

УДК 004.942

**АЛГОРИТМ КОМБИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И МЕТОД
МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Прошин Иван Александрович

*докт. техн. наук, зав. кафедрой «Автоматизация и управление», профессор
Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза*

E-mail: proshin.Ivan@inbox.ru, тел: 49-61-59

Вольников Михаил Иванович

*канд. техн. наук, доцент кафедры «Физика и математика»,
Пензенской государственной сельскохозяйственной академии, г. Пенза*

E-mail: vmi1972@yandex.ru, тел: +7-927-365-17-72

Салмов Евгений Николаевич

*аспирант кафедры «Автоматизация и управление», Пензенского
государственного технологического университета, г. Пенза*

E-mail: salmov.e.n@gmail.com, тел.49-61-59

Аннотация

Цель настоящей работы – создание простых и надёжных управляемых вентильно-электромеханических систем асинхронного электропривода, обеспечивающих повышение эффективности динамики управления пусковыми и тормозными режимами сельскохозяйственных машин, а также разработка методов их математического моделирования и проектирования.

В работе рассмотрен алгоритм комбинированного управления, метод и комплекс программ математического моделирования асинхронного электропривода с непосредственными преобразователями электроэнергии. Показана математическая модель асинхронной машины.

В качестве примера моделирования приведены окно программы и переходные характеристики тока, момента и скорости в системе «непосредственный преобразователь электроэнергии – асинхронная машина»

для вентильного преобразователя с однократной модуляцией. Представлены, полученные с применением разработанной программы, значения токов и скорости при пуске асинхронного двигателя с использованием разработанного алгоритма комбинированного управления.

Результат работы. На основе разработанной математической модели создан комплекс программ, включающий в себя подсистемы: графического пользовательского интерфейса; моделирования и формирования алгоритмов управления; математического моделирования; хранения данных.

Ключевые слова: алгоритм, асинхронный электропривод, комплекс программ, математическое моделирование, управление.

Автоматизация многообразных сельскохозяйственных производственных процессов: водоснабжения, вентиляции, транспорта на животноводческих фермах, приготовления и раздачи кормов, доения коров и первичной обработки молока, стрижки овец, обмолота, очистки и сушки зерна, работы станков и стандов для обкатки двигателей внутреннего сгорания непосредственно связана с широким внедрением управляемых вентильно-электромеханических систем (ВЭМС). Среди основных требований, предъявляемых к ВЭМС сельскохозяйственных механизмов, как наиболее важных, выделим – требования высокой надёжности, простоты в эксплуатации и ремонте, энергетической и технико-экономической эффективности.

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют системы асинхронного электропривода, большая часть которого (более 80 %) – это нерегулируемый электропривод. Неуправляемый пуск таких электромеханических систем приводит к значительным знакопеременным моментам и повышенным пусковым токам асинхронного двигателя (АД), повышенным потерям и нагреванию двигателя, сокращению срока службы и снижению надёжности. Значительные моменты инерции, присущие многим сельскохозяйственным машинам, усугубляют эту проблему, существенно затрудняя прямой пуск таких машин.

Цель настоящей работы – создание простых и надёжных управляемых вентильно-электромеханических систем асинхронного электропривода, обеспечивающих повышение эффективности динамики управления пусковыми и тормозными режимами сельскохозяйственных машин, а также разработка методов их математического моделирования и проектирования.

Структура обобщённой ВЭМС. В общем случае управляемая ВЭМС (рисунок 1) включает в свой состав технологическую установку (ТУ), подсоединённую к валу электромеханического преобразователя (ЭМП), который совместно с вентильным преобразователем (ВП) образует силовую часть, и управляющее устройство (УУ) [1 – 3].

С позиций системного подхода ВЭМС – это интегрированное целое, единая объединённая общей целью управления совокупность разнородных и вместе с тем взаимосвязанных элементов: ЭМП, ВП, УУ и одновременно элемент интегрированной автоматизированной системы (АСУ) более высокого уровня.

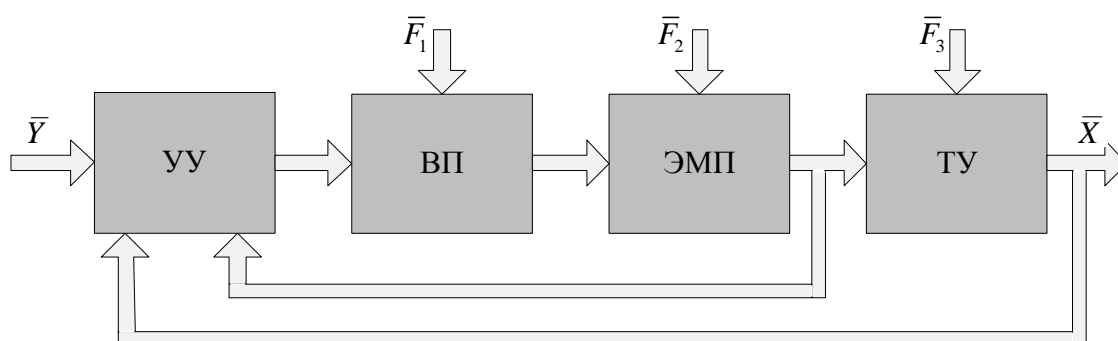


Рис. 1. Обобщенная структура управляемой ВЭМС технологической установки

ВЭМС с энергетическим управлением объединяет информационную (управляющую часть) и энергетическую (силовую) части. Функциональное единство и равновесие разнородных элементов ВЭМС обеспечивает управляемый ВП.

Комбинированное управление асинхронным электроприводом. Суть предлагаемого способа квазичастотного управления (КЧУ) динамическими режимами ВЭМС с использованием тиристорного коммутатора (ТК),

являющегося простейшим непосредственным преобразователем электроэнергии (НПЭ), состоит в формировании на обмотках асинхронного двигателя (АД) напряжений, основная гармоника которых имеет заданную частоту, а сдвиг между фазами напряжения по основной гармонике составляет величину $2\pi/3$. При этом в динамическом режиме изменения скорости вращения двигателя производится согласованное переключение переключающих элементов вентильного преобразователя посредством сшивания (припасовывания) одинаковых участков фазных напряжений для различных формируемых частот. Это позволяет исключить на валу АД возникновение ударных и знакопеременных моментов [3].

Предлагается пуск АД производить посредством снижения коэффициента преобразования частоты в следующей последовательности $\bar{k}_f \in \{13, 7, 4, 3, 2\}$. Каждому коэффициенту соответствует свой период переключений nT . Моменты переключения тиристоров при каждом режиме зададим таблицами переключений (Таблицы 1– 10). Целые числа, приведенные в таблицах, задают текущее время переключения вентилей с дискретностью в $5,566 \cdot 10^{-5}$ секунды или один электрический градус. Согласованное мягкое переключение режимов управления для различных k_f достигается синхронизацией (сшиванием) моментов включения элементов при различных режимах.

Таблица 1 – Алгоритм переключения элементов при КЧУ ($k_f=13, nT=1170$)

A		45		225		405	435	585	615	765	795		975		1155
B	15	45	195	225	375	405		585		765		825		1005	
C	15		195		375		435		615		795	825	975	1005	1155

Таблица 2 – Алгоритм переключения элементов при КЧУ ($k_f=7, nT=630$)

A	0		45		225	255	405	435		615
B		15	45	195	225		405		465	
C	0	15		195		255		435	465	615

Таблица 3 – Алгоритм переключения элементов при КЧУ ($k_f=4, nT=720$)

A		45	225	255			495	525	705
B	15	45	225		285	465	495		

C	15			255	285	465		525	705
---	----	--	--	-----	-----	-----	--	-----	-----

Таблица 4 – Алгоритм переключения элементов при КЧУ ($k_f=3$, $nT=540$)

A	0		225	255		315	345	495	525
B		15	225		285	315		495	
C	0	15		225	285		345		525

Таблица 5 – Алгоритм переключения элементов при КЧУ ($k_f=2$, $nT=360$)

A		45	75	135	165	
B	15	45		135		285
C	15		75		165	285

Таблица 6 – Алгоритм переключения элементов при ФИУ ($k_f=1$, $nT=90$)

A	0		45	75
B		15	45	
C	0	15		75

Сопоставляя алгоритмы с различными k_f , сформируем таблицу переключений режимов при квазичастотном управлении (таблица 7).

Таблица 7 – Алгоритм переключения режимов КЧУ

Коэффициенты понижения частоты	Моменты переключения												
	15	45	75	195	225	255	285	405	435	465	495	525	615
$k_f = 13 \rightarrow k_f = 7$	+	+		+	+			+	+				+
$k_f = 7 \rightarrow k_f = 4$	+	+			+	+				+			
$k_f = 4 \rightarrow k_f = 3$	+				+	+	+				+	+	
$k_f = 3 \rightarrow k_f = 2$	+						+						
$k_f = 2 \rightarrow \text{ФИУ}$	+	+	+										

Для торможения можно использовать как режим противовключения, так и режим понижение частоты. В таблицах 11 –14 приведены моменты включения вентиля в тормозных режимах.

Таблица 8 – Моменты включения элементов

при обратном вращении ($k_f=5$, $nT=450$)

A	75		225	255		405	525
B		105	225		375	405	
C	75	105		255	375		525

Таблица 9 – Моменты включения элементов

при обратном вращении ($k_f=11$, $nT=990$)

A	75		255		405	435	585	615		765		945
B		105		285	405		585		735	765	915	945
C	75	105	255	285		435		615	735		915	

Таблица 10 – Моменты переключения между режимами при обратном вращении

Коэффициенты понижения частоты	Моменты переключения						
	75	105	255	285	435	615	945
$k_f = 5 \rightarrow k_f = 11$	+	+	+				

Таблица 11 – Моменты включения элементов при торможении

($k_f=1$, $nT=180$ Выпрямитель, торможение)

A	45	75
B	45	
C		75

Таблица 12 – Алгоритм переключения при торможении ($k_f=2$, $nT=360$, выпрямитель)

A	45	75
B	45	
C		75

Таблица 13 – Алгоритм переключения при торможении ($k_f=4$, $nT=720$,

КЧУ)

A		45	225	255			495	525	705
B	15	45	225		285	465	495		
C	15			255	285	465		525	705

Таблица 14 – Моменты переключения между режимами при торможении

Коэффициенты понижения частоты	Моменты переключения	
	45	75
$k_f = 1 \rightarrow k_f = 2$	+	+
$k_f = 2 \rightarrow k_f = 4$	+	

Предлагается следующий алгоритм синтеза переключающих функций управления [3] при квазичастотном и комбинированном управлении в динамических режимах.

1. Проводят выбор числа ступеней, для которых задают значения коэффициентов преобразования частоты k_f .
2. Находят допустимые интервалы времени для каждого k_f .
3. Для всех ступеней пуска формируют алгоритмы управления и посредством совмещения одинаковых участков алгоритмов управления в фазах АД для изменяющихся k_f на смежных ступенях КЧУ проводят припасовку кривых выходного напряжения ТК.
4. Переключения ТК совершают при выполнении условий:
 - нахождение текущего значения скорости в заданном диапазоне;
 - превышение производной изменения тока статора заданной величины;
 - попадание момента переключения на общий участок алгоритмов смежных ступеней.

Математическое моделирование асинхронного электропривода с НПЭ. Моделирование всех возможных алгоритмов управления системы “НПЭ – АД” возможно на базе математических моделей трёх режимов [2 – 6]:

- симметричного трёхфазного режима;
- двухфазного режима;
- режима выбега.

Входное напряжение электрической машины в двухфазной системе координат зададим в векторной форме:

$$\begin{bmatrix} U_{1\alpha} \\ U_{1\beta} \end{bmatrix} = U_m \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} H_{1a}^1[t] & 0 & 0 \\ 0 & H_{1b}^1[t] & 0 \\ 0 & 0 & H_{1c}^1[t] \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sin(\omega_0 t - H_A^2[t] \Delta\varphi) \\ \sin(\omega_0 t - H_B^2[t] \Delta\varphi) \\ \sin(\omega_0 t - H_C^2[t] \Delta\varphi) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В (1) обозначено: $U_{1\alpha}, U_{1\beta}$ – проекции обобщённого вектора напряжения статора на соответствующие оси α и β ; U_m – амплитудное значение напряжения; $H_A^2, H_B^2, H_C^2, H_{1a}^1, H_{1b}^1, H_{1c}^1$ – переключающие или коммутационные функции фазы и амплитуды.

Математическую модель асинхронной машины в симметричном режиме в двухфазной системе координат α, β с учётом традиционных допущений и насыщения магнитной системы зададим системой уравнений:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\psi_{1\alpha\beta}}{dt} \\ \frac{d\psi_{1\beta}}{dt} \\ \frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} \\ \frac{d\psi_{2\beta}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_1 F_2 & 0 & R_1 F_3 & 0 \\ 0 & -R_1 F_2 & 0 & R_1 F_3 \\ R_2 F_3 & 0 & -R_2 F_1 & -\omega_{\mathcal{D}} \\ 0 & R_2 F_3 & -\omega_{\mathcal{D}} & -R_2 F_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \psi_{1\alpha} \\ \psi_{1\beta} \\ \psi_{2\alpha} \\ \psi_{2\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_{1\alpha} \\ U_{1\beta} \\ U_{2\alpha} \\ U_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} i_{1\alpha} \\ i_{1\beta} \\ i_{2\alpha} \\ i_{2\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 & 0 & -F_3 & 0 \\ 0 & F_2 & 0 & -F_3 \\ -F_3 & 0 & F_1 & 0 \\ 0 & -F_3 & 0 & F_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \psi_{1\alpha} \\ \psi_{1\beta} \\ \psi_{2\alpha} \\ \psi_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} i_{m\alpha} \\ i_{m\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_2 - F_3 & 0 & F_1 - F_3 & 0 \\ 0 & F_2 - F_3 & 0 & F_1 - F_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \psi_{1\alpha} \\ \psi_{1\beta} \\ \psi_{2\alpha} \\ \psi_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$M = \frac{3}{2} p_{II} F_3 \cdot \begin{bmatrix} -\psi_{1\alpha} & \psi_{1\beta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \psi_{2\beta} \\ \psi_{2\alpha} \end{bmatrix}; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_C \cdot \text{sign}\omega). \quad (2)$$

Здесь $\psi_{1\alpha}, \psi_{1\beta}$ – проекции обобщённого вектора потокосцепления статора на соответствующие оси; $\psi_{2\alpha}, \psi_{2\beta}$ – проекции обобщённого вектора потокосцепления ротора; $i_{1\alpha}, i_{1\beta}$ – проекции обобщённого вектора тока статора; $i_{m\alpha}, i_{m\beta}$ – проекции обобщённого вектора намагничивающего тока; i_m – модуль вектора намагничивающего тока; R_1, R_2 – активные сопротивления статорной и роторной цепей; p_{Π} – число пар полюсов; ω, ω_0 – скорость ротора; ω_0 – синхронная скорость; M – электромагнитный момент; x_1, x_2, x_m – индуктивные сопротивления статора, ротора и намагничивающего контура; i_a, i_b, i_c – токи АМ в трёхфазной системе координат; M_c, J – момент сопротивления и момент инерции, соответственно; t – время.

Значения коэффициентов в (2) определяют по формулам [3]:

$$F_1 = \frac{\omega}{x_m(x_1 + x_2) + x_1x_2} \cdot (x_m + x_1); \quad F_2 = \frac{\omega}{x_m(x_1 + x_2) + x_1x_2} \cdot (x_m + x_2);$$

$$F_3 = \frac{\omega}{x_m(x_1 + x_2) + x_1x_2} \cdot x_m.$$

Значительное упрощение системы уравнений для двухфазного режима достигается применением метода колеблющихся координат путём совмещения обесточенной фазы с осью α . Такое совмещение осуществляется поворотом координатных осей в дискретные моменты времени на угол $\pm 2\pi/3$.

Три двухфазных режима АД зададим в колеблющейся системе координат посредством совмещения обесточенной фазы с осью α :

$$\begin{bmatrix} \frac{d\psi_{1\alpha\beta}}{dt} \\ \frac{d\psi_{1\beta}}{dt} \\ \frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} \\ \frac{d\psi_{2\beta}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 R_2 F_3 & 0 & -k_2 R_2 F_1 & -k_2 \omega_{\mathcal{D}} \\ 0 & -R_1 F_2 & 0 & R_1 F_3 \\ R_2 F_3 & 0 & -R_2 F_1 & -\omega_{\mathcal{D}} \\ 0 & R_2 F_3 & -\omega_{\mathcal{D}} & -R_2 F_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \psi_{1\alpha} \\ \psi_{1\beta} \\ \psi_{2\alpha} \\ \psi_{2\beta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_{1\alpha} \\ U_{1\beta} \\ U_{2\alpha} \\ U_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} i_{1\alpha} \\ i_{1\beta} \\ i_{2\alpha} \\ i_{2\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & F_2 & 0 & -F_3 \\ 0 & 0 & F_{02} & 0 \\ 0 & -F_3 & 0 & F_1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_{1\alpha} \\ \Psi_{1\beta} \\ \Psi_{2\alpha} \\ \Psi_{2\beta} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} i_{m\alpha} \\ i_{m\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & F_{02} & 0 \\ 0 & F_2 - F_3 & 0 & F_1 - F_3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_{1\alpha} \\ \Psi_{1\beta} \\ \Psi_{2\alpha} \\ \Psi_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$M = \frac{3}{2} p_{\Pi} F_3 \Psi_{2\alpha} \cdot [1 \quad k_2] \cdot \begin{bmatrix} \Psi_{2\beta} \\ \Psi_{2\alpha} \end{bmatrix}; \quad \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M - M_c \cdot \text{sign } \omega). \quad (3)$$

Коэффициенты k_2, F_{02} в (3) вычисляются по формулам:

$$k_2 = \frac{x_m}{x_m + x_2}; \quad F_{02} = \frac{\omega_0}{x_m + x_2}.$$

Режим выбега описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{bmatrix} \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} \\ \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_2 F_{02} & -\omega_{\Theta} \\ \omega_{\Theta} & -R_2 F_{02} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_{2\alpha} \\ \Psi_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_{1\alpha} \\ \Psi_{1\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_2 & 0 \\ 0 & k_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_{2\alpha} \\ \Psi_{2\beta} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} i_{2\alpha} \\ i_{2\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{02} & 0 \\ 0 & F_{02} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \Psi_{2\alpha} \\ \Psi_{2\beta} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} i_{1\alpha} \\ i_{1\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad M = 0; \quad \begin{bmatrix} i_{m\alpha} \\ i_{m\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{2\alpha} \\ i_{2\beta} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Переход от одной двухфазной системы к другой зададим оператором поворота w , получающем при повороте на угол $2\pi/3$ значение $+1$, а при повороте на угол $4\pi/3$ – значение -1 . Значения переменных x'_{α}, x'_{β} в повернутой системе координат зададим так:

$$\begin{bmatrix} x'_{\alpha} \\ x'_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.5 & -w\sqrt{3}/2 \\ w\sqrt{3}/2 & -0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Взаимный переход от двухфазной системы координат к трёхфазной и обратно зададим уравнениями

$$\begin{bmatrix} x_{\alpha} \\ x_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_A & K_B & K_C \\ \frac{(K_C - K_B)}{\sqrt{3}} & \frac{(K_A - K_C)}{\sqrt{3}} & \frac{(K_B - K_A)}{\sqrt{3}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} K_A & K_B & K_C \\ K_C & K_A & K_B \\ K_B & K_C & K_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -0.5 & \sqrt{3}/2 \\ -0.5 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Коэффициенты K_A , K_B , K_C в (6) и (7) принимают единичное значение при совмещении соответствующей фазы с осью α , в противном случае они равны нулю.

На основе разработанной математической модели (1) – (7) создан комплекс программ (рисунок 2) [7 – 12], включающий в себя подсистемы: графического пользовательского интерфейса; моделирования и формирования алгоритмов управления; математического моделирования; хранения данных. Проведены исследования всевозможных режимов управления в ВЭМС, на основе которых разработаны и внедрены системы управления центрифугами, вентиляторами, насосами.

В качестве примера моделирования на рисунке 3 приведены окно программы и переходные характеристики тока, момента и скорости в системе «непосредственный преобразователь электроэнергии – асинхронная машина (НПЭ – АД)» для вентильного преобразователя с однократной модуляцией. На рисунке 4 представлены, полученные с применением разработанной программы, средние значения токов и скорости при пуске АД с использованием разработанного алгоритма комбинированного управления.



Рис. 2. Структура комплекса программ

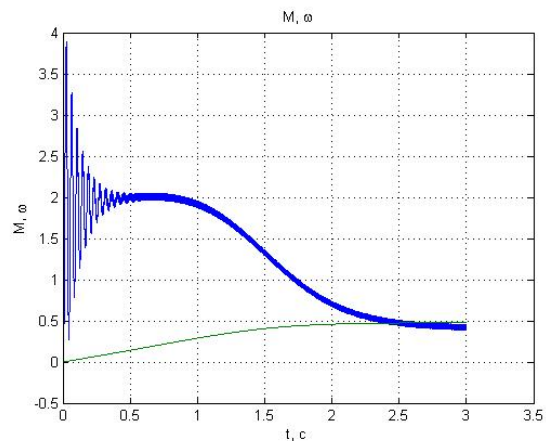
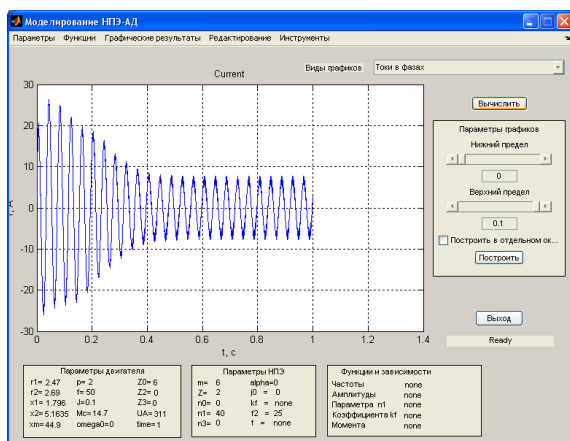


Рис. 3. Переходные характеристики тока, момента и скорости в системе НПЭ-АД

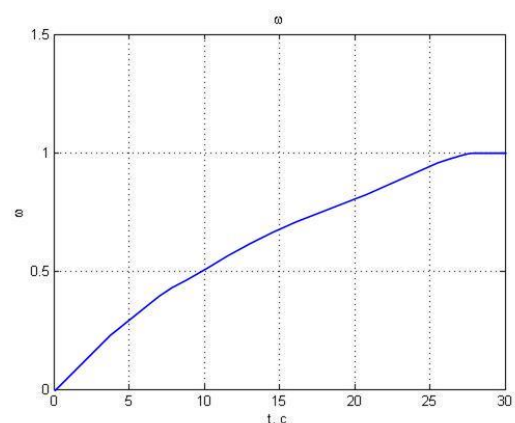
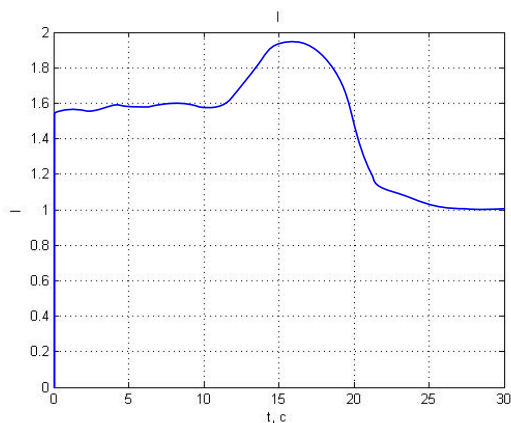


Рис. 4. Токи в фазах при комбинированном управлении

Таким образом, разработаны метод и комплекс программ математического моделирования, способ управления динамическими режимами

асинхронного двигателя. Выполненные экспериментальные исследования, промышленные испытания, внедрение и эксплуатация созданных технических и программных средств [13 – 15] подтверждают высокую эффективность разработанных математических моделей, алгоритмов и способов моделирования систем "Вентильный преобразователь – асинхронный двигатель".

Литература:

1. Прошин, И. А. Управление непосредственным преобразованием электрической энергии / И. А. Прошин // Управление в вентильно-электромеханических системах. Кн. 1. – Пенза: ПТИ, 2003. – 333 с.

2. Прошин, И. А. Математическое моделирование вентильно-электромеханических систем / И. А. Прошин // Управление в вентильно-электромеханических системах. Кн. 2.. – Пенза: ПТИ, 2003. – 307 с.

3. Прошин, И. А. Управление в системах с непосредственными преобразователями электрической энергии / И. А. Прошин // Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук, Пенза 2003. – 354 с.

4. Прошин, И.А. Интегрированный электромеханический комплекс / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Р.Д Прошина // В мире научных открытий. – Красноярск, 2010.– № 4-8. – С. 27-30.

5. Прошин, И. А. Математическая модель асинхронного двигателя с непосредственным преобразователем энергии в цепях статора / И. А Прошин, А. И. Прошин, А. С Мещеряков // Наука производству, 1998, № 4.– С. 13 – 15.

6. Прошин, И.А. Теоретические основы моделирования управляемых вентильно-электромеханических систем с непосредственными преобразователями электрической энергии / И. А. Прошин // Информационные технологии в проектировании и производстве, 2000, № 4.– С. 65 – 70.

7. Прошин, И.А. Программное средство исследования ВЭМС на базе асинхронного двигателя (пакет расширения Matlab) / И.А. Прошин, В.В. Бурков

// Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2010. – Т.6, №10. – С. 100-103.

8. Прошин, И.А. Программное средство «НПЭ-АД» для исследования вентильно-электромеханических систем с асинхронным электродвигателем (Пакет расширения к системе Matlab 6.0) / И.А. Прошин, В.В. Бурков, Е.А. Кутузов и др. // Заявка №2004610841. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611397 от 4.06.2004.

9. Прошин, И.А. Методика и комплекс программ моделирования многосвязного электропривода / И.А. Прошин, Е.Н. Салмов. // Технические науки – от теории к практике. Сборник статей по материалам XXIX международной научно-практической конференции. №12(25). Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013 – С. 39–43.

10. Прошин, И.А. Программная платформа для построения интегрированного комплекса сетевых автоматизированных лабораторий (ИКСАЛ) / И.А. Прошин, Д.И. Прошин, Р.Д. Прошина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара, 2009.– Т.11. – № 5-2. – С. 531-536.

11. Прошин, Д.И. Концепция построения интегрированных комплексов сетевых автоматизированных лабораторий / Д.И. Прошин, И.А. Прошин, Р.Д. Прошина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара, 2009. – Т.11., №5–2. – С.527-530.

12. Прошин, Д.И. Интегрированный комплекс научных исследований и проектирования морской техники и технологий / Д.И. Прошин, И.А. Прошин, Р.Д. Прошина // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2010. – №1. – С. 20-29.

13. Прошин, И.А. Моделирование привода динамического стенда авиационного тренажера / И.А. Прошин, , Е.А. Сапунов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук.–2011. – Т.13 – №1(2). – С. 337-340.

14. Прошин, И.А. Математическое моделирование процессов центрифугирования / И.А. Прошин, В.В. Бурков // Вестник Воронежского

государственного технического университета. – Воронеж, 2010. – Т.6, №11. – С. 71-74.

15. Proshin, I.A. Mathematical model of a hydraulic drive for a dynamic test stand / I.A Proshin, V.M. Timakov, E.A. Sapunov // Space & Global Security of Humanity: Abstracts of the second international symposium. – Riga, Latvia, 2010. – P. 80 – 81.

UDK 004.942

ALGORITHM OF COMBINED CONTROL AND METHOD OF MATHEMATICAL MODELING OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE TECHNIQUES AND SOFTWARE COMPLEX FOR MULTILINKED ELECTRIC DRIVE MODELING

Ivan Proshin

Doctor of Technical Sciences, Head of "Automation and Control" department, professor of Penza State Technological University, Penza

E-mail: proshin.Ivan@inbox.ru, tel: 49-61-59

Mikhail Volnikov

Candidate of Technical Sciences., Associate Professor of «Physics and Mathematics» department of Penza State Agricultural Academy

E-mail: vmi1972@yandex.ru, tel: +7-927-365-17-72

Evgeniy Salmov

Graduate student of "Automation and Control" department,

Penza State Technological University, Penza

E-mail: salmov.e.n@gmail.com, tel: 49-61-59

Annotation

The purpose of this work is to create a simple and reliable managed valve-electromechanical systems of the asynchronous electric drive, providing increase of efficiency of the dynamics of control starting and braking modes of agricultural machinery, and also development of methods of mathematical modeling and design.

In this work the algorithm of combined control, the method and software package mathematical modeling of the asynchronous electric drive with the direct power converters. Showing the mathematical model of asynchronous machines.

As an example, the simulation shows the program window and transient response current, torque and speed in the system of "non-mediocre power Converter - asynchronous machine" for the switched Converter with single modulation. Submitted obtained with use of the developed program, the values of currents and the speed at start-up of the asynchronous engine with use of the developed algorithm combined control.

The result of the work. On the basis of the developed mathematical model, a software package that includes the following features: graphical user interface; modeling and generation of control algorithms; mathematical modelling; data storage.

Keywords: algorithm, asynchronous electric, complex programs, mathematical modeling, control.

References:

1. Proshin, I. A. Management in the switched-Electromechanical systems / I. A. Proshin // Management of direct transformation of electric energy. Book. 1 – Penza: PTI, 2003. – 333 pages.
2. Proshin, I. A. Management in the switched-Electromechanical systems / I. A. Proshin // Mathematical modeling of a valve-Electromechanical systems. Book. 2. – Penza: PTI, 2003. – 307 pages.
- 3 Proshin, I. A. Management in systems with direct electrical energy converters^o/ I. A. Proshin // The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical Sciences, Penza 2003. - 354 pages.
4. Proshin, I. A. Integrated Electromechanical / I. A. Proshin, D.I. Proshin, R.D. Proshina // In the world of scientific discovery. – Krasnoyarsk, 2010.- № 4-8. - P. 27-30.

5. Proshin, I. A. Mathematical model of the asynchronous engine with direct energy Converter in chains stator / I. A. Proshin, A. I. Proshin, A.S. Mescheryakov // Science production, 1998, № 4.– P. 13 - 15.

6. Proshin, I.A. theory of modeling of controlled mute-Electromechanical systems with direct electrical energy converters / I. A. Proshin // Information technologies in designing and manufacturing, 2000, № 4.– P. 65 - 70.

7. Proshin, I.A. Software research valve Electromechanical systems on the basis of the asynchronous motor (expansion pack Matlab) / I.A Proshin, V.V. Burkov // Vestnik of Voronezh state technical University. - Voronezh, 2010. B .6, №10. – P. 100-103.

8. Proshin, I.A. Software tool for the study of a valve-Electromechanical C-systems with asynchronous motor (expansion Pack to the Matlab 6.0) / I.A. Proshin, V.V. Burkov, E.A. Kutuzov // Application №2004610841. The certificate on official registration of the computer program № 2004611397 from 4.06.2004.

9. Proshin, I.A. Methodology and software package for modelling multiply connected drive / I.A. Proshin, E.N. Salmon // Technical Sciences - from theory to practice. A collection of articles XXIX international scientific-practical conference. №12(25). Novosibirsk: Pub. H." The Siberian Academy of Sciences" , 2013 - P. 39-43.

10. Proshin, I. A. Software platform for building integrated complex network of automated laboratories / I. A. Proshin, D.I Proshin, R.D. Proshina // Izvestiya Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences. - Samara, 2009.- B.11 - № 5-2. - P. 531-536.

11. Proshin, I. A. The Concept of building an integrated complexes network of automated laboratories / I. A. Proshin, D.I Proshin, R.D. Proshina // Izvestiya Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences. - Samara, 2009. - T., №. 5-2. - P.525-530.

12. Proshin, D.I. Integrated complex of research and design of marine equipment and technologies / D.I. Proshin, I.A. Proshin, R.D. Proshina // The Bulletin of the Astrakhan state technical University. - Astrakhan, 2010. - №1. - P. 20-29.

13. Proshin, I.A. Modeling of the drive dynamic stand aviation simulator / I.A. Proshin, E.A. Sapunov // Izvestiya Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences.-2011. - B.13 - №1(2). - P. 337-340.

14. Proshin, I.A. Mathematical modelling of processes centrifugation / I.A. Proshin, V.V. Burkov // Vestnik of Voronezh state technical University. - Voronezh, 2010. - B.6, №11. - P. 71-74.

15. Proshin, I.A. Mathematical model of a hydraulic drive for a dynamic test stand / I.A Proshin, V.M. Timakov, E.A. Sapunov // Space & Global Security of Humanity: Abstracts of the second international symposium. – Riga, Latvia, 2010. – P. 80 – 81.