

NEW POSSIBILITIES OF MODERN 3G AND 4G RADIO NETWORKS, AT USAGE OF ALTERNATIVE METHODS OF MULTIMEDIA INFORMATION COMPRESSION

The author considers alternative methods of a multimedia information compression. Comparative analysis of already existing codecs and algorithms is carried out in comparison with offered by the author. Algorithms of compression and information restoration in modern radio networks are offered. And problem of lacks of existing algorithms of a multimedia information compression is considered by the author as well.

Keywords: radio networks, compression, multimedia, wavelet, chirplet, codec.

© Тульский И. Н., 2011

УДК 62-83:621.313.333

А. А. Федоренко, Э. Н. Лазовский

ОБОБЩЕННЫЙ (РЕЗУЛЬТИРУЮЩИЙ) ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ВЕКТОР ПЛОСКОЙ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНЕЙНО НЕЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ СИГНАЛОВ

Уточнено понятие результирующего вектора для плоской трехфазной системы сигналов. Приведены соотношения, связывающие мгновенные значения фазных сигналов с координатами обобщенного вектора в трехмерной декартовой и цилиндрической координатных системах.

Ключевые слова: трехфазный сигнал, обобщенный (результирующий) вектор, координатные системы, координатные преобразования.

В электротехнике трехфазную систему сигналов принято рассматривать в плоской системе координат, характеризуемой тремя сдвинутыми на плоскости под углом 120° ($2\pi/3$) осями a , b , c . При математическом описании и анализе процессов в многофазных электрических, электромагнитных и электромеханических системах широкое распространение получило понятие обобщенного (результирующего) вектора многофазной системы сигналов. При этом мгновенные значения фазных величин рассматриваются как проекции этого вектора на оси плоской системы координат [1].

Из математики известно, что положение вектора на плоскости определяется его двумя координатами, например декартовыми. Трехфазная система координат может характеризовать положение вектора на плоскости только в том случае, если фазные величины линейно зависимы, т. е. когда выполняется условие

$$u_a + u_b + u_c = 0,$$

и, следовательно, одна величина однозначно определяется значениями двух других. Именно такой подход к рассмотрению понятия обобщенного вектора получил в настоящее время наибольшее распространение в технической литературе, когда авторы либо изначально считают переменные трехфазной системы линейно зависимыми, либо искусственно обеспечивают эту зависимость (например, отсутствием нулевого провода, установкой специальных регуляторов и т. д.).

В общем случае в линейно независимой трехфазной системе сигналов результирующий вектор необходимо изначально рассматривать как вектор, опре-

деляемый тремя независимыми координатами, т. е. как вектор трехмерного пространства.

Такой подход предложен в [2], где обобщенный вектор характеризуется проекциями на оси пространственной (трехмерной) декартовой системы координат, равными мгновенным значениям соответствующих фазных величин, что предполагает отказ от плоских трехфазных систем координат в пользу трехмерных декартовых. Это обеспечивает математически строгое описание и анализ процессов в многофазных цепях на основе понятия результирующих векторов. Однако при этом подходе теряется связь с традиционно принятыми в электротехнике плоскими координатными системами, имеющими весьма прозрачную физическую интерпретацию, согласно которой оси трехфазной плоской координатной системы – это проекции магнитных осей обмоток трехфазных индукционных источников и потребителей электрической энергии на плоскость их поперечного сечения.

В данной статье предлагается совместить эти два подхода, введя в соответствие плоской трехфазной системе сигналов u_a, u_b, u_c (рис. 1) некоторый пространственный вектор $\vec{U}$, характеризуемый координатами $u_{a_1}, u_{b_1}, u_{c_1}$ (рис. 2).

Для того чтобы вектор $\vec{U}$ однозначно определял трехфазную систему сигналов и наоборот, необходимо задать взаимное расположение плоскости трехфазных сигналов и осей трехмерной координатной системы и в результате установить аналитическую связь

между мгновенными значениями трехфазной системы сигналов и координатами этого вектора.

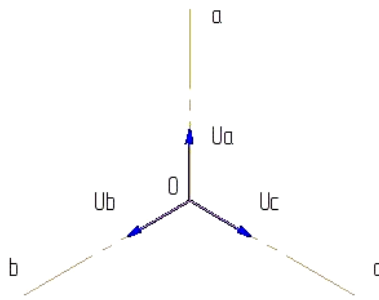


Рис. 1

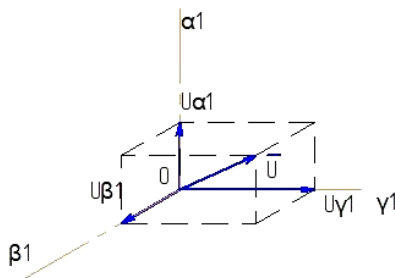


Рис. 2

Совместим начало координат трехмерной системы с точкой O плоскости, а саму плоскость сориентируем в пространстве так, чтобы нормаль к ней из точки O образовала с осями $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ равные углы (рис. 3). При этом направляющие косинусы нормали $ON \cos \varphi_1 = \cos \varphi_2 = \cos \varphi_3 = \frac{1}{\sqrt{3}}$. При таком положении плоскости отображения на нее осей $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ из любой точки, лежащей на нормали ON , дают систему трех смещенных относительно друг друга на угол 120° и пересекающихся в точке O осей, т. е. образуют плоскую систему координат a, b, c трехфазных сигналов u_a, u_b, u_c .

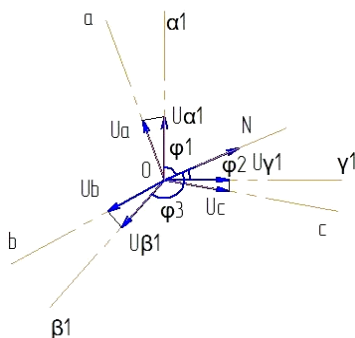


Рис. 3

Считая координаты вектора $\bar{U}$ проекциями соответствующих фазных величин на оси $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ (см. рис. 3), можно записать:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= u_a \sin \varphi_1 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_a, \\ u_\beta &= u_b \sin \varphi_2 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_b, \\ u_\gamma &= u_c \sin \varphi_3 = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} u_c. \end{aligned} \quad (1)$$

В векторно-матричной форме уравнения (1) имеют вид

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \\ u_\gamma \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E \begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $u_{\alpha_1}, u_{\beta_1}, u_{\gamma_1}$ – координаты обобщенного вектора $\bar{u}$; u_a, u_b, u_c – мгновенные значения фазных величин; $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ – множитель, определяемый соотношением

$$\sin \varphi_i = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_i}, \quad i = 1, 2, 3; \quad E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \text{единичная}$$

квадратная матрица, каждая строка которой – это координаты единичных направляющих векторов осей $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ трехмерного пространства.

Уравнения (1), (2) и рис. 3 наглядно показывают физическую сущность представления трехфазной плоской системы сигналов обобщенным (результующим) пространственным вектором. Однако на практике удобнее пользоваться пространственными координатными системами, оси которых ориентированы определенным образом относительно магнитных и геометрических осей индукционных источников и потребителей энергии. Поэтому в качестве базовой целесообразно рассматривать координатную систему α, β, γ , ось α которой совмещена с осью фазы a , а ось γ – с нормалью ON . Тогда ось β будет расположена в плоскости трехфазной системы сигналов под углом $\pi/2$ относительно оси α по направлению порядка чередования фаз (рис. 4). Таким образом, оси α, β будут расположены в плоскости поперечного сечения, т. е. в плоскости магнитных осей индукционных преобразователей энергии, а ось γ – вдоль оси вала их ротора.

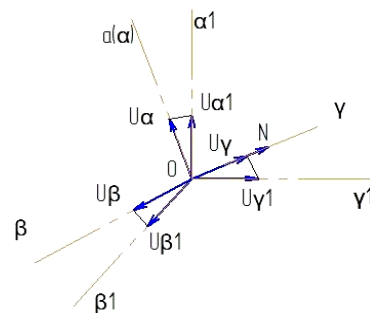


Рис. 4

Путем несложных геометрических построений можно доказать, что координаты вектора $\bar{U}$ в системе α, β, γ связаны с координатами этого вектора в системе $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ соотношениями

$$\begin{aligned} u_\alpha &= \frac{\sqrt{2}}{3} u_{\alpha_1} - \frac{1}{\sqrt{6}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{6}} u_{\gamma_1}, \\ u_\beta &= 0 + \frac{1}{\sqrt{2}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{2}} u_{\gamma_1}, \\ u_\gamma &= \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\alpha_1} + \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\beta_1} - \frac{1}{\sqrt{3}} u_{\gamma_1}. \end{aligned} \quad (3)$$

В векторно-матричной форме это преобразование имеет вид

$$\bar{U}_{(\alpha, \beta, \gamma)} = A_1 \bar{U}_{(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1)}, \quad (4)$$

где A_1 – матрица координатного преобразования вектора $\bar{u}$ из исходной в новую трехмерную систему координат:

$$A_1 = \begin{vmatrix} \frac{\sqrt{2}}{3} & -\frac{1}{\sqrt{6}} & -\frac{1}{\sqrt{6}} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Подставив уравнения (1) в уравнения (3), получим формулы прямого вычисления координат вектора $\bar{U}$ в системе α, β, γ непосредственно по значениям трехфазных сигналов:

$$\begin{aligned} u_\alpha &= \frac{2}{3} u_a - \frac{1}{3} u_b - \frac{1}{3} u_c, \\ u_\beta &= 0 \cdot u_a + \frac{1}{\sqrt{3}} u_b - \frac{1}{\sqrt{3}} u_c, \\ u_\gamma &= \frac{\sqrt{2}}{3} u_a + \frac{\sqrt{2}}{3} u_b + \frac{\sqrt{2}}{3} u_c, \end{aligned} \quad (6)$$

или в векторно-матричной форме:

$$\bar{U}_{(\alpha, \beta, \gamma)} = A \begin{vmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где A – матрица прямого координатного преобразования системы трехфазных сигналов в проекции результирующего вектора на оси декартовой трехмерной системы координат α, β, γ :

$$A = \begin{vmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{2}}{3} & \frac{\sqrt{2}}{3} \end{vmatrix}.$$

Описание процессов в индукционных преобразователях энергии для случая линейно зависимой трехфазной системы сигналов достаточно часто выполняют в полярных координатах, где результирующий вектор характеризуется модулем $|\bar{U}|$ и углом его сдвига φ относительно полярной оси в плоскости поперечного сечения машины.

Применительно к системе линейно независимых трехфазных сигналов необходимо вести речь о цилиндрической системе координат, которая, так же как и декартова трехмерная система, хорошо вписывается в геометрию трехфазных индукционных преобразователей энергии. В этом случае результирующий вектор характеризуется полярными координатами: модулем $|\bar{U}_{\alpha\beta}|$ и углом сдвига φ относительно полярной оси

проекции $\bar{U}_{\alpha\beta}$ вектора $\bar{U}$ на плоскость поперечного сечения электрической машины и его проекцией u_γ на ось γ , перпендикулярную этой плоскости.

Переход от декартовых координат к цилиндрическим и наоборот при совмещении полярной оси с осью фазы a можно осуществить по формулам

$$|\bar{U}_{\alpha\beta}| = \sqrt{u_\alpha^2 + u_\beta^2},$$

$$\varphi = \arctg \frac{u_\alpha}{u_\beta},$$

$$u_\gamma = u_\gamma.$$

Эти формулы позволяют записать связи цилиндрических координат результирующего вектора непосредственно с мгновенными значениями трехфазных сигналов:

$$\begin{aligned} |\bar{U}_{\alpha\beta}| &= \frac{2}{3} \sqrt{u_a^2 + u_b^2 + u_c^2 - u_a u_b - u_a u_c - u_b u_c}, \\ \varphi &= \arctg \sqrt{3} \left(\frac{u_b - u_c}{2u_a - u_b - u_c} \right), \end{aligned} \quad (9)$$

$$u_\gamma = \frac{\sqrt{2}}{3} (u_a + u_b + u_c).$$

Отметим, что уравнения (6), (7), (8) полностью совпадают с уравнениями, приведенными в [2], однако они получены с использованием плоской трехфазной системы координат. Кроме того, здесь, в отличие от [1; 2], не пришлось искусственно вводить масштабирующий множитель $2/3$. Он автоматически появляется в результате геометрических построений.

Из сравнения третьих уравнений (6) и (9) также следует, что координата u_γ вектора $\bar{u}$ не зависит от вида используемой системы координат. Она не изменится и не отразится в других координатах вектора $\bar{U}$, если координатным системам придать вращение вокруг оси γ . Кроме того, эта координата не участвует в электромеханическом преобразовании энергии. По-

этому при анализе переходных процессов в электро-механических системах с учетом электромагнитных явлений эта составляющая, согласно [2], может рассматриваться отдельно либо, если в этом нет необходимости, не рассматриваться вовсе.

Представленные выше геометрические построения преобразуют плоскую линейно независимую трехфазную систему сигналов в две подсистемы линейно зависимых сигналов.

Первая подсистема одномерная и с учетом третьего уравнения системы (6) определяется сигналом u_γ , пропорциональным, согласно терминологии, принятой в электротехнике [3], составляющей нулевой последовательности $u_\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} u_0$.

Вторая подсистема двумерная и задается координатами u_α и u_β , которые характеризуют трехфазную систему сигналов ненулевой последовательности $u_{a_1}, u_{b_1}, u_{c_1}$. Эти сигналы могут быть определены по первым двум уравнениям системы (6) после замены в них переменных u_a, u_b, u_c на $u_{a_1}, u_{b_1}, u_{c_1}$ с учетом условия $u_{a_1} + u_{b_1} + u_{c_1} = 0$.

Таким образом, проекцию $\bar{U}_{\alpha\beta}$ обобщенного (результатирующего) вектора $\bar{U}$ на плоскость поперечного сечения электрической машины правильнее называть обобщенным (результатирующим) вектором составляющих ненулевой последовательности трехфазной системы сигналов. Это понятие совпадает с общим понятием «результатирующий вектор трехфазной системы сигналов» только в частном случае, когда $u_\gamma = \frac{1}{\sqrt{2}} u_0 = 0$.

В заключение сделаем следующие выводы:

– предложенный в данной статье подход позволил распространить понятие обобщенного (результатирующего) вектора на трехфазную плоскую линейно независимую систему сигналов, что в свою очередь позволяет при описании процессов в таких трехфазных цепях использовать компактные векторно-матричные представления;

– при выводе уравнений, связывающих координаты обобщенного вектора с мгновенными значениями трехфазных сигналов, отпадает необходимость искусственного введения масштабирующего множителя $2/3$, согласующего модуль результирующего вектора с амплитудными значениями фазных величин. Этот множитель автоматически появляется в результате геометрических построений;

– описание процессов с помощью пространственных результирующих векторов возможно не только в трехмерной декартовой системе координат, но и в цилиндрической системе координат, благодаря чему получены уравнения, связывающие цилиндрические координаты вектора с мгновенными значениями трехфазной линейно-независимой системы сигналов.

Библиографические ссылки

1. Усольцев А. А. Частотное управление асинхронными двигателями : учеб. пособие / С.-Петерб. ун-т информ. технологий, механики и оптики. СПб., 2006.
2. Шрейнер Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Урал. отд-ние Рос. акад. наук. Екатеринбург, 2000.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М. : Высш. шк., 1967.

A. A. Fedorenko, Ed. N. Lazovskiy

GENERALIZED (COMPOSITE) SPACE VECTOR FOR A FLAT THREE-PHASE LINEARLY INDEPENDENT SYSTEM OF SIGNALS

In the article the authors specify concept of composite vector for flat three-phase system of signals and give relators connecting instantaneous data of phase signals to coordinates of generalized vector in 3-D rectangular and cylindrical coordinate system.

Keywords: three-phase signal, generalized (composite) vector, coordinate systems, coordinate transformations.

© Федоренко А. А., Лазовский Э. Н., 2011