тока в цепи при разрядке конденсатора. Для математического анализа переходного процесса при разрядке конденсатора исходным является уравнение (4), в котором для этого случая напряжение источника нужно считать равным нулю:

$$0 = u_c + rC \frac{du_c}{dt}$$

отсюда,

$$u_c = -rC \frac{du_c}{dt}$$

После разделения переменных получим

$$\frac{du_c}{u_c} = -\frac{dt}{rC}$$

После интегрирования получим

$$u_c = K_5 e^{-\frac{t}{rC}}$$

где K_5 — постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий: при $t = 0$ и $u_c = U$.

Подставляя начальные условия в последнее уравнение, найдем $K_5 = U$.

Следовательно, напряжение на конденсаторе при разрядке выражается уравнением

$$u_c = U e^{-\frac{t}{rC}} = U e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (11)$$

где $\tau = rC$ - постоянная времени цепи при разрядке конденсатора. Итак, напряжение на конденсаторе при разрядке уменьшается по экспоненциальному закону от значения $u_{co} = U$ до установившегося значения

$u_{\text{суст}}=0$. Сравнивая формулу (11) с выражением свободного напряжения на конденсаторе при зарядке, убеждаемся в том, что они одинаковы, если не учитывать изменения знака.

Длительность переходного процесса, как и при зарядке, теоретически равна бесконечности, а практически разрядка считается законченной при t , равном $(4 \div 5) \tau$.

Для разрядного тока выражение получается на основе закона Ома

$$i = -\frac{u_c}{r} = -\frac{U}{r} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (12)$$

3 Варианты заданий.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
R, МОм	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
C, мкФ	120	110	100	90	80	60	50	40

4 Перечень приборов.

- 1) Источник постоянного напряжения $U = 30 \text{ В}$.
- 2) Миллиамперметр (0 -н 0,03) мА
- 3) Резисторы.
- 4) Ключ - 1 шт.
- 5) Реостат - 1 шт.
- 6) Вольтметр - 1 шт.
- 7) Магазин емкостей - 1 шт.
- 8) Секундомер СМ - 60 - 1 шт.

5 Порядок выполнения работы.

- 1) Определить размещение приборов на столе.
- 2) Собрать электрическую схему цепи.
- 3) Определить цену деления приборов, установить заданное значение сопротивлений и емкостей.
- 4) Предъявить собранную схему для проверки преподавателю.
- 5) Включить автомат постоянного тока, установить по вольтметру заданное напряжение, вычислить постоянную времени τ .

- б) Произвести пробную зарядку и разрядку конденсатора, включая ключ S соответственно в положение 1 - зарядка, в положение 2 - разрядка, при этом каждые t секунд снимать показания миллиамперметра и вольтметра.

Снятые показания вольтметра и миллиамперметра записать в таблицу 1 .

Расчетные формулы:

1. для зарядки конденсатора

$$u_c = U - iR; \quad u_R = iR; \quad \tau = RC$$

2. для разрядки конденсатора

$$u_c = iR; \quad u_R = iR$$

- 7) Построить графики заряда и разряда конденсатора

- 8) Определить τ по графику.

- 10) Сделать вывод.

Таблица 1- Переходные процессы.

№ опыта	Установить			Заряд				Разряд			
				Измерить		Вычислить		Измерить		Вычислить	
	R МОм	C мкФ	U В	t с	i мкА	U _c В	U _R В	t с	i мкА	U _c В	U _R В
1											
2											
3											
4											
5											
6											

6 Контрольные вопросы:

- 1) Какой режим в электрической цепи называется установившимся?
- 2) Какие процессы в электрических цепях называются переходными?
- 3) Назовите причины переходных процессов?
- 4) Почему ток в катушке и напряжение на конденсаторе не могут изменяться скачком?
- 5) Что такое постоянная времени τ в цепи с индуктивностью и в цепи с емкостью?

Рекомендуемая литература

Основные источники:

1. Лоторейчук, Е. А. Теоретические основы электротехники [Электронный ресурс] : учебник/ Е. А. Лоторейчук. - М.: ИД «ФОРУМ», 2019. - 317 с. - (Профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/992810>

2. Немцов М.В., Электротехника и электроника [текст]: учебник / М.В. Немцов, М.Л. Немцова.- 1-е изд.- М. : Академия, 2018. — 480 с.

3. Синдеев, Ю.Г. Электротехника с основами электроники [Текст] : учеб. пособие для СПО / Ю. Г. Синдеев. - Ростов н/Д. : Феникс, 2018. - 407 с. : ил

4. Методические рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине «Электротехника» для студентов специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) (базовая подготовка) [Текст] / В.В. Лыкова; ЮУрГТК. - Челябинск: РИО, 2019. - 105 с.

Дополнительные источники:

5. Гальперин М.В. Электротехника и электроника [Электронный ресурс]. Учебник. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. — 480 с. <http://znanium.com/catalog/product/1008791>

6. Ситников, А. В. Основы электротехники [Электронный ресурс] : учебник/ А. В. Ситников. - М. : НИЦ ИНФА-М, 2017. - 288 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/929965>

7. Славинский А.К., Туревский И.С.. Электротехника с основами электроники [Электронный ресурс]: учебное пособие - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 448 с.- Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/989315>

Интернет- ресурсы:

<https://www.window.edu.ru>

<https://www.electrolibrary.info>

<https://www.1elec.ru>

<https://www.1el.ru>

<https://www.electric-find.com>

<https://www.kgau.ru>

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

ОТЧЕТ

по выполнению лабораторных работ
по учебной дисциплине

«Электротехника»

Выполнил: _____

Группа: _____

Проверил: _____

Челябинск, 2019