Научная статья
Original article
УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

STUDY OF THE WORK OF OBSERVERS WHEN USING VECTOR CONTROL

Петров Вадим Евгеньевич, Магистратура 2 курс, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова»
Научный руководитель: Скурятин Юрий Васильевич, к.т.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова»

Petrov Vadim Evgenievich, Master 2 course, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov"
Scientific adviser: Skuryatin Yury Vasilyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov"

Аннотация. В статье проводится исследование работы наблюдателей при использовании векторного регулирования. Рассматриваются понятие и роль наблюдателей в системах векторного управления двигателем, выявляются

требования, предъявляемые к наблюдателям. Приводятся классификация наблюдателей состояния в системах векторного управления и описание особенностей их функционирования, характерных черт и возможностей применения. Отмечается значимость наблюдателей как альтернативы датчикам скорости.

Annotation. The article studies the work of observers when using vector control. The concept and role of observers in systems of vector motor control are considered, the requirements for observers are identified. A classification of state observers in vector control systems and a description of the features of their functioning, characteristic features and application possibilities are given. The importance of observers as an alternative to speed sensors is noted.

Ключевые слова: векторное управление, двигатель, наблюдатели, бездатчиковое управление, электропривод.

Key words: vector control, motor, observers, sensorless control, electric drive.

Асинхронные и синхронные двигатели являются одними из ключевых электромеханических преобразователей энергии, приводящих в движение механизмы, обеспечивающие эффективность любого предприятия [1]. Для регулирования момента и скорости на валу и реализации прямого управления токами этих двигателей применяются методы векторного управления, большая часть из которых отличается сложностью реализации и вычислений. Актуальной тенденцией развития систем векторного управления является стремление к уменьшению стоимости и габаритов устройств, упрощению реализации регулирования и сокращению программного времени расчёта, что может быть достигнуто за счёт отказа от датчика скорости и его замены наблюдателями [2]. Под наблюдателями понимаются математические модели, использование которых не требует установки дополнительного оборудования, поскольку они действуют при использовании известных параметров двигателя, таких как напряжение и ток. Это обуславливает значимость исследования применения наблюдателей при векторном управлении работой двигателя.

Целью работы является исследование работы наблюдателей при использовании векторного регулирования. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

Системы векторного управления двигателем дают возможность получать высококачественные динамические и статические характеристики электропривода, однако внедрение таких систем в промышленности осложнено трудоёмкостью либо невозможностью измерения отдельных координат, таких как частота вращения и потокосцепление ротора двигателя [3]. При вычислении потокосцепления могут применяться математические модели, в которых в качестве входных сигналов используются данные о фазных напряжениях и токах двигателя. Данные модели используются также при оценке частоты вращения ротора двигателя, однако в этом случае модели включают дифференцирующие звенья, что приводит к возникновению алгебраических контуров, уменьшает точность идентификации и усложняет её техническую реализацию. Одним из перспективных альтернативных методов восстановления скорости двигателя при разработке систем векторного управления без применения механических датчиков на валу двигателя является использование наблюдателей состояния, которые в случае традиционного подхода к их синтезу не имеют указанных недостатков, а также позволяют оценивать не только частоту вращения ротора, но и величину статического момента на валу двигателя. Данная оценка может быть применена для реализации комбинированного управления по возмущающему воздействию, что даёт возможность ликвидировать статизм систем векторного управления по нагрузке.

Наблюдатели состояния представляют собой специальные динамические подсистемы, выходные сигналы которых используются для оценки неизмеряемых координат состояния управляемого объекта [4]. Они должны быть устойчивыми к начальным условиям и воздействиям среды, работать с сигналами датчиков только тех физических величин, которые заранее определены и доступны непосредственным измерениям, и обладать низкой чувствительностью к ошибкам

в априорных данных о параметрах объекта управления. Помимо этого, к наблюдателям предъявляются требования обеспечения широкого диапазона регулирования скорости, устойчивости к шумам в измерительных каналах и малой зависимости от дрейфа параметров двигателя [5].

Все наблюдатели состояния подразделяются на измеряющие и функционирующие на базе моделей двигателя [6]. В первую группу входят:

1. Непрямые измерители положения. Данные наблюдатели, применяющиеся в бездатчиковых электроприводах, используют для измерения положения ротора магнитную неоднородность свойств двигателя. Метод сводится к генерации высокочастотного тестирующего сигнала силовым инвертором и нахождению реального положения ротора с использованием реакции на этот сигнал. Этот наблюдатель отличается высокой сложностью, повышенным уровнем шума и дополнительными потерями, при этом его точность имеет сильную зависимость от свойств конкретного двигателя, поэтому практическое применение непрямых измерителей положения ограничено и рассматривается индивидуально.
2. Измерители ошибки ориентирования. Этот тип наблюдателей используется в бездатчиковых электроприводах и основан на применении внутренних сигналов системы управления, которые зависят от ошибки её ориентирования, для определения положения вращающейся системы координат. Их можно считать адаптивными, поскольку они сводят ошибку ориентирования к нулю, оценивая скорость ротора по положению вращающейся системы координат.

Наблюдатели на основе модели двигателя классифицируются на три типа – адаптивные, неадаптивные и на базе фильтра Калмана. Неадаптивные наблюдатели состояния основаны на математическом описании двигателя и используют алгебраические выражения для вычисления необходимого показателя. Наибольшее применение данный тип наблюдателей находит в системах управления, имеющих датчики измеряемых величин для определения недостающих значений. Также он используется в виде различных

корректирующих устройств, ориентированных на увеличение качества эксплуатационных характеристик электропривода.

Адаптивные наблюдатели состояния могут быть основаны на эталонной модели, нейронных сетях и нечёткой логике [7]. Наблюдатели на основе эталонной модели применяются в датчиковых и бездатчиковых системах управления. Они функционируют на базе эталонной математической модели двигателя, дополненной регулятором, который адаптирует модель к протекающим в двигателе реальным переходным процессам. Адаптивный наблюдатель может быть реализован для потока ротора двигателя с применением модели ротора и статора, по которым осуществляется вычисление потока ротора. Определить поток ротора по модели статора можно, зная напряжение и ток статора, а поток ротора по модели ротора – зная скорость ротора и ток статора. Идея построения данного наблюдателя заключается в том, что при равном токе статора оцениваемый по двум моделям поток будет одинаков, если используемое в модели значение скорости ротора будет совпадать с фактическим значением скорости вращения ротора.

С развитием микропроцессорной техники более распространённой альтернативой адаптивных наблюдателей с эталонной моделью становятся адаптивные наблюдатели на основе нейронных сетей и нечёткой логики. Достоинства нечёткой логики состоят в возможности обработки зашумлённых сигналов, адаптивности и способности моделирования нелинейных систем, а нейронных сетей – в высокой производительности посредством параллельности, способности аппроксимировать любую нелинейную функцию и устойчивости к переменам в объекте управления и среде.

Отдельным классом наблюдателей состояния являются наблюдатели на основе фильтра Калмана. Выделяют линейный, расширенный и сигма-точечный фильтры Калмана [8]. Данный фильтр включает два шага на каждом такте: априорную оценку в виде прогноза и апостериорную оценку в форме корректировки. Отличительной особенностью наблюдателя на основе фильтра Калмана является точный расчёт показателя самим фильтром, что даёт

возможность использовать его при неизвестных параметрах двигателя [9]. При этом данный наблюдатель не требует компенсации времени фильтра либо иных дополнительных вычислений. Недостатками фильтра Калмана является сложность его настройки, значительное время процессорного вычисления и невозможность стабильной работы на низких скоростях, поэтому его практическое применение целесообразнее всего для статических режимов вследствие неопределённости начальных значений в динамических режимах.

Таким образом, наблюдатель в системе векторного управления является динамической системой, восстанавливающей вектор состояния заданной системы, основываясь на измерениях выходного и входного воздействий при известных параметрах и структуре системы [10]. Наблюдатель, фактически являющийся цифровым вычислительным устройством или алгоритмом, даёт возможность отказаться от использования датчика скорости в системах векторного управления, в которых его установка нецелесообразна по экономическим соображениям либо невозможна в связи с конструктивными особенностями объекта управления.

Список литературы

1. Ключников А.Т., Турпак А.М. Бездатчиковое векторное управление асинхронным двигателем при расчёте в комплексной форме // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – № 33. – С. 160-176.
2. Мещеряков В.Н., Синюкова Т.В., Синюков А.В. Исследование системы управления приводом моталки с разными типами наблюдателей скорости // Электротехнические системы и комплексы. – 2020. – № 3 (48). – С. 28-32.
3. Поляков А.Е. Управляемые электротехнические комплексы технологического оборудования: учеб. пособие / А.Е. Поляков, Е.М. Филимонова. – М. : ФОРУМ; ИНФРА-М, 2018. – 300 с.
4. Вдовин В.В. Адаптивные алгоритмы оценивания координат бездатчиковых электроприводов переменного тока с расширенным диапазоном

регулирования: дис. … канд. техн. наук: 05.09.03 / Владимир Владимирович Вдовин; Новосиб. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, 2014. – 244 с.

5. Фролов В.Я., Жилиготов Р.И. Разработка системы бездатчикового векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами в Matlab Simulink // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 92-97.
6. Калачев Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. – М., 2015. – 81 с.
7. Данилов В.В. Повышение энергоэффективности работы систем частотного асинхронного электропривода металлургических транспортных механизмов: дис. … канд. техн. наук: Владимир Владимирович Данилов; Липецк. гос. техн. ун-т. – Липецк, 2019. – 182 с.
8. Масленников А. Дискретные системы автоматического управления. – М., 2019. – 257 с.
9. Володин Е.В., Осипов О.И. Наблюдатели в системах векторного управления синхронным частотно-регулируемым приводом герметичного электронасоса // Электротехнические системы и комплексы. – 2017. – № 3(36). – С. 17-22.
10. Стариков А.В. Наблюдатель скорости вращения асинхронного двигателя / А.В. Стариков, Е.В. Стрижакова, О.С. Беляева, А.А. Карим Альтахер // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2020. – Т. 28, № 4 (68). – С. 155-166.

Bibliography

1. Klyuchnikov A.T., Turpak A.M. Sensorless vector control of an asynchronous motor when calculating in a complex form // Bulletin of PNRPU. Electrical engineering, information technologies, control systems. - 2020. - No. 33. - P. 160-176.
2. Meshcheryakov V.N., Sinyukova T.V., Sinyukov A.V. Investigation of the drive control system of a winder with different types of speed monitors // Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy. - 2020. - No. 3 (48). - S. 28-32.

3. Polyakov A.E. Controlled electrical complexes of technological equipment: textbook. allowance / A.E. Polyakov, E.M. Filimonov. - M. : FORUM; INFRA-M, 2018. - 300 p.
4. Vdovin V.V. Adaptive algorithms for estimating the coordinates of sensorless AC drives with an extended control range: Cand. … cand. tech. Sciences: 05.09.03 / Vladimir Vladimirovich Vdovin; Novosib. state tech. un-t. - Novosibirsk, 2014. - 244 p.
5. Frolov V.Ya., Zhiligotov R.I. Development of a sensorless vector control system for a permanent magnet synchronous motor in Matlab Simulink // Zapiski Gornogo instituta. - 2018. - T. 229. - S. 92-97.
6. Kalachev Yu.N. Status observers in a vector drive. - M., 2015. - 81 p.
7. Danilov V.V. Improving the energy efficiency of the systems of frequency asynchronous electric drive of metallurgical transport mechanisms: dis. … cand. tech. Sciences: Vladimir Vladimirovich Danilov; Lipetsk. state tech. un-t. - Lipetsk, 2019. - 182 p.
8. Maslennikov A. Discrete automatic control systems. - M., 2019. - 257 p.
9. Volodin E.V., Osipov O.I. Observers in vector control systems for a synchronous frequency-controlled drive of a sealed electric pump // Elektrotekhnicheskie sistemy i kompleksy. - 2017. - No. 3 (36). - S. 17-22.
10. Starikov A.V. Observer of the speed of rotation of an asynchronous motor / A.V. Starikov, E.V. Strizhakova, O.S. Belyaeva, A.A. Karim Altaher // Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Engineering sciences. - 2020. - T. 28, No. 4 (68). - S. 155-166.

© Петров В.Е., 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.

Для цитирования: Петров В.Е., ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВЕКТОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №6/2022.