



*Областное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
среднего профессионального образования  
«Иркутский авиационный техникум»*

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ОГБОУ СПО «ИАТ»  
\_\_\_\_\_ В.Г. Семенов

**Комплект методических указаний по выполнению  
практических работ по дисциплине  
ОП.02 Основы электротехники**

образовательной программы (ОП)  
по специальности СПО

230113 Компьютерные системы и комплексы

базовой подготовки

**Иркутск 2013**

## Перечень практических (лабораторных) работ

№ работы	Название работы (в соответствии с рабочей программой)	Объём часов на выполнение работы	Страница
ПР №1	Расчёт двухпроводной линии, потери напряжения и мощности в проводах	2	
ПР №2	Решение задач с применением основных законов электротехники. Два режима работы источника ЭДС	2	
ПР № 3	Работа со схемами: чтение схем, структурный анализ схемы, составление уравнений по законам Кирхгофа	2	
ПР № 4	Расчёт цепей с несколькими источниками ЭДС различными методами	2	
ПР № 5	Расчёт цепей с одним источником электрической энергии методом свёртывания.	2	
ПР № 6	Расчёт цепей методом свёртывания. Анализ работы электрических цепей при изменении одного из параметров	2	
ПР № 7	Определение параметров переменного тока	2	
ПР № 8	Расчёт цепей переменного тока с двумя параметрами. Определение параметров цепи. Построение векторных диаграмм	2	
ПР № 9	Расчет не разветвленной цепи. Решение задач по индивидуальным схемам. Проверочная работа	2	
ПР № 10	Расчет трёхфазной цепи. Ток в нулевом проводе		
ПР № 11	Расчет электрических цепей с несинусоидальными ЭДС и токами.	2	
ПР № 12	Контрольная работа: Расчёт цепей переменного тока	2	
ЛР № 1	Электрические приборы	2	
ЛР № 2	Исследование различных режимов работы электрической цепи постоянного тока	2	
ЛР № 3	Исследование цепи постоянного тока с последовательным соединением резисторов	2	
ЛР № 4	Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением резисторов	2	
ЛР № 5	Исследование цепи с последовательным соединением катушки и активного сопротивления, влияние ф/магнитного сердечника на работу электрической цепи	2	

ЛР № 6	Исследование цепи с последовательным соединением катушки и конденсатора. Резонанс напряжений	2	
ЛР № 7	Проверка выполнения свойств резонанса напряжений расчётым методом	2	
ЛР № 8	Исследование трёхфазной цепи соединение звезда	2	

## Практическая работа № 1

### Расчёт двухпроводной линии

**Цель.** Приобрести навыки по расчёту двухпроводной линии. Применения основных формул на практике.

Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес. Прививать умение самостоятельно пополнять знания, развивать познавательные возможности студентов.

**Задание:** Определить *потери напряжения и мощности в проводах, сечение проводов, КПД линии; проводить тепловой расчёт.*

**Задача № 1.** К входным зажимам двухпроводной линии приложено напряжение 300 В. Потребитель находится на расстояние 280 м от входных зажимов, его сопротивление 50 Ом. Определить потерю напряжения в проводах и мощность нагрузки, если провода выполнены из меди сечением 6 мм<sup>2</sup>.

**Задача № 2.** Напряжение на нагрузке, подключенной к двухпроводной линии из алюминиевых проводов, 100 В. Потеря напряжения в линии  $\Delta U = 27$  В при токе нагрузки 10 А. Определить сечение проводов, если потребитель находится от источника ЭДС на расстояние 0,77 км.

**Задача № 3.** Группа ламп накаливания имеет общую мощность 2,85 кВт при напряжении 120 В. Расстояние от источника до помещения, где установлены лампы 100 м. Допустимая потеря напряжения в проводах 2%. Определить необходимое стандартное сечение проводов.

**Примечание:** Допустимая потеря напряжения в проводах:  $e = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$

**Самостоятельно решить задачи № 2.21; 2.14; 2.18; 2.85; 2.86.**

#### Краткие теоретические сведения

Электрический ток это направленное движение заряженных частиц.

$I = Q / t$  – количество электричества (заряд), проходящее через поперечное сечение проводника за одну секунду.

$I$  (А) – величина тока;  $1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$ ;  $1mA = 10^{-3} A$ ;  $1\mu A = 10^{-6} A$ .

$J$  (А/мм<sup>2</sup>) – плотность тока;

$J = I / S$ , где  $S$  (мм<sup>2</sup>) – площадь поперечного сечения проводника.

$R$  (Ом) – электрическое сопротивление

$R = \rho l / S$  – сопротивление провода, рассчитывается при температуре + 20°C, где

$\rho$  (Ом·мм<sup>2</sup>/м) – удельное сопротивление провода,

$l$  (м) – длина провода.

Сопротивление провода зависит от геометрических размеров (длины, сечения), электропроводных свойств материала и температуры.

$R_t = R_o [1 + \alpha(t - t_o)]$  – Зависимость сопротивления от температуры, где

$R_t$  (Ом) - сопротивление проводника при температуре  $t^{\circ}$ .

$R_o$ (Ом) – сопротивление проводника при температуре  $+20^{\circ}\text{C}$  (начальная температура),

$\alpha$ (1/градус) – температурный коэффициент сопротивления.

$P$  (Вт) – мощность.

$P = A / t = I^2 R = UI = U^2 / R$  – мощность, потребляемая нагрузкой.

$\eta = P_2 / P_1 \cdot 100\%$  - коэффициент полезного действия линии;

$\Delta U = U_1 - U_2$  - потери напряжения в проводах

### **Образец решения задач**

**Задача 1.** Рассчитать сопротивление двухпроводной линии при температуре минус  $10^{\circ}\text{C}$ , если длина медного провода 400 м, сечение  $10 \text{ mm}^2$ .

Решение:

1 Определить сопротивление провода при  $20^{\circ}\text{C}$  ( по справочнику найти удельное сопротивление меди  $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$ ; температурный коэффициент  $\alpha = 0,004$ ), значения подставить в формулу:

$$R = \rho \cdot l / s = 0,0175 \cdot 2 \cdot 400 / 10 = 1,4 \text{ Ом}$$

2. Определить сопротивление провода при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$ :

$$R = R_o [1 + \alpha (t - t_o)] = 1,4 [1 + 0,004 (-10 - 20)] = 1,232 \text{ Ом.}$$

Вывод: с уменьшением температуры сопротивление провода уменьшается.

**Задача 2.** Двухпроводная линия питается от источника мощностью 2,5 кВт при токе потребления 12 А.

Определить мощность нагрузки, потерю напряжения и кпд линии, если её длина составляет 2,4 км, а диаметр медных проводов 4,5 мм.

Решение. Определить:

- сечение провода линии:  $s = \pi r^2 = 3,14 \cdot 2,25^2 = 15,9 \text{ mm}^2$ ;

- сопротивление линии:  $R_{np} = \rho l / s = 0,0175 \cdot 2400 / 15,9 = 2,64 \text{ Ом.}$

Зная ток в линии, найти потери напряжения  $\Delta U$  и потери мощности  $\Delta P$  в проводах:

$$\Delta U = I \cdot R_{np} = 12 \cdot 2,64 = 31,68 \text{ В; } \Delta P = I^2 \cdot R_{np} = 144 \cdot 2,64 = 380 \text{ Вт.}$$

Мощность, потребляемая нагрузкой:  $P_2 = P_1 - \Delta P = 2500 - 380 = 2120 \text{ Вт} = 2,12 \text{ кВт.}$

Коэффициент полезного действия линии  $\eta$ :

$$\eta = P_2 / P_1 \cdot 100\% = 2120 / 2500 \cdot 100 = 84,8 = 85\%.$$

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:**

*Электротехническую терминологию: потери напряжения и мощности в подводящих проводах; коэффициент полезного действия линии*

*Основные законы и принципы теоретической электротехники: сопротивление провода, зависимость сопротивления провода от температуры, закон Ома, формулы мощности, кпд.*

**Уметь:**

*Использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности: при расчёте двухпроводной линии*

*Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.*

## **Практическое занятие № 2**

### **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ. ДВА РЕЖИМА РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭДС**

**Цель работы.**

Приобрести навыки:

- по применению основных законов в практической деятельности;
- по определению режима работы источника ЭДС

**Контрольные вопросы:**

1. Параметры источника ЭДС;
2. Как практически измерить ЭДС источника и напряжение на зажимах источника?
3. Свойства режима холостого хода;
4. Как определить режим работы источника ЭДС?

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:**

*Электротехническую терминологию:* источник ЭДС, параметры источника ЭДС, схема замещения, коэффициент полезного действия источника ЭДС, баланс мощностей.

*Основные законы и принципы теоретической электротехники:* закон Ома, законы Кирхгофа, закон Джоуля - Ленца, формулы расчёта параметров источника постоянного тока, мощности, кпд.

**Уметь:**

*Использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности:* по показаниям приборов определять режим работы источника ЭДС;

*Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.*

**Задача № 1.** Два источника постоянного тока, соединенные параллельно, их ЭДС одинаково направлены, параметры соответственно равны:  $E_1 = 11,5$  В,  $R_{o1} = 2,5$  Ом;  $E_2 = 16,5$  В,  $R_{o2} = 6$  Ом, сопротивление нагрузки  $R_H = 30$  Ом. Нарисовать схему замещения. Определить значения и направления токов ветвей. Указать режим работы каждого источника; определить падение напряжения на зажимах источников. Составить баланс мощностей.

**Задача № 2.** При зарядке аккумуляторной батареи в течение времени  $t = 4$  ч 45 мин при напряжении 220 В была затрачена энергия 5,5 кВт · ч. Определить ток зарядки аккумулятора и потребляемую мощность.

**Задача № 3.** Определить сопротивление резистора и напряжение, подведённое к нему, если потребляемый ток 3,5 А, а количество теплоты, выделившееся на резисторе в течении часа, равно 81,65 ккал.

**Самостоятельно решить задачи № 2.19; 2.15; 2.78.**

### **Практическое занятие № 3**

#### **СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ СХЕМЫ, ЧТЕНИЕ СХЕМ, СОСТАВЛЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ПО ЗАКОНАМ КИРХГОФА.**

**Цель работы.** Приобрести навыки:

- по чтению схем электрических цепей;
- по составлению уравнений по законам Кирхгофа;

**Контроль:** проверочная работа по индивидуальным карточкам.

**Задание** состоит из следующих этапов работы:

1. Нарисовать схему электрической цепи (соблюдая: порядок следования элементов и размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75)
2. Прочитать данную схему:
  - а) определить структурный анализ схемы: количество ветвей, всех узлов независимых узлов, независимых контуров.
  - б) по структуре схемы определить:
    - количество токов в данной схеме,
    - количество независимых уравнений по двум законам Кирхгофа,

- количество независимых уравнений по первому закону Кирхгофа,
  - количество независимых уравнений по второму закону Кирхгофа
3. Записать независимые уравнения по законам Кирхгофа

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:** Основные законы и принципы теоретической электротехники: Структура схемы: электрический узел, электрическая ветвь, электрический контур. Законы Кирхгофа:

- первый закон Кирхгофа и правила составления уравнений;
- второй закон Кирхгофа и правила составления уравнений

**Уметь:** Читать принципиальные, электрические и монтажные схемы;

**Контрольные вопросы:**

1. Структурный анализ схемы; определение: узел, ветвь, контур;
2. Законы Кирхгофа;
3. Правила составления уравнений по законам Кирхгофа;
4. Изображение электрических схем;
5. Составление уравнений по законам Кирхгофа;
6. Чтение схем

### Краткие теоретические сведения

**Прочитать схему** - значит дать полный структурный анализ цепи, записать законы Кирхгофа, определить участки с различными соединениями элементов, выбрать рациональный метод расчёта.

#### Структурный анализ схемы

**Электрическая ветвь** - участок с последовательным соединением элементов, по которым протекает один и тот же ток;

**Электрический узел** – место соединения не менее трёх ветвей;

**Электрический контур** – замкнутый путь по нескольким ветвям.

По структурному анализу схемы определяют количество:

$n_v$  - количество ветвей ( $n_v$ ),

$n_y$  - количество всех узлов

$n_{ny}$  - количество независимых узлов  $n_{ny} = n_y - 1$

$n_{nk}$  - количество независимых контуров. Независимый контур отличается хотя бы одной новой ветвью, то есть все смежные контура независимы

По количество ветвей в схеме определяют:

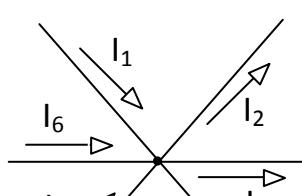
1. количеству токов;
2. количеству независимых уравнений составленных по двум законам Кирхгофа,

По количество независимых узлов в схеме определяют число независимых уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа и число независимых уравнений по МУН (методу узловых напряжений)

По количество независимых контуров в схеме определяют число независимых уравнений, составленных по второму закону Кирхгофа, и число независимых уравнений по МКТ (методу контурных токов)

**Примечание:** Изображают схемы соблюдая: порядок следования элементов и размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75

**Первый закон Кирхгофа** - алгебраическая сумма токов в узле равна нулю



$$I_6 + I_1 - I_2 - I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

При составлении уравнений, выбирают правило

### **Правила составления уравнений:**

1. Токи приходящие в данный узел, берут со знаком «+»,
2. Токи уходящие из этого узла берут со знаком «-»

**Следствие** из закона Кирхгофа: сумма токов приходящих в узел всегда равна сумме токов, выходящих из этого узла:  $I_6 + I_1 + I_4 + I_5 = I_2 + I_3$

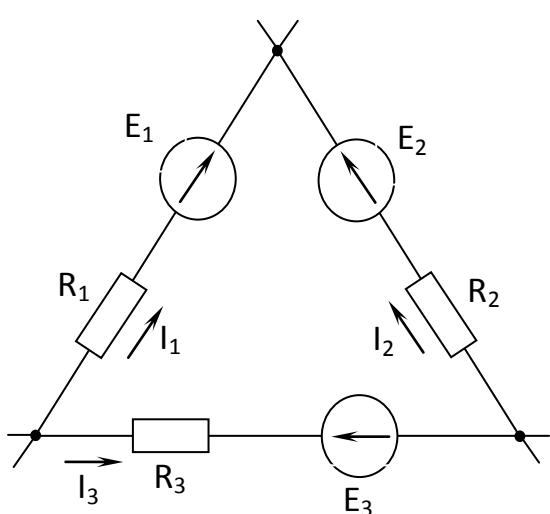
### **Второй закон Кирхгофа.**

**Алгебраическая сумма э.д.с. в любом замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений вдоль этого контура.**

$$\sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n I_k R_k$$

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_1 - E_2 + E_3$$

При составлении уравнений внимательно расставлять знаки при ЭДС и падениях напряжений.



### **Правила составления уравнений по второму закону Кирхгофа:**

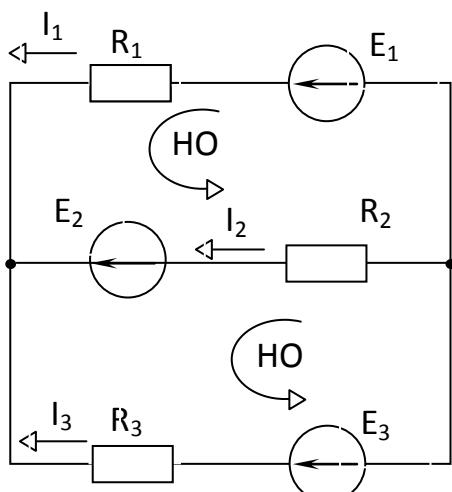
1. ЭДС положительно (пишут со знаком «+», если направления ЭДС и обхода контура – совпадают, если не совпадают – минус «-»);
2. падения напряжений IR берутся со знаком «+», если направления тока и обхода контура совпадают, минус, если не совпадают.

### **Пример решения задачи**

**Задача 1:** Составить уравнения по законам Кирхгофа для заданной схемы

Структурный анализ схемы: количество ветвей  $N_B = 3$ , поэтому три тока:  $I_1, I_2, I_3$ ;

$N_y = 2$  – количество всех узлов;  $N_{Hy} = N_y - 1 = 2 - 1 = 1$ ; количество независимых контуров  $n_{HK} = 2$

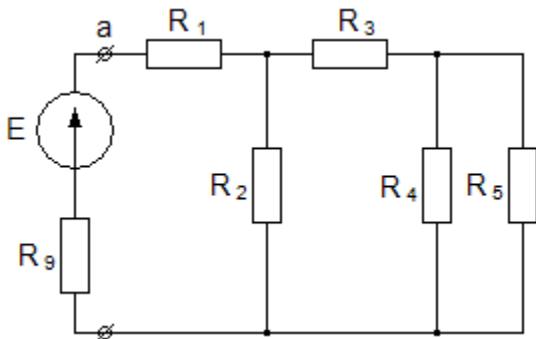


Система независимых уравнений, составленных по двум законам Кирхгофа состоит из трёх уравнений, так как количество ветвей  $N_B = 3$ ; из них одно уравнение по первому закону Кирхгофа, так как один независимый узел  $N_H = 1$  и два по второму закону Кирхгофа, так как два независимых контура  $N_{HK} = 2$

- Произвольно выберем направления обхода контуров и обозначим на схеме условные положительные направления токов в ветвях.

- Составим систему независимых уравнений: 
$$\begin{cases} I_1 + I_2 + I_3 = 0 \\ I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2 \\ I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_2 - E_3 \end{cases}$$

**Задача 2:** Определить число токов в данной схеме. Выбрать рациональный метод расчёта.



Формулы расчёта для данной схемы  
методом свёртывания:

$$R_{4,5} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}; \quad R_{3-5} = R_3 + R_{4,5};$$

$$R_{2-5} = \frac{R_2 \cdot R_{3-5}}{R_2 + R_{3-5}}, \quad R = R_1 + R_{2-5}$$

Решение: число ветвей соответствует числу токов в электрической цепи, по структурному анализу схемы: количество ветвей пять,  $N_B = 5$ , поэтому пять токов:  $I_1, I_2, I_3; I_4, I_5$ .

Рационально решать данную схему методом свёртывания, так как в схеме один источник электрической энергии. Заменив последовательные и параллельные участки эквивалентными сопротивлениями, найдем внешнее сопротивление цепи.

**Контроль:** проверочная работа по индивидуальным карточкам.

Для данной схемы электрической цепи:

Прочитать данную схему:

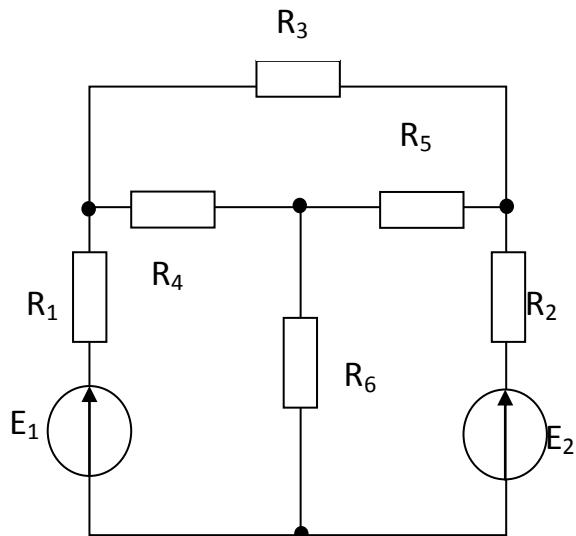
а) определить структурный анализ схемы: количество ветвей, всех узлов независимых узлов, независимых контуров.

б) по структуре схемы определить:

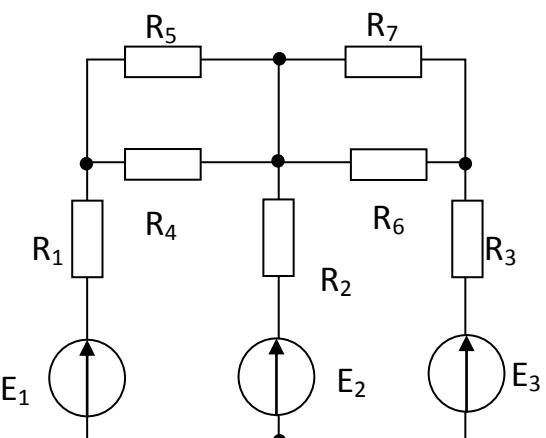
- количество токов в данной схеме,
- количество независимых уравнений по двум законам Кирхгофа,
- количество независимых уравнений по первому закону Кирхгофа,
- количество независимых уравнений по второму закону Кирхгофа

2. Записать независимые уравнения по законам Кирхгофа

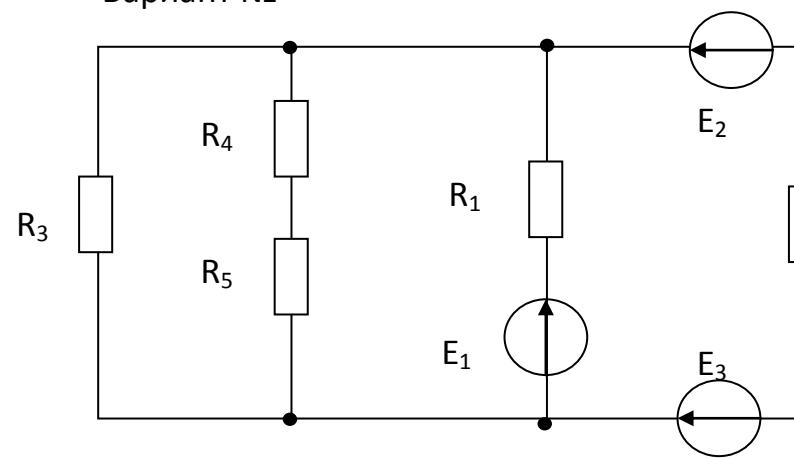
Вариант №



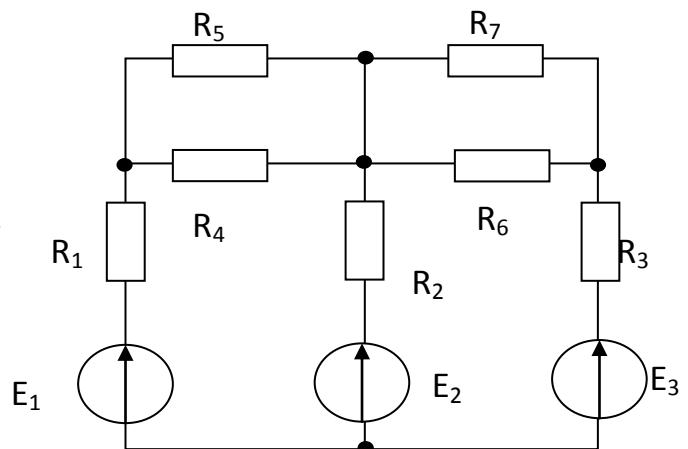
Вариант №



Вариант №



Вариант №



#### Практическое занятие № 4

#### РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ С НЕСКОЛЬКИМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭДС РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

**Цель работы:** приобрести навыки расчёта электрических цепей с несколькими источниками ЭДС различными методами.

**Задание.** Рассчитать электрическую цепь по заданной схеме различными методами: Метод контурных токов (МКТ), метод узловых напряжений (МУН), метод законов Кирхгофа. Задание состоит из следующих этапов работы:

1. Нарисовать схему электрической цепи
2. Кратко записать условие задачи
3. Прочитать данную схему
4. Выбрать рациональный метод расчёта (наименьшее количество независимых уравнений)

5. Рассчитать цепь методом узловых напряжений
6. Записать уравнения для расчета цепи методом контурных токов; выразить токи ветвей через контурные токи
7. Записать уравнения для расчета цепи методом законов Кирхгофа

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:**

1. Основные законы и принципы теоретической электротехники: Законы Кирхгофа
2. Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей:
  - метод контурных токов (МКТ) основан на втором законе Кирхгофа;
  - метод узловых напряжений (МУН) основан на первом законе Кирхгофа

**Уметь:**

1. Читать принципиальные, электрические и монтажные схемы:

а) определять структурный анализ схемы: количество ветвей, всех узлов, независимых узлов, независимых контуров.

б) по структуре схемы определить:

- количество токов в данной схеме,
- количество независимых уравнений составленных по двум законам Кирхгофа,
- количество независимых уравнений составленных по первому закону Кирхгофа,
- количество независимых уравнений составленных по второму закону Кирхгофа
- количество независимых уравнений составленных по МКТ
- количество независимых уравнений составленных по МУН

в) выбор рационального метода расчёта электрической цепи;

2. Использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности: применение законов Кирхгофа для расчёта цепей различными методами: контурных токов (МКТ), узловых напряжений (МУН)

## Практическое занятие № 5

### РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА МЕТОДОМ СВЁРТЫВАНИЯ.

#### АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОДНОГО ИЗ ПАРАМЕТРОВ

**Цель работы:** приобрести навыки расчёта электрических цепей методом свёртывания.

Анализировать работу цепи при внезапном изменении одного из параметров.

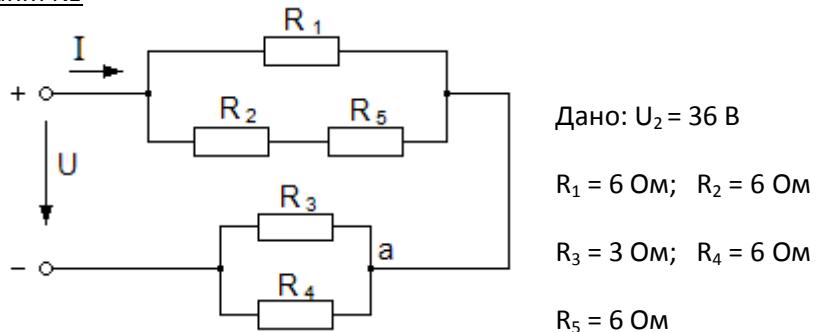
**Контроль:** проверочная работа по индивидуальным карточкам.

**Задание.** По данной схеме рассчитать электрическую цепь методом свёртывания. Провести анализ работы цепи, при изменении указанного сопротивления, не производя расчётов.

Задание состоит из следующих этапов работы:

- Прочитать данную схему: определить количество токов; выделить участки с последовательным и параллельным соединением резисторов;
- Нарисовать схему электрической цепи (соблюдая: порядок следования элементов и размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75), нанести направления токов и входного напряжения.
- Кратко записать условие задачи;
- Рассчитать цепь: найти, указанные в индивидуальном задании величины (сопротивление цепи, токи ветвей, напряжения, мощности, потенциалы точек)
- Провести анализ работы цепи (по индивидуальному заданию)

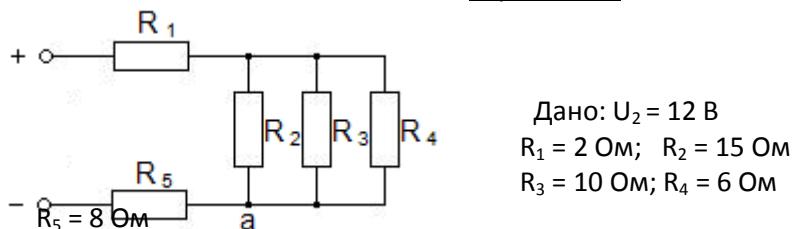
Вариант №



Find: currents in branches,  $P_4$ ;  $R$ ;  $U$ ;  $U_1$ ;  $U_3$ ;  $U_4$ ;  $U$

How do the specified values change if  $R_2 \uparrow$ .

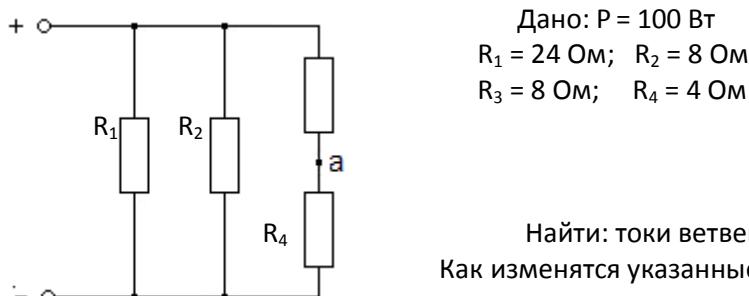
Вариант №



1) Find:  $\Phi_a$ ;  $P_4$ ;  $R$ ;  $U$ ;  $U_1$ ;  $U_5$ ;  $I$ ;  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ .

2) How do the specified values change if  $R_3 \uparrow$ .

Вариант №



Find: currents in branches:  $I_{\Phi_a}$ ;  $U$ ;  $U_3$ ;  $U_4$ ;  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ .

How do the specified values change if  $R_3 \uparrow$ .

Having completed the work, the student should:

**Know:**

Основные законы и принципы теоретической электротехники:

- Закон Ома для полной цепи и для участка цепи;
- Свойства последовательного и параллельного соединения резисторов;

3. Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей: метод свёртывания

**Уметь:**

- Читать принципиальные, электрические и монтажные схемы: определять количество токов в цепи, вид соединения резисторов; выбор рационального метода расчёта электрической цепи;
- Использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности: применение закона Ома и свойств последовательного и параллельного соединения резисторов:
  - при расчёте цепи по заданной схеме;
  - проводить анализ работы цепи при внезапном изменении одного из параметров,

не производя расчётов, на основе закона Ома, свойств последовательного или параллельного соединения резисторов.

### Практическое занятие № 6

#### РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ СВЁРТЫВАНИЯ.

#### АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ОДНОГО ИЗ ПАРАМЕТРОВ

**Цель работы:**

- приобрести навыки расчёта электрических цепей методом свёртывания;
- анализировать работу цепи при внезапном изменении одного из параметров.

Контроль: проверочная работа по индивидуальным карточкам.

**Задание.** По данной схеме рассчитать электрическую цепь методом свёртывания. Провести анализ работы цепи, при изменении указанного сопротивления, не производя расчётов.

Задание состоит из следующих этапов работы:

Прочитать данную схему: определить количество токов; выделить участки с последовательным и параллельным соединением резисторов;

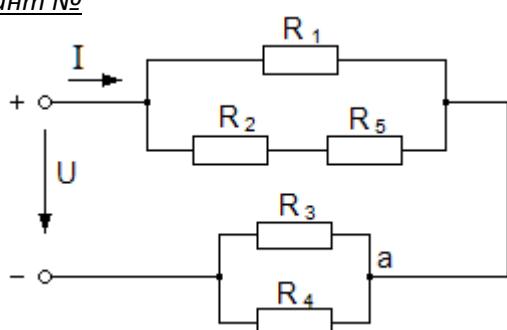
Нарисовать схему электрической цепи (соблюдая: порядок следования элементов и размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75), нанести направления токов и входного напряжения.

Кратко записать условие задачи;

Рассчитать цепь: найти, указанные в индивидуальном задании величины (сопротивление цепи, токи ветвей, напряжения, мощности, потенциалы точек)

Провести анализ работы цепи (по индивидуальному заданию)

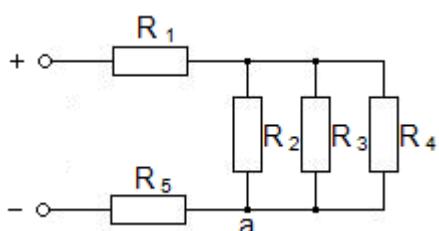
Вариант №



Дано:  $U_2 = 36 \text{ В}$   
 $R_1 = 6 \Omega$ ;  $R_2 = 6 \Omega$   
 $R_3 = 3 \Omega$ ;  $R_4 = 6 \Omega$   
 $R_5 = 6 \Omega$

Найти: токи ветвей,  $P_4$ ;  $R$ ;  $U$ ;  $U_1$ ;  $U_3$ ;  $U_4$ ;  $U$   
 Как изменятся указанные величины, если  $R_2 \uparrow$ .

Вариант №

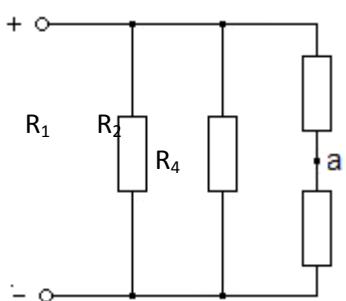


Дано:  $U_2 = 12 \text{ В}$   
 $R_1 = 2 \Omega$ ;  $R_2 = 15 \Omega$   
 $R_3 = 10 \Omega$ ;  $R_4 = 6 \Omega$   
 $R_5 = 8 \Omega$

1) Найти:  $\Phi_a$ ;  $P_4$ ;  $R$ ;  $U$ ;  $U_1$ ;  $U_5$ ;  $I$ ;  $I_1$ ;  $I_2$ ;  $I_3$ .

2) Как изменяются указанные величины, если  $R_3 \uparrow$ .

Вариант №



Дано:  $P = 100 \text{ Вт}$   
 $R_1 = 24 \Omega; R_2 = 8 \Omega$   
 $R_3 = 8 \Omega; R_4 = 4 \Omega$

- 1) Найти: токи ветвей:  $I_{\phi_a}; U; U_3; U_4; I_1; I_2; I_3;$ .  
2) Как изменяются указанные величины, если  $R_3 \uparrow$ .

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:**

1. Основные законы и принципы теоретической электротехники:

- Закон Ома для полной цепи и для участка цепи;

- Свойства последовательного и параллельного соединения резисторов;

2. Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей: метод свёртывания

**Уметь:** Использовать основные законы и принципы теоретической электротехники и электронной техники в профессиональной деятельности:

- применять закон Ома и свойства последовательного и параллельного соединения резисторов:

а) при расчёте цепи по заданной схеме;

б) проводить анализ работы цепи при внезапном изменении одного из параметров, не производя расчётов, на основе закона Ома, свойств последовательного или параллельного соединения резисторов.

- читать принципиальные, электрические и монтажные схемы: определять количество токов в цепи, вид соединения резисторов; выбор рационального метода расчёта электрической цепи;

## Практическое занятие № 7

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель:** Проверить степень освоения основных понятий переменного тока и применение знаний в практической деятельности.

**Текущий контроль:** Проводится после изучения темы: «Особенности цепей переменного тока», как итоговая работа.

**Задание № 1.** По заданным уравнениям тока и напряжения определить:

а) определить параметры тока и напряжения;

б) рассчитать сдвиг фаз между напряжением и током;

в) определить характер нагрузки (либо по векторной диаграмме, либо по сдвигу фаз между током и напряжением);

г) построить предполагаемую схему замещения электрической цепи;

д) рассчитать полученную электрическую цепь;

е) определить параметры цепи переменного тока по изображенной схеме.

Пункты «д,е» рассчитаны на студентов с хорошими и отличными знаниями по теории, способными мыслить нестандартно.

Работа выполняется по индивидуальным карточкам.

Вариант № 1.  $u = 84,6 \sin(251,2 t + 30^\circ) \text{ В}$   
 $i = 5,64 \sin(251,2 t - 60^\circ) \text{ А.}$

Вариант № 2  $u = 42,3 \sin(376,8 t - 45^\circ) \text{ В,}$   
 $i = 4,23 \sin(376,8 t - 45^\circ) \text{ А.}$

Вариант № 3  $u = 169,2 \sin(1256 t - 90^\circ) \text{ В,}$   
 $i = 28,2 \sin(1256 t - 45^\circ) \text{ А.}$

Вариант № 4     $u = 112,8 \sin(1884 t + 32^\circ)$  В,  
                     $i = 28,2 \sin(1884 t - 58^\circ)$  А.

Всего 34 варианта

**Практическое занятие № 8**  
**РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ С ДВУМЯ ПАРАМЕТРАМИ**  
**Определение параметров реальной катушки**

**Цель.** Приобретение навыков по расчёту цепей переменного тока с двумя параметрами и закрепление знаний полученных на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

**Задание.** По показаниям приборов определить параметры реальной катушки, построить векторную диаграмму и записать законы изменения тока и напряжений, если амперметр и вольтметр при включении катушки в цепь постоянного тока показали 0,5 А и 20 В, в цепи переменного тока 1 А и 50 В. Изобразить схему замещения с измерительными приборами.

Дано:  $U = 20$      $U \sim = 50$

$I_L = 0,5$  А,     $I \sim = 1$  А

Найти:

1. Параметры катушки:  $R$ ,  $L$
2. Рассчитать цепь;
3. Построить векторную диаграмму;
4. Записать мгновенные значения тока и напряжений.

Решение.

1. Рассчитать **активное сопротивление катушки** (по показаниям приборов в цепи постоянного тока):

$$R = U / I_L = 20 / 0,5 = 40 \text{ Ом}$$

2. Рассчитать полное сопротивление цепи  $Z$ :

$$Z = U \sim / I \sim = 50 / 1 = 50 \text{ Ом}, \quad \text{но } Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

3. Индуктивное сопротивление:

$$X_L^2 = Z^2 - R^2 = 50^2 - 40^2 = 900; \quad X_L = 30 \text{ Ом}, \quad \text{но } X_L = 2\pi f L = \omega L$$

4. Индуктивность катушки:

$$L = X_L / 2\pi f = 30 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 0,0955 \text{ Гн.}$$

**Параметры катушки найдены:**  $R = 40$  Ом,  $L = 0,0955$  Гн = 95,5 мГн

Для построения векторной диаграммы рассчитаем:

- действующие значения величин напряжений:

$$U_R = I \cdot R = 1 \cdot 40 = 40 \text{ В};$$

$$U_L = I \cdot X_L = 1 \cdot 30 = 30 \text{ В};$$

- коэффициент мощности  $\cos \phi$ :

$$\cos \phi = R / Z = 40 / 50 = 0,8$$

- сдвиг фаз между напряжением и током  $\phi$ :

$$\phi = +37^\circ, \quad \text{но } \phi = \Psi_u - \Psi_i$$

- начальная фаза напряжения равна  $0^\circ$ ;

- начальная фаза тока:

$$\Psi_i = \Psi_u - \phi = 0^\circ - 37^\circ = -37^\circ$$

- угловая скорость  $\omega$ :  $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$ , так как

промышленная частота:  $f = 50$  Гц

Для построения векторной диаграммы выбирают масштаб (для токов один, для всех напряжений - одинаковый).

**План построения векторной диаграммы:**

1. Построить вектор тока (с учетом его начальной фазы), так как в последовательной цепи по всем элементам течет один ток.

2. Векторы напряжений строить относительно тока строго в той последовательности, как параметры изображены на схеме замещения (**помни**: на участке с активным сопротивлением ток и напряжение совпадают по фазе, с индуктивностью - вектор напряжения опережает вектор тока на  $90^\circ$ ).

**Законы изменения тока и напряжений:**

$$i = I_m \sin(\omega t + \Psi_i) = 1,41 \sin(314t - 37^\circ) A.$$

$$u = U_m \sin \omega t = 70,5 \sin 314 t V.$$

$$u_R = U_m \sin(\omega t + \Psi_{uR}) = 56,4 \sin(314 t - 37^\circ) V,$$

$$u_L = U_m \sin(\omega t + \Psi_{uL}) = 42,3 \sin(314 t + 53^\circ) V$$

**Контрольные вопросы:**

1. Записать формулу мгновенного значения тока, (напряжения) и дать характеристику параметров, входящих в нее.
2. Перечислить параметры реальной катушки, объяснить физический смысл.
3. Объяснить методику построения векторных диаграмм.
4. Как рассчитать сдвиг фаз между током и напряжением в цепи?
5. Какие значения (мгновенные, действующие, амплитудные) показывают измерительные приборы электромагнитной и динамической системы в цепях переменного тока?

**Рекомендуемая литература:**

1. Березкина Т.Ф. и др. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Вышш.шк. 2001г. стр.84-87.
2. Евдокимов Ф.Е. «ТОЭ» учеб. для студ. образоват. учреждений средн. проф.образования М.Издательский центр «Академия», 2004. стр.278-286.

## Практическое занятие № 9

### РАСЧЕТ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ ЦЕПЕЙ

**Цель:** приобрести навыки расчёта неразветвлённых цепей переменного тока и закрепить знания студентов, полученные на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

**Контрольные вопросы:**

1. Назвать параметры цепей переменного тока; их физический смысл.
2. Объяснить особенности цепи RLC. Как определить характер нагрузки по реактивным сопротивлениям?
3. Объяснить методику построения векторных диаграмм.
4. Как рассчитать сдвиг фаз между током и напряжением в цепи?
5. Как определить характер нагрузки по сдвигу фаз φ между током и напряжением?

**Задание.** Катушка с активным сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 60 мГн соединена последовательно с конденсатором ёмкостью 72 мкФ и подключена к источнику переменного напряжения с частотой 50 Гц и амплитудным значением напряжения 110 В. Определить действующее значение тока, полное сопротивление цепи, полную, активную и реактивную мощности. Построить векторную диаграмму тока и напряжений.

**Выполнив работу, студент должен:**

**Знать:**

Электротехническую терминологию:

- Амплитудные, действующие и мгновенные значения величин их формулы;
- Параметры цепей переменного тока: индуктивность, ёмкость, активное сопротивление, их физический смысл.
- Реактивные сопротивления электрической цепи переменного тока, их обозначения и формулы расчёта.
- Полное сопротивление цепи;
- Сдвиг фаз, характеристика цепи по сдвигу фаз

*Основные законы и принципы теоретической электротехники: особенности цепей переменного тока*

*Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей: особенности цепей переменного тока, решение задач по векторным диаграммам.*

**Уметь:**

*Рассчитывать параметры электрических и магнитных цепей, строить векторные диаграммы*

### **Образец решения задачи:**

Задача. В неразветвленной цепи CRL, напряжение на входе изменяется по закону:  $u = 112,8 \sin(800t + 60^\circ)$  В; параметры цепи:  $C = 31,25 \text{ мкФ}$ ,  $L = 125 \text{ мГн}$ ,  $R = 80 \text{ Ом}$ . Изобразить схему замещения. Рассчитать цепь.

Построить векторную диаграмму.

Решение.

1. Найдем реактивные сопротивления:

$$X_L = \omega L = 800 \cdot 0,125 = 100 \text{ Ом}; \quad X_C = 1 / \omega C = 10^6 / 800 \cdot 31,25 = 40 \text{ Ом}.$$

2. Вычислим полное сопротивление цепи  $Z$ :

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 = 80^2 + (100 - 40)^2 = 10000, \quad Z = 100 \text{ Ом}.$$

3. Определим действующие значения величин:

$$U = U_m / \sqrt{2} = 112,8 / 1,41 = 80 \text{ В},$$

$$I = U / Z = 80 : 100 = 0,8 \text{ А},$$

$$U_C = I \cdot X_C = 0,8 \cdot 40 = 32 \text{ В},$$

$$U_R = I \cdot R = 0,8 \cdot 80 = 64 \text{ В},$$

$$U_L = I \cdot X_L = 0,8 \cdot 100 = 80 \text{ В}.$$

4. Составляющие напряжения всей цепи:

$$\text{активная } U_a = U_R = 64 \text{ В},$$

$$\text{реактивная } U_p = U_L - U_C = 100 - 80 = 20 \text{ В}.$$

5. Коэффициент мощности  $\cos\phi$ :

$$\cos\phi = R : Z = 80 : 100 = 0,8,$$

6. Сдвиг фаз между напряжением и током  $\phi$ :

$$\phi = +37^\circ, \text{ так как } X_L > X_C$$

$$\phi = \Psi_u - \Psi_i,$$

7. Начальные фазы:

$$\text{напряжения } \Psi_u = 60^\circ, (\text{ по условию})$$

$$\text{тока } \Psi_i = \Psi_u - \phi = 60 - 37 = 23^\circ$$

8. Мощности цепи:

$$\text{активная: } P = I \cdot U_R = 0,8 \cdot 64 = 51,2 \text{ Вт},$$

$$\text{реактивная: } Q = I \cdot U_p = 0,8 \cdot 20 = 16 \text{ ВАр},$$

$$\text{полная: } S = I \cdot U = 0,8 \cdot 80 = 64 \text{ ВА.}$$

Указания к построению векторной диаграммы.

1. Выбрать масштаб для тока и напряжений.

2. Построить начальную fazу тока ( $\Psi_i = +23^\circ$ )

3. На луче угла построить вектор тока.

4. Векторы напряжений строить относительно тока строго по схеме замещения

ПРИМЕЧАНИЕ: вектор тока опережает вектор напряжения на ёмкости  $C$  на угол  $90^\circ$ ,

на активном сопротивлении  $R$  ток и напряжение совпадают по фазе,

на индуктивности  $L$  – напряжение опережает ток на угол  $90^\circ$ .

5. Прочитать векторную диаграмму, сделать вывод о характере нагрузки по векторной диаграмме.

### **Задачи для самостоятельного решения:**

№ 5.126 Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Высш.шк.2001г

Рекомендуемая литература:

1.Березкина Т.Ф. и др. «Задачник по общей электротехнике с основами электроники» Учеб. пособие для студ. М. Высш.шк.2001г. стр.84-90.

2. Евдокимов Ф.Е. «ТОЭ» учеб. для студ. образоват. учреждений средн. проф.образования М.Издательский центр «Академия»,2004. стр.291- 302.

## Практическое занятие № 10

### РАСЧЁТ ТРЁХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ. ТОК В НУЛЕВОМ ПРОВОДЕ

#### Цель.

- Приобрести навыки расчёта трёхфазных цепей.
- Строить и читать векторные диаграммы и по ним создавать схемы трёхфазных цепей.

**Задание:** По заданной векторной диаграмме для трёхфазной цепи определить характер нагрузки в каждой фазе, изобразить предполагаемую схему и вычислить значение каждого сопротивления в фазах. По векторной диаграмме, построенной в масштабе, определить графически ток в нулевом проводе.

#### Задачи для самостоятельного решения

##### Задача 1 (5.3 Евдокимов)

Осветительная установка здания имеет 150 электрических ламп с номинальной мощностью 60 Вт каждая при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}} = 220$  В. Лампы включены в трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_L = 220$  В и образуют равномерную нагрузку. Определить фазные и линейные токи, мощность осветительной нагрузки в каждой фазе и всей цепи. Изобразить схему.

**Задача 2.** Осветительная установка здания имеет 150 электрических ламп с номинальной мощностью  $P = 60$  Вт каждая при номинальном напряжении  $U_{\text{ном}} = 127$  В. Лампы включены в трехфазную сеть с линейным напряжением  $U_L = 220$  В и образуют равномерную нагрузку. Определить способ включения ламп; необходимые токи в электрической цепи. Изобразить схему.

**Задача 3.** В трехфазную четырёхпроводную сеть с линейным напряжением 380 В включены шесть одинаковых электроламп ( $P_{\text{ном}} = 100$  Вт,  $U_{\text{ном}} = 220$  В, по две в фазе). Определить токи в проводах (линейных и нулевом). Изобразить схему электрической цепи. Построить векторную диаграмму

**Задача 4.** В трехфазной цепи с нулевым проводом в одной из фаз перегорела лампа. Как изменится работа цепи, если нагрузка была равномерная.

#### Выполнив работу, студент должен:

##### Знать:

Электротехническую терминологию:

- трёхфазные системы, соединения фаз генератора и потребителя по схеме: звезда и треугольник
- нулевой провод, его назначение; линейные провода
- линейные и фазные напряжения и токи, их обозначения и формулы расчёта.

2. Основные законы и принципы теоретической электротехники: особенности трёхфазных цепей; назначение нулевого провода

3. Методы расчета и измерения основных параметров электрических, магнитных цепей: расчёт цепей трёхфазного тока, решение задач по векторным диаграммам.

## Практическое занятие № 11

### РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ С НЕСИНУСОИДАЛЬНЫМИ ТОКАМИ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

**Цель занятия:** Приобрести навыки по расчёту цепей с периодическими несинусоидальными токами и напряжениями;

Назначение электрических фильтров и их применение.

В результате занятия студенты должны:

- знать: - физические процессы, происходящие в электрических цепях несинусоидального тока;

- виды фильтров; применение электрических фильтров

### Вопросы для повторения

Понятия о несинусоидальных периодических напряжениях и токах;

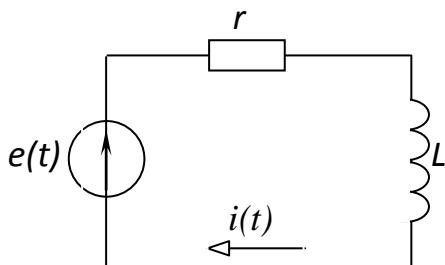
Методы получения несинусоидального тока и напряжения;

Формулы действующих значений несинусоидального тока и напряжения

### Задача 1

В цепи с последовательным соединением резистора и катушки индуктивности действует несинусоидальная периодическая ЭДС  $e(t) = 18 + 14,1 \sin 2\omega t$ , В. Записать уравнение мгновенного значения тока протекающего по цепи и определить его действующее значение. Параметры резистора  $R = 30$  Ом, а сопротивление катушки индуктивности  $X_L = \omega L = 20$  Ом.

#### Решение



1. Действие источника ЭДС аналогично действию двух последовательно соединенных источников ЭДС:  $e = e_0 + e_2$   
 $e_0 = E_0 = 18$  В - постоянная ЭДС,  
 $e_2(t) = E_{m2} \sin(\omega t + \psi_1) = 14,1 \sin 2\omega t$ , В  
 синусоидальная ЭДС

2. Определим ток в цепи при действии первого источника - источника постоянной ЭДС.

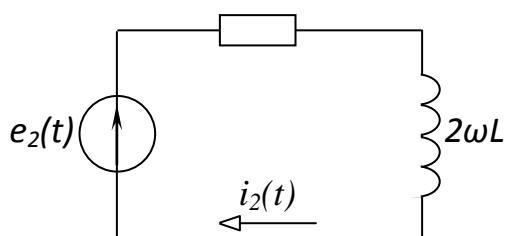
#### Примечание

- В цепи постоянного тока катушка индуктивности представляет собой проводник, поэтому индуктивное сопротивление  $X_L = 0$ , так как  $f=0$ , то  $\omega L = 0$ .
- Поэтому полное сопротивление цепи при действии постоянной ЭДС будет равно активному сопротивлению

$$I = \frac{E_0}{R} = 18 / 30 = 0,6 \text{ A}$$

3. Определим ток в цепи при действии второго источника - источника синусоидальной ЭДС  $e_2(t) = 14,1 \sin 2\omega t$ , В.

полное сопротивление цепи для второй гармоники:  $Z_{(2)} = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{30^2 + 40^2} = 50$  Ом, так как  $X_{L(2)} = 2\omega L = 2 \cdot 20 = 40$  Ом



Комплексное полное сопротивление цепи для второй гармоники

$$Z_{2\omega} = r + j2\omega L = 30 + j40 = 50e^{j53,13^\circ} \text{ Ом.}$$

#### Примечание

- Обратить внимание на определение реактивного сопротивления 2-ой гармоники;

- Индуктивное сопротивление увеличивается с увеличением номера гармоники, а емкостное сопротивление – уменьшается.

По закону Ома вычислим амплитудное значение тока второй гармоники:

$$I_{(2)} = \frac{E_{m2}}{Z_{(2)}} = \frac{14,1}{50} = 0,282 \text{ A}$$

Коэффициент мощности второй гармоники:  $\cos \varphi = R / Z_{(2)} = 30 / 50 = 0,6 \Rightarrow \varphi_{(2)} = 53^\circ$

начальная фаза тока:  $\Psi(i_2) = \Psi(e_2) - \varphi_{(2)} = 0 - 53^\circ = -53^\circ$

Комплекс амплитудного значения тока второй гармоники по закону Ома  
 $\dot{I}_{m2} = \frac{\dot{E}_{m2}}{Z_{2\omega}} = \frac{14,1}{50e^{j53,13^\circ}} = 0,282e^{-j53,13^\circ} \text{ A.}$  Мгновенное значение тока второй гармоники

$$i_2(t) = I_{m2} \sin(2\omega t + \psi_{i2}) = 0,282 \sin(2\omega t - 53,13^\circ), \text{ A.}$$

4. Применяя принцип наложения, можно определить закон изменения тока в цепи:

$$i(t) = i_0 + i_2(t) = 0,6 + 0,282 \sin(2\omega t - 53,13^\circ)$$

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_2^2} = \sqrt{I_0^2 + \left(\frac{I_{m2}}{\sqrt{2}}\right)^2} = \sqrt{0,6^2 + 0,2^2} = 0,632 \text{ A}$$

Для выделения или подавления гармоник высших порядков используют *электрические фильтры*

### Электрические фильтры

Электрическая цепь, обладающая *избирательными свойствами*, называется **электрическим фильтром**, это устройства, при помощи которых гармонические составляющие токов и напряжений определенной частоты или в пределах определенной полосы частот значительно уменьшаются.

**Принцип работы** электрических фильтров основан на зависимости индуктивных и емкостных сопротивлений от частоты

Электрические фильтры позволяют уменьшать гармонические составляющие периодических несинусоидальных токов и напряжений.

### Классификация фильтров:

1. **Сглаживающие фильтры** - служат для уменьшения содержания высших гармоник переменного напряжения
2. **Резонансные фильтры**: в них используется явление резонанса токов и напряжений для выделения или исключения в напряжении на приемнике определенной полосы частот. Различают полосовые и заградительные фильтры:
  - в **полосовом** фильтре используется явление **резонанса напряжений**, имеет полосу пропускания в заданном диапазоне  $\omega_1 \dots \omega_2$ ;
  - в **заградительном** фильтре используется явление **резонанса токов**, «не пропускает» колебания, в указанном диапазоне
3. **Избирательные RC-фильтры**. Эти фильтры содержат только резисторы и конденсаторы.
  - а) например, **Мост Вина** - полосовой **RC-фильтр** (четырёхполюсник);
  - б) **заградительный RC-фильтр** представляет собой **T-образный мост**

Возможны и другие схемотехнические решения избирательных RC- фильтров.

#### 4. Цифровые фильтры (эквалайзеры)

Подбором параметров реактивных элементов в цепи несинусоидального тока, можно добиваться выделения или подавления какой - либо гармоники. Например, цепь настроена на резонанс по первой гармонике, тогда для других гармоник условие резонанса не выполняется и ток более высоких гармоник будет меньше, чем у первой, то есть цепь обладает *избирательными свойствами*. **Избирательные свойства** – это свойства «беспрепятственно» пропускать одни гармоники и «задерживать» (уменьшать по амплитуде) другие.

Фильтр низких частот (ФНЧ) беспрепятственно пропускает гармоники с частотой от 0 до заданной частоты  $\omega$ .

Фильтр высоких частот (ФВЧ) беспрепятственно пропускает гармоники с частотой от  $\omega$  до  $\infty$ .

**Избирательный (полосовой) фильтр** имеет полосу пропускания в заданном диапазоне  $\omega_1 \dots \omega_2$ .

**Заграждающий фильтр**, «не пропускает» колебания, в указанном диапазоне

В цепях несинусоидального тока для различных составляющих этого тока индуктивные сопротивления  $k\omega L$

катушек и емкостные сопротивления  $\frac{1}{k\omega C}$  конденсаторов не одинаковы и зависят от номера гармоники.

Поэтому можно изменять форму кривых напряжений и токов соответствующим подбором параметров элементов цепи. На зависимости индуктивных и емкостных сопротивлений от частоты основан принцип работы **электрических фильтров** – устройств, при помощи которых гармонические составляющие токов и напряжений определенной частоты или в пределах определенной полосы частот значительно уменьшаются.

Например: в кривой напряжения генератора, питающего приемник, имеется гармоника порядка  $k$ , а в кривой тока приемника слагающая этого порядка должна быть сведена к минимуму. Для того чтобы подавить эту слагающую, т.е. уменьшить ток этой гармоники, между источником и приемником необходимо включить резонансный фильтр.

Подбором параметров реактивных элементов в цепи несинусоидального тока, можно добиваться подавления или выделения какой - либо гармоники. Например, цепь настроена на резонанс по первой гармонике, тогда для других гармоник условие резонанса не выполняется и ток более высоких гармоник будет меньше, чем у первой, то есть цепь обладает *избирательными свойствами*. **Избирательные свойства** – это свойства «беспрепятственно» пропускать одни гармоники и «задерживать» (уменьшать по амплитуде) другие.

Фильтр низких частот (ФНЧ) беспрепятственно пропускает гармоники с частотой от 0 до заданной частоты  $\omega$ .

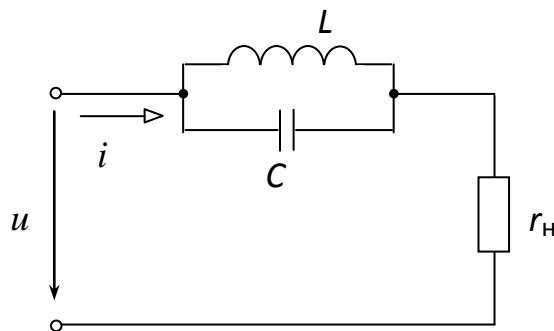
Фильтр высоких частот (ФВЧ) беспрепятственно пропускает гармоники с частотой от  $\omega$  до  $\infty$ .

**Избирательный (полосовой) фильтр** имеет полосу пропускания в заданном диапазоне  $\omega_1 \dots \omega_2$ .

**Заграждающий фильтр**, «не пропускает» колебания, в указанном диапазоне

Опираясь на знания студентов целесообразно предложить им самим сделать вывод о том, каким резонансом (напряжений или токов) можно уменьшить ток гармоники, а каким его увеличить.

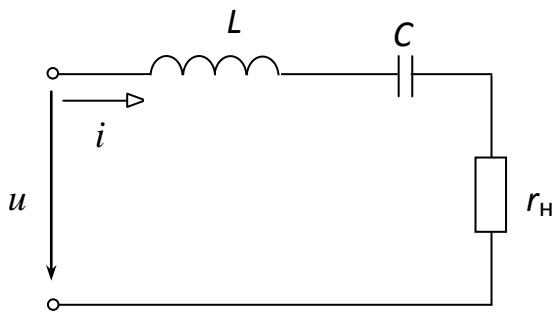
Для подавления (уменьшения) гармоники используют фильтр с параллельным соединение катушки индуктивности и конденсатора



В этой цепи может возникнуть резонанс токов. Условие резонанса тока  $k$ -той гармоники – равенство реактивных проводимостей параллельных ветвей  $b_{C_{(k\omega)}} = b_{L(k\omega)}$  или  $k\omega C = \frac{1}{k\omega L}$ .

Для  $k$ -той гармоники полная проводимость фильтра  $Y_{k\omega}$  будет равна нулю, а полное сопротивление  $Z_{k\omega} = \infty$ . Следовательно, ток этой гармоники будут стремиться к нулю. Для всех остальных гармоник полное сопротивление фильтра будет малым, и они пройдут через него. Такой фильтр называют *заграждающим*.

Если необходимо в некоторой степени увеличить  $k$ -тую гармонику в кривой тока приемника, т.е. выделить, то для этого применяют фильтр с последовательным соединением катушки индуктивности и конденсатора. В такой цепи может возникнуть резонанс напряжений.



Условие резонанса  $k$ -той гармоники равенство реактивных сопротивлений  $x_{L(k\omega)} = x_{C_{(k\omega)}}$

или  $k\omega L = \frac{1}{k\omega C}$ . Для  $k$ -той гармоники полное сопротивление  $Z_{k\omega} = 0$ , а ток этой гармоники  $I_{k\omega}$

возрастет. Для всех остальных гармоник полное сопротивление фильтра будет очень велико, и они не пройдут через него. Такой фильтр называют *полосовым*.

Для лучшей фильтрации можно использовать несколько фильтров в различных комбинациях.

- Простейший сглаживающий фильтр представляет собой пассивный линейный четырёхполюсник. Изображён на рисунке 1. (Рис.1)

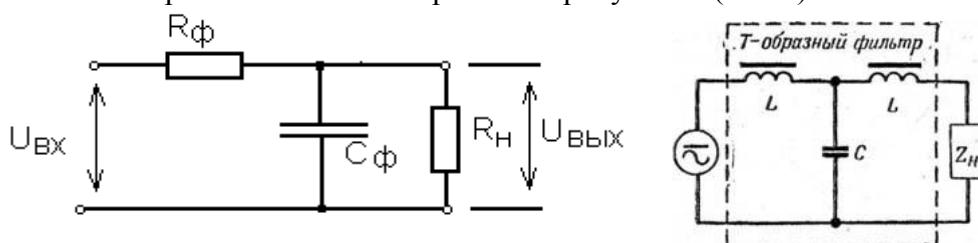
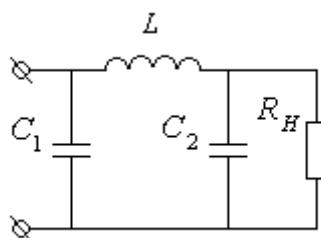


Рис.1



**Цифровые фильтры** (эквалайзеры) получили широкое распространение благодаря интенсивному развитию ЭВМ.

- Возможности таких эквалайзеров практически неограничены; (зависит от сложности программы). При обработке цифровым эквалайзером есть возможность установить добротность до 10000,
- коэффициент усиления на определенной частоте может достигать 50 дБ, а ослабления до отрицательной бесконечности (полного подавления частоты), чего никогда не удастся получить на аналоговых фильтрах!
- ***Цифровые эквалайзеры не дают фазовых сдвигов частот***, хотя если надо это с имитировать, то подобное не проблема.
- Цифровые эквалайзеры никогда не добавят шум в сигнал, т. к. обрабатывается оцифрованный сигнал, и качество этой обработки зависит от сложности алгоритма, частоты дискретизации и битности.

## Практическое занятие № 12

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2 РАСЧЁТ ЦЕПЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

**Цель:** проверить уровень практических навыков расчёта цепей переменного тока и знания студентов, полученные на теоретических занятиях и в процессе самостоятельной подготовки по данной теме.

**Задание:** По данной схеме рассчитать электрическую цепь, построить векторную диаграмму тока и напряжений, проанализировать работу электрической цепи при изменении частоты источника, если характер нагрузки не изменился.

Работа состоит из следующих этапов:

**1. Краткая запись условия задачи:**

- единицы измерения электрических величин и параметров в системе СИ;

**2. Изображение схемы** данной электрической цепи: с соблюдением:

- порядка следования элементов;

- размеры элементов согласно ГОСТ 2.702 -75

**3. Расчёт цепи:**

а) полное сопротивление цепи;

б) общий ток;

в) напряжения на отдельных элементах

г) активную и реактивную составляющие напряжения всей цепи;

д) коэффициент мощности;

е) сдвиг фаз между напряжением и током всей цепи; ж) мощности цепи: активную, реактивную, полную.

**4. Построение векторной диаграммы:**

а) начальная фаза тока;

б) построение вектора тока и напряжений, с соблюдением масштаба;

в) чтение векторной диаграммы и вывод о характере нагрузки;

**5. Анализ работы цепи:** как изменились указанные величины:  $X_L$ ,  $X_C$ ,  $Z$ ,  $I$ ,  $U$ ,  $U_a$ ,  $U_p$ ,  $\cos \varphi$ ,  $\varphi$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ , при изменении частоты источника, если характер нагрузки в целом не изменился: построив необходимые графики для доказательства.

**Примечание:** для проведения анализа изобразить графики реактивных сопротивлений  $X_L$ ,  $X_C$  в зависимости от частоты.

↓ - величина уменьшилась;

→ - величина не изменилась;

↑ - величина увеличилась