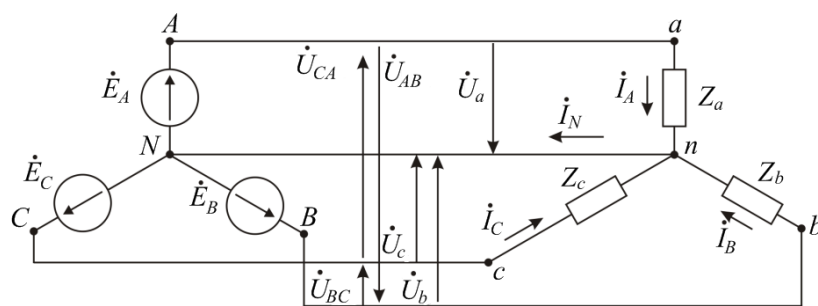


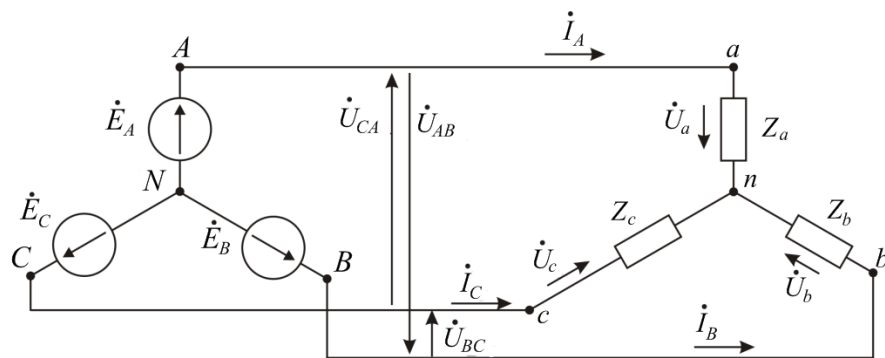
9.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ФАЗНЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКИ.

Электрическую энергию вырабатывают, передают на расстояние и потребляют в основном как энергию трехфазного тока. Это объясняется высокой экономичностью генераторов, линий электропередач, двигателей и других устройств трехфазного тока по сравнению с аналогичными устройствами однофазного тока.

Трёхфазными цепями называют цепи, в которых действуют три источника гармонических колебаний одинаковой амплитуды и частоты с фиксированным сдвигом фаз между ними, равным $2\pi/3$. На рис. 9.1 а– в показаны возможные варианты соединения фаз генератора и фаз нагрузки.



а



б

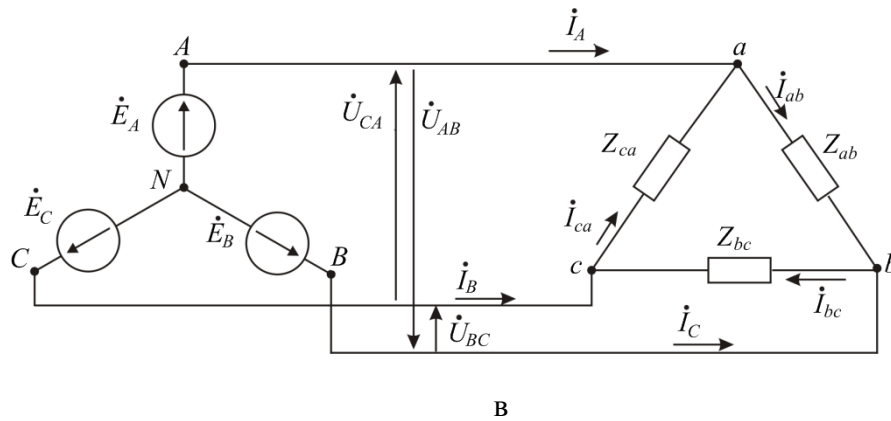


Рисунок 9.1 а) Соединение трехфазной четырехпроводной системы по схеме «звезда» - «звезда»; б) Соединение трехфазной трехпроводной системы по схеме «звезда» - «звезда»; в) Соединение трехфазной системы по схеме «звезда» - «треугольник».

Фазы генератора и нагрузки могут соединяться по схеме «звезда» или «треугольник». Из рис. 9.1 видно, что при всех способах соединения, кроме первого (рис. 9.1, а) требуются только три провода. Их называют *фазами линии передачи или линейными проводами*. При первом способе соединения используется также четвертый провод, соединяющий нейтральные точки N (генератора) и n (нагрузки). Его называют *нулевым или нейтральным проводом*. Напряжения на фазах источника называют *фазными напряжениями генератора или фазными Э.Д.С., или фазными задающими напряжениями*.

Напряжения и токи фаз нагрузки называют *фазными напряжениями и токами*. Напряжения между линейными проводами и токи в них называют *линейными напряжениями и токами*.

Из рис. 9.1, а видно, что при соединении «звезда – звезда» с нейтральным проводом фазные напряжения равны фазным Э.Д.С. :

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A, \dot{U}_b = \dot{E}_B, \dot{U}_c = \dot{E}_C.$$

Линейные напряжения (рис.1, а, б, в) равны

$$\dot{U}_{AB} = \dot{E}_A - \dot{E}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{E}_B - \dot{E}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{E}_C - \dot{E}_A.$$

Из рис. 9.1 и законов Кирхгофа можно установить связь между фазами и линейными напряжениями и токами:

а) при соединении нагрузки по схеме «звезда»:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_\Sigma, \dot{U}_{AB} = \dot{U}_A - \dot{U}_B, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_B - \dot{U}_C, \dot{U}_{CA} = \dot{U}_C - \dot{U}_A.$$

б) при соединении нагрузки по схеме «треугольник»:

$$\dot{U}_\delta = \dot{U}_\varepsilon, \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.$$

9.2 АНАЛИЗ СИММЕТРИЧНЫХ И НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗКИ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА» И ПО СХЕМЕ «ТРЕУГОЛЬНИК». ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ. ТРЕХФАЗНЫЕ ЧЕТЫРЕХПРОВОДНЫЕ ЦЕПИ. РОЛЬ НЕЙТРАЛЬНОГО ПРОВОДА. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЕЙ.

9.2.1 Симметричные трёхфазные цепи

Симметричными называются трёхфазные цепи с одинаковыми по величине и характеру сопротивлений в фазах нагрузки: $\dot{Z}_a = \dot{Z}_b = \dot{Z}_c = \dot{Z}$ или $\dot{Z}_{ab} = \dot{Z}_{bc} = \dot{Z}_{ca} = \dot{Z}$.

В силу такой симметрии фазные напряжения и токи получаются равными по амплитуде во всех фазах нагрузки. По фазе же эти напряжения и токи сдвинуты на угол 120° , как и фазные Э.Д.С. Поэтому в симметричной цепи суммы фазных токов нагрузки равны нулю:

$$\text{в схеме «звезда» } \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0, \quad (9.1)$$

$$\text{в схеме «треугольник» } \dot{I}_{AB} + \dot{I}_{BC} + \dot{I}_{CA} = 0. \quad (9.2)$$

Из равенства (9.1) следует, что в симметричной цепи с нейтральным проводом (рис. 9.1, а) ток $\dot{I}_0 = 0$. Таким образом, в симметричной трёхфазной цепи при соединении «звезда – звезда» нейтральный провод не нужен, и эта схема соединения без нарушения режима работы цепи может быть заменена аналогичной схемой без нейтрального провода (рис. 9.1, б).

Векторная диаграмма фазных напряжений и токов в симметричных трёхфазных цепях получается также симметричной (рис. 9.2).

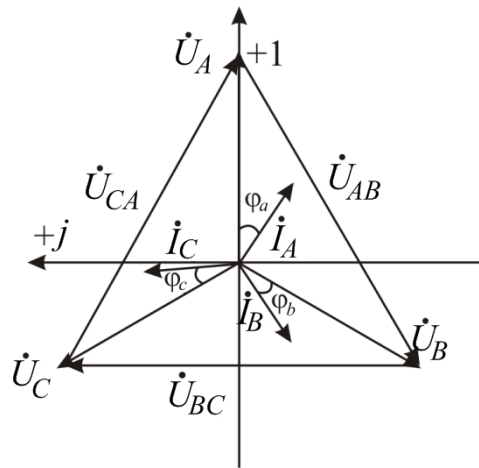


Рисунок 9.2 Векторная диаграмма напряжений и токов в симметричной трёхфазной цепи с активно - индуктивной характером нагрузки

Из векторной диаграммы устанавливают соотношения между линейными и фазными напряжениями и токами. Из графического построения на рис. 9.2 видно, что $\frac{U_{AB}}{2} = U_A \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} U_A$, т.е. в симметричной трёхфазной системе при соединении нагрузки по схеме «звезда»

$$U_{л} = \sqrt{3} U_{ф}, \quad (9.3)$$

а при соединении фаз нагрузки по схеме «треугольник»

$$I_{л} = \sqrt{3} I_{ф}. \quad (9.4)$$

Из соотношений (9.3 и 9.4) следует, что в симметричных цепях при любом типе соединения фаз нагрузки

$$U_{л} I_{л} = \sqrt{3} U_{ф} I_{ф}. \quad (9.5)$$

При соединении фаз нагрузки звездой согласно соотношению (9.3) на практике применяются следующие системы напряжений: $U_{л} = 220 \text{ В}$, если $U_{ф} = 127 \text{ В}$ и $U_{л} = 380 \text{ В}$, если $U_{ф} = 220 \text{ В}$.

Вывод: при расчёте симметричных трёхфазных цепей достаточно рассчитать по закону Ома в комплексной форме ток одной фазы, например «a», токи двух остальных фаз будут иметь такое же амплитудное (и действующее) значение, но сдвинуты на угол 120° (фаза «с») и 240° (фаза «b»).

9.2.2 Несимметричные трёхфазные цепи

В несимметричных трёхфазных цепях $\dot{Z}_a \neq \dot{Z}_b \neq \dot{Z}_c$. При этом соединение фаз нагрузки звездой без нейтрального провода (рис. 9.1, б) приводит к неодинаковым по амплитуде фазным напряжениям, что является недостатком таких соединений. При наличии нейтрального провода (рис. 9.1, а), сопротивлением которого можно пренебречь асимметрия нагрузочных сопротивлений не нарушает амплитуд фазных напряжений. При соединении фаз нагрузки треугольником (рис. 9.1, в) амплитуды фазных напряжений несимметричной цепи также получаются одинаковыми.

При отсутствии нейтрального провода или при наличии сопротивления в нейтральном проводе, величиной которого пренебречь нельзя, между точками N и n возникает *напряжение смещения нейтрали*:

$$U_{nN} = \frac{\dot{Y}_a \dot{E}_A + \dot{Y}_b \dot{E}_B + \dot{Y}_c \dot{E}_C}{\dot{Y}_a + \dot{Y}_b + \dot{Y}_c + \dot{Y}_N}, \quad (9.6)$$

где $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$ – фазные Э.Д.С. генератора; $\dot{Y}_a; \dot{Y}_b; \dot{Y}_c; \dot{Y}_N$ – комплексные проводимости соответствующих ветвей.

Фазные напряжения приёмника равны:

$$\dot{U}_a = \dot{E}_A - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_b = \dot{E}_B - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_c = \dot{E}_C - \dot{U}_{nN}.$$

Токи приёмника определяют по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{U_a}{Z_a}, \quad \dot{I}_B = \frac{U_b}{Z_b}, \quad \dot{I}_C = \frac{U_c}{Z_c}.$$

Несимметрия в трёхфазной цепи может быть вызвана разными причинами:

- неодинаковым сопротивлением фаз (несимметричная нагрузка);
- несимметричным коротким замыканием (например, между двумя фазами или фазой и нейтралью);
- размыканием фазы;
- неравенством величин Э.Д.С. и т.п.

9.2.3 Мощность в трехфазных системах.

В общем случае активная мощность трехфазной цепи равна арифметической сумме активных мощностей отдельных фаз:

$$P = Pa + Pb + Pc = U_{af} I_{af} \cos \varphi_a + U_{bf} I_{bf} \cos \varphi_b + U_{cf} I_{cf} \cos \varphi_c$$

При симметричной нагрузке напряжения, токи и коэффициенты мощности всех фаз одинаковы, поэтому активная мощность трехфазной цепи

$$P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi$$

Если цепь соединена звездой, $I_{\phi} = I_l$, $U_{\phi} = U_l / \sqrt{3}$ и, следовательно :

$$P_Y = 3 \frac{U_l}{\sqrt{3}} I_l \cos \varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

При соединении цепи треугольником $U_{\phi} = U_l$, $I_{\phi} = I_l / \sqrt{3}$, и мощность ее

$$P_{\Delta} = 3U_l \frac{I_l}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

Таким образом, активную мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке, независимо от способа ее соединения, можно определять по формуле

$$P = \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$$

Аналогично можно выразить реактивную и полную мощности цепи:

$$Q = \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} U_l I_l$$