

Ю.Н. ВЕПРИК, д.т.н., НТУ «ХПИ»

Д.Н. БАКЛАЙ, асс., НТУ «ХПИ»

ОБОБЩЕННЫЕ ВЕКТОРЫ ТРЕХФАЗНЫХ СИСТЕМ И ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Для підвищення швидкодії алгоритмів обробки первинних даних і ефективності використання засобів вимірювання та математичного моделювання в задачах діагностики та аналізу режимів роботи електричних систем пропонується виконувати перехід від дискретних миттєвих значень параметрів режиму до подання їх узагальненими векторами.

Для повышения быстродействия алгоритмов обработки первичных данных и эффективности использования средств измерения и математического моделирования в задачах диагностики и анализа режимов работы электрических систем предлагается выполнять переход от дискретных мгновенных значений параметров режима к представлению их обобщенными векторами.

To improve the performance of algorithms for processing the primary data and the efficiency of measurement and mathematical modeling in the problems of diagnosis and analysis of the modes of power systems is proposed to carry out the transition from discrete instantaneous values of the parameters of the regime to the representation of generalized vectors.

Постановка проблемы. Для решения задач управления функционированием электрической системы необходимо иметь данные о параметрах ее режима (токи, напряжения, мощности, частота). Получение этих данных возможно либо расчетным путем с применением математических моделей и средств моделирования (СМ), либо путем измерений в реальной электрической системе с использованием соответствующих средств измерений (СИ).

Результатом прогресса в развитии измерительной техники является все более активное использование СИ на основе микропроцессоров. Такие СИ, как правило, производят измерения путем преобразования входных параметров режима (токов, напряжений, мощностей фаз) в цифровой код с заданной частотой дискретизации (0.4 – 2.0 кГц).

Текущий этап развития методов математического моделирования и соответствующих СМ характеризуется переходом к разработке трехфазных моделей электрических систем на основе уравнений в фазных координатах. Результатом моделирования численными методами, например, электромагнитных переходных процессов при КЗ являются так же (как и при измерениях) массивы дискретных мгновенных значений токов и напряжений фаз с частотой дискретизации, соответствующей выбранному шагу метода численного интегрирования.

Данные о параметрах режима, получаемые как СИ, так и СМ, нужны для количественных оценок экономичности, надежности, устойчивости

режимов, оценки качества и учета электрической энергии, для оценки воздействия аварийных режимов на оборудование. Однако для получения этих оценок массивы дискретных мгновенных значений параметров (первичная информация) подлежат дальнейшей обработке, причем алгоритмы, по которым обработка выполняется, в ряде случаев оказываются достаточно сложными.

Анализ публикаций. Из публикаций, содержащих оценки современных СИ, следует, что наряду с существенным прогрессом в развитии элементной базы алгоритмы обработки первичной информации требуют совершенствования [2]. В обширный перечень параметров, характеризующих качество электрической энергии [3], который, как утверждается в [2], тем не менее, не охватывает всех необходимых параметров, входят: коэффициенты искажения синусоидальности, гармонический состав (до 40-й гармоники) кривых напряжения и тока, коэффициенты несимметрии напряжений и токов по обратной и по нулевой последовательности, среднеквадратичные значения напряжения и тока, отклонения напряжения и частоты от номинальных значений. Для определения этих параметров необходимо решать задачи гармонического анализа, переходить от мгновенных значений к векторному представлению в разных системах координат, выполнять разложение на симметричные составляющие и др. Факторами, усложняющими алгоритмы обработки первичных дискретных данных, является то, что определять эти параметры нужно при наличии нескольких искажающих факторов, которые, кроме того, связаны взаимным влиянием. Аналогичные задачи возникают и при обработке результатов математического моделирования по полным моделям в фазных координатах [4].

Цели и задачи. Для повышения эффективности решения задач обработки первичной информации при диагностике и математическом моделировании режимов электрических систем необходимо совершенствовать как средства получения первичной информации (СИ, СМ), так и алгоритмы ее обработки и формы представления.

Основной текст. Один из возможных путей совершенствования алгоритмов обработки первичных данных, получаемых СИ или СМ, может быть основан на переходе от мгновенных значений параметров режима трехфазной системы к их изображающим векторам.

Параметры режима (токи, напряжения и др.) трехфазной системы можно представить либо тремя векторами, вращающимися относительно начала координат с частотой сети, а мгновенные значения – проекциями этих векторов на ось времени (рис. 1а), либо те же мгновенные значения можно получить, проектируя единый вектор на три оси времени, каждая из которых совпадает с магнитной осью соответствующей фазы (рис. 1б).

Такой вектор принято называть изображающим или обобщенным вектором трехфазной системы. Мгновенные значения токов фаз

определяются проекциями изображающего вектора на три оси фаз, сдвинутые на угол $2\pi/3$:

$$\dot{i}_A = I \cos \alpha; \quad \dot{i}_B = I \cos(\alpha - 2\pi/3); \quad \dot{i}_C = I \cos(\alpha + 2\pi/3), \quad (1)$$

где α – угол сдвига изображающего вектора относительно оси фазы А.
Сумма квадратов проекций

$$\dot{i}_A^2 + \dot{i}_B^2 + \dot{i}_C^2 = I^2 (\cos^2 \alpha + \cos^2(\alpha - 2\pi/3) + \cos^2(\alpha + 2\pi/3)) = \frac{3}{2} I^2,$$

откуда модуль и угол сдвига изображающего вектора относительно оси фазы А

$$I = \sqrt{\frac{2}{3} (\dot{i}_A^2 + \dot{i}_B^2 + \dot{i}_C^2)}, \quad \alpha = \arccos \frac{\dot{i}_A}{I}. \quad (2)$$

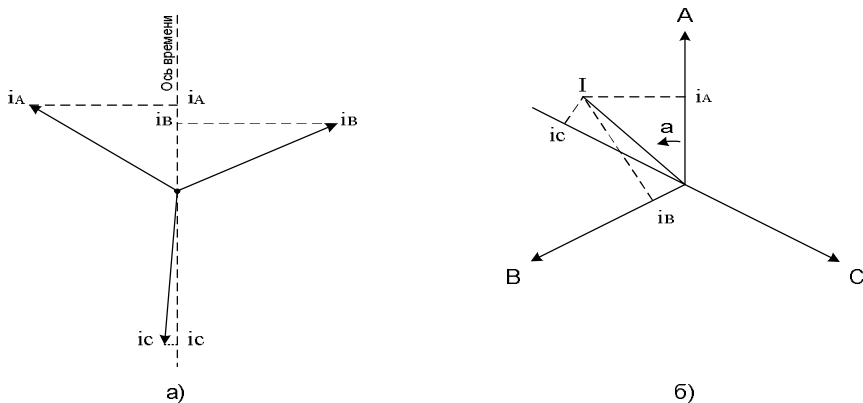


Рис. 1. Определение мгновенных значений фазных токов: а – проекции векторов токов фаз на ось времени; б – проекции изображающего вектора тока на оси фаз

Равенства (2) позволяют по мгновенным значениям токов фаз (на текущем шаге дискретизации измерений или расчета) однозначно определить изображающий вектор I по модулю и положению относительно осей фаз, а равенства (1) – выполнить обратное преобразование. Аналогичные соотношения справедливы и для других фазных величин – напряжений, потокосцеплений, потоков фаз.

Если токи (напряжения, потокосцепления) синусоидальны, сумма токов фаз равна нулю (нет составляющих нулевой последовательности)

$$\dot{i}_A + \dot{i}_B + \dot{i}_C = 0,$$

отсутствуют составляющие обратной последовательности и высшие гармоники, то в полярных координатах конец обобщенного вектора $I(\alpha)$ описывает с постоянной скоростью ω окружность, модуль обобщенного вектора равен амплитуде фазного вектора. Если угол поворота вектора α не представляет интереса, то в прямоугольных координатах зависимость модуля вектора $I(t)$ (развертка окружности) будет представлять прямую, параллельную оси времени.

И наоборот, если при переходе от мгновенных значений к представлению параметров режима обобщенными векторами получается окружность $I(\alpha)$ в полярных координатах или прямая $I(t)$ – в прямоугольных, то это можно считать признаком того, что параметры режима удовлетворяют требованиям ГОСТ на качество электроэнергии (по синусоидальности, симметричности, отсутствию высших гармоник).

При наличии составляющих обратной последовательности изображающий вектор $I(\alpha)$ является суммой двух векторов – прямой I_1 и обратной I_2 последовательностей, вращающихся с одинаковой скоростью в противоположные стороны. В полярных координатах конец вектора $I(\alpha)$ описывает эллипс, большая ось которого равна сумме

$$I_{max} = I_1 + I_2, \quad (3)$$

а малая – разности векторов

$$I_{min} = I_1 - I_2. \quad (4)$$

В прямоугольных координатах зависимость модуля обобщенного вектора от времени $I(t)$ имеет вид кривой, имеющей постоянную составляющую (прямой последовательности)

$$I_1 = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}, \quad (5)$$

и переменную составляющую (обратной последовательности)

$$I_2 = \frac{I_{max} - I_{min}}{2}. \quad (6)$$

Степень различия максимального и минимального значений на кривой $I(t)$ тем больше, чем больше доля составляющей обратной последовательности в токах фаз.

При наличии в параметрах режима составляющих нулевой последовательности они определяются суммой мгновенных составляющих на шаге дискретизации

$$\dot{\mathbf{i}}_0 = \dot{\mathbf{i}}_A + \dot{\mathbf{i}}_B + \dot{\mathbf{i}}_C \neq 0 \quad (7)$$

Выполнив исключение $\dot{\mathbf{i}}_0$, получим мгновенные значения токов фаз

$$\dot{\mathbf{i}}_A' = \dot{\mathbf{i}}_A - \dot{\mathbf{i}}_0, \quad \dot{\mathbf{i}}_B' = \dot{\mathbf{i}}_B - \dot{\mathbf{i}}_0, \quad \dot{\mathbf{i}}_C' = \dot{\mathbf{i}}_C - \dot{\mathbf{i}}_0,$$

не содержащие составляющих нулевой последовательности, к которым применимы все полученные выше соотношения.

Наличие высших гармоник при сохранении симметрии и при представлении параметров режима изображающими векторами (рис. 2) проявляется в том, что появляются знакопеременные отклонения модуля обобщенного вектора. Представление параметров режима обобщенными векторами и определение степени проявления высших гармоник как отклонений от прямолинейной зависимости также представляются более предпочтительными, чем определение искажений синусоидальной кривой.

При переходе к обобщенным векторам упрощается и задача определения такого параметра, как мгновенная частота.

Для этого необходимо по соотношениям (2) определить модуль $I(t_1)$, $I(t_2)$ и угол α_1 и α_2 изображающего вектора в моменты времени t_1 и t_2 , соответствующие, например, текущему и предыдущему шагу дискретизации. Тогда текущее мгновенное значение частоты, равное скорости вращения изображающего вектора, будет равно

$$\omega = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} \quad (8)$$

Применяемые и рекомендуемые [3] алгоритмы для решения этой задачи основаны на выделении основной гармоники, что в значительной степени более трудоемко.

Таким образом, переход к обобщенным векторам, во-первых, выполняется достаточно просто – по соотношениям (1)- (2), а, во-вторых, упрощает разложение на симметричные составляющие (соотношения (3-7)) и определение доли высших гармоник, допускает простую форму представления и интерпретации результатов.

Выводы. Первичные данные о параметрах режима системы, получаемые в форме дискретных мгновенных значений с заданным шагом дискретизации средствами измерения на реальных объектах или расчетах с

применением средств математического моделирования, могут служить основой для анализа, выводов и принятия решений только после их дополнительной обработки по достаточно трудоемким алгоритмам.

При переходе от дискретных мгновенных значений параметров режима к представлению их обобщенными векторами упрощаются алгоритмы обработки первичных данных, повышается их быстродействие и эффективность использования средств измерения и моделирования в задачах диагностики и анализа режимов работы электрических систем.

Список литературы. 1.Толмачев Б.А. ПМ РЗА "ДИАМАНТ" – комплекс технических средств автоматизации, защиты и АСУ ТП энергетических объектов. /Толмачев Б.А., Нистратов А.Д., Кочегаров Ю.И. // Электрические сети и системы, 2005, № 4-5. с. 3-11. 2.Карташев И.И. Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергии. /Карташев И.И., Пономаренко И.С., Ярославский В.Н. // Электричество, 2000, № 4. с. 11-17. 3.ГОСТ 13109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Изд-во Стандартов, 1998. 4. Венрик Ю.Н. Базовая модель электромагнитных переходных процессов в электрических системах с несимметрией. /Венрик Ю.Н. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2010, №2, с.37-42.

Поступила в редколлегию 26.03.2012