

УДК 62 – 83 : 621.313.3

СТАЦЕНКО А.В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна
**АНАЛИЗ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ ПРИ
УПРАВЛЕНИИ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМУМА СООТНОШЕНИЯ
«МОМЕНТ-ТОК»**

***Цель.** Статья посвящена анализу потерь энергии в асинхронном двигателе при различных алгоритмах управления.*

***Методика.** Используются положения теории электропривода и электрических машин. Исследования проводились с использованием методов математического моделирования.*

***Результаты.** Основным результатом заключается в проведении сравнительного анализа уровня электромагнитных потерь энергии в асинхронном электродвигателе при использовании алгоритмов управления, обеспечивающих максимум соотношения «момент-ток» и стабилизацию тока намагничивания.*

***Научная новизна.** Установлено, что использование алгоритмов управления, обеспечивающих повышение соотношения «момент-ток», позволяет снизить потери энергии.*

***Практическая значимость.** Используемый при анализе подход позволяет проводить предварительную оценку энергетической эффективности систем электропривода с асинхронными двигателями.*

***Ключевые слова:** автоматизированный асинхронный электропривод, потери энергии.*

Введение. Одним из основных требований, которые предъявляются к современным электромеханическим системам, является их высокая энергетическая эффективность. При этом, для обеспечения требуемого качества работы систем с асинхронными двигателями используются различные алгоритмы управления.

Вопросам определения энергетической эффективности и разработки новых алгоритмов управления посвящен ряд работ [1,2]. Условно их можно поделить на две группы, в основе которых заложены программный и поисковый подходы. В основе программных алгоритмов управления лежит определенная математическая зависимость, которая определяет связь между входными сигналами (задания и обратной связи) и сигналами управления. Поисковые алгоритмы предполагают выполнение процедуры поиска требуемого режима работы системой, например минимума потребляемой мощности. Оба подхода имеют свои достоинства и недостатки.

В [3] рассматривался алгоритм частотно-токового управления электромагнитным моментом асинхронного двигателя по критерию максимума соотношения «момент-ток». В [4] предложен подход, который обеспечивал повышение указанного соотношения за счет контролируемого насыщения магнитной системы. При работе такой системы в установившихся режимах, очевидно, что снижение тока статора при конкретном значении нагрузки обеспечит снижение потерь в обмотках двигателя, но увеличение тока намагничивания приведет к увеличению потерь в стали статора.

Постановка задач исследований. Целью данных исследований будет оценка энергетической эффективности работы системы при использовании предложенного алгоритма управления, а также сравнение с другими алгоритмами. Для этого можно воспользоваться подходом, изложенным в [5]. В соответствии с указанным подходом, следует рассчитать уровень электромагнитных потерь в асинхронном двигателе при его работе на различных частотах и с различным уровнем нагрузки.

Основной материал. В соответствии с алгоритмом, предложенным в [4], регулирование момента осуществляется посредством изменения величины тока статора I_S и абсолютного скольжения Δs в соответствии с выражениями:

$$I_S = \begin{cases} \frac{2}{\sqrt{3p}} \cdot \frac{\sqrt{L_M + L_r}}{L_M} \cdot \sqrt{M^*}, \text{ при } M^* < M_{cp}^* \\ \sqrt{\left(\left(\frac{2 \cdot M^*}{3 \cdot p \cdot k_\psi} \right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{a_\psi}{k_\psi} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^3}, \text{ при } M^* \geq M_{cp}^* \end{cases}, \Delta s = \begin{cases} \frac{R_r}{2\pi(L_r + L_M)}, \text{ при } M^* < M_{cp}^* \\ \frac{R_r \cdot I_S}{k_\psi} \cdot \frac{I_S^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{I_S^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{a_\psi}{k_\psi} \right)^{\frac{2}{3}}}}, \text{ при } M^* \geq M_{cp}^* \end{cases} \quad 1)$$

где: M^* – сигнал задания электромагнитного момента; R_r , L_r , L_M – активное сопротивление обмотки ротора, индуктивность обмотки ротора, индуктивность намагничивания; a_ψ , k_ψ – переменные учитывающие нелинейность цепи намагничивания; $M_{cp}^* = \frac{3 \cdot p}{2} \cdot \frac{I_{Mнас}^2 \cdot L_M^2}{L_M + L_r}$ граничное значение сигнала задания момента;

$I_{Mнас}$ – значение тока цепи намагничивания, соответствующее границе линейного участка характеристики.

При анализе уровня электромагнитных потерь в двигателе необходимо учитывать ограничения, которые обычно присутствуют в системах электропривода. В первую очередь это касается ограничений преобразователя частоты по максимальным величинам выходного тока и напряжения.

Рассчитаем мощность электромагнитных потерь при использовании указанного подхода к управлению в установившихся режимах для двигателя серии 4A160M4У3 с параметрами [6]: $R_s = 0.264$ Ом, $R_r = 0.151$ Ом, $L_s = 1.7$ мГн, $L_r = 2.6$ мГн, $L_M = 88$ мГн, $p = 2$, $\Delta s_{ном} = 1.1$ Гц, $n_c = 1500$ об/мин, $P_{ном} = 18.5$ кВт. Расчет проводился для частот вращения и нагрузочных моментов в диапазоне от нулевых до номинальных. Ток статора ограничен максимальным значением равным 50 А, а максимальное напряжение статора на уровне 310 В. Результат расчета приведен на рис.1.

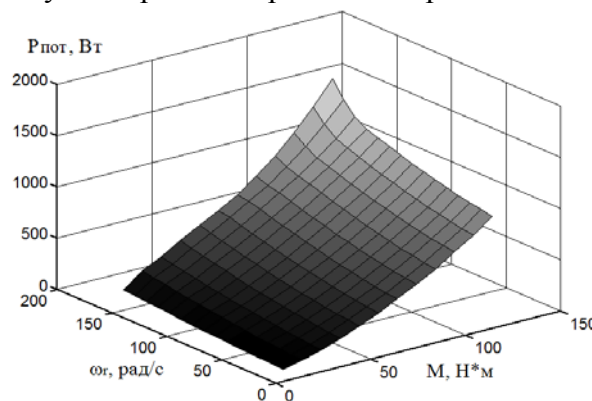


Рис.1. Диаграмма потерь энергии при максимуме соотношения «момент-ток»

Для сравнения проведем расчет мощности потерь для того же самого двигателя при использовании алгоритмов управления, обеспечивающих стабилизацию уровня

насыщения цепи намагничивания. К таким алгоритмам можно отнести известное векторное управление с ориентацией по полю [7].

Величину тока намагничивания при расчете примем равным 11.5 А. Данное значение соответствует номинальному режиму работы рассматриваемого двигателя.

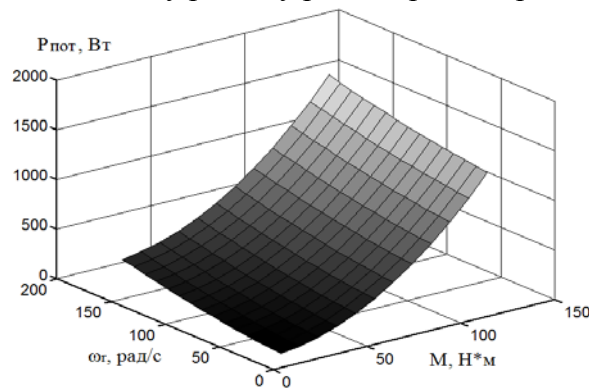


Рис.2. Диаграмма потерь энергии при стабилизации тока намагничивания

Проведем сравнительный анализ результатов, полученных при использовании различных алгоритмов управления. Отличия в мощностях потерь энергии незначительны при моментах нагрузки в районе 40 Н*м и составляют от -0.11 до +0.05 % в зависимости от частоты вращения. Это связано с тем, что при таких значениях моментов ток намагничивания в обоих случаях приблизительно одинаков, а соответственно и результаты идентичны. Также отличия отсутствуют в области ограничения напряжения при номинальном моменте и частоте вращения, когда токи намагничивания и статора одинаковы.

В диапазоне моментов от 50 до 60 Н*м отличия составляют от -7 до +3 % в зависимости от частоты вращения, причем рост мощности потерь соответствует увеличению частоты. Это обусловлено различным характером изменения составляющих электромагнитных потерь, в частности, увеличение потерь в стали при частотах близких к номинальной оказывает большее влияние, нежели уменьшение потерь в меди за счет снижения тока.

Во всех остальных случаях мощность потерь энергии при использовании алгоритма управления, обеспечивающего повышение соотношения «момент-ток», ниже, чем при использовании алгоритмов, обеспечивающих стабилизацию тока намагничивания. Снижение электромагнитных потерь при моментах близких к номинальному составляет до 26 %, а при низких значениях моментов от 37 до 57 % в зависимости от частоты вращения.

Выводы. Проведенный сравнительный анализ показал, что использование алгоритма управления, обеспечивающего повышение соотношения «момент-ток», позволяет снизить потери энергии в двигателе по сравнению с известными алгоритмами, обеспечивающими стабильный уровень насыщения магнитной системы двигателя.

Список литературы

1. Leonhard W. Control of electrical drives / Leonhard W. – Springer, 2001. – 470 p.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / [Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін.]; під ред. М.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
3. Стаценко А.В. Регулирование момента асинхронного двигателя при частотно-токовом управлении / А.В. Стаценко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 6/2011 (71). – Ч.1. – С. 20-25.

4. Стаценко О.В. Підвищення співвідношення «момент-струм» при частотно-струмовому керуванні асинхронним двигуном / О.В. Стаценко // Вісник КНУТД. – 2013. – Вип. 5. – С. 48-52.
5. Стаценко А.В. Расчет электромагнитных потерь энергии в асинхронных двигателях / А.В. Стаценко // Вісник КНУТД. – 2013. – Вип. 6. – С. 158-166.
6. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
7. Blaschke F. The principle of field orientation as applied to the new transvector closed loop control for rotating machines / F. Blaschke // Siemens Review. – 1972. – Vol.39, № 5. – P. 217-220.

АНАЛІЗ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ В АСИНХРОННОМУ ДВИГУНІ ПРИ КЕРУВАННІ ЗА КРИТЕРІЄМ МАКСИМУМУ СПІВВІДНОШЕННЯ «МОМЕНТ-СТРУМ»

СТАЦЕНКО О.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Мета. Стаття присвячена аналізу втрат енергії в асинхронному двигуні при різних алгоритмах керування.

Методика. Використані положення теорії електроприводу та електричних машин. Дослідження проводилися з використанням методів математичного моделювання.

Результати. Основний результат полягає у проведенні порівняльного аналізу рівня електромагнітних втрат енергії в асинхронному електродвигуні при використанні алгоритмів керування, що забезпечують максимум співвідношення «момент-струм» і стабілізацію струму намагнічування.

Наукова новизна. Встановлено, що використання алгоритмів управління, що забезпечують підвищення співвідношення «момент-струм», дозволяє знизити втрати енергії.

Практична значимість. Використаний при аналізі підхід дозволяє проводити попередню оцінку енергетичної ефективності систем електроприводу з асинхронними двигунами.

Ключові слова: *автоматизований асинхронний електропривод, втрати енергії.*

ANALYSIS OF THE INDUCTION MOTOR ENERGY LOSSES WITH MAXIMUM "TORQUE-CURRENT" RATIO CRITERION CONTROL

STATSENKO A.V.

Kyiv National University of Technologies and Design

Purpose. This article is devoted to the analyzes of the induction motor energy loss with different control algorithms.

Methodology. The theory of electric drives and electric machines was used. Studies were conducted using mathematical modeling methods.

Findings. The main result is a comparative analysis of the electromagnetic energy losses in the induction motor using control algorithms that provide a maximum "torque-current" ratio and magnetizing current stabilization.

Originality. It was found that the use of control algorithms, providing increase of the "torque-current" ratio allows reducing energy loss.

Practical Value. Used in the analysis approach allows a preliminary assessment of the energy efficiency of electric drive systems with induction motors.

Key words: *automated induction drive, energy losses.*