

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г.Петровске
Е.А.Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.




МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по дисциплине

ОП.02 «Электротехника и электроника»

специальности

13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой)
комиссии общепрофессиональных
дисциплин, профессиональных модулей
специальностей
технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол № 13
Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка

Методические указания по выполнению практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электротехника и электроника», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 13.02.07
Электроснабжение (по отраслям)

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать коллегами, руководством, клиентами;

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста;

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей;

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях;

ОК 08. Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности;

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности

ПК 2.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

ПК 3.5. Выполнять проверку и анализ состояния устройств и приборов, используемых при ремонте и наладке оборудования;

Целью освоения учебной дисциплины «ОП. 02 Электротехника и электроника» является:

В результате «ОП. 02 Электротехника и электроника» студент должен освоить основной вид деятельности профессионального модуля» и соответствующие ему общие компетенции и профессиональные компетенции

При выполнении практических работ студент должен **знать**:

- классификация электронных приборов, их устройство и область применения;
- методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей;
- основные законы электротехники;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- основы теории электрических машин, принцип работы типовых электрических устройств;
- основы физических процессов в проводниках, полупроводниках и диэлектриках;
- параметры электрических схем и единицы их измерения;
- принципы выбора электрических и электронных устройств и приборов;
- свойства проводников, полупроводников, электроизоляционных, магнитных материалов;
- способы получения, передачи и использования электрической энергии;
- характеристики и параметры электрических и магнитных полей.

При выполнении практических работ студент должен уметь:

- подбирать устройства электронной техники, электрические приборы и оборудование с определенными параметрами и характеристиками;
- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи движения технологических машин и аппаратов;
- рассчитывать параметры электрических, магнитных цепей;
- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями;
- собирать электрические схемы;
- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы.

Содержание практических занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём практических занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность практического занятия - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению практических работ дисциплины ОП. 02 «Электротехника и электроника» содержит 6 практических занятий.

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению заданий, внимательно прочитайте данные рекомендации

1. Практические работы проводятся под наблюдением преподавателя. К выполнению практических работ обучающиеся допускаются только после прослушивания инструктажа по технике безопасности.

2. Все практические работы проводятся за партами учебного кабинета. Обучающимся не разрешается без уважительной причины отлучаться из кабинета до полного окончания практических работ.

3. Перед началом работы длинные волосы следует заколоть.

4. На рабочем месте должны находиться только необходимые для работы материалы и инструменты.

5. С ножницами следует пользоваться аккуратно, передавать их кольцами вперед.

6. Необходимо следить за чистотой рабочего места.

7. После завершения работы обучающиеся обязаны собрать инструменты, материалы, методические пособия и сдать их преподавателю, убрать рабочее место.

**Перечень практических работ
по дисциплине «электротехника и электроника»**

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: Расчет электростатической цепи

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: Расчет электрической цепи методом узловых и контурных уравнений

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Расчет электрической цепи методом контурных токов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема: Расчет неоднородной магнитной цепи

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: Сложение и вычитание синусоидальных величин

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: Расчет электрических цепей переменного тока

Тема: Расчет электростатической цепи

Цель работы: Научиться рассчитывать электростатические цепи.

Краткие теоретические основы

Электрическая емкость C тела определяет заряд, который нужно сообщить телу, чтобы вызвать повышение его потенциала на 1 В.

$$C = Q / \varphi \text{ или } C = Q / U.$$

Единицей емкости является кулон на вольт, или фарад: $[C] = 1 \text{ Кл} / 1 \text{ В} = 1 \text{ Ф}$.

На практике нужную емкость получают, прибегая к различным способам соединения стандартных конденсаторов.

Параллельное соединение.

При параллельном соединении конденсаторов потенциал пластин, соединенных с положительным полюсом источника, одинаков и равен потенциалу этого полюса (рис. 1.). Соответственно потенциал пластин, соединенных с отрицательным полюсом, равен потенциалу этого полюса. Следовательно, напряжение, приложенное к конденсаторам, одинаково. Общий заряд

$$Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Так как, $Q = CU$,

то $Q_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} U$; $Q_1 = C_1 U$; $Q_2 = C_2 U$; $Q_3 = C_3 U$ и $C_{\text{общ}} U = C_1 U + C_2 U + C_3 U$

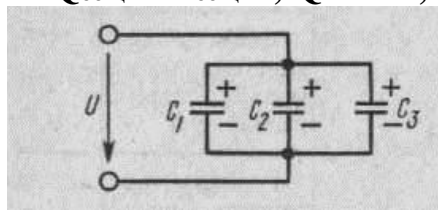


Рис. 1.

Таким образом, общая, или эквивалентная, емкость при параллельном соединении конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3. (1)$$

Из формулы (1) следует, что при параллельном соединении одинаковых конденсаторов емкостью C общая емкость

$$C_{\text{общ}} = nC. (2)$$

Последовательное соединение.

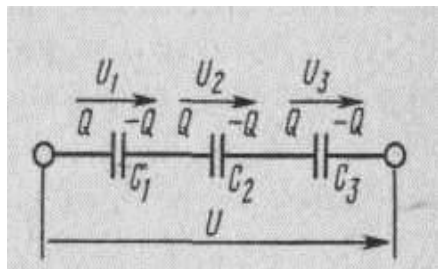


Рис. 2

При последовательном соединении конденсаторов (рис. 2) на пластинах будут одинаковые заряды. На внешние электроды заряды поступают от источника питания. На внутренних электродах конденсаторов C_1 и C_3 удерживается такой же

заряд, как и на внешних. Но поскольку заряды на внутренних электродах получены за счет разделения зарядов с помощью электростатической индукции, заряд конденсатора C_2 имеет такое же значение.

Найдем общую емкость для этого случая.

Так как $U = U_1 + U_2 + U_3$,

где $U = Q/C_{\text{общ}}$; $U_1 = Q/C_1$; $U_2 = Q/C_2$; $U_3 = Q/C_3$,

то $Q/C_{\text{общ}} = Q/C_1 + Q/C_2 + Q/C_3$. Сократив на Q , получим

$$1/C_{\text{общ}} = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3. \quad (3)$$

При последовательном соединении двух конденсаторов, используя (3), найдем $C_{\text{общ}} = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$. (4)

При последовательном соединении n одинаковых конденсаторов емкостью C каждый общая емкость $C_{\text{общ}} = C/n$.

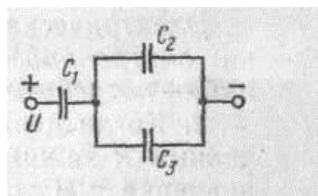
При зарядке конденсатора от источника питания энергия этого источника преобразуется в энергию электрического поля конденсатора:

$$W_c = CU^2/2, \quad (5)$$

или с учетом того, что $Q = CU$,

$$W_c = QU/2. \quad (6)$$

Пример выполнения



К батарее конденсаторов (см. рис.3) приложено напряжение $U = 100$ В.

Определить напряжение и заряд каждого конденсатора, если $C_1 = 4 \text{ мкФ}$; $C_2 = 1 \text{ мкФ}$; $C_3 = 5 \text{ мкФ}$.

Рис.3

Решение:

1. Прежде всего определим эквивалентную емкость батареи конденсаторов. Так как C_2 и C_3 включены параллельно, $C_{2,3} = C_2 + C_3 = 1 + 5 = 6 \text{ мкФ}$. Конденсаторы C_1 и $C_{2,3}$ включены последовательно и поэтому эквивалентная емкость $C_{\text{общ}} = C_1 C_{2,3} / (C_1 + C_{2,3}) = 4 \cdot 6 / (4 + 6) = 2,4 \text{ мкФ}$
2. Теперь определим электрический заряд батареи конденсаторов $Q_{\text{общ}} = Q_1 = Q_{2,3}$, так как C_1 и $C_{2,3}$ включены последовательно $Q_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} U = 2,4 \cdot 100 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, таким образом, $Q_1 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.
3. Найдем напряжения на C_1 и параллельно включенных C_2 и C_3 :

$$U_1 = Q_1 / C_1 = 240 / 4 = 60 \text{ В};$$

$$\text{так как } U = U_1 + U_{2,3}, \quad U_{2,3} = U - U_1 = 100 - 60 = 40 \text{ В}.$$

4. Зная напряжение $U_{2,3}$, определим Q_2 и Q_3 : $Q_2 = C_2 U_{2,3} = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 40 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, так как $Q_{\text{общ}} = Q_2 + Q_3$; $Q_3 = Q_{\text{общ}} - Q_2 = 240 \cdot 10^{-6} - 40 \cdot 10^{-6} = 200 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.

Примечание: напряжения на участках C_1 и $C_{2,3}$ можно определить, исходя из соотношения:

$$U_1 / U_{2,3} = C_{2,3} / C_1 \quad \text{или} \quad U_1 / (U - U_1) = C_{2,3} / C_1$$

Решая это уравнение относительно U_1 , получим

$$U_1 = C_{2,3} U / (C_1 + C_{2,3}) = 6 \cdot 100 / 10 = 60 \text{ В}.$$

Задание на практическую работу

К смешанно соединенным конденсаторам с емкостями C_1 , C_2 , C_3 и C_4 подвели напряжение U . Определить эквивалентную емкость цепи, заряд и энергию электрического поля каждого конденсатора.

Тема: Расчет электрической цепи методом узловых и контурных уравнений

Цель работы: научиться рассчитывать сложные электрические схемы постоянного тока методом узловых и контурных уравнений (МУКУр)

Задание

- Записать название работы, тему и цель работы
- рассмотреть и записать в конспект приведенный пример
- решить индивидуальное задание

Методика расчета сложной цепи методом узловых и контурных уравнений

Данный метод является одним из самых простейших методов расчёта электрических цепей постоянного тока любой сложности. Основывается на составлении уравнений по I и II законам Кирхгофа.

Алгоритм расчёта:

1. Определяем число ветвей m , узлов и контуров в электрической цепи. Число токов в цепи равно числу ветвей. Для каждой ветви выбираем условное направление тока и укажем их на схеме.
2. По первому закону Кирхгофа составляем уравнение для узлов в количестве $n - 1$, где n – число узлов.
3. На основании II закона Кирхгофа составляем $m - n + 1$ уравнений, где m – число ветвей, n – число узлов. Для обхода выбираем контуры с меньшим числом ветвей и содержащих хотя бы одну новую ветвь. Контур обходим по часовой стрелке.
4. Полученные уравнения объединяем в систему и решаем любым способом, известным из математики.

Пример

Определить токи во всех ветвях цепи (рисунок 3), если Э.Д.С. источников энергии $E_1 = 150\text{В}$, $E_2 = 80\text{В}$, их внутренние сопротивления $R_{01} = 1\text{ Ом}$, $R_{02} = 0.5\text{ Ом}$; сопротивления резисторов $R_1 = 9\text{ Ом}$, $R_2 = 19.5\text{ Ом}$, $R_3 = 25\text{ Ом}$. Задачу решить методом узловых и контурных уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Составить уравнение баланса мощностей.

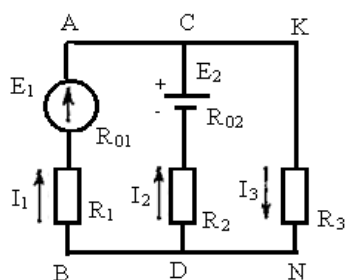


Рисунок 3 - Электрическая схема

Решение

1. На схеме произвольно показываем направления токов ветвей.

2. В задаче три неизвестных тока, для их нахождения необходимо составить систему из трех уравнений.

Первое уравнение составим для узловой точки С по первому закону Кирхгофа:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

второе уравнение составим для контура ACDBA по второму закон Кирхгофа; направление обхода контура примем «по часовой стрелке»

$$E_1 - E_2 = I_1 (R_1 + R_{01}) - I_2 (R_2 + R_{02});$$

третье уравнение составим для контура CKNDС по второму закону Кирхгофа; направление обхода контура примем «по часовой стрелке»:

$$E_2 = I_2 (R_2 + R_{02}) + I_3 R_3.$$

3. Подставляем исходные данные в полученную систему из трех уравнений и находим значения токов ветвей:

$I_1 + I_2 - I_3 = 0$	(1)	$I_1 + I_2 - I_3 = 0$	(1)
$E_1 - E_2 = I_1 (R_1 + R_{01}) - I_2 (R_2 + R_{02})$	(2)	$150 - 80 = I_1 (9 + 1) - I_2 (19.5 + 0.5)$	(2)
$E_2 = I_2 (R_2 + R_{02}) + I_3 R_3$	(3)	$80 = I_2 (19.5 + 0.5) + I_3 25$	(3)

Из второго уравнения получаем:

$$70 = 10 I_1 - 20 I_2; \quad I_1 = \frac{70 + 20 \cdot I_2}{10} = 7 + 2 I_2$$

Из третьего уравнения получаем:

$$80 = 20 I_2 + 25 I_3; \quad I_3 = \frac{80 - 20 \cdot I_2}{25} = 3.2 - 0.8 I_2$$

Подставляем выражения I_1 и I_3 в первое уравнение и находим ток I_2 :

$$I_2 + 7 + 2 I_2 - 3.2 + 0.8 I_2 = 0; \quad 3.8 I_2 = -3.8; \quad I_2 = -1 \text{ A}$$

Определяем токи I_1 и I_3 :

$$I_1 = 7 + 2 \cdot (-1) = 5 \text{ A}; \quad I_3 = 3.2 - 0.8 \cdot (-1) = 4 \text{ A}.$$

Проверка по первому закону Кирхгофа: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$; $5 - 1 - 4 = 0$.

Ток I_2 получился отрицательным, это значит, что первоначально произвольно принятое направление тока I_2 от точки Д к точке С оказалось неверным и должно быть изменено на противоположное. При этом ток I_2 будет направлен против направления Э.Д.С. E_2 , следовательно, источник с Э.Д.С. E_2 находится в режиме потребителя (например, заряд батареи аккумуляторов)

Индивидуальные задания для практической работы №15

Задача На рисунке 4 изображена схема сложной электрической цепи: E_1 , E_2 – Э.Д.С. источников энергии; R_{01} , R_{02} – их внутренние сопротивления; R_1 , R_2 , R_3 – сопротивления резисторов.

Числовые значения этих параметров указаны в таблице 1

Начертить схему цепи; показать направление токов в ветвях. Определить токи ветвей I_1 , I_2 , I_3 методом узловых и контурных уравнений.

Составить уравнение баланса мощностей

Указание:

1. Перед решением задачи изучите методические указания к решению задачи и решение типового примера.
2. В задаче **обязательно** вычертить электрическую схему, соответствующую условию задачи, и показать на ней заданные и искомые величины, а также направление токов. Привести данные своего варианта.
3. Решение задачи сопровождается краткими пояснениями.
4. Текст, формулы, числовые выкладки должны быть четкими без помарок. Цифровая подстановка в уравнении должна даваться один раз без промежуточных сокращений и расчетов. Численное значение каждого символа должно обязательно занимать то же место в формуле, что и сам символ. Все расчеты необходимо вести в системе СИ. Буквенные обозначения единиц измерения ставятся только возле окончательного результата и в скобки не заключаются, например, 120 В, 13 А, 100 Вт.

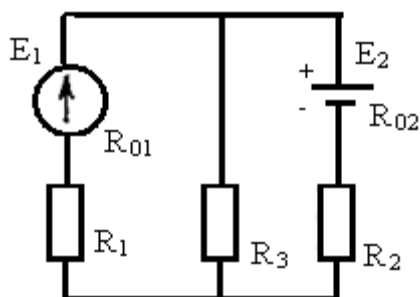


Рисунок 4 - Электрическая схема

Таблица 1 - Исходные данные к задаче

№ вар	E_1 , В	E_2 , В	R_{01} , Ом	R_{02} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	Метод расчета
----------	-----------	-----------	------------------	------------------	---------------	---------------	---------------	---------------

№ вар	E₁, В	E₂, В	R₀₁, Ом	R₀₂, Ом	R₁, Ом	R₂, Ом	R₃, Ом	Метод расчета
1, 5, 9, 13, 17, 21, 25	85	200	0,3	2,0	12,0	1,7	12,0	Метод узловых и контурных уравнений
2, 6, 10, 14, 18, 22, 26	55	120	0,2	0,5	6,0	15,0	6,0	
3, 7, 11, 15, 19, 23	105	146	2,0	2,0	50,0	4,5	50,0	
4, 8, 12, 16, 20, 24	80	34	0,5	0,3	20,0	19,0	20,0	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Расчет электрической цепи методом контурных токов

Цель работы: научиться рассчитывать сложные электрические схемы постоянного тока методом контурных токов (МКТ)

Задание

- Записать название работы, тему и цель работы
- рассмотреть и записать в конспект приведенный пример
- решить индивидуальное задание

Краткие теоретические сведения

Решение задачи требует знания закона Ома, формул мощности, законов Кирхгофа, свойств последовательного и параллельного, соединения резисторов.

В электрической цепи за положительное направление ЭДС E принимается направление, совпадающее с силой, действующей на положительный заряд, т.е. от «-» источника к «+» источника питания.

За положительное направление напряжения U принято направление, совпадающее с направлением действия электрического поля, т.е. от «+» к «-» источника.

За положительное направление тока I принято направление, совпадающее с перемещением положительных зарядов, т.е. от «+» к «-» источника.

Электродвижущая сила источника в электрической цепи может иметь одинаковое и противоположное направление с током. В первом случае источник ЭДС работает в режиме генератора, т.е. является источником электрической энергии. При этом ЭДС оказывается больше напряжения на его зажимах ($E > U$). При направлении ЭДС в цепи противоположно току источник становится потребителем электрической энергии, и ЭДС оказывается меньше напряжения U на зажимах источника ($E < U$) на величину внутреннего падения напряжения IR_0 , где R_0 – внутреннее сопротивление источника.

При расчетах электрических цепей реальные источники электрической энергии заменяются схемами замещения. Схема замещения источника ЭДС содержит ЭДС и внутреннее сопротивление R_0 источника, которое много меньше сопротивления R_n потребителя электроэнергии ($R_0 \ll R_n$). При расчетах часто приходится внутреннее сопротивление источника ЭДС приравнять нулю.

В идеализированном источнике ЭДС падение напряжения на внутреннем сопротивлении $IR_0 = 0$, при этом напряжение на зажимах источника $U = const$ не зависит от тока I и равно ЭДС источника ($U = E$). В этом случае источник электроэнергии работает в режиме, близком к режиму холостого хода.

В источниках тока внутреннее сопротивление во много раз превосходит сопротивление потребителя электроэнергии ($R_0 \gg R_n$), при этом в источнике тока ток является величиной практически постоянной, не зависящей от нагрузки ($j = const$).

Реальный источник электрической энергии можно представить в схеме замещения последовательным соединением идеального источника ЭДС и внутреннего сопротивления R_0 .

Для участка цепи, не содержащего источник энергии (например, для схемы пассивного участка на рис. 1), связь между током I и напряжением U_{12} определяется законом Ома для участка цепи

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{\Sigma R} = \frac{U_{12}}{\Sigma R}$$

где φ_1 и φ_2 – потенциалы точек 1 и 2 цепи соответственно; $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$ – напряжение (разность потенциалов) между точками 1 и 2 цепи; ΣR – арифметическая сумма сопротивлений на участке цепи; R_1 и R_2 – сопротивления участков цепи.

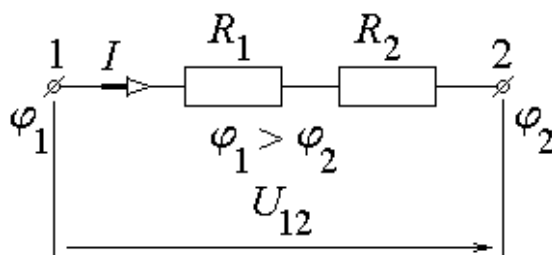


Рисунок 1 - Электрическая схема пассивного участка

Для участка цепи, содержащего источники ЭДС (рис. 2), т.е. для активного участка цепи, связь между током I , напряжением U_{12} и ЭДС источников определяется обобщенным законом Ома

$$I = \frac{U_{12} + \Sigma E}{\Sigma R}$$

где ΣE – алгебраическая сумма всех ЭДС участка цепи, причем со знаком «+» в нее входят ЭДС, совпадающие с направлением тока и со знаком «-» в нее входят ЭДС, не совпадающие с направлением тока.

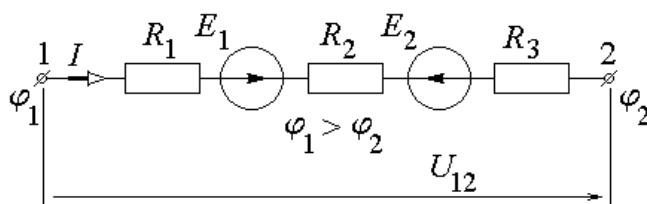


Рисунок 2 - Электрическая схема участка цепи, содержащего источники ЭДС

На основании закона сохранения энергии мощность, развиваемая источниками электрической энергии, должна быть равна мощности преобразования в цепи электрической энергии в другие виды энергии

$$\Sigma EI = \Sigma (I^2 \cdot R),$$

где ΣEI – сумма мощностей, развиваемых источниками;

$\Sigma(I^2 \cdot R)$ – сумма мощностей всех приемников и необратимых преобразований энергии внутри источников (потери мощности на внутренних сопротивлениях).

Приведенное равенство называется **балансом мощностей** электрической цепи.

Если положительное направление тока совпадает с направлением ЭДС и в результате расчета получено положительное значение тока, то источник вырабатывает (генерирует) электрическую энергию, т.е. работает в режиме генератора. Если же получено отрицательное значение тока, то произведение EI отрицательно, т.е. источник работает в режиме потребителя и является приемником электрической энергии (например, электродвигатель, аккумулятор в режиме зарядки).

В любой электрической цепи в соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма токов, направленных к узлу разветвления, равна нулю:

$$\Sigma I_k = 0$$

где I_k – ток в k -й ветви.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа алгебраическая сумма ЭДС ΣE_j в любом замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме напряжений ΣU_i и алгебраической сумме падений напряжений в этом контуре $\Sigma(I_k \cdot R_k)$

$$\Sigma E_j = \Sigma U_i + \Sigma(I_k \cdot R_k),$$

где R_k – сопротивление участка цепи рассматриваемого контура;

I_k – ток в сопротивлении R_k .

При расчете электрических цепей любым методом выбирают условно положительные направления токов, ЭДС и напряжений на участках цепи, которые обозначают стрелками на схеме, затем выбирают замкнутые контуры и задаются положительным направлением обхода контуров. При этом для удобства расчетов направление обхода для всех контуров рекомендуется выбирать одинаковым (например, по часовой стрелке).

Задача предусматривает расчет сложной электрической цепи. Сложные цепи имеют несколько замкнутых контуров, электрически связанных друг с другом. В ветвях контуров, где находятся источники Э.Д.С. и резисторы, протекают разные по величине токи.

Методика расчета сложной цепи методом контурных токов

Метод контурных токов используется для расчета резистивных линейных цепей с постоянными токами и для расчета комплексных схем замещения линейных цепей с гармоническими токами. При этом в расчет вводятся контурные токи – это фиктивные токи, которые замыкаются в независимых замкнутых контурах, отличающихся друг от друга наличием хотя бы одной новой ветви.

Контурный ток - это величина, которая одинакова во всех ветвях данного контура. Обычно в расчетах они обозначаются двойными индексами, например I_{11} , I_{22} и т.д.

Действительный ток в определенной ветви определяется алгебраической суммой контурных токов, в которую эта ветвь входит. Нахождение действительных токов и есть первоочередная задача метода контурных токов.

Контурная ЭДС - это сумма всех ЭДС входящих в этот контур, причем, со знаком «плюс» записываются ЭДС, действующие в направлении контурного тока, со знаком «минус» - направленные против контурного тока.

Собственным сопротивлением контура называется сумма сопротивлений всех ветвей, которые в него входят.

Общим сопротивлением контура называется сопротивление ветви, смежное (принадлежащее) двум контурам.

В методе контурных токов за неизвестные величины принимаются расчетные (контурные) токи, которые якобы протекают в каждом из независимых контуров. Таким образом, количество неизвестных токов и уравнений в системе равно числу независимых контуров цепи.

Расчет токов ветвей по методу контурных токов выполняют в следующем порядке:

1 Вычерчиваем принципиальную схему цепи и обозначаем все элементы.

2 Определяем все независимые контуры.

3 Произвольно задаемся направлением протекания контурных токов в каждом из независимых контуров (например, по часовой стрелке). Обозначаем эти токи. Для нумерации контурных токов можно использовать арабские сдвоенные цифры (I_{11} , I_{22} , I_{33} и т. д.) или римские цифры.

4 По [второму закону Кирхгофа](#), относительно контурных токов, составляем уравнения для всех независимых контуров. При записи равенства считать, что направление обхода контура, для которого составляется уравнение, совпадает с направлением контурного тока данного контура. Следует учитывать и тот факт, что в смежных ветвях, принадлежащих двум контурам, протекают два контурных тока. Падение напряжения на потребителях в таких ветвях надо брать от каждого тока в отдельности.

5 Решаем любым методом полученную систему относительно контурных токов и определяем их.

6 Произвольно задаемся направлением реальных токов всех ветвей и обозначаем их. Маркировать реальные токи надо таким образом, чтобы не путать с контурными. Для нумерации реальных токов можно использовать одиночные арабские цифры (I_1 , I_2 , I_3 и т. д.).

7 Переходим от контурных токов к реальным, считая, что реальный ток ветви равен алгебраической сумме контурных токов, протекающих по данной ветви.

При алгебраическом суммировании без изменения знака берется контурный ток, направление которого совпадает с принятым направлением реального тока ветви. В противном случае контурный ток умножается на минус единицу.

Пример

Определить токи во всех ветвях цепи (рисунок 3), если Э.Д.С. источников энергии $E_1 = 150\text{В}$, $E_2 = 80\text{В}$, их внутренние сопротивления $R_{01} = 1\text{ Ом}$, $R_{02} = 0.5\text{ Ом}$;

сопротивления резисторов $R_1=9 \text{ Ом}$, $R_2=19,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 25 \text{ Ом}$. Задачу решить методом контурных токов. Составить уравнение баланса мощностей.

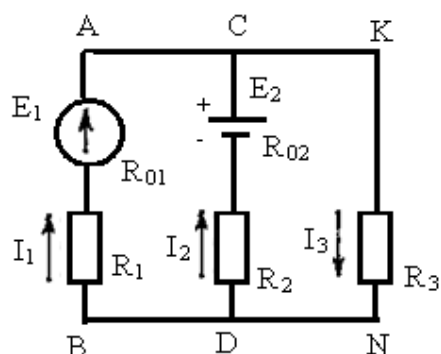


Рисунок 3 - Электрическая схема

Решение

1. На схеме произвольно показываем направление токов ветвей.
2. Намечаем два независимых контура и указываем направление контурных токов (по часовой стрелке)

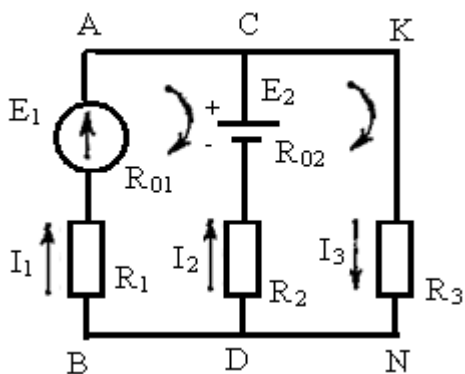


Рисунок 4 - Электрическая схема

3. Определяем Э.Д.С. каждого контура

Важно!!! Со знаком «плюс» записываются ЭДС, действующие в направлении контурного тока, со знаком «минус» - направленные против контурного тока.

$$E_I = E_1 - E_2 = 150 - 80 = 70 \text{ В}$$

$$E_{II} = E_2 = 80 \text{ В}$$

4. Определяем собственные и общие сопротивления контуров:
 - собственные сопротивления (входящие в один контур)

$$R_{I1} = R_1 + R_{01} + R_{02} + R_2 = 9 + 1 + 0,5 + 19,5 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_{22} = R_2 + R_{02} + R_3 = 19,5 + 0,5 + 25 = 45 \text{ Ом}$$

- общие сопротивления (принадлежащие двум соседним контурам)

$$R_{12} = R_{21} = R_2 + R_{02} = 19,5 + 0,5 = 20 \text{ Ом}$$

5. Составляем уравнения:

$$I_I R_{I1} - I_{II} R_{12} = E_I \quad (1)$$

$$-I_I R_{21} + I_{II} R_{22} = E_{II} \quad (2)$$

6. Подставляем данные, полученные в пунктах 3, 4 и решаем систему уравнений методом подстановки или любым другим методом.

$$I_I 30 - I_{II} 20 = 70 \quad (1) \quad (\times 2)$$

$$-I_I 20 + I_{II} 45 = 80 \quad (2) \quad (\times 3)$$

$$60 I_I - 40 I_{II} = 140 \quad (3)$$

$$+ \quad \frac{-60 I_I + 135 I_{II} = 240 \quad (4)}{95 I_{II} = 380}$$

$$I_{II} = 4 \text{ A}$$

7. Подставляем значение I_{II} в формулу (1) и определяем ток I_I .

$$30 I_I - 4 \cdot 20 = 70$$

$$I_I = 150 / 30$$

$$I_I = 5 \text{ A}$$

8. Определяем действительные токи в ветвях, исходя из условия, что действительный ток, совпадающий по направлению с контурным током берется со знаком «+», и наоборот, ток в ветви не совпадающий с контурным током берется со знаком «-».

$$I_1 = I_I = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = I_{II} - I_I = 4 - 5 = -1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_{II} = 4 \text{ A}$$

Индивидуальные задания для практической работы №14

Задача На рисунке 5 изображена схема сложной электрической цепи: E_1 , E_2 – Э.Д.С. источников энергии; R_{01} , R_{02} – их внутренние сопротивления; R_1 , R_2 , R_3 – сопротивления резисторов.

Числовые значения этих параметров указаны в таблице 1

Начертить схему цепи; показать направление токов в ветвях. Определить токи ветвей I_1 , I_2 , I_3 методом контурных токов.

Составить уравнение баланса мощностей

Указание:

5. Перед решением задачи изучите методические указания к решению задачи и решение типового примера.

6. В задаче **обязательно** вычертить электрическую схему, соответствующую условию задачи, и показать на ней заданные и искомые величины, а также направление токов. Привести данные своего варианта.

7. Решение задачи сопровождается краткими пояснениями.

8. Текст, формулы, числовые выкладки должны быть четкими без помарок. Цифровая подстановка в уравнении должна даваться один раз без промежуточных сокращений и расчетов. Численное значение каждого символа должно обязательно занимать то же место в формуле, что и сам символ. Все расчеты необходимо вести в системе СИ. Буквенные обозначения единиц измерения ставятся только возле окончательного результата и в скобки не заключаются, например, 120 В, 13 А, 100 Вт.

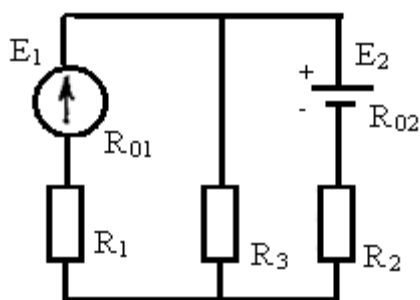


Рисунок 5 - Электрическая схема

Таблица 1 - Исходные данные к задаче

№ вар	E_1 , В	E_2 , В	R_{01} , Ом	R_{02} , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	Метод расчета
1, 5, 9, 13, 17, 21, 25	85	200	0,3	2,0	12,0	1,7	12,0	Метод контурных токов
2, 6, 10, 14, 18, 22, 26	55	120	0,2	0,5	6,0	15,0	6,0	
3, 7, 11, 15, 19, 23	105	146	2,0	2,0	50,0	4,5	50,0	
4, 8, 12, 16, 20, 24	80	34	0,5	0,3	20,0	19,0	20,0	

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4
Тема: Расчет неоднородной магнитной цепи

Цель работы: Освоить прямую задачу расчета неразветвленной неоднородной магнитной цепи.

Пояснения к работе.

Магнитной цепью называют совокупность устройств, содержащих ферромагнитные материалы, вдоль которых замыкается поток магнитной индукции. Примерами магнитных цепей является сердечники электромагнитов, катушек магнитных усилителей, трансформаторов, электрических машин и т.д. Магнитные цепи бывают замкнутые, в которых магнитный поток полностью замыкается в ферромагнитных цепях, и разомкнутые, в которых имеются воздушные зазоры.

Магнитные цепи, у которых магнитная проницаемость везде одинакова, называются однородными. Магнитные цепи, у которых магнитная проницаемость отдельных участков различная, называются неоднородными. Магнитные цепи могут быть неразветвленные и разветвленные.

Для расчета магнитных цепей используют закон Ома, первый и второй законы Кирхгофа.

Закон Ома - $\Phi = F_m / R_m$

F_m – намагничивающая или магнитодвижущая сила.

Это величина, характеризующая свойство тока возбуждать магнитное поле. Для проводника с током она численно равна величине этого тока - $F_m = I$ [А]

$F_m = IN$, [А] – для катушки индуктивности, N – число витков. Магнитодвижущая сила создает магнитный поток в магнитной цепи.

$\Phi = BS$, [Вб] – магнитный поток это величина, численно равная количеству линий магнитной индукции, пронизывающих данную площадь.

S – площадь сечения сердечника [м²]

$B = \mu_a H$, [Т] – магнитная индукция это векторная величина, характеризующая интенсивность магнитного поля в данной его точке с учётом влияния среды.

$R_m = l / \mu_a \cdot S$, [1/Гн] – магнитное сопротивление это сопротивление магнитной цепи потоку магнитной индукции.

l [м] – длина сердечника.

μ_a [Гн/м] – абсолютная магнитная проницаемость это величина, характеризующая свойство материала намагничиваться, то есть создавать собственное магнитное поле под действием намагничивающей силы внешнего магнитного поля.

Закон Ома формулируется следующим образом:

Величина магнитного потока в сечении магнитопровода прямо пропорциональна намагничивающей силе и обратно пропорциональна магнитному сопротивлению цепи магнитному потоку.

Первый закон Кирхгофа - применяется для разветвленных магнитных цепей.

Ток в катушке намотанный на средний стержень создает магнитный поток Φ , который разветвляется в боковые стержни на магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 .

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \quad \Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0$$

Алгебраическая сумма магнитных потоков в точке разветвления равна нулю.

Второй закон Кирхгофа - **алгебраическая сумма намагничивающих сил замкнутого контура равна алгебраической сумме магнитных напряжений на всех участках магнитной цепи.**

$U_m = Hl$, [А] – магнитное напряжение на участке это произведение напряженности поля на длину участка.

$H = I / 2\pi a = I / l$, [А/м] – напряжённость магнитного поля это векторная величина, характеризующая интенсивность магнитного поля в данной его точке независимо от магнитных свойств среды.

При решении магнитных цепей рассматривается прямая и обратная задачи.

Прямая задача – если известны сечение, материалы отдельных участков, а также магнитные потоки, то можно определить намагничивающую силу.

Обратная задача – если известны намагничивающая сила, сечение и материалы отдельных ветвей, то можно определить магнитные потоки в стержнях.

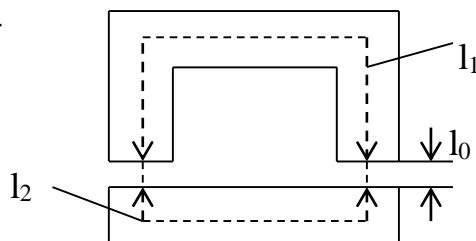
Прямая задача при расчете неразветвленной однородной магнитной цепи выполняется в следующем порядке:

1. По заданному магнитному потоку Φ и известной площади поперечного сечения сердечника S , определяется магнитная индукция $B = \Phi / S$
2. Определяют напряженность магнитного поля H в сердечнике по характеристике намагничивания.
3. Находят намагничивающую силу по закону полного тока или второму закону Кирхгофа $F_m = IN$, $F_m = Hl$

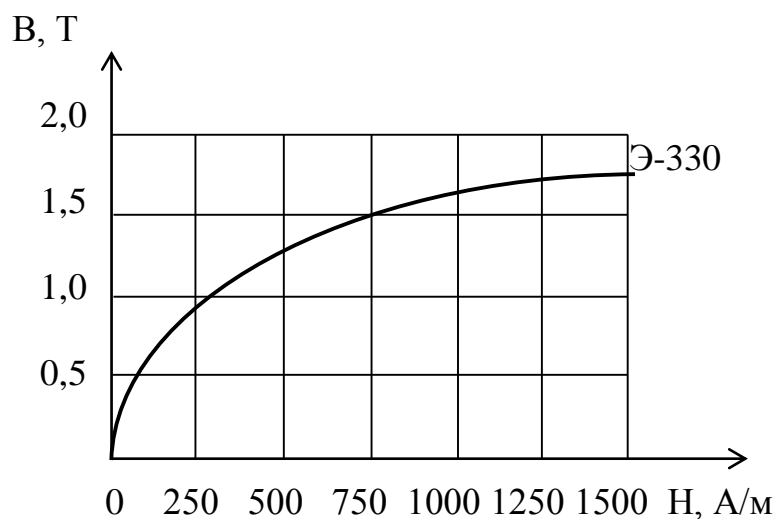
Расчет неразветвленной неоднородной магнитной цепи - такая магнитная цепь состоит из нескольких участков, отличающихся длиной, материалом. При решении прямой задачи известны размеры и материал каждого участка цепи, а магнитный поток задан. Определяют намагничивающую силу. Порядок решения такой же, как и для однородной цепи, но магнитная индукция и напряженность магнитного поля определяются для каждого участка.

Задание:

1. В практической работе необходимо определить число витков, которое необходимо намотать на сердечник из электротехнической стали Э-330, при заданном токе в обмотке, для получения заданной магнитной индукции в воздушном зазоре. Якорь выполнен из той же электротехнической стали.
2. Размеры участков магнитной цепи l_1 , l_2 , l_0 и площадь поперечного сечения S задаются.



3. В четных вариантах напряженность магнитного поля **H** определяется по графику зависимости магнитной индукции **B** от напряженности магнитного поля **H**.



4. В нечетных вариантах напряженность магнитного поля **H** определяется по заданному значению относительной магнитной проницаемости μ_r по формуле $H = B/\mu_0\mu_r$
5. Переписать из таблицы данные своего варианта.
6. Выполнить расчет в соответствии с вариантом, применяя следующие формулы: $\Phi = BS$, $B = \Phi/S$, $U_m = Hl$, $H_0 = B/\mu_0$, $H = B/\mu_0\mu_r$, $F_m = IN$, $F_m = HI$
7. Исходные данные.

№ вар.							
Параметры							
B, Т (нечет.вар.)							
нечет.вар.)							
Φ , Вб (чет.вар.)	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
S , см ² (чет.вар.)							
I , А							
, м							
, м							
, м							

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: Сложение и вычитание синусоидальных величин

Цель: закрепить знания методов сложения синусоидальных величин при расчете параметров электрических цепей переменного тока

Теоретические сведения

Значения величин, действующих в электрических цепях синусоидального тока, аналитически выражаются одной из следующих форм записи:

1) мгновенные значения:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), e = E_m \sin(\omega t + \psi_e),$$

где I_m , U_m , E_m - амплитудные значения соответственно тока, напряжения и ЭДС;

ω - угловая частота, причем период изменения синусоидального тока T и его частота f связаны с величиной со следующим образом:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T, 1/c;$$

ψ_i, ψ_u, ψ_e - начальные фазы, рад;

2) действующие значения:

$$I = I_m / \sqrt{2}, A; U = U_m / \sqrt{2}, B; E = E_m / \sqrt{2}, B.$$

При рассмотрении переменного тока часто требуется складывать синусоидальные величины. Если два синуса имеют одинаковую частоту, то результирующую величину вычисляют графически. Если, например, токи находятся в фазе, тогда они всегда направлены в одном направлении и их сумма максимальна.

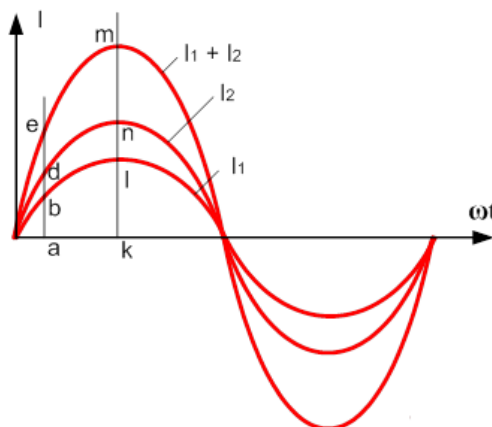


Рисунок 1 Сложение синусоидальных величин

При сложении токов складываются их мгновенные значения.

$ae = ab + ad$, через некоторое время: $km = kl + kn$.

Таким образом, складывая мгновенные значения токов i_1 и i_2 , получим суммарный ток $I = i_1 + i_2$, а при сложении амплитудных значений получим вектор общего тока $I = I_1 + I_2$.

Если, например, i_1 имеет амплитуду $2A$, а $i_2 - 3A$, то на векторной диаграмме это выглядит так:

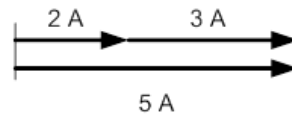


Рисунок 2 Сложение двух токов, совпадающих по фазе

Такое положение наблюдается, например, при параллельном соединении нагревательных элементов. В нагревательных элементах ток находится в фазе с напряжением. В общем случае в цепи переменного тока у каждого потребителя ток и напряжение отличаются на какой-то угол.

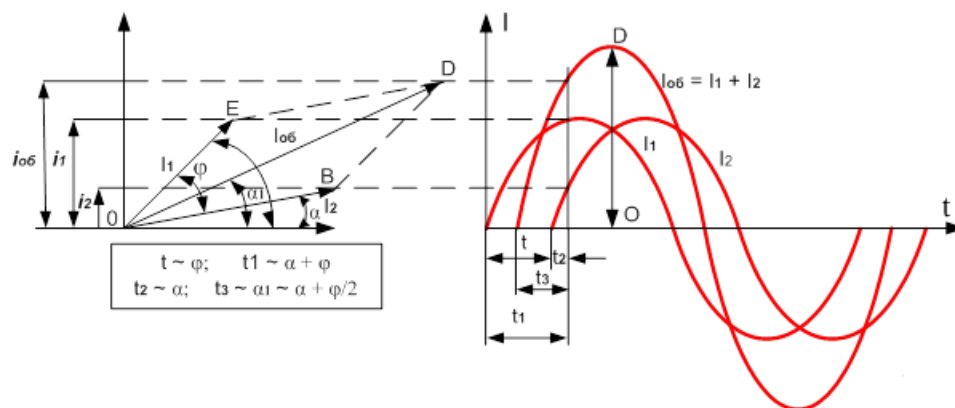


Рисунок 3 Сложение двух токов, не совпадающих по фазе

Здесь токи I_1 и I_2 сдвинуты по фазе на угол φ . Амплитудная максимальная величина этих токов определяется векторами OB и OE . Мгновенные величины токов i_1 и i_2 в момент времени t_1 соответствуют проекциям I_1 и I_2 . При сложении проекций получим суммарный ток: $i = i_1 + i_2$

В рассматриваемый момент времени t_1 суммарный ток соответствует проекции вектора OD . При повороте вектора его проекция изменяется. Максимальная величина суммарного тока определяется вектором OD , который представляет сумму векторов OB и OE . Векторная диаграмма определяет также фазу каждого тока. I_1 имеет фазовый сдвиг $\alpha + \varphi$, а $I_2 - \alpha$.

При построении векторов положительные углы отсчитывают от положительного направления горизонтальной оси против вращения часовой стрелки, а отрицательные — по ее движению.

Например, напряжение и ток в электрической цепи выражаются уравнениями:

$$u = 125 \sin(\omega t + 30^\circ), i = 12 \sin(\omega t - 20^\circ).$$

Выбираем масштабы напряжения и тока:

$$M_u = 50 \text{ В/см}; M_i = 4 \text{ А/см, то}$$

$$U_m = U_m/M_u = 125/50 = 2,5 \text{ см}; \quad I_m = I_m/M_i = 12/4 = 3 \text{ см}.$$

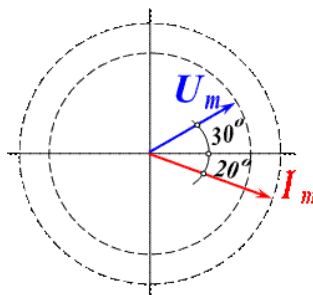


Рисунок 4

На векторной диаграмме изображают переменные величины одной частоты, поэтому их взаимное расположение не меняется. Начало отсчета времени выбирается произвольно. Поэтому один из векторов чертится произвольно, остальные – с учетом сдвига фаз.

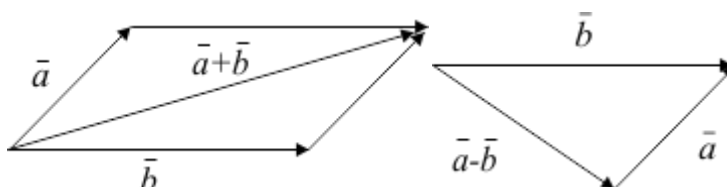


Рисунок 5 Действия с векторам

Задание

Задача 1

В сеть напряжением U и частотой f включен приемник с сопротивлением R . Найти амплитуду и действующее значение тока приемника, амплитуду напряжения, среднее значение мгновенной мощности. Записать выражения для мгновенных значений тока и напряжения, приняв начальные фазы ψ_u, ψ_i . Начертить векторную диаграмму.

вариант	$U, \text{В}$	$R, \text{Ом}$	$f, \text{Гц}$	$\psi_u, \text{град}$	$\psi_i, \text{град}$
1	220	50	50	30	– 45
2	127	10	100	20	50
3	380	76	150	– 10	15
4	220	44	50	40	25
5	127	25,4	100	45	– 60
6	380	95	150	– 50	70
7	220	88	50	15	– 30
8	127	50,8	100	– 25	20
9	380	57	150	60	10
10	220	22	50	70	– 40

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: Расчет электрических цепей переменного тока

Цель работы: Научиться производить расчет цепей переменного тока.

Приобретаемые умения и навыки:

1. Научиться пользоваться справочными данными и расчетными формулами
2. Научиться пользоваться вычислительной техникой

Норма времени: 2 часа

Оснащение рабочего места:

1. Раздаточный материал

Общие сведения

Задача относится к расчету неразветвленных цепей переменного тока. Перед ее решением изучите соответствующий теоретический материал, ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовой пример.

Пример.

Цепь переменного тока содержит последовательно соединенные резистор с сопротивлением $R_1=6$ Ом, индуктивность с индуктивным сопротивлением $X_L=10$ Ом, резистор с сопротивлением $R_2=2$ Ом и конденсатор с емкостным сопротивлением $X_C=4$ Ом (см. рис. 1).

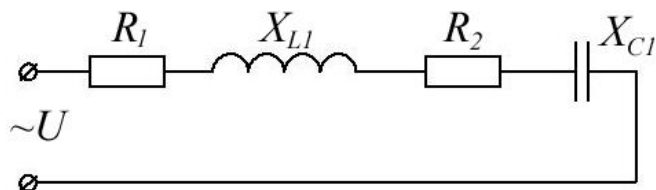


рис. 1.

К цепи приложено напряжение $U = 50$ В (действующее значение). Определить: 1) полное сопротивление цепи; 2) ток; 3) коэффициент мощности; 4) активную, реактивную и полную мощности; 5) напряжения на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе, векторную диаграмму цепи.

Решение.

1. Определяем полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом}$$

2. Определяем ток:

$$I = \frac{U}{z} = 50/10 = 5 \text{ А}$$

3. Определяем угол сдвига по фазе между током и напряжением цепи:

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6. \text{ Откуда } \varphi \approx 36^\circ.$$

4. Определяем активную мощность цепи:

$$P = I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 5^2 \cdot (6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

или $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,8 = 200 \text{ Вт}$,

Здесь $\cos \varphi = \frac{R_1 + R_2}{z} = \frac{6 + 2}{10} = 0,8$ коэффициент мощности цепи.

5. Определяем реактивную мощность цепи:

$$Q = I^2 \cdot (X_L - X_C) = 5^2 \cdot (10 - 4) = 200 \text{ вар} \text{ или}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,6 = 150 \text{ вар}$$

6. Определяем полную мощность цепи:

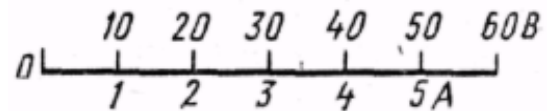
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ ВА} \text{ или } S = U \cdot I = 50 \cdot 5 = 250 \text{ ВА}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В} \quad U_{R2} = I \cdot R_2 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В} \quad U_C = I \cdot X_C = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся масштабом по току: $m_I = 1 \text{ А/см}$ (в 1 см — 1,0 А) и масштабом по напряжению: $m_U = 10 \text{ В/см}$ (в 1 см — 10 В).



Построение векторной диаграммы (см. рис. 2) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали, длина вектора тока:

$$|\vec{I}| = \frac{I}{m_I} = \frac{5}{1} = 5 \text{ см}.$$

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях R_1 и R_2 , длины которых определяем по формулам:

$$|\vec{U}_{R1}| = \frac{U_{R1}}{m_U} = \frac{30}{10} = 3 \text{ см} \quad |\vec{U}_{R2}| = \frac{U_{R2}}{m_U} = \frac{10}{10} = 1 \text{ см}$$

Из конца вектора напряжения на активном сопротивлении R_2 - \vec{U}_{R2} , откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении - \vec{U}_L , его длина:

$$|\vec{U}_L| = \frac{U_L}{m_U} = \frac{50}{10} = 5 \text{ см}$$

Из конца вектора \vec{U}_L откладываем в сторону отставания от вектора тока на 90° вектор падения напряжения на конденсаторе \vec{U}_C , его длина:

$$|\vec{U}_C| = \frac{U_C}{m_U} = \frac{20}{10} = 2 \text{ см}$$

Геометрическая сумма векторов $\vec{U}_{R1}, \vec{U}_{R2}, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ равна полному напряжению \vec{U} , приложенному к цепи.

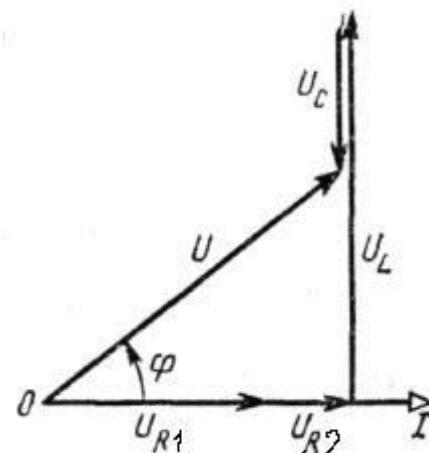


Рис. 2

Порядок выполнения работы:

1. Отметьте в отчете наименование и цель занятия.
2. Отметьте в отчете исходные условия задачи и заданную схему.
Условия задачи и схемы цепей приведены в приложении.
3. Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и примеры, подобные заданию практической работы.
4. Оформите отчет по практической работе.

Информационное обеспечение обучения

Печатные и электронные издания

Основные учебные издания:

1. Козлова, И. С. Основы электротехники : учебное пособие для СПО / И. С. Козлова. — Саратов : Научная книга, 2019. — 159 с. — ISBN 978-5-9758-1896-6. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/87079>
2. Сильвашко, С. А. Основы электротехники : учебное пособие для СПО / С. А. Сильвашко. — Саратов : Профобразование, 2020. — 209 с. — ISBN 978-5-4488-0671-1. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/92141> .
3. Горденко, Д. В. Электротехника и электроника : практикум / Д. В. Горденко, В. И. Никулин, Д. Н. Резеньков. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2018. — 123 с. — ISBN 978-5-4486-0082-1. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/70291> (дата обращения: 26.08.2020). с.

Дополнительные учебные издания:

4. Плиско, В. Ю. Электротехника. Практикум : учебное пособие / В. Ю. Плиско. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2017. — 84 с. — ISBN 978-985-503-725-6. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/84934>
5. Плиско, В. Ю. Электротехника. Практикум : учебное пособие / В. Ю. Плиско. — 2-е изд. — Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2020. — 84 с. — ISBN 978- 985-7234-31-8. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/100382>).

Интернет ресурсы:

6. <http://window.edu.ru/window/catalog> Каталог Российского общеобразовательного портала
7. <http://electricalschool.info/> - Школа для электрика: устройство, монтаж, наладка, эксплуатация ремонт электрооборудования.

8. <http://www.elektroceh.ru/> - Электроцех – сайт для электрика
9. <http://electrono.ru/> - Электротехника
9. <http://bourabai.ru/toe/> - Теоретические основы электротехники и электроники
10. <https://www.electromechanics.ru/> - Электромеханика (информационный портал).

Электронно-библиотечная система:

11. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»
12. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»
13. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»
14. ЭБС «PROФобразование»
15. ЭБС «Book.ru»