

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

Цель работы: исследование трёхфазной цепи при соединении потребителей звездой с симметричной и несимметричной нагрузками при наличии нейтрального провода и без него. Построение векторных диаграмм.

Краткие сведения из теории

Трёхфазная система используется для электроснабжения благодаря следующим своим преимуществам:

- малые потери напряжения в линии электропередачи;
- малые потери электроэнергии в проводах линии;
- увеличенная пропускная способность линии электропередачи по сравнению с однофазной;
- возможность подключения однофазных потребителей с двумя значениями номинального напряжения питания;
- возможность подключения трёхфазных потребителей звездой Y либо треугольником Δ ;
- выпрямление переменного тока с малыми пульсациями.

Трёхфазная система питающих напряжений представляет собой три источника одинаковой частоты (рисунок 1)

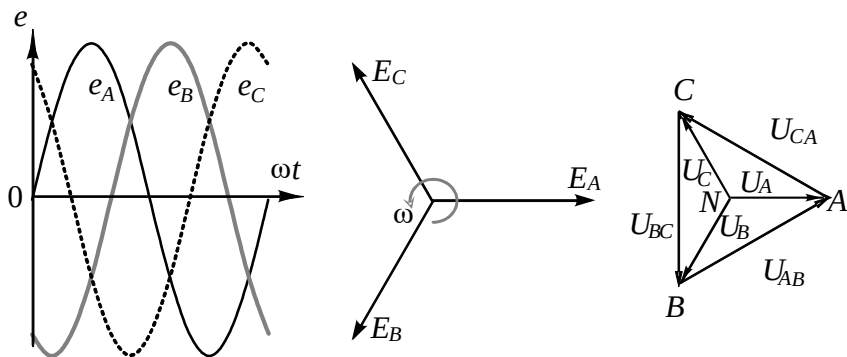


Рисунок 1 – Система из трёх ЭДС и создаваемые ими напряжения

Источники имеют одинаковые значения электродвижущих сил, сдвинутые по фазе на треть периода или 120° (электрических):

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin (\omega t - 120^\circ);$$

$$e_C = E_m \sin (\omega t + 120^\circ).$$

Один из выводов каждого из источников подключён к линейному проводу (рисунок 2) соответствующей фазы $A(L1)$, $B(L2)$ и $C(L3)$, вторые выводы всех трёх источников объединены в нейтраль, соединённую с нейтральным проводом N или объединённым защитным и рабочим нулевым проводом PEN .

Напряжения линейных проводов относительно нейтрали U_A , U_B и U_C называются фазными, а напряжения между линейными проводами питающей линии U_{AB} , U_{BC} и U_{CA} называются линейными. Линейные напряжения больше фазных, $U = \sqrt{3}U_\phi$. В обычной распределительной сети линейное напряжение $U = 400$ В, а фазное $U_\phi = 230$ В. При обозначении применяется запись 400/230 В. Иногда, с целью уменьшения опасности поражения электрическим током, применяют трёхфазную сеть пониженного напряжения 230/130 В (линейное напряжение равно 230 В, а фазное – 130 В).

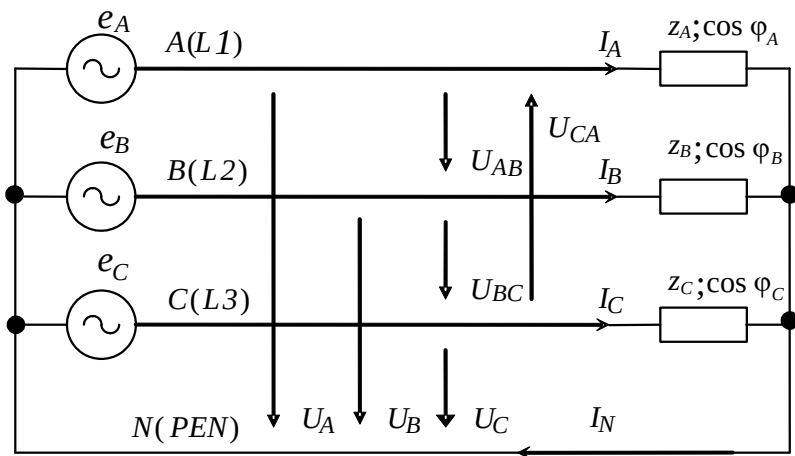


Рисунок 2 – Трёхфазная цепь с подключением нагрузки звездой

В схеме подключения нагрузки звездой один из выводов каждой фазы потребителя подключается к линейному проводу питающей линии, а вторые выводы соединяются вместе в нейтраль. В трёхпроводной схеме нейтраль потребителя изолирована, такая схема применяется только при симметричной нагрузке, когда в каждую фазу включены одинаковые потребители. В четырёхпроводной схеме нейтраль потребителя подключается к нулевому проводу *PEN* (*protect electric and neutral*). Этот провод служит одновременно для защитного зануления (как защитный) и для выравнивания напряжений на фазах при несимметричной нагрузке (как рабочий). В последнее время происходит переход на пятипроводную распределительную сеть, в которой применяют отдельные нулевой рабочий проводник (нейтральный) *N* и нулевой защитный проводник *PE*.

Ток нейтрального провода является суммой фазных токов. На векторной диаграмме (рисунок 3, *а*) видно, что при симметричной нагрузке сумма векторов фазных токов равняется нулю.

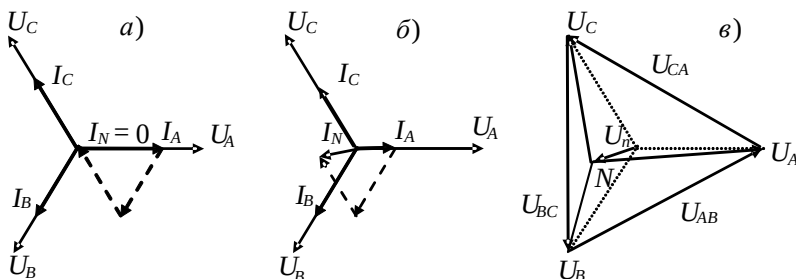


Рисунок 3 – Векторная диаграмма токов и напряжений при симметричной (*а*) и несимметричной нагрузке (*б*); при перекосе фаз (*в*)

Таким образом, при симметричной нагрузке отсутствуют потери в нейтральном проводе и из формул потерь напряжения и мощности, выведенных для однофазной линии переменного тока, исчезает двойка

$$\Delta u_{\%} = l \frac{r_0 P + x_0 Q}{U^2} \cdot 100 \% ; \Delta p_{\%} \approx l \frac{r_0 P}{U^2 \cos^2 \varphi} \cdot 100 \%$$

Кроме того, в формулах используется линейное напряжение, которое больше фазного, $U = \sqrt{3}U_{\phi}$. Поэтому потери напряжения и мощности в линии при трёхфазном подключении в шесть раз ($2 \cdot \sqrt{3}^2 = 6$) меньше, чем при однофазном подключении потребителей такой же мощности.

При несимметричной нагрузке нейтральный провод необходим, по нему должен проходить выравнивающий ток. На векторной диаграмме (рисунок 3, б) видно, что при несимметрии фазных токов появляется ток в нейтральном проводе. Если попытаться включить несимметричную нагрузку без нейтрального провода, получится перекося фаз, при котором на нагруженных фазах напряжение понизится, а на разгруженных появится перенапряжение (рисунок 3, в). Снижение напряжения нарушает работу потребителей, а перенапряжение может вывести их из строя. Одновременно появляется напряжение смещения нейтрали потребителя относительно нейтрали источника U_{nN} . Поэтому в нейтральном проводе не устанавливают предохранители. С подключением нейтрального провода в нём появляется выравнивающий ток, нейтраль потребителя «притягивается» к нейтрали источника, а фазные напряжения выравниваются. Однако преимущества трёхфазной системы частично утрачены. Потери энергии в нейтральном проводе снижают коэффициент полезного действия линии. Из-за потери напряжения в нейтральном проводе, а также из-за разности потерь напряжения в фазных проводах возникает несимметрия трёхфазной системы напряжений, которая ухудшает качество электроснабжения. Поэтому с целью получения симметричной нагрузки однофазные потребители стараются равномерно распределять по фазам.

Мощность трёхфазного потребителя равна сумме мощностей отдельных фаз. При симметричной нагрузке полная, активная и реактивная мощности

$$S = 3U_{\phi}I = \sqrt{3}UI ; P = \sqrt{3}UI \cos \varphi ; Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi .$$

Ток в проводах линии электропередачи при подключении симметричного трёхфазного потребителя

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi}.$$

Порядок выполнения работы

1 Открыть программу **Multisim**. Из группы элементов **[Источники]** (в левом верхнем углу, щёлкнуть два раза левой клавишей мыши, откроется окно [Выбор компонента]) из базы данных **[POWER_SOURCES]** в рабочую зону перенести трёхфазный источник переменного тока **[THRE_PHASE_WYE]**, ОК, (если открывается окно Параметры элемента – закрыть) и элемент заземления **[GROUND]**. Из группы **[Пассивные компоненты]** выбрать 3 регулируемых резистора **[VARIABLE_RESISTOR]** и ключ **[SWITCH]**, выбрать **DIPSW1**. Из группы **[Индикаторы]** выбрать четыре амперметра **[AMMETER_H]** и пять вольтметров **[VOLTMETER_H]**.

С панели **[Измерительные приборы]** перенести четырёхканальный осциллограф.

2 Расположить элементы в соответствии с рисунком 4. Собрать схему электрической цепи, соединяя выводы элементов курсором, щёлкнув левой клавишей мыши на одном выводе, довести до второго или до линии и щёлкнуть (если после соединения выводов линия продолжает тянуться за курсором, отсечь её нажатием правой клавиши мыши).

3 Двойным щелчком левой клавиши мыши открыть окно источника и сделать его 100 В, 50 Гц, ОК. Открыть ключ и сделать его **Key=N**. Открыть верхний резистор, установить сопротивление 10 Ом и **Key=A** и переименовать его в **Ra** (смотри лейбл в левом верхнем углу окошка). Средний резистор назвать **Rb**, установить сопротивление 10 Ом и **Key=B**. Нижний резистор сделать **Rc**, 10 Ом и **Key=C**. Левый верхний вольтметр сделать переменного тока **AC** и назвать **U_ab**. Верхний амперметр сделать **AC**, переименовать в **Ia**. Второй амперметр сделать **AC**, назвать **Ib**. Третий – **AC**, назвать **Ic**. Четвёртый (левый нижний) – **AC** и **In**. Верхний вольтметр сделать **AC**, переименовать в **Ua**. Ниже вольтметр сделать **AC**, назвать **Ub**. Ещё ниже – **AC**, назвать **Uc**. Самый нижний – **AC** и **UnN**.

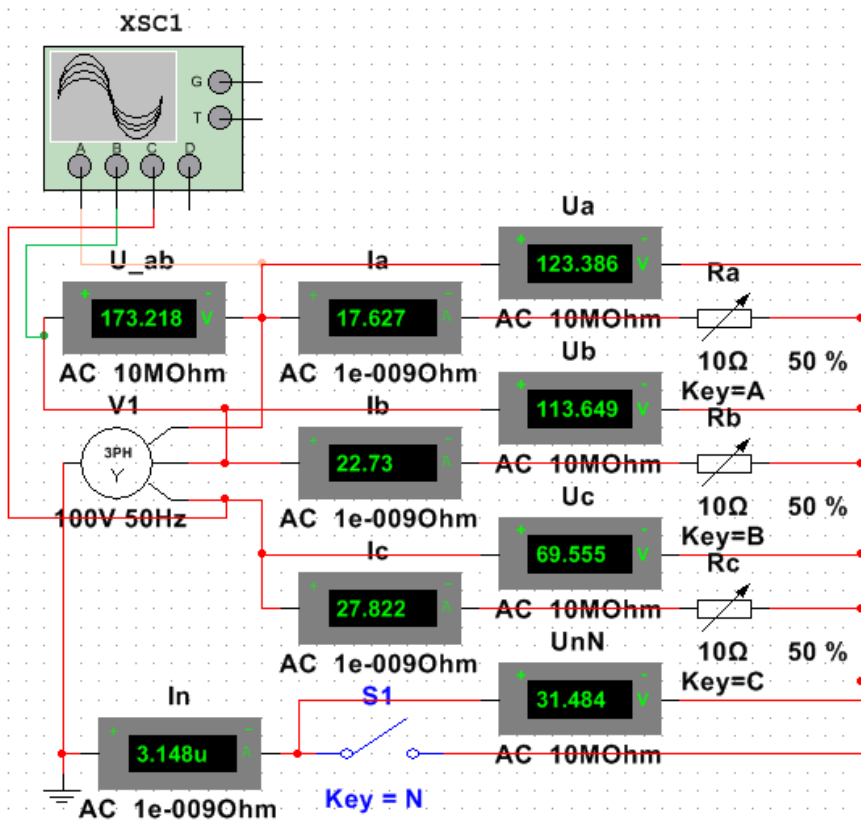


Рисунок 4 – Схема соединения трёхфазных потребителей звездой

4 Открыть лицевую панель осциллографа **XSC1** двойным нажатием левой клавиши мыши по его рисунку и разместить в удобном месте экрана. В окне **[Развёртка]** установить длительность развёртки **5^{ms}/Div**. В окне **[Синхронизация]** нажать кнопку **[Одн]**. Проверить состояние кнопок **[Y/T]** и **[DC]**, находящихся в нижней части панели осциллографа. Они должны быть активированы. Выбор канала четырёхканального осциллографа осуществляется переключателем каналов, расположенном в центре. Чувствительность каналов выбрать 50 V/дел. Сделать провод к

каналу **A** осциллографа жёлтым, **B** – зелёным (правой клавишей мыши нажать на провода и установить цвет).

5 При замкнутом ключе **S1** (**Key=N**, язык **EN**) и одинаковых сопротивлениях нагрузки 50 % включить моделирование нажатием [►]. На амперметрах и вольтметрах появятся показания, занести их в таблицу 1. На осциллографе наблюдать трёхфазную систему напряжений. При желании, нажатием на кнопку [Экран] можно сделать его белым.

Таблица 1 – Результаты измерений напряжений и токов в трёхфазной цепи

Виды нагрузки	U_{ab}	U_a	I_a	U_b	I_b	U_c	I_c	U_{nN}	I_n
	B	B	A	B	A	B	A	B	A
Симметричная нагрузка									
Несимметричная									
Несимметричная без нулевого провода									

Убедиться в том, что линейное напряжение U_{ab} больше фазного U_a в $\sqrt{3}$ раз; фазные напряжения одинаковы, токи тоже; ток нейтрального провода I_n и напряжение смещения нейтрали U_{nN} равны 0. Построить в масштабе напряжений $m_U = 20$ В/см равносторонний треугольник линейных напряжений; из его центра к вершинам провести фазные напряжения; по ним в масштабе токов $m_I = 10$ А/см направить фазные токи, убедиться, что их векторная сумма равна 0.

6 Установить несимметричную нагрузку фаз **Ra** 30 %, **Rb** 50 %, **Rc** 100 % , измерить токи. Убедиться, что токи фаз разные и появился выравнивающий ток I_n в нулевом проводе. Результаты измерений занести в таблицу 1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений, и путём сложения векторов фазных токов найти вектор тока нейтрального провода.

7 Разомкнуть ключом **S1** нейтральный провод. Убедиться, что напряжения фаз разные, токи тоже и появилось напряжение смещения нейтрали U_{nN} . Результаты измерений занести в таблицу 1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений, откладывая из вершин равностороннего треугольника линейных напряжений раствором циркуля фазные напряжения и найдя точку их

пересечения. Соединим эту точку с центром треугольника – получим напряжение смещения нейтрали. Увидеть перекося фаз, по фазным напряжениям направить токи, сложить их, убедиться, что векторная сумма токов равна 0.

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схема исследования с изображением амперметров и вольтметров кружочками.
- 3 Таблица результатов измерений;
- 4 Векторные диаграммы токов и напряжений для симметричной, несимметричной с нулевым проводом и несимметричной без нулевого провода нагрузок.
- 5 Заключение.

Контрольные вопросы

- 1 В чём заключаются преимущества трёхфазной системы электроснабжения?
- 2 Что такое линейные и фазные напряжения? Какое соотношение между ними?
- 3 В чём разница между трёх-, четырёх- и пятипроводной схемами подключения?
- 4 Как выглядит векторная диаграмма токов и напряжений при симметричной нагрузке?
- 5 Чему равны потери напряжения в трёхфазной линии?
- 6 Чему равны потери мощности в трёхфазной линии?
- 7 Во сколько раз потери напряжения и мощности при трёхфазном подключении меньше, чем при однофазном (при той же мощности потребителей)? Почему?
- 8 Почему необходим нейтральный провод при несимметричной нагрузке?
- 9 Как выглядит векторная диаграмма токов и напряжений при несимметричной нагрузке с нейтральным проводом?

10 Как выглядит векторная диаграмма токов и напряжений при несимметричной нагрузке без нейтрального провода? Что такое перекося фаз?

11 Как рассчитать мощность симметричного трёхфазного потребителя?

12 Как рассчитать ток симметричного трёхфазного потребителя?