

## МЕТОД ОБОБЩЕННОГО ВЕКТОРА КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.

Н.Г. Поляков, О.Ю. Каранда  
Национальный горный университет

*Brief positions of the theory of the generalized vector are given. Problems of diagnosing of technological electric equipment are opened. Parameters of the generalized vector as informative means about operating modes of electric equipment are considered. Controllable parameters such as asymmetry, frequency, presence of the supreme harmonics are described*

Для исследования несимметричных и несинусоидальных установившихся режимов, а также переходных режимов в трехфазных цепях при диагностировании режимов работы электрооборудования наиболее эффективным методом является применение метода обобщенного вектора.

Известно, что обобщенный вектор трехфазной системы напряжений (токов), удовлетворяющей условию:

$$\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0, \quad (1)$$

$$\bar{U} = \frac{2}{3} (\dot{U}_a + a \cdot \dot{U}_b + a^2 \cdot \dot{U}_c), \quad (2)$$

где  $a = e^{j \frac{2\pi}{3}}$ ,  $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$  - комплексы напряжений, образующих трехфазную систему.

По обобщенному вектору мгновенные значения фазных напряжений могут быть получены обратным преобразованием как проекции вектора  $\bar{U}$  на оси фаз.

На плоскости обобщенный вектор можно представить вектором, вращающимся с некоторой угловой скоростью, причем обобщенный вектор, в общем случае, имеет переменный модуль и переменную скорость вращения в плоскости изображения, которая определяется состоянием трехфазной системы напряжений (токов) на выходе технологического электрооборудования. Для исследования электромагнитного состояния трехфазных систем строится годограф обобщенного вектора, т.е. траектория, описываемая концом обобщенного вектора. Годограф строится путем разложения значения вектора на мнимую и действительную части:

$$\left. \begin{aligned} U_x &= \frac{2}{3} \cdot U_a - \frac{1}{3} (U_b + U_c) \\ U_y &= \frac{1}{\sqrt{3}} (U_b + U_c) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При соблюдении условия (1), получаем:

$$\left. \begin{aligned} U_x &= U_a - (U_b + U_c) \\ U_y &= \frac{1}{\sqrt{3}} (U_b + U_c) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Моделирование годографа заключается в построении в декартовой системе координат напряжений  $U_x, U_y$ .

Метод моделирования годографа обобщенного вектора обладает наглядностью и может быть использован при экспериментальных исследованиях установившихся и переходных режимов в трехфазных системах напряжений, а также для диагностирования режимов работы электрооборудования. Информацию об мгновенной скорости и фазе обобщенного вектора можно получить путем обработки полученных результатов.

Снижение качества электроэнергии непосредственно влияет на режим работы электрического оснащения, часто приводя к аварийным режимам. Особенно симметрия систем напряжений важна для асинхронных двигателей, на которые ложится основная нагрузка в технологическом процессе.

Часто затруднительно определить, что является причиной ухудшения качества электроэнергии. В связи с этим приобретает актуальность вопрос о диагностировании технологического электрооборудования по параметрам электромагнитных режимов, как потребителей электроэнергии. Для решения задач диагностирования электрооборудования было разработано много способов и приборов, однако эти методы не дают возможность определить является ли электрооборудование источником ухудшения качества электроэнергии.

Рассмотрим методику оценки по годографу ОВ таких основных показателей качества электроэнергии, как коэффициенты несимметрии и несинусоидальности. Если система напряжений  $U_a, U_b$  и  $U_c$  симметрична, то

угловая скорость вращения вектора будет постоянная и равна угловой частоте трехфазной системы напряжений. При несимметрии трехфазной системы напряжений и токов угловая скорость будет переменной, причем степень и характер ее изменения определяются величиной несимметрии системы. Определение коэффициента несимметрии основывается на этом свойстве скорости обобщенного вектора.

При несимметрии трехфазной системы напряжений годограф обобщенного вектора представляет собой эллипс (при отсутствии в системе высших гармоник). На рисунке 1 показан годограф ОВ, соответствующий несимметричной системе трехфазных напряжений.

Путем несложных вычислений можно получить значение коэффициента несимметрии. Рассмотрим этот годограф как результат геометрического сложения векторов  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$  (векторы двух симметричных систем прямой и обратной последовательностей) вращающихся в противоположных направлениях.

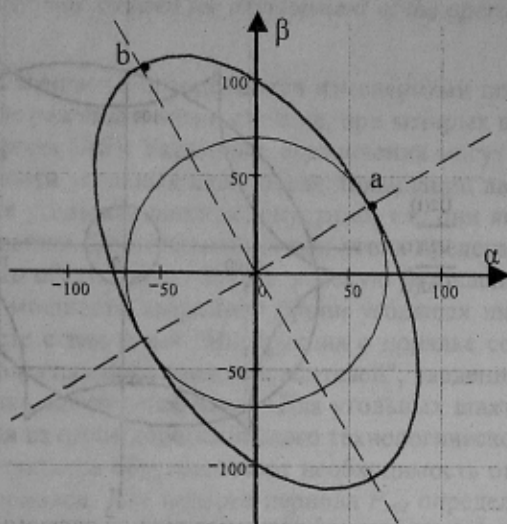


Рисунок 1 – Годограф обобщенного вектора несимметричной системы трехфазных напряжений и токов (несимметрия в фазе С)

Большая полуось есть сумма векторов  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$ , расположенных на одной прямой, но противоположно направленных. Минимальная полуось это разница векторов  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$ . Следовательно, можно записать:

$$a = \dot{U}_1 - \dot{U}_2 \quad \text{и} \quad b = \dot{U}_1 + \dot{U}_2.$$

Коэффициент несимметрии определяется как:  $\hat{E}_1 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{(b-a)}{(b+a)}$ .

Соответственно можно определить по годографу и действующие значения симметричных составляющих

$$U_1 = \frac{(b+a)}{2\sqrt{2}} \quad \text{и} \quad U_2 = \frac{(b-a)}{2\sqrt{2}}.$$

Таким образом производится полный анализ несимметрии напряжения или тока.

Для анализа несимметрии и определения коэффициента гармоник трехфазной системы напряжений (токов) также применим метод обобщенного вектора.

При наличии в системе высших гармоник, годограф представляет собой замкнутую фигуру, отличную по форме от окружности и эллипса (рисунок 2).

Для определения коэффициента несинусоидальности наглядным способом необходимо отфильтровать высшие гармоники, в результате чего получаем годограф основной гармоники (окружность) и фигуру, площадь которой прямопропорциональна коэффициенту несинусоидальности. Если на неё наложить окружности с определенным радиусом, которым соответствуют коэффициенты несимметрии, можно с небольшим процентом погрешности, определить коэффициент несимметрии данной системы.

Коэффициент несимметрии определится как корень из отношения площади годографа высших гармоник к площади годографа всей системы:

$$K_1 = \sqrt{\frac{S}{S_0}}$$

Для трехфазной нагрузки диагностирование производится путем сопоставления годографов токов и напряжений. Если эти годографы геометрически подобны, то потребитель представляет собой симметричную резистивную линейную нагрузку. Во всех остальных случаях годографы систем напряжений и токов будут

отличаться по форме. Следует также отметить, что более сглаженная форма годографа токов соответствует нагрузке с индуктивной реактивной составляющей, а более изрезанная – емкостной. Таким образом, сопоставляя годограф ОВ системы токов с годографом напряжений, возможно оценить характер потребителя электроэнергии.

Изучая трехфазные системы напряжений и токов на входе и выходе электрооборудования можно сделать выводы о его работе. Например, если на входе асинхронного двигателя (АД) годограф трехфазной системы напряжений представляет собой окружность, а на выходе – эллипс, то это свидетельствует о том, что комплексное сопротивление его фаз неодинаково и АД несимметричен как потребитель. По изменению мгновенной скорости вращения обобщенного вектора можно судить об изменении частоты работы АД.

Таким образом, применение метода обобщенного вектора позволяет достаточно просто и эффективно осуществлять диагностику работы электрооборудования. При этом возможно получение информации об общем состоянии многофазной системы

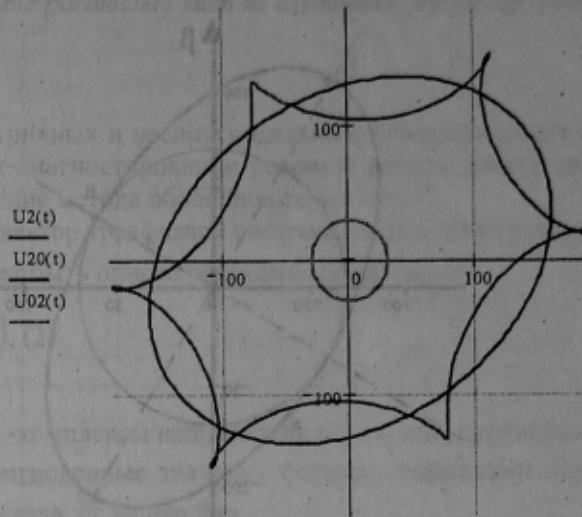


Рисунок 2 Годограф несинусоидальной несимметричной системы напряжений ( $U_2$ ) с годографами основной ( $U_{20}$ ) и высших ( $U_{02}$ ) гармоник.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – М.: Энергия, 1963. – 630 с.
- 2 Поляков Н.Г. Оценка несимметрии в системах электроснабжения // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1981. – Вып. 38 – С. 14-16.
- 3 Дрехслер Р. Изменение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 110 с.
- 4 Поляков Н.Г. Измеритель коэффициента несимметрии в системах электроснабжения // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1982. – Вып. 40 – С. 59-63.
- 5 Поляков Н.Г. Оценка несимметрии в системах электроснабжения // Горн. электромеханика и автоматика: Респ. межвед. науч.-техн. сб. – 1981. – Вып. 38 – С. 14-16.
- 6 Тигунцев С.Г., Луцкий И. Н. Определение и учет вклада потребителя в качество электроэнергии // Промышленная энергетика. – 2003. – №7. – С. 40-45

Рекомендовано д.т.н. проф. Рогозиним Г.Г.