

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению контрольных работ для студентов
специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и
производств (легкая промышленность)»
заочной формы обучения**

ВИТЕБСК

2011

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор УО
«ВГТУ»

_____ **С.И. Малашенков**

«_____» _____ **2011 г.**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к выполнению контрольных работ для студентов
специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и
производств (легкая промышленность)»**

РЕКОМЕНДОВАНО
Редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ»
«_____» _____ **2011 г.**

протокол № _____

ВИТЕБСК
2011

УДК 621.3(07)

Теоретические основы электротехники : методические указания к выполнению контрольных работ для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)» заочной формы обучения

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО "ВГТУ", 2011.

Составители: доц. Ильющенко А.В.,
ст. преп. Куксевич В.Ф.

Методические указания содержат теоретический материал, необходимый для анализа цепей постоянного, однофазного и трехфазного переменного токов, расчета параметров трансформаторов и механических характеристик двигателей переменного и постоянного токов. Предложенные для контрольных работ задачи соответствуют всем разделам дисциплины. Методические указания составлены в соответствии с требованиями, предъявляемыми к выполнению контрольных работ.

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО "ВГТУ" 26.10.2011 г., протокол № 3.

Рецензент: доц. Смелков Д.В.
Редактор: доц. Новиков Ю.В.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом
УО "ВГТУ" _____ г., протокол № ____.

Ответственный за выпуск Букин Ю.А.

Учреждение образования "Витебский государственный технологический университет"

Подписано к печати_____. Формат_____. Уч.-изд. лист._____.
Печать ризографическая. Тираж_____экз. Заказ №_____. Цена_____руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.

210035, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72

Содержание

<i>Введение</i>	4
<i>Рабочая программа</i>	5
<i>Тема 1. Электрические цепи постоянного тока</i>	5
<i>Тема 2. Электрические цепи переменного синусоидального тока</i>	6
<i>Тема 3. Электрические цепи переменного трехфазного тока</i>	8
<i>Тема 4. Переходные процессы</i>	9
<i>Тема 5. Несинусоидальные токи</i>	10
<i>Тема 6. Четырехполюсники</i>	11
<i>Тема 7. Электрические фильтры</i>	11
<i>Тема 8. Магнитные цепи</i>	11
<i>Тема 9. Трансформаторы</i>	12
<i>Тема 10. Асинхронные двигатели</i>	13
<i>Тема 11. Машины постоянного тока</i>	14
<i>Задачи для контрольных работ</i>	16
<i>Литература</i>	43

Введение

Настоящие методические указания предназначены для студентов заочной формы обучения специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» по дисциплине «Теоретические основы электротехники».

Цель изучения дисциплины заключается в формировании у студентов знаний и умений анализа и синтеза электрических цепей постоянного и переменного синусоидального и несинусоидального токов, переходных процессов, устройства и физических процессов, проходящих в различных электротехнических устройствах.

В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- основные теоретические формулы, устанавливающие связь между электротехническими величинами;
- физические процессы, происходящие в электрических цепях постоянного, переменного синусоидального и несинусоидального токов;
- расчет цепей переменного тока с применением комплексных чисел;
- процессы, возникающие в цепях при коммутациях, и их теоретический анализ;
- физические основы работы электрических фильтров;
- физические основы работы различных электротехнических устройств и машин, их характеристики и параметры.

Студент должен уметь:

- использовать методы расчета простых и сложных электрических цепей постоянного и переменного токов;
- работать с электроизмерительными приборами и оборудованием;
- исследовать экспериментально характеристики и параметры различных электрических цепей и машин;
- анализировать полученные результаты.

Изучение теоретических основ электротехники базируется в основном на учебном материале следующих дисциплин: «Высшая математика» (линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисление, теория функций комплексного переменного), «Физика» (разделы электричество и магнетизм), «Вычислительная техника».

Изучение дисциплины предусматривает применение ЭВМ при проведении лабораторных занятий и выполнении контрольных работ.

Материал дисциплины используется при изучении различных дисциплин: электроника, теория автоматического управления, электропривод и других.

Учебная программа курса рассчитана на 52 учебных часа, из которых 26 отводится на лекции, 8 – на практические и 18 – на лабораторные. Дисциплина изучается на 3 курсе.

Основой изучения дисциплины является самостоятельная работа студента с рекомендуемой литературой в период между сессиями. Основными этапами учебного процесса являются: прослушивание лекций по различным разделам

дисциплины, практические занятия по решению задач по постоянному, переменному однофазному и трехфазному токам, выполнение лабораторных и контрольных работ. Всего студент должен выполнить 3 контрольные работы, охватывающие большинство разделов дисциплины.

Завершается изучение дисциплины сдачей экзамена.

Рабочая программа

Тема 1. Электрические цепи постоянного тока

Введение. Элементы электрических цепей. Простейшая электрическая цепь постоянного тока. Закон Ома. Режимы работы электрической цепи. Схемы замещения источников энергии. Законы Кирхгофа. Соединения приемников, эквивалентные преобразования соединений резисторов звездой и треугольником. Анализ сложных электрических цепей, методы: непосредственного применения законов Кирхгофа, контурных токов, напряжения между двумя узлами, принцип наложения, эквивалентного генератора.

Методические указания

Анализ электрических цепей постоянного тока проводится с использованием законов Ома и Кирхгофа. Закон Ома

$$U = IR$$

Законы Кирхгофа:

$$1. \sum_{k=3}^m I_k = 0,$$

то есть алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю. При этом токи, втекающие в узел, условно считаются положительными, токи, вытекающие из узла – отрицательными.

$$2. \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{k=1}^m I_k R_k + \sum_{j=1}^p U_j,$$

то есть алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме падений напряжений на элементах данного контура плюс алгебраическая сумма напряжений между точками. При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа руководствуются следующим. Выбирается произвольно направление обхода контура. Если направление ЭДС совпадает с направлением обхода, то она берется со знаком (+), если не совпадает со знаком (-). Если направление тока в ветви совпадает с направлением обхода, то падение напряжения IR берется с (+), если не совпадает, то с (-).

Если цепь содержит m ветвей и n узлов, то для нахождения токов необходимо составить систему из m уравнений. По первому закону Кирхгофа

составляется $n - 1$ уравнение. Остальные $m - (n - 1)$ уравнения составляются по второму закону Кирхгофа.

Решив полученную систему уравнений, определяют искомые токи в ветвях. Если в результате решения какие-то токи получились отрицательными, это означает, что их истинное направление противоположно выбранному.

Проверкой правильности решения задачи является расчет баланса мощностей:

$$\sum_{i=1} E_i I_i = \sum_{k=1} I_k^2 R_k.$$

При этом необходимо учесть, что если направления ЭДС и тока совпадают, то произведение IE берется с (+), если не совпадает, то с (-).

Метод контурных токов позволяет уменьшать число уравнений системы. Цепь разделяется на независимые контуры. Считается, что в каждом контуре протекает какой-то свой контурный ток. Составляется система уравнений по II закону Кирхгофа, число которых равно числу контуров, и определяются контурные токи. Истинные токи ветвей равны алгебраической сумме контурных токов.

Метод напряжения между двух узлов используется, если цепь состоит из соединенных параллельно активных и пассивных ветвей. Рассчитав напряжение между узлами и используя II закон Кирхгофа для каждой ветви, определяют токи ветвей.

Тема 2. Электрические цепи переменного синусоидального тока

Переменные токи. Период, частота и фаза переменного синусоидального тока. Действующие значения электрических величин. Векторные диаграммы. Цепи переменного тока, содержащие r , L и C . Неразветвленная цепь. Активная, реактивная и полная мощности, $\cos\varphi$. Резонанс напряжений. Разветвленные цепи. Резонанс токов. Векторные диаграммы цепей. Расчет цепей переменного тока методом комплексных чисел. Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме.

Методические указания

Переменными являются токи, изменяющиеся во времени. Ток определен, если известна его зависимость от времени $i = F(t)$. Значение переменного тока в любой произвольно взятый момент времени называется мгновенным. Обозначение мгновенных значений электротехнических величин: ЭДС – e ; напряжение – u , ток – i , мощность – P . Для мгновенных значений справедливы законы Ома и Кирхгофа:

$$i = \frac{u}{r}; \sum i = 0; \sum e = \sum ir; p = ui.$$

Наибольшее распространение в практике получил переменный ток, изменяющийся по синусоидальному закону:

$$e = E_m \sin(\omega t \pm \psi),$$

где E_m – амплитуда (максимальное значение);

ω – угловая частота, $\omega = 2\pi f$;

f – частота сети;

ψ – начальная фаза.

Действующие значения синусоидальных величин

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}; U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Если в цепь последовательно включены r , L , C , то полное сопротивление этой цепи

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2},$$

где r – активное сопротивление;

x_L – индуктивное (реактивное) сопротивление;

x_C – емкостное (реактивное) сопротивление.

Тогда закон Ома для цепи переменного тока

$$I = \frac{U}{Z}.$$

При включении в цепь реактивных элементов между напряжениями и токами возникает сдвиг фаз, что иллюстрируется векторными диаграммами.

При анализе задач по переменному току очень широко используется представление электротехнических величин в комплексной форме, причем часто используется их выражение для $t = 0$ и учитываются только начальные фазы. Тогда

$$\dot{E} = E e^{j\psi_e}; \quad \dot{U} = U e^{j\psi_u}; \quad \dot{I} = I e^{j\psi_i},$$

где E ; U ; I – действующие значения ЭДС, напряжения, тока;

ψ_e ; ψ_u ; ψ_i – их начальные фазы.

Законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{Z}; \quad \sum \dot{I}_i = 0; \quad \sum \dot{E} = \sum \dot{I}Z.$$

Мощности в цепи переменного тока:

- активная мощность $P = UI \cos \varphi$;

- реактивная мощность $Q = UI \sin \varphi$;

- полная мощность $S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2}$.

В комплексной форме $S = \dot{U}\dot{I}^* = P + jQ$.

$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$;

$Q = \sum Q_L - \sum Q_C$.

Расчет цепей переменного тока проводится теми же методами, что и цепей постоянного тока.

Тема 3. Электрические цепи переменного трехфазного тока

Получение трехфазного тока. Основные определения, способы соединений обмоток генератора и нагрузок. Соединение звездой. Фазные и линейные напряжения и токи. Четырехпроводная система, симметричный и несимметричный режимы. Трехпроводная система. Соединение треугольником. Способы повышения $\cos \varphi$ в трехфазных цепях.

Методические указания

При соединении звездой в четырехпроводной системе $U_l = \sqrt{3} U_\phi$, $I_l = I_\phi$. Векторы фазных напряжений равны по величине, но отличаются по фазе на угол 120° , векторная диаграмма представляет собой правильную трехлучевую звезду.

$$\dot{U}_A = U_\phi; \quad \dot{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ}.$$

Векторы линейных напряжений определяются на основании II закона Кирхгофа и также представляют правильную трехлучевую звезду.

Линейные (фазные) токи рассчитываются по закону Ома для каждой фазы:

$$\dot{I}_\phi = \frac{\dot{U}_\phi}{Z_\phi}.$$

При построении векторной диаграммы учитываются сдвиги по фазе между соответствующими фазными напряжениями и токами. Ток нейтрального провода $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$, то есть векторной сумме линейных токов.

При обрыве нейтрального провода или если сопротивление его не равно 0, напряжение на фазах приемника изменяется, что можно рассчитать, используя метод напряжения между двумя узлами.

При соединении треугольником нагрузки включаются между линейными проводами и поэтому $U_{л} = U_{ф}$.

По закону Ома определяются фазные токи. Линейные токи определяются с использованием I закона Кирхгофа. Если нагрузка симметричная, то фазные токи будут одинаковы по величине и образуют правильную трехлучевую звезду. Отметим, что при соединении треугольником векторная сумма линейных токов всегда равна 0.

Мощности в трехфазных цепях рассчитываются в отдельности для каждой фазы, и общая мощность трехфазного приемника равна алгебраической сумме мощностей всех фаз.

Тема 4. Переходные процессы

Коммутации. Законы коммутации. Включение и короткое замыкание rL -цепи на постоянное напряжение. Включение и короткое замыкание rC -цепи на постоянное напряжение. Включение rL - и rC -цепей на синусоидальное напряжение. Аперiodический и колебательный разряды конденсатора.

Методические указания

Математический анализ переходных процессов базируется на том, что законы Ома и Кирхгофа применимы и к неустановившимся (переходным) режимам. Переходные процессы описываются линейными дифференциальными уравнениями. Их решение возможно в случае выполнения начальных условий (законов коммутации):

1. Ток в индуктивном элементе не может измениться скачком:

$$i(0+) = i(0) = i(0-);$$

2. Напряжение на емкости не может изменяться скачком:

$$u_c(0+) = u_c(0) = u_c(0-).$$

При включении rL -цепи на постоянное напряжение изменение тока определяется выражением

$$i = \frac{U}{r} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}).$$

где τ – постоянная времени rL -цепи, $\tau = \frac{L}{r}$.

При коротком замыкании rL -цепи ток в цепи

$$i = \frac{U}{r_1 + r_2} e^{-\frac{t}{\tau}}.$$

При коротком замыкании rC -цепи напряжение на конденсаторе

$$U_c = Ue^{-t/\tau},$$

где τ – постоянная времени rC -цепи, $\tau = rC$.

При включении rC -цепи на постоянное напряжение на конденсаторе напряжение

$$U_c = U(1 - e^{-t/\tau}).$$

Колебательный разряд конденсатора имеет место в последовательной rLC -цепи и возникает при условии:

$$r < r_{кр}; \quad r_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Напряжение на конденсаторе изменяется по периодическому закону:

$$U_c = U_{cm}e^{-\beta t} \sin(\omega_{св}t + \psi).$$
$$\beta = \frac{r}{2L}; \quad \omega_{св} = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}.$$

Тема 5. Несинусоидальные токи

Разложение периодической несинусоидальной кривой в тригонометрический ряд Эйлера-Фурье. Значения несинусоидальных величин. Коэффициенты ряда и гармонические составляющие. Расчет цепей с несинусоидальной ЭДС. Модулированные колебания.

Методические указания

Всякая периодическая функция $f(\omega t)$, удовлетворяющая условием Дирихле, может быть разложена в тригонометрический ряд:

$$f(\omega t) = A_0 + A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + A_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + \dots$$

Члены ряда называются гармоническими составляющими или гармониками. A_0 – постоянная составляющая или нулевая гармоника, $A_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ – первая или основная гармоника. Остальные члены $A_{km} \sin(k\omega t + \psi_k)$ при $k > 1$ носят название высших гармоник, A_{km} – амплитуда гармоник, ψ_k – их начальные фазы.

При анализе цепей с несинусоидальными токами считается известным тригонометрический ряд ЭДС или напряжений, приложенных к цепи применением метода наложения.

Для всех элементов цепи на каждой гармонике рассчитывают сопротивления. Затем рассчитываются токи и напряжения для постоянной составляющей и гармонических для каждой в отдельности. Мгновенное

значение тока определяют как сумму постоянной составляющей и всех мгновенных значений гармоник.

Действующее значение несинусоидального периодического тока

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots},$$

I_1, I_2, \dots – действующие значения тока гармонических составляющих.

Тема 6. Четырехполюсники

Классификация четырехполюсников. Уравнения четырехполюсников. Системы уравнений четырехполюсников, их коэффициенты. Характеристические параметры, эквивалентные схемы четырехполюсников. Частотные характеристики четырехполюсников.

Тема 7. Электрические фильтры

Назначение электрических фильтров. Сглаживающие L - и C -фильтры. G - и H -образные и многозвенные фильтры, их частотные характеристики. Резонансные фильтры. Принцип построения частотных фильтров. Условия выбора плеч фильтров. Фильтры низких и высоких частот. Полосовой и заграждающий фильтры. Полосовой и заграждающий rC - фильтры.

Тема 8. Магнитные цепи

Магнитное поле. Индукция, магнитный поток. Законы магнитных цепей. Характеристики магнитных материалов. Расчет неразветвленных магнитных цепей. Расчет разветвленных несимметричных магнитных цепей. Магнитные цепи с переменными МДС.

Методические указания

В основе расчета магнитных цепей лежат законы Кирхгофа и Ома для магнитных цепей.

1. Закон непрерывности линий магнитной индукции:

$$\oint_s \vec{B} d\vec{S} = 0, \quad \sum \Phi_k = 0.$$

2. Закон полного тока: $\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum_{k=1}^n I_k w_k.$

3. Закон Ома: $\Phi = \frac{F}{R_m}.$

Φ – магнитный поток, F – магнитодвижущая сила, R_m – магнитное сопротивление магнитопровода.

При расчетах магнитных цепей считаются известными геометрические размеры цепи и характеристики (кривые намагничивания) ферромагнитных материалов. Различают прямую задачу или задачу синтеза и обратную задачу, или задачу анализа.

В прямой задаче известен магнитный поток Φ_k в участке магнитопровода. Требуется определить магнитные потоки всех участков цепи и МДС, создающую эти потоки. Прямая задача решается с использованием законов Ома и Кирхгофа.

В обратной задаче кроме геометрических размеров цепи и характеристик магнитных материалов известна МДС обмотки F . Требуется определить магнитные потоки во всех участках магнитопровода. Непосредственное применение закона Ома для определения магнитного потока оказывается невозможным вследствие того, что магнитное сопротивление R_m само зависит от величины магнитного потока. Для решения можно применить метод последовательных приближений, сущность которого заключается в том, что по произвольно выбранному значению магнитного потока Φ_1 вычисляют соответствующую ему МДС F_1 . Сравнивают полученное значение F_1 с заданным F , вносят поправку в значение Φ и получают новую величину F_2 . Аналогично вычисляют приближения F_3, \dots, F_n , пока значение $F_k \approx F$.

Тема 9. Трансформаторы

Устройство и принцип работы однофазного трансформатора. Холостой ход. Уравнение намагничивающих сил. Нагруженный трансформатор. Опыты холостого хода и короткого замыкания. Схема замещения трансформатора. Изменение вторичного напряжения, внешние характеристики и КПД трансформатора. Трехфазные трансформаторы, способы соединения обмоток. Автотрансформаторы.

Методические указания

Коэффициент трансформации

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_{1н}}{U_{2н}}$$

Под номинальной мощностью трансформатора понимают его полную мощность S_n в номинальном режиме:

$$S_n = U_{1н} I_{1н} = U_{2н} I_{2н}$$

Для трехфазного трансформатора

$$S_n = \sqrt{3} U_{1н} I_{1н}$$

Для упрощения расчетов электрических цепей параметры вторичной обмотки приводят к параметрам первичной:

$$U_2' = kU_2; I_2' = \frac{1}{k}I_2; r_2' = k^2r_2; x_2' = k^2x_2; Z_n' = k^2Z_n.$$

Из опыта холостого хода трансформатора определяют параметры намагничивающей цепи:

$$Z_0 = \frac{U_{I_0}}{I_0}; r_0 = \frac{P_0}{I_0^2}; x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \cos \varphi_0 = \frac{r_0}{Z_0}.$$

P_0 – мощность, потребляемая трансформатором в режиме холостого хода (мощность магнитных потерь).

Из опыта короткого замыкания определяют параметры схемы замещения трансформатора:

$$Z_k = \frac{U_{I_k}}{I_{I_k}}; r_k = \frac{P_k}{I_{I_k}^2}; x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}; \cos \varphi_k = \frac{r_k}{Z_k}.$$

P_k – мощность электрических потерь в обмотках трансформатора в номинальном режиме.

КПД трансформатора определяют по формуле

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi_2}{\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 P_k + P_0},$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора.

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}} = \frac{I_1}{I_{1n}}.$$

Тема 10. Асинхронные двигатели

Устройство асинхронного двигателя (АД). Вращающееся магнитное поле. Принцип работы АД. ЭДС статора, неподвижного и вращающегося ротора. Схема замещения нагруженного АД, механические характеристики. Устойчивая работа АД. Построение механической характеристики АД по каталожным данным. Рабочие характеристики АД. Пуск, регулирование частоты вращения и тормозные режимы АД.

Методические указания

При включении обмоток статора к сети переменного трехфазного тока в статоре возникает вращающееся с частотой n_0 магнитное поле:

$$n_0 = \frac{60 f_c}{p},$$

где p – число пар полюсов.

Магнитное поле наводит в обмотке ротора ЭДС, вызывающую токи, взаимодействие которых с магнитным полем обуславливает возникновение вращающего момента M , приводящего ротор во вращение. Скорость ротора будет увеличиваться до какой-то скорости n , при которой величина вращающего момента будет равна моменту сил сопротивления M_c , приложенных к валу ротора:

$$M = M_c.$$

Частоты вращения магнитного поля и ротора разные, что характеризуется скольжением:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}.$$

В обычном двигательном режиме $0 \leq s \leq 1$. При пуске $n = 0$ и $s = 1$, при идеальном холостом ходе $n = n_0$ и $s = 0$.

Вращающий момент, развиваемый двигателем, рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{3pU_{1\phi}^2 r_2'}{\omega_0 s \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + x_k^2 \right]}.$$

Или по упрощенной формуле

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}},$$

где M_k и s_k соответственно, критический момент и критическое скольжение.

Определив по каталожным данным значения M_k и s_k , изменяя величину скольжения с интервалом $0,1$ в пределах от 0 до 1 , легко получить данные для построения механической характеристики $M(s)$ АД.

Тема 11. Машины постоянного тока

Устройство машины постоянного тока. ЭДС генератора постоянного тока (ГПТ). Способы возбуждения машин постоянного тока. ГПТ с независимым, параллельным и смешанным возбуждением. Реакция якоря и коммутация в машинах ПТ. Двигатели постоянного тока (ДПТ) с параллельным возбуждением, их механические характеристики. Пуск, регулирование частоты вращения и тормозные режимы ДПТ.

Методические указания

Основными частями машин постоянного тока являются: неподвижный статор, вращающийся якорь и щеточно-коллекторное устройство. Функция статора – создать на поверхности якоря магнитное поле с требуемой индукцией B . Обмотка якоря состоит из катушек, уложенных в пазы и соединенных между собой, то есть представляет собой замкнутый контур. Щеточно-коллекторное устройство осуществляет контакт с внешней цепью. При вращении якоря с частотой n первичным двигателем в якоре наводится ЭДС E .

$$E = K_e n \Phi,$$

где K_e – электрическая постоянная машины.

Машина работает в качестве источника электрической энергии.

Если якорь подключить к внешнему источнику, то взаимодействие тока якоря с магнитным полем статора обеспечивает возникновение вращающегося момента, действующего на якорь и приводящего его во вращение.

Связь между частотой вращения якоря n и вращающим моментом M является механической характеристикой и выражается формулой

$$n = \frac{U}{K_e \Phi} - \frac{r_{\text{я}}}{K_e K_m \Phi^2} M,$$

где K_m – магнитная постоянная, $r_{\text{я}}$ – сопротивление якоря.

Механическая характеристика представляет собой прямую, не проходящую через начало координат. Для ее построения достаточно двух точек:

1. Точка номинального режима M_n, n_n .
2. Точка идеального холостого хода $M = 0, n = n_0$.

Частоту идеального холостого хода можно определить, используя данные для номинального режима:

$$n_0 = n_n \frac{U_n}{U_n - I_{\text{ян}} r_{\text{я}}}.$$

При пуске двигателя для уменьшения пускового тока в цепь якоря включается пусковой реостат, сопротивление которого рассчитывается, исходя из формулы:

$$I_{\text{ян}} = \frac{U}{r_{\text{я}} + r_n}.$$

Обычно берут $I_{\text{ян}} = (1,5 \div 2,5) I_{\text{ян}}$.

Задачи для контрольных работ

При выполнении задач значения ЭДС и напряжений берутся по предпоследней цифре шифра, значения нагрузок – по последней цифре шифра. После решения задачи рассчитать баланс мощностей.

Задача 1

В цепи рис.1 известны значения токов I_1 , I_2 , I_3 и сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 . Определить напряжение U на зажимах цепи, сопротивление R_x и ЭДС E гальванического элемента.

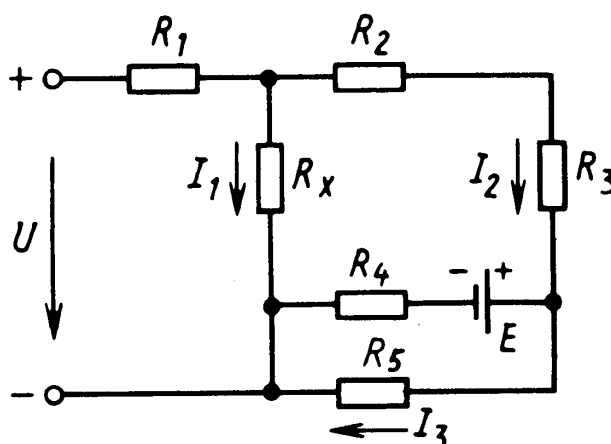


Рисунок 1

Номер варианта	Данные к задаче 1							
	I_1 , А	I_2 , А	I_3 , А	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом
1	1,3	1,0	0,7	2	4,0	1,0	2	5
2	1,5	1,25	0,8	2	3,0	2,0	2	5
3	2,0	1,5	1,0	2	2,5	2,5	3	6
4	2,0	1,75	1,2	2	2,0	3,0	3	6
5	2,6	2,0	1,4	2	1,0	4,0	4	7
6	2,4	1,5	1,1	3	2,0	4,0	2	5
7	2,7	2,0	1,3	3	3,0	3,0	2	5
8	2,8	2,5	1,7	3	4,0	2,0	3	6
9	3,1	3	1,9	3	4,5	1,5	3	6
10	3,4	3,5	2,1	3	5,0	1,0	4	8

Задача 2

В цепи рис. 2 известны сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 . Мощность, измеряемая ваттметром, равна P . Определить: а) токи I_1, I_2, I_3 ; б) напряжение на зажимах цепи U .

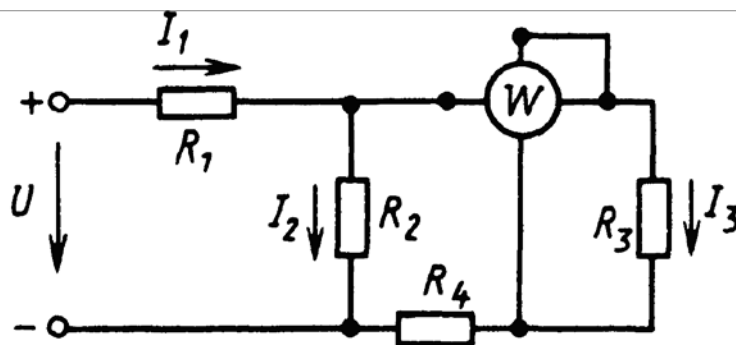


Рисунок 2

Номер варианта	Данные к задаче 2				
	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$P, \text{ Вт}$
1	1	12	5	1	320
2	1	12	10	2	640
3	1	8	5	3	500
4	1	8	10	6	1000
5	1	4	5	3	720
6	2	6	10	2	1440
7	2	10	4	1	900
8	2	10	8	2	1800
9	2	12	3	1	1200
10	2	10	4	1	1600

Задача 3

Вольтметр в электрической цепи, изображенной на рис. 3, показывает напряжение U . Сопротивления в схеме и ЭДС E_2 известны. Найти токи во всех ветвях схемы, а также ЭДС E_1 .

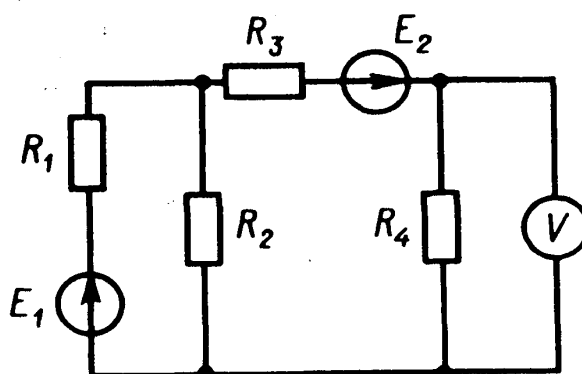


Рисунок 3

Номер варианта	Данные к задаче 3					
	U, В	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	E ₂ , В
1	8	1	3	4	4	6
2	5	3	8	2	5	3
3	15	5	11	11	3	2
4	10	2	11	2	5	5
5	20	6	12	4	4	5
6	25	8	2	3	5	20
7	5	2	5	2	1	30
8	10	3	5	8	2	12
9	12	8	3	5	3	15
10	24	3	5	3	6	25

Задача 4

В электрической цепи, изображенной на рис. 4, известны ЭДС источника и сопротивления резисторов. Найти токи во всех ветвях цепи.

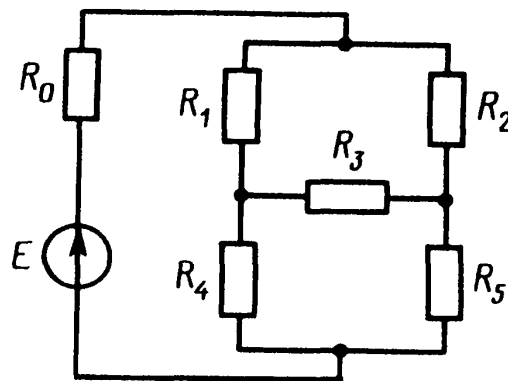


Рисунок 4

Номер варианта	Данные к задаче 4						
	E, В	R ₀ , Ом	R ₁ , Ом	R ₂ , Ом	R ₃ , Ом	R ₄ , Ом	R ₅ , Ом
1	20	1	2	3	1	8	5
2	150	25	30	50	10	10	10
3	10	1	2	1	3	1	2
4	50	1	1	3	2	3	2
5	40	10	20	20	10	5	10
6	30	5	10	20	2	5	10
7	80	5	10	5	15	10	10
8	10	2	1	3	1	2	2

9	25	5	5	8	8	3	2
10	50	5	10	8	5	20	30

Задача 5

В цепи рис. 5 ЭДС источника питания $E = 12 \text{ В}$, сопротивления равны R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 , внутреннее сопротивление источника $R_{вт}$. Определить токи в ветвях цепи двумя способами: а) преобразованием звезды сопротивлений R_1, R_2, R_3 в эквивалентный треугольник; б) преобразованием одного из треугольников сопротивлений (R_1, R_2, R_4) или (R_1, R_3, R_5) в эквивалентную звезду.

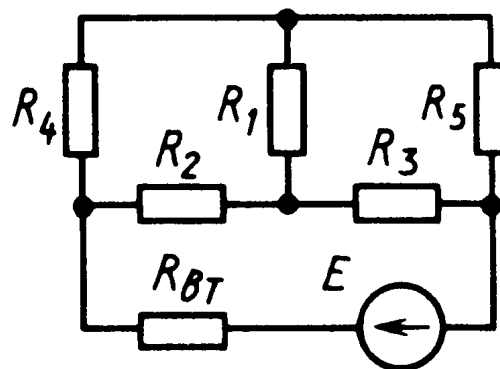


Рисунок 5

Номер варианта	Данные к задаче 5					
	$R_{вт}, \text{ Ом}$	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$
1	0,5	1,5	1,5	4,5	6	3
2	0,5	1,5	1,5	3,0	6	3
3	0,5	1,5	3,0	4,5	6	3
4	0,5	3,0	3,0	3,0	6	3
5	0,5	3,0	3,0	4,5	6	3
6	1	3,0	4,5	3,0	9	6
7	1	4,5	4,5	4,5	9	6
8	1	4,5	4,5	3,0	9	6
9	1	4,5	1,5	4,5	9	6
10	1	4,5	1,5	3,0	9	6

Задача 6

В электрической цепи, изображенной на рис. 6, известны ЭДС источников питания и сопротивления резисторов. Определить токи в ветвях цепи. Составить баланс мощностей.

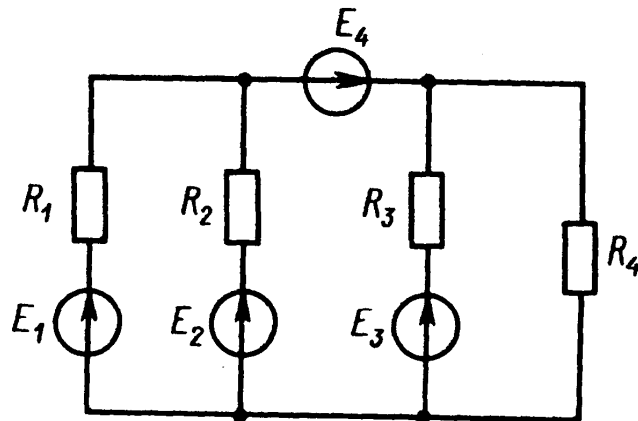


Рисунок 6

Номер варианта	Данные к задаче 6							
	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$E_3, \text{В}$	$E_4, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$
1	25	30	15	5	3	2	5	2
2	15	20	10	10	2	5	8	1
3	40	30	10	20	10	20	15	40
4	5	5	10	1	3	1	2	8
5	8	15	5	2	10	5	29	20
6	20	15	10	8	15	20	10	40
7	100	120	150	20	10	15	10	50
8	30	25	18	10	3	2	5	20
9	40	50	30	5	3	4	5	10
10	20	25	25	40	3	2	2	4

Задача 7

В цепи рис. 7 ЭДС источников питания равны E_1, E_2, E_3 , а сопротивления ветвей, соответственно, R_1, R_2, R_3, R_4 (включая внутренние сопротивления источников питания). Определить токи в ветвях цепи и режим работы каждого из источников. Составить баланс мощностей. Задачу решить двумя методами: узлового напряжения и контурных токов.

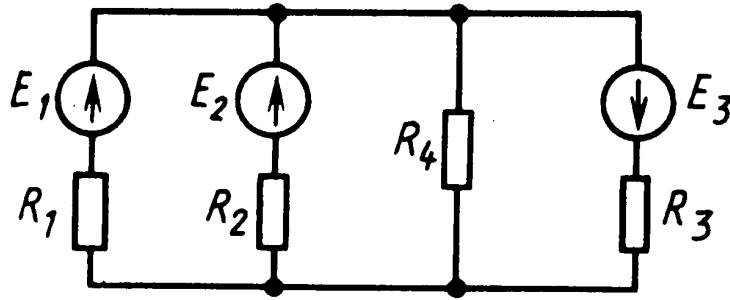


Рисунок 7

Номер варианта	Данные к задаче 7						
	$E_1, В$	$E_2, В$	$E_3, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$
1	120	200	100	1	2	4	5
2	220	150	120	5	4	2	1
3	120	220	150	4	2	1	5
4	120	220	100	5	1	2	4
5	220	150	120	2	4	5	1
6	120	220	150	1	2	4	5
7	300	200	120	5	4	2	1
8	400	200	150	4	2	1	5
9	200	300	150	5	1	2	4
10	200	400	120	2	4	5	1

Задача 8

В цепи рис. 8 ЭДС источников питания равны E_1 и E_2 , их внутреннее сопротивления $R_{вт1}$ и $R_{вт2}$, а сопротивления ветвей R_1, R_2, R_3, R_4 . Определить токи в ветвях цепи и режимы работы обоих источников питания. Составить баланс мощностей. Задачу решить методами: контурных токов и наложения.

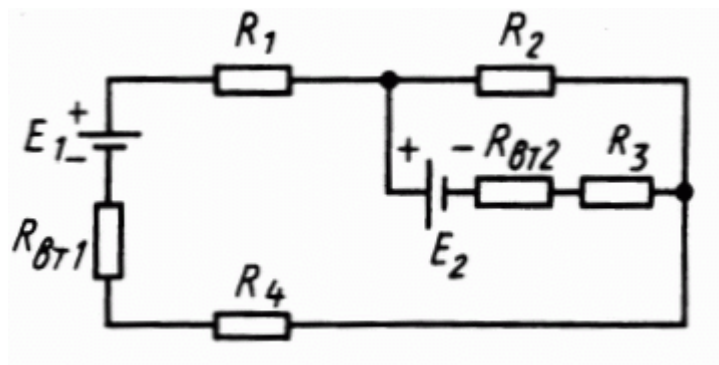


Рисунок 8

Номер варианта	Данные к задаче 8							
	$E_1, В$	$E_2, В$	$R_{вт1}, Ом$	$R_{вт2}, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$

1	90	95	0,1	0,05	2,0	4	3	2,0
2	95	100	0,1	0,05	2,0	5	3	2,0
3	100	105	0,1	0,05	2,5	4	3	2,5
4	105	110	0,1	0,05	2,5	5	3	2,5
5	110	115	0,1	0,05	3,0	4	2,5	3,0
6	115	120	0,15	0,1	3,0	5	2,5	3,0
7	120	125	0,15	0,1	2,5	4	2	2,5
8	125	130	0,15	0,1	2,5	5	3	2,5
9	130	135	0,15	0,1	2,0	4	3	2,0
10	140	145	0,15	0,1	2,0	5	3	2,0

Задача 9

В схеме на рис.9 имеется источник тока I и источник напряжения E . Найти токи в ветвях схемы и напряжения между узлами a , b , c .

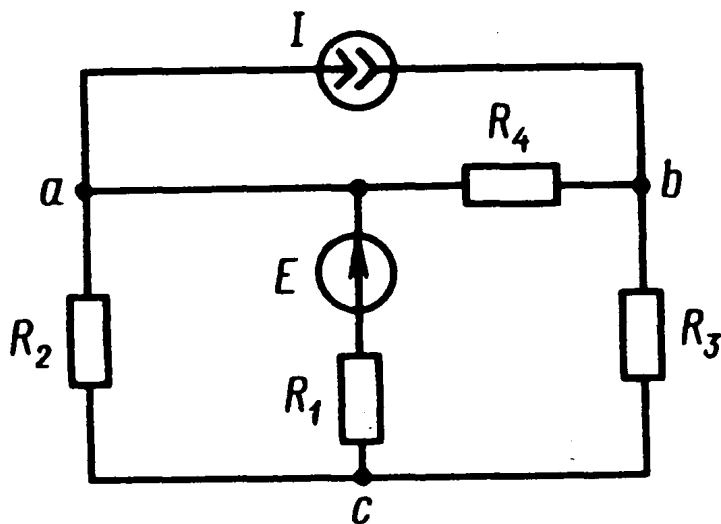


Рисунок 9

Номер варианта	Данные к задаче 9					
	I, A	E, B	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_3, Ом$	$R_4, Ом$
1	5	9	3	7	16	12
2	2	10	5	2	10	6
3	10	15	2	8	6	4
4	4	13	4	12	18	10
5	12	30	10	10	4	3
6	6	40	5	3	1	7
7	3	25	4	7	12	3
8	4	50	8	3	10	2
9	12	65	3	11	8	6
10	4	18	6	12	3	4

Задача 10

Цепь, схема замещения которой представлена на рис. 10, является T-образной схемой четырехполюсника. Найти постоянные и составить уравнения четырехполюсника, если сопротивления резисторов равны R_1 , R_2 , R_3 . Определить величину согласованной нагрузки.

Указание. Согласованной называется нагрузка, при которой входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ равно сопротивлению нагрузки $R_{\text{н}}$.

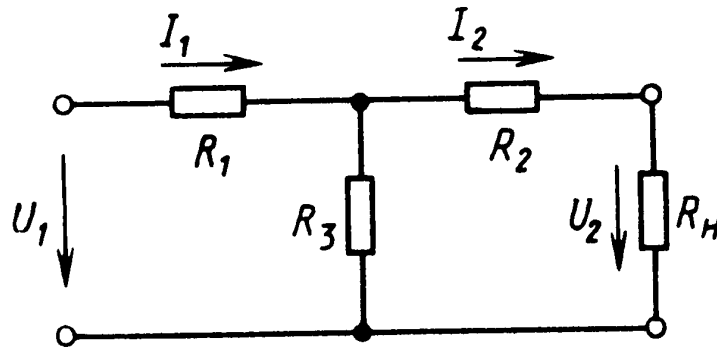


Рисунок 10

Номер варианта	Данные к задаче 10		
	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом
1	100	200	400
2	200	400	800
3	300	600	1000
4	100	500	1000
5	200	500	800
6	300	600	900
7	200	200	400
8	400	400	800
9	400	1200	1800
10	200	600	1000

Задача 11

Для схемы рис. 11 даны ЭДС источников E_1 и E_2 и сопротивления резисторов $R_1 \div R_6$. Найти токи, протекающие через источники E_1 и E_2 , применяя метод эквивалентных преобразований.

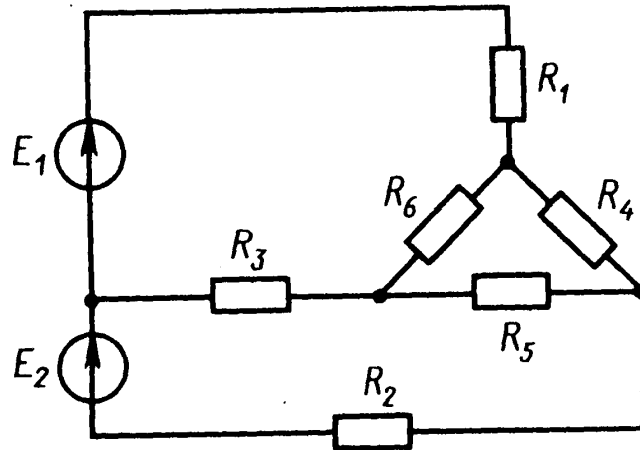


Рисунок 11

Номер варианта	Данные к задаче 11							
	$E_1, \text{В}$	$E_2, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$R_5, \text{Ом}$	$R_6, \text{Ом}$
1	10	12	2	3	8	5	4	3
2	25	30	4	6	5	9	12	8
3	14	22	8	15	9	8	13	9
4	20	30	15	7	3	6	14	18
5	35	60	44	18	30	8	16	50
6	50	25	16	22	40	7	3	25
7	20	40	28	36	11	9	15	8
8	60	15	33	10	20	7	5	15
9	35	18	28	8	16	36	40	10
10	28	45	28	16	11	18	34	5

Задача 12

В цепи рис. 12 активные и реактивные сопротивления ветвей соответственно равны $R_1, X_1; R_2, X_2$. Ток, измеренный амперметром равен I_1 . Определить: а) показания вольтметра и ваттметра; б) коэффициент мощности на зажимах цепи. Расчеты выполнить методом комплексных чисел. Построить векторную диаграмму. Рассчитать баланс мощностей.

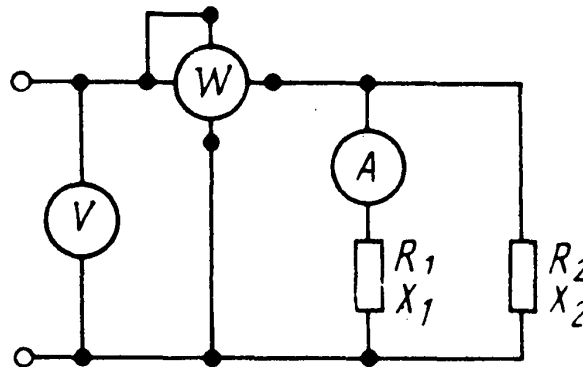


Рисунок 12

Номер варианта	Данные к задаче 12				
	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 13

В схеме рис. 13 известны напряжение U на входе, активная мощность P , потребляемая цепью, частота тока f . В неразветвленной части цепи ток при разомкнутом ключе S равен I_1 , а при замкнутом ключе I_2 . Рассчитать сопротивление резистора R , индуктивность катушки L и емкость конденсатора C .

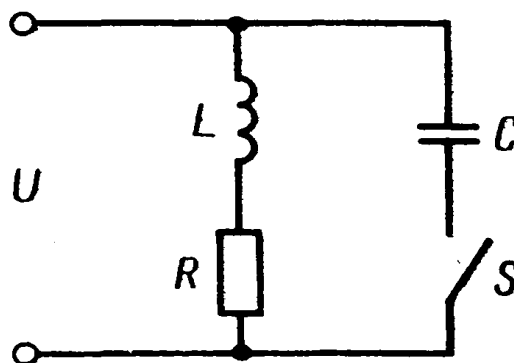


Рисунок 13

Номер варианта	Данные к задаче 13				
	$U, \text{В}$	$P, \text{Вт}$	$f, \text{Гц}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$
1	100	200	50	5	3
2	80	160	100	3	2,5
3	220	50	400	1	0,5
4	150	400	50	4	3
5	200	60	60	0,8	0,4
6	20	100	25	10	8
7	40	80	50	6	3
8	60	240	40	10	6
9	250	200	30	2	1

10	120	40	80	0,9	0,6
----	-----	----	----	-----	-----

Задача 14

В цепи переменного тока (рис. 14) наблюдается резонанс токов. Известны ток I_1 через резистор R_1 , ток I_2 через резистор R_2 , сопротивление индуктивной катушки переменному току X_L . При этом $R_1 = n \cdot X_L$. найти напряжение сети U , сопротивление резистора R_2 , общий ток I , емкость конденсатора C и индуктивность катушки L , если частота переменного тока равна f .

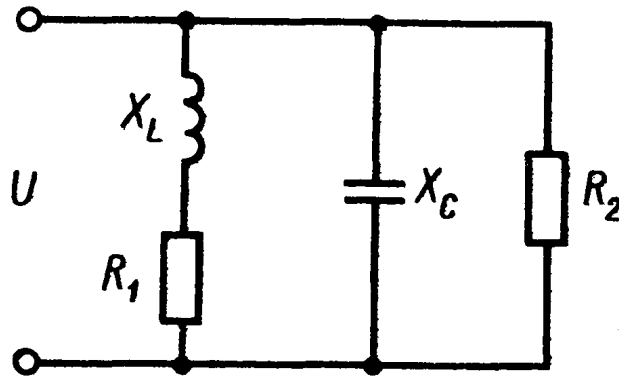


Рисунок 14

Номер варианта	Данные к задаче 14				
	I_1, A	I_2, A	$X_L, Ом$	n	$f, Гц$
1	5	2	4	3	50
2	8	3	5	2	60
3	10	8	15	1,5	80
4	3	2	20	0,6	120
5	6	3	30	0,5	400
6	12	4	25	0,8	90
7	7	5	10	0,7	70
8	14	8	16	1,4	85
9	3	2	18	1,2	100
10	16	12	3	2	50

Задача 15

В цепь синусоидального тока частотой $f = 50$ Гц (рис. 15) включены две параллельные ветви. Параметры элементов известны: R_1, R_2, L, C . Напряжение на конденсаторе U_c . Найти токи в ветвях и в неразветвленной части цепи. Определить сдвиги фаз всей цепи и в обеих ветвях. Построить топографическую векторную диаграмму.

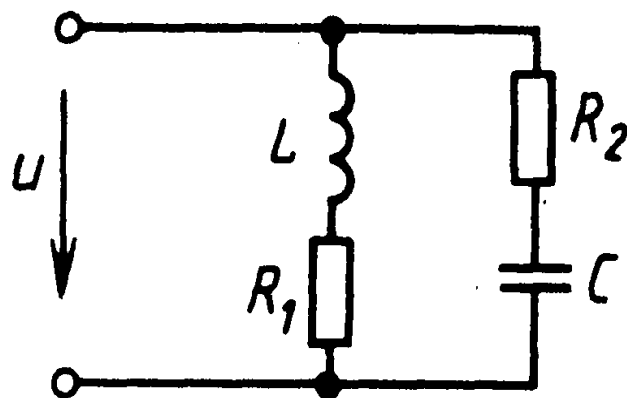


Рисунок 15

Номер варианта	Данные к задаче 15				
	$U_c, \text{В}$	$L, \text{Гн}$	$C, \text{мкФ}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$
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 16

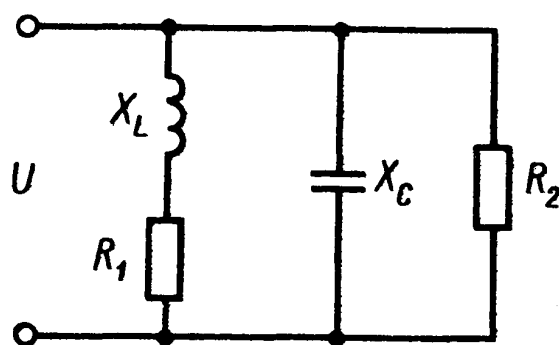


Рисунок 16

В цепи переменного тока (рис. 16) наблюдается резонанс токов. Известны ток I_1 через резистор R_1 , ток I_2 через резистор R_2 , сопротивление индуктивной катушки переменному току X_L . При этом $R_1 = n \cdot X_L$. Найти напряжение сети U , сопротивление резистора R_2 , общий ток I , емкость конденсатора C и индуктивность катушки L , если частота переменного тока равна f .

Номер	Данные к задаче 16
-------	--------------------

варианта	I_1, A	I_2, A	$X_L, Ом$	n	$f, Гц$
1	5	2	4	3	50
2	8	3	5	2	60
3	10	8	15	1,5	80
4	3	2	20	0,6	120
5	6	3	30	0,5	400
6	12	4	25	0,8	90
7	7	5	10	0,7	70
8	14	8	16	1,4	85
9	3	2	18	1,2	100
10	16	12	3	2	50

Задача 17

В цепи рис. 17 ток, напряжения на зажимах цепи и конденсатора соответственно равны I , U , U_c . В цепи имеет место режим резонанса напряжений. Частота $f = 50$ Гц. Определить: а) напряжение на зажимах катушки U_k ; б) емкость C конденсатора, активное сопротивление R_k и индуктивность L_k катушки. Построить векторную диаграмму.

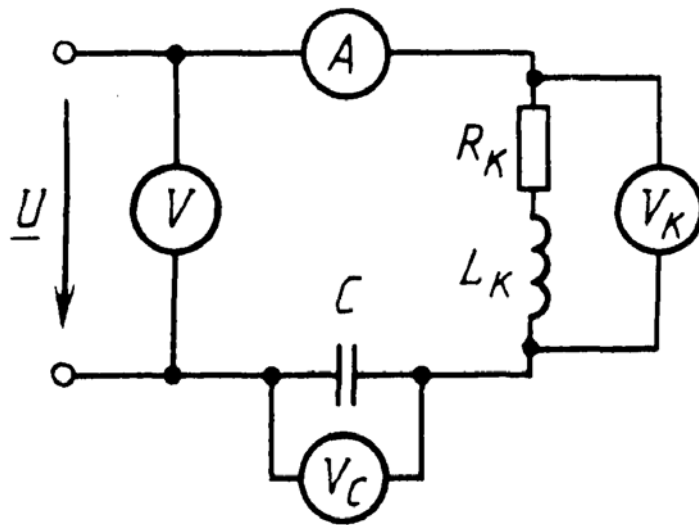


Рисунок 17

Номер варианта	Данные к задаче 17		
	$U_c, В$	$U, В$	$I, А$
1	20	100	5,0
2	24	144	6,0
3	26	130	4,0
4	28	112	7,0
5	30	112	7,5
6	32	128	4,0

7	35	105	5,0
8	36	108	6,0
9	18	90	6,0
10	25	100	10,0

Задача 18

К зажимам цепи рис. 18 подведено синусоидальное напряжение, действующее значение которого U . Частота $f = 50$ Гц. Определить: а) емкость C конденсатора, при которой в цепи наступит режим резонанса токов; б) значения токов I_1 , I_2 , I_3 при наступлении резонанса. Построить топографическую диаграмму напряжений и показать на ней векторы токов для режима резонанса.

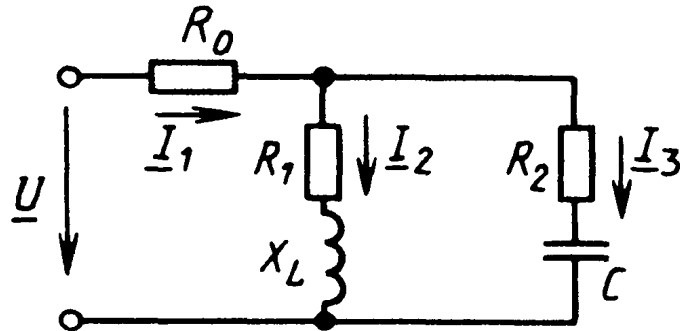


Рисунок 18

Номер варианта	Данные к задаче 18				
	U, В	R_0 , Ом	R_1 , Ом	R_2 , Ом	Z_x , Ом
1	100	1	3	1	4
2	120	1	4	2	3
3	100	2	3	3	4
4	120	2	4	3	3
5	120	1	6	4	8
6	120	1	8	1	6
7	120	2	6	2	8
8	100	2	8	3	6
9	120	1	6	4	8
10	120	1	8	5	6

Задача 19

В цепи рис. 19 комплексные ЭДС генераторов равны $\underline{E}_1 = 200$ В, $\underline{E}_2 = (200+j200)$ В, комплексные внутренние сопротивления генераторов $\underline{z}_{em1} = \underline{z}_{em2} = (1+j2)$ Ом, комплексные сопротивления ветвей \underline{z}_1 , \underline{z}_2 , \underline{z}_3 . Определить токи во всех ветвях цепи. Составить баланс активных мощностей.

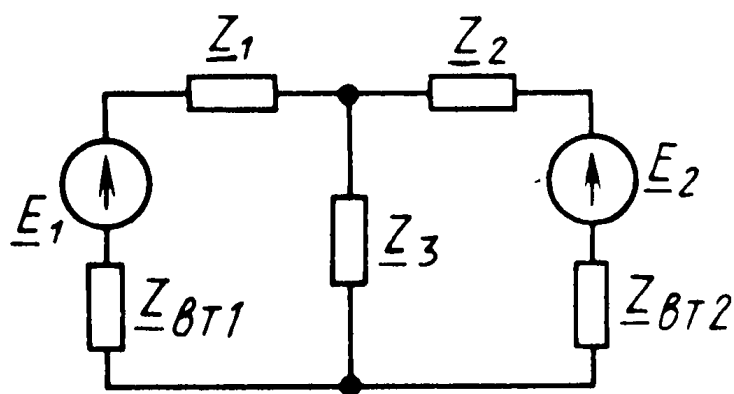


Рисунок 19

Номер варианта	Данные к задаче 19			Метод решения
	$z_1, \text{ Ом}$	$z_2, \text{ Ом}$	$z_3, \text{ Ом}$	
1	$8+j6$	$j12$	10	По законам Кирхгофа
2	$12+j16$	16	$j10$	Контурных токов
3	$6+j18$	$-j8$	12	Узлового напряжения
4	$9+j12$	10	$-j8$	Наложения
5	$12+j9$	$j10$	$3+j4$	Узлового напряжения
6	$16+j12$	12	$4-j3$	Контурных токов
7	20	$6-j8$	$9+j12$	По законам Кирхгофа
8	$j20$	$3+j4$	$12-j9$	Наложения
9	$18+j24$	$4+j6$	12	Узлового напряжения
10	$24+j18$	12	$j12$	Контурных токов

Задача 20

К трехфазной линии с линейным напряжением $U_{л}$ подключен симметричный трехфазный приемник, соединенный треугольником (см. рис. 20). Активное и реактивное сопротивление фазы приемника соответственно равны R_{ϕ} и X_{ϕ} . Определить токи в фазах приемника и линейных проводах, а также потребляемую приемником активную мощность в режимах: а) симметричном трехфазном; б) при обрыве одной фазы приемника;

в) при обрыве линейного провода. Построить для всех трех режимов топографические диаграммы напряжений и показать на них векторы токов.

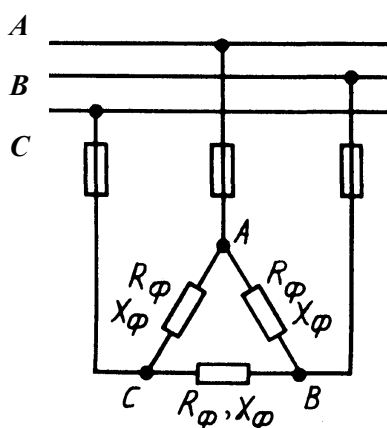


Рисунок 20

Номер варианта	Данные к задаче 20		
	$U_{л}, В$	$R_{\phi}, Ом$	$X_{\phi}, Ом$
1	127	3	4
2	220	6	8
3	380	8	15
4	127	4	3
5	220	8	6
6	380	15	8
7	127	3	-4
8	220	6	-8
9	380	8	-15
10	220	8	-6

Задача 21

К трехфазной линии с линейным напряжением $U_{л}$ подключены три одинаковых приемника, соединенных звездой (см. рис. 21). Активное и реактивное сопротивления каждого приемника равны R и X . Определить токи в фазах нагрузки и линейных проводах, а также потребляемую нагрузкой активную мощность в режимах: а) симметричном трехфазном; б) при обрыве одной фазы нагрузки; в) при коротком замыкании той же фазы нагрузки. Построить для всех трех режимов топографические диаграммы напряжений и показать на них векторы токов.

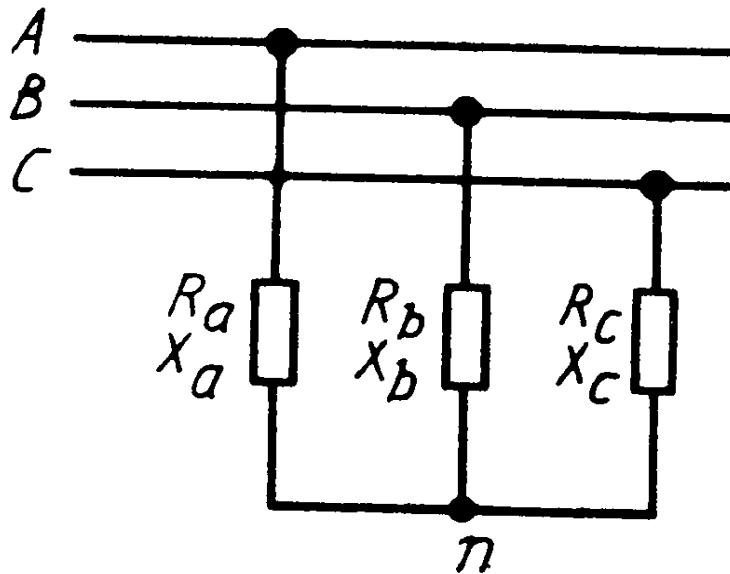


Рисунок 21

Номер варианта	Данные к задаче 21		
	$U_{л}, В$	$R, Ом$	$X, Ом$
1	220	1	3
2	380	3	1
3	220	3	4
4	380	4	3
5	220	3	5
6	380	6	8
7	220	8	6
8	380	5	3
9	220	2	5
10	380	3	7

Задача 22

Несимметричная нагрузка, соединенная треугольником, включена в трехфазную сеть переменного тока (рис. 22). Частота тока 50 Гц, линейное напряжение U . Сопротивление резистора R , емкость конденсатора C и индуктивность катушки L известны. Рассчитать фазные токи. Построить векторную диаграмму токов и по ней определить линейные токи.

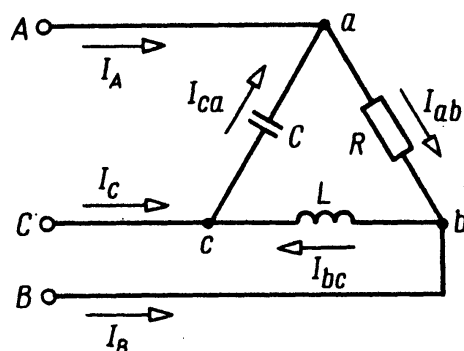


Рисунок 22

Номер варианта	Данные к задаче 22			
	U, В	R, Ом	C, мкФ	L, Гн
1	220	50	100	0,04
2	380	20	120	0,05
3	660	300	15	2,0
4	220	80	40	0,4
5	380	60	100	0,04
6	660	30	100	0,2
7	220	75	50	0,15
8	380	120	40	0,3
9	660	35	75	0,2
10	220	55	90	0,1

Задача 23

Соленоидный привод механизма имеет обмотку, обладающую сопротивлением R и индуктивностью L . Последовательно с обмоткой включен добавочный резистор R_δ . Цепь соленоида питается от сети постоянного тока (рис. 23). Сердечник привода начинает двигаться, когда после замыкания цепи соленоида ток в обмотке достигает значения I_{mp} ; установившейся ток в обмотке равен I_y . движение должно начинаться через промежуток времени t после замыкания цепи соленоида. Определить значение добавочного сопротивления R_δ и напряжение сети U .

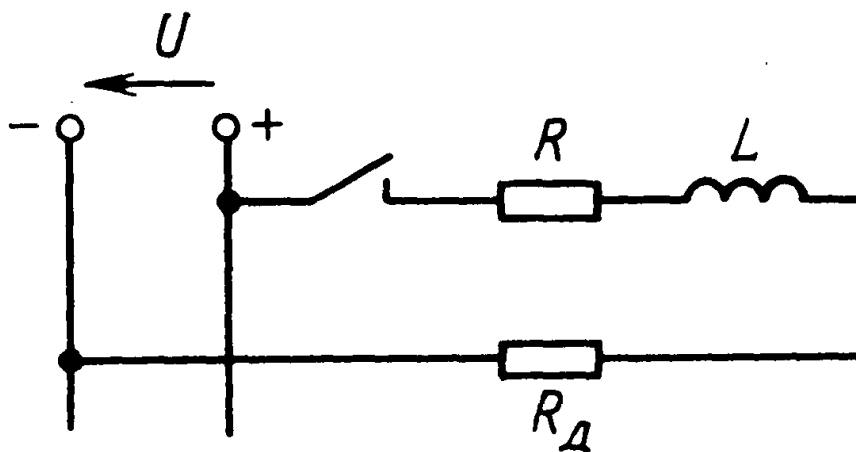


Рисунок 23

Номер варианта	Данные к задаче 23				
	R , Ом	L , Гн	$I_{тр}$, А	I_y , А	t , с
1	0,5	0,2	8	10	0,3
2	0,25	0,5	6	12	0,5
3	0,5	1,0	4	6	0,6
4	1,0	1,5	5	10	0,75
5	0,6	1,2	3	5	0,5
6	1,2	2,0	12	20	1,2
7	0,75	1,5	6	8	0,6
8	1,5	1,5	12	15	1,0
9	1,0	2,0	8	10	0,7
10	2,0	2,25	6	10	0,75

Задача 24

Конденсатор емкостью C заряжается до полного напряжения сети U (рис. 24). Выключатель B служит для того, чтобы разрядить конденсатор через ничтожно малый промежуток времени путем замыкания его накоротко. Вследствие обрыва короткозамыкающего проводника конденсатор разряжается через сопротивление собственной изоляции. При этом через промежуток времени t напряжение на зажимах конденсатора снижается в k раз. Определить постоянную времени переходного процесса и сопротивление изоляции конденсатора. Построить кривую напряжения на зажимах конденсатора в функции времени.

Указание. Сопротивление изоляции рассматривать как сопротивление, присоединенное параллельно к обкладкам конденсатора.

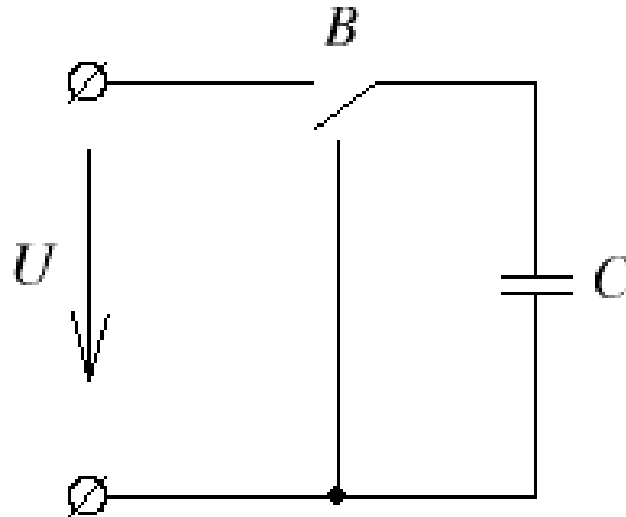


Рисунок 24

Номер варианта	Данные к задаче 24			
	U, В	C, мкФ	k	t, с
1	40	10	2,0	14
2	50	15	2,5	27
3	60	20	2,0	28
4	70	25	2,5	45
5	80	30	3,0	66
6	90	10	2,5	18
7	100	15	4,0	42
8	200	20	4,0	56
9	250	25	4,0	80
10	300	30	4,0	96

Задача 25

В цепи рис. 25 мгновенное значение тока в ветви R_1 , L равно $i_L = 20 + \sqrt{2} \cdot 10 \sin \omega t + \sqrt{2} \cdot 5 \sin 2\omega t$. Активные сопротивления R_1 и R_2 одинаковы ($R_1 = R_2 = R$). При основной угловой частоте ω индуктивное сопротивление равно X_L , а емкостное – X_C . Найти выражения для мгновенных напряжений на зажимах цепи, тока в ветви R_2 , C и в неразветвленной части цепи. Определить активную мощность на зажимах цепи.

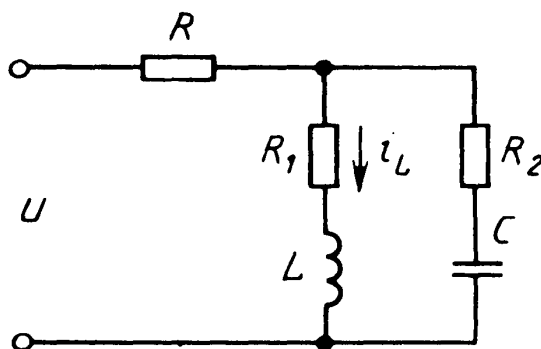


Рисунок 25

Номер варианта	Данные к задаче 25		
	R, Ом	X_L , Ом	X_C , Ом
1	1	1,5	3
2	2	2,0	4
3	1	3,0	6
4	2	4,0	8
5	1	5,0	10
6	0,5	1,5	3
7	1,0	2,0	4
8	0,5	3,0	6
9	1,0	4,0	2
10	0,5	5,0	10

Задача 26

К зажимам цепи рис. 26 приложено периодическое несинусоидальное напряжение $u = 6 + \sqrt{2} \cdot 100 \sin(\omega t - 15^\circ) + \sqrt{2} \cdot 25 \sin(3\omega t - 30^\circ)$. Активное сопротивление в неразветвленной части цепи равно R , при основной угловой частоте ω индуктивное сопротивление равно X_L , а емкостное – X_C . Найти выражения для мгновенных токов на всех участках цепи. Определить показания всех амперметров (электромагнитной системы); активную мощность на зажимах цепи.

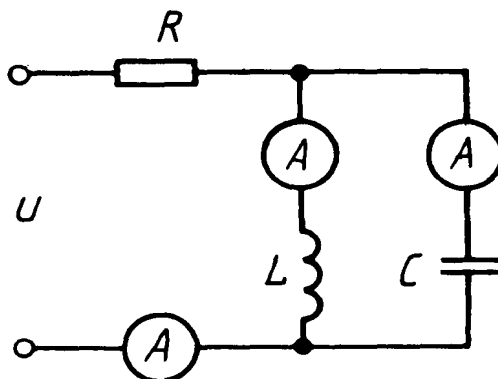


Рисунок 26

Номер варианта	Данные к задаче 26		
	$R, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$X_c, \text{ Ом}$
1	1	1	9
2	1	3	3
3	2	2	3
4	2	1	6
5	1	2	18
6	1	6	6
7	2	3	9
8	2	1	12
9	1	9	9
10	1	9	27

Задача 27

Для разветвленной магнитной цепи, соответствующей номеру варианта (рис. 27), выполнить следующее:

- начертить разветвленную магнитную цепь с одной намагничивающей обмоткой и выбранным положительным направлением тока;
- рассчитать магнитные потоки всех стержней.

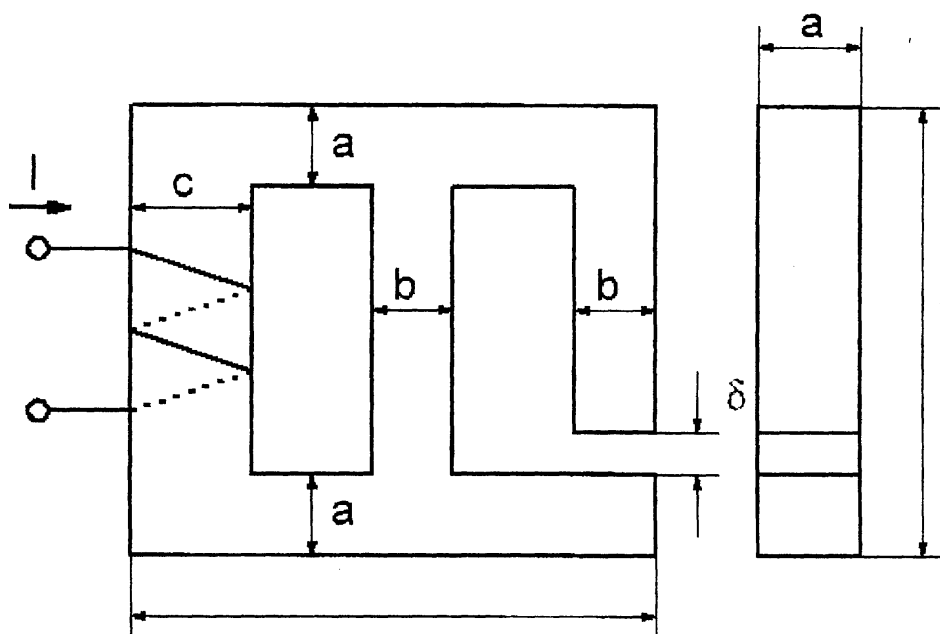


Рисунок 27

Номер варианта	Данные к задаче 27						
	a, мм	b, мм	c, мм	d, мм	f, мм	δ , мм	F, А
1	40	50	80	250	120	1,5	350
2	45	40	100	280	100	1,0	400
3	60	30	120	340	180	1,25	600
4	30	45	90	260	130	1,5	650
5	32	50	70	280	125	1,0	550
6	25	35	60	200	80	1,35	480
7	50	60	110	275	150	1,8	340
8	55	40	90	300	210	0,8	560
9	25	20	80	260	90	0,75	600
10	48	40	80	200	145	0,5	430

Задача 28

Для трехфазного трансформатора, параметры которого приведены ниже в таблице, определить коэффициент мощности холостого хода $\cos \varphi_0$, сопротивления первичной и вторичной обмоток $R_1, X_{d1}; R_2$ и X_{d2} , расчетные сопротивления Z_0, R_0 и X_0 , угол магнитных потерь δ . Построить векторную диаграмму трансформатора для нагрузки $\beta = 0,8$ и $\cos \varphi_2 = 0,75$. Построить внешнюю характеристику $U_2 = f_1(\beta)$ и зависимость КПД от нагрузки $\eta = f_2(\beta)$ для $\cos \varphi_2 = 0,75$. Начертить Т-образную схему замещения трансформатора.

Номер варианта	Данные к задаче 28							
	Группа соединений	$S_{ном}$, кВ·А	$U_{1 ном}$, В	U_{20} , В	u_k , %	P_k , Вт	P_0 , Вт	i_0 , %
1	Y/Y ₀ - 0	10	6300	400	5,0	335	105	10,0
2	Y/ Δ - 11	20	6300	230	5,0	600	180	9,0
3	Y/Y ₀ - 0	30	10000	400	5,0	850	300	9,0
4	Y/Y ₀ - 0	50	10000	400	5,0	1325	440	8,0
5	Y/Y ₀ - 0	75	10000	230	5,0	1875	590	7,5
6	Y/Y ₀ - 0	100	10000	525	5,0	2400	730	7,5
7	Y/ Δ - 11	180	10000	525	5,0	4100	1200	7,0
8	Y/Y ₀ - 0	240	10000	525	5,0	5100	1600	7,0
9	Y/ Δ - 11	320	35000	10500	6,5	6200	2300	7,5
10	Y/Y ₀ - 0	420	10000	525	5,5	7000	2100	6,6

Задача 29

Трехфазный трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами: мощность S_n ; высшее линейное напряжение U_{1n} ; низшее линейное напряжение U_{2n} . Схема соединения обмоток трансформатора

Y/Y . Мощность потерь холостого хода P_0 (при первичном напряжении, равном номинальному); мощность потерь короткого замыкания $P_{к.н}$ (при токах в обмотках, равных номинальным). Определить: а) коэффициент трансформации; б) фазные напряжения первичной и вторичной обмоток при холостом ходе; в) номинальные токи в обмотках трансформатора; г) активное сопротивление фазы первичной и вторичной обмоток; д) КПД трансформатора при $\cos \varphi_2 = 0,8$ и значениях коэффициента загрузки 0,25; 0,5; 0,75; е) годовой эксплуатационный КПД трансформатора при тех же значениях $\cos \varphi_2$ и коэффициента загрузки при условии, что трансформатор находится под нагрузкой в течение года 4200 ч, а в остальное время цепь вторичной обмотки разомкнута.

Указание. Принять, что в опыте короткого замыкания мощность потерь делится поровну между первичной и вторичной обмотками.

Номер варианта	Данные к задаче 29				
	S, кВ·А	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, В	P_0 , Вт	$P_{к.н}$, Вт
1	20	6	230	180	600
2	20	10	400	220	600
3	30	6	230	250	850
4	30	10	400	300	850
5	50	6	525	350	1325
6	50	10	400	440	1325
7	100	6	525	600	2400
8	100	10	400	730	2400
9	180	6	400	1000	4000
10	180	10	525	1200	4100

Задача 30

Однофазный трансформатор характеризуется следующими номинальными величинами: мощность S_n ; высшее (первичное) напряжение $U_{1н}$; низшее (вторичное) напряжение $U_{2н}$. мощность потерь холостого хода P_0 (при $U_1 = U_{1н}$); коэффициенты мощности: при холостом ходе $\cos \varphi_{10}$, при коротком замыкании $\cos \varphi_{1к}$; процентное значение напряжения короткого замыкания $u_k = 5,5\%$. Определить: а) ток холостого хода трансформатора; б) коэффициент трансформации; в) параметры полной схемы замещения трансформатора; г) напряжение U_2 , если к трансформатору присоединен приемник энергии с параметрами Z_n , $\cos \varphi_n$. начертить схему замещения трансформатора и нанести на ней параметры всех элементов схемы.

Указания: 1. Принять, что в опыте холостого хода реактивное сопротивление первичной обмотки мало по сравнению с реактивным сопротивлением намагничивающей ветви. 2. Принять, что в опыте короткого

замыкания мощность потерь делится поровну между первичной и вторичной обмотками.

Номер варианта	Данные к задаче 30							
	S_H , кВ·А	U_{1H} , кВ	U_{2H} , В	$\cos\varphi_{10}$	$\cos\varphi_{1к}$	P_0 , Вт	Z_H , Ом	$\cos\varphi_H$
1	20	10	400	0,12	0,55	220	10	0,8
2	30	10	400	0,11	0,52	250	10	0,9
3	50	6	525	0,1	0,48	350	15	0,8
4	100	6	525	0,092	0,435	600	4	0,8
5	180	10	525	0,095	0,415	1200	2	0,6
6	320	6	525	0,083	0,345	1600	2	0,6
7	360	6	525	0,075	0,291	2500	1	0,8
8	750	10	400	0,091	0,29	4100	1	0,7
9	1000	10	400	0,098	0,272	4900	0,5	0,7
10	1800	10	400	0,099	0,241	8000	0,5	0,7

Задача 31

Двигатель параллельного возбуждения, номинальное напряжение которого $U_{ном}$, при номинальной нагрузке потребляет ток $I_{ном}$, а при холостом ходе I_0 . Номинальная частота вращения $n_{ном}$, сопротивление обмотки якоря $R_я$, сопротивление цепи возбуждения $R_в$. Магнитные и механические потери принять постоянными при всех режимах работы двигателя. Определить: номинальную мощность двигателя $P_{ном}$ на валу, номинальный вращающий момент $M_{ном}$, номинальный КПД $\eta_{ном}$, значение пускового момента при токе $I_{пуск} = 2I_{ном}$ и соответствующее сопротивление пускового реостата, а также частоту вращения якоря при $I_{я.ном}$, но при введенном в цепь возбуждения добавочном сопротивлении, увеличивающем заданное в условии задачи значение $R_в$ на 30 %. Построить естественную механическую характеристику двигателя.

Номер варианта	Данные к задаче 31					
	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	I_0 , А	$R_я$, Ом	$R_в$, Ом	$\eta_{ном}$, об/мин
1	220	15	1,6	1,2	180	1025
2	220	53	6,3	0,212	33	1225
3	115	100	9,5	0,11	50	1000
4	110	267	30,0	0,04	27,5	1100
5	220	16,3	1,78	1,16	75	1025
6	110	7,8	0,7	0,8	210	1240
7	220	19,9	2,0	1,5	150	960
8	110	35	3,2	0,6	60	1400
9	220	32	2,8	0,94	120	1600

10	220	34	3,0	0,45	110	1100
----	-----	----	-----	------	-----	------

Задача 32

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением характеризуется следующими номинальными величинами: напряжение на зажимах U_n ; мощность P_n ; частота вращения якоря n_n ; КПД η_n . сопротивление цепи якоря $R_{я}$, сопротивление цепи возбуждения $R_{в}$. Определить: а) ток I_n , потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке; б) номинальный момент на валу электродвигателя; в) пусковой момент при токе $I_n = 2I_n$ (без учета реакции якоря) и соответствующее сопротивление пускового реостата; г) пусковой момент при том же значении пускового тока, но при ошибочном включении пускового реостата; е) частоту вращения якоря при токе якоря, равном номинальному, но при введении в цепь возбуждения добавочного сопротивления, увеличивающего заданное в условии задачи значение $R_{в}$ на 20 %. Начертить схему включения электродвигателя: правильную и ошибочную.

Номер варианта	Данные к задаче 32					
	U_n , В	P_n , кВт	n_n , об/мин	η_n , %	$R_{я}$, Ом	$R_{в}$, Ом
1	110	1,0	3000	77,0	1,2	220
2	110	1,5	3000	76,0	0,8	160
3	110	2,2	3000	80,0	0,48	110
4	110	3,2	1500	78,5	0,34	80
5	110	4,5	1500	80,0	0,23	70
6	220	6,0	3000	82,5	0,62	220
7	220	8,0	3000	83,5	0,44	170
8	220	11,0	1500	84,0	0,31	185
9	220	14,0	1500	86,5	0,29	135
10	220	19,0	1500	84,5	0,16	110

Указания: 1. При решении задачи воспользоваться данной в таблице процентной зависимостью магнитного потока от тока возбуждения. За 100 % приняты соответственно номинальные значения магнитного потока и тока возбуждения. 2. Под ошибочной схемой включения понимают схему, в которой обмотка возбуждения подключена не к напряжению сети, а к якорю (т. е. «после» пускового реостата).

$I_{в}$, %	0	20	40	60	80	100	120	150
Φ , %	5	45	73	88	95	100	103	107

Задача 33

Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором, сопротивление фаз обмоток которого R_1, R_2, X_1, X_2 , соединен треугольником и работает при напряжении $U_{ном}$ с частотой $f = 50$ Гц. Число витков на фазу обмоток ω_1, ω_2 , число пар полюсов p . Определить: пусковые токи статора и ротора, пусковой вращающий момент, коэффициент мощности при пуске двигателя без пускового реостата, значение сопротивления пускового реостата, обеспечивающего максимальный пусковой момент; величину максимального пускового момента и коэффициент мощности при пуске двигателя с реостатом. При расчете током холостого хода пренебречь. Построить естественную механическую характеристику двигателя.

Номер варианта	Данные к задаче 33								
	$U_{ном}, В$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$X_1, Ом$	$X_2, Ом$	ω_1	ω_2	p	$S_{ном}, \%$
1	220	0,46	0,07	1,52	0,22	190	64	2	3,0
2	220	0,58	0,06	2,32	0,35	260	82	2	3,5
3	380	0,62	0,04	1,84	0,42	362	72	2	3,5
4	380	0,74	0,07	3,52	0,37	216	48	3	2,5
5	380	0,78	0,06	4,12	0,62	424	74	3	2,5
6	220	0,36	0,045	3,62	0,48	358	62	3	4,0
7	220	0,42	0,05	2,82	0,34	184	42	2	4,5
8	220	0,64	0,06	3,12	0,65	412	82	2	5,0
9	220	0,82	0,07	3,82	0,48	362	65	2	5,0
10	380	0,84	0,06	4,24	0,52	254	46	3	3,0

Задача 34

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с линейным напряжением 380 В. Величины, характеризующие номинальный режим двигателя: мощность на валу $P_{2н}$; частота вращения ротора $n_{2н}$; коэффициент мощности $\cos \varphi_n$; КПД η_n . Обмотки фаз статора соединены звездой. Кратность критического момента относительно номинального $k_m = M_k/M_n$. определить: а) номинальный ток в фазе обмотки статора; б) число пар полюсов обмотки статора; в) номинальное скольжение; г) номинальный момент на валу ротора; д) критический момент; е) критическое скольжение, пользуясь формулой, приведенной в теоретической части; ж) значения моментов, соответствующие значениям скольжения $s_n; s_k$; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; з) пусковой момент при снижении напряжения в сети на 10 %. Построить механическую характеристику $n(M)$ электродвигателя.

Номер варианта	Данные к задаче 34				
	$P_{2н}$, кВт	$n_{2н}$, об/мин	$\cos\varphi_{1н}$	η_n , %	K_M
1	1,1	2800	0,87	79,5	2,2
2	1,5	2825	0,88	80,5	2,2
3	2,2	2850	0,89	83,0	2,2
4	3,0	1430	0,84	83,5	2,2
5	4,0	1430	0,85	86,0	2,2
6	5,5	1440	0,86	88,0	2,2
7	7,5	1440	0,87	88,5	2,2
8	10	960	0,89	88,0	1,8
9	13	960	0,89	88,0	1,8
10	17	960	0,90	90,0	1,8

Задача 35

Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором питается от сети с линейным напряжением U . Величины, характеризующие номинальный режим двигателя: $P_{2н}$; $n_{2н}$; $\cos \varphi_{1н}$; η_n ; $U_{1фн} = 220$ В. Кратность пускового тока $k_I = I_{1п}/I_{1н}$ при пуске без реостата и номинальном напряжении на зажимах статора; коэффициент мощности в этих условиях $\cos \varphi_{1к} = 0,35$. Обмотки фаз ротора соединены звездой. Определить: а) схему соединения фаз обмотки статора: «звезда» или «треугольник»; б) номинальный момент на валу ротора; в) номинальный и пусковой токи двигателя; г) сопротивление короткого замыкания (на фазу); д) активное и реактивное сопротивления обмотки статора и ротора (для ротора – приведенные значения); е) критическое скольжение. Вычислить по общей формуле электромагнитного момента асинхронного двигателя значения моментов для следующих значений скольжения: s_n ; s_k ; 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. Построить кривую $M(s)$.

Указание. Принять $R_1 = R_2' = R_k / 2$, $X_1 = X_2' = X_k / 2$.

Номер варианта	Данные к задаче 35					
	U, В	$P_{2н}$, кВт	$n_{2н}$, об/мин	η_n , %	$\cos \varphi_{1н}$	K_I
1	220	7,5	1400	82,0	0,84	7,0
2	380	10	1400	83,5	0,85	7,0
3	220	13	1400	84,5	0,86	7,0
4	380	17	950	84,5	0,80	6,5
5	220	22	955	85,0	0,81	6,5
6	380	30	960	87,0	0,82	6,5
7	220	40	720	87,0	0,81	5,5

8	380	55	720	88,5	0,82	5,5
9	380	75	1455	90,0	0,88	6,5
10	380	100	1460	90,5	0,88	6,5

Литература

1. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – Москва : Высшая школа, 1973 г. – 752 с.
2. Теоретические основы электротехники / под ред. К. С. Демирмян [и др.]. – Москва, 2006 г. – 463 с.
3. Основы теории цепей / под ред. Т. В. Зевеке [и др.]. – Москва : Высшая школа, 1989 г. – 528 с.
4. Быстров, Ю. А. Электронные цепи и устройства / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – Москва : Высшая школа, 1989 г. – 287 с.
5. Сборник задач и упражнений по теоретическим основам электротехники / под ред. П. А. Ионшена. – Москва : Энергоиздат, 1982 г. – 768 с.
6. Брускин, Д. Э. Электрические машины и микромашины / Д. Э. Брускин, А. Е. Зохорович, В. С. Хвостов. – Москва : Высшая школа, 1990 г. – 328 с.
7. Электрические цепи : метод. указ. к лаб. работам / А. В. Ильющенко, В. Ф. Куксевич. – Витебск, 2006 г.
8. Частотные фильтры : метод. указ. к лаб. работам / А. В. Ильющенко. – Витебск, 2006 г.
9. Переходные процессы : метод. указ. к лаб. работам / А. В. Ильющенко, В. Ф. Куксевич. – Витебск, 1998 г.
10. Электротехника: Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников неэлектротехнических спец. инженерно-технических вузов / Б. А. Волынский. – Москва : Высшая школа, 1987 г. – 119 с.