



**030901. Исследование трехфазных цепей с нагрузкой, соединенной треугольником.**

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

**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  $120^\circ$ . Графики мгновенных значений ЭДС представлены на рис. 1, векторная диаграмма - на рис. 2.

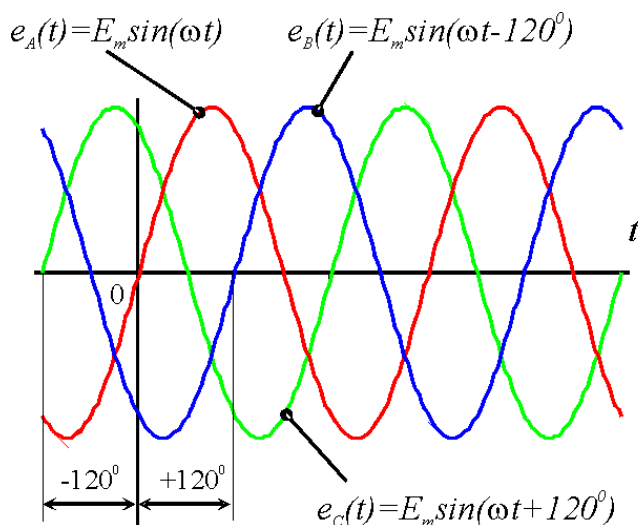


Рис. 1

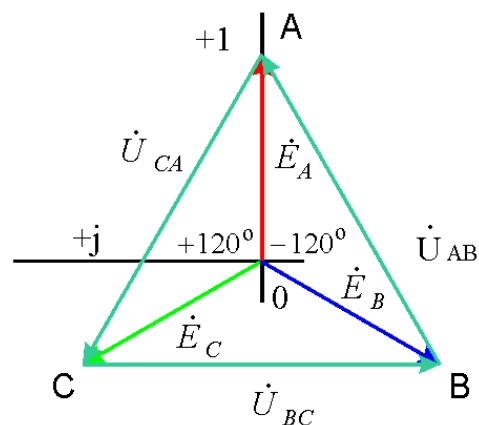


Рис. 2

Одну из ЭДС обозначают  $-\dot{E}_A$ , отстающую от этой ЭДС по фазе на угол  $-120^\circ$   $-\dot{E}_B$ , 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  $E_\phi$  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  $U_L$  - напряжения между двумя любыми фазами генератора называют *линейным* напряжением.

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

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).

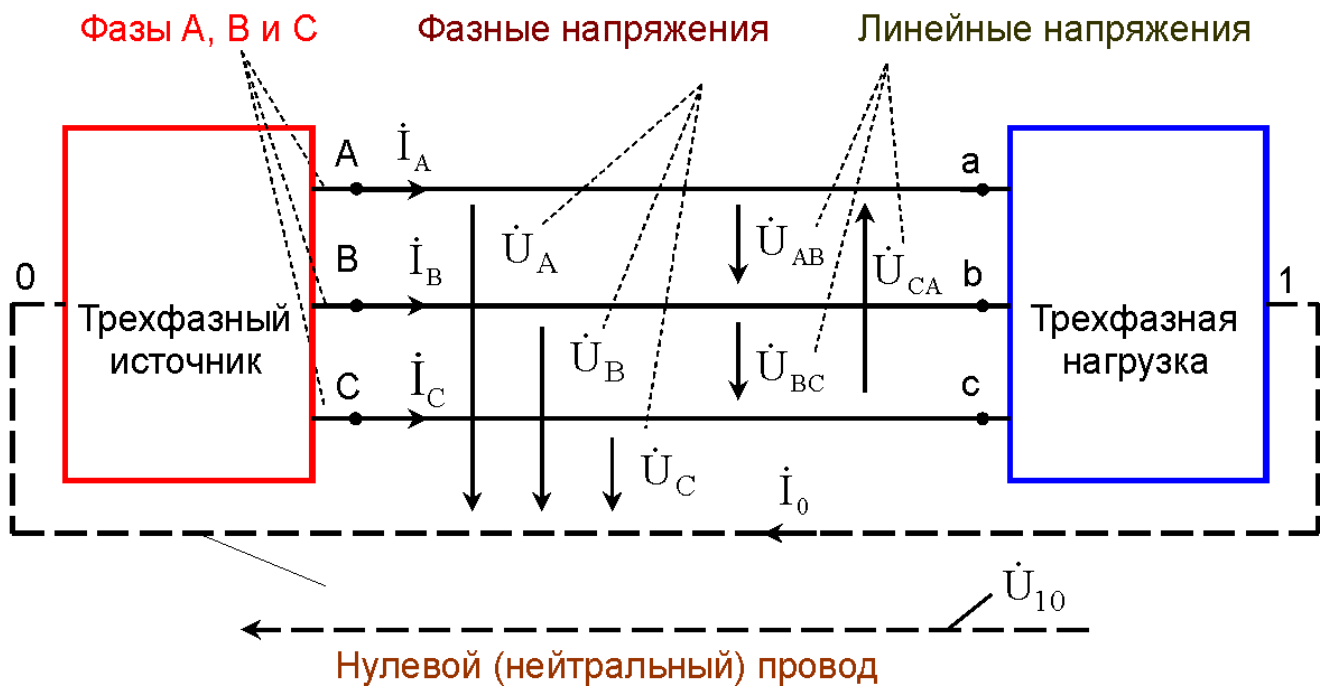


Рис. 3

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.

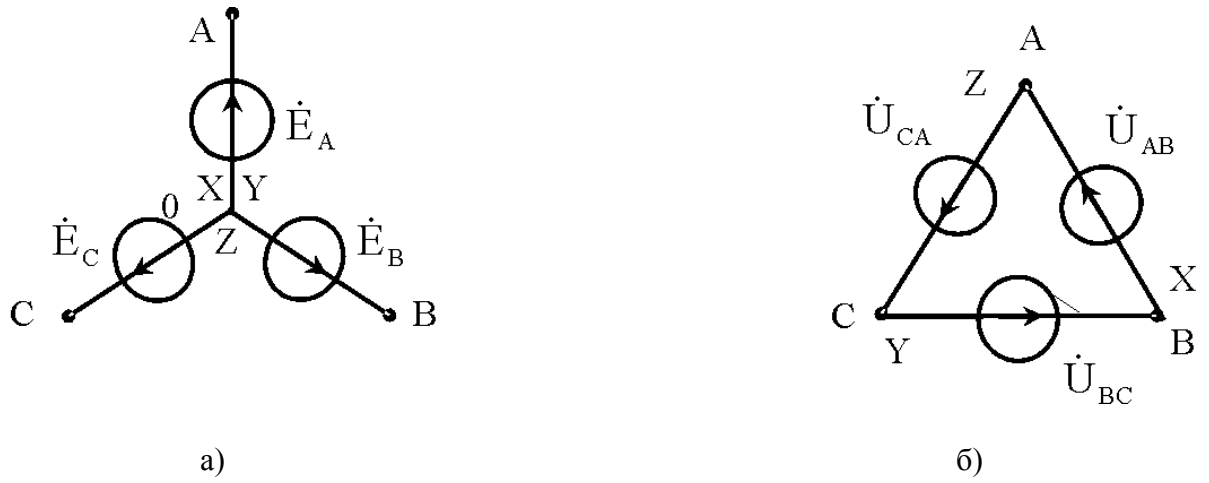


Рис. 4

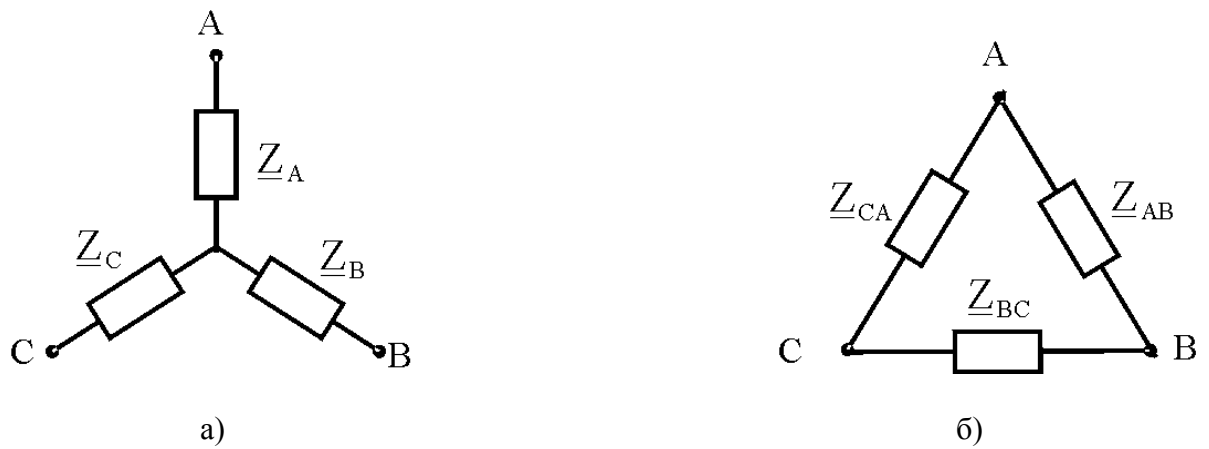


Рис. 5

**Соединение источника и нагрузки звезда – треугольник**

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

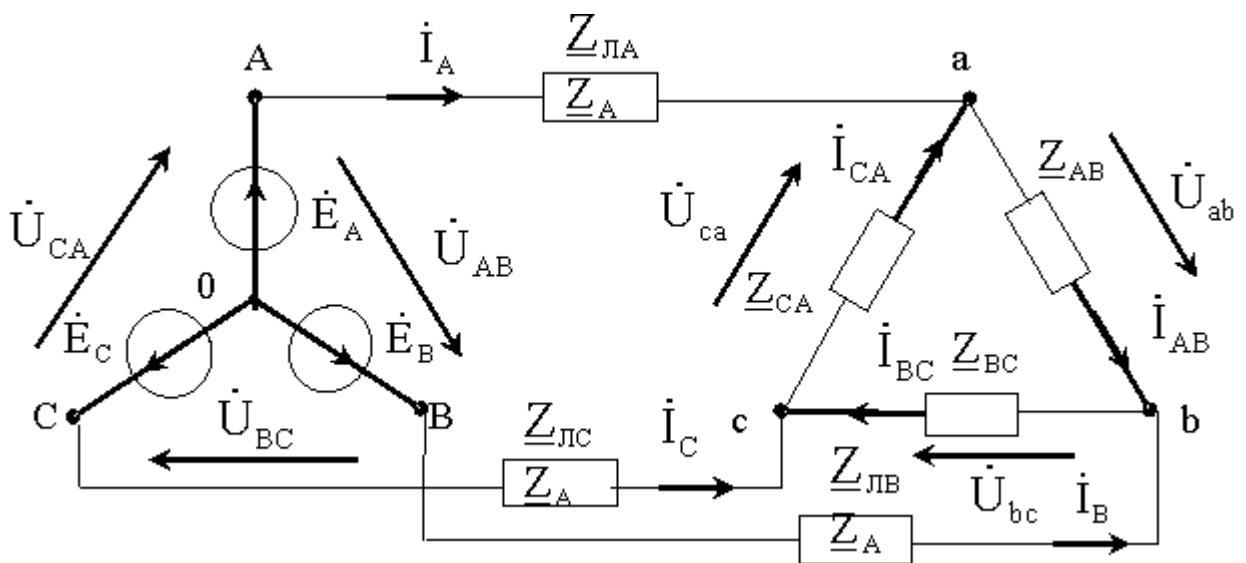


Рис. 6

Токи в линейных проводах можно определить, преобразовав треугольник сопротивлений в звезду и пользоваться соотношения:

$$\begin{aligned} \underline{Z}_S &= \underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{CA}; \\ \underline{Z}_{HA} &= \underline{Z}_{CA} \cdot \underline{Z}_{AB} / \underline{Z}_S; & \underline{Z}_{HB} &= \underline{Z}_{BC} \cdot \underline{Z}_{AB} / \underline{Z}_S; & \underline{Z}_{HC} &= \underline{Z}_{CA} \cdot \underline{Z}_{BC} / \underline{Z}_S. \end{aligned} \quad (3)$$

Токи в нагрузке найдём через напряжения  $\dot{U}_{ab}$ ,  $\dot{U}_{bc}$  и  $\dot{U}_{ca}$  на сопротивлениях нагрузке

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_A \underline{Z}_{HA} - \dot{I}_B \underline{Z}_{HB}; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{I}_B \underline{Z}_{HB} - \dot{I}_C \underline{Z}_{HC}; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{I}_C \underline{Z}_{HC} - \dot{I}_A \underline{Z}_{HA}; \quad (4)$$

$$\dot{I}_{AB} = \dot{U}_{ab} / \underline{Z}_{AB}; \quad \dot{I}_{BC} = \dot{U}_{bc} / \underline{Z}_{BC}; \quad \dot{I}_{CA} = \dot{U}_{ca} / \underline{Z}_{CA}; \quad (5)$$

В большинстве случаев сопротивлениями линий  $\underline{Z}_{ЛА}$ ,  $\underline{Z}_{ЛВ}$  и  $\underline{Z}_{ЛС}$  можно пренебречь, тогда напряжения на нагрузке равны линейным напряжениям источника

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{AB}; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{BC}; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{CA}.$$

Токи в нагрузке определим по (6.10), а токи в линиях первому закону Кирхгофа

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}. \quad (7)$$

Совмещенные векторные диаграммы напряжений и токов приведены на рис. 7.

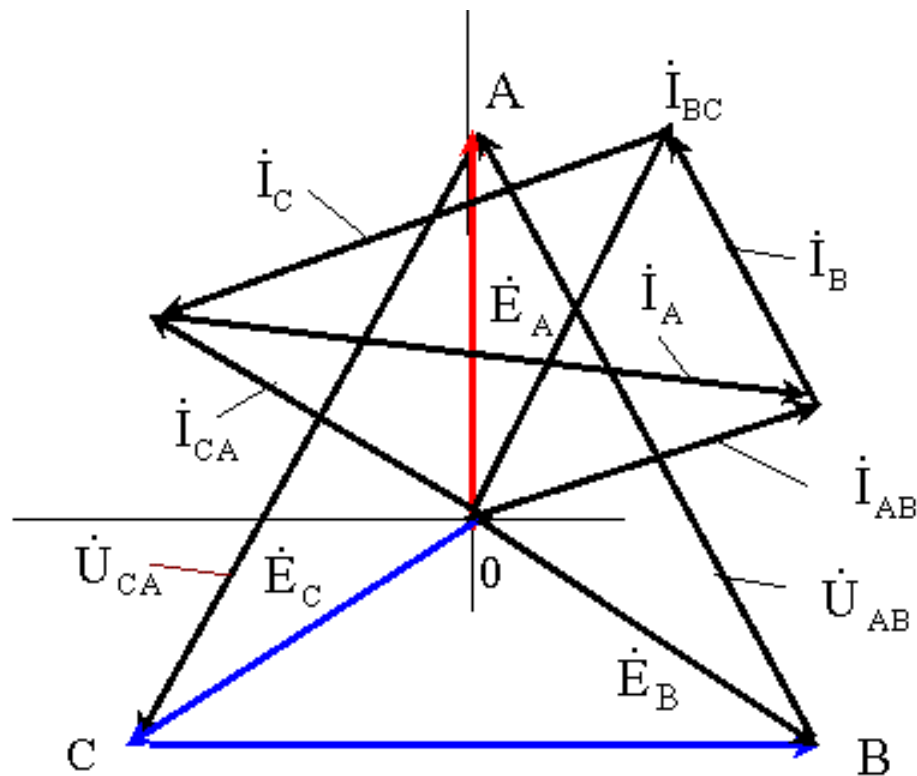


Рис. 7

## 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	$R_1$	$L$	Для всех вариантов: $C=0.47$ мкФ $R_2=150$ Ом $E_\phi=3.1$ В, $f=1000$ Гц
	Ом	мГн	
1	150	10	
2	270	10	
3	390	10	
4	150	15	
5	270	15	
6	390	15	

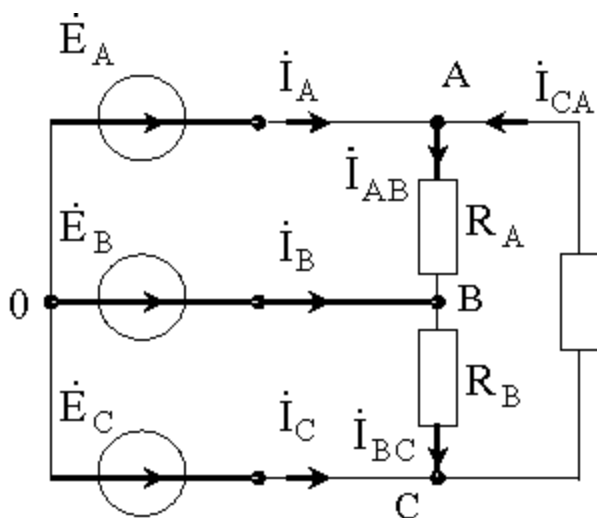


Рис. 9

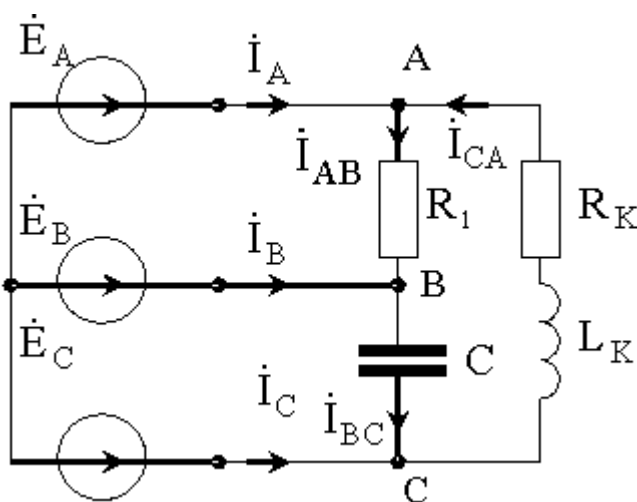


Рис. 10

- Для схемы рис. 9 и  $R_A = R_B = R_C = R_2$  (табл. 1) определить:
  - амплитуды линейных токов  $Im_A, Im_B, Im_C$ ;
  - амплитуды токов в нагрузках  $Im_{AB}, Im_{BC}, Im_{CA}$ ;

Результаты расчетов занести в табл. 2.

2. Для обрыва линейного провода фазы А определить аналогичные параметры.
3. Для обрыва провода в нагрузке между фазами А и В  $R_B = \infty$  определить аналогичные параметры.

Таблица 2

	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
	В	В	В	А	А	А
Активная симметричная нагрузка						
Расчет						
Опыт						
Обрыв в фазе А,						
Расчет				0		
Опыт				0		
Обрыв провода в нагрузке между фазами А и В						
Расчет			0			
Опыт			0			

4. Для схемы с неоднородной нагрузкой, определить:

- амплитуды линейных токов  $I_{m_A}, I_{m_B}, I_{m_C}$ ;
- амплитуды токов в нагрузках  $I_{m_{AB}}, I_{m_{BC}}, I_{m_{CA}}$ ;

Результаты расчетов занести в табл. 3.

Таблица 3

	$I_{AB}$	$I_{BC}$	$I_{CA}$	$I_A$	$I_B$	$I_C$
	В	В	В	А	А	А
Неоднородная нагрузка						
Расчет						
Опыт						

### Рекомендуемое задание к работе

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

Измерьте разности фаз между фазными напряжениями. Проверьте чередование фаз.

2. *Активная симметричная однородная нагрузка,*

Соберите электрическую схему рис. 11. В качестве нагрузки использовать резисторы  $R_A = R_B = R_C = R3$ . Измерить все токи в цепи и занести в соответствующие графы табл. 2.

Отключить линейный провод «А» от соответствующего зажима источника питания (обрыв линейного провода). Измерить все токи в цепи и занести в соответствующие графы табл. 2.

Восстановить линейный провод «А» и отключить сопротивление  $R_A$  в нагрузке между фазами «А» и «В» (Обрыв провода в нагрузке между фазами А и В). Измерить все токи занести в соответствующие графы табл. 2

3. *Неоднородная нагрузка*

В цепи в рис. 11 установить неоднородную нагрузку, согласно выбранному заданию табл. 1.

Измерить все токи занести в соответствующие графы табл. 3

4. 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.

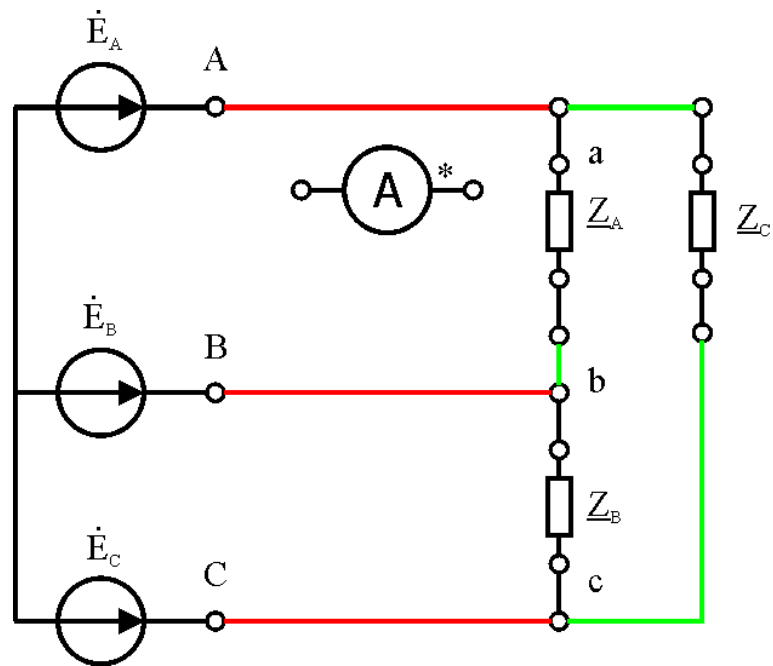


Рис. 11