

УДК 621.3.078

СИНТЕЗ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МОМЕНТНЫМ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Горячев О.В., Ефромеев А.Г., Степочкин А.О.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация

Аннотация. В современных робототехнических комплексах и оптико-электронных системах широко применяются моментные электродвигатели с высокоэнергетическими постоянными магнитами. Вопросы анализа и синтеза систем электропривода на их основе достаточно широко освещены в литературе, однако неизменно актуальными остаются вопросы разработки методики синтеза подобных систем с учетом специфики их математического описания. В работе предложен вариант синтеза алгоритма управления электроприводом данного типа с использованием нечеткого регулятора на основе принципов модельно-ориентированного проектирования. Рассмотренный подход к синтезу регулятора позволяет сократить время разработки описанных систем при обеспечении выполнения заданных требований технического задания.

Ключевые слова: моментный электродвигатель, нечеткий алгоритм управления.

SYNTHESIS OF A FUZZY CONTROLLER FOR ELECTRIC DRIVE WITH TORQUE MOTOR

Goryachev O.V., Efromeev A.G., Stepochkin A.O.

Tula State University
Tula, Russian Federation

Abstract. In modern robotic complexes and optical-electronic systems, torque electric motors with high-energy permanent magnets are widely used. The issues of analysis and synthesis of electric drive systems based on them are quite widely covered in the literature, but the issues of developing a methodology for the synthesis of such systems, taking into account the specifics of their mathematical description, remain invariably relevant. The paper proposes a version of the synthesis of a control algorithm for an electric drive of this type using a fuzzy controller based on the principles of model-based design. The considered approach to controller synthesis makes it possible to reduce the development time of the described systems while ensuring that the specified requirements of the technical specifications are met.

Key words: torque electric motor, fuzzy control algorithm.

Адрес для переписки: Степочкин А.О., пр. Ленина, 95, г. Тула, 300012, Российская Федерация
e-mail: s.a.o.1984@yandex.ru

Введение. Использование модельно ориентированного проектирования (МОП) позволяет эффективно осуществлять разработку систем электропривода, удовлетворяющих современным жестким требованиям к заданному комплексу характеристик. Основой МОП является модель объекта управления или процесса [1], а конечной целью – программная реализация синтезированного алгоритма управления, которая может быть получена, в частности, с помощью *MATLAB Simulink Coder* либо кодогенератора пакета *SimInTech*. Рассматриваемая система электропривода реализована на базе моментного исполнительного двигателя (ИД) с векторным управлением моментом и нечетким регулятором. Модель системы векторного управления моментным двигателем рассмотрена, в частности, в [2]. Моделирование системы управления для асинхронного двигателя с регулятором на основе нечеткой логики представлено в работе [3]. В представленной работе акцент сделан на особенности разработки модели системы управления с учетом специфики математического описания элементов электропривода.

Разработка модели электропривода. Важнейшим этапом синтеза электропривода является

анализ и поэлементное математическое описание его функциональных элементов итогом которого является получение модели располагаемой части системы, которая может быть декомпозирована на модели информационной и силовой подсистем. Математическое описание элементов системы целесообразно начинать с силовой подсистемы, определяющей регулируемые выходные фазовые координаты привода (скорость, угол поворота). Ключевым ее элементом является ИД, представляющий собой трехфазную синхронную электрическую машину математическое описание которой, подробно рассмотренное в [4], базируется на известных уравнениях Лагранжа-Максвелла и отражает инерционность процессов электромагнитного и электромеханического преобразования энергии.

Полученную модель трехфазной синхронной электрической машины целесообразно привести к эквивалентной двухфазной, что позволяет уменьшить число уравнений, описывающих ее работу для чего используется координатное преобразование Кларк. Силовым преобразователем в рассматриваемой системе выступает автономный инвертор напряжения, математическое описание

которого отражает инерционность процесса электромагнитного преобразования энергии в силовых ключах и представлено в [5]. Модель информационной подсистемы в данном случае включает в себя нечеткий регулятор и подсистемы, реализующие векторное управление моментом ИД [6]: блок перекомпенсации и блоки координатных преобразований Парк. Полученная Simulink-модель электропривода представлена на рисунке 1.

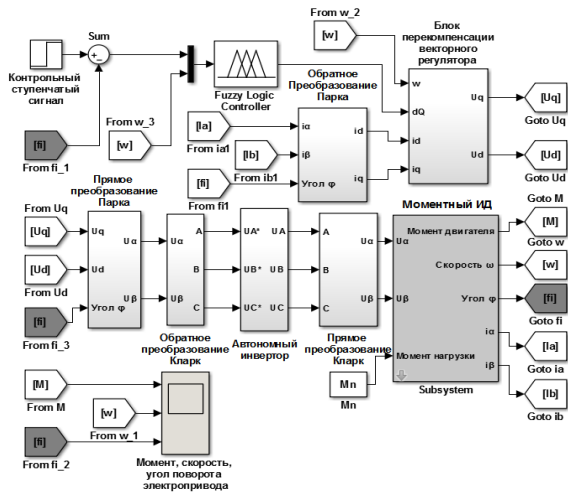


Рисунок 1 – Simulink-модель электропривода

Синтез нечеткого регулятора. Нечеткий алгоритм управления позволяет добиться высокой эффективности управления в системах где большое количество нелинейных элементов математического описания усложняют линеаризацию и создание эквивалентной упрощенной модели.

В данном случае определяются две входные лингвистические переменные: «ошибка» и «скорость», для каждой определяется терм множество и формируются функции принадлежности, представленные на рисунке 2.

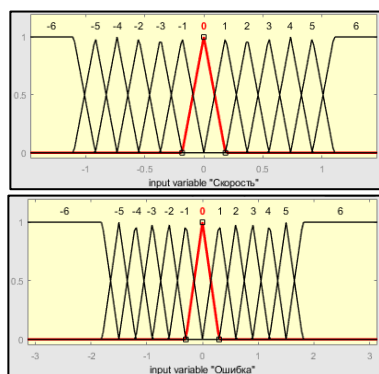


Рисунок 2 – Функции принадлежности

Поверхность функции преобразования нечеткого регулятора представлена на рисунке 3.

Полученные с помощью модели с регулятором расчетные переходные процессы для ключевых фазовых координат системы электропривода представлены на рисунке 4.

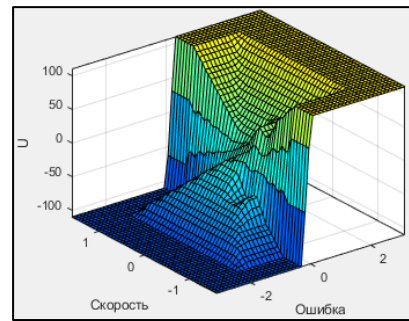


Рисунок 3 – Функция преобразования нечеткого регулятора

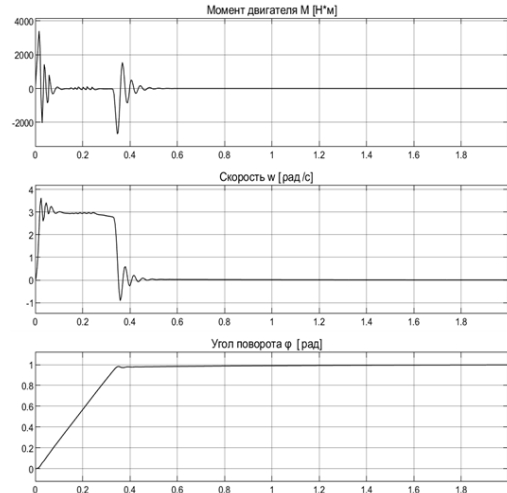


Рисунок 4 – Расчетные переходные процессы

Анализ расчетных динамических характеристик системы показывает эффективность применения нечеткого регулятора при реализации системы управления электроприводом.

Закключение. В работе представлен один из подходов к разработке алгоритма управления электропривода на базе моментного ИД. Показана целесообразность применения МОП для решения широкого круга задач анализа и синтеза подобных систем. Рассмотрены принципы разработки модели привода и методика синтеза нечеткого регулятора.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания по теме FEWG-2022-0003.

Литература

1. Громашева, О.С. Модельно-ориентированный подход для автоматизации генерации программного кода для встраиваемых систем из модели MATLAB/SIMULINK / О.С. Громашева, М.Е. Дьяченко, Д.А. Оськин // Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 10. – С. 92–97.
2. Фролов, В.Я. Разработка системы бездатчикового векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами в Matlab Simulink / В.Я. Фролов, Р.И. Жилиготов // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 92–97.
3. Моделирование системы прямого управления моментом асинхронного двигателя с регулятором на

основе нечеткой логики в Simulink / М.Г. Данилова [и др.] // Инженерный Вестник Дона. – 2017. – № 2.

4. Копылов, И.П. Математическое моделирование электрических машин: уч. для вузов. – 3-е изд. перераб. и доп. / И.П. Копылов. – М. : Высшая школа. 2001. – 327 с.

5. Калачев, Ю.Н. Преобразователи автономных источников электроэнергии / Ю.Н. Калачев, А.Г. Александров. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 80 с.

6. Калачев, Ю.Н. Векторное управление (заметки практика) / Ю.Н. Калачев. – М., 2013.

УДК 620.179.14

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ РАЗНОТОЛЩИННОЙ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т

Чернышев А.В., Шарандо В.И., Кременькова Н.В., Пиунов В.Д.

*ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси»,
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследовано влияние степени пластической деформации образцов из листа стали 12Х18Н10Т толщиной 1 мм, наружных и внутренних слоев листа этой же стали толщиной 10 мм, на амплитуды вносимой ЭДС и ее третьей гармонической составляющей накладного вихретокового преобразователя. Изучены возможности и условия применения этих методов измерений для контроля процесса деформационного образования ферромагнитной фазы. Показано, что он протекает наиболее интенсивно во внутренних слоях толстого листа и наименее активно в тонком листе.

Ключевые слова: электромагнитный контроль, аустенитная сталь, пластическая деформация, толщина.

ELECTROMAGNETIC CONTROL OF DEFORMATION PROCESSES OF 12Cr18Ni10Ti SHEET STEEL WITH DIFFERENT THICKNESSES

Chernyshev A.V., Sharando V.I., Kremenkova N.V., Piunov V.D.

*Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The influence of the degree of plastic deformation of specimens from a sheet of steel 12Cr18Ni10Ti with a thickness of 1 mm, the outer and inner layers of a sheet of the same steel with a thickness of 10 mm, on the amplitudes of the introduced EMF and its third harmonic component of the superimposed eddy current transducer was studied. The possibilities and conditions of application of these methods of measurements for controlling the process of deformation formation of the ferromagnetic phase have been studied. It is shown that it proceeds most intensively in the inner layers of thick sheet and least actively in a thin sheet.

Key words: electromagnetic control, austenitic steel, plastic deformation, thickness.

*Адрес для переписки: Чернышев А.В., ул. Академическая, 16, г. Минск, 220072, Республика Беларусь
e-mail: lab1@iaph.bas-net.by*

Выпускаемые промышленностью нержавеющей стали непосредственно после изготовления имеют преимущественно парамагнитную γ -структуру. Их механическая обработка может приводить к возникновению ферромагнитной α -фазы – мартенсита деформации. В работе [1] рассмотрена возможность изучения процессов пластической деформации толстолистовой стали 12Х18Н10Т по измерениям амплитуды третьей гармонической составляющей выходной ЭДС накладного преобразователя. В [2] исследовано влияние толщины пластически деформированных образцов из этой стали на амплитуды вносимой ЭДС накладного вихретокового преобразователя и ее третьей гармонической составляющей. Установлено, что изменение обеих амплитуд прекращается с достижением толщин образцов 2–3 мм.

Целью настоящей работы являлось получение зависимостей амплитуд вносимой ЭДС и ее третьей гармонической составляющей от степени деформации образцов, выполненных из

промышленно выпущенного тонкого листа стали 12Х18Н10Т, а также слоев на поверхности и в глубине ее толстого листа.

Проводились измерения амплитуды E вносимой ЭДС накладного вихретокового преобразователя, состоящего из трех расположенных соосно катушек – поля возбуждения, измерительной и компенсационной. Две последние располагались у торцов катушки поля возбуждения и были включены дифференциально между собой. Наружный диаметр всех катушек 10 мм. По катушке поля возбуждения пропускался синусоидальный ток частотой 2,5 кГц.

Амплитуда третьей гармонической составляющей E_3 выходной ЭДС измерялась с помощью прибора ПКТ-2 [3].

Для получения образцов из наружного и среднего слоев стального листа толщиной 10 мм в состоянии поставки были вырезаны пластинки размером 20×20 мм², толщиной около 2 мм и прошлифованы до толщин 1,4–1,5 мм. Пластинки та-