

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)
Филиал РГУПС в г. Воронеж

Утверждаю:
Заместитель директора по УПР
филиала РГУПС в г. Воронеж
_____ Гуленко П.И.
«01» сентября 2023 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

по дисциплине

ОП.02 Электротехника

базовая подготовка

*Специальность: 27.02.03 Автоматика и телемеханика на транспорте
(железнодорожном транспорте)*

Профиль: технический

Квалификация выпускника: техник

Форма обучения: очная

Воронеж 2023 г.

Автор-составитель преподаватель высшей категории Гукова Н.С.

(уч. звание, должность, Ф.И.О)

предлагает методические указания по выполнению практических работ по дисциплине

ОП. 02 Электротехника

(код по учебному плану и название дисциплины)

Методические указания рассмотрены на заседании цикловой комиссии общепрофессиональных дисциплин

Протокол № 07 от 01.09.2023г.

Председатель цикловой комиссии _____ Гукова Н.С.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Пояснительная записка

Дисциплина ОП.02 Электротехника изучается на 2 курсе. Материал дисциплины базируется на знании физики, математики, химии и используется при изучении специальных дисциплин.

Изучение данного материала включает в себя лекции, решение задач, выполнение практических работ.

Программой предмета ОП.02 Электротехника предусмотрено изучение принципов работы электрических и электронных приборов и схем, методики общих измерений электрических величин, устройства и принципа действия электрических машин постоянного и переменного тока.

Для приобретения обучающимися навыков пользования измерительными приборами и умения выбирать необходимый вид прибора и метод измерения, составлять схемы измерений, фиксировать показания приборов и анализировать полученные результаты программой предусмотрено выполнение практических работ и сдача зачетов по ним.

Данная методическая разработка содержит инструкционные карты практических работ, выполняемых в курсе преподаваемой дисциплины, а также контрольные вопросы, позволяющие обучающимся подготовиться к сдаче зачета.

Ознакомление с правилами эксплуатации приборов

1. Цель:

Изучить устройство лабораторного стенда, научиться собирать простейшие электрические цепи и снимать показания приборов.

2. Оборудование:

Амперметр, вольтметр, ваттметр, лабораторный стенд

3. Краткие сведения из теории.

Для измерения **силы тока** в какой-либо ветви электрической цепи используется **амперметр**, подключаемый последовательно с ее элементами. Для того, чтобы включение амперметра не искажало режима работы цепи, его сопротивление должно быть возможно малым.

Для измерения напряжения используется **вольтметр**, который подключается **параллельно** тому участку цепи, на котором измеряется напряжение. Чтобы подключение вольтметра не приводило к изменению токов цепи, его сопротивление должно быть значительно больше сопротивления ветви, параллельно которой подключен измерительный прибор.

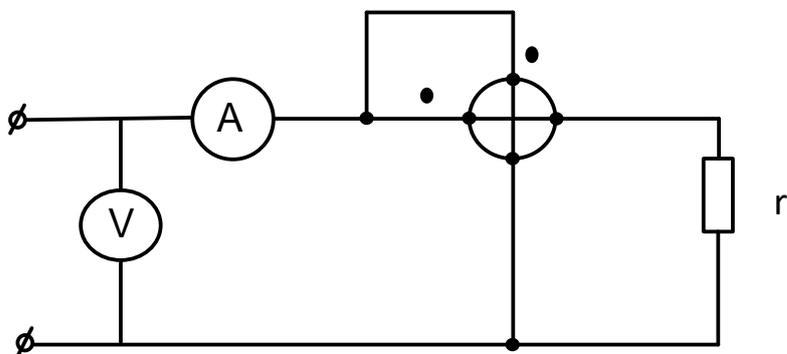
Для измерения мощности в цепях постоянного тока и однофазного переменного тока используются ваттметры электродинамической системы, которые имеют две обмотки: неподвижную (токовую) и подвижную (напряжения). Токовая обмотка ваттметра подключается в цепь последовательно, а обмотка напряжения – параллельно. В соответствии с этим на лицевую панель приборы выведены четыре зажима, два из которых обозначаются символом I (токовые зажимы), а два других символом U (зажимы напряжения). Два зажима маркируются точками (звездочками) и называются **генераторными**. Они подключаются к источнику питания. Два других зажима называются **нагрузочными** и подключаются к потребителю. Необходимо соблюдать правило подключения генераторных и нагрузочных зажимов. В противном случае стрелка прибора будет отклоняться в противоположную сторону. Ваттметр, в отличие от других измерительных приборов, имеет пределы измерения по току и по напряжению, поэтому цена деления ваттметра определяется по формуле:

$$C_p = \frac{I_n \cdot U_n}{\alpha_n}$$

где I_n – предел измерения по току, U_n – предел измерения по напряжению, α_n – количество делений шкалы ваттметра.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме 1.



4.2. Измерить величину силы тока, напряжения и мощности. Показания приборов занести в таблицу 1.

4.3. Произвести аналогичные измерения, изменяя напряжение цепи. Результаты занести в таблицу.

5. Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема подключения измерительных приборов. Таблица №1 с результатами измерений. Вывод по работе.

Таблица 1. Результаты измерений

№ опыта	Показания приборов					
	Вольтметр		Амперметр		Ваттметр	
	α , дел.	U, В	α , дел.	I, А	α , дел.	P, Вт
1						
2						
3						

Цена деления амперметра: $C_I = \frac{I_H}{\alpha_H}$

Цена деления вольтметра: $C_U = \frac{U_H}{\alpha_H}$

Цена деления ваттметра:

$$C_P = \frac{I_H \cdot U_H}{\alpha_H}$$

Контрольные вопросы.

1. Как определяется цена деления прибора с равномерной и неравномерной шкалой?
2. Как подключаются в цепь приборы для измерения силы тока, напряжения, мощности?
3. Как определить цену деления ваттметра?

Лабораторная работа №2

Экспериментальная проверка закона Ома для участка электрической цепи

1. Цель:

опытным путем проверить справедливость закона Ома для участка цепи.

2. Оборудование: амперметр, вольтметр, реостаты, лабораторный стенд

3. Краткие сведения из теории.

Электрическая цепь – это совокупность устройств, предназначенных для получения, передачи и использования электрической энергии.

Элементами электрической цепи являются источники электрической энергии, потребители (приемники) электрической энергии, а также вспомогательные элементы (электрические провода, выключатели, измерительные приборы, предохранители и др.).

Источник электрической энергии – это устройство, в котором происходит преобразование других видов энергии (механической, тепловой, световой и др.) в электрическую. К источникам относятся генераторы, в которых механическая энергия преобразуется в электрическую, а также первичные элементы и аккумуляторы, в которых в электрическую энергию преобразуется тепловая, световая, химическая и другие виды энергии.

В источнике энергии под действием сторонних сил (сил неэлектрического происхождения) происходит разделение зарядов. Под действием возникшего электрического поля заряды начинают двигаться, и в цепи возникает электрический ток. Для количественной оценки энергетических преобразований в источнике вводится понятие **электродвижущей силы (ЭДС)**. ЭДС численно равна работе, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного электрического заряда внутри источника.

Единицей измерения ЭДС является Вольт ($1В=1Дж/1Кл$).

Потребителем (приемником) энергии называется устройство, в котором электрическая энергия преобразуется в энергию других видов (механическую, тепловую и др.) К потребителям относятся электродвигатели, нагревательные

приборы и т.д. Свойство элемента поглощать энергию из электрической цепи и преобразовывать ее в другие виды энергии определяется сопротивлением.

Перемещение заряда по участку цепи сопровождается затратой энергии.

Величину, численно равную работе, совершаемой источником при проведении единичного положительного заряда по участку цепи, называют **напряжением(U)**.

Поскольку электрическая цепь состоит из внешнего участка (потребителя) и внутреннего участка (включающего внутреннее сопротивление источника), то различают напряжение на внешнем (U) и внутреннем (U₀) участках. Единицей измерения напряжения является Вольт (В).

Закон Ома для замкнутой (полной) цепи:

сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе источника питания и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи.

$$I = \frac{E}{R + r_0}$$

где I - сила тока, E – электродвижущая сила, R – внешнее сопротивление (сопротивление потребителя), r₀ – внутреннее сопротивление источника питания.

Закон Ома для участка цепи:

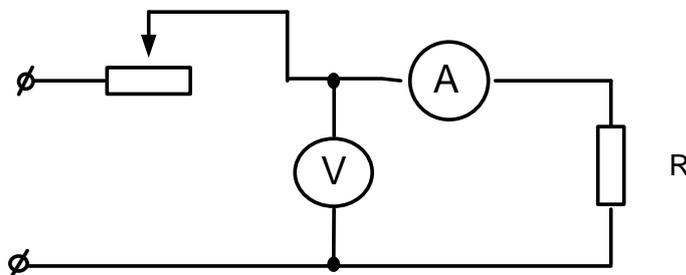
Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению на данном участке и обратно пропорциональна сопротивлению.

$$I = \frac{U}{R}$$

Где I – сила тока, U – напряжение на участке цепи; R – сопротивление.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме 1.



4.2. Определить предел измерения и цену деления шкалы вольтметра и амперметра. Результаты занесите в таблицу 1.

4.3. Выбрать первый резистор R₁. 4. Установить движок реостата в крайнее правое положение. Записать показания амперметра и вольтметра.

4.4. Передвинуть движок реостата в среднее положение. Записать показания амперметра и вольтметра.

4.5. Передвинуть движок реостата в крайнее левое положение. Записать показания амперметра и вольтметра.

4.6. Повторить измерения для резисторов R₂ и R₃. 8. Результаты измерений занести в таблицу 2.

4.7. Пользуясь таблицей, построить графики зависимости силы тока на участке цепи от напряжения на его концах для каждого резистора. Графики можно расположить на одних осях координат.

4.8. Построить графики зависимости силы тока от сопротивления проводника при постоянном напряжении.

- 4.9. На основании построенных графиков сделать вывод о характере зависимости силы тока от напряжения, силы тока от сопротивления и о справедливости закона Ома.

5. Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема проверки закона Ома. Таблицы №1 и №2 с результатами наблюдения и расчетами.

Вывод по работе с анализом основных соотношений электрических параметров. Графики зависимости силы тока от напряжения и от сопротивления.

Таблица 1. Данные измерительных приборов.

	Предел измерения	Цена деления шкалы
Амперметр		
Вольтметр		

Таблица 2. Результаты измерений и расчетов.

№	R	U	I
	Ом	В	А
1			
2			
3			

Контрольные вопросы.

1. Как изменится сила тока в проводнике при увеличении напряжения на нем в два раза?
2. Как изменится сопротивление проводника при увеличении напряжения на нем в два раза?
3. Можно ли включить в сеть с напряжением 15 В реостат на котором написано 6 Ом; 2 А?

Лабораторная работа № 3

Определение баланса мощности и коэффициента полезного действия в цепи постоянного тока

1. Цель:

опытным путем убедиться в справедливости уравнения баланса мощности и приобрести навык определения полезной, полной мощностей и КПД.

2. Оборудование:

Резистор с постоянным сопротивлением, которое принимается за внутреннее сопротивление источника, регулируемый резистор, выключатель, амперметр, два вольтметра, соединительные провода.

3. Краткие сведения из теории.

При замыкании электрической цепи возникает электрический ток и расходуется электрическая энергия. При этом источник питания затрачивает энергию на перемещение зарядов по цепи, т.е. совершает работу. Единица измерения энергии (работы) – Джоуль (Дж).

Величина, представляющая собой скорость преобразования энергии (совершения работы), называется **мощностью** и выражается формулой:

Расчетные формулы.

$$R_2 = \frac{U_2}{I} ; R_1 = \frac{U-U_2}{I} ; P = I \cdot U ;$$

$$P_1 = (U - U_2) \cdot I ; P_2 = U_2 \cdot I ; \eta = \frac{P_2}{P} \cdot 100\%$$

Контрольные вопросы.

1. Дать определение мощности.
2. В каких единицах измеряется мощность в цепи постоянного тока?
3. Чему равен КПД в режиме холостого хода?
4. При каком режиме работы цепи мощность, передаваемая в нагрузку, максимальная?
5. При каком режиме работы ток цепи максимален?
6. Охарактеризовать режим согласованной нагрузки

Лабораторная работа №4

Исследование цепи постоянного тока с параллельным соединением резисторов

1. Цель:

Опытным путем проверить основные соотношения между электрическими величинами в цепи с параллельным соединением резисторов

2. Оборудование:

3. Краткие сведения из теории.

На практике широко используется параллельное соединение приемников (резисторов). На схеме можно выделить характерные участки. Участок цепи, вдоль которого проходит один и тот же ток, называется **ветвью**; точка соединения трех и более ветвей называется **узлом**. Соединение называется **параллельным**, если к одной паре узлов присоединены несколько приемников (ветвей). Ток источника питания разветвляется в узле по трем ветвям на токи I_1, I_2, I_3 . Таким образом,

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Эта формула является математическим выражением **первого закона Кирхгофа**: *сумма токов, направленных к узлу электрической цепи равна сумме токов, направленных от этого узла*. Если все члены данного выражения перенести в левую часть, получим

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

В таком виде первый закон Кирхгофа формулируется так: *алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равна нулю*. При этом токи, входящие в узел, положительны, выходящие из узла – отрицательны.

При параллельном соединении все потребители присоединяются к одним и тем же узлам, поэтому находятся под одним и тем же напряжением

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

Токи, протекающие по потребителям, в сумме дадут общий ток цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Эквивалентное сопротивление цепи с параллельным соединением потребителей можно рассчитать по формуле:

1	Резистор r_1						
	Резистор r_2						
	Резистор r_3						
	Вся цепь						
2	Резистор r_1						Уменьшено сопротивление резистора r_2
	Резистор r_2						
	Резистор r_3						
	Вся цепь						
3	Резистор r_1						Отключен резистор r_2
	Резистор r_2						
	Резистор r_3						
	Вся цепь						

Расчетные формулы:

$$R = \frac{U}{I} \quad P = U \cdot I \quad g = \frac{I}{U}$$

Контрольные вопросы.

1. Как распределяются токи и напряжения при параллельном соединении резисторов?
2. Как определить эквивалентное сопротивление цепи с параллельным соединением резисторов?
3. Как изменится ток цепи при отключении второго резистора?

Лабораторная работа №5

Исследование цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

1. Цель:

Опытным путем проверить основные соотношения между электрическими величинами в цепи со смешанным соединением резисторов

2. Оборудование:

3. Краткие сведения из теории.

Смешанное соединение представляет собой комбинацию последовательного и параллельного соединения сопротивлений. Для расчета такой цепи необходимо выделять участки, соединенные последовательно или параллельно и заменять их эквивалентными сопротивлениями. Цепь постепенно упрощается. Токи и напряжения на отдельных участках цепи определяются по закону Ома.

Для последовательного соединения потребителей:

$$I_1 = I_2 = I_3$$

$$U_1 + U_2 + U_3 = U$$

$$R_{\text{экр.}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Для параллельного соединения потребителей:

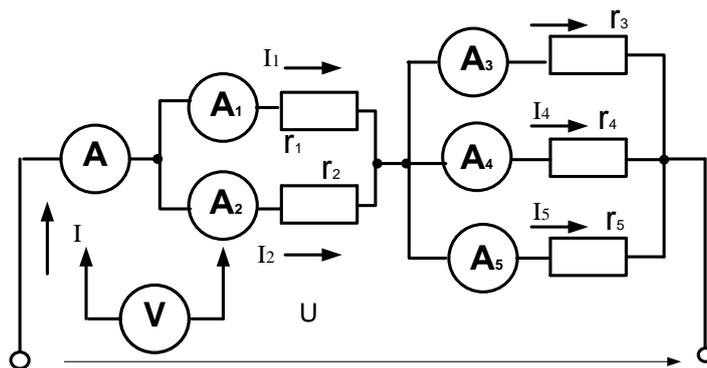
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

$$\frac{1}{R_{\text{экр.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме 1.



4.2. Измерить токи и напряжения на резисторах и во всей цепи.

4.3. Отключить резистор r_2 , повторить п.4.2.

4.4. Замкнуть накоротко резистор r_2 , повторить п.4.2.

4.5. Результаты измерений занести в таблицу 1.

4.6. Рассчитать мощности каждого резистора и всей цепи для трех опытов.

4.7. Рассчитать сопротивления каждого резистора и всей цепи для трех опытов.

4.8. Результаты расчетов занести в таблицу 1.

5. Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема смешанного соединения резисторов. Таблица с результатами наблюдения и расчетами. Вывод по работе с анализом основных соотношений электрических параметров в цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

№ оп.	Участок цепи	U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	Примечание
1	Резистор r_1					
	Резистор r_2					
	Резистор r_3					
	Резистор r_4					
	Резистор r_5					
	Вся цепь					
2	Резистор r_1					Отключен резистор r_2
	Резистор r_2					
	Резистор r_3					
	Резистор r_4					
	Резистор r_5					
	Вся цепь					
3	Резистор r_1					Резистор r_2 замкнут накоротко
	Резистор r_2					
	Резистор r_3					
	Резистор r_4					
	Резистор r_5					
	Вся цепь					

Расчетные формулы:

$$R = \frac{U}{I} \quad P = U \cdot I$$

Контрольные вопросы.

1. И каких участков состоит исследуемая цепь?
2. Как распределяются токи и напряжения на участках данной цепи?
3. Что произойдет с токами первого и второго резистора при отключении второго резистора?
4. Что произойдет с напряжениями первого и второго резистора при отключении второго резистора?
5. Как изменится ток цепи при отключении второго резистора и почему?
6. Что значит «резистор замкнут накоротко»?
7. Как изменится полное сопротивление цепи при замыкании накоротко второго резистора?
8. Чему равно напряжение на замкнутом резисторе?

Лабораторная работа №6.

Исследование законов электромагнитной индукции

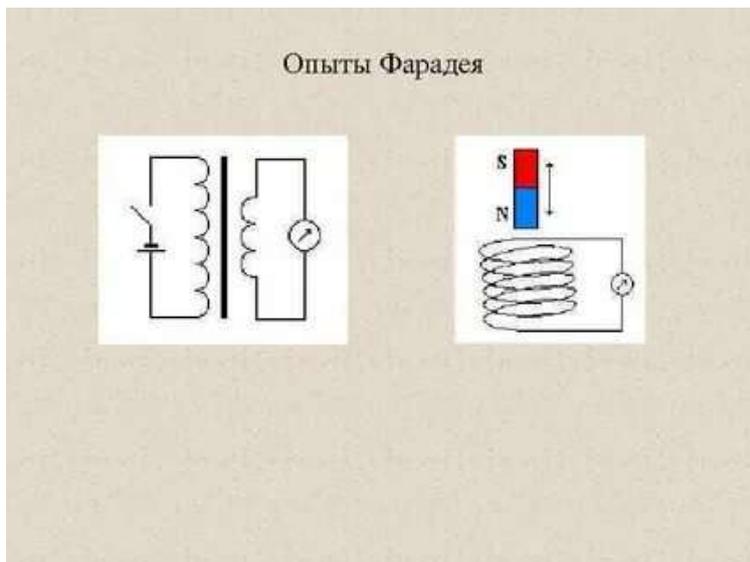
1. **Цель:** экспериментальное изучение явления магнитной индукции, проверка правила Ленца.
2. **Оборудование:** Миллиамперметр, источник питания, катушки с сердечниками, дугообразный магнит, выключатель кнопочный, соединительные провода, магнитная стрелка (компас), реостат.
3. **Краткие сведения из теории.**

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном во времени магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется. В нашем случае разумнее было бы менять во времени магнитное поле, так как оно создается движущимися (свободно) магнитом. Согласно правилу Ленца, возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. В данном случае это мы можем наблюдать по отклонению стрелки миллиамперметра.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Вводя магнит в катушку одним полюсом (северным) и выводя ее, мы наблюдаем, что стрелка амперметра отклоняется в разные стороны. В первом случае число линий магнитной индукции, пронизывающих катушку (магнитный поток), растёт, а во втором случае – наоборот. Причем в первом случае линии индукции, созданные магнитным полем индукционного тока, выходят из верхнего конца катушки, так как катушка отталкивает магнит, а во втором случае, наоборот, входят в этот конец. Так как стрелка амперметра отклоняется, то направление индукционного тока меняется. Именно это показывает нам правило Ленца. Вводя магнит в катушку южным полюсом, мы наблюдаем картину, противоположную первой.

4.2. (Случай с двумя катушками) В случае с двумя катушками при размыкании ключа стрелка амперметра смещается в одну сторону, а при замыкании в другую. Это объясняется тем, что при замыкании ключа, ток в первой катушке создает магнитное поле. Это поле растёт, и число линий индукции, пронизывающих вторую катушку, растёт. При размыкании число линий падает. Следовательно, по правилу Ленца в первом случае и во втором индукционный ток противодействует тому изменению, которым он вызван. Изменение направления индукционного тока нам показывает тот же амперметр, и это подтверждает правило Ленца.



5. Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема опыта. Вывод по работе с анализом явлений электромагнитной индукции и взаимной индукции

Контрольные вопросы.

1. В чем заключается суть явления электромагнитной индукции?
2. Сформулировать правило правой руки для определения направления ЭДС, наведенной в проводнике.
3. Сформулировать правило Ленца.
4. В чем заключается суть явления самоиндукции?
5. Указать единицу измерения индуктивности.
6. В чем заключается суть явления взаимной индукции?

Лабораторная работа №7 Резонанс напряжений

1. Цель:

Опытным путем получить резонанс напряжений в последовательном колебательном контуре и исследовать его основные свойства

2. **Оборудование:** амперметр переменного тока, вольтметры переменного тока, катушка индуктивности, конденсатор переменной емкости, лабораторный стенд.

3. Краткие сведения из теории.

Резонансом напряжений называется явление в цепи последовательного колебательного контура, при котором ток цепи совпадает по фазе с напряжением источника.

Основным признаком резонанса напряжений является равенство индуктивной и емкостной составляющих напряжения. Это возможно в том случае, когда $X_L = X_C$. При этом полное сопротивление цепи равно активному сопротивлению ($Z = r$), реактивное сопротивление цепи равно нулю, а ток в цепи принимает максимальное значение. Векторная диаграмма для случая резонанса напряжений изображена на рис.1.4.12.

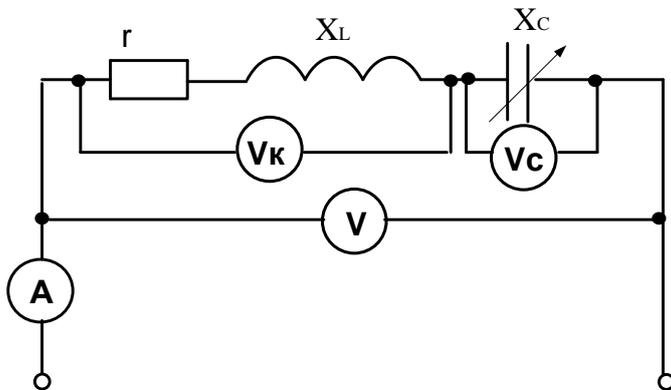
Реактивные мощности индуктивности и емкости компенсируют друг друга, поэтому полная мощность цепи в момент резонанса равна активной мощности, при этом коэффициент мощности принимает максимальное значение ($\cos\varphi = 1$).

Из условия резонанса напряжений ($X_L = X_C$) можно вывести формулу для резонансной частоты колебательного контура:

$$f_{\text{рез.}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

4. **Порядок выполнения работы.**

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме 1.



- 4.2. Изменяя емкость конденсатора, провести пять опытов, измеряя ток в цепи и напряжения на ее участках. При этом необходимо зафиксировать резонанс напряжений и выход из него.
- 4.3. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.
- 4.4. Построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех опытов (до резонанса, резонанс и выход из резонанса).

5. **Содержание отчета.**

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема Последовательного колебательного контура. Таблица №1 с результатами наблюдения и расчетами. Векторные диаграммы для трех опытов. Вывод по работе с анализом основных особенностей резонанса напряжений.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

№ оп.	Измеренные величины				Вычисленные величины							Примечание
	I, А	U, В	U _к , В	U _с , В	Z, Ом	Z _к , Ом	X _L , Ом	U _L , В	X _C , Ом	C, мкФ		
												r = $\frac{U}{I}$ при резонансе напряжений

Расчетные формулы:

1. $Z = \frac{U}{I}$ 2. $Z_k = \frac{U_k}{I}$ 3. $X_L = \sqrt{Z_k^2 - r^2}$ 4. $U_L = I \cdot X_L$ 5. $X_C = \frac{U_c}{I}$

2. $C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$

Контрольные вопросы.

1. Что такое резонанс напряжений?
2. Каковы условия резонанса напряжений?
3. Как изменится величина тока в цепи в момент резонанса напряжений?
4. Чему равен коэффициент мощности при резонансе напряжений?
5. Что показывает величина коэффициента мощности?

6. Какой характер носит полное напряжение цепи в момент резонанса напряжений?

Лабораторная работа №8 Резонанс токов

1. Цель:

Опытным путем получить резонанс токов в параллельном колебательном контуре и исследовать его основные свойства

2. **Оборудование:** амперметры переменного тока, вольтметр переменного тока, катушка индуктивности, конденсатор переменной емкости, лабораторный стенд.
3. **Краткие сведения из теории.**

Резонансом токов называется явление в цепи с параллельным колебательным контуром, при котором ток в неразветвленной части цепи совпадает с напряжением источника по фазе.

Для того, чтобы ток в неразветвленной части цепи совпадал с напряжением по фазе, необходимо, чтобы индуктивная и емкостная составляющие токов были равны по величине ($I_L=I_C$). Тогда они скомпенсируют друг друга, и полный ток цепи будет равен активной составляющей тока. Ток в неразветвленной части цепи в момент резонанса примет свое минимальное значение.

Равенство реактивных составляющих токов в ветвях возможно, если равны реактивные проводимости ветвей ($b_L=b_C$).

$$b_L = \frac{X_L}{r^2 + X_L^2} \text{ - реактивная проводимость катушки,}$$

$$b_C = \frac{1}{X_C} \text{ - реактивная проводимость конденсатора.}$$

Тогда полная проводимость цепи будет равна активной проводимости и примет минимальное значение:

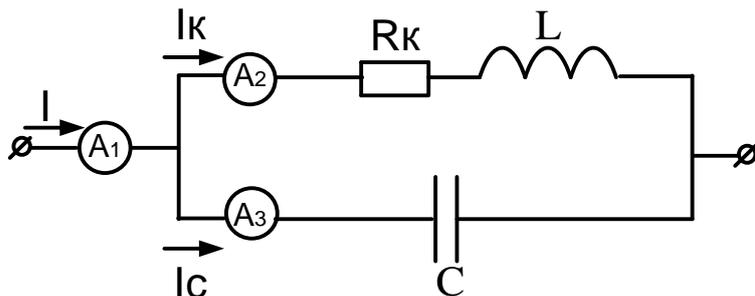
$$y = \sqrt{g^2 + (b_L - b_C)^2} = g$$

$$g = \frac{r}{r^2 + X_L^2} \text{ - активная проводимость цепи.}$$

При резонансе токов ток совпадает по фазе с напряжением, поэтому коэффициент мощности будет максимален ($\cos\varphi=1$). В этом случае реактивная мощность цепи равна нулю.

4. Порядок выполнения работы.

- 4.1. Собрать электрическую цепь по схеме
- 4.2. Изменяя емкость конденсатора, провести пять опытов, измеряя напряжение цепи, общий ток цепи и токи в ветвях. При этом необходимо зафиксировать резонанс токов и выход из него.
- 4.3. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.
- 4.4. Построить векторные диаграммы тока и напряжений для трех опытов (до резонанса, резонанс и выход из резонанса).



5. Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема последовательного колебательного контура. Таблица 1 с результатами наблюдения и расчетами. Векторные диаграммы для трех опытов. Вывод по работе с анализом основных особенностей резонанса токов.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

№ оп.	Измеренные величины				Вычисленные величины						Примечание
	U, В	I, А	I _к , А	I _с , А	y _к , См	b _к , См	b _с , См	I _л , А	X _с , Ом	C, мкФ	
											g = $\frac{I}{U}$ при резонансе токов

Расчетные формулы:

$$1. y_k = \frac{I_k}{U} \quad 2. b_k = \sqrt{y_k^2 - g^2}$$

$$3. b_c = \frac{I_c}{U} \quad 4. I_L = U \cdot b_k$$

$$5. X_c = \frac{U}{I_c} \quad 6. C = \frac{10^6}{2\pi \cdot f \cdot X_c}$$

Контрольные вопросы.

- Что такое резонанс токов?
- Каковы условия резонанса токов?
- Как изменится величина тока в цепи в момент резонанса токов?
- Чему равен коэффициент мощности при резонансе токов?
- Что показывает величина коэффициента мощности?
- Какой характер носит полный ток цепи в момент резонанса токов?

Лабораторная работа №9.

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников звездой

1. Цель:

Экспериментально проверить свойства цепи трехфазного тока при соединении приемников звездой. Выяснить роль нулевого провода в четырехпроводной системе. Построить векторные диаграммы для трехфазной цепи.

2. Оборудование:

Источник трехфазного тока, амперметры, вольтметр, магазин сопротивлений, однополюсный выключатель.

3. Каткие сведения из теории.

При соединении приемников звездой трехфазная система может быть **четырёхпроводная** (с нулевым проводом) или **трехпроводная** (без нулевого провода).

В четырехпроводной системе нулевой провод обеспечивает равенство фазных напряжений генератора и соответствующих фазных напряжений потребителей. Токи, протекающие в каждой фазе, называются **фазными (I_ф)**, токи, протекающие по линейным проводам от генератора к потребителю, называются **линейными (I_л)**. При соединении потребителей звездой линейные токи равны фазным .

$$I_L = I_\Phi$$

Определение фазных токов производится так же, как и для однофазных цепей переменного тока:

$$I_A = \frac{U_A}{Z_A}; I_B = \frac{U_B}{Z_B}; I_C = \frac{U_C}{Z_C}$$

где U_A, U_B, U_C – фазные напряжения, Z_A, Z_B, Z_C – полные сопротивления фаз.

Действующее значение тока в нулевом проводе можно определить путем геометрического сложения векторов фазных токов:

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

Различают два вида нагрузки трехфазной цепи.

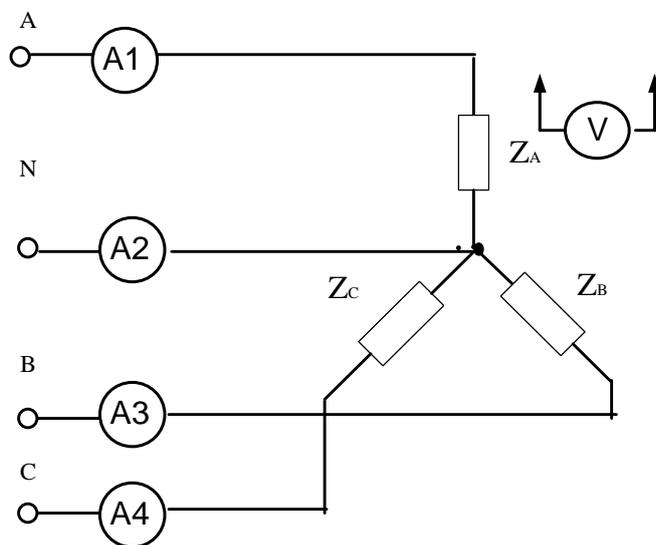
Симметричная нагрузка – это тот случай, когда сопротивления нагрузки всех трех фаз равны по величине и одинаковы по характеру. В этом случае токи всех трех фаз будут равны по величине и сдвинуты по фазе друг относительно друга на 120° . Ток в нулевом проводе будет равен нулю. В этом случае нулевой провод не нужен.

Примером симметричной нагрузки фаз может являться двигатель.

При **несимметричной** нагрузке фаз сопротивления нагрузки фаз могут различаться как по величине, так и по характеру. В этом случае токи фаз будут иметь разную величину, и угол сдвига фаз между ними будет отличен от 120° . Поэтому при несимметричной нагрузке в нулевом проводе появляется ток, равный геометрической сумме векторов фазных токов. При этом нулевой провод обеспечивает равенство фазных напряжений электроприемников. Обрыв нулевого провода при несимметричной нагрузке приведет к тому, что на одних фазах напряжение уменьшится, а на других возрастет. Это является аварийной ситуацией. Поэтому во избежание разрыва нулевого провода в нем не устанавливают предохранители и выключатели.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме 1.



4.2. Произвести измерения токов и напряжений при симметричной нагрузке без нулевого провода (разомкнут выключатель). Результаты занести в таблицу 1

4.3. Произвести измерения токов и напряжений при симметричной нагрузке с нулевым проводом (замкнут выключатель). Результаты занести в таблицу

4.4. Произвести измерения токов и напряжений при несимметричной нагрузке без нулевого провода (разомкнут выключатель). Результаты занести в таблицу.

4.5. Произвести измерения токов и напряжений при несимметричной нагрузке с нулевым проводом (замкнут выключатель). Результаты занести в таблицу.

4.6. Построить векторные диаграммы токов и напряжений для 2 и 4 опытов.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

№ опыта	I_A, A	I_B, A	I_C, A	I_0, A	$U_A, В$	$U_B, В$	$U_C, В$	$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	Примечание
1											Симметричная нагрузка без нулевого провода
2											Симметричная нагрузка с нулевым проводом
3											Несимметричная нагрузка без нулевого провода
4											Несимметричная нагрузка с нулевым проводом

Содержание отчета.

Наименование и цель работы. Перечень оборудования и приборов. Схема соединения приемников звездой. Таблица №1 с результатами наблюдения и расчетами. Векторные диаграммы для 2 и 4 опытов. Вывод по работе с анализом особенностей трехфазной цепи с симметричной и несимметричной нагрузкой фаз. Роль нулевого провода.

Контрольные вопросы:

1. Что такое симметричная нагрузка фаз?
2. Чему равен ток в нулевом проводе при симметричной нагрузке?
3. Каковы признаки несимметричной нагрузки фаз?
4. Какова роль нулевого провода при несимметричной нагрузке?
5. Что такое перекос фаз?

Лабораторная работа №10.

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников треугольником

1. Цель:

Экспериментально проверить свойства цепи трехфазного тока при соединении приемников треугольником при симметричной и несимметричной нагрузке фаз. Построить векторные диаграммы для трехфазной цепи.

2. Оборудование:

Источник трехфазного тока, амперметры, вольтметр, магазин сопротивлений, однополюсный выключатель.

3. Краткие сведения из теории.

При соединении приемников треугольником отдельные фазы приемника присоединяются к линейным проводам, идущим от генератора. При этом каждая фаза приемника включается на линейное напряжение, которое в то же время будет и фазным.

$$U_A = U_{AB}; U_B = U_{BC}; U_C = U_{CA}$$

Если записать первый закон Кирхгофа для трех точек приемников, то можно выразить линейные токи через фазные следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{I}_A &= \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} \\ \vec{I}_B &= \vec{I}_{BC} - \vec{I}_{AB} \end{aligned}$$

$$\vec{I}_C = \vec{I}_{CA} - \vec{I}_{BC}$$

Для **симметричной** нагрузки фазные токи равны между собой и сдвинуты по фазе на угол 120° . Полученные как разности векторов фазных токов векторы линейных токов также будут равны между собой и сдвинуты по фазе на 120° . (рис.1.5.6,б). Из данной векторной диаграммы можно получить соотношение, связывающее фазные и линейные токи при симметричной нагрузке:

$$I_L = \sqrt{3}I_\Phi$$

Для расчета трехфазной цепи при симметричной нагрузке, как в случае соединения звездой, достаточно рассчитать одну фазу. Активная, реактивная и полная мощности такой системы определяются по формулам:

$$P = 3P_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \cos\varphi_\Phi$$

$$Q = 3Q_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi \sin\varphi_\Phi$$

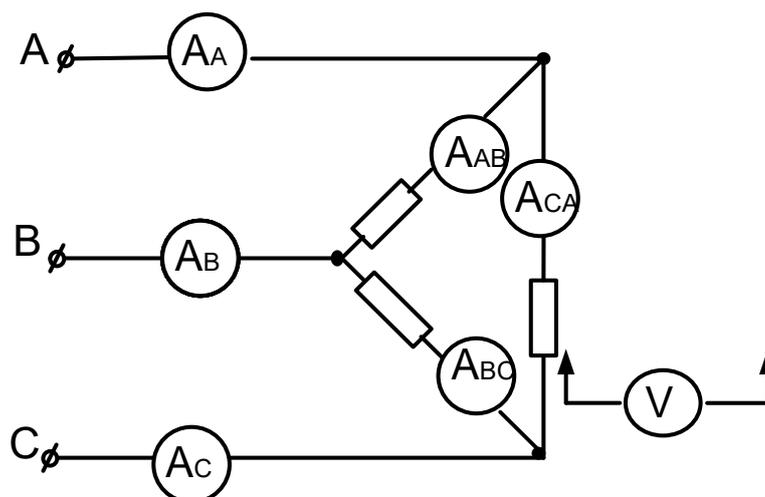
$$S = 3S_\Phi = 3U_\Phi I_\Phi$$

При **несимметричной** нагрузке фазные токи не равны по величине и имеют разные углы сдвига фаз. Поэтому линейные токи можно определить только графически из векторной диаграммы.

Расчет трехфазной цепи при несимметричной нагрузке предполагает расчет каждой фазы отдельно. Активная, реактивная и полная мощности определяются как суммы соответствующих мощностей трех фаз.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Собрать электрическую цепь по схеме.



- 4.2. После проверки схемы преподавателем задать симметричную нагрузку фаз, измерить фазные и линейные напряжения и токи.
- 4.3. Результаты занести в таблицу 1.
- 4.4. Провести опыт с обрывом линейного провода А при симметричной нагрузке.
- 4.5. Результаты занести в таблицу.
- 4.6. Провести опыт с несимметричной нагрузкой фаз.
- 4.7. Для последнего опыта построить векторную диаграмму, из которой определить линейные токи графически и сравнить с измеренными величинами.

Таблица 1. Результаты измерений и расчетов.

$U_{AB}, В$	$U_{BC}, В$	$U_{CA}, В$	$I_A, А$	$I_B, А$	$I_C, А$	$I_{AB}, А$	$I_{BC}, А$	$I_{CA}, А$	Примечание
									Симметричная нагрузка
									Симметричная нагрузка, оборван линейный провод

									А
									Несимметричная нагрузка

Контрольные вопросы.

1. Как соотносятся между собой величины фазных и линейных токов для соединения потребителей треугольником при симметричной нагрузке фаз?
2. Как определить линейные токи, исходя из фазных, при несимметричной нагрузке фаз, соединенной треугольником?
3. Что такое симметричная нагрузка фаз?
4. Сколько токов протекает в цепи, нагрузка которой соединена треугольником?
5. Какой характер имеет нагрузка, если в трехфазную цепь треугольником включены три лампы одинаковой мощности?

Практическая работа №1

Расчет цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов

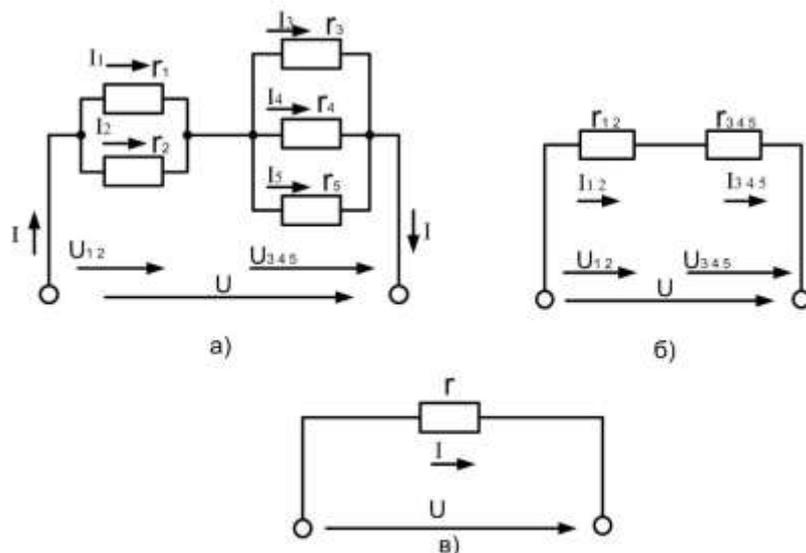
1. **Цель:** рассчитать электрическую цепь со смешанным соединением резисторов, определить недостающие параметры цепи
2. **Оборудование:** карточки с вариантами заданий.
3. **Краткие сведения из теории.**

Смешанное соединение представляет собой комбинацию последовательного и параллельного соединения сопротивлений. Для расчета такой цепи необходимо выделять участки, соединенные последовательно или параллельно и заменять их эквивалентными сопротивлениями. Цепь постепенно упрощается. Токи и напряжения на отдельных участках цепи определяются по закону Ома.

Рассмотрим расчет цепи постоянного тока со смешанным соединением резисторов на конкретном примере.

Цепь постоянного тока, схема которой приведена на рис.1.2.5, состоит из четырех резисторов, сопротивления которых равны: $R_1=5$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=12$ Ом, $R_4=6$ Ом, напряжение, приложенное к цепи, $U=60$ В.

Определить эквивалентное сопротивление всей цепи $R_{\text{экв.}}$, мощность, потребляемую цепью, P и токи, проходящие через каждый резистор: I_1, I_2, I_3, I_4 .



Ход решения:

1. Обозначим стрелками токи, проходящие через каждый резистор.

2. Определим эквивалентное сопротивление цепи:

а) т.к. R_1 и R_2 соединены последовательно, то

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 5 + 6 = 11 \text{ Ом};$$

б) т.к. R_3 и R_4 соединены параллельно, то

$$R_{34} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{12 \cdot 6}{12 + 6} = 4 \text{ Ом}$$

в) Эквивалентное сопротивление:

$$R_{\text{экв.}} = R_{12} + R_{34} = 11 + 4 = 15 \text{ Ом}$$

3. Ток в цепи:

$$I = \frac{U}{R_{\text{экв.}}} = \frac{60}{15} = 4 \text{ А}$$

4. Мощность, потребляемая цепью:

$$P = U \cdot I = 60 \cdot 4 = 240 \text{ Вт}$$

5. Токи, проходящие через каждый резистор:

а) $I_1 = I_2 = I_{34} = 4 \text{ А}$, т.к. соединение на участках с этими сопротивлениями последовательное.

б) токи в сопротивлениях R_3 и R_4 найдем по закону Ома, где

$$U_3 = U_4 = U_{34} = I_{34} \cdot R_{34} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ В}$$

$$I_3 = \frac{U_{34}}{R_3} = \frac{16}{12} = 1,33 \text{ А}$$

$$I_4 = \frac{U_{34}}{R_4} = \frac{16}{6} = 2,67 \text{ А}$$

Практическая работа №2

Расчет сложных электрических цепей методами узловых и контурных уравнений и методом контурных токов

1. **Цель:** рассчитать сложную электрическую цепь, определив токи в ветвях цепи
2. **Оборудование:** карточки с вариантами заданий.
3. **Краткие сведения из теории.**

Сложной называется разветвленная цепь с несколькими источниками электроэнергии в разных параллельных ветвях.

В сложных цепях источники ЭДС могут располагаться в ветвях произвольно в любом количестве и с произвольным выбором полярности подключения.

Нужно, прежде всего, усвоить, что означают такие понятия как узел, ветвь, контур. Необходимо также четкое понимание первого и второго законов Кирхгофа и умение их применять при расчете сложных цепей. Затем приступайте к разбору и усвоению метода узловых и контурных уравнений.

При расчете сложных цепей чаще всего приходится определять токи в ветвях по заданным ЭДС и сопротивлениям ветвей. Для этой цели рекомендуется следующий порядок решения этих задач:

а) составляется электрическая схема цепи;

б) подсчитывается число неизвестных токов (ветвей) и устанавливаются для них произвольные направления;

в) подсчитывается число узлов, и для них составляются уравнения на основании первого закона Кирхгофа, число уравнений всегда на единицу меньше числа узлов;

г) недостающие уравнения до числа неизвестных токов составляются на основании второго закона Кирхгофа. При этом направление обхода контура можно выбирать произвольно.

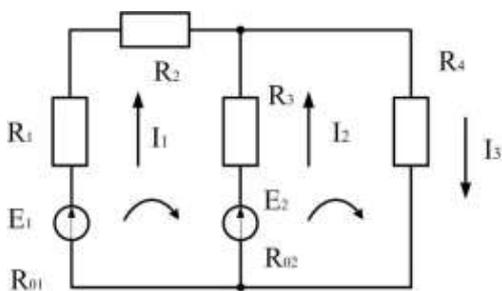
Если в результате решения системы уравнений получаются отрицательные значения токов каких-либо ветвей, то это означает, что действительные направления токов в этих ветвях противоположны выбранным.

Непосредственно перед решением задач следует разобрать пример.

Пример решения.

Дана сложная цепь постоянного тока. ЭДС источников соответственно равны $E_1=40$ В, $E_2=30$ В. Их внутренние сопротивления $R_{01}=1$ Ом, $R_{02}=0.5$ Ом, сопротивления потребителей $R_1=3$ Ом, $R_2=6$ Ом, $R_3=9.5$ Ом, $R_4=20$ Ом.

Определить токи в ветвях.



1. Произвольно выбираем направления токов в ветвях (количество неизвестных токов равно количеству ветвей, следовательно, у нас будет три тока: I_1 , I_2 , I_3).
2. Составляем систему из трех линейных уравнений по первому и второму законам Кирхгофа. Количество уравнений, составленных по первому закону Кирхгофа, на 1 меньше количества узлов цепи (в нашем случае – одно уравнение). Остальные (в нашем случае – два уравнения) составляются по второму закону Кирхгофа для произвольно выбранных контуров.

Направления обхода контуров выбирается произвольно (в нашем случае – по часовой стрелке).

3. $I_1 + I_2 = I_3$
 $E_1 - E_2 = I_1 \cdot (R_{01} + R_1 + R_2) - I_2 \cdot (R_3 + R_{02})$
 $E_2 = I_2 \cdot (R_3 + R_{02}) + I_3 \cdot R_4$

4. Подставляя в систему данные из условия, получаем:

$$I_1 + I_2 = I_3$$
$$10 = 10I_1 - 10I_2$$
$$30 = 10I_2 + 20I_3$$

5. Для упрощения решения разделим обе части первого и второго уравнения на 10. Получим:

$$I_1 + I_2 = I_3$$
$$1 = I_1 - I_2$$
$$3 = I_2 + 2I_3$$

Далее используем метод подстановки, т.е. в третье уравнение подставляем вместо I_3 его выражение из первого уравнения:

$$3 = I_2 + 2 \cdot (I_1 + I_2)$$

Раскрыв скобки и приведя подобные слагаемые, получаем:

$$3 = 2I_1 + 3I_2$$

Умножаем второе уравнение на 2.

$$2 = 2I_1 - 2I_2$$

Путем вычитания третьего уравнения из второго избавляемся от тока I_1 и получаем:

$$I_2 = 0.2A$$

Подставив данный ток во второе уравнение, получим $I_1 = 1,2$ А. Из первого уравнения получим $I_3 = 1,4$ А.

Если в результате расчета ток получился отрицательный, необходимо на исходной схеме изменить его направление на противоположное.

Метод контурных токов

Основу метода КТ составляет предположение о том, что по каждому замкнутому контуру сложной цепи протекает некий свой КТ.

Таким образом, для решения задачи методом КТ нам необходимо задаться в каждом контуре своим КТ с произвольным направлением, чаще всего, совпадающим с направлением хода часовой стрелки.

КТ обозначаются индексом с двойным указанием номера контура, например, I_{11} , I_{22} и так далее. Это делается для того, чтобы впоследствии не перепутать их с токами в ветвях, которые обозначаются одиночным индексом с номером ветви: I_1 , I_2 .

После обозначения КТ и присвоения им направления в действие вступает второй закон Кирхгофа. Сумма падений напряжения в каждом контуре равна сумме ЭДС. А падения напряжения находятся как произведение КТ на сопротивление элемента цепи.

Причем, если направление КТ совпадает с направлением обхода контура, то значение падения напряжения, вызванного этим током, принимается положительным, а если не совпадает – отрицательным.

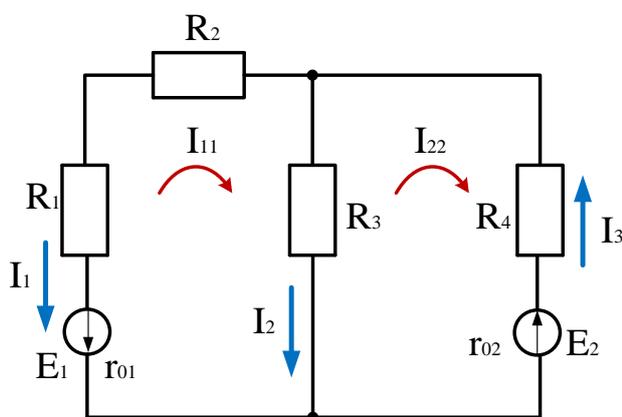
Та же ситуация и со знаком при ЭДС, имеющихся в контуре и располагающихся в правой части равенства по закону Кирхгофа: если направление ЭДС совпадает с направлением обхода контура, то она положительная, а если не совпадает – отрицательная.

Итак, мы получаем уравнения для каждого контура. Число этих уравнений равно числу КТ, то есть числу неизвестных. А это значит, что мы получаем систему уравнений, решить которую можно любым известным способом.

Главное, что в итоге мы получим значения КТ. Причем, если какие-то из этих значений окажутся отрицательными, то это просто значит, что изначально мы задались неверным направлением для этого КТ.

Токи в ветвях найдутся уже именно как суммы КТ, протекающих в этих самых ветвях. Проверку можно выполнить по первому закону Кирхгофа: сумма токов в каждом узле цепи должна быть равна нулю

Пример решения.



Дано:

$E_1=30 \text{ В}$
 $E_2=108 \text{ В}$
 $r_{01}=0.5 \text{ Ом}$
 $r_{02}=1 \text{ Ом}$
 $R_1=2.5 \text{ Ом}$
 $R_2=2 \text{ Ом}$
 $R_3=10 \text{ Ом}$
 $R_4=1 \text{ Ом}$

Определить токи в ветвях

1. Произвольно определяем направления токов в ветвях.
2. Выбираем любые два контура таким образом, чтобы они в совокупности охватывали все ветви цепи. Произвольно задаем направления контурных токов I_{11} и I_{22} . Направления обхода выбранных нами контуров будут совпадать с направлением контурных токов (для удобства).
3. Записываем для выбранных контуров второй закон Кирхгофа, но теперь с использованием контурных токов. В левой части у нас алгебраическая сумма ЭДС источников данного контура. Если ЭДС совпадает по направлению с обходом, то она положительна, если не совпадает – отрицательна. В правой части первое слагаемое – это всегда произведение основного контурного тока на сумму всех сопротивлений контура. А второе слагаемое – это произведение дополнительного в данном случае контурного тока на полное сопротивление той ветви, по которой в данном контуре протекают два контурных тока. Причем, дополнительный контурный ток будет положительным, если в общей ветви он имеет то же направление, что и основной контурный ток. Если же в этой ветви дополнительный контурный ток направлен в другую сторону относительно основного, то он будет отрицательным.

В нашем случае два неизвестных контурных тока, поэтому уравнений по второму закону Кирхгофа для контурных токов тоже будет два.

$$\begin{aligned}
 -E_1 &= I_{11} \cdot (r_{01} + R_1 + R_2 + R_3) - I_{22} \cdot R_3 \\
 -E_2 &= I_{22} \cdot (r_{02} + R_4 + R_3) - I_{11} \cdot R_3
 \end{aligned}$$

4. Подставляем в систему данные из условия и получаем:

$$\begin{aligned}
 -30 &= 15I_{11} - 10I_{22} \\
 -108 &= 12I_{22} - 10I_{11}
 \end{aligned}$$

5. Решаем систему из двух уравнений с двумя неизвестными. Чтобы мы могли уничтожить ток I_{11} , нам нужно добиться одинаковых коэффициентов для данного тока в первом и втором уравнениях. Для этого мы первое уравнение домножим на 2, а второе на 3. Получаем:

$$-60 = 30I_{11} - 20I_{22}$$

$$-324 = -30I_{11} + 36I_{22}$$

Складываем два уравнения и получаем:

$$-384 = 16I_{22}$$

Отсюда $I_{22} = -24\text{A}$.

Подставляем значение тока I_{22} в любое из двух уравнения (мы подставим в первое):

$$-60 = 30I_{11} - 20 \cdot (-24) = 30I_{11} + 480$$

$$\text{Отсюда } I_{11} = \frac{-60-480}{30} = -18\text{ A}$$

6. Контурные токи получились отрицательные. Мы не меняем их направления на исходной схеме, а просто при нахождении токов в ветвях используем их отрицательные значения.
7. Определяем токи в ветвях.

Для этого смотрим на первую ветвь. По ней протекает только один контурный ток I_{11} . Поэтому ток в первой ветви равен этому контурному току, но с противоположным знаком, т.к. ток в ветви I_1 и контурный ток I_{11} направлены в противоположные стороны.

$$I_1 = -I_{11} = 18\text{ A}$$

По второй ветви протекают два контурных тока I_{11} и I_{22} . Ток I_{11} совпадает по направлению с током в ветви I_2 , поэтому он берется со знаком «+». Контурный ток I_{22} не совпадает по направлению с током в ветви I_2 , поэтому он берется со знаком «-». Получаем:

$$I_2 = I_{11} - I_{22} = -18 - (-24) = 6\text{ A}$$

По третьей ветви протекает один контурный ток I_{22} , поэтому ток в ветви I_3 будет равняться контурному току I_{22} , но со знаком «-», т.к. они направлены в разные стороны. Получаем:

$$I_3 = -I_{22} = 24\text{ A}$$

Все токи в ветвях получились положительными, это значит, что выбранное нами направление верно.

Практическая работа №3

Расчет сложных электрических цепей методами узловых потенциалов и методом наложения

1. **Цель:** рассчитать сложную электрическую цепь, определив токи в ветвях цепи
2. **Оборудование:** карточки с вариантами заданий.
3. **Краткие сведения из теории.**

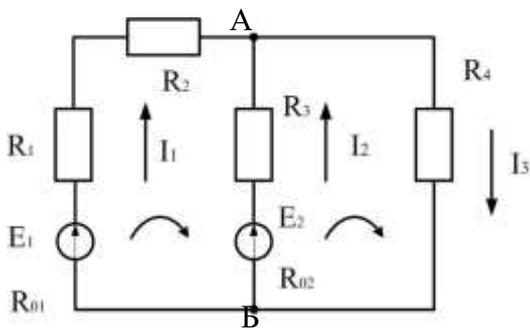
Метод двух узлов — метод расчета электрических цепей, в котором за искомое (с его помощью определяют затем и токи ветвей) принимают напряжение между двумя узлами схемы.

Часто встречаются схемы, содержащие всего два узла. Наиболее рациональным методом расчета токов в них является метод двух узлов.

Формула для расчета напряжения между двумя узлами:

где E_k — напряжение источника ЭДС k -той ветви, а g_k — проводимость k -той ветви.

Пример решения.



Дано:

$$E_1=40 \text{ В}$$

$$E_2=30 \text{ В}$$

$$R_{01}=1 \text{ Ом}$$

$$R_{02}=0.5 \text{ Ом}$$

$$R_1=3 \text{ Ом}$$

$$R_2=6 \text{ Ом}$$

$$R_3=9.5 \text{ Ом}$$

$$R_4=20 \text{ Ом.}$$

Определить токи в ветвях.

1. Произвольно выбираем направления токов в ветвях (количество неизвестных токов равно количеству ветвей, следовательно, у нас будет три тока: I_1, I_2, I_3).
2. Обозначим узлы цепи буквами А и Б. Примем за точку высшего потенциала узел А.
3. Определяем проводимости ветвей:

$$g_1 = \frac{1}{R_1 + R_2 + R_{01}} = \frac{1}{3 + 6 + 9} = 0.1 \text{ См}$$

$$g_2 = \frac{1}{R_3 + R_{02}} = \frac{1}{9.5 + 0.5} = 0.1 \text{ См}$$

$$g_3 = \frac{1}{R_4} = \frac{1}{20} = 0.05 \text{ См}$$

4. Определяем узловое напряжение по формуле:
- 5.

$$U_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot g_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

В числителе дроби алгебраическая сумма, в которой каждое слагаемое – это произведение ЭДС источника в соответствующей ветви цепи на проводимость данной ветви. Слагаемое положительное, если ЭДС в ветви направлена на точку высшего потенциала (в данном случае т.А), и отрицательное, если ЭДС направлена на точку низшего потенциала (в данном случае т.Б). Если в ветви нет источника, принимаем ЭДС=0. В знаменателе дроби сумма проводимостей всех ветвей цепи (проводимости всегда положительны). Для нашей задачи:

$$U_{AB} = \frac{E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2 + 0 \cdot g_3}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{40 \cdot 0.1 + 30 \cdot 0.1 + 0 \cdot 0.05}{0.1 + 0.1 + 0.05} = 28 \text{ В}$$

6. Определяем токи в ветвях цепи:

$$I_1 = (E_1 - U_{AB}) \cdot g_1 = (40 - 28) \cdot 0.1 = 1.2 \text{ A}$$

$$I_2 = (E_2 - U_{AB}) \cdot g_2 = (30 - 28) \cdot 0.1 = 0.2 \text{ A}$$

$$I_3 = (0 + U_{AB}) \cdot g_3 = (0 + 28) \cdot 0.05 = 1.4 \text{ A}$$

При определении токов необходимо учесть, что в скобках ЭДС и напряжение будут положительными, если их направление совпадает с направлением тока в ветви, и отрицательными, если не совпадает. Если в ветви нет источника питания, то вместо значения ЭДС пишем ноль. Напряжение (в данном случае U_{AB}) всегда направлена от точки высшего потенциала к точке низшего потенциала (в данном случае от А к Б, т.е. вниз).

Все токи получились положительными, значит, мы правильно выбрали их направление. Если бы какой-нибудь ток получился отрицательным, то его направление на схеме нужно было бы изменить на противоположное.

4.Метод наложения

Метод наложения— метод расчёта электрических цепей, основанный на предположении, что электрический ток в каждой из ветвей электрической цепи при всех включённых генераторах равен сумме токов в этой же ветви, полученных при включении каждого из генераторов по очереди и отключении остальных генераторов (только в линейных цепях).

Пример решения.

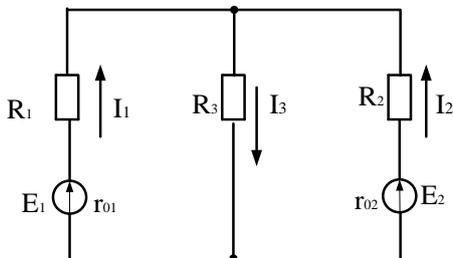


Рис.1

Дано:

$E_1=100 \text{ В}$, $E_2=90 \text{ В}$; $R_1=3 \text{ Ом}$, $R_2=10 \text{ Ом}$; $R_3=12 \text{ Ом}$, $r_{01}=1 \text{ Ом}$, $r_{02}=2 \text{ Ом}$.

Найти: токи в ветвях.

1. Определяем количество источников в схеме. В данной схеме два источника, значит, нам нужно рассчитать две схемы.
2. Предположим, что в цепи действует только E_1 (рисунок2). Укажем на этой схеме направление частичных токов, создаваемых источником E_1 (токи обозначим с одним штрихом I'_1 ; I'_2 ; I'_3). Это направление не произвольное, а следует из схемы (также, как в схеме со смешанным соединением резисторов).

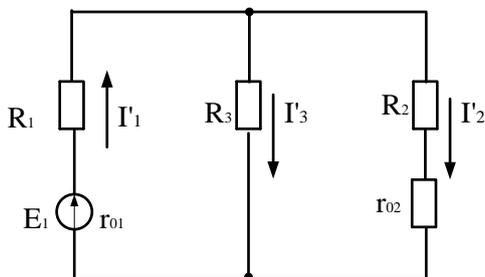


Рис.2

3. **Обратите внимание:** если у источника (E_1 ; E_2) есть внутреннее сопротивление (r_{01} ; r_{02}), то при исключения данного источника его внутренне сопротивление остается в схеме.
4. Рассчитаем цепь по законам последовательного и параллельного соединения резисторов. Для начала найдем эквивалентное сопротивление цепи.

$$R_{202} = R_2 + r_{02} = 12 \text{ Ом}$$

$$R_{3202} = \frac{R_3 \cdot R_{202}}{R_3 + R_{202}} = 6 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{эКВ}} = R_1 + R_{3202} = 9 \text{ Ом}$$

5. Найдем общий ток цепи по закону Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{E_1}{R_{\text{эКВ}} + r_{01}} = I_1 = I_{3202} = 10 \text{ А}$$

6. Найдем напряжение U_{3202}

$$U_{3202} = I_{3202} \cdot R_{3202} = 60 \text{ В} = U_3 = U_{202}$$

7. Определяем частичные токи, созданные источником E_1 .

$$I'_1 = I = 10 \text{ А}$$

$$I'_2 = \frac{U_{202}}{R_{202}} = 5 \text{ А}$$

$$I'_3 = \frac{U_3}{R_3} = 5 \text{ А}$$

8. Предположим теперь, что в цепи действует только E_2 (**рисунок3**). Укажем на этой схеме направление частичных токов, создаваемых источником E_2 (токи обозначим с двумя штрихами $I''_1; I''_2; I''_3$). Источник E_1 заменяем его внутренним сопротивлением r_{01}

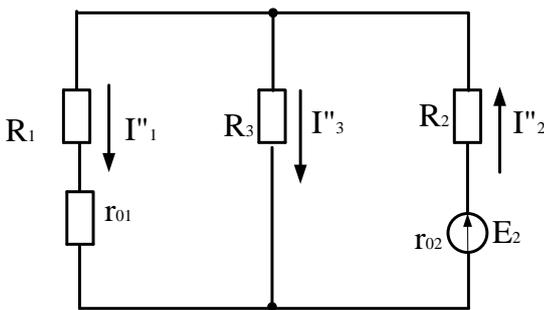


Рис.3

9. Рассчитаем заново цепь по законам последовательного и параллельного соединения резисторов. Для начала найдем эквивалентное сопротивление цепи.

$$R_{101} = R_1 + r_{01} = 4 \text{ Ом}$$

$$R_{3101} = \frac{R_3 \cdot R_{101}}{R_3 + R_{101}} = 3 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{эКВ}} = R_2 + R_{3101} = 13 \text{ Ом}$$

10. Найдем общий ток цепи по закону Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{E_2}{R_{\text{эКВ}} + r_{02}} = I_2 = I_{3101} = 6 \text{ А}$$

11. Найдем напряжение U_{3202}

$$U_{3101} = I_{3101} \cdot R_{3101} = 18 \text{ В} = U_3 = U_{101}$$

12. Определяем частичные токи, созданные источником E_2 .

$$I''_2 = I = 6 \text{ А}$$

$$I''_1 = \frac{U_{101}}{R_{101}} = 4.5 \text{ А}$$

$$I''_3 = \frac{U_3}{R_3} = 1.5 \text{ А}$$

Мы определили частичные токи для первой и второй схем

13. Определяем токи в ветвях для исходной схемы. Каждый ток в ветви – это алгебраическая сумма соответствующих частичных токов. Если частичный ток совпадает по направлению с изначальным током ветви, то он берется со знаком «+», если не совпадает – со знаком «-».

$$I_1 = I_1' - I_1'' = 10 - 4.5 = 5.5 \text{ A}$$

$$I_2 = -I_2' + I_2'' = -5 + 6 = 1 \text{ A}$$

$$I_3 = I_3' + I_3'' = 5 + 1.5 = 6.5 \text{ A}$$

Токи в ветвях получились положительные, это значит, что мы верно выбрали их направление на изначальной схеме.

Практическая работа №4

Расчет магнитных цепей

- 1. Цель:** рассчитать неразветвленную магнитную цепь, используя геометрические размеры сердечника, а также материалы, из которых выполнены части сердечника
- 2. Оборудование:** карточки с вариантами заданий, основные кривые намагничивания ферромагнитных материалов.
- 3. Краткие сведения из теории.**

Устройство, содержащее сердечники из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, создаваемый катушками с током, называется магнитной цепью.

Магнитные цепи являются составными частями электротехнических установок: двигателей, генераторов, трансформаторов, реле и других устройств.

Магнитная цепь представляет собой совокупность источника намагничивающей силы и магнитопровода.

Источником намагничивающей силы является обычно обмотка (катушка) с током или постоянный магнит. Магнитопроводы предназначены для усиления магнитного потока и придания магнитному полю определенной конфигурации. Иногда магнитопровод может включать воздушные промежутки.

В качестве материала для магнитопроводов применяются ферромагнитные материалы, поэтому, прежде чем рассматривать расчет магнитных цепей, следует изучить свойства этих материалов.

Нужно разобраться в том, что в ферромагнитных материалах магнитная индукция значительно больше, чем в неферромагнитных материалах при одной и той же напряженности магнитного поля (т.е. при одной и той же намагничивающей силе).

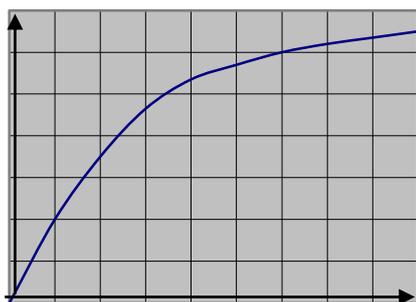
Кроме этого, необходимо знать другую, очень важную особенность ферромагнитных материалов - их магнитная проницаемость является переменной и зависит от напряженности поля, следовательно, и магнитная индукция в ферромагнитных материалах не является величиной, пропорциональной напряженности. Вот

почему формула $H = \frac{B}{\mu_a}$ применима для расчета напряженности только в воздушном

зазоре, а для расчета магнитной индукции B и напряженности H в ферромагнитных материалах применяются кривые намагничивания.

Электротехническая сталь

В,Тл



H, A/cm

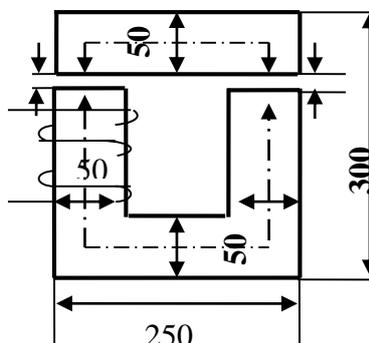
Необходимо знать, как пользоваться этими кривыми при расчете магнитных цепей. Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленные и разветвленные. Рассчитать магнитную цепь - это значит по заданному магнитному потоку (магнитной индукции), кривым намагничивания и геометрическим размерам магнитной цепи определить намагничивающую силу, необходимую для создания заданного потока. Расчет магнитных цепей основывается на законе полного тока.

В примере приведен расчет неразветвленной магнитной цепи.

Пример

Магнитопровод, выполненный из электротехнической стали, имеет два воздушных зазора $l_{01} = l_{02} = 0,9$ мм. Магнитный поток в сердечнике $\Phi = 3,375 \cdot 10^{-3}$ Вб, толщина сердечника $b = 45$ мм, геометрические размеры магнитопровода в мм указаны на заданном рисунке. Ток в катушке $I = 2$ А.

Определить число витков катушки ω .



Краткая запись условия:

Дано: $l_{01} = l_{02} = 0,9$ мм
 $\Phi = 3,375 \cdot 10^{-3}$ Вб
 $b = 45$ мм

Определить: ω

Решение

Магнитная цепь неразветвленная и неоднородная.

1) Проведена средняя магнитная линия на заданном рисунке 32 пунктиром и по ней цепь разделена на однородные участки с одинаковым поперечным сечением S и абсолютной магнитной проницаемостью. Таких участков два: сталь и воздух. Длины участков:

$$l_{CT} = 2 \cdot (250 - 50) + 2 \cdot (300 - 50 - 0,9) = 898,2 \text{ мм} = 898,2 \cdot 10^{-3},$$

$$l_0 = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ мм} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

2) Сечение магнитопровода одинаково и равно:

$$S_{CT} = S_0 = S = 50 \cdot 45 = 2250 \text{ мм}^2 = 22,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

3) Магнитная индукция в участках:

$$B_{CT} = B_0 = B = \frac{\Phi}{S} = \frac{3,375 \cdot 10^{-3}}{22,5 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ Тл.}$$

4) Напряженность магнитного поля:

а) в стальном сердечнике по характеристике намагничивания электротехнической стали при $B=1,5$ Тл: $H_{CT} = 24 \text{ А/см} = 2400 \text{ А/м}$;

б) в воздушных зазорах:

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1,5}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 1,19 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

Из уравнения, составленного по закону полного тока, определено число витков катушки:

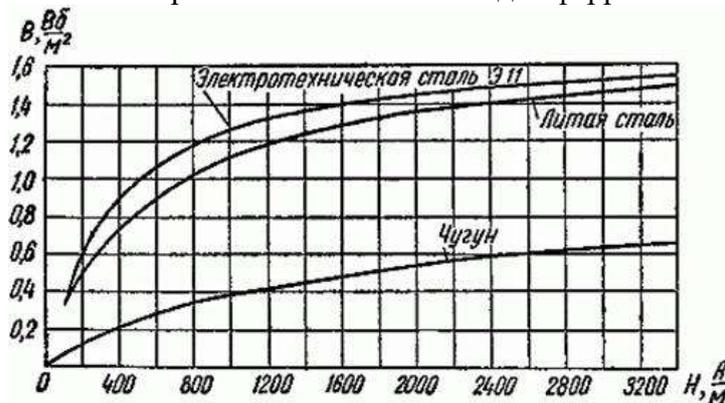
$$I \cdot \omega = H_{CT} \cdot l_{CT} + H_0 \cdot l_0,$$

$$\omega = \frac{H_{CT} \cdot l_{CT} + H_0 \cdot l_0}{I} = \frac{2400 \cdot 0,8982 + 1,19 \cdot 10^6 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2}}{2} = 2150.$$

Важно отметить, что из всей намагничивающей силы 4300 А на воздушный участок незначительной длины (0,18 см) приходится 2142 А, т.е. для проведения магнитного потока через воздушный зазор необходимо затрачивать значительную намагничивающую силу. Отсюда становится понятной необходимость создания магнитных цепей с минимальными воздушными зазорами.

Ответ: $\omega=2150$.

Основные кривые намагничивания для ферромагнитных материалов



Контрольные вопросы.

1. Что такое магнитная цепь?
2. Что является источником намагничивающей силы в магнитной цепи?
3. Для чего служит магнитопровод в магнитной цепи?
4. Что является основным свойством ферромагнитных материалов?
5. Что необходимо определить при расчете магнитной цепи?

Практическая работа №5. Расчет неразветвленных цепей переменного тока

1. Цель:

Научиться производить расчет и строить векторную диаграмму тока и напряжений для неразветвленной цепи переменного тока

2. Оборудование:

Раздаточный материал

3. Краткие сведения из теории.

Переменным называется ток, направление и значение которого периодически меняются.

Время T , в течение которого переменный ток совершает полный цикл изменений, называется периодом переменного тока, а число периодов в секунду - его частотой:

$$f = \frac{1}{T}$$

Единицей частоты является герц [Гц].

Наиболее распространен синусоидальный ток (напряжение, ЭДС).

Уравнения синусоидальных тока и напряжения:

$$i = I_m \sin \omega t$$

$$u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

где i , u - мгновенные значения тока и напряжения (в любой момент времени); I_m , U_m - максимальные значения тока и напряжения (амплитуды); ω - угловая частота, рад/с;

$(\omega t + \varphi)$ - фаза, т.е. угол, определяющий значение переменной величины в любой момент времени (текущая фаза);

φ - начальная фаза переменной величины, т.е. угол, определяющий ее значение при $t=0$.

Приборы (амперметр, вольтметр), включенные в цепь переменного тока, показывают действующие значения величин (тока, напряжения), которые равны: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$; $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$.

Цепи переменного тока (как и цепи постоянного тока) могут быть неразветвленными и разветвленными.

Прежде чем приступить к расчету цепей переменного тока, содержащих несколько элементов, надо запомнить свойства простейших цепей (таблица.1) :

- а) с сопротивлением R ;
- б) с индуктивностью L ;
- в) с емкостью C .

Расчет цепи переменного тока облегчается, если использовать построение векторной диаграммы, на которой изображаются несколько синусоидальных величин одной частоты.

Построение векторной диаграммы начинают с вектора величины, общей для всей цепи, т.е. вектора тока в неразветвленной цепи. Этот вектор строят в положительном направлении оси абсцисс (горизонтально вправо).

Длины векторов в масштабе соответствуют действующим значениям величин.

Положение каждого вектора на диаграмме определяется начальной фазой. Причем опережение по фазе – против часовой стрелки, отставание по фазе – по часовой стрелке.

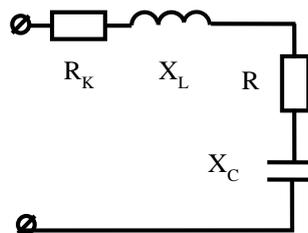
Пример решения

Активное сопротивление катушки $R_K=4$ Ом, индуктивное $X_L=12$ Ом. Последовательно с катушкой включен резистор с активным сопротивлением $R=2$ Ом и конденсатор с сопротивлением $X_C=4$ Ом. К цепи приложено напряжение $U=100$ В.

Определить полное сопротивление цепи, силу тока, коэффициент мощности, активную, реактивную и полную мощности; напряжение на каждом сопротивлении. Начертить векторную диаграмму цепи.

Краткая запись условия

Дано: $R_K=4$ Ом
 $X_L=12$ Ом
 $R=2$ Ом
 $X_C=4$ Ом
 $U=100$ В



Определить: $z, I, \cos\varphi, P, Q, S, U_R, U_K, U_L, U_C$.

Решение:

1. Полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_K + R)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(4 + 2)^2 + (12 - 4)^2} = 10 \text{ Ом.}$$

2. Сила тока в цепи: $I = \frac{U}{z} = \frac{100}{10} = 10 \text{ А.}$

3. Коэффициент мощности: $\cos\varphi = \frac{R_K + R}{z} = \frac{4 + 2}{10} = 0,6$

По таблицам Брадиса находим $\varphi=53^\circ 10'$.

4. Активная мощность цепи:

$$P = I^2 \cdot (R_K + R) = 10^2 (4 + 2) = 600 \text{ Вт, или}$$

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,6 = 600 \text{ Вт.}$$

5. Реактивная мощность цепи:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi = 100 \cdot 10 \cdot 0,8 = 800 \text{ вар, или}$$

$$Q = I^2 (X_L - X_C) = 10^2 (12 - 4) = 800 \text{ вар, где}$$

$$\sin\varphi = \frac{X_L - X_C}{z} = \frac{12 - 4}{10} = 0,8$$

6. Полная мощность цепи:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 800^2} = 1000 \text{ В} \cdot \text{А.}$$

7. Напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_K = I \cdot R_K = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В}; \quad U_L = I \cdot X_L = 10 \cdot 12 = 120 \text{ В};$$

$$U_R = I \cdot R = 10 \cdot 2 = 20 \text{ В}; \quad U_C = I \cdot X_C = 10 \cdot 4 = 40 \text{ В.}$$

8. Построение векторной диаграммы:

а) Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току $m_I = 2,5 \text{ А/см}$ и масштабом по напряжению $m_U = 20 \text{ В/см}$.

б) Определим длины векторов тока и напряжения:

$$l_I = \frac{I}{m_I} = \frac{10}{2,5} = 4 \text{ см}; \quad l_{UR} = \frac{U_R}{m_U} = \frac{20}{20} = 1 \text{ см}, \quad l_{UK} = \frac{U_K}{m_U} = \frac{40}{20} = 2 \text{ см},$$

$$l_{UL} = \frac{U_L}{m_U} = \frac{120}{20} = 6 \text{ см}, l_{UC} = \frac{U_C}{m_U} = \frac{40}{20} = 2 \text{ см},$$

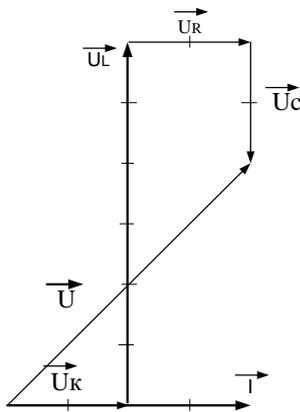
в) Построение начинаем с вектора напряжения I . Откладываем его по горизонтали длиной 4 см.

Вдоль вектора тока откладываем вектор напряжения на активном сопротивлении катушки U_K

Из конца вектора U_K откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° вектор напряжения U_L на индуктивном сопротивлении длиной 6 см.

Из конца вектора U_L откладываем в сторону направления тока (горизонтально) вектор напряжения на резисторе U_R , от конца этого вектора откладываем в сторону отставания от вектора тока на 90° (вниз) вектор напряжения на конденсаторе U_C длиной 2 см.

Геометрическая сумма векторов U_K , U_R , U_L и U_C равна напряжению U , приложенному к цепи.



Практическая работа №6.

Расчет разветвленных цепей переменного тока

1. Цель:

Научиться производить расчет и строить векторную диаграмму токов и напряжения для разветвленной цепи переменного тока

2. Оборудование:

Раздаточный материал

3. Краткие сведения из теории.

Пример

Катушка с активным сопротивлением $R_1=8 \text{ Ом}$, и индуктивным $X_{L1}=6 \text{ Ом}$ соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого равно $X_{C2}=20 \text{ Ом}$. К цепи приложено напряжение $U=60 \text{ В}$.

Определить: токи в ветвях и неразветвленной части цепи, активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи, полную мощность цепи, углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и во всей цепи.

Построить векторную диаграмму токов и напряжения.

Краткая запись условия

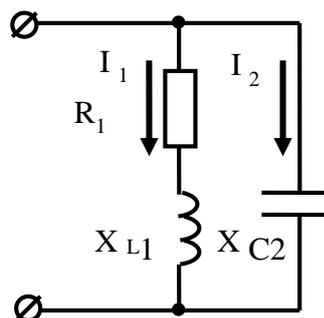
Дано:

$$R_1=8 \text{ Ом}$$

$$X_{L1}=6 \text{ Ом}$$

$$X_{C2}=20 \text{ Ом}$$

$$U=60 \text{ В}$$



Определить:

$I_1, I_2, I, P_1, P_2, P, Q_1, Q_2, Q, S, \varphi_1, \varphi_2, \varphi$.

Решение :

1. Построим схему цепи (см.рис.41).

2.Определим полное сопротивление каждой ветви:

$$z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{L1}^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом},$$

$$z_2 = X_{C2} = 20 \text{ Ом}.$$

3.По закону Ома вычислим силу тока в каждой ветви:

$$I_1 = \frac{U}{z_1} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}; I_2 = \frac{U}{z_2} = \frac{60}{20} = 3 \text{ A}.$$

4.Определим углы сдвига фаз в ветвях:

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_{L1}}{z_1} = \frac{6}{10} = 0,6; \varphi_1 = 36^\circ 50',$$

т.е. напряжение опережает ток, т.к. $\varphi_1 > 0$;

$$\sin \varphi_2 = \frac{-X_{C2}}{z_2} = \frac{-20}{20} = -1; \varphi_2 = -90^\circ,$$

т.е. напряжение отстает от тока, т.к. $\varphi_2 < 0$. По таблицам Брадиса находим:
 $\cos \varphi_1 = \cos 36^\circ 50' = 0,8$; $\cos \varphi_2 = \cos 90^\circ = 0$.

5.Найдем активные и реактивные составляющие токов ветвей

$$I_{A1} = I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 6 \cdot 0,8 = 4,8 \text{ A}; I_{P1} = I_1 \cdot \sin \varphi_1 = 6 \cdot 0,6 = 3,6 \text{ A}$$

$$I_{A2} = I_2 \cdot \cos \varphi_2 = 0; I_{P2} = I_2 \cdot \sin \varphi_2 = 3 \cdot (-1) = -3 \text{ A}.$$

6.Сила тока в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{A1} + I_{A2})^2 + (I_{P1} + I_{P2})^2} = \sqrt{(4,8 + 0)^2 + (3,6 - 3)^2} = 4,83 \text{ A}.$$

7.Коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos \varphi = \frac{I_{A1} + I_{A2}}{I} = \frac{4,8}{4,83} = 0,992.$$

8.Мощности каждой ветви (активная, реактивная и полная):

$$P_1 = I_1^2 \cdot R_1 = 6^2 \cdot 8 = 288 \text{ Вт}; P_2 = 0,$$

$$P = P_1 + P_2 = 288 \text{ Вт}.$$

$$Q_1 = Q_L = I_1^2 \cdot X_{L1} = 6^2 \cdot 6 = 216 \text{ вар};$$

$$Q_2 = -Q_C = -I_2^2 \cdot X_{C2} = -3^2 \cdot 20 = -180 \text{ вар};$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 216 - 180 = 36 \text{ вар}.$$

Реактивная мощность ветви с емкостью Q_2 – отрицательная, т.к. угол $\varphi_2 < 0$.

Полная мощность цепи: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{288^2 + 36^2} = 296 \text{ В} \cdot \text{А}.$

Проверка:

ток в неразветвленной части цепи можно определить и без разложения токов ветвей на составляющие

$$I = \frac{S}{U} = \frac{296}{60} = 4,83 \text{ А}.$$

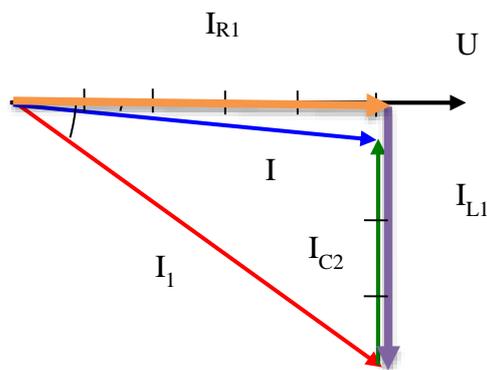
9.Построение векторной диаграммы:

а)Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току $m_I = 1 \text{ А/см}$ и масштабом по напряжению $m_U = 10 \text{ В/см}.$

б)Определим длины векторов тока и напряжения:

$$l_{I1} = \frac{I_1}{m_I} = \frac{6}{1} = 6 \text{ см}; l_{I2} = \frac{I_2}{m_I} = \frac{3}{1} = 3 \text{ см}. l_U = \frac{U}{m_U} = \frac{60}{10} = 6 \text{ см}.$$

в) Построение начинаем с вектора напряжения U . Откладываем его по горизонтали длиной 6 см. Затем под углом φ_1 к нему (в сторону отставания) откладываем в масштабе вектор тока I_1 . Далее под углом φ_2 к вектору напряжения (в сторону опережения) откладываем вектор тока I_2 . Геометрическая сумма этих токов равна току в неразветвленной части цепи. $I_2 = I_{P2}$



Практическая работа №7.

Расчет трехфазной цепи переменного тока при соединении приемников звездой

1. Цель:

Научиться рассчитывать цепи трехфазного тока при соединении приемников звездой для симметричной и несимметричной нагрузок фаз. Построить векторные диаграммы.

2. Оборудование:

Раздаточный материал

3. Краткие сведения из теории.

Пример 1 («Звезда», активная симметричная нагрузка)

Осветительные лампы трех этажей станции соединены «звездой» и присоединены к трехфазной четырехпроводной линии с линейным напряжением $U_{л}=380$ В. Число ламп на каждом этаже одинаковое $n=n_1=n_2=n_3=50$. Мощность каждой лампы $P_{лампы}=100$ Вт.

Определить: фазные токи I_A, I_B, I_C при одновременном включении всех ламп на каждом этаже; фазные активные мощности P_A, P_B, P_C и мощность P всей трехфазной цепи.

Краткая запись условия

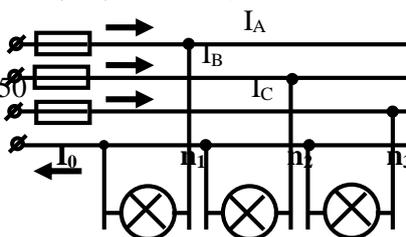
Дано: $U_{л}=380$ В

$n=n_1=n_2=n_3=50$

$P_{лампы}=100$ Вт

Определить:

$I_A, I_B, I_C, P_A, P_B, P_C, P$



Решение:

1. Определяем фазные мощности, исходя из того, что в каждой фазе включено по 50 ламп, $P_{лампы}=100$ Вт каждая:

$$P_A = P_B = P_C = n_1 \cdot P_{лампы} = 50 \cdot 100 = 5000 \text{ Вт} = 5 \text{ кВт}.$$

Тогда мощность цепи:

$$P = P_A + P_B + P_C = 3 \cdot P_A = 3 \cdot 5 = 15 \text{ кВт}.$$

2. Фазные токи равны линейным, т.к. соединение «звезда».

Найдем из фазной мощности : $P_A = U_\phi \cdot I_A \cos \varphi$, предварительно определив фазное напряжение $U_\phi = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ В}$

$\cos \varphi_A = \cos \varphi_B = \cos \varphi_C = 1$ (нагрузка активная), тогда

$$I_\phi = I_A = I_B = I_C = \frac{P_\phi}{U_\phi \cdot \cos \varphi_\phi} = \frac{5000}{220 \cdot 1} = 22,7 \text{ А}$$

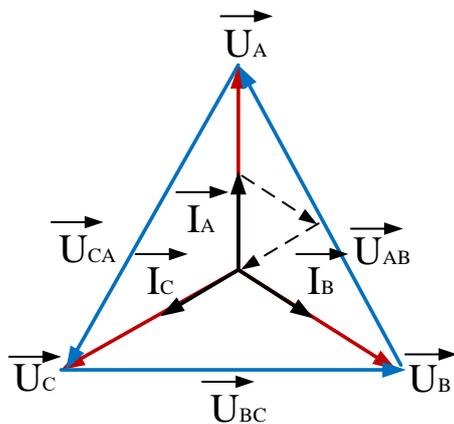
3. Построение векторной диаграммы:

а) Выбираем масштаб для напряжений $m_U = 55 \text{ В/см}$, для токов $m_I = 10 \text{ А/см}$.

б) Определяем длины векторов тока и напряжений:

$$l_{U_\phi} = \frac{U_\phi}{m_U} = \frac{220}{55} = 4 \text{ см} \quad l_{I_\phi} = \frac{I_\phi}{m_I} = \frac{22,7}{10} = 2,27 \text{ см}$$

4. в) Из точки 0 проводим три вектора фазных напряжений U_A, U_B, U_C , углы между которыми составляют 120° . Векторы фазных токов I_A, I_B, I_C будут иметь одинаковую длину, т.к. значения токов одинаковые. Направлены они вдоль соответствующих векторов фазных напряжений.



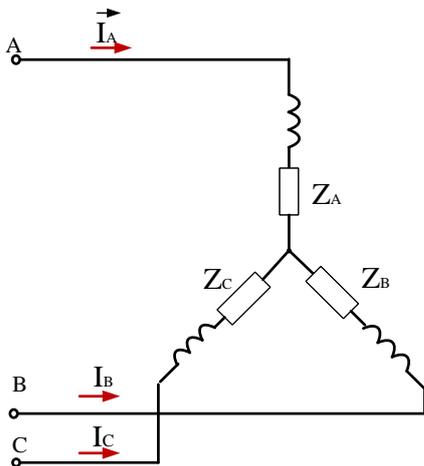
Пример 2.

(Схема "звезда", симметричная активно-реактивная нагрузка фаз).

Три одинаковые катушки включены звездой в трехфазную сеть с линейным напряжением $U_L = 380 \text{ В}$. Активное сопротивление каждой катушки $R = 15 \text{ Ом}$, индуктивное $X_L = 20 \text{ Ом}$.

Определить фазное напряжение U_ϕ ; фазный I_ϕ и линейный I_L токи; полную, активную P и реактивную Q мощности и коэффициент мощности $\cos \varphi$ трехфазного потребителя.

Выбрать масштабы M_U и M_I и построить векторную диаграмму напряжений и токов.



Дано: $U_L = 380\text{В}$; $R = 15\ \text{Ом}$; $x_L = 20\ \text{Ом}$.

Определить: U_ϕ ; I_ϕ ; I_L ; S ; P ; Q ; $\cos \varphi$.

Решение:

Поскольку нагрузка симметричная, то даже при отсутствии нулевого провода справедливо соотношение:

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_\phi$$

Фазные напряжения равны:

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

3. Полное сопротивление каждой фазы

$$Z_\phi = \sqrt{R_\phi^2 + X_{L\phi}^2} = \sqrt{15^2 + 20^2} = 25\ \text{Ом}$$

4. Токи фаз (они же линейные)

$$I_\phi = I_L = \frac{U_\phi}{z_\phi} = \frac{220}{25} = 8,8\ \text{А}.$$

5. Коэффициент мощности фазы (а так как нагрузка фаз симметричная, то и всего трехфазного потребителя)

$$\cos \varphi_\phi = \frac{R_\phi}{Z_\phi} = 0,6$$

$$\sin \varphi_\phi = \frac{X_{L\phi}}{Z_\phi} = 0,8$$

Следовательно, $\varphi = 53^\circ$

6. Мощности трехфазного потребителя:

полная

$$S = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = 3 \cdot 220 \cdot 8,8 = 5808\ \text{ВА} = 5,808\ \text{кВА};$$

активная

$$P = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi = 5,808 \cdot 0,6 = 3,485 \text{ кВт};$$

Реактивная

$$Q = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi = 5,808 \cdot 0,8 = 4,646 \text{ кВАр};$$

7. Строим векторную диаграмму. Выбираем масштабы:

$$M_U = 75 \text{ В / см}; M_I = 4 \text{ А / см}.$$

Длины векторов фазных напряжений в масштабе будут равны

$$l_{U_{\phi}} = \frac{U_{\phi}}{M_U} = \frac{220}{75} = 2,93 \text{ см}.$$

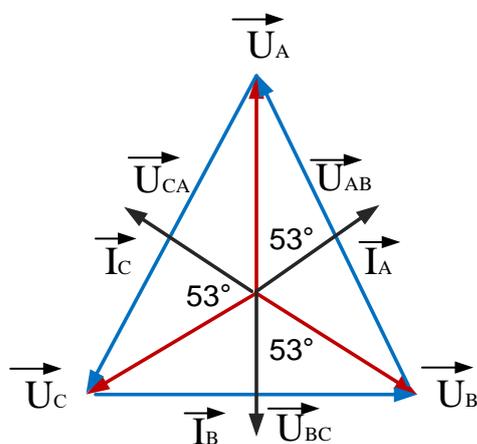
Длины векторов фазных токов в масштабе будут равны

$$l_{I_{\phi}} = \frac{I_{\phi}}{M_I} = \frac{8,8}{4} = 2,2 \text{ см}.$$

Сначала откладываем векторы фазных напряжений. Вектор U_A откладывается вертикально вверх, вектор U_B отстает от вектора U_A на 120° , а вектор U_C , в свою очередь, отстает от вектора U_B на 120° .

Соединив концы векторов фазных напряжений, получим треугольник векторов линейных напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} .

Поскольку нагрузка фаз активно-индуктивная, то векторы фазных токов I_A, I_B, I_C будут отставать от векторов фазных напряжений U_A, U_B, U_C на угол $\varphi = 53^\circ (\cos \varphi = 0,6)$.



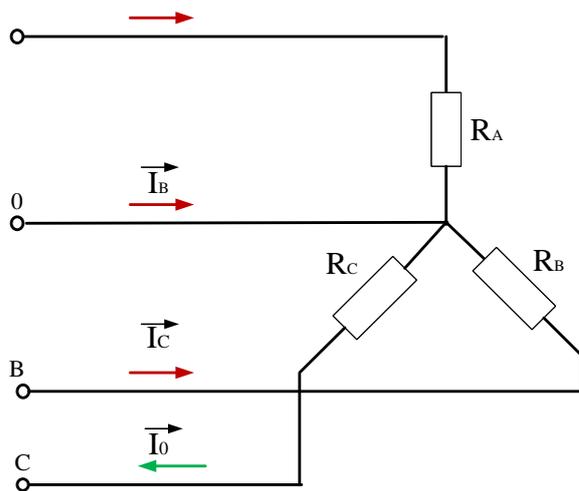
Пример 3

(Схема "звезда", несимметричная активная нагрузка фаз.)

В трехфазную четырехпроводную сеть с напряжением $U_n = 220 \text{ В}$ звездой включены три резистора. Сопротивления резисторов: $R_A = 10 \text{ Ом}; R_B = 15 \text{ Ом}; R_C = 20 \text{ Ом}$.

Определить фазное напряжение U_{ϕ} ; фазные I_{ϕ} и линейные I_l токи; активную мощность всех трех фаз.

Выбрать масштабы M_U и M_I и построить векторную диаграмму напряжений и токов. Графически (из векторной диаграммы) определить ток в нейтральном (нулевом) проводе I_0 .



Дано: $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}; R_A = 10 \text{ Ом}; R_B = 15 \text{ Ом}; R_C = 20 \text{ Ом}.$

Определить: $U_{\phi}; I_{\phi}; I_{\text{л}}; P; I_0.$

Решение:

1. Поскольку задана трехфазная четырехпроводная система, т. е. есть нулевой провод, то справедливо соотношение:

$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$$

тогда фазные напряжения:

$$U_{\phi} = U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}.$$

2. Токи фазные (они же линейные) будут различны в зависимости от сопротивления фаз:

$$I_A = \frac{U_{\phi}}{R_A} = \frac{127}{10} = 12,7 \text{ А}; I_B = \frac{U_{\phi}}{R_B} = \frac{127}{15} = 8,46 \text{ А};$$

$$I_C = \frac{U_{\phi}}{R_C} = \frac{127}{20} = 6,35 \text{ А}.$$

3. Активная мощность трех фаз

$$\begin{aligned} P &= P_A + P_B + P_C = U_{\phi} \cdot I_A + U_{\phi} \cdot I_B + U_{\phi} \cdot I_C = \\ &= U_{\phi} \cdot (I_A + I_B + I_C) = 127 \cdot (12,7 + 8,46 + 6,35) = \\ &= 3494 \text{ Вт} = 3,494 \text{ кВт} \end{aligned}$$

Т.к. нагрузка активная, $\cos\phi=1.$

4. Построение векторной диаграммы.

Выбираем масштабы: $M_U = 30 \text{ В / см}; M_I = 4 \text{ А / см}.$ Длины векторов фазных напряжений в масштабе $M_U = 30 \text{ В / см}:$

$$l_{U_{\phi}} = \frac{U_{\phi}}{M_U} = \frac{127}{30} = 4,2 \text{ см}.$$

Строим звезду векторов фазных напряжений и замыкающий ее треугольник векторов линейных напряжений. Длины векторов фазных токов в масштабе $M_I = 4 \text{ A/cm}$:

$$l_{I_A} = \frac{I_A}{M_I} = \frac{12,7}{4} = 3,2 \text{ см}; \quad l_{I_B} = \frac{I_B}{M_I} = \frac{8,46}{4} = 2,1 \text{ см};$$

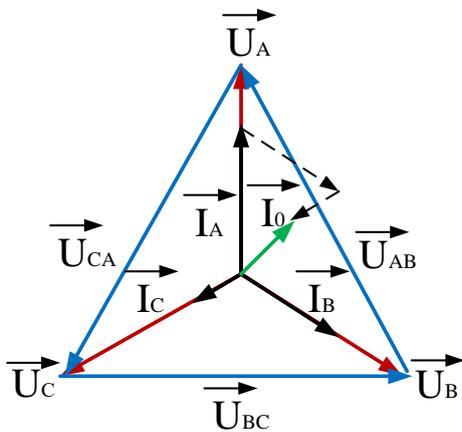
$$l_{I_C} = \frac{I_C}{M_I} = \frac{6,35}{4} = 1,6 \text{ см}.$$

Векторы фазных токов совпадают по направлению с векторами соответствующих фазных напряжений, так как нагрузка фаз активная.

8. Вектор тока в нейтральном (нулевом) проводе согласно первому закону Кирхгофа равен сумме векторов фазных токов, то есть $\vec{I}_A = \vec{I}_A + \vec{I}_B + \vec{I}_C$.

Сложение векторов фазных токов и построение вектора I_0 выполнено на векторной диаграмме. Величину тока I_0 находим, измерив длину его вектора и пользуясь масштабом:

$$I_0 = l_{I_0} \cdot M_I = 1,4 \cdot 4 = 5,6 \text{ A}.$$



Практическая работа №8.

Расчет трехфазной цепи переменного тока при соединении приемников треугольником

1. Цель:

Научиться рассчитывать цепи трехфазного тока при соединении приемников треугольником для симметричной и несимметричной нагрузок фаз. Построить векторные диаграммы.

2. Оборудование:

Раздаточный материал

3. Каткие сведения из теории.

Пример 1.

(Схема "треугольник", симметричная нагрузка фаз).

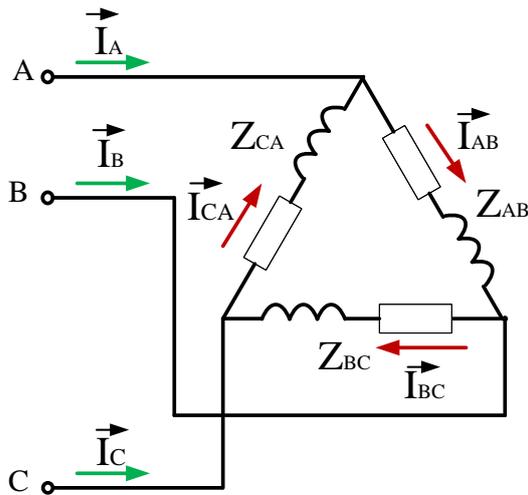
Трехфазный двигатель мощностью $P = 15 \text{ кВт}$ при $\cos \varphi = 0,87$ питается от сети с линейным напряжением $U_L = 380 \text{ В}$. Обмотки соединены треугольником

Определить фазное напряжение U_ϕ ; фазный I_ϕ и линейный I_L токи; полное сопротивление фазы z_ϕ ; полную S и реактивную Q мощности двигателя.

Выбрать масштабы M_U и M_I и построить векторную диаграмму напряжений и токов.

Дано: $U_L = 380 \text{ В}; P = 15 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,87$.

Определить: U_ϕ ; I_ϕ ; I_L ; z_ϕ ; S ; Q .



Решение:

1. При соединении треугольником фазное напряжение равно линейному, то есть

$$U_\phi = U_L = 380 \text{ В}$$

2. Из формулы мощности находим фазный ток двигателя

$$I_\phi = \frac{P}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi} = \frac{15000}{3 \cdot 380 \cdot 0,87} = 15,1 \text{ А.}$$

3. Полное сопротивление фазы определяем по закону Ома:

$$Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi} = \frac{380}{15,1} = 25,2 \text{ Ом}$$

4. Линейный ток при равномерной нагрузке фаз

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_\phi = \sqrt{3} \cdot 15,1 = 26,1 \text{ А.}$$

5. Полная мощность двигателя

$$S = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{15000}{0,87} = 17241 \text{ ВА} \cong 17,2 \text{ кВА.}$$

6. Реактивная мощность двигателя

$$Q = 3 \cdot U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = S \cdot \sin \varphi = 17241 \cdot 0,5 = 8621 \text{ ВАр} \cong 8,6 \text{ кВАр}$$

где $\sin \varphi = 0,5$ - соответствует заданному $\cos \varphi = 0,87$ двигателя.

7. Построение векторной диаграммы. Выбираем масштабы:

$$M_U = 100 \text{ В / см}; M_I = 5 \text{ А / см.}$$

Длина векторов фазных (линейных) напряжений в масштабе

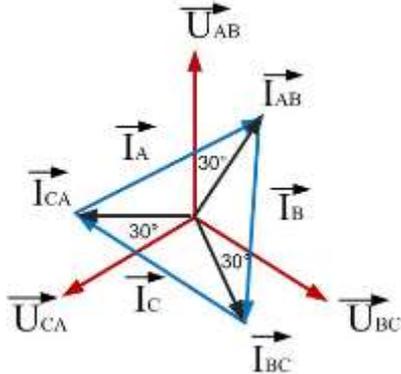
$$l_{U_\phi} = \frac{U_\phi}{M_U} = \frac{380}{100} = 3,8 \text{ см.}$$

Длина векторов фазных токов в масштабе $M_I = 5 \text{ А / см}$:

$$l_{I_\phi} = \frac{I_\phi}{M_I} = \frac{15,1}{5} = 3 \text{ см.}$$

При построении векторной диаграммы вначале откладываем три вектора линейных (фазных) напряжений со сдвигом относительно друг друга на 120° . Векторы фазных токов отстают от векторов фазных напряжений на угол $\varphi = 30^\circ$ ($\cos \varphi = 0,87$), нагрузка активно-индуктивная. Соединив концы векторов фазных токов, получаем треугольник линейных токов; при этом векторы линейных токов являются разностью векторов соответствующих фазных токов

Векторная диаграмма приведена на рисунке.



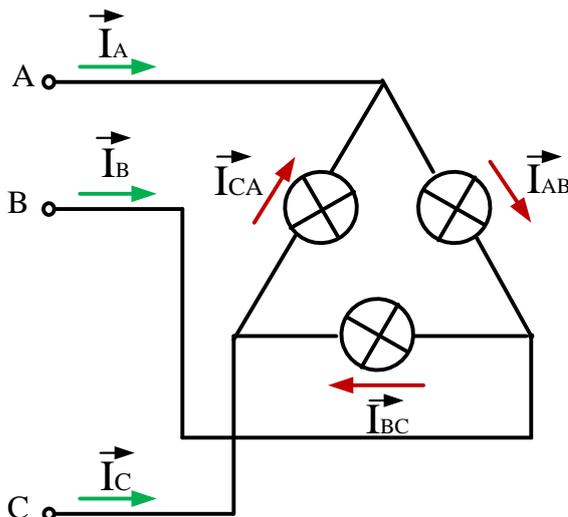
Пример 2.

(Схема "треугольник", несимметричная нагрузка фаз)

Три группы осветительных ламп соединены треугольником и питаются от трехфазной сети с линейным напряжением $U_L = 220 \text{ В}$ (рис.35). Сопротивления фаз равны: $R_{AB} = 10 \text{ Ом}$; $R_{BC} = 20 \text{ Ом}$; $R_{CA} = 25 \text{ Ом}$.

Определить фазное напряжение U_ϕ ; фазные токи; активную мощность всех ламп.

Выбрать масштабы M_U и M_I и построить векторную диаграмму напряжений и токов. Графически (по векторной диаграмме) определить значения линейных токов I_A, I_B, I_C .



Дано: $U_L = 220 \text{ В}$; $R_{AB} = 10 \text{ Ом}$; $R_{BC} = 20 \text{ Ом}$; $R_{CA} = 25 \text{ Ом}$.

Определить: U_ϕ ; I_ϕ ; I_L ; P .

Решение:

1. При соединении треугольником фазное напряжение равно линейному, то есть $U_\phi = U_L = 220 \text{ В}$.

2. Фазные токи

$$I_{AB} = \frac{U_{\phi}}{R_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A}; \quad I_{BC} = \frac{U_{\phi}}{R_{BC}} = \frac{220}{20} = 11 \text{ A};$$

$$I_{CA} = \frac{U_{\phi}}{R_{CA}} = \frac{220}{25} = 8,8 \text{ A}.$$

3. Активная мощность всех ламп

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = U_{\phi} \cdot (I_{AB} + I_{BC} + I_{CA}) = \\ = 220 \cdot (22 + 11 + 8,8) = 9196 \text{ Вт} \cong 9,2 \text{ кВт}.$$

Т.к. нагрузка активная, $\cos\varphi=1$.

4. Построение векторной диаграммы . Выбираем масштабы: $M_U = 40 \text{ В} / \text{см}$; $M_I = 5 \text{ А} / \text{см}$.

Длина векторов фазных (они же линейные) напряжений в масштабе $M_U = 40 \text{ В} / \text{см}$:

$$l_{U_{\phi}} = \frac{U_{\phi}}{M_U} = \frac{220}{40} = 5,5 \text{ см}.$$

Длины векторов фазных токов в масштабе $M_I = 5 \text{ А} / \text{см}$:

$$l_{I_{AB}} = \frac{I_{AB}}{M_I} = \frac{22}{5} = 4,4 \text{ см}; \quad l_{I_{BC}} = \frac{I_{BC}}{M_I} = \frac{11}{5} = 2,2 \text{ см};$$

$$l_{I_{CA}} = \frac{I_{CA}}{M_I} = \frac{8,8}{5} = 1,8 \text{ см}.$$

Векторы фазных токов совпадают по направлению с векторами фазных напряжений, так как нагрузка фаз \sim активная. Векторы линейных токов строим как разности векторов соответствующих фазных токов:

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

5. Величины линейных токов находим, измерив на векторной диаграмме длины их векторов и умножив на масштаб:

$$I_A = l_{I_A} \cdot M_I = 5,6 \cdot 5 = 28 \text{ А};$$

$$I_B = l_{I_B} \cdot M_I = 5,8 \cdot 5 = 29 \text{ А};$$

$$I_C = l_{I_C} \cdot M_I = 3,4 \cdot 5 = 17 \text{ А}.$$

