

Почему в счетчиках BINOM3 вектор напряжения фазы С сдвинут на угол 120° , а вектор фазы В на угол 240° против часовой стрелки относительно вектора фазы А?

Векторная диаграмма фазных токов и напряжений, реализованная в счетчиках BINOM3, при четырехпроводной схеме подключения изображена на рис. 1.

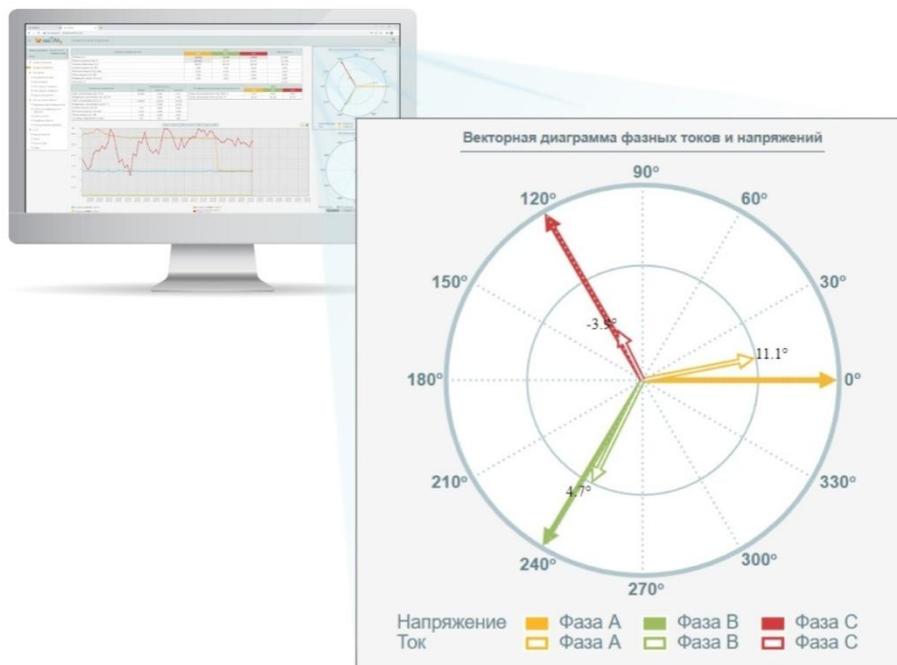


Рисунок 1 – Векторная диаграмма фазных токов и напряжений на Web-сервере BINOM3

Для ответа на вопрос о взаимном расположении векторов фаз на векторной диаграмме рассмотрим представление синусоидального напряжения (или тока) одной фазы (рис. 2).

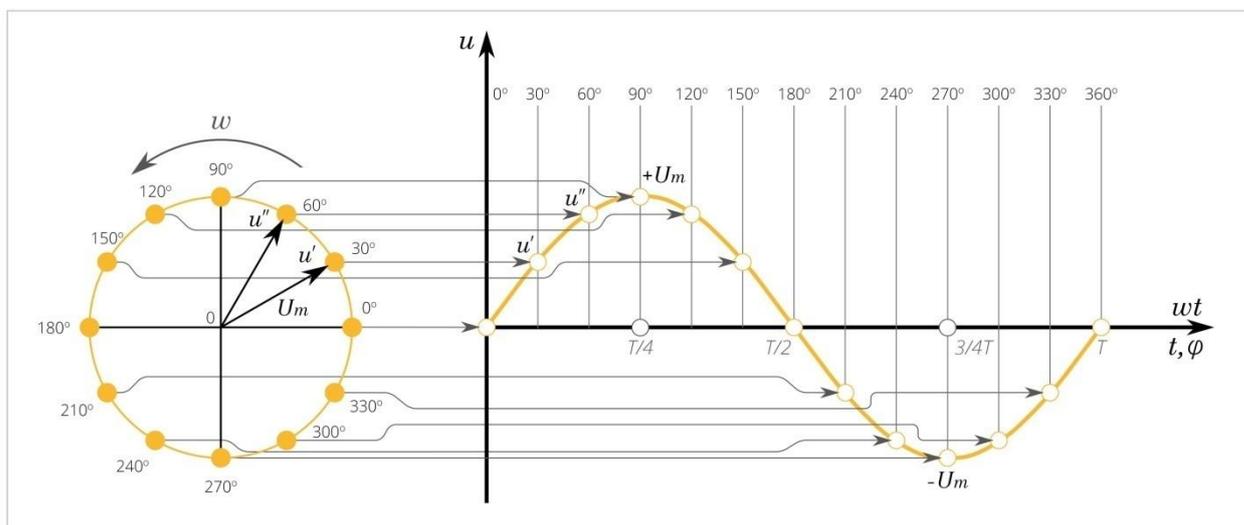


Рисунок 2 – Представление синусоидального напряжения

По оси абсцисс откладывается время t (с) или фазовый угол φ ($^\circ$), ωt (рад.), а по оси ординат – мгновенные значения напряжения u . Напряжение u растет от нуля (при $\varphi = 0^\circ$) до максимального (амплитудного) положительного значения $+U_m$ (при $\varphi = 90^\circ = \pi/2$), затем убывает и проходит через нуль (при $\varphi = 180^\circ = \pi$), достигает максимального отрицательного значения $-U_m$ (при $\varphi = 270^\circ = 3\pi/2$) и возвращается к нулю (при $\varphi = 360^\circ = 2\pi$). После этого

цикл изменения напряжения повторяется. Угол $\varphi = 360^\circ = 2\pi$ для частоты 50 Гц соответствует периоду $T = 20$ мс ($f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02\text{ с}} = 50$ Гц).

Изменение переменного синусоидального напряжения во времени записывается в виде: $u = U_m \sin \omega t$,

где u – мгновенное значение напряжения,

U_m – амплитудное значение напряжения,

$\omega = 2\pi f$ – угловая частота переменного напряжения, $\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 50 = 314$ рад/с.

Для удобства принято изображать синусоидальные величины в виде векторов определенной длины, один конец вектора закреплен в начале системы координат O , а второй конец вращается против часовой стрелки с угловой частотой ω . Мгновенное значение напряжения u в каждый момент времени соответствует проекции на вертикальную ось вектора напряжения, длина которого равна амплитудному значению U_m . За период T вектор напряжения совершит полный оборот по окружности (360°), занимая последовательно положения u' , u'' и т.д. При частоте 50 Гц, вектор совершает 50 об/с.

Таким образом, вектор напряжения (рис. 2) – это отрезок, равный по величине амплитудному значению U_m , вращается против часовой стрелки относительно точки O со скоростью, определяемой частотой переменного напряжения. При этом мгновенное значение $u' = U_m \sin 30^\circ$, $u'' = U_m \sin 60^\circ$ и т.д.

В трехфазной симметричной цепи (рис. 3) напряжения имеют одинаковую амплитуду, частоту и сдвинуты по отношению друг к другу на $1/3$ периода T (угол $2\pi/3 = 120^\circ$).

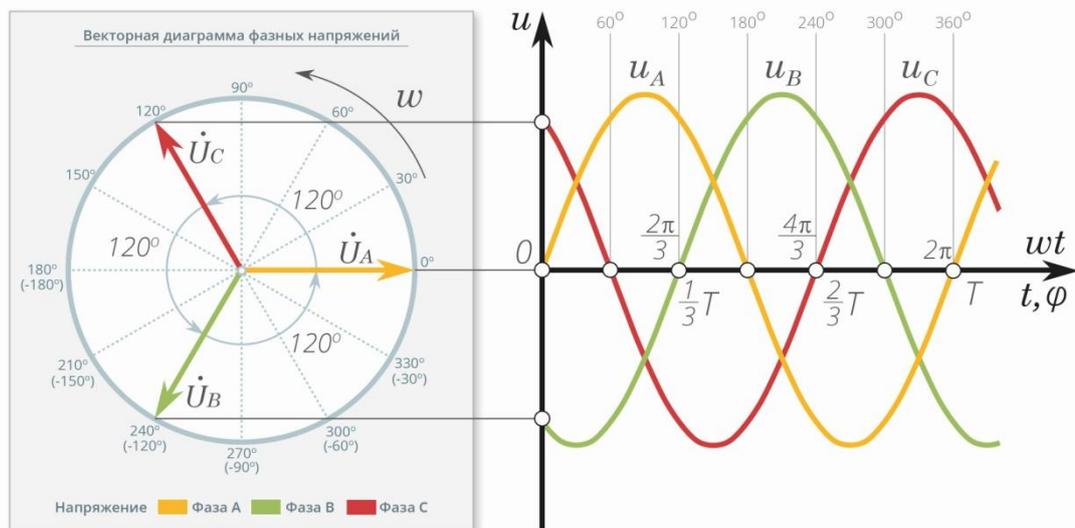


Рисунок 3 - Изменение трехфазного синусоидального симметричного напряжения во времени

Напряжение фазы В отстает по времени от вектора фазы А (позже по шкале времени пересечет ось абсцисс из области отрицательных значений в область положительных значений) на $1/3$ периода, поэтому фазовый сдвиг -120° (соответствует опережению на $+240^\circ$). Напряжение фазы С отстает от вектора фазы А на $2/3$ периода, поэтому фазовый сдвиг -240° (соответствует опережению на $+120^\circ$).

Поэтому мгновенные значения трехфазного напряжения выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} u_A &= U_m \sin \omega t, \\ u_B &= U_m \sin(\omega t - 2\pi/3), \\ u_C &= U_m \sin(\omega t + 2\pi/3). \end{aligned}$$

При изображении векторных диаграмм один вектор можно направить произвольным образом, например, вектор фазы А по оси абсцисс. А остальные — изображать по отношению к исходному под углами, равными углам сдвига фаз. Таким образом, векторы, изображающие фазные напряжения, равны по величине и составляют между собой угол 120° . Проекции векторов фазных напряжений на вертикальную ось соответствуют мгновенным значениям фазных напряжений.

Векторы напряжения образуют симметричную звезду, также вращаются против часовой стрелки с угловой скоростью ω , и при вращении их взаимное расположение не изменяется.

Такой порядок взаимного следования векторов фаз принято называть «прямым». Вектора фаз относительно друг друга располагаются по часовой стрелке, и их совместное вращение во времени осуществляется против часовой стрелки соответственно изменению мгновенных значений на осциллограмме.

Данные положения распространяются также на синусоидальные токи.

Векторная диаграмма токов и напряжений на Web-сервере BINOM3 (рис. 1) показывает векторы действующих значений (для 10 периодов), поэтому вращение векторов отсутствует. Вектор фазы А расположен горизонтально, и при прямом порядке следования фаз вектор фазы В отстает на 120° , а вектор фазы С опережает на 120° вектор фазы А.

При просмотре осциллограмм мгновенных значений, выгруженных с BINOM3, в программе Fastview.exe при перемещении курсора вправо по оси времени осуществляется вращение системы векторов против часовой стрелки (рис. 4). На векторной диаграмме отображается вектор амплитудой U_m , в табличном виде отображается действующее значение.

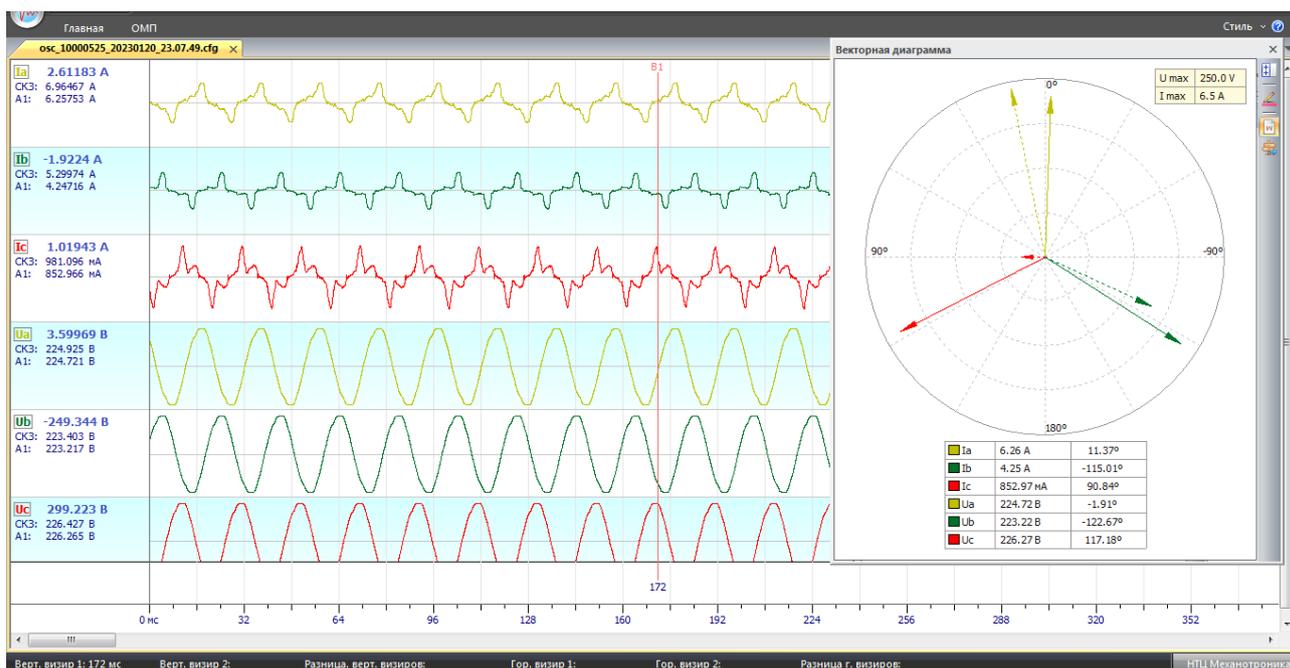


Рисунок 4 – Осциллограмма и векторная диаграмма фазных токов и напряжений

Источники:

1. Атабеков Г.И. Основы теории цепей: Учебник. – 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 424 с.
2. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 376 с.