

С.В. Седых, Н.В. Чуприна, А.А. Пугачев
(г. Брянск, Брянский государственный технический университет)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ И СИСТЕМОЙ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ РЕЖИМЕ

**SIMULATION OF ELECTRIC DRIVE WITH INDUCTION MOTOR
AND VECTOR CONTROL SYSTEM IN ENERGY SAVING MODE**

Проведен анализ методов повышения энергоэффективности электропривода с асинхронным двигателем и системой векторного управления. Предложена система энергоэффективного управления, основанная на задании постоянного коэффициента мощности, выполнено ее имитационное моделирование, проанализированы полученные результаты.

The survey of techniques for increasing the energy efficiency of an electric drive with induction motor and vector control system is presented. An energy-efficient control system based on setting a constant power factor is proposed, its simulation is carried out, and the results are highlighted.

Ключевые слова: векторная система управления, энергоэффективность, коэффициент мощности, скалярная система управления, моделирование.

Keywords: vector control system, energy efficiency, power factor, scalar control system, simulation.

Активизация работ по внедрению асинхронного электропривода обусловлена не только его явными достоинствами. Внедрению также способствует быстрый прогресс в области силовой электроники и микропроцессорной техники, тесно связанный с совершенствованием систем управления, что позволяет реализовать многочисленные достоинства асинхронного двигателя (АД) в полной мере, а также скомпенсировать недоиспользованные ресурсы. В работах [1] показано, что получить повышения энергоэффективности АД с короткозамкнутым ротором, управляемый скалярной системой, можно путем определенного соотношения проекции (угла) между парой векторов тока статора в ортогональной системе координат. Аналогичные результаты были получены в работе автора [2]. Такого же эффекта возможно добиться и в векторных системах управления, в частности в разработанной системе с косвенной ориентацией по полю ротора ($\psi_r = const$). В основе такого явления лежит оптимальное изменение потокосцепления АД с целью минимизации тока статора и (или) потерь в двигателе. Так, например, в работах [3] и [4] сделан вывод о том, что если сориентировать ортогональные оси по магнитному полю статора таким образом, что одна из проекций – это активная составляющая тока статора, а другая – реактивная составляющая тока статора, то тогда поддержать

определенное соотношение между проекциями тока статора можно путем поддержания угла между ними или его тригонометрической функции. Тем самым, создание оптимального соотношения проекций токов статора, что в свою очередь приводит к снижению величины потерь мощности в меди обмотках статора, возможно путем поддержания тригонометрической функции угла – косинуса, другими словами коэффициента мощности.

Для пояснения описанного эффекта энергосбережения показаны статические характеристики для двигателя 4A200M4У3 с параметрами $P_{ном} = 37$ кВт; $\cos\varphi=0.9$; $\eta=91\%$; при моментах сопротивления равных: $M_c = 0.3 \cdot M_{ном}$; $0.5 \cdot M_{ном}$; $M_{ном}$. Путем изменения величины потокосцепления получены в графическом виде опорные точки, представленные рис. 1. При моделировании использовалась классическая эквивалентная схема замещения асинхронного двигателя, механическая часть обладает постоянным моментом инерции.

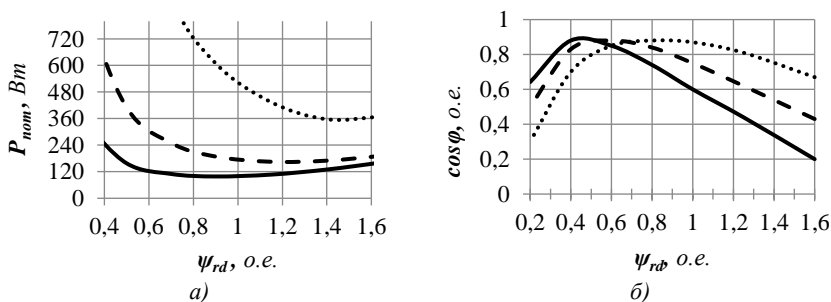


Рис. 1. Зависимости: а) величин потерь в меди обмоток от потокосцепления ротора; б) величин коэффициента мощности от потокосцепления ротора.

(— $M_{ном}$, — — $0.5 \cdot M_{ном}$, ... $0.3 \cdot M_{ном}$)

Из проведенного ряда имитационных экспериментов (рис. 1), можно сделать вывод о том, что для момента сопротивления $0.5 \cdot M_{ном}$ при значении потокосцепления равном $\psi_r = 1.15$, наблюдается выраженный минимум потерь мощности в АД, составляющий примерно 190 Вт, тем самым создание оптимального соотношения проекций токов статора, возможно путем поддержания коэффициента мощности на уровне $\cos\varphi = \sqrt{2}/2$ (рис. 1, б).

Для реализации данного эффекта необходимо регулировать потокосцепление, путем добавления регулятора и введения обратной связи по переменной коэффициента мощности, таким образом реализуя систему подчиненного регулирования намагничивающей составляющей статорного тока, изменение которой позволяет поддерживать на оптимальной величине угол между моментобразующими векторами тока и потокосцепления статора, обеспечивая при этом критерий минимума потребления тока статора.

Структурная схема энергоэффективной системы векторного управления асинхронного электродвигателя, с заданием постоянного коэффициента мощности, представлена на рис. 2.

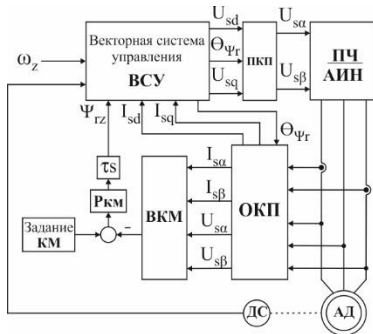


Рис. 2 Структурная схема энергоэффективной системы управления АД

На рис. 2 приняты следующие обозначения: ОКП – обратный координатный преобразователь; ВКМ – вычислитель коэффициента мощности; КМ – коэффициент мощности; Ркм – регулятор коэффициента мощности; τ_s – постоянная времени статора; ПЧ/АИН – преобразователь частоты/автономный инвертор напряжения; ДС – датчик скорости.

Выполнено моделирование плавного пуска привода с системой задания постоянного коэффициента мощности. Осуществлен пуск до установившейся номинальной частоты вращения с моментом сопротивления $M_c = 0.5 \cdot M_{ном}$, на 0,7 сек. включена система энергосбережения. На рис. 3 приведены результаты моделирования использованного ранее асинхронного двигателя.

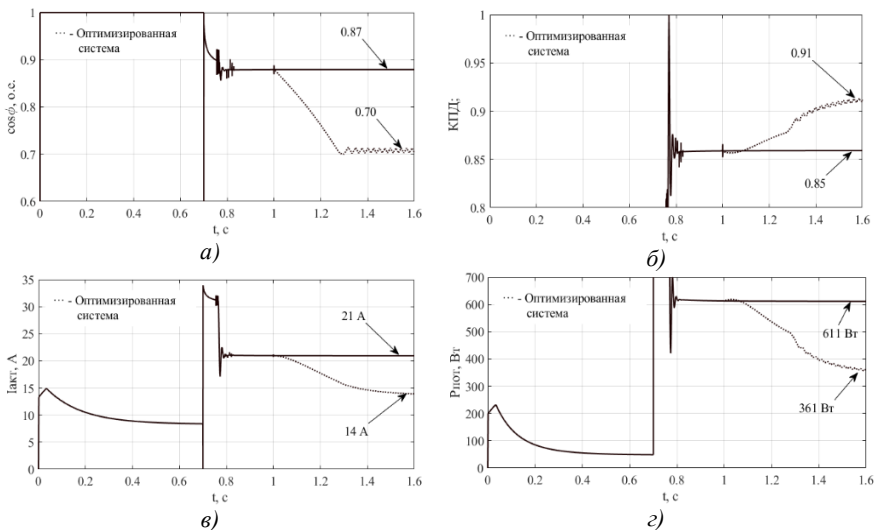


Рис. 3. Результаты моделирования: осциллограммы коэффициента мощности (а), КПД (б), активного тока статора (в), потерь мощности (г)

(--- – векторная система управления,
 — — энергосберегающая система управления)

Анализ осциллограмм, приведенных на рис. 2, показывает, что снижение активного тока статора, что влечет за собой существенное уменьшение потерь в меди обмоток статора (рис. 3, г) и соответственно повышение КПД (рис. 3, б). Также из рис. 3 можно увидеть, что уменьшение потерь мощности составила 250 Вт, что соответствует 40%.

Стоит отметить, что данные показатели были получены без учета насыщения магнитной цепи; для учета результате чего получено уравнение [5], учитывающее явление насыщения по главному магнитному пути, которое в последствии было реализовано в компьютерной модели. Результаты оптимизации потерь мощности изменились в сторону уменьшения (потери мощности в обмотках меди статора составят 30%).

Таким образом, моделирование демонстрирует работоспособность предложенной векторной системы управления и возможность ее применения в промышленном электроприводе в широком диапазоне нагрузок и частот вращения.

Список литературы

1. Электропривод переменного тока // Патент России №2512873. 2013. / Мещеряков В. Н., Синюкова Т. В., Мещерякова О.В.

2. *Седых, С. В.* Моделирование электропривода с асинхронным двигателем и системой скалярного управления в энергосберегающем режиме / С. В. Седых, А. А. Пугачев. — Текст: непосредственный // САПР и моделирование в современной электронике — Брянск: Брянский Государственный Технический Университет, 2018. — С. 230-231.

3. *Цветков, П. Е.* Разработка и исследование систем асинхронного электропривода с частотно-токовым управлением для насосных механизмов: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Цветков П. Е.; Липецкий Государственный Технический Университет. — Липецк, 2014. — 163 с. — Текст: непосредственный.

4. *Конохов, Д. В.* Энергоэффективное прямое управление моментом асинхронных тяговых электродвигателей: специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Конохов Д.В.; Брянский Государственный Технический Университет. — Брянск, 2018. — 138 с. — Текст: непосредственный.

5. *Космодамианский, А.С.* Моделирование электропривода с асинхронным двигателем в режиме минимума мощности потерь / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Электротехника. - 2012. - № 12. - С. 26 – 31

Материал поступил в редколлегию 20.10.20.