

## РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ MATLAB

**В. О. Квашнин, В. А. Косенко**

*Донбасская государственная машиностроительная академия*

**Аннотация.** В работе представлена разработка обобщенной методики определения основных энергетических характеристик ( $\cos(\varphi)(t)$  и  $\eta(t)$ ) частотных электроприводов при различных режимах их работы – пуск, работа на холостом ходу и под номинальной нагрузкой.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, активная мощность, коэффициент мощности, КПД, обобщенная методика, математическая модель.

### Введение

При создании новых современных электроприводов (ЭП), а также при оценке уже действующих особое внимание уделяется энергетическим показателям. К их числу относятся коэффициент мощности ( $\cos(\varphi)$ ), коэффициент полезного действия (КПД,  $\eta$ ), а также активная полезная ( $P_2$ ) и полная ( $S$ ) мощности. На этапе проектирования асинхронных ЭП, оценка таких показателей является ключевым требованием. Для его обеспечения существует большое количество средств и инструментов, среди которых можно выделить пакет прикладных программ MATLAB. Он может быть довольно мощным средством для определения и анализа энергетики асинхронных электроприводов в различных режимах его работы. В работах [1, 2] была предложена и опробована методика определения и оценки энергетических характеристик, но только для самого асинхронного двигателя. При этом использовалась специально разработанная для этих целей модель асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором [3, 4]. В ее основу была положена двухфазная модель двигателя в неподвижной системе координат  $\alpha$ - $\beta$ , а со стороны статора она, как и обычный двигатель, имела три фазы. Применение двухфазной модели АД в системе координат  $d$ - $q$ , для оценки энергетики, дополнительно требовало введения в модель обратного преобразователя координат из  $d$ - $q$  в  $\alpha$ - $\beta$  [4]. В этом случае, использование имеющихся готовых подобных преобразователей из библиотеки MATLAB, возможно при неизменной частоте питания сети, заранее наперед заданной. Кроме того, имеющиеся в MATLAB такие блоки, позволяют определять только лишь активную и реактивную мощности двигателя, потребляемые

из сети –  $P_1$  и  $Q$  соответственно. Для определения же зависимостей  $\eta$  и  $\cos(\varphi)$  знание  $P_1$  и  $Q$  недостаточно. Нахождение КПД и коэффициента мощности в этом случае не представлялось возможным и требовало дальнейшей разработки методики и соответствующей модели.

### Цель

Целью выполняемой работы являлось разработка обобщенной методики определения энергетических параметров и характеристик частотного ЭП при помощи пакета прикладных программ MATLAB. При этом были использованы имеющиеся блоки библиотеки SimPowerSystems и разработанная методика определения вышеуказанных параметров на базе библиотек Simulink. Для достижения указанной цели необходимо было решить ряд задач:

- разработать и промоделировать на конкретном примере вариант двухфазной модели системы векторного управления АД с ориентацией тока статора по вектору потокосцепления ротора в ортогональной системе координат  $d$ - $q$ .

- промоделировать аналогичную трехфазную модель системы векторного управления, имеющуюся в библиотеках SimPowerSystems [5].

- результаты моделирования в виде зависимостей: угловой скорости –  $\omega(t)$ , момента на валу двигателя –  $M(t)$ , напряжений статора –  $U(t)$  и токов статора –  $I(t)$  сопоставить между собой и проанализировать

- на основе полученных данных выполнить определение энергетических характеристик моделей системы векторного управления АД в различных режимах работы двумя предложенными методиками. Первой – с использованием базовых инструментов MATLAB, второй – специально разработанную для этих целей обобщенной методикой, на основе которой была получена математическая модель.

© Квашнин В. О., Косенко В. А., 2018

- провести обработку полученных результатов и выполнить анализ работы предлагаемых методик для рассматриваемых схем моделей систем векторного управления асинхронным двигателем (АД) с короткозамкнутым (КЗ) ротором.

### Исследования

Для решения поставленных задач были реализованы двухфазная и трехфазная модели системы векторного управления АД с КЗ ротором [6], параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Параметры АД с КЗ ротором серии АИР100L2

Параметр	Обозн.	Ед. изм.	Значение
Номинальная мощность	$P_n$	кВт	5,5
Номинальная скорость	$n_n$	об/мин	2850
Номинальный ток	$I_n$	А	11
КПД	$\eta$	%	88
Коэффициент мощности	$\cos(\varphi)$	-	0,88
Кратность пуск. тока	$I_p/I_n$	-	7,5
Кратность пуск. момента	$M_p/M_n$	-	2,1
Кратность крит. момента	$M_k/M_n$	-	2,4

### Разработка двухфазной модели системы векторного управления АД

В качестве двухфазной модели системы управления АД, была взята наиболее распространенная в литературных источниках [7] система векторного управления с ориентацией тока статора по вектору потокосцепления ротора в ортогональной системе координат d-q, структурная схема которой представлена на рисунке 1. Основные параметры структурной схемы приведены в таблице 2.

Реализация двухфазной математической модели системы векторного управления АД в среде MATLAB Simulink показана на рисунке 2. Модель содержит двухконтурную систему векторного управления на основе двух ПИ-регуляторов – тока и скорости соответственно.

Таблица 2

Параметры структурной схемы системы векторного управления АД

Параметр	Обозн.	Знач.
Активное сопротивление обмотки статора	$R_1$	1,447
Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора	$R_2$	0,997
Электромагнитная постоянная времени статора	$T_1$	0,01
Коэффициент электромагнитной связи статора и ротора	$K_2$	0,971
Главная взаимная индуктивность между фазой ротора и статора	$L_m$	0,145
Электромагнитная постоянная времени ротора	$T_2$	0,012
Коэффициент рассеяния по Блонделю	$\sigma$	0,057
Кол-во пар полюсов	$p_n$	1
Коэффициент передачи преобразователя	$K_{тп}$	31,1
Постоянная времени преобразователя	$T_{тп}$	0,0014
Момент инерции двигателя	$J$	0,01
Момент сопротивления	$M_n$	18,44

### Моделирование трехфазной системы векторного управления АД

За основу трехфазной модели системы векторного управления АД была взята готовая модель из библиотеки SimPowerSystems (рисунок 3) [8]. Она включает в себя модель АД с КЗ ротором, трехфазный инвертор, систему векторного управления. Система векторного управления выполнена на основе двух ПИ-регуляторов тока и скорости. Для получения более сглаженного формируемого синусоидального напряжения, использован трехфазный фильтр.



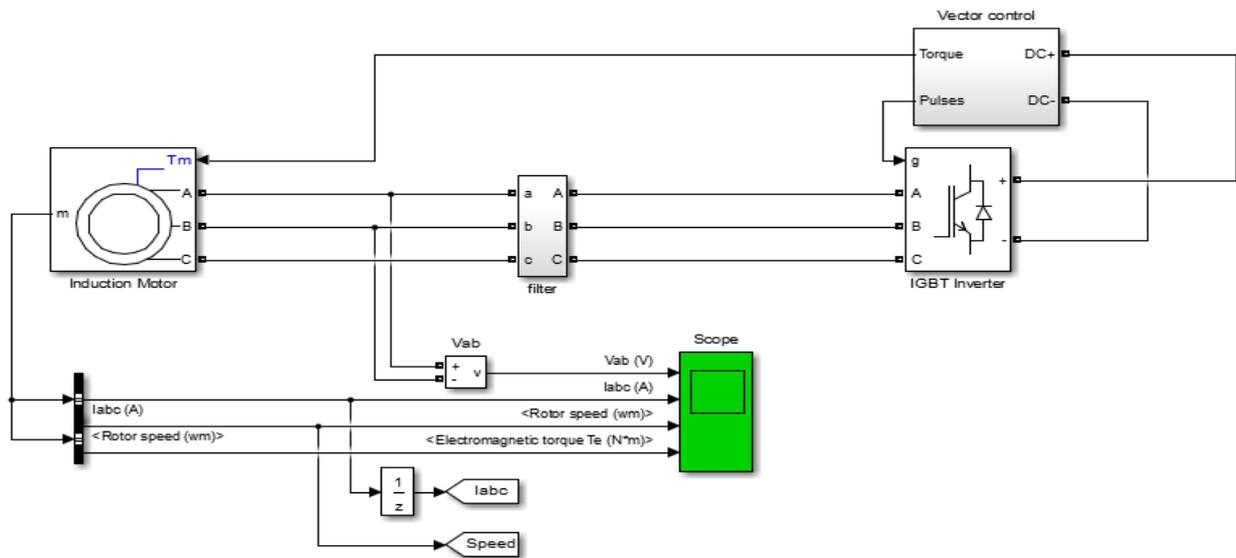


Рис. 3. Трехфазная модель система векторного управления АД в SimPowerSystems

### Анализ полученных результатов моделирования

В результате процесса моделирования схем двух и трехфазного вариантов систем векторного управления АД были получены зависимости угловой скорости  $\omega(t)$ , момента на валу двигателя  $M(t)$ , тока статора и напряжения -  $I(t)$  и  $U(t)$  соот-

ветственно, которые приведены на рисунке 4. При этом, токи и напряжения двухфазной модели были преобразованы в трехфазные. На рисунке 4 пунктиром обозначены зависимости для двухфазной модели системы векторного управления.

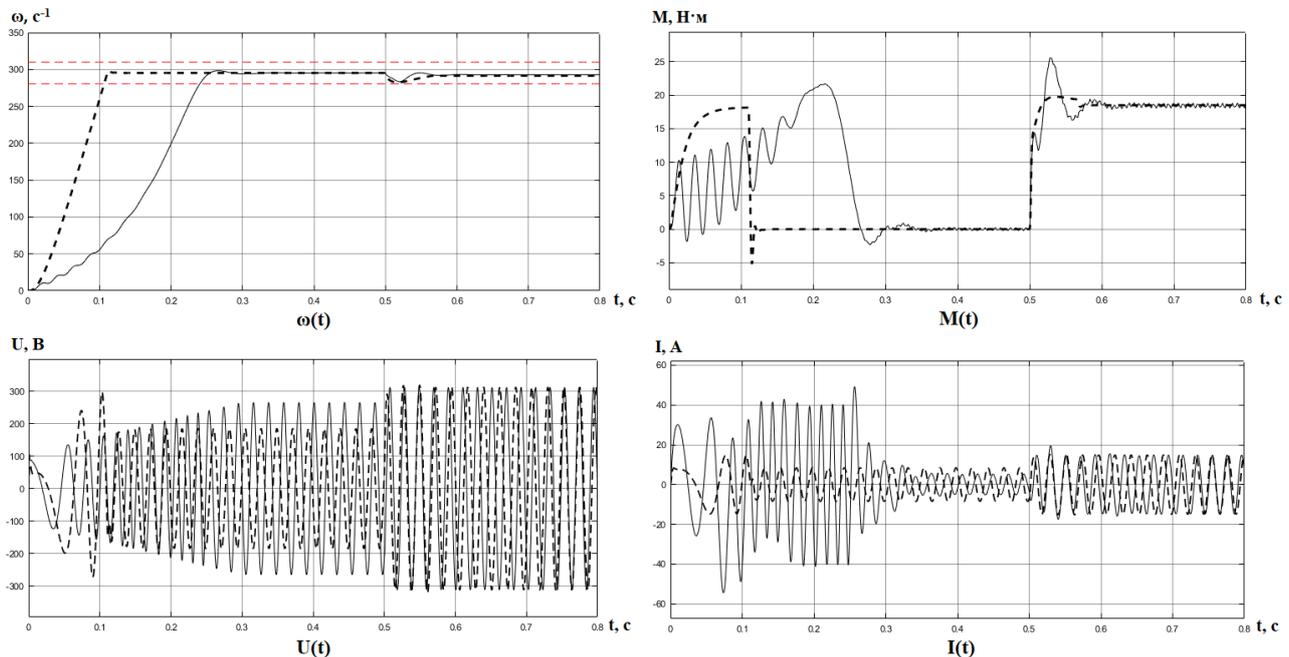


Рис. 4. Зависимости скорости, момента, токов и напряжений для двух вариантов систем векторного управления

Сравнительный анализ представленных на рисунке 4 графиков, показывает:

- процесс разгона двигателя осуществляется за разные промежутки времени. В случае двухфазной модели время пуска двигателя составляет  $t_{п} = 0,11$  с, а для трехфазной модели  $t_{п} = 0,25$  с. Это может быть объяснено различным характе-

ром настроек ПИ-регуляторов и их режимов работы для рассматриваемых вариантов моделей и подтверждается характером изменений токов и напряжений рис. 4. Однако, в установившихся режимах работы – на холостом ходу и под нагрузкой, а также в динамическом режиме работы – при набросе нагрузки, графики зависимостей

$\omega(t)$  практично совпадають і відповідають заданому значенню номінальної швидкості  $\omega_n = 296 \text{ c}^{-1}$ . В обох випадках динамічна помилка по швидкості при номінальному навантаженні не перевищує 5 % зони.

- Из рассмотрения зависимостей моментов  $M(t)$  видно, что в двухфазном варианте пуск осуществляется практически при постоянном моменте близком к номинальному, что и обеспечивает линейный характер разгона двигателя. При набросе номинальной нагрузки перерегулирование по моменту не превышает 4,3 %. В случае варианта трехфазной модели, рост пускового момента осуществляется по экспоненциальному закону и имеет затухающий колебательный характер, что отображается на зависимости скорости при пуске. Это может быть обусловлено линейным ростом напряжения до установившегося значения 268 В (составляет  $0,86U_n$ ). Перерегулирование по моменту при набросе номинальной нагрузки не выходит за пределы 43 %.

- Из рассмотрения зависимостей статорных токов, видно, что в варианте трехфазной модели пусковой ток устанавливается на уровне  $2,5I_n$ , значение тока холостого хода находится на уровне 4,3 А. В варианте двухфазной модели пусковой ток достигает номинального значения  $I_n = 10,7 \text{ А}$ , а в режиме холостого хода его значение находится на уровне 5,2 А. Отличие пускового тока и тока холостого хода в рассматриваемых вариантах объясняется расхождениями значений активных сопротивлений статорной и роторной цепей, определение которых осуществлялось по разному. Однако при номинальном нагружении величины токов и напряжений в обоих вариантах моделей выходят на номинальные значения.

#### Определение энергетических характеристик для двухфазной модели

Нахождение энергетических характеристик и их оценка осуществлялось по предложенным двум методикам.

**Первая методика.** Для определения энергетических показателей частотных ЭП проще использовать уже готовые инструменты, которые имеются в библиотеке блоков SimPowerSystems (рисунок 5).

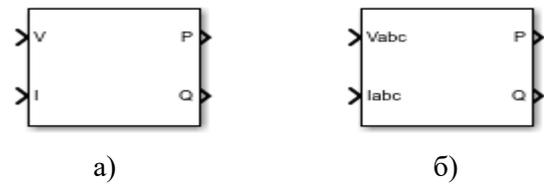


Рис. 5. Блоки SimPowerSystems для определения активной и реактивной мощностей (а – для однофазной и б – для трехфазной сети)

Однако, при помощи данных инструментов возможно определение только активной и реактивной мощности ( $P_1(t)$  и  $Q(t)$ ), потребляемых из сети. Для определения таких зависимостей, как  $\cos(\varphi)(t)$  и  $\eta(t)$  необходима разработка методики по их определению на основе имеющихся данных в виде зависимостей  $P_1(t)$  и  $Q(t)$ . Следует также отметить, что данные инструменты настраиваются под конкретную частоту питающей сети и определенное начальное напряжение, и ток.

Используя подобные блоки (рисунок 5, б) для двухфазной модели АД в неподвижной системе координат  $\alpha$ - $\beta$ , можно определить зависимости активной  $P_1(t)$  и реактивной  $Q(t)$  мощностей, потребляемых двигателем из сети, по следующим расчетными соотношениями (1, 2).

Полная активная мощность.

$$P_1 = 3 \times \frac{|U_1|}{\sqrt{2}} \times \frac{|I_1|}{\sqrt{2}} \times \cos(\varphi) \quad (1)$$

Реактивная мощность.

$$Q = 3 \times \frac{|U_1|}{\sqrt{2}} \times \frac{|I_1|}{\sqrt{2}} \times \sin(\varphi) \quad (2)$$

На основе полученных данных можно определить зависимость полной потребляемой мощности, как векторную сумму (3) активной и реактивной мощности ( $S(t)$ , кВА).

Полная мощность.

$$S(t) = \sqrt{P_1^2(t) + Q^2(t)} \quad (3)$$

С учетом приведенных расчетных соотношений на примере двухфазной модели векторной системы управления АД, рисунок 2 была разработана модель для определения энергетических характеристик, которая представлена на рисунке 6.

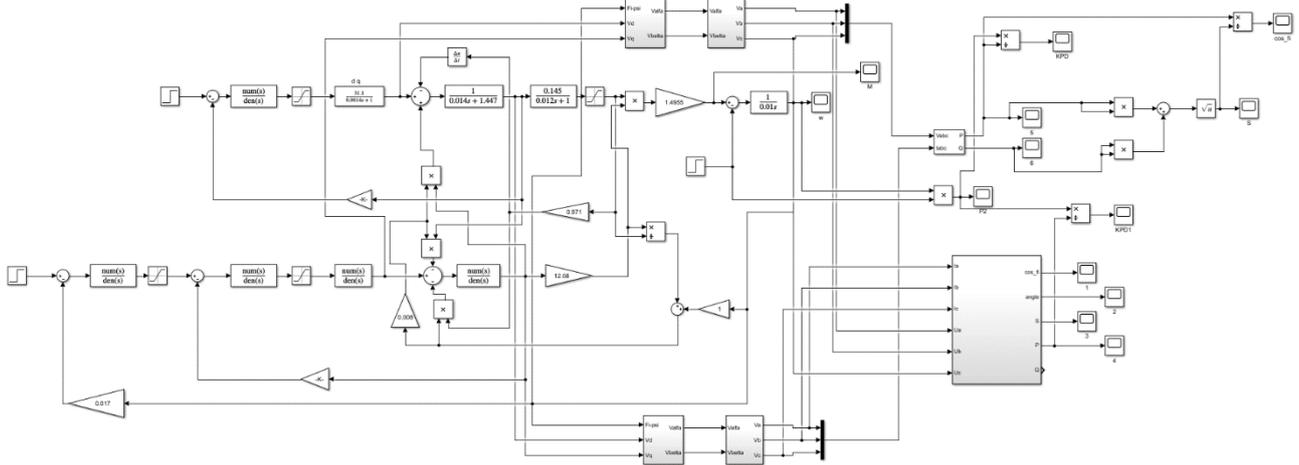


Рис. 6. Модель для определения энергетических характеристик двухфазной модели системы векторного управления

Зависимость полезной активной мощности  $P_2(t)$  можно определить по полученным в результате моделирования зависимостям  $\omega(t)$  и  $M(t)$  для различных режимов работы (пуск, холостой ход, работа под нагрузкой) по следующему расчетному соотношению (4) (рисунок 7). В дальнейшем по найденным зависимостям  $P_1(t)$ ,  $S(t)$  и  $P_2(t)$  можно будет определить зависимости коэффициента мощности и КПД в функции времени, соответственно (5, 6).

$$P_2(t) = M(t) \times \omega(t) \quad (4)$$

$$\eta(t) = \frac{P_2(t)}{P_1(t)} \quad (5)$$

$$\cos(\varphi)(t) = \frac{P_1(t)}{S(t)} \quad (6)$$

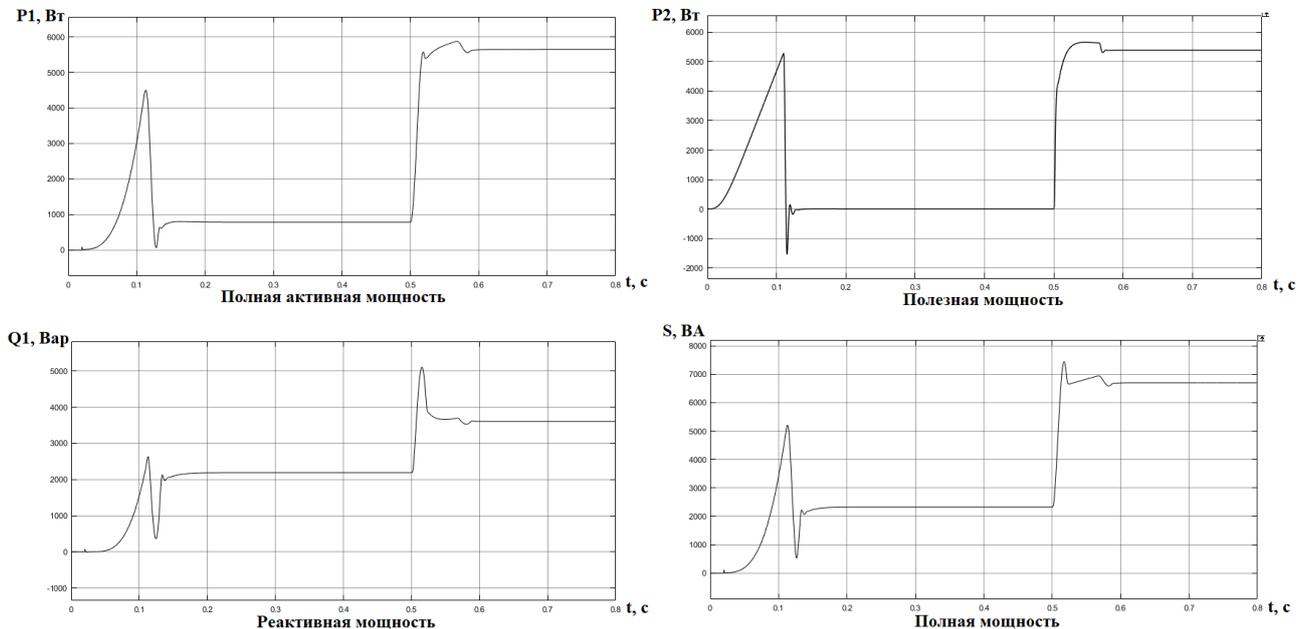


Рис. 7. Зависимости мощностей, определенные по первой методике

**Вторая методика.** Для оценки полученных энергетических зависимостей по первой методике была предложена разработка обобщенной методики их определения непосредственно по действующим значениям зависимостей статорного тока  $I(t)$  и напряжения  $U(t)$ . Предлагаемая обоб-

щенная методика отличается от ранее разработанной [1, 2], так как дает возможность по проекциям действующих значений составляющих векторов двухфазного тока статора и напряжения в системе координат  $\alpha$ - $\beta$  [9], а также углу между ними, непосредственно определять зависимости

$P_1(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $S(t)$  и  $\cos(\varphi)(t)$ . Определение же зависимости  $\eta(t)$  осуществлялось аналогично, как и в предыдущем случае. Данная методика была реализована в виде модели в MATLAB Simulink, схема которой представлена на рисунке 7. В разработанной модели входными величинами, являются трехфазные ток и напряжение статора, которые преобразуются в двухфазные. Они представлены в неподвижной системе координат  $\alpha$ - $\beta$  по приведенным расчетным соотношениям (7, 8, 9, 10).

$$U_\alpha = \frac{2}{3}U_A - \left(\frac{1}{3}U_B - \frac{1}{3}U_C\right) = U_A \quad (7)$$

$$U_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}U_B - \frac{1}{\sqrt{3}}U_C = \frac{1}{\sqrt{3}}U_B + \frac{1}{\sqrt{3}}(U_A + U_C) = \frac{1}{\sqrt{3}}U_A + \frac{2}{\sqrt{3}}U_B \quad (8)$$

$$I_\alpha = \frac{2}{3}I_A - \left(\frac{1}{3}I_B - \frac{1}{3}I_C\right) = I_A \quad (9)$$

$$I_\beta = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B - \frac{1}{\sqrt{3}}I_C = \frac{1}{\sqrt{3}}I_B + \frac{1}{\sqrt{3}}(I_A + I_C) = \frac{1}{\sqrt{3}}I_A + \frac{2}{\sqrt{3}}I_B \quad (10)$$

Также для возможности определения коэффициента мощности в разработанной модели определяется угол между векторами тока и напряжения (11).

$$\alpha = \frac{180}{\pi} \times \arccos\left(\frac{U_\alpha \times I_\alpha + U_\beta \times I_\beta}{\sqrt{U_\alpha^2 + U_\beta^2} \times \sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2}}\right) \quad (11)$$

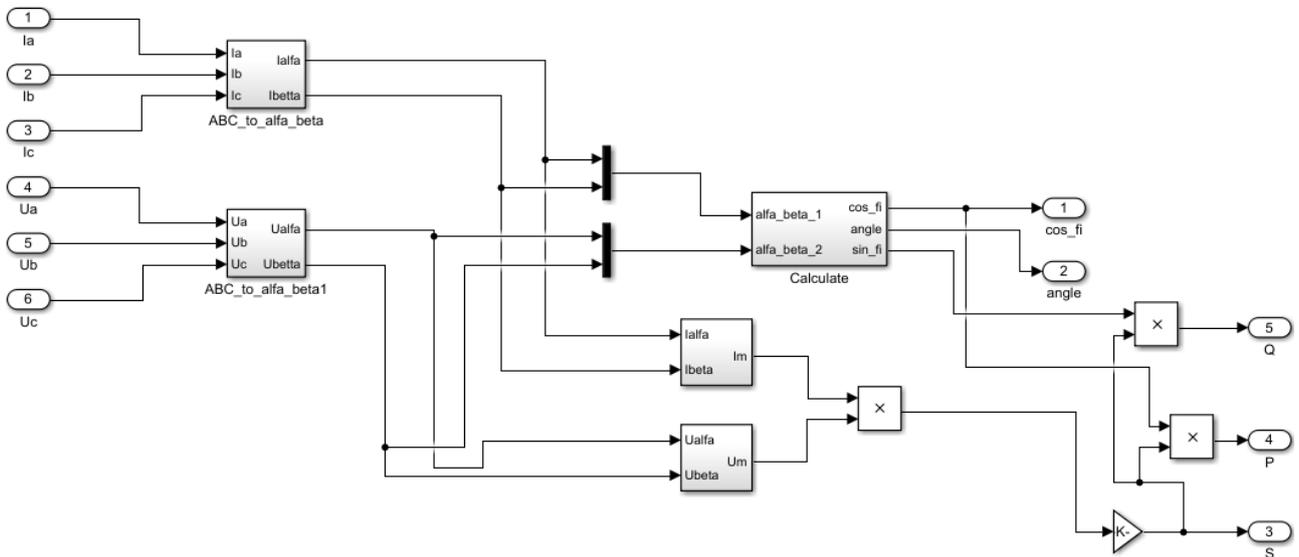


Рис. 7. Динамическая модель для определения энергетических показателей

Результаты по определению зависимостей коэффициента полезного действия и коэффициента мощности по первой и второй методике представлены на рисунке 8 (а – зависимости, определенные по первой методике с использованием

инструментов SimPowerSystems; б – зависимости, определенные по второй обобщенной методике с использованием, специально разработанной для этих целей).

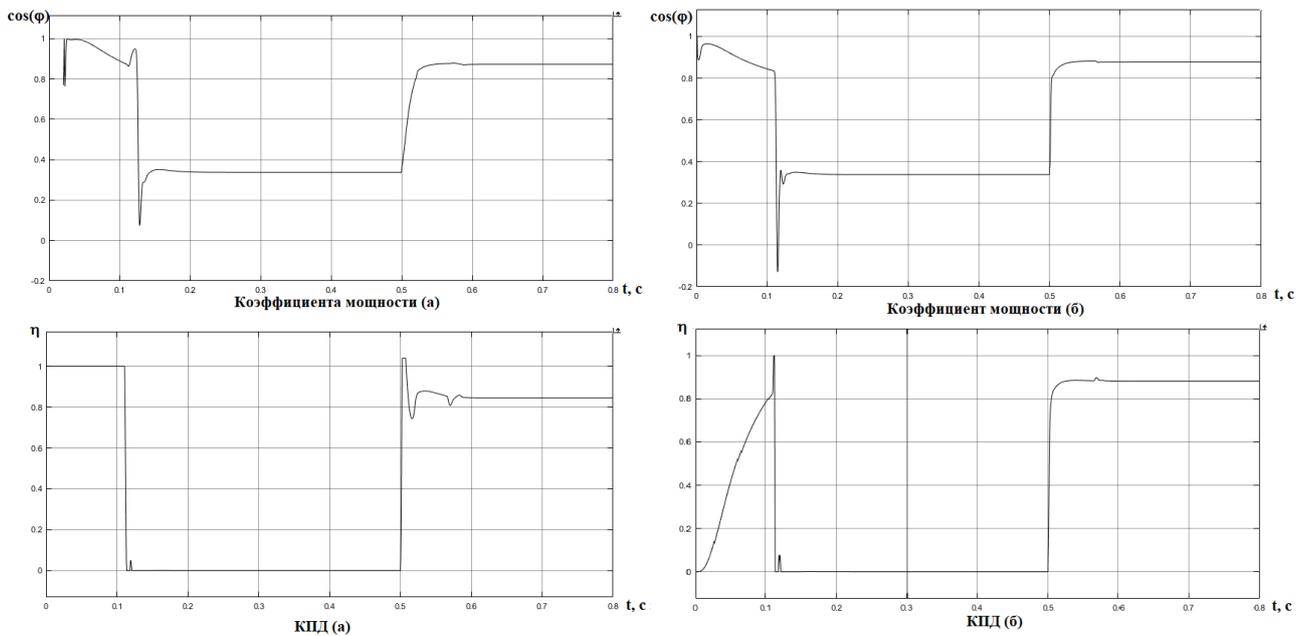


Рис. 8. Энергетические показатели АД с КЗ ротором

**Определение энергетических характеристик для трехфазной модели векторного управления АД**

Аналогично были определены энергетические характеристики для трехфазной модели системы векторного управления электродвигателем. По первой методике с использованием имеющихся готовых блоков библиотеки SimPo-

werSystems были получены зависимости  $P_1(t)$ ,  $Q(t)$ ,  $S(t)$  и  $P_2(t)$  соответственно (рисунок 9).

Далее были определены зависимости  $\cos(\varphi)(t)$  и  $\eta(t)$  (рисунок 10а). Графики этих же зависимостей, полученные по предлагаемой второй обобщенной методике, показаны также на рисунке 10б.

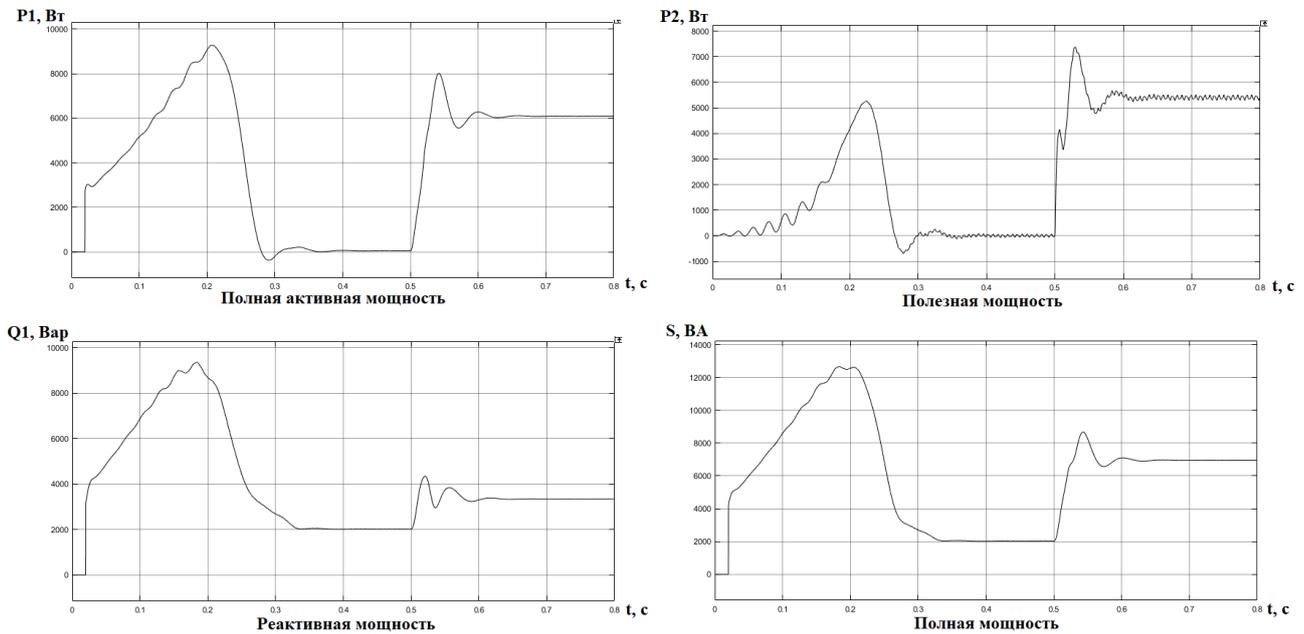


Рис. 9. Зависимости мощностей, определенные по второй методике

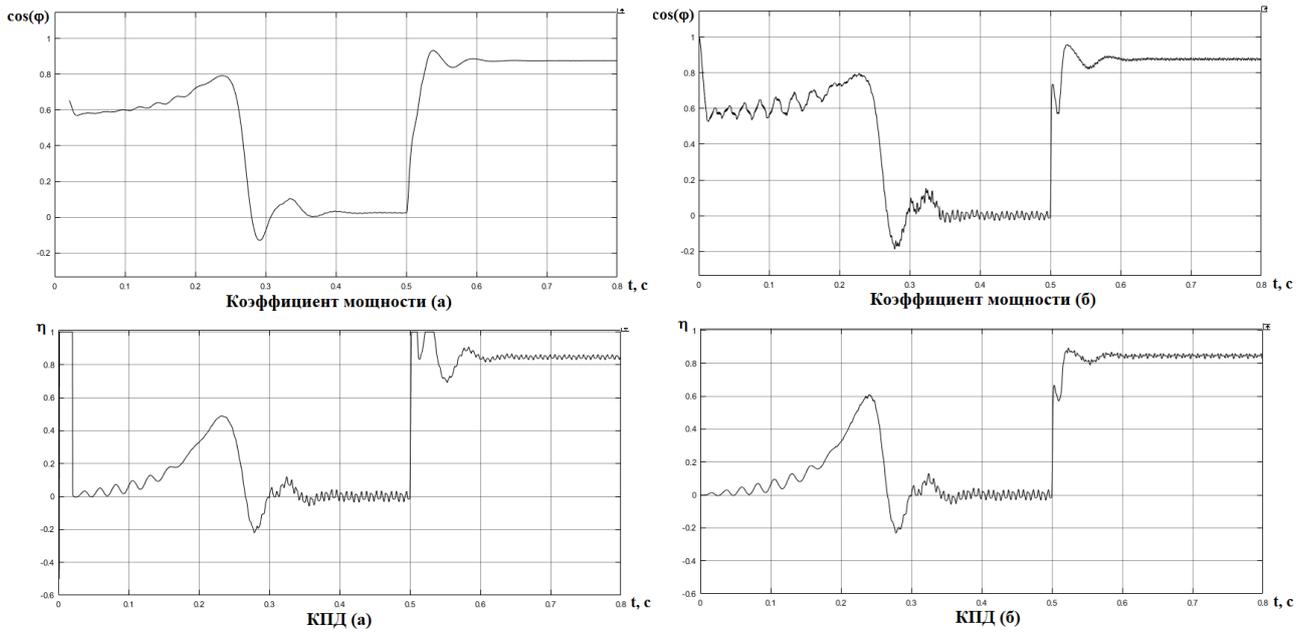


Рис. 10. Энергетические показатели АД с КЗ ротором

**Обработка полученных результатов и их анализ**

Значения основных энергетических характеристик в виде соответствующих коэффициентов

для рассматриваемых схем моделей систем векторного управления двигателем, при различных режимах работы и определенных по предложенным методикам, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Значение основных энергетических параметров АД с КЗ ротором

Схема модели системы векторного управления		Двухфазная				Трехфазная			
		Первая		Вторая		Первая		Вторая	
Методика определения		Первая		Вторая		Первая		Вторая	
Параметры КПД и cos(φ)		η	cos(φ)	η	cos(φ)	η	cos(φ)	η	cos(φ)
Режим работы	Пуск	1	0,93	0,75	0,91	0,24	0,73	0,38	0,72
	Х. Х.	0	0,34	0	0,34	0,03	0,02	0,01	0,022
	Ном. нагрузка	0,88	0,88	0,88	0,88	0,85	0,87	0,85	0,87

1. Из полученных результатов видно, что предложенные методики для определения энергетических показателей и характеристик не имеют существенных различий на участках установившихся режимов работы двигателя, как на холостом ходу, так и при работе с номинальной нагрузкой.

2. Обе методики эффективны для систем частотного управления, выполненных в различных системах координат. Однако следует отметить, что используемые инструменты MATLAB SimPowerSystems позволяют определить только активную и реактивную мощности.

3. При выходе на номинальный режим нагрузки предложенные методики дают полную сходимость с паспортными значениями электродвигателя для варианта двухфазной модели:  $\cos(\varphi) \approx 0,88$ ,  $\eta \approx 0,88$ . В случае трехфазной мо-

дели эти показатели составляют соответственно,  $\cos(\varphi) \approx 0,87$ ,  $\eta \approx 0,85$ .

4. Необходимо также отметить, что использование инструментов SimPowerSystems по первой методике в переходных процессах пуска и наброса нагрузки, могут давать некорректные значения  $\eta$  и  $\cos(\varphi)$ . Эта связано с тем, что используемые блоки работают на фиксированных частотах питающей сети, которые задаются вручную, в то время частота в системах векторного управления АД является переменным параметром.

5. В отличие от первой методики, предлагаемая вторая обобщенная методика не нуждается в дополнительных настройках (частота питания, начальные ток и напряжение) и может применяться для различных систем координат при

использовании соответствующего преобразователя.

6. Разработанная на ее основе модель для определения основных энергетических показателей и характеристик (коэффициента мощности и КПД) не требует дополнительных вычислений в отличие от используемых инструментов SimPowerSystems в модели первой методике, которые в свою очередь позволяют определять только активную и реактивную мощность. Для определения других энергетических зависимостей необходима дополнительная разработка методики их определения.

### Выводы

В результате проделанной работы выполнено:

– Моделирование двух вариантов моделей систем векторного АД – двухфазной (с использованием блоков Simulink) и соответственно трехфазной (имеющаяся модель в библиотеках SimPowerSystems).

– Не совпадение результатов моделирования в части зависимостей напряжений  $U(t)$  и токов  $I(t)$  статора при пуске, вызвано отличием параметров активных фазных сопротивлений статорной и роторной цепей двигателя, которые определялись в каждом конкретном случае поразному. Для варианта двухфазной модели при определении значений активных фазных сопротивлений, использовалась методика приведенная в [10]. В случае трехфазной модели нахождение параметров схемы замещения АД осуществлялось по [5]. Тем не менее оба варианта моделей в статическом (под нагрузкой) и в динамическом (при мгновенном нагружении номинальным моментом) режимах работы ведут себя идентично. Имеют одну и ту же динамическую ошибку по скорости (не более 5%) и минимальную статическую – не более 1%.

– На основе полученных зависимостей  $\omega(t)$ ,  $M(t)$ ,  $I(t)$  и  $U(t)$  были предложены и опробованы две методики определения  $\cos(\varphi)$  и  $\eta(t)$ . Первая методика основывалась на использовании готовых блоков SimPowerSystems по которым определялись зависимости активной  $P_1(t)$  и реактивной  $Q_1(t)$  мощностей, потребляемых двигателем из сети. Вторая обобщенная методика позволила непосредственно находить зависимости  $\cos(\varphi)$  и  $\eta(t)$  по полученным зависимостям  $\omega(t)$ ,  $M(t)$ ,  $I(t)$  и  $U(t)$ .

– Недостатком первой методики является невозможность корректного определения  $\cos(\varphi)$  и  $\eta(t)$  в переходных режимах работы двигателя (при его пуске и нагружении). В этих случаях меняется частота питающего напряжения, кото-

рая в используемых готовых блоках MATLAB задается вручную. Поэтому эту методику для оценки энергетических параметров и характеристик частотного ЭП можно рекомендовать к использованию только в статических режимах его работы.

– Вторая обобщенная методика для определения этих же параметров и характеристик, лишена подобных недостатков. Кроме того, она позволяет непосредственно по полученным текущим действующим значениям тока и напряжения определять текущие изменения фазового угла между действующими значениями потребляемого тока и напряжения в различных режимах работы. Следовательно, ее можно рекомендовать для оценки энергетической эффективности частотных ЭП даже на отдельных участках различных режимов их работы (пуск, нагружение и торможение).

### Список использованной литературы

1. Квашнин, В. О. Удосконалення методики визначення енергетичних характеристик асинхронного двигуна з використанням його математичної моделі / В. О. Квашнин, В. А. Косенко [Текст] Сборник трудов XX международной научно-технической конференции, г. Севастополь 2013, 3-й том 302 с, с. 274-277.

2. Квашнин, В. О. Анализ построения динамической модели асинхронного двигателя на основе расчетных и каталожных данных / В. О. Квашнин, В. А. Косенко [Текст] Электротехнические и компьютерные системы г. Одесса 2014, с. 241-244.

3. Квашнин, В. О. Разработка динамической модели асинхронного двигателя / В. О. Квашнин [Text] Вісник: Східноукраїнського Національного університету: Науковий журнал: Луганськ. -2006: Випуск №1(95).- С.87-91.

4. CHEN Di The Research of Improved Scheme for Asynchronous Motor Direct Torque Control / CHEN Di, HOU Ruijuan, LI Jie and TAO Jinniu [Text] Department of Aerial Instrument and Electric Engineering, Vols. 466-467 (2012) pp 819-823.

5. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink [Текст] – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

6. Каталог асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.electronpo.ru/production>

7. Виноградов, А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А. Б. Виноградов [Текст]. – Иваново, 2008. – 298 с.

8. Даденков, Д. А. Моделирование системы векторного управления асинхронным двигателем в пакете программ Matlab/Simulink / Д. А. Даденков, Е. М. Солодкий, А. М. Шачков [Текст] Вестник Пермского национального исследовательского политехнического института; Пермь 2014, с. 117-128.

9. P. C. Krause Analysis of Electric Machines and Drive Systems / P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff [Text] Wiley-IEEE Press, New York, NY, USA, 2002.

10. Мощинский, Ю.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кириякин [Текст] Электричество, №4, 1998. С. 38-42.

### References

1. Kvashnin V. O., Kosenko, V. A. (2014) "Analysis of the construction of a dynamic model of induction motor based on the calculated and catalog data" [Analiz postroeniya dinamicheskoy modeli asinxronnogo dvigatelya na osnove raschetnyx i katalozhnyx dannyx], Elektrotexnicheskie i kompyuternye sistemy, Odessa, pp. 241-244.

2. Kvashnin, V. O., Kosenko, V. A. (2013) "Improving methods for determining the energy characteristics of induction motor using its mathematical model" [Udoskonalennya metodiki viznachennya energetichnix karakteristik asinxronnogo dviguna z vikoristannyam jogo matematichnoi modeli], Sbornik trudov XX mezhdunarodnoj nauchno-texnicheskoy konferencii, Sevastopol, Volume 3 302 p., pp. 274-277.

3. Kvashnin, V. O. (2006) "Development of a dynamic model of an induction motor" [Razrabotka dinamicheskoy modeli asinxronnogo dvigatelya], Visnik sxidnoukraïnskogo nacionalnogo universitetu: naukovij zhurnal, Lugansk, Issue №1 (95), pp.87-91.

4. CHEN Di The Research of Improved Scheme for Asynchronous Motor Direct Torque Control / CHEN Di, HOU Ruijuan, LI Jie and TAO Jinniu [Text] Department of Aerial Instrument and Electric Engineering, Vols. 466-467 (2012) pp 819-823.

5. Chernykh I.V. "Modeling of electro technical devices in MATLAB SimPowerSystems and Simulink" [Modelirovaniye elektro-tekhnicheskikh ustroystv v MATLAB SimPowerSystems and Simulink]– M.: DMK, 2007. – 288 p.

6. Catalog of induction motors with squirrel cage rotor [Katalog asinkhronnykh dvigateley s korotkozamknutym rotorom], available at: <http://www.electronpo.ru/production>.

7. Vinogradov, A. B. "Vector control of AC electric drives" [Vektornoye upravleniye elektropriwodami peremennogo toka] – Ivanovo, 2008. – 298 p.

8. Dadenkov, D. A., Solodkiy, E. M., Shachkov, A. M. (2014) "Modeling of the vector control system by an induction motor in the Matlab / Simulink software package" [Modelirovaniye sistemy vektornogo upravleniya asinkhronnym dvigatelem v pakete programm Matlab/Simulink], Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politexnicheskogo institute, Perm, pp. 117-128.

9. P. C. Krause Analysis of Electric Machines and Drive Systems / P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff [Text] Wiley-IEEE Press, New York, NY, USA, 2002.

10. Moshchyn'skyy U.A., Bespalov V.Y., Kiryakin A.A. "Determining the parameters of the asynchronous machine replacement scheme by catalog data" [Opredeleniye parametrov skhemy zameshcheniya asinkhronnoy mashiny po katalozhnym dannym], Electricity, №4, 1998. P. 38-42.

## DEVELOPMENT OF THE GENERALIZED METHODOLOGY FOR DEFINITION OF THE MAIN ENERGY PARAMETERS AND CHARACTERISTICS OF ASYNCHRONOUS ELECTROPROWATERS USING THE SOFTWARE OF MATLAB

V. O. Kvashnin, V. A. Kosenko

Donbass State Engineering Academy

**Abstract.** The paper presents the development of a generalized technique for determining the main energy characteristics ( $\cos(\varphi)(t)$  and  $\eta(t)$ ) of frequency electric drives under different operating conditions - starting at idle and under load. The development of two methods for determining the dependences  $\cos(\varphi)(t)$  and  $\eta(t)$  is shown on the example of the development of two variants of models of vector control systems for the two-phase AD model of the coordinate axes d-q and the finished three-phase model taken from the SimPowerSystems libraries. The development of the first method was based on SimPowerSystems prefabricated units, which allow determining the active and reactive powers based on known phase currents and voltages. The development of the second generalized method was based on the possibility of directly determin-

ing the dependences  $\cos(\varphi)(t)$  and  $\eta(t)$  on the components of the effective values of the phase vectors of the stator voltages and currents and the angle between them. A comparative evaluation of the obtained dependences  $\cos(\varphi)(t)$  and  $\eta(t)$  was carried out according to the proposed two methods realized in the form of a model that were applied to two variants of models of the vector control system of an induction motor with a squirrel-cage rotor.

**Key words:** asynchronous electric drive, active power, power factor, efficiency, reactive power.

## РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ І ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МАТЛАВ

**В. О. Квашнін, В. А. Косенко**

Донбаська державна машинобудівна академія

**Анотація.** У роботі представлена розробка узагальненої методики визначення основних енергетичних характеристик ( $\cos(\varphi)(t)$  і  $\eta(t)$ ) частотних електроприводів при різних режимах їх роботи - пуску холостому ході і під навантаженням. На прикладі розробки двох варіантів моделей систем векторного керування - для двофазної моделі АД у координатних осях  $d-q$  і готової трифазної моделі, взятої з бібліотек SimPowerSystems, показана розробка двох методик визначення залежностей  $\cos(\varphi)(t)$  і  $\eta(t)$ . В основі розробки першої методики було використано готові блоки SimPowerSystems, що дозволяють визначати активну та реактивну потужності по відомим фазним струмам і напрузі. В основу розробки другої узагальненої методики було покладено можливість безпосереднього визначення залежностей  $\cos(\varphi)(t)$  і  $\eta(t)$  за складовими діючих значень фазних векторів напруг і струмів статора і куту між ними. Проведена порівняльна оцінка отриманих залежностей  $\cos(\varphi)(t)$  і  $\eta(t)$  за запропонованими двома методиками реалізованих у вигляді моделей, які були застосовані до двох варіантів моделей системи векторного керування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

**Ключові слова:** асинхронний електродвигун, активна потужність, коефіцієнт потужності, ККД, узагальнена методика, математична модель.

Получено 09.04.2018



**Квашнин Валерій Олегович**, кандидат технічних наук, доцент, преподаватель кафедры «Электромеханические системы автоматизации» Донбасской государственной машиностроительной академии. Ул. Шкадинова, 76, Краматорск, Украина, E-mail: [v.kvashnin@mail.ru](mailto:v.kvashnin@mail.ru), тел. (0626) 41-68-93, +38 (050) 989-77-01

**Valeriy Kvashnin**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Lecturer, Department of «Electromechanical systems of automation», Donbass State Engineering Academy, Shkadinova st., 76, Kramatorsk, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0001-8171-9794



**Косенко Владислав Артурович**, аспирант кафедры «Электромеханические системы автоматизации» Донбасской государственной машиностроительной академии. Ул. Шкадинова, 76, Краматорск, Украина,

E-mail: [kosenko281@gmail.com](mailto:kosenko281@gmail.com), тел. (0626) 41-68-93, +38 (099) 709-57-84

**Vladislav Kosenko**, graduate student «Electromechanical automation» systems, Donbass State Engineering Academy, Shkadinova st., 76, Kramatorsk, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0003-3945-3253