

УДК 621.385

Махсудов Мохирбек Толибжонович, доцент, PhD,
Андижанский машиностроительный институт,
E-mail: mohirbek2702@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА В НАПРЯЖЕНИЕ

В статье представлены модель и результаты исследования, разработанных на базе Matlab динамических характеристик выходных величин преобразователя тока, размещенного на пазах статора, в момент пуска асинхронного двигателя. Для системы контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя важна роль динамических характеристик трехфазного тока статора при изменении напряжения. Эти характеристики отражают изменения во времени и зависимости выходных сигналов в виде напряжения от величин тока статора, параметров измерительных элементов, внешних воздействий, параметров асинхронного двигателя и других. Изучены динамические свойства сигнала, получаемого из измерительной среды с учетом взаимодействия различных характеристических величин в условиях с трудностью возникающих при формировании дифференциальных уравнений преобразователя, описывающих процессы перехода в первичных и вторичных участках преобразования сигнала, элементах передачи сигнала. Исследования проводятся на основе широкомасштабной имитационной модели и ее аналитических выражений.

Ключевые слова: преобразователи тока, асинхронный двигатель, реактивная мощность, магнитное поле, вторичное напряжение, алгоритм.

Махсудов Мохирбек Толибжонович, доцент PhD,
Андижан машина куруу институту,

ИЗИЛДӨӨ УЧУРДАГЫ-ЧЫҢАЛУУ КОНВЕРТЕРЛЕРИ

Макалада индукциялык мотор баишталган учурда статордун оюктарына жайгаштырылган ток конвертеринин чыгуучу көлөмүнүн ылайыктуу динамикалык мүнөздөмөлөрүнүн негизинде иштелип чыккан изилдөө модели жана натыйжалары келтирилген. Үчүн реактивдүү кубаттуулукту башкаруу жана башкаруу тутумую асинхрондук мотор, чыңалуу өзгөргөндө үч фазалуу статор тогунун динамикалык мүнөздөмөлөрүнүн ролу маанилүү. Бул мүнөздөмөлөр статор тогунун чоңдугунан чыңалуу, өлчөө элементтеринин параметрлери, тышкы таасирлер, индукциялык кыймылдаткычтын параметрлери жана башкалар түрүндө чыгуу сигналдарынын убакыт жана көз карандылык өзгөрүүлөрүн чагылдырат. Трансформатордун баиштакы жана экинчи участкторунда өтүү процесстерин сүрөттөгөн өзгөрткүчтүн дифференциалдык теңдемелерин түзүүдө пайда болгон кыйынчылык менен шарттарда ар кандай мүнөздүү чоңдуктардын өз ара аракеттенүүсүн эске алуу менен өлчөөчү чөйрөдөн алынган сигналдын динамикалык касиеттери изилденди. Изилдөө масштабдуу моделдөө моделинен жана анын аналитикалык туюнтмаларынан жүргүзүлөт.

Ачкыч сөздөр: учурдагы конвертерлер, асинхрондук мотор, реактивдүү күч, магнит талаасы, экинчи чыңалуу, алгоритми.

RESEARCH CURRENT-TO-VOLTAGE CONVERTERS

The article presents a model and the results of a study developed on the basis of Matlab of the dynamic characteristics of the output values of a current converter placed on the slots of the stator at the time of starting an asynchronous motor. For the control and control system of the reactive power of an asynchronous motor, the role of the dynamic characteristics of the three-phase stator current when the voltage changes is important. These characteristics reflect changes in time and the dependence of the output signals in the form of voltage on the values of the stator current, the parameters of the measuring elements, external influences, parameters of the asynchronous motor and others. The dynamic properties of the signal received from the measuring medium are studied, taking into account the interaction of various characteristic quantities in conditions with difficulties arising during the formation of differential equations of the converter describing the transition processes in the primary and secondary sections of the signal conversion, signal transmission elements. The research is carried out on the basis of a large-scale simulation model and its analytical expressions.

Key words: current converters, asynchronous motor, reactive power, magnetic field, secondary voltage, algorithm.

В мире проводится ряд научно-исследовательских работ по совершенствованию элементов и устройств системы контроля и управления реактивной мощности асинхронного двигателя. В этих исследованиях основной задачей является обеспечение соответствующими сигналами систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей. Для достижения этой цели существенное значение уделяется контролю, планированию производства и потреблению электроэнергии, моделированию процессов на разных преобразователях и в их составных структурах на основе рациональных алгоритмов. При разработке средств контроля величины и параметров реактивной мощности асинхронного двигателя широко используются цифровые технологии. Также актуальными вопросами считаются разработка и создание элементов и средств, обеспечивающих процесс моделирования, и на их основе разработка новых структур и создание преобразовательных установок [1-2].

В нашей республике выполняются целевые широкомасштабные мероприятия по развитию обеспечения элементами и устройствами систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, а также их внедрения в практику. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах поставлены задачи, в том числе «в структурах экономики, социальной области, системах управления, внедрение информационно-коммуникационных технологий, в экономике уменьшать расходы энергетики и ресурсов, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство». Выполнение указанных задач, в том числе производство измерительно-преобразовательных элементов реактивной мощности асинхронных двигателей и применение их на практике является одной из важных задач.

Принципы реализации процессов контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя, преобразование электрических, магнитных и других параметров, контролирование и изменение на соответствующей основе физических величин и данных первичных электромагнитных преобразователей требуют элементов передачи, обработки и регистрации для преобразования в удобном виде (в электрический сигнал). Поэтому для обеспечения асинхронных двигателей непрерывной и надёжной энергией ведутся широкомасштабные работы по

исследованию преобразователей, создающих сигналы в виде напряжения, соответствующего значению токов [3-5].

Анализ показал, что применение современных технологий в системах контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, получение выходных сигналов, которые являются нормой для контроля и управления, исследование преобразователей, позволяющих оценивать потребление реактивной мощности, моделирование и алгоритм процессов изменения сигналов, разработка и внедрение рациональных преобразователей тока за счет технических возможностей асинхронных двигателей изучены не достаточно. Статические, динамические и метрологические характеристики, алгоритмы и модели исследований электромагнитного преобразователя тока асинхронного двигателя трехфазного преобразователя токов статора в сигналы в виде напряжений, а также результаты исследования показателей надежности элементов преобразователя.

Разработан алгоритм исследования статических характеристик трехфазного преобразователя тока (рис. 1) и модель “облачные вычисления” (рис. 2) для системы контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя [6].

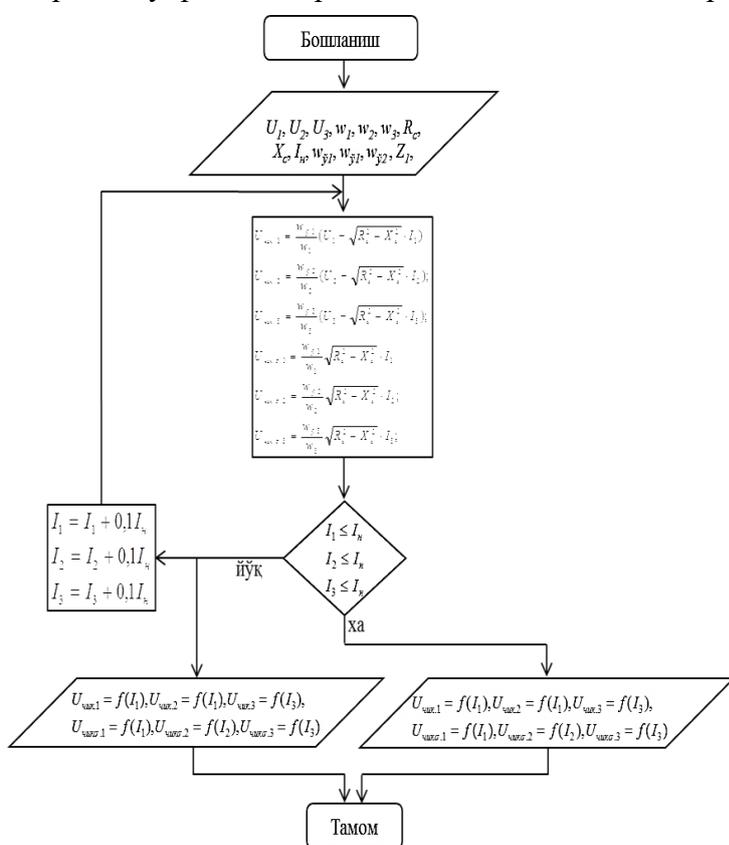


Рис. 1. Алгоритм исследования статических характеристик

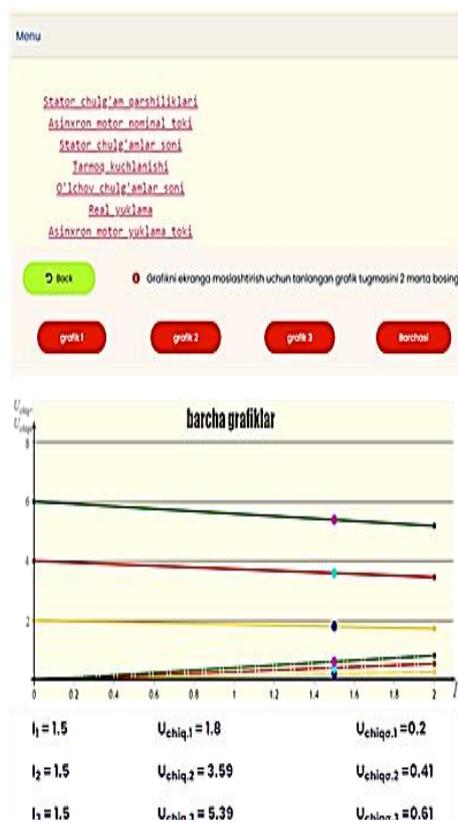


Рис. 2. Результаты преобразователя тока на основе модели “облачные вычисления”

Этот алгоритм исследования и модель “облачные вычисления” статических характеристик трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя являются основными средствами при исследовании процессов преобразования сигнала и получении выходного сигнала нормированного значения для систем управления и контроля. Данный алгоритм исследования и модель “облачные вычисления” позволяют дистанционно изучать процесс преобразования трехфазных первичных токов во вторичные напряжения, получать характеристики и анализировать результаты [7-8]. Определена взаимная адекватность результатов теоретического и практического

исследования выходных сигналов чувствительных элементов преобразователя тока, расположенного в статорных пазах трёхфазного асинхронного двигателя (рис. 3).

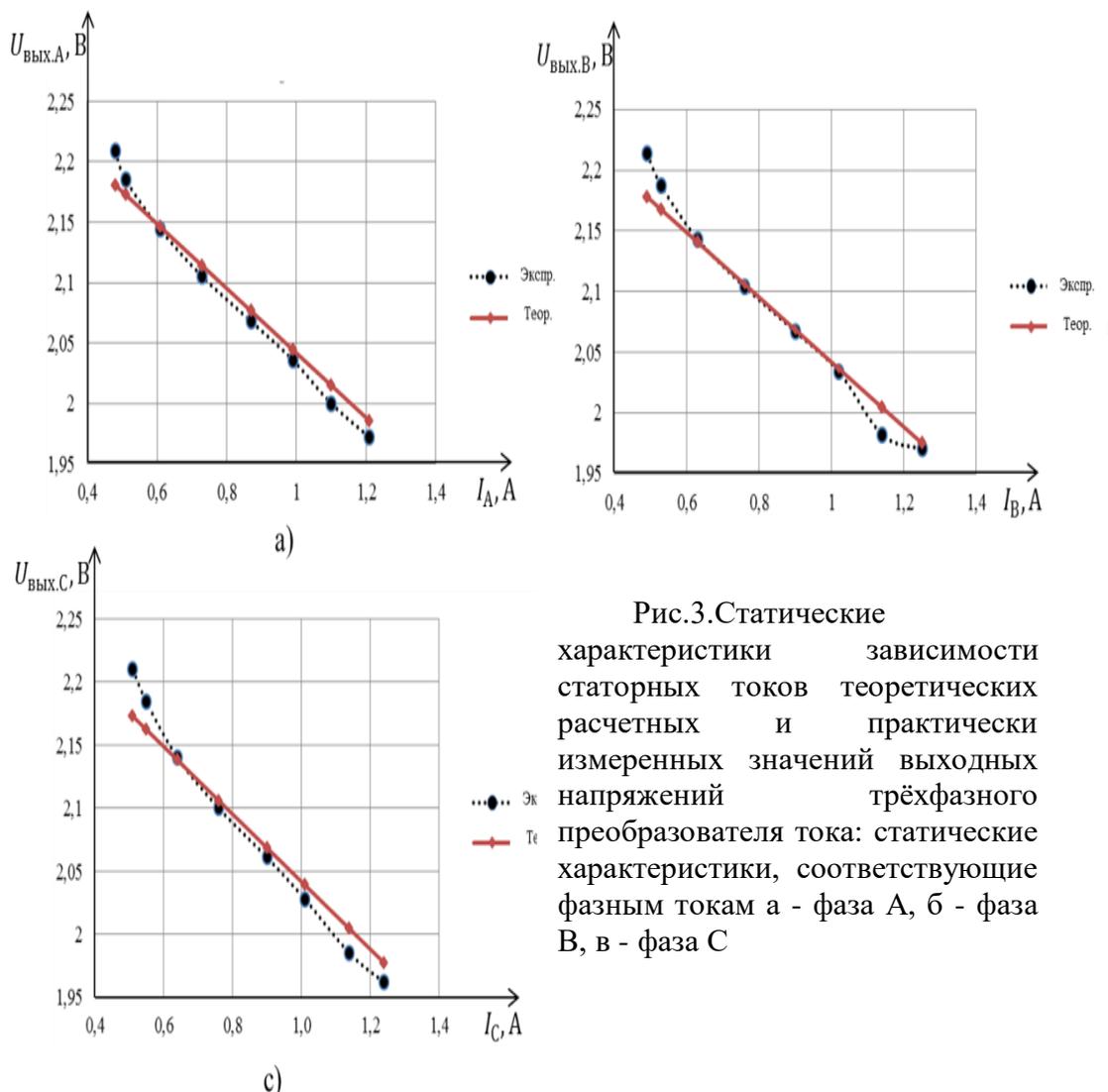


Рис.3. Статические характеристики зависимости статорных токов теоретических расчетных и практически измеренных значений выходных напряжений трёхфазного преобразователя тока: статические характеристики, соответствующие фазным токам а - фаза А, б - фаза В, в - фаза С

Аналитическое выражение динамических характеристик выходного напряжения трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя сформировано на основе переходных процессов в статорной части:

$$\begin{cases} U_{\text{вых.1}} = K_{\phi_1 U_{\text{вых}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_1} \cdot W(F_{111}, F_{121}) \cdot K_{U_1 F_0} \cdot U_1 \sin \omega t - \\ - \Pi_{\sigma_1} \cdot W(F_{\sigma 111}, F_{\sigma 121}) K_{I_1 F_{\sigma}} \cdot (I_{1np.} \sin \omega t + I_{1анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{вых.2}} = K_{\phi_2 U_{\text{вых}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_2} \cdot W(F_{213}, F_{223}) \cdot K_{U_2 F_0} \cdot U_2 \sin(\omega t + 120^\circ) - \\ - \Pi_{\sigma_2} \cdot W(F_{\sigma 213}, F_{\sigma 223}) \cdot K_{I_2 F_{\sigma}} \cdot (I_{2np.} \sin(\omega t + 120^\circ) + I_{2анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{вых.3}} = K_{\phi_3 U_{\text{вых}}} \left(\begin{array}{l} \Pi_{\mu_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{U_3 F_0} \cdot U_3 \sin(\omega t - 120^\circ) - \\ - \Pi_{\sigma_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{I_3 F_{\sigma}} \cdot (I_{3np.} \sin(\omega t - 120^\circ) + I_{3анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right). \end{cases} \quad (1)$$

Исследование динамических характеристик преобразователя тока является важным, оно показывает зависимость значений токов статора, параметров измерительных элементов, внешних воздействий, электрических и магнитных величин

асинхронного двигателя и других воздействий от изменения выходных сигналов в виде напряжения во времени.

В целях упрощения процесса исследования динамических характеристик преобразователя тока и обеспечения достоверности результатов созданы алгоритм (рис. 4) и модель исследования (рис. 5).

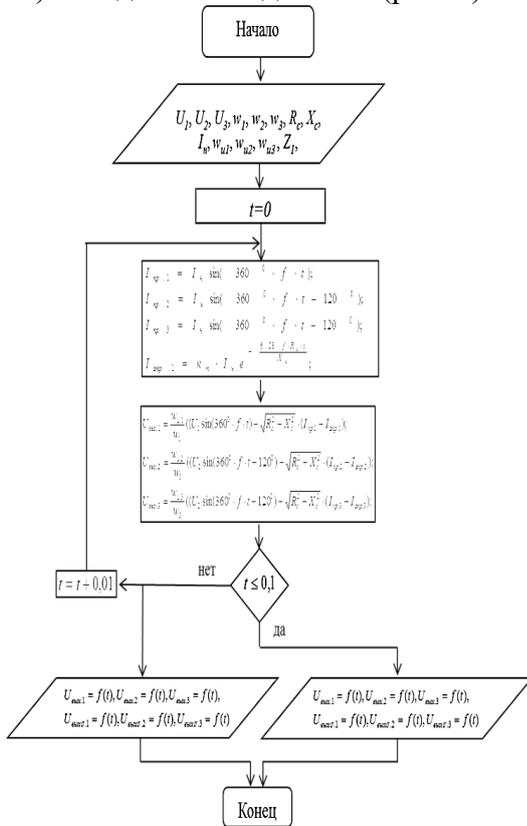


Рис. 4. Алгоритм исследования динамических характеристик преобразователя тока

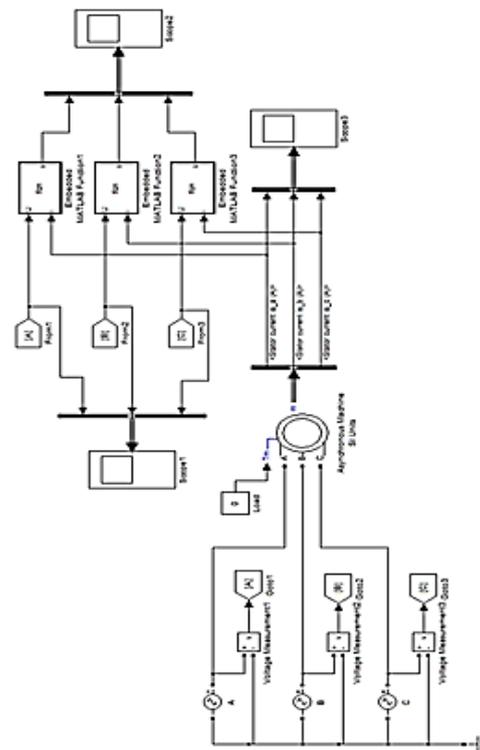


Рис. 5. Модель исследования динамических характеристик трёхфазного преобразователя тока

На основе исследовательской модели программной базы Matlab получены результаты динамических характеристик преобразователя тока, близкие к реальному рабочему состоянию (рис. 6, 7).

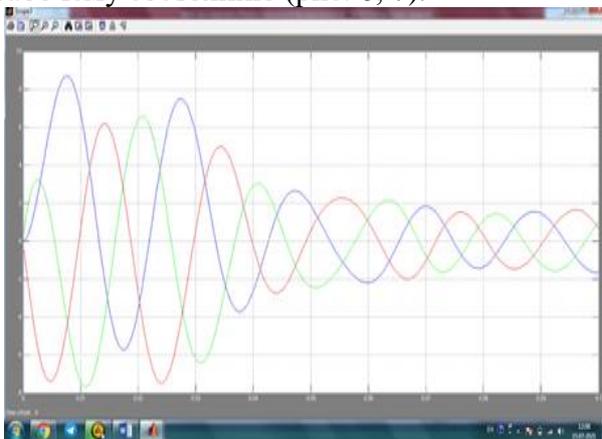


Рис. 6. Изменение первичных токов во времени при пуске асинхронного двигателя

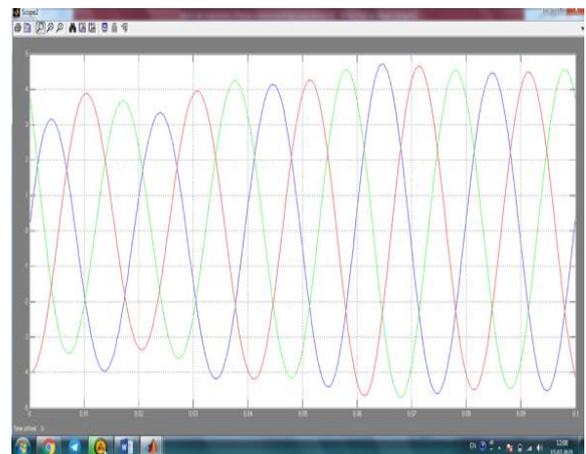


Рис. 7. Изменение выходного напряжения чувствительных элементов преобразователя тока по времени

Для исследования погрешностей преобразователя первичных токов в напряжение асинхронного двигателя используется обобщенная графовая модель (рис. 8).

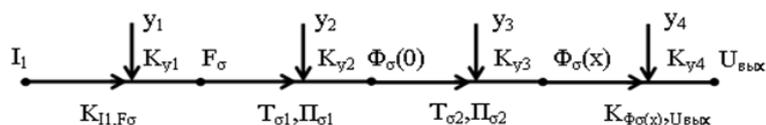


Рис. 8. Обобщенная графовая модель исследования источников погрешностей преобразователя тока в напряжение

Входная величина преобразователя тока приведена на графе I_1 , F_σ , в нем статорный ток I_1 (I_A) преобразуется на магнитодвижущую силу F_σ , это K_{I_1, F_σ} отражается через коэффициент между цепной связью. В цепи F_σ , $\Phi(0)$ F_σ магнитодвижущая сила магнитного потока $\Phi_\sigma(0)$, его схематическая функция $T_{\sigma 1}$, $\Pi_{\sigma 1}$ отражает структуру цепи.

Для преобразователя тока погрешность энтропии будет равна:

$$\Delta_{\Pi p} = K_{\Sigma} \cdot \sigma_{\Sigma} = 2,07 \cdot 0,173 = 0,36, (2)$$

где $K_{\Sigma}=2,07$ –коэффициент энтропии элемента преобразователя; σ_{Σ} – суммарная среднеквадратичная погрешность элемента.

Для исследуемого преобразователя трёхфазного тока нормативный класс точности составляет 0,5, то есть $\pm 0,5\%$.

Показатель общей надёжности состояния преобразователя тока рассчитывается из надёжности рабочих состояний частей преобразователя:

$$P_{общ} = P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 (1 - P_3) + P_1 P_3 (1 - P_2) + P_2 P_3 (1 - P_1) + P_1 (1 - P_2) (1 - P_3) + P_2 (1 - P_1) (1 - P_3) + P_3 (1 - P_1) (1 - P_2) = 0,95.$$

Общая вероятность рабочего состояния преобразователя тока асинхронного двигателя определена равном $P_{общ} = 0,95$.

Литература:

1. Siddikov I. Kh. The Dynamic Characteristics of Sensors of Primary Currents of Energy Sources to Secondary Voltages [Text] A.A. Abdumalikov, M.T. Maxsudov. // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJTEEE). India, Volume-9 Issue-4, February 2020, p 2529-2534 (DOI: 10.35940/ijitee.D1906.029420).
2. Сиддиков И.Х., «Программное обеспечение для исследования динамических характеристик трехфазного преобразователя тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя» [Текст] / М.Т. Махсудов, А. Маликов, Н.А. Нуриддинов, З.У. Боихонов, М. Комилжонов // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, № DGU 10640. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 30.03.2021 г.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин : учеб. для вузов [Текст] / И.П. Копылов // – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
4. Махсудов М.Т. Модель и алгоритм физико – технических эффектов преобразователя трехфазного тока асинхронного двигателя // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. Москва, 2021. 4(85). DOI:10.32743/UniTech.2021.85.4-1.33-36).
5. Галиев А.Л., Элементы и устройства автоматизированных систем управления: [Текст] / Р.Г. Галиева // Учеб. пособие. - Стерлитамак: Стерлитамак. гос. пед. акад., 2008. - 220 с. ISBN 978-5-86111-314-4
6. Siddikov I. Modelling of transducers of nonsymmetrical signals of electrical nets [Text] / A.Abdumalikov, A.Abubakirov, M.Maxsudov M.Anarbaev, I.Khonturaev. [Text] // 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies

(ICISCT), Tashkent, Uzbekistan, 2019, pp. 1-6. doi: 10.1109/ICISCT47635.2019.9011981. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9011981&isnumber=9011814>.

7. Махсудов М.Т., Исследование электромагнитных преобразователей тока в напряжение. [Текст] / З.У. Бойхонов // Бюллетень науки и практики. Научный журнал. Россия, г.Нижевартовск, 2018. Т.4. №3. С. 150–154.
8. Махсудов М.Т. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности [Текст] / М.А. Анарбаев, И.Х. Сиддиқов // Universum: Технические науки: электрон.научн. журн. 2019. № 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>.

УДК 621.398

Каримжонов Дилёрбек Дониёрбек угли, PhD,
Андижанский машиностроительный институт
E-mail: dilyorkarimjonov@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ ТОКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Упомянуется генерация несинусоидальных токов, влияющих на реактивную мощность асинхронного двигателя, и их влияние на режимы работы асинхронного двигателя. Даны сведения о видах и описаниях токов высших гармоник, образующих несинусоидальные токи, возникающие в асинхронном двигателе. Результаты исследования были сформированы на основе практических и теоретических данных.

Ключевые слова: Асинхронный двигатель, несинусоидальный ток, магнитный поток, высшие гармоники, реактивная мощность, коэффициент мощности.

Karimzhanov Dilerbek Donierbek ugli, PhD,
Andijan Engineering Institute

INVESTIGATION OF NON-SINUSOIDAL REACTIVE POWER CURRENTS OF ASYNCHRONOUS MOTORS

The generation of non-sinusoidal currents affecting the reactive power of an asynchronous motor and their effect on the operating modes of an asynchronous motor is mentioned. Information is given on the types and descriptions of currents of higher harmonics forming non-sinusoidal currents arising in an asynchronous motor. The results of the study were formed on the basis of practical and theoretical data.

Key words: Asynchronous motor, non-sinusoidal current, magnetic flux, higher harmonics, reactive power, power factor.

Введение: Асинхронные двигатели являются основными потребителями электроэнергии, они предназначены для работы при симметричном и синусоидальном напряжении, но из-за подключения различных нагрузок к системе электроснабжения и ряда неисправностей, возникающих в асинхронных двигателях, появляются симметричные и несинусоидальные токи. В асинхронных двигателях и оказывают негативное влияние на режимы работы асинхронного двигателя [1].

Рассмотрены формирование, виды и негативные последствия несимметричных токов, вызванных различными воздействиями при работе асинхронного двигателя. В