Общие указания

Целью выполнения практических занятий является закрепление теоретических знаний и умение применять полученные знания в практических задачах.

Практические занятия проводятся под руководством преподавателя в учебном классе.

Для выполнения практических заданий рекомендуем воспользоваться данным учебно-методическим комплексом, а так же литературой [2], [4].

Оформление можно выполнить в произвольной форме. На титульном листе обязательно указывается номер специальности студента и его личный шифр. В содержание отчета должны быть представлены: условие задачи и схема цепи; все расчеты, в том числе и промежуточные; приведены формулы и промежуточные математические преобразования в общем виде.

Номер варианта задания практических занятий определяется по последней цифре шифра студента (см. таблицы заданий).

ЗАНЯТИЕ 1. РАСЧЕТ ПРОСТЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Основные положения

Основными законами, на базе которых разработаны методы расчета цепей, являются закон Ома и законы Кирхгофа.

Первый закон Кирхгофа – алгебраическая сумма токов в проводах, сходящихся в любом узле, равна нулю.

При этом рекомендуется токи, направленные к узлу, брать со знаком +, а токи, направленные от узла брать со знаком –.

Второй закон Кирхгофа – алгебраическая сумма падений напряжений на отдельных участках контура равна алгебраической сумме ЭДС этого контура:

Последовательное соединение

При последовательном соединении сопротивлений величина тока во всех элементах одинакова.

При последовательном соединении общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений, включенных последовательно:

Напряжения на отдельных участках цепи по закону Ома:

$$U_1 = IR_1 \;\; U_2 = IR_2 \,;\; U_3 = IR_3 \,;\; U_n = IR_n \,.$$

Параллельное соединение

При параллельном соединении общая проводимость цепи равно сумме проводимостей, включенных параллельно:

Общее сопротивление двух параллельно соединенных сопротивлений равно:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2},$$

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Пример 1. Определить общее сопротивление R_{123456} цепи, имеющей последовательно и параллельно соединенные сопротивления.

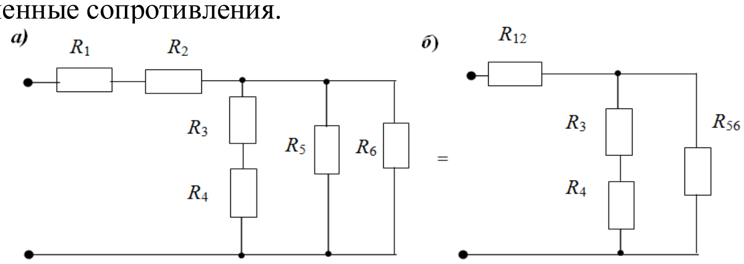

Рис.1

Переходим от схемы рис.1, *а* к эквивалентной схеме рис.1, *б*

$$R_{12} = R_1 + R_2 \,,\;\; R_{56} = \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}$$

На основании рис.1, *б* легко найти общее сопротивление R_{123456} цепи:

$$R_{123456} = R_{12} + \frac{R_{34}R_{56}}{R_{34}+R_{56}},$$

где $R_{34} = R_3 + R_4$.

Рекомендуем затем разобрать пример 1 задачи 1 из контрольной работы.

Задание для самостоятельной работы

Для схемы рис.2, *а,б* определите ток в сопротивлении R_2. При этом все сопротивления и E указаны в таблице 1.

Таблица 1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Буква рисунка	а	а	а	а	а	б	б	б	б	б
R1…R6, Ом	2	4	6	8	10	12	8	6	4	2
E, В	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26

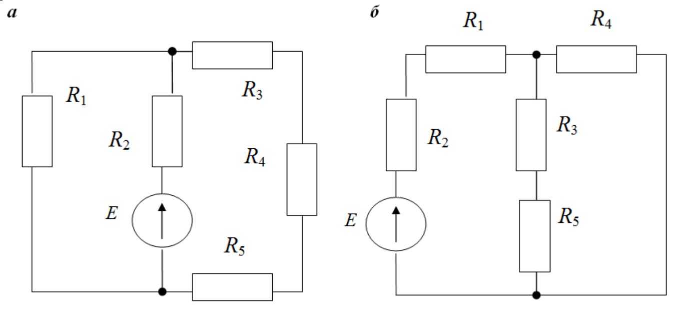

Рис.2

ЗАНЯТИЕ 2. РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ СИНУСОИДАЛЬНОГО ТОКА КОМПЛЕКСНЫМ МЕТОДОМ

Основные положения

Комплексный (символический) метод расчета цепей основан на том, что вектора, изображающие функции времени, могут быть записаны с помощью комплексных чисел.

Уравнения (закон Ома и законы Кирхгофа) являются алгебраическими и аналогичны этим же уравнениям для цепей постоянного тока. Поэтому все методы расчета цепей постоянного тока можно применить для расчета комплексных токов и напряжений. Последним этапом в комплексном методе расчета является переход от найденных комплексных токов и напряжений к соответствующим мгновенным (действующим) значениям токов и напряжений.

Расчет цепей комплексным методом рекомендуется вести в следующей последовательности:

1. Изображаем заданные синусоидальные напряжения и параметры реактивных элементов комплексными числами.
2. Используя законы Ома и Кирхгофа в комплексной форме, составляем уравнения для определения комплексных токов (напряжений).
3. Определяем комплексные токи в ветвях в результате решения алгебраических уравнений п. 2. Основные алгебраические действия с комплексными числами, которые используются на этом этапе, приведены в приложении.
4. С учетом соответствия преобразуем найденные комплексные токи в ветвях в соответствующие мгновенные значения.

Рекомендуем проработать материал темы 3.1 опорного конспекта.

Пример 2. Определить мгновенное значение тока на входе цепи (рис. 3), у которой, x_C = 12 Ом, x_L = 3 Ом, $R_1 = R_2$ =10 Ом, $u = 12\sin\omega t$.

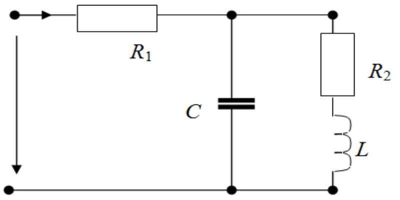

Рис.3.

Решение 1. Изобразим синусоидальное входное напряжение и параметры реактивных элементов L и C комплексными числами:

$\dot{U}_m = U_m e^{j0} = 12$; $jX_L = j3$, Ом; $-jX_C = -12$, Ом.

Если начальная фаза ψ_u входного напряжения в условии задачи не задана, то ее рекомендуется взять равной нулю ($\psi_u = 0$).

2. Используя закон Ома в комплексной форме, составим уравнение для определения комплексной амплитуды тока на входе цепи:

$$\dot{I}_m = \dot{U}_m / \underline{Z},$$

где $\underline{Z}$ – комплексное сопротивление цепи определяется по аналогичным правилам расчета полного сопротивления резистивной цепи постоянного тока:

$$\underline{Z} = R_1 + \frac{-jX_C(R_2 + jX_L)}{R_2 + jX_L - jX_C} = R_1 + \frac{X_C X_L - jX_C R_2}{R_2 + j(X_L - X_C)} = 10 + \frac{36 - j120}{10 - j12} =$$

$$= \frac{(36 - j120)(10 + j12)}{(10 - j12)(10 + j12)} = 7{,}37 - j3{,}44.$$

3. Определим амплитуду комплексного тока на входе цепи:

$$\dot{I}_m = \frac{\dot{U}_m}{\underline{Z}} = \frac{12}{7{,}37 - j3{,}44} = \frac{12}{8{,}1e^{-j25^\circ}} = 1{,}48e^{j25^\circ}.$$

4. Преобразуем амплитуду комплексного тока на входе цепи в мгновенное значение синусоидального тока:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i) = 1{,}48 \sin(\omega t + 25^\circ).$$

Задание для самостоятельной работы

Задача 2. Определить мгновенное и действующее значения тока на входе цепи (рис.4). Данные для расчета приведены в таблице 2.

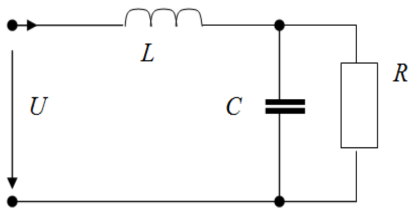

Рис.4

Таблица 2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R1, Ом	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
xC, Ом	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
xL, Ом	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U, B	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24

ЗАНЯТИЕ 3. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Основные положения

Трехфазная цепь может быть соединена «звездой» и «треугольником».

Трехфазная цепь, соединенная по схеме «звезда», имеет ряд особенностей.

1. Фазные токи равны токам в линейных проводах: $\dot{I}_ф = \dot{I}_л$.

2. Ток в нейтральном проводе $\dot{I}_N$ равен алгебраической сумме комплексных токов всех трех фаз.

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N \quad (4.3)$$

При отсутствии или обрыве нейтрального провода

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0.$$

В этом случае, зная два линейных тока, можно легко найти третий ток.

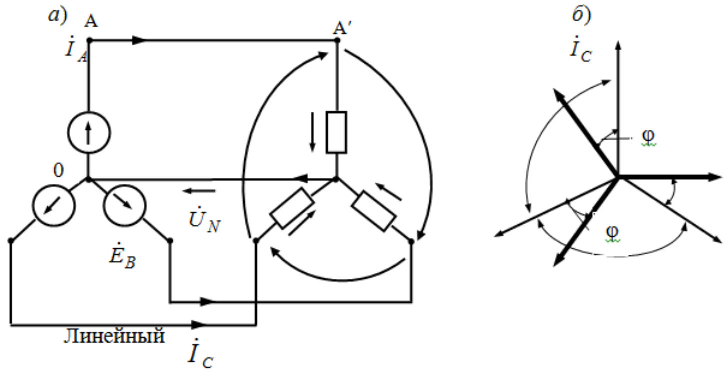

Рис.5

3. При симметрии фазных ЭДС и равенстве комплексных сопротивлений всех трех фаз цепи ($\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C = \underline{Z}_\Phi = R \pm jX$) комплексные токи, определяемые в соответствии с формулой закона Ома $\left(\dot{I}_\Phi = \dot{U}_\Phi / \underline{Z}_\Phi\right)$, имеют одинаковые действующие значения и сдвинуты друг относительно друга по фазе на $120°$ (как это показано на рис. 4.1, б). Они образуют симметричную систему фазных токов.

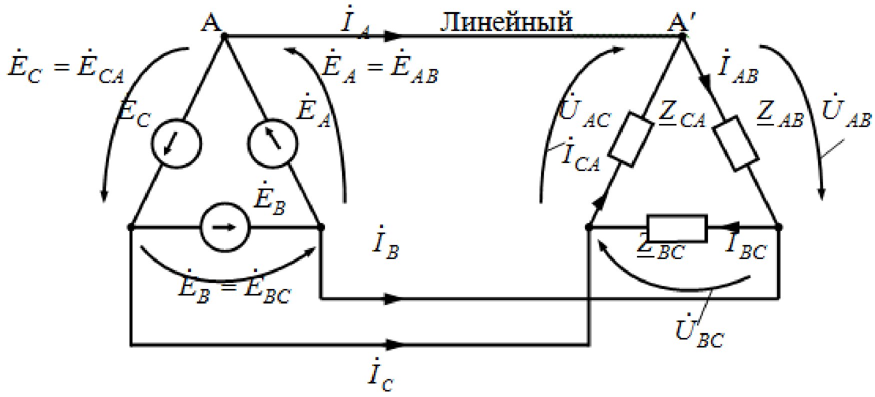

Рис.6

Трехфазная цепь, связанная «треугольником», имеет ряд особенностей.

1. Напряжения между линейными проводами ($\dot{U}_л$) одновременно являются и фазными ($\dot{U}_ф$) напряжениями: $\dot{U}_л = \dot{U}_ф$.

2. В трехфазной цепи, соединенной «треугольником», различают фазные ($\dot{I}_{AB}$, $\dot{I}_{BC}$ и $\dot{I}_{CA}$) и линейные ($\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$) токи:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \qquad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \qquad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

В частном случае, при симметрии ЭДС и нагрузки,

$$I_л = \sqrt{3} I_ф.$$

Мощность трехфазной симметричной цепи независимо от способа ее соединения:

$$P=\sqrt{3}U_Л I_Л\cos\varphi;$$

$$Q=\sqrt{3}U_Л I_Л\sin\varphi;$$

$$S=\sqrt{3}U_Л I_Л.$$

Задание для самостоятельной работы

Задача 3. Для симметричной трехфазной системы, соединенной по схеме «звезда» известны: фазное напряжение $U_ф$=220 В; параметры нагрузки фазы А (см. табл. 4). Требуется определить активную реактивную и полную мощности трехфазной цепи, и как изменятся эти мощности, если нагрузку соединить по схеме «треугольник».

Таблица 4

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R, Ом	10	12	13	14	15	16	17	18	19	20
xC, Ом	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
xL, Ом	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

ЗАНЯТИЕ 4. РАСЧЕТ МАГНИТНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Пример 4. .Какова должна быть величина тока в обмотке электромагнита (рис.7) для создания силы притяжения f = 2000 Н. Число витков обмотки w = 628. Электромагнит состоит из сердечника (поз. 1, рис.7) и ярма (поз. 2, рис.7). Параметры магнитопровода – $\ell_1=0{,}25$ м, $\ell_2=0{,}6$ м. Сечения магнитопровода, ярма и сердечника одинаковы: S_1 = S_2 = S = 25 10^{-4} м^2. Величина зазора – Δ = 0,001 м. Кривые намагничивания материала сердечника (кривая 1) и ярма (кривая 2) приведены на рис.8.

Решение. Сила притяжения, создаваемая электромагнитом, зависит от величины магнитного потока в зазоре и сечения зазора S_δ

$$f=\frac{\Phi^2}{2\mu_0 S_\delta},$$

поэтому можно найти величину магнитного потока, необходимого для создания этой силы:

$$\Phi=\sqrt{f\cdot 2\mu_0\cdot S_\delta}=\sqrt{2000\cdot 2\cdot 1{,}257\cdot 10^{-6}\cdot 25\cdot 10^{-4}}=25\cdot 10^{-4}\text{ Вб.}$$

Схема замещения магнитной цепи изображена на рис.8, где R_{M1} – магнитное сопротивление сердечника, R_{M2} – магнитное сопротивление якоря, $R_{M\delta}$ – магнитное сопротивление двух зазоров. По второму закону Кирхгофа для магнитной цепи МДС равна сумме магнитных напряжений участков:

$$F=WI=U_{м1}+U_{м2}+U_{м\delta}=H_1\ell_1+H_2\ell_2+H_\delta\cdot 2\Delta.$$

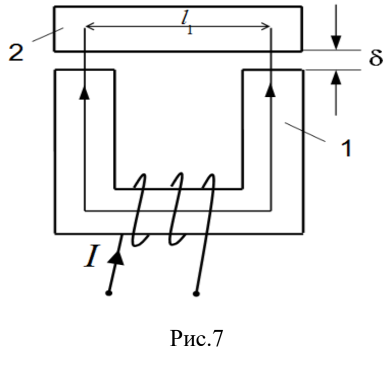

Рис.7

Площади сечения сердечника, якоря и зазора одинаковы, поэтому магнитная индукция на всей участках:

$$B_1 = B_2 = B_\delta = \frac{\Phi}{S} = \frac{25 \cdot 10^{-4}}{25 \cdot 10^{-4}} = 1, \text{Тл.}$$

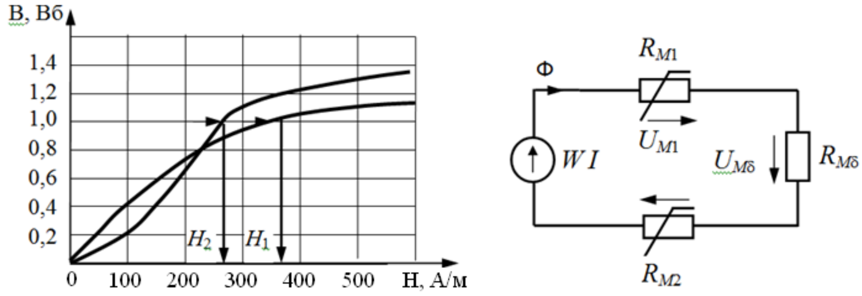

Рис.8

По кривым намагничивания (рис.8, а) для сердечника (поз. 1) и ярма (поз. 2) определим напряженности магнитного поля: $H_1 = 375$ А/м, $H_2 = 275$ А/м.

Напряженность магнитного поля в зазоре равна:

$$H_\delta = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1}{1{,}257 \cdot 10^{-6}} = 795545 \quad \text{А/м.}$$

В результате необходимая м.д.с. вычисляется как

$$F = H_1\ell_1 + H_2\ell_2 + H_\delta \cdot 2\Delta =$$
$$= 375 \cdot 0{,}25 + 275 \cdot 0{,}6 + 795545 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1860 \ \text{А},$$

а ток в обмотке электромагнита, необходимый для создания силы в 2000 Н, равен

$$I = \frac{F}{W} = \frac{1860}{628} = 3 \ \text{А.}$$

Задание для самостоятельной работы

Задача 4. Известны средняя длина l магнитопровода (рис.9, а) l = 40 см, величина зазора Δ = 3 мм, площадь сечения магнитопровода $S = 2 \cdot 10^{-2}$ мм^2, количество витков w = 500, кривая намагничивания сердечника (рис.9,б), магнитный поток Ф = 24 mВб. Определить величину тока I в катушке.

Таблица 4

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L, см	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
Δ, мм	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3

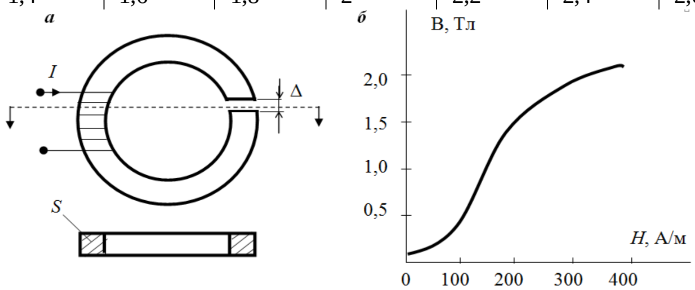

Рис.9