

**Методические материалы для обучающихся
по освоению дисциплины**

Общая электротехника и электроника
наименование дисциплины

Направление подготовки: 26.05.05 Судовождение
код и наименование направления подготовки /специальности

Направленность (профиль): «Судовождение на водных путях»
наименование направленности (профиля) /специализации

Мурманск
2022

Составитель – Буев С.А., доцент кафедры Электрооборудования судов ФГАОУ ВО «МГТУ»

Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины «Общая электротехника и электроника» рассмотрены и одобрены на заседании кафедры Электрооборудования судов «28» сентября_2022 г., протокол № 1.

Общие положения

Цель методических материалов по освоению дисциплины - обеспечить обучающемуся оптимальную организацию процесса изучения дисциплины, а также выполнения различных форм самостоятельной работы.

Освоение дисциплины осуществляется на аудиторных занятиях и в процессе самостоятельной работы обучающихся. Основными видами аудиторной работы по дисциплине являются занятия лекционного и семинарского типа. Конкретные формы аудиторной работы обучающихся представлены в учебном плане образовательной программы и в рабочих программах дисциплин.

Изучение рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой дисциплины (модуля), ее структурой и содержанием, фондом оценочных средств.

Работая с рабочей программой, необходимо обратить внимание на следующее:

- некоторые разделы или темы дисциплины не разбираются на лекциях, а выносятся на самостоятельное изучение по рекомендуемому перечню основной и дополнительной литературы и учебно-методическим разработкам;

- усвоение теоретических положений, методик, расчетных формул, входящих в самостоятельно изучаемые темы дисциплины, необходимо самостоятельно контролировать с помощью вопросов для самоконтроля;

- содержание тем, вынесенных на самостоятельное изучение, в обязательном порядке входит составной частью в темы текущего контроля и промежуточной аттестации.

Каждая рабочая программа по дисциплине сопровождается методическими материалами по ее освоению.

Отдельные учебно-методические разработки по дисциплине учебные пособия или конспекты лекций, методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и решению задач и т.п. размещены в ЭИОС МГТУ.

Обучающимся рекомендуется получить в библиотеке МГТУ учебную литературу, необходимую для работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.

Виды учебной работы, сроки их выполнения, запланированные по дисциплине, а также система оценивания результатов, зафиксированы в технологической карте дисциплины:

**Таблица 1 -Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Основы научных исследований» (промежуточная аттестация - зачёт)
Очная форма обучения**

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				
1.	Посещение и работа на лекциях (5 лекций)	12	20	По расписанию
	Нет посещений – 0 баллов, каждая лекция – 4 балла			
2.	Практические занятия/семинары	35	50	По расписанию
	Выполнение 5 практических работ в срок - 50 балл; выполнение 5 практических			

	работ не в срок- 35 баллов. Каждая практическая работа в срок – 10 баллов, не в срок – 7 балла.		
	Выполнение реферата на «удовлетворительно» - 13 баллов, на «хорошо» - 22 балла, на «отлично» - 30 баллов.		
	ИТОГО за работу в семестре	min - 60	max - 100
Промежуточная аттестация «зачет»			
Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине, то он считается аттестованным			
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	min – 60	max - 100

Таблица 2 -Технологическая карта текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «Основы научных исследований» (промежуточная аттестация - зачёт)

Заочная форма обучения

№	Контрольные точки	Зачетное количество баллов		График прохождения (недели сдачи)
		min	max	
Текущий контроль				
1.	Посещение и работа на лекциях (3 лекции)	10	30	По расписанию
	Нет посещений – 0 баллов, каждая лекция – 10 баллов			
2.	Практические занятия/семинары	36	45	По расписанию
	Выполнение 3 практические работ в срок - 45 баллов; выполнение 3 практических работ не в срок- 36 баллов. Каждая практическая работа в срок – 15 баллов, не в срок – 12 баллов.			
	Выполнение реферата на «удовлетворительно» - 14 баллов, на «хорошо» - 20 баллов, на «отлично» - 25 баллов.			
	ИТОГО за работу в семестре	min - 60	max - 100	
Промежуточная аттестация «зачет»				
Если обучающийся набрал зачетное количество баллов согласно установленному диапазону по дисциплине, то он считается аттестованным				
	ИТОГОВЫЕ БАЛЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	min – 60	max - 100	

Работа по изучению дисциплины должна носить систематический характер. Для успешного усвоения теоретического материала по предлагаемой дисциплине необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на учебных занятиях, выполнять письменные работы по заданию преподавателя, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины.

Важным условием успешного освоения дисциплины является создание самим обучающимся системы правильной организации труда, позволяющей распределить учебную нагрузку равномерно в соответствии с календарным учебным графиком.

1. Методические рекомендации при работе на занятиях лекционного типа

К занятиям **лекционного типа** относятся лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации преподавателем.

Лекция представляет собой последовательное изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера. Цель лекционного занятия – организация целенаправленной познавательной деятельности обучающихся по овладению программным материалом учебной дисциплины.

В ряде случаев лекция выполняет функцию основного источника информации,

например, при отсутствии учебников и учебных пособий; в случае, когда новые научные данные по той или иной теме не нашли отражения в учебниках; отдельные разделы и темы очень сложные для самостоятельного изучения обучающимися.

В ходе проведения занятий лекционного типа необходимо вести конспектирование излагаемого преподавателем материала.

Наиболее точно и подробно в ходе лекции записываются следующие аспекты: название лекции; план; источники информации по теме; понятия, определения; основные формулы; схемы; принципы; методы; законы; гипотезы; оценки; выводы и практические рекомендации.

Конспект - это не точная запись текста лекции, а запись смысла, сути учебной информации. Конспект пишется для последующего чтения и это значит, что формы записи следует делать такими, чтобы их можно было легко и быстро прочитать спустя некоторое время. Конспект должен облегчать понимание и запоминание учебной информации.

Рекомендуется задавать лектору уточняющие вопросы с целью углубления теоретических положений, разрешения противоречивых ситуаций. При подготовке к занятиям семинарского типа, можно дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из изученной литературы, указанной в рабочей программе дисциплины.

Тематика лекций дается в рабочей программе дисциплины.

2. Методические рекомендации для самостоятельной работы

Успешное освоение компетенций, формируемых учебной дисциплиной (модуля), предполагает оптимальное использование времени для самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающегося - деятельность, которую он выполняет без непосредственного участия преподавателя, но по его заданию, под его руководством и наблюдением. Обучающийся, обладающий навыками самостоятельной работы, активнее и глубже усваивает учебный материал, оказывается лучше подготовленным к творческому труду, к самообразованию и продолжению обучения.

Самостоятельная работа может быть аудиторной и внеаудиторной. Границы между этими видами работ относительны, а сами виды самостоятельной работы пересекаются.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется во время проведения учебных занятий по дисциплине (модулю) по заданию преподавателя. Включает в себя:

- выполнение самостоятельных работ, участие в тестировании;
- выполнение контрольных, практических и лабораторных работ;
- решение задач и упражнений, составление графических изображений (схем, диаграмм, таблиц и т.п.);
- работу со справочной, методической, специальной литературой;
- оформление отчета о выполненных работах;
- подготовка к дискуссии, выполнения заданий в деловой игре и т.д.

Внеаудиторная самостоятельная работа (в библиотеке, в лаборатории МГТУ, в домашних условиях, в специальных помещениях для самостоятельной работы в МГТУ и т.д.) является текущей обязательной работой над учебным материалом (в соответствии с рабочей программой), которая не предполагает непосредственного и непрерывного руководства со стороны преподавателя.

Внеаудиторная самостоятельная работа может включать в себя:

- подготовку к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям, лабораторным работам и др.) и выполнение необходимых домашних заданий;
- работу над отдельными темами дисциплины (модуля), вынесенными на самостоятельное изучение в соответствии с рабочей программой;

- проработку материала из перечня основной и дополнительной литературы по дисциплине, по конспектам лекций;
- написание рефератов, докладов, эссе, отчетов, подготовка мультимедийных презентаций, составление глоссария и др.;
- подготовку ко всем видам практики и выполнение заданий, предусмотренных их рабочими программами;
- выполнение курсовых работ (проектов) и расчетно-графических работ;
- подготовку ко всем видам текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации, в том числе выполнение и подготовку к процедуре защиты выпускной квалификационной работы;
- участие в исследовательской, проектной и творческой деятельности в рамках изучаемой дисциплины (модуля);
- подготовка к участию в конкурсах, олимпиадах, конференциях, работа в студенческих научных обществах и кружках;
- другие виды самостоятельной работы.

Содержание самостоятельной работы определяется рабочей программой дисциплины (модуля), практики, программой ГИА. Задания для самостоятельной работы имеют четкие календарные сроки выполнения.

Выполнение любого вида самостоятельной работы предполагает прохождение обучающимся следующих этапов:

1. Определение цели самостоятельной работы.
2. Конкретизация познавательной (проблемной или практической) задачи.
3. Самооценка готовности к самостоятельной работе по решению поставленной или выбранной задачи.
4. Выбор адекватного способа действий, ведущего к решению задачи (выбор путей и средств для ее решения).
5. Планирование (самостоятельно или с помощью преподавателя) самостоятельной работы по решению задачи.
6. Реализация программы выполнения самостоятельной работы.
7. Самоконтроль выполнения самостоятельной работы, оценивание полученных результатов.
8. Рефлексия собственной учебной деятельности.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Таблица 1

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины
1
1. Электротехника. Значение в науке и производстве. Преимущества электроэнергии.
2. Электрические цепи постоянного тока. Элементы цепи. Законы Ома и Кирхгофа.
3. Баланс мощностей. Методы расчёта цепей постоянного тока.
4. Цепи переменного тока. Однофазный синусоидальный ток и его параметры.
5. Потребители в цепях переменного тока (активные, реактивные). Активное, индуктивное и ёмкостное сопротивления
6. Закон Ома в комплексной форме. Последовательное и параллельное соединение реактивных элементов. Векторные диаграммы. Треугольники напряжений, сопротивлений и проводимостей.

7. Законы Кирхгофа в комплексной форме. Мощности в цепях синусоидального тока. Коэффициент мощности и пути его повышения. Символический метод расчёта.
8. Резонанс токов и резонанс напряжений.
9. Трёхфазные цепи. Соединение фаз генератора звездой и треугольником.
10. Соединение фаз приёмников звездой и треугольником. Мощности трёхфазных цепей. Измерение. Коэффициент мощности.
11. Электрические цепи с нелинейными элементами. Графоаналитический метод расчёта НЭЦ.
12. Магнитные цепи. Магнитное поле. Закон полного тока, законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей. Диамагнетики, магнито-твёрдые и магнитомягкие материалы. Петля гистерезиса. Анализ магнитной цепи. Потери в стали. Трансформаторы.
13. Машины постоянного тока. Принцип работы, устройство, рабочие характеристики.
14. Вращающееся поле. Асинхронные двигатели и синхронные генераторы. Рабочие характеристики.
15. Элементная база современных электронных устройств.
16. Источники вторичного электропитания.
17. Усилители электрических сигналов.
18. Основы цифровой электроники: логические элементы, триггеры, регистры, сумматоры, компараторы, шифраторы и дешифраторы.
19. Микропроцессорные средства. Структура микропроцессора и микро-ЭВМ и их применение для управления технологическими процессами.
20. Электрические измерения и приборы. Классификация СИ и методов измерения. Погрешности средств и методов измерения. Аналоговые и цифровые электроизмерительные приборы. Измерение неэлектрических величин электротехническими методами.
21. Основы электроснабжения и электробезопасности.

"ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА"

Задача № 1.1

Параметры схемы цепи постоянного тока, показанной на рис. 1.1, *а*, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Задание к задаче 1.1

Параметры	Последняя цифра номера зачетки										При- мер
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$E_1, \text{В}$	80	90	100	110	120	110	90	80	60	50	100
$E_2, \text{В}$	40	50	60	70	80	90	80	70	60	50	0
$E_3, \text{В}$	90	80	70	60	50	40	60	70	50	60	100
	Предпоследняя цифра номера зачетки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$R_1, \text{Ом}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	8	7
$R_2, \text{Ом}$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$R_3, \text{Ом}$	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	24

С учетом приведенных данных требуется определить:

- значения токов всех ветвей электрической схемы, пользуясь методами: применения законов Кирхгофа, узлового напряжения (двух узлов), эквивалентного генератора в цепи с током I_2 ;
- баланс активной мощности источников и приемников энергии.

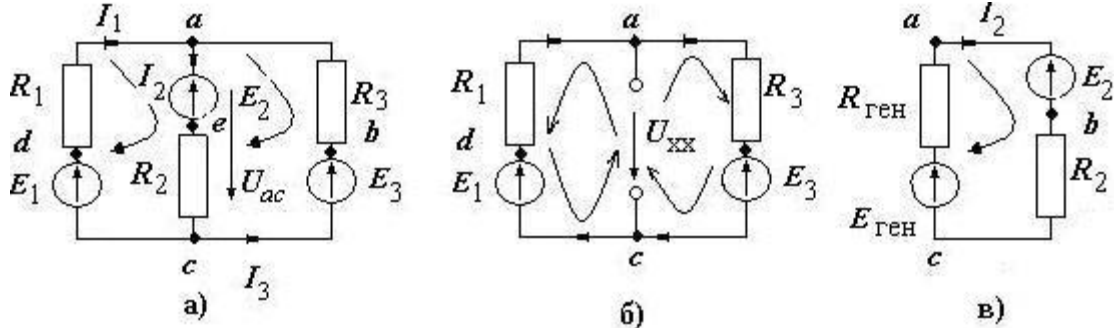


Рис. 1.1. Схемы (а, б, в) к задаче № 1.1

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта, выполнить следующие решения задачи.

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 1.1, а; табл. 1.1).

2. Определение токов в ветвях различными методами.

3. Метод с использованием законов Кирхгофа предполагает составление уравнений по I и II законам Кирхгофа.

4. Определяем положительные направления токов в ветвях cda , cea , cba (рис. 1.1, а).

5. Записываем уравнение по I закону Кирхгофа для токов в узле а:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0. \quad (1)$$

6. Выбираем положительное направление обхода выделенных контуров $aecda$ и $abcea$ по часовой стрелке.

7. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура $aecda$:

$$-E_2 + E_1 = I_1 R_1 + I_2 R_2. \quad (2)$$

8. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура $abcea$:

$$+E_2 - E_3 = -I_3 R_3 - I_2 R_2 \quad (3)$$

9. Из (1) выражаем I_3 и подставляем в (2):

$$I_1 = -I_3 + I_2 \quad (4)$$

$$E_1 = (-I_3 + I_2)R_1 + I_2 R_2 + E_2 = -I_3 R_1 + I_2(R_2 + R_1) + E_2. \quad (5)$$

10. Учтем, что в данном варианте $E_2 = 0$:

$$E_1 = -I_3 R_1 + I_2 (R_2 + R_1). \quad (6)$$

11. Из (6) выражаем I_3

$$I_3 = [-E_1 + I_2 (R_2 + R_1)] / R_1. \quad (7)$$

12. Из (3) выражаем I_3

$$I_3 = (E_3 - I_2 R_2) / R_3. \quad (8)$$

13. Объединяем (7) и (8) и выражаем E_1

$$[-E_1 + I_2 (R_2 + R_1)] / R_1 = (E_3 - I_2 R_2) / R_3; \quad (9)$$

$$E_1 = -(E_3 + I_2 R_2) R_1 / R_3 + I_2 (R_2 + R_1); \quad (10)$$

$$E_1 = -E_3 R_1 / R_3 + I_2 (R_2 + R_1 + R_2 R_1 / R_3). \quad (11)$$

14. Из (11) выражаем I_2 :

$$I_2 = (E_1 + E_3 R_1 / R_3) / (R_2 + R_1 + R_2 R_1 / R_3). \quad (12)$$

15. В выражение (12) подставляем значения ЭДС и сопротивлений ветвей, и, преобразуя, находим I_2 : $I_2 = 3,287$ А. (13)

16. Используя (13) определяем I_3 с учетом (8): $I_3 = 0,742$ А. (14)

17. Используя (14) определяем I_1 с учетом (1): $I_1 = 2,545$ А. (15)

18. *Определение токов в ветвях методом узлового напряжения (метод двух узлов).*

19. Для определения напряжения между точками a и c используем метод двух узлов, согласно которому

$$U_{ac} = (E_1 G_1 + E_2 G_2 + E_3 G_3) / (G_1 + G_2 + G_3), \quad (16)$$

где G_1, G_2, G_3 – проводимости ветвей.

20. Проводимость G_1 : $G_1 = 1/R_1$; $G_1 = 0,1429$ См.

21. Проводимость G_2 : $G_2 = 1/R_2$; $G_2 = 0,04$ См.

22. Проводимость G_3 : $G_3 = 1/R_3$; $G_3 = 0,04167$ См.

23. Напряжение U_{ac} между точками a и c (вектор U_{ac} направлен от a к c) (по 16): $U_{ac} = 82,184$ В.

24. Рассчитываем токи в ветвях с учетом направлений токов и ЭДС.

25. Определение I_1 : $I_1 = (E_1 - U_{ac}) / R_1$; $I_1 = 2,545$ А.

26. Определение I_2 : $I_2 = (U_{ac} - E_2) / R_2$; $I_2 = 3,287$ А.

27. Определение I_3 : $I_3 = (E_3 - U_{ac}) / R_3$; $I_3 = 0,742$ А.

28. *Определение токов в ветвях методом эквивалентного генератора.*

Метод предполагает, что в ветви, содержащей искомый ток, имеется разрыв, так что между точками a и c действует напряжение холостого хода U_{xx} .

29. Исследуем схему (рис. 1.1, a), размыкая ветвь aec (разрыв между точками a и c), получаем схемы (b , $в$).

30. Согласно этапам метода с учетом выбранных положительных направлений токов, напряжения $\dot{U}_{xx}$ и ЭДС, необходимо определить: ЭДС эквивалентного генератора, равное напряжению холостого хода $E_{ген} = U_{xx}$; внутреннее сопротивление эквивалентного генератора $R_{ген}$ как входное сопротивление цепи с разрывом; ток в искомой ветви, равный:

$$I_2 = (E_{ген} - E_2)/(R_{ac} + R_2). \quad (17)$$

31. Рассчитываем $E_{ген} = U_{xx}$, используя метод двух узлов, аналогично п. 18: $U_{xx} = (E_3 G_3 + E_1 G_1)/(G_1 + G_3)$; $E_{ген} = 100$ В.

32. В этом режиме входная проводимость цепи:

$$G_{эКВ} = G_1 + G_3; G_{эКВ} = 0,1845 \text{ См.}$$

33. Внутреннее сопротивление генератора: $R_{ген} = 1/G_{эКВ}$; $R_{ген} = 5,419$ Ом.

34. Для схемы с эквивалентным генератором, приведенной на рис. 1.1, в, рассчитываем $I_r = I_2$ (с учетом того, что в варианте $E_2 = 0$):

$$I_r = I_2 = (E_{ген} - E_2)/(R_{ген} + R_2); I_r = I_2 = 3,287 \text{ А.}$$

35. Сравнивая результаты расчета, делаем вывод, что значения токов, полученные различными методами, идентичны друг другу.

36. Оценка баланса мощностей.

37. Суммарная активная мощность источников E_1, E_2, E_3 (с учетом направления токов и включения ЭДС источников):

$$P_E = \sum E_i I_i = +E_1 I_1 - E_2 I_2 + E_3 I_3; P_E = 328,74 \text{ Вт.}$$

Знак "—" перед вторым слагаемым обусловлен противоположными направлениями ЭДС E_2 и тока I_2 .

38. Суммарная активная мощность приемников:

$$P_{пр} = \sum R_i I_i^2 = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 + R_3 I_3^2; P = 328,74 \text{ Вт.}$$

39. В результате расчета делаем вывод, что суммарная активная мощность источников всегда равна активной мощности, выделяемой на приемниках.

Примечание: решение уравнений (1)-(3) может быть найдено с помощью анализа и использования матриц коэффициентов.

РАЗДЕЛ 2. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ "ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА"

Задача № 2.1

Имеется цепь переменного тока частотой $f = 50$ Гц с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2.1). Показания приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра) приведены в таблице 2.1.

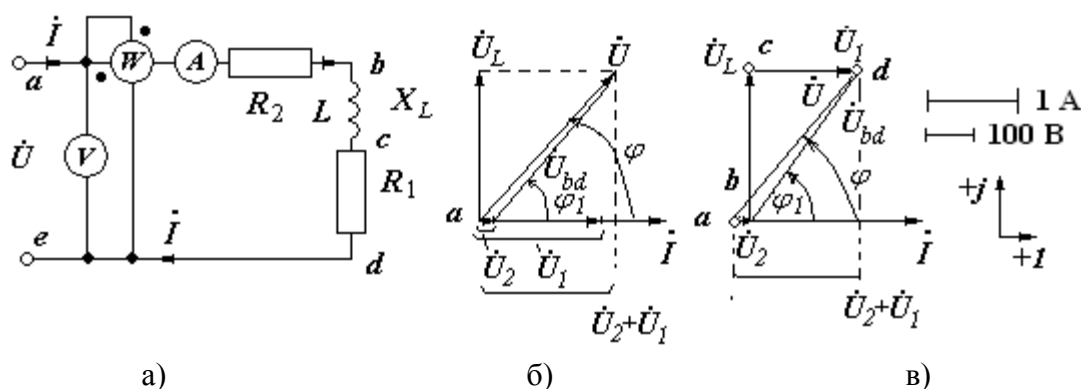


Рис. 2.1. Схема (а) и векторные (б, в) диаграммы к задаче 2.1

- С учетом приведенных данных требуется определить (рассчитать):
- параметры резистора R_1 и индуктивности L_1 катушки;
 - величины напряжений на резисторах и на участке bd ;
 - углы сдвига фаз между напряжением и током на входе цепи и на участке bd ;
 - параметры схемы для построения векторной диаграммы.

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта и изображенной на рис. 2.1, выполнить следующие этапы расчета.

Таблица 2.1

Задание к задаче № 2.1

Параметр	Последняя цифра номера зачетки										Пример
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
I, A	0,9	1,9	2,9	3,8	4,8	4,9	6,8	7,2	8,1	9,7	2
U, B	220	380	127	660	220	220	127	660	220	380	380
$P, Bт$	200	400	290	730	920	900	380	510	700	810	450
	Предпоследняя цифра номера зачетки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$R_2, Ом$	6	7	8	9	10	9	8	7	6	5	7

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 2.1, табл. 2.1).
2. *Определение различных параметров.*
3. Значение $\cos\varphi$ с учетом показания приборов:

$$P = UI \cos\varphi; \cos\varphi = 0,59.$$
4. Значение угла φ , рад: $\varphi = 0,94$ рад.
5. Значение угла φ , град: $\varphi = 53,72$ град.
6. Общее активное сопротивление R , учитывая, что ваттметр показывает активную мощность P : $P = I^2(R_1 + R_2) = I^2R$; $R = 112,5$ Ом.
7. Сопротивление R_1 : $R = R_1 + R_2$: $R_1 = 105,5$ Ом.
8. Модуль Z полного комплексного сопротивления:

$$Z = U/I; Z = 190 \text{ Ом.}$$

9. Индуктивное сопротивление X_L : $Z^2 = R^2 + X_L^2$; $X_L = 153,11 \text{ Ом.}$

10. Величина индуктивности L : $X_L = 2\pi fL$; $L = 0,49 \text{ Гн.}$

11. Модуль полного сопротивления участка bd :

$$Z_{bd} = (R_1^2 + X_L^2)^{0,5}; Z_{bd} = 185,94 \text{ Ом.}$$

12. Модуль комплексного напряжения $\dot{U}_1$ на резисторе R_1 :

$$U_1 = IR_1; U_1 = 211 \text{ В.}$$

13. Модуль комплексного напряжения $\dot{U}_2$ на резисторе R_2 :

$$U_2 = IR_2; U_2 = 14 \text{ В.}$$

14. Модуль комплексного напряжения $\dot{U}_L$ на индуктивности сопротивлением X_L : $U_L = IX_L$; $U_L = 306,23 \text{ В.}$

15. Проверить правильность расчета напряжений, сравнив модуль суммарного расчетного напряжения $U_{\text{расч}}$ с заданным U :

$$U_{\text{расч}} = [(U_1 + U_2)^2 + U_L^2]^{0,5}; U_{\text{расч}} = 380 \text{ В.}$$

16. Модуль комплексного напряжения U_{bd} на участке bd :

$$U_{bd} = IZ_{bd}; U_{bd} = 371,88 \text{ В.}$$

17. Сдвиг фаз $\Delta\varphi = \varphi_1$ в радианах: $\varphi_1 = \arctg(X_L/R_1)$; $\varphi_1 = 0,98 \text{ рад.}$

18. Сдвиг фаз $\Delta\varphi = \varphi_1$ в градусах: $\varphi_1 = 55,46 \text{ град.}$

19. *Построение векторной диаграммы токов и напряжений цепи.*

Векторная диаграмма строится по следующим этапам:

- выбираем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.2, б, в), например, 1 см - 1 А; 0,5 см - 100 В;
 - рисуем оси $+1$ и $+j$ (ось $+j$ направляем, например, вверх);
 - на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка a схемы);
 - поскольку в задаче не дается начальный угол вектора тока $\dot{I}$, по умолчанию, принимаем его равным нулю, поэтому вектор $\dot{I}$ направлен по оси $+1$;
 - поскольку сдвига фаз между током и напряжением на резисторах нет, то вектора $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$ направлены по оси $+1$;
 - поскольку вектор напряжения $\dot{U}_L$ опережает ток $\dot{I}$ на 90° (идеальная индуктивность), то направляем вектор $\dot{U}_L$ по оси $+j$;
 - геометрическая сумма векторов $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$ направлена по оси $+1$;
- геометрическая сумма векторов $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{U}_L$ дает суммарный вектор $\dot{U}$; после построения с помощью транспортира, проверяем, равен ли угол $\varphi_{\text{геом}}$, расчетному значению φ ;

– вектор $\vec{U}_{bd}$ находим, с учетом того, что он направлен из конца вектора $\vec{U}_2$ в конец вектора $\vec{U}$.

Задача № 2.2

К генератору переменного тока с фиксированным напряжением U подключена цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки с активным сопротивлением R и индуктивностью L , а также конденсатора с емкостью C .

Параметры цепи приведены в таблице 2.2. Частота генератора $\omega = 2\pi f$ может изменяться в широких пределах, так что при частоте f_0 наступает режим резонанса напряжения.

При изменении частоты питающего генератора в пределах $0 < f_0 < 2f_0$ рассчитать и построить:

- частотные характеристики элементов цепи $R(f)$, $X_L(f)$, $X_C(f)$ и всей цепи в целом $Z(f)$;
- зависимости $I(f)$, $U_R(f)$, $U_L(f)$, $U_C(f)$, представив их анализ от рода нагрузки;
- фазочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением U на клеммах генератора и током I в цепи от частоты f генератора;
- рассчитать коэффициент усиления напряжения K , добротность Θ , волновое сопротивление цепи ρ ;
- параметры схемы для построения векторной диаграммы.

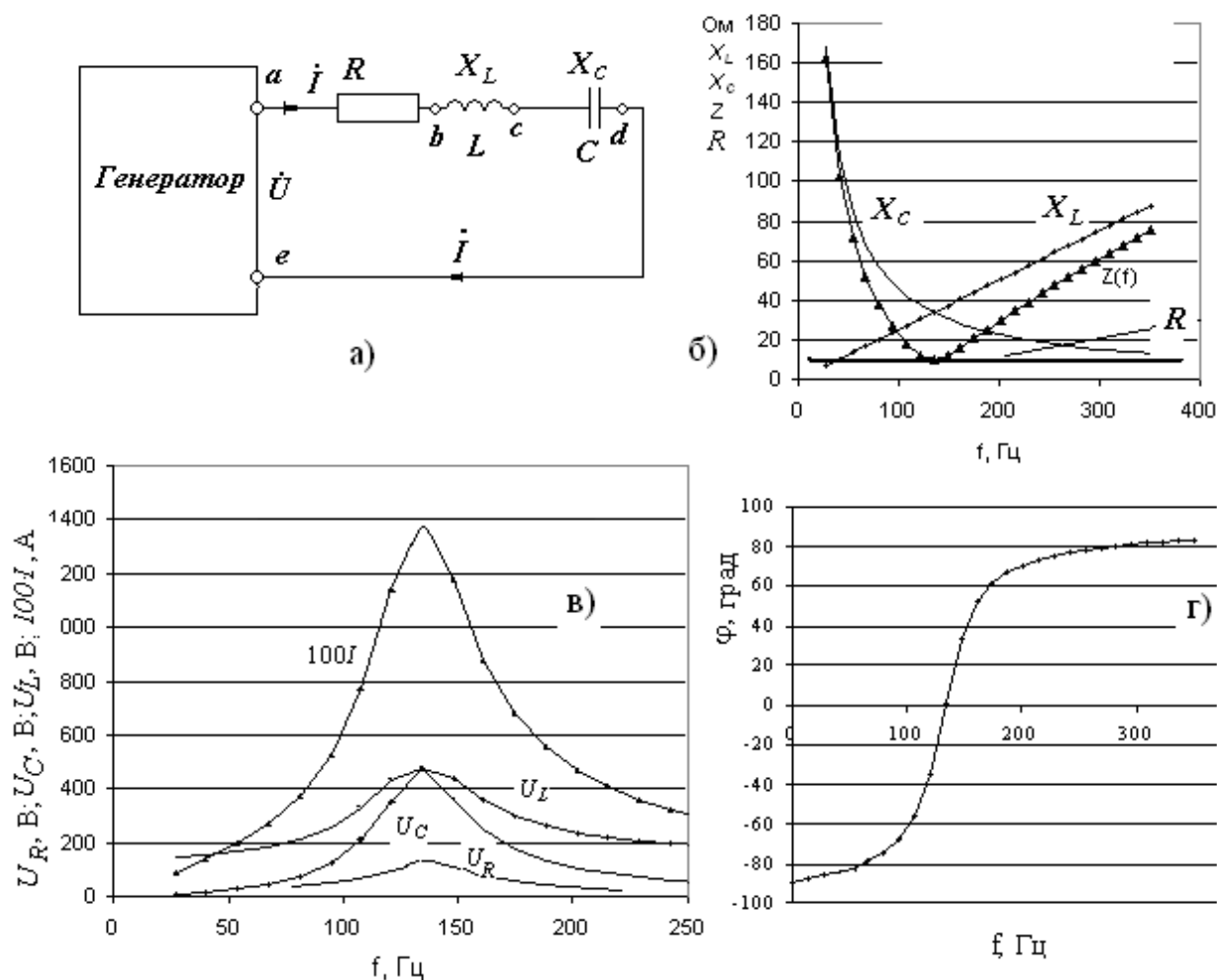


Рис. 2.2. Схема (а) и характеристики (б, в, г) к задаче № 2.2

Таблица 2.2

Задание к задаче № 2.2

Параметры	Последняя цифра номера зачетки										Пример
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
U , В	90	100	110	120	110	100	90	80	70	60	140
R , Ом	9	10	11	12	13	14	15	16	8	9	10
	Предпоследняя цифра номера зачетки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
L , мГн	80	90	100	110	100	90	80	70	60	50	40
C , мкФ	20	30	40	50	60	70	80	70	60	50	35

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта и изображенной на рис. 2.2, выполнить следующие этапы расчета.

1. Зарисовать схему (рис. 2.2, а).
2. Записать задание, соответствующее варианту (табл. 2.2).
3. Определить (рассчитать) значения всех параметров в системе СИ.
4. Оценить, какой резонанс наблюдается в исследуемой цепи? Резонанс напряжений.

5. Значение частоты f_0 резонанса напряжений:

$$X_{C0} = 1/\omega_0 C = X_{L0} = \omega_0 L; f_0 = \omega_0/2\pi = 1/[2\pi(CL)^{0,5}]; f_0 = 134,58 \text{ Гц.}$$

6. Значение реактивного индуктивного сопротивления $X_{L0}(f_0)$ при резонансе: $X_{L0} = \omega_0 L$; $X_{L0}(f_0) = 33,81 \text{ Ом}$.
7. Значение реактивного емкостного сопротивления $X_{C0}(f_0)$ при резонансе: $X_{C0} = 1/\omega_0 C$; $X_{C0}(f_0) = 33,81 \text{ Ом}$.
8. Модуль полного комплексного сопротивления цепи при резонансе: $Z(f_0) = [R^2 + (X_{L0} - X_{C0})^2]^{0,5}$; $Z(f_0) = 10 \text{ Ом}$.
9. Модуль тока I при резонансе: $I(f_0) = U/Z(f_0)$; $I(f_0) = 14 \text{ А}$.
10. Модуль напряжения на индуктивности в режиме резонанса: $U_L(f_0) = I(f_0)X_L(f_0)$; $U_L(f_0) = 472,29 \text{ В}$.
11. Модуль напряжения на конденсаторе: $U_C(f_0) = I(f_0)X_C(f_0)$; $U_C(f_0) = 472,29 \text{ В}$.
12. Коэффициент усиления напряжения K : $K = U_L/U = U_C/U$; $K = 3,38$.
13. Величина добротности: $\Theta = X_L/R = X_L I_{\text{рез}}/R I_{\text{рез}} = K$; $\Theta = 3,38$.
14. Построить (табличным способом или в программе *Excel*) частотные характеристики элементов цепи $R(f)$, $X_L(f)$, $X_C(f)$ и всей цепи в целом $Z(f)$ в диапазоне частот $0 < f < 2f_0$ (рис. 2,2, б).
15. Построить зависимости $I(f)$, $U_R(f)$, $U_L(f)$, $U_C(f)$ и провести их анализ в различных диапазонах частот (рис.2.2, в).
16. Построить фазочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением U на клеммах генератора и током I в цепи от частоты f генератора: $\varphi(f) = \arctg[(X_L - X_C)/R]$ (рис. 2.2, з).
17. Провести анализ полученных данных с точки зрения режима нагрузки (активно-индуктивная, активно-емкостная) при различных частотах. Объяснить, на каких частотах схема представляется активной, активно-емкостной, активно-индуктивной нагрузкой.
18. Построение векторной диаграммы токов и напряжений при различных режимах: при $f < f_0$; $f = f_0$; $f > f_0$ описано в конспекте лекций и литературе.

Задача № 2.3

Комплексы действующих значений напряжения $\dot{U}_k$ и тока $\dot{I}_k$ цепи (рис. 2.3) с комплексной нагрузкой $\underline{Z}_k$ представлены в показательной и алгебраической форме в таблице 2.3. В каждом варианте представлено по два значения напряжения и тока (например, $\dot{U}_1$, $\dot{I}_1$ и $\dot{U}_2$, $\dot{I}_2$), записанных в соответствующей форме. Соответственно, каждому варианту соответствует комплексная нагрузка, например, $\underline{Z}_k$, имеющая активную $\text{Re}Z_k$ и реактивную

ImZ_k составляющие. На этой нагрузке выделяются мощности: полная комплексная $\underline{S}_k$, активная P_k и реактивная Q_k .

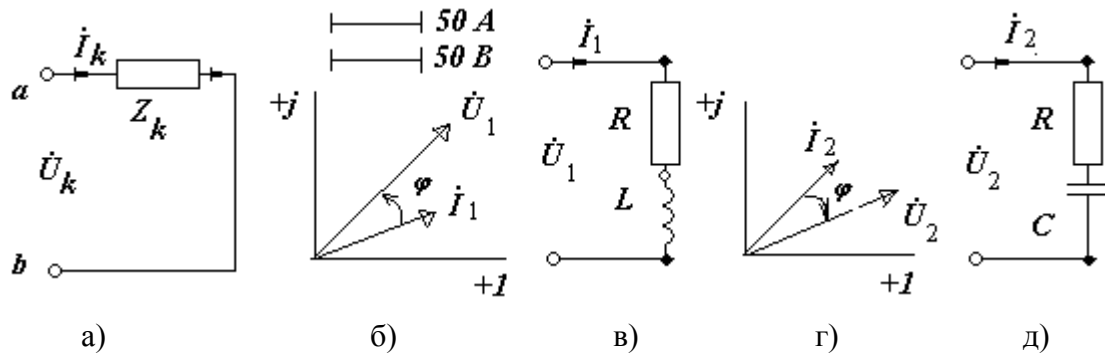


Рис. 2.3. Схемы и векторные диаграммы к задаче № 2.3

Таблица 2.3

Задание к задаче № 2.3

Параметр	Последняя цифра номера зачетки										Пример	
	0		1		2		3		4			
	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>
$\dot{U}_1, \text{В}$	50	70	60	80	1	40	80	5	30	40	70	80
$\dot{I}_1, \text{А}$	15	50	60	15	10	1	40	80	40	35	35	20
$\dot{U}_2, \text{В}$	90	10	50	25	25	35	70	10	80	75	70	30
$\dot{I}_2, \text{А}$	10	20	50	10	35	10	35	5	1	15	40	50
	Последняя цифра номера зачетки											
	5		6		7		8		9			
	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>	<i>T</i>	<i>n</i>	<i>t</i>	<i>n</i>		
$\dot{U}_3, \text{В}$	60	20	40	20	80	70	15	55	60	25	см. U_1	
$\dot{I}_3, \text{А}$	50	15	60	15	40	80	10	25	1	40	см. I_1	
$\dot{U}_4, \text{В}$	80	35	35	60	90	10	40	10	15	30	см. U_2	
$\dot{I}_4, \text{А}$	15	35	10	45	20	15	15	15	5	20	см. I_2	
Выбор условия варианта: $\dot{U}_1 = t + jn; \dot{I}_1 = t + jn; \dot{U}_3 = t + jn; \dot{I}_3 = t + jn; \dot{U}_2 = te^{jn}; \dot{I}_2 = t + jn; \dot{U}_4 = te^{jn}; \dot{I}_4 = t + jn.$												

Необходимо рассчитать значения:

- действующих значений напряжений U_k и тока I_k ;
- начальные фазы напряжения ψ_{Uk} и тока ψ_{Ik} , сдвиг фаз между током и напряжением $\phi_k = \psi_{Uk} - \psi_{Ik}$, град;
- комплексное сопротивление $\underline{Z}_k$ в алгебраической и показательной формах;
- активные ReZ_k и реактивные ImZ_k составляющие комплексных сопротивлений нагрузки $\underline{Z}_k$;
- полные $\underline{S}_k$ в алгебраической и показательной формах, активные P_k и реактивные Q_k мощности;
- параметры схемы для построения векторной диаграммы для исследуемой цепи;
- нарисовать схему замещения для исследуемого варианта.

Для электрической схемы, соответствующей номеру варианта, выполнить следующие этапы расчета.

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта

$$\dot{U}_1 = 70 + j80, \text{ В}; \dot{I}_1 = 35 + j20, \text{ А}; \dot{U}_2 = 70e^{j30}, \text{ В}; \dot{I}_2 = 40 + j50, \text{ А}.$$

2. Определить (рассчитать) параметры цепи.

3. Цепь с напряжением $\dot{U}_1$ и $\dot{I}_1$.

4. Комплексное напряжение $\dot{U}_1$ в алгебраической форме:

$$\dot{U}_1 = 70 + j80 \text{ В}.$$

5. Комплексное напряжение $\dot{U}_1$ в показательной форме:

$$\dot{U}_1 = Ue^{j\psi_{U1}} = (t^2 + n^2)^{0,5} \exp[j \arctg(n/t)]; \dot{U}_1 = 106,3e^{j48,84} \text{ В}.$$

6. Комплексный ток $\dot{I}_1$ в алгебраической форме: $\dot{I}_1 = 35 + j20 \text{ А}.$

7. Комплексный ток $\dot{I}_1$ в показательной форме:

$$\dot{I}_1 = Ie^{j\psi_{I1}} = (t^2 + n^2)^{0,5} \exp[j \arctg(n/t)]; \dot{I}_1 = 40,3e^{j29,75} \text{ А}.$$

8. Угол сдвига фазы $\varphi = \Delta\varphi_1$ между напряжением $\dot{U}_1$ и током $\dot{I}_1$:

$$\varphi = \Delta\varphi_1 = \psi_{U1} - \psi_{I1}; \varphi = 19,08 \text{ град}.$$

9. Величина комплексного сопротивления $\underline{Z}_1$:

$$\underline{Z}_k = \dot{U}_k / \dot{I}_k = Ue^{j\psi_U} / Ie^{j\psi_I} = (U/I)e^{j\varphi} = Ze^{j\varphi} = Z \cos \varphi + jZ \sin \varphi = ReZ + jImZ;$$

$$\underline{Z}_1 = 2,49 + j0,862 \text{ Ом}.$$

10. Величина активной составляющей комплексного сопротивления $\underline{Z}_1$:
 $Re\underline{Z}_1 = 2,49 \text{ Ом}.$

11. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления $\underline{Z}_1$:

$$Im\underline{Z}_1 = 0,862 \text{ Ом}.$$

12. Полная комплексная мощность $\underline{S}_1$:

$$\underline{S}_1 = \dot{U}_1 \dot{I}_1^* = Se^{j\varphi} = U_1 I_1 e^{j\varphi} = P_1 + jQ_1,$$

где $\dot{I}_1^*$ – комплексно-сопряженный ток $\dot{I}_1$;

$$\underline{S}_1 = 106,3e^{j48,84} 40,3e^{-j29,75} = 4285e^{j19,1} = 4050 + j1400 \text{ ВА}.$$

13. Активная мощность P_1 : $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$; $P_1 = 4050 \text{ Вт}.$

14. Реактивная мощность Q_1 : $Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi$; $Q_1 = 1400 \text{ ВАр}.$

15. Построение векторной диаграммы токов и напряжений для исследуемой цепи. Векторная диаграмма строится по следующим этапам:

– выбираем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.3, б), например, 1 см - 50 А; 1 см - 50 В;

– рисуем оси +1 и +j (ось +j направляем, например, вверх);

– на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка *a* схемы);

– поскольку в задаче задается значения вектора тока $\dot{I}_1$, то строим его в выбранном масштабе токов с помощью транспортира под углом $29,75^\circ$ к оси +1;

– поскольку в задаче задается значения вектора напряжения $\dot{U}_1$, то строим его в выбранном масштабе напряжений под углом $48,84^\circ$ к оси +1;

– определяем, чему равен угол φ между этими векторами: $\varphi = +19,08^\circ$.

16. Рисуем схему замещения для исследуемого варианта. Поскольку вектор $\dot{U}_1$ опережает вектор $\dot{I}_1$ на угол $19,08^\circ$, то делаем вывод, что нагрузка активно-индуктивная, т.е. содержит идеальную индуктивность и резистор (рис. 2.3, в).

17. Цепь с напряжением $\dot{U}_2$ и $\dot{I}_2$.

18. Комплексное напряжение $\dot{U}_2$ в показательной форме: $\dot{U}_2 = 70e^{j30^\circ}$ В.

19. Комплексное напряжение $\dot{U}_2$ в алгебраической форме:

$$\dot{U}_2 = 60,6 + j35 \text{ В.}$$

20. Комплексный ток $\dot{I}_2$ в алгебраической форме: $\dot{I}_2 = 40 + j50$ А.

21. Комплексный ток $\dot{I}_2$ в показательной форме: $\dot{I}_2 = 64e^{j51^\circ}$ А.

22. Угол сдвига фазы $\varphi = \Delta\varphi_2$ между напряжением $\dot{U}_2$ и током $\dot{I}_2$:

$$\varphi = \Delta\varphi_2 = \psi_{U2} - \psi_{I2}; \varphi = -21,37^\circ \text{ град.}$$

23. Величина комплексного сопротивления $\underline{Z}_2$:

$$\underline{Z}_k = \dot{U}_k / \dot{I}_k = U e^{j\varphi_u} / I e^{j\varphi_i} = (U/I) e^{j\varphi} = Z e^{j\varphi} = Z \cos\varphi + jZ \sin\varphi = \text{Re}Z + j\text{Im}Z;$$

$$\underline{Z}_2 = 1,02 - j0,39 \text{ Ом.}$$

24. Величина активной составляющей комплексного сопротивления $\underline{Z}_2$:

$$\text{Re}\underline{Z}_2 = 1,02 \text{ Ом.}$$

25. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления $\underline{Z}_2$:

$$\text{Im}\underline{Z}_2 = -0,39 \text{ Ом.}$$

26. Полная комплексная мощность $\underline{S}_2$:

$$\underline{S}_2 = \dot{U}_2 \dot{I}_2^* = S_2 e^{j\varphi} = U_2 I_2 e^{j\varphi} = P_2 + jQ_2,$$

где $\dot{I}_2^*$ – комплексно-сопряженный ток $\dot{I}_2$;

$$\underline{S}_2 = 70e^{j30^\circ} 64e^{-j51^\circ} = 4482e^{-j21^\circ} = 4174 - j1632 \text{ ВА.}$$

27. Активная мощность P_2 : $P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi$; $P_2 = 4171$ Вт.

28. Реактивная мощность Q_2 : $Q_2 = U_2 I_2 \sin\varphi$; $Q_2 = -1632$ ВАр.

29. Построим векторную диаграмму токов и напряжений для исследуемой цепи (рис. 2.3, з, д). Нагрузка – активно-емкостная.

30. Рисуем схему замещения для исследуемого варианта.

