

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна  
Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского  
федерального университета  
Дата подписания: 22.08.2023 17:24:53  
Уникальный программный ключ:  
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

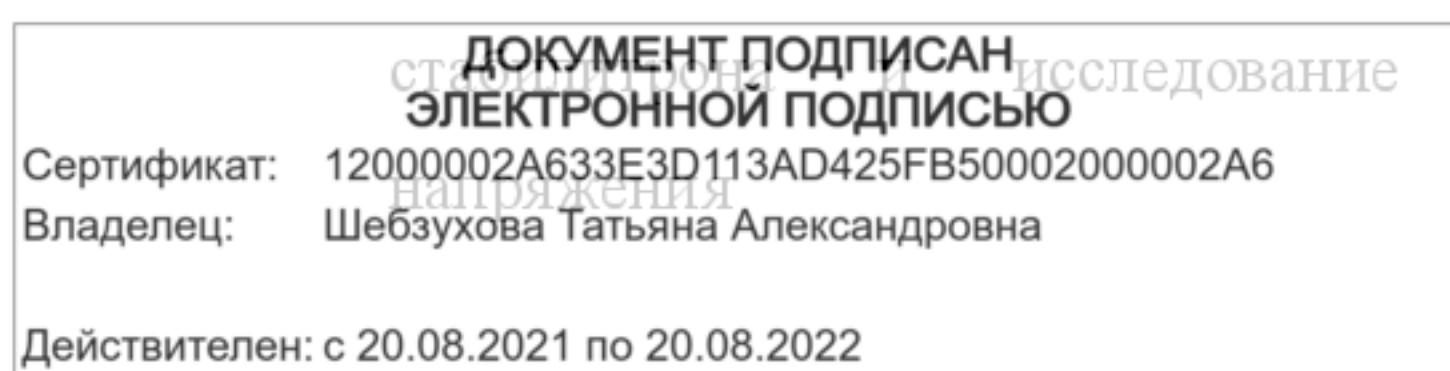
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

**Методические указания**  
по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
(ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ)»  
для студентов направления подготовки  
08.03.01 Строительство, Городское строительство и хозяйство

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

| №<br>п/п | Содержание                                                                                                                                                              | Стр. |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                                                                |      |
| 1.       | Цель и задачи изучения дисциплины                                                                                                                                       |      |
| 2.       | Оборудование и материалы                                                                                                                                                |      |
| 3.       | Наименование лабораторных работ                                                                                                                                         |      |
| 4.       | Содержание лабораторных работ                                                                                                                                           |      |
| 4.1      | Лабораторная работа №1. Исследование сложных цепей постоянного тока                                                                                                     |      |
| 4.2      | Лабораторная работа №2. Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Резонанс напряжений                                             |      |
| 4.3      | Лабораторная работа №3. Электрическая цепь синусоидального тока при параллельном включении активного и реактивных сопротивлений.                                        |      |
| 4.4      | Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной системы при соединении потребителей звездой                                                                             |      |
| 4.5      | Лабораторная работа №5. Трехфазная цепь при соединении потребителей по схеме треугольник                                                                                |      |
| 4.6      | Лабораторная работа №6. Испытание однофазного трансформатора                                                                                                            |      |
| 4.7      | Лабораторная работа №7. Испытание трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором                                                                  |      |
| 4.7.1    | Часть 1. Снятие и определение характеристик холостого хода $I_0=f(U)$ , $P_0=f(U)$ , $\cos\varphi_0=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором |      |
| 4.7.2    | Часть 2. Пуск в ход трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым / фазным ротором с регистрацией и отображением режимных параметров на компьютер               |      |
| 4.7.3    | Часть 3. Снятие и определение характеристик короткого замыкания $I_K=f(U)$ , $P_K=f(U)$ , $Z_K=f(U)$ трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором      |      |
| 7.8      | Лабораторная работа №8. Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах                                                            |      |
| 4.9      | Лабораторная работа №9. Определение основных характеристик параметрического стабилизатора                                                                               |      |



- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
  - 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины
  - 5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
  - 5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины
- Приложения

108

## Введение

Целью работы в лаборатории является углубление и закрепление приобретенных теоретических знаний путем экспериментальной проверки теоретических положений, а также знакомство с электронными компонентами, оборудованием, измерительными приборами и аппаратурой, используемыми в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ студенты должны приобрести умения и навыки по сборке и исследованию электронных схем и приборов, измерениям электрических величин. Тематика лабораторных работ полностью соответствует содержанию основных разделов курса, изучаемого в высших технических учебных заведениях. В предлагаемом учебном пособии описано одиннадцать лабораторных работ. В описании каждой лабораторной работы сформулирована ее цель, изложены основные теоретические положения, описана схема установки для проведения экспериментального исследования, даны рекомендации по проведению опытов и обработке результатов измерений, а также контрольные вопросы.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)» является формирование знаний в области теории, расчета и анализа электрических и магнитных цепей, рассматриваемых как модели реальных электротехнических устройств, используемых в строительстве.

Задачи освоения дисциплины являются:

- изучить основные положения теории и практики расчета однофазных и трехфазных электрических цепей, электротехническую символику и терминологию;
- получить практические навыки расчета электрических цепей, используемых в профессиональной практике;
- научиться пользоваться достижениями современной электротехнической науки в своей профессиональной деятельности.

## 2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства:

- Комплект типового лабораторного оборудования «Электротехнические машины»
- Комплект типового лабораторного оборудования «Теоретические основы электротехники»
- Учебный стенд «Теория электрических цепей и основы электротехники»

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения. Переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

## 3. Наименование лабораторных работ

| № Темы дисциплины | Наименование тем дисциплины, их краткое содержание                                                                    | Объем часов | Из них практическая подготовка, часов |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 5 семестр         |                                                                                                                       |             |                                       |
|                   | <b>Лабораторная работа № 1.</b> Исследование сложных цепей постоянного тока. Получить практические навыки сборки схем | 1,5         |                                       |
|                   | исследования цепи постоянного тока с использованием закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа.                   |             |                                       |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |                                               |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|
| 2 | <p><b>Лабораторная работа № 2.</b> Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Резонанс напряжений.</p> <p>Опытная проверка основных соотношений для последовательной цепи переменного тока, обладающей активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.</p>                                                                                                                                                            |     |                                               |
| 3 | <p><b>Лабораторная работа № 3.</b> Электрическая цепь синусоидального тока при параллельном включении активного и реактивных сопротивлений.</p> <p>Экспериментальная проверка зависимости активного и реактивных сопротивлений от частоты, а также соотношений между напряжением, сопротивлениями, проводимостями и токами в цепи с параллельно включенными активным сопротивлением, катушкой индуктивности и конденсатором.</p>                              | 1,5 | Виртуальная лабораторная работа (эксперимент) |
| 4 | <p><b>Лабораторная работа № 4.</b> Исследование трехфазной системы при соединении потребителей звездой.</p> <p>Ознакомиться опытным путем с особенностями соединения звездой приемников электрической энергии в цепи трехфазного тока. Исследовать режимы равномерной и неравномерной нагрузок, а также работу системы при обрыве одной из фаз. Получить практические навыки расчета и испытания трехфазных цепей, а также построения векторных диаграмм.</p> |     |                                               |
| 5 | <p><b>Лабораторная работа № 5.</b> Трехфазная цепь при соединении потребителей по схеме треугольник.</p> <p>Исследовать особенности работы трехфазной цепи при соединении симметричного и несимметричного потребителей треугольником, усвоить построение векторных диаграмм по результатам эксперимента.</p>                                                                                                                                                  |     |                                               |
| 6 | <p><b>Лабораторная работа № 6.</b> Испытание однофазного трансформатора.</p> <p>Ознакомиться с конструкцией, методами испытания и определения характеристик трансформаторов.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |                                               |
| 7 | <p><b>Лабораторная работа № 7.</b> Испытание трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.</p> <p>Ознакомиться с конструкцией, методами пуска асинхронного электродвигателя.</p>                                                                                                                                                                                                                                                      |     |                                               |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |            |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
| 8 | <p><b>Лабораторная работа № 8.</b> Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах.</p> <p>Снять вольтамперные характеристики выпрямительного диода (типа КД226, 1N5408), импульсного диода (типа КД521, КД522, 1N4148), диода Шотки (типа 1N5819), по характеристикам определить основные параметры и сравнить их. На экране осциллографа пронаблюдать процессы включения и выключения диода, определить время включения и выключения.</p> |          |            |
| 9 | <p><b>Лабораторная работа № 9.</b> Определение основных характеристик стабилитрона и исследование параметрического стабилизатора напряжения.</p> <p>Снять с помощью осциллографа вольтамперную характеристику и определить напряжение стабилизации U<sub>СТ</sub> стабилитрона. Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилитрона от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.</p>                                                    |          |            |
|   | <b>Итого за 5 семестр:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>3</b> | <b>1,5</b> |
|   | <b>Итого:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>3</b> | <b>1,5</b> |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

#### 4. Содержание лабораторных работ

##### Лабораторная работа №1. Исследование сложных цепей постоянного тока

**Цель работы:** Получить практические навыки сборки схем для экспериментальной проверки и расчета цепей постоянного тока с использованием закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа.

##### Основы теории:

Сложной цепью постоянного тока называют электрическую цепь, состоящую из нескольких сопротивлений и источников напряжения, соединенных между собой тем или иным способом.

Узлом электрической цепи называется место соединения трех и более ветвей цепи. При наличии в схеме  $n$  таких узлов можно составить  $(n - 1)$  уравнений согласно первому закону Кирхгофа. В соответствии с этим законом сумма токов, подходящих к узлу, равна сумме токов, отходящих от узла, или алгебраическая сумма всех токов в узле равна нулю, т.е.  $\sum I = 0$ . При этом необходимо токи, подходящие к узлу, записывать в уравнение с одним знаком (например «+»), а токи, отходящие от узла – с противоположным знаком.

При последовательном соединении нескольких сопротивлений (рис. 1.1 а) общее сопротивление участка равно сумме всех сопротивлений на этом участке:  $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$ . Ток на участке цепи с несколькими последовательно соединенными сопротивлениями будет равен (по закону Ома):

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}}$$

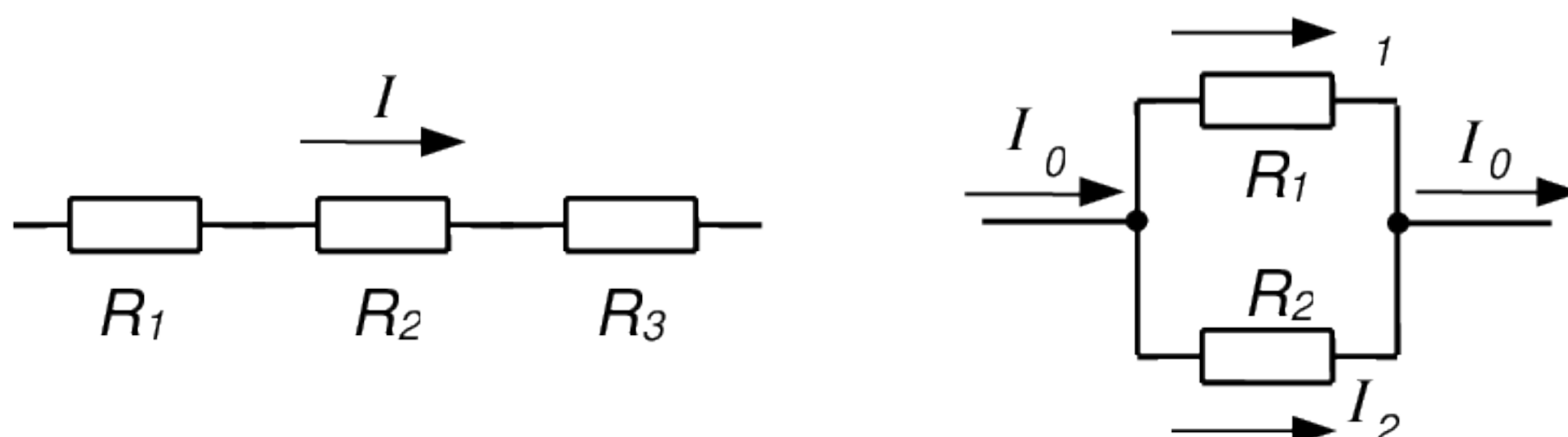
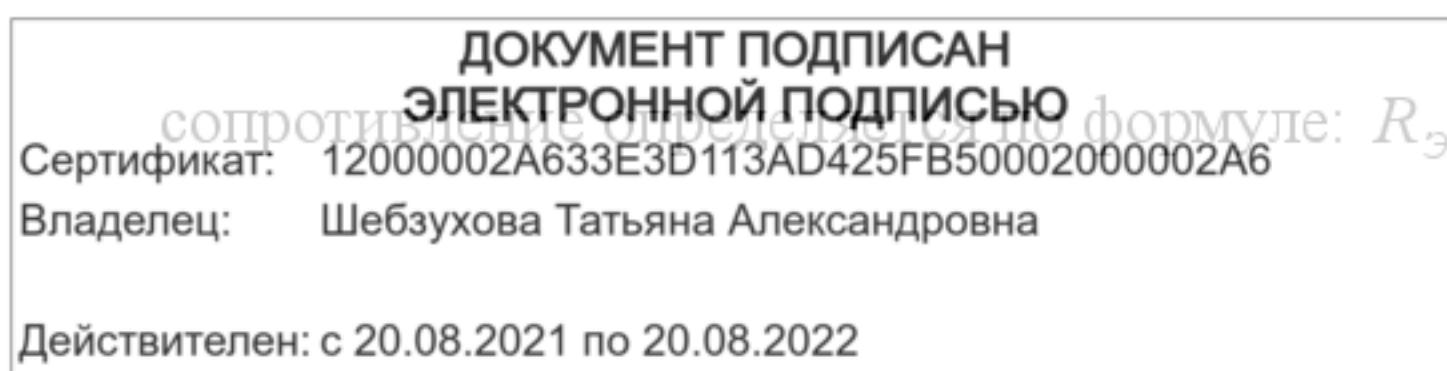


Рисунок 1.1 – Последовательное (а) и параллельное (б) соединение сопротивлений

При параллельном соединении двух сопротивлений (рис. 1, б) эквивалентное



сопротивление определяется по формуле:  $R_{\Sigma} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .

Если известен ток  $I_0$ , протекающий по неразветвленной части цепи, то токи  $I_1$  и  $I_2$  в сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$  можно определить по формулам:

$$I_1 = I_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

При трех параллельно включенных сопротивлениях (рис. 1.2) эквивалентное сопротивление будет равно:

$$R_{\Sigma} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}.$$

Ветвью электрической цепи называется участок электрической цепи, заключенный между двумя узлами (например, контур  $abefa$  на рис. 1.3).

В каждом контуре между электродвижущими силами (э.д.с.), имеющимися в цепи, и падениями напряжения на отдельных участках существует строго определенная зависимость, определяемая вторым законом Кирхгофа:

$$\Sigma E = \Sigma IR,$$

т.е. алгебраическая сумма электродвижущих сил в данном контуре равна алгебраической сумме падений напряжений на участках цепи этого контура.

Для того, чтобы правильно записать уравнение по второму закону Кирхгофа, необходимо задаться направлением обхода этого контура (например, по ходу часовой стрелки). Если при обходе контура направление э.д.с. совпадает с направлением обхода, то ее записывают в левую часть уравнения со знаком «+», а если ее направление не совпадает с направлением обхода, то ее считают со знаком «-». Аналогично поступают со знаками падений напряжений. Если направление тока на участке цепи совпадает с направлением обхода, то  $IR$  на этом участке записывают со знаком «+», в противном случае – со знаком «-».

Покажем это на примере (рис. 1.3)

1. Для контура  $abefa$ , совершая обход по часовой стрелке, получим:

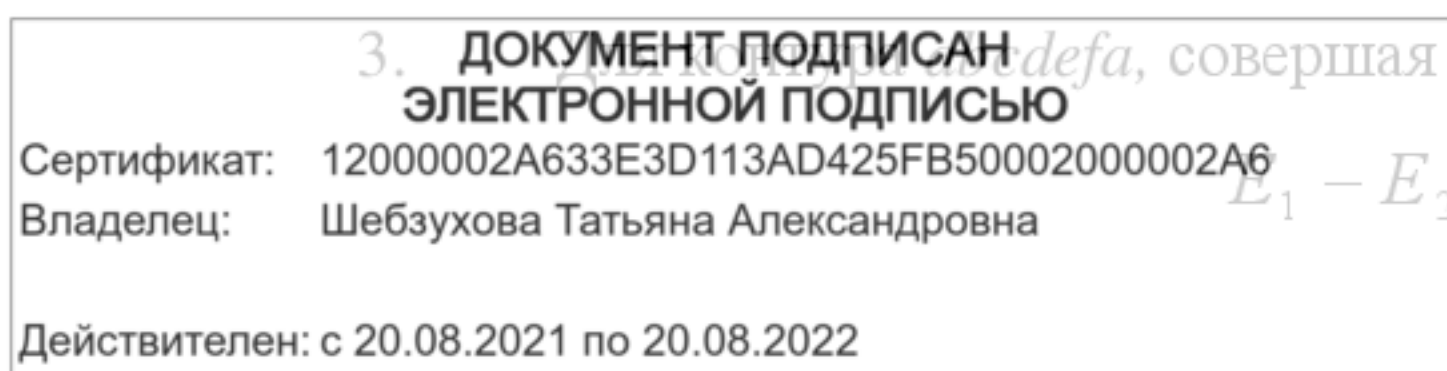
$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

2. Для контура  $bcedb$ , совершая обход против часовой стрелки, получим:

$$E_1 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

3. Для контура  $abceda$ , совершая обход по часовой стрелке, получим:

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$



**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Подобрать приборы, необходимые для выполнения работы, ознакомиться с ними и записать технические данные источников э.д.с., реостатов, измерительных приборов.
2. Собрать схему для проверки первого закона Кирхгофа (рис.1.2). Установить максимальные значения сопротивлений реостатов и измерить после замыкания ключа  $Kл1$  токи в параллельных ветвях и общий ток цепи  $I_0$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

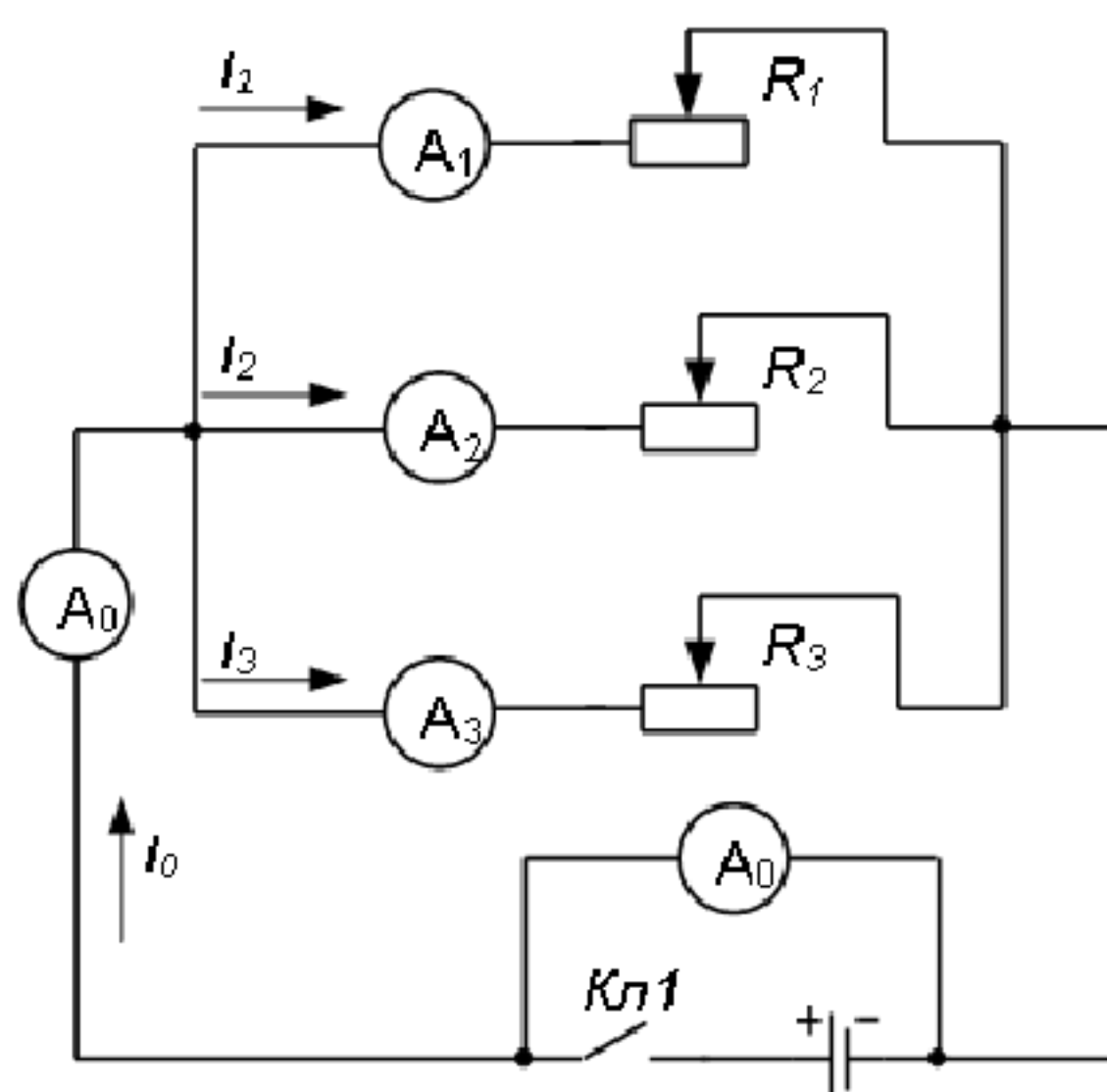


Рисунок 1.2 – Схема для проверки первого закона Кирхгофа

В опыте 1.2 следует передвинуть ползунки реостатов произвольно, наблюдая, чтобы стрелки амперметров не зашкаливали.

Таблица 1.1 – Результаты измерений и вычислений

| № п/п    | Результаты измерений |       |       |       |     | Результаты вычислений |       |       |       |            |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-----|-----------------------|-------|-------|-------|------------|
| Обознач. | $I_0$                | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $U$ | $R_1$                 | $R_2$ | $R_3$ | $R_4$ | $\gamma_0$ |
| Ед. изм. | $A$                  | $A$   | $A$   | $A$   | $B$ | $Ом$                  | $Ом$  | $Ом$  | $Ом$  | $\%$       |
| Опыт 1   |                      |       |       |       |     |                       |       |       |       |            |
| Опыт 2   |                      |       |       |       |     |                       |       |       |       |            |

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

По закону Ома вычислить сопротивление каждого реостата и эквивалентное сопротивление схемы  $R_{\Sigma}$ . Вычислить относительную погрешность измерений  $\gamma_0 \%$  по формуле:

$$\gamma = \frac{I_0 - (I_1 + I_2 + I_3)}{I_0} \cdot 100\%$$

3. Собрать схему (рис. 1.3) для проверки второго закона Кирхгофа.

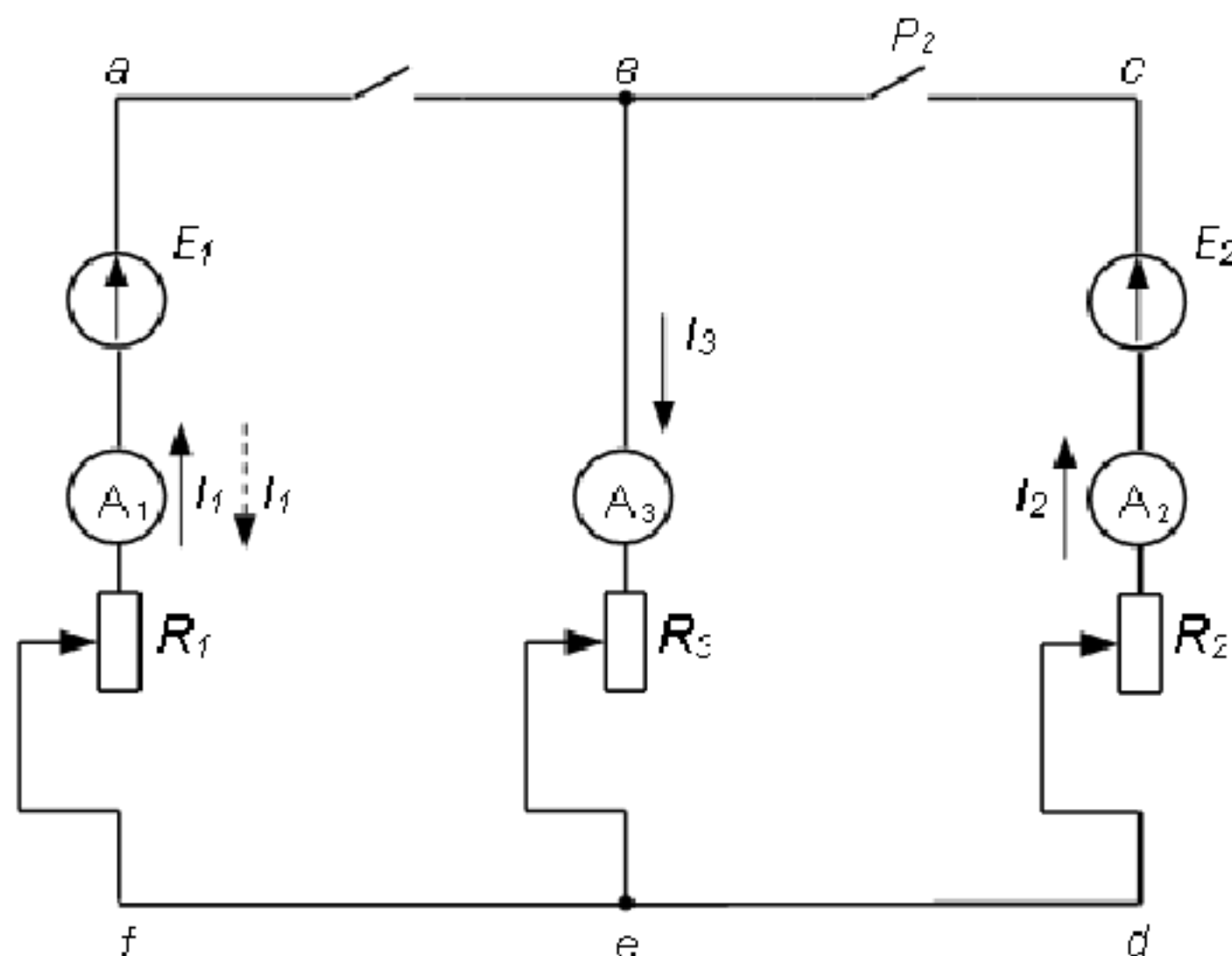


Рисунок 1.3 – Схема для проверки второго закона Кирхгофа

При разомкнутых рубильниках  $P_1$  и  $P_2$  измерить вольтметром величины э.д.с. каждого аккумулятора. Сопротивления реостатов  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  измерить омметром. Токи на отдельных участках цепи измерить для трех случаев:

Опыт 1 – рубильник  $P_1$  замкнут,  $P_2$  – разомкнут.

Опыт 2 – рубильник  $P_2$  замкнут,  $P_1$  – разомкнут.

Опыт 3 – оба рубильника  $P_1$  и  $P_2$  замкнуты.

Результаты измерений и известные величины внутренних сопротивлений источников э.д.с.  $r_{01}$  и  $r_{02}$  занести в таблицу 2.

Таблица 1.2 – Результаты измерений и вычислений

| №<br>п/п | Результаты измерений |       |       |       |       |       |       |       | Известные<br>величины |          | Результаты вычислений |       |       |             |            |
|----------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|----------|-----------------------|-------|-------|-------------|------------|
|          | $E_1$                | $E_2$ | $I_1$ | $I_2$ | $I_3$ | $U_1$ | $U_2$ | $U_3$ | $r_{01}$              | $r_{02}$ | $R_1$                 | $R_2$ | $R_3$ | $\Sigma IR$ | $\gamma_0$ |
|          | $B$                  | $B$   | $A$   | $A$   | $A$   | $B$   | $B$   | $B$   | Ом                    | Ом       | Ом                    | Ом    | Ом    | $B$         | %          |
| Опыт 1   |                      |       |       |       |       |       |       |       |                       |          |                       |       |       |             |            |
| Опыт 2   |                      |       |       |       |       |       |       |       |                       |          |                       |       |       |             |            |
| Опыт 3   |                      |       |       |       |       |       |       |       |                       |          |                       |       |       |             |            |

Опыт 1

Опыт 2

Опыт 3

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

По результатам измерений и вычислений сделать вывод о применимости второго закона Кирхгофа для расчета цепей постоянного тока.

Вычислить относительную погрешность для каждого из трех опытов

$$\gamma_0 = \frac{\Sigma E - \Sigma IR}{\Sigma E} \cdot 100\%$$

Для одного из контуров проверить баланс мощностей:

$$\Sigma EI = \Sigma I^2 R + \Sigma I^2 r_0$$

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Какова физическая сущность первого и второго законов Кирхгофа?
2. Математическое выражение первого и второго законов Кирхгофа.
3. Что называется источником э.д.с.?
4. В чем сущность баланса мощностей?
5. Что называется узлом электрической цепи?
6. Как выбирают направления обхода контуров?

**Лабораторная работа №2. Последовательное соединение активного, индуктивного и емкостного сопротивлений. Резонанс напряжений**

**Цель работы:** Опытная проверка основных соотношений для последовательной цепи переменного тока, обладающей активным, индуктивным и емкостным сопротивлениями.

**Основы теории:**

Пусть в цепь переменного тока с частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  включена катушка, обладающая индуктивностью  $L$  и активным сопротивлением  $r$  (рис. 2.1).

При протекании по катушке переменного тока  $i_L$  в пространстве, окружающем витки, будет создаваться магнитный поток  $\Phi$  и потокосцепление с витками катушки:

$$\psi = w \cdot \Phi$$

где  $w$  – число витков катушки.

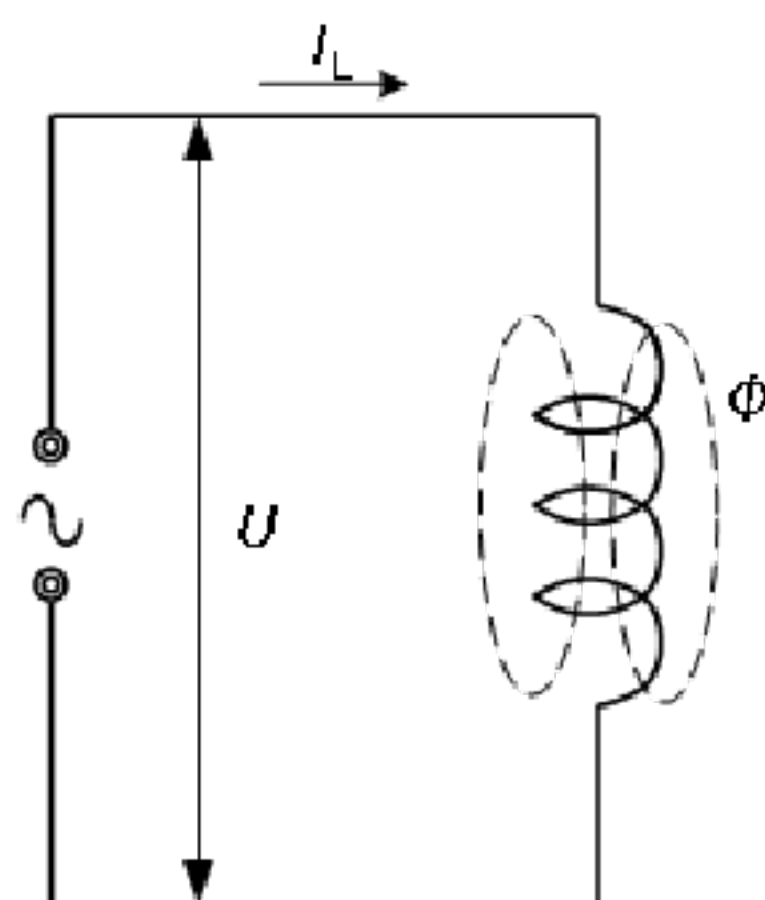


Рисунок 2.1 – Схема с индуктивностью

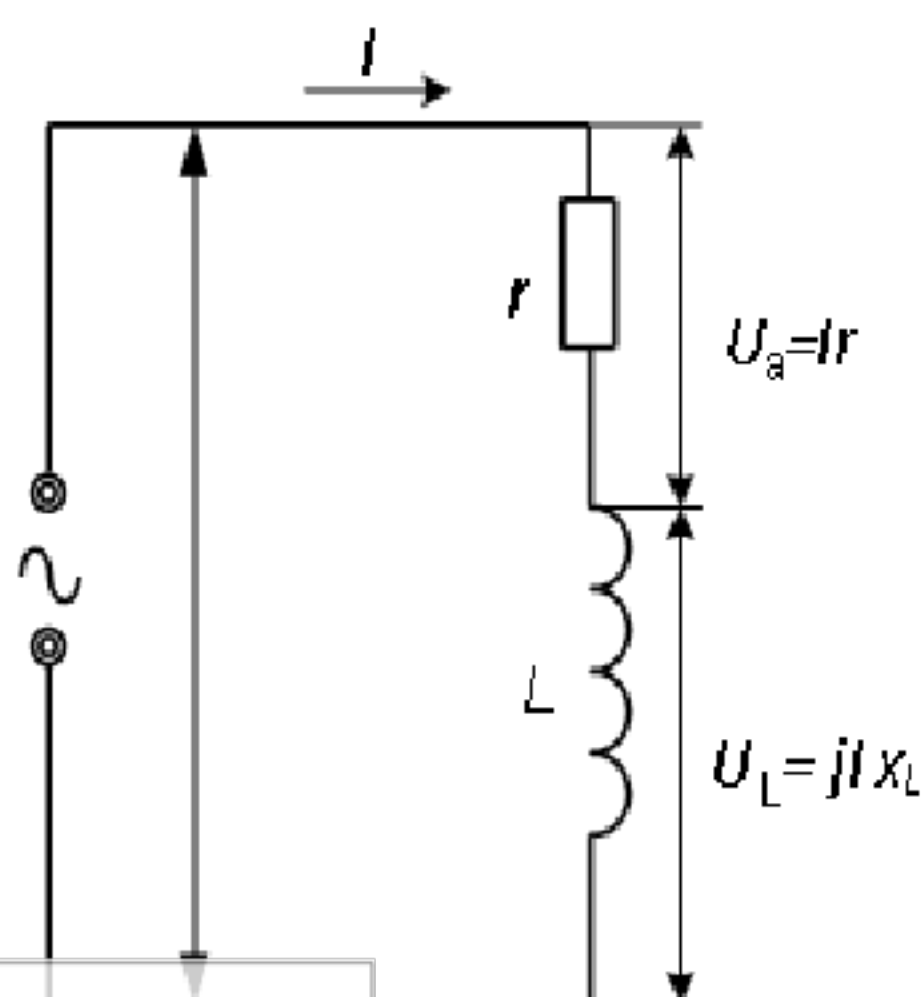


Рисунок 2.2 – Схема последовательного соединения R и L

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Отношение потокосцепления катушки к току катушки  $i_L$  называется собственной индуктивностью или индуктивностью:

$$L = \frac{\psi}{i_L} = \frac{w \cdot \Phi}{i_L}$$

Если собственное потокосцепление пропорционально току (в случае катушки без стального сердечника), то  $L = \text{const}$ . Основной единицей измерения индуктивности является Генри (Гн):

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}}, \quad 1 \text{ Гн} \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мГн}$$

Если ток в катушке изменяется (например, по синусоидальному закону), то и потокосцепление катушки изменяется и поэтому в витках катушки по закону электромагнитной индукции наводится э.д.с. самоиндукции  $e_L$ :

$$e_L = - \frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di_L}{dt}$$

т.е. наводимая э.д.с.  $e_L$  препятствует изменению тока  $i_L$ . Кроме того, катушка обладает некоторым активным сопротивлением  $r$ .

Применяя второй закон Кирхгофа для мгновенных значений электрических величин, можно записать:

$$u + e_L = i \cdot r$$

отсюда напряжение на зажимах цепи равно

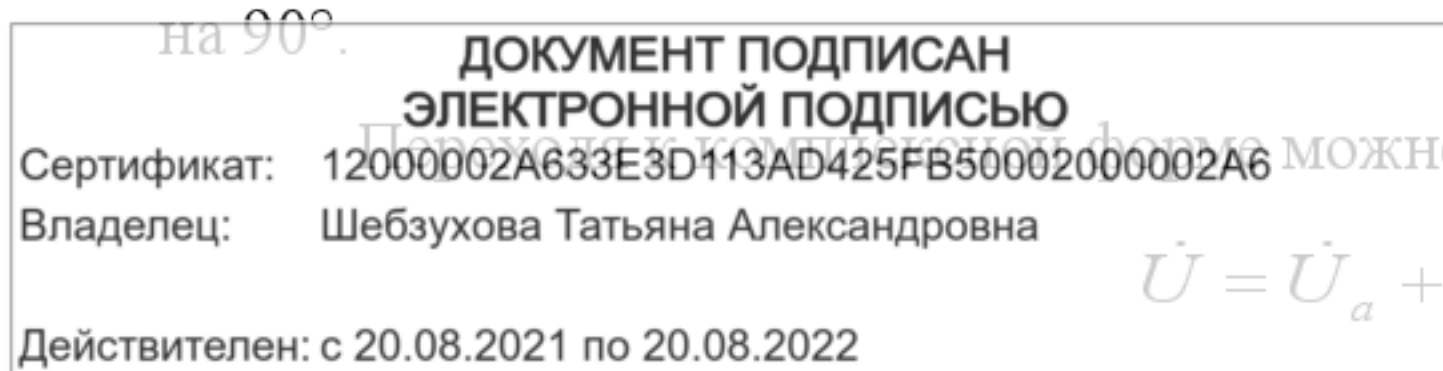
$$u = i \cdot r - e_L = u_a + u_L$$

Падение напряжения на активном сопротивлении называют активной составляющей напряжения или активным напряжением, а падение напряжения на индуктивном сопротивлении называют индуктивной составляющей напряжения. Мгновенные значения этих величин обозначают  $u_a$  и  $u$ , а действующие – соответственно  $U_a$  и  $U_L$ . При синусоидальном законе изменения тока напряжение на зажимах цепи будет равно:

$$\begin{aligned} u = ir - e_L &= rI_m \sin \omega t + L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = rI_m \sin \omega t + \omega L I_m \cos \omega t = \\ &= U_{am} \sin \omega t + U_{Lm} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right), \end{aligned}$$

т.е. между активным и индуктивным падениями напряжения имеется сдвиг по фазе

на  $90^\circ$ .



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\dot{U} = \dot{U}_a + j\dot{U}_L = \dot{I}r + j\dot{I}x_L$$

где  $j\dot{I}x_L = j\omega L\dot{I}$  - комплексное сопротивление индуктивного элемента;

$\dot{U}_a = \frac{U_{am}}{\sqrt{2}}$  и  $\dot{U}_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}}$  - действующие значения активного и индуктивного напряжений.

Таким образом, напряжение на зажимах цепи  $\dot{U}$  можно представить в виде суммы двух синусоид  $\dot{U}_a$  и  $j\dot{U}_L$ . Известно, что всякую синусоидально изменяющуюся величину можно представить в виде вектора (например, тока  $\dot{I}$ ), вращающегося в пространстве с угловой частотой  $\omega$ , проекция которого на мнимую ось и дает синусоидальную величину (рис. 2.3).

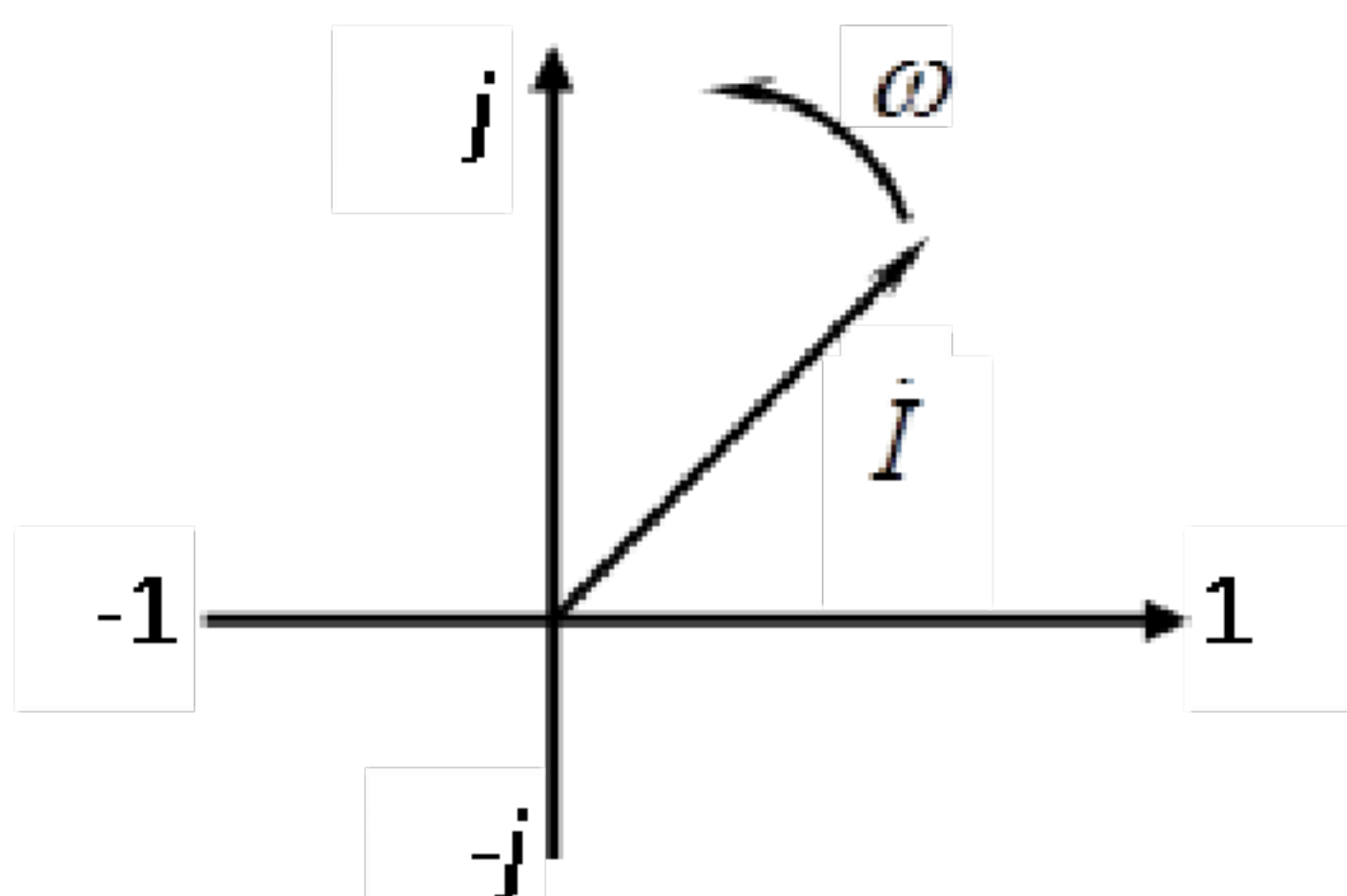


Рисунок 2.3 – Изображение синусоидальной изменяющейся величины тока в виде вектора

Определим напряжения на зажимах цепи при помощи векторной диаграммы. Вектор тока  $\dot{I}$  отложим в произвольном направлении, например, горизонтально (рис. 2.4). Все остальные векторы будут жестко привязаны к вектору  $\dot{I}$ , т.е. их сдвиг по фазе будет строго определенным.

Вектор активного напряжения  $\dot{U}_a = \dot{I} \cdot r$  будет совпадать по направлению с вектором  $\dot{I}$ . Вектор индуктивной составляющей напряжения  $\dot{U}_L = j \cdot \dot{I} \cdot x_L$  будет опережать на  $90^\circ$  вектор  $\dot{I}$ . Складывая геометрически векторы  $\dot{U}_a$  и  $\dot{U}_L$ , получим вектор напряжения  $\dot{U}$  на зажимах цепи.

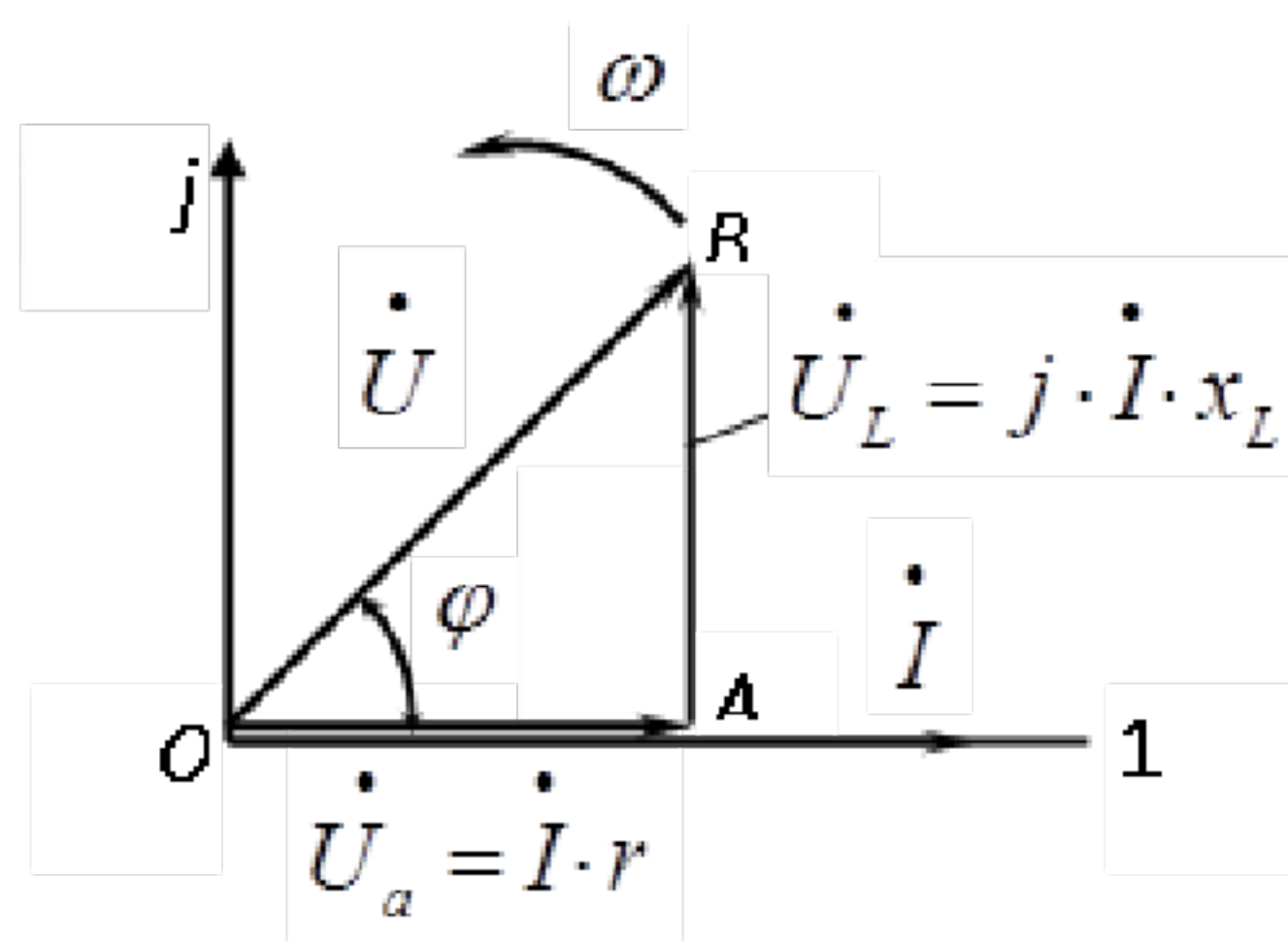


Рисунок 2.4 – Векторная диаграмма при последовательном соединении R и L

Величина  $x_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$  называется *индуктивным сопротивлением* и измеряется в *Ом*. Сопротивление  $x_L$  зависит от частоты и при включении катушки индуктивности в цепь постоянного тока ( $f = 0$ ) ток катушки будет ограничен только ее активным сопротивлением и окажется намного больше. Поэтому катушки индуктивности, предназначенные для работы на переменном токе, нельзя включать в цепи постоянного тока.

Треугольник OAB (рис. 4) прямоугольный и называется треугольником напряжений. Из треугольника OAB имеем:

$$\begin{aligned} \dot{U}^2 &= \dot{U}_a^2 + \dot{U}_L^2 \\ \dot{U}^2 &= (\dot{I} \cdot r)^2 + (\dot{I} \cdot x_L)^2 = I^2 (r^2 + x_L^2) \end{aligned}$$

Извлекая из обеих частей корень, получим

$$U = I \cdot \sqrt{r^2 + x_L^2}$$

Величина  $\sqrt{r^2 + x_L^2}$ , имеющая размерность сопротивления, называется *полным сопротивлением* цепи и обозначается  $z$  :

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}$$

и закон Ома для цепи переменного тока имеет вид:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{z} \text{ и } \dot{U} = \dot{I}z$$

Косинус угла сдвига фаз  $\varphi$  между током  $I$  и напряжением  $U$  равен:

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{I \cdot r}{I \cdot z} = \frac{r}{z}$$

Из треугольника мощностей, который можно получить из треугольника напряжений умножением его сторон на ток  $I$ , получим активную мощность:

$$P = I^2 r = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Реактивная мощность:

$$Q = I^2 x_L = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Полная мощность:

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Отношение активной мощности к полной называется коэффициентом мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$$

Если цепь переменного тока обладает активным сопротивлением  $r$  и емкостью  $C$  (рис. 1.5), то по второму закону Кирхгофа для мгновенных значений электрических величин можно записать:

$$u = i \cdot r + u_c$$

где  $u$  – мгновенное значение приложенного к цепи напряжения;

$i$  – мгновенное значение тока цепи;

$u_c$  – мгновенное значение напряжения, приложенного к обкладкам конденсатора и представляющего собой падение напряжения на емкости.

Если ток изменяется во времени по синусоидальному закону, т.е.  $i = I_m \sin \omega t$ , то предыдущее уравнение будет иметь вид:

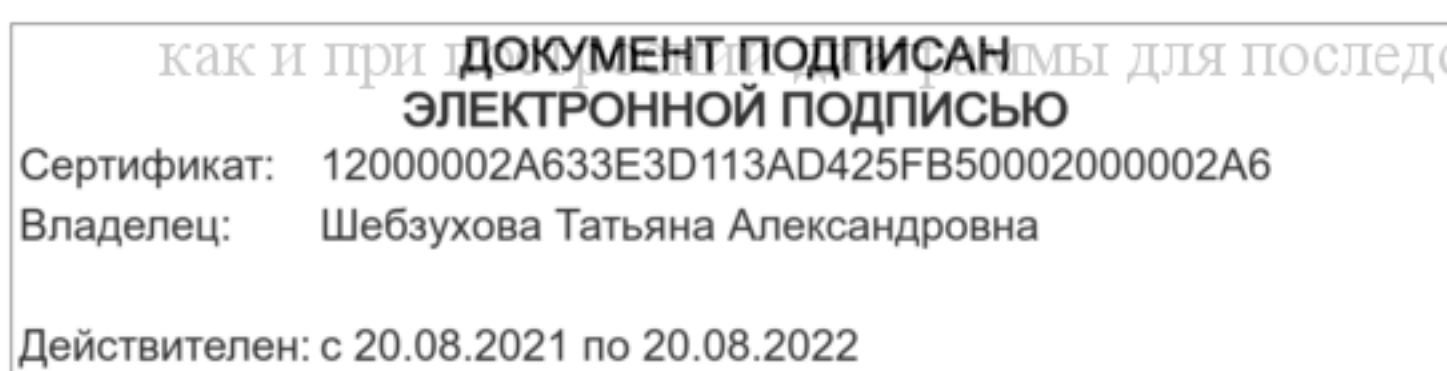
$$U = r I_m \sin \omega t + \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

Из этой формулы видно, что приложенное к цепи напряжение состоит из двух составляющих: активной или активного напряжения  $u_a = r I_m \sin \omega t$  совпадающей по фазе с током, и реактивной или емкостной составляющей  $U_c = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ , отстающей от тока на  $90^\circ$  (рис. 1.6). Тогда

$$\dot{U} = \dot{U}_a + \dot{U}_c$$

Построим векторную диаграмму для данного случая, пользуясь теми же правилами,

как и при построении диаграммы для последовательного соединения  $r$  и  $L$  (см. рис. 2.4).



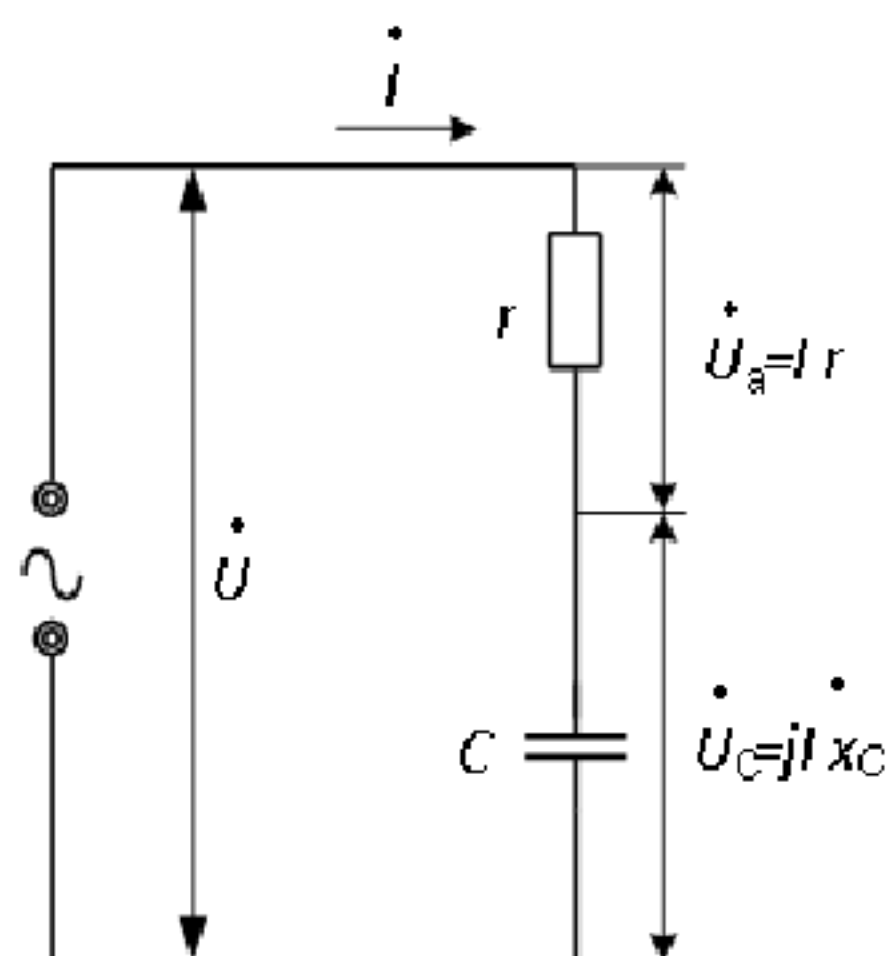


Рисунок 2.5 – Последовательное соединение R и C

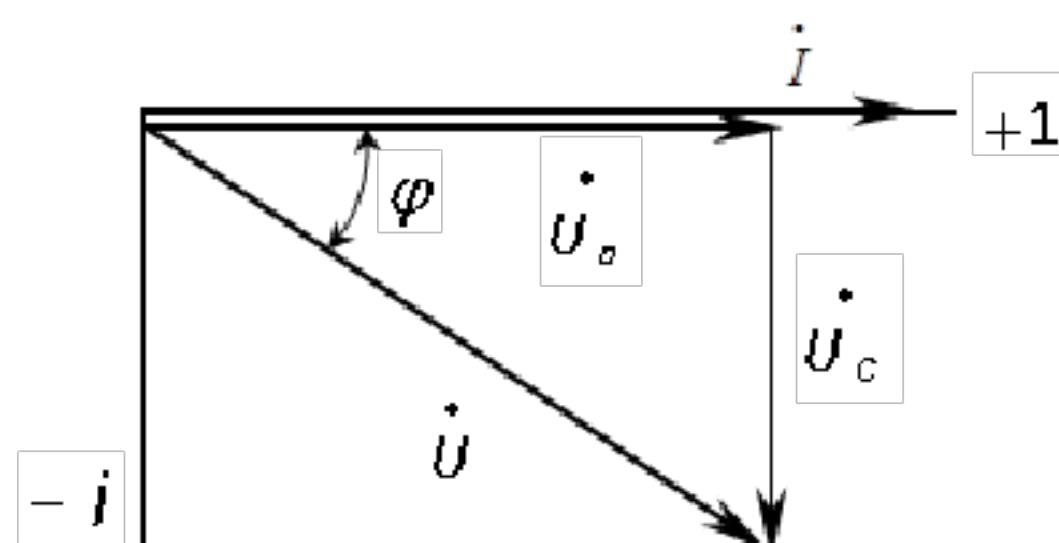


Рисунок 2.6 – Векторная диаграмма для последовательного соединения R и C

При этом необходимо иметь в виду, что вектор напряжения  $\dot{U}_C$  отстает от тока  $\dot{I}$  на  $90^\circ$  (рис 2.6).

Из треугольника OAB на рисунке 6 имеем:

$$U^2 = U_a^2 + U_C^2$$

или

$$U^2 = (Ir)^2 + \left(\frac{I}{\omega C}\right)^2 = I^2 \left(r^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}\right).$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей, получим:

$$U = I \cdot \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

откуда

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_C^2}}.$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Векторная диаграмма называется емкостным сопротивлением и измеряется в Ом.

Емкостное сопротивление зависит от частоты напряжения сети и от емкости конденсатора.

Величина  $\sqrt{r^2 + x_C^2}$  называется полным сопротивлением и обозначается  $z$ . Закон Ома применительно к данной цепи переменного тока будет иметь вид:

$$I = \frac{U}{z},$$

где  $z = \sqrt{r^2 + x_C^2}$ .

Если все стороны треугольника напряжений  $OAB$  разделить на ток  $I$ , то получим треугольник сопротивлений с катетами  $r$  и  $x_C$  и гипотенузой  $z$ .

При последовательном соединении  $r$ ,  $L$  и  $C$  будут справедливы все выводы, полученные для цепи с  $r-L$  и цепи с  $r-C$ . При этом возможны следующие комбинации:

а)  $x_L > x_C$ ; б)  $x_L < x_C$ ; в)  $x_L = x_C$ .

Рассмотрим с помощью векторных диаграмм каждый из этих вариантов.

а) Имеем цепь из последовательно соединенных  $r$ ,  $L$  и  $C$ , причем

$x_L > x_C$ . По всем трем сопротивлениям будет протекать один и тот же ток  $\dot{I}$ , вектор которого отложим в выбранном масштабе произвольно, например, горизонтально, т.е. направление первого вектора выбирается произвольно (рис. 2.7).

Вектор падения напряжения на активном сопротивлении будет совпадать с направлением тока, а падение напряжения на индуктивном элементе или  $\dot{U}_L$  будет опережать вектор  $\dot{I}$  на  $\pi/2$ . Падение напряжения на емкостном элементе  $\dot{U}_C$  будет отставать от вектора тока на  $\pi/2$  и согласно условию

$$\dot{U}_C < \dot{U}_L.$$

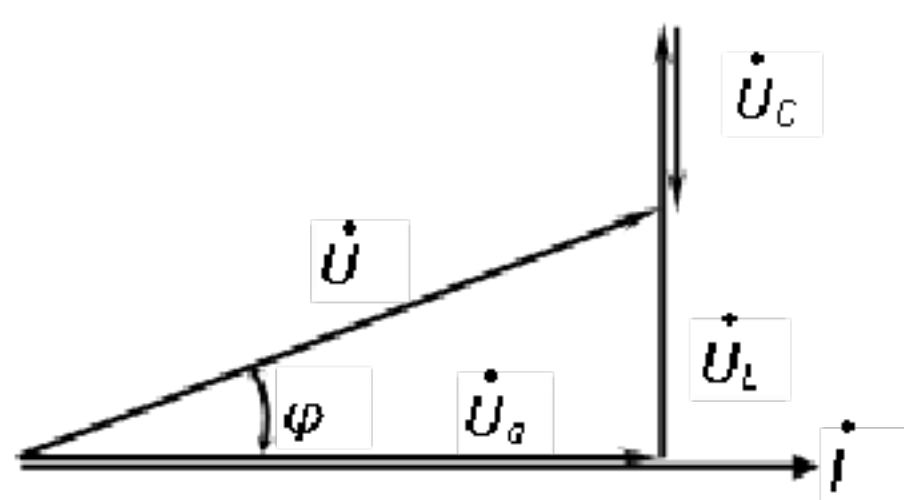
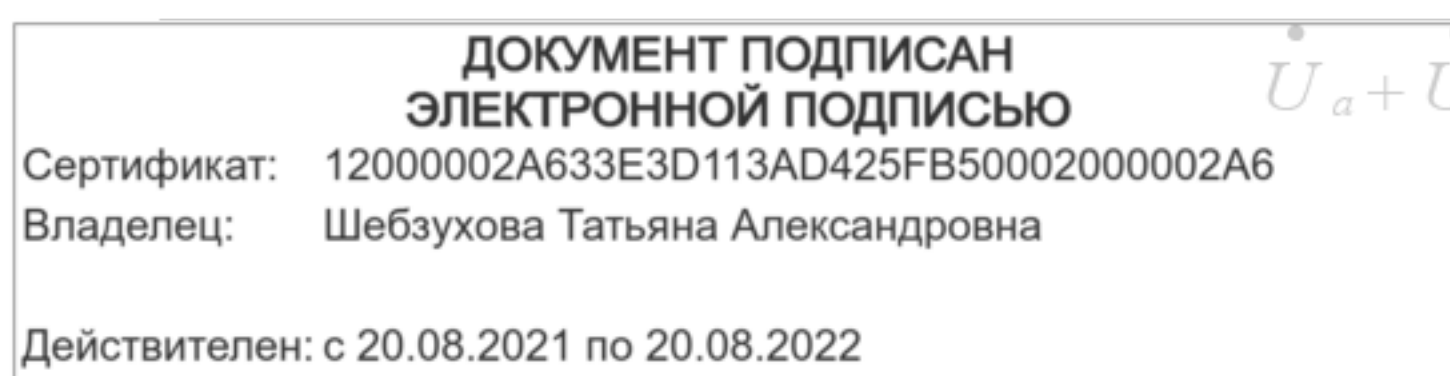


Рисунок 2.7 – Векторная диаграмма напряжений при  $x_L > x_C$

Общее напряжение цепи будет равно сумме

$$\dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{U}.$$



Из векторной диаграммы видно, что между током цепи  $\dot{I}$  и напряжением  $\dot{U}$  есть угол  $\varphi$  и ток имеет отстающий характер, а  $\cos \varphi < 1,0$ .

б) При  $x_L < x_C$  падение напряжения на индуктивном сопротивлении будет меньше падения напряжения на емкостном сопротивлении, поэтому векторная диаграмма будет иметь вид (рис. 2.8):

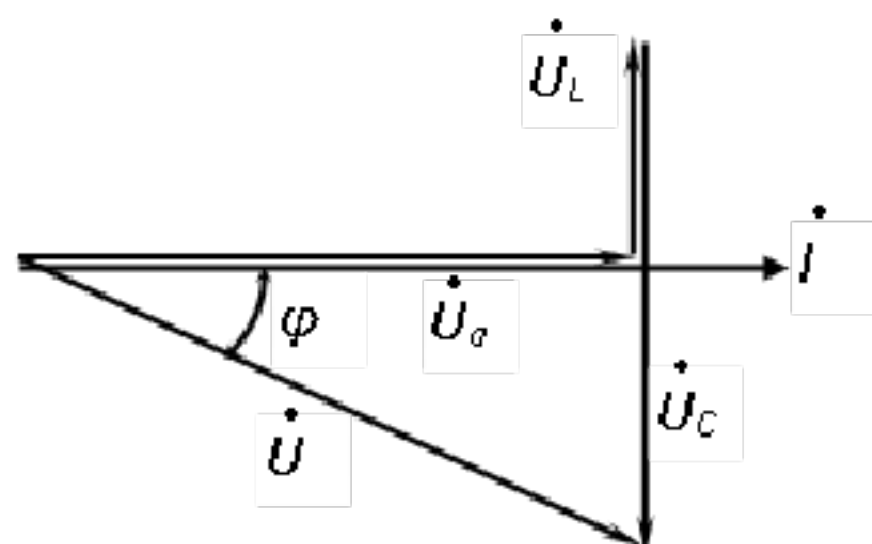


Рисунок 2.8 – Векторная диаграмма напряжений при  $\dot{U}_C > \dot{U}_L$

в) При  $x_L = x_C$  имеет место *резонанс напряжений*, т.е.  $\dot{U}_C = \dot{U}_L$  и это будет при  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ . При этом векторы  $\dot{U}_L$  и  $\dot{U}_C$  равны по модулю и противоположно направлены (рис. 2.9), поэтому их сумма равна нулю. Ток цепи при резонансе напряжений определяется только активным сопротивлением, поэтому угол сдвига фаз между током и напряжением цепи равен нулю, а  $\cos \varphi = 1$ . При этом надо иметь в виду, что результирующее сопротивление цепи резко уменьшится до значения  $z = r$  и ток цепи при резонансе может резко возрасть.

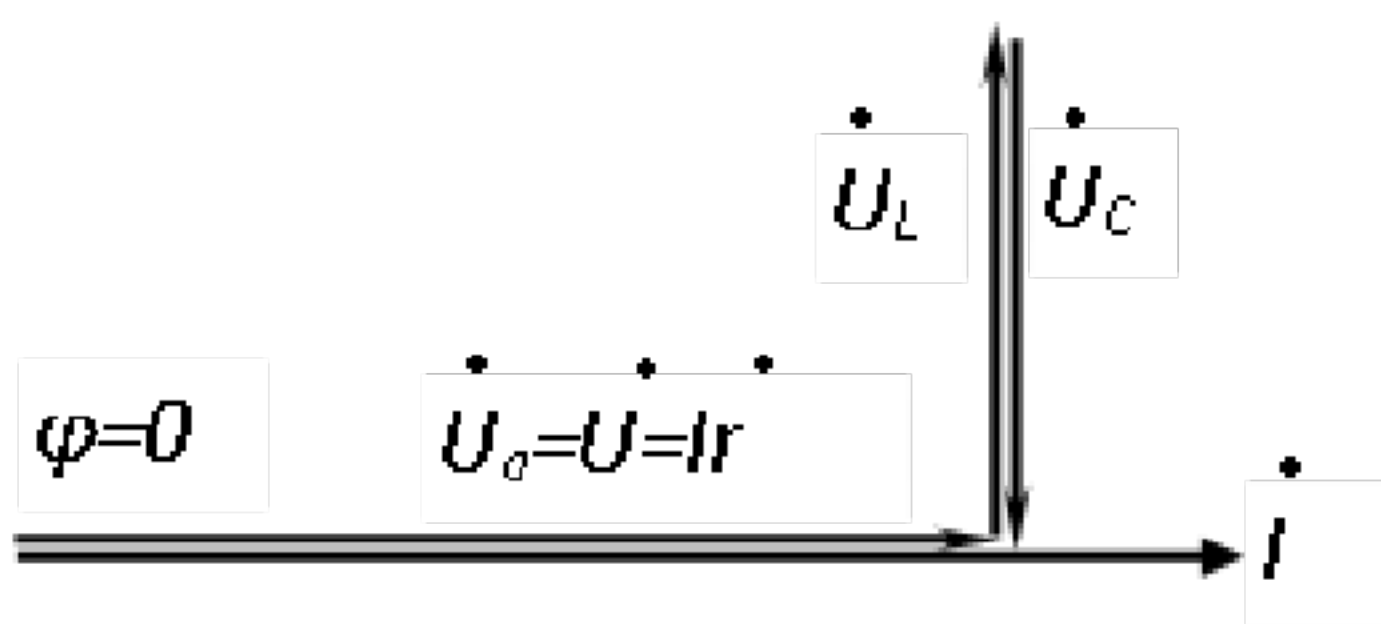


Рисунок 2.9 – Векторная диаграмма напряжений при резонансе

#### **Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Собрать схему с последовательным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$  (рис. 2.10). В качестве активного сопротивления используется регулировочный реостат  $R$ , а в качестве емкости  $C$  – батарея конденсаторов.

Вольтметром  $V_1$  измеряют входное (общее) напряжение цепи, а вольтметром  $V_2$  с помощью щупов поочередно измеряют падение напряжения на активном сопротивлении  $R$  (в точках а и б), на индуктивности  $L$  (в точках в и г) и емкости  $C$  (в точках г и д).

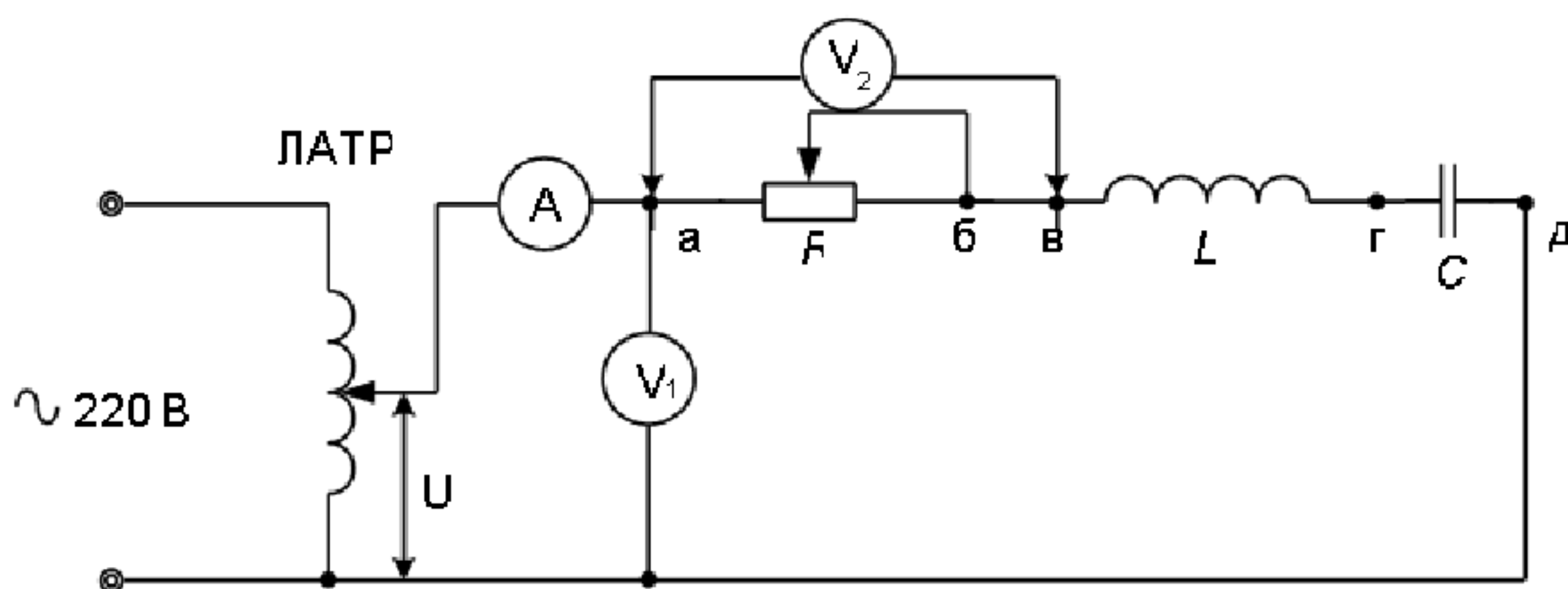


Рисунок 2.10 – Схема с последовательным соединением  $R$ ,  $L$  и  $C$

Измерения необходимо выполнять для трех режимов:

- 1)  $U_L > U_C$ ; 2)  $U_L < U_C$ ; 3)  $U_L = U_C$ .

Для каждого из режимов выполнить расчеты и вместе с результатами измерений занести в таблицу 2.1. По результатам расчетов для каждого из режимов построить векторную диаграмму напряжений, для чего необходимо выбрать масштаб напряжения  $m_U$  таким образом, чтобы вектор напряжения цепи  $U$  был примерно равен 8 – 12 см.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и вычислений

| № опыта | Измеренные величины |     |       |       |       | Вычисленные величины |      |      |       |
|---------|---------------------|-----|-------|-------|-------|----------------------|------|------|-------|
|         | $U$                 | $I$ | $U_R$ | $U_L$ | $U_C$ | $\cos \varphi$       | $S$  | $P$  | $Q$   |
|         | $B$                 | $A$ | $B$   | $B$   | $B$   | -                    | $BA$ | $Bm$ | $BAp$ |
| 1       |                     |     |       |       |       |                      |      |      |       |
| 2       |                     |     |       |       |       |                      |      |      |       |
| 3       |                     |     |       |       |       |                      |      |      |       |

**Внимание!** При резонансе напряжений ток цепи определяется активным сопротивлением  $R$ , поэтому амперметр может зашкаливать. В этом случае необходимо подобрать амперметр с несколькими пределами измерений и при резонансе переключить его на больший предел по току.

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Что понимают под индуктивностью и как она определяется?
2. Как и почему изменяется индуктивность при введении в катушку стального сердечника?
3. Что понимают под емкостью и как она определяется?
4. Что называют угловой частотой  $\omega$ ?
5. По каким формулам определяют  $r$ ;  $x_L$ ;  $x_C$  и  $Z$  цепи переменного тока?
6. Каковы основные соотношения и векторные диаграммы в цепях с активной, индуктивной и емкостной нагрузкой?
7. При каких условиях возникает резонанс напряжений?
8. Чему равен коэффициент мощности  $\cos \varphi$  при различных условиях и как он определяется?

### Лабораторная работа №3. Электрическая цепь синусоидального тока при параллельном включении активного и реактивных сопротивлений

**Цель работы:** экспериментальная проверка зависимости активного и реактивных сопротивлений от частоты, а также соотношений между напряжением, сопротивлениями, проводимостями и токами в цепи с параллельно включенными активным сопротивлением, катушкой индуктивности и конденсатором.

#### Основы теории:

При параллельном включении активного сопротивления, катушки индуктивности и конденсатора (рис. 3.1) на все три элемента электрической цепи подаётся одно и то же напряжение  $u$ . Мгновенное значение тока  $i$  в не-разветвлённой части цепи равно сумме мгновенных значений токов резистора  $i_r$ , катушки  $i_k$  и конденсатора  $i_c$ :

$$i = i_r + i_k + i_c$$

Соответствующее равенство справедливо для комплексов токов:

$$\dot{I} = \dot{I}_r + \dot{I}_k + \dot{I}_c$$

Комплексы токов определяются комплексом напряжения  $\dot{U}$  и комплексными сопротивлениями соответствующих элементов цепи:

$$\dot{I}_r = \dot{U}/r, \dot{I}_k = \dot{U}/Z_k, \dot{I}_c = \dot{U}/Z_c$$

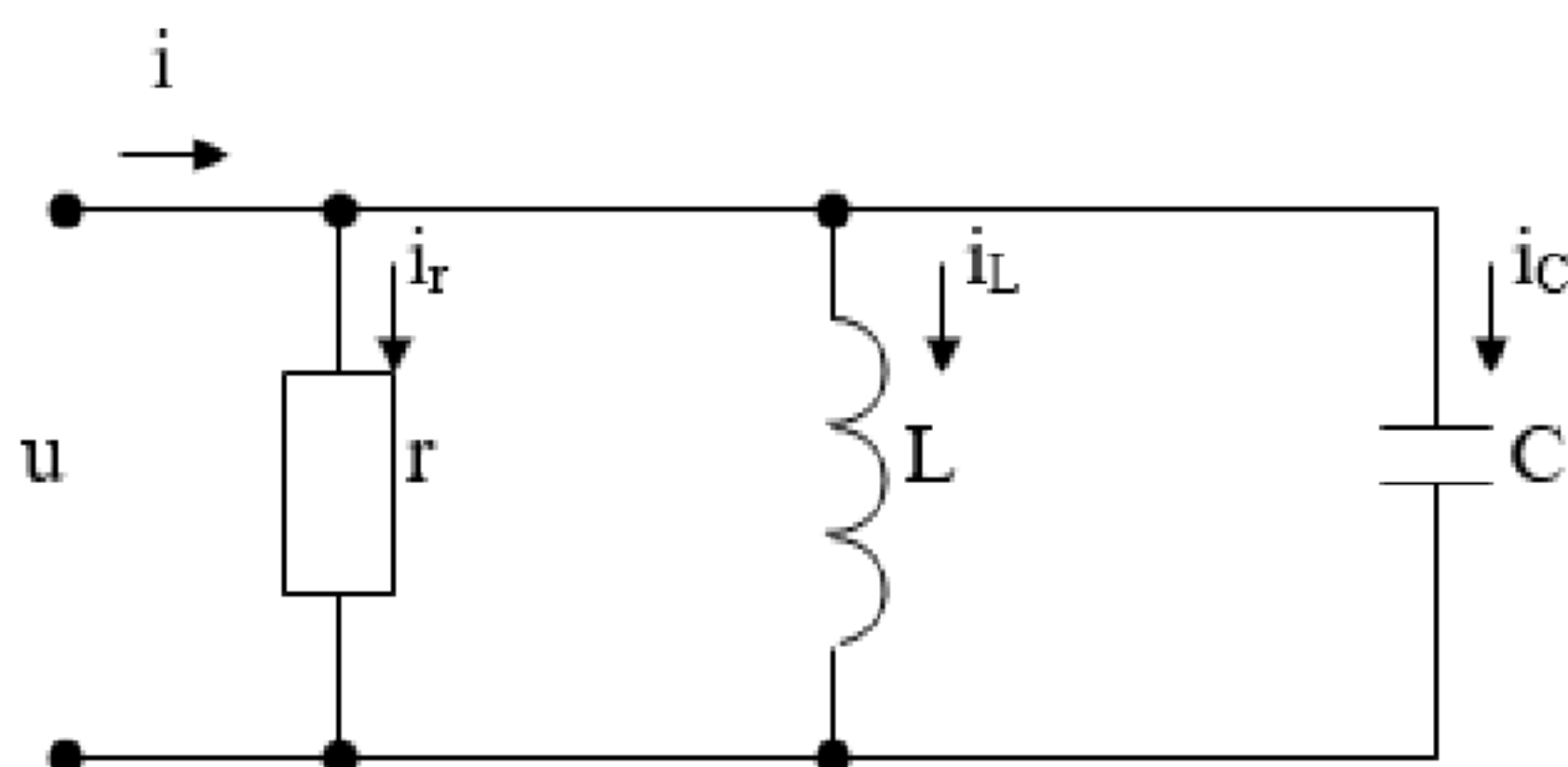


Рисунок 3.1 – Параллельное включение активного сопротивления, катушки индуктивности и конденсатора

Комплексное сопротивление резистора равно его активному сопротивлению  $r$ , комплексное сопротивление катушки индуктивности учитывает её активное сопротивление

$r_k$  и индуктивность  $L$ :  $Z = r_k + j\omega L = r_k + jx_L$ .

При расчёте цепей с параллельно включёнными элементами удобнее пользоваться не сопротивлениями, а проводимостями:

включёнными элементами удобнее пользоваться

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$Y_r = 1/r = g_r,$$

$$Y_k = 1/Z_k = 1/(r_k + j\omega L) = r/(r^2 + x_L^2) - jx_L/(r^2 + x_L^2) = g_k - jb_k$$

Комплексная проводимость конденсатора с учётом проводимости изоляции между обкладками  $g_c$ :

$$Y_c = g_c + j\omega C = g_c + jb_c$$

$$\dot{I} = \dot{U}[(g_r + g_k + g_c) + j(b_c - b_k)] = \dot{U}Y$$

Ток, протекающий через катушку индуктивности, можно представить в виде двух составляющих: активной  $\dot{I}_{ак} = \dot{U}g_k$ , по фазе, совпадающей с напряжением, и реактивной  $\dot{I}_L = -j\dot{U}b_L$ , отстающей по фазе от напряжения на  $90^\circ$ .

Ток, протекающий через конденсатор, также можно представить в виде суммы активной  $\dot{I}_{ас} = \dot{U}g_c$  и реактивной  $\dot{I}_{рс} = j\dot{U}b_c$  составляющих; реактивная составляющая опережает по фазе напряжение на  $90^\circ$ . Схема замещения при замене сопротивлений проводимостями имеет вид, изображённый на рис.3.2.

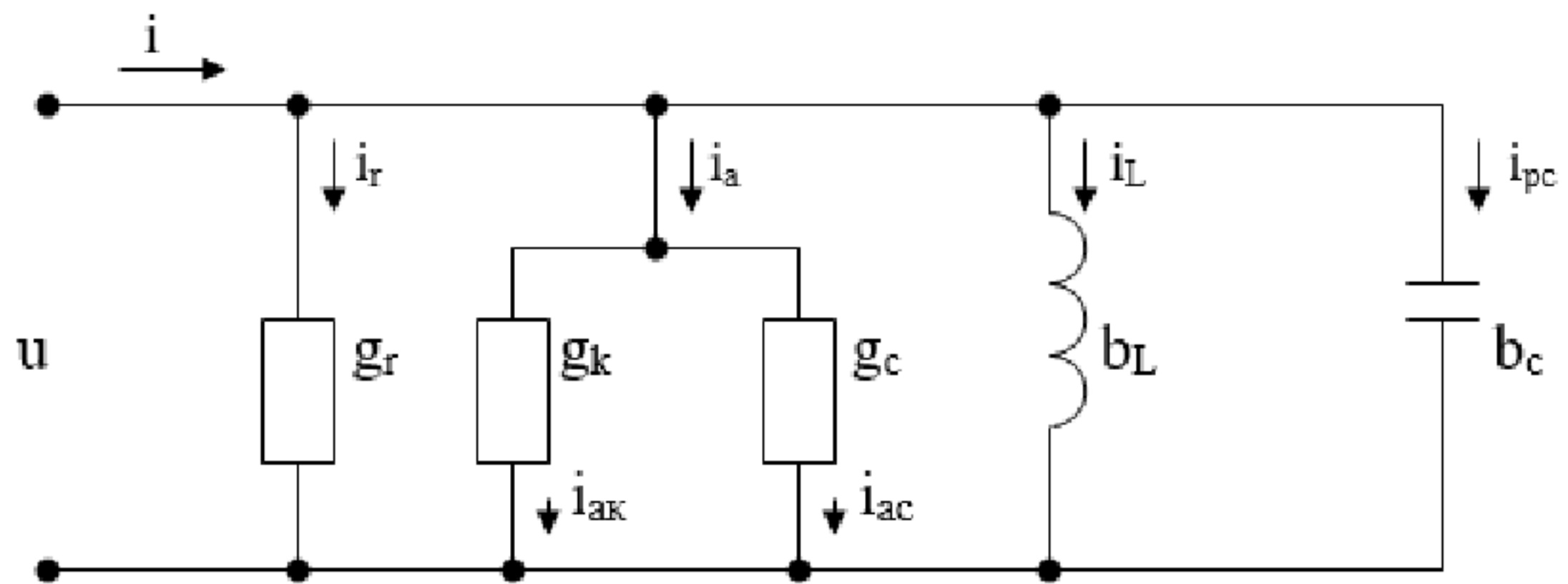


Рисунок 3.2 – Схема замещения

Вид векторных диаграмм напряжения и токов рассматриваемой схемы зависит от соотношения проводимостей  $b_k$  и  $b_c$  (рис.3.3).

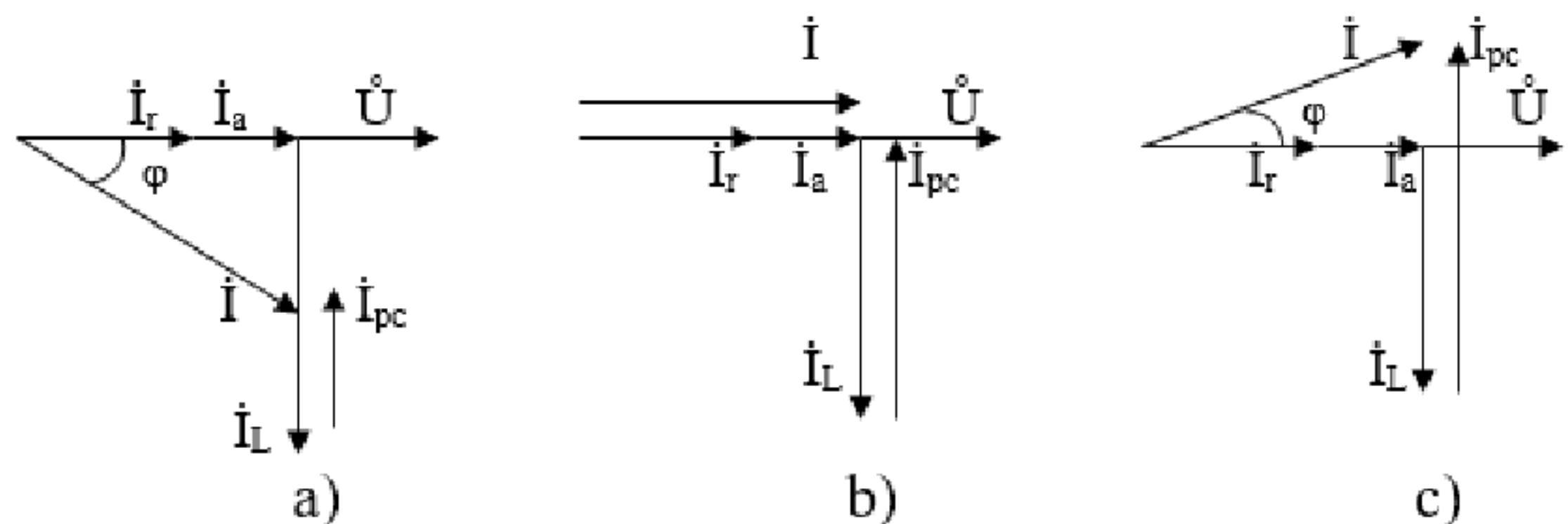


Рисунок 3.3 – Векторная диаграмма

Если  $b_L > b_C$ , то ток через индуктивность больше, чем через ёмкость, и ток в неразветвленной части цепи по фазе отстаёт от напряжения (рис. 4.3a). Если  $b_L < b_C$ , то ток через индуктивность меньше, чем ток через ёмкость, а ток в неразветвленной части цепи по фазе опережает напряжение (рис. 3.3c).

При равенстве индуктивной и ёмкостной проводимостей величина тока в неразветвленной части цепи определяется только суммой активных проводимостей  $g_r + g_k + g_c = g$ , при этом ток по фазе совпадает с напряжением (рис. 4.3b):

$$\dot{I} = \dot{U}g.$$

Векторная диаграмма, изображённая на рис. 4.3b соответствует режиму резонанса токов, в этом режиме токи через индуктивность и через ёмкость равны по величине и противоположны по фазе, в неразветвлённой части цепи ток принимает минимальное значение.

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Детально ознакомившись с основными теоретическими положениями, собрать схему, изображённую на рис. 3.4.

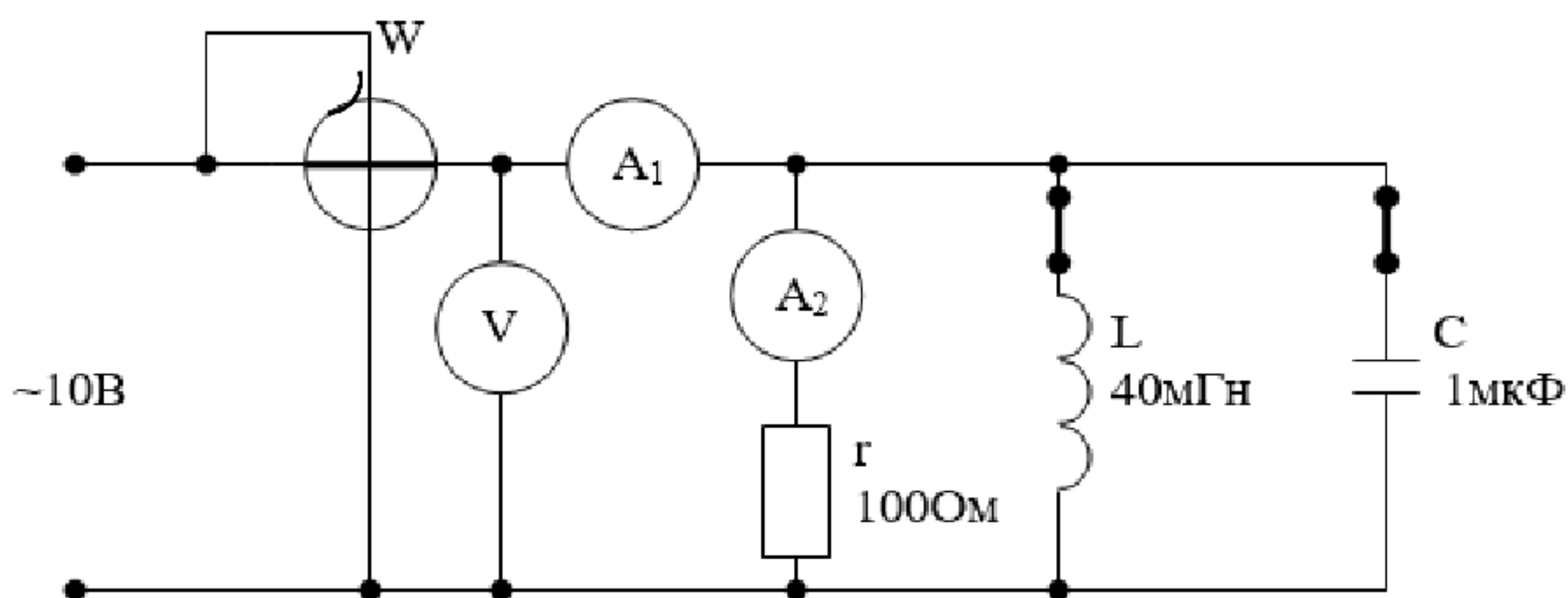
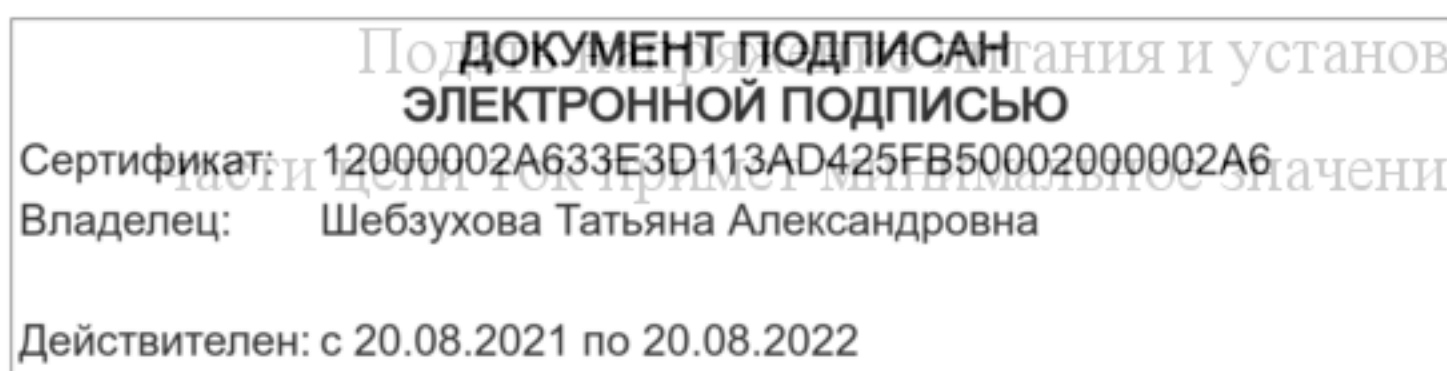


Рисунок 3.4 – Схема с параллельным соединением R, L и C

Установить пределы измерений: вольтметра – 20В, амперметров – 200мА.



Подобрать частоту  $f_0$ , при которой в неразветвлённой части цепи ток примет минимальное значение. Значение частоты  $f_0$  занести в таблицу 3.1.

2. Убрать перемычки в цепи катушки и конденсатора, по показаниям амперметра и вольтметра или амперметра и ваттметра проверить сопротивление и вычислить проводимость резистора.

$$r=U/I=P/I^2, g_r=1/r=I/U=P/U^2.$$

3. Разорвать цепь резистора и установить перемычку в цепи катушки, по показаниям приборов вычислить сопротивления и проводимости катушки.

$$r=P/I^2, z_k=U/I, x_L=\sqrt{z_k^2-r^2},$$

$$g_k=P/U^2, y_k=I/U, b_L=\sqrt{y_k^2-g_k^2}.$$

4. Разорвать цепь катушки и установить перемычку в цепи конденсатора, используя формулы, аналогичные формулам п.3, по показаниям приборов вычислить сопротивления и проводимости конденсатора. Вычисленные значения сопротивлений и проводимостей занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

| f <sub>0</sub> ,<br>Гц | Резистор |                        | Катушка                |                        |                        |                        |          | Конденсатор            |                        |                        |                        |           | g,<br>См |
|------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|----------|
|                        | r,<br>Ом | g <sub>r</sub> ,<br>См | r <sub>k</sub> ,<br>Ом | g <sub>k</sub> ,<br>См | x <sub>L</sub> ,<br>Ом | b <sub>L</sub> ,<br>См | L,<br>Гн | r <sub>c</sub> ,<br>Ом | g <sub>c</sub> ,<br>См | x <sub>c</sub> ,<br>Ом | b <sub>c</sub> ,<br>См | C,<br>мкФ |          |
|                        |          |                        |                        |                        |                        |                        |          |                        |                        |                        |                        |           |          |

5. Установить все перемычки, подключить амперметр А2, при частоте f<sub>0</sub> измерить потребляемую мощность, напряжение, ток в неразветвленной части цепи и токи отдельных ветвей. Результаты замеров занести в таблицу 3.2.

6. Вычислить значения активных и реактивных составляющих токов через катушку и через конденсатор и коэффициент мощности, пользуясь выражениями:

$$I_{ak}=g_k U, I_{ac}=g_c U, I_a=I_{ak}+I_{ac}, I_L=\sqrt{I_k^2-I_{ak}^2}, I_{pc}=\sqrt{I_c^2-I_{ac}^2},$$

$$\cos\varphi=(I_r+I_{ak}+I_{ac})/I.$$

Результаты вычислений занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2

| f,<br>Гц         | U,<br>В | I,<br>мА | I <sub>r</sub> ,<br>мА | I <sub>k</sub> ,<br>мА | I <sub>c</sub> ,<br>мА | P,<br>мВт | y,<br>См | b,<br>См | I <sub>a</sub> ,<br>мА | I <sub>L</sub> ,<br>мА | I <sub>pc</sub> ,<br>мА | cosφ |
|------------------|---------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------|----------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|------|
| f <sub>1</sub> = |         |          |                        |                        |                        |           |          |          |                        |                        |                         |      |
| f <sub>0</sub> = |         |          |                        |                        |                        |           |          |          |                        |                        |                         |      |
| f <sub>2</sub> = |         |          |                        |                        |                        |           |          |          |                        |                        |                         |      |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Вычислен: 20.08.2021 по 20.08.2022

при частотах  $f_1=f_0-200$  Гц и  $f_2=f_0+200$  Гц произвести те же измерения и вычисления, что и при частоте f<sub>0</sub>, результаты измерений и вычислений занести в таблицу

4.2. При выполнении расчётов не следует забывать, что сопротивления и проводимости индуктивности и ёмкости зависят от частоты.

8. По результатам измерений и вычислений построить векторные диаграммы, аналогичные представленным на рис.2.3.

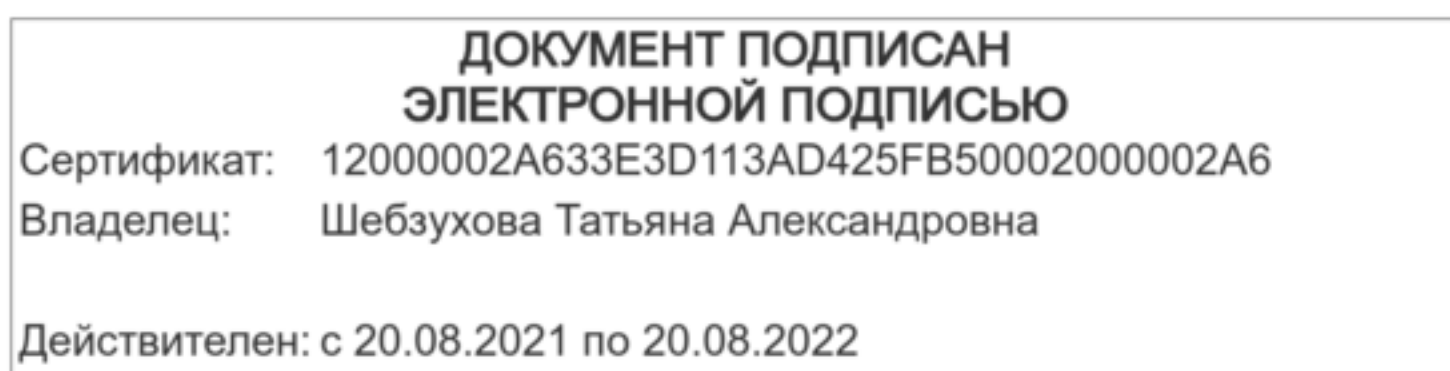
***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Как определить активную и реактивную проводимости катушки, если известны её активное и индуктивное сопротивления?
2. Как зависят реактивные проводимости катушки индуктивности и конденсатора от частоты?
3. Как определить активную проводимость катушки индуктивности или конденсатора, пользуясь показаниями ваттметра, амперметра и вольтметра?
4. Как определить полную проводимость участка электрической цепи по показаниям электроизмерительных приборов?
5. Как отличаются по фазе приложенное напряжение и ток, протекающий по катушке индуктивности? через конденсатор?
6. Почему и как изменится ток через конденсатор (через катушку индуктивности) при увеличении частоты приложенного напряжения?
7. В какой электрической цепи может возникнуть режим резонанса токов? Каково условие его возникновения? Поясните физическую сущность режима резонанса токов.



## *Лабораторная работа №4. Исследование трехфазной системы при соединении потребителей звездой*

**Цель работы:** Ознакомиться опытным путем с особенностями соединения звездой приемников электрической энергии в цепи трехфазного тока. Исследовать режимы равномерной и неравномерной нагрузок, а также работу системы при обрыве одной из фаз. Получить практические навыки расчета и испытания трехфазных цепей, а также построения векторных диаграмм.

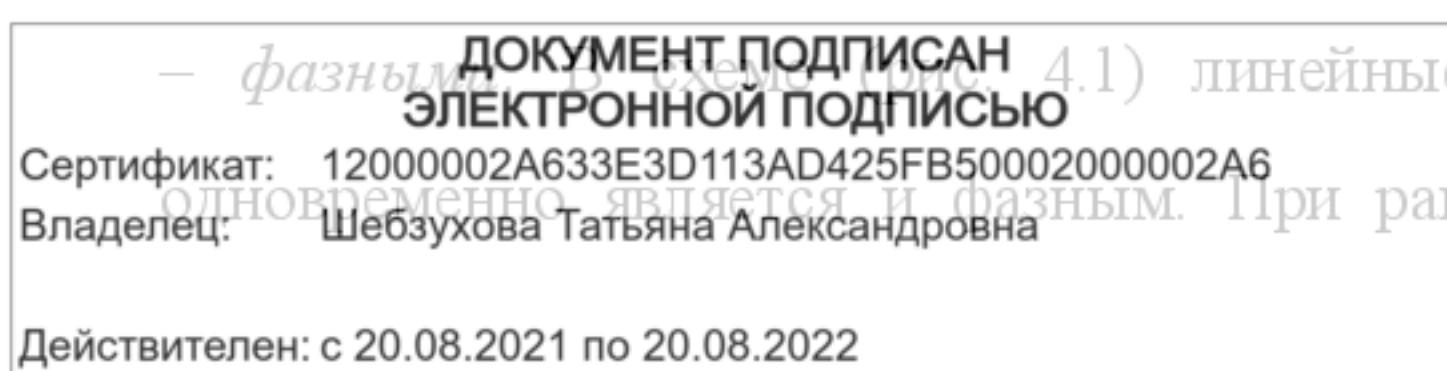
### **Основы теории:**

*Трехфазной системой* электрических цепей называется система, состоящая из трех однофазных электрических цепей, в каждой из которых действуют синусоидальные э.д.с. одинаковой частоты, но сдвинутые друг относительно друга на  $1/3$  периода ( $120^\circ$ ) и создаваемые общим (трехфазным) источником электрической энергии.

Отдельные электрические цепи, входящие в состав трехфазной системы, называют *фазами*. Если э.д.с. каждой из фаз равны по величине, а полные сопротивления нагрузок всех трех фаз по величине и характеру нагрузки (по величине и знаку фазового сдвига) одинаковы, то такой режим называют *симметричным*. Невыполнение данных условий является причиной *несимметричного* режима. Нагрузка трехфазных цепей редко бывает симметричной, как правило, она в той или иной степени несимметрична из-за наличия однофазных потребителей.

Трехфазные генераторы создают симметричную систему э.д.с., поэтому несимметричный режим возникает из-за несимметричной нагрузки фаз. Если концы обмоток фаз синхронного генератора или трансформатора соединить вместе звездой, а к началам присоединить провода, идущие к приемникам электрической энергии, которые тоже соединить звездой, то получим трехфазную систему (рис. 1). Провод, соединяющий нулевые точки источника и потребителя называется нулевым. Такую систему называют *четырёхпроводной*. В цепях трехфазного тока независимо от способа соединения обмоток генератора и потребителей различают напряжения – линейные  $U_L$  и фазные  $U_\Phi$ , а также токи – линейные  $I_L$  и фазные  $I_\Phi$ . Напряжение между линейным и нулевым проводом называется *фазным*, а между линейными проводами – *линейным*. Токи, протекающие в линейных проводах, называют *линейными*, а протекающие в фазах нагрузки или источника

– *фазными*. (рис. 4.1) линейные токи равны фазным, т.е. линейный ток одновременно является и фазным. При равномерной нагрузке  $U_L = \sqrt{3}U_\Phi$ , если схема



соединения - звезда.

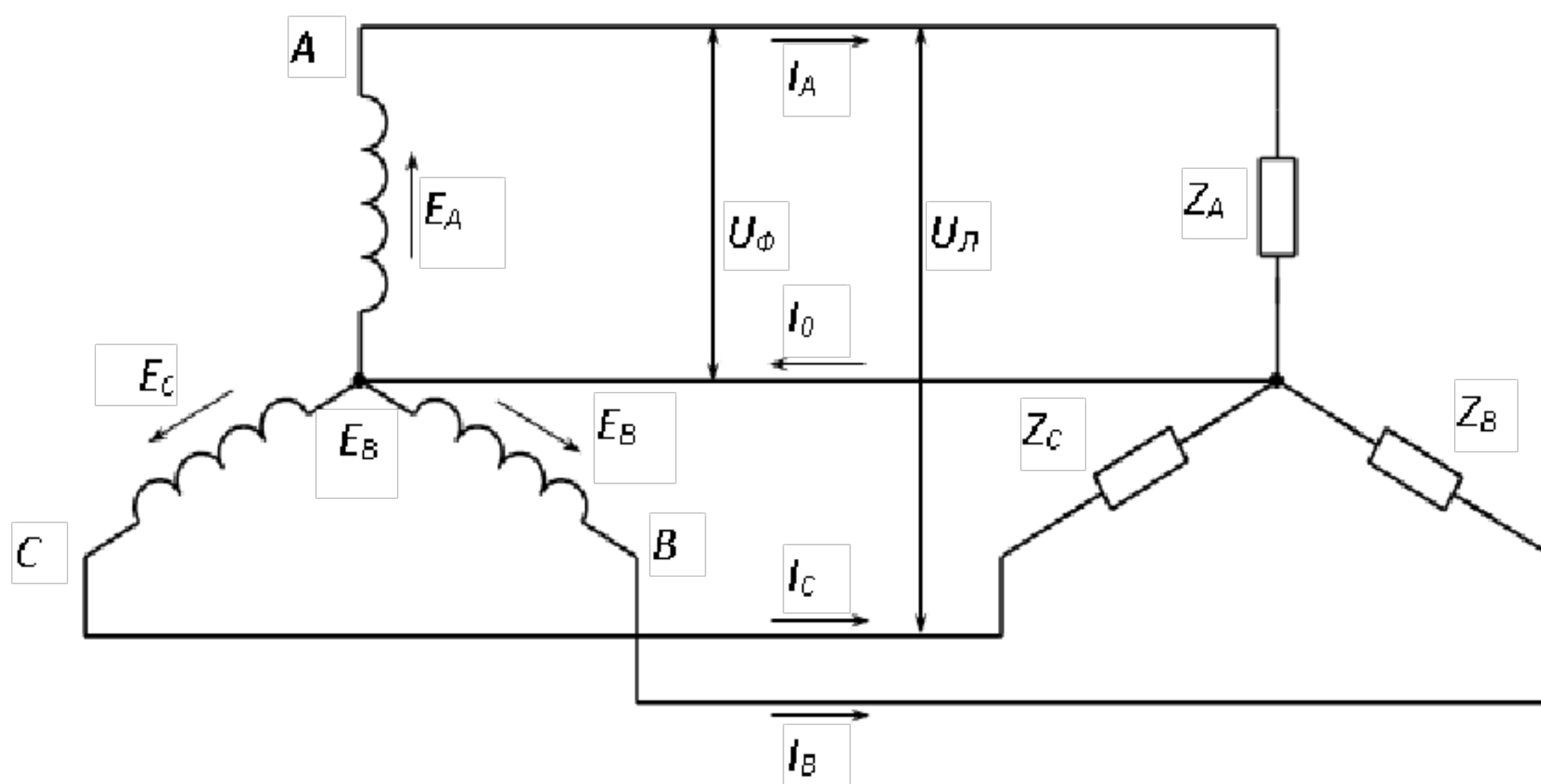


Рисунок 4.1 – Схема трехфазной четырехпроводной цепи при соединении звездой  
При неравномерной нагрузке фаз в схеме с нулевым проводом (рис. 4.1), в нулевом проводе появляется ток, величина которого определяется по первому закону Кирхгофа:

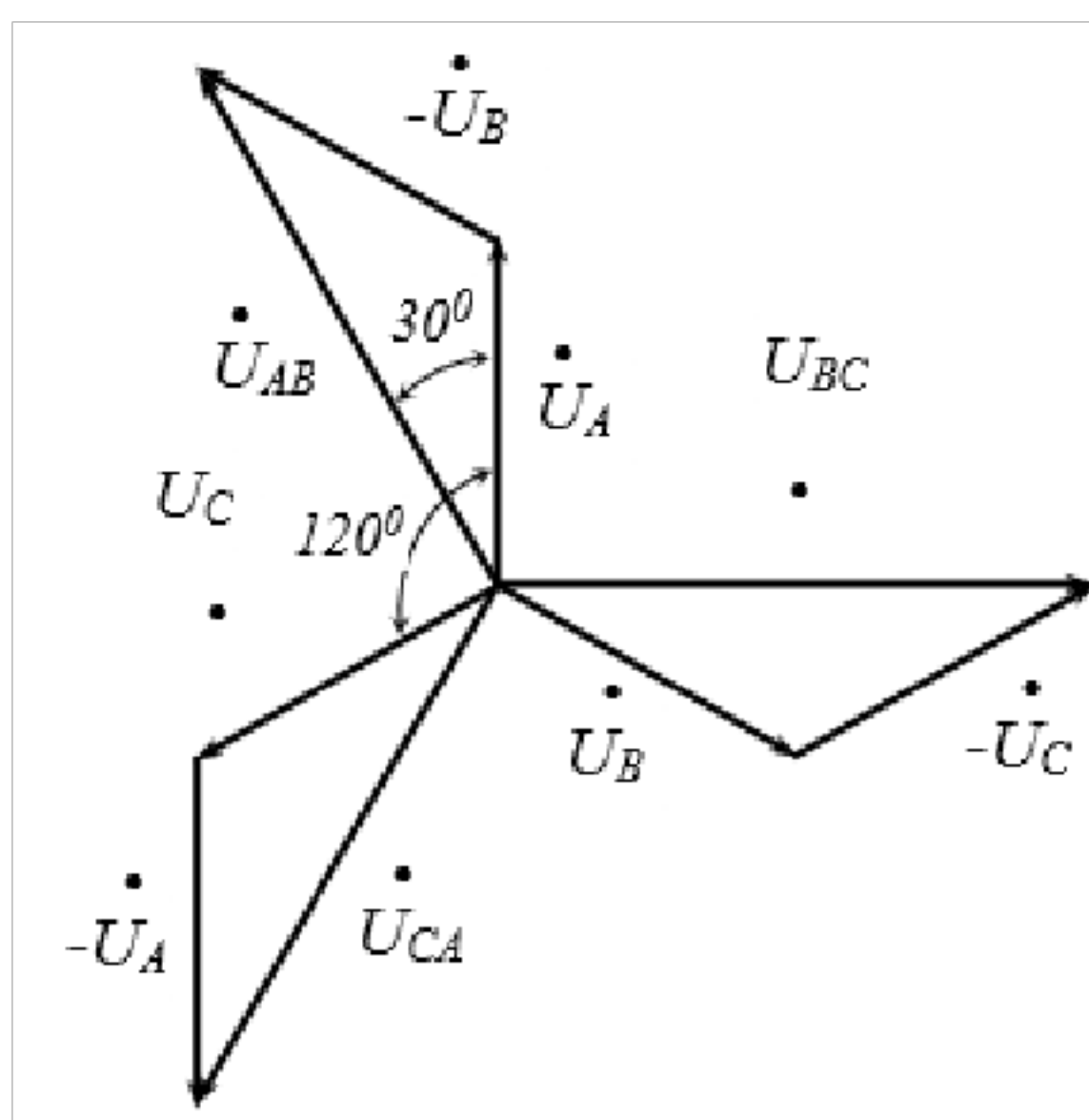


Рисунок 4.2 – Векторная диаграмма напряжений при соединении звездой

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Наличие тока в нулевом проводе вызывает незначительное падение напряжения в нем, которым можно пренебречь и считать, что между нулевой точкой источника и приемника разность потенциалов отсутствует.

На рис. 4.2 показано графическое определение линейных напряжений с помощью

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B ,$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C ,$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A ,$$

Для получения линейных напряжений сложим геометрически векторы  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_B$  и  $\dot{U}_C$  с векторами  $-\dot{U}_B$ ,  $-\dot{U}_C$ ,  $-\dot{U}_A$ , которые равны соответственно  $\dot{U}_B$ ,  $\dot{U}_C$ ,  $\dot{U}_A$ , но противоположно направлены.

Векторная диаграмма линейных напряжений также может быть получена из векторной диаграммы фазных напряжений (рис. 3). Таким образом, звезда линейных напряжений опережает звезду фазных на  $30^\circ$ . Найдем соотношение между фазными и линейными напряжениями, учитывая, что все напряжения симметричны:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_C = \dot{U}_\Phi$$

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{CA} = \dot{U}_L .$$

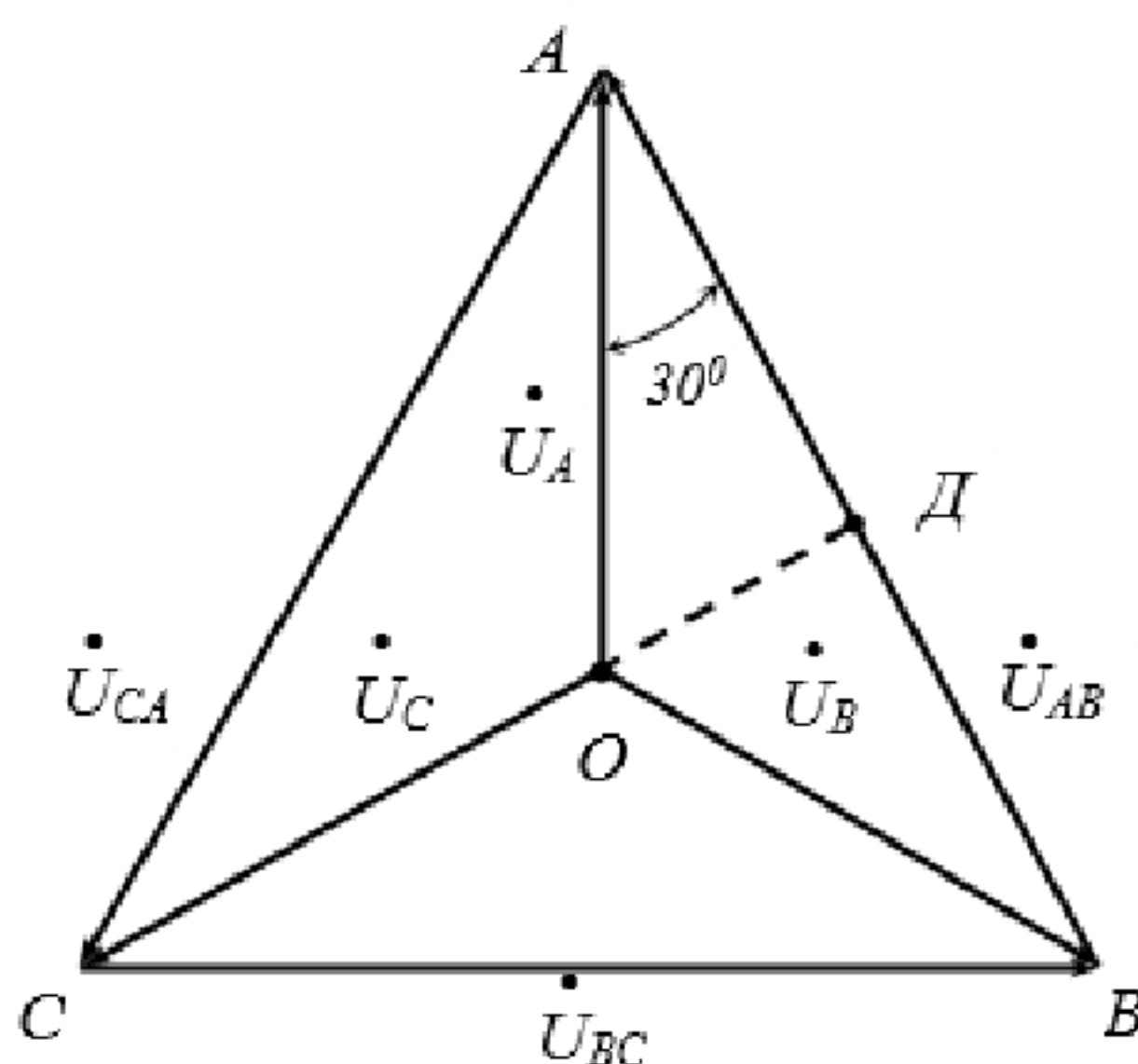
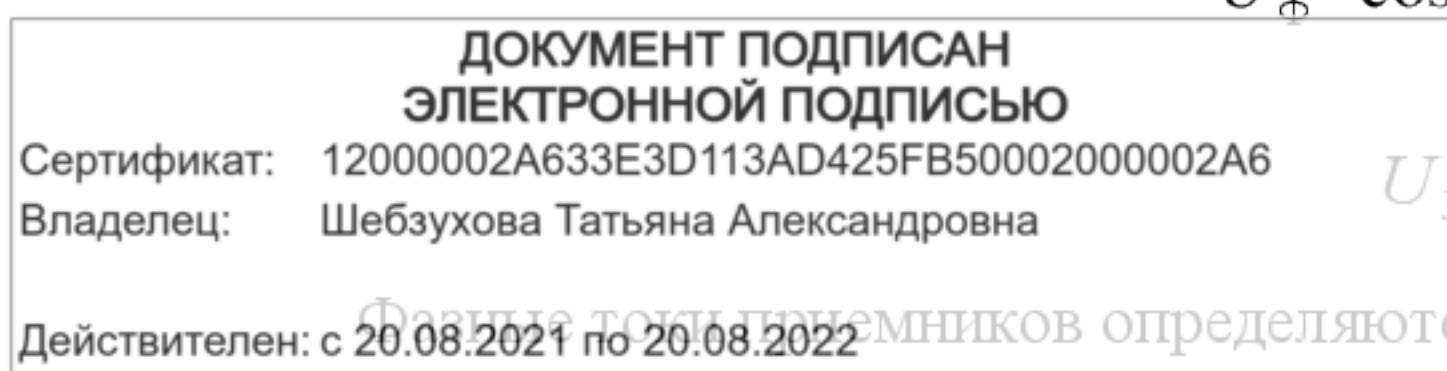


Рисунок 4.3 – Векторная диаграмма напряжений при соединении звездой

Из прямоугольного треугольника OAD имеем:

$$\begin{aligned} \frac{U_L}{2} &= \frac{U_{AB}}{2} = U_A \cdot \cos 30^\circ = \\ &= U_\Phi \cdot \cos 30^\circ = U_\Phi \frac{\sqrt{3}}{2} , \end{aligned}$$

$$U_L = \sqrt{3}U_\Phi$$



Фазные токи приемников определяются так же, как и в однофазных цепях:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{z_A} = \frac{\dot{U}_A}{\sqrt{r_A^2 + x_A^2}};$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{z_B} = \frac{\dot{U}_B}{\sqrt{r_B^2 + x_B^2}};$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{z_C} = \frac{\dot{U}_C}{\sqrt{r_C^2 + x_C^2}},$$

Углы сдвига между напряжениями и токами фаз можно определить из формул:

$$\cos \varphi_A = \frac{r_A}{z_A}; \quad \cos \varphi_B = \frac{r_B}{z_B}; \quad \cos \varphi_C = \frac{r_C}{z_C}.$$

Если приемники обладают чисто активными сопротивлениями, то  $z_A = r_A$ ,  $z_B = r_B$ ,  $z_C = r_C$ , а углы сдвига между токами и напряжениями во всех трех фазах будут нулевыми. На рис. 4 представлена топографическая диаграмма напряжений и токов при активной несимметричной нагрузке.

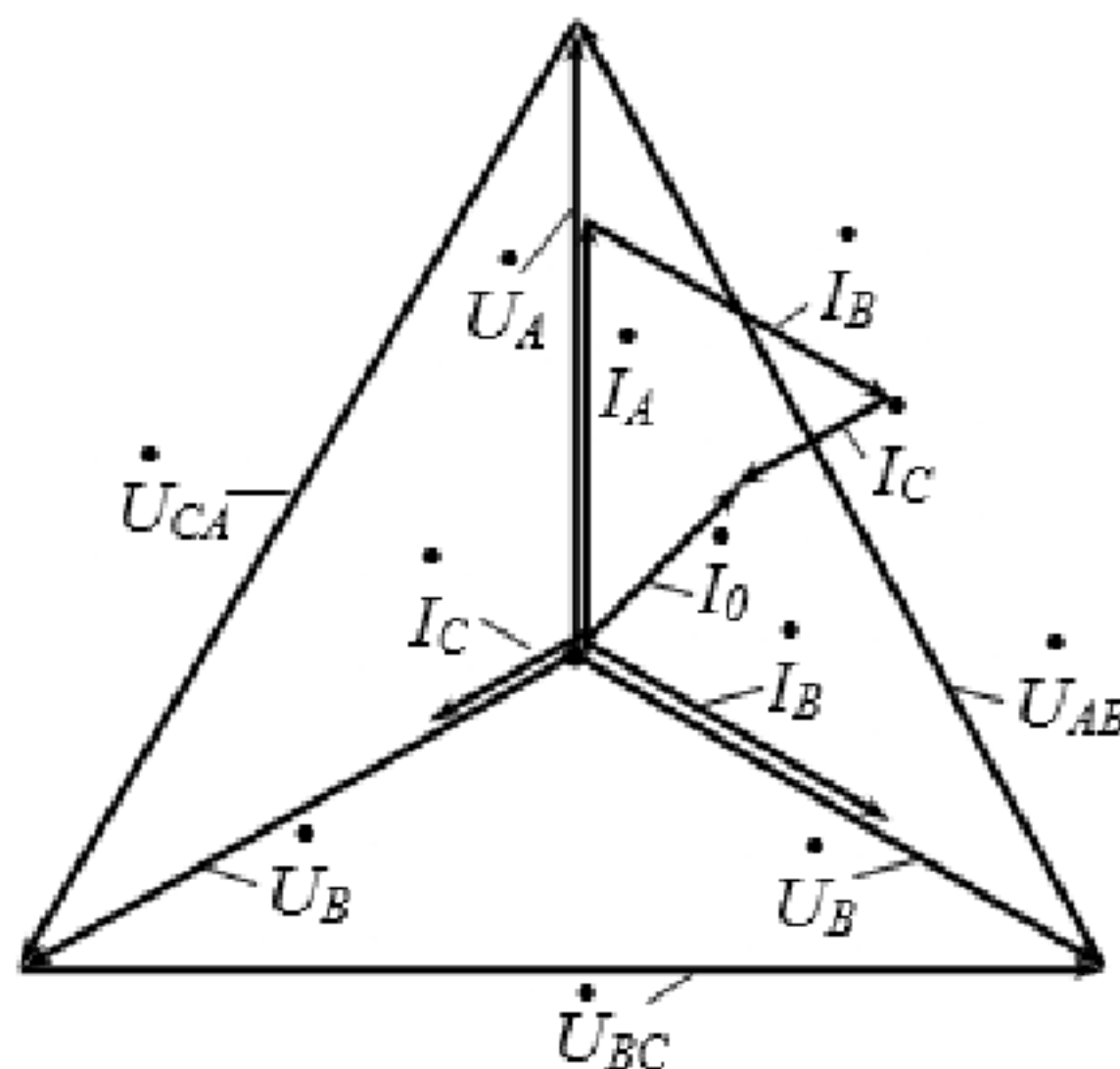


Рисунок 4.4 – Векторная диаграмма напряжений и токов четырехпроводной цепи при активной несимметричной нагрузке фаз

Ток нулевого провода  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

Сечение нулевого провода зависит от степени несимметрии нагрузки фаз, но обычно его принимают равным 50% от сечения линейного провода.

При наличии нейтрали (нулевого провода) напряжения на фазах приемников

остаются неизменными и равными фазным напряжениям источника даже при неравномерной нагрузке, если пренебречь сопротивлением проводов линии и нулевого

провода. Предельным случаем неравномерной нагрузки фаз в четырехпроводной системе трехфазного приемника, включенного звездой, можно считать обрыв одной из фаз. Например, если фаза  $A$  будет оборвана, то не будет напряжения и тока у потребителя, включенного в эту фазу, а в оставшихся под напряжением фазах режим работы не изменится. Что касается нулевого провода, то если до обрыва одной из фаз ток был равен  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$  (рис. 4.4), то теперь он изменится и будет определяться по первому закону Кирхгофа:  $\dot{I}_0 + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$ , откуда  $-\dot{I}_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C$  (рис. 4.5)

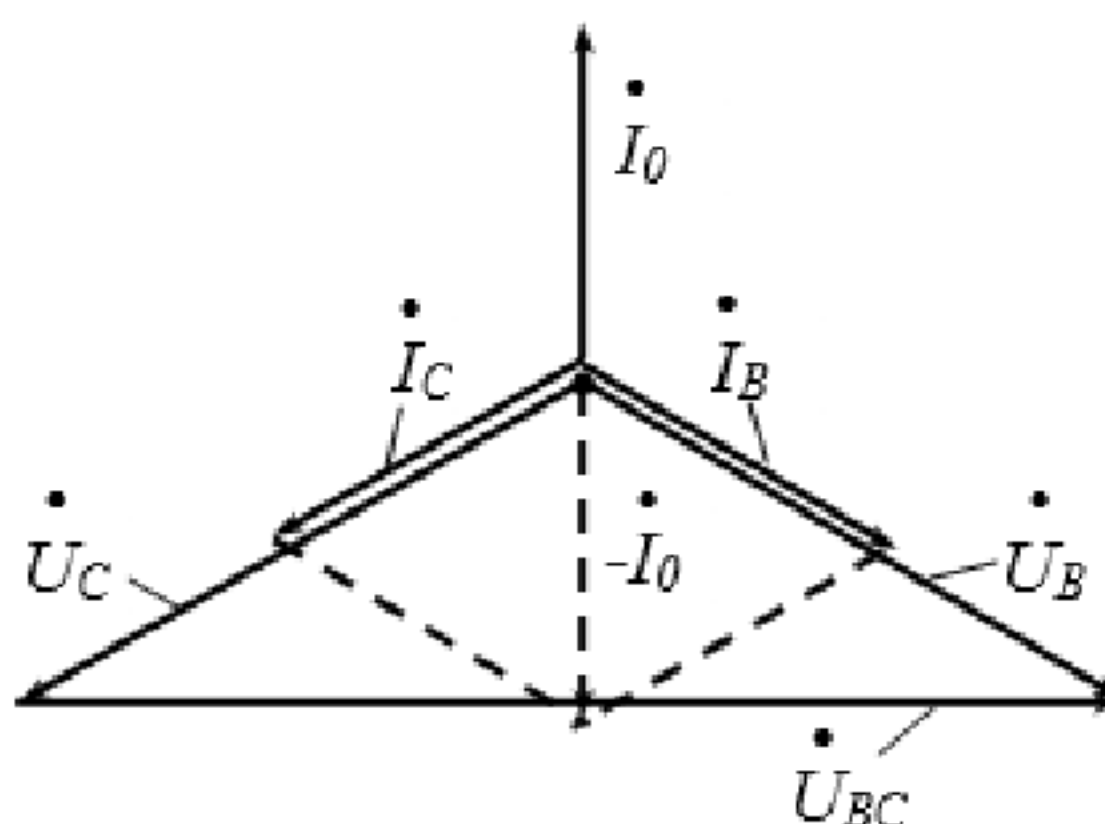


Рисунок 4.5 – Векторная диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы  $A$

При обрыве или отсутствии в схеме нулевого провода энергетические соотношения в этой цепи изменятся.

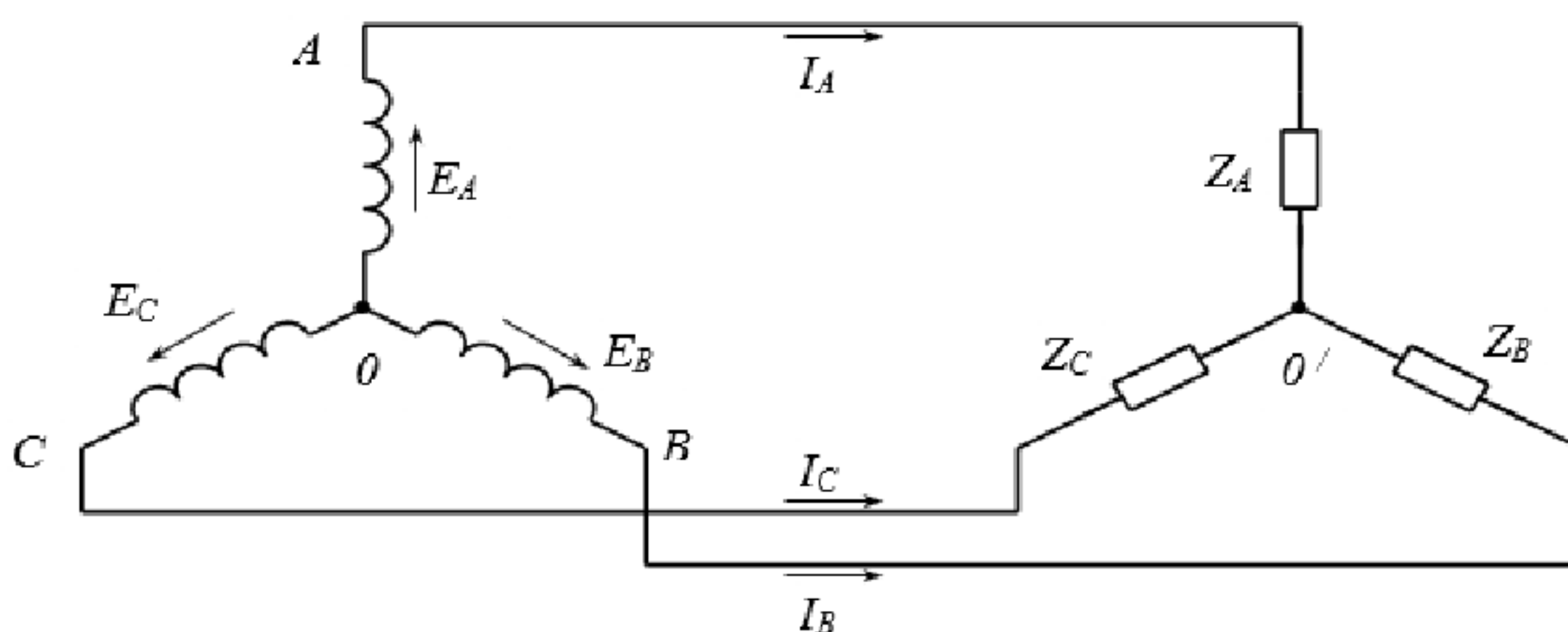


Рисунок 4.6 – Схема трехпроводной цепи трехфазного тока

При симметричной нагрузке в трехпроводной трехфазной системе (рис. 4.6) напряжение между нулевыми точками источника и приемника равно нулю и каждую фазу системы можно рассматривать как замкнутый контур.

При симметричной нагрузке и отсутствии нулевого провода фазные напряжения будут изменяться прямо пропорционально сопротивлениям фаз. Если бы система была четырехпроводной, то по нулевому проводу протекал бы ток  $I_0$  и таким образом

практически выравнивались бы фазные напряжения. На рис. 4.7 изображена векторная диаграмма напряжений и токов при неравномерной нагрузке всех трех фаз и отсутствии нулевого провода.

Треугольник линейных напряжений остается таким же, а звезда фазных напряжений и точка  $O'$  могут быть легко получены методом засечек из вершин линейных напряжений.

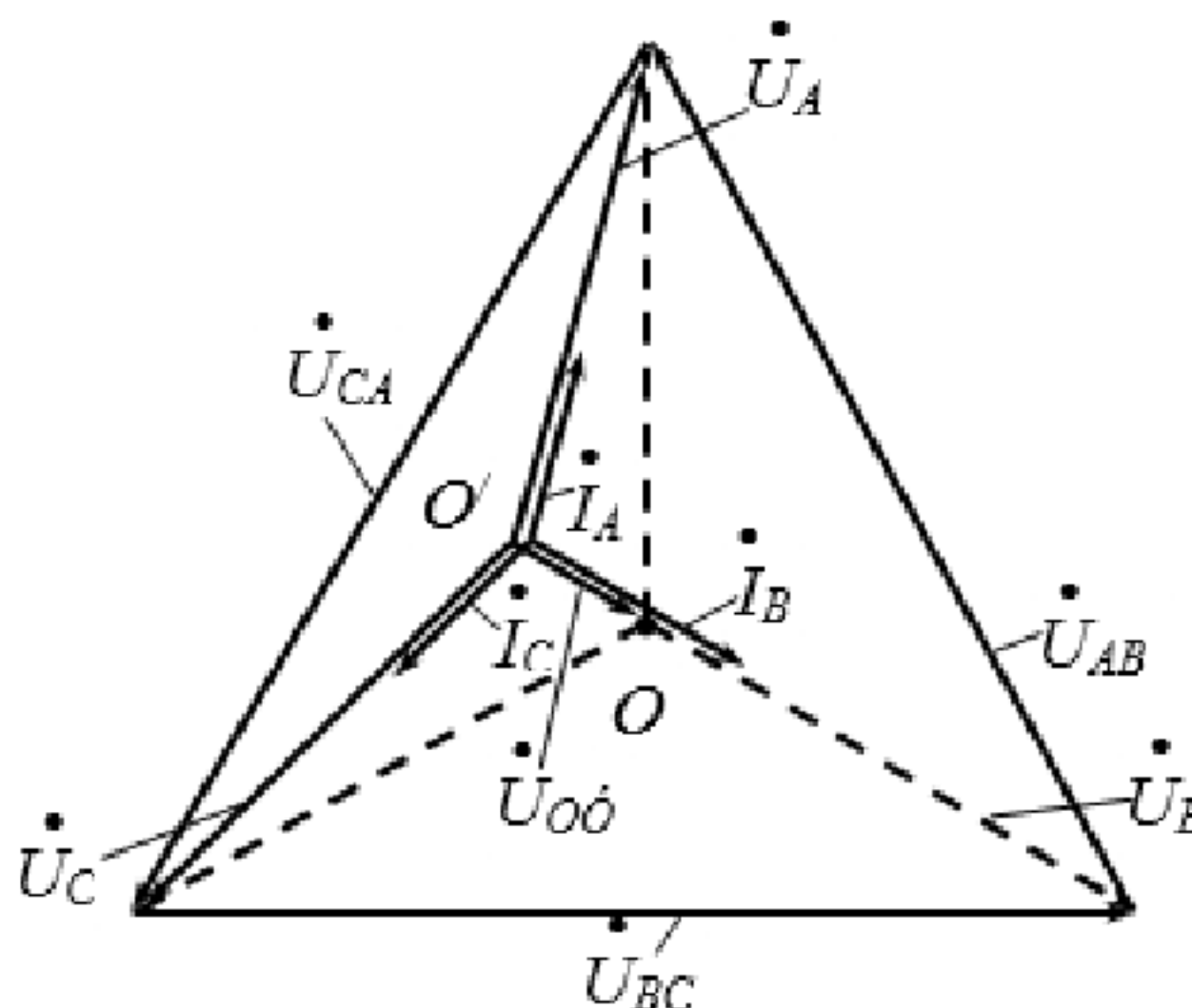


Рисунок 4.7 – Векторная диаграмма токов и напряжений при неравномерной нагрузке и отсутствие нулевого провода

Если одна из фаз, например, А, оборвется или все потребители этой фазы будут выключены, то при отсутствии нулевого провода оставшиеся под напряжением фазы В и С окажутся включенными последовательно. Фазные токи  $\dot{I}_B$  и  $\dot{I}_C$ , протекающие через последовательно включенные сопротивления приемника, в этом случае будут одинаковыми, а фазные напряжения будут пропорциональны сопротивлениям фаз (рис. 4.8). Поэтому на векторной диаграмме точка  $O'$  переместится на вектор линейного напряжения  $U_{BC}$  и будет делить его на части, равные фазным напряжениям  $U_B$  и  $U_C$  (в нашем случае  $U_B = U_C$ )

$$\dot{U}_C = \dot{U}_B = \frac{1}{2} \dot{U}_L = \frac{1}{2} \sqrt{3} \dot{U}_\phi = 0,87 \dot{U}_\phi$$

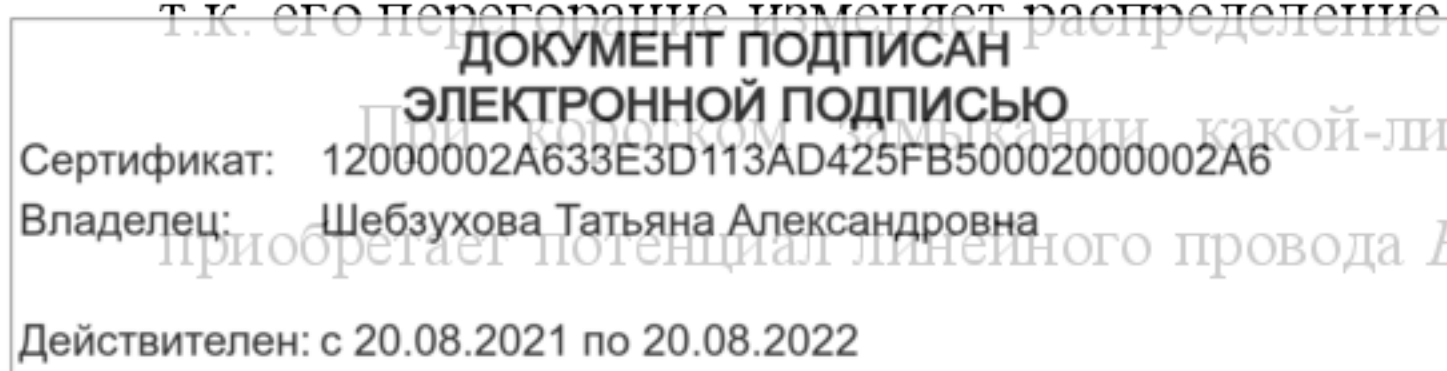
Напряжение фазы А возрастет:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \dot{U}_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 1,5 \dot{U}_\phi$$

Поэтому в четырехпроводных цепях на нулевой провод не ставят предохранитель,

т.к. его перегорание изменит распределение напряжений фаз.

При обрыве какой-либо фазы, например, С, нулевая точка  $O'$  приобретает потенциал линейного провода ВС, а фазы А и В оказываются под линейным



напряжением. Векторная диаграмма для этого случая представлена на рис. 4.9. Точка  $O'$  перемещается в точку  $C$ .

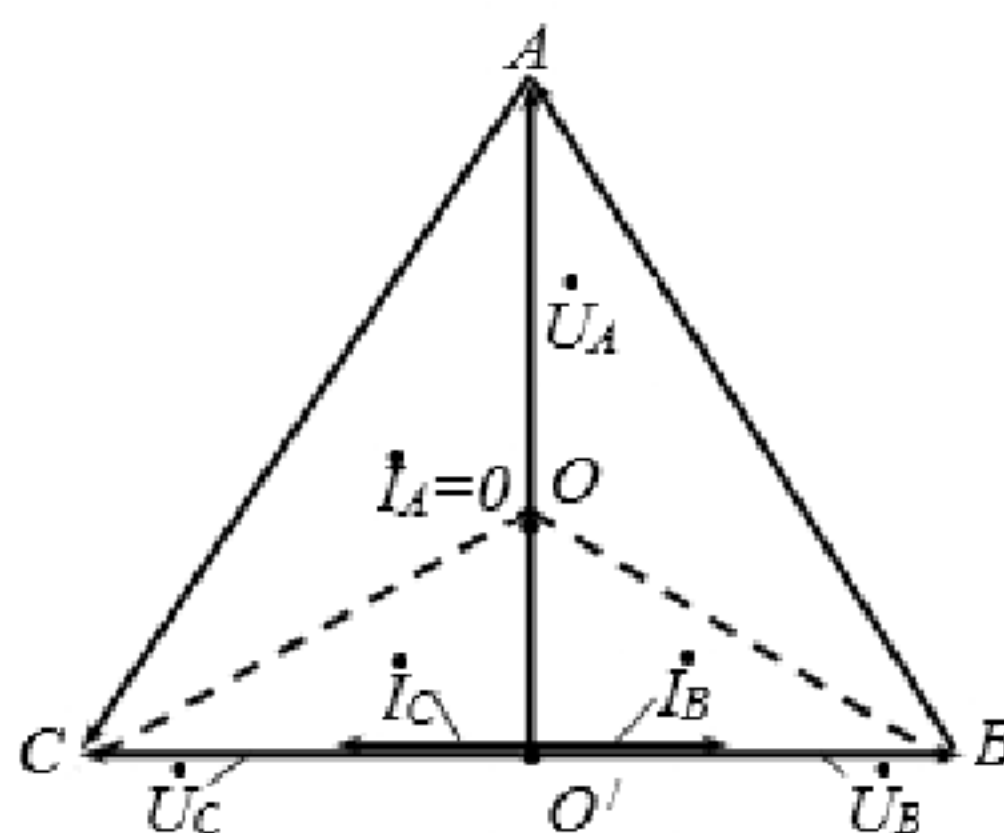
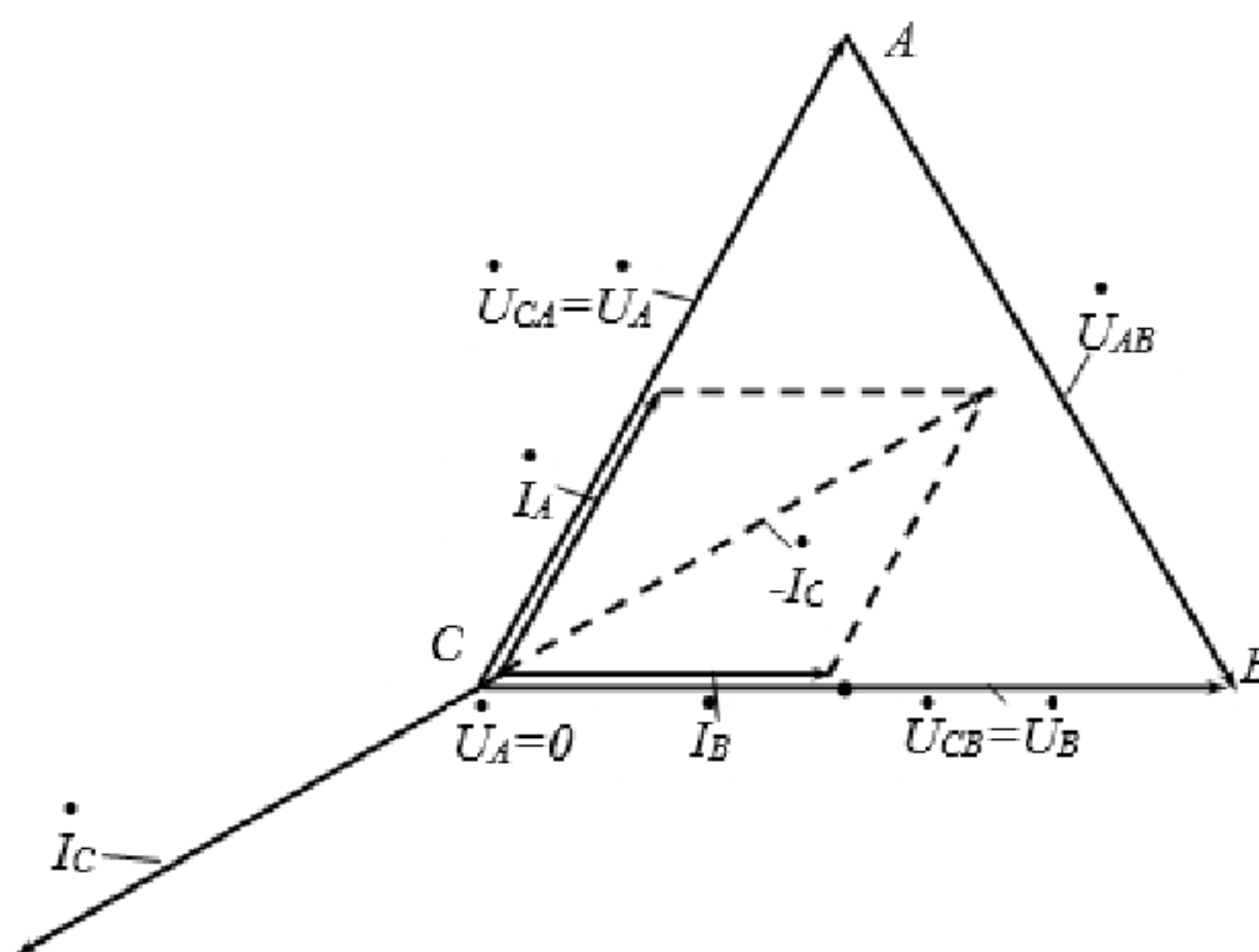


Рисунок 4.8 – Векторная диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы в схеме без нулевого провода

Напряжения фаз A и B становятся равными линейным (рис. 4.9):

$$\begin{aligned} U_A &= U_{CA} = U_L = U_\Phi \cdot \sqrt{3}, \\ U_B &= U_{BC} = U_L = U_\Phi \cdot \sqrt{3}, \\ U_C &= 0. \end{aligned}$$

Ток короткого замыкания фазы C распределяется на фазы B и A, т.е.  $I_C = I_K = -(I_A + I_B)$ . Таким образом, две фазы приемника оказываются под линейным напряжением, на которое они не рассчитаны, и они могут выйти из строя.



В цепи трехфазного тока активная мощность равна сумме активных мощностей фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C$$

Для измерения мощности в четырехпроводной цепи можно использовать три однофазных ваттметра, суммируя их показания, или использовать однофазный ваттметр с переключением его поочередно во все три фазы. Этот метод может быть использован как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке.

***Указание по технике безопасности:***

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

***Указания по выполнению лабораторной работы:***

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для выполнения работы и записать их технические данные.
2. Собрать схему (рис. 4.10) для исследования четырехпроводной цепи при соединении звездой.
3. Произвести испытания при следующих условиях:
  - а) при равномерной нагрузке всех фаз ( $R_A=R_B=R_C$ ), используя в качестве нагрузки фаз ламповые реостаты;
  - б) при неравномерной нагрузке фаз ламповыми реостатами (в одной фазе 4 лампы, во второй – 3 и в третьей – 2 лампы);
  - в) при обрыве фазы А (в одной фазе все лампы отключены, а в двух других – включены).
4. Собрать схему для исследования трехпроводной трехфазной цепи при соединении звездой (рис. 4.11).
5. Произвести испытания при следующих режимах работы:
  - а) равномерная нагрузка всех фаз ламповыми реостатами;
  - б) неравномерная нагрузка фаз (аналогично 4,б)
  - в) обрыв фазы (в одной фазе все лампы отключены, а в двух других – включены);

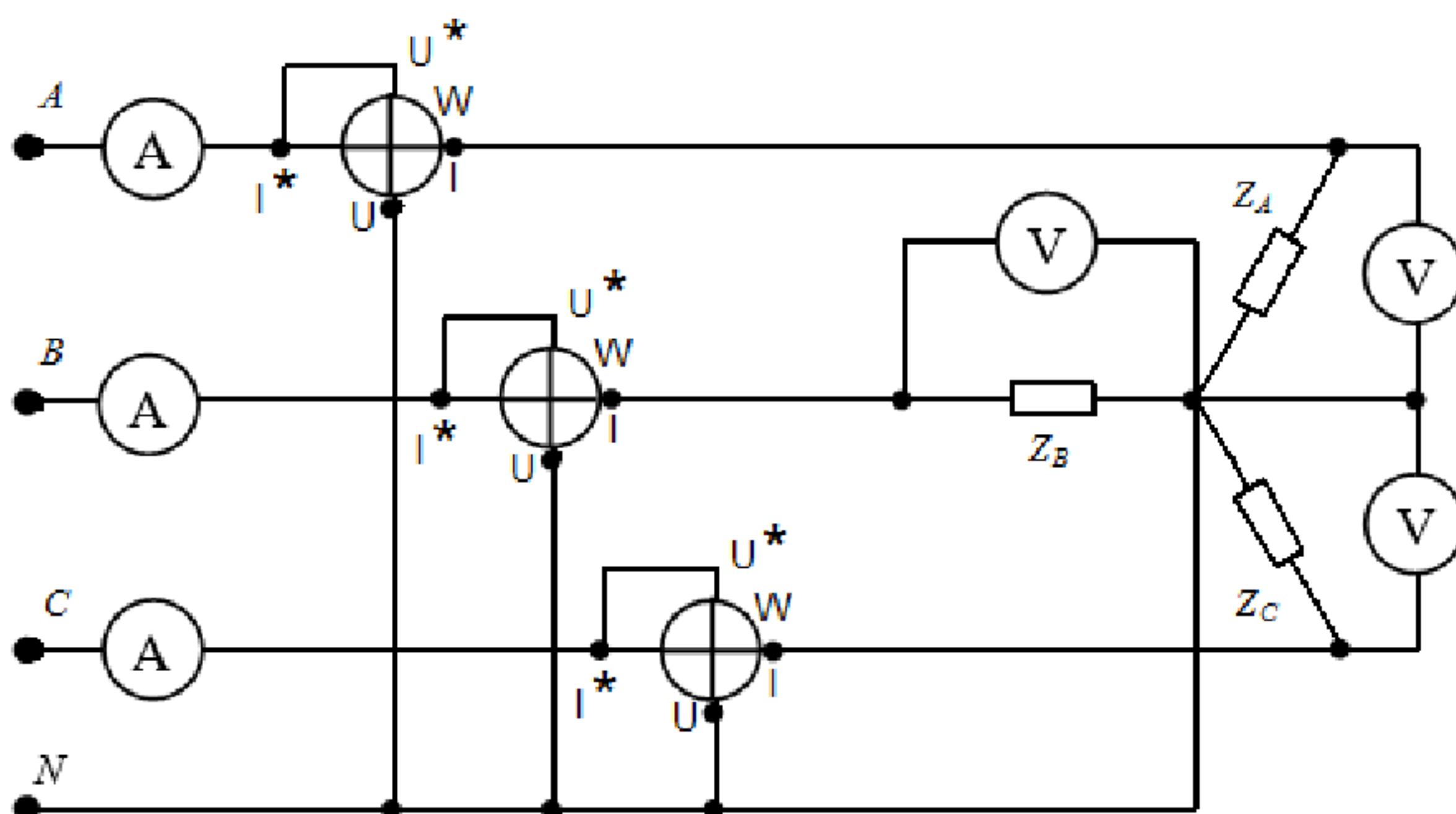


Рисунок 4.10 – Схема для исследования четырехпроводной трехфазной цепи при соединении звездой

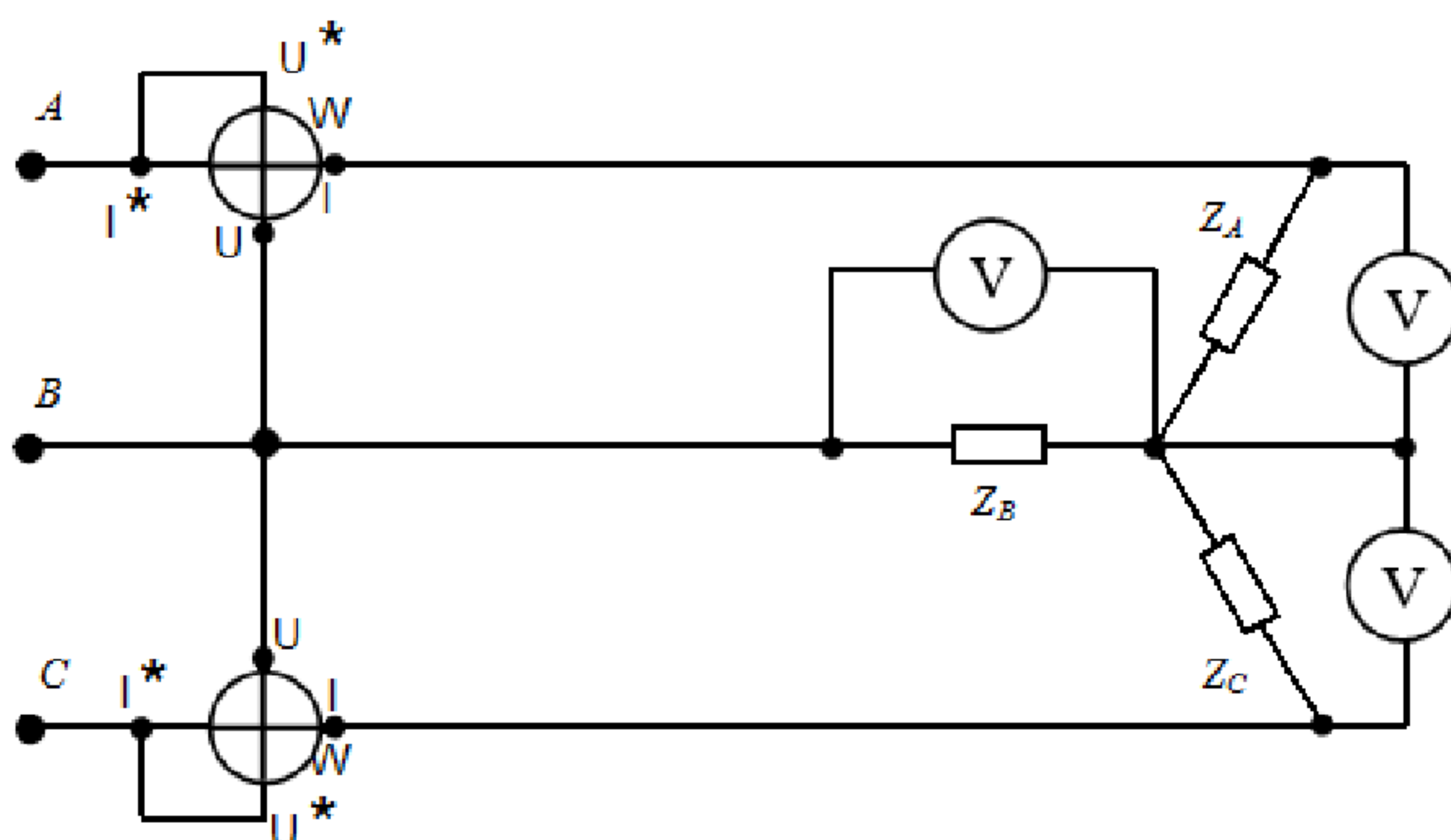


Рисунок 4.11 – Схема для исследования трехпроводной трехфазной цепи при соединении звездой

Показания приборов записать в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 Результаты измерений и вычислений

| Величины                        | Параметр     | Режим работы       |   |   |                      |   |   |   |
|---------------------------------|--------------|--------------------|---|---|----------------------|---|---|---|
|                                 |              | С нулевым проводом |   |   | Без нулевого провода |   |   |   |
| Измеренные величины             |              | а                  | б | в | а                    | б | в | г |
|                                 | $I_A, A$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $P_A, Bm$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $I_B, A$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $P_B, Bm$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $I_C, A$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $P_C, Bm$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $I_0, A$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_A, B$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_B, B$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_C, B$     |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_{AB}, B$  |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_{BC}, B$  |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $U_{CA}, B$  |                    |   |   |                      |   |   |   |
| Вычисленные величины            | $r_A, Ом$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $r_B, Ом$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $r_C, Ом$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
|                                 | $P_3, Bm$    |                    |   |   |                      |   |   |   |
| Величины, найденные из диаграмм | $I_0, A$     |                    |   |   | -                    | - | - | - |
|                                 | $U_{00'}, B$ |                    |   |   |                      |   |   |   |

Сопротивление нагрузки фаз вычислять по формулам:

$$r_A = \frac{U_A}{I_A}; \quad r_B = \frac{U_B}{I_B}; \quad r_C = \frac{U_C}{I_C}.$$

Мощность цепи определять по формулам:

$$P_3 = I_A \cdot U_A + I_B \cdot U_B + I_C \cdot U_C$$

$$P_3 = I_A \cdot U_{AC} + I_B \cdot U_{BC}$$

Ввиду того, что в данной лабораторной работе используется измерительный комплекс К505, все измерения и вычисления проводятся аналогично четырехпроводной схеме.

По результатам измерений построить в масштабе векторные диаграммы для всех рассмотренных случаев. Определить на векторных диаграммах  $I_0$  и  $U_{00'}$  и занести результаты в таблицу 4.1.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Какое соединение называется соединением звездой?
2. Как строится векторная диаграмма токов и напряжений при симметричной нагрузке?
3. В каком случае отсутствует ток в нулевом проводе?
4. Почему на нулевой провод не ставят предохранитель?
5. Каковы особенности режима работы потребителей, соединенных звездой, при неравномерной нагрузке фаз систем с нулевым проводом?
6. Каковы особенности режима работы потребителей, соединенных звездой, при обрыве фазы систем с нулевым проводом или без него?
7. Как измеряют мощность трехфазного тока в четырехпроводной схеме?

## *Лабораторная работа №5. Трехфазная цепь при соединении потребителей по схеме треугольник*

**Цель работы:** Исследовать особенности работы трехфазной цепи при соединении симметричного и несимметричного потребителей треугольником, усвоить построение векторных диаграмм по результатам эксперимента.

### **Основы теории:**

Потребители электрической энергии при питании от трехфазного источника, как и источники электрической энергии, могут быть соединены в треугольник (рис. 5.1). Следует помнить, что схема включения обмоток трехфазного генератора не предопределяет схему соединения нагрузки. Так, при соединении фаз генератора в звезду нагрузка может быть соединена в звезду с нейтральным проводом, в звезду без нейтрального провода или в треугольник.

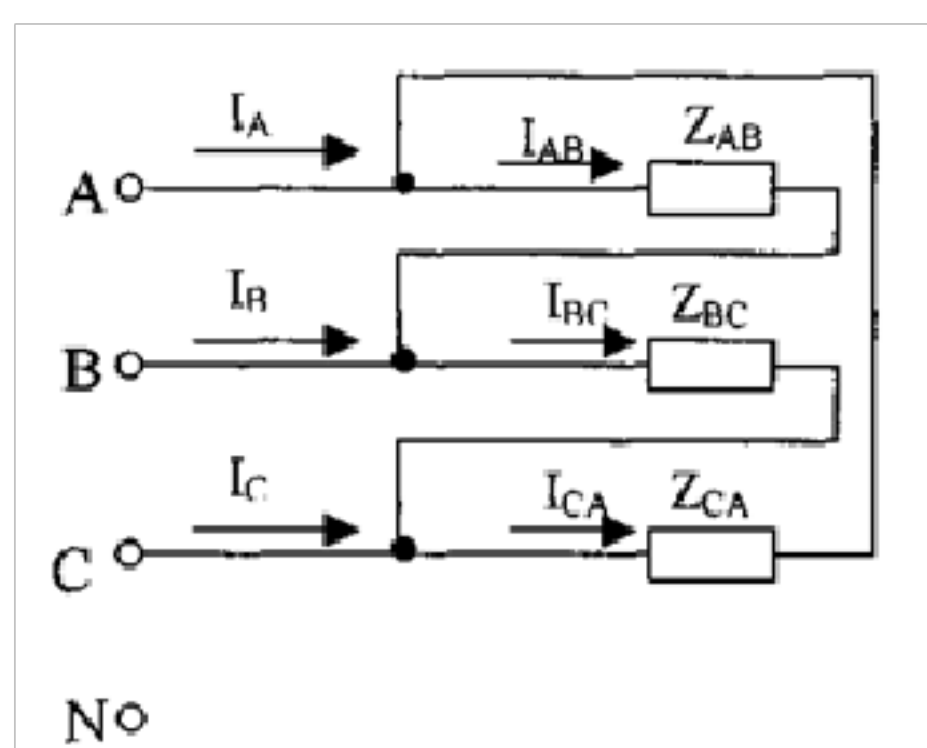


Рисунок 5.1 – Схема соединения фаз в «треугольник»

При соединении в треугольник симметричной трехфазной нагрузки линейные напряжения оказываются равными фазным напряжениям  $U_\phi = U_\Delta$ , а линейные токи в  $\sqrt{3}$  раз больше, чем токи в фазах потребителя:

$$I_\Delta = \sqrt{3} \cdot I_\phi$$

При этом все фазные токи равны по величине и отличаются друг от друга по фазе на  $120^\circ$ . То же самое относится и к линейным токам (рис. 5.2).

При несимметричной нагрузке связь между линейными и фазными токами выражается уравнениями, записанными на основании первого закона Кирхгофа в комплексной или векторной форме:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA}, \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB}, \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$$

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

при соединении в треугольник нулевой провод отсутствует, но все фазные потребители в этом случае должны быть рассчитаны на номинальное линейное напряжение

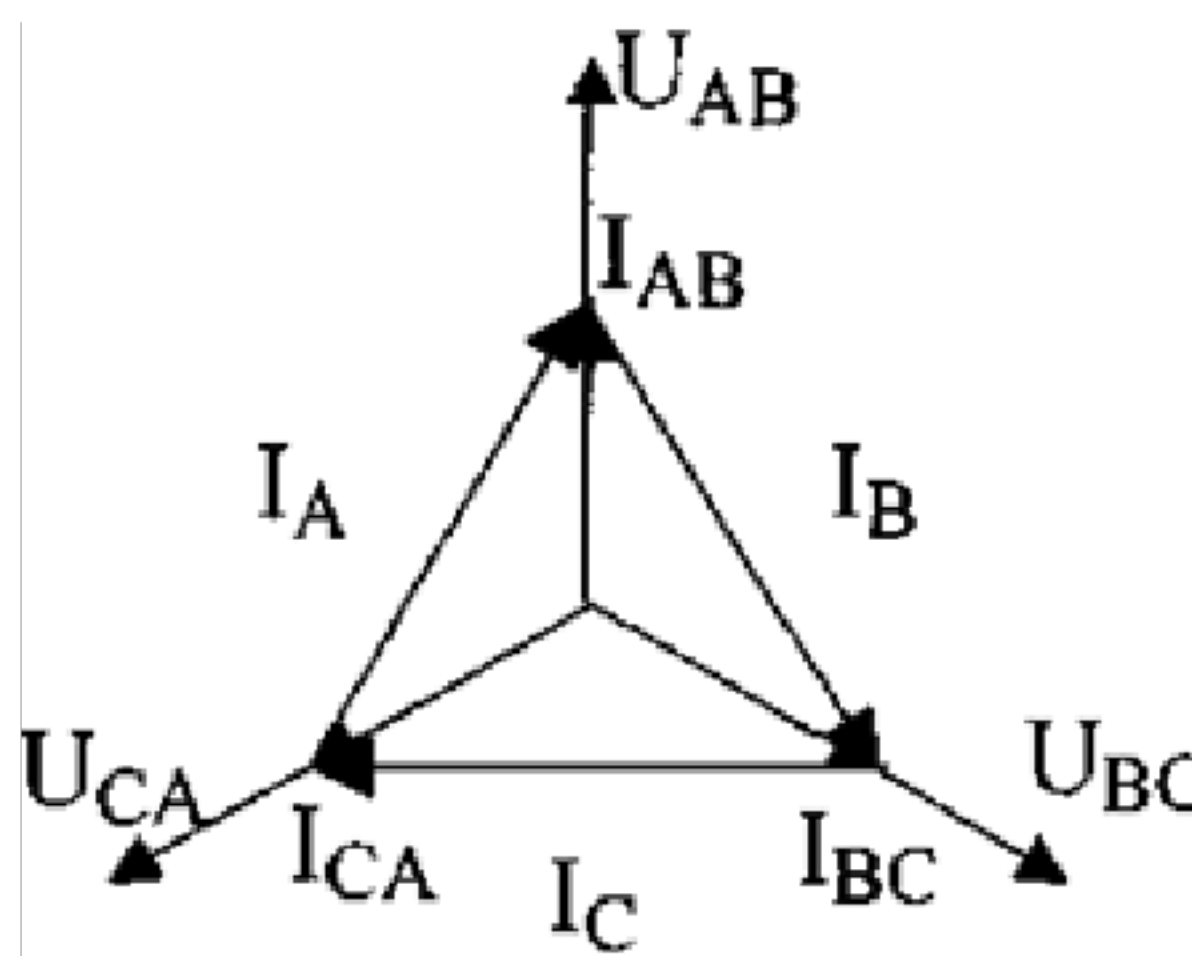


Рисунок 5.2 – Векторная диаграмма трехфазного напряжения

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Ознакомиться с лабораторной установкой (модуль трехфазного трансформатора, модуль резисторов, модуль амперметров переменного тока, модуль вольтметров).
2. Включить модуль питания модуль трехфазного трансформатора (выключатель QF1).
3. Измерить стрелочным вольтметром на модуле трехфазного трансформатора линейные напряжения источника питания на холостом ходу (при разомкнутой цепи). Результаты измерений занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

| $U_{AB}, В$ | $U_{BC}, В$ | $U_{CA}, В$ |
|-------------|-------------|-------------|
|             |             |             |

4. В соответствии с рис. 3. собрать схему соединений потребителей в треугольник. Предъявить схему для проверки.
5. Установить в фазах потребителя по указанию преподавателя одинаковые значения сопротивлений резисторов (симметричную нагрузку). Измерить фазные и линейные токи. Результаты занести в табл. 5.2.
6. Разомкнуть поочередно линейный провод фазы «А» и фазы «В» и провести измерения фазных и линейных токов. Результаты занести в табл. 2.

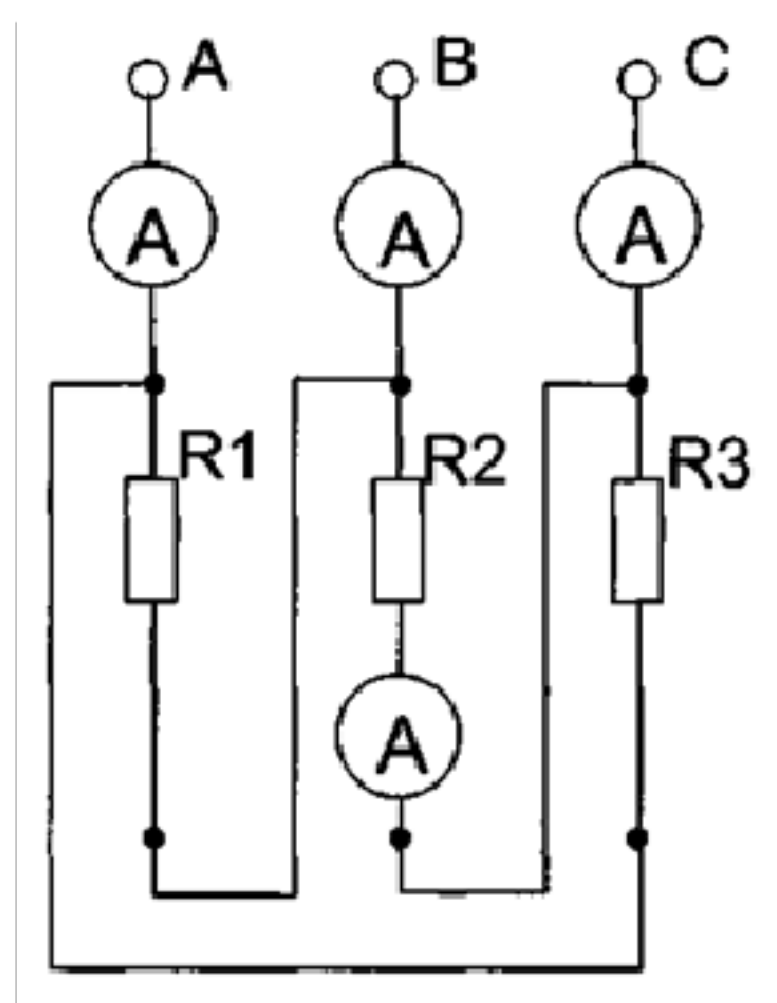


Рисунок 5.3 – Схема соединений потребителей «треугольником»

7. По указанию преподавателя изменить нагрузку в фазах потребителя так, чтобы в каждой фазе были включены различные значения сопротивлений. Результаты записать в табл. 5.2.

Таблица 5.2

| Режим нагрузки              | Ток нагрузки, А |       |       |          |          |          |
|-----------------------------|-----------------|-------|-------|----------|----------|----------|
|                             | $I_A$           | $I_B$ | $I_C$ | $I_{AB}$ | $I_{BC}$ | $I_{CA}$ |
| Симметричная нагрузка       |                 |       |       |          |          |          |
| Обрыв линейного провода «А» |                 |       |       |          |          |          |
| Обрыв линейного провода «В» |                 |       |       |          |          |          |
| Обрыв фазы потребителя «АВ» |                 |       |       |          |          |          |
| Несимметричная нагрузка     |                 |       |       |          |          |          |

8. Для всех опытов построить в масштабе векторные диаграммы.
9. Сравнить результаты измерений линейных и фазных токов при соединении в треугольник при симметричной и несимметричной нагрузке.
10. Проанализировать влияние обрыва линейного провода на режим работы потребителей.
11. Сравнить режимы работы при включении потребителей в звезду и треугольник при симметричной и несимметричной нагрузке.

### Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;

2. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
3. Краткие теоретические сведения;  
4. Описание используемого оборудования и материалов;  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Каким образом три однофазных потребителя соединяют в треугольник?
2. Куда следует подключать вольтметр, чтобы измерить фазное и линейное напряжения трехфазного потребителя?
3. В каком соотношении находятся фазные и линейные напряжения симметричного потребителя, соединенного в треугольник?
4. Какое соотношение между фазными и линейными токами симметричного потребителя, соединенного в треугольник?
5. Всегда ли справедливы при соединении в треугольник соотношения:  

$$\overline{I_A} = \overline{I_{AB}} - \overline{I_{CA}}, \overline{I_B} = \overline{I_{BC}} - \overline{I_{AB}}, \overline{I_C} = \overline{I_{CA}} + \overline{I_{BC}}$$
6. Всегда ли при соединении в треугольник справедливо  $\overline{I_A} + \overline{I_B} + \overline{I_C} = 0$
7. Как отразится отключение одной фазы потребителя на режим работы других фаз и на режим работы всей трехфазной цепи, соединенной в треугольник?

## Лабораторная работа №6. Испытание однофазного трансформатора

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией, методами испытания и определения характеристик трансформаторов.

### Основы теории:

Трансформатор – это статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения при неизменной частоте.

Трансформаторы широко применяются в технике, промышленности и быту, поэтому установленная мощность всех трансформаторов в несколько раз превышает мощность источников электроэнергии, т.е. электроэнергия на пути от источника до потребителя несколько раз трансформируется (преобразуется). По назначению трансформаторы подразделяются на силовые, сварочные, измерительные; по конструкции – на стержневые, броневые; по числу фаз – на трехфазные и однофазные.

Простейший однофазный трансформатор состоит из двух основных частей: магнитопровода (сердечника) и обмоток. Сердечник набирается из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм, с обеих сторон покрытых электротехническим лаком для уменьшения потерь в стали на вихре-вые токи. Кроме того, электротехническая сталь имеет повышенное удельное сопротивление и малые потери на гистерезис. Сердечник служит для усиления электромагнитной связи между обмотками.

На сердечнике располагаются обмотки. Обмотка, подключаемая к питающей сети, называется первичной, а обмотка, к которой подключаются потребители переменного тока, называется вторичной обмоткой (рис. 6.1).

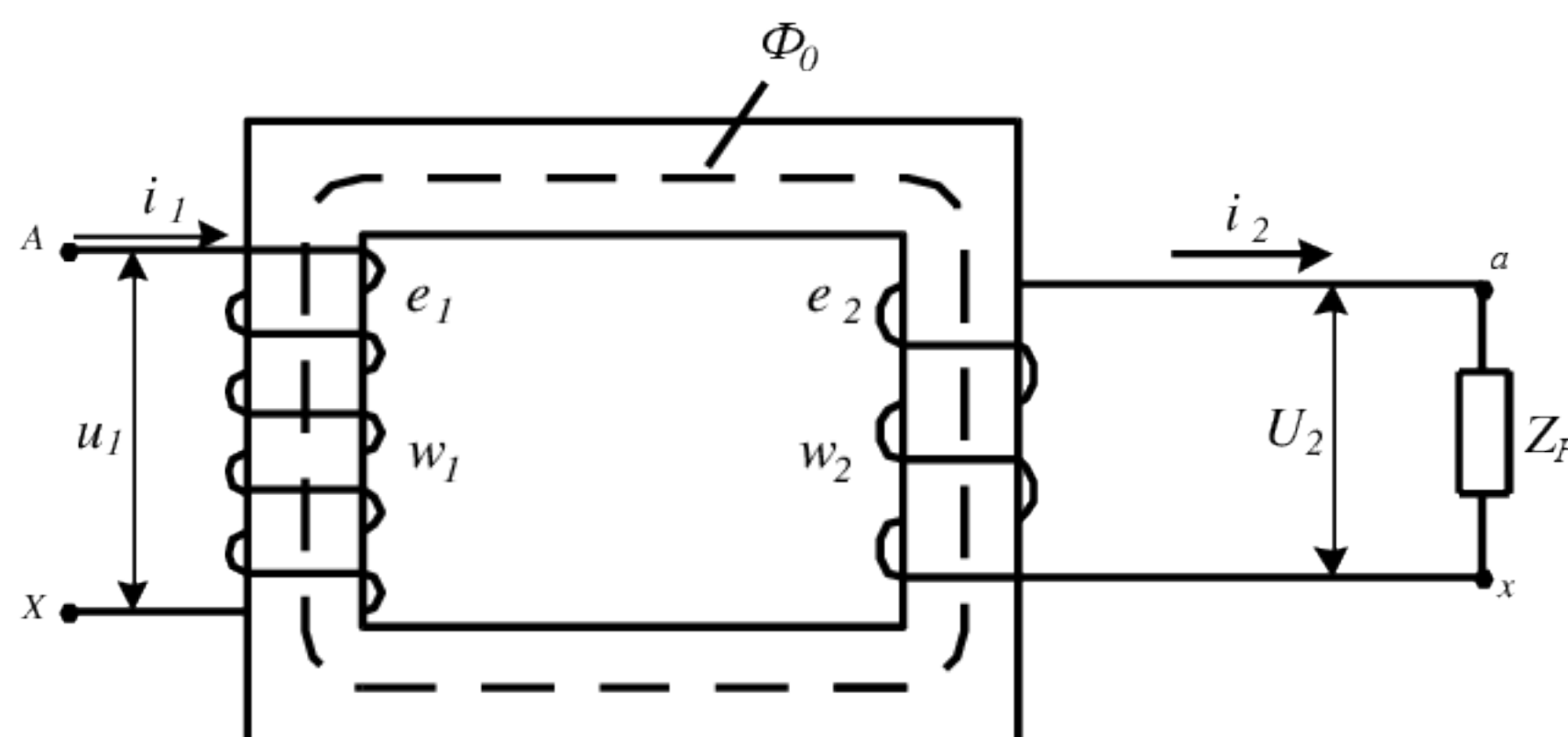


Рисунок 6.1 – Схема трансформатора

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Если к первичной обмотке, имеющей число витков  $w_1$  подвести переменное напряжение  $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ , то по ней начнет протекать ток  $i_1$ , который будет отставать от  $\dot{U}$  на  $90^\circ$ , и создаст в сердечнике переменный магнитный поток, также изменяющийся по синусоидальному закону  $\phi_0 = \Phi_{0M} \cdot \cos \omega t$ . Магнитный поток, замыкаясь по сердечнику, будет наводить в первичной и вторичной обмотках э.д.с., пропорциональные числам витков:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\Phi_0}{dt} = -w_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{0M} \sin \omega t = -E_{1M} \cdot \sin \omega t$$

$$e_2 = -w_2 \frac{d\Phi_0}{dt} = -w_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{0M} \sin \omega t = -E_{2M} \cdot \sin \omega t$$

Действующие значение этих э.д.с. будут равны:

$$E_1 = 4,44 \cdot w_1 \cdot f \cdot \Phi_{0M}$$

$$E_2 = 4,44 \cdot w_2 \cdot f \cdot \Phi_{0M}$$

Отношение этих э.д.с. называется коэффициентом трансформации:

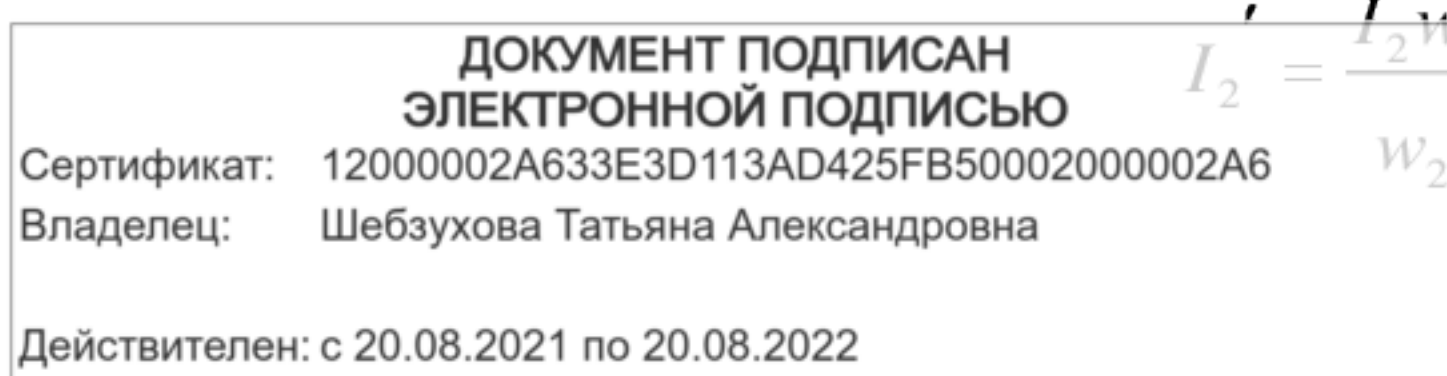
$$\kappa = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2}.$$

Если  $U_2 > U_1$ , то трансформатор повышающий, а если  $U_2 < U_1$  – то понижающий. В паспорте трансформатора указывается обычно не коэффициент трансформации, а отношение высшего напряжения к низшему.

При построении векторных диаграмм напряжений и токов трансформатора могут возникнуть затруднения с выбором масштаба напряжений первичной и вторичной обмоток, т.к.  $U_1 = \kappa U_2$ , а диаграммы должны быть в одном масштабе. Поэтому вместо реального трансформатора обычно рассматривают так называемый приведенный трансформатор, у которого одна обмотка (обычно вторичная) приведена к другой, т.е. её параметры пересчитаны таким образом, чтобы это не отразилось на энергетических процессах в трансформаторе. Приведенное напряжение и другие параметры вторичной обмотки обозначаются  $U_2', I_2', r_2', x_2', z_2'$ .

Если  $U_2' = \kappa U_2 = U_1$  и  $w_2' = \kappa w_2 = w_1$ , то ток  $I_2'$  определится из условия постоянства потокоцеплений  $I_2 w_2 = I_2' w_2'$ , откуда

$$I_2' = \frac{I_2 w_2}{w_2'} = \frac{I_2 w_2}{w_1} = \frac{I_2}{\kappa}.$$



Аналогично, приведенное сопротивление  $r_2' = \kappa^2 r_2$  определяется из равенства потерь мощности во вторичной обмотке до приведения и после приведения:

$$I_2^2 r_2 = (I_2')^2 r_2',$$

откуда

$$r_2' = \left( \frac{I_2}{I_2'} \right)^2 \cdot r_2 = \left( \frac{I_2 \cdot \kappa}{I_2} \right)^2 \cdot r_2 = \kappa^2 r_2.$$

Аналогично,

$$x_2' = \kappa^2 x_2 \text{ и } z_2' = \kappa^2 r_2.$$

Сумма  $r_1 + r_2' = r_\kappa$  называется активным сопротивлением короткого замыкания, а  $x_1 + x_2' = x_\kappa$  - индуктивным сопротивлением короткого замыкания и  $z_1 + z_2' = z_\kappa$  - полным сопротивлением короткого замыкания.

Режим работы, при котором вторичная обмотка разомкнута, т.е. нагрузка трансформатора отсутствует, называется режимом холостого хода. При этом магнитный поток создается намагничивающей силой первичной обмотки:

$$F_0 = I_0 w_1,$$

где  $I_0$  – ток холостого хода.

Величина намагничивающей силы  $F_0$  является постоянной и зависит от размеров и материала сердечника.

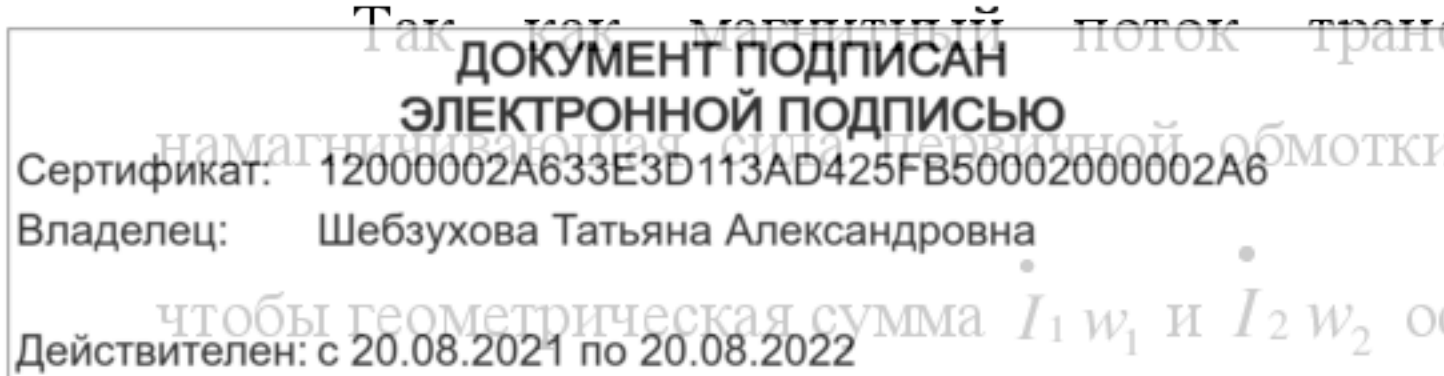
Режим работы, при котором во вторичную обмотку включена нагрузка, называется рабочим режимом или режимом нагрузки. При работе в режиме нагрузки каждая из обмоток трансформатора создает свою намагничивающую силу, причем намагничивающая сила вторичной обмотки будет направлена навстречу намагничивающей силе первичной обмотки:

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2$$

$$\dot{I}_0 \cdot w_0 = \dot{I}_1 \cdot w_1 + \dot{I}_2 \cdot w_2.$$

Таким образом, магнитный поток, создаваемый вторичной обмоткой, размагничивает магнитный поток, созданный первичной обмоткой.

Так как магнитный поток трансформатора по величине постоянен, то намагничивающая сила первичной обмотки увеличивается только на такую величину, чтобы геометрическая сумма  $\dot{I}_1 w_1$  и  $\dot{I}_2 w_2$  оставалась практически постоянной.



Следовательно, при увеличении тока во вторичной обмотке ток первичной обмотки увеличивается так, чтобы намагничивающая сила  $\dot{I}_0 w_0$  поддерживалась постоянной.

При увеличении нагрузки трансформатора напряжение вторичной обмотки снижается на величину  $\Delta U$ , которое у малых трансформаторов может быть определено путем испытаний под нагрузкой трансформатора и непосредственным измерением  $\Delta U$ . Трансформатор большой мощности нагрузить и испытать под нагрузкой очень сложно и неэкономично, поэтому для них  $\Delta U$  определяют расчетным путем.

Нагрузка трансформатора может быть чисто активной (освещение), при которой  $\cos \varphi_2 = 1,0$ , и смешанной – активно-индуктивной (R-L) или активно-емкостной (R-C), при которых  $\cos \varphi_2 < 1,0$ .

Зависимость напряжения вторичной обмотки от тока нагрузки, т.е.  $U_2 = f(I_2)$ , при постоянном по величине напряжении первичной обмотки  $U_1$  и постоянном значении коэффициента мощности  $\cos \varphi_2$ , называется внешней характеристикой трансформатора (рис. 6.2).

Напряжение на вторичной обмотке при холостом ходе, т.е. при  $I_2 = 0$ , называется номинальным напряжением. При нагрузке напряжение будет изменяться на величину  $\Delta U$ :

$$\Delta U = \frac{U_{2H} - U_2}{U_{2H}}.$$

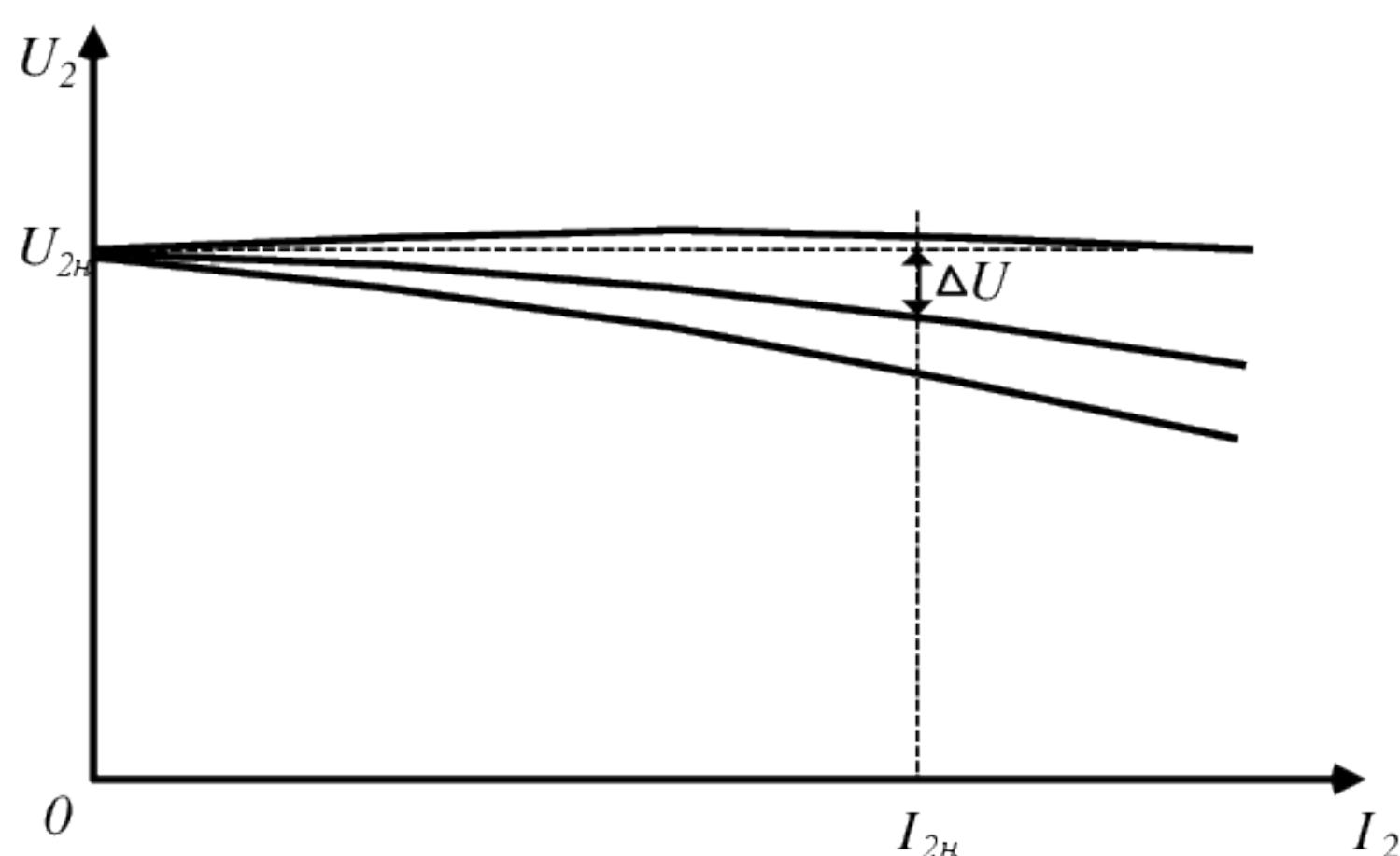


Рисунок 6.2 – Внешняя характеристика трансформатора

Для определения величины  $\Delta U$  расчетным путем необходимо выполнить два опыта: опыт холостого хода и опыт короткого замыкания.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Опыт холостого хода выполняется для определения напряжения вторичной обмотки при холостом ходе  $P_0$ . Так как при холостом ходе ток  $I_2 = 0$ , а ток  $I_1 = I_0$  и составляет несколько процентов от тока  $I_{1H}$ , то потери в

обмотке при холостом ходе малы и можно считать, что потери холостого хода – это потери в стали сердечника.

Опыт короткого замыкания, при котором вторичная обмотка замкнута накоротко ( $z_H = 0$ ), выполняется при пониженном напряжении  $U_{1KH}$ . При этом напряжение повышается от нуля до значения  $U_{1KH}$ , при котором ток замкнутой накоротко вторичной обмотки равен номинальному  $I_{2H}$ . Так как это напряжение составляет несколько процентов от номинального, то и магнитный поток, пропорциональный напряжению в сердечнике, очень мал и потерями в стали можно пренебречь и считать, что потери при опыте короткого замыкания – это потери в меди обмоток трансформатора.

Зная  $U_{1KH}$  и потери  $P_{KH}$  можно определить  $z_K$ ,  $r_K$ ,  $x_K$ :

$$z_K = \frac{U_{1KH}}{I_{1H}};$$

$$r_K = \frac{P_{KH}}{I_{1H}^2};$$

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2},$$

где  $r_K = r_1 + r_2'$  и  $x_K = x_1 + x_2'$  - активное и реактивное сопротивления короткого замыкания.

Изменение напряжения при нагрузке  $\Delta U$  можно определить по формуле:

$$\Delta U = \beta \cdot (U_{\kappa a} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\kappa p} \cdot \sin \varphi_2),$$

где  $U_{\kappa a} = I_{1H} \cdot r_K$  - активная составляющая напряжения короткого замыкания;

$U_{\kappa p} = I_{1H} \cdot x_K$  - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания;

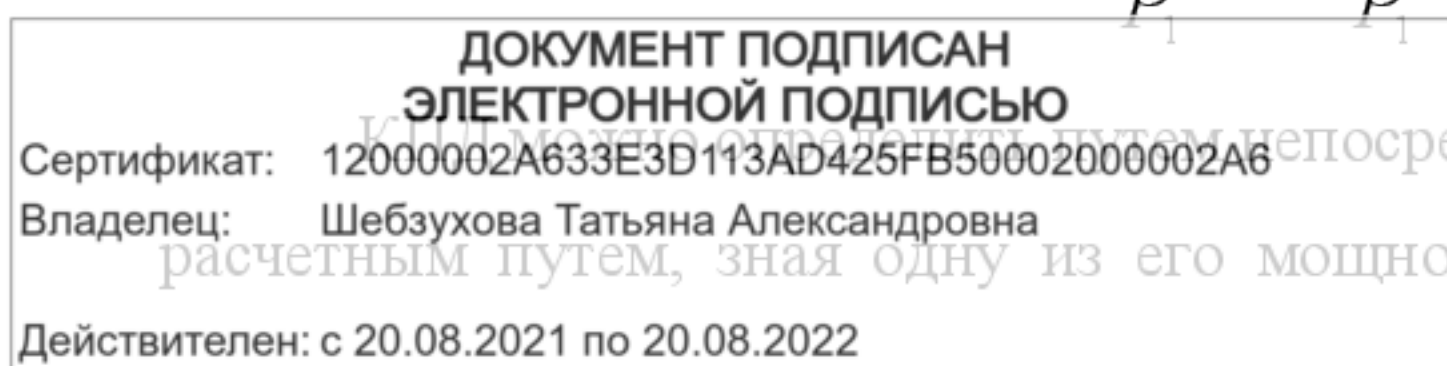
$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}}$  - коэффициент нагрузки трансформатора; значениями  $\cos \varphi_2$  и  $\sin \varphi_2$

задаемся.

Зная  $U_{KH}$  и  $\Delta U$  при различных значениях  $\beta$  и характере нагрузки, можно определить значение  $U_2$  при нагрузке и построить внешние характеристики трансформатора расчетным путем.

Важной характеристикой трансформатора является его КПД:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Sigma P}.$$



расчетным путем, зная одну из его мощностей и сумму потерь в нем. Первый метод

применяют при испытании маломощных трансформаторов, т.к. в этом случае нет проблем с нагрузкой трансформатора реостатами. В мощных трансформаторах КПД определяют путем измерения или расчета потерь в нем и полезной нагрузочной мощности  $P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2$ . Величина КПД зависит от нагрузки (рис. 3).

КПД имеет максимум при относительной нагрузке  $\frac{P_2}{P_{2H}} \approx 0,7$ , когда постоянные потери ( $P_0$ ) равны переменным потерям ( $P_K$ ).

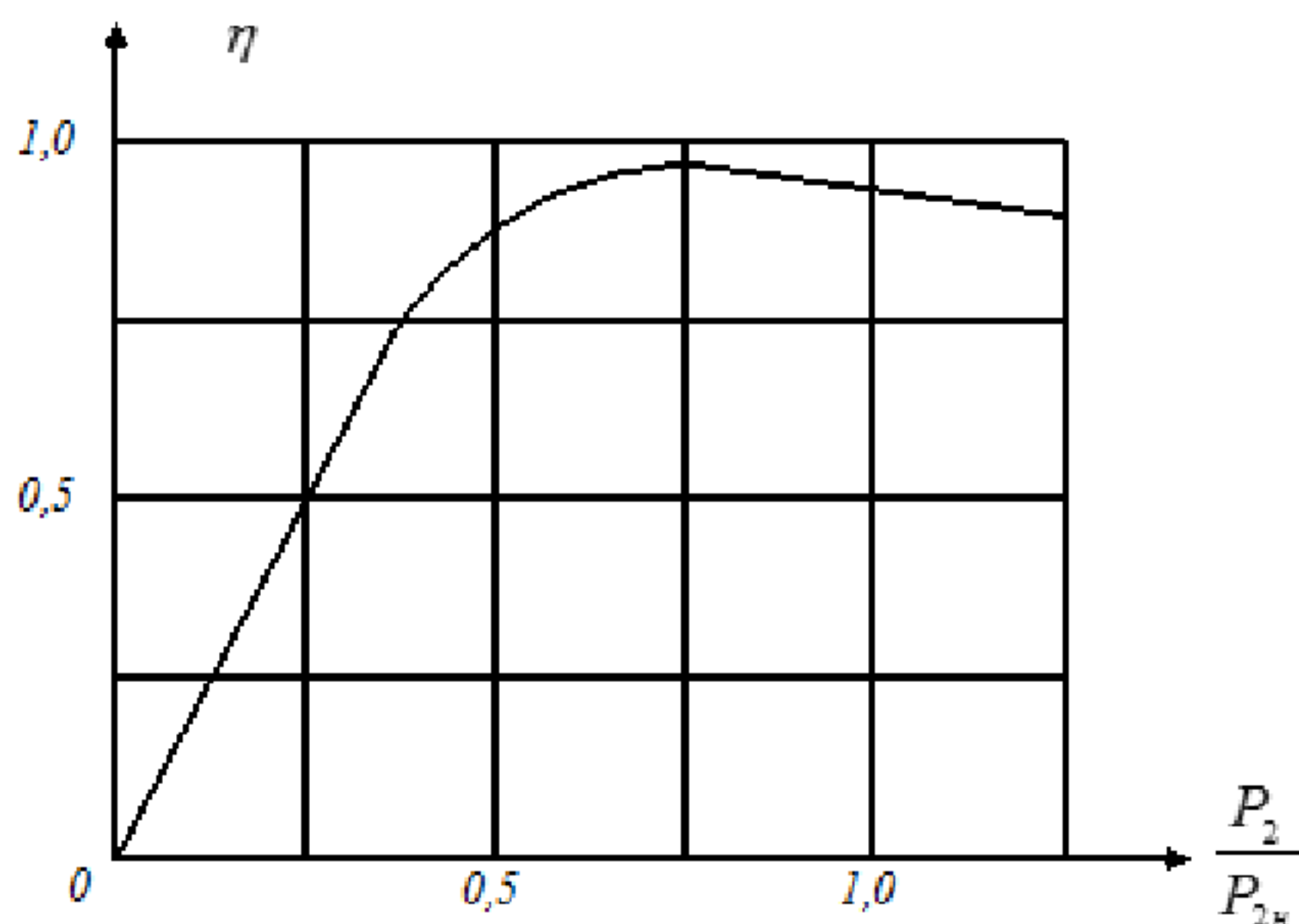


Рисунок 6.3 – Зависимость КПД трансформатора от нагрузки

При увеличении нагрузки выше  $0,7 P_{2H}$  КПД уменьшается, так как переменные потери растут пропорционально  $I_1^2$ , а мощность – пропорционально первой степени тока. При уменьшении нагрузки КПД уменьшается из-за увеличения доли постоянных потерь в общей мощности.

**Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Выполнить опыт холостого хода. Для этого собрать схему (рис. 6.4). При определении потерь холостого хода  $P_0$  ключ  $K$  в цепи вторичной обмотки должен быть замкнут на вольтметр. Результаты измерений при нескольких значениях  $U_1$  занести в таблицу 6.1.

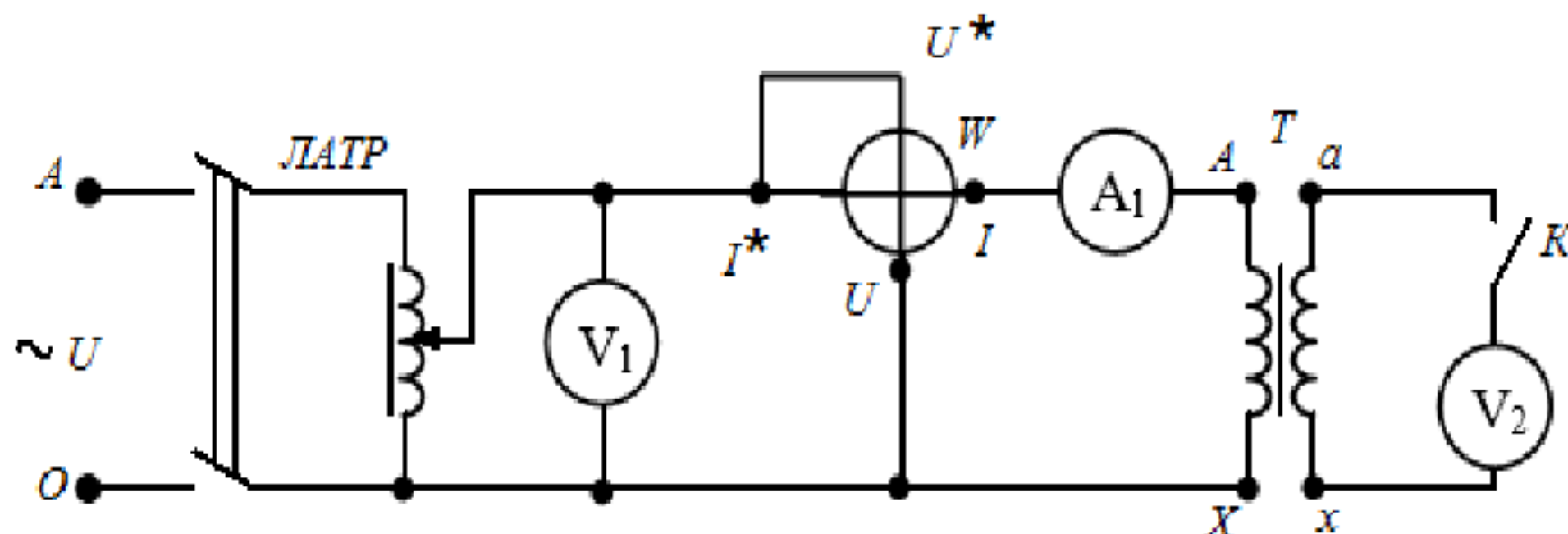
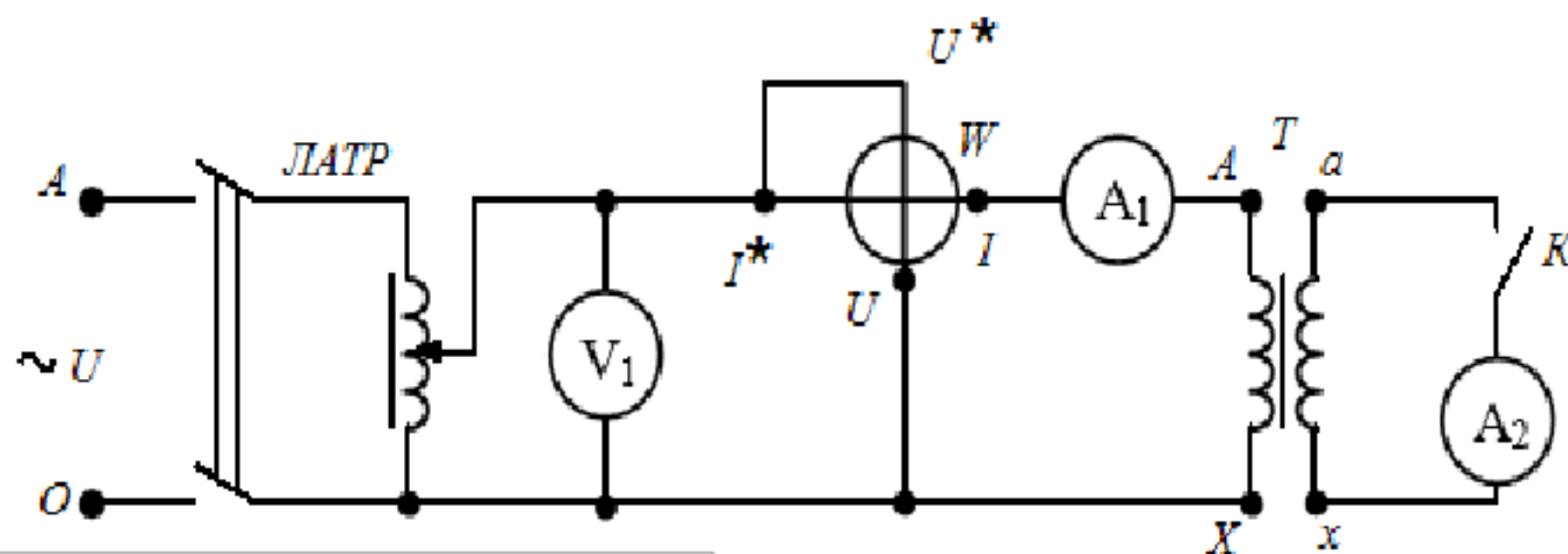


Рисунок 6.4 – Схема испытания трансформатора в режиме холостого хода

Таблица 6.1 – Результаты вычислений и измерений

| № опыта | Измеренные величины |          |       |       | Вычисленные величины |                            |
|---------|---------------------|----------|-------|-------|----------------------|----------------------------|
|         | $U_{IX}$            | $I_{I0}$ | $P_0$ | $U_2$ | $\cos \varphi_0$     | $\kappa = \frac{U_1}{U_2}$ |
|         | $B$                 | $A$      | $Bm$  | $B$   | -                    | -                          |
| 1       |                     |          |       |       |                      |                            |
| 2       |                     |          |       |       |                      |                            |
| 3       |                     |          |       |       |                      |                            |

2. Выполнить опыт короткого замыкания. Для этого собрать схему (рис. 5), при этом в схеме вольтметр  $V_2$  заменить амперметром  $A_2$ . Перед включением схемы поворотную рукоятку ЛАТРа нужно установить на ноль. Затем замкнуть ключ  $K$ , включить схему и плавно увеличивать напряжение ЛАТРа до тех пор, пока амперметры  $A_1$  и  $A_2$  не станут показывать номинальные значения токов  $I_{1H}$  и  $I_{2H}$ , при этом напряжение первичной обмотки будет равно  $U_{1KH}$ . Записать показания приборов в таблицу 6.2.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Схема испытания трансформатора в режиме короткого замыкания

По результатам опытов холостого хода и короткого замыкания определить коэффициент трансформации  $k$ ,  $U_{2K}$ ,  $\cos \varphi_0$ ,  $\cos \varphi_K$ , полное, активное и индуктивное сопротивления короткого замыкания  $z_K$ ,  $r_K$  и  $x_K$ :

Таблица 6.2 – Результаты вычислений и измерений

| № опыта | Измеренные величины |          |          |          | Вычисленные величины |                  |       |       |       |        |
|---------|---------------------|----------|----------|----------|----------------------|------------------|-------|-------|-------|--------|
|         | $U_{1K}$            | $I_{1K}$ | $P_{1K}$ | $I_{2K}$ | $\frac{I_2}{I_1}$    | $\cos \varphi_K$ | $z_K$ | $r_K$ | $x_K$ | $\eta$ |
|         | $B$                 | $A$      | $Bm$     | $A$      | -                    | -                | $Om$  | $Om$  | $Om$  | -      |
| 1       |                     |          |          |          |                      |                  |       |       |       |        |
| 2       |                     |          |          |          |                      |                  |       |       |       |        |
| 3       |                     |          |          |          |                      |                  |       |       |       |        |

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 \cdot I_0} ; \cos \varphi_K = \frac{P_K}{U_{1K} \cdot I_{1K}} ;$$

$$z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1K}} ; r_K = \frac{P_K}{I_{1K}^2} ;$$

$$x_K = \sqrt{z_K^2 - r_K^2} .$$

Определить коэффициент полезного действия трансформатора  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{2H}}{P_{2H} + P_0 + P_K} .$$

Значения  $P_{2H}$  берется из паспортных данных трансформатора.

Задавая значениями  $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0$  определить  $\Delta U$  при значениях  $\cos \varphi_2 = 1,0; 0,8 (R - L)$  и  $0,8 (R - C)$ , результаты расчетов свести в таблицу 6.3. Затем построить внешние характеристики для принятых значений  $\cos \varphi_2$ , при этом имея в виду, что  $\cos \varphi_2$  при  $(R - C)$  нагрузке отрицателен.

Таблица 3 – Результаты вычислений и измерений

| $\beta$ | $U_{\kappa a} = I_{1H} \cdot r_K$ | $U_{\kappa p} = I_{1H} \cdot x_K$ | $U_{\kappa a} \cdot \cos \varphi_2$ | $U_{\kappa p} \cdot \sin \varphi_2$ | $U_{\kappa a} \cdot \cos \varphi_2 + U_{\kappa p} \cdot \sin \varphi_2$ | $\Delta U$ |
|---------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| -       | $B$                               | $B$                               | $B$                                 | $B$                                 | $B$                                                                     | $B$        |
| 0       |                                   |                                   |                                     |                                     |                                                                         |            |
| 0,25    |                                   |                                   |                                     |                                     |                                                                         |            |
| 0,5     |                                   |                                   |                                     |                                     |                                                                         |            |
| 0,75    |                                   |                                   |                                     |                                     |                                                                         |            |
| 1,0     |                                   |                                   |                                     |                                     |                                                                         |            |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

2. Выполнить опыт под нагрузкой по схеме рис. 6.6. При этом схему соединений первичной обмотки (рис. 6.5) не изменяют, а к вторичной обмотке подключают нагрузочный реостат и выполняют измерения при трех – четырех значениях нагрузки.

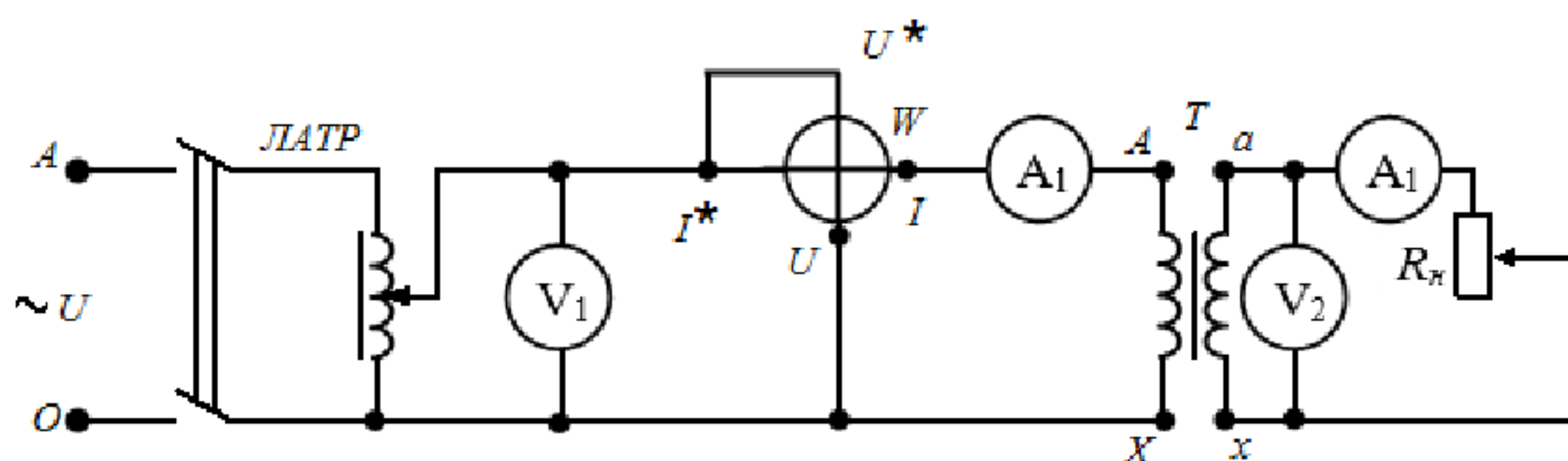


Рисунок 6.6 – Схема испытания трансформатора под нагрузкой

В следующем опыте последовательно с нагрузочным реостатом подключают катушку индуктивности и выполняют замер  $I_2$  и  $U_2$ . Затем опыт повторяют при подключении последовательно с нагрузочным реостатом  $R_H$  емкости  $C$ . Результаты измерений заносят в таблицу 4. По результатам этих опытов строят внешние характеристики.

Таблица 6.4 – Данные для построения внешних характеристик

| № опыта | Измеренные величины |       |                    |       |                    |       |
|---------|---------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|         | Активная нагрузка   |       | $R$ - $L$ нагрузка |       | $R$ - $C$ нагрузка |       |
|         | $I_2$               | $U_2$ | $I_2$              | $U_2$ | $I_2$              | $U_2$ |
|         | $A$                 | $B$   | $A$                | $B$   | $A$                | $B$   |
| 1       |                     |       |                    |       |                    |       |
| 2       |                     |       | —                  | —     | —                  | —     |
| 3       |                     |       | —                  | —     | —                  | —     |

#### Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Результаты и обработка результатов;

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

**Контрольные вопросы:**

1. С какой целью выполняют опыт холостого хода?
2. Как определяется напряжение  $U_{2H}$ ?
3. Чем обусловлены потери мощности в режиме холостого хода?
4. С какой целью и как выполняют опыт короткого замыкания?
5. Как определяют изменение номинального напряжения  $\Delta U_H$ ?
6. От чего зависят потери мощности в режиме короткого замыкания?
7. При каких условиях КПД имеет максимальное значение?
8. Какая нагрузка для трансформатора является более предпочтительной?
9. Почему сердечник трансформатора набирают из листов электротехнической стали?
10. Будет ли работать трансформатор с деревянным сердечником?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## **Лабораторная работа №7. Испытание трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором**

**Цель работы:** ознакомиться с конструкцией, методами пуска и характеристиками асинхронного электродвигателя

### **Основы теории:**

Асинхронным двигателем называют двигатель переменного тока, ротор которого вращается не синхронно с вращающимся магнитным полем статора.

Статором называют неподвижную часть машины, а ротором – вращающуюся часть. Статор состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга электротехническим лаком для уменьшения вихревых токов, и обмотки, укладываемой в пазы, выштампованные на внутренней поверхности статора. При подключении трехфазной обмотки статора в трехфазную сеть, в статоре создается вращающееся магнитное поле, частота вращения которого постоянна и равна:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p},$$

где  $f_1$  – частота напряжения питающей сети ( $f_1 = 50$  Гц)

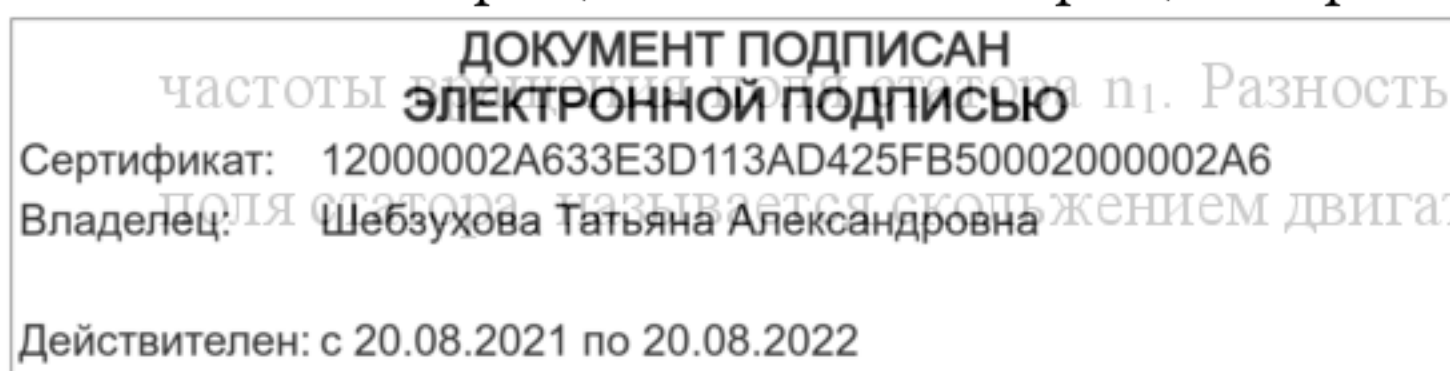
$p$  – число пар полюсов двигателя.

Ротор также состоит из сердечника и обмотки, которые насажены на вал. Сердечник ротора набирают из листов электротехнической стали, в которых на внешней поверхности выштампованы пазы. Асинхронные двигатели в зависимости от конструкции ротора могут быть двух типов. В двигателях с фазным ротором в пазы ротора укладывают такую же трехфазную обмотку, как и на статоре.

Три конца обмоток соединяют в звезду, а три других выводят на контактные кольца. В двигателе с короткозамкнутым ротором в пазы ротора заливают расплавленный алюминий, при этом вместе с обмотками отливают короткозамыкающие кольца, в результате чего обмотка получается короткозамкнутой.

Вращающееся магнитное поле статора пересекает обмотку ротора и наводит в них э.д.с., а так как обмотка замкнута накоротко, то в ней начинают протекать токи, при взаимодействии которых с магнитным полем создается вращающий момент, и ротор начинает вращаться. Частота вращения ротора  $n$  в двигательном режиме всегда меньше

частоты вращения магнитного поля статора  $n_1$ . Разность этих частот, отнесенная к частоте вращения магнитного поля статора, называется скольжением двигателя



$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}.$$

Так как вращающий момент появляется в результате взаимодействия тока ротора  $I_2$  с магнитным потоком  $\Phi$  статора, то его величина пропорциональна их произведению. Поскольку в механическую работу может превращаться только активная мощность, пропорциональная активной составляющей тока, то

$$M = C_M \cdot I_2 \cdot \Phi \cdot \cos \psi_2 ,$$

где  $\psi_2$  – угол сдвига фаз между э.д.с. и током ротора,

$C_M$  – коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Таким образом  $I_2 \cdot \cos \varphi_2$  – активная составляющая тока ротора.

Основные эксплуатационные свойства двигателя определяются его рабочими характеристиками, т.е. зависимостями  $P_1$ ,  $\cos \varphi$ ,  $n$ ,  $\eta$ ,  $I_1$  от полезной мощности двигателя  $P_2$ . Подводимая к асинхронному двигателю мощность равна:

$$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi ,$$

где:  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя;

$n$  – частота вращения ротора;

$I_1$  – ток статора.

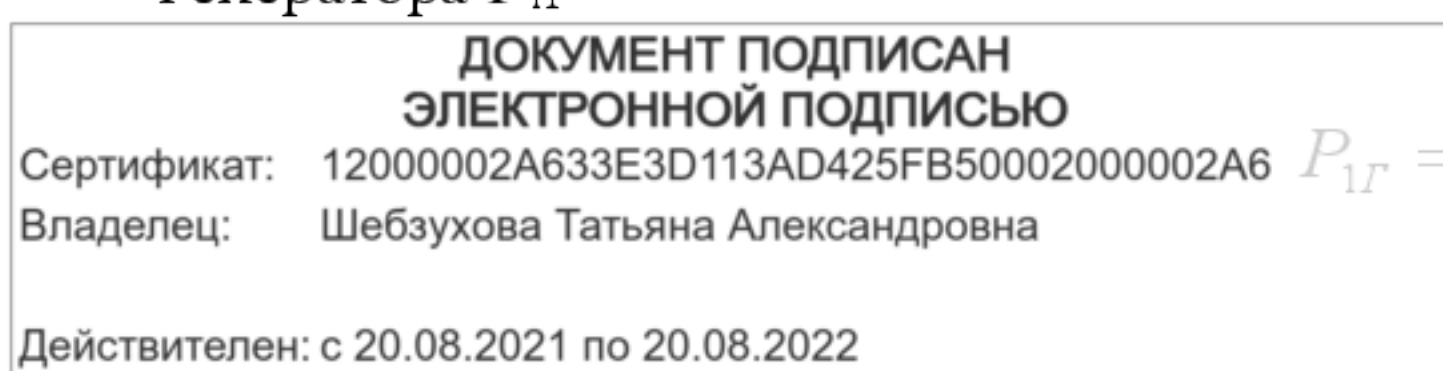
Рабочие характеристики асинхронного двигателя представлены на рис. 7.1.

Рабочие характеристики могут быть получены либо расчетным путем, либо определены опытным путем при испытании двигателя под нагрузкой. Нагрузка на валу изменяется в пределах от нуля в режиме холостого хода ( $P_2 = 0$ ) до номинальной или большей. При этом измеряют потребляемый ток  $I_1$ , частоту вращения ротора  $n$ , потребляемую мощность  $P_1$ , коэффициент мощности  $\cos \varphi$ . Величину полезной мощности  $P_2$  вычисляют через величину вращающего момента, если в качестве нагрузки двигателя используется электромагнитный тормоз, или через мощность генератора, если в качестве нагрузки двигателя используется генератор постоянного тока.

При этом полезная мощность генератора определяется измерением тока и напряжения генератора:

$$P_G = U_G \cdot I_G$$

Подводимая от двигателя полезная мощность  $P_{2ДВ}$  равняется подводимой мощности генератора  $P_{1Г}$



$$P_{1Г} = P_{2ДВ} = \frac{P_G}{\eta_G} ,$$

где  $\eta$  – КПД генератора (из рис. 2).

При нагрузке на электромагнитный тормоз измеряется полезный момент  $M$  на валу двигателя и частота вращения  $n$ , по которым определяется полезная мощность двигателя  $P_2$ :

$$P_2 = \frac{M \cdot n}{9550}$$

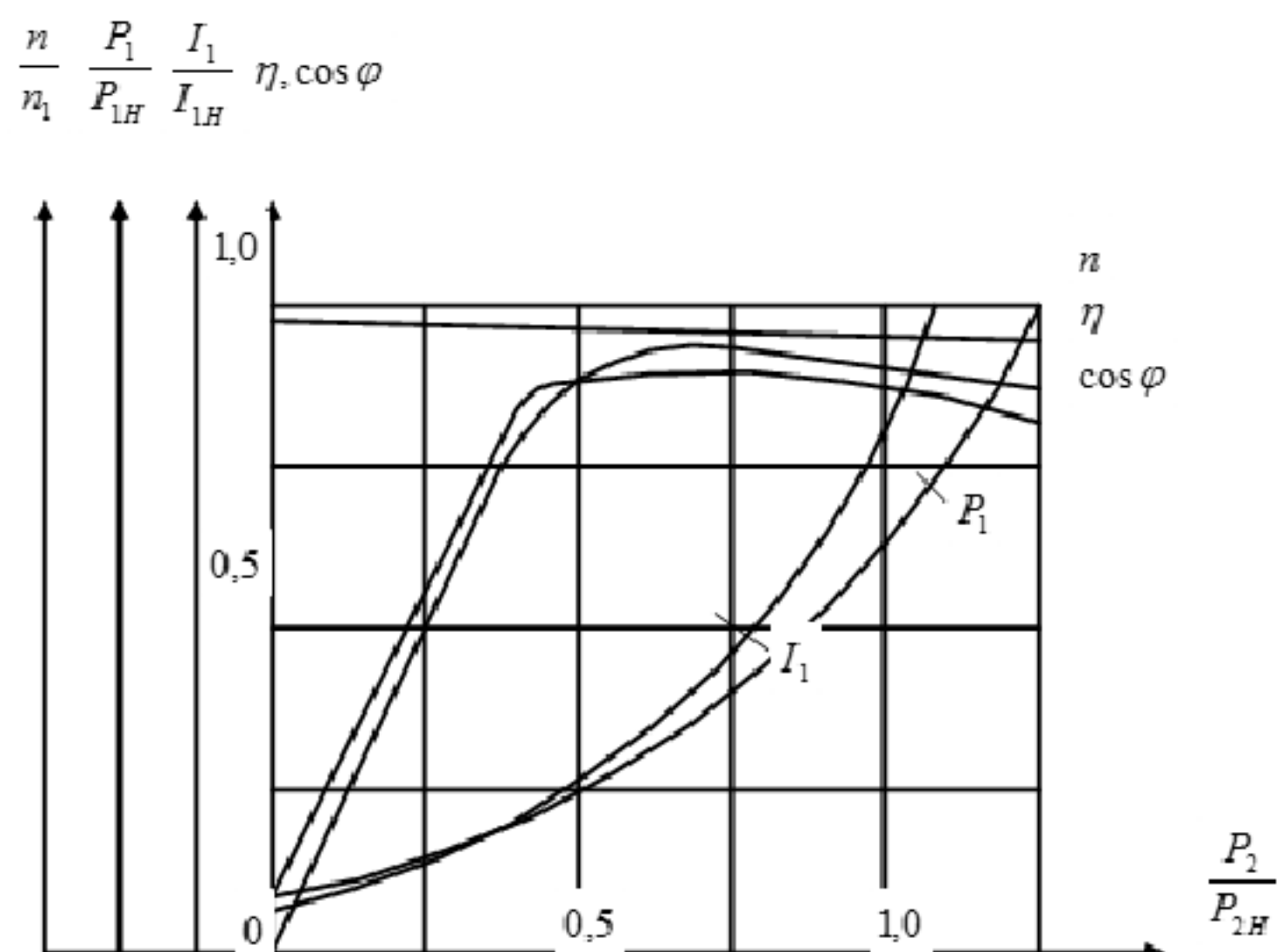


Рисунок 7.1 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

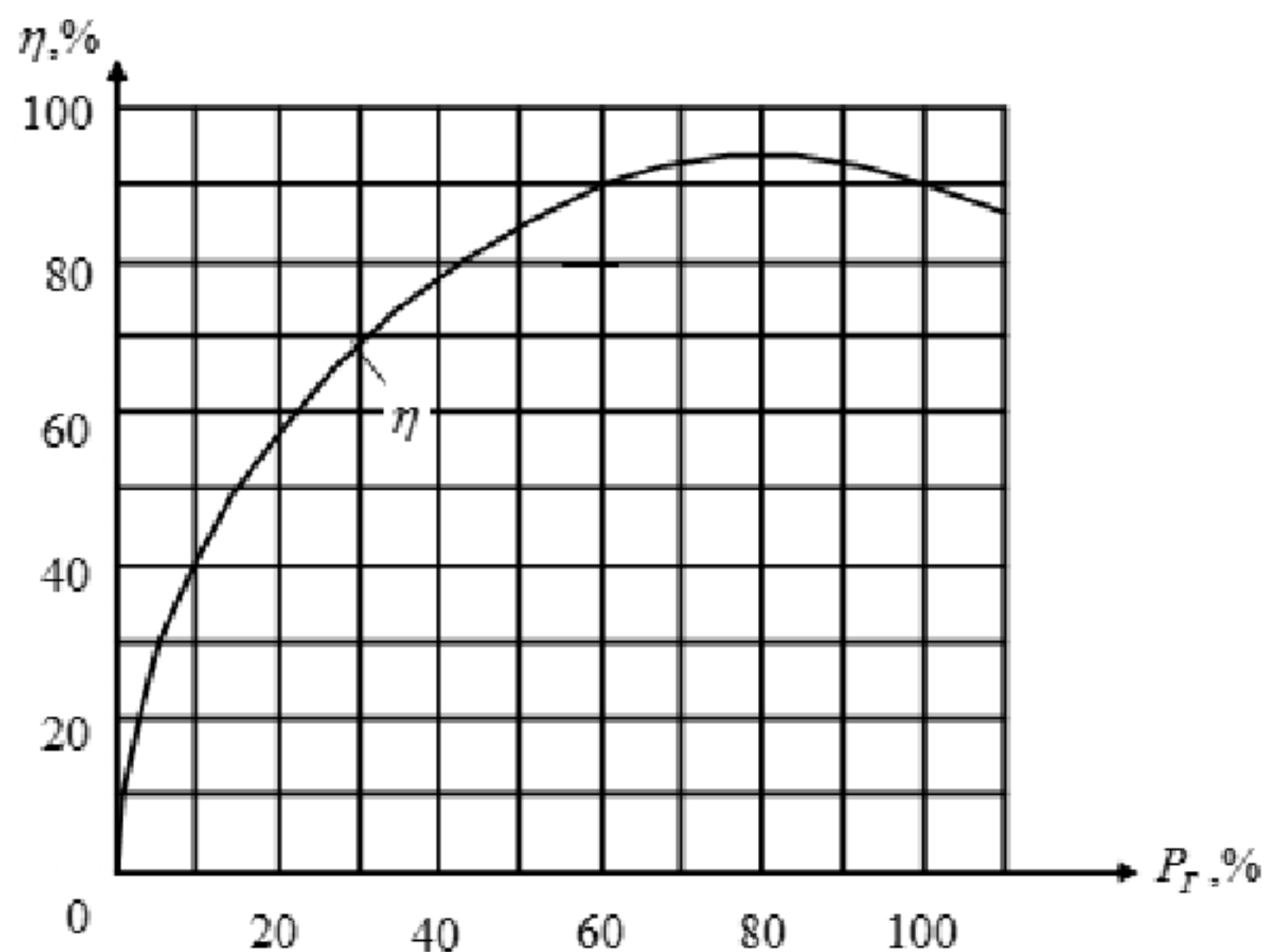


Рисунок 7.2 – Зависимость КПД генератора от мощности  $P_G$

**Указание по технике безопасности:**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложении А

**Указания по выполнению лабораторной работы:**

**Часть 1. Снятие и определение характеристик холостого хода  $I_0=f(U)$ ,  $P_0=f(U)$ ,  $\cos\varphi_0=f(U)$  трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
3. Соедините гнезда защитного заземления "" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Переключатели режима работы выключателей А6 и А8 установите в положение "РУЧН".
6. В трехфазных трансформаторных группах А2 и А7 установите номинальные вторичные напряжения трансформаторов 127 В и 127 В.
7. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
8. Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.
9. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
10. Пустите двигатель М1 нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя А6.
11. Меняя положение регулировочных рукояток трехфазных трансформаторных групп А2 и А7, варьируйте подводимое к двигателю М1 линейное напряжение  $U$  в диапазоне 100...250 В и заносите показания вольтметра Р1.1 (напряжение  $U$ ), амперметра Р1.2 (фазный ток  $I_0$  двигателя М1), а также ваттметра и варметра измерителя Р2 (активная  $P_{01}$  и реактивная  $Q_{01}$  мощности, потребляемые одной фазой двигателя М1) в таблицу 4.2.1.

Таблица 7.1

|              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U, В$       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I_0, А$     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_{01}, Вт$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $Q_{01}, Вт$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

12. Отключите источник G1.

|                                          |                                        |
|------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН                        |                                        |
| 1 ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ                   |                                        |
| Сертификат:                              | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022 |                                        |

1. Переключатели режима работы выключателей «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

14. Используя данные таблицы 4.2.1, вычислите соответствующие напряжению  $U$  полные активную  $P_0$  и реактивную  $Q_0$  мощности, потребляемые двигателем М1, по формулам:

$$P_0 = 3 \cdot P_{01},$$

$$Q_0 = 3 \cdot Q_{01}$$

и занесите их в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U, B$    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_0, Bm$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $Q_0, Bm$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

15. Используя данные таблицы 4.2.2, вычислите соответствующие напряжению  $U$  значения коэффициента мощности по формуле

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}},$$

и занесите полученные результаты в таблицу 7.3.

Таблица 7.3

|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U, B$           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $\cos \varphi_0$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

16. При необходимости большей вариативности значений напряжения  $U$ , повторите эксперимент при закороченном линейном реакторе А14.

17. Используя данные таблиц 7.2 и 7.3 постройте искомые характеристики холостого хода  $I_0=f(U)$ ,  $P_0=f(U)$ ,  $\cos \varphi_0=f(U)$  трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.



## ***Часть 2. Пуск в ход трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым/фазным ротором с регистрацией и отображением режимных параметров на компьютер***

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
3. Соедините гнезда защитного заземления " " устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений (короткозамкнутым ротором) / (фазным ротором).
5. Переключатели режима работы источника G2 и выключателей A6, A8 установите в положение «РУЧН.».
6. Установите в каждой фазе активной нагрузки A10 ее суммарную величину равную, например, 100 %.
7. Установите в каждой фазе реостата A9 сопротивление, например, 18 Ом (при пуске двигателя с фазным ротором).
8. В трехфазной трансформаторной группе A2 переключателем установите желаемое номинальное вторичное напряжение трансформатора, например, 133 В.
9. Приведите в рабочее состояние персональный компьютер A5 и запустите прикладную программу «Регистратор режимных параметров машины переменного тока».
10. Включите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.
11. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
12. Вращением рукоятки на передней панели источника G2 установите напряжение, например, 100 В на его регулируемом выходе «ЯКОРЬ».
13. Нажмите на виртуальную кнопку «Запустить» на экране компьютера.
14. Нажмите последовательно кнопки «ВКЛ.» источника G2, выключателя A6 и спустя, например, 2 с выключателя A8 и затем не позднее, чем через 10 с, остановите сканирование данных регистратором нажатием на виртуальную кнопку «Остановить». В результате должен осуществиться двухступенчатый пуск нагруженного асинхронного двигателя M1 и должны записаться в компьютер данные о режимных параметрах на

|                             |                                        |
|-----------------------------|----------------------------------------|
| <b>ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН</b>    |                                        |
| <b>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ</b> |                                        |
| Сертификат:                 | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                   | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен:               | с 20.08.2021 по 20.08.2022             |

15. Остановите запись процессов, нажав на виртуальную кнопку «Остановить».
16. Нажмите кнопку «ОТКЛ.» источника G1.

- 
- The diagram illustrates the electrical circuit for a laboratory experiment. Key components and their connections are as follows:
- Power Source:** A three-phase supply  $\kappa G2$  is connected to the primary of transformer **A2** (347.1) and the primary of transformer **A8** (301.1).
  - Generator (G1):** A synchronous generator with terminals L1, L2, L3, N, and PE. It is connected to the secondary of transformer **A2** and the primary of transformer **A4** (314.2).
  - Motor (G4):** A synchronous motor with terminals A1, A2, and a common terminal. It is connected to the secondary of transformer **A4** and the primary of transformer **A10** (306.1).
  - Measuring Instruments:**
    - A10 (306.1):** A set of three wattmeters for measuring active power.
    - A12 (402.3):** A set of three voltmeters for measuring phase voltages.
    - G2 (206.1):** A panel containing a voltmeter (V) and an ammeter (A) for monitoring the generator's output.
    - P3 (506.3):** A panel containing a voltmeter (V) and an ammeter (A) for monitoring the motor's input.
    - A8 (301.1):** A set of three voltmeters for measuring the primary voltages of transformer **A2**.
    - A4 (314.2):** A set of three voltmeters for measuring the secondary voltages of transformer **A4**.
    - A6 (301.1):** A set of three voltmeters for measuring the primary voltages of transformer **A4**.
  - Transformer (A2):** A three-phase transformer with primary terminals L1, L2, L3, N, PE and secondary terminals U1, V1, W1, U2, V2, W2.
  - Motor (M1):** A three-phase motor with terminals U1, V1, W1, U2, V2, W2 and a common terminal.
  - Generator (G5):** A synchronous generator with terminals B and a common terminal.
- The diagram shows the interconnections between these components, including the use of a common neutral point for the generator and motor windings.

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

60

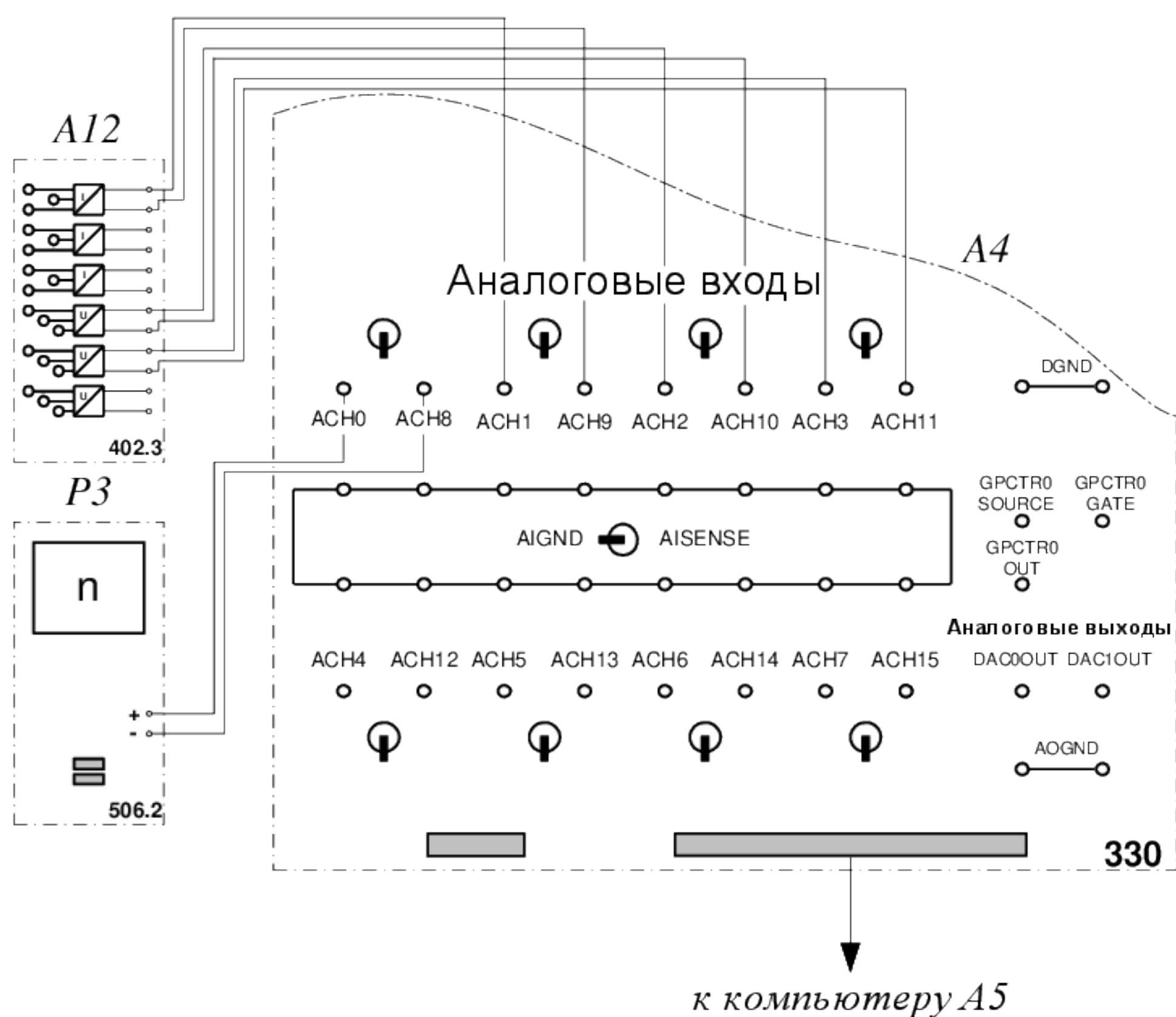


Рисунок 7.5 – Схема подключения к коннектору

**Часть 3. Снятие и определение характеристик короткого замыкания  $I_K=f(U)$ ,  $P_K=f(U)$ ,  $Z_K=f(U)$  трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
2. Снимите кожух, закрывающий муфту, соединяющую вал машины постоянного тока М2 с валом двигателя М1, и закрепите на ней стопорное устройство.
3. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
4. Соедините гнезда защитного заземления "⏏" устройств, используемых в эксперименте, с гнездом "РЕ" трехфазного источника питания G1.
5. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
6. Переключатели режима работы источника G2 и выключателя А6 установите в положение "РУЧН."
7. В трехфазных трансформаторных группах А2 и А7 переключателем установите номинальные вторичные напряжения трансформаторов 242 В.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Активизируйте мультиметры блока Р1, задействованные в эксперименте.

10. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

11. Нажатием кнопки «ВКЛ.» выключателя А6 подключите двигатель М1 к электрической сети.

12. Быстро (менее чем за 10 с) считайте и занесите в таблицу 7.4 показания вольтметра Р1.1 (линейное напряжение  $U$  двигателя М1), амперметра Р1.2 (ток  $I_K$  статорной обмотки двигателя М1), а также ваттметра измерителя Р2 (активная  $P_{K1}$  мощность, потребляемая одной фазой двигателя М1) и сразу после этого нажатием кнопки «ОТКЛ.» выключателя А6 отключите двигатель М1 от электрической сети.

13. Повторите необходимое количество раз процедуру подключения двигателя М1 к электрической сети, считывания показаний измерительных приборов и отключения двигателя М1 от электрической сети при различных более низких номинальных вторичных напряжениях трансформаторов групп А2 и А7.

Таблица 7.4

|              |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U, B$       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $I_K, A$     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_{K1}, Bm$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

14. Отключите источник G1.

15. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте.

16. При необходимости большей вариативности значений линейного напряжения повторите эксперимент с соединением вторичных обмоток трансформаторов группы А7 по схеме «звезда».

17. Используя данные таблицы 7.4, вычислите соответствующие напряжению  $U$  значения полной активной мощности  $P_K$ , потребляемой двигателем М1, и полного его сопротивления короткого замыкания  $Z_K$  по формулам

$$P_K = 3P_{K1},$$

$$Z_K = U / I_K.$$

Полученные результаты занесите в таблицу 7.5.

Таблица 7.5

|            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U, B$     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $P_K, Bm$  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $Z_K, Ohm$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

18. Используя данные таблиц 4.3.1 и 4.3.2 постройте искомые характеристики короткого замыкания  $I_k=f(U)$ ,  $P_k=f(U)$ ,  $Z_k=f(U)$  трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Каково устройство трехфазного асинхронного двигателя?
2. Каков принцип действия трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
3. Что такое скольжение двигателя и как оно определяется?
4. Почему пусковой ток асинхронного двигателя превышает номинальный и во сколько раз?
5. Какими способами можно регулировать частоту вращения ротора асинхронного двигателя?
6. При каких условиях КПД асинхронного двигателя имеет максимальное значение?
7. Как охлаждаются асинхронные двигатели?
8. Как изменить направление вращения ротора двигателя?

## Лабораторная работа №8. Исследование характеристик полупроводниковых диодов на постоянном и переменном токах

**Цель работы:** Снять вольтамперные характеристики выпрямительного диода (типа КД226, 1N5408), импульсного диода (типа КД521, КД522, 1N4148), диода Шотки (типа 1N5819), по характеристикам определить основные параметры и сравнить их. На экране осциллографа наблюдать процессы включения и выключения диода, определить время включения и выключения.

### Основы теории:

Двухэлектродный полупроводниковый элемент – диод содержит  $n$ - и  $p$ -проводящий слои (рис. 8.1). В  $n$ -проводящем слое в качестве свободных носителей заряда преобладают электроны, а в  $p$ -проводящем слое – дырки. В результате диффузии электронов из  $n$ -области в  $p$ -область и, наоборот, дырок из  $p$ -области в  $n$ -область на границе создаётся потенциальный барьер (рис. 8.1 а и б).

При прямом приложенном напряжении («+» к слою  $p$ , «-» к слою  $n$ ) потенциальный барьер уменьшается, и диод начинает проводить ток (диод открыт). При обратном напряжении потенциальный барьер увеличивается (диод заперт).

Вольт-амперная характеристика диода имеет вид, изображённый на рис. 8.1в.

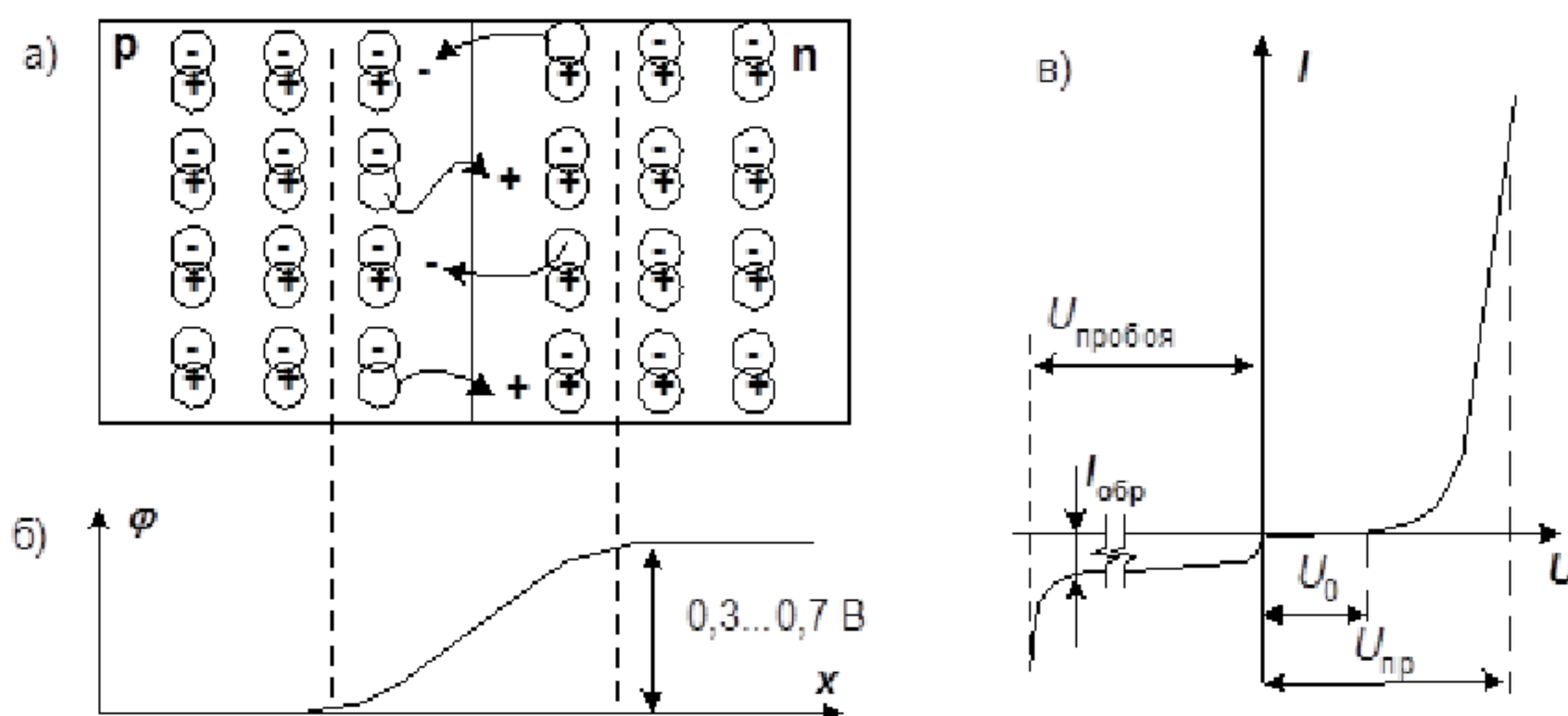


Рисунок 8.1 – Двухэлектродный полупроводниковый элемент

Прямой ток через  $p$ - $n$  переход определяется носителями заряда, неосновными для

того слоя, куда они проникают. В процессе движения они сталкиваются с основными носителями, образуя парные электроны-дырки. С увеличением прямого тока падение

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

напряжения на диоде несколько возрастает. При рекомбинации может выделяться энергия в виде излучения. Это явление используется в светодиодах.

В обратном направлении через диод протекает только небольшой ток утечки, обусловленный неосновными носителями. С увеличением обратного напряжения выше предельно допустимого для данного типа диода наступает пробой p-n перехода. В диодах различных типов он протекает по-разному: в обычных выпрямительных диодах – это необратимое разрушение p-n перехода в результате его перегрева, в лавинных – происходит лавинное размножение неосновных носителей, что приводит к резкому уменьшению обратного напряжения на нём и уменьшению нагрева, в стабилитронах – при увеличении обратного тока имеется достаточно протяжённый участок вольт-амперной характеристики, на котором напряжение мало зависит от тока (зенеровский пробой).

Основные статические параметры диодов, такие как пороговое напряжение  $U_0$ , прямое падение напряжения  $U_{пр}$ , дифференциальное сопротивление  $R_d$ , обратный ток  $I_{обр}$ , напряжение стабилизации стабилитрона  $U_{ст}$ , можно определить по вольтамперной характеристике, снятой на постоянном или медленно изменяющемся токе.

Переключение диода из закрытого состояния в открытое происходит не мгновенно. Это можно наблюдать на экране осциллографа, если приложить к диоду напряжение прямоугольной формы высокой частоты (рис. 8.2).

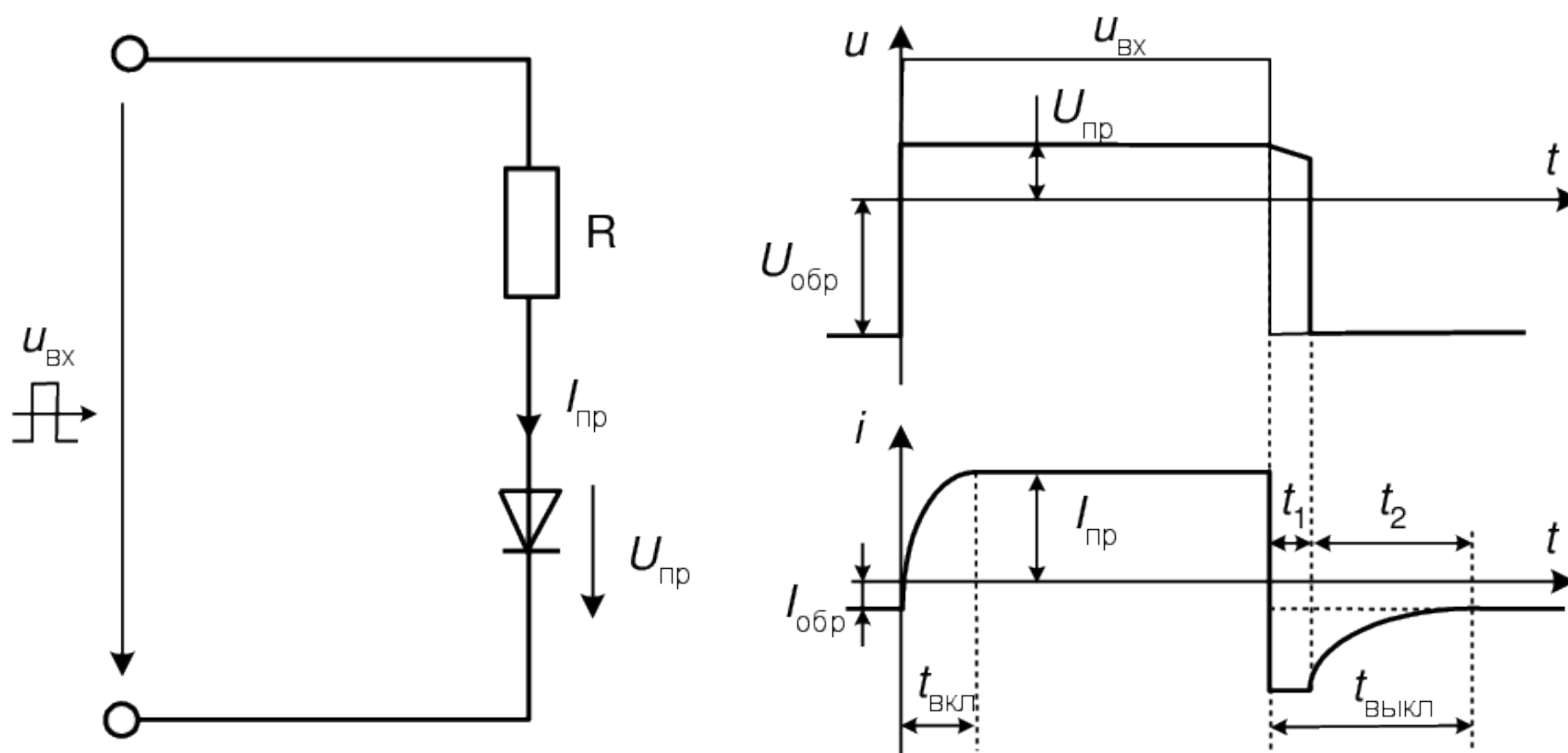


Рисунок 8.2 – Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода

При переходе из закрытого в открытое состояние необходимо время  $t_{вкл}$ , необходимое для рассасывания избыточных зарядов потенциального барьера и достижения

При переходе из открытого состояния в закрытое необходимо время  $t_1$ , за которое рассасываются избыточные носители и время  $t_2$ , за которое вновь устанавливается потенциальный барьер. Общее время выключения  $t_{\text{выкл}} = t_1 + t_2$ . На этапе  $t_1$  через диод протекает большой обратный ток, а напряжение на нём убывает, сохраняя прямое направление. На этапе  $t_2$  ток обратный ток убывает до нормального значения. Реальная картина, наблюдаемая на экране осциллографа, может несколько отличаться от описанной из-за влияния входной ёмкости осциллографа и монтажа.

#### Указание по технике безопасности:

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

#### Указания по выполнению лабораторной работы:

1. Соберите цепь (рис.8.3. а) для снятия прямой ветви вольтамперной характеристики диодов. Обратите внимание, что вольтметр этой схеме подключён к точке «В» (после амперметра.) и на его показания не влияет падение напряжения на амперметре, которое соизмеримо с прямым падением напряжения на диоде. В то же время ток через вольтметр несоизмеримо мал с прямым током диода и не вносит заметной погрешности в показания амперметра.

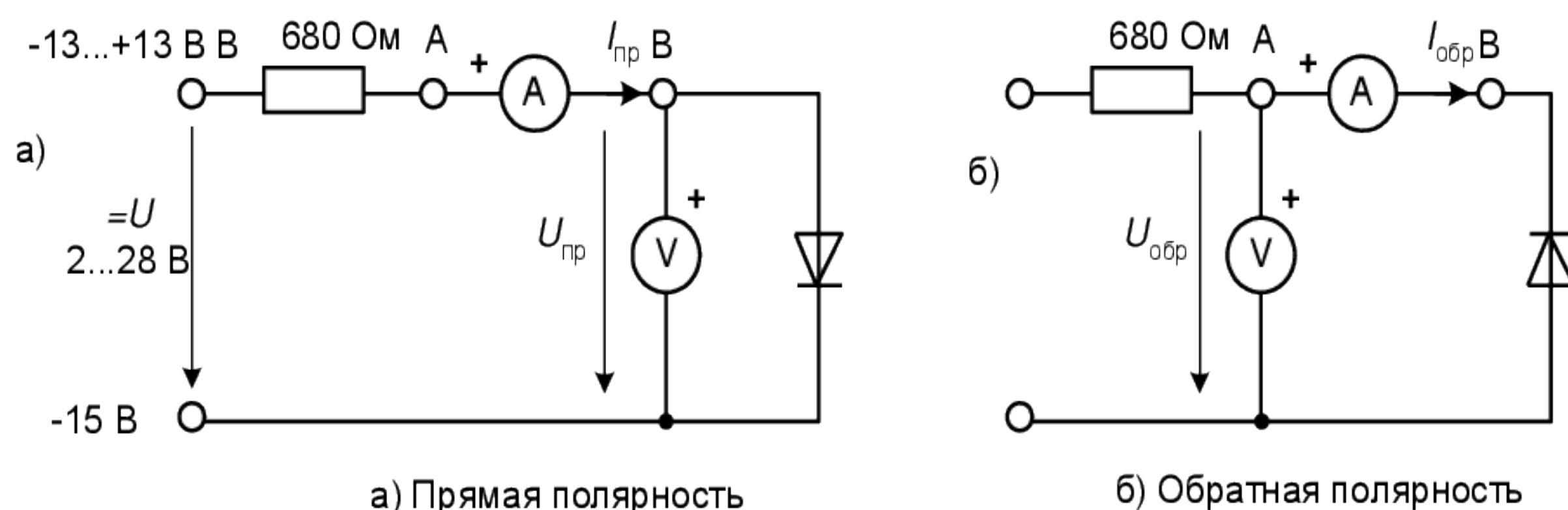


Рисунок 8.3 – Схема включения диода

2. Устанавливая токи, указанные в табл.8.1 снимите прямую ветвь вольтамперной характеристики сначала выпрямительного диода затем – импульсного и, наконец, диода Шотки. На рис. 8.4 постройте графики.

#### 3. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

для снятия обратной ветви вольтамперных характеристик (до амперметра) и перевернув диод. В этой схеме через вольтметр, который теперь соизмерим и даже больше

обратного тока через диод. В то же время падение напряжения на амперметре ничтожно мало по сравнению с обратным напряжением на диоде.

4. Устанавливая напряжения, указанные в табл. 8.2, снимите обратную ветвь вольт-амперной характеристики диода Шотки. Убедитесь, что обратный ток выпрямительного и импульсного диодов настолько мал, что его невозможно измерить приборами, имеющимися в стенде. На рис. 8.4 постройте графики.

Таблица 8.1

| $I$ , мА |        | 2 | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 5 | 10 | 20 | 40 |
|----------|--------|---|---|----|----|----|----|---|----|----|----|
| $U$ , В  | КД226  |   |   |    |    |    |    |   |    |    |    |
|          | КД521  |   |   |    |    |    |    |   |    |    |    |
|          | 1N5819 |   |   |    |    |    |    |   |    |    |    |

Таблица 8.2

| $U$ , В  |        | 2 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|----------|--------|---|---|----|----|----|----|----|
| $I$ , мА | КД226  |   |   |    |    |    |    |    |
|          | КД521  |   |   |    |    |    |    |    |
|          | 1N5819 |   |   |    |    |    |    |    |

5. Для исследования характеристик диодов на переменном токе соберите на наборном поле цепь согласно принципиальной схеме рис. 8.4. Измерительные приборы в схему не включайте, так как они могут создать дополнительные паразитные ёмкости. Не забудьте включить инвертирование сигнала по каналу II, чтобы отклонение луча вверх соответствовало прямому току через диод.

6. Для начала включите в цепь выпрямительный диод, подайте на вход синусоидальное напряжение частотой 1 кГц, установите ручку регулятор амплитуды примерно в среднее положение (4...6 В) и отрегулируйте развертку, синхронизацию и усиление по двум каналам осциллографа так чтобы на экране помещались 1,5...2 периода кривых тока и напряжения.

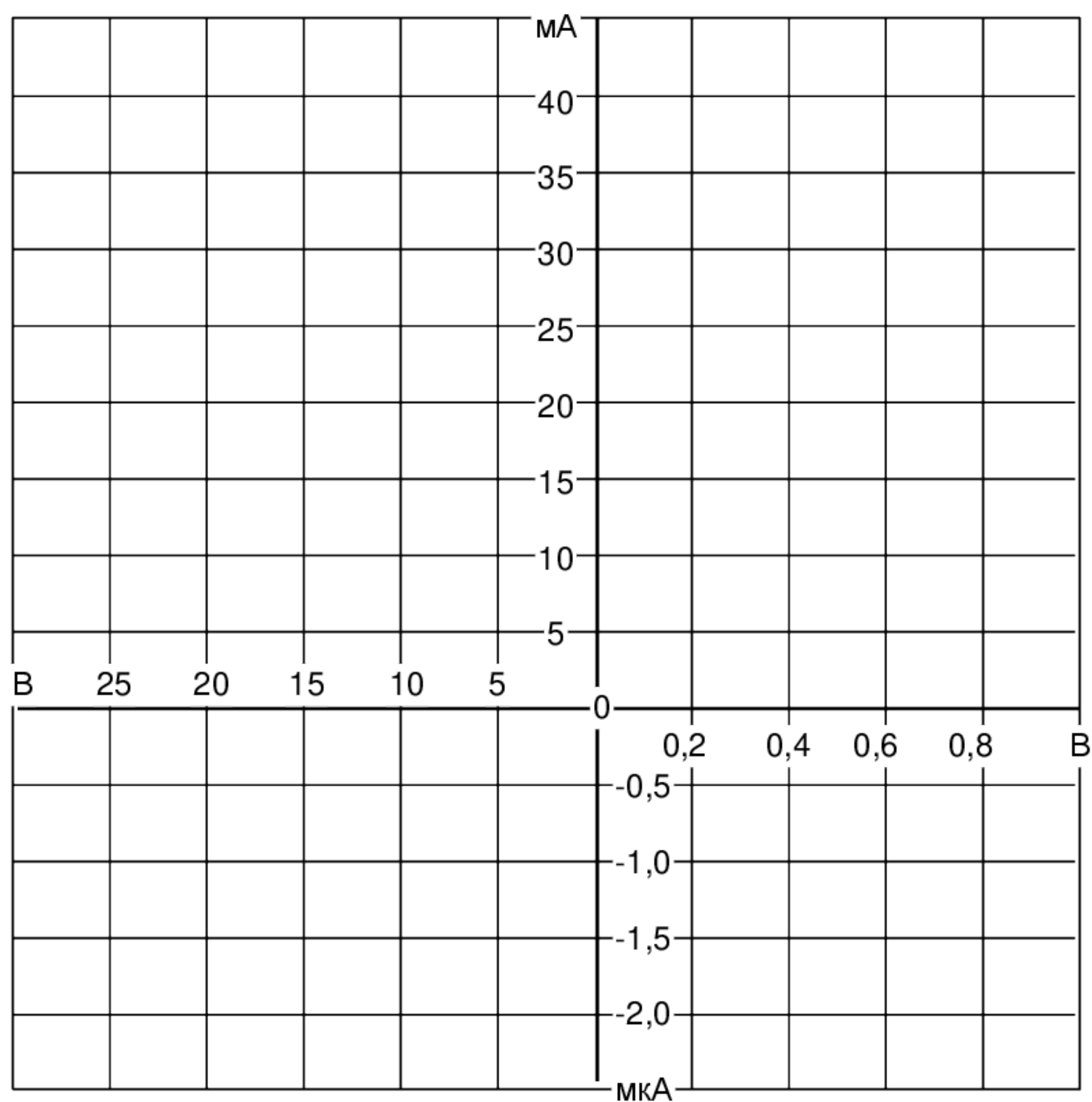


Рисунок 8.4 – Вольт-амперная характеристика

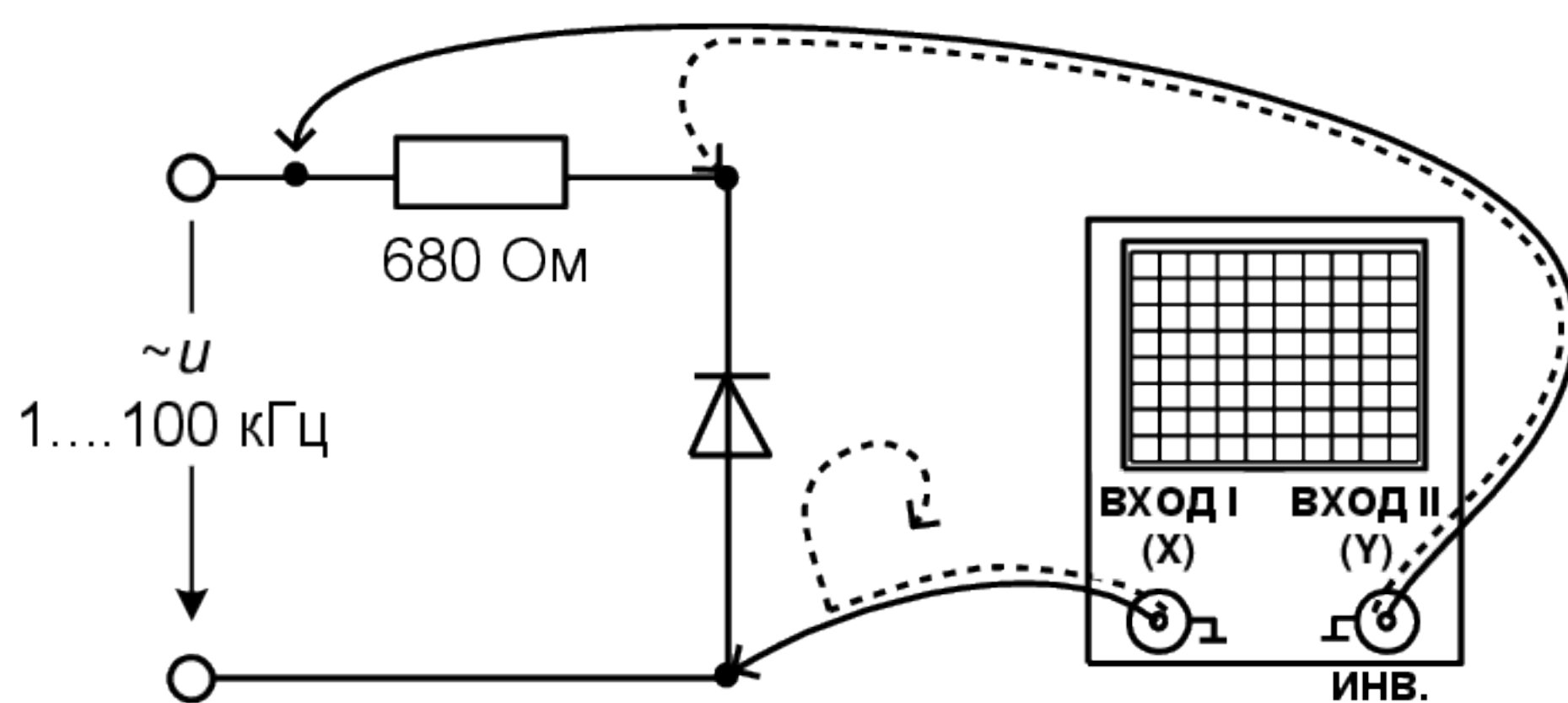


Рисунок 8.5 – Схема подключения осциллографа

7. Переключая множитель частоты  $\times 1$ ,  $\times 10$ ,  $\times 100$ , и регулируя каждый раз

длительность импульса, наблюдайте за изменением кривой тока. Обьяните результаты (имейте в виду, что в положении множителя  $\times 100$  выходное напряжение генератора снижается примерно в 2 раза).

8. Переключите осциллограф в режим X-Y. При этом на экране появится изображение динамической вольтамперной характеристики диода: прямой ток по оси Y вверх, прямое падение напряжения – по оси X вправо.

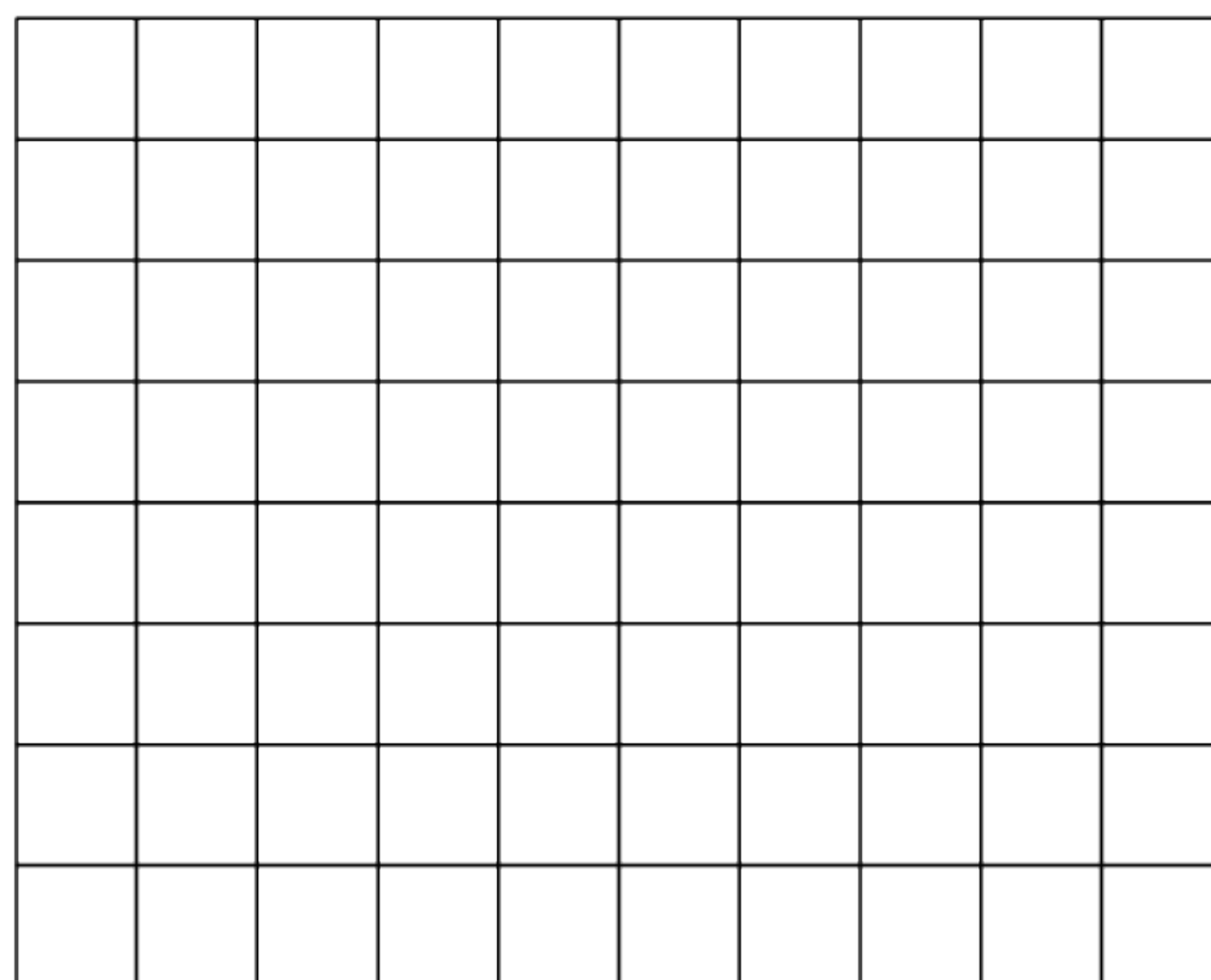
9. Снова попереключайте множитель частоты, наблюдая за изменением динамической вольтамперной характеристики. Объясните, почему при низкой частоте динамическая вольтамперная характеристика совпадает со статической, а при высокой – не совпадает.

10. Попробуйте повторить эти опыты с импульсным диодом и с диодом Шоттки. Объясните отличия.

11. Снова включите в цепь выпрямительный диод, переключите осциллограф в режим развёртки и установите на входе прямоугольное двухполярное напряжение частотой примерно 40...50 кГц и небольшой амплитуды (2...3 В), чтобы меньше искажалось выходное напряжение генератора.

12. Настройте изображение, перерисуйте осциллограмму в отчёт (рис. 8.6), не забыв указать масштабы по осям (масштаб по оси тока вычисляется как масштаб напряжения, по каналу II, делённый на сопротивление, с которого снимается сигнал.).

13. Определите по осциллограмме время включения  $t_{вкл}$  и время выключения:  $t_{вкл}$ .



#### Масштабы

По каналу I:  
 $m_U = \dots\dots\dots \text{В/дел.}$

По каналу II:  
 $m_I = \dots\dots\dots \text{мА/дел.}$

По времени:  
 $m_t = \dots\dots\dots \text{мс/дел.}$

Рисунок 8.6 – Осциллограмма диода

#### Содержание отчета:

Отчет должен содержать:

1. Название работы;

2. ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

4. Описание используемого оборудования и материалов;

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

***Контрольные вопросы:***

1. Почему у диода Шоттки пороговое напряжение меньше, чем у выпрямительного диода и импульсного диода, а обратный ток больше?
2. Какой из испытанных диодов имеет наименьшее быстродействие и почему?
3. Чем отличается вольтамперная характеристика диода, снятая при высокой частоте от статической характеристики?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## **Лабораторная работа №9. Определение основных характеристик стабилитрона и исследование параметрического стабилизатора напряжения**

**Цель работы:** Снять с помощью осциллографа вольтамперную характеристику и определить напряжение стабилизации  $U_{СТ}$  стабилитрона. Исследовать зависимость выходного напряжения и тока стабилитрона от входного напряжения в цепи параметрического стабилизатора напряжения.

### **Основы теории:**

Стабилитрон представляет собой кремниевый диод, характеристика которого в открытом состоянии такая же, как у выпрямительного диода. Отличие стабилитрона заключается в относительно низком напряжении пробоя при обратном напряжении. Когда это напряжение превышено, ток обратного направления возрастает (пробой Зенера). В выпрямительных диодах такой режим является аварийным, а стабилитроны нормально работают при обратном токе, не превышающем максимально допустимого значения.

Наличие почти горизонтального участка на вольтамперной характеристике стабилитрона делает его пригодным для стабилизации постоянного напряжения на нагрузке. Для этого нагрузку включают параллельно стабилитрону. Чтобы избежать перегрузки, последовательно со стабилитроном включают балластный резистор. Величина его вычисляется следующим образом:

$$R_{БАЛ} = (U_{РАБ} - U_{СТ}) / (I_{СТ} + I_{НАГР}),$$

где  $U_{РАБ}$  – приложенное рабочее напряжение,

$U_{СТ}$  – напряжение стабилизации стабилитрона испытываемого типа,

$I_{СТ}$  – допустимый ток стабилизации,

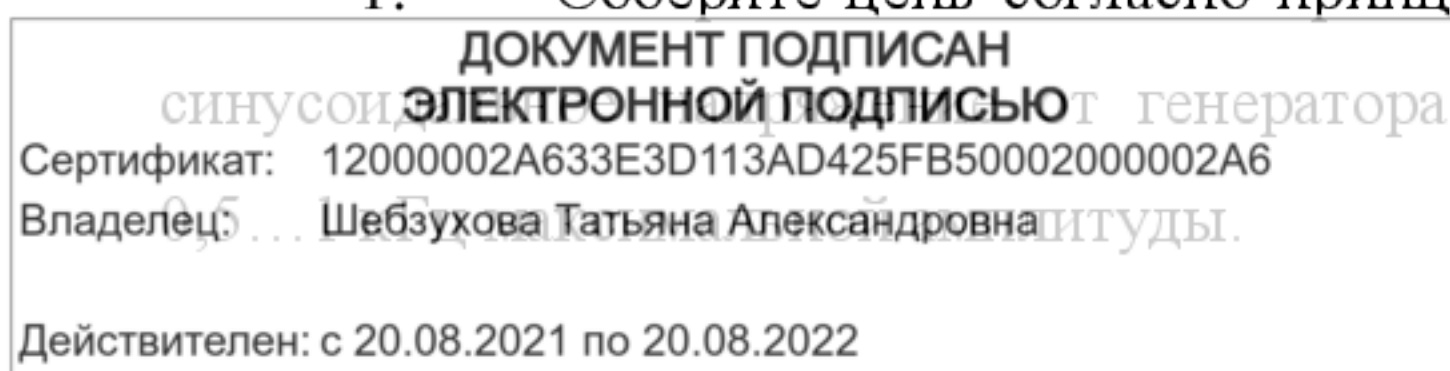
$I_{Н}$  – ток в резисторе нагрузки  $R_{Н}$ , включенном параллельно стабилитрону.

### **Указание по технике безопасности:**

Указания по технике безопасности при выполнении лабораторных работ приведены в приложение А.

### **Указания по выполнению лабораторной работы:**

1. Соберите цепь согласно принципиальной схеме (рис. 9.1). Подайте на вход напряжения специальной формы частотой



2. Включите и настройте осциллограф в режиме X-Y. Включите инвертирование вертикального входа.

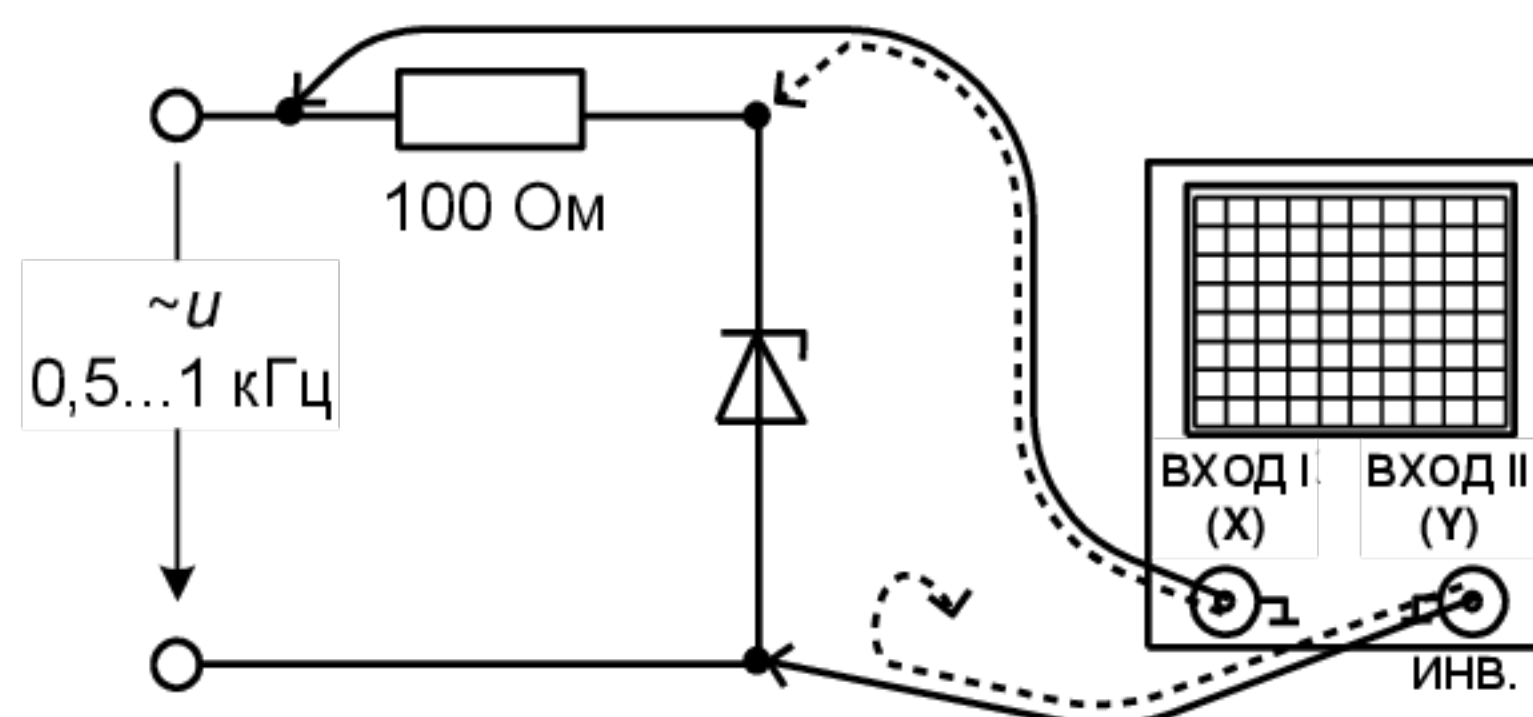
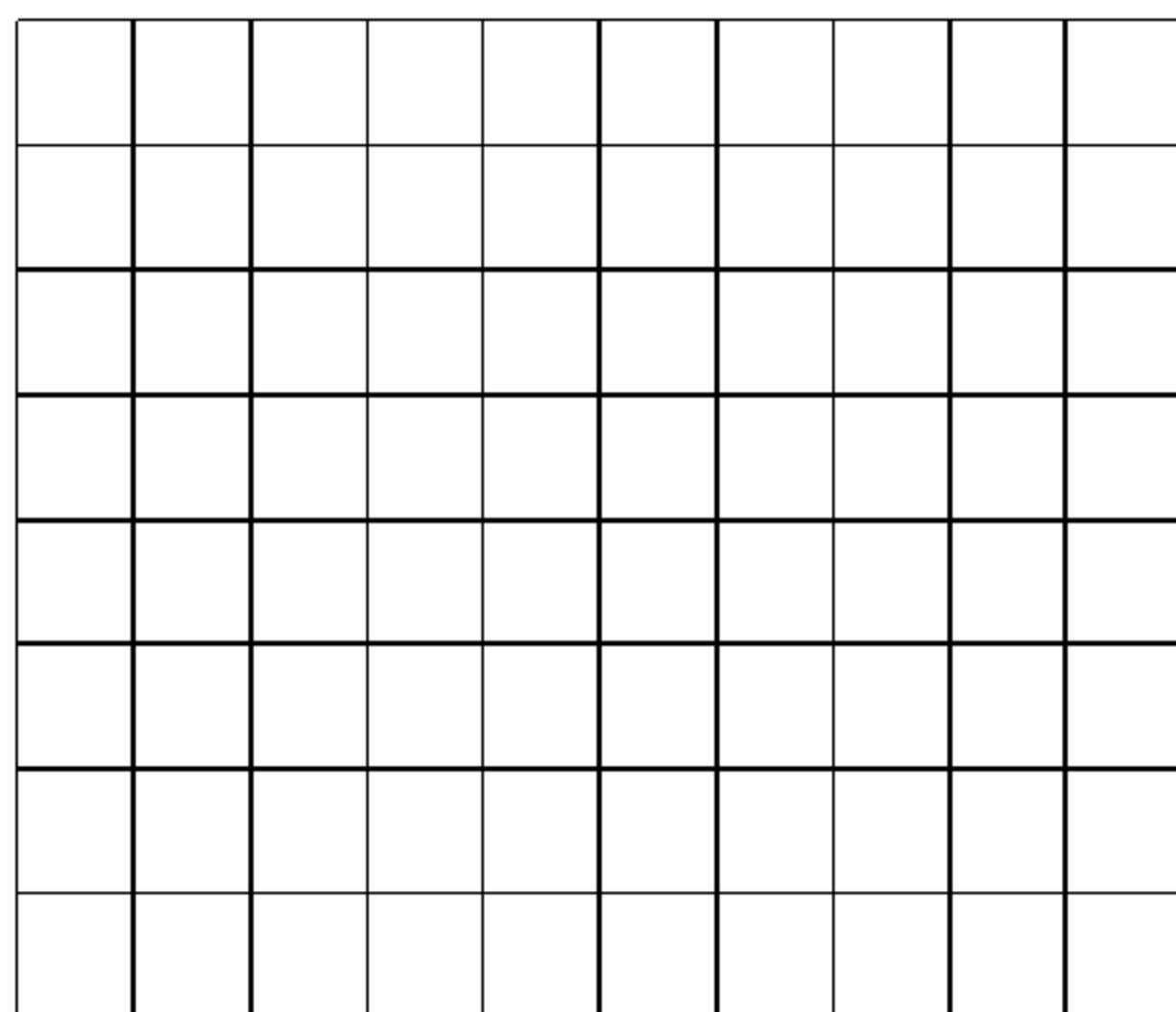


Рисунок 9.1 – Схема подключения осциллографа

3. Перенесите изображение с экрана осциллографа на график (рис.9.2)
4. Определите по осциллограмме напряжение стабилизации, напряжение на стабилитроне при прямом токе, дифференциальное сопротивление в середине диапазона стабилизации.
5. Увеличьте частоту в 10 раз и посмотрите, как изменится вольтамперная характеристика. Объясните почему.



**Масштабы**

По каналу X:  
 $m_I = m_U / R_{\text{ш}} = \dots \text{мА/дел}$

По каналу Y:  
 $m_U = \dots \text{В/дел.}$

Рисунок 9.2 – Снятие осциллограмм

6. Соберите цепь параметрического стабилизатора согласно принципиальной схеме (рис. 9.3) сначала не включая в неё сопротивление нагрузки.
7. Включите генератор напряжений и, изменяя постоянное напряжение на входе стабилизатора от 0 до максимального значения 13...14 В, снимите зависимость выходного напряжения от входного на холостом ходу. Результаты записывайте в табл. 9.1.

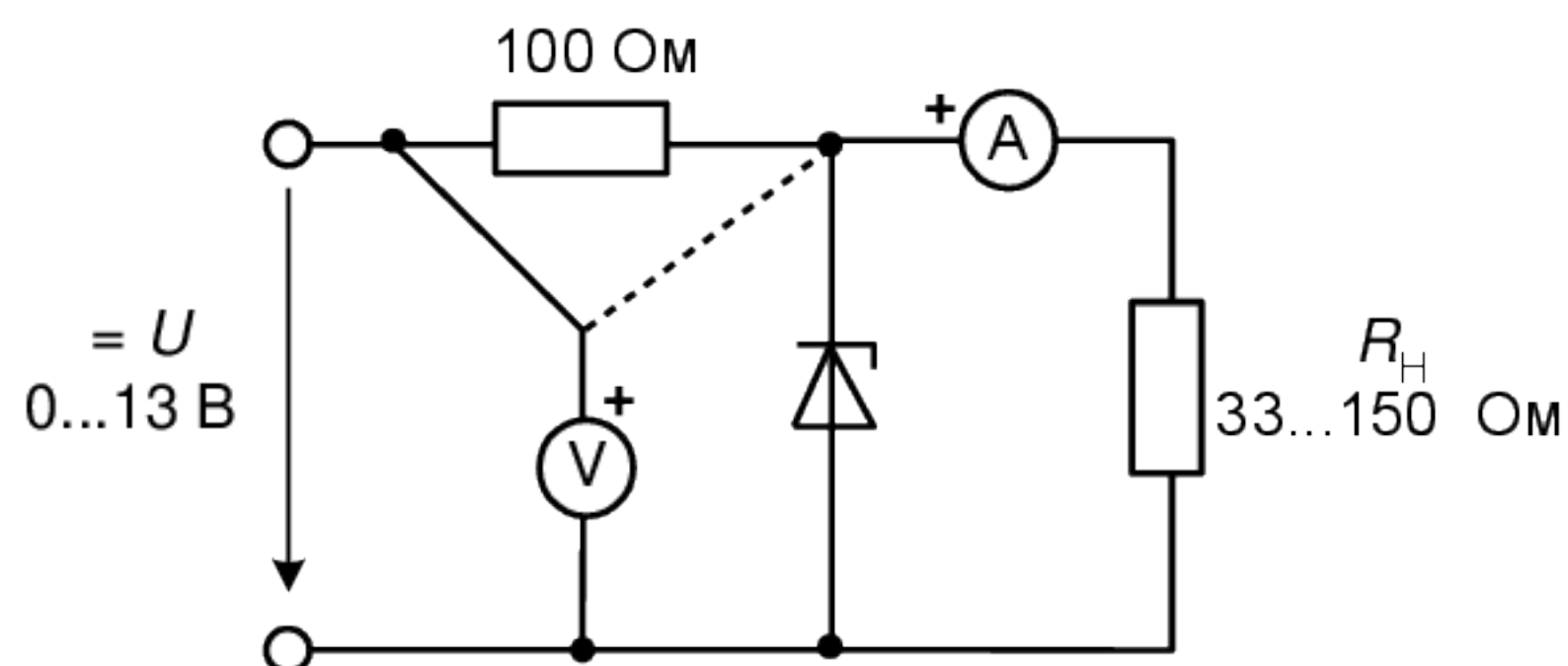


Рисунок 9.3 – Схема параметрического стабилизатора

Таблица 2.2.1

|              |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--------------|---|---|---|---|---|----|----|----|
| $U_{ВХ}, В$  | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 |
| $U_{ВЫХ}, В$ |   |   |   |   |   |    |    |    |

8. Установите максимальное напряжение на входе и, включая различные сопротивление нагрузки, согласно табл. 8.2, снимите зависимость выходного напряжения стабилизатора от тока нагрузки.

Таблица 8.2

|              |          |     |     |       |       |    |       |    |
|--------------|----------|-----|-----|-------|-------|----|-------|----|
| $R_H$ Ом     | $\infty$ | 150 | 100 | 47+22 | 47+10 | 47 | 33+10 | 33 |
| $I_H$ , мА   | 0        |     |     |       |       |    |       |    |
| $U_{ВЫХ}, В$ |          |     |     |       |       |    |       |    |

9. На рис. 9.4 а и б постройте графики  $U_{ВЫХ}(U_{ВХ})$  и  $U_{ВЫХ}(I_H)$ .

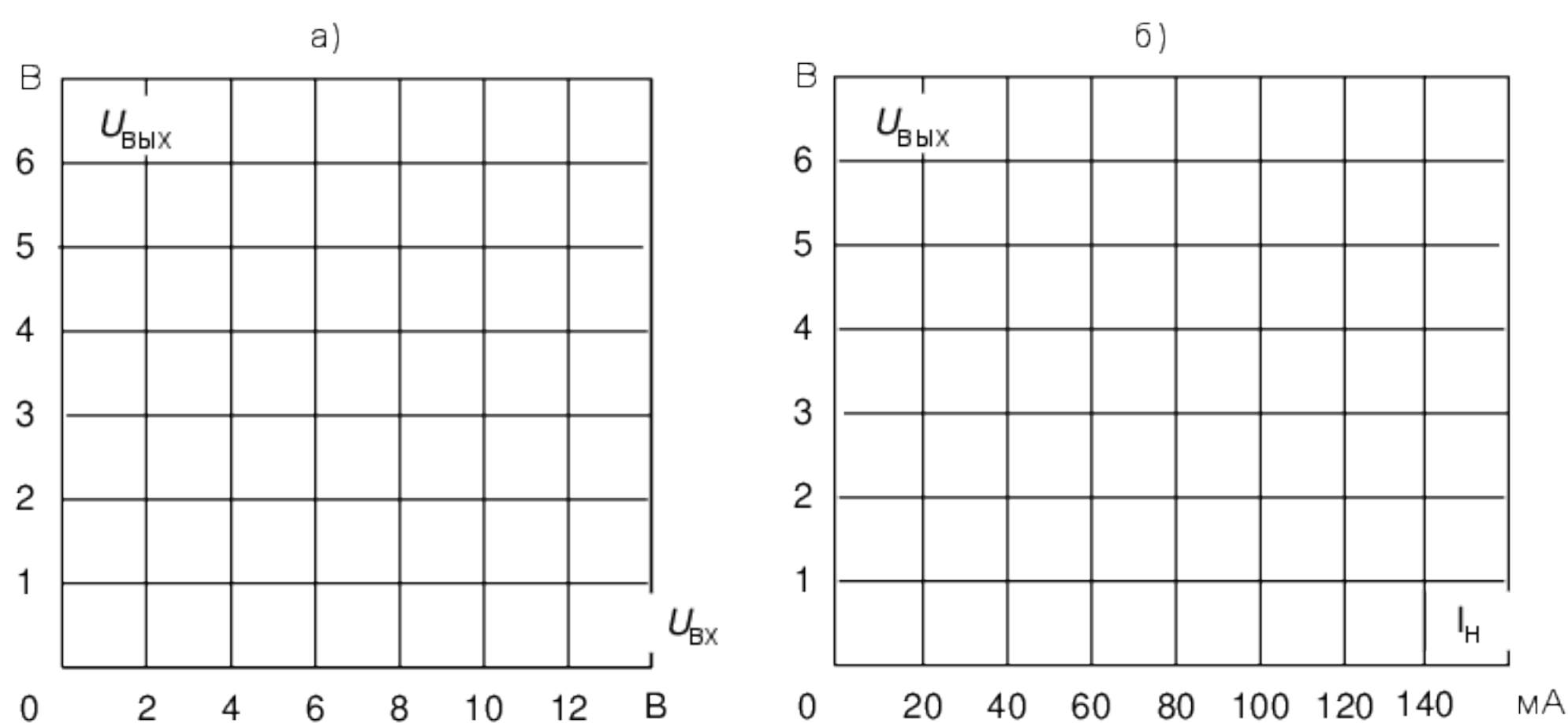


Рисунок 9.4 – Построение графиков

10. На рисунках укажите минимально допустимое входное напряжение, максимальное допустимое входное напряжение и определите коэффициенты стабилизации по напряжению и по току, приняв  $U_{ВХ\text{ ном}} = 8 В$  и  $I_{H\text{ ном}} = 80 мА$ .

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$K_{\text{ст}U} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх ном}}} : \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых ном}}} = \frac{\delta U_{\text{вх}}}{\delta U_{\text{вых}}}$$

$$K_{\text{ст}I} = \frac{\Delta I_{\text{н}}}{I_{\text{н ном}}} : \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых ном}}} = \frac{\delta I_{\text{н}}}{\delta U_{\text{вых}}}.$$

### ***Содержание отчета:***

Отчет должен содержать:

1. Название работы;
2. Цель работы;
3. Краткие теоретические сведения;
4. Описание используемого оборудования и материалов;
5. Порядок выполнения работы;
6. Вычисления и обработка результатов;
7. Выводы.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Как изменяется вольтамперная характеристика стабилитрона при увеличении частоты и почему?
2. Напряжение питания параметрического стабилизатора напряжения 10 В, напряжение стабилизации стабилитрона 5,6 В, ток стабилизации - от 3 до 160 мА, сопротивление нагрузки – 100 Ом. Определите величину балластного сопротивления, так, чтобы в нормальном режиме ток через стабилитрон был равен 80 мА.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

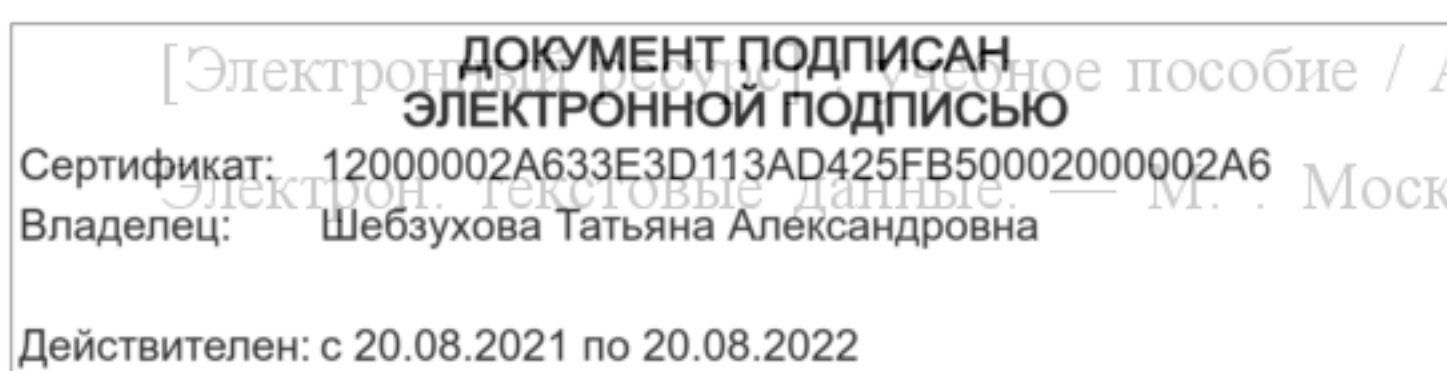
### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

#### 5.1.2 Перечень основной литературы:

1. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 118 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63086.html>
2. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 135 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63085.html>
3. Данилов, М. И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций) / М. И. Данилов, И. Г. Романенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 223 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html>

#### 5.1.3 Перечень дополнительной литературы:

1. Семенова Н.Г. Электроснабжение с основами электротехники. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Г. Семенова, А.Т. Раимова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 142 с. — 978-5-7410-1559-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69976.html>
2. Гордеев-Бургвиц М.А. Общая электротехника и электроснабжение [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.А. Гордеев-Бургвиц. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 470 с. — 978-5-7264-1602-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65651.html>
3. Тихонов А.Ф. Электропривод строительного механизированного инструмента



верситет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 244 с. — 978-5-7264-1520-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64540.html>

4. Колюхова Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Колюхова Е.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2014.— 510 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33222>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Электроснабжение строительных площадей [Электронный ресурс]: методические указания/ — Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 35 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33305>

## ***5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

2. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

## ***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

**Указание по технике безопасности**

До начала работы студенты обязаны изучить правила техники безопасности при работе с электроустановками. Об изучении правил техники безопасности и получении инструктажа студенты расписываются в специальном журнале. Студенты, не изучившие правила техники безопасности и не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Учебная группа (или подгруппа) разбивается на бригады, число которых указывается преподавателем, а состав бригад комплектуется студентами на добровольных началах. Список группы (подгруппы), разбитой на бригады, староста предоставляет преподавателю, ведущему лабораторные занятия.

Каждая из бригад выполняет лабораторную работу в соответствии с графиком, находящемся в лаборатории.

Перед каждым занятием студент обязан подготовиться к выполнению лабораторной работы по данному методическому пособию и рекомендуемой литературе. Перед началом работы преподаватель проверяет знания студентов по содержанию выполняемой работы. Плохо подготовленные студенты к выполнению лабораторной работы не допускаются.

Работая в лаборатории, необходимо соблюдать следующие правила:

К выполнению лабораторной работы следует приступать только после полного уяснения ее содержания и получения допуска к ней.

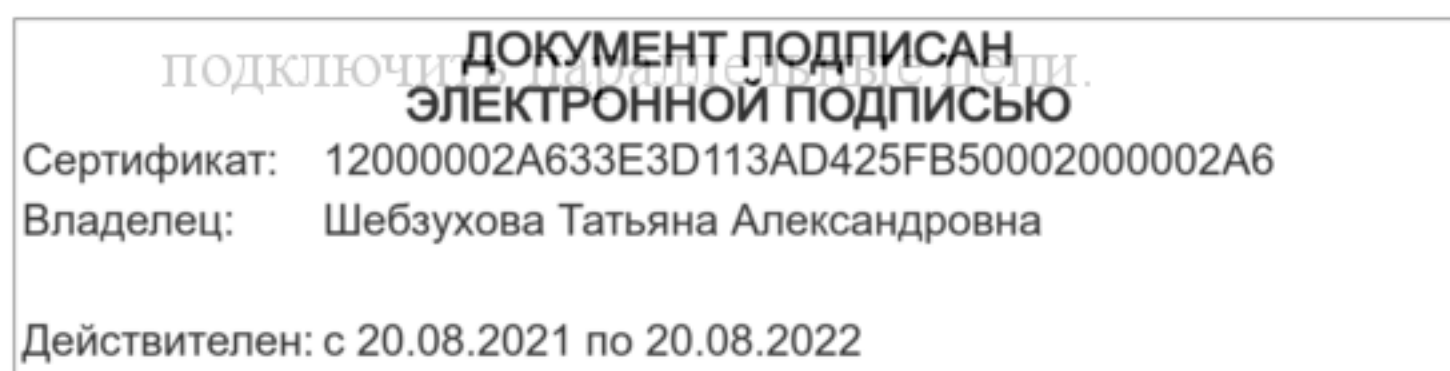
2. Начинать работу следует с ознакомления с приборами и оборудованием, применяемыми в данной работе.

3. На лабораторном столе должны находиться только предметы, необходимые для выполнения данной работы.

4. Расположение аппаратуры на рабочем столе должно быть таким, чтобы схема соединений получилась наиболее простой, наглядной и работа с аппаратурой была удобной.

5. Желательно, чтобы схему собирал один из членов бригады, а другие контролировали.

6. При сборке сложных схем следует вначале соединить главную, последовательную цепь, начиная сборку от одного зажима источника тока и заканчивая на другом, а затем уже



7. После того, как схема будет собрана, необходимо убедиться в правильной установке движков реостатов, автотрансформаторов и рукояток других регулирующих устройств.

8. Собранная схема обязательно должна быть проверена преподавателем или старшим лаборантом и только с их разрешения может быть включена под напряжение.

9. При включении схемы особое внимание следует обратить на показания амперметров и других измерительных приборов. В случае резкого движения стрелки амперметра к концу шкалы схему необходимо немедленно отключить от источника напряжения.

10. Необходимо бережно относиться к аппаратуре, используемой в работе. Обо всех замеченных неисправностях или повреждениях студент должен немедленно сообщить преподавателю или лаборанту.

11. После выполнения работы студент обязан, не разбирая схемы показать полученные данные преподавателю. Если результаты измерений верны, то преподаватель их подписывает. Эксперимент с неправильными результатами следует повторить.

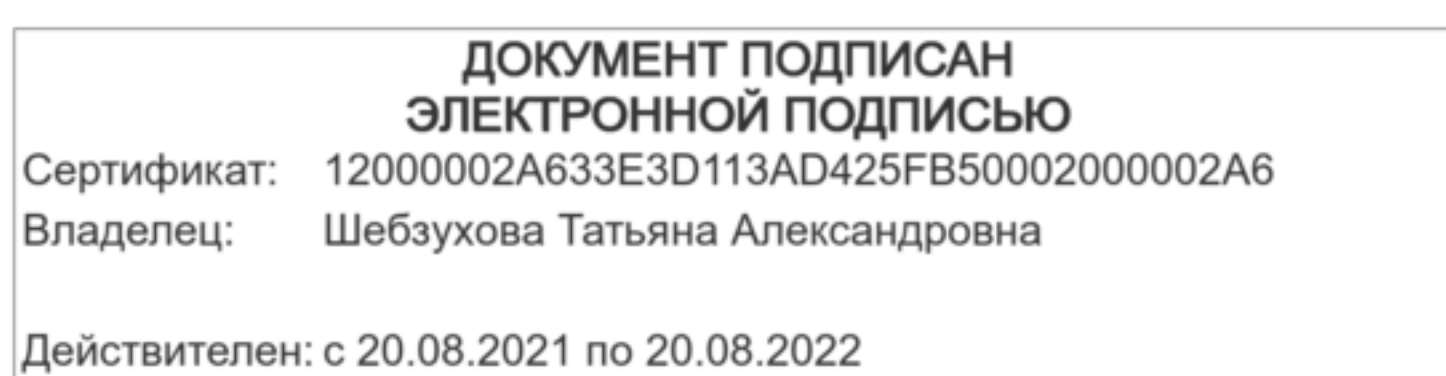
12. Схему следует разбирать только после ее отключения от сети.

13. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико;
- производить изменения в схеме при подключенном источнике питания;
- заменять или брать оборудование, или приборы с других рабочих мест
- без разрешения преподавателя или лаборанта;
- отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений;
- перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

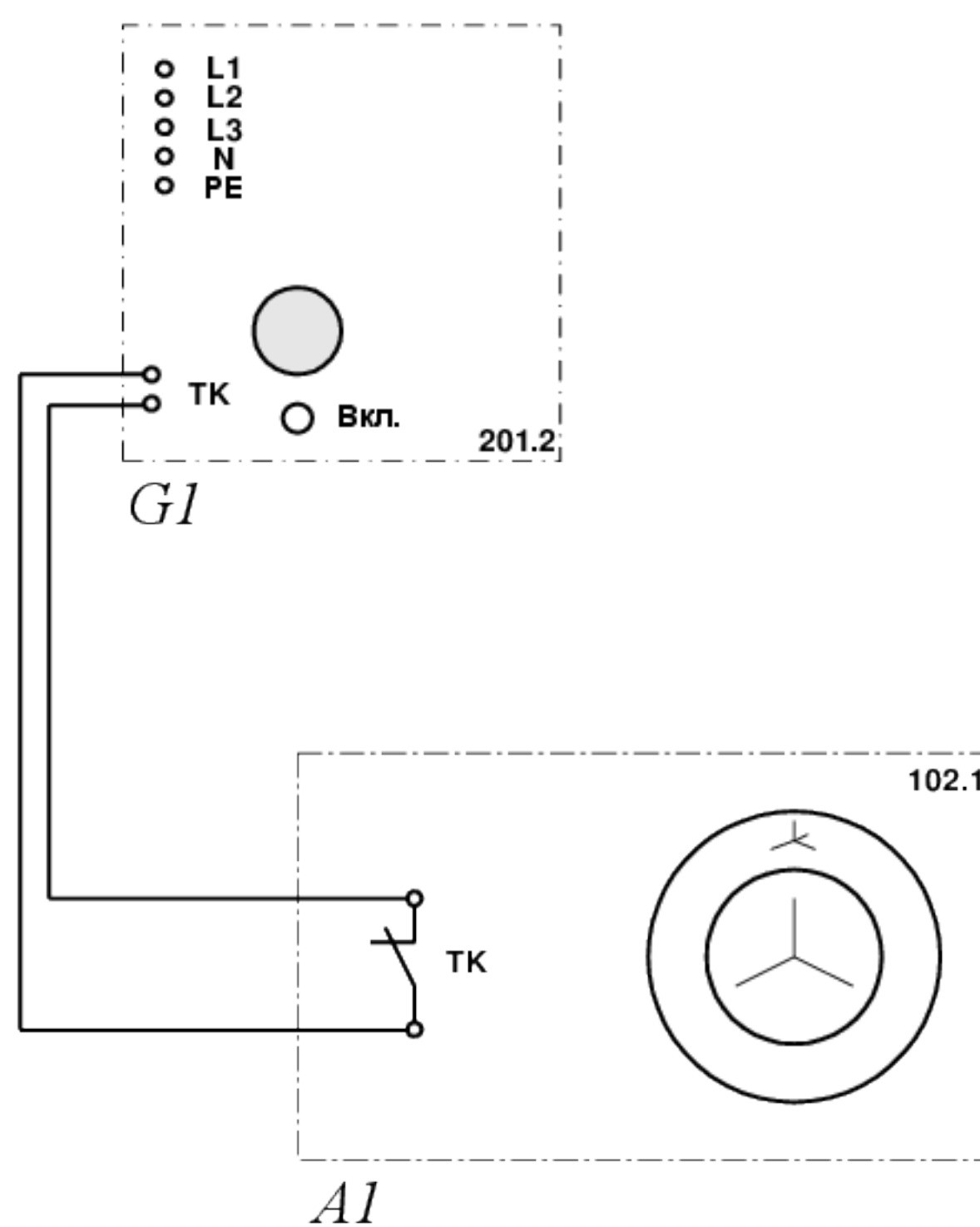
Проверку наличия, подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности.

При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.



## Приложение Б

### Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока



#### Перечень аппаратуры:

| Обозначение | Наименование                | Тип   | Параметры                                    |
|-------------|-----------------------------|-------|----------------------------------------------|
| A1          | Машина переменного тока     | 102.1 | 100 Вт / 230 В ~ /<br>1500 мин <sup>-1</sup> |
| G1          | Трехфазный источник питания | 201.2 | 400 В ~ / 16 А                               |

#### ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## **Методические указания**

по выполнению практических работ  
по дисциплине «ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
(ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ)»  
для студентов направления подготовки  
08.03.01 Строительство, Городское строительство и хозяйство

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

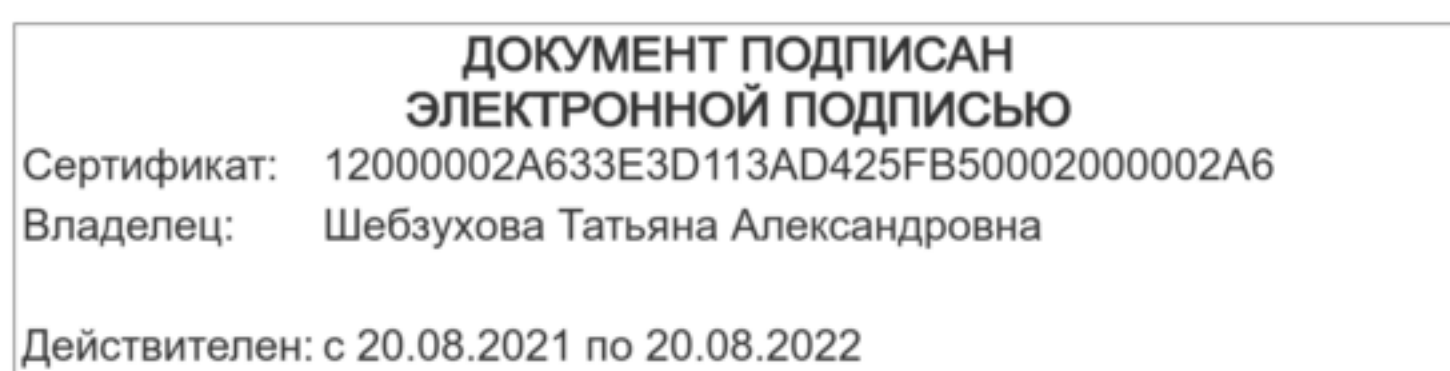
| №<br>п/п |                                                                                                                                 | Стр. |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
|          | Введение                                                                                                                        |      |
| 1.       | Цель и задачи изучения дисциплины                                                                                               |      |
| 2.       | Оборудование и материалы                                                                                                        |      |
| 3.       | Наименование практических работ                                                                                                 |      |
| 4.       | Содержание практических работ                                                                                                   |      |
| 4.1      | Практическая работа №1 Эквивалентные преобразования в электрических цепях.                                                      |      |
| 4.2      | Практическая работа №2 Анализ режимов цепей постоянного тока с использованием законов Ома и Кирхгофа.                           |      |
| 4.3.     | Практическая работа №3 Анализ режимов цепей постоянного тока методами контурных токов и узловых потенциалов.                    |      |
| 4.4      | Практическая работа №4 Комплексный метод анализа цепей синусоидального тока.                                                    |      |
| 4.5      | Практическая работа №5 Расчет однофазных цепей синусоидального тока.                                                            |      |
| 4.6      | Практическая работа №6 Расчет трехфазных цепей синусоидального тока.                                                            |      |
| 4.7      | Практическая работа №7 Расчет электрических потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей.                    |      |
| 4.8      | Практическая работа №8 Электрические нагрузки промышленных предприятий.                                                         |      |
| 4.9      | Практическая работа №9 Определение показаний амперметров, вольтметров и ваттметров в цепях постоянного и синусоидального токов. |      |
| 5        | Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины                                                                     |      |
| 5.1      | Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины                                              |      |
| 5.2      | Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине                                      |      |
| 5.3      | Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины                         |      |

## Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники)», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.



### 1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью освоения дисциплины является изучение дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники)» является формирование знаний в области теории, расчета и анализа электрических и магнитных цепей, рассматриваемых как модели реальных электротехнических устройств, используемых в строительстве.

Задачи освоения дисциплины являются:

- изучить основные положения теории и практики расчета однофазных и трехфазных электрических цепей, электротехническую символику и терминологию;
- получить практические навыки расчета электрических цепей, используемых в профессиональной практике;
- научиться пользоваться достижениями современной электротехнической науки в своей профессиональной деятельности.

### 2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

### 3. Наименование практических работ

| № Темы дисциплины | Наименование тем дисциплины, их краткое содержание                                                                                                                                                                                           | Объем часов | Из них практическая подготовка, часов |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------|
| 5 семестр         |                                                                                                                                                                                                                                              |             |                                       |
| 1                 | <b>Практическое занятие № 1.</b> Эквивалентные преобразования в электрических цепях. Научиться рассчитывать эквивалентное сопротивление при различных схемах соединения резисторов: последовательном, параллельном, треугольником и звездой. | 1,5         | Решение разноуровневых задач          |
| 2                 | <b>Практическое занятие № 2.</b> Анализ режимов цепей постоянного тока с использованием законов Ома и Кирхгофа. Научиться рассчитывать токи в ветвях с помощью законов Ома и Кирхгофа.                                                       |             |                                       |
|                   | <b>Практическое занятие № 3.</b> Анализ цепей постоянного тока методами контурных токов и узловых потенциалов.                                                                                                                               | 1,5         |                                       |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |            |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------|
|   | Научиться рассчитывать токи в ветвях методами контурных токов и узловых потенциалов.                                                                                                                                                                                                                      |          |            |
| 4 | <b>Практическое занятие № 4.</b> Комплексный метод анализа цепей синусоидального тока. Получить навыки перевода синусоидальных величин в комплексные, научиться строить векторные диаграммы.                                                                                                              |          |            |
| 5 | <b>Практическое занятие № 5.</b> Расчет однофазных цепей синусоидального тока. Получить навыки расчета разветвленных однофазных цепей синусоидального тока различными методами как в обычных режимах, так и в режиме резонанса, научиться сопровождать расчеты векторными и топографическими диаграммами. |          |            |
| 6 | <b>Практическое занятие № 6.</b> Расчет трехфазных цепей синусоидального тока. Получить навыки расчета трехфазных цепей синусоидального тока при симметричной и несимметричной нагрузке.                                                                                                                  |          |            |
| 7 | <b>Практическое занятие № 7.</b> Расчет электрических потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей. Получить навыки расчета электрических потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей.                                                                             |          |            |
| 8 | <b>Практическое занятие № 8.</b> Электрические нагрузки промышленных предприятий. Приобрести навыки расчета электрических нагрузок промышленных предприятий.                                                                                                                                              |          |            |
| 9 | <b>Практическое занятие № 9.</b> Определение показаний амперметров, вольтметров и ваттметров в цепях постоянного и синусоидального токов. Научиться рассчитывать показания приборов различных измерительных систем в цепях постоянного и синусоидального токов.                                           |          |            |
|   | <b>Итого за 5 семестр:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                | <b>3</b> | <b>1,5</b> |
|   | <b>Итого:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>3</b> | <b>1,5</b> |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

#### 4. Содержание лабораторных работ

##### *Практическая работа №1. Эквивалентные преобразования в электрических цепях*

**Цель:** Научиться рассчитывать эквивалентное сопротивление при различных схемах соединения резисторов: последовательном, параллельном, треугольником и звездой.

##### **Основы теории:**

Электрическая цепь, образованная путем соединения между собой идеализированных элементов, является математической моделью реального электротехнического или электронного устройства. Чем больше элементов содержит такая цепь, тем точнее отображает она характеристики моделируемого устройства. Дадим определения основных понятий, касающихся геометрической конфигурации, или топологии, электрических цепей.

Ветвь – участок цепи с двумя выводами. Ветвью может быть отдельный элемент либо группа элементов, соединенных последовательно или параллельно.

Узел – точка соединения двух или более ветвей. Место соединения двух ветвей удобно рассматривать в качестве узла при машинных расчетах. При ручных расчетах несколько элементов, соединенных последовательно или параллельно, удобно рассматривать как одну ветвь. Поэтому при ручных расчетах узлом считают соединение трех или более ветвей.

Контур – замкнутый путь, проходящий через ряд ветвей и узлов.

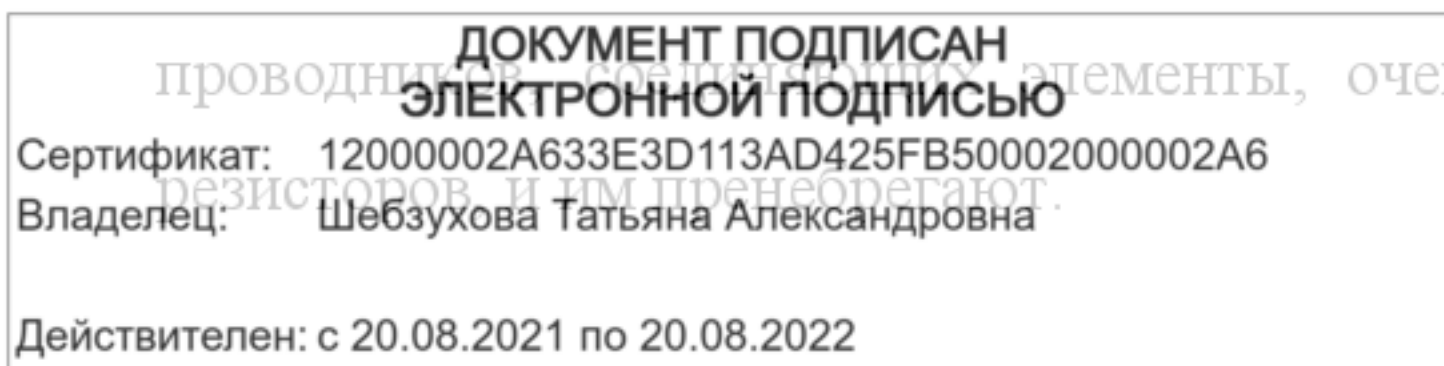
Задача анализа электрической цепи формулируется следующим образом. Заданы схема цепи и характеристики ее элементов, а также напряжения и токи независимых источников. Требуется найти токи и напряжения ветвей.

Уравнения, описывающие поведение электрической цепи, составляют на основе законов Кирхгофа.

Чтобы записать уравнения по законам Кирхгофа, необходимо сначала выбрать положительные направления токов и напряжений ветвей. Положительное направление тока показывают стрелкой на выводе элемента. Положительное направление напряжения показывают стрелкой, расположенной рядом с элементом. Направления токов и напряжений резистивных элементов выбирают согласованными. Сопротивление

проводников, конденсаторов, катушек индуктивности, источников тока, очень мало по сравнению с сопротивлениями

резисторов, и им пренебрегают.



Направления напряжений и токов источников следует рассмотреть особо. Стрелка ЭДС источника напряжения направлена к его положительному выводу. Поэтому напряжение на внешних зажимах этого источника направлено в сторону, противоположную ЭДС.

### Задание:

#### Задача №1

Для цепи, изображенной на рисунке 1.1, найти эквивалентные сопротивления между зажимами  $a$  и  $b$ ,  $c$  и  $d$ ,  $d$  и  $f$ . Значения сопротивлений представлены на схеме в Омах. ( $r_{ab} = 12 \text{ Ом}$ ,  $r_{cd} = 4 \text{ Ом}$ ,  $r_{df} = 4 \text{ Ом}$ )

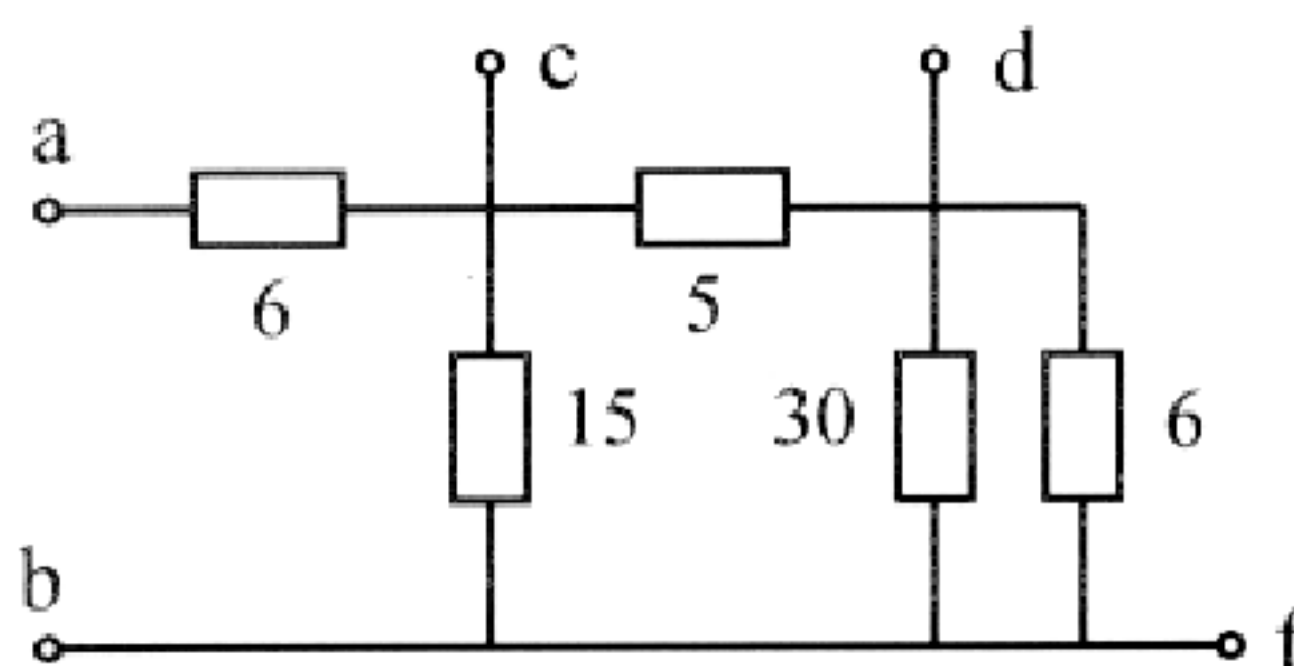


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема

#### Задача №2

Для цепи, изображенной на рисунке 1.2, определить эквивалентное сопротивление цепи между точками  $a$  и  $b$  при разомкнутом и замкнутом ключе  $k$ . Если  $r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = r_5 = r_6 = r_7 = 10 \text{ Ом}$ . ( $r_{ab} = 12 \text{ Ом}$ ,  $r_{ab} = 8,33 \text{ Ом}$ )

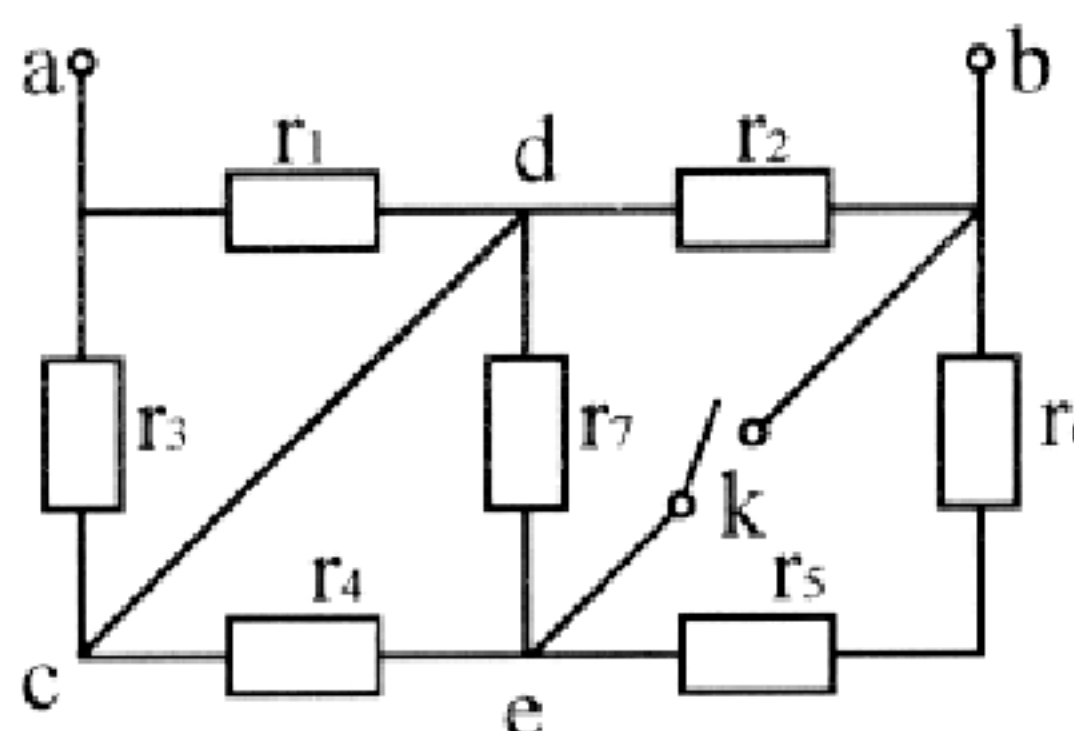


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема

#### Задача №3

Для цепи, изображенной на рисунке 1.3,  $J = 12 \text{ А}$ ,  $E_1 = 30 \text{ В}$ ,  $E_2 = 40 \text{ В}$ , значения сопротивлений в Омах указаны на схеме. Найти входное сопротивление относительно

выводов источника тока, применив преобразования: 1) треугольника сопротивлений в звезду; 2) звезды сопротивлений в треугольник. (3,25 Ом)

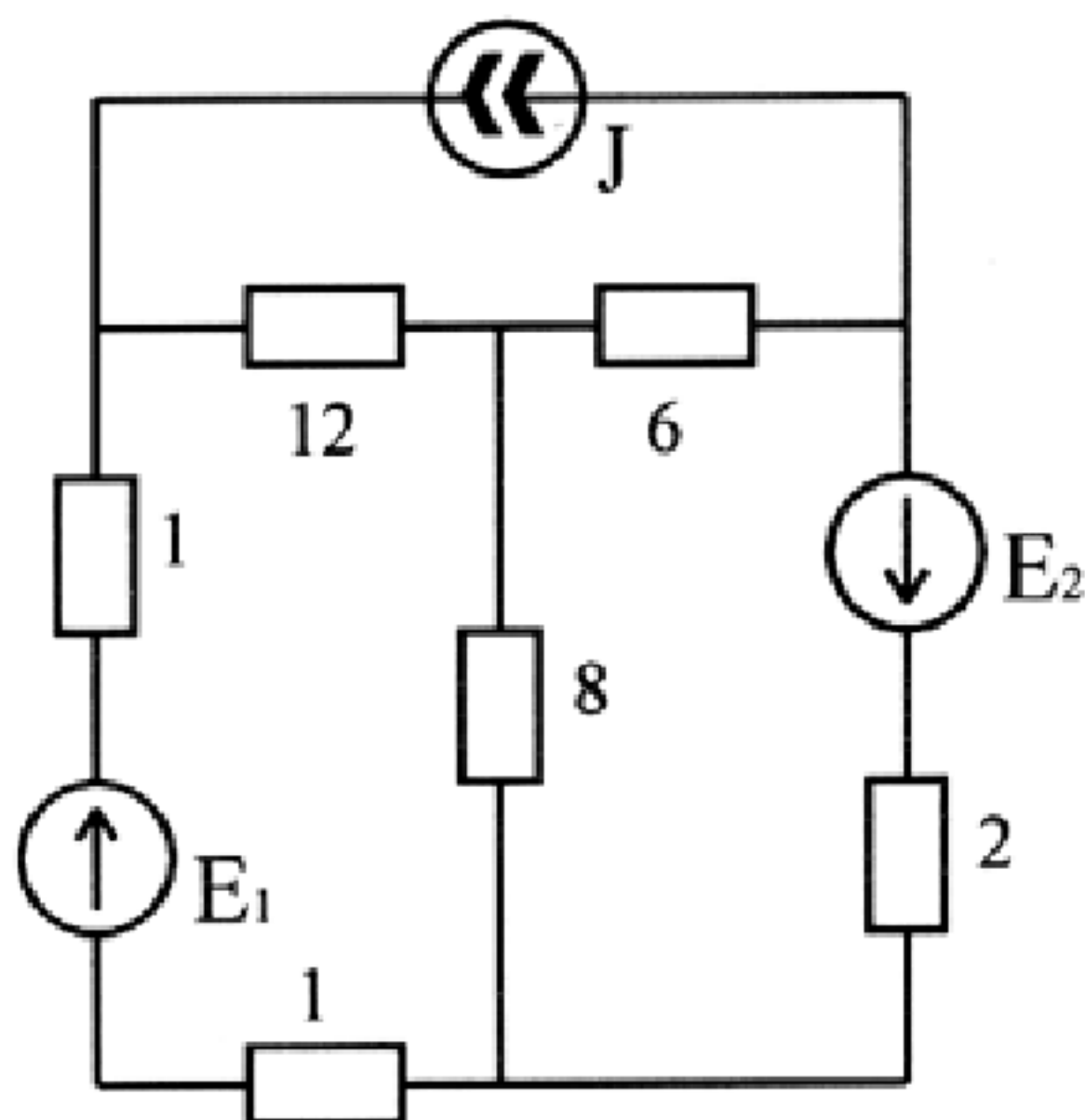


Рисунок 1.3 – Принципиальная схема

**Контрольные вопросы:**

1. Как определяется общее сопротивление при последовательном соединении сопротивлений? при параллельном соединении?
2. Как определяется напряжение на участке электрической цепи с последовательными сопротивлениями, падения напряжения на которых известны?
3. Как определить токи в двух параллельных ветвях по известному току в неразветвленной части электрической цепи?
4. При каком соединении сопротивлений ток через все сопротивления равен?
5. При каком соединении сопротивлений напряжение на них одинаково?
6. В каком случае необходимо использовать взаимные преобразования соединения сопротивлений звезда в треугольник?
7. Формулы преобразования звезды в треугольник, треугольника в звезду.

## Практическая работа №2. Анализ режимов цепей постоянного тока с использованием законов Ома и Кирхгофа

**Цель:** Научиться рассчитывать токи в ветвях с помощью законов Ома и Кирхгофа.

### Теоретическая часть:

Сложной цепью постоянного тока называют электрическую цепь, состоящую из нескольких сопротивлений и источников напряжения, соединенных между собой тем или иным способом.

Узлом электрической цепи называется место соединения трех и более ветвей цепи. При наличии в схеме  $n$  таких узлов можно составить  $(n - 1)$  уравнений согласно первому закону Кирхгофа. В соответствии с этим законом сумма токов, подходящих к узлу, равна сумме токов, отходящих от узла, или алгебраическая сумма всех токов в узле равна нулю, т.е.  $\sum I = 0$ . При этом необходимо токи, подходящие к узлу, записывать в уравнение с одним знаком (например «+»), а токи, отходящие от узла – с противоположным знаком.

При последовательном соединении нескольких сопротивлений (рис. 1.1 а) общее сопротивление участка равно сумме всех сопротивлений на этом участке:  $R_{\Sigma} = R_1 + R_2 + R_3$ . Ток на участке цепи с несколькими последовательно соединенными сопротивлениями будет равен (по закону Ома):

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}}$$

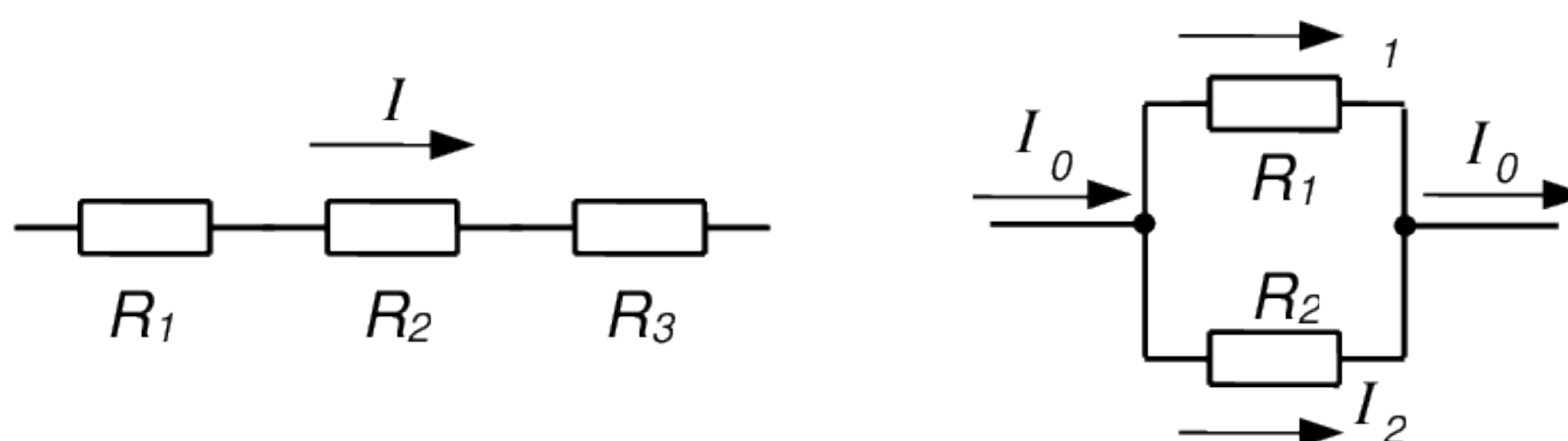
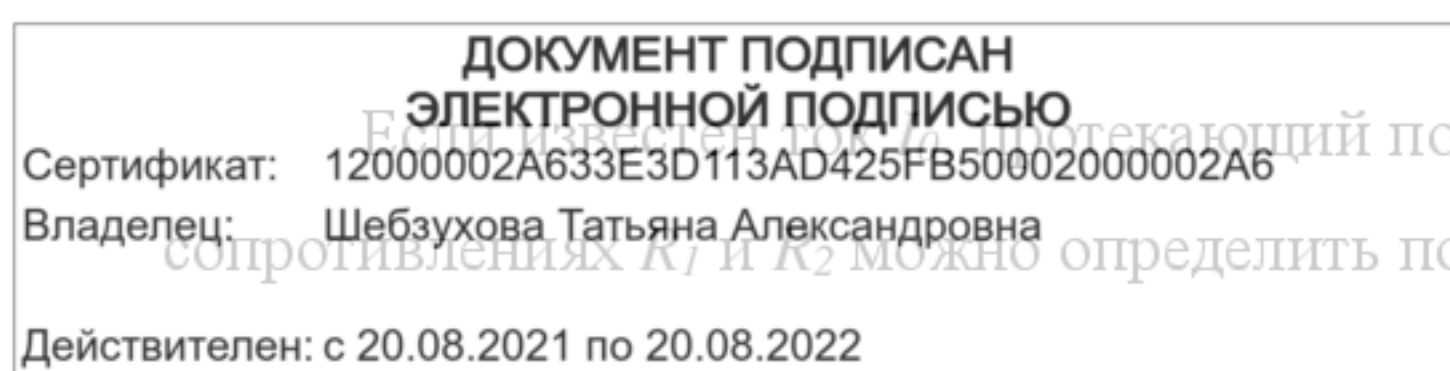


Рисунок 2.1 – Последовательное (а) и параллельное (б) соединение сопротивлений

При параллельном соединении двух сопротивлений (рис. 1, б) эквивалентное сопротивление определяется по формуле:  $R_{\Sigma} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ .



неразветвленной части цепи, то токи  $I_1$  и  $I_2$  в формулам:

$$I_1 = I_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

При трех параллельно включенных сопротивлениях (рис. 1.2) эквивалентное сопротивление будет равно:

$$R_9 = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}.$$

Ветвью электрической цепи называется участок электрической цепи, заключенный между двумя узлами (например, контур *abefa* на рис. 1.3).

В каждом контуре между электродвижущими силами (э.д.с.), имеющимися в цепи, и падениями напряжения на отдельных участках существует строго определенная зависимость, определяемая вторым законом Кирхгофа:

$$\Sigma E = \Sigma IR,$$

т.е. алгебраическая сумма электродвижущих сил в данном контуре равна алгебраической сумме падений напряжений на участках цепи этого контура.

Для того, чтобы правильно записать уравнение по второму закону Кирхгофа, необходимо задаться направлением обхода этого контура (например, по ходу часовой стрелки). Если при обходе контура направление э.д.с. совпадает с направлением обхода, то ее записывают в левую часть уравнения со знаком «+», а если ее направление не совпадает с направлением обхода, то ее считают со знаком «-». Аналогично поступают со знаками падений напряжений. Если направление тока на участке цепи совпадает с направлением обхода, то  $IR$  на этом участке записывают со знаком «+», в противном случае – со знаком «-».

1. Для контура *abefa*, совершая обход по часовой стрелке, получим:

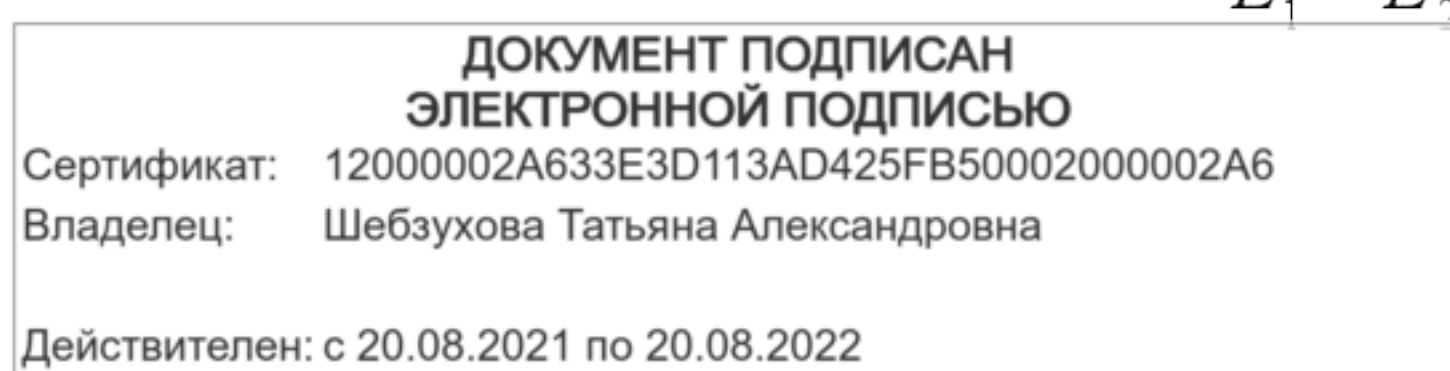
$$E_1 = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

2. Для контура *bcedb*, совершая обход против часовой стрелки, получим:

$$E_1 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

3. Для контура *abcdefa*, совершая обход по часовой стрелке, получим:

$$E_1 - E_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2$$



**Задание:**

**Задача №1**

Определить показание вольтметра для схемы, изображенной на рисунке 2.2. (15 В).

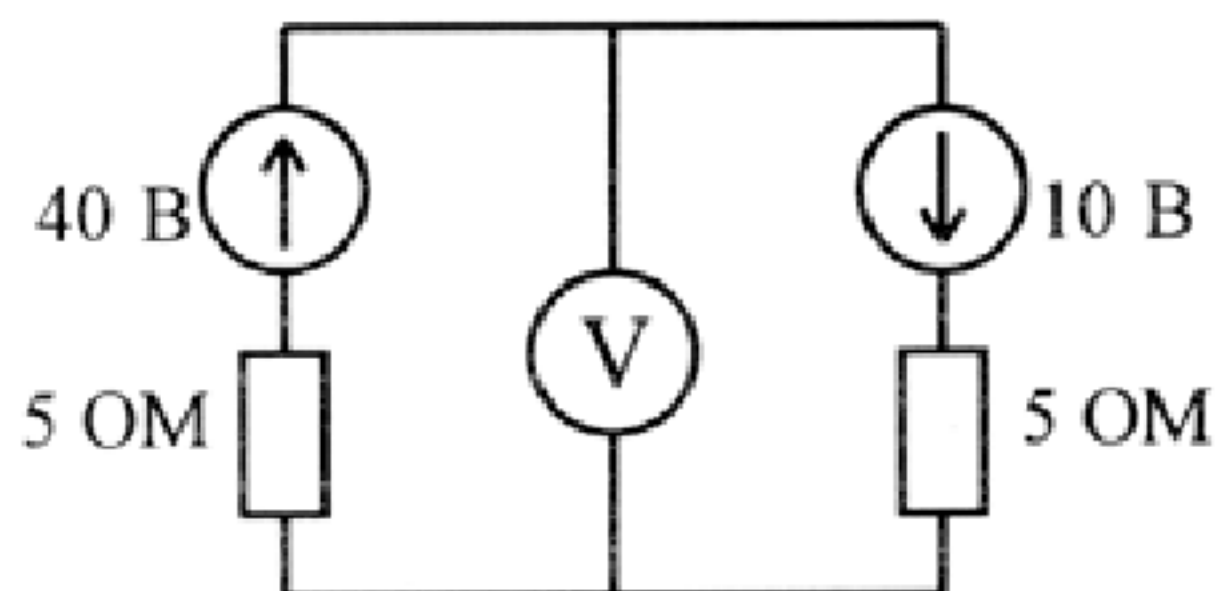


Рисунок 2.2 – Принципиальная схема

**Задача №2**

Определить токи в ветвях схемы рисунок 2.3, применяя законы Кирхгофа. Дано:  $E_1 = 3 \text{ В}$ ,  $E_2 = 2 \text{ В}$ ,  $E_3 = 2 \text{ В}$ ,  $E_5 = 1 \text{ В}$ ,  $J_3 = 1 \text{ А}$ ,  $J_4 = 0,5 \text{ А}$ ,  $r_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 2 \text{ Ом}$ ,  $r_4 = 8 \text{ Ом}$ ,  $r_5 = 10 \text{ Ом}$ . ( $I_1 = 0,2 \text{ А}$ ,  $I_2 = 0,7 \text{ А}$ ,  $I_3 = -0,5 \text{ А}$ ,  $I_4 = 0,1 \text{ А}$ ,  $I_5 = 0,1 \text{ А}$ )

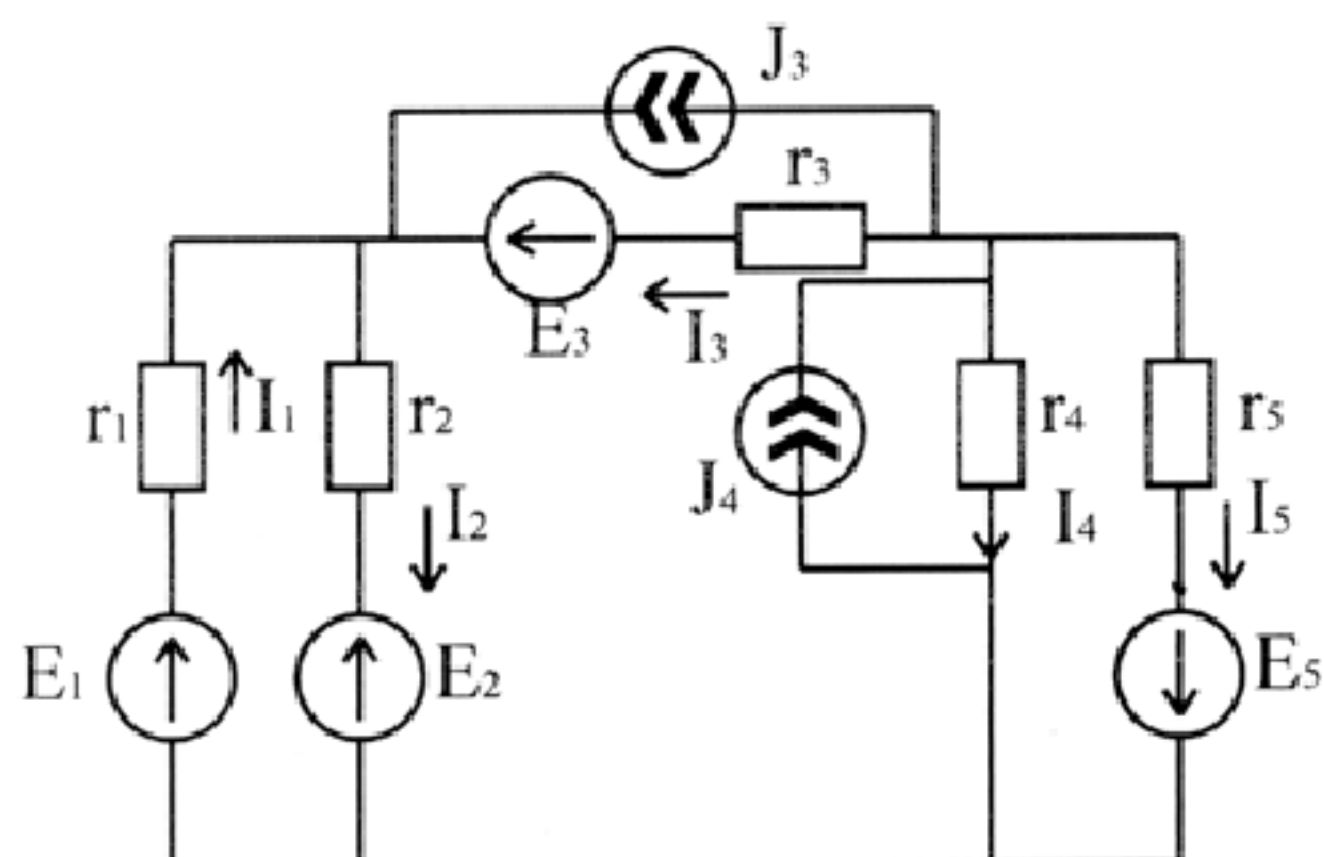


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема

**Задача №3**

Для цепи рисунок 2.4 построить потенциальные диаграммы при разомкнутом и замкнутом ключе. Дано:  $E_1 = 15 \text{ В}$ ,  $E_2 = 5 \text{ В}$ ,  $E_3 = 20 \text{ В}$ ,  $E_4 = 35 \text{ В}$ ,  $r_1 = 8 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 24 \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 40 \text{ Ом}$ ,  $r_4 = 4 \text{ Ом}$ . Внутренние сопротивления источников энергии:  $r_{10} = 2 \text{ Ом}$ ,  $r_{20} = 6 \text{ Ом}$ ,  $r_{30} = 2 \text{ Ом}$ ,  $r_{40} = 4 \text{ Ом}$ .

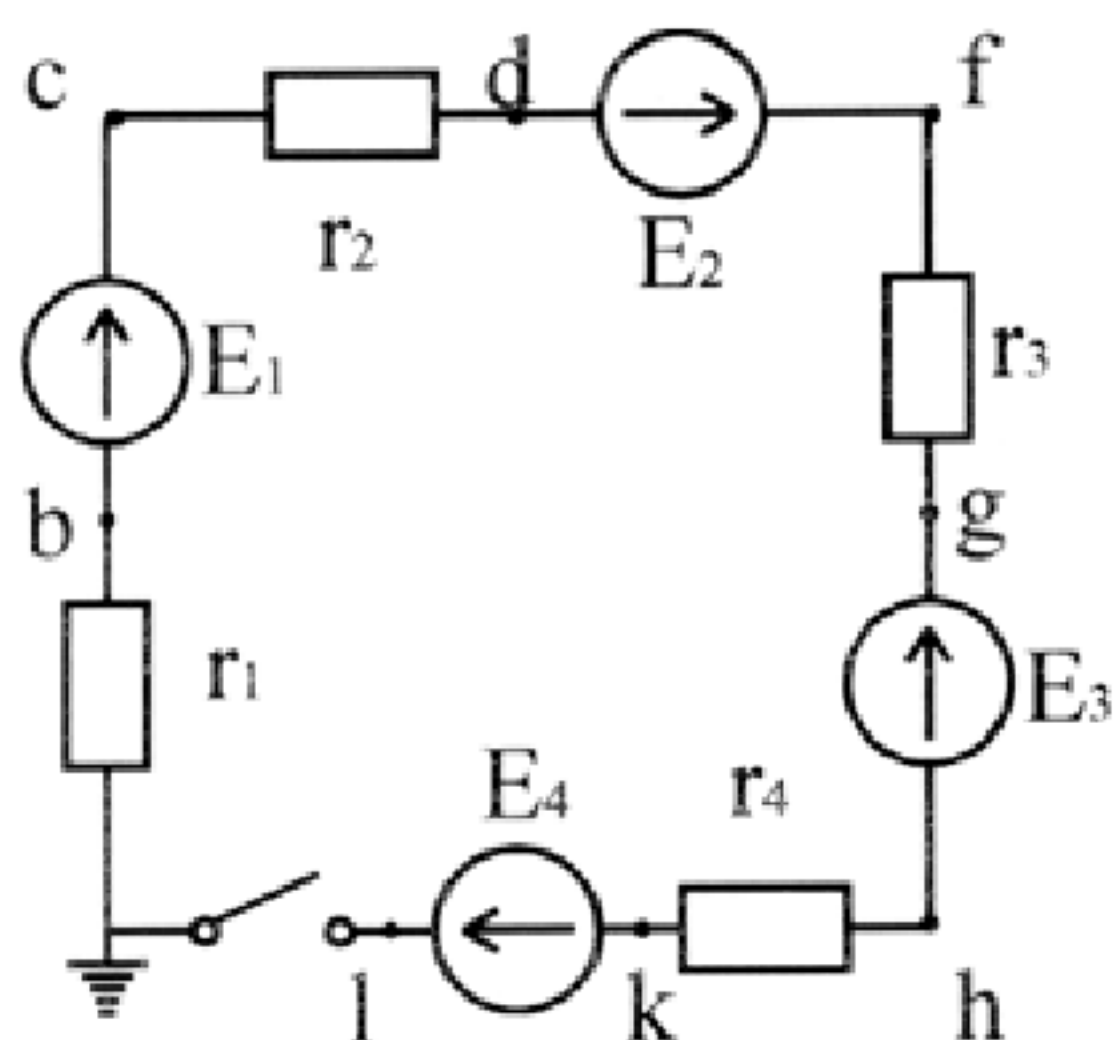


Рисунок 2.4 – Принципиальная схема

**Контрольные вопросы:**

1. Записать закон Ома для участка электрической цепи и для полной цепи.
2. Как определяется направление тока при известных потенциалах электрической цепи?
3. Дайте определение узлам и ветвям электрической цепи.
4. Сформулируйте и запишите первый закон Кирхгофа.
5. Сформулируйте и запишите второй закон Кирхгофа.
6. Как определить показания вольтметра по известным токам в ветвях?
7. Методика построения потенциальной диаграммы для замкнутого контура электрической цепи.
8. Поясните, как произвести учет внутреннего сопротивления источника энергии при построении потенциальной диаграммы.

### ***Практическая работа №3. Анализ режимов цепей постоянного тока методами контурных токов и узловых потенциалов***

**Цель:** Научиться рассчитывать токи в ветвях методами контурных токов и узловых потенциалов.

#### ***Основы теории:***

Метод контурных токов также позволяет уменьшить количество решаемых уравнений в сравнении с системой уравнений по законам Кирхгофа. Количество уравнений по методу контурных токов определяется числом уравнений по второму закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. Метод основывается на том свойстве, что ток в любой ветви может быть представлен в виде алгебраической суммы независимых контурных токов, протекающих по этой ветви. В соответствии с данным методом необходимо выбрать контурные токи таким образом, чтобы каждый из них проходил через один источник тока, а оставшиеся контурные токи выбирать проходящими по ветвям, не содержащим источники тока.

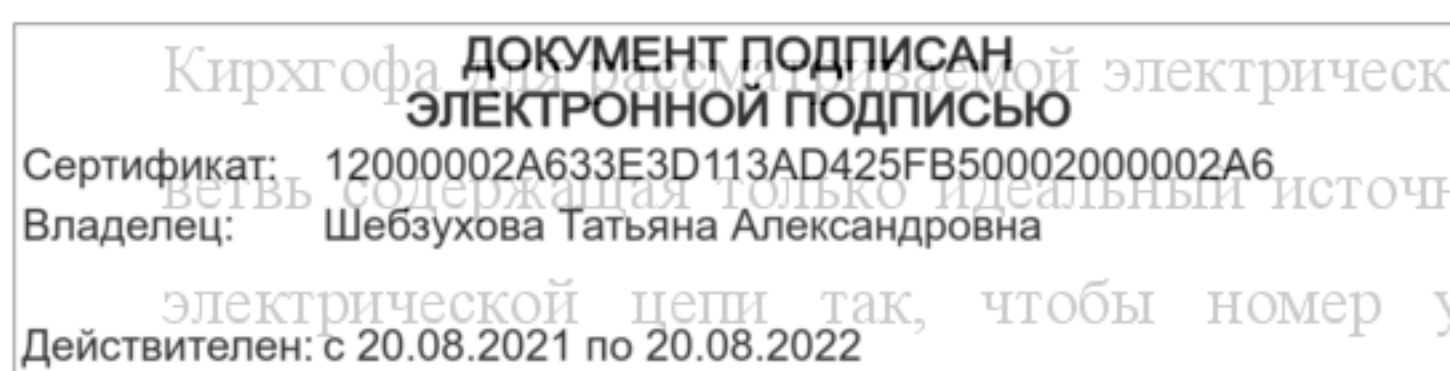
Система уравнений по методу контурных токов в виде матрицы будет иметь столько строк и столбцов, сколько уравнений необходимо записать по второму закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. Если в электрической цепи имеется источник тока, то добавится столбец в систему уравнений, если два, то два столбца и т.д.

Метод узловых потенциалов.

Данный метод также позволяет уменьшить количество решаемых уравнений в сравнении с системой уравнений по законам Кирхгофа.

Количество уравнений по методу узловых потенциалов определяется количеством уравнений по первому закону Кирхгофа для рассматриваемой электрической цепи. В соответствии с данным методом, необходимо сначала определить потенциалы всех узлов электрической цепи, а затем с помощью закона Ома определить токи в ветвях. При этом один из узлов электрической схемы, который называют опорным, заземляется, его потенциал становится равен нулю. Узел для заземления выбирается произвольно. Удобно заземлять узел, номер которого имеет наибольшее значение в заданной электрической цепи.

Система уравнений по методу узловых потенциалов в виде матрицы будет иметь столько строк и столбцов, сколько уравнений необходимо записать по первому закону



электрической цепи, оказался в узле от которого отходит источник ЭДС. Этот узел принимают за опорный и заземляют. Тогда потенциал узла, в который входит источник ЭДС, будет известным и равным величине ЭДС источника.

### Задание:

#### Задача №1

Определить токи ветвей в электрической цепи схема, которой представлена на рисунке 3.1 методом: а) контурных токов; б) узловых потенциалов. Дано:  $E_1 = 36 \text{ В}$ ,  $E_2 = 12 \text{ В}$ ,  $J = 8 \text{ А}$ ,  $R_1 = R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 1 \text{ Ом}$ . ( $I_1 = 9 \text{ А}$ ,  $I_2 = 3 \text{ А}$ ,  $I_3 = 6 \text{ А}$ ,  $I_4 = 2 \text{ А}$ )

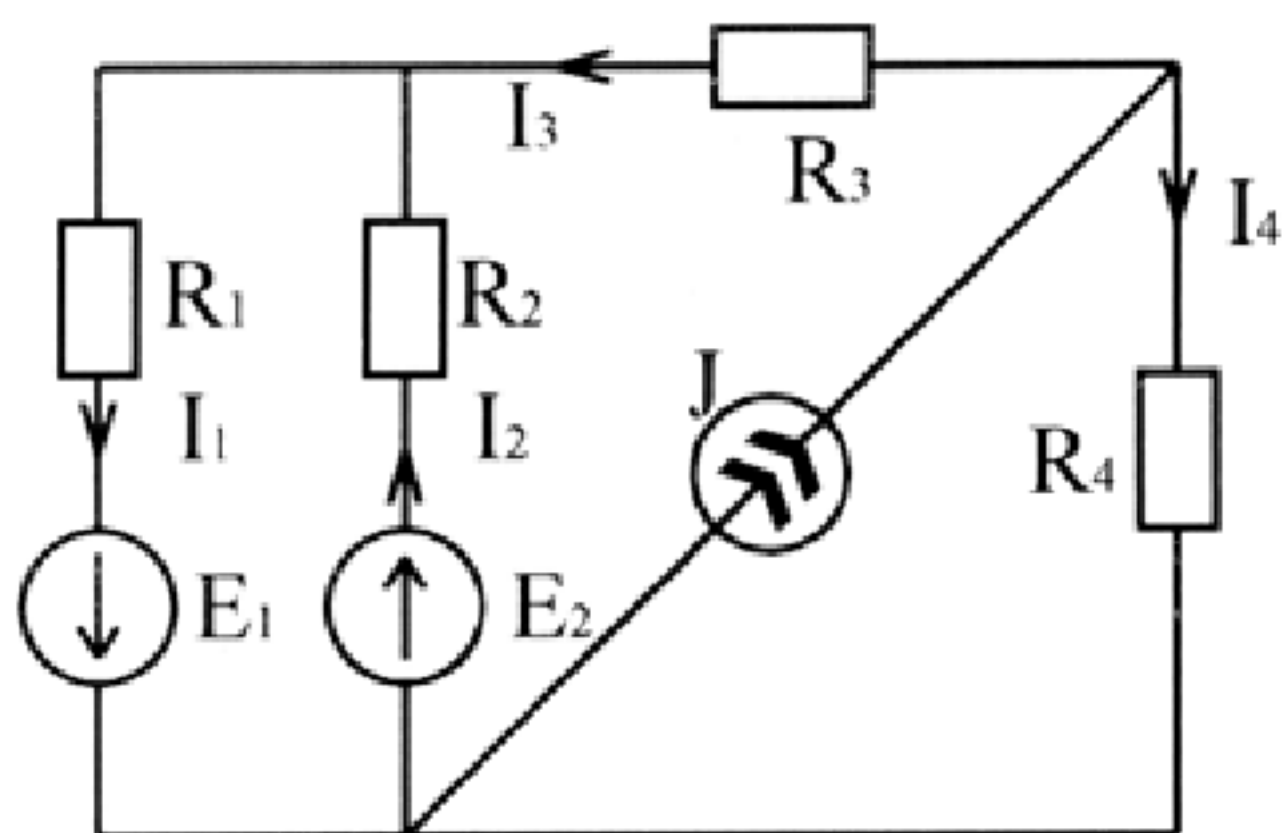
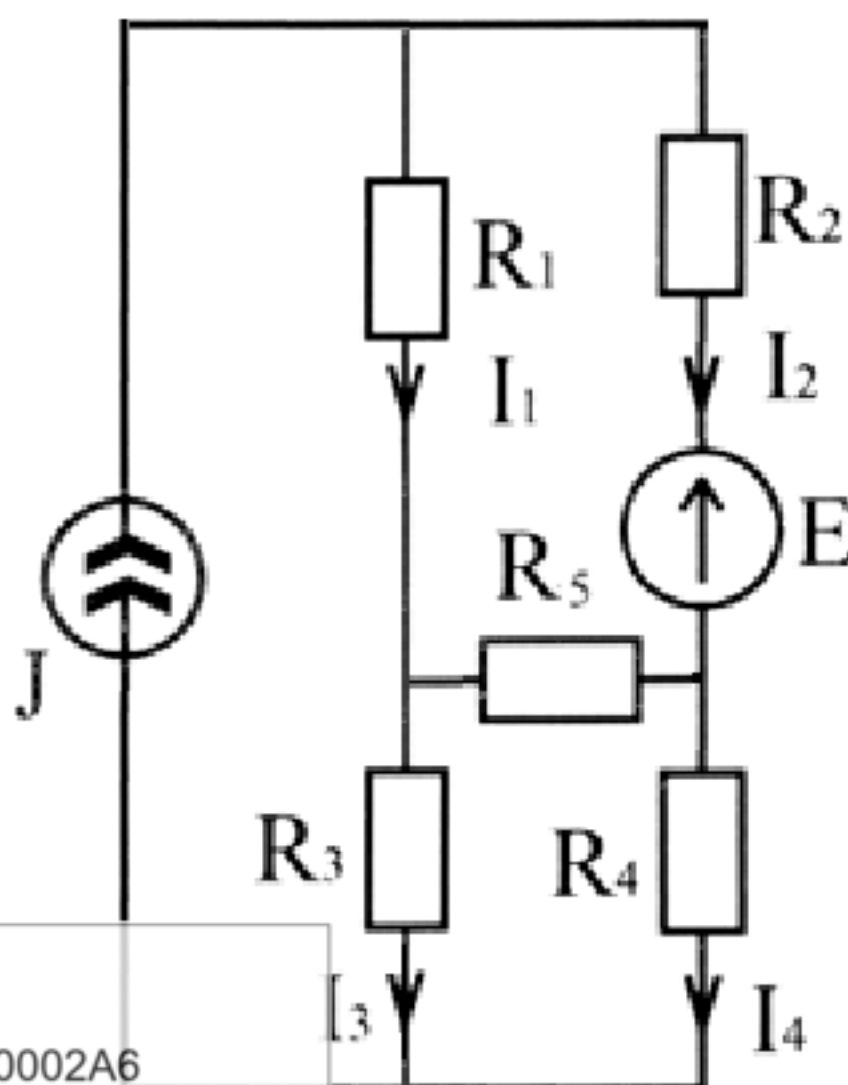


Рисунок 3.1 – Принципиальная схема

#### Задача №2

Вычислить все токи в электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 3.2 методом: а) контурных токов; б) методом узловых потенциалов. Дано:  $J = 50 \text{ мА}$ ,  $E_1 = 60 \text{ В}$ ,  $R_1 = 5 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 4 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 16 \text{ кОм}$ ,  $R_4 = 2 \text{ кОм}$ ,  $R_5 = 8 \text{ кОм}$ . ( $I_1 = 20 \text{ мА}$ ,  $I_2 = 30 \text{ мА}$ ,  $I_3 = 10 \text{ мА}$ ,  $I_4 = 40 \text{ мА}$ ,  $I_5 = 10 \text{ мА}$ )



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 3.2 – Принципиальная схема

***Контрольные вопросы:***

1. Сформулировать основные принципы метода узловых потенциалов.
2. Сколько уравнений необходимо составить по методу узловых потенциалов?
3. Сформулировать основные принципы метода контурных токов.
4. Сколько уравнений необходимо составить по методу контурных токов?
5. Каковы особенности применения метода контурных токов для схем, содержащих источник тока?
6. Каковы особенности применения метода узловых потенциалов для схем, содержащих идеальный источник ЭДС между узлами?
7. Как найти токи в ветвях по методу двух узлов?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Практическая работа №4. Комплексный метод анализа цепей синусоидального тока

**Цель:** Получить навыки перевода синусоидальных величин в комплексные, научиться строить векторные диаграммы.

### Основы теории:

Пусть в цепь переменного тока с частотой  $f = 50 \text{ Гц}$  включена катушка, обладающая индуктивностью  $L$  и активным сопротивлением  $r$  (рис. 2.1).

При протекании по катушке переменного тока  $i_L$  в пространстве, окружающем витки, будет создаваться магнитный поток  $\Phi$  и потокосцепление с витками катушки:

$$\psi = w \cdot \Phi$$

где  $w$  – число витков катушки.

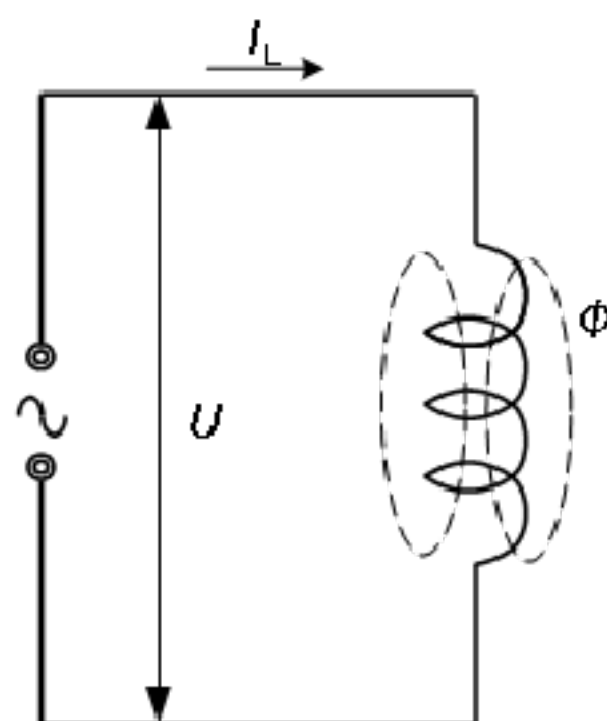


Рисунок 4.1 – Схема с индуктивностью

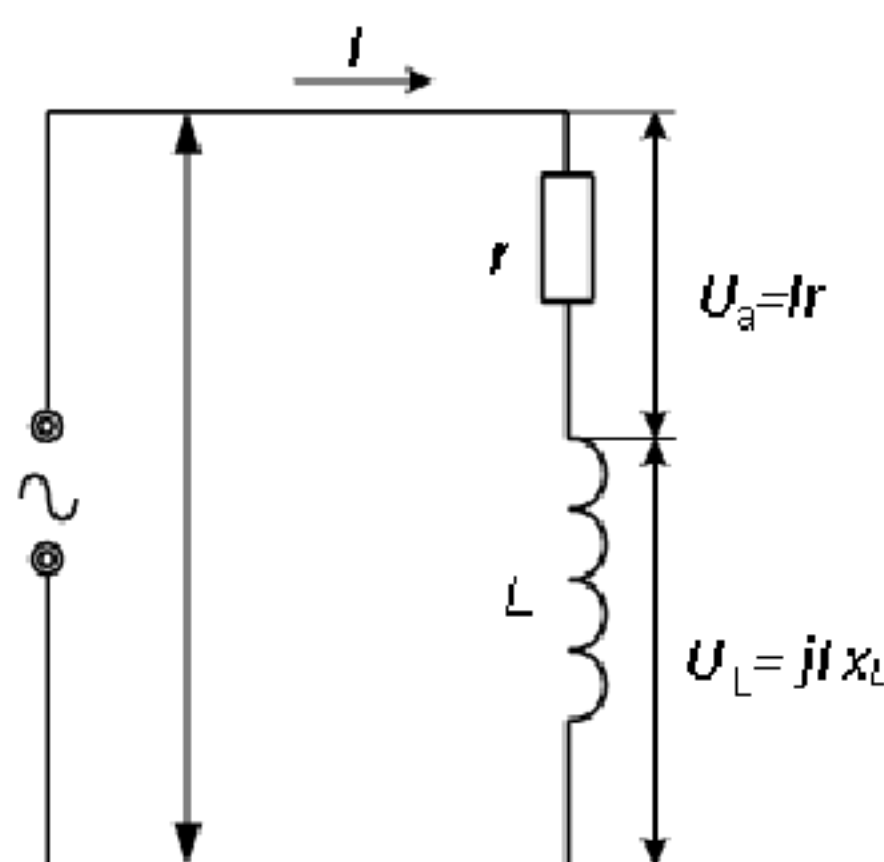


Рисунок 4.2 – Схема последовательного соединения R и L

Отношение потокосцепления катушки к току катушки  $i_L$  называется собственной

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$L = \frac{\psi}{i_L} = \frac{w \cdot \Phi}{i_L}$$

Если собственное потокоцепление пропорционально току (в случае катушки без стального сердечника), то  $L = \text{const}$ . Основной единицей измерения индуктивности является Генри (Гн):

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ А}}, 1 \text{ Гн} \cdot 10^{-3} = 1 \text{ мГн}$$

Если ток в катушке изменяется (например, по синусоидальному закону), то и потокоцепление катушки изменяется и поэтому в витках катушки по закону электромагнитной индукции наводится э.д.с. самоиндукции  $e_L$ :

$$e_L = - \frac{d\psi}{dt} = -L \frac{di_L}{dt}$$

т.е. наводимая э.д.с.  $e_L$  препятствует изменению тока  $i_L$ . Кроме того, катушка обладает некоторым активным сопротивлением  $r$ .

Применяя второй закон Кирхгофа для мгновенных значений электрических величин, можно записать:

$$u + e_L = i \cdot r$$

отсюда напряжение на зажимах цепи равно

$$u = i \cdot r - e_L = u_a + u_L$$

Падение напряжения на активном сопротивлении называют активной составляющей напряжения или активным напряжением, а падение напряжения на индуктивном сопротивлении называют индуктивной составляющей напряжения. Мгновенные значения этих величин обозначают  $u_a$  и  $u$ , а действующие – соответственно  $U_a$  и  $U_L$ . При синусоидальном законе изменения тока напряжение на зажимах цепи будет равно:

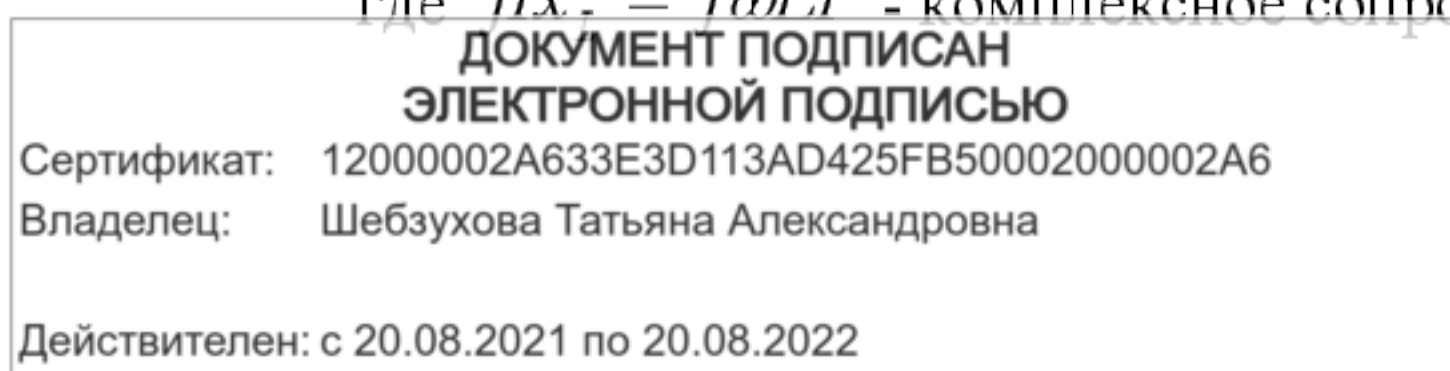
$$\begin{aligned} u = ir - e_L &= rI_m \sin \omega t + L \frac{d(I_m \sin \omega t)}{dt} = rI_m \sin \omega t + \omega LI_m \cos \omega t = \\ &= U_{am} \sin \omega t + U_{Lm} \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right), \end{aligned}$$

т.е. между активным и индуктивным падениями напряжения имеется сдвиг по фазе на  $90^\circ$ .

Переходя к комплексной форме можно записать:

$$\dot{U} = \dot{U}_a + j\dot{U}_L = \dot{I}r + j\dot{I}x_L$$

где  $j\dot{I}x_L = j\omega L\dot{I}$  - комплексное сопротивление индуктивного элемента;



$\dot{U}_a = \frac{U_{am}}{\sqrt{2}}$  и  $\dot{U}_L = \frac{U_{Lm}}{\sqrt{2}}$  - действующие значения активного и индуктивного напряжений.

Таким образом, напряжение на зажимах цепи  $\dot{U}$  можно представить в виде суммы двух синусоид  $\dot{U}_a$  и  $j\dot{U}_L$ . Известно, что всякую синусоидально изменяющуюся величину можно представить в виде вектора (например, тока  $\dot{I}$ ), вращающегося в пространстве с угловой частотой  $\omega$ , проекция которого на мнимую ось и дает синусоидальную величину (рис. 4.3).

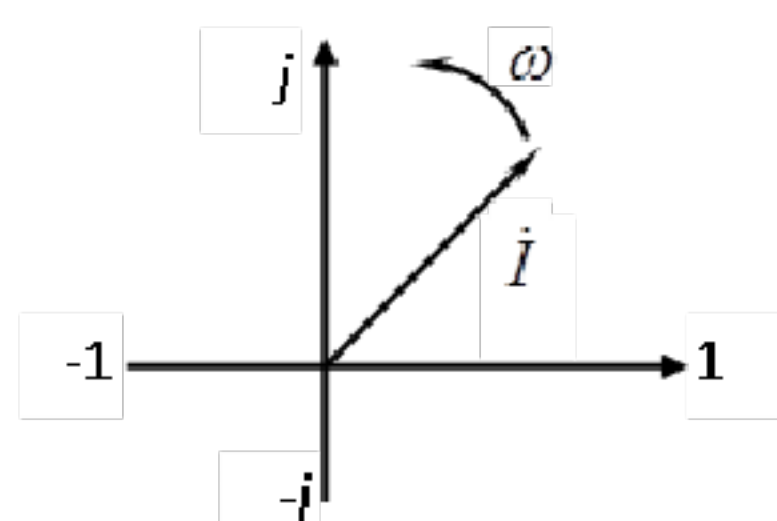
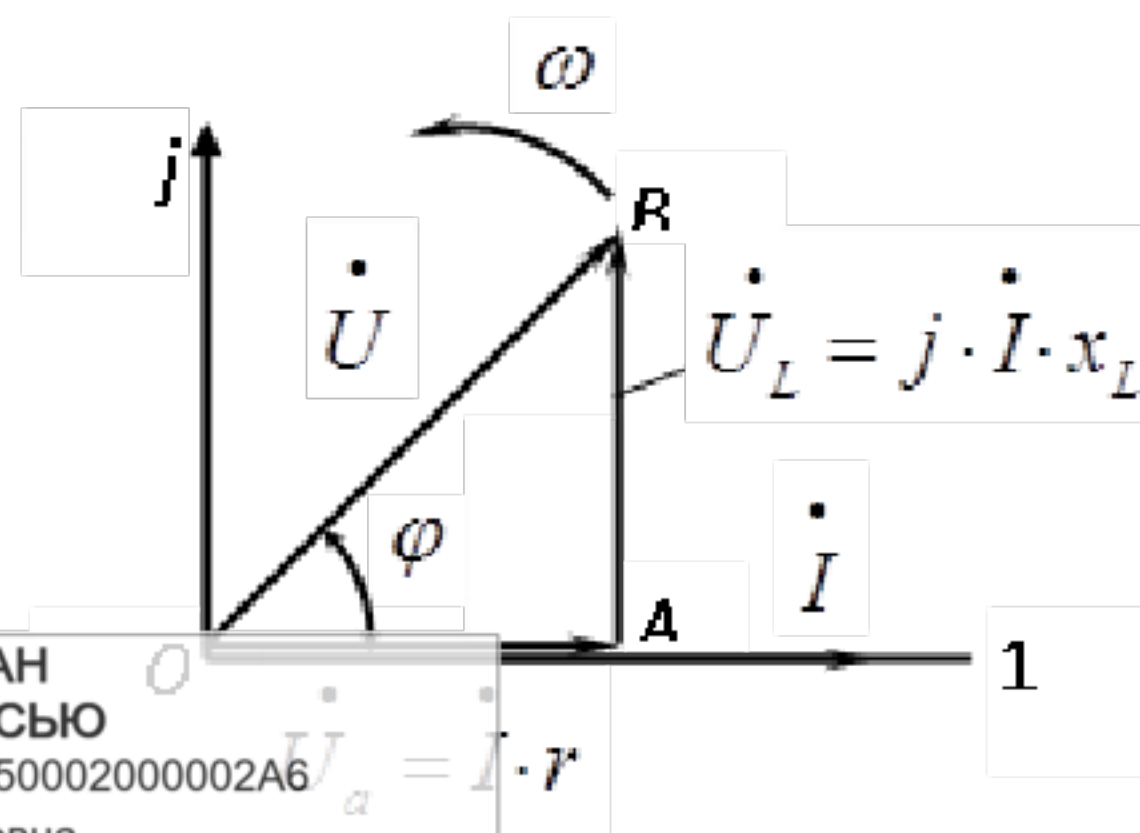


Рисунок 4.3 – Изображение синусоидальной изменяющейся величины тока в виде вектора

Определим напряжения на зажимах цепи при помощи векторной диаграммы. Вектор тока  $\dot{I}$  отложим в произвольном направлении, например, горизонтально (рис. 4.4). Все остальные векторы будут жестко привязаны к вектору  $\dot{I}$ , т.е. их сдвиг по фазе будет строго определенным.

Вектор активного напряжения  $\dot{U}_a = \dot{I} \cdot r$  будет совпадать по направлению с вектором  $\dot{I}$ . Вектор индуктивной составляющей напряжения  $\dot{U}_L = j \cdot \dot{I} \cdot x_L$  будет опережать на  $90^\circ$  вектор  $\dot{I}$ . Складывая геометрически векторы  $\dot{U}_a$  и  $\dot{U}_L$ , получим вектор напряжения  $\dot{U}$  на зажимах цепи.



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рисунок 4.4 – Векторная диаграмма при последовательном соединении R и L

Величина  $x_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L$  называется *индуктивным сопротивлением* и измеряется в *Ом*. Сопротивление  $x_L$  зависит от частоты и при включении катушки индуктивности в цепь постоянного тока ( $f = 0$ ) ток катушки будет ограничен только ее активным сопротивлением и окажется намного больше. Поэтому катушки индуктивности, предназначенные для работы на переменном токе, нельзя включать в цепи постоянного тока.

Треугольник OAB (рис. 4.4) прямоугольный и называется треугольником напряжений. Из треугольника OAB имеем:

$$\dot{U}^2 = \dot{U}_a^2 + \dot{U}_L^2$$

$$\dot{U}^2 = (\dot{I} \cdot r)^2 + (\dot{I} \cdot x_L)^2 = I^2(r^2 + x_L^2)$$

Извлекая из обеих частей корень, получим

$$U = I \cdot \sqrt{r^2 + x_L^2}$$

Величина  $\sqrt{r^2 + x_L^2}$ , имеющая размерность сопротивления, называется полным сопротивлением цепи и обозначается  $z$ :

$$z = \sqrt{r^2 + x_L^2}$$

и закон Ома для цепи переменного тока имеет вид:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}}{z} \text{ и } \dot{U} = \dot{I}z$$

Косинус угла сдвига фаз  $\varphi$  между током  $I$  и напряжением  $U$  равен:

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U} = \frac{I \cdot r}{I \cdot z} = \frac{r}{z}$$

Из треугольника мощностей, который можно получить из треугольника напряжений умножением его сторон на ток  $I$ , получим активную мощность:

$$P = I^2 r = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

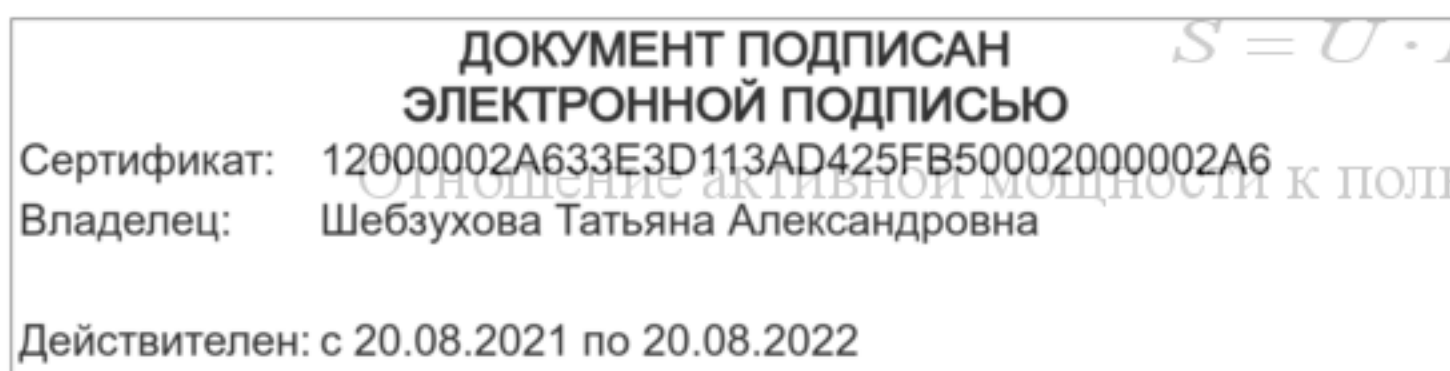
Реактивная мощность:

$$Q = I^2 x_L = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

Полная мощность:

$$S = U \cdot I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Отношение активной мощности к полной называется коэффициентом мощности:



$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{UI}$$

Если цепь переменного тока обладает активным сопротивлением  $r$  и емкостью  $C$  (рис. 4.5), то по второму закону Кирхгофа для мгновенных значений электрических величин можно записать:

$$u = i \cdot r + u_c$$

где  $u$  – мгновенное значение приложенного к цепи напряжения;

$i$  - мгновенное значение тока цепи;

$u_c$  - мгновенное значение напряжения, приложенного к обкладкам конденсатора и представляющего собой падение напряжения на емкости.

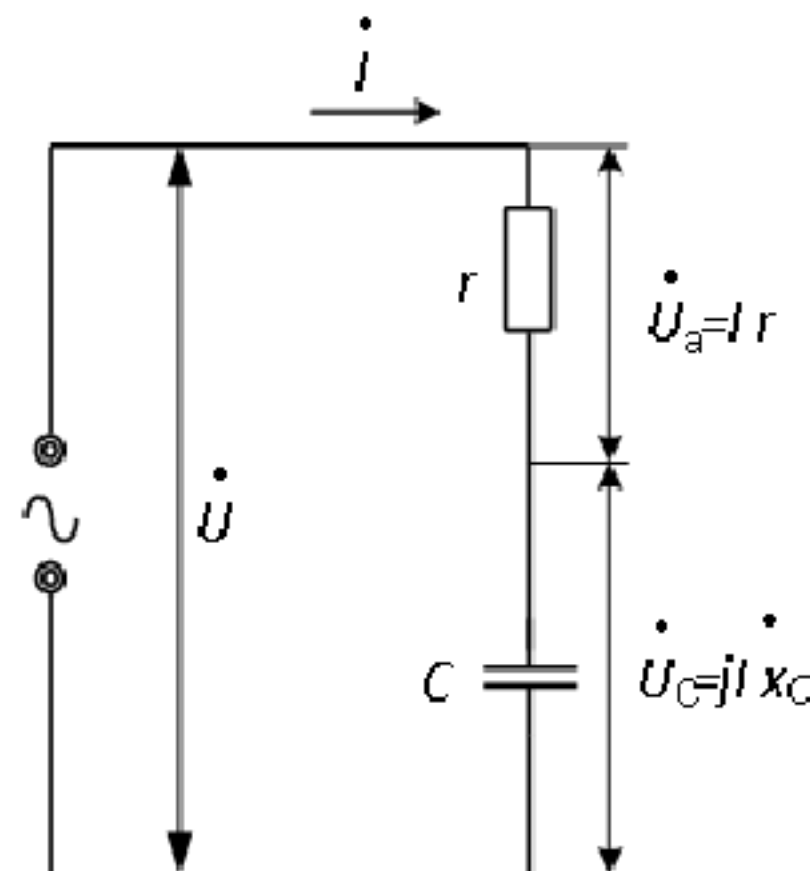
Если ток изменяется во времени по синусоидальному закону, т.е.  $i = I_m \sin \omega t$ , то предыдущее уравнение будет иметь вид:

$$U = rI_m \sin \omega t + \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}).$$

Из этой формулы видно, что приложенное к цепи напряжение состоит из двух составляющих: активной или активного напряжения  $u_a = rI_m \sin \omega t$  совпадающей по фазе с током, и реактивной или емкостной составляющей  $U_c = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ , отстающей от тока на  $90^\circ$  (рис. 1.6). Тогда

$$\dot{U} = \dot{U}_a + \dot{U}_c$$

Построим векторную диаграмму для данного случая, пользуясь теми же правилами, как и при построении диаграммы для последовательного соединения  $r$  и  $L$  (см. рис. 4.4).



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Рис. 4.5 – Последовательное соединение R и C

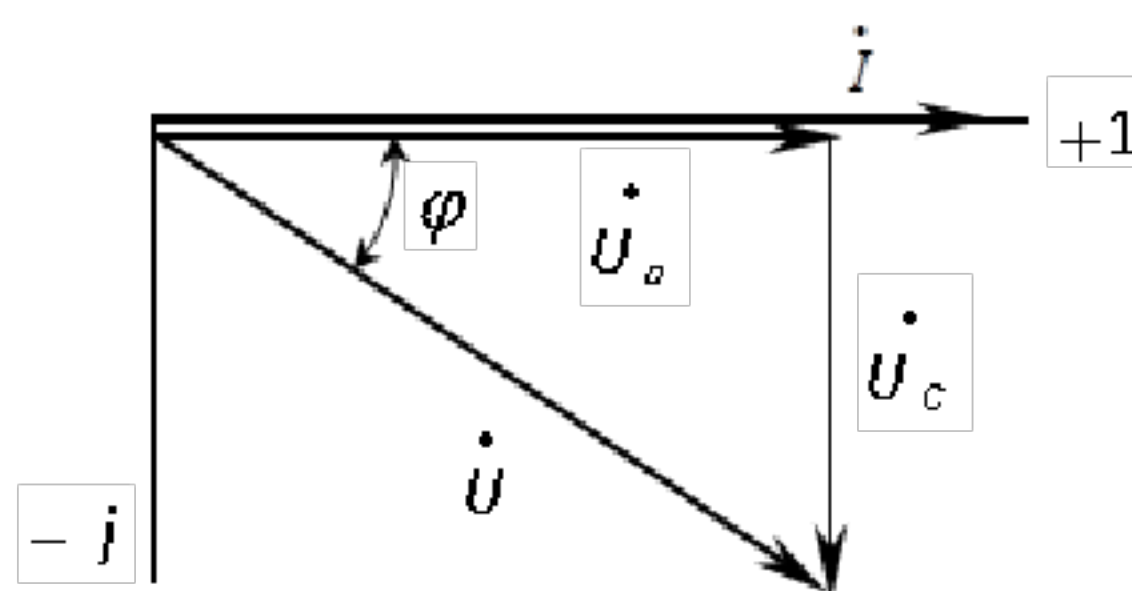


Рисунок 4.6 – Векторная диаграмма для последовательного соединения R и C

При этом необходимо иметь в виду, что вектор напряжения  $\dot{U}_c$  отстает от тока  $\dot{i}$  на  $90^\circ$  (рис 2.6).

Из треугольника OAB на рисунке 6 имеем:

$$U^2 = U_a^2 + U_c^2$$

или

$$U^2 = (Ir)^2 + \left(\frac{I}{\omega C}\right)^2 = I^2 \left(r^2 + \frac{1}{\omega C^2}\right).$$

Извлекая квадратный корень из обеих частей, получим:

$$U = I \cdot \sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2},$$

откуда

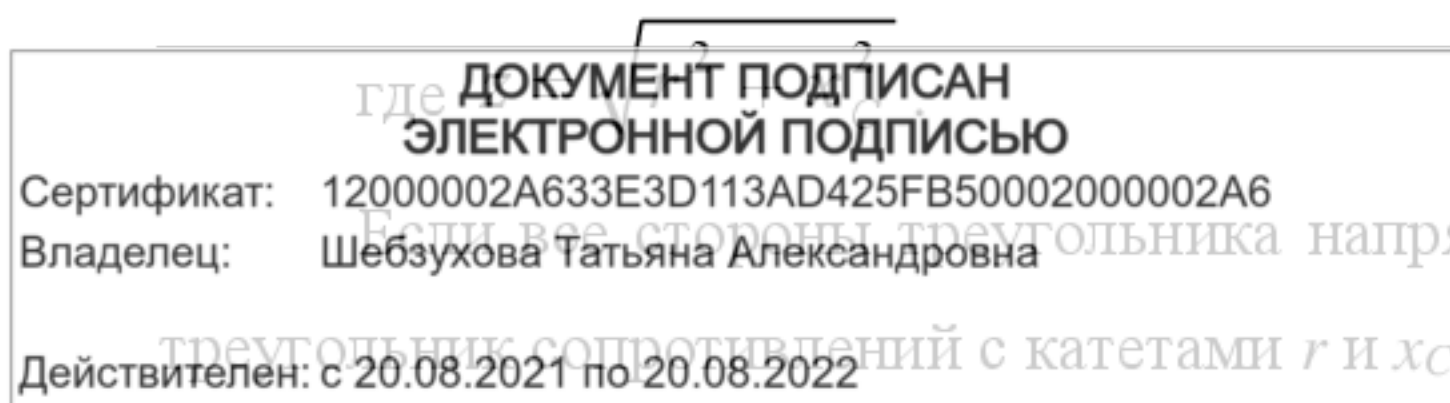
$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{U}{\sqrt{r^2 + x_c^2}}.$$

Величина  $x_c = \frac{1}{\omega C}$  называется *емкостным сопротивлением* и измеряется в Ом.

Емкостное сопротивление зависит от частоты напряжения сети и от емкости конденсатора.

Величина  $\sqrt{r^2 + x_c^2}$  называется *полным сопротивлением* и обозначается  $z$ . Закон Ома применительно к данной цепи переменного тока будет иметь вид:

$$I = \frac{U}{z},$$



Если все стороны треугольника напряжений OAB разделить на ток  $I$ , то получим и гипотенузой  $z$ .

При последовательном соединении  $r$ ,  $L$  и  $C$  будут справедливы все выводы, полученные для цепи с  $r$ - $L$  и цепи с  $r$ - $C$ . При этом возможны следующие комбинации:

$$\text{а) } x_L > x_C ; \text{ б) } x_L < x_C ; \text{ в) } x_L = x_C .$$

Рассмотрим с помощью векторных диаграмм каждый из этих вариантов.

а) Имеем цепь из последовательно соединенных  $r$ ,  $L$  и  $C$ , причем

$x_L > x_C$ . По всем трем сопротивлениям будет протекать один и тот же ток  $\dot{I}$ , вектор которого отложим в выбранном масштабе произвольно, например, горизонтально, т.е. направление первого вектора выбирается произвольно (рис. 4.7).

Вектор падения напряжения на активном сопротивлении будет совпадать с направлением тока, а падение напряжения на индуктивном элементе или  $\dot{U}_L$  будет опережать вектор  $\dot{I}$  на  $\pi/2$ . Падение напряжения на емкостном элементе  $\dot{U}_C$  будет отставать от вектора тока на  $\pi/2$  и согласно условию

$$\dot{U}_C < \dot{U}_L .$$

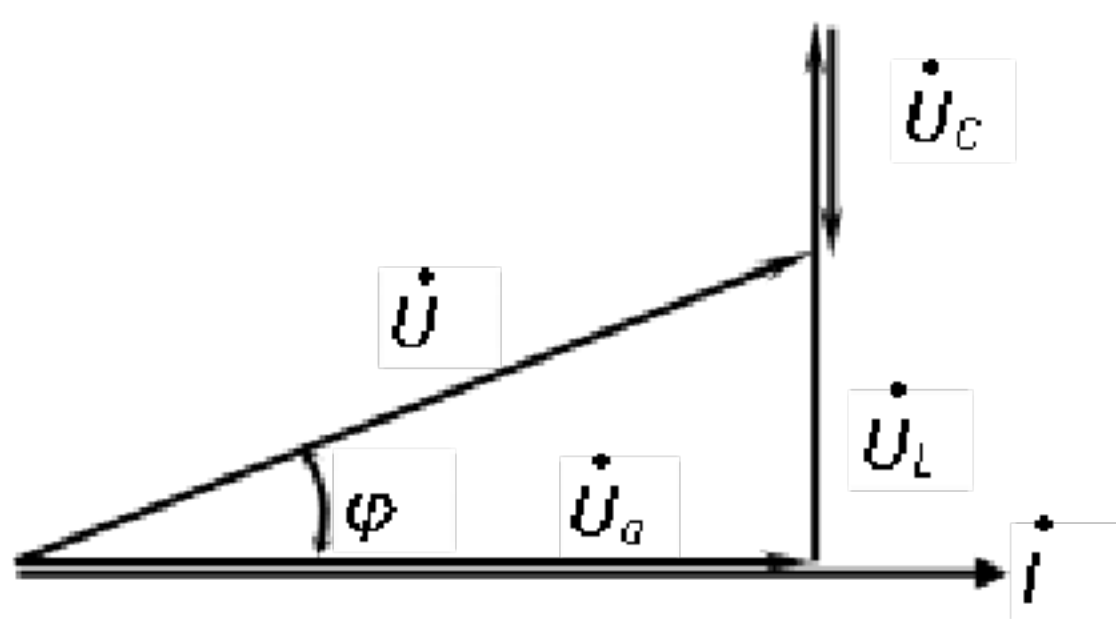


Рисунок 4.7 – Векторная диаграмма напряжений при  $x_L > x_C$

Общее напряжение цепи будет равно сумме

$$\dot{U}_a + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{U} .$$

Из векторной диаграммы видно, что между током цепи  $\dot{I}$  и напряжением  $\dot{U}$  есть угол  $\varphi$  и ток имеет отстающий характер, а  $\cos \varphi < 1,0$ .

б) При  $x_L < x_C$  падение напряжения на индуктивном сопротивлении будет меньше падения напряжения на емкостном сопротивлении, поэтому векторная диаграмма будет иметь вид (рис. 2.8):

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

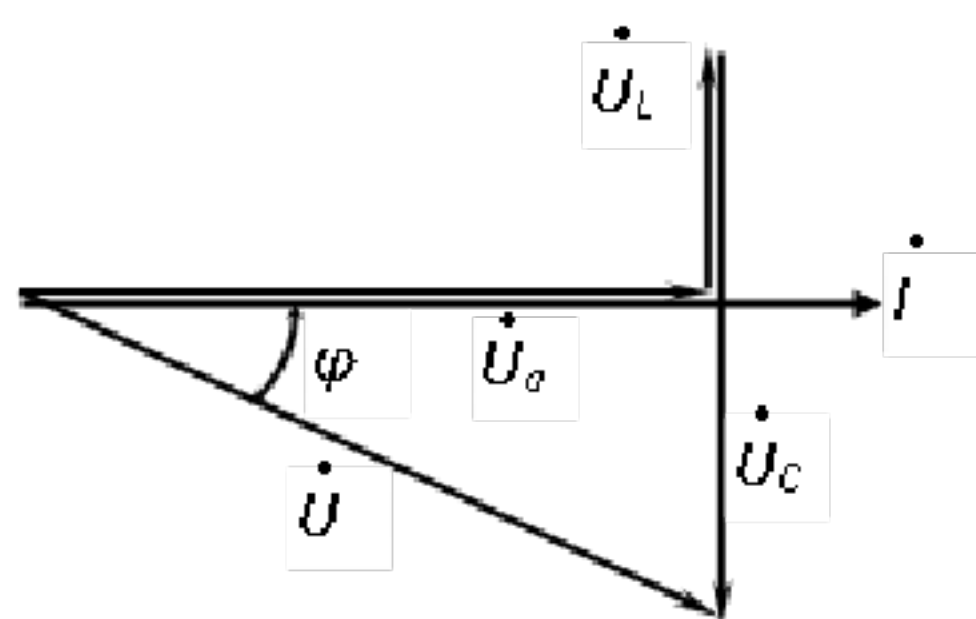


Рисунок 4.8 – Векторная диаграмма напряжений при  $\dot{U}_C > \dot{U}_L$

в) При  $x_L = x_C$  имеет место *резонанс напряжений*, т.е.  $\dot{U}_C = \dot{U}_L$  и это будет при  $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ . При этом векторы  $\dot{U}_L$  и  $\dot{U}_C$  равны по модулю и противоположно направлены (рис. 4.9), поэтому их сумма равна нулю. Ток цепи при резонансе напряжений определяется только активным сопротивлением, поэтому угол сдвига фаз между током и напряжением цепи равен нулю, а  $\cos \varphi = 1$ . При этом надо иметь в виду, что результирующее сопротивление цепи резко уменьшится до значения  $z = r$  и ток цепи при резонансе может резко возрасть.

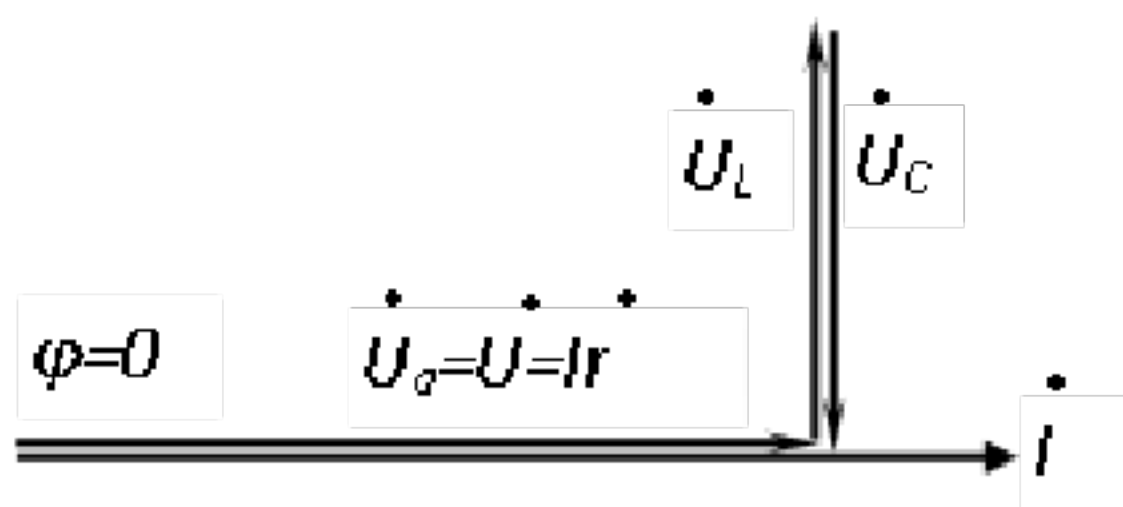


Рисунок 4.9 – Векторная диаграмма напряжений при резонансе

**Задание:**

**Задача №1**

Построить кривые изменения напряжения и тока во времени и начертить векторы, изображающие заданные синусоидальные функции

$$u(t) = 1008 \sin\left(157 * t + \frac{\pi}{10}\right); i(t) = 5 * \sin\left(157 * t - \frac{\pi}{8}\right)$$

Чему равен сдвиг фаз между напряжением и током? Определить период  $T$  и частоту  $\omega$ .

$$i_1(t) = 100 * \sin(\omega t + 30^\circ)$$

$$i_2(t) = 120 * \sin(\omega t - 45^\circ)$$

$$i_1(t) = -20 * \sin(\omega t - 112^\circ)$$

$$i_2(t) = 50 * \sin(\omega t + 250^\circ)$$

$$i_1(t) = 50 * \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$i_2(t) = 25 * \sin(\omega t + 110^\circ)$$

### Задача №3

Катушка с активным сопротивлением  $R = 10$  Ом, индуктивностью  $L = 0,05$  Гн подключена к источнику синусоидального напряжения (рисунок 4.10), действующее значение которого  $U = 120$  В,  $f = 50$  Гц. Определить полное сопротивление катушки, ток и сдвиг фаз между напряжением и током. Вычислить активную и реактивную составляющие напряжением на зажимах катушки. Построить векторную диаграмму напряжений и тока.

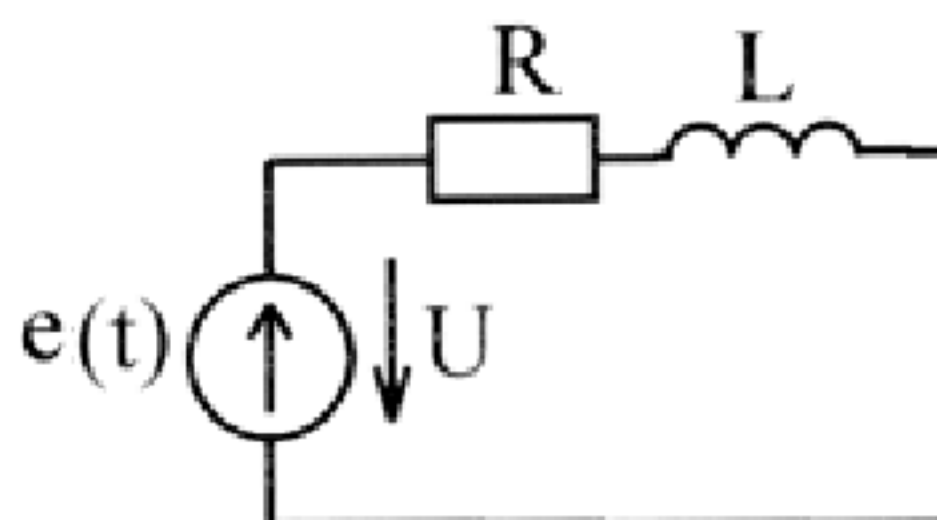


Рисунок 4.10 – Принципиальная схема

### Задача №4

Найти мгновенные значения напряжения на всех участках и мгновенную мощность источника (рисунок 4.11). Дано:  $J(t) = 2 * \sin(\omega t + 30^\circ)$ ,  $f = 200$  Гц,  $r = 10$  Ом,  $L = 0.01$  Гн,  $C = 80$  мкФ

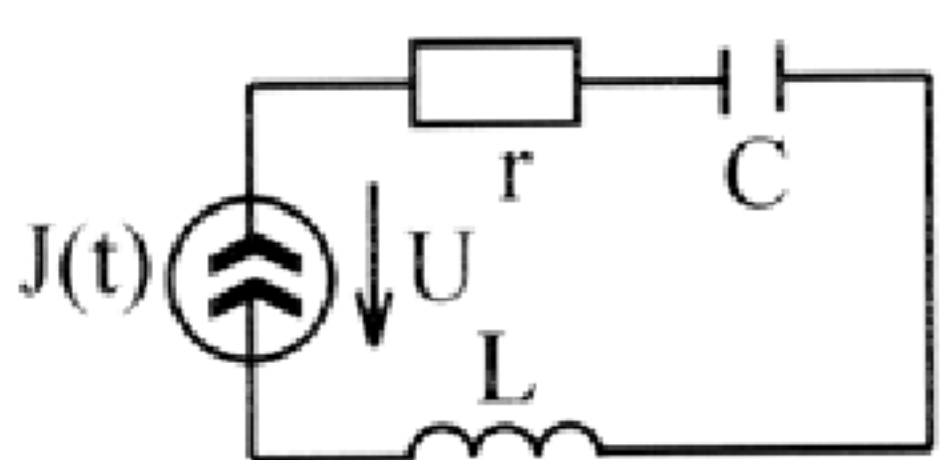


Рисунок 4.11 – Принципиальная схема

### Контрольные вопросы:

1. Чем отличается переменный ток от постоянного?
2. Какие основные характеристики синусоидального тока.
3. Как определяется действующее значения переменного тока?

4. Как изображается переменный ток на комплексной плоскости?
5. Приведите комплексные формы записи переменного тока.
6. Как аналитически и графически сложить (вычесть) два переменных тока?
7. Как аналитически умножить или разделить две комплексные величины?
8. Как определяется и что показывает мгновенная мощность?
9. Как определяется индуктивное сопротивление? Емкостное?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Практическая работа №5. Расчет однофазных цепей синусоидального тока

**Цель:** Получить навыки расчета разветвленных однофазных цепей синусоидального тока различными методами как в обычных режимах, так и в режиме резонанса, научиться сопровождать расчеты векторными и топографическими диаграммами.

### Основы теории:

В электрических цепях переменного синусоидального тока токи и напряжения всех ветвей изменяются во времени по синусоидальному закону. Общий вид этого закона для силы тока следующий (рис. 5.1)

Данное выражение для силы тока в каждый момент времени называется мгновенным значением тока. Величина  $I_m$  называется амплитудой, она равна максимальному значению тока.

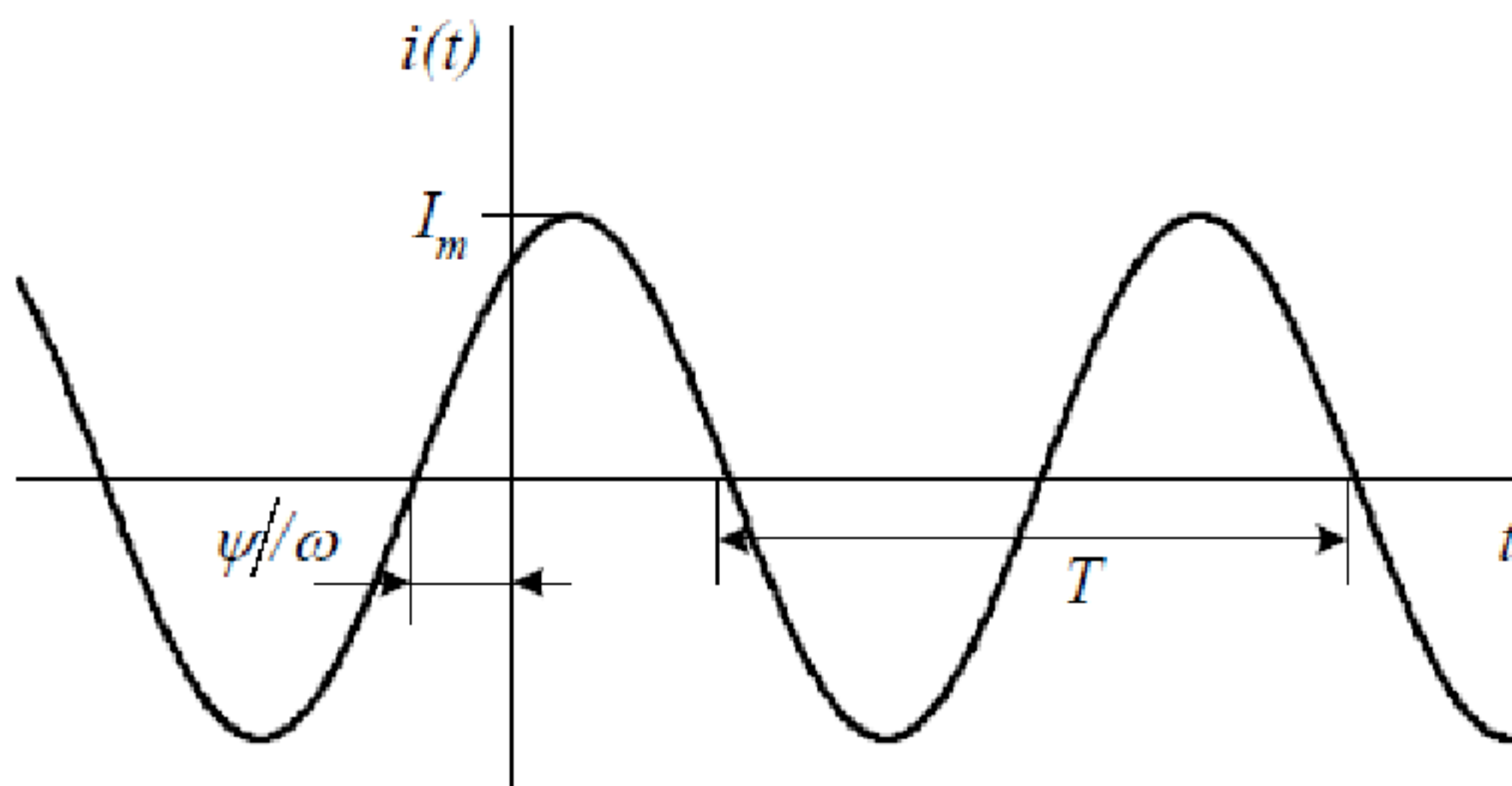


Рисунок 5.1 – Зависимость мгновенного значения тока от времени

Период синусоидальной функции  $T$  определяется частотой синусоидальных колебаний  $f=1/T$ . Круговая или циклическая частота связана с угловой частотой. Начальная фаза  $\psi$  определяет сдвиг синусоиды относительно оси ординат.

В цепях синусоидального тока присутствует источник синусоидального тока или напряжения. Может быть несколько источников одинаковой частоты. Если в цепи несколько источников синусоидального тока или напряжения с разными частотами, токи и напряжения цепи не будут синусоидальными, и, следовательно, цепь не будет являться

цепью синусоидального тока. В данном разделе такие цепи не рассматриваются. Таким образом, в цепях синусоидального тока переменные состояния (токи и напряжения всех ветвей) изменяются во времени по синусоидальному закону с одной и той же частотой.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

же частотой, но каждая со своей начальной фазой и амплитудой. Эти две характеристики позволяют задать значение тока или напряжения в любой момент времени.

**Задание:**

**Задача №1**

Для электрической цепи однофазного переменного тока схема, которой представлена на рисунке 5.2. Записать уравнения по законам Кирхгофа в дифференциальной форме. Найти токи ветвей методом контурных токов и узловых потенциалов, напряжения на участках цепи, активную, реактивную и полную мощности, а также построить векторную диаграмму токов и напряжений. Определить показание измерительных приборов. Дано  $e_1(t) = e_2(t) = 20 * \sqrt{2} \sin(314 * t)$ ,  $C_1 = C_2 = 318.5$  мкФ,  $R_2 = 10$  Ом,  $L_2 = 16$  мГн,  $R_3 = 10$  Ом.

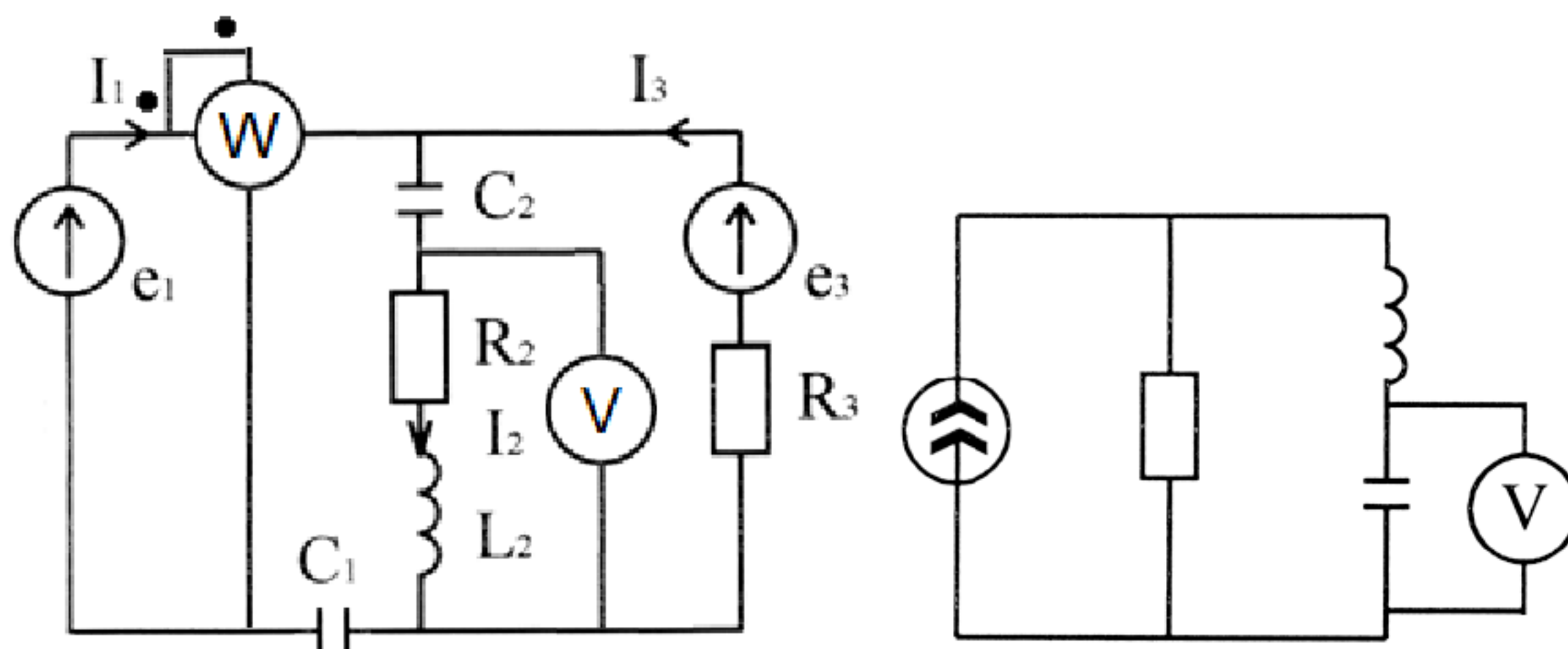


Рисунок 5.2 – Принципиальная схема

### Задача №2

Для электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 5.3 с параметрами  $X_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $X_2 = 20 \text{ Ом}$ ,  $X_C = 10 \text{ Ом}$ ,  $X_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R = 40 \text{ Ом}$ ,  $X_M = 10 \text{ Ом}$ ,  $E = 200 \text{ В}$ .  
Определить показание вольтметра. (97 В)

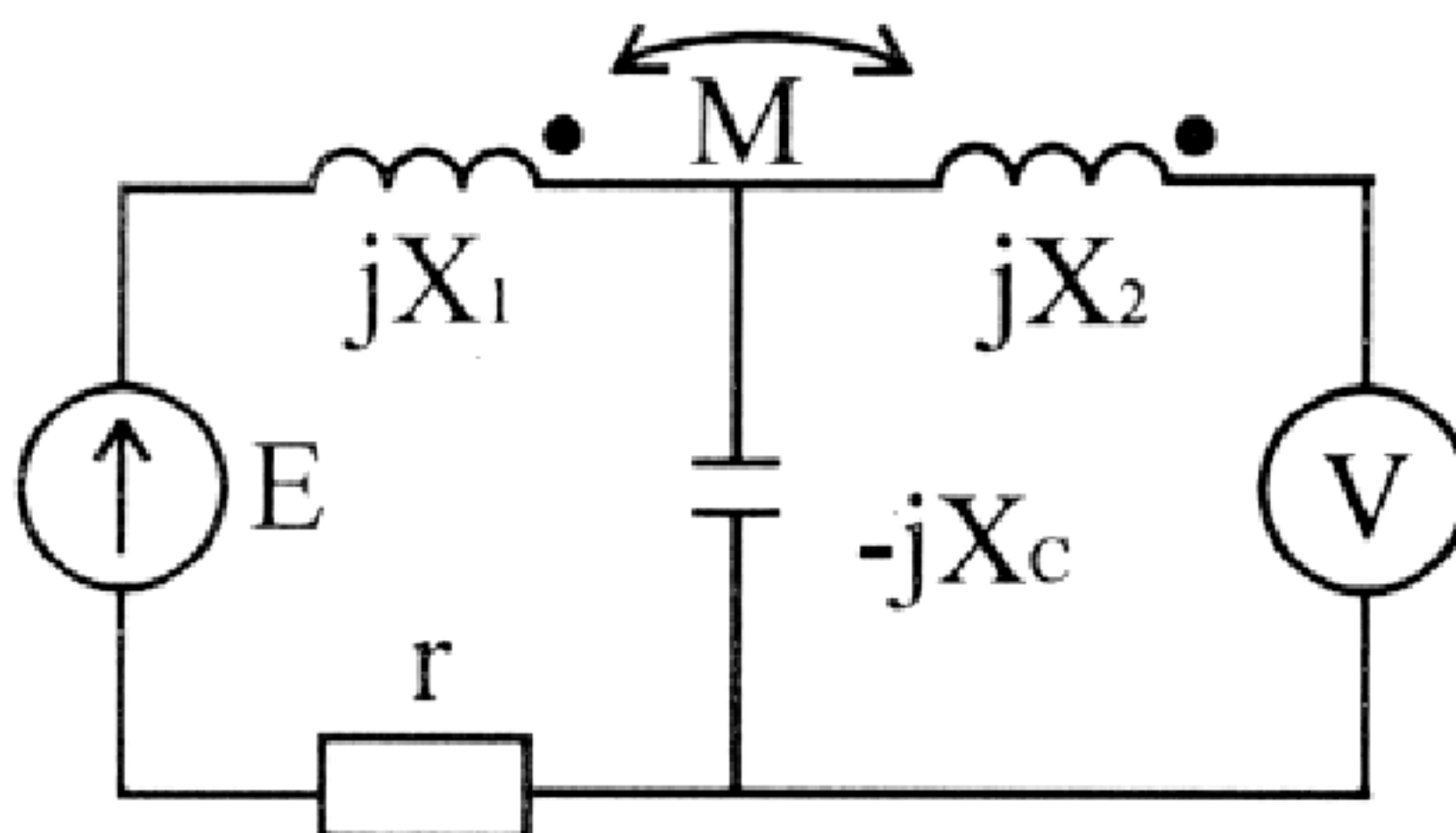


Рисунок 5.3 – Принципиальная схема

### Контрольные вопросы:

1. Изложите основы символического метода расчета. Почему все методы расчета цепей постоянного тока применимы к цепям синусоидального тока?
2. Дайте определение векторной и топографической диаграммам.
3. Как определить напряжение между двумя точками схемы по топографической диаграмме?
4. Физически интерпретируйте  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ .
5. Выразите комплексную мощность  $S$  через комплексы напряжения и тока.
6. Запишите баланс активных и реактивных мощностей.
7. Дайте определение режиму резонанса токов и режиму резонанса напряжений.
8. Как в расчете учитывают магнитную связь между индуктивными катушками?

## Практическая работа №6. Расчет трехфазных цепей синусоидального тока

**Цель:** Получить навыки расчета трехфазных цепей синусоидального тока при симметричной и несимметричной нагрузке.

### Теоретическая часть:

*Трехфазной системой* электрических цепей называется система, состоящая из трех однофазных электрических цепей, в каждой из которых действуют синусоидальные э.д.с. одинаковой частоты, но сдвинутые друг относительно друга на  $1/3$  периода ( $120^\circ$ ) и создаваемые общим (трехфазным) источником электрической энергии.

Отдельные электрические цепи, входящие в состав трехфазной системы, называют *фазами*. Если э.д.с. каждой из фаз равны по величине, а полные сопротивления нагрузок всех трех фаз по величине и характеру нагрузки (по величине и знаку фазового сдвига) одинаковы, то такой режим называют *симметричным*. Невыполнение данных условий является причиной *несимметричного* режима. Нагрузка трехфазных цепей редко бывает симметричной, как правило, она в той или иной степени несимметрична из-за наличия однофазных потребителей.

Трехфазные генераторы создают симметричную систему э.д.с., поэтому несимметричный режим возникает из-за несимметричной нагрузки фаз. Если концы обмоток фаз синхронного генератора или трансформатора соединить вместе звездой, а к началам присоединить провода, идущие к приемникам электрической энергии, которые тоже соединить звездой, то получим трехфазную систему (рис. 1). Провод, соединяющий нулевые точки источника и потребителя называется нулевым. Такую систему называют *четырёхпроводной*. В цепях трехфазного тока независимо от способа соединения обмоток генератора и потребителей различают напряжения – линейные  $U_L$  и фазные  $U_\Phi$ , а также токи – линейные  $I_L$  и фазные  $I_\Phi$ . Напряжение между линейным и нулевым проводом называется *фазным*, а между линейными проводами – *линейным*. Токи, протекающие в линейных проводах, называют *линейными*, а протекающие в фазах нагрузки или источника – *фазными*. В схеме (рис. 6.1) линейные токи равны фазным, т.е. линейный ток одновременно является и фазным. При равномерной нагрузке  $U_L = \sqrt{3}U_\Phi$ , если схема соединения - звезда.

|                                           |                                        |
|-------------------------------------------|----------------------------------------|
| ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН<br>ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ |                                        |
| Сертификат:                               | 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6 |
| Владелец:                                 | Шебзухова Татьяна Александровна        |
| Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022  |                                        |

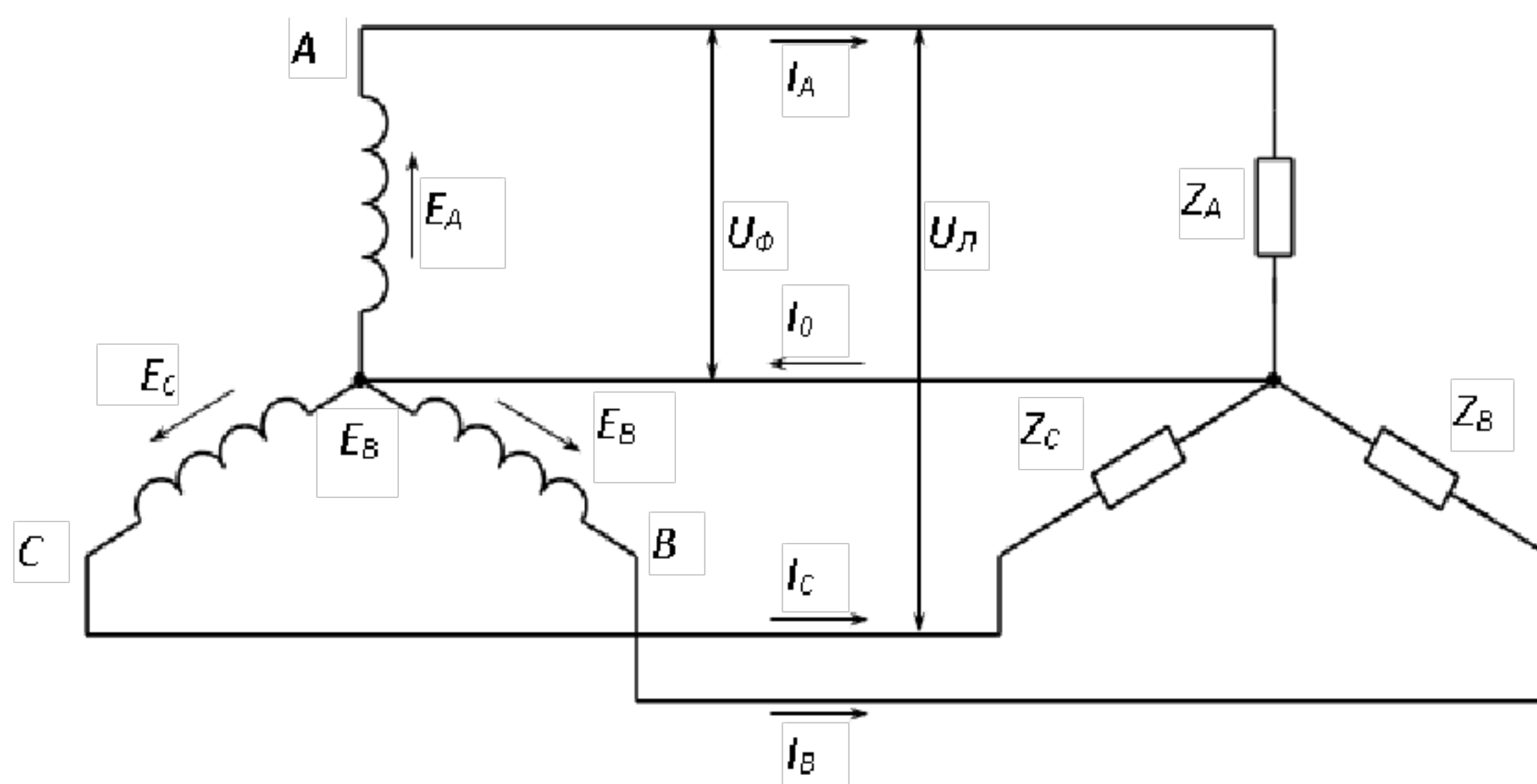


Рисунок 6.1 – Схема трехфазной четырехпроводной цепи при соединении звездой

При неравномерной нагрузке фаз в схеме с нулевым проводом (рис. 6.1), в нулевом проводе появляется ток, величина которого определяется по первому закону Кирхгофа:

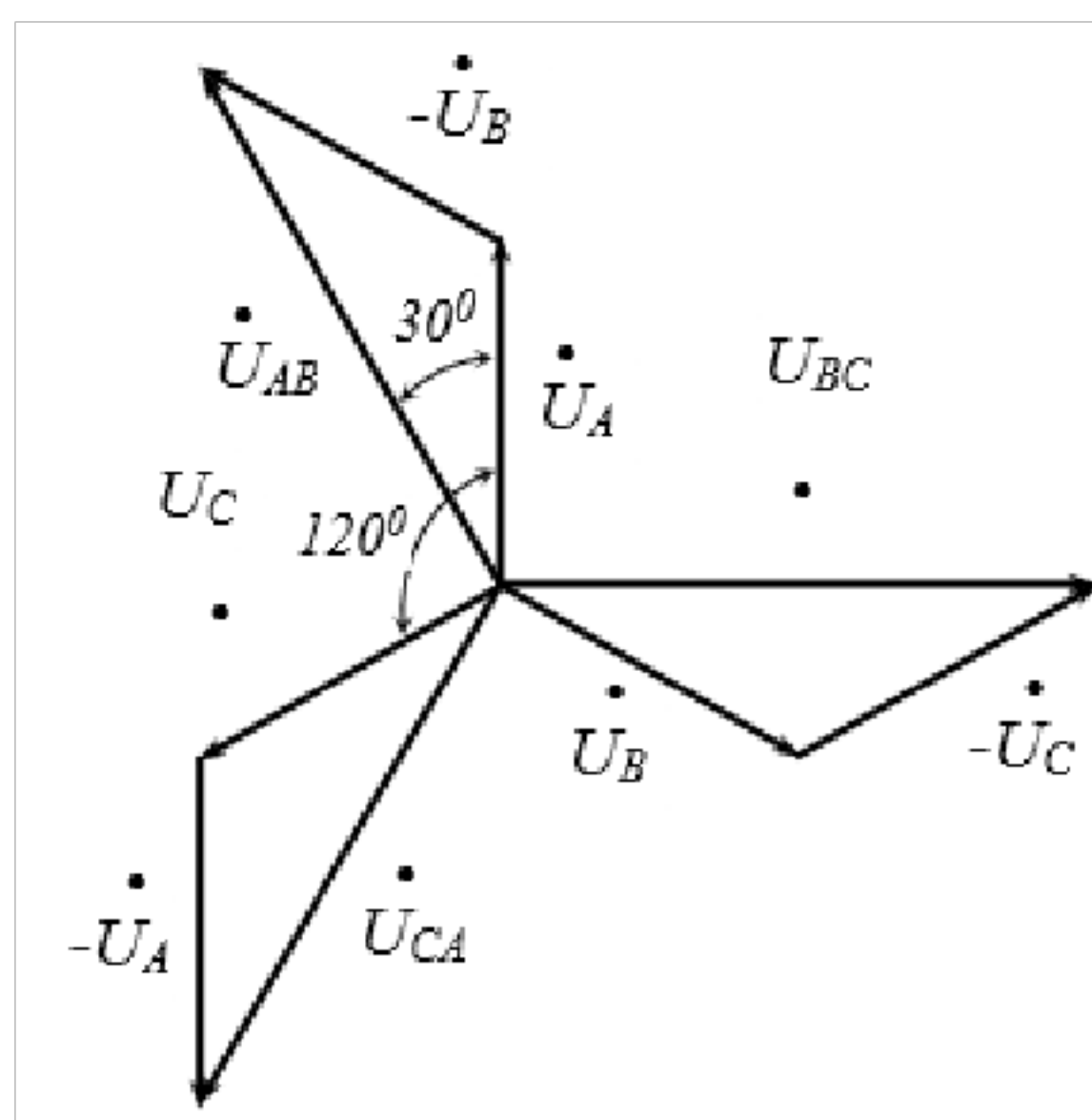


Рисунок 6.2 – Векторная диаграмма напряжений при соединении звездой

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Наличие тока в нулевом проводе вызывает незначительное падение напряжения в нем, которым можно пренебречь и считать, что между нулевой точкой источника и приемника разность потенциалов отсутствует.

На рис. 6.2 показано графическое определение линейных напряжений с помощью векторной диаграммы. Отложим для произвольного момента времени комплексы фазных

напряжений, смещенных на  $120^\circ$ .

$$\begin{aligned}\dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B, \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A,\end{aligned}$$

Для получения линейных напряжений сложим геометрически векторы  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_B$  и  $\dot{U}_C$  с векторами  $-\dot{U}_B$ ,  $-\dot{U}_C$ ,  $-\dot{U}_A$ , которые равны соответственно  $\dot{U}_B$ ,  $\dot{U}_C$ ,  $\dot{U}_A$ , но противоположно направлены.

Векторная диаграмма линейных напряжений также может быть получена из векторной диаграммы фазных напряжений (рис. 6.3). Таким образом, звезда линейных напряжений опережает звезду фазных на  $30^\circ$ . Найдем соотношение между фазными и линейными напряжениями, учитывая, что все напряжения симметричны:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_C = \dot{U}_\Phi$$

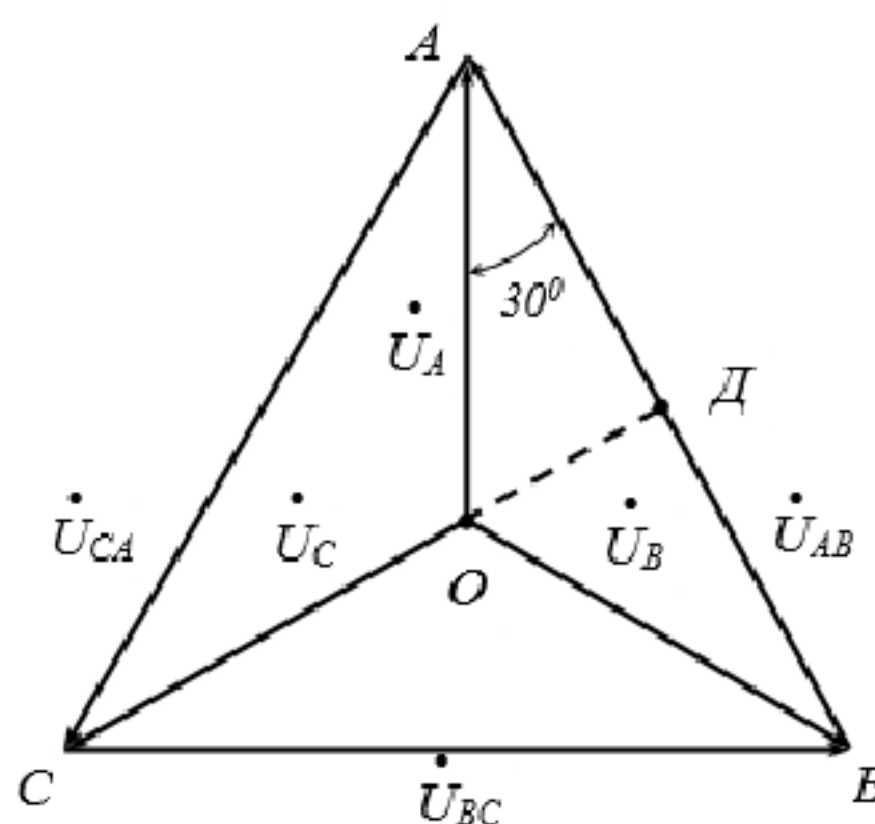


Рисунок 6.3 – Векторная диаграмма напряжений при соединении звездой  
Из прямоугольного треугольника OAD имеем:

$$\begin{aligned}\frac{U_{\Pi}}{2} &= \frac{U_{AB}}{2} = U_A \cdot \cos 30^\circ = \\ &= U_\Phi \cdot \cos 30^\circ = U_\Phi \frac{\sqrt{3}}{2}, \\ U_{\Pi} &= \sqrt{3}U_\Phi\end{aligned}$$

Фазные токи приемников определяются так же, как и в однофазных цепях:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{z_A} = \frac{\dot{U}_A}{\sqrt{r_A^2 + x_A^2}};$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{z_B} = \frac{\dot{U}_B}{\sqrt{r_B^2 + x_B^2}};$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{z_C} = \frac{\dot{U}_C}{\sqrt{r_C^2 + x_C^2}},$$

Углы сдвига между напряжениями и токами фаз можно определить из формул:

$$\cos \varphi_A = \frac{r_A}{z_A}; \quad \cos \varphi_B = \frac{r_B}{z_B}; \quad \cos \varphi_C = \frac{r_C}{z_C}.$$

Если приемники обладают чисто активными сопротивлениями, то  $z_A = r_A$ ,  $z_B = r_B$ ,  $z_C = r_C$ , а углы сдвига между токами и напряжениями во всех трех фазах будут нулевыми.

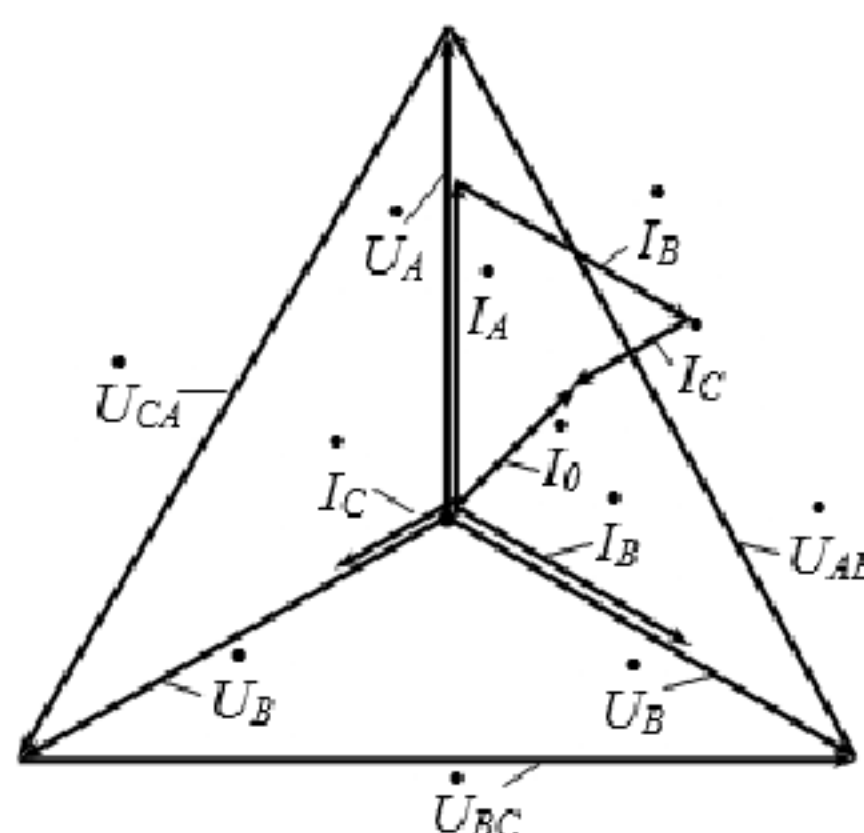


Рисунок 6.4 – Векторная диаграмма напряжений и токов четырехпроводной цепи при активной несимметричной нагрузке фаз

Ток нулевого провода  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$

Сечение нулевого провода зависит от степени несимметрии нагрузки фаз, но обычно его принимают равным 50% от сечения линейного провода.

При наличии нейтрали (нулевого провода) напряжения на фазах приемников остаются неизменными и равными фазным напряжениям источника даже при неравномерной нагрузке, если пренебречь сопротивлением проводов линии и нулевого провода. Предельным случаем неравномерной нагрузки фаз в четырехпроводной системе трехфазного приемника, включенного звездой, можно считать обрыв одной из фаз. Например, если фаза *A* будет оборвана, то не будет напряжения и тока у потребителя, включенного в эту фазу, а в оставшихся под напряжением фазах режим работы не изменится. Что касается нулевого провода, то если до обрыва одной из фаз ток был равен  $\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$  (рис. 4.4), то теперь он изменится и будет определяться по первому закону

Кирхгофа  $\dot{I}_0 = \dot{I}_B + \dot{I}_C$  (рис. 6.5)

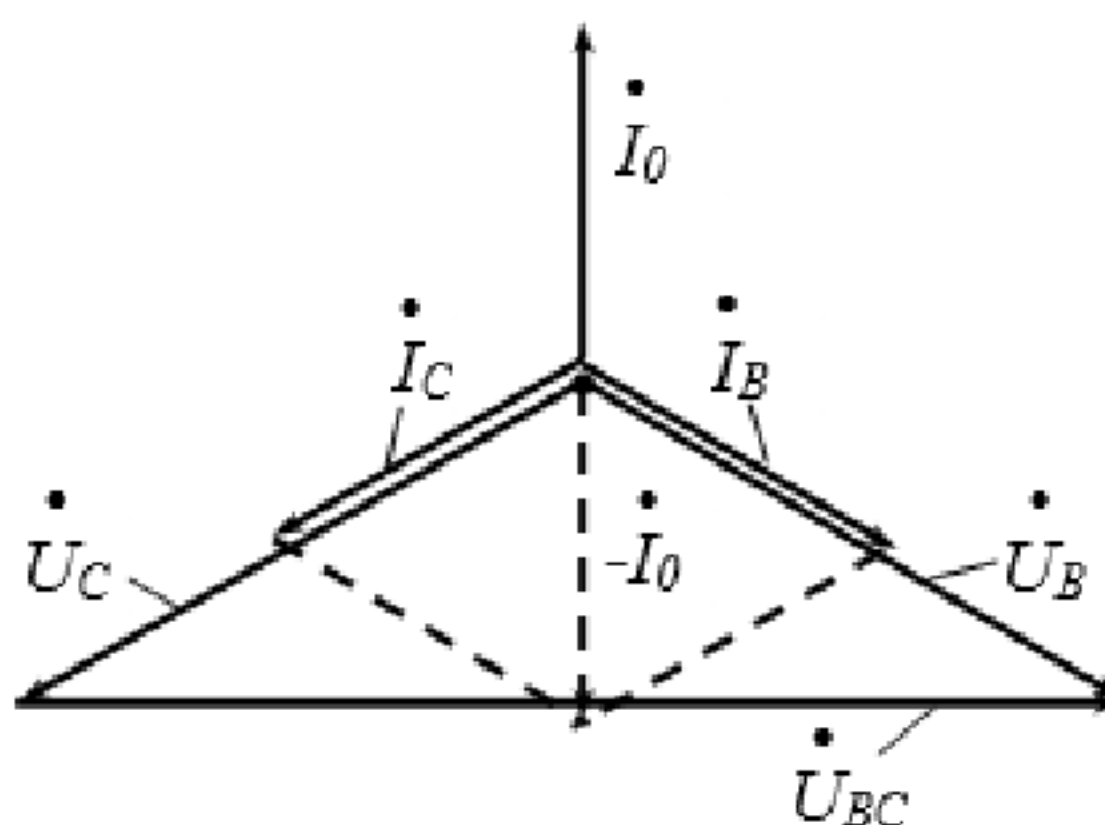


Рисунок 6.5 – Векторная диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы А

При обрыве или отсутствии в схеме нулевого провода энергетические соотношения в этой цепи изменятся.

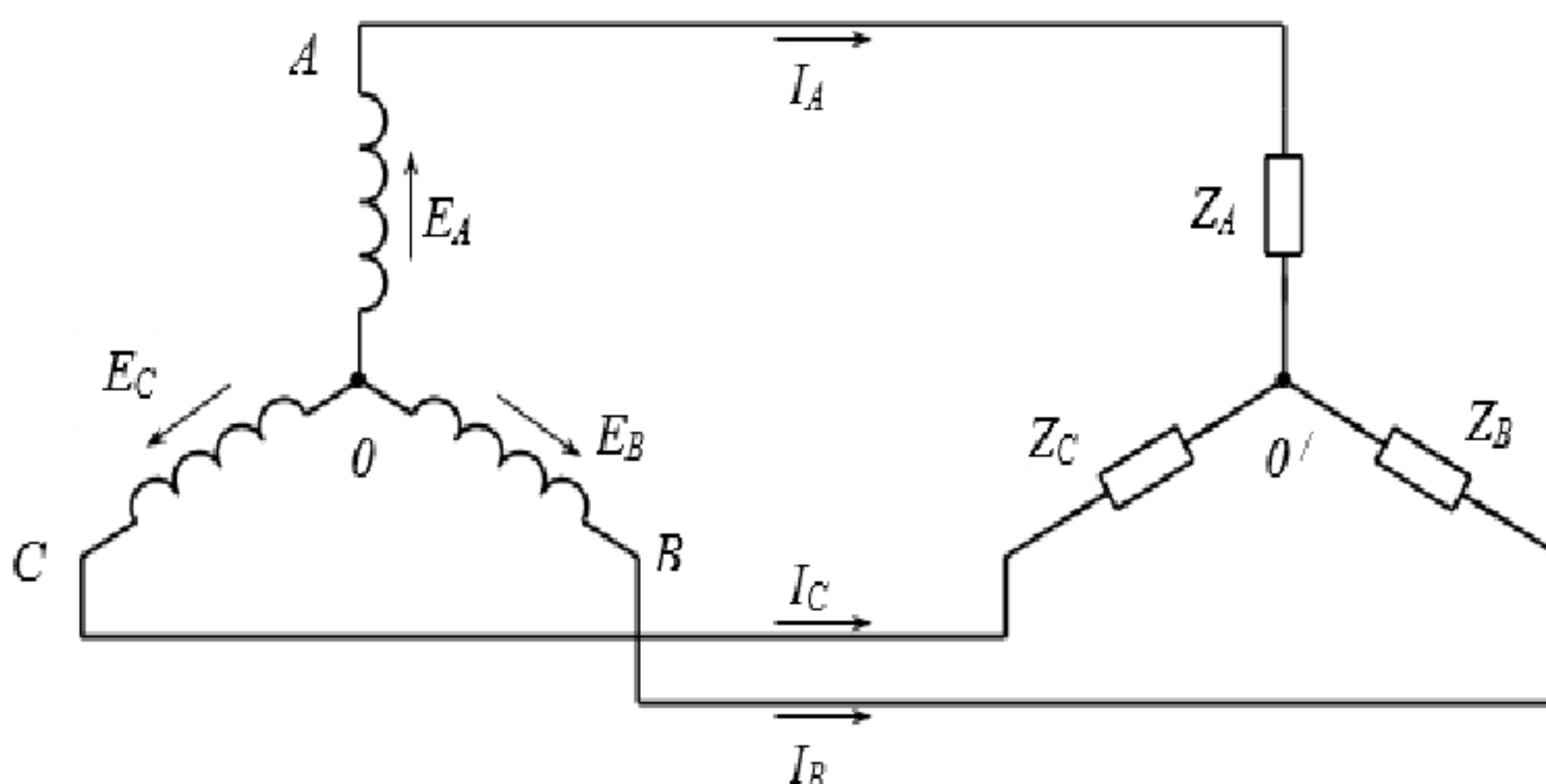


Рисунок 6.6 – Схема трехпроводной цепи трехфазного тока

При симметричной нагрузке в трехпроводной трехфазной системе (рис. 6.6) напряжение между нулевыми точками источника и приемника равно нулю и каждую фазу системы можно рассматривать как замкнутый контур.

При неравномерной нагрузке и отсутствии нулевого провода фазные напряжения будут изменяться прямо пропорционально сопротивлениям фаз. Если бы система была четырехпроводной, то по нулевому проводу протекал бы ток  $I_0$  и таким образом практически выравнивались бы фазные напряжения. На рис. 4.7 изображена векторная диаграмма напряжений и токов при неравномерной нагрузке всех трех фаз и отсутствии нулевого провода.

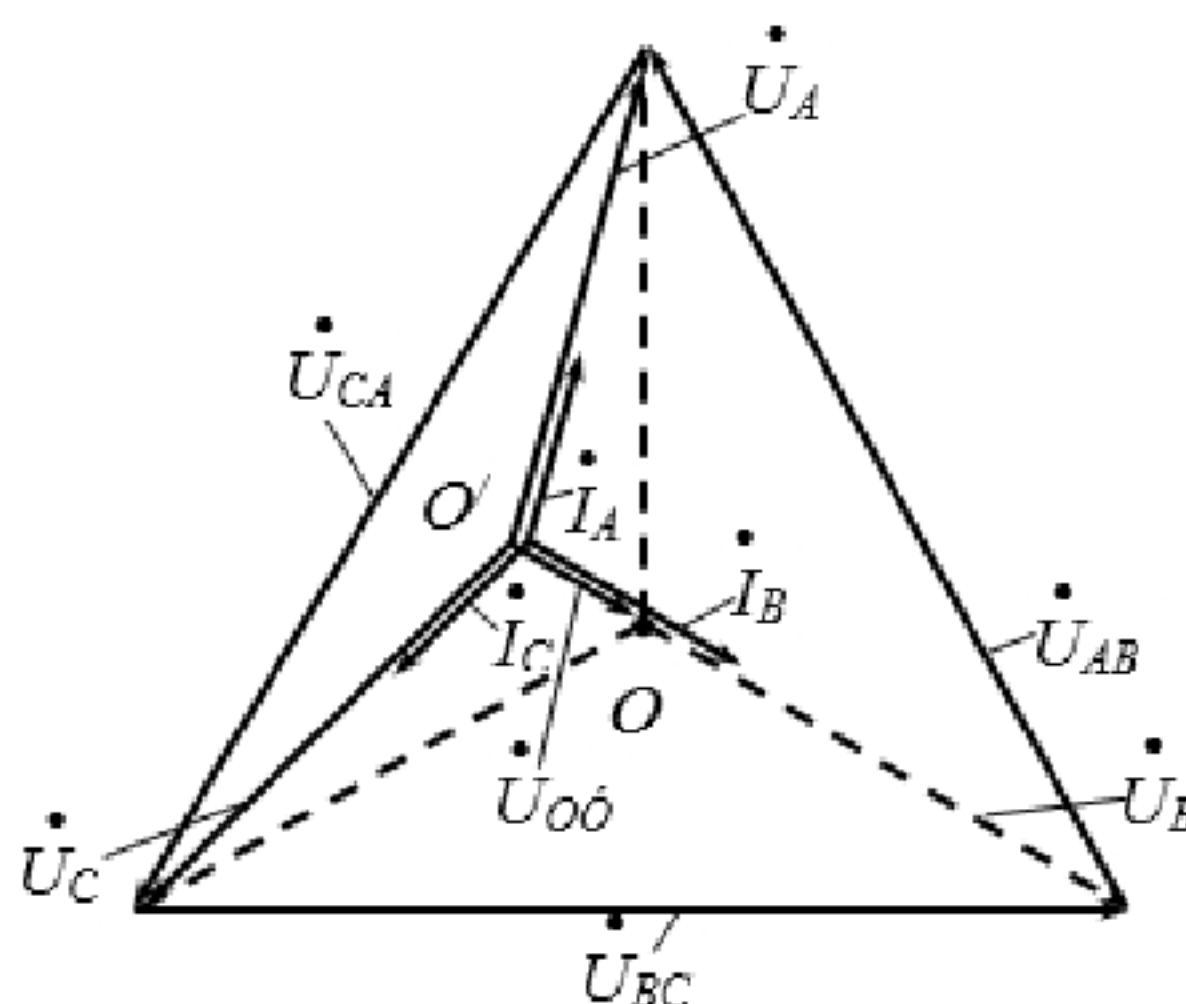


Рисунок 6.7 – Векторная диаграмма токов и напряжений при неравномерной нагрузке и отсутствие нулевого провода

Если одна из фаз, например, А, оборвется или все потребители этой фазы будут выключены, то при отсутствии нулевого провода оставшиеся под напряжением фазы В и С окажутся включенными последовательно. Фазные токи  $\dot{I}_B$  и  $\dot{I}_C$ , протекающие через последовательно включенные сопротивления приемника, в этом случае будут одинаковыми, а фазные напряжения будут пропорциональны сопротивлениям фаз (рис. 4.8). Поэтому на векторной диаграмме точка  $O'$  переместится на вектор линейного напряжения  $U_{BC}$  и будет делить его на части, равные фазным напряжениям  $U_B$  и  $U_C$  (в нашем случае  $U_B = U_C$ )

$$\dot{U}_C = \dot{U}_B = \frac{1}{2} \dot{U}_L = \frac{1}{2} \sqrt{3} \dot{U}_\phi = 0,87 \dot{U}_\phi$$

Напряжение фазы А возрастет:

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot \cos 30^\circ = \sqrt{3} \dot{U}_\phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 1,5 \dot{U}_\phi$$

Поэтому в четырехпроводных цепях на нулевой провод не ставят предохранитель, т.к. его перегорание изменяет распределение напряжений фаз.

При коротком замыкании какой-либо фазы, например, С, нулевая точка  $O'$  приобретает потенциал линейного провода ВС, а фазы А и В оказываются под линейным напряжением. Векторная диаграмма для этого случая представлена на рис. 6.9. Точка  $O'$  перемещается в точку С.

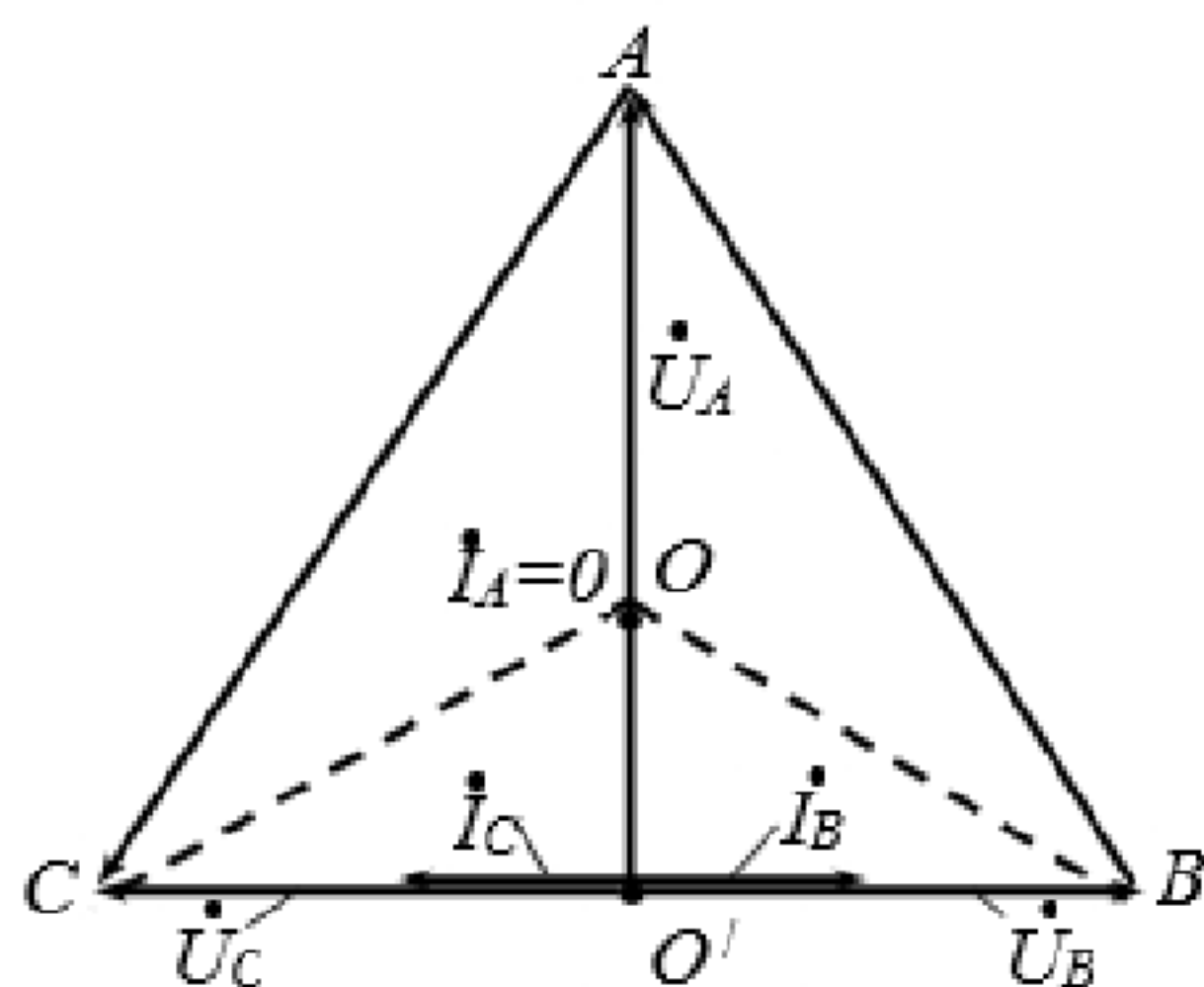


Рисунок 6.8 – Векторная диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы в схеме без нулевого провода

Напряжения фаз A и B становятся равными линейным (рис. 4.9):

$$U_A = U_{CA} = U_L = U_\Phi \cdot \sqrt{3},$$

$$U_B = U_{BC} = U_L = U_\Phi \cdot \sqrt{3},$$

$$U_C = 0.$$

Ток короткого замыкания фазы C распределяется на фазы B и A, т.е.  $I_C = I_K = -(I_A + I_B)$ . Таким образом, две фазы приемника оказываются под линейным напряжением, на которое они не рассчитаны, и они могут выйти из строя.

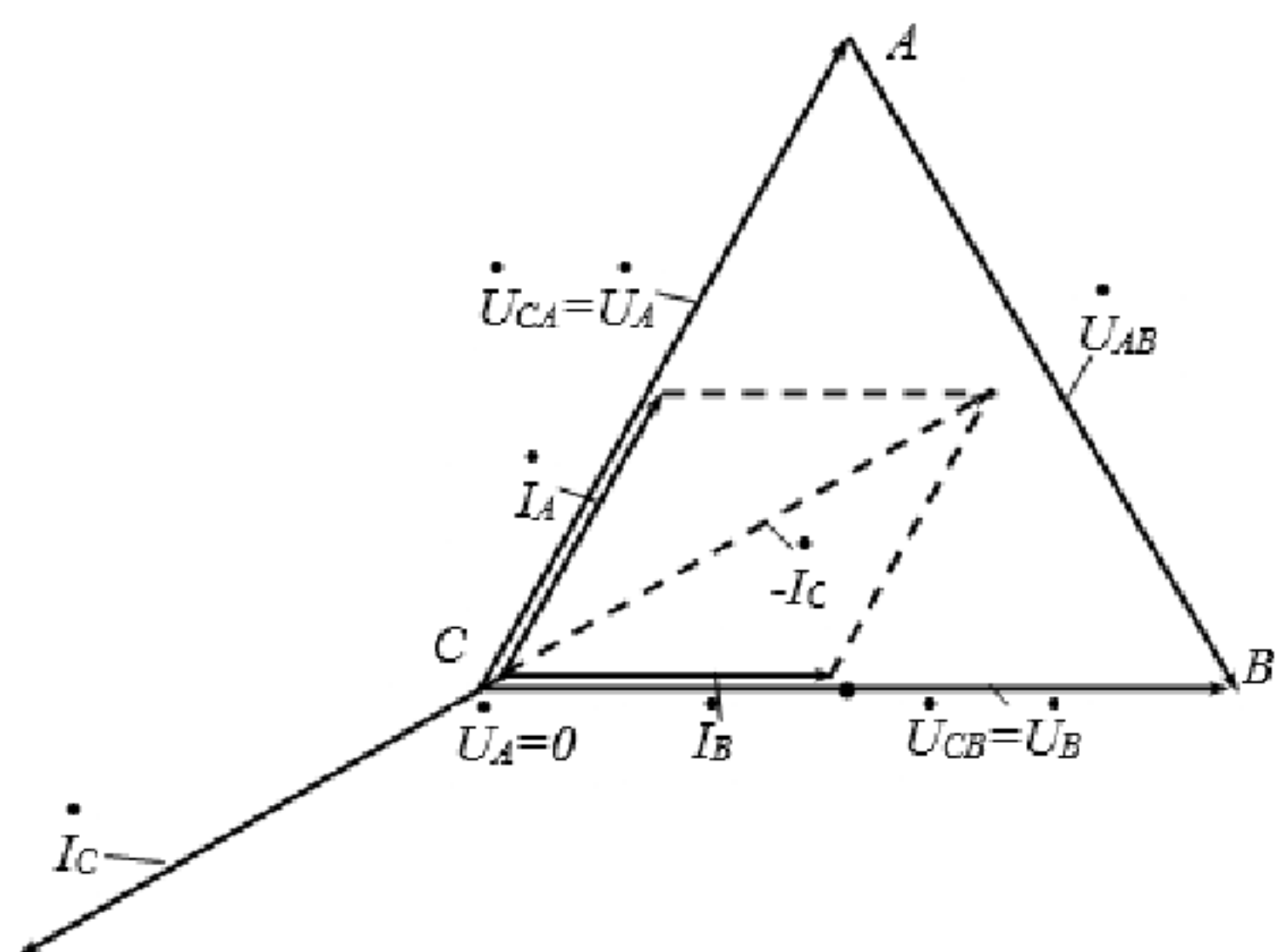


Рисунок 6.9 – Векторная диаграмма токов и напряжений при обрыве фазы C приемника трёхпроводной системе

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
В цепи трехфазного тока активная мощность равна сумме активных мощностей фаз:  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A \cdot U_A \cdot \cos \varphi_A + I_B \cdot U_B \cdot \cos \varphi_B + I_C \cdot U_C \cdot \cos \varphi_C$$

Для измерения мощности в четырехпроводной цепи можно использовать три однофазных ваттметра, суммируя их показания, или использовать однофазный ваттметр с переключением его поочередно во все три фазы. Этот метод может быть использован как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке.

**Задание:**

**Задача №1**

На рисунке 6.10 представлена симметричная трёхфазная система с параметрами  $X_C = 90 \text{ Ом}$ ,  $r = 40 \text{ Ом}$ . Определить показания приборов и ток  $i$  при  $U_A = 120 \angle 0^\circ \text{ В}$ . (207,5 В; 4 А; 2,3 А; 625 Вт; 950 Вт;  $i = 3 \sqrt{2} \sin \omega t \text{ А}$ ).

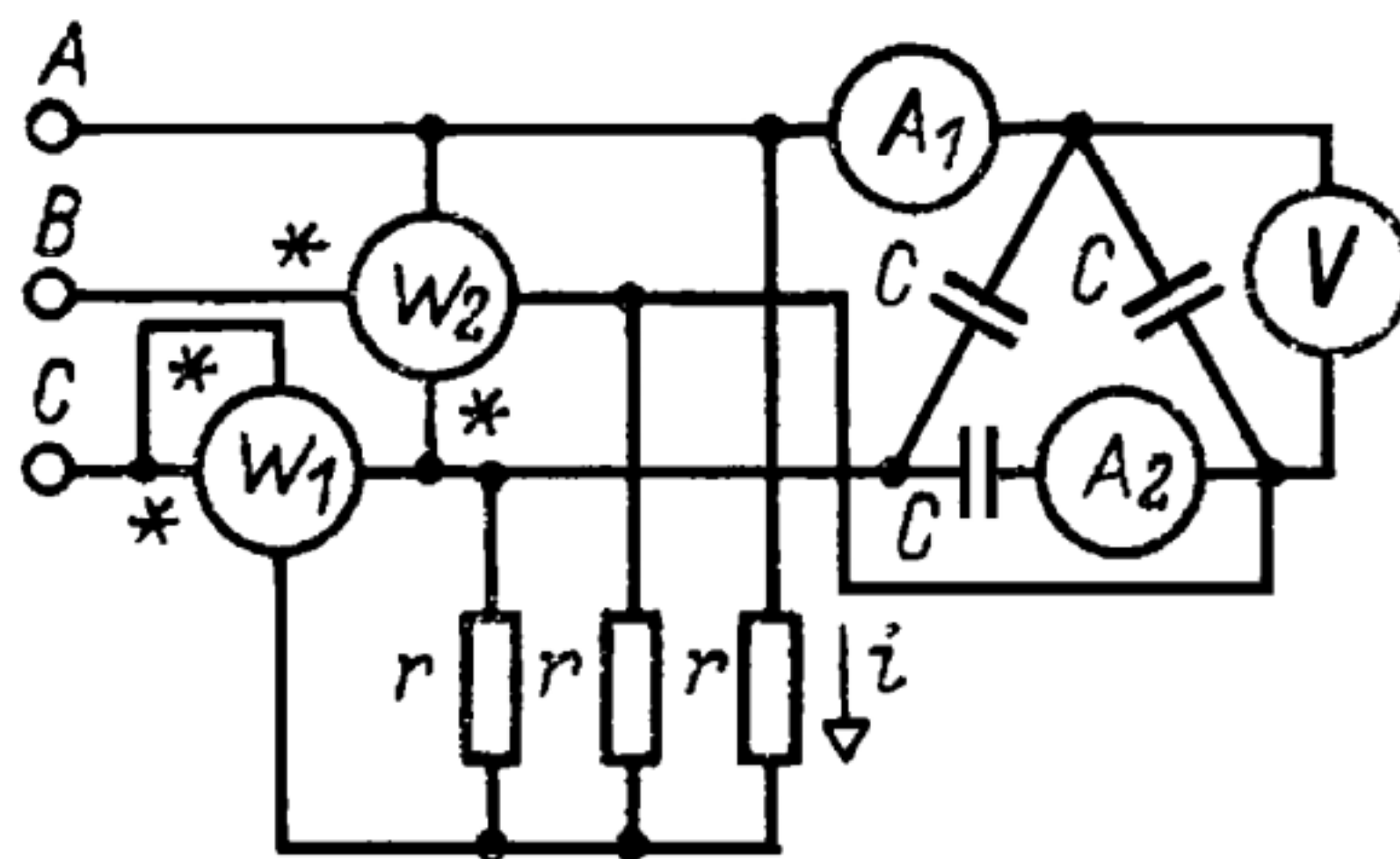


Рисунок 6.10 – Принципиальная схема

**Задача №2**

В цепи рисунок 6.2 определить токи в линии и в фазах приёмника при коротком замыкании между точками b и c, если  $U_L = 380 \text{ В}$ ;  $\omega L = 2 \text{ Ом}$ ;  $Z_A = 10 \text{ Ом}$ ;  $Z_B = j10 \text{ Ом}$ ;  $Z_C = -j10 \text{ Ом}$ . (0; 95 А; 95 А; 0; 33 А; 33 А).

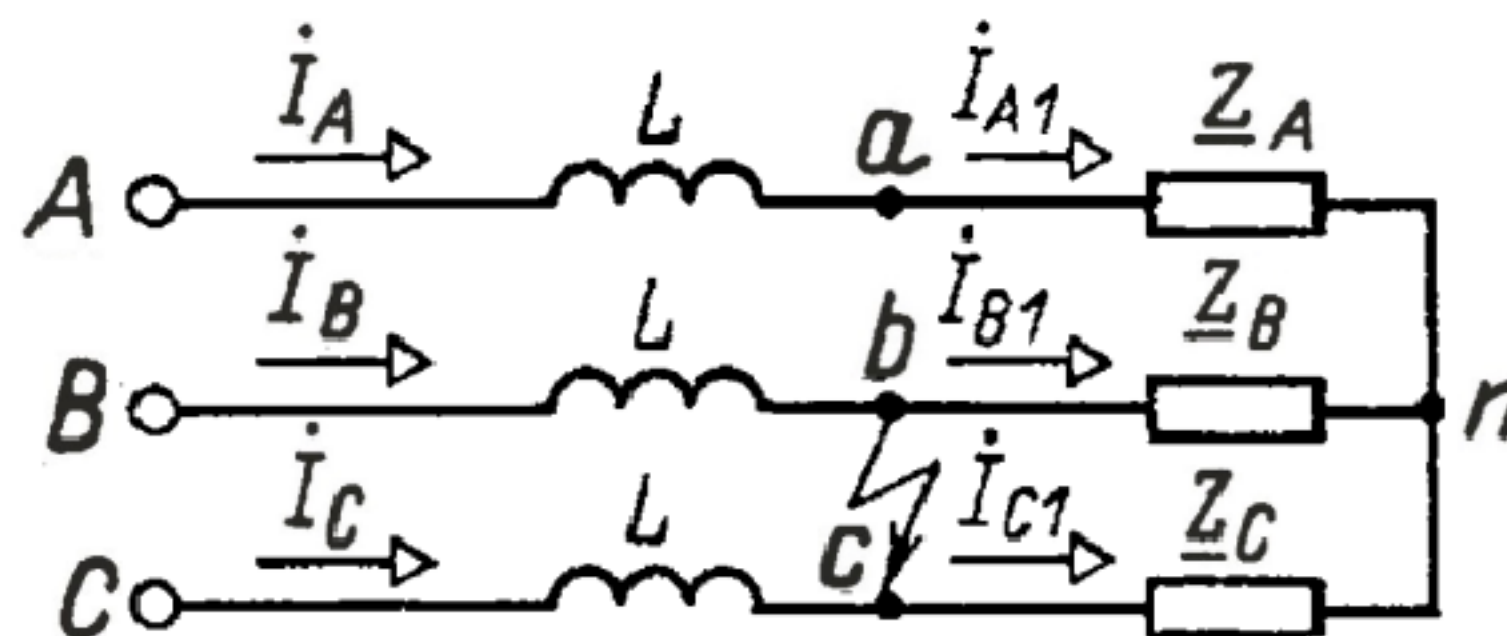


Рисунок 6.11 – Принципиальная схема

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ  
Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6  
Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

**Контрольные вопросы:**

1. Что означает симметричный трехфазный источник электрической энергии?
2. Что означает несимметричный трехфазный источник?
3. Перечислите способы соединения обмоток трехфазного источника.
4. Что такое нейтральный провод?
5. Какое напряжение называется фазным, линейным?
6. Что означает симметричная и несимметричная нагрузка?
7. Что такое напряжение смещения нейтрали?
8. Как определить ток в нейтральном проводе при симметричной нагрузке?
9. Чему равна мощность трехфазной системы в симметричном режиме?
10. Что такое одно-, двух- и трехфазное короткое замыкание?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## **Практическая работа №7. Расчет электрических потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей**

**Цель:** Получить навыки расчета электрических потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей.

### **Основы теории:**

Из сети к первичной обмотке асинхронного двигателя подводится мощность:

$$P_1 = m_1 I_1 U_1 \cos \varphi_1 \quad (13.1)$$

Часть этой мощности теряется в виде электрических потерь в первичной обмотке

$$P_{эл1} = m_1 I_1^2 r_1 \quad (13.2)$$

а часть – в стали статора (магнитные потери)

$$P_{мг} = m_1 I_0^2 r_M = \frac{m_1 E_1^2}{r_M} \quad (13.3)$$

Оставшаяся часть передается электромагнитным способом на ротор, согласно схеме замещения (электромагнитная мощность)

$$P_{эм} = m_1 * I_2'^2 \frac{r_2}{s} = m_1 E_1 I_2' \cos \psi_2 \quad (13.4)$$

Часть  $P_{эм}$  теряется в виде тепла в обмотке ротора (электрические потери в обмотке ротора)

$$P_{эл2} = m_1 * I_2'^2 * r_2' = m_2 * I_2^2 * r_2 \quad (13.5)$$

оставшаяся часть превращается в механическую мощность, развиваемую на роторе

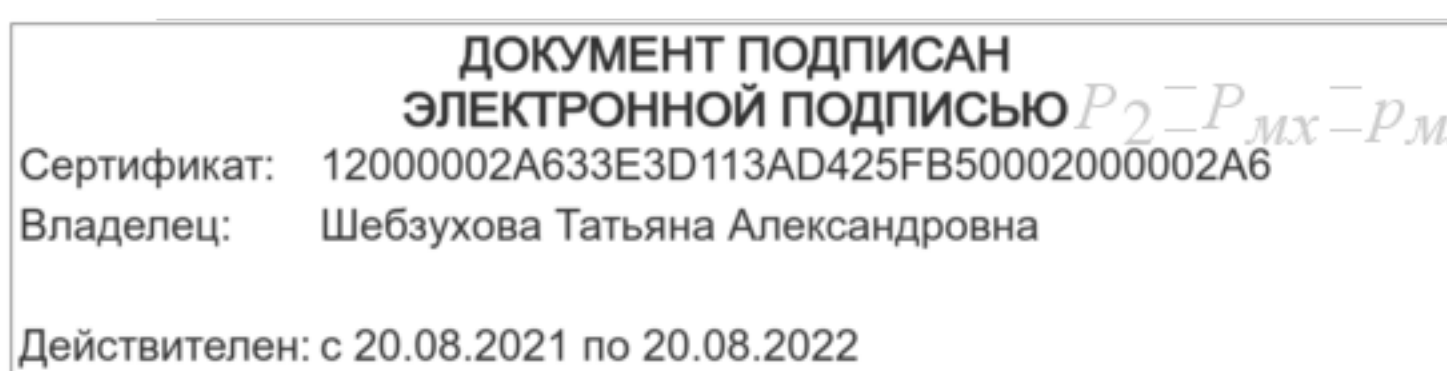
$$P_{мх} = P_{эм} - p_{эл2} = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \quad (13.6)$$

часть  $P_{мх}$  теряется в машине в виде механических потерь  $p_{мх}$ .

Добавочные потери рассчитать очень трудно, поэтому их принимают равными 0,5% от  $P_1$  при  $I_1 = I_N$ .

Полезная мощность на валу

$$P_2 = P_{мх} - p_{мх} - p_{\delta}; \quad (13.7)$$



$$P_2 - P_1 = -p, \quad (13.8)$$

где суммарные потери

$$\Sigma_p = p_{эл1} + p_{мг} + p_{эл2} + p_{мх} + p_d \quad (13.9)$$

КПД двигателя определяется как

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma_p}{P_1} \quad (13.10)$$

Из выражения для  $P_{эм}$  и  $p_{эл2}$  вытекают соотношения

$$p_{эл2} = sP_{эм}; \quad (13.11)$$

$$P_{мх} = (1-s)P_{эм}. \quad (13.12)$$

из которых видно, что при  $s = 0$  потерь в роторе нет (идеальный холостой ход), а при  $s = 1$  вся  $P_{эм}$  идет на потери в обмотке ротора, а  $P_{мх} = 0$ . Поэтому с точки зрения КПД чем меньше  $s$ , тем лучше ( $s_H = 0,02 - 0,05$ ).

Пример 1. Асинхронный трехфазный двигатель при напряжении сети  $U_c = 380$  В развивает номинальную мощность  $P_H = 10$  кВт, вращаясь с частотой  $n_H = 2920$  об/мин и потребляя ток  $I_{1H} = 18,6$  А при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_H = 0,913$ . В режиме холостого хода двигатель потребляет из сети мощность  $P_0 = 325$  Вт при токе  $I_0 = 5,04$  А. Активное сопротивление обмотки статора  $r_1 = 0,326$  Ом, механические потери мощности  $p_{мх} = 130$  Вт. Схема соединения обмотки статора – «звезда». Определить потери мощности в меди статора и ротора, потери в стали, добавочные потери при нагрузке, коэффициент полезного действия АД.

Решение:

При решении задачи принято допущение, что сумма потерь в стали и механических потерь – величина постоянная.

Потери в стали:

$$P_{ст} = P_0 = p_{мх} = 325 \text{ Вт}.$$

Электрические потери в обмотке статора:

$$p_{эл1} = m_1 I_H^2 r_1 = 3 \cdot 18,6^2 \cdot 0,326 = 338 \text{ Вт}.$$

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$P_1 = \sqrt{3} U_c I_H \cos \varphi_H = 380 \cdot 18,6 \cdot 0,913 = 11163,8 \text{ Вт}.$$

$$P_{эм} = P_1 - P_{ст} - P_{эл1} = 11163,8 - 170 - 338 = 10655,8 \text{ Вт}$$

Электрические потери в обмотке ротора:

$$P_{эл2} = S * P_{эм} = 0.027 * 10655,8 = 287,7 \text{ Вт.}$$

где при частоте вращения магнитного поля статора  $n_1 = 3000$  об/мин скольжение

$$s = \frac{n_1 - n_n}{n_1} = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0.027$$

Добавочные потери:

$$P_{\partial} = P_{эм} - P_n - P_{эл2} - P_{мх} = 10655,8 - 10000 - 287,7 - 130 = 238 \text{ Вт}$$

Суммарные потери мощности:

$$\Sigma P = P_{эл1} + P_{эл2} + P_{ст} + P_{мх} + P_{\partial} = 338 + 287,7 + 170 + 130 + 238 = 1163,8 \text{ Вт.}$$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} * 100\% = \frac{10000}{11163,8} * 100\% = 89,6\%$$

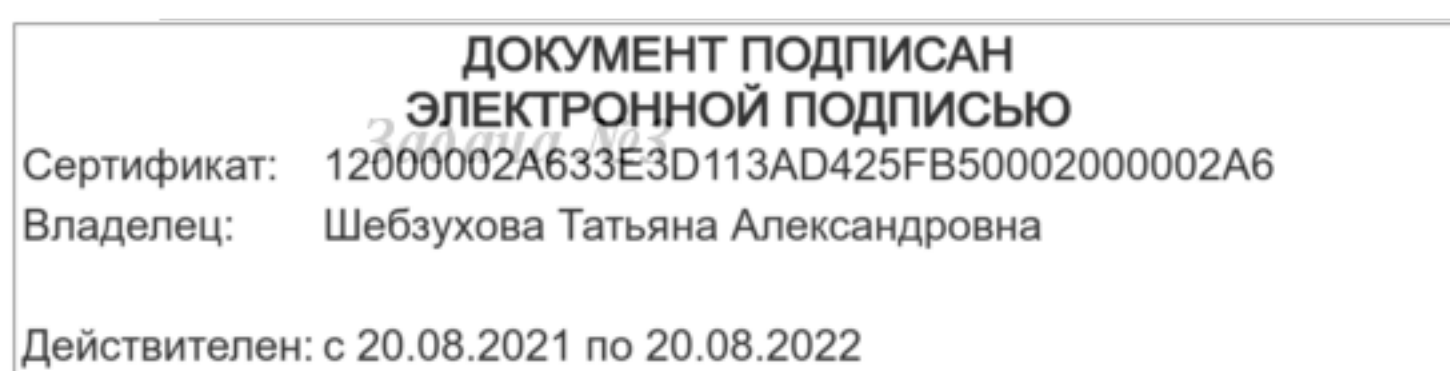
**Задание:**

### **Задача №1**

Электрические потери в обмотке статора АД  $P_{эл1} = 500$  Вт. Мощность, подводимая к двигателю, 13,8 кВт. Определить электромагнитную мощность, мощность на валу двигателя, электрические потери в обмотке ротора, механические и добавочные потери, если четырехполюсный двигатель вращается с частотой  $n = 1450$  об/мин, КПД машины  $\eta = 87\%$ . Частота сети 50 Гц, Магнитные потери в магнитопроводе статора принять равными 2/3 от электрических потерь в обмотке статора.

### **Задача №2**

Асинхронный двигатель при напряжении сети 380 В в режиме холостого хода потребляет из сети ток 30 А с коэффициентом мощности 0,09. Активное сопротивление фазы шестиполусной обмотки статора, соединенной в звезду, равно 0,07 Ом. Под номинальной нагрузкой двигатель потребляет из сети активную мощность 145 кВт при коэффициенте мощности 0,88 и вращается с частотой  $n = 965$  об/мин. Пренебрегая механическими и добавочными потерями, определить полезный вращающий момент на валу двигателя. Частота питающей сети  $f = 50$  Гц.



Потребляемая асинхронным двигателем мощность 16,7 кВт, напряжение сети 380 В, коэффициент мощности 0,88. Активное сопротивление обмотки статора, измеренное между ее линейными выводами, 0,56 Ом. Скольжение – 0,033. Предположим, что магнитные потери в сердечнике статора равны половине электрических потерь в обмотке статора, механические и добавочные потери составляют 5 % от суммарных потерь. Определить полезную мощность и коэффициент полезного действия двигателя.

#### ***Задача №4***

Электромагнитная мощность асинхронного двигателя  $P_{эм} = 500$  Вт, полная механическая мощность  $P_{мх} = 470$  Вт. Найти скольжение, при котором работает двигатель, и электрические потери в роторе.

#### ***Задача №5***

Четырехполюсный АД с фазным ротором при напряжении сети 380 В в режиме холостого хода вращается с частотой 1500 об/мин и при коэффициенте мощности 0,08 потребляет из сети ток 25 А. Активное сопротивление фазы обмотки статора, соединенной в звезду, равно 0,02 Ом. Обмотка ротора включена в треугольник. Сопротивление обмотки ротора, измеренное на кольцах, равно 0,008 Ом. Под номинальной нагрузкой двигатель потребляет из сети 110,5 кВт при коэффициенте мощности 0,85, линейный ток в роторной цепи 278,5 А. Предполагая, что механические потери равны магнитным потерям в сердечнике статора, определить скорость вращения ротора в номинальном режиме.

#### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие потери в асинхронном двигателе относятся к постоянным потерям, а какие к переменным?
2. Какие потери относятся к механическим потерям в асинхронном двигателе?
3. Чем определяются добавочные потери в АД и как они рассчитываются?
4. Перечислите все виды потерь мощности в асинхронном двигателе.
5. Какова зависимость между электрическими потерями в обмотке ротора АД и электромагнитной мощностью?

## Практическая работа №8. Электрические нагрузки промышленных предприятий

**Цель:** Приобрести навыки расчета электрических нагрузок промышленных предприятий.

### Основы теории:

Расчет электрических нагрузок производится для каждого электрического узла, от которого питаются электроприемники. В сетях напряжением до 1 кВ на различных ступенях распределения в качестве электрического узла могут рассматриваться распределительные пункты, шкафы, сборки, распределительные, троллейные, магистральные шинопроводы, цеховые трансформаторные подстанции. Нагрузки определяются по цеху, корпусу, предприятию в целом.

Метод коэффициента расчетной нагрузки. Согласно Указаниям по расчету электрических нагрузок расчетная активная нагрузка группы электроприемников, подключенных к электрическому узлу:

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{Hi} P_{Hi}$$

где  $K_p$  - коэффициент расчетной нагрузки;

$P_{Hi}$  и  $K_{Hi}$  - номинальная активная мощность и среднее значение коэффициента использования отдельного электроприемника;  $n$  - количество электроприемников в группе.

Эффективное число электроприемников

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}$$

где  $P_{Hi}$  - номинальная мощность отдельного электроприемника в группе.

Полученное расчетом округляется до ближайшего меньшего целого числа.

При большом количестве электроприемников в группе для магистральных шинопроводов, сборных шин цеховых трансформаторных подстанций (ТП цеха, корпуса, предприятия в целом) величину  $n_{\text{э}}$  можно определить также по упрощенному выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H \text{ наиб}}}$$

где  $P_{H \text{ наиб}}$  - номинальная мощность самого мощного электроприемника в группе.

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

= п. Это же условие для  $n_{\text{э}}$  сохраняется, если

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$\frac{P_{\text{н наиб}}}{P_{\text{н мин}}} \leq 3$$

Для группы, состоящей из электроприемников различных категорий (с различными  $K_{\text{и}}$ ), средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{\text{и}i} P_{\text{н}i}}{\sum_{i=1}^m P_{\text{н}i}}$$

а) для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от  $n_{\text{э}}$ ,  
при  $n_{\text{э}} \leq 10$

$$Q_p = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi$$

при  $n_{\text{э}} > 10$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi$$

б) для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых ТП, а также при определении реактивной нагрузки по цеху, корпусу, предприятию

$$Q_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{н}} \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

К расчетным активной и реактивной нагрузкам силовых электроприемников до 1кВ должны быть добавлены при необходимости осветительные нагрузки  $P_{\text{ро}}$  и  $Q_{\text{ро}}$

Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением выше 1 кВ осуществляется в целом аналогично расчету, приведенному для электроприемников напряжением до 1 кВ, с учетом некоторых особенностей. Для электродвигателей напряжением выше 1 кВ вместо  $K_{\text{и}}$  принимается значение коэффициента загрузки  $K_3$  и находится расчетная нагрузка

$$P_{\text{рд}} = K_3 P_{\text{нд}}$$

где  $P_{\text{нд}}$  - номинальная активная мощность высоковольтного электродвигателя.

При определении расчетной нагрузки предприятия подсчитывается количество присоединений к сборным шинам 6 - 10 кВ распределительного пункта (РП) или главной понизительной подстанции (ГПП), от которых питается предприятие. В зависимости от количества присоединений и средневзвешенного  $K_{\text{и}}$  по табл. ПЗ определяется значение коэффициента одновременности  $K_{\text{о}}$ . При этом принимается величина  $K_p = 1$ . Аналогичное значение  $K_{\text{о}}$  принимается и в тех случаях, когда расчетная нагрузка определяется для

выбора кабеля 6-10 кВ питающего цеховую ТП.

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Расчетная нагрузка силовых электроприемников до 1 кВ характерных групп, приведенная к вводу предприятия, определяется по формуле

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{\text{И}} P_H$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{\text{И}} P_H \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

Результирующая нагрузка предприятия определяется с учетом осветительной и высоковольтной нагрузок, а также средств компенсации реактивной мощности Q и потерь мощности в трансформаторах.

Метод коэффициента спроса. На первой стадии проектирования системы электроснабжения могут быть неизвестными мощности отдельных электроприемников характерных групп и режим их работы. Расчетная максимальная нагрузка для таких групп электроприемников определяется следующим образом:

$$P_p = K_c P_H$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi$$

Значения коэффициентов спроса  $K_c \cos \varphi$  для указанных групп электроприемников определяются из.

Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения определяется в этом случае с учетом коэффициента разновременности максимумов нагрузок отдельных групп электроприемников:

$$S_p = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n P_{pi} \right)^2 + \left( \sum_{i=1}^n Q_{pi} \right)^2} K_{pm}$$

где n - количество характерных подгрупп электроприемников.

Значение  $K_{pm}$  можно приближенно принять равным 0,9.

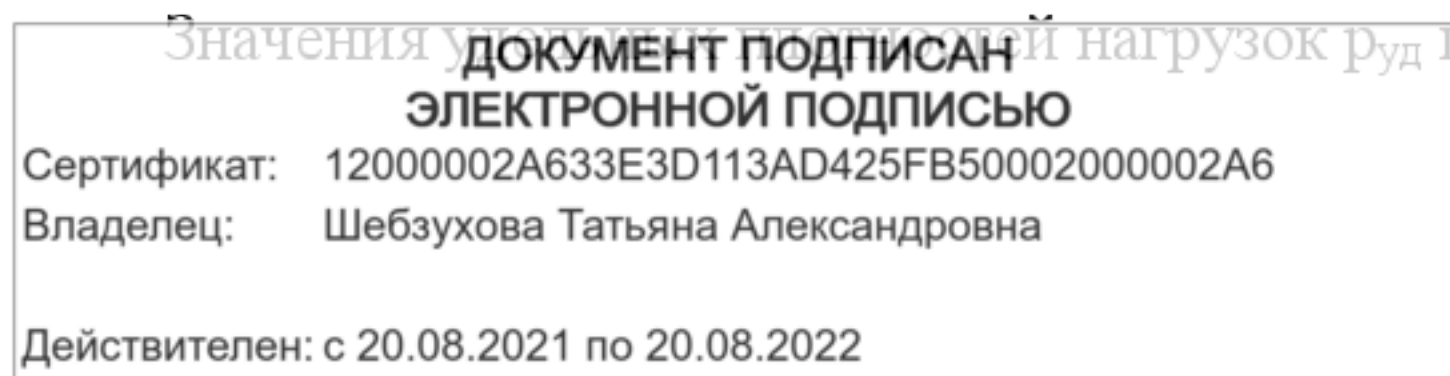
Метод удельных плотностей нагрузки. Если имеются сведения о величинах производственных площадей отдельных цехов, например, машиностроительных предприятий, то расчетную активную нагрузку можно определить, используя выражение

$$P_p = p_{\text{уд}} \cdot F$$

где F- площадь размещения приемников группы, м<sup>2</sup>;

$p_{\text{уд}}$  - удельная плотность нагрузки на 1 м<sup>2</sup> производственной площади, кВт/м<sup>2</sup>.

Значения удельных плотностей нагрузок  $p_{\text{уд}}$  принимаются по справочной литературе.



Метод удельного расхода электроэнергии. При наличии данных по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции расчет нагрузок по отдельным цехам, предприятию в целом можно выполнить, используя выражение

$$P_p = \frac{M \cdot \mathcal{E}_{\text{ауд}}}{T}$$

где М - выпуск продукции в натуральном выражении за время ТЗ назначение удельных расходов электроэнергии на единицу продукции.

Электрические нагрузки однофазных электроприемников.

Однофазные электроприемники учитываются при определении суммарных нагрузок как трехфазные, если они равномерно распределены между фазами трехфазной сети. Считаются неравномерно распределенными те однофазные электроприемники, номинальная мощность которых составляет более 15 % суммарной мощности трехфазных и однофазных приемников, присоединенных к электрическому узлу. Для таких электроприемников определяется трехфазная номинальная условная мощность:

при включении однофазных электроприемников на фазное напряжение

$$P_{\text{ну}} = 3 \cdot P_{\text{нмф}}$$

$$P_{\text{ну}} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{нл}}$$

Мощность отдельной фазы в этом случае определяется как полу сумма номинальных мощностей плеч, прилегающих к данной фазе.

При большом количестве однофазных электроприемников в группе, включенных на фазное и линейное напряжение и не распределенных равномерно, номинальная мощность отдельной фазы определяется с учетом коэффициентов приведения линейных нагрузок к данной фазе и фазному напряжению. Например, для фазы А

$$P_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + P_{a0}$$

$$Q_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + Q_{a0}$$

где  $p_{ab}$  - однофазная нагрузка, включенная в плечо АВ трехфазной сети;

$P_{ac}$  - то же в плечо АС;

$P_{a0}$  и  $Q_{a0}$ - нагрузки, включенные на фазу А и нулевой провод;

$p_{(ab)a}$ ,  $p_{(ca)a}$ ,  $q_{(ab)a}$ - коэффициенты приведения линейных нагрузок, определяемые из справочных таблиц.

Расчетные активную и реактивную нагрузки для однофазных электроприёмников, включенных в трехфазную сеть, можно определить по формулам

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

$$P_{\text{пу}} = K_p \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{ну}i}$$

при  $n_3 \leq 10$

$$Q_{py} = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi$$

при  $n_3 > 10$

$$Q_{py} = \sum_{i=1}^n K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi$$

Для узла, подключенного к трехфазной электрической сети, имеющей трехфазные и однофазные электроприемники, расчетные активная и реактивная нагрузки определяются по формулам:

$$P_{puz} = K_p \left( \sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \right) + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{нui}}$$

при  $n_3 \leq 10$

$$Q_{puz} = 1.1 \left( \sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi_i \right) + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi_i$$

при  $n_3 > 10$

$$Q_{puz} = \sum_{i=1}^{m1} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m2} K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m3} K_{\text{и}} P_{\text{Hi}} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m4} K_{\text{и}} P_{\text{нui}} \tan \varphi_i$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – количество трёхфазных и однофазных электроприемников с переменным графиком нагрузок;

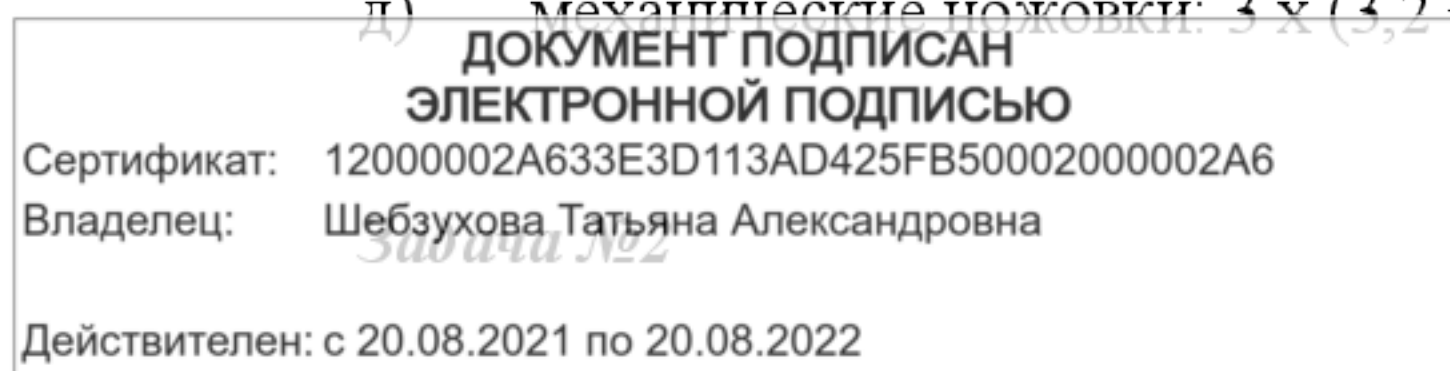
$m_3$  и  $m_4$  – количество трёхфазных и однофазных электроприемников с мало меняющимся графиком нагрузок.

**Задание:**

**Задача №1**

Определить  $p_3$  для электроприемников механического участка инструментального цеха со следующими данными:

- а) токарные станки: 4 х (7 + 1,1 + 0,25) кВт;
- б) строгальные станки: 2 х (4,5 + 0,5) кВт; 2 х (5,5 + 0,75) кВт;
- в) сверлильные станки: 3 х (7,5 + 0,25) кВт; 3 х (3 + 0,25) кВт;
- г) заточные станки: 2 х 2,8 кВт; 2 х 4,5 кВт;
- д) механические ножовки: 3 х (3,2 + 0,3) кВт.



В трехфазную электрическую сеть 380/220 В включены однофазные электроприемники:

- а) печи сопротивления:  $P_H = 12$  кВт,  $\cos\varphi=0,95$ ,  $p = 2$ ,  $U_H= 220$  В;
- б) сварочные трансформаторы:  $S_{ca}= 75$  кВА, ПВ = 45 %,  $\cos\varphi= 0,55$ ,  $p= 1$ ,  $U_H=380$  В; Определить трехфазную условную номинальную мощность.

### Задача №3

От шин вторичного напряжения цеховой ТП питаются следующие группы трехфазных электроприемников:

- а) 35 электродвигателей продолжительного режима работы от 5,5 до 10 кВт суммарной мощностью  $\Sigma P_H = 265$  кВт;  $K_H = 0,18$ ;  $\cos\varphi = 0,75$ ;
- б) 8 электродвигателей повторно-кратковременного режима работы от 4,0 до 7 кВт;  $\Sigma P_H = 42$  кВт; ПВ = 50 %;  $K_H= 0,15$ ;  $\cos\varphi= 0,55$ ;
- в) 20 электродвигателей продолжительного режима работы от 3 до 15 кВт;  $\Sigma P_H= 175$  кВт,  $K_H = 0,2$ ;  $\cos\varphi = 0,7$ ;
- г) 15 электродвигателей продолжительного режима работы от 5 до 7,5 кВт;  $\Sigma P_H = 100$  кВт;  $K_H = 0,3$ ;  $\cos\varphi= 0,65$ .

Определить для них полную расчетную нагрузку.

### Задача №4

Группа цехов тракторного завода имеет следующие установленные мощности электроприемников:

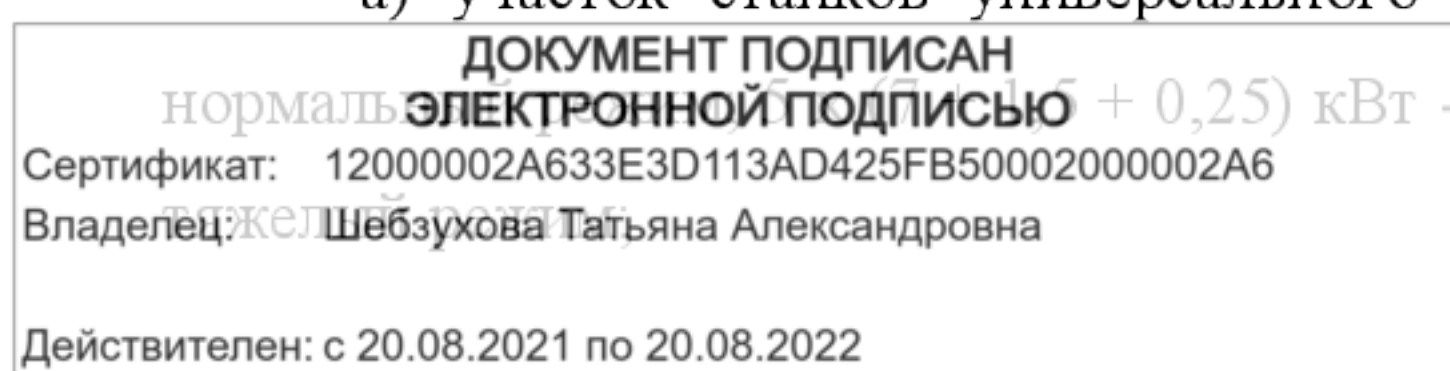
- а) агрегатный цех  $P_H= 3000$  кВт;
- б) прессово-штамповочный цех  $P_H=4000$  кВт;
- в) механический цех  $P_H = 3500$  кВт;
- г) покрасочный цех  $P_H = 1800$  кВт.

Определить для них полную расчетную нагрузку.

### Задача №5

Технологические участки ремонтно-механического цеха имеют следующие номинальные мощности электроприемников:

- а) участок станков универсального назначения: 6 х (4,5 + 1 + + 0,25) кВт - нормальный режим; 5 х (14 + 2 + 0,75) кВт - нормальный режим;



б) участок специализированных станков с электродвигателями от 0,25 до 5,5 кВт суммарной мощностью  $P_a = 87$  кВт;

в) электросварочный участок, сварочные трансформаторы:

$S_{\text{пасп1}} = 37$ кВА; ПВ = 40 %;  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $U_H = 380$  В;

$S_{\text{пасп2}} = 32$  кВА; ПВ = 40 %;  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $U_H = 380$  В;

$S_{\text{пасп3}} = 22$ кВА; ПВ = 60 %;  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $U_H = 380$  В,

Определить полную расчетную нагрузку электроприемников цеха.

### **Задача №6**

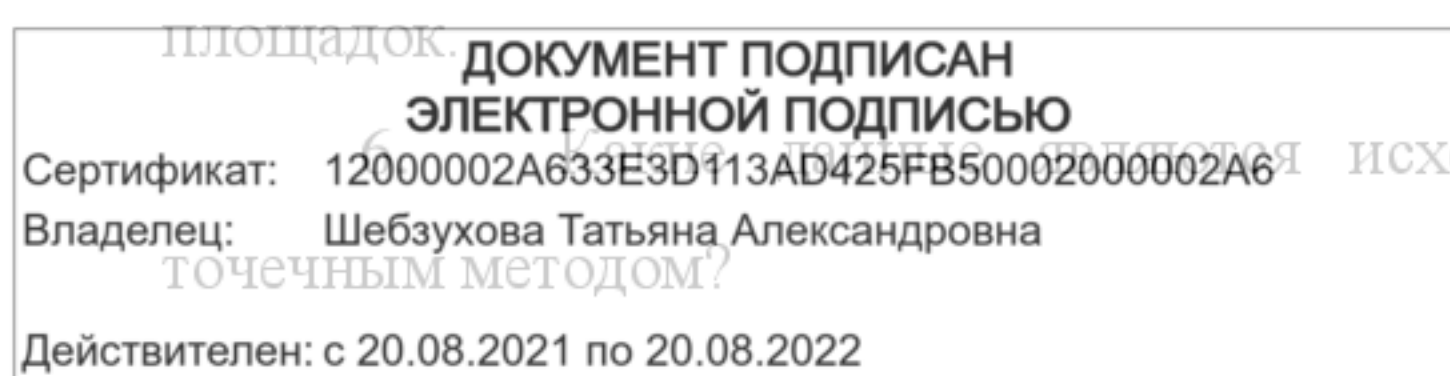
Группа цехов автомобильного завода питается от отдельного РП на напряжении 10 кВ и имеет следующие данные:

- сборочный цех;  $P_p = 1800$  кВт;  $\cos\varphi = 0,7$ ;  $K_H = 0,2$ ;
- цех задних мостов:  $P_H = 2900$  кВт;  $\cos\varphi = 0,75$ ;  $K_H = 0,25$ ;
- цех кабин:  $P_H = 2300$  кВт;  $\cos\varphi = 0,7$ ;  $K_K = 0,3$ ;
- покрасочный цех:  $P_H = 1500$  кВт;  $\cos\varphi = 0,65$ ;  $K_H = 0,4$ ;
- гальванический цех:  $P_H = 1700$  кВт;  $\cos\varphi = 0,8$ ;  $K_H = 0,5$ ;
- компрессорная: электроприемники напряжением до 1 кВ:  $P_H = 1300$  кВт;  $\cos\varphi = 0,7$ ;  $K_H = 0,35$ , электродвигатели напряжением 10 кВ:  $P_H = 4000$  кВт;  $n = 3$ ;  $\cos\varphi = 0,75$ ;  $K_3 = 0,85$ .

Количество присоединений к РП  $n = 10$ . Самый мощный электроприемников в группе напряжением 380 В - электродвигатель, у которого  $P_H = 15$  кВт. Определить полную расчетную нагрузку на шинах РП.

### **Контрольные вопросы:**

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каких случаях необходимо использовать систему общего освещения?
3. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?
4. Как зависит нормируемая освещенность дорог и проездов от интенсивности движения автомобилей?
5. Охарактеризовать способы установки прожекторов для освещения открытых



исходными при расчете уличного освещения

## ***Практическая работа №9. Определение показаний амперметров, вольтметров и ваттметров в цепях постоянного и синусоидального токов***

**Цель:** Научиться рассчитывать показания приборов различных измерительных систем в цепях постоянного и синусоидального токов.

### ***Основы теории:***

По типу отсчетного механизма все измерительные приборы (ИП) подразделяют на две группы: аналоговые (АИП) и цифровые (ЦИП). В АИП показания являются непрерывной функцией изменения входной измеряемой величины. Электромеханические ИП основаны на преобразовании электрической энергии входного сигнала в механическую энергию, чаще всего, угловое перемещение подвижного отсчетного устройства. Эти приборы для своей работы забирают некоторую энергию от измеряемой цепи. Включение таких приборов в исследуемую электрическую цепь изменяет режим ее работы и, как результат, обуславливает появление погрешности взаимодействия прибора в измеряемой цепи, т.е. появляется методическая погрешность измерения.

В ЦИП измеряемая или пропорциональная ей величина преобразуется в числовой эквивалент, который выводится на цифровой индикатор (дисплей). Современные ЦИП построены с использованием или микроконтроллера, или микропроцессора, что существенно повышает производительность и точность ЦИП. Эти приборы могут иметь дополнительные функции для обработки результатов измерения, автоматического выбора пределов измерения, распознавания полярности постоянного напряжения и т.д., а некоторые из них могут быть задействованными в автоматизированных измерительных установках и системах. В практике электрических измерений все шире используются цифровые методы и средства преобразования, хранения, обработки, передачи и представления информации. Цифровые приборы вытесняют аналоговые средства при измерении самых различных физических величин. Среди цифровых средств измерений можно выделить две большие группы: измерительные приборы и измерительные преобразователи. К первой группе обычно относят автономные ИП, предназначенные в основном для статических однократных измерений, обычно выполняемых вручную оператором (пользователем). Ко второй группе относят цифровые преобразователи, используемые в составе информационно-измерительных систем, измерительно-

Документ подписан  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

ЭМИП относятся к аналоговым ИП. Функционирование ЭМИП основано на использовании  
Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

Преобразователи обладают высоким быстродействием.

Электромеханических измерительных приборах (ЭМИП).

Функционирование ЭМИП основано на использовании

измерительных механизмов (ИМ), в которых реализуются различные физические принципы. ИМ обеспечивает преобразование значения измеряемой величины в пропорциональное изменение показания отсчетного устройства, например, стрелки прибора. В этих ИМ вызывающему поворот стрелки моменту вращения, функционально связанному с измеряемой величиной (чаще всего с током в измерительной катушке), противодействует момент сопротивления закручивающейся пружины.

В зависимости от используемого в приборе ИМ различают следующие ЭМИП: а) магнитоэлектрические; б) выпрямительные; в) термоэлектрические; г) электромагнитные; д) электродинамические; е) электростатические; ж) индукционные.

В зависимости от принципа исполнения ИМ, схемы его использования в ИП реализуются приборы для измерения тока, напряжения, мощности, электрической энергии и т. д.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного однофазного тока производится ваттметрами. Ваттметры имеют две обмотки: токовую и напряжения. Направление отклонения стрелки прибора зависит от подключения обмоток ваттметра, поэтому их зажимы имеют специальную маркировку, обеспечивающую правильное подключение прибора. Зажимы, обозначенные знаком \* (звездочка), соединяются с проводами, идущими от источника питания. Зажимы, не имеющие этого обозначения, подключаются к нагрузке.

При подведении к обмоткам ваттметра напряжения на нагрузки и протекающего тока через нагрузки показания прибора определяются выражениями: в цепях постоянного тока  $P = U \cdot I$ ; в цепях синусоидального тока  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ , где  $\varphi$  – угол сдвига фаз между векторами напряжения и тока.

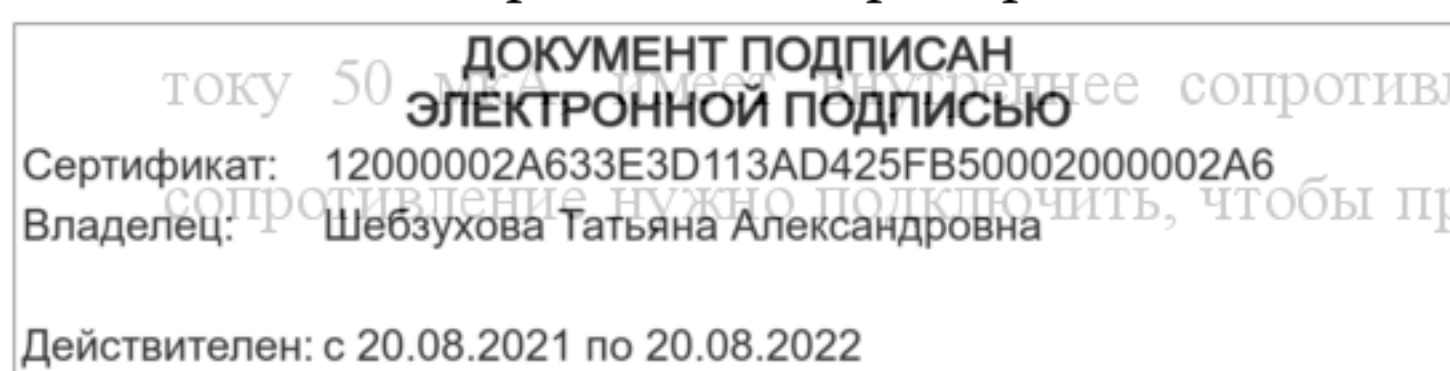
### ***Задание:***

#### ***Задача №1***

Определить показания цифрового амперметра и ваттметра, включенных для измерений в последовательную RL-цепь, если напряжение на входе цепи изменяется по закону  $u(t) = 12 + 50 \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ . Параметры цепи:  $R = 3 \text{ Ом}$ ,  $X_L = 4 \text{ Ом}$ .

#### ***Задача №2***

Измерительный прибор с максимальным отклонением указателя, соответствующим



току 50 А. В цепи также включено сопротивление, равное 5 кОм. Какое шунтирующее сопротивление нужно подключить, чтобы прибор измерял ток в пределах 0 – 1 А? Какое

сопротивление нужно подключить последовательно для того, чтобы прибор мог измерить напряжение в пределах 0 – 10 В?

### Задача №3

Определить предел измерения тока  $I_1$  в схеме двухпредельного миллиамперметра (рисунок 7.1) с током полного отклонения рамки измерительного механизма  $I_A = 50 \text{ мкА}$ , внутренним сопротивлением  $R_A = 1,0 \text{ кОм}$ . Значения сопротивлений резисторов ступенчатого шунта  $R_1 = 0,9 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 0,1 \text{ Ом}$ .

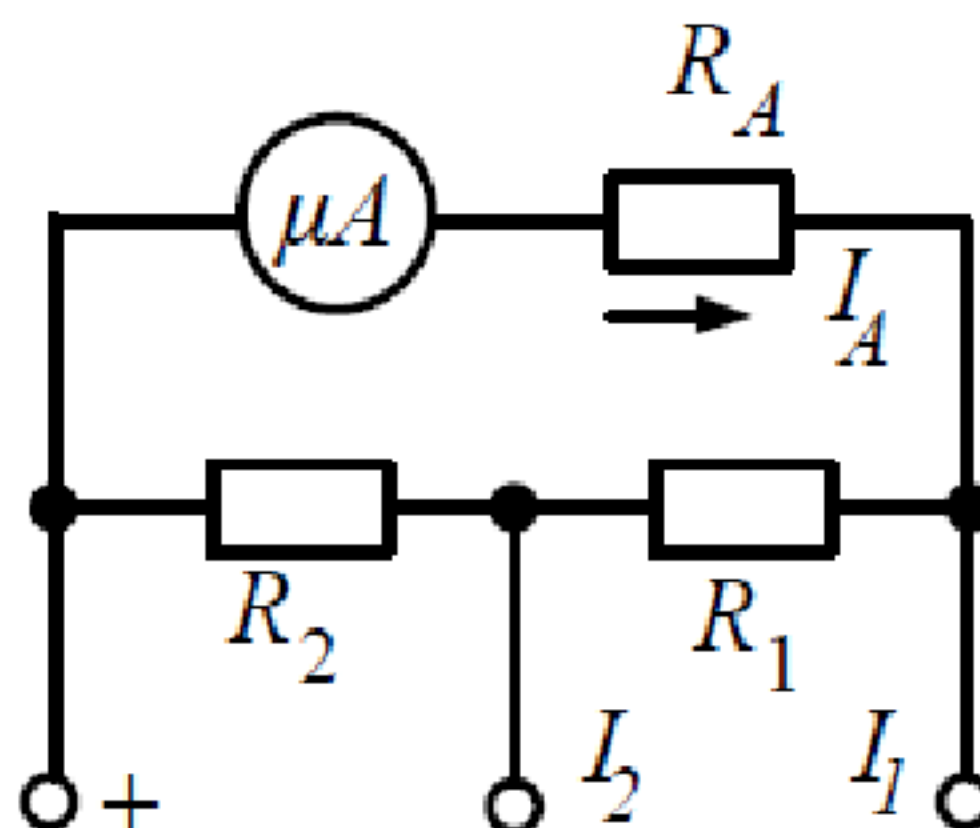


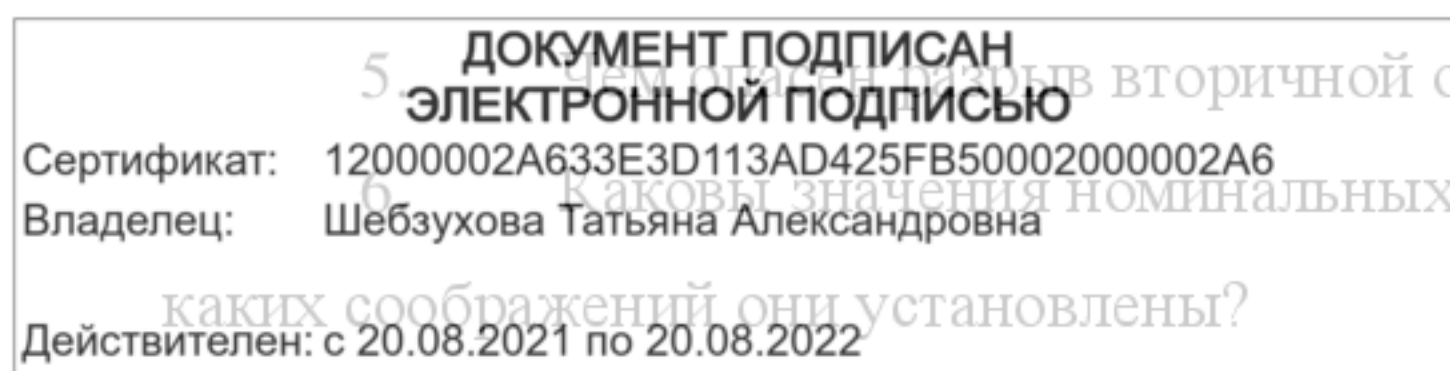
Рисунок 7.1 – Принципиальная схема

### Задача №4

Определить значение сопротивления добавочного резистора  $R_d$ , включенного последовательно в цепь магнитоэлектрического вольтметра с пределом измерения 30 В, внутренним сопротивлением  $R_V = 1000 \text{ Ом}$  и шкалой на 150 делений для расширения предела измерения напряжения до 300 В. Чему равна цена деления?

### Контрольные вопросы:

1. Почему нельзя подключать амперметр непосредственно к источнику напряжения?
2. Следует ли соблюдать полярность подключения цифрового вольтметра к цепи, в которой протекает постоянный ток?
3. Каковы принципиальные особенности использования цифровых амперметров и вольтметров?
4. Для чего используются трансформаторы тока?



5. Каковы значения номинальных вторичных токов трансформаторов тока и из каких соображений они установлены?

7. Для чего используются трансформаторы напряжения?
8. Чему равны номинальные вторичные напряжения трансформаторов и из каких соображений они установлены?
9. Для чего при измерениях используются шунты?
10. Для чего при измерениях используются добавочные сопротивления?
11. Приведите формулу преобразования амперметра с шунтом?
12. Приведите формулу преобразования вольтметра с добавочным сопротивлением? Зачем используют несколько добавочных сопротивлений?
13. Как определяется входное сопротивление амперметра и вольтметра?

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## **5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **5.1.2 Перечень основной литературы:**

1. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 118 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63086.html>

2. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 135 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63085.html>

3. Данилов, М. И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций) / М. И. Данилов, И. Г. Романенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 223 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html>

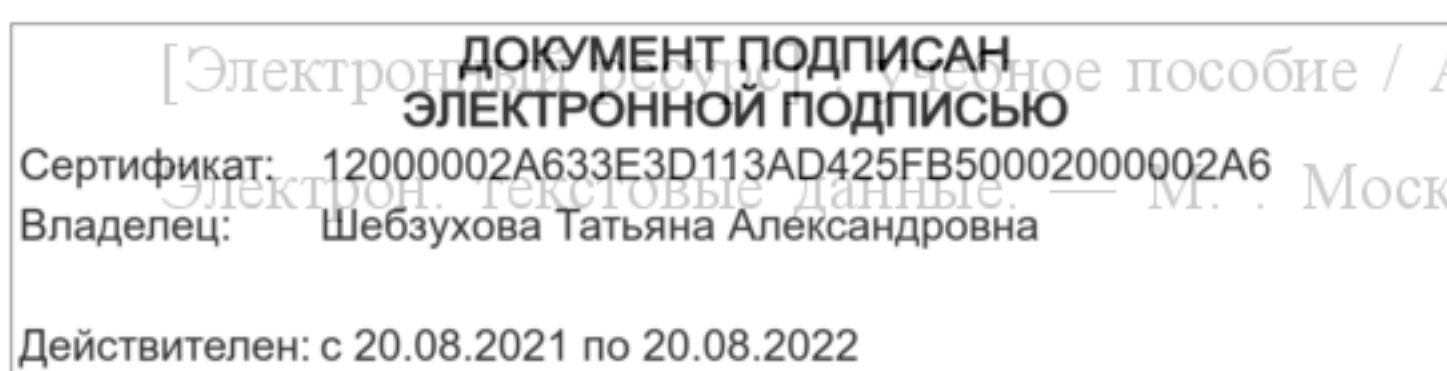
#### **5.1.3 Перечень дополнительной литературы:**

1. Семенова Н.Г. Электроснабжение с основами электротехники. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Г. Семенова, А.Т. Раимова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 142 с. — 978-5-7410-1559-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69976.html>

2. Гордеев-Бургвиц М.А. Общая электротехника и электроснабжение [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.А. Гордеев-Бургвиц. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 470 с. — 978-5-7264-1602-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65651.html>

3. Тихонов А.Ф. Электропривод строительного механизированного инструмента

[Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Ф. Тихонов, В.Н. Батуев, А.Н. Дроздов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный уни-



верситет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 244 с. — 978-5-7264-1520-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64540.html>

4. Колюхова Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Колюхова Е.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2014.— 510 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33222>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Электроснабжение строительных площадей [Электронный ресурс]: методические указания/ — Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 35 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33305>

## ***5.2 Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

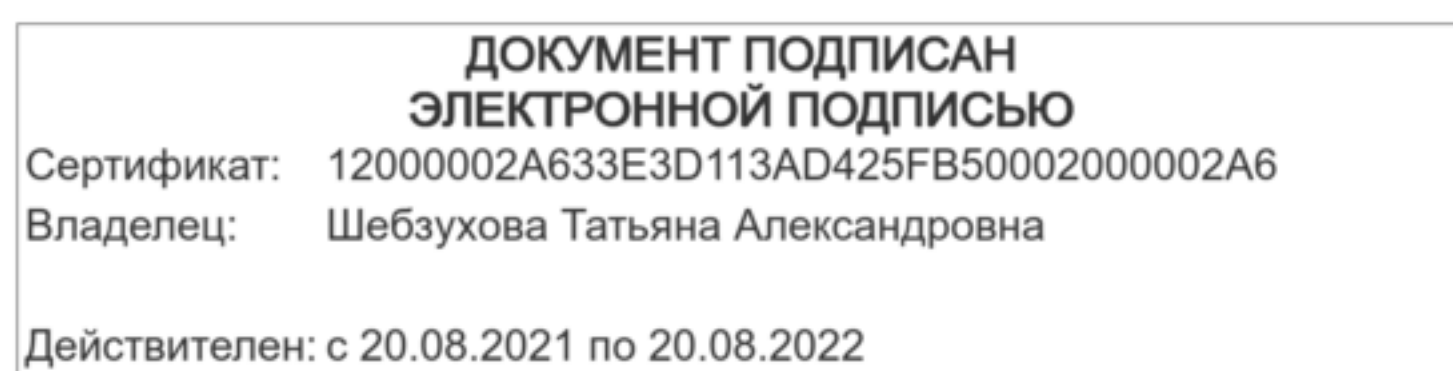
2. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

## ***5.3 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

## Методические указания

по организации и проведению самостоятельной работы для обучающихся  
по дисциплине «ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ  
(ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ)»  
для студентов направления подготовки  
08.03.01 Строительство, Городское строительство и хозяйство

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Содержание

### Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

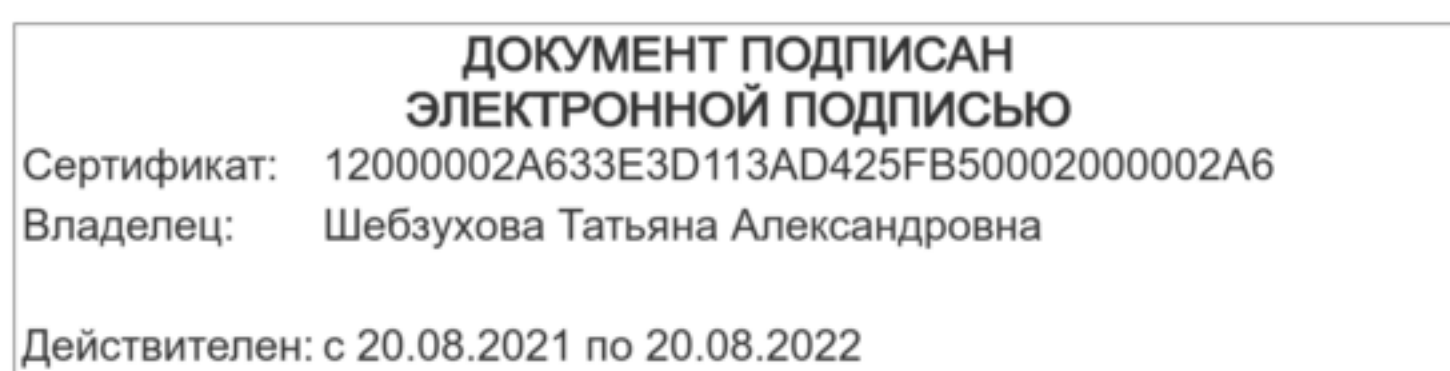
## Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.



## **Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)»**

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

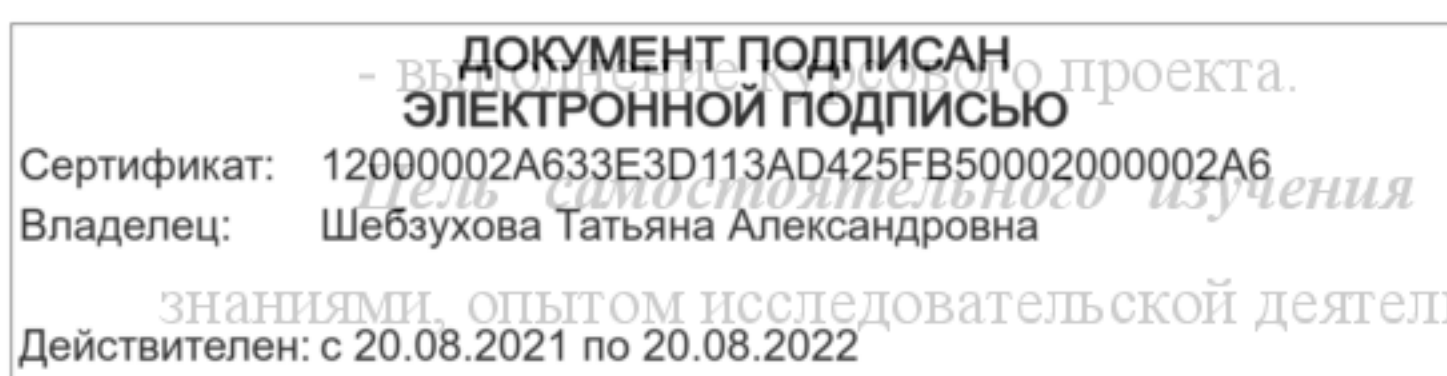
Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач;



литературы – самостоятельное овладение

**Задачами** самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

**Цель самостоятельного решения задач** - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

**Задачами** самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

**Целью самостоятельного выполнения расчетно-графической работы** по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

**Задачами** данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовой работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

| Код, формулировка компетенции                                                                                                                                                           | Код, формулировка индикатора                                                                                                                                                          | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОПК-1 Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата | ИД-2 <sub>ОПК-1</sub> Применяет математический аппарат теории функции нескольких переменных, теории функций комплексного переменного, теории рядов, теории дифференциальных уравнений | Знает об основных законах электротехники; основные определения, топологические параметры и методы расчета электрических цепей. основы электроники и электрические измерения. Умеет применять принципы построения, анализа и эксплуатации электрических цепей, электрооборудования и промышленных электронных приборов. Владеет электротехнической аппаратурой и электронными устройствами, применением методов теоретического и экспериментального исследования в электротехнике и промышленной электронике. |
| ОПК-3 Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства    | ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> Применяет описание основных сведений об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии              | Знает об основных законах электротехники. Умеет применять принципы построения, анализа и эксплуатации электрических цепей, электрооборудования и промышленных электронных приборов. Владеет навыками применения основных законов электротехники.                                                                                                                                                                                                                                                             |

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН

ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

### План-график выполнения самостоятельной работы

| Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)                     | Вид деятельности студентов                        | Средства и технологии оценки | Объем часов, в том числе |                                    |       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------|-------|
|                                                                  |                                                   |                              | СРС                      | Контактная работа с преподавателем | Всего |
| 5 семестр                                                        |                                                   |                              |                          |                                    |       |
| ОПК-1<br>ИД-2 <sub>ОПК-1</sub><br>ОПК-3<br>ИД-1 <sub>ОПК-3</sub> | Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9 | Конспект                     | 63,18                    | 7,02                               | 70,2  |
|                                                                  | Подготовка к лекциям                              | Конспект                     | 0,27                     | 0,03                               | 0,3   |
|                                                                  | Подготовка к лабораторным занятиям                | Отчет по лабораторной работе | 0,91                     | 0,09                               | 0,9   |
|                                                                  | Подготовка к практическим занятиям                | Решенная задача              | 0,54                     | 0,06                               | 0,6   |
| Итого за 5 семестр:                                              |                                                   |                              | 64,8                     | 7,2                                | 72    |
| Итого:                                                           |                                                   |                              | 64,8                     | 7,2                                | 72    |

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## **Контрольные точки и виды отчетности по ним**

Рейтинговая система успеваемости студентов не предусмотрена для очно-заочной формы обучения.

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 12000002A633E3D113AD425FB50002000002A6

Владелец: Шебзухова Татьяна Александровна

Действителен: с 20.08.2021 по 20.08.2022

## Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

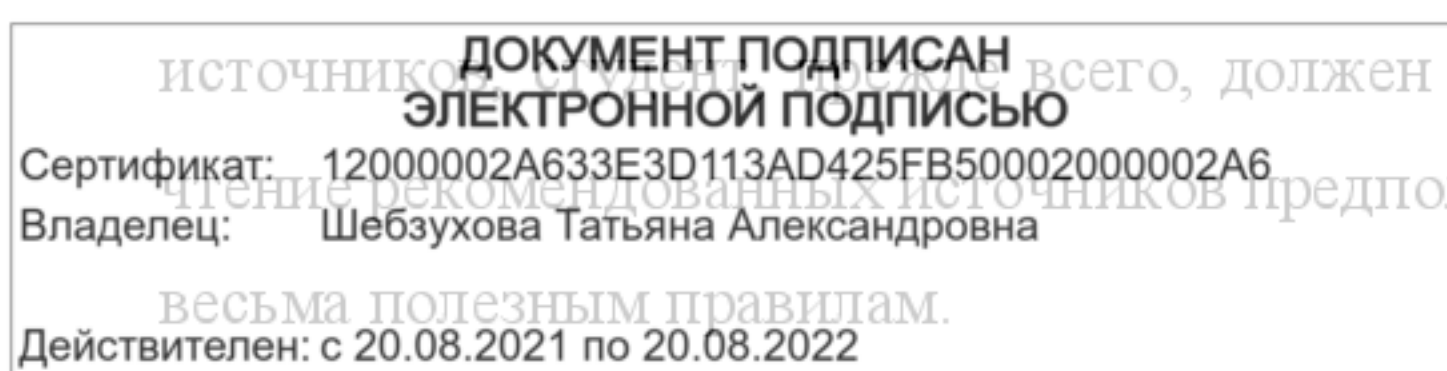
Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения

источников, студент, изучая все, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но



Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

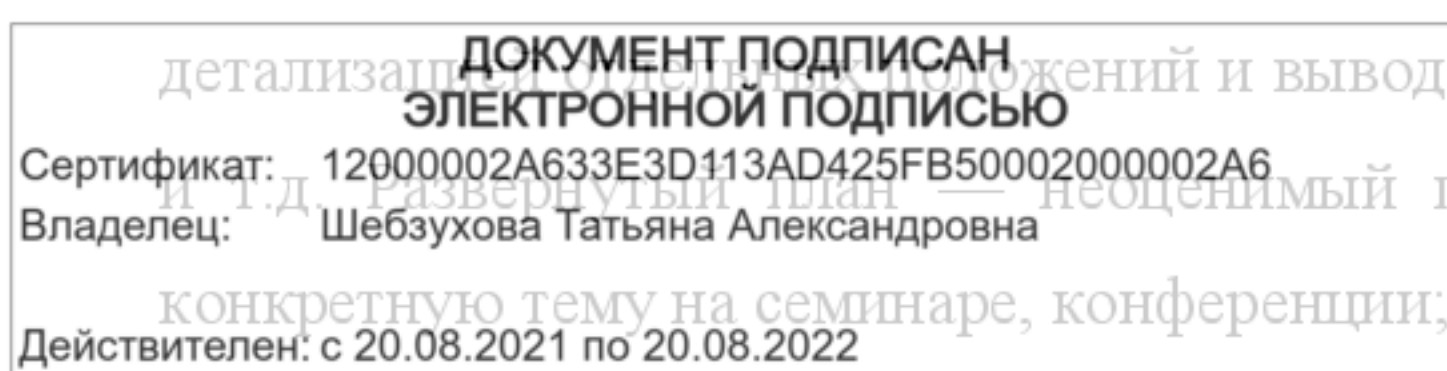
Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с



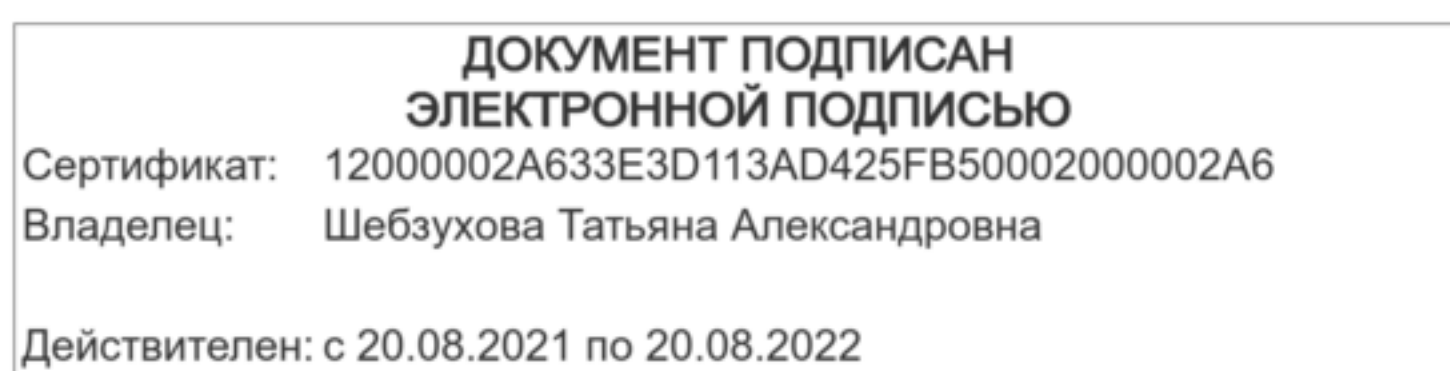
— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

#### Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.



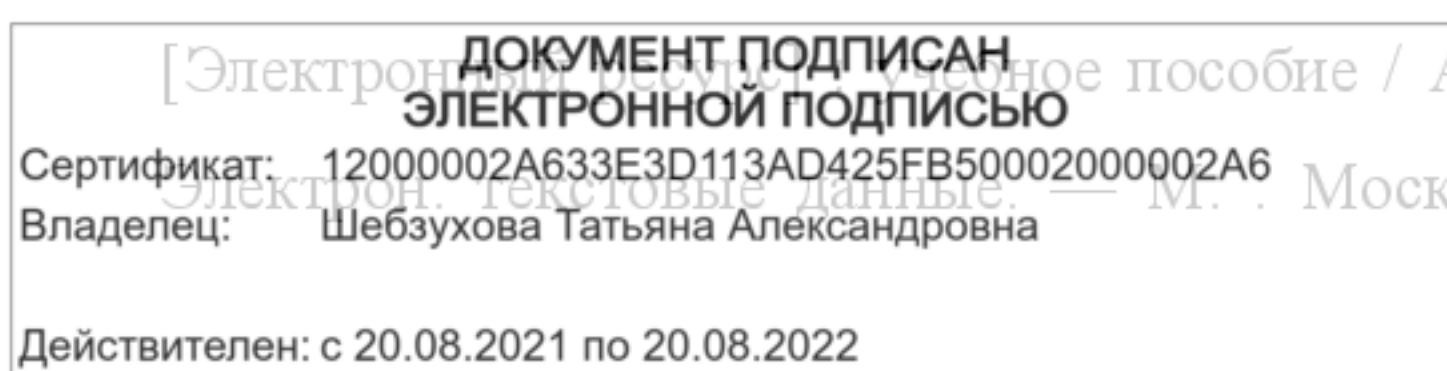
*Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины*

*Перечень основной литературы:*

1. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 118 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63086.html>
2. Данилов М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / М.И. Данилов, И.Г. Романенко, С.С. Ястребов. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 135 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63085.html>
3. Данилов, М. И. Инженерные системы зданий и сооружений (электрообеспечение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций) / М. И. Данилов, И. Г. Романенко. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 223 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html>

*Перечень дополнительной литературы:*

1. Семенова Н.Г. Электрообеспечение с основами электротехники. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Г. Семенова, А.Т. Раимова. — Электрон. текстовые данные. — Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. — 142 с. — 978-5-7410-1559-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69976.html>
2. Гордеев-Бургвиц М.А. Общая электротехника и электрообеспечение [Электронный ресурс] : учебное пособие / М.А. Гордеев-Бургвиц. — Электрон. текстовые данные. — М. : Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 470 с. — 978-5-7264-1602-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65651.html>
3. Тихонов А.Ф. Электропривод строительного механизированного инструмента



верситет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2017. — 244 с. — 978-5-7264-1520-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/64540.html>

4. Колюхова Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Колюхова Е.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2014.— 510 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33222>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

5. Электроснабжение строительных площадей [Электронный ресурс]: методические указания/ — Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2014.— 35 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33305>

***Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине***

1. Методические рекомендации для подготовки к лабораторным занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

2. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники)».

***Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины***

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"

2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

