

Николаев Игорь Михайлович,
Студент, ФГБОУ ВО «КГЭУ»
Nikolaev Igor Mikhaylovich,
Student, FGBOU IN "KGEU"

Научный руководитель:
Малев Николай Анатольевич,
к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «КГЭУ»
Malev Nikolay Anatolevich,
Ph.D., Associate Professor,
FGBOU IN "KGEU"

**ПРЕЦИЗИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ:
ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ К ЭМПИРИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
PRECISE CONTROL OF AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE:
FROM THEORETICAL MODELS TO EMPIRICAL IMPLEMENTATION**

Аннотация. В статье рассматривается проблема прецизионного управления асинхронными электроприводами, которые в силу своей нелинейности требуют сложных алгоритмических решений. Проведен анализ перехода от теоретического моделирования электромеханических процессов к их эмпирической проверке с использованием систем векторного управления (FOC) и бездатчиковых наблюдателей состояния. Обоснована необходимость синтеза теоретических знаний и экспериментальных методов для достижения высокой точности позиционирования и регулирования момента.

Abstract. The article looks at the problem of precise control of asynchronous electric drives, which, because of their nonlinearity, require complex algorithmic solutions. It analyzes the shift from theoretical modeling of electromechanical processes to their empirical testing using vector control systems (FOC) and sensorless state observers. It also explains the need to combine theoretical knowledge and experimental methods to achieve high accuracy in positioning and torque control.

Ключевые слова: Асинхронный электропривод, прецизионное управление, векторное управление, математическое моделирование, наблюдатель состояния, эмпирическое исследование.

Keywords: Asynchronous electric drive, precision control, vector control, mathematical modeling, state observer, empirical research.

Введение

Асинхронные двигатели (АД) [1], традиционно составляют основу промышленного электропривода благодаря своей надежности и простоте конструкции. Однако исторически их применение в задачах прецизионного позиционирования было ограничено из-за сложной, существенно нелинейной природы электромагнитных процессов.

Развитие силовой электроники и вычислительной техники позволило преодолеть разрыв между теоретическими постулатами электропривода и практическими возможностями. Сегодня научный поиск в этой области сосредоточен на методологии построения адаптивных систем, способных в реальном времени компенсировать возмущения при помощи изменения параметров объекта.

Фундаментальной основой прецизионного управления АД является принцип раздельного (векторного) управления [2], потокосцеплением и электромагнитным моментом.



С точки зрения теоретического моделирования, переход от трехфазной системы координат к вращающейся двухфазной d-q позволяет свести математическую модель асинхронной машины к виду, аналогичному модели двигателя постоянного тока.

Электромагнитный момент в системе векторного управления [3], описывается следующим уравнением:

$$M = \frac{3}{2} Z_p \frac{L_m}{L_r} \psi_{rd} i_{sq} \quad (1)$$

где Z_p – число пар полюсов, L_m – взаимная индуктивность, L_r – индуктивность ротора, ψ_{rd} – проекция вектора потокосцепления ротора на ось d, i_{sq} – проекция вектора тока статора на ось q.

Данная теоретическая абстракция требует точного знания параметров схемы замещения двигателя. Методология исследования включает два этапа:

Аналитический (теоретический): Синтез регуляторов тока, скорости и положения.

Эмпирический: Идентификация параметров двигателя на реальном стенде для минимизации рассогласования между математической моделью и физическим объектом.

На практике (в эмпирической части) достижение заявленной прецизионности сталкивается с проблемой дрейфа параметров двигателя. В частности, активное сопротивление ротора изменяется при нагреве, что ведет к деориентации вектора потокосцепления и потере точности.

Для решения этой проблемы применяются наблюдатели состояния (например, расширенный фильтр Калмана или наблюдатель Люенбергера). Они выполняют функцию косвенного измерения, восстанавливая ненаблюдаемые переменные состояния (поток, скорость) на основе измеряемых токов и напряжений статора.

Эмпирические данные современных исследований показывают, что использование адаптивных моделей с эталонной моделью (MRAS) позволяет снизить статическую ошибку регулирования скорости в бездатчиковых системах до величин менее 0.5%. Это переводит асинхронный электропривод в класс прецизионных систем, пригодных для станков с ЧПУ и робототехники.

Заключение

Прецизионное управление асинхронным электроприводом является ярким примером того, как фундаментальная математическая теория через стадию имитационного моделирования реализуется в конкретных эмпирических результатах. Дальнейшее развитие систем управления связано с внедрением методов искусственного интеллекта и нейросетевых предикторов, что потребует выработки новых критериев верификации теоретических моделей.

Список литературы:

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Академия, 2006.
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.
3. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 392 с.

