

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Первякова Светлана Валерьевна
Должность: Директор колледжа СКФУ в г. Ставрополе
Дата подписания: 16.06.2026 12:06:51
Уникальный программный ключ:
63a18c373da05c089b08fcc89c468af301900f17

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

Колледж СКФУ в г. Ставрополе

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к практическим занятиям

по (учебной) дисциплине **ОП.04 Электротехника и электроника**

Специальность 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Форма обучения очная

Ставрополь

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Электротехника и электроника» составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО и предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 21.02.01 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Методические указания для учебной дисциплины разработаны:

- 1 Афанасьев Сергей Георгиевич, преподаватель колледжа СКФУ

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данные методические указания предназначены для оказания помощи студентам в выполнении практических работ по учебной дисциплине «Электротехника и электроника».

Виды задач и планы их решения

На практических занятиях по физике обычно используются:

- 1) задачи-упражнения, помогающие студентам приобрести твёрдые навыки расчёта и вычислений;
- 2) задачи для демонстрации практического применения тех или иных законов;
- 3) задачи для закрепления и контроля знаний;
- 4) познавательные задачи.

Задачи для закрепления и контроля знаний и задачи-упражнения рассчитаны на использование готовых знаний, полученных из книг, лекций, от преподавателя. Решение таких задач опирается в основном на механизмы памяти и внимания. Оно в известном смысле полезно и даже необходимо.

Например, при решении задачи-упражнения на количественный расчёт средней квадратичной скорости молекул газа при заданных условиях (температуре) студенты должны знать формулу для расчёта средней квадратичной скорости молекул, значение универсальной газовой постоянной, и убедиться, что скорости молекул очень велики даже при комнатных температурах. Всё это полезно для изучения молекулярной физики. Однако только те задачи, в которых устанавливаются новые, неизвестные ранее студентам связи между знакомыми физическими характеристиками, являются стимулятором их умственной деятельности. К таким задачам в первую очередь относятся познавательные задачи. Отличие познавательных задач от задач других видов состоит в том, что в процессе их решения обучающийся приобретает новые знания.

Если студент имеет слабую теоретическую подготовку, решение задач подобного рода может оказаться для него непосильным. Даже в этом случае, если, присутствуя на занятиях, он познакомится с ходом решения и результатом, этого будет недостаточно для достижения цели познавательной задачи. Поэтому нужно требовать, чтобы студенты готовили теоретический материал, и показывать им, что именно невыполнение этого требования приводит к неудаче при решении задач.

Для решения задач расчётного характера достаточно составить систему уравнений, а дальше всё сводится к математическим действиям. Некоторые задачи требуют для решения геометрических построений и использования графиков. Несмотря на различие в видах задач, их решение можно проводить по следующему общему плану (некоторые пункты плана могут выпадать в некоторых конкретных случаях), который надо продиктовать студентам:

1. прочесть внимательно условие задачи;
2. посмотреть, все ли термины в условиях задачи известны и понятны (если что-то неясно, следует обратиться к учебнику, просмотреть решения предыдущих задач, посоветоваться с преподавателем);
3. записать в сокращённом виде условие задачи (когда введены стандартные обозначения, легче вспоминать формулы, связывающие соответствующие величины, чётче видно, какие характеристики заданы, все ли они выражены в одной системе единиц и т.д.);
4. сделать чертёж, если это необходимо (делая чертёж, нужно стараться представить ситуацию в наиболее общем виде, например, если решается задача о колебании маятника, его следует изобразить не в положении равновесия, а отклонённым);
5. произвести анализ задачи, вскрыть её физический смысл (нужно чётко понимать, в чём будет заключаться решение задачи; так, если требуется найти траекторию движения точки, то ответом должна служить запись уравнений кривой, описывающей эту траекторию; на вопрос, будет ли траектория замкнутой линией, следует ответить «да» или «нет» и объяснить, почему выбран такой ответ);

6. установить, какие физические законы и соотношения могут быть использованы при решении данной задачи;

7. составить уравнения, связывающие физические величины, которые характеризуют рассматриваемые явления с количественной стороны;

8. решить эти уравнения относительно неизвестных величин, получить ответ в общем виде. Прежде чем переходить к численным значениям, полезно провести анализ этого решения: он поможет вскрыть такие свойства

рассматриваемого явления, которые не видны в численном ответе;

9. перевести количественные величины в общепринятую систему единиц (СИ), найти численный результат;

10. проанализировать полученный ответ, выяснить как изменяется искомая величина при изменении других величин, функцией которых она является, исследовать предельные случаи.

Приведённая последовательность действий при решении задач усваивается студентами, как правило, в ходе занятий, когда они на практике убеждаются в её целесообразности. Поэтому в конце занятия полезно подвести итог, сформулировать найденный алгоритм рассуждений. Заметим, впрочем, что не всегда может быть предложен алгоритм решения задачи.

При анализе задач на аудиторных занятиях полезно возвращаться к плану. Отклонение от него в большинстве случаев не позволяет студенту решить задачу. Тогда нужно напомнить ему, какой этап пропущен и указать, что именно это и послужило причиной неудачи.

Практические занятия, как правило, должны проводиться в активном и интерактивном режиме. Оценка знаний, умений и навыков осуществляется на всех практических занятиях в соответствии с целями и задачами занятия.

Пример решения задачи

Задача.

Тело брошено от поверхности земли под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 . Определить высоту подъёма и дальность полёта.

Дано:

α

v_0

Найти:

y-?

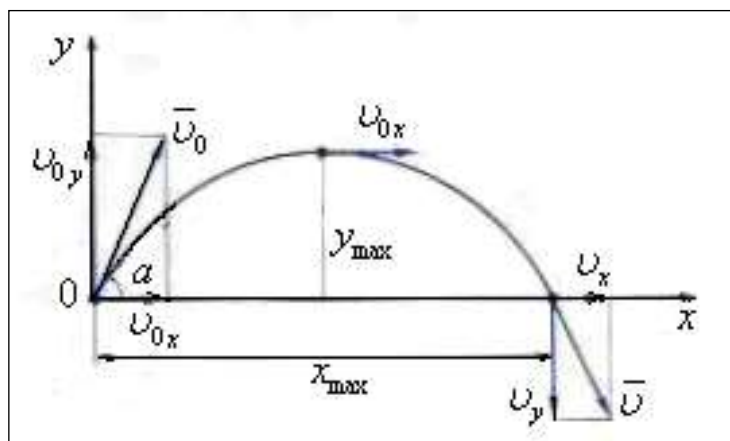
x-?

Решение

Пусть тело брошено от поверхности земли под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0 .

Выберем систему отсчёта таким образом:

- совместив начало прямоугольной декартовой системы координат с началом движения тела;
- ось икс направлена горизонтально;
- ось игрек – вертикально;
- часы отсчитывают время от момента начала движения.



Движение тела под углом к горизонту является равноускоренным, так как происходит в поле тяготения и его описывают следующие уравнения:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

$$\vec{a} = \text{const}$$

Уравнения в проекции на выбранные оси координат запишутся:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \\ v_x = v_{0x} + a_x t \\ a_x = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t \\ v_x = v_{0x} \end{cases}$$

$$\begin{cases} y = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} \\ v_y = v_{0y} + a_y t \\ a_y = -g \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y = y_0 + v_{0y} t - \frac{gt^2}{2} \\ v_y = v_{0y} - gt \end{cases}$$

Уравнение проекции начальной скорости на оси координат запишется:

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

Из систем уравнений можно выразить время, учитывая, что в верхней точке $v_y = 0$, определить время подъёма тела:

$$0 = v_0 \sin \alpha - gt$$

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\text{Высота подъёма: } y = y_0 + v_0 \sin \alpha \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}$$

$$\text{Дальность полёта: } x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\text{Ответ: } y = \frac{(v_0 \sin \alpha)^2}{2g}, x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

2. Объем и содержание практических занятий

№	Наименование темы дисциплины и практического занятия	Форма контроля	Объем часов
1	Тема 1 Основы электромагнитной теории. Практическая работа № 1 Решение задач по электростатике.	письменный отчёт	1
2	Тема 1 Основы электромагнитной теории. Практическая работа № 2 Решение задач по магнетизму.	письменный отчёт	1
3	Тема 1 Основы электромагнитной теории.	письменный	2

	Практическая работа № 3 Решение задач по основам электромагнитного поля.	отчёт	
4	Тема 2 Электрические цепи постоянного тока. Практическая работа № 4 Расчет разветвленной электрической цепи с одним источником энергии.	письменный отчёт	2
5	Тема 2 Электрические цепи постоянного тока. Практическая работа № 5 Расчет разветвлённой электрической цепи с несколькими источниками энергии.	письменный отчёт	2
6	Тема 3 Электрические цепи однофазного переменного тока. Практическая работа № 6 Расчет параметров электрической цепи однофазного переменного тока.	письменный отчёт	2
7	Тема 4 Трёхфазные электрические цепи Практическая работа № 7 Расчет параметров электрической цепи трёхфазного переменного тока.	письменный отчёт	2
8	Тема 5 Электрические измерения и электроизмерительные приборы. Практическая работа № 8 Определение погрешностей измерения электроизмерительных приборов.	письменный отчёт	2
9	Тема 6 Трансформаторы. Практическая работа № 9 Анализ работы трансформатора.	письменный отчёт	2
10	Тема 7 Электрические машины. Практическая работа № 10 Анализ работы асинхронных машин.	письменный отчёт	2
11	Тема 7 Электрические машины. Практическая работа № 11 Анализ работы машины постоянного тока.	письменный отчёт	2
12	Тема 7 Электрические машины. Практическая работа № 12 Расчет мощности и выбор двигателя для повторно-кратковременного режима.	письменный отчёт	2
13	Тема 8 Основы электроники Практическая работа № 13 Расчет выпрямителя.	письменный отчёт	2
14	Тема 8 Основы электроники. Практическая работа № 14 Расчет усилительного каскада на транзисторе по схеме с общим эмиттером.	письменный отчёт	4
	Итого:		28

Тема 1 Основы электромагнитной теории

Практическая работа № 1

Тема: Решение задач по электростатике.

Задача 1

По кольцу радиусом R распределен равномерно заряд Q . Найдите составляющую электрического поля вдоль оси кольца на расстоянии x_0 от его центра.

Задача 2

Два точечных электрических заряда $Q_1=1\text{нКл}$ и $Q_2=-2\text{нКл}$ находятся в воздухе на расстоянии $d=10\text{ см}$ друг от друга. Определить напряжённость E и потенциал φ поля, создаваемого этими зарядами в точке A , удалённой от заряда Q_1 на расстояние $r_1=9\text{ см}$ и от заряда Q_2 на $r_2=7\text{ см}$.

Задача 3

Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?

Задача 4

Одинаковые шарики массой по $0,2\text{г}$ подвешены на нити так, как показано на рисунке. Расстояние между шариками $BC = 3\text{ см}$. Найти силу натяжения нити на участках AB и BC , если шарикам сообщили одинаковые по модулю заряды по 10 нКл . Рассмотреть случаи: а) заряды одноименные; б) заряды разноименные.

Задача 5

Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют одинаковые отрицательные заряды и взаимодействуют с силой $0,23\text{ мН}$. Найти число избыточных электронов на каждом шарике.

Задача 6

С каким ускорением движется электрон в электрическом поле напряженностью 10 кВ/м ?

Два заряда, один из которых по модулю в 4 раза больше другого, расположены на расстоянии r друг от друга. В какой точке пространства напряженность поля равна нулю, если заряды: а) одноименные; б) разноименные?

Задача 7

Заряженный металлический лист свернули в цилиндр. Как изменилась поверхностная плотность заряда?

Задача 8

Найти напряженность поля заряженной бесконечной пластины, если поверхностная плотность заряда на ней равна 354 нКл/м^2

Задача 9

Между двумя пластинами, расположенными горизонтально в вакууме на расстоянии $4,8\text{ мм}$ друг от друга, находится в равновесии отрицательно заряженная капелька масла массой 10нг . Сколько «избыточных» электронов имеет капелька, если на пластины подано напряжение 1 кВ ?

Задача 10

Емкость одного конденсатора 200 пФ , а другого — 1 мкФ . Сравнить заряды, накопленные на этих конденсаторах при их подключении к полюсам одного и того же источника постоянного напряжения.

Задача 11

Во сколько раз изменится емкость конденсатора при уменьшении рабочей площади пластинок в 2 раза и уменьшении расстояния между ними в 3 раза?

Задача 12

При введении в пространство между пластинами воздушного конденсатора твердого диэлектрика напряжение на конденсаторе уменьшилось с 400В до 50В . Какова диэлектрическая проницаемость диэлектрика?

Задача 13

Расстояние между пластинами заряженного плоского конденсатора уменьшили в 2 раза. Во сколько раз изменилась энергия и плотность энергии поля? Рассмотреть два случая: а) конденсатор отключили от источника напряжения; б) конденсатор остался присоединенным к источнику постоянного напряжения.

Тема 1 Основы электромагнитной теории

Практическая работа № 2

Тема: Решение задач по магнетизму.

Задача 1

Два параллельных бесконечно длинных провода D и C , по которым текут в одном направлении токи силой $I=60$ А, расположены на расстоянии $d=10$ см друг от друга. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводниками с током в точке A , отстоящей от одного проводника на расстоянии $r_1=5$ см, от другого на расстоянии $r_2=12$ см.

Задача 2

Рамка площадью 400 см^2 помещена в однородное магнитное поле индукцией $0,1$ Тл так, что нормаль к рамке перпендикулярна линиям индукции. При какой силе тока на рамку будет действовать вращающий момент $20\text{ мН}\cdot\text{м}$?

Задача 3

Магнитный поток внутри контура, площадь поперечного сечения которого 60 см^2 , равен $0,3\text{ мВб}$. Найти индукцию поля внутри контура. Поле считать однородным и перпендикулярным плоскости проводника.

Задача 4

Какова индукция магнитного поля, в котором на проводник с длиной активной части 5 см действует сила 50 мН ? Сила тока в проводнике 25 А. Проводник расположен перпендикулярно вектору индукции магнитного поля.

Задача 5

Проводник ab , длина которого l и масса m , подвешен на тонких проволочках. При прохождении по нему тока I он отклонился в однородном магнитном поле так, что нити образовали угол α с вертикалью. Какова индукция магнитного поля?

Задача 6

Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью 10 Мм/с в магнитном поле индукцией $0,2$ Тл перпендикулярно линиям индукции?

Задача 7

Протон в магнитном поле индукцией $0,01$ Тл описал окружность радиусом 10 см. Найти скорость протона.

Задача 8

Протон и α -частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы окружностей, которые описывают частицы, если у них одинаковы: а) скорости; б) энергии. Заряд α -частицы в 2 раза больше заряда протона, а масса α -частицы в 4 раза больше его массы.

Задача 9

Магнитное поле Земли представляет собой поле магнитного диполя. Предположим, что оно создается кольцевым током, текущим в плоскости экватора на расстоянии 5000 км от центра Земли. Какова величина этого тока, если вблизи магнитного полюса Земли $B \sim 1$ Гс?

Задача 10

Пусть металлический сплав содержит $8 \cdot 10^{22}$ атомов/ см^3 . В среднем на каждые два атома приходится магнитный момент, равный магнитному моменту одного электрона. Чему равно магнитное поле в таком намагниченном сплаве?

Тема 1 Основы электромагнитной теории

Практическая работа № 3

Тема: Решение задач по основам электромагнитного поля.

Задача 1

По какому закону должен изменяться магнитный поток в зависимости от времени, чтобы ЭДС индукции, возникающая в контуре, оставалась постоянной?

Задача 2

Сколько витков должна содержать катушка с площадью поперечного сечения 50 см^2 , чтобы при изменении магнитной индукции от $0,2 \text{ Тл}$ до $0,3 \text{ Тл}$ в течение 4 мс в ней возбуждалась ЭДС 10 В ?

Задача 3

С какой скоростью надо перемещать проводник под углом 60° к линиям индукции магнитного поля, чтобы в проводнике возбуждалась ЭДС индукции 1 В ? Индукция магнитного поля равна $0,2 \text{ Тл}$. Длина активной части 1 м .

Задача 4

Какая ЭДС самоиндукции возбуждается в обмотке электромагнита индуктивностью $0,4 \text{ Гн}$ при равномерном изменении силы тока в ней на 5 А за $0,02 \text{ с}$?

Задача 5

В катушке индуктивностью $0,6 \text{ Гн}$ сила тока равна 20 А . Какова энергия магнитного поля этой катушки? Как изменится энергия поля, если сила тока уменьшится вдвое?

Задача 6

Какой должна быть сила тока в обмотке дросселя индуктивностью $0,5 \text{ Гн}$, чтобы энергия поля оказалась равной 1 Дж ?

Задача 7

Катушка размером $5 \times 6 \text{ см}^2$ с 200 витками вращается со скоростью 60 об/с в магнитном поле величиной 5000 Гс ($0,5 \text{ Тл}$). Постройте график зависимости выходного напряжения от времени.

Задача 8

Вычислить потери при передаче мощности 10 МВт в линии электропередачи сопротивлением 10 Ом . Рассмотреть два случая, когда генератор вырабатывает напряжение а) $1,4 \cdot 10^4 \text{ В}$ и б) 10^5 В .

Задача 9

Сверхпроводящий соленоид длиной 10 см и площадью сечения сердечника $S = 2,0 \text{ см}^2$ имеет 1000 витков и подключен к батарее с напряжением 12 В . Чему равен ток спустя $0,01 \text{ с}$ после замыкания ключа?

Задача 10

Пусть первичная обмотка трансформатора содержит 10 витков, а вторичная – 25 витков. Если к первичной обмотке приложено переменное напряжение с частотой 60 Гц , то через обе обмотки проходят максимум четыре силовые линии магнитного поля. Чему равны амплитуды напряжения в каждой обмотке?

Тема 2 Электрические цепи постоянного тока**Практическая работа № 4**

Тема: Расчет разветвленной электрической цепи с одним источником энергии.

Задача

Дана разветвленная электрическая цепь на рисунке, содержащая один источник энергии с ЭДС E и приёмники $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$. Методом линейных преобразований найти токи во всех ветвях и напряжения на элементах цепи. Составить баланс мощности. Исходные данные приведены в таблице.

Номер варианта	Номер рисунка	E ,	R_1 ,	R_2 ,	R_3 ,	R_4 ,	R_5 ,	R_6 ,
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	а	30	2	2	6	12	12	1
2	б	30	2	2	12	6	12	2

3	ϵ	20	2	12	2	6	12	3
4	ζ	20	2	6	12	2	12	4
5	∂	30	6	2	12	2	12	5
6	e	40	4	12	2	6	12	6
7	a	40	4	12	2	12	6	7
8	δ	40	12	4	12	6	2	8
9	ϵ	40	6	12	2	4	2	9
10	ζ	40	2	4	12	6	12	10

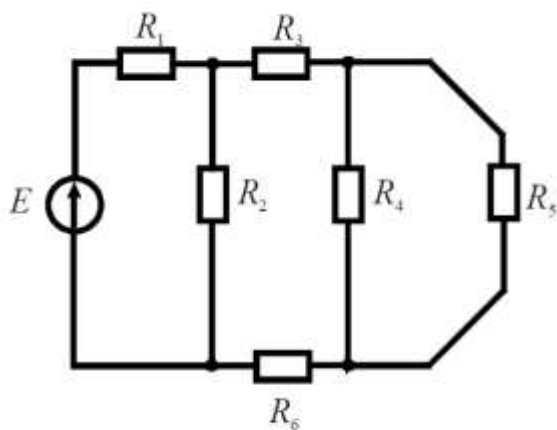


Рис. а

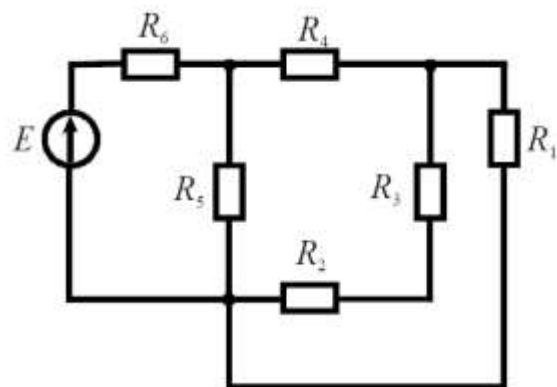


Рис. б

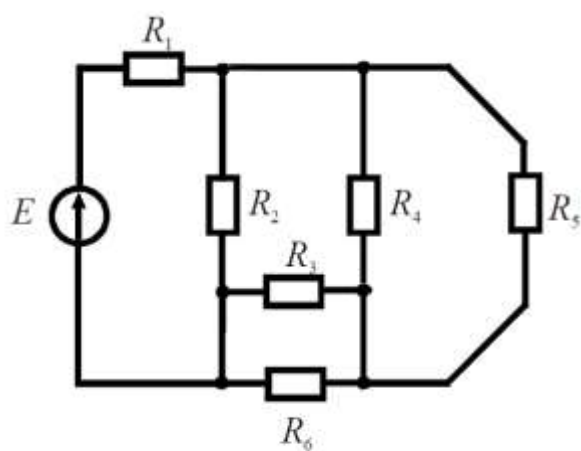


Рис. в

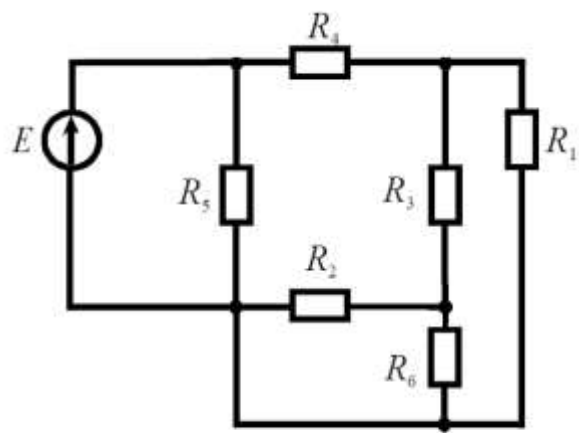


Рис. г

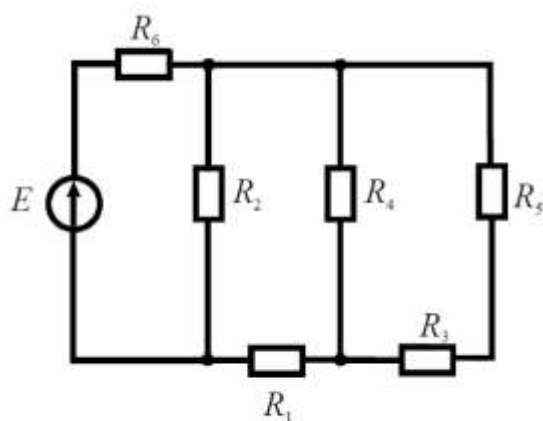


Рис. д

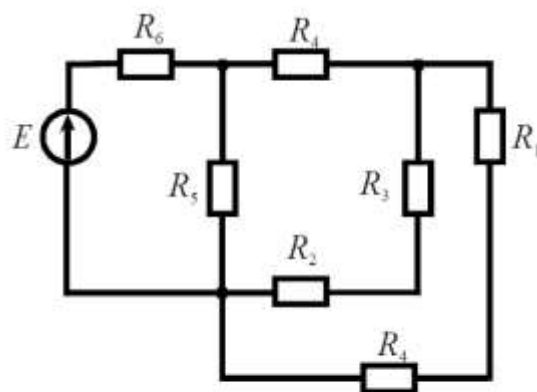


Рис. е

Тема 2 Электрические цепи постоянного тока

Практическая работа № 5

Тема: Расчет разветвлённой электрической цепи с несколькими источниками энергии.

Задача

К генератору постоянного тока, имеющего ЭДС $E_1 = 12$ В и внутреннее сопротивление $R_1 = 0,5$ Ом, подключен для заряда аккумулятор с ЭДС E_2 и внутренним сопротивлением R_2 , а также n одинаковых ламп накаливания мощностью P каждая с номинальным напряжением $U_H = 12$ В. Лампы включаются параллельно. Данные E_2 , R_2 , n и P приведены в таблице. Составить схему электрической цепи, а затем перейти к расчетной схеме замещения. Определить токи в ветвях методом контурных токов. Составить баланс мощностей.

№	E_2 ,	R_2 ,	P ,	n ,
вар	В	Ом	Вт	шт.
1	10	8,5	5	2
2	8	4,8	3	4
3	9	3	2	6
4	11	5	1	7
5	6	4,5	1	8
6	5	6	2	7
7	7,5	5,8	3	5
8	4,8	6,2	5	3
9	8	3,8	4	2
10	7	5,2	3	4

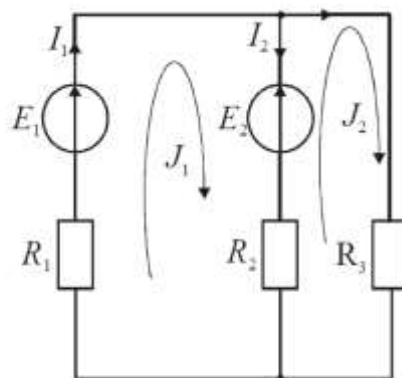


Рис. Расчет цепи методом контурных токов

Тема 3 Электрические цепи однофазного переменного тока

Практическая работа № 6

Тема: Расчет параметров электрической цепи однофазного переменного тока.

Задача 1

В цепи (рис.) активные и реактивные сопротивления ветвей соответственно равны R_1 , X_1 и R_2 , X_2 . Ток, измеренный амперметром, I_1 . Определить: а) показания вольтметра и ваттметра; б) коэффициент мощности на зажимах цепи. Расчет выполнить методом комплексных чисел. Построить векторную диаграмму.

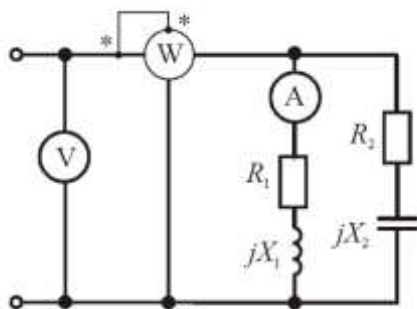


Рис.

Таблица

№ вар.	Данные к задаче 1				
	I_1, A	$R_1, \text{Ом}$	$X_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_2, \text{Ом}$
1	3	3	4	2	-5
2	4	3	4	3	-6
3	5	3	4	2	-5
4	3	4	3	3	-6
5	4	4	3	4	-2
6	5	4	3	5	-3
7	3	6	8	4	-2
8	4	6	8	5	-3
9	5	8	6	4	-4
10	6	8	6	5	-4

Задача 2

В цепи (рис.) активные и реактивные сопротивления соответственно равны R_1 , X_1 , R_2 , X_2 и R_3 , X_3 . К зажимам цепи приложено синусоидальное напряжение, действующее значение которого U . Определить: а) действующее значение токов в ветвях и в неразветвленном участке; б) активную, реактивную и полную мощности в параллельных ветвях и на зажимах цепи. Построить векторную диаграмму.

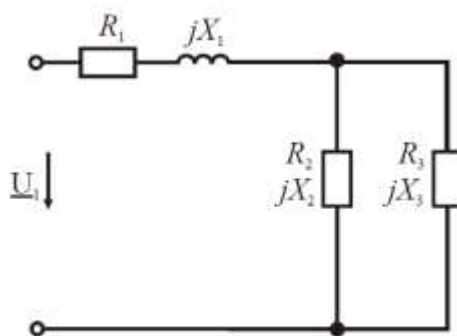


Рис.

Таблица

№ вар.	Данные к задаче 2						
	U , В	R_1 , Ом	X_1 , Ом	R_2 , Ом	X_2 , Ом	R_3 , Ом	X_3 , Ом
1	60	0,5	1	3	4	1,5	-2
2	70	0,5	1	4	-3	1,5	2
3	80	0,5	1	6	8	2	-1,5
4	90	0,5	1	8	-6	2	-1,5
5	100	0,5	1	3	4	6	-8
6	120	1	0,5	4	-3	8	6
7	100	1	0,5	6	8	1,5	-2
8	90	1	0,5	8	-6	1,5	2
9	80	1	0,5	3	1	2	-1,5
10	110	1	0,5	4	-2	2	1,5

Задача 3

К сети переменного тока с частотой $f = 50$ Гц и напряжением $U = 220$ В (рис.) подключены параллельно катушка индуктивности с параметрами R , L и конденсатор с параметром C (потерями активной мощности в конденсаторе пренебрегаем). Значения параметров приведены в таблице. Определить токи в ветвях цепи. Составить баланс мощностей. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжения.

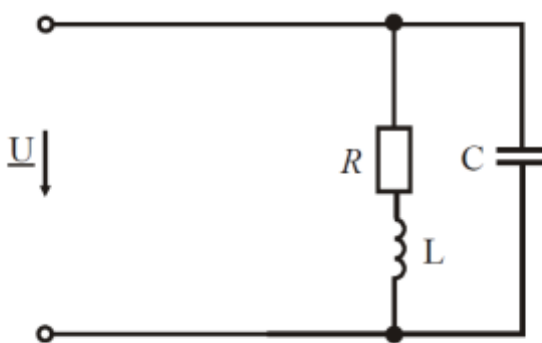


Рис.

Таблица

№ вар.	Данные к задаче 3		
	R , Ом	L , Гн	C , мкФ
1	10	0,1	80
2	20	0,15	60
3	15	0,2	70
4	12	0,25	65
5	18	0,3	78
6	10	0,1	92
7	8	0,08	110
8	30	0,2	120
9	12	0,15	150
10	6	0,07	200

Задача 4

В цепь синусоидального переменного тока (рис.) включены две параллельные ветви. Параметры включенных в них элементов известны: R_1 , R_2 , L , C . Напряжение на конденсаторе U_C . Найти токи в ветвях и неразветвленной части цепи. Определить коэффициент мощности всей цепи. Построить векторную диаграмму. Частота переменного тока $f = 50$ Гц.

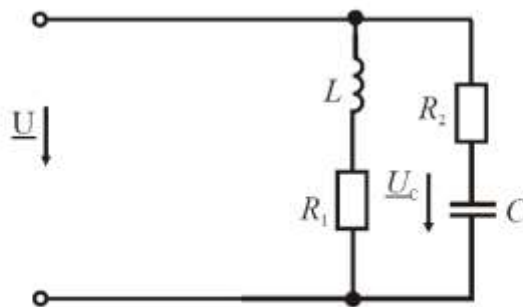


Рис.

Таблица

№ вар.	Данные к задаче 4				
	U_C , В	L , Г	C , мкФ	R_1 , Ом	R_2 , Ом
1	30	0,096	630	4	5
2	20	0,0127	400	6	3
3	40	0,019	500	3	4
4	50	0,016	680	8	4
5	60	0,032	750	5	6
6	40	0,019	600	7	5
7	30	0,0127	320	6	3
8	20	0,0096	400	5	4
9	50	0,0127	500	3	6
10	60	0,016	320	4	5

Задача 5

К зажимам цепи (рис.) подведено синусоидальное напряжение, действующее значение которого U ; частота $f = 50$ Гц. Показания приборов: ваттметра P , амперметра: при включенной батарее конденсаторов I , при отключенной - I'' . Определить: а) активное и реактивное сопротивления катушки; б) емкость батареи конденсаторов. Построить векторную диаграмму токов и напряжения. Написать выражение для мгновенных значений напряжения и тока (при отключенной батарее конденсаторов).

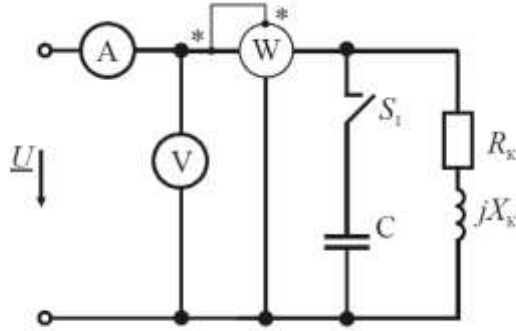


Рис.

Таблица

№ вар.	Данные к задаче 5			
	U , В	P , Вт	I , А	I'' , А
5-1	100	112	3	4
5-2	120	360	4,5	5
5-3	150	240	1,5	2
5-4	120	80	2	3
5-5	125	600	5	6
5-6	160	1200	9	10
5-7	220	2904	20	22
5-8	260	1000	8	10
5-9	400	4500	20	25
5-10	450	2000	6	8

Тема 4 Трёхфазные электрические цепи

Практическая работа № 7

Тема: Расчет параметров электрической цепи трёхфазного переменного тока.

Задача 1

В трёхфазную четырёхпроводную сеть с линейным напряжением $U = 380$ В включены по схеме звезда осветительные лампы ДРЛ с параметрами R , X в каждой фазе. Параметры R , X , приведены в таблице. Электрическая схема замещения показана на рисунке. Определить фазные токи потребителей. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений.

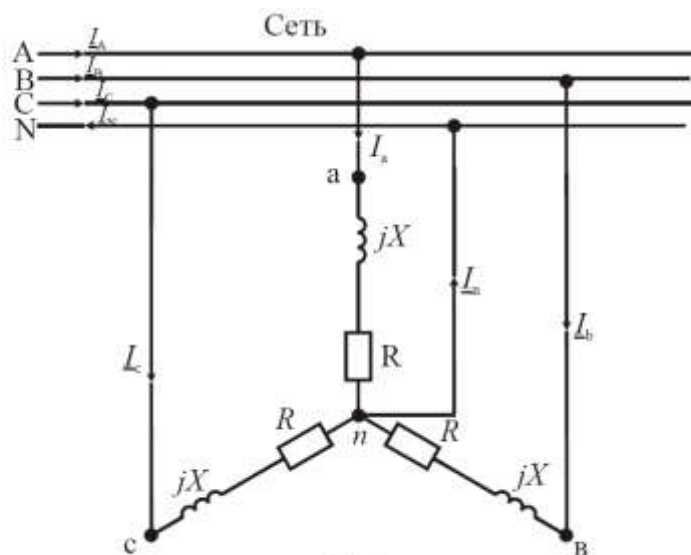


Рис.

Таблица

№ вар.	R , Ом	X , Ом
1	36,6	55,6
2	21,8	29
3	52,7	53,8
4	34,9	44,5
5	18,6	34
6	10,1	17,5
7	18,3	27,8
8	34,1	39,8
9	27,9	28,5
10	28,4	33,2

Задача 2

В трёхфазную сеть с линейным напряжением U_L включены нагревательные элементы по схеме треугольника мощностью P в каждой фазе. Электрическая схема замещения показана на рисунке. Определить фазные и линейные токи потребителей. Построить в масштабе векторную диаграмму токов и напряжений. Мощность нагревательных элементов P и напряжение U_L приведены в таблице. Примечание: сопротивление нагревательного элемента $R_{HЭ} = \frac{P}{I^2} = \frac{U^2}{P}$.

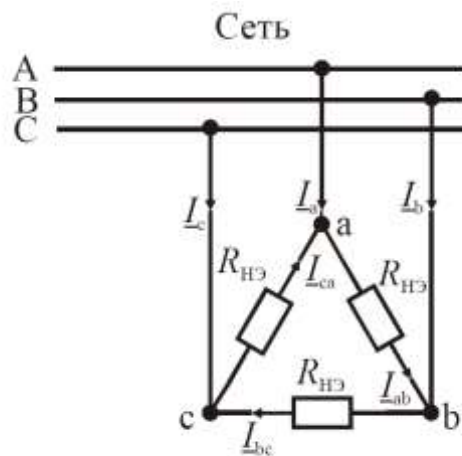


Рис.

Таблица

№ вар.	$U_{\text{Л}},$ В	$P,$ кВт
1	127	0,4
2	220	0,8
3	380	0,9
4	127	1,2
5	220	1,4
6	380	4
7	127	0,4
8	220	0,2
9	380	0,6
10	127	0,5

Задача 3

К трехфазной четырехпроводной линии с линейным напряжением $U_{\text{Л}}$ подключен несимметричный приемник, соединенный по схеме звезда с нейтральным проводом на рисунке. Активные и реактивные сопротивления фаз приемника соответственно равны $R_a, X_a;$ $R_b, X_b;$ R_c, X_c . Определить токи в фазах, нейтральном проводе, активную и реактивную мощности приемника. Построить векторную диаграмму токов и напряжений. Исходные данные приведены в таблице.

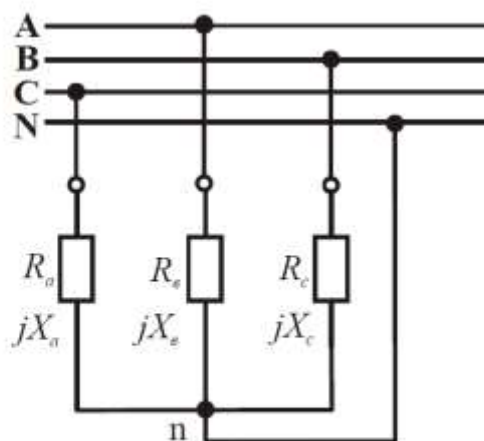


Рис.

Таблица

Вариант	$U_L, \text{В}$	R_a	X_a	R_6	X_6	R_c	X_c
		Ом					
1	220	10	0	3	4	9	-12
2	380	10	0	4	-3	12	9
3	220	11	0	6	8	18	-24
4	380	19	0	8	-6	24	18
5	220	20	0	12	16	18	-24
6	380	20	0	16	-12	12	9
7	220	22	0	1,5	2	9	-12
8	380	38	0	2	-1,5	6	8
9	220	20	0	18	24	4	-3
10	380	19	0	24	-18	3	4

Задача 4

К трехфазной линии с линейным напряжением 380 В подключены два симметричных приемника (рис). Один из них соединен по схеме звезда и потребляет активную мощность P_1 при коэффициенте мощности $\cos\varphi_1(\varphi_1>0)$, другой соединен по схеме треугольника и потребляет активную мощность P_2 при коэффициенте мощности $\cos\varphi_2(\varphi_2>0)$. Определить показания амперметров. Исходные данные приведены в таблице.

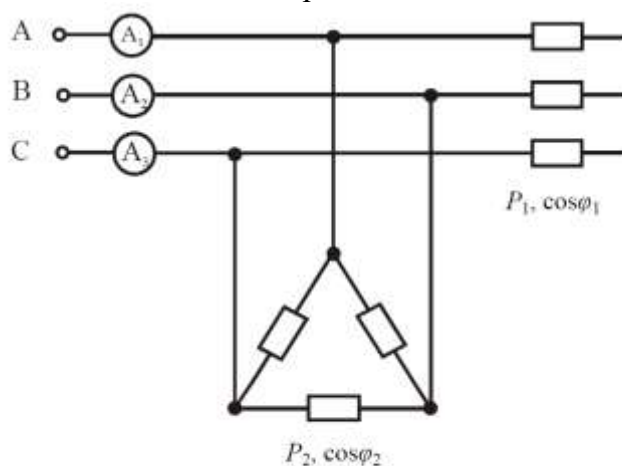


Рис.

Таблица

Вариант	$P_1, \text{кВт}$	$\cos\varphi_1$	$P_2, \text{кВт}$	$\cos\varphi_2$
1	3	0,7	10	0,5
2	4	0,7	8	0,6
3	5	0,5	6	0,5
4	6	0,8	5	0,5
5	8	0,7	6	0,6
6	10	0,6	4	0,5
7	12	0,6	3	0,5
8	14	0,7	6	0,6
9	16	0,8	5	0,6
10	18	0,9	4	0,5

Задача 5

К трехфазной линии с линейным напряжением U_L включены два симметричных приемника соединенные звездой (рис.). Один из них представляет активную нагрузку с сопротивлением фазы $Z_1 = R_1$, другой - активно-индуктивную с сопротивлением фаз $Z_2 = R_2 + jX_2$. Определить показания амперметров, активную и реактивную мощности и $\cos \varphi$. Исходные данные приведены в таблице.

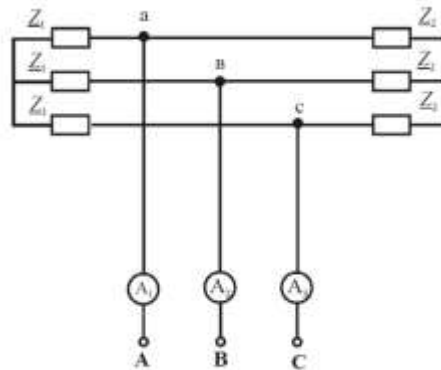


Рис.

Таблица

Вариант	$U_L, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$X_2, Ом$
1	127	10	10	4
2	220	15	15	8
3	380	25	20	15
4	127	20	15	3
5	220	30	25	6
6	380	20	20	8
7	127	15	30	4
8	220	20	25	8
9	380	20	15	15
10	220	25	30	6

Тема 5 Электрические измерения и электроизмерительные приборы

Практическая работа № 8

Тема: Определение погрешностей измерения электроизмерительных приборов.

Задача1

Определить для вольтметра с пределом измерения U_{max} класса точности Кприведённую, относительную погрешность для точек U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 и наибольшую абсолютную погрешность прибора. Данные для решения задачи – в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные к задаче 1

№ варианта	Диапазон измерений $U_{max} (В)$	Класс Точности прибора	$U_{изм} (В)$ – измеренные значения физической величины				
			$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$U_5, В$
1;14	200	0,5	100	85	178	78	66
2;15	10	1	5	2,5	3	4,5	1,5
3;16	15	1,5	6	10	12	7	11
4;17	50	2	23	30	20	44	8
5;18	30	2,5	15	20	13	28	7
6;19	100	0,2	40	26	86	94	71
7;20	250	0,1	56	125	245	180	56
8;21	150	4	68	100	132	98	36
9;22	5	0,5	0,78	1	2	3	4
10;23	30	1	28	15	13	8	18
11;24	30	1,5	18,9	25	23	13	9
12;25	20	2	17,8	13	15	12	18
13;26	300	2,5	250	180	146	178	64

Задача2

Требуется выбрать один из двух поддиапазонов измерений $U_{\max 1}$ или $U_{\max 2}$ магнитоэлектрического вольтметра класса точности $K_{\text{так}}$, чтобы минимизировать максимальную, без учёта знака, погрешность измерения напряжения, значение которого близко к значению $U_{\text{изм}}$. Данные для решения задачи – в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные к задаче 2

№ варианта	Диапазон измерений $U_{\max 1}$ (В)	Диапазон измерений $U_{\max 2}$ (В)	Класс точности прибора	$U_{\text{изм}}$, В
1;14	0-30	0-100	0,5	18
2;15	0-150	0-50	1	25
3;16	0-250	0-150	1,5	125
4;17	0-50	0-100	2	30
5;18	0-100	0-200	2,5	75
6;19	0-200	0-50	0,2	48
7;20	0-30	0-150	0,1	25
8;21	0-150	0-30	4	15
9;22	0-250	0-50	0,5	46
10;23	0-150	0-100	1	75
11;24	0-100	0-50	1,5	45
12;25	0-200	0-30	2	18
13;26	0-300	0-100	2,5	80

Задача3

Для проверки лабораторного ваттметра использовали образцовый прибор и сравнивали показания испытуемого ваттметра с показаниями образцового. Опыт проводили 5 раз. Диапазон измерений у приборов одинаков – $W_{\max}$. Необходимо определить класс точности испытуемого ваттметра на основе проведённых измерений. Данные для решения задачи – в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Исходные данные к задаче 3

№ варианта	Диапазон измерений $W_{\max}$ (Вт)	$W_{\text{и1}}/W_{\text{о1}}$	$W_{\text{и2}}/W_{\text{о2}}$	$W_{\text{и3}}/W_{\text{о3}}$	$W_{\text{и4}}/W_{\text{о4}}$	$W_{\text{и5}}/W_{\text{о5}}$
1;14	0-250	149/150	112/115	78/80	59/60	126/123
2;15	0-50	48,5/50	32/30	18/20	48/50	18/15
3;16	0-100	74,8/75	69/70	99/100	46/45	33/35
4;17	0-200	199/200	155/150	99/100	53/55	148/150
5;18	0-300	267/266,7	189/190	213/215	77/80	113/110
6;19	0-30	15,3/15	6/8	11/10	19/20	13/15
7;20	0-150	99/100	77/75	79/80	26/25	18/20
8;21	0-250	239/240	136/140	121/120	145/150	249/250
9;22	0-50	29/30	18/20	11/10	9/10	6/5
10;23	0-100	64,7/65	89/90	71/75	12/15	89/90
11;24	0-200	189,8/190	99/100	189/190	149/150	71/75
12;25	0-30	28,9/30	11/10	29/30	28/30	18/20
13;26	0-150	148,9/150	101/100	68/70	148/150	48/50

Тема 6 Трансформаторы

Практическая работа № 9

Тема: Анализ работы трансформатора.

Задача

Для трёхфазного трансформатора, параметры которого приведены в таблице, определить номинальные токи первичной и вторичной обмоток; сопротивления обмоток трансформатора r_1 , r_2 , x_1 , x_2 и намагничивающей цепи r_0 , x_0 ; коэффициент трансформации. Построить внешнюю характеристику, т. е. зависимость $U_2 = f(\beta)$; зависимость коэффициента

полезного действия от степени загрузки $\eta = f(\beta)$. Коэффициент мощности принять равным $\cos\varphi_2 = 0,8$.

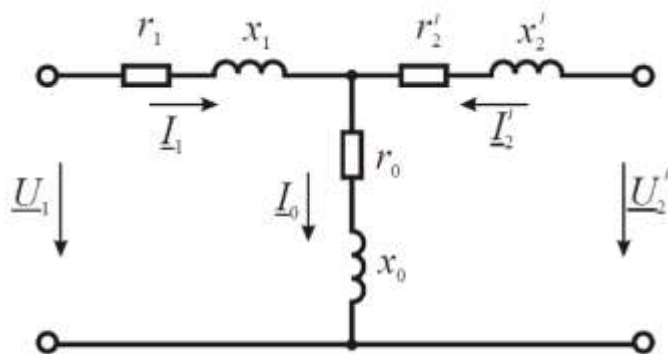


Рис. Схема замещения трансформатора

Таблица

№ варианта	Номинал. мощ. S_H кВА	$U_{ВН}$ кВ	$U_{НН}$ кВ	Схема и группа соединения обмоток	Потери кВт		u_K %	I_0 %
					P_0	P_K		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	63	6	0,4	Y/Y _H	0,24	1,28	4,5	2,8
2	100	6	0,4	Y/Y _H	0,33	1,97	4,5	2,6
3	100	10	0,4	Y/Y _H	0,33	1,97	4,5	2,6
4	160	6	0,4	Y/Y _H	0,51	2,65	4,5	2,4
5	160	10	0,4	Y/Y _H	0,51	2,65	4,5	2,4
6	160	35	0,4	Y/Y _H	0,62	2,65	6,5	2,4
7	160	6	0,59	Δ/Y _H	0,51	3,1	4,5	2,4
8	160	10	0,69	Δ/Y _H	0,51	3,1	4,5	2,4
9	160	35	0,69	Δ/Y _H	0,62	3,1	6,5	2,4
10	250	6	0,4	Y/Y _H	0,74	3,7	4,5	2,3

Тема 7 Электрические машины

Практическая работа № 10

Тема: Анализ работы асинхронных машин.

Задача

Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором включён в сеть с номинальным напряжением $U_H = 380$ В и частотой $f = 50$ Гц. Обмотка статора соединена в звезду. Данные двигателя приведены в таблице. Определить: потребляемую мощность, номинальный и максимальный моменты, пусковой ток, номинальное и критическое скольжения. Построить механическую характеристику $M = f(s)$.

Таблица Номинальные данные двигателей

№ вариан-та	P_H кВт	n_H об/мин	η	$\cos\varphi_H$	I_H/I_H	M_m/M_H
1	2	3	4	5	6	7
1	0,09	2742	0,6	0,7	3,5	2,2
2	0,12	2709	0,63	0,7	3,5	2,2
3	0,18	2760	0,66	0,76	4	2,2
4	0,25	2850	0,68	0,77	4	2,2
5	0,37	2751	0,7	0,86	4,5	2,2
6	0,55	2745	0,73	0,86	4,5	2,2
7	0,75	2823	0,77	0,87	5,5	2,2
8	1,1	2811	0,775	0,87	5,5	2,2
9	1,5	2874	0,81	0,85	6,5	2,6
10	2,2	2871	0,83	0,87	6,5	2,6

Тема 7 Электрические машины

Практическая работа № 11

Тема: Анализ работы машины постоянного тока.

Задача

Двигатель параллельного возбуждения питается от сети постоянного тока с напряжением $U_H = 220$ В. Данные двигателя: номинальная мощность P_H ; частота вращения при номинальной нагрузке n_H ; коэффициент полезного действия η_H ; число полюсов $2p$. Ток возбуждения принять равным $I_B = 5\%$ от тока двигателя при номинальной нагрузке. Потери в обмотке якоря принять равными 50% от всех потерь двигателя.

Выполнить следующие задания:

1. Начертить принципиальную электрическую схему включения двигателя с параллельным возбуждением.
2. Рассчитать механическую характеристику двигателя.
3. Определить пусковые значения тока и момента. Вычислить сопротивление одноступенчатого пускового реостата.
4. Построить механические характеристики $n=f(M)$ при отсутствии добавочного сопротивления в цепи якоря (естественная характеристика) и при введении сопротивления пускового реостата (искусственная характеристика).

Графические зависимости построить в одних осях координат.

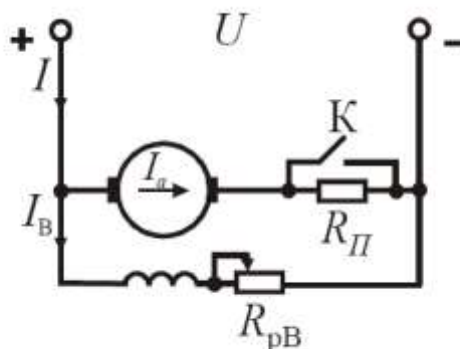


Рис. Схема включения двигателя

Таблица Номинальные данные двигателей

№ варианта	P_H кВт	n_H об/мин	η	$2p$
1	0,37	1500	0,71	2
2	0,55	1500	0,74	2
3	0,75	1500	0,75	2
4	0,37	1000	0,71	2
5	1,1	1500	0,76	2
6	0,55	1000	0,74	2
7	0,37	750	0,71	2
8	1,5	1500	0,77	4
9	0,75	1000	0,75	4
10	0,55	750	0,74	4

Тема 7 Электрические машины

Практическая работа № 12

Тема: Расчет мощности и выбор двигателя для повторно-кратковременного режима.

Задача

Производственный механизм работает с продолжительной переменной нагрузкой. В таблице 1 приведены нагрузочные диаграммы работы механизма и синхронная частота вращения n_1 . Требуется построить нагрузочную диаграмму $P(t)$, выбрать по каталогу асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Провести проверку двигателя по перегрузочной способности. Другой производственный механизм работает с повторно-кратковременной нагрузкой, таблица 2. Для этого механизма построить нагрузочную диаграмму $M(t)$, выбрать по каталогу асинхронный короткозамкнутый двигатель и проверить его по перегрузочной способности. Для всех заданных вариантов коэффициент, учитывающий возможное снижение напряжения, принять равным $k_u = 0,85$.

Нарисовать схему управления 3^х фазным асинхронным двигателем и описать ее работу.

Таблица 1

№ вар.	P , кВт						t , с						n_1 , об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	15	25	0	30	5	10	50	10	30	10	75	60	1000
2	14	8	0	25	10	10	4	2	40	7	3	15	1500
3	25	10	35	8	5	10	2	2	1	1	2	3	1500
4	5	20	30	0	4	8	3	2	3	1	4	3	1500
5	25	10	35	8	5	10	20	10	30	30	45	30	1000
6	8	4	6	20	10	6	30	40	10	10	15	20	1000
7	25	10	35	8	5	10	15	15	20	20	10	10	1500
8	10	25	50	8	4	15	25	10	5	5	10	15	1000
9	13	8	0	30	5	10	30	30	20	20	10	15	1000
10	8	4	6	20	10	6	25	10	15	15	20	20	1000

Таблица 2

№ вар.	M , Н·м			t , с			t_p , с	n_1 , об/мин
1	80	40	60	10	5	20	25	1500
2	120	100	95	10	10	15	55	1000
3	50	20	30	10	15	10	5	1000
4	150	125	145	10	20	10	60	1000
5	150	130	160	10	25	20	35	1500
6	40	30	10	5	15	20	10	1000
7	40	25	20	5	15	15	5	1500
8	30	15	25	5	20	10	25	1000
9	20	15	10	5	10	5	60	1000
10	180	140	150	5	15	15	25	1500

Тема 8 Основы электроники**Практическая работа № 13****Тема:** Расчет выпрямителя.**Задача**

Выполнить расчет выпрямителя: определить токи и напряжения обмоток трансформатора, определить его мощность, осуществить подбор диодов и емкости конденсатора фильтра.

Исходные данные для расчета выпрямителя приведены в таблице, где U_C – напряжение сети, питающей выпрямитель; f_C – частота сети переменного тока; U_0 – выходное выпрямленное напряжение; I_0 – ток на выходе выпрямителя; $K_{П}$ % - коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения.

Таблица

№№ вар.	№№ рис.	U_c	U_0	I_0	f_c	K_{Π}
		В		А	Гц	%
1	з	220	5	10	50	1,5
2	в	127	18	5	50	1,7
3	б	220	10	8	50	1,9
4	а	127	10	12	50	2,0
5	е	220	10	15	60	2,2
6	д	220	20	15	60	1,8
7	з	127	20	15	50	2,4
8	в	380	20	15	50	2,5
9	б	220	10	2	50	1,5
10	а	220	10	2	50	1,7

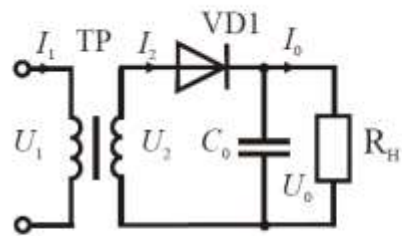


Рис. а

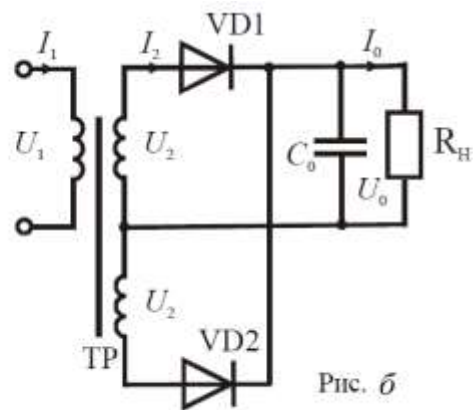


Рис. б

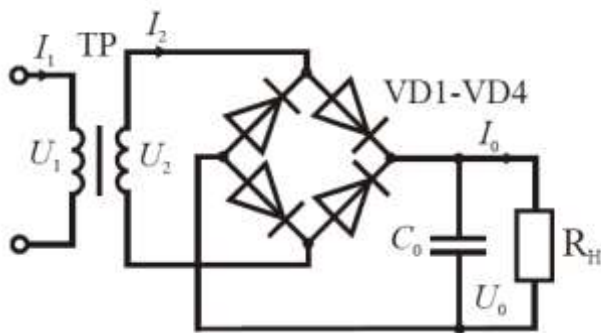


Рис. в

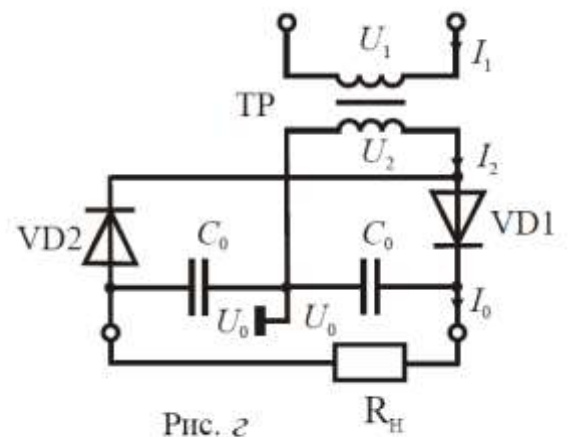
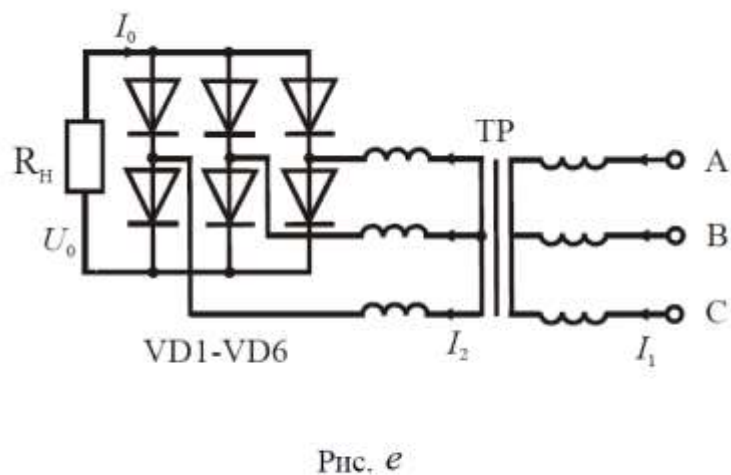
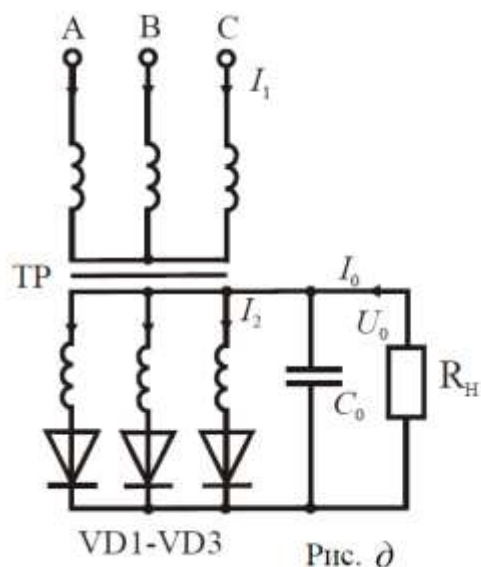


Рис. з



Тема 8 Основы электроники

Практическая работа № 14

Тема: Расчет усилительного каскада на транзисторе по схеме с общим эмиттером.

Задача

Амплитуда входного синусоидального сигнала низкой частоты, подлежащего усилению $U_m = 0,1$ В. Для схемы усилительного каскада с общим эмиттером, определить основные параметры усилителя при следующих значениях номиналов элементов схемы: транзистор ГТ320А, входные и выходные характеристики которого представлены на рисунке. Исходные данные для расчета усилительного каскада на транзисторе ГТ320А по схеме приведены в таблице.

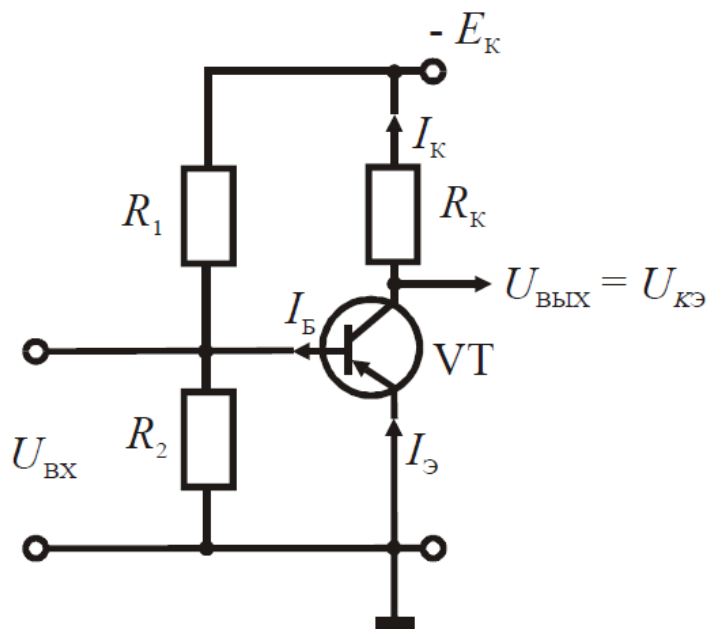
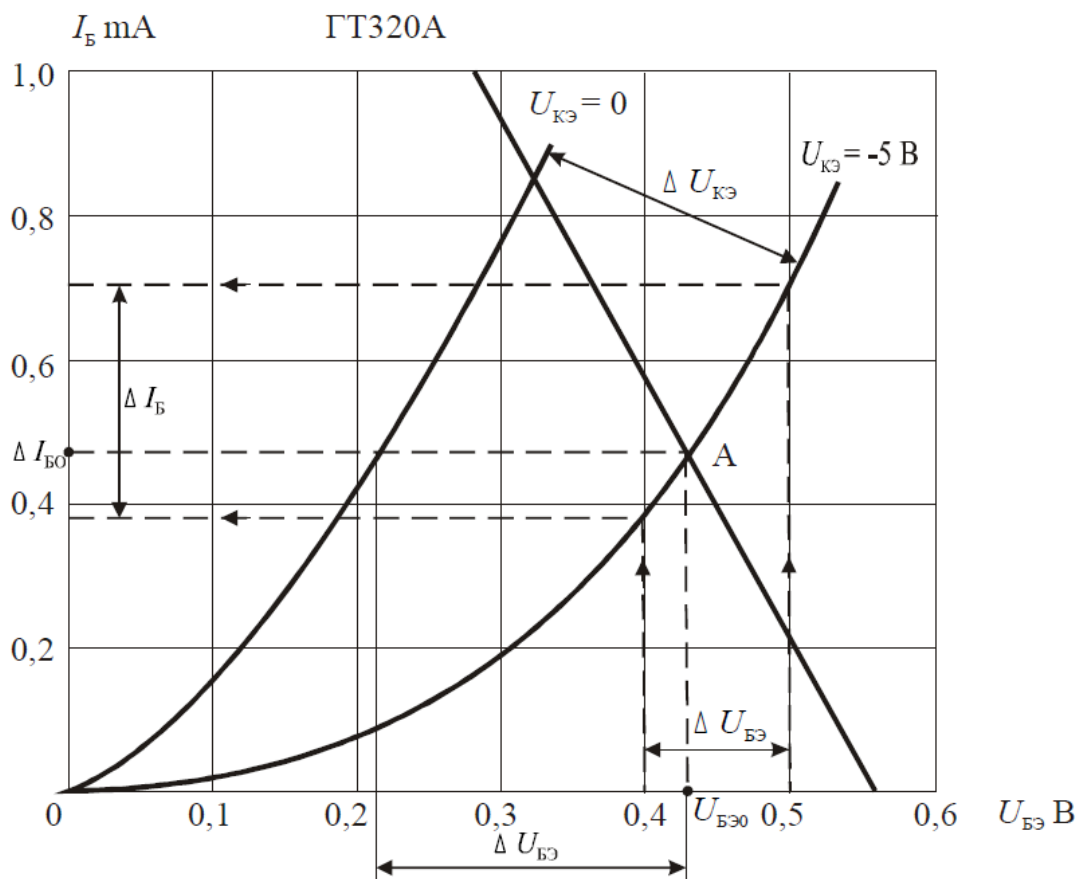
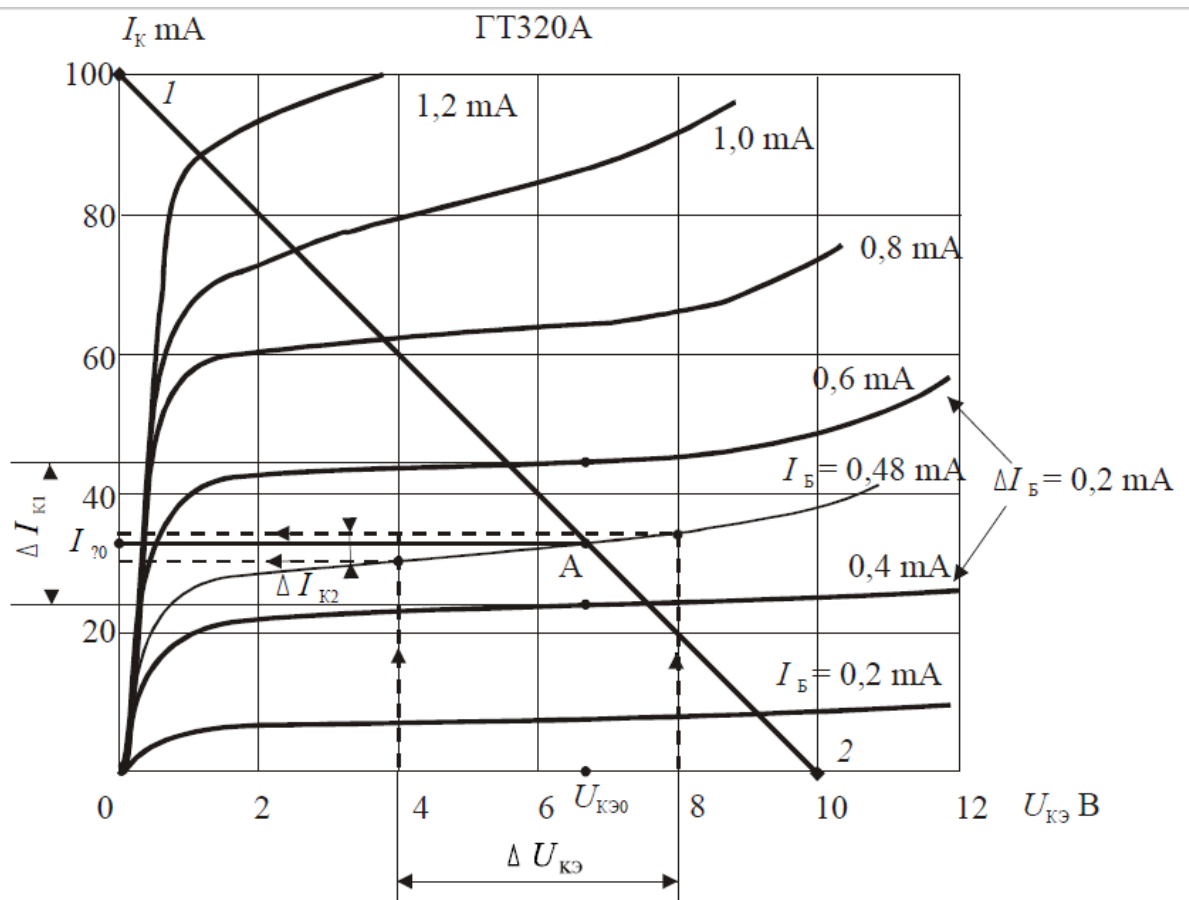


Схема усилительного каскада с общим эмиттером



Входные статические характеристики транзистора ГТ320А



Выходные характеристики транзистора ГТ320А

Таблица

№№ вар.	E_K В	R_1	R_2	R_K
		Ом		
1	10	350	80	100
2	12	300	100	80
3	15	320	80	90
4	8	380	70	110
5	6	400	60	120
6	9	420	50	80
7	7	450	40	60
8	10	500	30	100
9	12	450	120	110
10	15	420	90	110

Список информационных источников:

Основные печатные издания

1. Дайнеко, В.А. Электротехника: учебное пособие / В.А. Дайнеко – Минск: РИПО, 2022. – 300с. ISBN978-985-503-973-1.
2. Лихачёв, В. Л. Электротехника: практическое пособие / В.Л. Лихачёв. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2022. – 608с. ISBN978-5-91359-175-3.
3. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Электричество и магнетизм (главы курса) : учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-6536-1.
4. Аполлонский, С. М. Основы электротехники. Практикум : учебное пособие для спо / С. М. Аполлонский. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-6707-5.
5. Битюцкий, И. Б. Электрические машины. Двигатель постоянного тока. Практикум : учебное пособие для спо / И. Б. Битюцкий, И. В. Музылева. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 168 с. — ISBN 978-5-8114-7078-5.
6. Немцов, М. В. Электротехника и электроника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования/ М.В. Немцов, М.Л. Немцова. — 5-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2021. — 480 с.
7. Фуфаева Л.И. Сборник практических задач по электротехнике: учеб. пособ. для СПО. -7-е изд., исправ. - М.: Академия, 2023 - 288с.
8. Электротехника и электроника: задачник/сост. И.С. Султангараев. — Ростов н/Д: Феникс, 2023. — 136, [1] с.: ил. — (Среднее профессиональное образование).

Основные электронные издания

1. Дайнеко, В.А. Электротехника: учебное пособие / В.А. Дайнеко – Минск: РИПО, 2022. – 300с. ISBN978-985-503-973-1
2. Лихачёв, В. Л. Электротехника: практическое пособие / В.Л. Лихачёв. - Москва: СОЛОН-Пресс, 2022. – 608с. ISBN978-5-91359-175-3.
3. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Электричество и магнетизм (главы курса) : учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-6536-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148481>
4. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Колебания и волны (главы курса) : учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-6540-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148485>
5. Аксенова, Е. Н. Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика (главы курса) : учебное пособие для СПО / Е. Н. Аксенова. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-6537-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/148482>

Дополнительные источники

1. Бирюкова, О. В. Физика. Электричество и магнетизм. Задачи с решениями / О. В. Бирюкова, Б. В. Ермаков, И. В. Корецкая. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 180 с. — ISBN 978-5-507-44637-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/231494>
2. Трунов, Г. М. Общая физика. Дополнительные материалы для самостоятельной работы : учебное пособие для спо / Г. М. Трунов. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 72 с. — ISBN 978-5-8114-5797-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/146680>
3. Практикум по решению задач общего курса физики. Механика : учебное пособие для спо / Н. П. Калашников, Т. В. Котырло, С. Л. Кустов, Г. Г. Спирин. — Санкт-Петербург :

Лань, 2021. — 292 с. — ISBN 978-5-8114-6884-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153652>

5. Щербаков Р.Н. Великие физики как педагоги: от научных исследований - к просвещению общества [Электронный ресурс]/ Щербаков Р.Н.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Лаборатория знаний, 2023.— 297 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12216.html>.— ЭБС «IPRbooks»

6. Практикум по решению задач по общему курсу физики. Колебания и волны. Оптика : учебное пособие для спо / Н. П. Калашников, Н. М. Кожевников, Т. В. Котырло, Г. Г. Спирин. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-6885-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/153653>

7. Бухман, Н. С. Упражнения по физике : учебное пособие для спо / Н. С. Бухман. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 96 с. — ISBN 978-5-8114-5808-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/146666>