

Расчетно-лабораторная работа N 1

Схемы соединения фаз трехфазного источника

Цель работы: дать представление об основных свойствах трехфазных цепей при различных схемах соединения трехфазного источника.

Программа работы

1. Рассчитать значения напряжений, указанных в таблицах 1.2 и 1.3.
2. Исследовать особенности различных схем соединения фаз источника.
3. По экспериментальным данным построить векторные диаграммы напряжений.
4. Сделать вывод о возможных последствиях неправильного соединения фаз трехфазных генераторов.

Краткие сведения из теории

Трехфазная система ЭДС называется *симметричной*, если эти ЭДС синусоидальны, их частота и амплитуда одинаковы и ЭДС каждой фазы смещены относительно друг друга на угол $\frac{2\pi}{3}$ (120°).

В *аналитической* форме мгновенные значения наводимых в фазах ЭДС записывают в следующем виде

$$\begin{aligned}e_A &= E_m \sin \omega t, & e_B &= E_m \sin(\omega t - 120^\circ), \\e_C &= E_m \sin(\omega t - 240^\circ) = E_m \sin(\omega t + 120^\circ).\end{aligned}$$

В *комплексной* форме действующие значения этих ЭДС

$$\begin{aligned}\underline{E}_A &= E, & \underline{E}_B &= E e^{-j120^\circ} = E \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right), \\ \underline{E}_C &= E e^{j120^\circ} = E \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right).\end{aligned}$$

Графическое и *векторное* их изображения представлены на рис.1.1 (а и б соответственно).

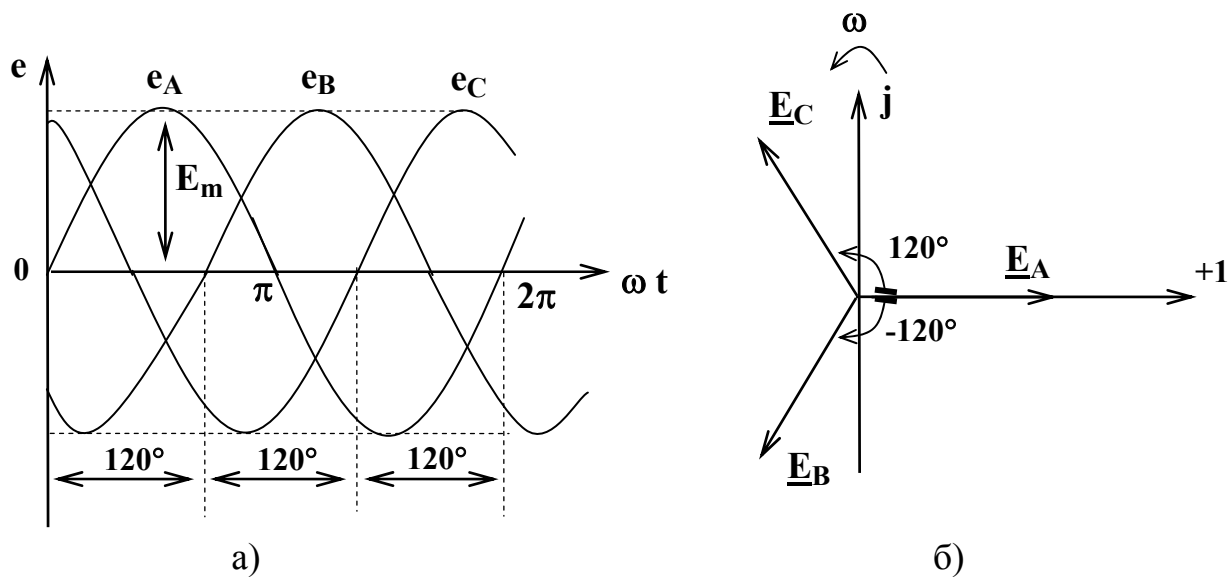


Рис.1.1

На векторной диаграмме \underline{E}_B отстает от \underline{E}_A , а \underline{E}_C отстает от \underline{E}_B , такое чередование фаз **ABC** называют *прямой* последовательностью, а чередование фаз **ACB** - *обратной*.

Фазы обмотки трехфазного генератора могут быть соединены в *звезду* или в *треугольник*.

При соединении *звездой* (рис.1.2а) концы обмоток **X**, **Y**, **Z** объединяют в общий узел **N**, называемый *нейтральной* (нулевой) точкой генератора. Провода, идущие к приемникам от начал **A**, **B**, **C** фаз, называются *линейными*. От нейтральной точки к приемникам также может быть выведен провод - его называют *нейтральным*. Потенциал точки **N** генератора принимается равным нулю.

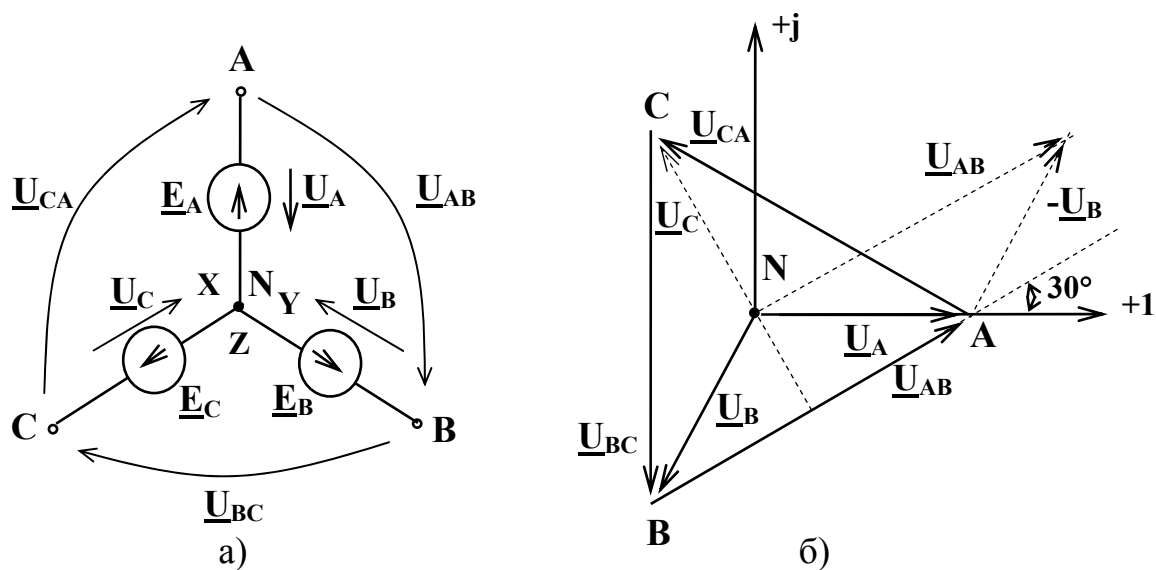


Рис.1.2

Напряжения между началами и концами фаз генератора

$$\underline{U}_{AN} = \underline{U}_A = U_\phi; \quad \underline{U}_{BN} = \underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_{CN} = \underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ}.$$

называют *фазными* напряжениями генератора.

Напряжения между началами фаз или между линейными проводами, идущими от начал фаз к приемнику, \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} называются *линейными* напряжениями.

Фазные и линейные напряжения связаны между собой выражениями

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

В комплексной форме линейные напряжения (рис.1.2б).

$$\underline{U}_{AB} = U_\Delta e^{j30^\circ}; \quad \underline{U}_{BC} = U_\Delta e^{-j90^\circ}; \quad \underline{U}_{CA} = U_\Delta e^{j150^\circ}.$$

Из треугольника \mathbf{ANB} следует, что

$$U_\Delta = 2U_\phi \cos 30^\circ = \sqrt{3}U_\phi.$$

Обратите внимание на то, что на схеме рис.1.2а стрелка, показывающая положительное направление напряжения между двумя точками, например, \underline{U}_{AB} , направлена от точки \mathbf{A} к точке \mathbf{B} , а на комплексной плоскости (рис.1.2б) вектор \underline{U}_{AB} направлен от точки \mathbf{B} к точке \mathbf{A} , т.е. в точку «большого» потенциала.

При соединении фаз генератора треугольником (рис.1.3а) начало одной фазы соединяют с концом другой: \mathbf{B} с \mathbf{X} , \mathbf{C} с \mathbf{Y} , \mathbf{A} с \mathbf{Z} . Фазы генератора образуют замкнутый контур, в котором действуют три ЭДС, а из общих точек \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} выводятся провода к приемникам. Тока в замкнутом контуре нет, так как

$$\underline{E}_A + \underline{E}_B + \underline{E}_C = 0.$$

Между точками \mathbf{A} и \mathbf{B} , \mathbf{B} и \mathbf{C} , \mathbf{C} и \mathbf{A} (началами или концами обмоток) напряжения, названные выше фазными, являются и линейными напряжениями, т.е. $U_\Delta = U_\phi$.

Топографическая диаграмма напряжений при соединении фаз генератора треугольником изображена на рис.1.3б.

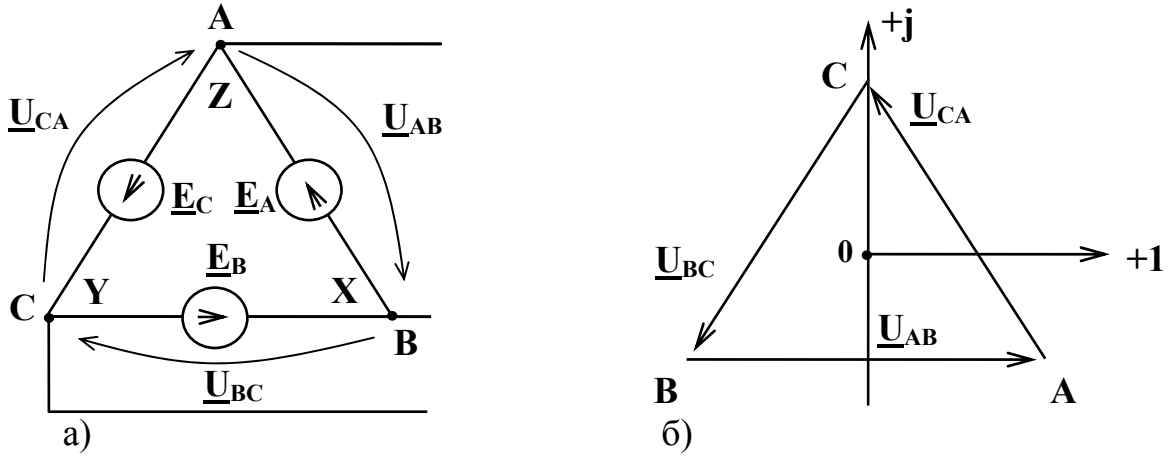


Рис.1.3

Рассмотрим задачу определения линейных напряжений при «ошибочном» подключении одной фазы генератора для соединения в звезду (рис.1.4а).

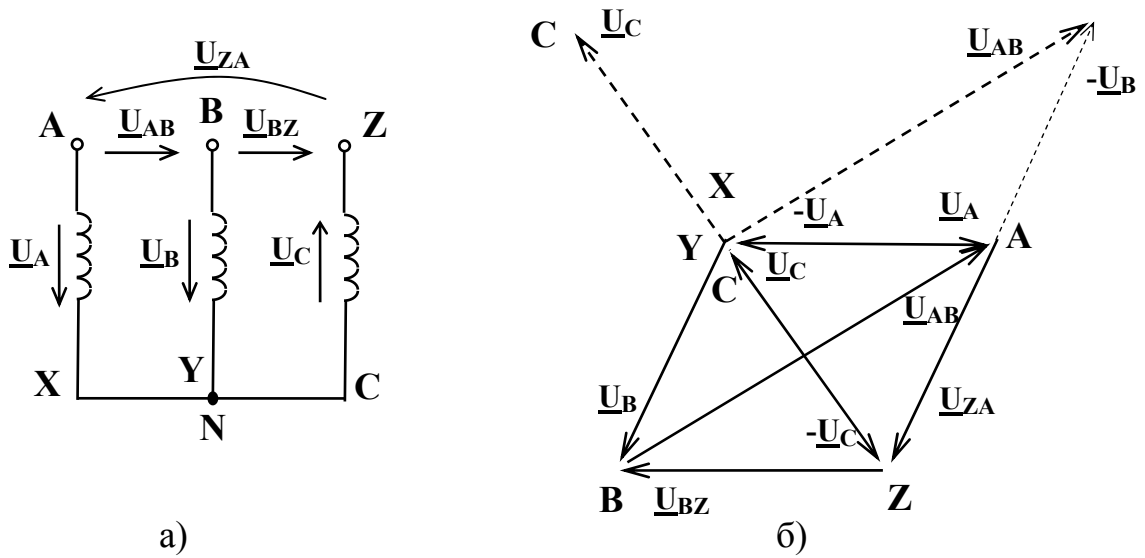


Рис.1.4

Известны фазные напряжения генератора

$$\underline{U}_A = U_A; \quad \underline{U}_B = U_B e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_C = U_C e^{j120^\circ}; \quad U_A = U_B = U_C.$$

Необходимо определить \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BZ} , \underline{U}_{ZA} .

Составим уравнения по второму закону Кирхгофа для контуров, в которые входят определяемые напряжения

$$\begin{aligned}\underline{U}_{AB} + \underline{U}_B - \underline{U}_A &= 0, & \underline{U}_{AB} &= \underline{U}_A - \underline{U}_B, \\ \underline{U}_{BZ} - \underline{U}_C - \underline{U}_B &= 0, & \underline{U}_{BZ} &= \underline{U}_B + \underline{U}_C, \\ \underline{U}_{ZA} + \underline{U}_A + \underline{U}_C &= 0, & \underline{U}_{ZA} &= -\underline{U}_A - \underline{U}_C.\end{aligned}$$

Решение этих уравнений проиллюстрировано на рис.1.4б.

Определим показание вольтметра при «ошибочном» подключении одной фазы генератора для соединения в *открытый* треугольник (рис.1.5а).

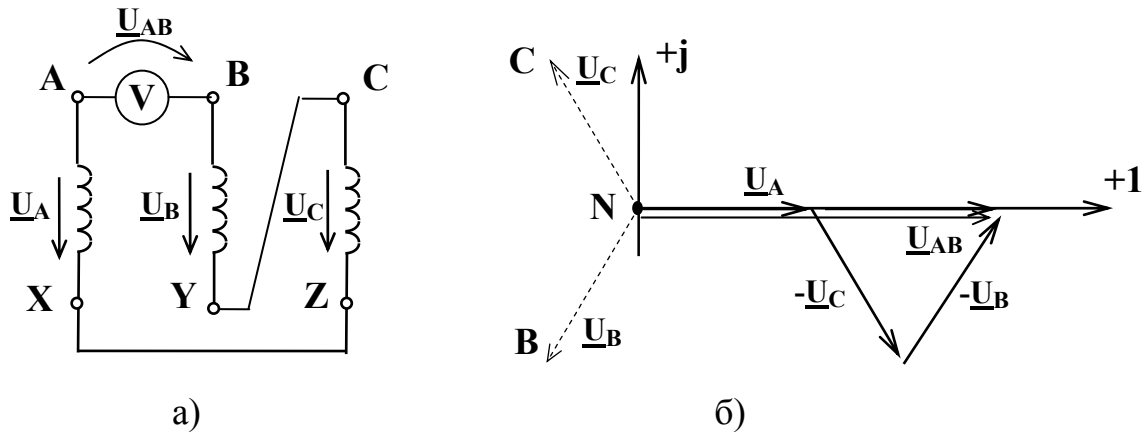


Рис.1.5

Известны фазные напряжения генератора

$$\underline{U}_A = U_A; \quad \underline{U}_B = U_B e^{-j120^\circ}; \quad \underline{U}_C = U_C e^{j120^\circ}; \quad U_A = U_B = U_C.$$

Для определения напряжения \underline{U}_{AB} составим уравнение по второму закону Кирхгофа

$$\underline{U}_{AB} + \underline{U}_B + \underline{U}_C - \underline{U}_A = 0; \quad \underline{U}_{AB} = -\underline{U}_B - \underline{U}_C + \underline{U}_A.$$

Порядок и методика проведения исследований

В работе используются:

- блок трехфазного напряжения;
- измерительные приборы и осциллограф, установленные на стенде.

Перед выполнением работы каждый студент (бригада) получает индивидуальное задание. Номер варианта задания состоит из двух цифр. Первая из них указывает номер столбца в табл.1.1, содержащая величину фазной ЭДС симметричного трехфазного источника, а вторая - номер схемы соединения фаз трехфазного источника в соответствии с рис.1.6 и 1.7.

Таблица 1.1

Варианты задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Фазные ЭДС, В	15	17	20	22	24	16	23	18	21	25

1. Определите расчетным путем значения напряжений, указанных в таблицах 1.2 и 1.3. Результаты расчетов занесите в соответствующие столбцы этих таблиц.
2. Выставьте равные ЭДС фаз трехфазного источника (E_A , E_B , E_C) в диапазоне 15...25 В согласно варианта задания. Соедините фазы источника по схемам, приведенным на рис.1.6. Условные начала (концы) фаз источника обозначены на схемах буквами A , B , C (X , Y , Z). Измерьте величины, указанные в таблице 1.2 и занесите результаты эксперимента.
3. Соедините фазы источника по схемам, приведенным на рис.1.7. Измерьте величины, указанные в таблице 1.3, и занесите результаты эксперимента.
4. На основании данных о фазных ЭДС для схем своего варианта постройте векторные диаграммы.
5. Проанализируйте данные таблиц и сделайте заключение о возможных последствиях неправильного соединения фаз трехфазных источников.

Таблица 1.2

Схема	Фазные ЭДС			Напряжения, В								
	E_A В	E_B В	E_C В	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.
1				U_{AB}			U_{BC}			U_{CA}		
2				U_{AB}			U_{BZ}			U_{ZA}		
3				U_{AY}			U_{YC}			U_{CA}		
4				U_{AY}			U_{YZ}			U_{ZA}		
5				U_{XB}			U_{BC}			U_{CX}		
6				U_{XY}			U_{YC}			U_{CX}		
7				U_{XB}			U_{BZ}			U_{ZX}		
8				U_{XY}			U_{YZ}			U_{ZX}		
9				U_{AC}			U_{CB}			U_{BA}		

Таблица 1.3

Схема	Фазные ЭДС			Напряжения, В								
	E_A В	E_B В	E_C В	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.	Обозн.	Эксп.	Расч.
1				U_{XC}			U_{XB}			U_{AZ}		
2				U_{XC}			U_{XY}			U_{AZ}		
3				U_{AZ}			U_{AY}			U_{XC}		
4				U_{YZ}			U_{XY}			U_{AZ}		
5				U_{XB}			U_{AY}			U_{XZ}		
6				U_{AB}			U_{AY}			U_{BZ}		
7				U_{AZ}			U_{BX}			U_{BZ}		
8				U_{AC}			U_{AZ}			U_{CX}		
9				U_{AC}			U_{XZ}			U_{AZ}		

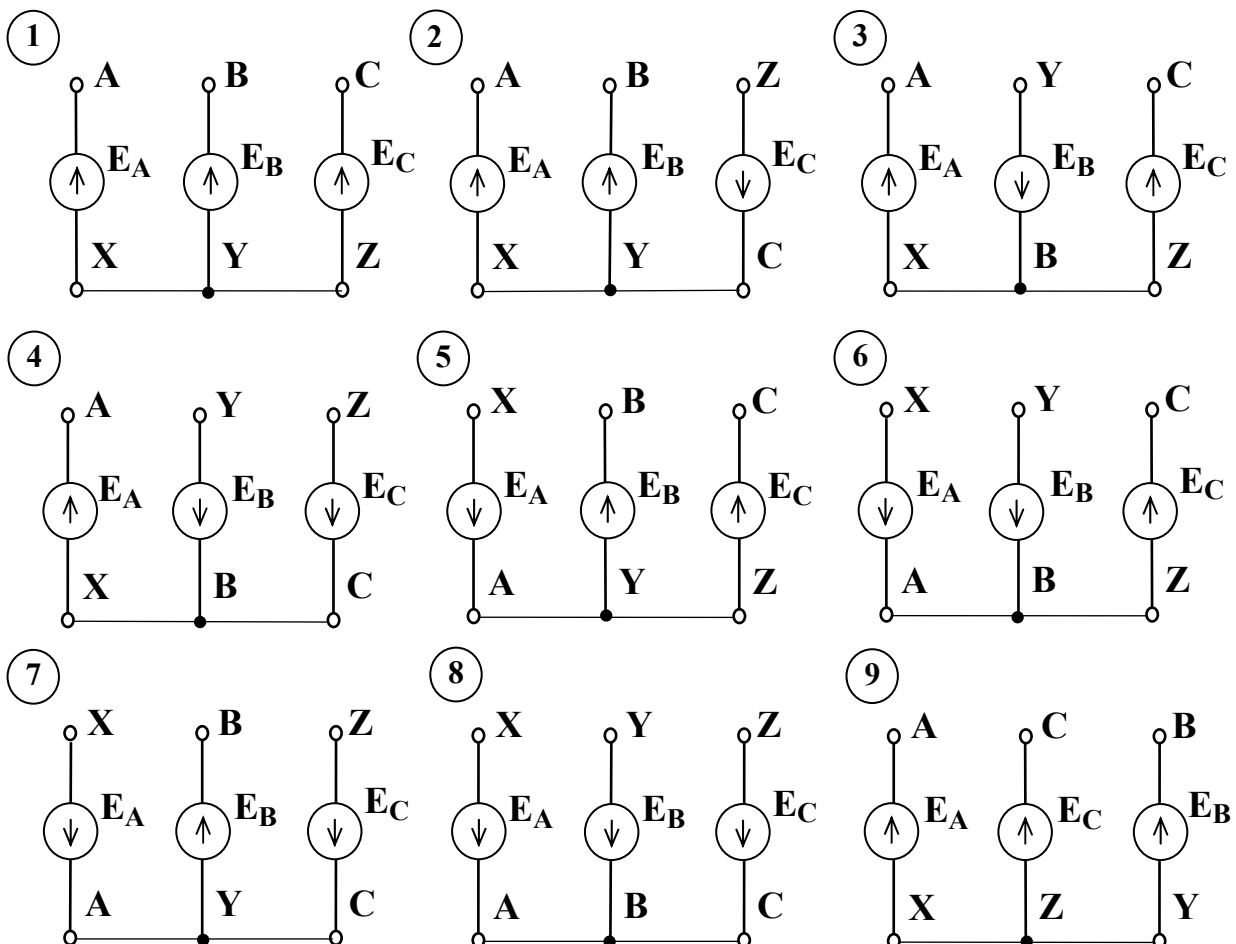


Рис.1.6

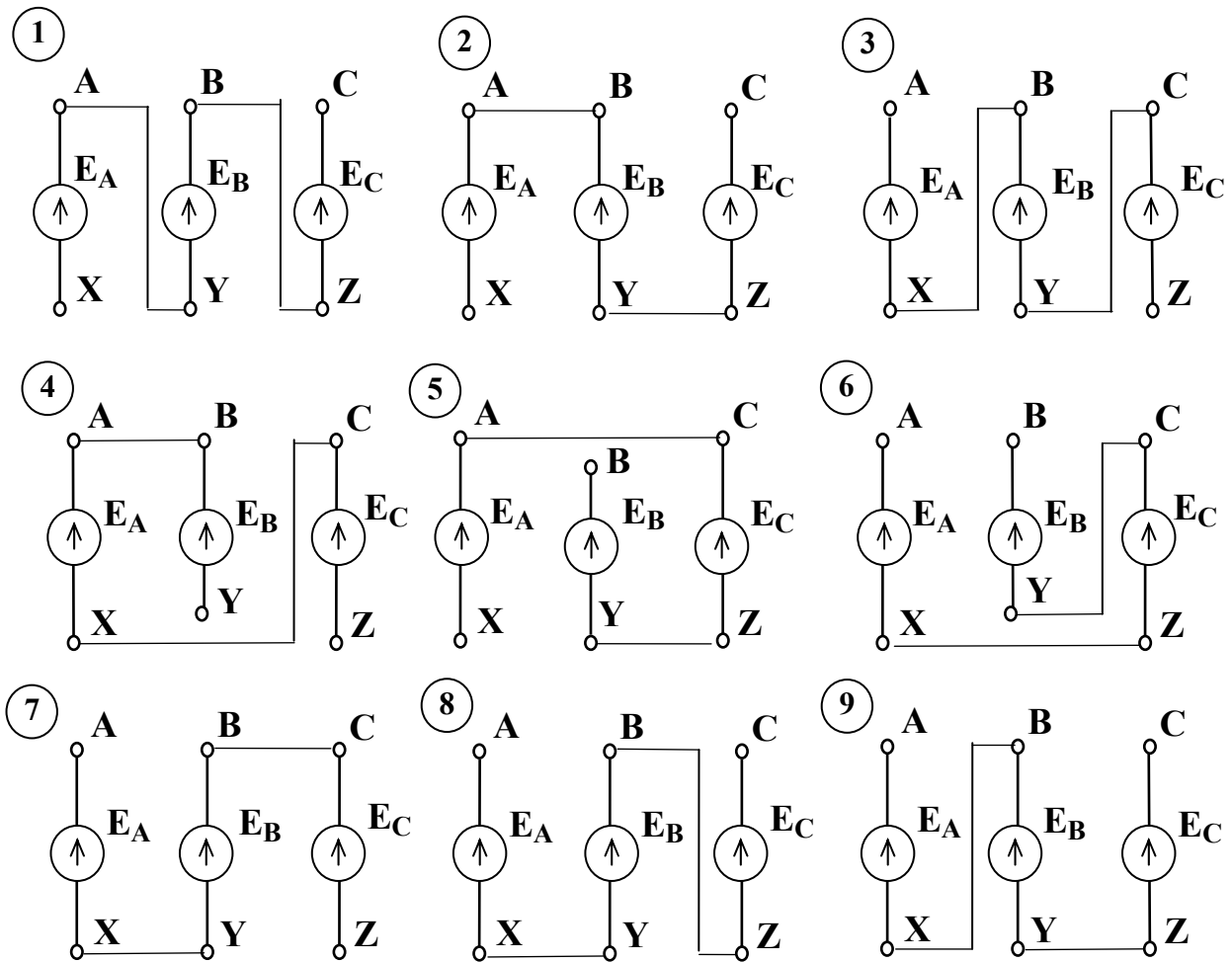


Рис.1.7

Контрольные вопросы

1. Дайте определение трехфазной симметричной системы ЭДС.
2. Запишите аналитическую форму изображения трехфазной системы ЭДС.
3. Запишите комплексную форму изображения трехфазной системы ЭДС.
4. Нарисуйте графическое и векторное изображения трехфазной системы ЭДС.
5. Что называют прямой и обратной последовательностями чередования фаз ?
6. Объясните соединения фаз генератора в звезду и в треугольник.
7. Какие провода называют фазными, линейными и нейтральным ?
8. Какие напряжения в генераторе называют фазными и линейными ?
9. Запишите соотношения, связывающие векторы фазных и линейных напряжений.
10. Какое условное положительное направление фазных ЭДС ?

11. Как условно направляют линейные напряжения на схемах и на комплексной плоскости ?
12. При каком способе соединения фаз генератора линейное напряжение равно фазному ?
13. Как связаны между собой фазное и линейное напряжения при соединении в звезду ?
14. Почему при соединении фаз треугольником в замкнутом контуре **ABC** отсутствует ток ?
15. Как практически определить зажимы фаз **A, B, C, X, Y, Z** ?