

УДК 621.313.333.2

## УТОЧНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ УЧЕТЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЕТВИ НАМАГНИЧИВАНИЯ

В.С. Петрушин<sup>1</sup>, Ю.Р. Плоткин<sup>2</sup>, Р.Н. Еноктаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет

<sup>2</sup>Берлинская школа экономики и права

**Аннотация.** Выполнено сопоставление экспериментальных и теоретических характеристик регулируемых асинхронных двигателей в статических и динамических режимах. Определены погрешности расчетов потребляемой двигателем активной мощности, КПД двигателя как при учете активного сопротивления ветви намагничивания эквивалентной схемы замещения, так и без учета. Обоснована необходимость использования эквивалентной схемы замещения с активным сопротивлением ветви намагничивания для нахождения КПД регулируемых асинхронных двигателей.

**Ключевые слова:** регулируемый асинхронный двигатель, математическая модель, эквивалентная схема замещения, активное сопротивление ветви намагничивания, энергетические показатели.

### Введение

В большинстве случаев анализ работы асинхронных двигателей (АД) в составе регулируемых электроприводов выполняется с использованием эквивалентной схемы замещения, в которой отсутствует активное сопротивление ветви намагничивания [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Во многом это связано с тем, что в справочной литературе значения этого сопротивления не указаны [7, 8]. В ряде работ [9, 10] анализ выполняется с учетом активного сопротивления ветви намагничивания.

### 1. Постановка задач исследования

Активное сопротивление  $r_0$  соответствует потерям в стали магнитопровода, имеющим место и в регулируемых асинхронных двигателях (РАД). В отличие от общепромышленных АД в РАД следует учитывать не только потери в магнитопроводе статора, но и в магнитопроводе ротора. Это связано с тем, что при глубоком регулировании частота перемагничивания ротора может иметь существенные значения. Целесообразно проанализировать к каким погрешностям при расчете характеристик АД в статических и динамических режимах приводит неучет активного сопротивления ветви намагничивания. Основные соотношения для РАД при различных законах частотного управления могут быть получены при использовании Т-образной эквивалентной схемы замещения двигателя с изменяющимися при частотном управлении параметрами (рис.1).

При использовании преобразователей частоты

© Петрушин В. С., Плоткин Ю. Р.,  
Еноктаев Р. Н., 2017

ты (ПЧ) – источников регулируемого напряжения величина приложенного к двигателю напряжения оценивается относительной величиной параметра регулирования  $\gamma_i = U_i / U_{1н}$  – отношением текущего и номинального напряжений питания двигателя, где  $i$  – номер закона [11]. В этой схеме все сопротивления, за исключением активных сопротивлений обмоток статора  $r_1$  и ротора  $r_2'$  изменяются пропорционально параметру  $\alpha = f_1 / f_{1н}$ , где  $f_1$  и  $f_{1н}$  – текущее и номинальное значения частоты преобразователя, соответственно. Приведенное активное сопротивление, эквивалентное нагрузке на валу двигателя, зависит от параметра регулирования  $\alpha$  и параметра абсолютного скольжения  $\beta = f_2 / f_{1н} = \alpha s$ , где  $f_2$  – частота тока ротора,  $s$  – скольжение двигателя. Кроме того, как переменные на рис. 1 изображены параметры, значения которых изменяются вследствие таких явлений, как насыщение стали магнитопровода и вытеснение токов обмотки ротора. Взаимосвязанное управление напряжением и частотой преобразователя, задаваемое законом частотного управления, при законах первого уровня (законы второго уровня

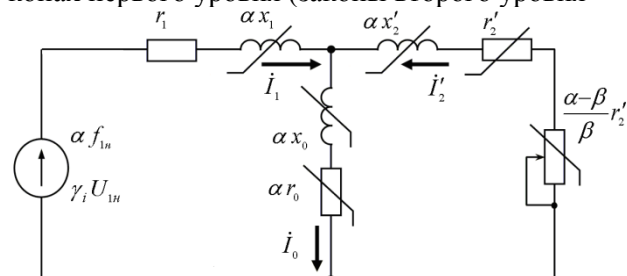


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения асинхронного двигателя с изменяющимися при частотном управлении параметрами

обеспечивают постоянство различных магнитных потокосцеплений АД) определяется соот-

ношениями:  $\gamma = \alpha$ , при  $U/f = \text{const}$ ,  $\gamma = \alpha^2$  при  $U/f^2 = \text{const}$  и т. д. [11].

Аналогичным образом выполнены исследования переходных процессов в АД, в которых не учитывается активное сопротивление ветви намагничивания [12]. В ряде работ такой учет выполняется [13].

Математические модели (ММ), используемые для исследования переходных электромагнитных и электромеханических процессов в РАД, основаны на системах нелинейных дифференциальных уравнений равновесия напряжений и токов в системе преобразованных координат

$$\frac{d}{dt} \Psi_{s\alpha} = u_{s\alpha}(t) - r_s d(t) [x_r(t) \Psi_{s\alpha}(t) - x_M(t) \Psi_{r\alpha}(t)],$$

$$\frac{d}{dt} \Psi_{s\beta} = u_{s\beta}(t) - r_s d(t) [x_r(t) \Psi_{s\beta}(t) - x_M(t) \Psi_{r\beta}(t)],$$

$$\frac{d}{dt} \Psi_{ra} = -p\omega_r \Psi_{r\beta}(t) - r_r(t) d(t) [x_s(t) \Psi_{ra}(t) - x_M(t) \Psi_{sa}(t)],$$

$$\frac{d}{dt} \Psi_{r\beta} = p\omega_r \Psi_{r\beta}(t) - r_r(t) d(t) [x_s(t) \Psi_{r\beta}(t) - x_M(t) \Psi_{s\beta}(t)],$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J} \left\{ \frac{3p}{2} d(t) x_M(t) [\Psi_{s\beta}(t) \Psi_{ra}(t) - \Psi_{r\beta}(t) \Psi_{sa}(t)] - M_c(\omega_r) \right\},$$

где  $\Psi_{s\alpha}(t)$ ,  $\Psi_{s\beta}(t)$ ,  $\Psi_{ra}(t)$ , и  $\Psi_{r\beta}(t)$  – потокосцепления статорных и роторных обмоток машины, соответственно по осям  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $\omega_r$  – угловая частота вращения вала;  $p$  – число пар полюсов;  $J$  – суммарный момент инерции привода, приведенный к валу двигателя;  $M_c(\omega_r)$  – зависимость момента сопротивления механизма от частоты вращения;  $r_s$ ,  $r_r(t)$ ,  $x_s(t)$ ,  $x_r(t)$ ,  $x_M(t)$  – активные и полные реактивные сопротивления обмоток статора и ротора и сопротивление взаимной индукции, причем все они, за исключением  $r_s$  изменяются на каждом шаге интегрирования;  $d(t)$  – вспомогательная переменная  $d(t) = [x_s(t) \cdot x_r(t) - (x_M(t))^2]^{-1}$ ;  $u_{s\alpha}(t)$  и  $u_{s\beta}(t)$  – мгновенные значения напряжений по осям  $\alpha$  и  $\beta$ , которые определяются амплитудой напряжения  $U_m$  (зависящей от закона частотного управления) и угловым положением обобщенного вектора напряжения  $\phi_1$

$$u_{s\alpha}(t) = U_m(t) \cdot \cos(\phi_1), \quad u_{s\beta}(t) = U_m(t) \cdot \sin(\phi_1),$$

при этом система дополняется еще двумя дифференциальными уравнениями

$$\frac{d}{dt} \phi_1 = \omega_1 \quad \text{и} \quad \frac{d}{dt} \omega_1 = \varepsilon_1(t),$$

где  $\omega_1$  – угловая частота вращения, а  $\varepsilon(t)$  – график угловых ускорений обобщенного вектора напряжения, определяемый задаваемой тахо-

граммой движения привода.

Выражения, связывающие мгновенные значения токов и потокосцеплений, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} i_{s\alpha}(t) &= d(t) \cdot [x_r(t) \cdot \Psi_{s\alpha}(t) - x_M(t) \cdot \Psi_{r\alpha}(t)]; \\ i_{s\beta}(t) &= d(t) \cdot [x_r(t) \cdot \Psi_{s\beta}(t) - x_M(t) \cdot \Psi_{r\beta}(t)]; \end{aligned}$$

где  $i_{s\alpha}$ ,  $i_{s\beta}$  – токи статора по осям  $\alpha$  и  $\beta$ . Действующее значение тока статора

$$i_i(t) = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [i_{s\alpha}(t)^2 + i_{s\beta}(t)^2]}.$$

Математическая модель, построенная на базе вышеописанных дифференциальных уравнений, позволяет провести расчеты частот вращения, токов в фазах обмоток, электромагнитных моментов, потерь.

В каждом из уравнений имеют место нелинейные коэффициенты – параметры двигателя, изменяющиеся в каждой рабочей точке, в том числе и вследствие явлений насыщения магнитной системы и вытеснения тока в обмотке ротора. Один из подходов к анализу динамических характеристик АД предполагает предварительное определение этих коэффициентов для необходимых рабочих точек диапазона регулирования. Поэтому до анализа переходного процесса проводятся расчеты установившихся режимов с целью получения значений всех параметров схемы замещения с учетом вытеснения тока в обмотке ротора и насыщения магнитопровода для необходимых рабочих точек диапазона регулирования. Для этого используются ММ установившихся режимов [6]. При расчетах динамических режимов учитываются изменения на каждом шаге интегрирования системы, т.е. в определенных точках характеристики перехода от одной частоты вращения к другой, величин и частот питающего напряжения в соответствии с используемым законом частотного регулирования, параметров схемы замещения. При нагрузках вентиляторного и тягового характера изменяется также момент нагрузки, значение которого, соответствующее угловой частоте вращения привода, определяется по нагрузочной характеристике. При реализации такого подхода обеспечивается повышение уровня адекватности ММ.

Потребляемая двигателем условная активная мощность в динамических режимах при условии синусоидального напряжения питания рассчитывается через действующие значения напряжений и токов

$$P'_1 = \frac{3}{2} \cdot [U_{s\alpha} \cdot I_{s\alpha} + U_{s\beta} \cdot I_{s\beta}].$$

В вышеприведенной системе уравнений не используется активное сопротивление ветви намагничивания, учитывающее потери в стали. Поэтому реальная потребляемая активная мощность  $P_1$  больше условной на величину суммы неучтенных потерь (в магнитопроводе, добавочных, механических)

$$P_1 = P'_1 + \Delta P_{ст\ осн} + \Delta P_{ст\ дооб} + \Delta P_{мех} + \Delta P_{дооб}.$$

Мощность на валу двигателя может быть определена через потокосцепления и токи с использованием значения частоты вращения ротора

$$P_2 = \omega_r \frac{3p}{2} [I_{r\beta} \Psi_{r\alpha} - I_{r\alpha} \Psi_{r\beta}] - \Delta P_{мех} - \Delta P_{дооб}.$$

Мгновенное значение КПД определяется отношением мгновенных значений полезной мощности на валу двигателя к потребляемой активной мощности  $P_1$ .

## 2. Материалы и результаты исследований

На кафедре электрических машин Одесского национального политехнического университета разработан программный продукт DIMASDrive [14], позволяющий осуществить моделирование как с учетом активного сопротивления ветви намагничивания эквивалентной схемы замещения, так и без учета.

Далее рассмотрен наиболее распространенный привод с транзисторным ПЧ с автономным инвертором напряжения и ШИМ-регулированием. Закон частотного регулирования был принят  $U/f = \text{const}$ . Транзисторный частотный преобразователь Altivar 28 Telemecanique обеспечивал питание асинхронного двигателя АИР71А2У3. Входное сетевое линейное напряжение во время эксперимента составляло 380 В. Преобразователь имел следующие настройки:  $U_{ном} = 220$  В и  $f_{ном} = 50$  Гц, частота модуляции 4 кГц. В результате теоретических и экспериментальных исследований получены характеристики для параметров регулирования 30 и 50 Гц. В процессе эксперимента осциллографировались токи и напряжения с помощью устройства BORDO-421 и затем, с использованием разработанной на базе MATLAB программы "Обработка результатов", было произведено построение в функции времени кривых изменения анализируемых переменных. При моделировании было принято, что РАД питается синусоидальным напряжением 214 В.

На рис.2 приведены механические характеристики.

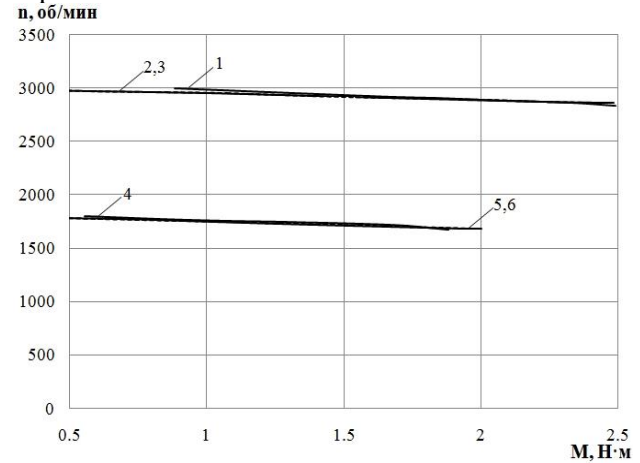
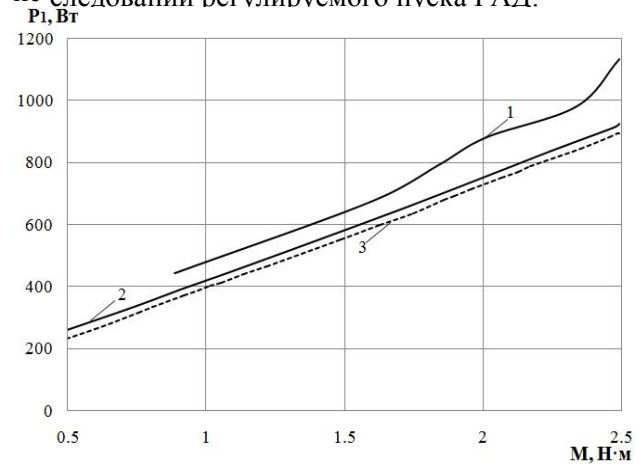


Рис.2. Механические характеристики: 1 – эксперимент при 50 Гц; 2 – моделирование с учетом  $r_0$  при 50 Гц; 3 – моделирование без учета  $r_0$  при 50 Гц; 4 – эксперимент при 30 Гц; 5 – моделирование с учетом  $r_0$  при 30 Гц; 6 – моделирование без учета  $r_0$  при 30 Гц;

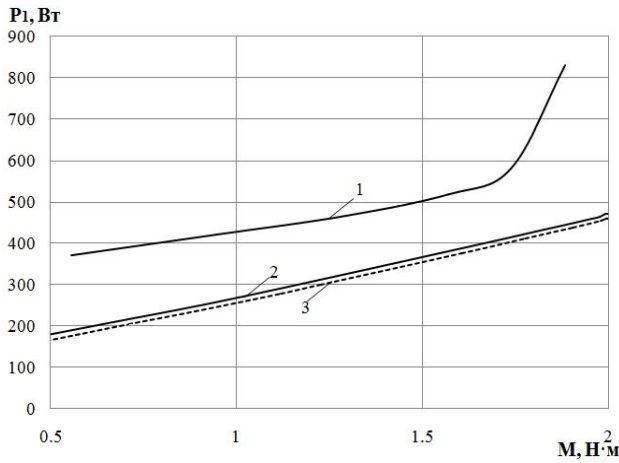
На рис.3-4 представлены некоторые рабочие характеристики двигателя.

Были проведены теоретические и экспериментальные исследования динамических характеристик двигателя АИР71А2У3, который запускался при моменте инерции двигателя с нагрузочным механизмом  $0,0017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . Исследования были проведены при интенсивности нарастания частоты преобразователя 50 Гц/с.

Момент нагрузки на валу имел линейную зависимость от числа оборотов и описывался уравнением  $M(n) = 0,2 + 0,825 \cdot n \cdot 10^{-3}$ . На рис. 5,6 представлены результаты теоретических (при учете и неучете  $r_0$ ) и экспериментальных исследований регулируемого пуска РАД.

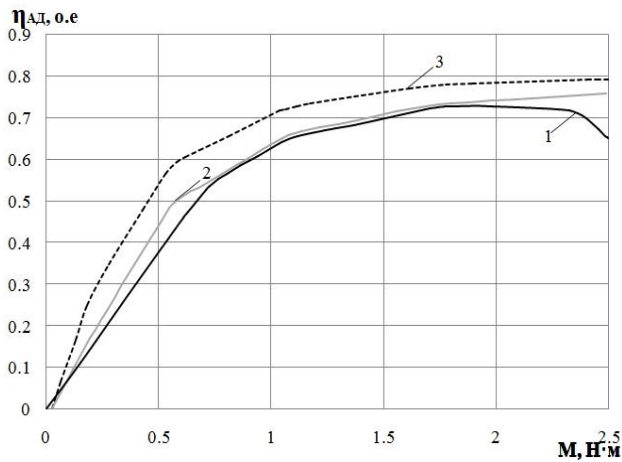


а)

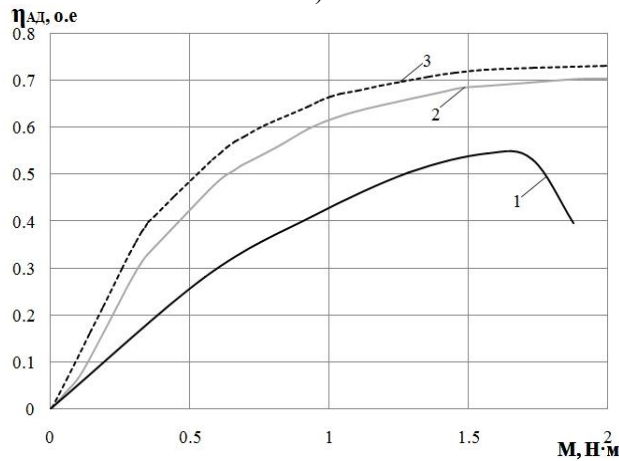


б)

Рис.3. Изменение потребляемой двигателем мощности при 50 Гц (а) и при 30 Гц (б): 1 – эксперимент; 2 – моделирование с учетом  $r_0$ ; 3 – моделирование без учета  $r_0$ ;



а)



б)

Рис.4. Изменение КПД двигателя при 50 Гц (а) и при 30 Гц (б): 1 – эксперимент; 2 – моделирование с учетом  $r_0$ ; 3 – моделирование без учета  $r_0$ ;

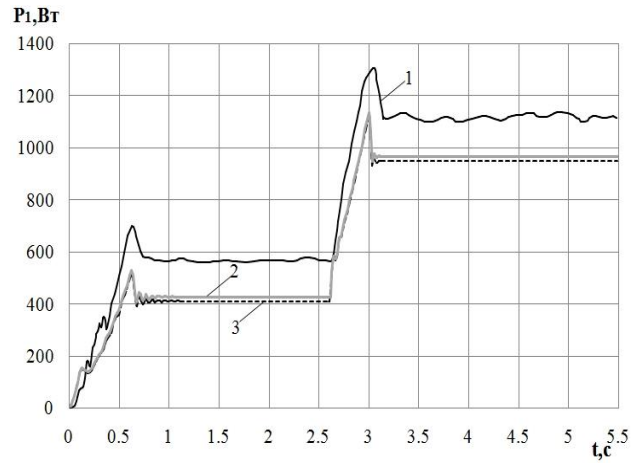


Рис.5. Зависимость потребляемой двигателем мощности: 1 – эксперимент; 2 – моделирование с учетом  $r_0$ ; 3 – моделирование без учета  $r_0$ ;

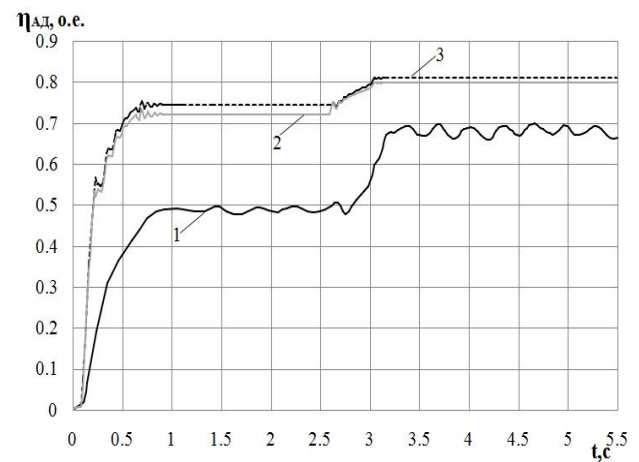


Рис.6. Зависимость КПД двигателя: 1 – эксперимент; 2 – моделирование с учетом  $r_0$ ; 3 – моделирование без учета  $r_0$ ;

### Выводы

Механические характеристики, полученные в результате моделирования, одинаковы при учете и неучете  $r_0$ .

Расчетные значения потребляемой двигателем активной мощности при учете  $r_0$  больше чем без учета  $r_0$  (рис.3). Погрешности теоретического определения этой мощности по отношению к эксперименту составляет в рабочей зоне ( $M_{нарп}=1.5\div 1.8$  Н·м) для 50 Гц: при учете  $r_0$  – 9-10%, без учета  $r_0$  – 13-14%. Погрешность существенно увеличивается при снижении частоты питания двигателя (для 30 Гц: при учете  $r_0$  – 26-36%, без учета  $r_0$  – 29-38%).

Соответственно расчетные значения КПД без учета  $r_0$  больше чем при учете  $r_0$  (рис.4). Погрешности расчетных значений КПД, относительно значений, полученных из эксперимента для 50 Гц при учете  $r_0$  в рабочей зоне составляет 1-2% против 7-8% без учета  $r_0$ ;

при 30 Гц при учете  $r_0$  в рабочей зоне составляет 21-31% против 25-34% без учета  $r_0$ .

Аналогичная погрешность определения потребляемой двигателем активной мощности и КПД имеет место и в динамических режимах (рис.5,6).

Таким образом, использование вышеописанного алгоритма расчета значений  $\eta$  с учетом  $r_0$  позволило в среднем на 6.2 % снизить погрешность определения  $\eta$  при 50 Гц и на 3.3 % при 30 Гц по сравнению с определением без учета потерь в стали.

#### Список использованной литературы

1. Герман-Галкин, С. Г. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК [Текст] / С. Г. Герман –Галкин, Г. А. Кардонов // СПб.: КОРОНА принт: – 2003. – 256 с.

2. Yassine Koubaa, Asynchronous machine parameters estimation using recursive method [Text], *Simulation Modelling Practice and Theory* : – 2006. – vol. 14 . – P. 1010–1021.

3. Hany M. Jabr. Effects of main and leakage flux saturation on the transient performances of doubly-fed wind driven induction generator [Text] / M. Jabr Hany, C. Kar Narayan // *Electric Power Systems Research*: – 2007. – vol. 77. – P. 1019–1027.

4. J. Pedra. Saturation model for squirrel-cage induction motors [Text]/ J. Pedra, I. Candela, A. Barrera // *Electric Power Systems Research*: – 2009. – vol.79. – P. 1054–1061.

5. Yuksel Oguz. Speed estimation of vector controlled squirrel cage asynchronous motor with artificial neural networks [Text] / Yuksel Oguz, Mehmet Ded// *Energy Conversion and Management*: –2011. – vol. 52. – P. 675–686.

6. Francisco Eneldo López Monteagudo et al. Incidence of harmonic in asynchronous three-phase motors [Text]// *Procedia Engineering*: –2012. – vol. 35. – P. 14–21.

7. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник [Текст] / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е.А. Соколенская. – М.: Энергоиздат: –1982. –504 с.

8. Петриков, Л. В. Асинхронные электродвигатели. Обмоточные данные. Ремонт. Модернизация: Справочник [Текст] / Л. В. Петриков, Г. Н. Корначенко // Москва: - Энергоатомиздат.: –1998. – 496 с.

9. G.K. Singh, A research survey of induction motor operation with non-sinusoidal supply wave forms [Text] // *Electric Power Systems Research*: – 2005. – vol. 75. – P. 200–213.

10. Nikolaos Tsouvalas. Asynchronous motor drive loss optimization [Text] / Nikolaos Tsouvalas,

Ioannis Xydis, Ioannis Tsakirakis, Z. Papazacharopoulos// *Journal of Materials Processing Technology*.: –2007. – vol. 181. – P. 301–306.

11. Петрушин, В. С. Учебное пособие "Асинхронные двигатели в регулируемом электроприводе" [Текст] // Одесса, Наука и техника: –2006. – 320 с.

12. Nyein Nyein Soe. Dynamic Modeling and Simulation of Three-phase Small Power Induction Motor [Text] / Nyein Nyein Soe, Thet Thet Han Yee, Soe Sandar Aung // *World Academy of Science, Engineering and Technology*: – 2008. – vol. 42. – P. 421–424.

13. Петрушин, В. С. Влияние насыщения стали магнитопровода и вытеснения тока в обмотке ротора на динамические характеристики регулируемых асинхронных двигателей [Текст] / В. С. Петрушин, Бендахман Бухалфа, А. М. Якимец, О. В. Каленик // *Научно-практический журнал "Електротехніка і Електромеханіка"*: –2010 . – Вып. 3. – С. 18–22.

14. Петрушин, В. С., Рябинин, С. В., Якимец, А. М. Программный продукт "DIMASDrive". Программа анализа работы, выбора и проектирования асинхронных короткозамкнутых двигателей систем регулируемого электропривода (свидетельство о регистрации программы ПА№4065). – Киев: – Государственный департамент интеллектуальной собственности, 26.03.2001.

#### References

1. Hermann-Galkin, S. G., Cardonov, G. A. (2003), *Textbook. Electric machines: Laboratory work on a PC [Elektricheskie mashiny: Laboratornye raboty na PK]*, CORONA print. St. Petersburg, 256 p.

2. Yassine Koubaa (2006), Asynchronous machine parameters estimation using recursive method, *Simulation Modelling Practice and Theory* , No.14, pp. 1010–1021.

3. Hany M. Jabr, C. Kar Narayan (2007), Effects of main and leakage flux saturation on the transient performances of doubly-fed wind driven induction generator, *Electric Power Systems Research*, No. 77, pp. 1019–1027.

4. J. Pedra, I. Candela, A. Barrera (2009), Saturation model for squirrel-cage induction motors, *Electric Power Systems Research*, No.79, pp. 1054–1061.

5. Yuksel Oguz, Mehmet Ded (2011), Speed estimation of vector controlled squirrel cage asynchronous motor with artificial neural networks, *Energy Conversion and Management*, No. 52, pp. 675–686.

6. Francisco Eneldo López Monteagudo et al. (2012), Incidence of harmonic in asynchronous three-phase motors, *Procedia Engineering*, No. 35, pp. 14–21.
7. Kravchik, A. E., Shlaf, M. M., Afonin, V. I., Sobolenskaia, E. A. (1982), *Induction motors 4A series: Directory [Asinkhronnye dvigateli serii 4A: Spravochnik]*, Energoizdat Publ. Moscow. 504 p.
8. Pietrykov, L. V., Kornachenko, G. N. (1998), *The asynchronous motors. Winding data. Repair. Modernization [Asinkhronnye elektrodvigatelei. Obmotochnye dannye. Remont. Modernizatsiia. Spravochnik]*, Energoatomizdat. Moscow. 496 p.
9. G.K. Singh (2005), A research survey of induction motor operation with non-sinusoidal supply wave forms, *Electric Power Systems Research*, No. 75, pp. 200–213.
10. Nikolaos Tsouvalas, Ioannis Xydis, Ioannis Tsakirakis, Z. Papazacharopoulos (2007), Asynchronous motor drive loss optimization, *Journal of Materials Processing Technology*, No. 181, pp. 301–306.
11. Petrushin, V. S. (2006), *Textbook. Induction motors in adjustable electric [Uchebnoe posobie. Asinkhronnye dvigateli v reguliruemom elektropri-vode]*, Science and Technology Publ. Odessa. 320 p.
12. Nyein Nyein Soe, Thet Thet Han Yee, Soe Sandar Aung (2008), Dynamic Modeling and Simulation of Three-phase Small Power Induction Motor, World Academy of Science, *Engineering and Technology*, No. 42., pp.421–424.
13. Petrushin, V. S., Buhalfa, Bendahman, Iakimets, A. M., Kalenik, O. V. (2010), "Influence of saturation magnetic steel and displacement current in the rotor winding on dynamical characteristics of controlled asynchronous motors" ["Vliianie nasyshcheniia stali magnitoprovoda i vytesneniia toka v obmotke rotora na dinamicheskie kharakteristiki reguliruemyykh asinkhronnykh dvigatelei"], *Elektrotehnika i Elektromehaniika*, No.3, pp. 18–22.
14. Petrushin, V. S., Rjabinin, S. V., Jakimec, A. M., "The software product "DIMASDrive". Analysis program of work, selection and design of asynchronous cage motors tion system so controlled drive (evidence of a PA program registration number 4065)" [Programmnyj produkt "DIMASDrive". Programma analiza raboty, vybora i proektirovaniia asinhronnykh korotkozamknytykh dvigatelej sistem reguliruemogo jelektroprivoda (svidetel'stvo o registracii programmy PANo4065)], (2001), Gosudarstvennyj departament intellektual'noj sobstvennosti, Kiev.

## REFINEMENTS OF THE CHARACTERISTICS OF ADJUSTABLE INDUCTION MOTORS WHEN TAKING INTO ACCOUNT THE ACTIVE RESISTANCE OF THE MAGNETIZATION BRANCH

V. Petrushin<sup>1</sup>, Y. Plotkin<sup>2</sup>, R. Yenoktaiev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Odessa National Polytechnic University

<sup>2</sup>Berlin School of Economics and Law

**Abstract.** *Mathematical models for calculating the performance characteristics of controlled asynchronous motors based on equivalent substitution schemes with parameters changing with frequency control are generated. We use circuits with and without the activation of the active resistance of the magnetization branch. To study transient electromagnetic and electromechanical processes, a mathematical model is constructed, based on a set of differential equations for the equilibrium of voltages and currents in a system of transformed coordinates. The active power consumed by the engine is determined taking into account losses in the magnetic circuit, additional and mechanical. The experimental and theoretical characteristics of regulated induction motors in static and dynamic modes are compared. Errors in the calculation of the active power consumed by the engine, the efficiency of the engine as determined by taking into account the active resistance of the magnetization branch of the equivalent replacement circuit, and without taking into account are determined. The necessity of using an equivalent replacement circuit with the active resistance of the magnetization branch is substantiated for finding the efficiency of regulated asynchronous motors.*

**Key words:** *Adjustable induction motor, mathematical model, equivalent replacement circuit, active resistance of the magnetization branch, energy indicators.*

## УТОЧНЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГУЛЬОВАНИХ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ОБЛІКУ АКТИВНОГО ОПОРУ ГІЛКИ НАМАГНІЧУВАННЯ

**В.С. Петрушин<sup>1</sup>, Ю.Р. Плоткін<sup>2</sup>, Р.М. Єноктаєв<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Одеський національний політехнічний університет

<sup>2</sup>Берлінська вища школа економіки та права

**Анотація.** Виконано зіставлення експериментальних і теоретичних характеристик регульованих асинхронних двигунів в статичних і динамічних режимах. Визначено похибки розрахунків споживаної двигуном активної потужності, ККД двигуна як при обліку активного опору гілки намагнічування еквівалентної схеми заміщення, так і без урахування. Обґрунтовано необхідність використання еквівалентної схеми заміщення з активним опором гілки намагнічування для знаходження ККД регульованих асинхронних двигунів.

**Ключові слова:** регульований асинхронний двигун, математична модель, еквівалентна схема заміщення, активний опір гілки намагнічування, енергетичні показники.

Получено 12.04.2017



**Петрушин Виктор Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрических машин одесского национального политехнического университета, 65044, Одесса, проспект Шевченко, 1, ОНПУ, тел. (048)734-8494. E-mail: viktor\_petrushin@ukr.net

**Viktor Petrushin**, Sc.D. , head of Electric Cars Department, ONPU,65044, Odessa, Shevchenko av.,1,ONPU,ph.(048)734-8494. E-mail: viktor\_petrushin@ukr.net

**ORCID ID:** 0000-0003-2659-126X



**Плоткин Юрий Романович**, кандидат технических наук, профессор., HWR Berlin,Alt Friedrichsfelde 60, 10315 Berlin, тел. +49 (0)30 30877-2443. E-mail: juriy.plotkin@hwr-berlin.de

**Juriy Plotkin**, Ph.D. , HWR Berlin,Alt Friedrichsfelde 60, 10315 Berlin, ph. +49 (0)30 30877-2443. E-mail: juriy.plotkin@hwr-berlin.de

**ORCID ID:** 0000-0001-9257-5933



**Єноктаєв Ростислав Николаевич**, аспірант одеського національного політехнічного університету, 65044, Одесса, проспект Шевченко, 1, ОНПУ, тел. (097)046-30-70. E-mail: rostik-enok@inbox.ru

**Rostislav Yenko**, Graduate student of ONPU, 65044, Odessa, Shevchenko av.,1,ONPU, ph. (097)046-30-70. E-mail: rostik-enok@inbox.ru

**ORCID ID:** 0000-0003-1577-9822