

Боиханов З.У.

Доцент (PhD)

Андижанский государственный технический институт

Аъзамов С.С.

Старший преподаватель (PhD)

Андижанский государственный технический институт

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКА СТАТОРА В ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Аннотация: В данной статье подробно описан асинхронный двигатель, который считается основным потребителем электроэнергии, и система оценки его потребления активной и реактивной мощности. Представлен сравнительный анализ, преимущества и недостатки преобразователей тока и датчиков, применяемых при контроле и контроле различных потерь мощности в обмотке статора асинхронного двигателя. Также впервые был использован трехфазный преобразователь ток-напряжение для контроля потребления реактивной мощности асинхронного двигателя. Управление и мониторинг потребления реактивной мощности асинхронного двигателя трансформатора тока поясняется с использованием аналитических выражений и графовых моделей.

Boihanov Z.U.

Associate Professor (PhD)

Andijan State Technical Institute

Azamov S.S.

Senior teacher (PhD)

Andijan State Technical Institute

INVESTIGATION OF STATOR CURRENT HARMONIC CHARACTERISTICS IN THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTORS

Abstract: This article presents in detail the main consumer of electric energy, the induction motor, and the system for assessing its active and reactive power consumption. A comparative analysis, advantages and disadvantages of current transformers and sensors used to control and manage various types of power wasted in the stator winding of an induction motor are presented. Also, for the first time, a current transformer that converts three-phase current into voltage is used to monitor the reactive power consumption of an induction motor. The control and

monitoring of the reactive power consumption of an induction motor by a current transformer is explained using analytical expressions and graph models. In the process of monitoring the reactive power consumption of an induction motor, the changes in electrical and magnetic processes in the stator winding of an induction motor and their effects on the main energy indicators, power factor, and useful efficiency are considered. Also, for monitoring the reactive power of an asynchronous motor, a fast four-phase transform form of non sinusoidality in the stator winding has been developed by connecting the proposed current-to-voltage converter in series and parallel.

В результате протекания несимметричных и высокогармонических токов в обмотке статора асинхронного двигателя формируются магнитные потоки, которые отрицательно влияют на режимы работы асинхронного двигателя. Это, в свою очередь, приводит к увеличению реактивной мощности асинхронного двигателя. Необходимо разработать технические решения для мониторинга и управления несимметричными и высокогармоническими токами, влияющими на реактивную мощность асинхронного двигателя.

Одним из эффективных мероприятий для системы электроснабжения является использование источников реактивной мощности для компенсации реактивной мощности, возникающей в результате несимметричных и высокогармонических токов в статоре асинхронного двигателя.

Несимметричные и несинусоидальные токи, возникающие в системе электроснабжения промышленных предприятий, отрицательно влияют на режимы работы потребителей электрической энергии, а именно: они вызывают увеличение их реактивной мощности, снижение срока службы, ухудшение качества работы и ряд других негативных факторов. Как известно, асинхронные двигатели являются основными потребителями электрической энергии на промышленных предприятиях благодаря их невысокой стоимости по сравнению с другими типами двигателей той же мощности, малым габаритным размерам и простоте запуска. Асинхронные двигатели потребляют 55–60% всей электроэнергии, вырабатываемой электростанциями. При этом 25–40% от их полной потребляемой мощности приходится на реактивную мощность. Если несимметричные и высшие гармонические токи асинхронного двигателя не соответствуют нормативным требованиям, то его КПД снижается. Снижение величины несимметричных и высших гармонических токов позволяет повысить энергетическую эффективность, поэтому определение, мониторинг и управление этими токами является одним из

приоритетных направлений научно-технического прогресса. Из принципа действия асинхронного двигателя следует, что обмотка ротора не имеет электрического соединения с обмоткой статора. Между этими обмотками существует только магнитная связь, и передача энергии осуществляется посредством магнитного поля. Во время работы асинхронного двигателя токи в обмотках статора и ротора создают два намагничивающих действия — намагничивающую силу ротора и намагничивающую силу статора. В результате их совместного действия создаётся суммарный магнитный поток Φ , вращающийся со скоростью синхронного вращения n_1 относительно статора.

В настоящее время существует множество типов токовых преобразователей, что затрудняет выбор подходящей модели и конкретной конструкции. Поэтому целесообразно проводить анализ элементов и конструкции преобразователей на основе определённых принципов, что позволит определить их принцип действия и конструктивные особенности.

Среди таких преобразователей можно выделить: волоконно-оптические датчики тока, магнитогальванические токовые преобразователи, электромеханические преобразователи, однофазные трехэлементные датчики, трансформаторы тока, электромагнитные преобразователи с расширенным функционалом, а также токовые датчики Honeywell.

Хотя существующие токовые преобразователи и датчики, такие как преобразователи тока на эффекте Холла, обеспечивают высокую точность при измерении больших токов, они имеют ограничения по точности из-за насыщения магнитной системы, требуют дополнительных ресурсов и являются относительно дорогостоящими.

Асинхронные двигатели считаются основными потребителями электрической энергии и изначально рассчитаны на работу при симметричных и синусоидальных напряжениях. Однако, из-за подключения различных нагрузок к системе электроснабжения и ряда неисправностей в самих асинхронных двигателях, в них возникают несимметричные и несинусоидальные токи, что отрицательно влияет на режимы их работы.

Рассмотрим формирование, виды и негативные последствия несимметричных токов, возникающих под воздействием различных факторов во время работы асинхронного двигателя.

На статоре асинхронного двигателя размещены симметричные обмотки, которые отличаются друг от друга на угол 120° . При подаче напряжения на эти обмотки в каждой фазе формируются соответствующие магнитные

потоки, пропорциональные величине приложенного напряжения (см. рисунок 1).

В асинхронных двигателях могут возникать амплитудные и фазовые несимметрии. Амплитудные несимметрии в основном обусловлены несимметрией напряжений в обмотках статора, что, в свою очередь, приводит к несимметрии магнитных потоков в асинхронных двигателях.

$$\begin{aligned}\Phi_A(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \{ \sin(\theta - \omega t) + \sin(\theta + \omega t) \} \\ \Phi_B(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \right\} \\ \Phi_C(\theta, t) &= \frac{1}{2} \Phi_m \left\{ \sin(\theta - \omega t) + \sin\left(\theta + \omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \right\}\end{aligned}$$

В трехфазных асинхронных двигателях симметричные токи возникают, когда величина токов в каждой фазе отличается друг от друга. Причины появления симметричных токов в асинхронных двигателях следующие:

- Повреждение обмотки статора асинхронного двигателя
- Повреждение подшипников асинхронного двигателя
- Повреждение магнитной цепи асинхронного двигателя

Вследствие вышеуказанных причин симметричные токи вызывают следующие негативные последствия в асинхронных двигателях:

- Снижение коэффициента активной мощности
- Перегрев асинхронного двигателя
- Снижение электромагнитного крутящего момента асинхронного двигателя
- Увеличение величины тока статора

Различные факторы — такие как увеличение нагрузки на асинхронный двигатель, длина питающего кабеля, управление с помощью устройств на полупроводниковых элементах, повреждения в магнитной системе асинхронного двигателя, асимметрия вращающихся частей, а также подключение асинхронных двигателей к сетям с неравномерными и разнообразными нагрузками — могут привести к возникновению высокочастотных гармонических токов в обмотках статора. Эти гармоники, в свою очередь, отрицательно влияют на работу и эффективность (коэффициент мощности) асинхронного двигателя.

Высокочастотные гармонические токи, возникающие в обмотках статора, можно обнаружить по выходным сигналам трехфазного электромагнитного преобразователя тока. Раскладывая значения напряжения, полученные от чувствительных измерительных петель, в ряд Фурье, можно определить

амплитуды гармоник, воздействующих на асинхронный двигатель, с использованием метода быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Графический метод разложения в ряд Фурье позволяет рассчитывать значения этих гармонических токов. В этом методе один период функции делится на равные n частей, и затем определяются составляющие значения функции.

Постоянная (средняя) составляющая функции...

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \approx \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \Delta x = \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \quad a_0 = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n f_p(x)$$

Значение синусоидальной составляющей функции на k -й гармонике

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos kx dx \approx 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \cos_p kx$$

Значение косинусоидальной составляющей функции на k -й гармонике "

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin kx dx \approx 2 \cdot \frac{1}{2\pi} \sum_{p=1}^n f_p(x) \frac{2\pi}{n} \sin_p kx$$

" Амплитуда k -й гармоники "

$$a_k = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

" Общее гармоническое искажение (ОГИ) функции "

$$THD_I = \sqrt{\sum_{k=2}^N \left(\frac{I_k}{I_1} \right)^2}$$

Исследование показывает, что мониторинг и контроль гармонических искажений имеют решающее значение для поддержания энергетической эффективности и надежности асинхронных двигателей. Применение спектрального анализа на основе частот является эффективным диагностическим инструментом для повышения эксплуатационных характеристик и продления срока службы таких двигателей в промышленных условиях.

Использованные источники:

1. Siddikov I. Kh., Boikhonov Z. U., Karimjonov D. D. Elements And Devices For Monitoring And Controlof Energy Efficiency. The American Journal of Engineering and Technology (ISSN – 2689-0984) Published: September 29, 2020 | Pages: 136-148.

2. Siddikov I. Kh., Boikhonov Z. U, Makhsudov M. T., Uzaqov. R. Features productions reactive power on systems electrical supply with renewable sources energies. *Academicia: an international multidisciplinary research journal* vol. 10, issue 6, June 2020 Pages: 292-29

3. Махсудов М. Т., Бойхонов З. У. Исследование электромагнитных преобразователей тока в напряжение // Бюллетень науки и практики. 2018. Т.4.№3. С. 150-154. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/mahsudov>

4. Эгамов, Д. А. Эффективность применения «переносного АВР-0,4 кВ» для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей / Д. А. Эгамов, Р. Узаков, З. У. Боихонов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – С. 250-253.

5. Эгамов Д. А., Узаков Р., Бойхонов З. У Способы обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей, имеющих одну систему шин 6-10 кВ и два независимых источника питания 6-10 кВ // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №3. С. 155-159. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/egamov-uzakov> (дата обращения 15.03.2018).

6. Сиддиков И. Х., Махсудов М. Т., Боиханов З. У. угли, Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности. *Главный энергетик* №7 2021. 2021;7.

7. Махсудов М.Т., Анарбаев М.А., Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // *Universum: Технические науки : электрон. научн. журн.* 2019. № 3(60). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/7095>

8. I.Kh. Siddikov, A.B.Abubakirov, A.A. Yuldashev, G.Z. Babaxova, I.M. Xonturaev, N.N. Mirzoev. «Methodology of calculation of techno-economic indices of application of sources of reactive power». *European science review, Scientific journal.* No 1–2. Austria, Vienna. 2018. 248-251 p.

9. I.Petrova, V. Zaripova, Yu. Lezhnina, I.Kh.Siddikov. Automated system for synthesis of sensors for smart cities. XXII International Scientific Conference on Advanced In Civil Engineering “CONSTRUCTION THE FORMATION OF LIVING ENVIRONMENT”, Tashkent, Uzbekistan, 18-21 April, 2019 E3S Web of Conferences eISSN: 2267-1242. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.085067281218&origin=resultslist>