Лабораторная работа №1

*Исследование источника тока.*

*Потенциальная диаграмма*

*Целью* данной работы исследование работы источника тока в режимах генератора и потребителя, а также построение потенциальной диаграммы.

**Сведения из теории**

Прежде чем приступить к рассмотрению работы источника тока в различных режимах, введем основные понятия, которые будут использоваться в дальнейшем. Необходимо четко понимать разницу между такими понятиями как напряжение, падение напряжения, разность потенциалов и ЭДС. Несмотря на то, что единицей измерения всех этих величин является 1 вольт (В), энергетически они описывают различные процессы, совершаемые при переносе единичного положительного заряда.

1) Разность потенциалов  равна работе электростатических сил, либо работе против электростатических сил в зависимости от направления движения зарядов. Разность потенциалов часто называют напряжением.

2) Падение напряжения  описывает превращение энергии зарядов во внутреннюю энергию проводника (т.е. в тепло). Это следует из закона Джоуля – Ленца.Отсюда: .

3) Электродвижущая сила (ЭДС) *Е* определяет работу сторонних (не электростатических) сил при переносе единичного заряда. Знак этой работы различен в зависимости от режима работы источника ЭДС. В режиме генератора работу совершают сторонние силы, в режиме потребителя работа совершается против сторонних сил. В первом случае энергия зарядов увеличивается за счет других видов энергии (химической, механической), во втором – энергия зарядов превращается в химическую, механическую, но не в тепловую.

Для участка цепи сопротивлением *R,* но не содержащего ЭДС, разность потенциалов на концах этого участка *Δφ* равна падению напряжения на этом участке, т.е. *Δφ=IR*.Отсюда *.* Это выражение является законом Ома для участка цепи, не содержащего ЭДС. Разность потенциалов на концах разомкнутого источника равна его ЭДС, так как ток *I* в данном случае равен 0. Это означает, что сторонние силы не могут преодолеть электростатическое поле, возникшее в результате предшествовавшего разделения (перемещения) зарядов сторонними силами.

Если участок цепи сопротивлением *R* содержит ЭДС *Ε*,то величина и направление тока на этом участке зависит от величины и взаимного направления действия на заряды электростатического поля и сторонних сил **. Отсюда , т.е. разность потенциалов на концах участка складывается алгебраически из ЭДС и падения напряжения.

**Потенциальная диаграмма**

Потенциальная диаграмма представляет собой графическое изображение изменения потенциала при перемещении вдоль цепи. На рис.1.1 изображена цепь, на рис. 1.2 – ее потенциальная диаграмма. Потенциал точки 1 *φ1* принят равным нулю. При перемещении вдоль соединительных проводов потенциал практически не изменяется. При переходе от отрицательного "–" полюса (зажима) источника ЭДС к положительному "+" потенциал изменяется скачком на величину *E* (*E1=φ1-φ2*). При переходе от одного конца резистора к другому по направлению тока потенциал постепенно (линейно) уменьшается на величину падения напряжения (*I1R1= φ2-φ3*). Скачки потенциала на ЭДС не зависят от направления тока, а изменения потенциала на резисторе зависят. Например, при переходе от точки 4 к точке 5 навстречу току *I2* потенциал увеличивается на величину падения напряжения *I2R2.* При полном обходе замкнутого контура (точки 1-7) потенциал последней точки должен равняться потенциалу начальной.

*R3=2 Ом*

*R1=6 Ом*

*E3=1 В*

1

*E2=2 В*

*E1=5 В*

*I2=2 A*

*I3=3 A*

*I1=1 A*

2

3

4

5

6

7

*R2=2 Ом*

Рис.1.1. Исследуемая цепь постоянного тока

Номер

точки

0

1

2

3

4

5

1

2

3

4

5

6

7

φ, В

-1

-2

-3

Рис.1.2. Потенциальная диаграмма для схемы 1.1

Изменение потенциалов на схеме, изображенной на рис. 1.1, можно записать аналитически. Для определения, например,  пишем:

.

Отсюда *,* что совпадает по величине и знаку с *,* полученной из диаграммы.

**Работа источника тока в режиме генератора**

*1) Внешняя характеристика источника тока.*

Основными характеристиками источника тока являются электродвижущая сила (ЭДС) *Ε* и внутреннее сопротивление *r*. При разомкнутой цепи разность потенциалов  (в дальнейшем напряжение *Uab*)на его концах (точки "а" и "b" на рис.1.3) равна (ЭДС) *Е.* Если к источнику тока подключить внешнее сопротивление *R,* называемое сопротивлением нагрузки, то по цепи пойдет ток, равный:

**. (1.1)

При этом напряжение *Uab* на зажимах источника станет меньше ЭДС на величину падения напряжения внутри источника (на внутреннем сопротивлении):

**. (1.2)

Зависимость называется внешней или рабочей характеристикой источника тока. У многих источников *Е* и *r* не зависят от тока *I,* поэтому для них график *U(I)* представляет прямую линию (рис.1.3), наклон которой определяется внутренним сопротивлением.

V

a

b

*R*

*r*

*E*

A

а

U1

U2

I2

I1

E

Iкз

U

I

б

Рис. 1.3. Схема для снятия внешней характеристики источника тока (а)

и нагрузочная характеристика данного источника (б)

Отсюда следует способ определения *r*:

. (1.3)

Также из рис. 1.3 можно определить ЭДС *E* источника по пересечению прямой с осью напряжения и ток короткого замыкания *Iкз* по пересечению прямой с осью тока. В случае  из формулы (1.1) получаем: . Эта величина называется током короткого замыкания данного источника тока. В этом режиме из формулы (1.2) следует, что напряжение на зажимах источника  В. Если внутреннее сопротивление порядка 0.001 Ома, то ток короткого замыкания достигает нескольких тысяч ампер. При таких токах источник быстро выходит из строя. Как правило, для каждого источника известен наибольший допустимый ток при длительной работе (номинальный ток), который не следует превышать в процессе эксплуатации.

*2) Мощность в цепях постоянного тока.*

Полная мощность, развиваемая источником, равна . Часть этой мощности выделяется внутри источника на его внутреннем сопротивлении в виде джоулева тепла *.* Другая часть полной мощности, выделяемая во внешней цепи *PH*(на сопротивлении нагрузки) может быть использована и называется полезной. Величина полезной мощности может быть выражена следующим образом:

**  (1.4)

Первые два выражения не дают возможности определить вид зависимости *PH* от *I*, так как сопротивление *R* и напряжение *U* не остаются постоянными при изменении *I.* Последнее выражение в формуле (1.4) дает зависимость *PH* от *I* в явном виде. Видно, что график зависимости *PH(I)*представляет собой параболу с ветвями, направленными вниз. Легко определить, при каких значениях тока *PH* равна нулю, и при каких она максимальна.

*3) Коэффициент полезного действия.*

Коэффициент полезного действия *(КПД)* источника равен отношению полезной мощности, выделяемой во внешней цепи, к полной мощности, развиваемой источником:

 (1.5)

Подставляя в (1.5) вместо мощностей их выражения через токи, напряжения, ЭДС и сопротивления, можно получить зависимости *η(I)*, *η(U)*, *η(R)* в явном виде.

**Работа источника тока в режиме потребителя**

Для осуществления данного режима работы источника тока необходимо наличие другого источника ЭДС *E1*, включенного навстречу исследуемому источнику *E2* (рис.1.4). ЭДС *E1* должна превышать ЭДС *E2* (). Β этом случае ток пойдет навстречу ЭДС *E2*.

*E2*

A

V

*I*

*E1*

a

b

*r*

Рис. 1.4. Источник *E2* в режиме потребителя

Исходя из потенциальной диаграммы понятно, что напряжение на зажимах источника *Uab* будет больше *E2* на величину падения напряжения (*Ir*) на его внутреннем сопротивлении:

. (1.6)

Следовательно, энергетические процессы на участке "a-*E*2-b" описываются следующим образом. Так как ток течет от точки "a" к точке "b" и , то в этом случае работа, совершаемая электростатическим полем положительная. Энергия, приобретенная зарядами от электростатического поля, расходуется на тепло (на сопротивлении *r*) и на работу против сторонних сил. Эта работа в зависимости от типа источника превращается в химическую энергию (например, при зарядке аккумулятора) или в механическую (при работе электрической машины в режиме двигателя).

**Практическая часть**

**Внимание!!! *Перед сборкой схем необходимо убедиться, что пакетный выключатель стенда находится в положении "отключено", а неоновые индикаторы напряжения стенда не горят!***

Задание I. *Исследование источника тока в режиме генератора.*

В3

V

A

R1

R3

Д1

A

B

C

X

M

220В

N

В2

Y

Z

W

U

\*

I

\*

Кл

ЛАТР

Рис. 1.5. Рабочая схема для выполнения задания I

1) Собрать схему, изображенную на рис.1.5, где ЛАТР – лабораторный автотрансформатор типа РНШ (регулятор напряжения школьный); Д1 – диод на панели блока диодов и постоянных источников напряжения; R1, R3 – резисторы и В2 и В3 – тумблеры, находящиеся на панели блока резисторов; ламповый реостат "AX","BY","CZ". V – вольтметр с пределами измерения 75 - 600 В (использовать предел измерения на 150 В), А – амперметр с пределом измерения 0.25 - 1 А, W – ваттметр с пределами измерения по току 1 А. Контакты, к которым присоединен вольтметр, можно считать клеммами источника ЭДС *E1*. Сопротивления *R1*, *R3* являются основной частью внутреннего сопротивления источника *E1*.

2) Привести схему в начальное состояние: пакетный выключатель должен находиться в положении «выключен», тумблеры В2, В3 должны быть установлены в положение "отключено". Ручку ЛАТРа поверните против часовой стрелки до упора. После получения разрешения преподавателя или лаборанта на проведение работы, вставьте вилку ЛАТРа в гнезда 127 В или 220 В на стенде.

*Примечание*: в начале проведения измерений необходимо определить цену деления (ц.д.) приборов. Показания приборов в единицах СИ определяются следующим образом:

 – амперметра и вольтметра,

 – для ваттметра,

где *X* – «истинные» показания приборов в СИ, *Y* – предел измерения вольтметра или амперметра, *N* – число делений шкалы приборов, *NX* – показания прибора по шкале, *Y/* – предел измерения ваттметра по току, Z/ – предел измерения ваттметра по напряжению.

3) Выполнить опыт холостого хода (Определение ЭДС *E1*). Для этого переключением пакетного выключателя в положение «включено» подайте напряжение на стенд. С помощью ручки ЛАТРаустановите напряжение около 100 В. В дальнейшем в задании I положение ручки ЛАТРа не менять. Если сопротивление вольтметра много больше внутреннего сопротивления источника, то можно считать, что .

4) Исследование работы источника под нагрузкой. Меняя постепенно сопротивление нагрузки с помощью лампового реостата от бесконечности (все лампы отключены, **)до минимального значения (все лампы включены) с помощью тумблеров Кл, снять внешнюю характеристику генератора *U(I)* (12-15 точек). Из 3-5 точек определите среднее внутреннее сопротивление источника. Β таблицу 1.1 занести результаты измерений и вычислений.

5) Провести опыт короткого замыкания. (Определить *IКЗ*). Для этого тумблером В3 замкнуть накоротко сопротивление нагрузки. Определите внутреннее сопротивление источника, используя результаты опытов холостого хода и короткого замыкания. Сравните это значение с полученными результатами в пункте 4.

Таблица 1.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Число  ламп | Измерить | | | Вычислить | | | | |
| I, А | U, В | PR, Вт | Pп, Вт | Pr, Вт | R, Ом | r, Ом | η |
| 0 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| К.З. |  |  |  |  |  |  |  |  |

6) Провести вышеуказанные измерения для включенного ключа В2, при этом внутреннее сопротивление источника будет соответствовать R1. Заполнить таблицу 1.1 для этого случая.

7) Построить на одном графике зависимости *U(I)*, *PR(I)*, *PП(I)*, *Pr(I)*, *η(I)*.

8) Составьте баланс мощности для трех случаев: при включении   
5, 10 и 15 ламп.

Задание II. *Исследование источника ЭДС в режиме потребителя.*

1) Собрать схему, изображенную на рис.1.6. Точки "M, N" – это выходные клеммы исследуемого источника , составленного из последовательно соединенных источников *E1*, *E2*, *E3*, R5 *–* резистор, находящийся на блоке резисторов. Он является частью внутреннего сопротивления источника . Источник  представляет собой выпрямитель, собранный по двухполупериодной схеме выпрямления, сопротивление *R1 + R3* – по сути, является внутренним сопротивлением источника , А – амперметр с пределом измерения 0.25 – 1 А, V – вольтметр с пределами измерения 7.5 – 60 В. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на проведение работы.

A

A

B

C

X

Y

Z

В2

220В

V

E3

E2

E1

R5

В3

N

Кл



M

R1

R3

Д1-Д4

Рис. 1.6. Рабочая схема для выполнения задания II

2) Проведите опыты по определению ЭДС  и его внутреннего сопротивления *R5* (см. задание I). Номинальный ток источника  не превышает 0,25 А.

3) Исследование работы источника  в режиме потребителя.

а) Рассчитайте напряжение на зажимах источника  (точки Μ и Ν) в предположении, что навстречу  будет идти ток .

б) Расчет проверить экспериментально. Для этого:

1. Разомкнуть ключи Кл.

2.Замкнуть ключи В2и ВЗ.

3. При помощи ЛАТРа (источника ) установить по амперметру ток .

4. Снимите показания вольтметра и амперметра при подключении ламп от 1 до 15. Постройте зависимости U(I) или U(N) или, где N– число подключенных ламп. Определите, при каком числе ламп режим работы источника изменяется на генераторный.

Полученный результат подтвердите расчетами. Для этого определите ЭДС *Ε1* в этом опыте и его внутреннее сопротивление. Сопротивления ламп можно получить из данных пункта 3.

Задание III.*Измерение потенциалов в неразветвленной цепи постоянного тока и построение потенциальной диаграммы.*

В схеме, изображенной на рис.1.7 , , , . *E1*, *E2*, *E3*– источники ЭДС, смонтированные на блоке диодов.

V

A

E3

E2

E1

В2

R1

R5

R2

R4

L

M

N

O

P

Q

K

F

Рис. 1.7. Рабочая схема для выполнения задания III

Для расчета потенциальных диаграмм необходимо знать ЭДС источников *E1*, *E2*, *E3*. Внутренними сопротивлениями этих источников (порядка 1-2 Ом) в данном задании можно пренебречь.

1) Измерить ЭДС источников *E1, E2*, *E3* (можно без проверки).

2) Рассчитать потенциалы точек L, M, N, O, P, Q, F относительно точки К для двух случаев: цепь разомкнута, цепь замкнута.

3) Собрать схему на рис.1.7, используя V – вольтметр с пределом измерений 7.5 - 60 В; А – амперметр с пределом измерений 0,25 – 1А*.*

4) После получения разрешения от преподавателя или лаборанта включите стенд.

5) Подключая свободный конец вольтметра к точкам К, L, M, N, O, P, Q, F, измерить потенциалы этих точек для двух случаев: цепь разомкнута, цепь замкнута. Записать сопротивление вольтметра на используемых пределах. Построить на одном графике теоретические и опытные потенциальные диаграммы. Сравните их. Объясните расхождения теоретических и экспериментальных потенциальных диаграмм. Для отдельных точек (например, М) расхождения обоснуйте расчетами.

*Примечание*: Точку К необходимо соединить с клеммой «0» на стенде.

**Контрольные вопросы**

1) Назовите основные параметры источника тока.

2) Что называется номинальным током источника?

3) Как определить ЭДС источника *E*?

4) Как определить внутреннее сопротивление *r* источника?

5) Как напряжение на зажимах источника *U* зависит от тока *I*?

6) Какие условия должны выполняться, чтобы при измерении вольтметром получить **?

7) Чему равно *U* источника при токе короткого замыкания?

8) Каково соотношение между *U* и *Ε* источника при работе его в режиме генератора и потребителя?

9) Укажите зажимы исследуемого источника в схеме на рис.1.5.

10) Объясните назначение ключа В2 в схеме на рис.1.5.

11) Объясните назначение ключей В2, В3 в схеме на рис.1.6.

12) Объясните значение заземления в схеме на рис.1.7.

13) Определить (см. рис.1.8).

*r2=1Ом*

*E2=3В*

*E2=4В*

*r2=2Ом*

*r1=1Ом*

*E1=6В*

a

b

*E1=6В*

*r1=3Ом*

a

b

а

б

Рис 1.8

Ответ: *Uab = 4.5 В* (рис. 1.8 а); *Uab = 0 В* (рис 1.8 б).

**Упражнения для самостоятельной работы**

1) Опишите энергетические процессы (количественно, в джоулях) на участке a-b (рис. 1.9) при прохождении заряда ,  в следующих случаях:

а) Ток *I = 1 A* идет слева направо.

б) Ток *I = 1 A* идет справа налево.

в) Ток *I = 7 A* идет слева направо.

г) Ток *I = 7 A* идет справа налево.

2) Какова относительная погрешность измерения ЭДС *E* вольтметром, имеющим сопротивление ? Внутреннее сопротивление источника .

Ответ: *δ =* 0.33.

3) Выведите формулу (1.2) 

а) Из закона Ома;

б) Из потенциальной диаграммы.

4) Выведите формулу (1.6) из потенциальной диаграммы.

5) Выведите формулу (1.3) .

6) Что измеряет вольтметр, подключенный к зажимам источника?

7) Определите показания приборов (рис.1.10):

Ответ: *I =*1 *А*, *U =* 5 *В*.

a

b

V

A

*r1 = 1 Ом*

*r2 =2 Ом*

*E2 = 3 В*

*E1 = 6 В*

*r1 = 1 Ом*

Рис. 1.9 Рис. 1.10

8) Выведите зависимости *U(I)*, *PП(I)*, *PН(I)*, *Pr(I)*, *η(I)* необходимые для объяснения графиков, полученных при выполнении работы.

9) Определите, при каких условиях *PН(I)* и достигает максимума?

10) От чего зависит значение максимальной полезной мощности *PHmax*?

11) Чему равна полезная мощность *PН* при коротком замыкании?

12) Почему короткое замыкание опасно для источника?

13) При каких условиях *η =* 1, *η =* 0 , *η =* 0.5?

14) Как изменится график *PН(I)*, если:

а) ЭДС увеличить в 2раза?

б) r уменьшить в 2 раза?

в) *E* и *r* увеличить в 2 раза?

15) Имеется три источника с равными ЭДС , но разными внутренними сопротивлениями ,, . Какой источник следует выбрать, чтобы на плитке  выделялась наибольшая мощность?

Ответ: *r =* 20 *Ом*.

16) При подключении к источнику сопротивлений ,  на них выделяется одинаковая мощность. Найти внутреннее сопротивление источника.

Ответ: *r =* 20 *Ом*.

17) В каком режиме (генератора или потребителя) работают источники *Е1* и *E2* (рис.1.11), если  (2 *Ом*; 1.5 *Oм*; *1 Ом*; 0.5 *Ом*)?

Ответ: Источник *E1* является генератором при *R =* 4 *Ом*, является потребителем при *R =* 0.5 *Ом*; 1 *Ом*; 1.5 *Ом*. При *R =* 2 *Ом* источники тока не являются генератором и потребителем друг для друга.

18) При каком значении *RН* источник *E2* (рис.1.12) меняет режим?

Ответ: *Rн =* 10 *Ом*.

19) Имеется источник ,  (рис.1.13). Какие требования следует предъявить к *Ех* и *rх* другого источника, чтобы ток через данный источник превысил его ток короткого замыкания?

Ответ: .

20) Существует ли различие между терминами "источник тока" и "источник ЭДС"? В каких случаях следует акцентировать это различие?

21) Какой вид будет иметь внешняя характеристика *U(I)*,если вместо резисторов *R1* и *R3* использовать лампу накаливания (рис.1.5)?

*R*

*RH*

*Ex*

*rx*

*E1 = 6 В*

*r1 = 1 Ом*

*r2 = 2 Ом*

*E2 = 4 В*

*E2 = 3 В*

*E1 = 6 В*

*r1 = 10 Ом*

*r2 = 5 Ом*

*E1 = 6 В*

*r1 = 1 Ом*

Рис. 1.11 Рис. 1.12 Рис. 1.13

Лабораторная работа №4

*Исследование цепей трехфазного тока*

*Целью* работы является изучение двух основных способов соединения потребителей в трехфазных цепях – звездой и треугольником, опытная проверка соотношений между фазными и линейными напряжениями и токами при различных комбинациях нагрузки в отдельных фазах, изучение методов измерения активной мощности в трехфазные цепях.

**Сведения из теории**

Трёхфазная система электроснабжения – частный случай многофазных систем электрических цепей [переменного тока](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D0%BE%D0%BA), в которых действуют созданные общим источником синусоидальные [ЭДС](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B6%D1%83%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D0%BB%D0%B0) одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга во времени на определённый [фазовый угол](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3_%D1%84%D0%B0%D0%B7). В трёхфазной системе этот угол равен 2π/3 (120°).

Многопроводная (шестипроводная) трёхфазная система переменного тока изобретена [Николой Теслой](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%81%D0%BB%D0%B0,_%D0%9D%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0). Значительный вклад в развитие трёхфазных систем внёс [М. О. Доливо-Добровольский](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BE-%D0%94%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9,_%D0%9C%D0%B8%D1%85%D0%B0%D0%B8%D0%BB_%D0%9E%D1%81%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87), который впервые предложил трёх- и четырёхпроводную системы передачи переменного тока, выявил ряд преимуществ трёхфазных систем по отношению к другим системам.

В виду того, что трехфазные цепи на практике применяются гораздо чаще других многофазных цепей, в дальнейшем речь будет идти только о трехфазных цепях. Преимущества трехфазных цепей заключаются в следующем:

1) Равномерность механической нагрузки в течение оборота ротора генератора. Это имеет большое значение по сравнению с однофазным генератором, т.к. такой генератор имеет больший срок службы.

2) Возможность простого получения кругового вращающегося магнитного поля, необходимого для работы электрического двигателя и ряда других электротехнических устройств. Двигатели трёхфазного тока (асинхронные и синхронные) устроены проще, чем двигатели постоянного тока, одно- или двухфазные, и имеют высокие показатели экономичности.

3) Возможность получения в одной установке двух рабочих напряжений – фазного и линейного, и двух уровней мощности при соединении «звездой» или «треугольником».

4) Возможность резкого уменьшения мерцания и [стробоскопического эффекта](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82) светильников на [люминесцентных или светодиодных лампах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%8E%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BB%D0%B0%D0%BC%D0%BF%D0%B0) путём размещения в одном светильнике трёх ламп (или групп ламп), питающихся от разных фаз.

На рис. 4.1 показаны схематическое устройство трехфазного генератора и формы напряжений в каждой из обмоток. Начала обмоток обозначены буквами A, B и С, концы обмоток буквами x, y и z.



N

A

C

B

Y

Z

X

S

а б

Рис 4.1. Схематическое устройство трехфазного генератора (а) и форма напряжений в каждой фазе (б)

Каждая из действующих ЭДС *еi* находится в своей [фазе](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B7%D0%B0_%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B9) периодического процесса, поэтому часто называется просто «фазой». Также «фазами» называют проводники – носители этих ЭДС. В трёхфазных системах угол сдвига фаз *еi* равен 120 градусам.

Рассмотрим более подробно соединения «звездой» и «треугольником» в трехфазных цепях. При соединении «звездой» «концы» обмоток генератора (X, Y, Z) соединяются в общий узел 0 (рис. 4.2). Точно также можно соединить «концы» нагрузок (точка 0/). Провода, соединяющие начала обмоток генератора A, B, C с «началами» нагрузки называются линейными. Такая трехфазная система является четырехпроводной и именно она наиболее распространена на практике (рис. 4.2).

A

B

A/

B/

C

C/

O

O/

UA

UB

UC

UAB

X, Y,Z

X/, Y/, Z/

Рис. 4.2. Четырехпроводная трехфазная система (соединение «звездой»)

Напряжение на отдельных фазах, т.е. между нулевым проводом (проводом, который соединяет «концы» обмоток генератора и нагрузок) и линейным, называется фазным и обозначается соответственно *UA*, *UB*, *UC*. Напряжение между линейными проводами называется линейным и обозначается *UAB*, *UBC*, *UAC*. Ток, текущий по отдельной фазе называется фазным, ток, текущий по линейному проводу, называется линейным. В случае соединения «звездой», как видно из рис. 4.2, фазный ток равен линейному:

. (4.1)

Мгновенное значение тока, протекающего по нулевому проводу, равно алгебраической сумме мгновенных значений токов в отдельных фазах:

. (4.2)

Если нагрузка симметричная, т.е. сопротивления в фазах равны (*ZA = ZB = ZC*) и сдвиги фаз между фазными напряжениями и фазными токами одинаковы (*φA = φB = φC*), то ток в нулевом проводе отсутствует. Данный факт хорошо иллюстрирует векторная диаграмма, изображенная на рис. 4.3.

IA

IB

IC

IB+IC

Рис. 4.3. Векторная диаграмма токов в четырехпроводной системе

в случае симметричной нагрузки

Если сложить вектора токов, то видно, что их сумма равна нулю. При неоднородной или несимметричной нагрузке (различны и/или токи в фазах или сдвиги фаз токов) сумма векторов фазных токов не равна нулю. В этом случае по нулевому проводу будет протекать ток. Величина данного тока определяется векторной суммой фазных токов. Ток в нулевом проводе зависит от неравномерности нагрузки фаз. Как правило, этот ток меньше фазных токов и поэтому нулевой провод изготавливают с меньшим сечением по сравнению с линейными проводами.

Одним из предельных случаев неравномерности нагрузки фаз в четырехпроводной системе можно считать обрыв линейного провода или отключение нагрузки на одной из фаз. При этом ток в нулевом проводе I0 определяется как векторная сумма токов двух других. Другим предельным случаем неравномерной нагрузки является короткое замыкание в одной из фаз. Этот режим считается аварийным и на практике не допускается (срабатывает защитный автомат).

В рассмотренной четырехпроводной системе при различных изменениях нагрузки на отдельных фазах действующие значения напряжений на фазах нагрузки благодаря нулевому проводу остаются неизменными и равны фазным напряжениям на генераторе (падением напряжения на линейном проводе можно пренебречь). Из векторной диаграммы напряжений (рис. 4.4) можно вывести соотношений между фазными и линейными напряжениями.

UA

A

UB

UC

O

B

C

UAB

UAC

UBC

Рис. 4.4. Векторная диаграмма напряжений трехфазной сети

при соединении «звездой»

Из данного равностороннего треугольника видно, что соотношение между линейными и фазными напряжениями имеет вид:

. (4.3)

ГОСТом предусмотрено номинальные напряжения 380/220В или 220/127В, где числитель – линейное напряжение, а знаменатель – фазное.

Таким образом, четырехпроводное соединение «звездой» обладает следующими двумя преимуществами:

1) Данный вид соединения позволяет использовать два напряжения генератора – фазное и линейное.

2) Нулевой провод обеспечивает симметрию фазных напряжений приемника при любом изменении фазных нагрузок.

Если в четырехпроводной цепи отключить (или оборвать) нулевой провод, то цепь становится трехпроводной. В этом случае значения фазных напряжений сильно зависят от соотношений проводимостей каждой из фаз. Например, в случае короткого замыкания в фазе А фазы B и C оказываются под линейными напряжениями UAB и UAC соответственно (рис. 4.5).

UOO/

A, O

UB

UC

B

C

UAB

UAC

UBC

Рис. 4.5. Векторная диаграмма для трехпроводной цепи

в случае короткого замыкания в фазе А

Из данного рисунка видно, что в случае короткого замыкания фазы А точка О сместится в точку А (*Ua = 0*), а вектора OB (*UB*) и OC (*UC*) совпадут соответственно с векторами AB (*UAB*) и AC (*UAC*). Напряжение смещения *UOO/*, которое является разностью потенциалов между общей точкой фаз нагрузок и потенциалом общей точки генератора, в данной ситуации будет равно фазным напряжениям, которые имели бы место быть, если бы нагрузка в данной трехпроводной цепи была бы симметричной.

Нарисуем векторную диаграмму для случая неравномерной нагрузки, т.е.  для трехпроводной цепи (рис. 4.6).

UBC

A

UB

UA

O

B

C

UAB

O/

UC

UAC

UOO/

Рис. 4.6. Векторная диаграмма напряжений для трехпроводной цепи

для случая неравномерной нагрузки

В случае наличия реактивной нагрузки в данном типе цепи точка O/ может оказаться и за пределами треугольника, что может привести к возникновению фазных напряжений больших, чем линейные. При любой неравномерности активных нагрузок точка O/ будет находиться внутри треугольника ABC. Расчет напряжения смещения *UOO/*в общем случае производится по формуле:

, (4.4)

где *UA*, *UB*, *UC* – комплексные фазные напряжения, *YA*, *YB*, *YС* – комплексные проводимости фаз.

Рассмотрим теперь соединение «треугольником». Для соединения обмоток генератора «треугольником» необходимо конец предыдущей обмотки соединить с началом последующей (рис. 4.7). Если к точкам соединения обмоток подключить линейные провода, то получится трехпроводная система. Для подключения потребителей треугольником их следует включить между линейными проводами.

A

A/

B

B/

C

C/

Рис. 4.7. Трехфазная цепь. Соединение треугольником

Из рис. 4.7 видно, что в случае соединения треугольником фазные напряжения равны линейным, т.е. . Что касается соотношений между фазными и линейными токами, то они могут быть получены с помощью правила Кирхгофа. Для узлов цепи можно записать , , . Следовательно, при любых фазных токах сумма линейных токов будет равна нулю:

 (4.5)

В случае симметричной нагрузки все фазные токи будут равны между собой, следовательно, будут равны и линейные токи.

Рассмотрим режим работы потребителей при обрывах фазы или линейного провода в случае активных нагрузок во всех трех фазах. При обрыве фазы AB (или отключении нагрузки), например A/B/, линейные токи *IA* и *IB* станут равными фазным токам *ICA* и *IBC* соответственно. В случае обрыва линейного провода, например A, две фазы A/B/ и A/C/, подключенные к данному проводу, будут работать как последовательно соединенные между собой нагрузки, подключенные к напряжению *UBC*. При этом изменятся все линейные и фазные токи, кроме тока *IBC*. **Режим короткого замыкания для соединения треугольником является аварийным!**

Соединение «треугольником» имеет преимущество перед соединением «звездой», которое заключается в том, что при соединении треугольником на нагрузке выделяется большая мощность по сравнению с мощностью, выделяемой на этой же нагрузке при подключении «звездой» в случаях равных линейных напряжений. Кроме того, при соединении «треугольником» в трехпроводной линии обеспечивается взаимная независимость фазных токов.

Схема соединения обмоток «треугольник» для генератора практически не применяется. В фазах схемы «треугольник» образуется общий контур, внутри которого возникает суммарная ЭДС, которая в идеале равна нулю. На практике суммарная ЭДС отличается от нуля, например, за счет неодинаковости зазоров между ротором и статором. Значения полных сопротивлений в обмотках маленькие и даже небольшая величина суммарной ЭДС вызывает в магистралях «треугольника» уравнительные токи, которые сопоставимы с номинальным значением тока в генераторе. Это создает большие потери энергии и значительно уменьшает КПД генератора.

Стоит отметить, что при трехпроводной линии способы соединения фаз генератора и нагрузки могут быть различными, например «звезда» – «треугольник», «треугольник» – «звезда».

Рассмотрим далее методы измерения мощности в трехфазных системах. Активная мощность в трехфазных сетях равна сумме активных мощностей в отдельных фазах (для обозначения фаз кроме букв A, B, C могут применяться цифры 1, 2, 3 соответственно). Таким образом, можно записать:

. (4.6)

Аналогичные соотношения справедливы для реактивной (Q) и полной мощностей (S):

, . (4.7)

Активная мощность в каждой фазе зависит от величины тока *IФ*, напряжения *UФ*, сдвига фаз между ними и определяется также, как и для однофазной нагрузки:

 (4.8)

Таким образом, в общем случае, активная мощность трехфазной нагрузки может быть выражена через действующие значения фазных токов и фазных напряжений в следующем виде:

 (4.9)

В случае симметричной нагрузки, независимо от способа соединения («звездой» или «треугольником») активная мощность во всей трехфазной сети в 3 раза больше, чем активная мощность одной фазы:

. (4.10)

В этом случае *P3Ф* можно определить с помощью одного ваттметра, измеряющего мощность в любой из трех фаз. При соединении потребителя «звездой» ваттметр включается по схеме, изображенной на рис. 4.8.

A

B

A/

B/

C

C/

O

O/

X, Y, Z

X/, Y/, Z/

W

\*

\*

I

U

Рис. 4.8. Включение ваттметра в трехфазную цепь

при соединении «звездой»

При соединении потребителя «треугольником» ваттметр включается по схеме, изображенной на рис. 4.9.

A

A/

B

B/

C

C/

\*

\*

I

W

U

Рис. 4.9. Включение ваттметра в трехфазную цепь

при соединении «треугольником»

Следует отметить, что при соединении «треугольником» общая мощность в цепи будет в три раза больше, чем при соединении тех же потребителей «звездой». Такое переключение используется при регулировании мощности симметричных нагрузок.

В случае несимметричной нагрузки в четырехпроводной системе (соединение «звездой») мощность трехфазного тока может быть измерена с помощью трех ваттметров, измеряющих мощность в каждой фазе (рис. 4.10):

 (4.11)

A

B

A/

B/

C

C/

O/

X/, Y/, Z/

W

\*

\*

I

U

\*

\*

W

U

I

\*

W

U

I

\*

O

Рис. 4.10. Измерение мощности в трехфазной сети методом

трех ваттметров

A

B

A/

B/

C

C/

O/

X/, Y/, Z/

W

\*

\*

I

U

\*

\*

W

U

I

Рис 4.11. Измерение мощности трехфазной сети методом

двух ваттметров

В трехпроводной системе (соединение «звездой») мощность *P3Ф* может быть измерена с помощью двух ваттметров (метод Арена). Для этого токовые обмотки ваттметров подключаются в разрывы линейных проводов, а их вольтовые обмотки подключаются между «своей» линией и оставшейся третьей (рис. 4.11).

Докажем, что сумма показаний данных двух ваттметров равна общей активной мощности *P3Ф* системы. Мгновенная мощность в трехфазной системе равна сумме мгновенных мощностей в отдельных фазах:

. (4.12)

В виду того, что метод двух ваттметров применим только для трехпроводной цепи, то , отсюда, например, . Подстав последнее выражение в выражение (4.12), имеем:



При соединении потребителей «звездой» разность фазных напряжений равна соответствующим линейным: , . Аналогично получаем и для случая соединения «треугольником».

Запишем мощность в трехфазной системе через действующие значения тока и напряжения:

. (4.13)

Причем угол *φ1* равен разности фаз между током в линии A и линейным напряжением *UAC*, а угол *φ2* – между током в линии B и линейным напряжением *UBC*. Ваттметры на рис. 4.11 включены именно таким образом, и, следовательно, сумма их показаний равна *P3Ф*. При этом стоит заметить, что показания ваттметров по отдельности не имеют физического смысла.

**Практическая часть**

Задание I. *Исследование работы трехфазных цепей – соединение звездой.*

1) Собрать электрическую цепь, изображенную на рис. 4.13.

*Приборы и оборудование*: A1, A2, A3, A0 – амперметры с пределами измерений 0.25 – 1 А, V1, V0 – вольтметры с пределами измерений 75 – 600 В, ламповый реостат, конденсатор переменной емкости на блоке конденсаторов.

2) Произвести измерения параметров цепи в различных режимах, согласно таблицам 4.1 и 4.2. Таблица 4.1 соответствует трехпроводной цепи, таблица 4.2 – четрырехпроводной цепи.

A

A1

A2

A3

A0

B

C

0

A

B

C

X

Y

Z

V0

V1

В3

Рис. 4.13. Рабочая схема для исследования соединения «звездой»

а) Исследование трехпроводной цепи (ключ В3 разомкнут).

Таблица 4.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Режим  нагрузки 1 | | | Режим  нагрузки 2 | | | Режим  нагрузки 3 | | | Режим  нагрузки 4 | | | | Режим  нагрузки 5 | | |
| Фазы | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | | Za | Zb | Zc |
| Число ламп | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | к.з | | 3 | 3 | С |
| Iф, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| Iл, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| Uф, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| Uл, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| U00, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |
| I00, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  |  |

б) Исследование четырехпроводной цепи (ключ В3 замкнут).

*Примечание*: В случае режима «3, 3, к.з» фаза С замыкается накоротко проводником. **Данный режим допустим только для трехпроводной цепи!** В случае режима «3, 3, С» вместо фазы С подключается конденсатор. Емкость конденсатора подбирается таким образом, чтобы в четырехпроводной цепи токи во всех трех фазах были приблизительно равны между собой.

Таблица 4.2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Режим  нагрузки 1 | | | Режим  нагрузки 2 | | | Режим  нагрузки 3 | | | Режим  нагрузки 4 | | |
| Фазы | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc |
| Число ламп | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 3 | 0 | 3 | 3 | С |
| Iф, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Iл, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Uф, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Uл, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U00, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| I00, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3) Построить векторные диаграммы напряжений и токов для рассматриваемых режимах работы исследуемой цепи.

*Примечание*: Векторные диаграммы следует строить следующим образом. Сначала строится в масштабе треугольник линейных напряжений. Линейные напряжения задаются источником, поэтому они во всех случаях неизменны. Вершины треугольника обозначаются соответственно А, В, С. Далее на соответствующую вершину треугольника ставится игла циркуля, при этом расстояние от иглы циркуля до его карандаша соответствует фазному напряжению. Затем проводится дуга. Другие две дуги чертятся аналогично. Точка пересечения трех дуг и будет точкой O/. От точки O/ к вершинам треугольникам проводятся вектора, они и будут векторами соответствующих фазных напряжений. Расстояние от точки O (центра треугольника) до точки O/ будет соответствовать напряжению смещения UOO/ (см. рис. 4.6). Далее, если нагрузка активная, то от точки O/ вдоль векторов фазных напряжений откладываются вектора фазных токов. Если нагрузка в фазе реактивная или смешанная, то, соответственно вектора фазных токов откладываются относительно векторов фазных напряжений на угол сдвига фаз. В случае четырехпроводной системы следует произвести сложения трех векторов фазных токов. Результат сложения этих векторов будет соответствовать току в нулевом проводе.

Задание II. *Исследование работы трехфазных цепей – соединение треугольником.*

1) Собрать электрическую цепь, изображенную на рис.4.14.

*Приборы и оборудование*: A1, A2, A3 – амперметры с пределами измерений 1 – 2 А, A4, A5, A6 – амперметры с пределами измерений 0.25 – 1 А, V – вольтметр с пределами измерений 75 – 600 В, ламповый реостат.

A

A1

A2

A3

B

C

A4

B

C

X

V

Z

A5

A6

A

Y

В3

Рис. 4.14. Рабочая схема для исследования соединения «треугольником»

2) Произвести измерения параметров цепи в различных режимах, согласно таблице 4.3.

Таблица 4.3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметры | Режим  нагрузки 1,  симметричная  нагрузка | | | Режим  нагрузки 2,  симметричная  нагрузка, отключена линия С | | | Режим  нагрузки 3,  несимметричная  нагрузка | | | Режим  нагрузки 4, несимметричная  нагрузка, отключена линия С | | |
| Фазы | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc | Za | Zb | Zc |
| Число ламп | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 | 1 | 3 | 5 |
| Iф, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Iл, А |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Uф, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Uл, В |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

3) Построить векторные диаграммы напряжений и токов для рассматриваемых режимов работы исследуемой цепи.

*Примечание*: Векторные диаграммы в случае соединения треугольником следует строить следующем образом. Сначала строится в масштабе треугольник линейных напряжений с обозначением вершин A, B, C. Далее вдоль сторон треугольника от вершин в масштабе откладываются соответствующие фазные токи. Далее для всех трех вершин произвести сложение соответствующих векторов фазных токов. Результатом сложения этих векторов будут соответствующие вектора линейных токов.

Задание III. *Измерение мощности трехфазных цепей. Соединение звездой.*

1) Собрать электрическую цепь, изображенную на рис. 4.15.

*Приборы и оборудование*: W1, W2, W3 – ваттметры с пределами измерений по току 1 – 2 А, ламповый реостат.

A

W1

W2

W3

B

C

A

B

C

X

Y

Z

\*

\*

\*

\*

\*

\*

U

U

U

I

I

I

Рис 4.15. Измерение мощности в трехфазной сети методами двух

и трех ваттметров

2) Произвести измерения параметров цепи в различных режимах, согласно таблице 4.4.

*Примечание*: Для того, чтобы провести измерения мощности трехфазной цепи при соединении звездой методом трех ваттметров необходимо концы вольтовых обмоток всех ваттметров подключить к общей точке «звезды», для того, чтобы провести измерения мощности трехфазной цепи при соединении звездой методом двух ваттметров необходимо концы вольтовых обмоток ваттметров 2 и 3 соединить между собой, к этому соединению подключить проводник, который следует вторым концом подключить к точке А первой фазы.

Таблица 4.4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Методы  измерений | Метод трех  ваттметров | | | Метод трех  ваттметров | | | Метод двух  ваттметров | | | | Метод двух  ваттметров | | | |
| Число ламп | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 | 3 | 3 | | 3 | 1 | 3 | | 5 |
| Параметры | W1 | W2 | W3 | W1 | W2 | W3 | W2 | | W3 | | W2 | | W3 | |
|  |  |  |  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |

Задание IV. *Измерение мощности трехфазных цепей. Соединение треугольником.*

1) Собрать электрическую цепь, изображенную на рис. 4.16.

*Приборы и оборудование*: W1, W2, W3 – ваттметры с пределами измерений по току 1 – 2 А, ламповый реостат.

W1

W3

W2

A

C

B

A

Z

X

Y

C

B

\*

\*

\*

\*

\*

\*

I

I

I

U

U

U

Рис 4.16. Измерение мощности в трехфазной сети в случае соединения потребителей «треугольником»

2) Произвести измерения параметров цепи в различных режимах, согласно таблице 4.5.

Таблица 4.5

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип нагрузки | Симметричная  нагрузка | | | Несимметричная  нагрузка | | |
| Число ламп | 3 | 3 | 3 | 1 | 3 | 5 |
| Параметры | W1 | W2 | W3 | W1 | W2 | W3 |
|  |  |  |  |  |  |  |

**Контрольные вопросы**

1. Определение трехфазных сетей. Преимущества трехфазных сетей.
2. Какое соединение в трехфазных системах называется «звездой»? Каковы соотношения между основными параметрами данного вида соединения?
3. Векторные диаграммы напряжений и токов для соединения «звездой».
4. Трехпроводная и четерырехпроводная системы. Принципиальные отличия этих систем.
5. Каково назначение нулевого провода в четырехпроводной системе? Почему на нулевой провод не ставят предохранитель?
6. В каком случае ток в нулевом проводе будет равным нулю?
7. Может ли напряжение на фазе быть больше линейного?
8. Что будет, если произойдет короткое замыкание в одной из фаз? Рассмотреть случай для трех и четырехпроводной систем.
9. Каковы достоинства и недостатки соединения «звездой»?
10. Какое соединение в трехфазных системах называется «треугольником»? Каковы соотношения между основными параметрами данного вида соединения?
11. Векторные диаграммы напряжений и токов для соединения «треугольником».
12. Каковы достоинства и недостатки соединения «треугольником»?
13. Какие существуют методы измерения мощности в трехпроводной и четырехпроводной системах при соединении «звездой»?
14. Измерение мощности при соединении «треугольником».

**Упражнения для самостоятельной работы**

1. Мгновенное значение напряжения в фазе А равно . Запишите выражения для мгновенных значений напряжения в фазах B и C. Определите действующие значения напряжений на каждой из фаз.

Ответ: , , .

1. В четырехпроводной трехфазной цепи линейное напряжение равно 380 В. Сопротивления фаз равны соответственно 10 Ом, 10 Ом и 20 Ом. Определите значение тока, протекающего по нулевому проводу.

Ответ: .

1. Три одинаковые лампы мощностью 60 Вт включены в каждую фазу четырехпроводной сети с линейным напряжением 380 В. Чему будет равна сила тока в нулевом проводе, если перегорит одна из ламп?

Ответ: .

1. В трехпроводной трехфазной цепи с симметричной нагрузкой, соединенной «звездой», и линейным напряжением 380 В перегорел предохранитель в фазе С. Чему будут равны напряжения на фазах A и B?

Ответ: .

1. В трехпроводной трехфазной цепи с симметричной нагрузкой по 100 Ом в каждой фазе, соединенной «звездой», и фазным напряжением 220 В закоротилась нагрузка на фазе C. Чему будут равны напряжения на оставшихся фазах?

Ответ: .

1. Трехфазный асинхронный двигатель в трехпроводную трехфазную цепь по схеме «звезда». В процессе работы двигателя одна из фаз двигателя закоротилась. Как изменятся токи в двух других фазах, если *UФ =* 220 В, *Rобм =* 4 Ом, *Lобм =* 0.3 Гн?

Ответ: Токи в оставшихся фазах вырастут с 2.3 А до 4 А.

1. Три лампы мощностью по 100 Вт включены в трехфазную сеть с напряжением 220 В по схеме «треугольник». Определите величину линейных токов.

Ответ: .

1. Из трех ламп мощностью по 100 Вт, включенную в трехфазную сеть с напряжением 220 В по схеме «треугольник», одна перегорела. Как изменится величина линейных токов?

Ответ: Если перегрела лампа, подключенная к фазе С, линейный ток IB не изменится, а линейные токи *IA* и *IC* упадут с 0.77 А до 0.45 А.