

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

Рассмотрено  
цикловой комиссией  
Протокол заседания № 1  
от « 31 » августа 2020 г.  
Председатель цикловой комиссии  
\_\_\_\_\_ / Чобану Л.А./

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

по выполнению практических работ  
учебной дисциплины

### **ОП.02 Электротехника**

по специальности

**10.02.04 Обеспечение информационной безопасности  
телекоммуникационных систем**

квалификация  
**техник**

Разработчик:  
преподаватель  
ОГАПОУ «Белгородский  
индустриальный колледж»  
Феоктистова В.Н.

Белгород 2020 г.

## Содержание

|  | Стр. |
|--|------|
| 1. Пояснительная записка   | 3    |
| 1.1. Краткая характеристика дисциплины, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины                                  | 3    |
| 1.2. Организация и порядок проведения практических работ   | 3    |
| 1.3. Общие указания по выполнению практических работ   | 3    |
| 1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ   | 3    |
| 2. Тематическое планирование практических работ  | 5    |
| 3. Содержание практических работ   | 6    |
| Практическая работа №1 Единицы электрических величин   | 6    |
| Практическая работа № 2 Расчет эквивалентной емкости при смешанном соединении конденсаторов  | 10   |
| Практическая работа № 3 Расчет электрических цепей постоянного тока со смешанным соединением резисторов                                | 14   |
| Практическая работа № 4 Расчет электрических цепей методом узловых и контурных уравнений   | 17   |
| Практическая работа №5 Расчет цепей переменного тока с активным и индуктивным сопротивлениями  | 20   |
| Практическая работа №6 Расчет цепей переменного тока с активным и емкостным сопротивлениями  | 23   |
| Практическая работа №7 Расчет цепей переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений | 26   |
| Практическая работа №8 Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии «звездой»                                      | 32   |
| Практическая работа №9 Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии «треугольником»                                | 35   |
| 4. Информационное обеспечение обучения   | 39   |

## 1. Пояснительная записка

**1.1. Краткая характеристика дисциплины ОП.02 Электротехника, ее цели и задачи. Место практических работ в курсе дисциплины ОП.02 Электротехника**  
Дисциплина ОП.02 «Электротехника» является частью рабочей основной образовательной программы в соответствии с ФГОС по специальности СПО 10.02.04 Обеспечение информационной безопасности телекоммуникационных систем.

Дисциплина изучается в I-II семестрах. В целом рабочей программой предусмотрено 18 часов на выполнение практических работ, что составляет 15 % от обязательной аудиторной нагрузки, которая составляет 118 часов, при этом максимальная нагрузка составляет 144 часа, из них 14 часов приходится на самостоятельную работу обучающихся.

Цель настоящих методических рекомендаций: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по дисциплине ОП.02 «Электротехника», качественное выполнение которых поможет обучающимся освоить обязательный минимум содержания дисциплины и подготовиться к промежуточной аттестации в форме экзамена.

### 1.2. Организация и порядок проведения практических работ

Практические работы проводятся после изучения теоретического материала. Введение практических работ в учебный процесс служит связующим звеном между теорией и практикой. Они необходимы для закрепления теоретических знаний, а также для получения практических навыков и умений. При проведении практических работ задания, выполняются студентом самостоятельно, с применением знаний и умений, усвоенных на предыдущих занятиях, а также с использованием необходимых пояснений, полученных от преподавателя. Обучающиеся должны иметь методические рекомендации по выполнению практических работ, конспекты лекций, измерительные и чертежные инструменты, средство для вычислений.

### 1.3. Общие указания по выполнению практических работ

Курс практических работ по дисциплине ОП.02 «Электротехника» предусматривает проведение 9 работ, посвященных изучению:

- электрических измерений;
- электрических цепей постоянного тока;
- однофазных электрических цепей переменного тока;
- трехфазных электрических цепей и трансформаторов.

При подготовке к проведению практической работы необходимо:

- ознакомиться с целями проведения практической работы;
- ознакомиться с порядком выполнения работы.

После выполнения практической работы обучающийся к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название практической работы, ее цель;
- краткие, теоретические сведения об изучаемой теме;
- все необходимые, предусмотренные практической работой, расчеты;
- выводы по итогам работы;
- ответы на контрольные вопросы.

### 1.4. Критерии оценки результатов выполнения практических работ

Критериями оценки результатов работы обучающихся являются:

- уровень усвоения обучающимся учебного материала;
- умение обучающегося использовать теоретические знания при выполнении практических задач;
- сформированность общих и профессиональных компетенций:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;

ОК 09. Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности;

– обоснованность и четкость изложения материала;

– уровень оформления работы.

– анализ результатов.

#### Критерии оценивания практической работы

| Оценка | Критерии оценивания   |
|--------|---|
| 5      | Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, формулирует собственные, самостоятельные, обоснованные, представляет полные и развернутые ответы на дополнительные вопросы. |
| 4      | Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом, допуская незначительные ошибки на дополнительные вопросы.   |
| 3      | Работа выполнена в полном объеме, содержит результаты и выводы, все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики выполнены аккуратно. Обучающийся владеет теоретическим материалом на минимально допустимом уровне, допуская ошибки на дополнительные вопросы.  |
| 2      | Работа выполнена не полностью. Студент практически не владеет теоретическим материалом, допускает ошибки при ответе на дополнительные вопросы.  |

## 2. Тематическое планирование практических работ

|                 | Наименование тем                                      | Вид и название работы студента   | Количество часов на выполнение работы |
|-----------------|---|--|---------------------------------------|
| <b>Раздел 1</b> | <b>Основы электростатики. Электрические измерения</b> |  | <b>4</b>                              |
| 1.2             | Электрические измерения                               | <b>Практическая работа №1</b><br>«Единицы электрических величин»   | 2                                     |
|                 |   | <b>Практическая работа №2</b><br>«Расчет эквивалентной емкости при смешанном соединении конденсаторов»   | 2                                     |
| <b>Раздел 2</b> | <b>Электрические цепи постоянного тока</b>            |  | <b>4</b>                              |
| 2.1.            | Электрическая цепь                                    | <b>Практическая работа №3</b><br>«Расчет электрических цепей постоянного тока со смешанным соединением резисторов»                                 | 2                                     |
| 2.2             | Расчет электрических цепей постоянного тока           | <b>Практическая работа №4</b><br>«Расчет электрических цепей методом узловых и контурных уравнений»  | 2                                     |
| <b>Раздел 4</b> | <b>Электрические цепи переменного тока</b>            |  | <b>10</b>                             |
| 4.1.            | Однофазные электрические цепи переменного тока        | <b>Практическая работа №5</b><br>«Расчет цепей переменного тока с активным и индуктивным сопротивлениями»  | 2                                     |
|                 |   | <b>Практическая работа №6</b><br>«Расчет цепей переменного тока с активным и емкостным сопротивлениями»  | 2                                     |
|                 |   | <b>Практическая работа №7</b><br>«Расчет цепей переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений» | 2                                     |
| 4.4             | Трехфазные электрические цепи                         | <b>Практическая работа №8</b><br>«Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии «звездой»»                                      | 2                                     |
|                 |   | <b>Практическая работа №9</b><br>«Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии «треугольником»»                                | 2                                     |
|                 |   | <b>Итого:</b>  | <b>18</b>                             |

### 3. Содержание практических работ

#### Практическая работа №1.

**Тема:** «Единицы электрических величин».

**Цель работы:** Получить практические навыки пользователя дольными и кратными единицами измерения. Изучить условные обозначения на шкале прибора, научиться определять основные характеристики прибора по шкале.

#### Теоретические сведения

1. Совокупность основных, производных и дополнительных к ним единиц называют системой единиц. В России принята Международная система единиц СИ (SI – System International). В этой системе 7 основных единиц, размеры которых установлены произвольно.

Таблица 1. Основные и производные единицы.

| Основные единицы      |             |                   | Производные единицы                                   |                            |                 |
|-----------------------|-------------|-------------------|---|----------------------------|-----------------|
| Наименование величины | Обозначение | Единица измерения | Частота   | F (f)                      | герц            |
| Длина                 | L           | метр              | Мощность  | P                          | ватт            |
| Масса                 | M           | килограмм         | Количество электричества, эл. заряд                   | Q                          | кулон           |
| Время                 | T           | секунда           | ЭДС, разность потенциалов, напряжение                 | E (U)                      | вольт           |
| Сила тока             | I           | ампер             | Электрическое сопротивление                           | R (r)                      | ом              |
| Температура           | $\theta$    | кельвин           | Электрическая емкость                                 | C                          | фарада          |
| Сила света            | J           | кандела           | Индуктивность   | L                          | генри           |
| Количество вещества   | N           | моль              | Электрическая проводимость                            |                            | сименс          |
|                       |             |                   | Длина волны   | $\lambda$                  | метр            |
|                       |             |                   | Сдвиг фаз ( $1^\circ = \frac{\pi}{180 \text{ рад}}$ ) | $\varphi (\Delta \varphi)$ | радиан (градус) |

При практическом измерении некоторых величин использование единицы оказывается неудобным из-за того, что ее размер оказывается слишком мал или велик по сравнению с размером измеряемой величины. В этих случаях пользуются кратными или дольными единицами. Наименования кратных и дольных единиц образуются с использованием приставок к наименованиям единиц. Наименования приставок и соотношения с единицей для кратных и дольных единиц приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кратные дольные единицы.

| Наименования приставок | Отношение к единице | Обозначения |           |
|------------------------|---------------------|-------------|-----------|
|                        |                     | Русское     | Латинское |
| Атто                   | $10^{-18}$          | а           | a         |
| Фемто                  | $10^{-15}$          | ф           | f         |
| Пико                   | $10^{-12}$          | п           | p         |
| Нано                   | $10^{-9}$           | н           | n         |
| Микро                  | $10^{-6}$           | мк          | mc        |
| Милли                  | $10^{-3}$           | м           | m         |
| Санتي                  | $10^{-2}$           | с           | c         |
| Деци                   | $10^{-1}$           | д           | d         |
| Дека                   | 10                  | дк          | da        |
| Гекта                  | $10^2$              | г           | h         |
| Кило                   | $10^3$              | к           | k         |
| Мега                   | $10^6$              | М           | m         |
| Гига                   | $10^9$              | Г           | G         |
| Тера                   | $10^{10}$           | Т           | T         |

2. Условные обозначения систем электромеханических приборов

|                              |                        |                       |   |
|------------------------------|------------------------|-----------------------|---|
| Условное обозначение системы | Буквенный шифр системы | Наименование системы  | Область применения  |
|                              | М                      | Магнито-электрическая | Амперметры, вольтметры  |
|                              | В                      | Выпрямительная        | Амперметры, вольтметры, частотомеры, в качестве индикатора в низко- и высокочастотных генераторах |
|                              | Т                      | Термоэлектрическая    | Амперметры, вольтметры  |

|  |   |                      |  |
|--|---|----------------------|--|
|  | Э | Электромагнитная     | Амперметры, вольтметры, частотомеры            |
|  | Д | Электродина-мическая | Амперметры, вольтметры, частотомеры, фазометры |
|  | Д | Ферродинамическая    |  |
|  | С | Электростатическая   | Вольтметры                                     |
|  | — | Вибрационная         | Частотомеры                                    |

### 3. Условные обозначения, наносимые на шкалы приборов

| Условное обозначение  | Расшифровка обозначения   |
|-----------------------|---|
|                       | Переменный однофазный ток   |
|                       | Постоянный ток  |
|                       | Постоянный и переменный токи  |
|                       | Переменный трехфазный ток   |
|                       | Вертикальное рабочее положение прибора  |
|                       | Горизонтальное рабочее положение прибора  |
|                       | Рабочее положение прибора с наклоном 60° к горизонтальной плоскости                     |
| 0,5 — 1,0 — 1,5 — 2,5 | Класс точности (приведенная погрешность) прибора (например, 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,5 %) |

|  |   |
|--|---|
|  | Измерительный механизм прибора изолирован, и сопротивление изоляции испытано, например напряжением 2 кВ   |
|  | Наличие защиты от влияния внешнего магнитного поля  |
|  | Наличие защиты от влияния внешнего электрического поля  |
| А  | Нормальные климатические условия эксплуатации: $t = (20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , влажность $(60 \pm 15) \%$ , давление $(750 \pm 30)$ мм рт.ст. |
| Б(Б <sub>1</sub> , Б <sub>2</sub> , Б <sub>3</sub> ) | Прибор предназначен для работы в неотапливаемых помещениях  |
| В(В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>3</sub> ) | Прибор предназначен для работы в полевых и морских условиях   |
| Т  | Прибор предназначен для работы в условиях тропического климата  |
|  | Внимание! Смотрите дополнительные указания в паспорте   |



*Цена деления* электроизмерительных приборов численно равна изменению измеряемой величины, вызывающему перемещение указателя (стрелки) на одно деление.

*Предел измерения* электроизмерительного прибора – значение измеряемой величины, при котором стрелка прибора отклоняется до конца шкалы. Электроизмерительные приборы могут иметь несколько пределов измерения (многопредельные приборы). При измерениях такими приборами на различных пределах цена деления будет различна.

*Чувствительность* – это величина обратная цене деления.

*Внутреннее сопротивление прибора* (амперметра, вольтметра). Для амперметра характерно малое внутреннее сопротивление –  $r_A$ , а для вольтметров – большое  $r_V$ .

10. Потребляемая мощность

$$P_V = \frac{U_{max}^2}{r_V} \text{ (для вольтметров)}$$

$$P_A = I_{max}^2 * r_A \text{ (для амперметров)}$$

#### Порядок выполнения работы

**Задание 1.** Выполнить переводы единиц физических величин:

Таблица 1

| № варианта | в кГц   | в нФ    | в мкВ | в мА  | в пФ   | в мГн    | в Ом     | в В     | в кОм  | в Гц     |
|------------|---------|---------|-------|-------|--------|----------|----------|---------|--------|----------|
| 1          | 1500 Гц | 150 пФ  | 5 мВ  | 8 мкА | 15 нФ  | 0,31 Гн  | 0,08 МОм | 50 мВ   | 833 Ом | 1400 кГц |
| 2          | 15 Гц   | 150 мкФ | 2 В   | 6 А   | 20 мкФ | 240 мкГн | 31 кОм   | 100 мкВ | 55 Ом  | 18 МГц   |
| 3          | 123     | 800     | 15    | 0,6 А | 0,3 нФ | 0,65 Гн  | 0,89     | 8300    | 25     | 91       |

|               |              |            |             |            |             |             |              |             |              |              |
|---------------|--------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|               | Гц           | пФ         | мВ          |            |             |             | кОм          | мВ          | Ом           | МГц          |
| 4             | 52534<br>Гц  | 1300<br>пФ | 16 В        | 80<br>мкА  | 0,2мкФ      | 46мкГн      | 0,28<br>кОм  | 0,2 кВ      | 25<br>МОм    | 3,6<br>ГГц   |
| 5             | 2538<br>Гц   | 500<br>мкФ | 0,5<br>мВ   | 16 А       | 31мкФ       | 3,6 Гн      | 6,3<br>кОм   | 28 кВ       | 2600<br>Ом   | 890<br>кГц   |
| 6             | 12 Гц        | 61<br>пФ   | 40<br>мВ    | 1,6 А      | 0,02мкФ     | 620<br>мкГн | 0,803<br>МОм | 2532<br>мкВ | 3<br>МОм     | 0,55<br>ГГц  |
| 7             | 800<br>Гц    | 640<br>пФ  | 0,16<br>В   | 0,16 А     | 0,7нФ       | 0,63 Гн     | 0,61<br>кОм  | 33 мВ       | 0,32<br>МОм  | 3,3<br>ГГц   |
| №<br>варианта | в<br>кГц     | в<br>нФ    | в<br>мкВ    | в мА       | в пФ        | в мГн       | в Ом         | в В         | в<br>кОм     | в Гц         |
| 8             | 50 Гц        | 320<br>мкФ | 12<br>мВ    | 14<br>мкА  | 80мкФ       | 8,9 Гн      | 1,5<br>кОм   | 0,031<br>кВ | 32333<br>Ом  | 601<br>МГц   |
| 9             | 100<br>Гц    | 800<br>мкФ | 320<br>мВ   | 240<br>мкА | 61 нФ       | 14 мкГн     | 120<br>кОм   | 8,1 мВ      | 8,9<br>МОм   | 0,312<br>ГГц |
| 10            | 8300<br>Гц   | 400<br>пФ  | 4 В         | 1400А      | 1,2нФ       | 38 мкГн     | 8,6<br>МОм   | 250<br>мкВ  | 0,125<br>МОм | 16,2<br>МГц" |
| 11            | 0,2<br>МГц   | 61<br>пФ   | 0,8<br>мВ   | 18<br>мкА  | 0,34<br>мкФ | 46мкГн      | 0,61<br>кОм  | 18 мВ       | 3<br>МОм     | 0,8<br>кГц   |
| 12            | 28<br>МГц    | 640<br>пФ  | 3,6<br>мВ   | 91 А       | 45 нФ       | 3,6 Гн      | 1,5<br>кОм   | 91 кВ       | 0,32<br>МОм  | 8 МГц        |
| 13            | 2532<br>Гц   | 320<br>мкФ | 0,523<br>мВ | 3,6 А      | 0,54 нФ     | 620<br>мкГн | 120<br>кОм   | 3,6<br>мВ   | 32333<br>Ом  | 6 ГГц        |
| 14            | 33 Гц        | 800<br>мкФ | 0,08<br>В   | 890<br>мкА | 607<br>мкФ  | 0,31Гн      | 8,6<br>МОм   | 890<br>мкВ  | 8,9<br>МОм   | 0,6<br>ГГц   |
| 15            | 0,031<br>МГц | 400<br>пФ  | 52<br>мВ    | 0,55 А     | 0,71<br>мкФ | 240мкГн     | 0,08<br>МОм  | 0,55<br>кВ  | 0,125<br>МОм | 80 кГц       |
| 16            | 8,1<br>МГц   | 150<br>пФ  | 6,8<br>мВ   | 3,3<br>мкА | 9,8 нФ      | 0,65Гн      | 31<br>кОм    | 3,3<br>мВ   | 833<br>Ом    | 16<br>ГГц    |
| 17            | 250<br>Гц    | 150<br>мкФ | 0,01<br>В   | 601<br>мкА | 1,8 мкФ     | 0,63 Гн     | 0,89<br>кОм  | 601<br>мкВ  | 55<br>Ом     | 1,6<br>кГц   |
| 18            | 0,43<br>МГц  | 800<br>пФ  | 0,004<br>В  | 0,312<br>А | 0,75 нФ     | 8,9 Гн      | 0,28<br>кОм  | 0,312<br>кВ | 25<br>Ом     | 0,16<br>кГц  |
| 19            | 50 Гц        | 1300<br>пФ | 0,033<br>мВ | 16,2 А     | 0,08<br>мкФ | 14 мкГн     | 6,3<br>кОм   | 16,2<br>мВ" | 25<br>МОм    | 14 кГц       |
| 20            | 0,281<br>МГц | 500<br>мкФ | 0,07<br>мВ  | 0,8 А      | 0,1 нФ      | 38 мкГн     | 0,803<br>МОм | 0,8 кВ      | 2600<br>Ом   | 240<br>мкА   |
| 21            | 50 Гц        | 150<br>пФ  | 15<br>мВ    | 18<br>мкА  | 15нФ        | 620<br>мкГн | 0,61<br>кОм  | 1500<br>мкВ | 833<br>Ом    | 8 кГц        |
| 22            | 100<br>Гц    | 150<br>мкФ | 16 В        | 91 А       | 20мкФ       | 0,63 Гн     | 1,5<br>кОм   | 15 кВ       | 55<br>Ом     | 6<br>МГц     |
| 23            | 8300<br>Гц   | 800<br>пФ  | 0,5<br>мВ   | 3,6 А      | 0,3нФ       | 8,9 Гн      | 120<br>кОм   | 123<br>мВ   | 25<br>Ом     | 0,6<br>ГГц   |
| 24            | 0,2<br>МГц   | 1300<br>пФ | 40<br>мВ    | 890<br>мкА | 0,2мкФ      | 14 мкГн     | 8,6<br>МОм   | 52534<br>мВ | 25<br>МОм    | 80<br>МГц    |
| 25            | 28<br>МГц    | 500<br>мкФ | 0,16<br>В   | 0,55 А     | 31мкФ       | 38 мкГн     | 31<br>кОм    | 2538<br>мкВ | 2600<br>Ом   | 16 кГц       |
| 26            | 2532<br>Гц   | 61<br>пФ   | 12<br>мВ    | 3,3<br>мкА | 0,02мкФ     | 0,31Гн      | 0,89<br>кОм  | 12 кВ       | 3<br>МОм     | 1,6<br>ГГц   |
| 27            | 33 Гц        | 640<br>пФ  | 320<br>мВ   | 601<br>мкА | 0,7нФ       | 240мкГн     | 0,28<br>кОм  | 800 кВ      | 0,32<br>МОм  | 0,16<br>ГГц  |
| 28            | 0,031        | 320        | 4 В         | 0,312      | 80мкФ       | 0,65Гн      | 6,3          | 50 кВ       | 32333        | 14           |

|    |            |            |           |             |       |        |              |             |              |             |
|----|------------|------------|-----------|-------------|-------|--------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|    | МГц        | мкФ        |           | А           |       |        | кОм          |             | Ом           | МГц         |
| 29 | 8,1<br>МГц | 800<br>мкФ | 0,8<br>мВ | 16,2 А<br>" | 61 нФ | 46мкГн | 0,803<br>МОм | 100<br>мВ   | 8,9<br>МОм   | 240<br>кГц  |
| 30 | 250<br>Гц  | 400<br>пФ  | 3,6<br>мВ | 0,8 А       | 1,2нФ | 3,6 Гн | 0,08<br>МОм  | 8300<br>мкВ | 0,125<br>МОм | 5982<br>кГц |

Задание 2.

- зарисовать шкалу прибора;
- расшифровать символы, нанесенные на циферблате прибора;
- определить значение измеряемой величины, соответствующее положению стрелки прибора;
- определить основные параметры прибора (диапазон измерений, пределы, цена деления, чувствительность,  $R_{вн}$  для амперметра,  $R_{вх}$  для вольтметра,  $P_{потр\ собст}$  ).

|    |  |    |  |    |  |
|----|--|----|--|----|--|
| 1  |  | 2  |  | 3  |  |
| 4  |  | 5  |  | 6  |  |
| 7  |  | 8  |  | 9  |  |
| 10 |  | 11 |  | 12 |  |
| 13 |  | 14 |  | 15 |  |
| 16 |  | 17 |  | 18 |  |

|    |  |    |  |    |  |
|----|--|----|--|----|--|
| 19 |  | 20 |  | 21 |  |
| 22 |  | 23 |  | 24 |  |
| 25 |  | 26 |  | 27 |  |
| 28 |  | 29 |  | 30 |  |
| 31 |  | 32 |  | 33 |  |

3. Сделать выводы по работе
4. Оформить отчет.

## Практическая работа №2

### Тема: «Расчет смешанного соединения конденсаторов»

**Цель работы:** закрепить знания методов расчета электрической емкости и зарядов конденсаторов при их смешанном соединении.

#### *Теоретические сведения*

**Электрический конденсатор** – это система из двух проводников (обкладок, пластин), разделенных диэлектриком.

Конденсаторы обладают свойством накапливать на своих обкладках электрические заряды, равные по величине и противоположные по знаку.

Емкостью (электрической емкостью) проводников называется физическая величина, характеризующая способность проводника или системы проводников накапливать электрический заряд.

Электрическая емкость находится как отношение заряда  $q$  одного из проводников к разности потенциалов  $U$  между ними:  $C = \frac{q}{U}$ .

В системе СИ единица электроемкости называется **фарад** [Ф]:  $[C] = \frac{\text{кулон}}{\text{вольт}} = \text{фарад}$ .

Емкость конденсатора зависит от геометрических размеров, формы, взаимного расположения и расстояния между обкладками, а также от свойств диэлектрика.

Электроемкость плоского конденсатора *прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) и обратно пропорциональна расстоянию между ними.*

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

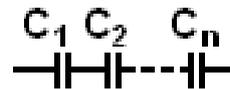
Если пространство между обкладками заполнено диэлектриком, электроемкость конденсатора увеличивается в  $\epsilon$  раз:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

Примерами конденсаторов с другой конфигурацией обкладок могут служить сферический и цилиндрический конденсаторы.

Для получения заданного значения емкости конденсаторы соединяются между собой, образуя батареи конденсаторов.

#### Последовательное соединение



При таком на обкладках всех конденсаторов будут одинаковые по величине заряды:

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$$

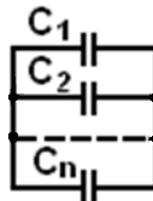
Напряжения на конденсаторах будут различны, так как они зависят от их емкостей:

$$U_1 = \frac{q_1}{C_1}; U_2 = \frac{q_2}{C_2} \dots U_n = \frac{q_n}{C_n}$$

Общее напряжение:  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Общая, или эквивалентная, емкость:  $C = \frac{q}{U}$  или  $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

#### Параллельное соединение



При параллельном соединении напряжение на всех конденсаторах одинаковое.

Заряды на обкладках отдельных конденсаторов при различной их емкости:

$$q_1 = C_1 \cdot U, q_2 = C_2 \cdot U \dots q_n = C_n \cdot U$$

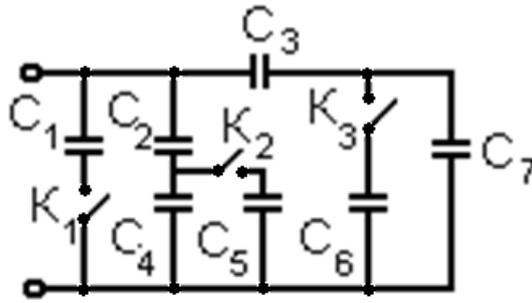
**Заряд, полученный всеми параллельно соединенными конденсаторами:**

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

Общая (эквивалентная) емкость:  $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

**Задание 1.** Определить эквивалентную емкость батареи конденсаторов, соединенных по схеме, при соответствующих положениях ключей (0 – ключ разомкнут, 1 – ключ замкнут).

#### Варианты для задания №1



| Вариант | Положение ключей |                |                | C <sub>1</sub> , мкФ | C <sub>2</sub> , мкФ | C <sub>3</sub> , мкФ | C <sub>4</sub> , мкФ | C <sub>5</sub> , мкФ | C <sub>6</sub> , мкФ | C <sub>7</sub> , мкФ |
|---------|------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|         | K <sub>1</sub>   | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| 1       | 0                | 0              | 0              | 2                    | 1                    | 3                    | 1                    | 3                    | 1                    | 1                    |
| 2       | 1                | 0              | 0              | 3                    | 1                    | 1                    | 2                    | 2                    | 1                    | 3                    |
| 3       | 0                | 1              | 0              | 1                    | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 3                    | 0,5                  |
| 4       | 0                | 0              | 1              | 2                    | 1                    | 1                    | 1                    | 3                    | 2                    | 1                    |
| 5       | 1                | 1              | 0              | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 2                    |
| 6       | 1                | 0              | 1              | 0,5                  | 3                    | 3                    | 2                    | 1                    | 3                    | 1                    |
| 7       | 0                | 1              | 1              | 2                    | 3                    | 3                    | 0,5                  | 1                    | 1                    | 2                    |
| 8       | 1                | 1              | 1              | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | 1                    | 3                    | 3                    |
| 9       | 1                | 0              | 0              | 1                    | 0,5                  | 1                    | 3                    | 3                    | 0,5                  | 2                    |
| 10      | 0                | 0              | 1              | 1                    | 3                    | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 2                    |
| 11      | 1                | 0              | 1              | 2                    | 1                    | 1                    | 1                    | 3                    | 2                    | 1                    |
| 12      | 0                | 1              | 1              | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 2                    |
| 13      | 1                | 1              | 0              | 0,5                  | 3                    | 3                    | 2                    | 1                    | 3                    | 1                    |
| 14      | 1                | 0              | 1              | 2                    | 3                    | 3                    | 0,5                  | 1                    | 1                    | 2                    |
| 15      | 0                | 1              | 1              | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | 1                    | 3                    | 3                    |
| 16      | 0                | 1              | 0              | 0,5                  | 3                    | 3                    | 2                    | 1                    | 3                    | 1                    |
| 17      | 0                | 0              | 1              | 2                    | 3                    | 3                    | 0,5                  | 1                    | 1                    | 2                    |
| 18      | 1                | 1              | 0              | 2                    | 1                    | 1                    | 2                    | 1                    | 3                    | 3                    |
| 19      | 1                | 0              | 1              | 1                    | 0,5                  | 1                    | 3                    | 3                    | 0,5                  | 2                    |
| 20      | 0                | 1              | 1              | 1                    | 3                    | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 2                    |
| 21      | 1                | 1              | 0              | 3                    | 1                    | 1                    | 2                    | 2                    | 1                    | 3                    |
| 22      | 1                | 0              | 1              | 1                    | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 3                    | 0,5                  |
| 23      | 0                | 1              | 1              | 2                    | 1                    | 1                    | 1                    | 3                    | 2                    | 1                    |
| 24      | 1                | 1              | 1              | 1                    | 2                    | 2                    | 3                    | 1                    | 2                    | 2                    |
| 25      | 1                | 0              | 0              | 0,5                  | 3                    | 3                    | 2                    | 1                    | 3                    | 1                    |

**Задание 2.** Для случая, когда ключи K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> и K<sub>3</sub> разомкнуты, найти заряды на каждом конденсаторе и общий заряд схемы.

| № варианта | C <sub>2</sub> , мкФ | C <sub>3</sub> , мкФ | C <sub>4</sub> , мкФ | C <sub>7</sub> , мкФ | U <sub>2</sub> , В | U <sub>3</sub> , В | U <sub>4</sub> , В | U <sub>7</sub> , В |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1          | 5                    | 10                   | 2                    | 4                    | 10                 | 10                 | 25                 | 25                 |
| 2          | 3                    | 2                    | 4                    | 5                    | 20                 | 25                 | 15                 | 10                 |
| 3          | 4                    | 5                    | 3                    | 2                    | 30                 | 20                 | 40                 | 50                 |
| 4          | 5                    | 4                    | 4                    | 5                    | 40                 | 50                 | 50                 | 40                 |
| 5          | 4                    | 4                    | 10                   | 3                    | 50                 | 30                 | 20                 | 40                 |
| 6          | 6                    | 5                    | 15                   | 4                    | 30                 | 20                 | 12                 | 22                 |
| 7          | 10                   | 13                   | 8                    | 5                    | 40                 | 25                 | 50                 | 65                 |
| 8          | 8                    | 4                    | 4                    | 8                    | 10                 | 20                 | 20                 | 10                 |

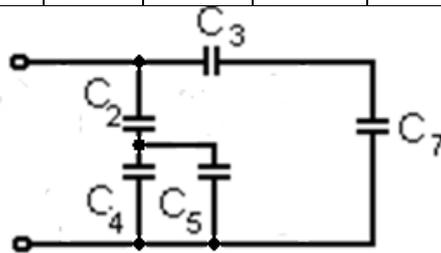
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 9  | 20 | 8  | 6  | 5  | 15 | 25 | 50 | 40 |
| 10 | 2  | 7  | 2  | 3  | 50 | 30 | 50 | 70 |
| 11 | 6  | 5  | 3  | 40 | 6  | 16 | 12 | 2  |
| 12 | 10 | 13 | 8  | 5  | 8  | 5  | 10 | 13 |
| 13 | 5  | 6  | 2  | 8  | 8  | 4  | 5  | 3  |
| 14 | 3  | 15 | 4  | 6  | 4  | 2  | 3  | 5  |
| 15 | 4  | 4  | 3  | 10 | 3  | 5  | 4  | 2  |
| 16 | 4  | 5  | 3  | 2  | 30 | 20 | 40 | 50 |
| 17 | 5  | 10 | 4  | 5  | 40 | 30 | 50 | 60 |
| 18 | 4  | 30 | 10 | 12 | 10 | 4  | 4  | 10 |
| 19 | 6  | 5  | 12 | 25 | 12 | 15 | 6  | 3  |
| 20 | 10 | 20 | 8  | 10 | 8  | 6  | 10 | 12 |
| 21 | 40 | 10 | 3  | 4  | 30 | 20 | 40 | 50 |
| 22 | 50 | 20 | 40 | 25 | 40 | 50 | 50 | 40 |
| 23 | 4  | 20 | 3  | 15 | 3  | 3  | 4  | 4  |
| 24 | 5  | 35 | 4  | 10 | 40 | 20 | 50 | 70 |
| 25 | 4  | 16 | 10 | 12 | 10 | 6  | 4  | 8  |

### 3. Пример выполнения практической работы

#### Задание 1

1. Для своих данных начертить исходную схему.

| Вариант | Положение ключей |                |                | C <sub>1</sub> , мкФ | C <sub>2</sub> , мкФ | C <sub>3</sub> , мкФ | C <sub>4</sub> , мкФ | C <sub>5</sub> , мкФ | C <sub>6</sub> , мкФ | C <sub>7</sub> , мкФ |
|---------|------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|         | K <sub>1</sub>   | K <sub>2</sub> | K <sub>3</sub> |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
| 0       | 0                | 1              | 0              | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    | 1                    |



2. Рассчитать последовательное соединение C<sub>3</sub>-C<sub>7</sub>:

$$\frac{1}{C_{37}} = \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_7} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 2 \quad C_{37} = \frac{1}{2} \text{ мкФ}$$

3. Рассчитать параллельное соединение C<sub>4</sub>-C<sub>5</sub>:

$$C_{45} = C_4 + C_5 = 1 + 1 = 2 \text{ мкФ}$$

4. Рассчитать последовательное соединение C<sub>2</sub>-C<sub>45</sub>:

$$\frac{1}{C_{245}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_{45}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$$C_{245} = \frac{2}{3} \text{ мкФ}$$

5. Найти эквивалентную емкость, рассчитав параллельное соединение C<sub>245</sub>-C<sub>37</sub>:

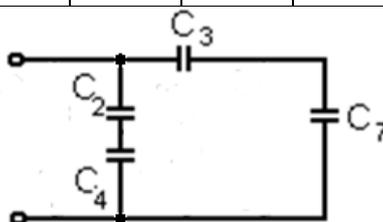
$$C = C_{245} + C_{37} = \frac{2}{3} + \frac{1}{2} = \frac{7}{6} = 1\frac{1}{6} \text{ мкФ}$$

#### Задание 2

1. Для своих данных начертить исходную схему.

| № варианта | C <sub>2</sub> , мкФ | C <sub>3</sub> , мкФ | C <sub>4</sub> , мкФ | C <sub>7</sub> , мкФ | U <sub>2</sub> , В | U <sub>3</sub> , В | U <sub>4</sub> , В | U <sub>7</sub> , В |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|            |                      |                      |                      |                      |                    |                    |                    |                    |

|   |   |   |   |   |    |    |    |    |
|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 0 | 7 | 5 | 4 | 6 | 20 | 30 | 35 | 25 |
|---|---|---|---|---|----|----|----|----|



2. Рассчитать заряды на каждом конденсаторе:

$$q_2 = C_2 \cdot U_2 = 7 \cdot 20 = 140 \text{ Кл}$$

$$q_3 = C_3 \cdot U_3 = 5 \cdot 30 = 150 \text{ Кл}$$

$$q_4 = C_4 \cdot U_4 = 4 \cdot 35 = 140 \text{ Кл}$$

$$q_7 = C_7 \cdot U_7 = 6 \cdot 25 = 150 \text{ Кл}$$

3. Рассчитать общий заряд схемы:

$$q = q_{24} + q_{37}$$

$$q_{24} = q_2 = q_4$$

$$q_{37} = q_3 = q_7$$

$$q = 140 + 150 = 290 \text{ Кл}$$

4. Проверка:

$$q = C \cdot U = \frac{58}{11} \cdot 55 = 290 \text{ Кл},$$

где

$$C = \frac{C_2 \cdot C_4}{C_2 + C_4} + \frac{C_3 \cdot C_7}{C_3 + C_7} = \frac{7 \cdot 4}{7 + 4} + \frac{5 \cdot 6}{5 + 6} = \frac{28 + 30}{11} = \frac{58}{11} \text{ мкФ}$$

$$U = U_2 + U_4 = U_3 + U_7 = 20 + 35 = 30 + 25 = 55 \text{ В}$$

4. Сделать выводы по работе

5. Оформить отчет

### Практическая работа №3

#### Тема: «Расчет смешанного соединения резисторов»

**Цель работы:** Закрепить знания методов расчета эквивалентного сопротивления резисторов при их смешанном соединении.

#### Краткие теоретические сведения

Отдельные проводники электрической цепи могут быть соединены между собой последовательно, параллельно и смешанно (последовательно-параллельно).

#### Последовательное соединение

Проводники соединены таким образом, что по ним проходит один и тот же ток.



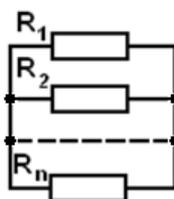
Сила тока в цепи:  $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$

Общее напряжение:  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$

Эквивалентное сопротивление:  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

#### Параллельное соединение

Два или более проводников присоединены к двум узловым точкам.



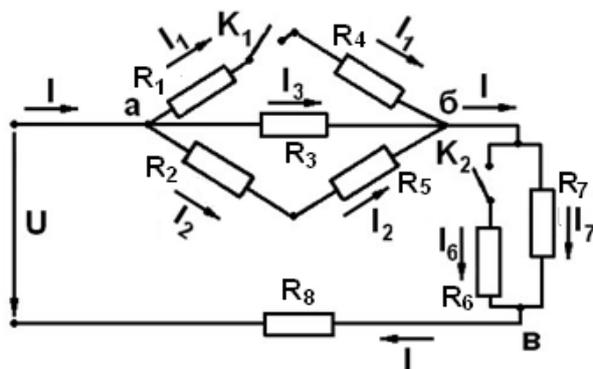
Сила тока в цепи:  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$

Общее напряжение:  $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$

Эквивалентное сопротивление:  $R = \frac{U}{I}$  или  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

**Задание 1.** Определить общее сопротивление цепи (0 – ключ разомкнут, 1 – ключ замкнут).

**Варианты для задания 1.**



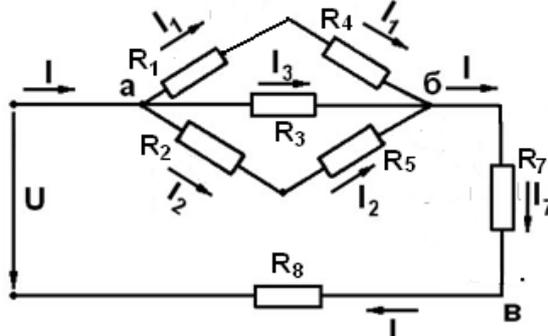
| Вариант | Положение ключей |       | $R_1$ , Ом | $R_2$ , Ом | $R_3$ , Ом | $R_4$ , Ом | $R_5$ , Ом | $R_6$ , Ом | $R_7$ , Ом | $R_8$ , Ом |
|---------|------------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|         | $K_1$            | $K_2$ |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1       | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 1,5        | 3          | 6          | 3          |
| 2       | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 1,5        | 3          | 6          | 3          |
| 3       | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 1,5        | 3          | 6          | 3          |
| 4       | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 1,5        | 3          | 6          | 3          |
| 5       | 1                | 0     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 6       | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 7       | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 8       | 1                | 0     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 9       | 0                | 1     | 6          | 4          | 2          | 3          | 2          | 8          | 4          | 2          |
| 10      | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 1          | 3          | 1,5        | 6          | 3          | 3          |
| 11      | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 1,5        | 3          | 6          | 3          |
| 12      | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 13      | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 14      | 1                | 0     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 15      | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 16      | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 17      | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 18      | 1                | 0     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 19      | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 2          | 8          | 4          | 2          |
| 20      | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 1,5        | 6          | 3          | 3          |
| 21      | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 22      | 0                | 1     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 23      | 1                | 0     | 2          | 1,5        | 3          | 1          | 3          | 1,5        | 2          | 4          |
| 24      | 0                | 1     | 1          | 3          | 6          | 1,5        | 2          | 8          | 4          | 2          |

|    |   |   |   |   |   |     |     |   |   |   |
|----|---|---|---|---|---|-----|-----|---|---|---|
| 25 | 0 | 1 | 1 | 3 | 6 | 1,5 | 1,5 | 6 | 3 | 3 |
|----|---|---|---|---|---|-----|-----|---|---|---|

**Задание 2.** Определить токи во всех ветвях и напряжения на каждом сопротивлении, если напряжение  $U=120$  В (0 – ключ разомкнут, 1 – ключ замкнут).

**3. Пример выполнения практической работы**

1. Для своих данных начертить исходную схему.



| Вариант | Положение ключей |       | $R_1$ , Ом | $R_2$ , Ом | $R_3$ , Ом | $R_4$ , Ом | $R_5$ , Ом | $R_6$ , Ом | $R_7$ , Ом | $R_8$ , Ом |
|---------|------------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|         | $K_1$            | $K_2$ |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 26      | 1                | 0     | 1,5        | 2          | 1          | 3          | 1,5        | 3          | 3          | 6          |

2. Рассчитать последовательное соединение  $R_1 - R_4$ :

$$R_{14} = R_1 + R_4 = 1,5 + 3 = 4,5 \text{ Ом}$$

3. Рассчитать параллельное соединение  $R_{14} - R_3$ :

$$\frac{1}{R_{134}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{14}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{4,5} = \frac{11}{9}, R_{134} = \frac{9}{11} \text{ Ом}$$

4. Рассчитать последовательное соединение  $R_2 - R_5$ :

$$R_{25} = R_2 + R_5 = 2 + 1,5 = 3,5 \text{ Ом}$$

5. Рассчитать параллельное соединение  $R_{134} - R_{25}$ :

$$\frac{1}{R_{12345}} = \frac{1}{R_{134}} + \frac{1}{R_{25}} = \frac{11}{9} + \frac{1}{3,5} = \frac{95}{63}, R_{12345} = \frac{63}{95} \text{ Ом}$$

6. Найти эквивалентное сопротивление, рассчитав последовательное соединение  $R_{12345} - R_7$ :

$$R = R_{12345} + (R_7 + R_8) = \frac{63}{95} + (3 + 6) = 9,7 \text{ Ом}$$

7. Найти общий ток в цепи:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{9,7} = 12,4 \text{ А}$$

8. Найти токи на сопротивлениях  $R_7$  и  $R_8$ :

$$I_7 = I_8 = I = 12,4 \text{ А}$$

9. Найти напряжения на сопротивлениях  $R_7$  и  $R_8$ :

$$U_7 = I \cdot R_7 = 12,4 \cdot 3 = 37,2 \text{ В}, U_8 = I \cdot R_8 = 12,4 \cdot 6 = 74,4 \text{ В}$$

10. Найти напряжение между точками  $a$  и  $b$ :

$$U_{ab} = U - U_7 - U_8 = 120 - 37,3 - 74,5 = 8,4 \text{ В}$$

11. Найти ток на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_4$ :

$$I_1 = \frac{U_{ab}}{R_{14}} = \frac{8,4}{4,5} = 1,8 \text{ А}$$

12. Найти ток на сопротивлениях  $R_2$  и  $R_5$ :

$$I_2 = \frac{U_{ab}}{R_{25}} = \frac{8,4}{3,5} = 2,3 \text{ А}$$

13. Найти ток на сопротивлении  $R_3$ :

$$I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3} = \frac{8,4}{1} = 8,4 \text{ А}$$

14. Проверка:

$$I = I_1 + I_2 + I_3, \quad 1,8 + 2,3 + 8,4 = 12,5, \quad 12,5 \text{ А} \approx 12,4 \text{ А}$$

4. Сделать выводы по работе

5. Оформить отчет

#### Практическая работа № 4

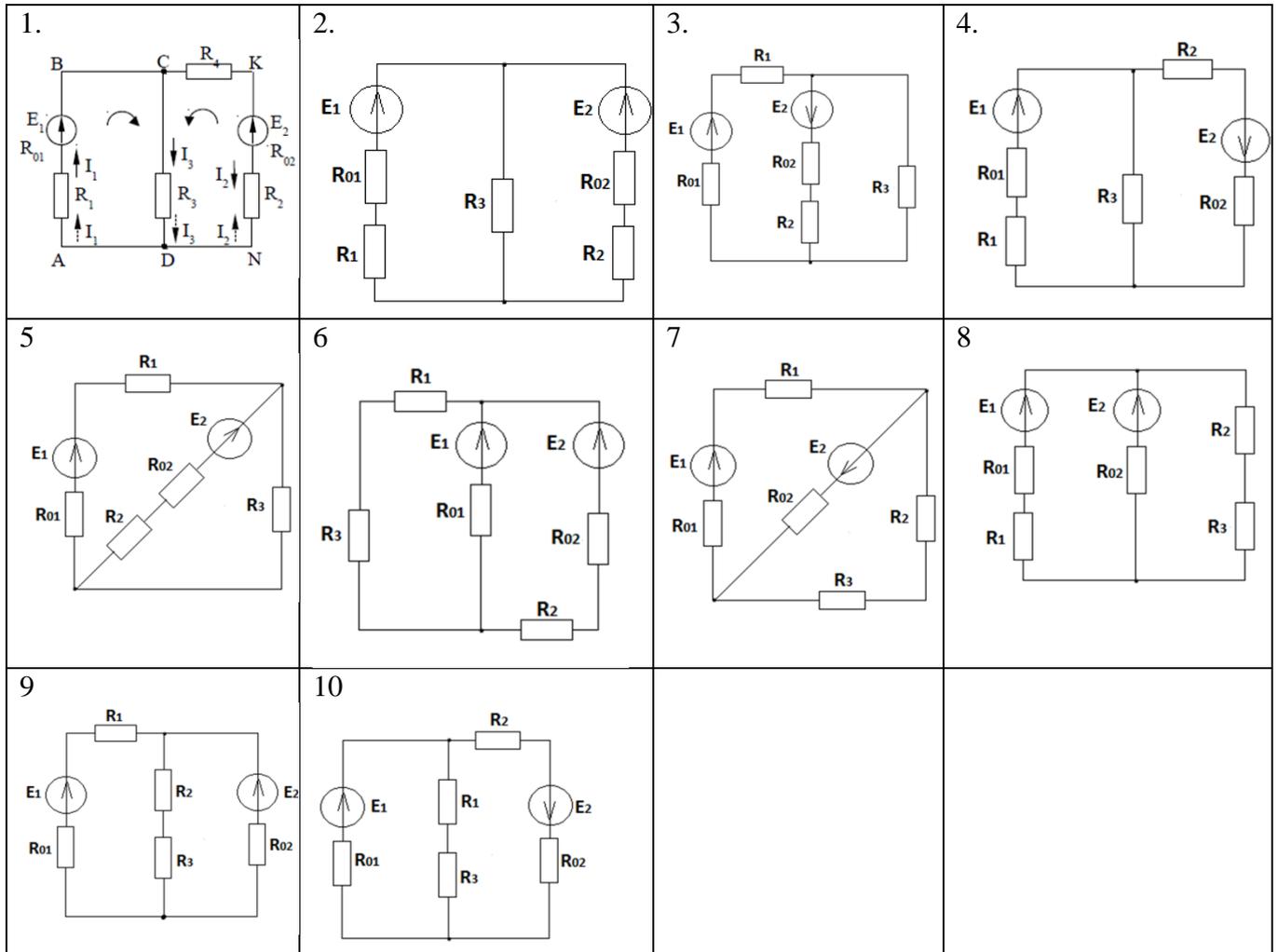
**Тема: «Расчет электрических цепей методом узловых и контурных уравнений»**

**Цель работы:** Научиться определять токи в ветвях схемы, содержащей несколько источников ЭДС.

**Задание 1.** Определить токи во всех ветвях цепи, если даны ЭДС источников  $E_1$  и  $E_2$ , внутренние сопротивления  $R_{01}$  и  $R_{02}$ , сопротивление резистора  $R_3$ . Задачу решить методом узловых и контурных уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Составить уравнение баланса мощностей. Данные для задачи взять из таблицы.

| № вар. | Рис. | Заданные величины |                  |                      |                      |                   |                   |                   |
|--------|------|-------------------|------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|        |      | $E_1, \text{ В}$  | $E_2, \text{ В}$ | $R_{01}, \text{ Ом}$ | $R_{02}, \text{ Ом}$ | $R_1, \text{ Ом}$ | $R_2, \text{ Ом}$ | $R_3, \text{ Ом}$ |
| 1      | 6    | 180               | 220              | 0,1                  | 0,1                  | 3,9               | 1,9               | 40                |
| 2      | 2    | 110               | 84,5             | 0,2                  | 0,1                  | 7,8               | 9,9               | 12                |
| 3      | 3    | 104               | 220              | 0,01                 | 0,1                  | 1,99              | 3,9               | 36                |
| 4      | 4    | 140               | 100              | 0,01                 | 0,02                 | 1,99              | 7,98              | 16                |
| 5      | 5    | 123               | 120              | 0,1                  | 1                    | 19,9              | 9                 | 13,5              |
| 6      | 6    | 200               | 160              | 2                    | 0,1                  | 35,6              | 17,9              | 4,4               |
| 7      | 7    | 75                | 100              | 0,1                  | 3                    | 4,9               | 3,4               | 4,6               |
| 8      | 8    | 200               | 96               | 0,2                  | 4                    | 9,8               | 19,3              | 10,7              |
| 9      | 9    | 110               | 150              | 0,01                 | 3                    | 14,99             | 5,2               | 4,8               |
| 10     | 10   | 110               | 115              | 4                    | 0,02                 | 10,1              | 23,98             | 3,9               |
| 11     | 7    | 110               | 220              | 0,1                  | 0,1                  | 3,9               | 3,9               | 9                 |
| 12     | 2    | 227               | 160              | 1                    | 1                    | 7                 | 8                 | 35                |
| 13     | 3    | 133               | 173              | 2                    | 1                    | 38                | 9                 | 25                |
| 14     | 4    | 94                | 224              | 1                    | 2                    | 7                 | 23                | 60                |
| 15     | 5    | 171               | 113              | 0,1                  | 1                    | 9,9               | 24                | 75                |
| 16     | 6    | 320               | 400              | 4                    | 0,2                  | 71,2              | 25,8              | 8,8               |

|           |    |     |     |      |      |       |       |      |
|-----------|----|-----|-----|------|------|-------|-------|------|
| <b>17</b> | 7  | 200 | 145 | 0,2  | 6    | 18,8  | 7,8   | 13,2 |
| <b>18</b> | 8  | 186 | 380 | 0,4  | 8    | 19,6  | 41,6  | 21,4 |
| <b>19</b> | 9  | 300 | 220 | 0,02 | 6    | 29,98 | 11,4  | 13,6 |
| <b>20</b> | 10 | 330 | 210 | 8    | 0,04 | 21,2  | 47,96 | 7,8  |
| <b>21</b> | 4  | 360 | 400 | 0,2  | 0,2  | 7,8   | 3,8   | 60   |
| <b>22</b> | 2  | 220 | 118 | 0,4  | 0,2  | 15,6  | 19,8  | 20   |
| <b>23</b> | 3  | 205 | 160 | 0,02 | 0,2  | 3,98  | 16,8  | 50   |
| <b>24</b> | 4  | 280 | 200 | 0,02 | 0,04 | 4,98  | 14,96 | 25   |
| <b>25</b> | 5  | 150 | 125 | 0,2  | 2    | 39,8  | 18    | 12   |
| <b>26</b> | 6  | 85  | 100 | 1    | 0,01 | 16,3  | 8,98  | 2,7  |
| <b>27</b> | 7  | 175 | 145 | 0,01 | 2    | 7,98  | 5,5   | 8,5  |
| <b>28</b> | 8  | 65  | 135 | 0,1  | 3    | 13,8  | 14,4  | 9,8  |
| <b>29</b> | 9  | 450 | 310 | 0,2  | 9    | 44,8  | 24,2  | 16   |
| <b>30</b> | 10 | 260 | 180 | 2    | 0,06 | 16,4  | 36,96 | 6,7  |



## 2. Пример выполнения работы

Определить токи во всех ветвях цепи, если ЭДС источников энергии  $E_1=180$  В,  $E_2=96$  В, их внутренние сопротивления  $R_{01}=0,1$  Ом,  $R_{02}=2$  Ом; сопротивления резисторов  $R_1=7,9$  Ом,  $R_2=20$  Ом,  $R_3=32$  Ом,  $R_4=10$  Ом.

Задачу решить методом узловых и контурных уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Составить уравнение баланса мощностей.

|  |   |
|--|---|
|  | <p>Дано:<br/> <math>E_1=180</math> В;<br/> <math>E_2=96</math> В;<br/> <math>R_{01}=0,1</math> Ом;<br/> <math>R_{02}=2</math> Ом;<br/> <math>R_1=7,9</math> Ом;<br/> <math>R_2=20</math> Ом;<br/> <math>R_3=32</math> Ом;<br/> <math>R_4=10</math> Ом.<br/>                 Определить: <math>I_1, I_2, I_3</math>.</p> |
|--|---|

### Решение.

Количество неизвестных токов равно количеству ветвей в цепи. На рисунке три ветви, следовательно, неизвестных токов три, для их нахождения необходимо составить систему из трех уравнений.

1. Обозначим контуры буквами.
2. На схеме произвольно показываем предварительное направление токов (пунктир).
3. Составляем уравнение по первому закону Кирхгофа. Количество этих уравнений равно числу узлов в схеме без одного. На схеме два узла – C и D, следовательно, составляем одно уравнение по первому закону Кирхгофа, например, для узловой точки C:  $I_1 + I_2 = I_3$ .

Остальные уравнения ( $3-1=2$ ) составляются по второму закону Кирхгофа, таких уравнений будет два.

Второе уравнение составим для контура ABCDA, направление обхода контура примем «по часовой стрелке»:

$$E_1 = I_1(R_1 + R_{01}) + I_3 R_3.$$

Третье уравнение составим для контура CKNDC; направление обхода контура примем «против часовой стрелки»:

$$E_2 = I_2(R_2 + R_{02} + R_4) + I_3 R_3$$

4. Подставляем исходные данные в полученную систему из трех уравнений и решаем эту систему относительно неизвестных токов:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 \\ E_1 = I_1(R_1 + R_{01}) + I_3 R_3 \\ E_2 = I_2(R_2 + R_{02} + R_4) + I_3 R_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 & (1) \\ 180 = I_1(7,9 + 0,1) + I_3 \cdot 32 & (2) \\ 96 = I_2(20 + 2 + 10) + I_3 \cdot 32 & (3) \end{cases}$$

Из второго уравнения получаем:

$$180 = 8 \cdot I_1 + 32 \cdot I_3; I_1 = \frac{180 - 32 \cdot I_3}{8} = 22,5 - 4 \cdot I_3 \quad (a)$$

Из третьего уравнения получаем:

$$96 = 32 \cdot I_2 + 32 \cdot I_3; I_2 = \frac{96 - 32 \cdot I_3}{32} = 3 - I_3 \quad (б)$$

Подставляем выражения (a) и (б) в первое уравнение и находим ток  $I_3$ .

$$22,5 - 4 \cdot I_3 + 3 - I_3 = I_3; 22,5 + 3 = I_3 + 4 \cdot I_3 + I_3; 22,5 = 6 \cdot I_3; I_3 = \frac{22,5}{6} = 4,25 \text{ А.}$$

Значение тока  $I_3$  подставляем в выражения (а) и (б) и определяем токи  $I_1$  и  $I_2$ :

$$I_1 = 22,5 - 4 \cdot I_3 = 22,5 - 4 \cdot 2,5 = 5,5 \text{ А}; I_2 = 3 - I_3 = 3 - 4,25 = -1,25 \text{ А}.$$

Ток  $I_2$  получился отрицательным, это значит, что первоначально произвольно принятое направление тока  $I_2$  от точки  $D$  к точке  $C$  оказалось неверным и должно быть изменено на противоположное. На схеме показываем действительное направление токов.

5. Составим уравнение баланса мощностей цепи.

В любой электрической цепи алгебраическая сумма мощностей источников энергии равна сумме мощностей, потребляемых сопротивлениями цепи, и мощности потерь внутри источников, т. е.  $\sum P_{ист} = \sum P_{потр} + \sum P_0$

В левой части уравнения мощность источника, работающего в режиме генератора, учитывается со знаком «плюс», в режиме потребителя – со знаком «минус».

Режим работы источника определяется по направлению действия ЭДС и положительному направлению тока данной ветви: если эти направления совпадают, то источник работает в режиме генератора; если не совпадают, то источник работает в режиме потребителя.

Для данной цепи:

$$E_1 I_1 - E_2 I_2 = I_1^2 (R_1 + R_{01}) + I_2^2 (R_2 + R_{02} + R_4) + I_3^2 R_3;$$

$$180 \cdot 5,5 - 96 \cdot 1,25 = 5,5^2 \cdot (7,9 + 0,11) + 1,25^2 \cdot (20 + 2 + 10) + 4,25^2 \cdot 32;$$

$$990 - 120 = 242 + 50 + 578; 870 \text{ Вт} = 870 \text{ Вт}$$

3. Сделать выводы по работе

4. Оформить отчет

### Практическая работа № 5

#### Тема: «Расчет цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью»

**Цель работы:** Закрепить знания методов расчета цепей переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и индуктивностью.

#### Краткие теоретические сведения

Рассмотрим неразветвленную цепь с активным сопротивлением  $R$  и индуктивностью  $L$ .

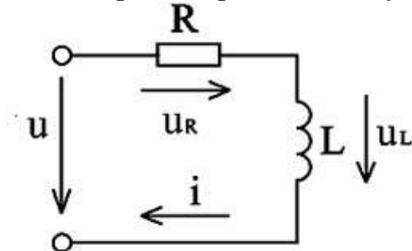


Рис. 1. Цепь переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью

Пусть мгновенный ток в цепи изменяется по закону  $i = I_m \sin \omega t$ . Угловая частота  $\omega = 2\pi f$ . Тогда мгновенное напряжение на активном сопротивлении  $U_R = U_{Rm} \sin \omega t$ , так как на этом участке напряжение и ток совпадают по фазе. Напряжение на катушке индуктивности  $U_L = U_{Lm} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ , поскольку на индуктивности напряжение опережает по фазе ток на угол  $\frac{\pi}{2}$ .

Построим для действующих значений напряжения и тока векторную диаграмму для рассматриваемой цепи (рис. 2).

Векторы  $U_R, U_L$  и  $U$  образуют треугольник напряжений. Выведем закон Ома для этой цепи. Из треугольника напряжений имеем  $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$ . Но  $U_R = IR$ , а  $U_L = I \cdot X_L$ , где  $X_L$  –

индуктивное сопротивление, следовательно:  $U = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I \sqrt{R^2 + X_L^2}$ , откуда

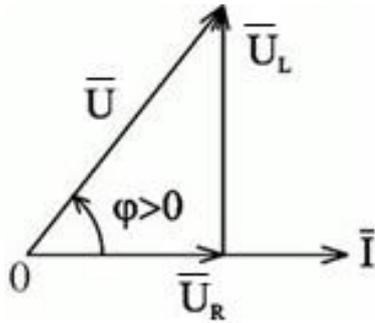
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}.$$


Рис. 2. Векторная диаграмма действующих значений тока и напряжения цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью

Введем обозначение  $\sqrt{R^2 + X_L^2} = Z$ , где  $Z$  – полное сопротивление цепи. Тогда выражение закона Ома примет вид:  $I = \frac{U}{Z}$ .

Полное сопротивление  $Z$  можно определить из треугольника сопротивлений (рис. 3).

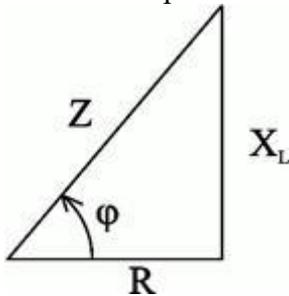


Рис. 3. Треугольник сопротивлений цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью

Сдвиг фаз  $\varphi$  между током и напряжением определяется из треугольника сопротивлений:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R}, \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z}.$$

Поскольку вектор  $U$  сдвинут по фазе относительно вектора  $I$  на угол  $\varphi$  против часовой стрелки, этот угол имеет положительное значение.

Если  $i = I_m \sin \omega t$ ;  $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$ , то мгновенная мощность

$$p = ui = U_m I_m \sin(\omega t + \varphi) \cdot \sin(\omega t). \text{ Для действующих значений произведение } UI = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_m I_m}{2}$$

, откуда  $U_m I_m = 2UI$ . Используем формулу:  $\sin(\omega t + \varphi) \cdot \sin \omega t = \frac{1}{2} \cos \varphi - \frac{1}{2} \cos(2\omega t + \varphi)$ . Исходя

из этого,

$$p = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t + \varphi).$$

Таким образом, мгновенная мощность переменного тока может быть представлена в виде постоянной величины  $UI \cos \varphi$  и, изменяющейся около неё с двойной частотой, величины  $UI \cos(2\omega t + \varphi)$ .

Введем понятие средней или активной мощности:  $P = UI \cos \varphi = U_R I = I^2 R$  [Вт].

Активная мощность характеризует расход энергии на активном сопротивлении.

Реактивная мощность характеризует обмен энергией между индуктивной катушкой и источником:  $Q = UI \sin \varphi = U_L I = I^2 X_L$  [вар].

Полная мощность оценивает предельную мощность нагрузки:  $S = UI = I^2 Z$  [ВА].

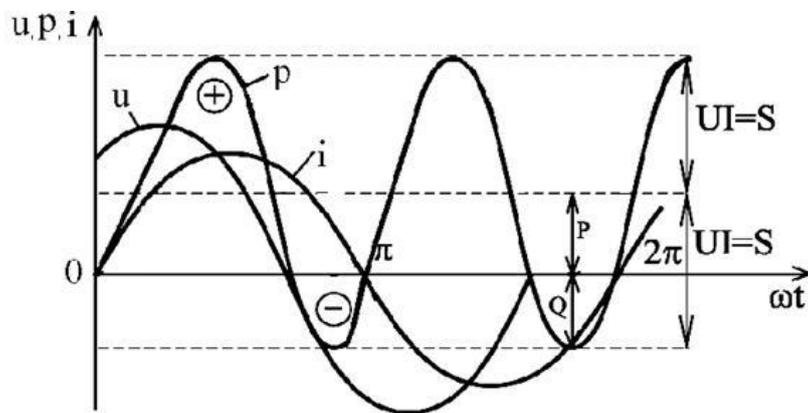


Рис. 4. Зависимости мгновенных значений напряжения, тока и мощности цепи переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью  
 Совокупность всех мощностей можно определить из треугольника мощностей (рис. 5).

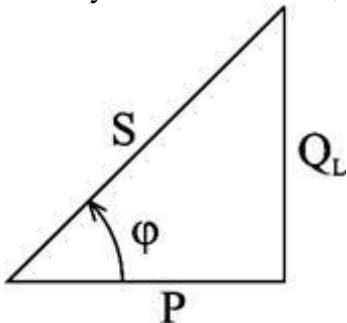


Рис. 5. Треугольник мощностей

Так:  $S = \sqrt{P^2 + Q_L^2}$ ;  $P = S \cdot \cos \varphi$ ;  $Q = S \cdot \sin \varphi$ . Обозначим коэффициент мощности в виде соотношения  $\cos \varphi = \frac{P}{S}$ .

Коэффициент мощности  $\cos \varphi$  изменяется от 0 до 1. По его величине судят, какую часть полной мощности составляет активная мощность. На практике стремятся к увеличению  $\cos \varphi$ .

### Пример расчета

Рассмотрим схему рисунок 1.

Дано: входное напряжение амплитудой 100 В, частотой 50 Гц,  $R=100$  Ом,  $L=20$  мГн.

Необходимо определить ток в цепи, напряжение на активном сопротивлении  $U_R$ , и на индуктивном  $U_L$ , все мощности.

Построить векторную диаграмму, треугольник мощностей и сопротивлений.

Вычислим индуктивное сопротивление:  $X_L = \omega L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 6,28$  Ом, полное

сопротивление:  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{10^2 + 6,28^2} \approx \sqrt{139,44} \approx 11,81$  Ом.

По закону Ома:  $I = \frac{U}{Z} = \frac{100}{11,81} = 8,47$  А.

Напряжение:  $U_L = IR = 8,47 \cdot 10 = 84,7$  В,  $U_L = I \cdot X_L = 8,47 \cdot 6,28 = 53,18$  В.

Определим мощности: активная мощность:  $P = U_R I = 84,7 \cdot 8,47 = 714,41$  Вт; реактивная мощность:  $Q = U_L I = 53,18 \cdot 8,47 = 450,43$  вар; полная мощность:  $S = UI = 100 \cdot 8,47 = 847$  ВА.

Угол сдвига фаз определим из формулы:  $\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{714,41}{847} \approx 0,85$ ,  $\varphi = 32^\circ$

Выполнить расчет по данным, приведенным в таблице 1 (по варианту).

Таблица 1

| Номер варианта | Напряжение, $U$ , В | Частота, $f$ , Гц | Активное сопротивление, $R$ , Ом | Индуктивность, $L$ , мГн |
|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1              | 30                  | 50                | 8                                | 20                       |
| 2              | 40                  | 50                | 7                                | 15                       |
| 3              | 50                  | 50                | 6                                | 12                       |
| 4              | 60                  | 50                | 9                                | 28                       |
| 5              | 70                  | 50                | 10                               | 30                       |
| 6              | 80                  | 50                | 5                                | 10                       |
| 7              | 90                  | 50                | 9                                | 11                       |
| 8              | 100                 | 50                | 12                               | 30                       |
| 9              | 110                 | 50                | 14                               | 35                       |
| 10             | 120                 | 50                | 10                               | 14                       |
| 11             | 130                 | 50                | 8                                | 12                       |
| 12             | 140                 | 50                | 7                                | 19                       |
| 13             | 30                  | 50                | 6                                | 13                       |
| 14             | 40                  | 50                | 9                                | 15                       |
| 15             | 50                  | 50                | 10                               | 30                       |
| 16             | 60                  | 50                | 5                                | 8                        |
| 17             | 70                  | 50                | 9                                | 21                       |
| 18             | 80                  | 50                | 12                               | 40                       |
| 19             | 90                  | 50                | 14                               | 50                       |
| 20             | 100                 | 50                | 10                               | 35                       |
| 21             | 110                 | 50                | 8                                | 20                       |
| 22             | 120                 | 50                | 7                                | 25                       |
| 23             | 130                 | 50                | 6                                | 8                        |
| 24             | 140                 | 50                | 9                                | 22                       |
| 25             | 100                 | 50                | 10                               | 38                       |

4. Сделать выводы по работе
5. Оформить отчет.

### Практическая работа № 6

**Тема: «Расчет цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью»**

**Цель работы:** Закрепить знания методов расчета цепей переменного тока с последовательным соединением активного сопротивления и ёмкости.

#### Краткие теоретические сведения

Рассмотрим неразветвленную цепь с активным сопротивлением  $R$  и ёмкостью (рис. 1).

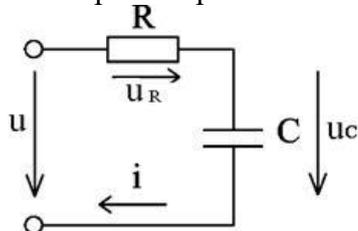


Рис. 1. Цепь переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью

Пусть мгновенный ток в цепи изменяется по закону  $i = I_m \sin \omega t$ . Угловая частота  $\omega = 2\pi f$ . Тогда мгновенное напряжение на активном сопротивлении  $U_R = U_{Rm} \sin \omega t$ , так как на этом участке напряжение и ток совпадают по фазе. Напряжение на ёмкости  $U_C = U_{Cm} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ , поскольку на ёмкости напряжение отстает по фазе от тока на угол  $\frac{\pi}{2}$ .

На основании приведенных выражений построим векторную диаграмму цепи (рис.2) для действующих значений напряжений  $U_R, U_C, U$ .

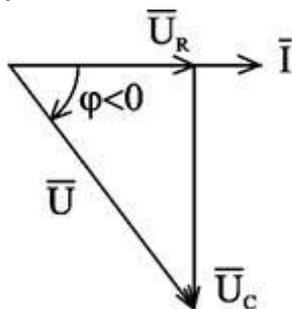


Рис. 2. Векторная диаграмма действующих значений тока и напряжения цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью

Из векторной диаграммы следует, что  $U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2}$ . Но  $U_R = IR, U_C = I(-X_C)$ , где

$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$  – емкостное сопротивление. Таким образом,

$U = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 (-X_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (-X_C)^2}$ , откуда:  $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (-X_C)^2}} = \frac{U}{Z}$ , где  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$  –

полное сопротивление цепи.

На рис. 3 изображен треугольник сопротивлений. Сдвиг фаз (угол  $\varphi$ ) в этом случае отрицателен, так как напряжение отстает по фазе от тока:  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{-X_C}{R}; \cos \varphi = \frac{R}{Z}$ .

Пусть  $i = I_m \sin \omega t, u = U_m \sin(\omega t - \varphi)$ , тогда мгновенная мощность в цепи с  $R$  и  $C$  будет:  
 $p = ui = U_m I_m \sin(\omega t - \varphi) \cdot \sin \omega t$ . Опустив промежуточные преобразования, получим:  
 $p = UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t - \varphi)$ .

Средняя или активная мощность определяется постоянной составляющей мгновенной мощности:  $P = U_R I \cos \varphi$ .

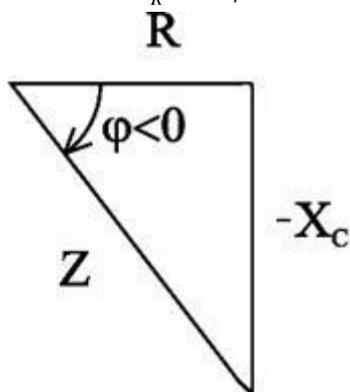


Рис. 3. Треугольник сопротивлений цепи переменного тока с активным сопротивлением и ёмкостью

Реактивная емкостная мощность характеризует интенсивность обмена энергией между источником и ёмкостью:  $Q_C = U_C I \sin \varphi$ . Так как  $\varphi < 0$ , то реактивная мощность  $Q_C < 0$ . Полная мощность определяется из треугольника мощностей (рис. 4):

$$S = \sqrt{P^2 + (-Q)^2} = UI = U^2 / Z.$$

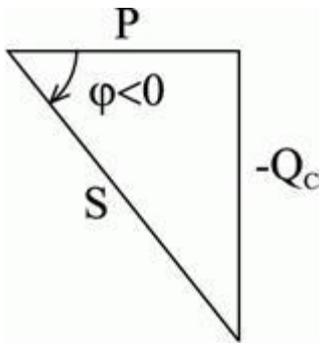


Рис. 4. Треугольник мощностей

### Пример расчета

Для схемы (рисунок 1) дано:  $U = 80$  В,  $R = 50$  Ом,  $C = 45$  мкФ, частота  $f = 50$  Гц.

Определим емкостное сопротивление:  $X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 45 \cdot 10^{-6}} = 70,77$  Ом.

Полное сопротивление:  $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{50^2 + 70,77^2} = 86,65$  Ом.

Ток в цепи (по закону Ома):  $I = \frac{U}{Z} = \frac{80}{86,65} = 0,92$  А.

Напряжение на активном сопротивлении:  $U_R = IR = 0,92 \cdot 50 = 46,16$  В, напряжение на конденсаторе:  $U_C = I \cdot X_c = 0,92 \cdot 70,77 = 65,11$  В.

Активная мощность:  $P = I \cdot U_R = 0,92 \cdot 46,16 = 42,47$  Вт, реактивная мощность:  $Q = I \cdot U_C = 0,92 \cdot 65,11 = 59,90$  вар, полная мощность:  $S = UI = 80 \cdot 0,92 = 73,6$  ВА.

Выполнить расчет по данным, приведенным в таблице 1 (по варианту).

Таблица 1

| Номер варианта | Напряжение, $U$ , В | Частота, $f$ , Гц | Активное сопротивление, $R$ , Ом | Ёмкость, $C$ , мкФ |
|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|
| 1              | 30                  | 50                | 8                                | 200                |
| 2              | 40                  | 50                | 7                                | 150                |
| 3              | 50                  | 50                | 6                                | 120                |
| 4              | 60                  | 50                | 9                                | 228                |
| 5              | 70                  | 50                | 10                               | 230                |
| 6              | 80                  | 50                | 5                                | 100                |
| 7              | 90                  | 50                | 9                                | 110                |
| 8              | 100                 | 50                | 12                               | 130                |
| 9              | 110                 | 50                | 14                               | 235                |
| 10             | 120                 | 50                | 10                               | 140                |
| 11             | 130                 | 50                | 8                                | 120                |
| 12             | 140                 | 50                | 7                                | 119                |
| 13             | 30                  | 50                | 6                                | 130                |
| 14             | 40                  | 50                | 9                                | 115                |
| 15             | 50                  | 50                | 10                               | 130                |
| 16             | 60                  | 50                | 5                                | 88                 |
| 17             | 70                  | 50                | 9                                | 121                |
| 18             | 80                  | 50                | 12                               | 140                |
| 19             | 90                  | 50                | 14                               | 150                |
| 20             | 100                 | 50                | 10                               | 135                |
| 21             | 110                 | 50                | 8                                | 120                |
| 22             | 120                 | 50                | 7                                | 125                |

|    |     |    |    |     |
|----|-----|----|----|-----|
| 23 | 130 | 50 | 6  | 90  |
| 24 | 140 | 50 | 9  | 122 |
| 25 | 100 | 50 | 10 | 138 |

4. Сделать выводы по работе
5. Оформить отчет.

### Практическая работа №7

**Тема** «Расчет цепей переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений»

**Цель работы:** Закрепить знания методов расчета цепей переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивностью и емкостного сопротивлений.

#### Краткие теоретические сведения

Рассмотрим неразветвленную цепь с активным сопротивлением  $R$ , индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  (рисунок 1).

Пусть  $i = I_m \sin \omega t$ , тогда  $u_L = U_{Lm} \sin(\omega t + \pi / 2)$ ;  $u_C = U_{Cm} \sin(\omega t - \pi / 2)$ ;  $u_R = U_{Rm} \sin \omega t$ .

Построим векторную диаграмму при условии, что действующие значения напряжений  $U_L > U_C$ , т.е.  $I \cdot X_L > I \cdot X_C$  или  $X_L > X_C$ .

Из векторной диаграммы (рис. 2) следует:  $\bar{U} = \bar{U}_R + (\bar{U}_L - \bar{U}_C)$ , откуда  $U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$ . Но  $U_R = I \cdot R$ ;  $U_L = I \cdot X_L$ ;  $U_C = I \cdot X_C$ , следовательно  $U = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$  или  $I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$ .

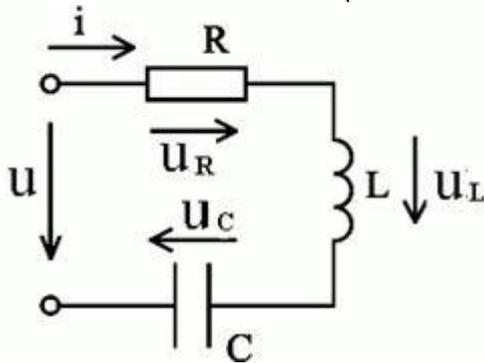


Рис. 1. Схема неразветвленной электрической цепи с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью

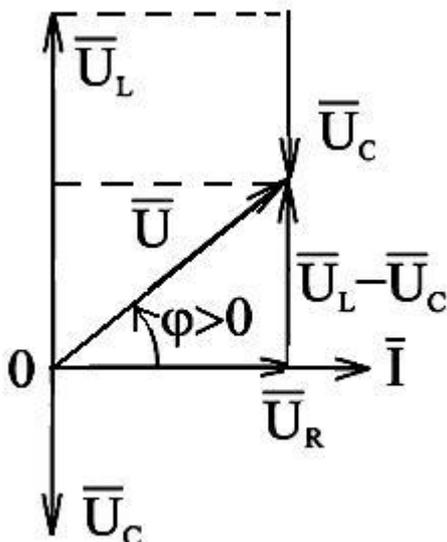


Рис. 2. Векторная диаграмма действующих значений тока и напряжений для цепи переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью, в которой  $\bar{U}_L > \bar{U}_C$

Введя обозначение полного сопротивления цепи  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$ , найдем:  $I = \frac{U}{Z}$ .

Разность между индуктивным и емкостным сопротивлениями называют реактивным сопротивлением цепи  $X = X_L - X_C$ . Учитывая это, получим треугольник сопротивлений для цепи с  $R, L$  и  $C$  (рис.3).

При  $X_L > X_C$  реактивное сопротивление положительно и угол  $\varphi > 0$ .

Аналогично можно построить векторную диаграмму для действующих значений напряжений  $U_L < U_C$  (рис. 4) и треугольник сопротивлений  $X_L < X_C$  (рис. 5).

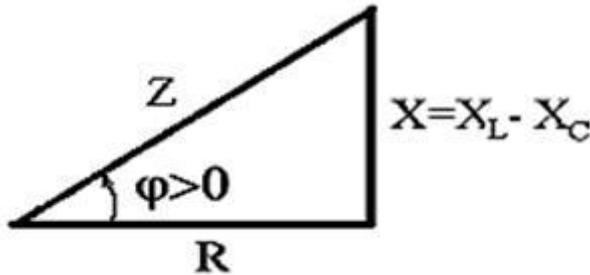


Рис. 3. Треугольник сопротивлений цепи переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью ( $X_L > X_C$ )

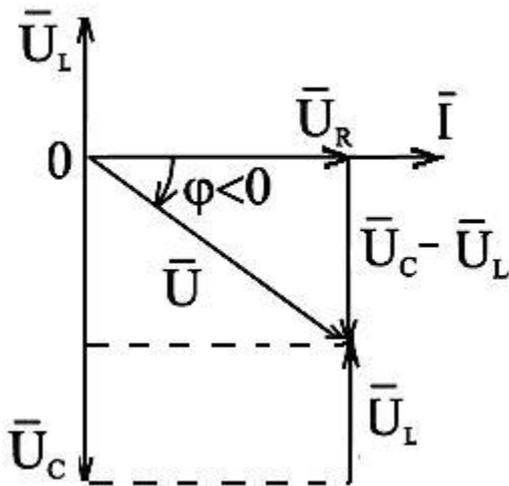


Рис. 4. Векторная диаграмма действующих значений тока и напряжений ( $\bar{U}_L < \bar{U}_C$ ) цепи переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью

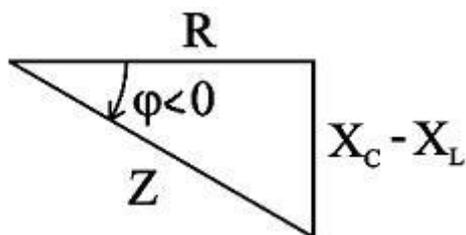


Рис. 5. Треугольник сопротивлений цепи переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и ёмкостью ( $X_L < X_C$ )

При  $X_L < X_C$  реактивное сопротивление  $X$  отрицательно и угол  $\varphi < 0$ .

Если  $U_L = U_C$  и  $X_L = X_C$ , то векторную диаграмму можно представить в виде рис. 6, а зависимость тока от частоты в виде рис. 7.

В этом случае наступает резонанс напряжений, когда ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника. При этом угол  $\varphi = 0$ , так как реактивное сопротивление равно нулю.

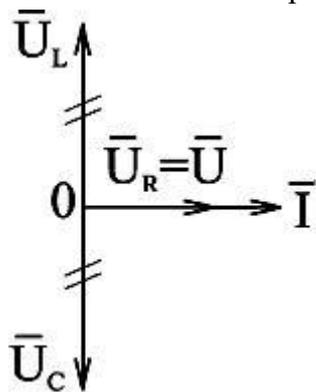


Рис. 6. Векторная диаграмма резонанса напряжений  $U_L = U_C$

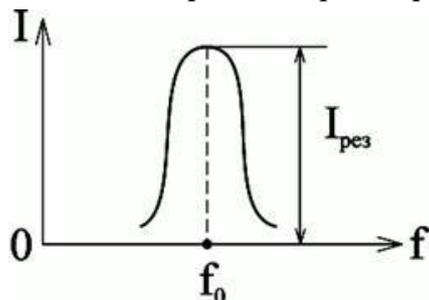


Рис. 7. Зависимость тока от частоты питающей сети для резонанса напряжений

При резонансе напряжений частота источника равна собственной частоте колебаний  $LC$

– контура. Если  $X_L = 2\pi fL$  и  $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ , где  $f$  – частота источника питания, то можно

записать:  $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$ . Решив это уравнение относительно  $f$ , получим

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}; \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

На основании рис. 6, 7 следует, что признаками резонанса напряжений являются:

- а) полное сопротивление цепи равно активному сопротивлению  $Z = R$ ;
- б) ток в цепи совпадает по фазе с напряжением источника и имеет максимальное значение;
- в) напряжение на индуктивной катушке равно напряжению на конденсаторе и каждое в отдельности превышает напряжение источника;
- г) коэффициент мощности  $\cos \varphi = 1$ .

На рис. 8 изображены примерные функциональные зависимости индуктивных и емкостных напряжений, тока и коэффициента мощности в зависимости от изменения ёмкости конденсатора, где  $C_p$  – резонансная ёмкость.

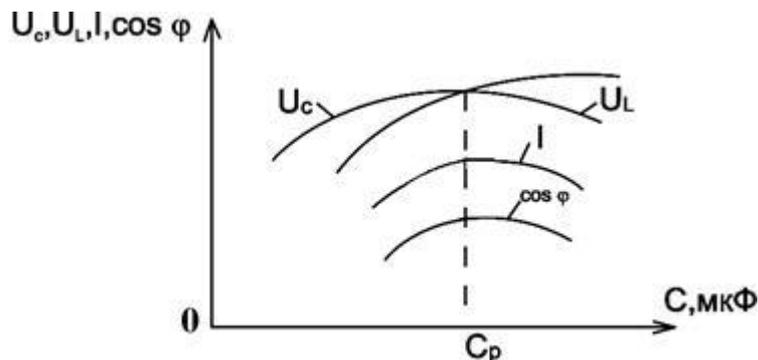


Рис. 8. Примерное изображение зависимостей  $U_L, U_C, I, \cos \varphi$  от изменения ёмкости конденсатора  $C$

Количественная оценка соотношения энергий источника, катушки индуктивности и конденсатора при резонансе напряжений характеризуется добротностью контура:

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{X_L}{R} = \frac{X_C}{R}. \quad (2.35)$$

Величину  $Z_\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$  при резонансе называют волновым сопротивлением контура  $i = I_m \sin \omega t$ .

### Пример расчета

Рассмотрим электрическую цепь, показанную на рисунке 9. Цепь питается от источника синусоидального тока с частотой 200 Гц и напряжением  $U=120$  В. Дано:  $R = 4$  Ом,  $L = 6,37$  мГн,  $C = 159$  мкФ.

Вычислить ток в цепи, напряжения на всех участках, активную, реактивную, и полную мощности. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.

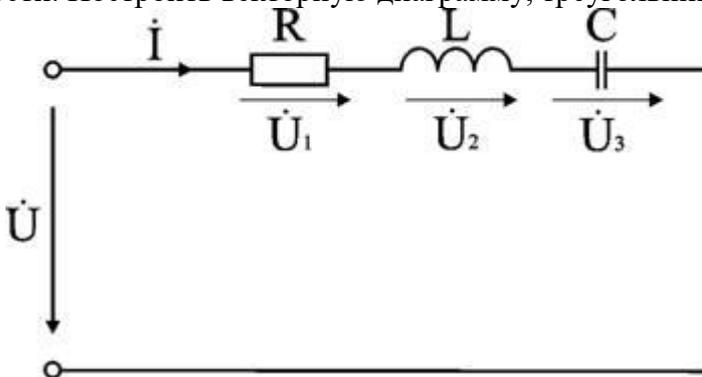


Рисунок 9. Электрическая схема цепи

#### Анализ и решение задачи 1

1. Вычисление сопротивлений участков и всей цепи

Индуктивное реактивное сопротивление

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 6,37 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ Ом.}$$

Емкостное реактивное сопротивление

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 200 \cdot 159 \cdot 10^{-6}} = 5 \text{ Ом.}$$

Реактивное и полное сопротивления всей цепи:

$$X = X_L - X_C = 8 - 5 = 3 \text{ Ом; } Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом.}$$

2. Ток в цепи

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{120}{5} = 24 \text{ А.}$$

Напряжения на участках:

$$U_1 = RI = 96 \text{ В; } U_2 = X_L I = 192 \text{ В; } U_3 = X_C I = 120 \text{ В.}$$

3. Вычисление мощностей

Активная мощность

$$P = RI^2 = U_1 I = 2304 \text{ Вт.}$$

Реактивные мощности:

$$Q_L = X_L I^2 = U_2 I = 4608 \text{ вар; } Q_C = X_C I^2 = U_3 I = 2880 \text{ вар.}$$

Полная мощность цепи

$$S = UI = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = 2880 \text{ ВА.}$$

#### 4. Расчет цепи методом комплексных чисел

Запишем в комплексном виде сопротивление каждого элемента и всей цепи

$$R = 4e^{j0} = 4\text{Ом}; X_L = 8e^{+j90^\circ} = j8\text{Ом}; X_C = 5e^{-j90^\circ} = -j5\text{Ом}.$$

$$Z = R + j(X_L - X_C) = 4 + j(8 - 5)\text{Ом}.$$

На комплексной плоскости в масштабе: в 1 см – 2 Ом, построим треугольник сопротивлений (рис. 10, а).

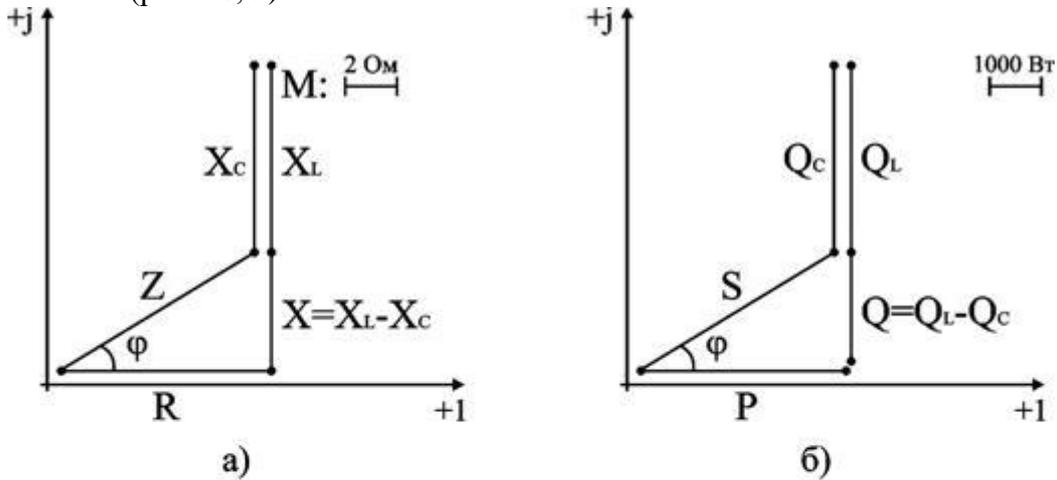


Рисунок 10. Треугольник сопротивлений, треугольник мощностей и векторная диаграмма

Из треугольника определим величину полного сопротивления  $Z$  и угол фазового сдвига  $\varphi$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 5 \text{ Ом};$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{3}{4} = 37^\circ.$$

В показательной форме полное сопротивление всей цепи запишется в виде

$$\underline{Z} = Ze^{+j\varphi} = 5e^{+j37^\circ} \text{ Ом}.$$

Примем начальную фазу приложенного к цепи напряжения за нуль и определим по закону Ома ток в данной цепи

$$\dot{I} = \dot{U} / \underline{Z} = 120e^{+j0^\circ} / 5e^{+j37^\circ} \text{ А}.$$

Следовательно, в данной цепи ток отстает по фазе от напряжения на угол  $\varphi$ . Зная величину тока  $I$ , определим мощности для отдельных элементов и всей цепи.

$$P = 2304 \text{ Вт}; Q_L = 4608 \text{ вар}; Q_C = 2880 \text{ вар}.$$

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}.$$

Треугольник мощностей в масштабе: в 1 см – 1000 Вт (вар); (ВА), построим (рис. 10, б) на основе выражения для полной мощности

$$S^2 = P^2 + (Q_L - Q_C)^2.$$

Для построения векторных диаграмм по току и напряжениям примем начальную фазу тока равной нулю, т.к. ток  $I$  в данной схеме является одним и тем же для всех элементов в цепи.

$$\dot{I} = \dot{I}e^{+j0^\circ} / 24e^{+j0^\circ} \text{ А.}$$

Запишем выражения для напряжений в комплексной форме

$$\dot{U}_1 = R\dot{I} = 96e^{+j0^\circ} \text{ В}; \dot{U}_2 = X_L\dot{I} = 192e^{+j90^\circ} \text{ В};$$

$$\dot{U}_3 = X_C\dot{I} = 120e^{-j90^\circ} \text{ В}; \dot{U} = \underline{Z}\dot{I} = 120e^{+j37^\circ} \text{ В.}$$

Выберем масштабы для векторной диаграммы: в 1 см – 6 А; в 1 см – 50 В. Векторная диаграмма напряжений строится на основе второго закона Кирхгофа для данной цепи

$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3.$$

Векторная диаграмма цепи показана на рисунке 10, в. При последовательном соединении элементов построение диаграммы начинают с вектора тока  $\dot{I}$ , по отношению к которому ориентируются вектора напряжений на участках цепи: напряжение на активном сопротивлении  $\dot{U}_1$  совпадает с ним по направлению, напряжение на индуктивности  $\dot{U}_2$  опережает его на  $90^\circ$ , на емкости отстает на  $90^\circ$ . Полное напряжение  $\dot{U}$  строится как их векторная сумма.

Выполнить расчет по данным, приведенным в таблице 1 (по варианту).

Таблица 1

| Номер варианта | Напряжение, $U$ , В | Частота, $f$ , Гц | Активное сопротивление, $R$ , Ом | Ёмкость, $C$ , мкФ | Индуктивность, $L$ , мГн |
|----------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1              | 30                  | 200               | 8                                | 210                | 20                       |
| 2              | 40                  | 200               | 7                                | 250                | 30                       |
| 3              | 50                  | 200               | 6                                | 20                 | 45                       |
| 4              | 60                  | 200               | 9                                | 28                 | 15                       |
| 5              | 70                  | 200               | 10                               | 130                | 22                       |
| 6              | 80                  | 200               | 5                                | 150                | 63                       |
| 7              | 90                  | 200               | 9                                | 160                | 31                       |
| 8              | 100                 | 200               | 12                               | 130                | 46                       |
| 9              | 110                 | 200               | 14                               | 235                | 51                       |
| 10             | 120                 | 200               | 10                               | 180                | 62                       |
| 11             | 130                 | 200               | 8                                | 160                | 71                       |
| 12             | 140                 | 200               | 7                                | 140                | 31                       |
| 13             | 30                  | 200               | 6                                | 230                | 28                       |
| 14             | 40                  | 200               | 9                                | 210                | 37                       |
| 15             | 50                  | 200               | 10                               | 230                | 54                       |
| 16             | 60                  | 200               | 5                                | 180                | 65                       |
| 17             | 70                  | 200               | 9                                | 220                | 94                       |
| 18             | 80                  | 200               | 12                               | 140                | 33                       |
| 19             | 90                  | 200               | 14                               | 150                | 44                       |
| 20             | 100                 | 200               | 10                               | 155                | 55                       |
| 21             | 110                 | 200               | 8                                | 180                | 43                       |
| 22             | 120                 | 200               | 7                                | 165                | 57                       |
| 23             | 130                 | 200               | 6                                | 190                | 68                       |
| 24             | 140                 | 200               | 9                                | 162                | 35                       |
| 25             | 100                 | 200               | 10                               | 198                | 64                       |

4. Сделать выводы по работе

5. Оформить отчет.

### Вопросы для подготовки

1. Какими параметрами характеризуются синусоидальный ток или напряжение?
2. Каково соотношение между амплитудным и действующим значениями величин, изменяющихся во времени по синусоидальному закону?
3. С какими физическими процессами связаны понятия активного сопротивления, активной мощности? Построить векторную диаграмму напряжения и тока для участка цепи.
4. С какими физическими процессами связаны понятия реактивного сопротивления, реактивной мощности? Как величина индуктивного и емкостного реактивных сопротивлений зависит от частоты питающего напряжения?
5. Построить векторные диаграммы для участков цепи с идеальной индуктивностью и идеальной емкостью.
6. Как определяют активное, реактивное и полное сопротивления цепи, содержащей несколько последовательно включенных элементов?
7. Привести формулы для расчета активной, реактивной и полной мощностей цепи.
8. Построить треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей для участка цепи с последовательным соединением  $R$  и  $L$ , с последовательным соединением  $R$  и  $C$ .
9. Построить векторную диаграмму для цепи, содержащей несколько последовательно включенных элементов.

### Практическая работа №8

#### Тема «Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии звездой»

**Цель работы:** закрепить знания методов расчета параметров трехфазных цепей.

#### Краткие теоретические сведения

Электрические цепи, которые состоят из совокупности переменных ЭДС одной частоты и сдвинутых по фазе друг относительно друга на треть периода называют трехфазной системой переменного тока. Однофазная цепь, входящая в систему данной многофазной цепи называется *фазой*.

В трехфазных системах обмотки генератора и приемника электроэнергии соединяют по схемам звезда или треугольник. Если нагрузки (приемники) соединены в трехфазную цепь по схеме звезда, то к сопротивлениям нагрузки приложены фазные напряжения. Линейные токи равны фазным и определяются по закону Ома:

$$I_A = \frac{U_A}{R_A}; I_B = \frac{U_B}{R_B}; I_C = \frac{U_C}{R_C};$$

а ток в нейтральном проводе равен сумме этих токов:  $I_N = I_A + I_B + I_C$ .

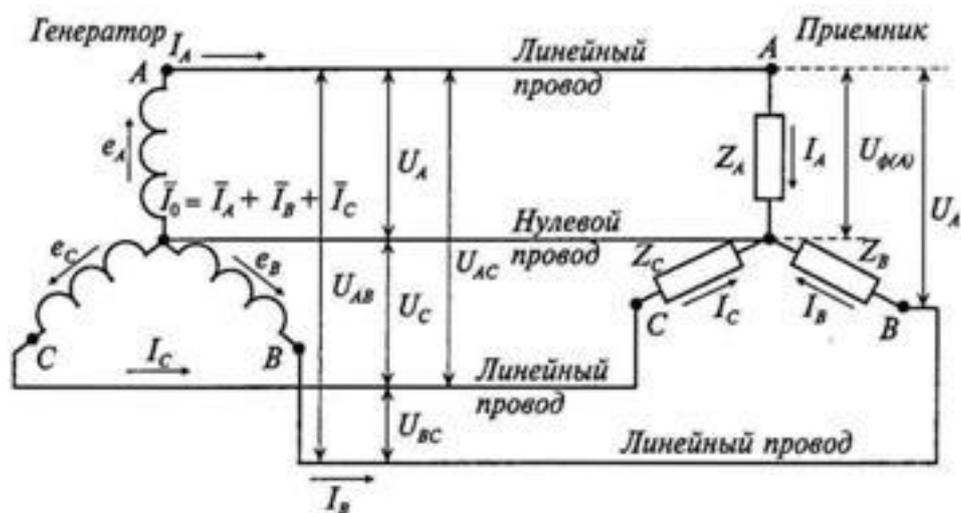


Рисунок 1. Соединение приемников электроэнергии звездой

При симметричных напряжениях  $U_A, U_B, U_C$  и одинаковых сопротивлениях  $R_A = R_B = R_C = R$  токи  $I_A, I_B, I_C$  также симметричны и их векторная сумма ( $I_N$ ) равна нулю. Тогда:  $I_{Л} = I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{R}, I_N = 0$ , а напряжение  $U_{Л} = \sqrt{3}U_{\phi}$ .

Векторные диаграммы для активной нагрузки имеют вид:

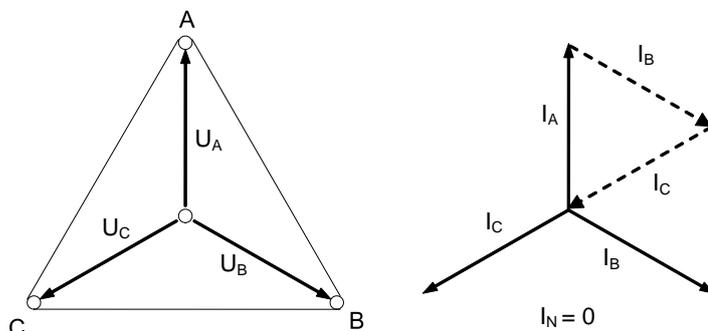


Рисунок 2. Векторные диаграммы при соединении приемников электроэнергии звездой. Активная мощность трёхфазной нагрузки складывается из мощностей фаз:

$$\sum P = P_A + P_B + P_C$$

Когда нагрузка симметричная и чисто активная, имеем

$$\sum P = P_A + P_B + P_C = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi}.$$

При смешанной (активно-индуктивной или активно-емкостной) нагрузке:

$$\text{активная мощность } \sum P = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л} \cos \varphi,$$

$$\text{реактивная мощность } \sum Q = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л} \sin \varphi,$$

$$\text{полная мощность } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л}.$$

### Пример выполнения расчета

1. Начертить исходную схему

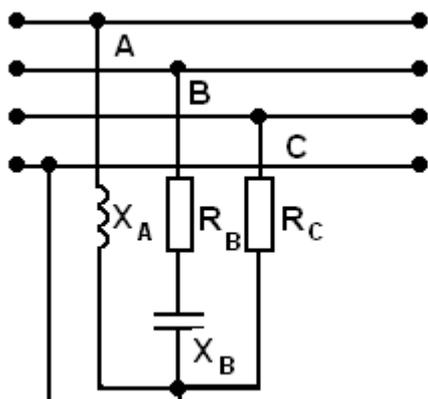


Рисунок 3. Схема для расчета

| Вариант | $R_B,$<br>Ом | $R_C,$<br>Ом | $L_A,$<br>мГн | $C_B,$<br>мкФ | $U_{Л},$<br>В | $f,$<br>Гц |
|---------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| 1       | 8            | 5            | 31,8          | 600           | 380           | 50         |

2. Определить фазные напряжения:  
В четырехпроводной цепи при любой нагрузке фаз выполняется соотношение:

$$U_\phi = U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{Л}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

3. Определить сопротивление индуктивного элемента  $L_A$ :

$$X_A = 2\pi \cdot f \cdot L_A = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 31,8 \cdot 10^{-3} = 10 \text{ Ом}$$

4. Определить сопротивление емкостного элемента  $C_B$ :

$$X_B = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_B} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 10^{-6}} = 6 \text{ Ом}$$

5. Определить полное сопротивление в фазе  $B$  и угол сдвига фаз:

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}, \quad \cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{8}{10} = 0,8; \quad \varphi \approx 36^\circ.$$

6. Найти фазные токи, применяя закон Ома для участка цепи:

$$I_A = \frac{U_A}{X_A} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}, \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}, \quad I_C = \frac{U_C}{R_C} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А}.$$

7. Определить активную мощность фаз:

$$P_A = I_A^2 \cdot R_A = 0 \text{ Вт}, \quad P_B = I_B^2 \cdot R_B = 22^2 \cdot 8 = 3872 \text{ Вт}, \quad P_C = I_C^2 \cdot R_C = 44^2 \cdot 5 = 9680 \text{ Вт},$$

$$\Sigma P = P_A + P_B + P_C = 3872 + 9680 = 13552 \text{ Вт}.$$

8. Определить реактивную мощность фаз:

$$Q_A = I_A^2 \cdot X_A = 22^2 \cdot 10 = 4840 \text{ вар}, \quad Q_B = I_B^2 \cdot X_B = 22^2 \cdot 6 = 2904 \text{ вар}, \quad Q_C = I_C^2 \cdot X_C = 0 \text{ вар},$$

$$\Sigma Q = Q_A + Q_B + Q_C = 4840 - 2904 = 1936 \text{ вар}.$$

9. Полная мощность трехфазной цепи равна:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{13552^2 + 1936^2} = 13686 \text{ ВА} = 13,7 \text{ кВА}$$

Построим векторную диаграмму для задачи (рис.4).

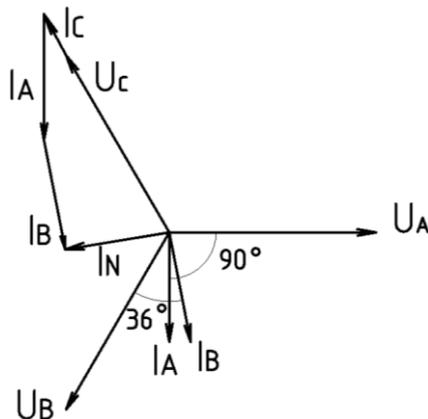


Рисунок 4. Векторная диаграмма

### Задание для расчета

1. В трехфазную четырех проводную сеть включили звездой несимметричную нагрузку: в фазу  $A$  – индуктивный элемент с индуктивностью  $L_A$ , в фазу  $B$  – резистор с сопротивлением  $R_B$ , и емкостный элемент с емкостью  $C_B$ , в фазу  $C$  – резистор с сопротивлением  $R_C$  (рисунок 3). Линейное напряжением сети  $U_{\text{Л}}$ . Определить фазные токи  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ , активную мощность цепи  $P$ , реактивную мощность  $Q$  и полную мощность  $S$ .

| Вариант | $R_B$ ,<br>Ом | $R_C$ ,<br>Ом | $L_A$ ,<br>мГн | $C_B$ ,<br>мкФ | $U_{\text{н}}$ ,<br>В | $f$ ,<br>Гц |
|---------|---------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|-------------|
| 1       | 25            | 5             | 10             | 100            | 380                   | 50          |
| 2       | 5             | 10            | 20             | 200            | 220                   | 50          |
| 3       | 10            | 15            | 15             | 300            | 380                   | 50          |

|    |    |    |    |     |     |    |
|----|----|----|----|-----|-----|----|
| 4  | 15 | 20 | 25 | 400 | 220 | 50 |
| 5  | 20 | 25 | 12 | 500 | 380 | 50 |
| 6  | 25 | 5  | 24 | 600 | 220 | 50 |
| 7  | 5  | 10 | 22 | 700 | 380 | 50 |
| 8  | 10 | 15 | 14 | 800 | 220 | 50 |
| 9  | 15 | 20 | 18 | 900 | 380 | 50 |
| 10 | 20 | 25 | 30 | 100 | 220 | 50 |
| 11 | 10 | 8  | 8  | 300 | 380 | 50 |
| 12 | 15 | 16 | 10 | 200 | 220 | 50 |
| 13 | 20 | 22 | 14 | 600 | 380 | 50 |
| 14 | 25 | 31 | 33 | 500 | 220 | 50 |
| 15 | 30 | 25 | 28 | 400 | 380 | 50 |
| 16 | 5  | 16 | 26 | 200 | 220 | 50 |
| 17 | 10 | 21 | 24 | 100 | 380 | 50 |
| 18 | 15 | 25 | 20 | 600 | 220 | 50 |
| 19 | 20 | 28 | 17 | 800 | 380 | 50 |
| 20 | 30 | 30 | 16 | 400 | 220 | 50 |
| 21 | 25 | 22 | 30 | 300 | 220 | 50 |
| 22 | 5  | 32 | 42 | 200 | 380 | 50 |
| 23 | 20 | 17 | 38 | 400 | 220 | 50 |
| 24 | 30 | 20 | 36 | 500 | 380 | 50 |
| 25 | 40 | 23 | 31 | 600 | 220 | 50 |

2. Сделать выводы по работе
3. Оформить отчет.

### Практическая работа №9

#### Тема «Расчет трехфазных цепей при соединении приемников электроэнергии треугольником»

**Цель работы:** закрепить знания методов расчета параметров трехфазных цепей переменного тока.

#### Краткие теоретические сведения

Если нагрузки (приемники) соединены в трехфазную цепь по схеме «треугольник», нагрузка  $R_{AB}$ ,  $R_{BC}$  и  $R_{CA}$  каждой фазы включается на полное линейное напряжение, которое равно фазному:  $U_{\phi} = U_{л}$ .

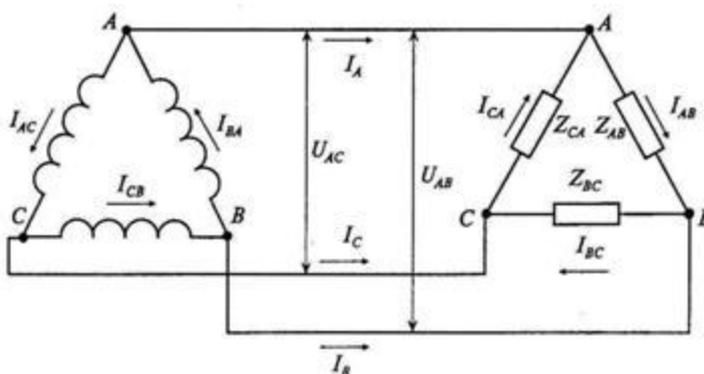


Рисунок 1. Соединение приемников электроэнергии треугольником

Фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$  и  $I_{CA}$  определяются по закону Ома:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}; I_{BC} = \frac{U_{BC}}{R_{BC}}; I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}};$$

Линейные токи определяются по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA}; I_B = I_{BC} - I_{AB}; I_C = I_{CA} - I_{BC}.$$

При симметричных напряжениях  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  и одинаковых нагрузках фаз  $R_{AB} = R_{BC} = R_{CA} = R$  токи также симметричны:  $I_{Л} = \sqrt{3}I_{\phi} = \sqrt{3}\frac{U_{\phi}}{R}$ .

Векторные диаграммы для активной нагрузки имеют вид:

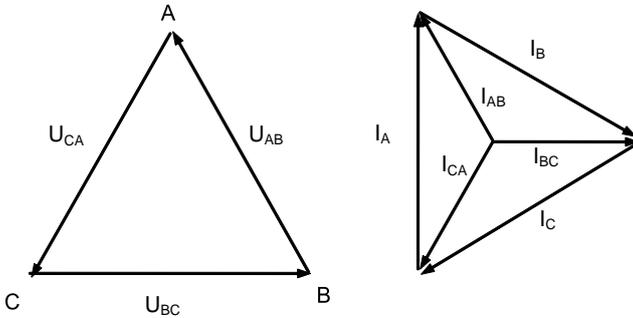


Рисунок 2. Векторные диаграммы при соединении приемников электроэнергии треугольником

Мощность, потребляемая трехфазной нагрузкой при ее соединении в «треугольник», складывается из мощностей фаз

$$\sum P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}$$

При симметричной или чисто активной нагрузке

$$\sum P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi}I_{\phi}.$$

При смешанной (активно-индуктивной или активно-емкостной) нагрузке:

$$\text{активная мощность } \sum P = 3U_{\phi}I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л} \cos \varphi,$$

$$\text{реактивная мощность } \sum Q = 3U_{\phi}I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л} \sin \varphi,$$

$$\text{полная мощность } S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 3U_{\phi}I_{\phi} = \sqrt{3}U_{Л}I_{Л}.$$

полная мощность

### Пример выполнения расчета

1. В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку. В фазу  $AB$  – емкостный элемент  $C_{AB}$ , в фазу  $BC$  – индуктивный элемент с активным сопротивлением  $R_{BC}$  и индуктивностью  $L_{BC}$ , в фазу  $C$  – резистор с сопротивлением  $R_{CA}$ . Линейное напряжение сети  $U_{Л}$ . Определить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ , активную мощность цепи  $P$ , реактивную мощность  $Q$  и полную мощность трехфазной цепи  $S$ .

| Вариант | $R_{BC}$ ,<br>Ом | $R_{CA}$ ,<br>Ом | $L_{BC}$ ,<br>мГн | $C_{AB}$ ,<br>мкФ | $U_{Л}$ ,<br>В | $f$ ,<br>Гц |
|---------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|
| 1       | 4                | 10               | 9,55              | 318,5             | 220            | 50          |

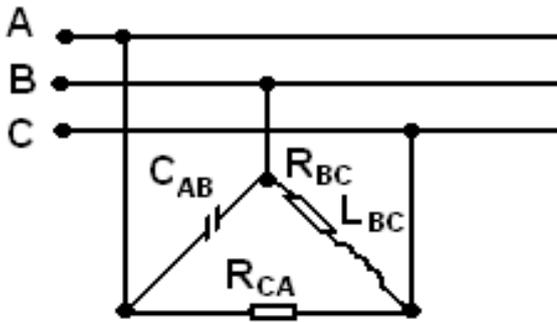


Рисунок 3. Схема для расчета

1. При соединении потребителей треугольником выполняется соотношение:

$$U_{\text{л}} = U_{\phi} = U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = 220 \text{ В}$$

2. Определить сопротивление емкостного элемента в фазе  $AB$ :

$$X_{AB} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C_{AB}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 318,5 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ Ом}$$

3. Определить сопротивление индуктивного элемента в фазе  $BC$ :

$$X_{BC} = 2\pi \cdot f \cdot L_{BC} = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 9,55 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ Ом}$$

4. Определить полное сопротивление фазы  $BC$  и угол сдвига фаз:

$$Z_{BC} = \sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом}, \quad \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{4}{5} = 0,8, \quad \varphi \approx 36^\circ.$$

5. Определить фазные токи, применяя закон Ома для участка цепи:

$$I_{AB} = \frac{U_{AB}}{X_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}, \quad I_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А}, \quad I_{CA} = \frac{U_{CA}}{R_{CA}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}.$$

6. Определить активную мощность фаз:

$$P_{AB} = I_{AB}^2 \cdot R_{AB} = 0 \text{ Вт}, \quad P_{BC} = I_{BC}^2 \cdot R_{BC} = 44^2 \cdot 4 = 7744 \text{ Вт}, \quad P_{CA} = I_{CA}^2 \cdot R_{CA} = 22^2 \cdot 10 = 4840 \text{ Вт},$$

$$\sum P = P_A + P_B + P_C = 7744 + 4840 = 12584 \text{ Вт}.$$

7. Определить реактивную мощность фаз:

$$Q_{AB} = I_{AB}^2 \cdot X_{AB} = 22^2 \cdot 10 = 4840 \text{ вар}, \quad Q_{BC} = I_{BC}^2 \cdot X_{BC} = 44^2 \cdot 3 = 5808 \text{ вар}, \quad Q_{CA} = I_{CA}^2 \cdot X_{CA} = 0 \text{ вар},$$

$$\sum Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = -4840 + 5808 = 968 \text{ вар}.$$

8. Определить полную мощность трехфазной цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{12584^2 + 968^2} = 12638 \text{ ВА} = 12,6 \text{ кВА}$$

Построим векторную диаграмму (рис. 4).

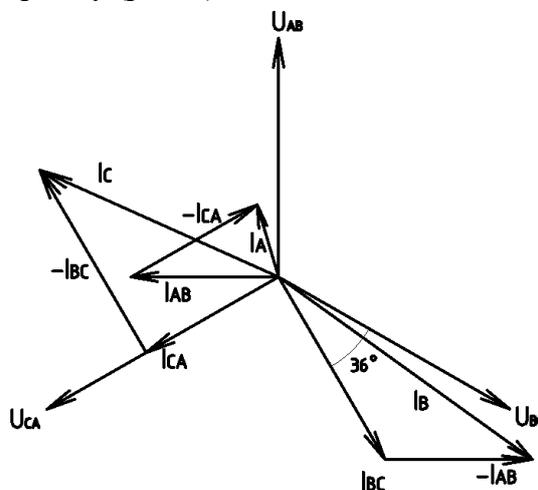


Рисунок 4. Векторная диаграмма

**Задание для расчета**

1. В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку. В фазу  $AB$  – емкостный элемент  $C_{AB}$ , в фазу  $BC$  – индуктивный элемент с активным сопротивлением  $R_{BC}$  и индуктивностью  $L_{BC}$ , в фазу  $CA$  – резистор с сопротивлением  $R_{CA}$  (рисунок 3). Линейное напряжением сети  $U_{Л}$ . Определить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ , активную мощность цепи  $P$ , реактивную мощность  $Q$  и полную мощность трехфазной цепи  $S$ .

| Вариант | $R_{BC}$ ,<br>Ом | $R_{CA}$ ,<br>Ом | $L_{BC}$ ,<br>мГн | $C_{AB}$ ,<br>мкФ | $U_{Л}$ ,<br>В | $f$ ,<br>Гц |
|---------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|
| 1       | 4                | 10               | 10                | 300               | 220            | 50          |
| 2       | 2                | 5                | 12                | 350               | 127            | 50          |
| 3       | 6                | 15               | 14                | 300               | 220            | 50          |
| 4       | 8                | 20               | 16                | 400               | 127            | 50          |
| 5       | 12               | 15               | 18                | 300               | 220            | 50          |
| 6       | 8                | 10               | 20                | 350               | 127            | 50          |
| 7       | 6                | 5                | 18                | 200               | 220            | 50          |
| 8       | 4                | 20               | 10                | 300               | 127            | 50          |
| 9       | 2                | 15               | 14                | 350               | 220            | 50          |
| 10      | 4                | 5                | 12                | 250               | 127            | 50          |
| 11      | 7                | 14               | 10                | 200               | 220            | 50          |
| 12      | 6                | 15               | 15                | 300               | 127            | 50          |
| 13      | 12               | 13               | 13                | 400               | 220            | 50          |
| 14      | 10               | 12               | 14                | 300               | 127            | 50          |
| 15      | 15               | 11               | 12                | 500               | 220            | 50          |
| 16      | 14               | 8                | 16                | 600               | 127            | 50          |
| 17      | 9                | 9                | 18                | 100               | 220            | 50          |
| 18      | 8                | 14               | 17                | 400               | 127            | 50          |
| 19      | 5                | 17               | 19                | 200               | 220            | 50          |
| 20      | 11               | 15               | 20                | 300               | 127            | 50          |
| 21      | 10               | 13               | 12                | 600               | 220            | 50          |
| 22      | 14               | 16               | 15                | 250               | 127            | 50          |
| 23      | 7                | 15               | 14                | 350               | 220            | 50          |
| 24      | 8                | 12               | 17                | 400               | 127            | 50          |
| 25      | 10               | 11               | 18                | 300               | 220            | 50          |

2. Сделать выводы по работе

3. Оформить отчет.

#### 4. Информационное обеспечение обучения

##### Перечень рекомендуемых учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

###### Основные источники:

1. Евдокимов Ф.Е. Общая электротехника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / – 5-е изд., – М: «Энергия», 2016. – 488с.
2. Зайчик М.Ю. Сборник задач и упражнений по теоретической электротехнике: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2017. – 496 с.: ил
3. Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студ. учреждений среднего проф. образования / М.М. Кацман. - М.: ИЦ Академия, 2016. - 496 с.
4. Козлова И. С. Основы электротехники: учебное пособие для СПО / И. С. Козлова. — Саратов: Научная книга, 2019. — 159 с. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/87079.html> – Режим доступа: для авторизир. пользователей
5. Морозова Н. Ю. Электротехника и электроника: учебник для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / Н. Ю. Морозова. - Москва : Академия, 2017. - 255, [1] с. : ил.
6. Панфилов В.А. Аналоговые методы и средства электрических измерений / В.А. Панфилов. – М.: Энергопресс, 2016. – 112 с.
7. Ярочкина Г.В. Основы электротехники: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Ярочкина Г.В.– 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2016. – 240с.

###### Дополнительные источники

1. Аполлонский, С.М. Электротехника.: учебник / Аполлонский С.М. — Москва: КноРус, 2020. — 292 с. — (СПО). — URL: <https://book.ru/book/933657> – Текст: электронный.
2. Москаленко В.В. Электрический привод. /Москаленко В.В. - М: «Академия», 2016. – 235с.
3. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник для студ. образ. учреж. СПО.-М.: Академия, 2017. – 324с.
4. Полупроводниковые приборы. Диоды, тиристоры, оптоэлектронные приборы: Справочник Под ред. Перельманы Б.А. - М.: «Радио и связь», 2016 г.
5. Хромоин П.К. Электротехнические измерения : учебное пособие / П.К. Хромоин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2019. — 288 с. — (Среднее профессиональное образование). - Текст : электронный. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/1071959>

###### Интернет-ресурсы (И-Р)

Нормативно-техническая литература «Трансинфо» [www.transinfo.ru](http://www.transinfo.ru)

Департамент внутренней и кадровой политики Белгородской области  
Областное государственное автономное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Белгородский индустриальный колледж»

по специальности  
**10.02.04 Обеспечение информационной безопасности  
телекоммуникационных систем**

Группа **11 БТС**

**ЖУРНАЛ ОТЧЕТОВ**  
по выполнению практических работ  
учебной дисциплины  
**ОП.02 Электротехника**  
по специальности  
**10.02.04 Обеспечение информационной безопасности  
телекоммуникационных систем**

ВЫПОЛНИЛ \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

ПРИНЯЛ \_\_\_\_\_ / Феоктистова В.Н. /

Белгород 2019 г.