

МЕТОД И АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Прошин И.А.¹, Салмов Е.Н.¹

¹Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия (440039, г. Пенза, Пензенская обл., проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11), e-mail: proshin.Ivan@inbox.ru

Статья содержит оригинальное исследование по моделированию непосредственного преобразователя электрической энергии (НПЭ). Решена задача исключения использования множества различных структур и большого числа параметров при моделировании НПЭ. Рассмотрено моделирование формирования выходного напряжения с помощью программной среды Mathcad. В качестве результатов приведены графики изменения переключающей функции начальной фазы и выходного напряжения и тока НПЭ. Результаты компьютерного эксперимента подтвердили адекватность предложенного подхода при моделировании НПЭ. Актуальность статьи подтверждается необходимостью эффективного подхода к исследованию НПЭ, широко используемых как в однодвигательных, так и многодвигательных вентильно-электромеханических системах. Новизна исследований заключается в разработке метода моделирования и алгоритма формирования выходного напряжения НПЭ на базе описания, включающего вектор синусоидального напряжения с дискретно управляемой начальной фазой.

Ключевые слова: методика, моделирование, алгоритм, непосредственный преобразователь электрической энергии

METHOD AND ALGORITHM FOR MODELING OF DIRECT ELECTRICAL ENERGY CONVERTER

Proshin I.A.¹, Salmov E.N.¹

¹Penza State Technological University, Penza, Russia (440039, Penza, Penza region, Baidukova driveway/Gagarina str., 1a/11), e-mail: proshin.Ivan@inbox.ru

This article contains original research on modeling the direct electrical energy converter (DEC). The problem of avoiding the use of a variety of different structures, and a large number of parameters in modeling of DEC is solved. The modeling of generating of the output voltage using a software system Mathcad was considered. The curves of the switching function of the initial phase and the output voltage and current of DEC are shown as the results. The results of computer simulation confirm the adequacy of the proposed approach in modeling of DEC. The relevance of the article is confirmed by the need for an effective approach to the study of DEC that is widely used as a single-drive and multi-drive as gate-electromechanical systems. The novelty of the research is the developing a modeling method and algorithm of generating an output voltage of DEC based on the description, including sinusoidal voltage vector with discrete controlled initial phase.

Keywords: methods, modeling, algorithm, direct electrical energy converter.

Непосредственные преобразователи электрической энергии (НПЭ) находят широкое применение для управления механическими параметрами электромеханических преобразователей (скорость и момент), мощностью в технических объектах (освещение, тепловые процессы), напряжениями и токами (гальванотехника), потоками реактивной мощности, для определения качественных показателей электрических машин [1 – 7]. Решение актуальной задачи математического моделирования НПЭ на базе существующих подходов затруднено факторами, связанными с использованием множества различных структур и большим числом задаваемых параметров. Такие подходы с моделированием каждого переключающего элемента (ПЭ) требуют задания множества возможных состояний каждого из ПЭ. Количество структур зависит от структуры силовой части и от алгоритма

управления. В работе рассмотрены математическое моделирование НПЭ и алгоритм моделирования выходного напряжения, основанные на использовании предложенного авторами метода, который заключается в представлении выходного напряжения НПЭ в виде единственного гармонического колебания с дискретно управляемой начальной фазой [2].

На рис. 1 представлена структура преобразования параметров электрической энергии (напряжения U , частоты ω , фазового сдвига φ и количества фаз входного m и выходного n напряжения).

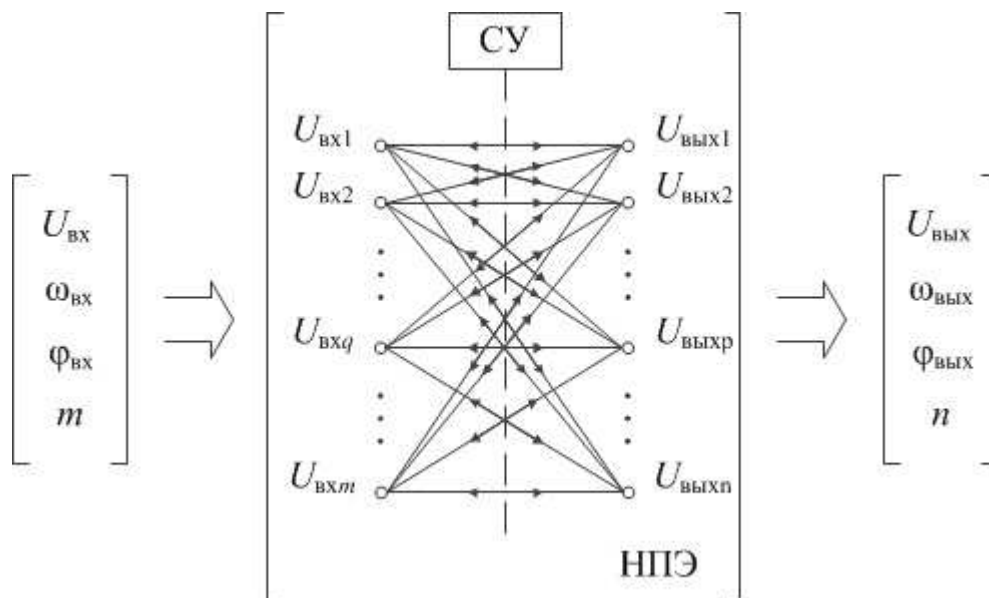


Рис. 1. Структура непосредственного преобразования параметров электрической энергии

При непрерывном режиме работы число возможных состояний НПЭ определяется выражением:

$$N_n(m, n, k) = \sum_{v=k}^n \frac{m! \cdot n!}{v! \cdot (m-v)! \cdot (n-v)!} \quad (1)$$

где:

m – число входных фаз;

n – число выходных фаз;

k – минимально возможное число фаз выходного напряжения.

Система входных напряжений, поступающих на вход НПЭ, включает m фаз

$$U_i(\omega_{ВХ}t) = U_m \sin(\omega_{ВХ}t - \varphi_i), \quad i = \overline{1, m} \quad (2)$$

где:

$U_i(\omega_{ВХ}t)$ – мгновенное значение входного напряжения;

U_m – амплитудное значение входного напряжения;

$\omega_{ВХ}$ – круговая частота;

φ_i – фазовый сдвиг.

К выходу НПЭ с раздельным управлением в каждый момент времени подключается только одна из множества ЭДС, поступающих на вход. На выходе НПЭ формируется напряжение с амплитудным и мгновенным значениями U_{m2} и $U_i(\omega_{\text{ВЫХ}}t)$, фазовым сдвигом φ_i , количеством фаз n и круговой частотой $\omega_{\text{ВЫХ}}$.

Зададим гармоническое колебание с дискретно управляемой начальной фазой:

$$\left[h_{pp}^1 \sin(\omega_1 t + h_g^2 [t] \varphi_g) \right] = \left[h_{p1} [t] h_{p2} [t] \dots h_{pg} [t] \dots h_{pm} [t] \right] \cdot \begin{bmatrix} \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + \varphi_1) \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + \varphi_2) \\ \dots \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + \varphi_g) \\ \dots \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + \varphi_m) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Следующая система уравнений задаёт процедуру непосредственного преобразования электрической энергии n -фазного НПЭ с раздельным управлением:

$$\begin{bmatrix} U_1(\omega_{\text{ВЫХ}} t) \\ U_2(\omega_{\text{ВЫХ}} t) \\ \dots \\ U_p(\omega_{\text{ВЫХ}} t) \\ \dots \\ U_n(\omega_{\text{ВЫХ}} t) \end{bmatrix} = Um \cdot \begin{bmatrix} h_{11}^1 [t] & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_{22}^1 [t] & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & h_{pp}^1 [t] & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & h_{mm}^1 [t] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + h_1^2 [t] \cdot \Delta\varphi) \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + h_2^2 [t] \cdot \Delta\varphi) \\ \dots \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + h_g^2 [t] \cdot \Delta\varphi) \\ \dots \\ \sin(\omega_{\text{ВХ}} t + h_m^2 [t] \cdot \Delta\varphi) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Возможные способы управления НПЭ предлагается задать переключаящими функциями:

$$h^1 [t] = \sum_{i=0}^l N_i \cdot [1(t_i) - 1(t_{i+1})];$$

$$h^2 [t] = \sum_{i=0}^l n_i \cdot [1(t_i) - 1(t_{i+1})],$$

(5)

где:

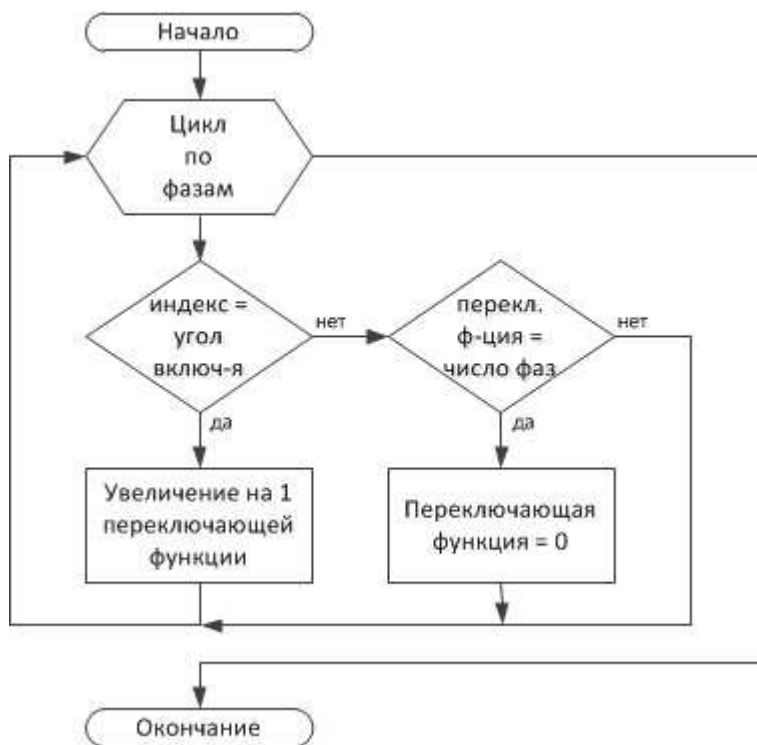
$$l = 2 \cdot k_f \pi / \Delta\varphi - 1 = k_f m - 1;$$

$k_f = \omega_{\text{ВХ}} / \omega_{\text{ВЫХ}}$ – коэффициент преобразования частоты;

N_i – коэффициент, определяемый соотношением амплитуд различных полувольт выходного напряжения;

n_i – коэффициент, определяющий фазовое положение полувольты входного напряжения в выходном напряжении.

Блок-схемы алгоритмов формирования кривых выходного напряжения НПЭ отражены на рис. 2 и рис. 3.



а)



б)

Рис. 2. Изменение переключающих функций а) начальной фазы и б) амплитуды

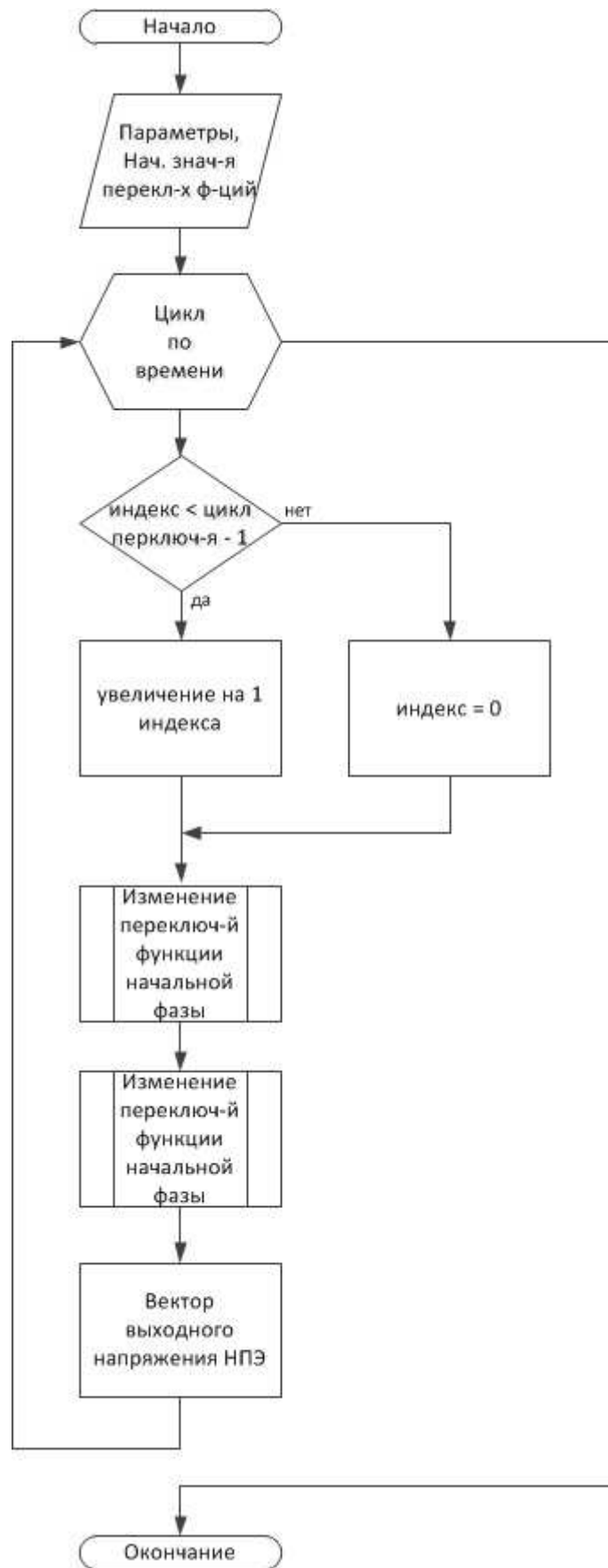


Рис. 3. Основной цикл

На рис. 4 показан фрагмент листинга программы моделирования в системе Mathcad, содержащий определение начальных значений, закона изменения переключающих функций начальной фазы и амплитуды.

Начальные значения переключающей функции фазы

$$h2_0 := 5$$

$$\begin{array}{l} \text{фазы А} \\ \text{фазы В} \\ \text{фазы С} \end{array} \begin{pmatrix} h2a_0 \\ h2b_0 \\ h2c_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} h2_0 \\ h2_0 - 2 \\ h2_0 - 4 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} h2a_0 \\ h2b_0 \\ h2c_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5 \\ 3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Цикл по времени

$$i := 0..n4 \quad t_i := i \cdot H$$

Задание параметра цикла переключения

$$j_{i+1} := \text{if}(j_i < n1 - 1, j_i + 1, 0)$$

Изменение переключающих функций начальной фазы во времени

$$\begin{pmatrix} h2a_{i+1} \\ h2b_{i+1} \\ h2c_{i+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \text{if}[j_{i+1} = \alpha, h2a_i + 1, (\text{if}(h2a_i = m, 0, h2a_i))] \\ \text{if}[j_{i+1} = \alpha, h2b_i + 1, (\text{if}(h2b_i = m, 0, h2b_i))] \\ \text{if}[j_{i+1} = \alpha, h2c_i + 1, (\text{if}(h2c_i = m, 0, h2c_i))] \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} h2a_i \\ h2b_i \\ h2c_i \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \text{if}(h2a_i = m, 0, h2a_i) \\ \text{if}(h2b_i = m, 0, h2b_i) \\ \text{if}(h2c_i = m, 0, h2c_i) \end{pmatrix}$$

Задание переключающей функции амплитуды

$$\begin{pmatrix} hA_i \\ hB_i \\ hC_i \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \text{if}(j_i < n3, 0, 1) \\ \text{if}(j_i < n3, 0, 1) \\ \text{if}(j_i < n3, 0, 1) \end{pmatrix}$$

Рис. 4. Фрагмент листинга программы моделирования в системе Mathcad

Результаты моделирования НПЭ на основе математической модели (4) и предложенного алгоритма в среде Mathcad показаны на рис. 5. Для параметров системы приняты значения: входная частота $f = 60$ Гц, число фаз входного напряжения $m = 9$, фазовый угол включения тиристоров $\alpha = 0$ эл. град. На рисунке представлены: X_A – выходное напряжение в фазе А, Y_A – выходной ток в фазе А.

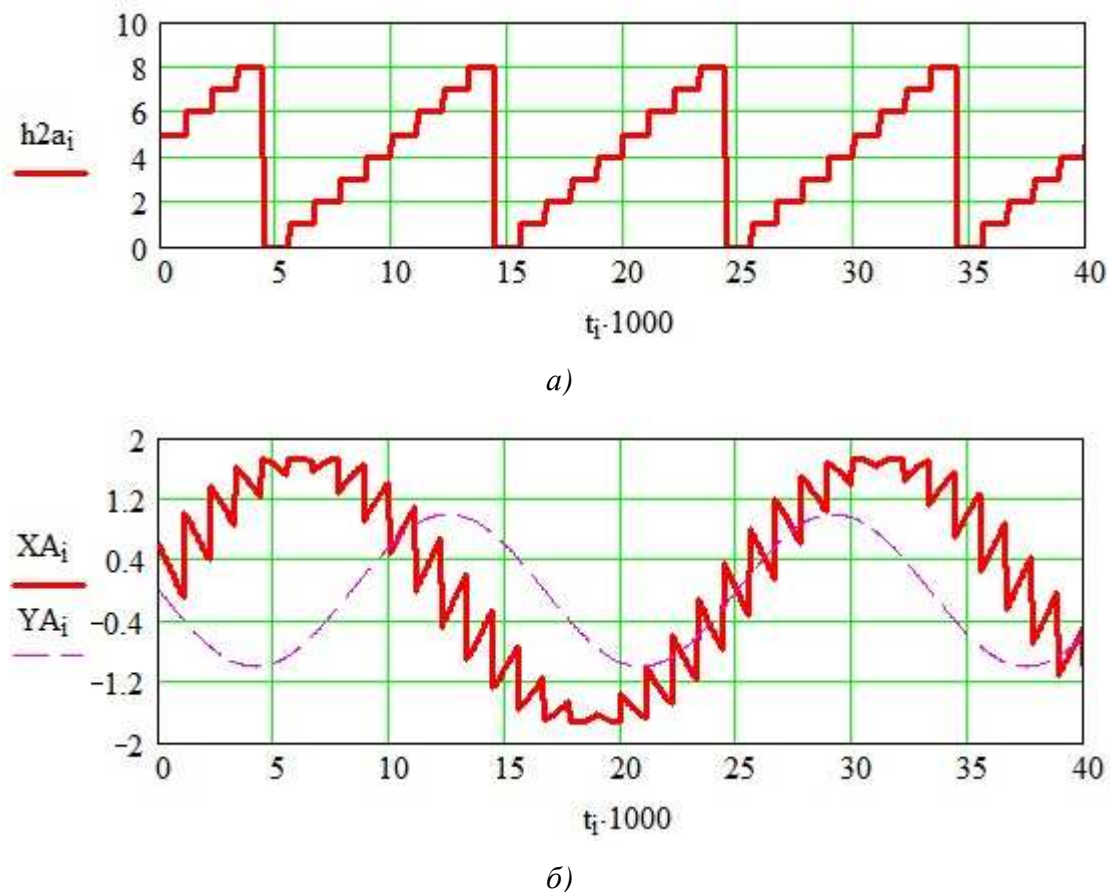


Рис. 5. Результаты моделирования: а) изменение переключающей функции начальной фазы, б) выходное напряжение и ток НПЭ в фазе А (ток опережает напряжение на 90 эл. град.)

Предложены метод моделирования и алгоритм формирования выходного напряжения НПЭ на основе описания, отличающегося от известных наличием вектора синусоидального напряжения с дискретно управляемой начальной фазой и диагональной переключающей матрицы. Проведено математическое моделирование НПЭ. На базе алгоритма и метода математического моделирования возможно исследование многодвигательных многосвязных вентильно-электромеханических систем с НПЭ.

Список литературы

1. Прошин И. А. Управление в вентильно-электромеханических системах. Кн. 1. Управление непосредственным преобразованием электрической энергии. – Пенза: ПТИ, 2003. – 333 с.
2. Прошин И.А., Прошин А.И., Мещеряков А.С. Математическая модель асинхронного двигателя с непосредственным преобразователем энергии в цепях статора // Наука производству, 1998, № 4. С. 13 – 15.
3. Прошин И.А. Теоретические основы моделирования управляемых вентильно-электромеханических систем с непосредственными преобразователями электрической энергии // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2000, № 4. С. 65 – 70.
4. Прошин И.А., Прошин А.И., Обухов В.А., Мещеряков А.С. Математическая модель валогенераторной установки // Наука производству, 1998, № 12. С. 56-58.
5. Прошин И.А., Прошин А.И., Мещеряков А.С. Математическая модель электродинамического вибростенда // Наука производству, 1998, № 12. С. 59 – 61.
6. Прошин И.А., Мещеряков А.С. Двухдвигательный электропривод роликкоопор // Техника машиностроения, 1996, № 2. С. 63 – 64.
7. Прошин, И.А., Сапунов Е.А. Моделирование привода динамического стенда авиационного тренажера // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.–2011. – Т.13 – №1(2). – С. 337-340.
8. Proshin I.A., Salmov E.N. Mathematical modeling of the direct electrical energy converter. European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. The 2nd International scientific conference proceedings (May 12, 2014). Vienna: OR: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2014 – P. 47–52.
9. Прошин И.А., Вольников М.И., Салмов Е.Н. Алгоритм комбинированного управления и метод математического моделирования асинхронного электропривода. Нива Поволжья. Научно-теоретический и практический журнал для учёных и специалистов. Пенза: Изд. Пензенской ГСХА, 2014 – С. 102 –109.

Рецензенты:

Данилов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой математики и математического моделирования, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза;

Косенок Ю.Н., д.т.н., доцент, начальник кафедры, Пензенский артиллерийский инженерный институт, г. Пенза.