



030901. Исследование трехфазных цепей с нагрузкой, соединенной звездой.

Цель работы: Изучить режимы работы линейной трёхфазной цепи с нагрузкой, соединённой звездой.

Требуемое оборудование: Модульный учебный комплекс МУК-ЭТ2

Приборы:

| | |
|--|-------|
| Блок генераторов напряжений ГН2; | 1 шт. |
| Амперметр-вольтметр АВ1; | 1 шт. |
| Стенд с объектами исследования СЗ-ЭТ01 | 1 шт. |
| Осциллограф ОЦЛ2 | 1 шт. |
| Комплект проводников | 1 шт. |

Краткое теоретическое введение

Под *симметричной трехфазной системой ЭДС* понимается совокупность трёх синусоидальных ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе между собой на угол 120° . Графики мгновенных значений ЭДС представлены на рис. 1, векторная диаграмма - на рис. 2.

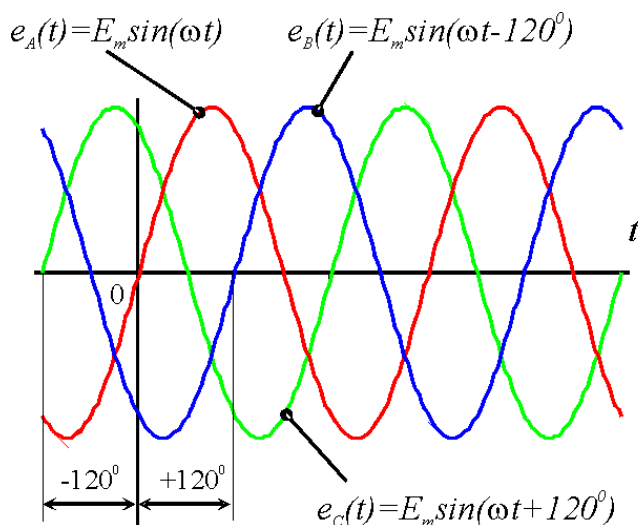


Рис. 1

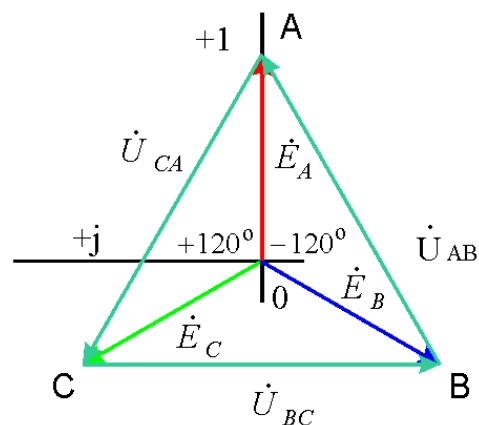


Рис. 2

Одну из ЭДС обозначают $-\dot{E}_A$, отстающую от этой ЭДС по фазе на угол -120° $-\dot{E}_B$, а опережающую на угол $+120^\circ$ $-\dot{E}_C$. Как видно из векторной диаграммы (рис. 2), $\dot{E}_A = E_\phi e^{0j}$, $\dot{E}_B = E_\phi e^{-120j}$ и $\dot{E}_C = E_\phi e^{120j}$, где E_ϕ называют *фазным* напряжением. Напряжения между фазами:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{E}_A - \dot{E}_B = U_\Delta e^{30j}; \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{E}_B - \dot{E}_C = U_\Delta e^{-90j}; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{E}_C - \dot{E}_A = U_\Delta e^{150j}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $U_{Л}$ - напряжения между двумя любыми фазами генератора называют *линейным* напряжением.

Из векторной диаграммы можно установить что $U_{Л} = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$.

Основным свойством симметричной трёхфазной системы ЭДС является:

$$e_A(t) + e_B(t) + e_C(t) = 0, \dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \text{ и } \dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0. \quad (2)$$

Чередованием фаз называется последовательность прохождения ЭДС через одинаковое значение, например, нулевое значение или другое, если фазные ЭДС проходят через нулевое значение в последовательности e_A , e_B и e_C , то её называют *прямой последовательностью* чередования фаз.

Трёхфазной цепью называется цепь, содержащая трёхфазную систему ЭДС, трёхфазную нагрузку и соединительные проводники (рис. 3).

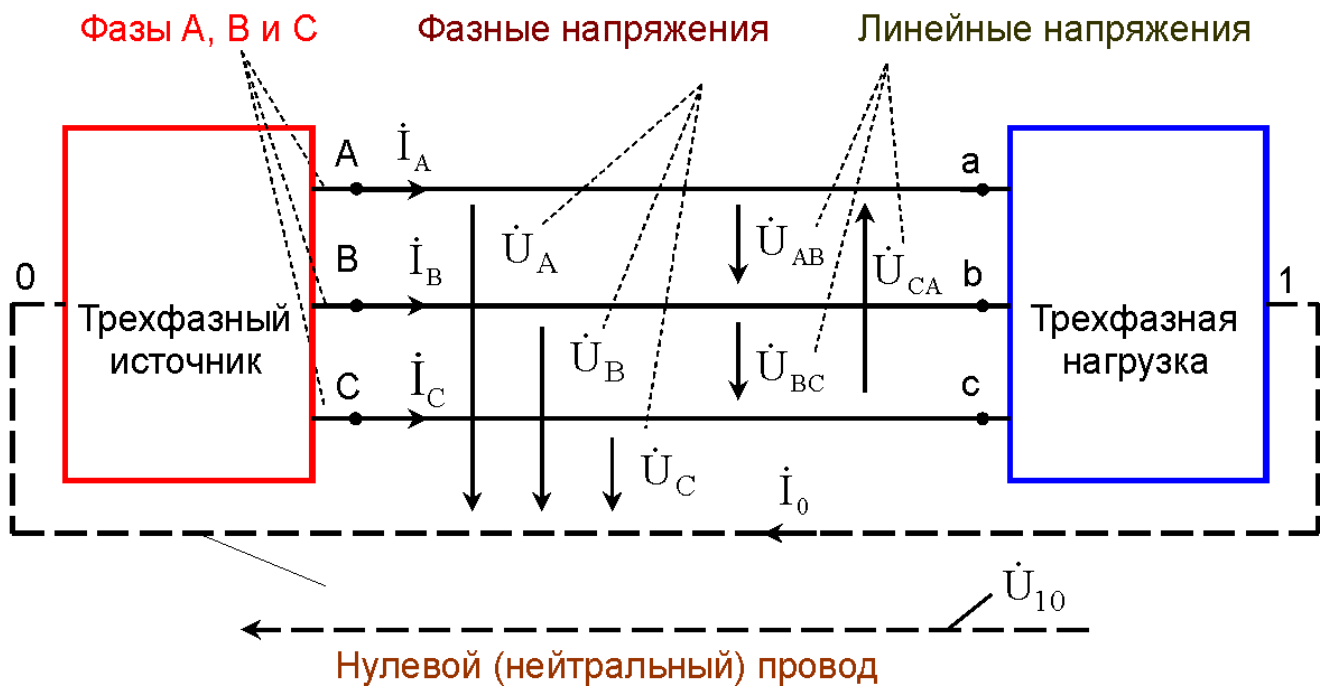


Рис. 3

Проводники, соединяющие начала фаз генератора и нагрузки, называются *линейными*.

Напряжение между нулевыми точками генератора и нагрузки называют напряжением *смещения нейтрали* - \dot{U}_{10}

Фазой трёхфазной цепи также называют однофазную цепь, входящую в состав трёхфазной цепи, в которой протекает одинаковый ток.

Трёхфазная система ЭДС и трёхфазная нагрузка могут иметь соединение *звездой* или *треугольником* (рис. 4 и 5). При соединении обмоток фаз генератора звездой концы фаз X, Y и Z соединяют в одну точку, называемую нулевой или нейтральной точкой. При соединении обмоток фаз генератора треугольником конец одной фазы соединяют с началом другой (рис. 4).

Если комплексные сопротивления в звезде или треугольнике имеют одинаковое значение, то они называются *симметричными*, в противном случае – *несимметричными*. Если сопротивления в нагрузке имеют одинаковый характер (все три сопротивления активные или только индуктивные или ёмкостные), то такая нагрузка называется *однородной*, в противном случае – *неоднородной*.

Токи в фазах называются фазными токами, токи в линиях – линейными.

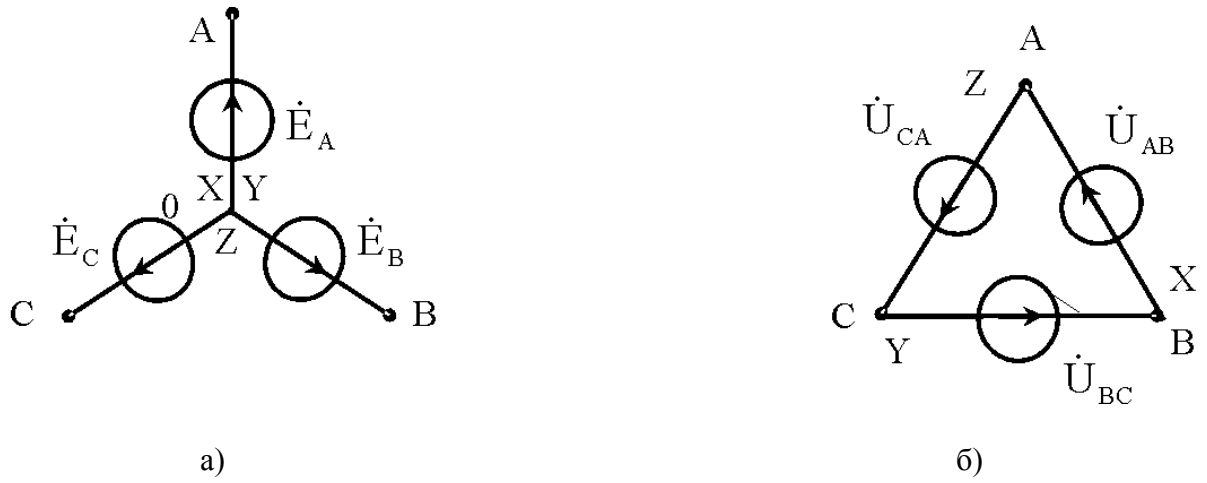


Рис. 4

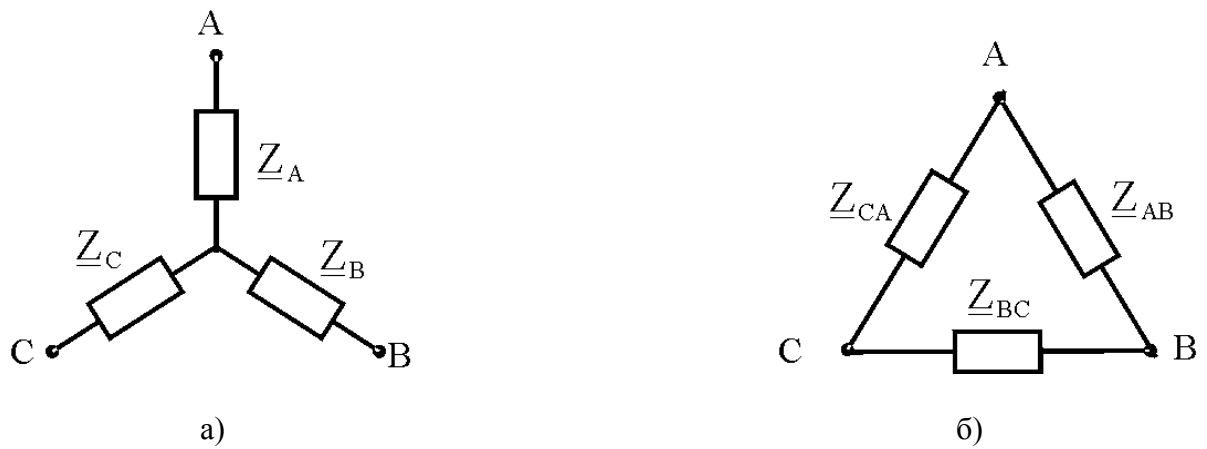


Рис. 5

Соединение источника и нагрузки звезда – звезда

На рис. 6 показана трёхфазная цепь при соединении источника и нагрузки звезда – звезда. Определим суммарные сопротивления в линиях

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_{HA} + \underline{Z}_{ЛА}, \quad \underline{Z}_B = \underline{Z}_{HB} + \underline{Z}_{ЛВ}, \quad \underline{Z}_C = \underline{Z}_{HC} + \underline{Z}_{ЛС} \quad . \quad (3)$$

При наличии нулевого провода ($\underline{Z}_N \neq 0$) напряжение смещения нейтрали рассчитаем методом двух узлов

$$\dot{U}_{10} = \frac{\frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_A} + \frac{\dot{E}_B}{\underline{Z}_B} + \frac{\dot{E}_C}{\underline{Z}_C}}{\frac{1}{\underline{Z}_A} + \frac{1}{\underline{Z}_B} + \frac{1}{\underline{Z}_C} + \frac{1}{\underline{Z}_N}} \quad (4)$$

Токи в линиях и нейтрали определим по закону Ома

$$\dot{i}_A = \frac{\dot{E}_A - \dot{U}_{10}}{\underline{Z}_A}, \quad \dot{i}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{U}_{10}}{\underline{Z}_B}, \quad \dot{i}_C = \frac{\dot{E}_C - \dot{U}_{10}}{\underline{Z}_C} \quad \text{и} \quad \dot{i}_N = \frac{\dot{U}_{10}}{\underline{Z}_N}. \quad (5)$$

При разомкнутом ключе нулевой провод отсутствует $\underline{Z}_N = \infty$ и $\dot{I}_N = 0$.

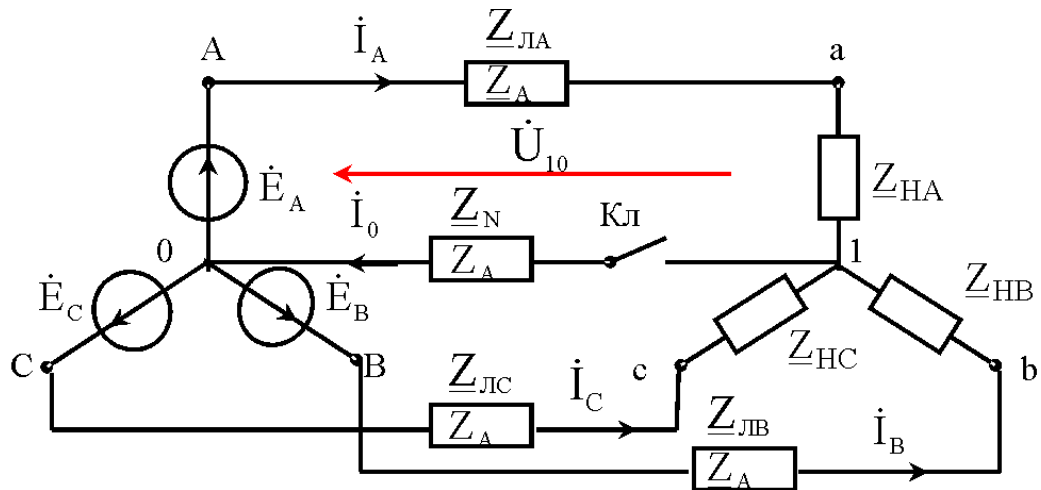


Рис. 6.

При замкнутом ключе и сопротивлении нулевого провода $\underline{Z}_N = 0$, смещение $\dot{U}_{10} = 0$ и ток в нейтрали

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C, \quad (6)$$

токи в линиях

$$\dot{I}_A = \dot{E}_A / \underline{Z}_A, \quad \dot{I}_B = \dot{E}_B / \underline{Z}_B \quad \text{и} \quad \dot{I}_C = \dot{E}_C / \underline{Z}_C. \quad (7)$$

При разомкнутом или замкнутом ключе и симметричной нагрузке $\underline{Z}_A = \underline{Z}_B = \underline{Z}_C$ то смещение нейтрали из (4) следует $\dot{U}_{10} = 0$ и ток в нейтрали $\dot{I}_N = 0$, а токи в линиях можно определить по (7).

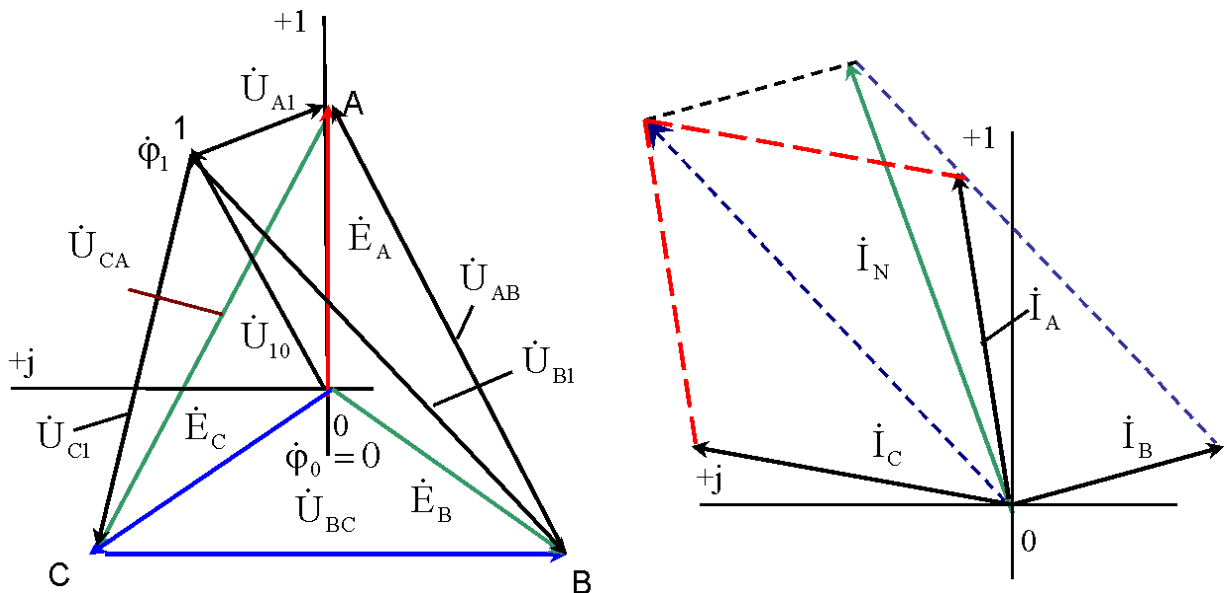


Рис. 7

На рис. 7 изображены векторные диаграммы напряжений и токов, соответствующие схеме рис. 6. для замкнутого положения ключа.

Методика эксперимента



Рис. 8

Экспериментальные исследования производятся на модульном комплексе МУК-ЭТ2.

Для исследования режимов работы трехфазной цепи можно использовать генератор напряжений ГН2. В его состав входит блок генератора трехфазного ЭДС, имеющее соединение звездой. Выходная частота - 1000 Гц, а амплитуда фазного напряжения 3.1 В (действующее значение напряжения 2.20 В).

Измерения амплитудных значений тока и напряжения производится с помощью амперметра-вольтметра АВ1 в режиме «~».

Все исследуемые объекты исследования

расположены на стенде СЗ-ЭТ01.

Предварительный расчет

При подготовке к лабораторной работе каждый студент должен провести предварительный расчет цепей согласно выбранному варианту. Исходные данные к расчетам и опытам приведены в табл. 1.

Таблица. 1

| Номер варианта | $R1$ | $R2$ | L | Для всех вариантов: $C=0.47$ мкФ $R3=150$ Ом $E_{\phi}=3.1$ В, $f=1000$ Гц |
|----------------|------|------|-----|--|
| | Ом | Ом | мГн | |
| 1 | 150 | 390 | 10 | |
| 2 | 270 | 150 | 10 | |
| 3 | 390 | 270 | 10 | |
| 4 | 150 | 390 | 15 | |
| 5 | 270 | 150 | 15 | |
| 6 | 390 | 270 | 15 | |

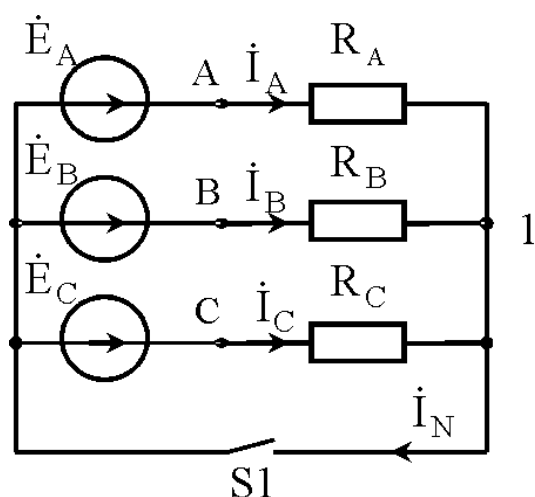


Рис. 9

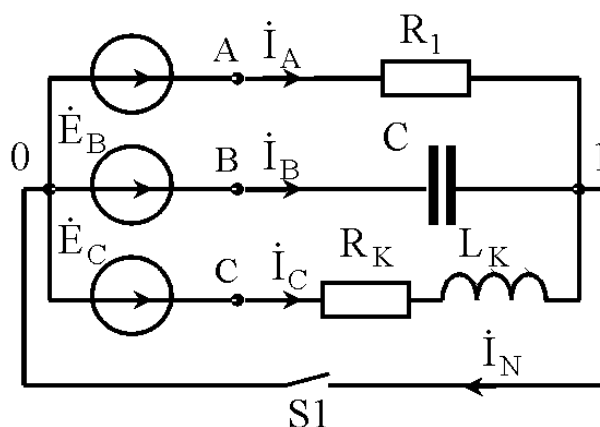


Рис. 10

1. Для схемы с активной симметричной нагрузкой (рис.9, с нулевым проводом: S1-замкнут), $R_A = R_B = R_C = R3$ (табл. 1) рассчитать:

- амплитуды линейных токов Im_A, Im_B, Im_C ;

- амплитуду тока в нейтральном проводе Im_N .
 Результаты расчетов занести в табл. 2.

Таблица 2

| | Im_A | Im_B | Im_C | Im_N |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | A | A | B |
| расчет | | | | |
| опыт | | | | |

2. Для схемы с активной симметричной нагрузкой (рис.9, без нулевого провода: S1-разомкнут), $R_A = R_B = R_C = R3$ (табл. 1) определить:

- амплитуды линейных токов Im_A, Im_B, Im_C ;
- амплитуды фазных напряжений на нагрузке $Um_{A1}, Um_{B1}, Um_{C1}$;
- амплитуду напряжения смещения нейтрали Um_{01} .

Для обрыва линейного провода фазы А $R_A = \infty$ определить аналогичные параметры.

Для короткого замыкания в фазе А $R_A = 0$ определить аналогичные параметры.

Результаты расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

| | Um_{A1} | Um_{B1} | Um_{C1} | Um_{01} | Im_A | Im_B | Im_C |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| | B | B | B | B | A | A | A |
| Активная симметричная нагрузка (без нулевого провода) | | | | | | | |
| расчет | | | | | | | |
| опыт | | | | | | | |
| Обрыв в фазе А (без нулевого провода) | | | | | | | |
| расчет | | | | | | | |
| опыт | | | | | | | |
| Короткое замыкание в фазе А (без нулевого провода) | | | | | | | |
| расчет | | | | | | | |
| опыт | | | | | | | |

3. Для схемы с активной несимметричной нагрузкой (рис.9, с нулевым проводом: S1-замкнут), $R_A=R1, R_B=R2, R_C=R3$ (табл. 1) определить:

- амплитуды линейных токов Im_A, Im_B, Im_C ;
- амплитуду тока в нейтральном проводе Im_N .

Результаты расчетов занести в табл. 4.

Таблица 4

| | Im_A | Im_B | Im_C | Im_N |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| | A | A | A | B |
| расчет | | | | |
| опыт | | | | |

4. Для схемы с активной симметричной нагрузкой (рис.9, без нулевого провода: S1-разомкнут), $R_A=R1, R_B=R2, R_C=R3$ (табл. 1) определить:

- амплитуды линейных токов $I_{m_A}, I_{m_B}, I_{m_C}$;
 - амплитуды фазных напряжений на нагрузке $U_{m_{A1}}, U_{m_{B1}}, U_{m_{C1}}$;
 - амплитуду напряжения смещения нейтрали $U_{m_{01}}$.
- Результаты расчетов занести в табл. 5.

Таблица 5

| | $U_{m_{A1}}$ | $U_{m_{B1}}$ | $U_{m_{C1}}$ | $U_{m_{01}}$ | I_{m_A} | I_{m_B} | I_{m_C} |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | В | В | В | В | А | А | А |
| расчет | | | | | | | |
| опыт | | | | | | | |

5. Для схемы с неоднородной нагрузкой (рис. 10, с нулевым проводом: S1-замкнут), определить:

- амплитуды линейных токов $I_{m_A}, I_{m_B}, I_{m_C}$;
- амплитуду тока в нейтральном проводе I_{m_N} .

Результаты расчетов занести в табл. 6.

Таблица 6

| | I_{m_A} | I_{m_B} | I_{m_C} | I_{m_N} |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | А | А | А | В |
| расчет | | | | |
| опыт | | | | |

6. Для схемы с неоднородной нагрузкой (рис.9, без нулевого провода: S1-разомкнут), определить:

- амплитуды линейных токов $I_{m_A}, I_{m_B}, I_{m_C}$;
- амплитуды фазных напряжений на нагрузке $U_{m_{A1}}, U_{m_{B1}}, U_{m_{C1}}$;
- амплитуду напряжения смещения нейтрали $U_{m_{01}}$.

Результаты расчетов занести в табл. 7.

Таблица 7

| | $U_{m_{A1}}$ | $U_{m_{B1}}$ | $U_{m_{C1}}$ | $U_{m_{01}}$ | I_{m_A} | I_{m_B} | I_{m_C} |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| | В | В | В | В | А | А | А |
| расчет | | | | | | | |
| опыт | | | | | | | |

Рекомендуемое задание к работе

1. *Изучение источника трехфазного напряжения.* Измерьте значения амплитуд линейных напряжений источника. Измерьте амплитуды фазных значения источника. Проверьте соотношение $U_{л} = \sqrt{3} \cdot U_{ф}$.

Измерьте разности фаз между фазными напряжениями. Проверьте чередование фаз.

2. *Активная симметричная нагрузка, схема с нулевым проводом.*

Соберите электрическую схему рис. 11. В качестве нагрузки использовать резисторы $R_A = R_B = R_C = R_3$. Соедините нулевые точки генератора «N» и нагрузки «1» проводником. Измерить все токи в цепи и занести в соответствующие графы табл. 2.

3. *Активная симметричная нагрузка, схема без нулевого провода*

Собрать цепь в соответствии со схемой рис. 11. Соединение нулевых точек генератора «N» и нагрузки «1» не делать. В качестве нагрузки использовать резисторы $R_A = R_B = R_C = R_3$,

Измерить все токи и напряжения в цепи и занести в соответствующие графы табл. 3.

Удалите из схемы R_A ($R_A = \infty$). Измерить все токи и напряжения в цепи и занести в соответствующие графы табл. 3.

Закоротите проводником R_A ($R_A = 0$). Измерить все токи и напряжения в цепи и занести в соответствующие графы табл. 3.

4. *Активная несимметричная нагрузка, схема без нулевого провода.*

В цепи рис. 11 установите сопротивления, согласно расчетному заданию. Соедините нулевые точки генератора «N» и нагрузки «1» проводником. Измерить все токи в цепи и занести в соответствующие графы табл. 4.

5. *Активная несимметричная нагрузка, схема с нулевым проводом.*

В цепи рис. 11 установите сопротивления, согласно расчетному заданию. Соединение нулевых точек генератора «N» и нагрузки «1» не делать. Измерить все токи и напряжения в цепи и занести в соответствующие графы табл. 5.

4. *Неоднородная нагрузка, схема с нулевым проводом*

В цепи в рис. 11 установить неоднородную нагрузку, согласно расчетному заданию. Соедините нулевые точки генератора «N» и нагрузки «1» проводником. Измерить все токи в цепи и занести в соответствующие графы табл. 6.

5. *Неоднородная нагрузка, схема без нулевого провода*

В цепи для предыдущего опыта отключить нулевой провод, измерить все токи и напряжения и занести их в соответствующие графы табл. 7.

6. Сравнить результаты опытов и расчетов контрольных заданий. По опытным данным построить в масштабе векторные диаграммы токов, совмещённые с топографическими диаграммами напряжений, для всех исследованных режимов.

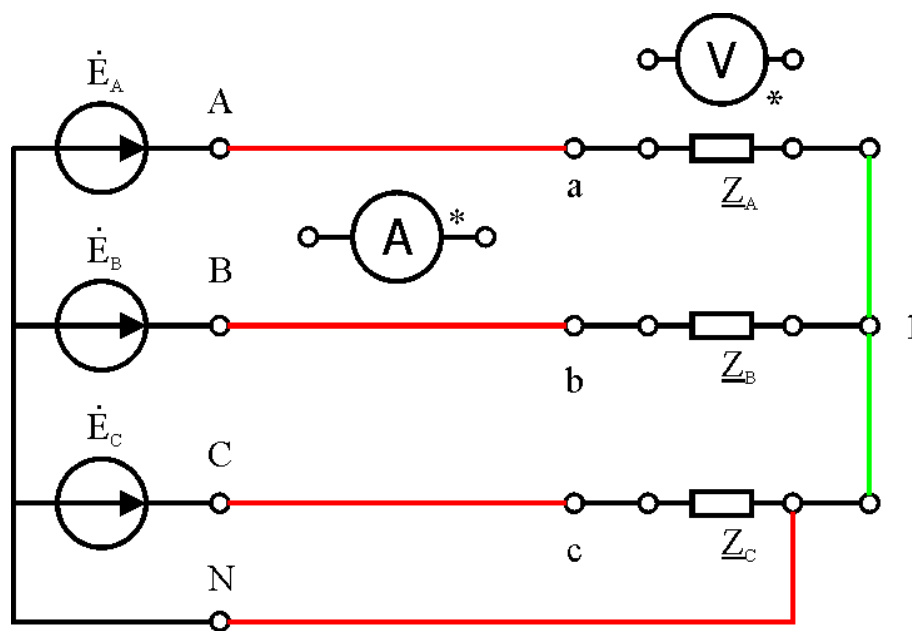


Рис. 11