

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА. ЕЛЕКТРОТЕХНІКА»

УДК 621:313

КАЧУРА А.В., к.т.н., доцент
СЪЯНОВ А.М., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЕНТИЛЬНОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Введение. За последние десятилетия в отечественной и зарубежной промышленности интенсивно происходят процессы модернизации производственных систем и создания гибких технологических комплексов с использованием современного оборудования и автоматизированных рабочих мест. Неотъемлемую часть этого оборудования составляют электроприводы на базе вентильных реактивных двигателей (ВРД), которые являются составной частью большинства периферийных устройств, систем точного позиционирования, станков с ЧПУ, роботов.

Широкое применение ВРД обусловлено их специфическими свойствами, среди которых можно выделить: 1) возможность быстрого старта – остановки – реверсирования; 2) прецизионное позиционирование и повторяемость; 3) широкий диапазон регулирования и возможность получения низких скоростей вращения; 4) высокая надежность, связанная с отсутствием щеток. В связи с этим актуальной является задача конструктивной оптимизации существующих и разработки новых рациональных конструкций ВРД с использованием современных материалов и технологических решений.

Постановка задачи. В настоящее время для исследования электрических машин широкое распространение получили численные методы, среди которых можно выделить метод конечных элементов (МКЭ). Применение последнего позволяет анализировать распределение электромагнитного поля в электротехнических объектах произвольной конфигурации с учетом нелинейных и анизотропных свойств материалов в стационарных и динамических режимах. Опираясь на МКЭ, в работе исследовано распределение электромагнитного поля в объеме ВРД в динамических режимах, выявлены места локального увеличения магнитной индукции, рассчитаны параметры и электро-механические характеристики ВРД.

Результаты работы. Воспользовавшись уравнениями Максвелла, а также применив ряд известных математических преобразований [1], получим систему уравнений, описывающую распределение электромагнитного поля в объеме ВРД:

$$\left. \begin{aligned} -\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) &= 0 - \text{в воздушном зазоре;} \\ -\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) &= 0 - \text{в сердечнике статора;} \\ -\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) &= \frac{N_w i_x}{S_w} - \text{в пазу статора;} \\ -\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) &= -\nu \left(\frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \text{в сердечнике ротора;} \\ -\nabla \times (\nu \nabla \times \vec{A}) &= -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} - \nu \left(\frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \text{вал ротора,} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ∇ – оператор набла; ν – магнитное сопротивление электротехнической стали; \vec{A} – вектор магнитного потенциала; N_w, S_w – число витков и площадь поперечного сечения фазной обмотки; σ – электрическая проводимость материала; ω – скорость вращения ротора.

Система (1) должна быть дополнена уравнениями равновесия напряжения для каждой фазы обмотки

$$\{u_x\} = [r_x] \{i_x\} + \frac{N_w l}{S_w} \left\{ \int_{S_w} \frac{\partial A}{\partial t} dS_w \right\} + L_l \frac{d\{i_x\}}{dt} \quad (2)$$

и моментов

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где x – индекс соответствующей фазы; L_l – индуктивность лобовых частей; l – длина проводника; M – величина электромагнитного момента; M_c – статический момент сопротивления на валу; J – момент инерции ротора; ω – угловая скорость вращения ротора.

Пренебрегая падением напряжения в лобовых частях обмотки, уравнение (2) приобретает вид:

$$u_x = r_x i_x + \frac{N_w l}{S_w} \int_{S_w} \frac{\partial A}{\partial t} dS_w.$$

Полная математическая модель ВРД с учетом переменной частоты вращения и нелинейных свойств стали в компактной форме имеет вид:

$$-\nabla(\nu \nabla \vec{A}) = \begin{cases} 0 - \text{в воздушном зазоре, сердечнике статора;} \\ \frac{N_w i_x}{S_w} - \text{в пазу статора;} \\ -g \left(\frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \text{в сердечнике ротора;} \\ -\sigma \frac{\partial A}{\partial t} - g \left(\frac{\partial A}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y} \right) - \text{вал ротора.} \end{cases} \quad (4)$$

Для решения (2)-(4) воспользуемся МКЭ. При этом система (4) трансформируется к виду

$$[S] \{A\} + [N] \frac{\partial \{A\}}{\partial t} = [C] i,$$

где $[S] = \sum_{e=1}^{Ne} \left(\frac{n}{4D^e} [K]^e \right)$ – матрица связи расчетной области с нелинейными свойствами

материала; $[C] = \sum_{e=1}^{Ne} \frac{N_w}{S_w} \frac{\Delta^e}{3}$ – матрица связи области катушки с током;

$[N] = \sum_{e=1}^{Ne} \frac{\sigma \Delta^e}{12} [Q]^e$ – матрица учета вихревых токов; e – элемент области; N_e – число

элементов, на которые разбита область; $\Delta^e = x_j y_k - y_j x_k + x_i y_j - x_i y_k + y_i x_k - y_i x_j$ – площадь элемента; i, j, k – индексы элементов.

В рамках разработанной математической модели, основанной на МКЭ, проведены исследования ВРД в шаговом режиме. В качестве исследуемого образца выбрана малосерийная машина ВРД-57-100-4 производства ТОВ „Електромеханіка” (г. Николаев). Магнитная система ВРД выполнена с соотношением полюсов статора к ротору как 8/6. Статорный и роторный пакеты набраны из электротехнической стали марки 2211 с толщиной пластин 0,5 мм. Активная длина статора и ротора 28 мм. Конструктивные параметры двигателя представлены на рис.1 и 2. Твердотельная модель ВРД и ее дискретный аналог показаны на рис.3.

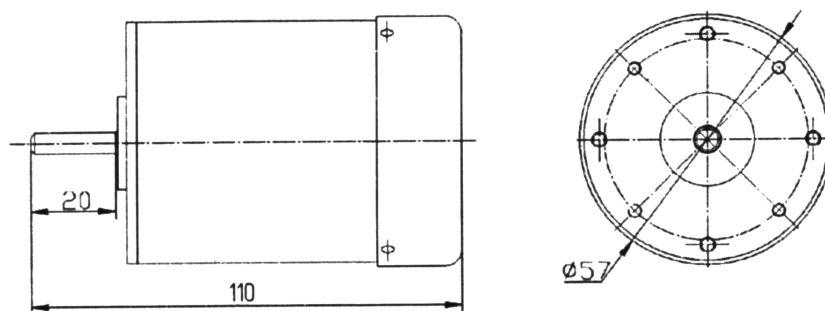


Рисунок 1 – Габаритные размеры исследуемого ВРД

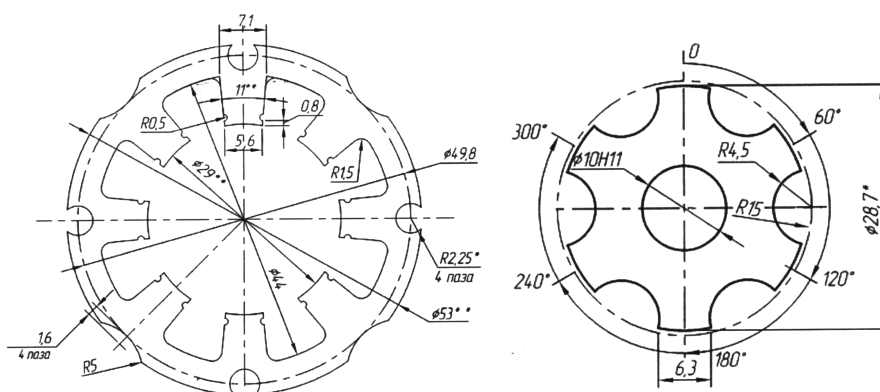


Рисунок 2 – Пластины статора и ротора ВРД

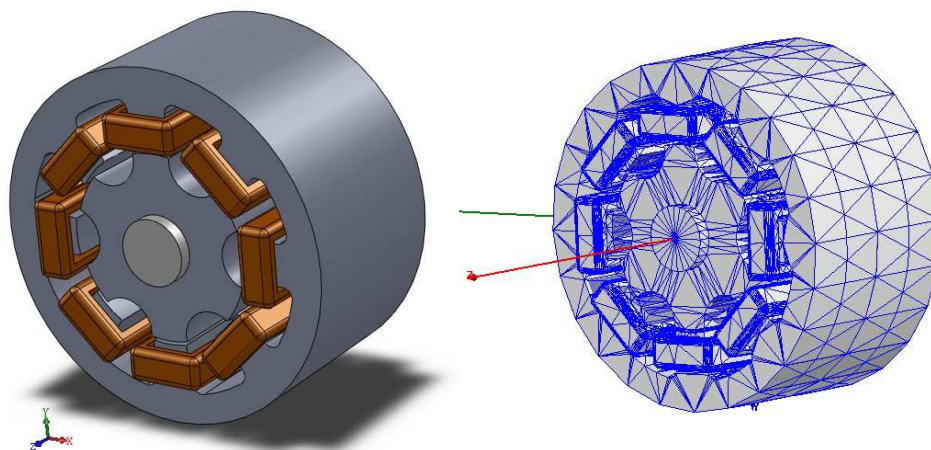


Рисунок 3 – Твердотельная и дискретная модели ВРД

В процессе расчета предполагалось, что двигатель питается от импульсного источника, который формирует разнополярную четырехфазную систему напряжений прямоугольной формы амплитудой 2 В и частотой 0,44 Гц (рис.4). Указанная система напряжений обеспечивает стабильную работу исследуемого ВРД в шаговом режиме. Длительность расчета составила 25 сек.

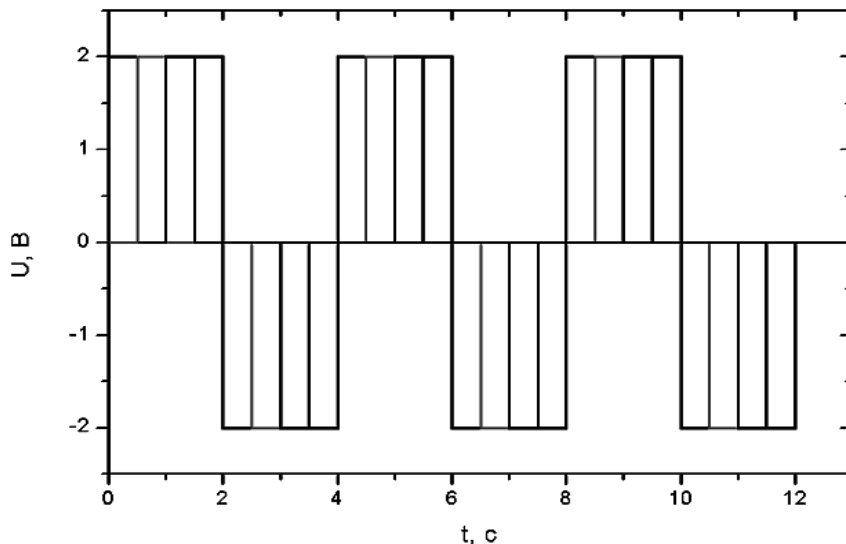


Рисунок 4 – Разнополярная четырехфазная система напряжений

В результате расчета получены графики переходных процессов скорости (рис.5) и момента (рис.6), токов в фазах (рис.7) и потокосцеплений (рис.8). На рис.9 показан график противоэдс, наводимой в обмотке статора, и потерь мощности, возникающих в массивных частях ротора (рис.10).

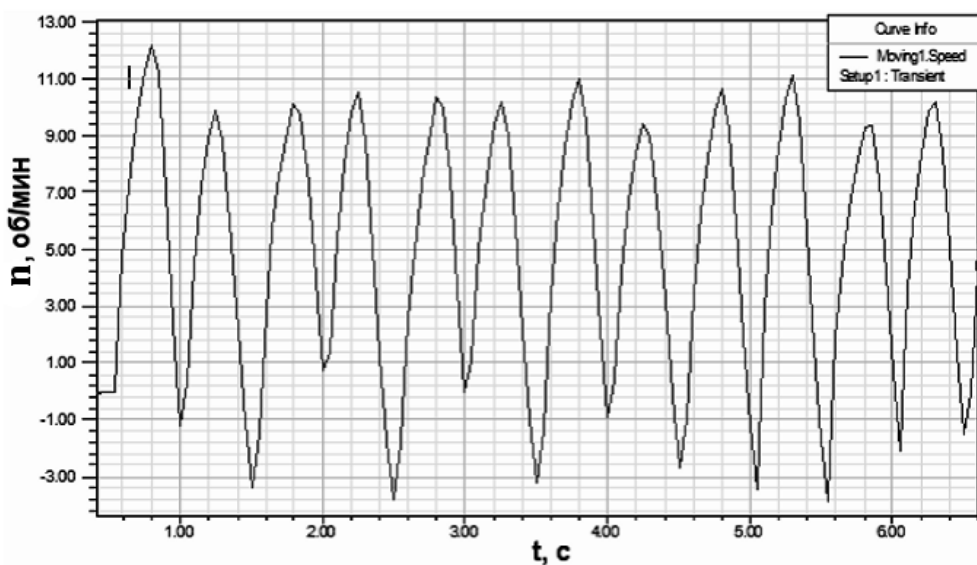


Рисунок 5 – Переходный процесс скорости ВРД

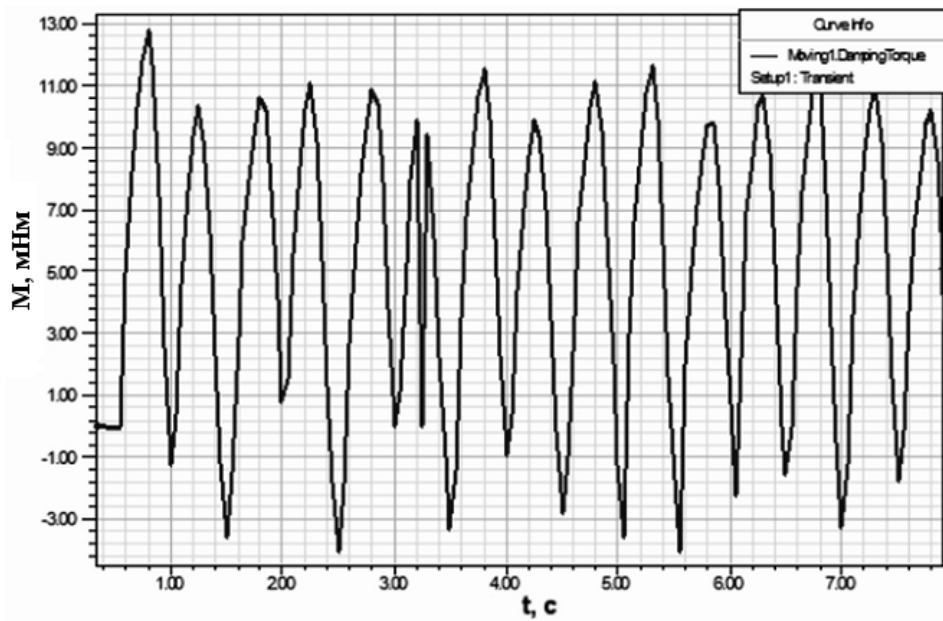


Рисунок 6 – Переходний процес електромагнітного моменту ВРД

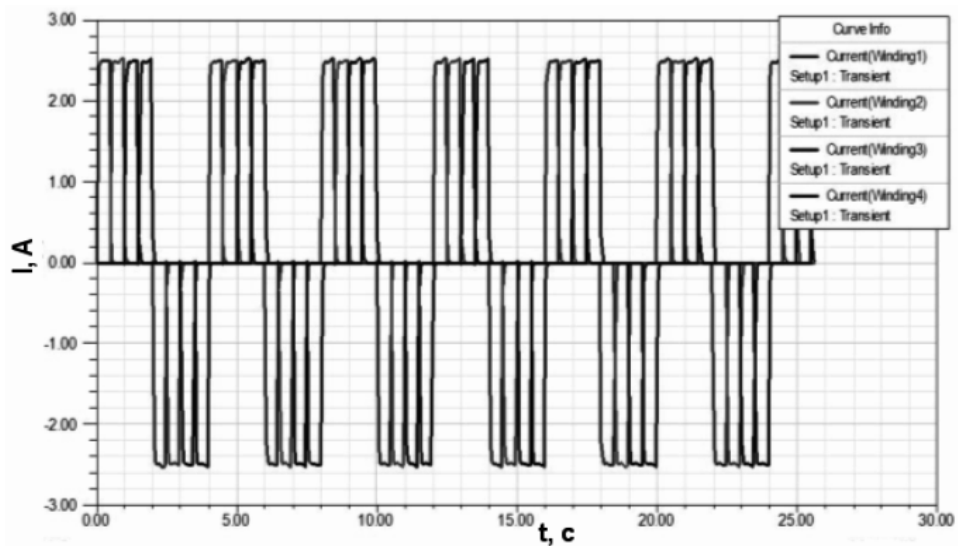


Рисунок 7 – Переходний процес токів в фазі ВРД

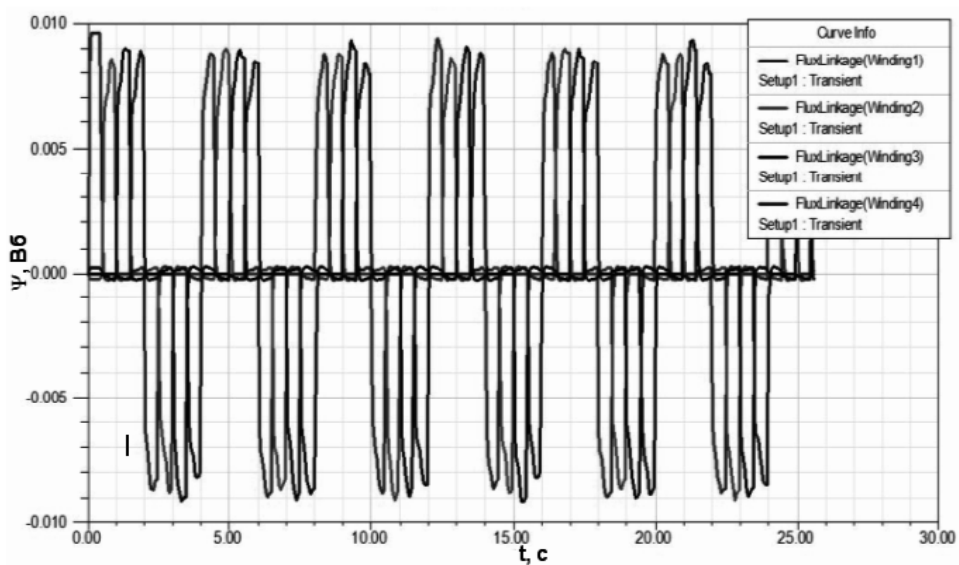


Рисунок 8 – Переходний процес потокосцеплень фаз ВРД

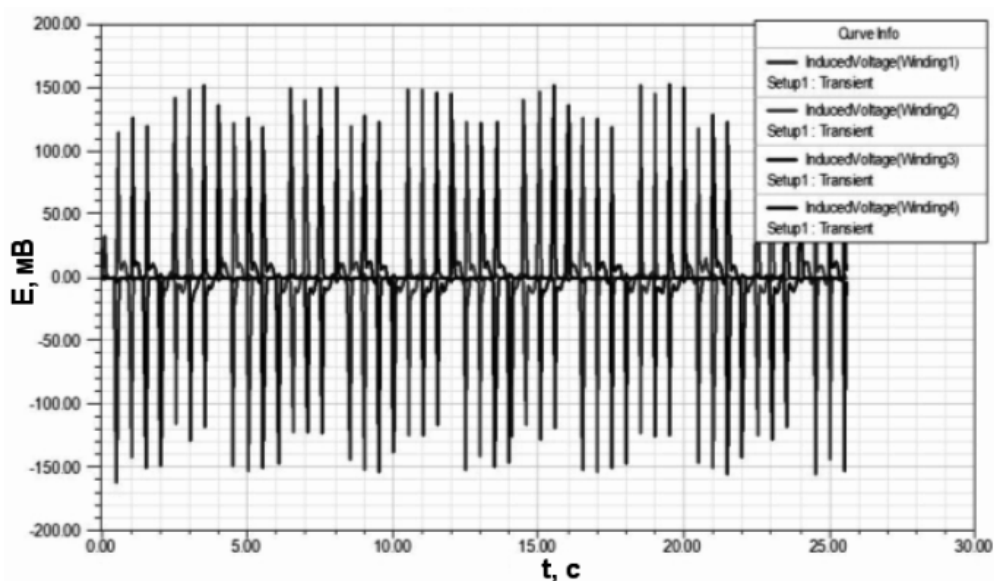


Рисунок 9 – График противоэдс, наводимой в обмотке статора

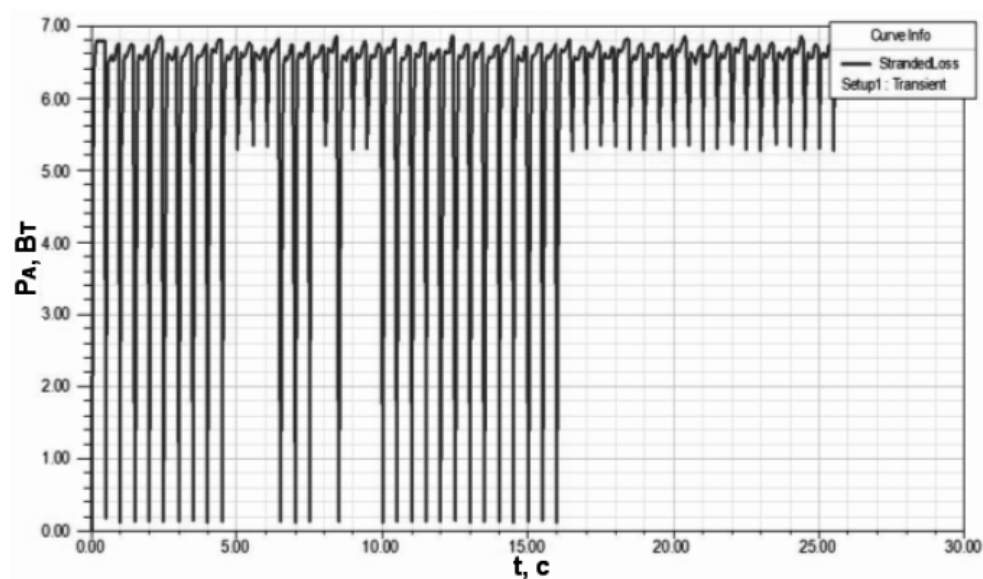


Рисунок 10 – График потерь мощности в массивных частях ротора

Выводы. На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы: 1) величина импульса питания для двигателя ВРД-57-100-4 для работы в шаговом режиме должна составлять 2 В продолжительностью 0,5 с. Указанные параметры питания позволяют создавать на валу импульсный электромагнитный момент колебательно-го характера с возможностью эксплуатации двигателя в шаговом режиме; 2) установлено, что при вращении ротора в статорных обмотках ВРД индуцируется противоэдс, величина которой достигает 150мВ. Индуцированная противоэдс должна учитываться при проектировании коммутационного преобразователя, питающего обмотку ВРД; 3) расчетным путем получено значение мощности, которая выделяется в массивной

части ротора – вале. При работе ВРД в шаговом режиме данная мощность тепловыделений составляет порядка 6-7 Вт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качура А.В. Математическая модель индукционного реостата с учетом насыщения магнитной системы / Качура А.В., Сьянов А.М., Сторожко В.С. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2002. – С.376-378.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Кенио Т.; пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 200с.: ил.
3. Качура А.В. Проектирование электроприводов на основе совместного анализа цепевых и полевых моделей / Качура А.В., Колычев С.В., Сьянов А.М. // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Вип. 3/2006 (38)41. – С.17-19.

Поступила в редколлегию 06.10.2014.

УДК 621.313.33

ЦАБЕНКО М.В., ассистент
СТОРОЖКО С.П., к.т.н., доцент
КЛЮЕВ О.В., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Введение. Силовой электропривод (ЭП) является основным потребителем электроэнергии и его энергетические показатели служат основным критерием оценки эффективности работы энергосистемы в целом. Расчёт и исследование электромеханических систем методом математического моделирования значительно ускоряются применением прикладных пакетов компьютерных программ, которые позволяют на разных этапах решать сложную проблему всестороннего анализа режимов работы систем электропривода.

Постановка задачи. Задачей работы является исследование процессов преобразования энергии в в системе электропривода тиристорный регулятор напряжения (ТРН) – асинхронный двигатель.

Результаты работы. Математическая модель (рис.1) состоит из трёхфазного источника питания, схемы трёхфазного тиристорного регулятора напряжения, асинхронной машины, системы импульсно-фазового управления тиристорами, регулятора скорости с задатчиком интенсивности и блока измерителя переменных состояния асинхронной машины (АМ).

Система управления тиристорами находится в блоке SIFU, который синхронизируется с сетью через вход U_{abc} с измерением напряжений относительно земли. В измерителе токов и напряжений на выходе ТРН фиксируются линейные напряжения. Схема СИФУ представлена на рис.2.

Сигнал управления в блок СИФУ поступает с выхода регулятора скорости. Питание обмоток статора от ТРН осуществляется таким образом, что при скольжениях ротора, отличных от нуля, магнитный поток, создаваемый токами ротора, вращается с синхронной скоростью и, таким образом, неподвижен относительно магнитного потока статора. После преобразований, которые состоят в замене потокосцеплений токами, и