

Компьютерная модель статического преобразователя со встроенной нечеткой системой управления

А. А. Леута¹, М. А. Кузнецов², Е. С. Исаков³
СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

¹leuta@mail.ru, ²kuznmich@mail.ru, ³isakov4@mail.ru

А. А. Южаков

ПНИПУ

Аннотация. Рассматриваются примеры построения и проверки функционирования модели статического AC/DC/AC-преобразователя с гальванической развязкой и многопараметрической модели встроенной нечеткой системы управления преобразователем в среде MATLAB с использованием библиотек Simulink, SimPowerSystems для силового канала и Toolbox, Fuzzy logic для системы управления с последующим объединением этих моделей в одну.

Ключевые слова: преобразователь электроэнергии; нечеткие системы; управление; регулятор; стабилизатор; модель

I. ВВЕДЕНИЕ

Моделирование статического преобразователя как один из этапов его создания, предшествует макетированию и испытаниям нового образца данного вида техники. Компьютерное моделирование не только менее затратно и более безопасно в проведении экспериментальных исследований, но и позволяет убедиться в правильности функционирования алгоритмов во всех режимах работы изделия, включая аварийные и им предшествующие, то есть такие в которых могут проявляться, а значит и выявляться параметры и процессы, приводящие к выходу из строя отдельных компонентов схемы.

Особую роль компьютерное моделирование играет в решении задач перехода на новые принципы функционирования, новые компоненты и алгоритмы реализации функций управления. Возможности среды компьютерного моделирования MATLAB сегодня представляются наиболее подходящими для этого, благодаря наличию и постоянному развитию библиотек инструментов и примеров практически в любых областях техники. Так возможности моделирования в сфере силовой электроники вместе с компонентами и элементами, реализующими методы теорий систем управления, обеспечиваются библиотеками Simulink, SimPowerSystems, и Toolbox, Fuzzy Logic.

Используя эти возможности предлагается рассмотреть процесс построения оригинальной модели статического AC/DC/AC-преобразователя с гальванической развязкой и глубоким регулированием и стабилизацией выходного напряжения. Такой преобразователь может быть использован как в управляемом электроприводе, так и в качестве имитатора сигналов при проведении предварительных имитационных испытаний аппаратуры электроавтоматики судовых электроэнергетических объектов.

Схема преобразователя представлена на рис. 1.

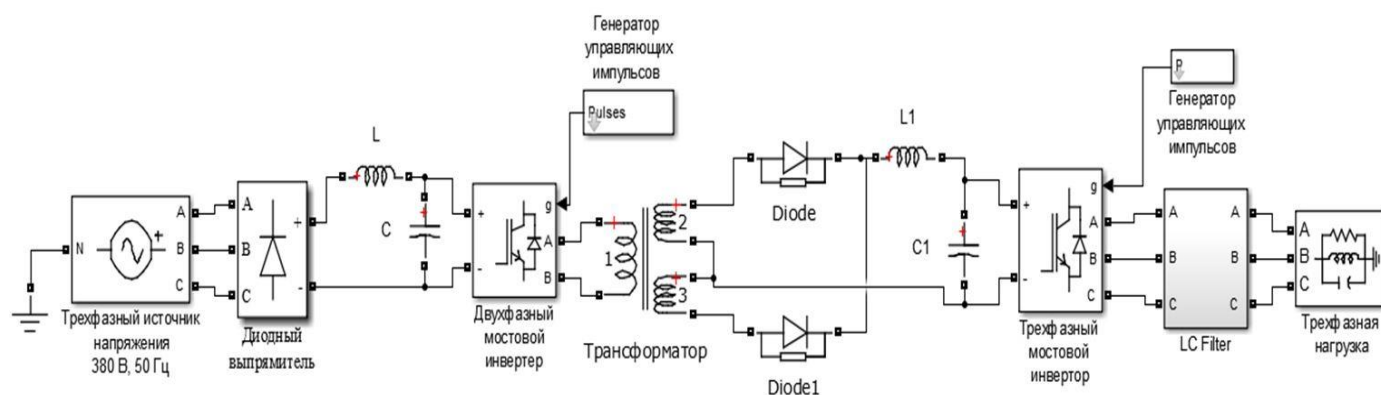


Рис. 1. Схема силового канала статического AC/DC/AC-преобразователя с гальванической развязкой входа и выхода

II. ПОСТРОЕНИЕ И ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДЕЛИ СИЛОВОГО КАНАЛА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

При построении модели силового канала преобразования электроэнергии использованы компоненты библиотеки SimPowerSystems (рис. 1, слева-направо): трехфазный источник напряжения 380 В, частотой 50 Гц; диодный выпрямитель и LC-фильтр; транзисторный мостовой инвертер; высокочастотный трансформатор; диоды в схеме выпрямителя со средней точкой; высокочастотный LC-фильтр; трехфазный мостовой инвертер; выходной трехфазный LC-фильтр и трехфазная активно-реактивная нагрузка.

Как видно из схемы, управление процессом преобразования электроэнергии может осуществляться в двух точках – на двух мостовых инверторах, с помощью подключенных генераторов управляющих импульсов.

Первый мостовой инвертор, под управлением генератора широтно-модулированных импульсов, обеспечивает поступление разнополярных импульсов амплитудой U_1 повышенной частоты на трансформатор, после которого напряжение выпрямляется и сглаживается, в результате чего можно получать регулируемый уровень постоянного напряжения в диапазоне $(0 \dots U_{2\max})$ В. Необходимость в трансформаторе обусловлена требованием гальванической развязки выхода от входа преобразователя, а выбор повышенной частоты формируемых генератором импульсов позволяет уменьшить габариты трансформатора.

Второй управляемый инвертор позволяет получать переменное напряжение (например для электродвигателей), а вместе с фильтром позволяет получать сглаженное переменное напряжение синусоидальной или другой формы в зависимости от принципа работы его генератора управляющих импульсов. Таким образом, на выходе преобразователя, можно получать регулируемое и стабилизированное напряжение различной частоты и амплитуды. Функционирование модели и управляемость параметров (амплитудой, частотой и фазой) напряжения на выходе преобразователя подтверждается приведенными на рис 2 осциллограммами. Преобразователь соответствует целям его разработки.

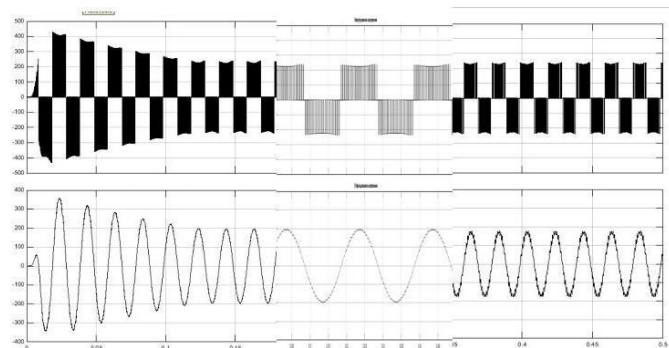


Рис. 2. Осциллограммы работы модели силового канала преобразователя

III. ПОСТРОЕНИЕ И ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим обобщенную структуру, представленную на рис. 3, иллюстрирующую взаимодействие силового канала преобразования электроэнергии и встроенной системы управления. В схеме приведены потоки данных используемых системой управления независимо от типа преобразователя. Это показывает, что система имеет много входов и выходов, то есть является многопараметрической и, поэтому, не так уж проста в реализации.

Статический преобразователь электроэнергии, представленный на рис. 3, состоит из схемы силового преобразования электроэнергии, устройства индикации состояний (GOR) и встроенной нечеткой системы управления. В функцию системы управления входит стабилизация выходного напряжения ($U_{\text{Вых}}$) в заданных пределах, через управляющее воздействие (F), в условиях неустойчивости входного напряжения ($U_{\text{Вх}}$), величины нагрузки ($Z_{\text{нагр}}$) в широких пределах (включая перегрузку и коротких замыканий в цепях нагрузки (по параметру $I_{\text{Вых}}$)), с учетом влияния температуры силовых ключей и внутренней электромагнитной обстановки (T).

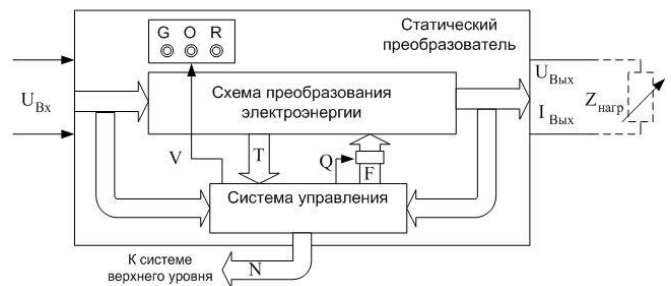


Рис. 3. Взаимодействие схемы преобразования электроэнергии со встроенной системой управления

Система управления также должна быть способна самостоятельно обеспечивать защитные выключения выходного напряжения (сигналом Q) в опасных ситуациях, например, при перегрузках, коротких замыканиях или недопустимых уровнях напряжения на входе, и формировать сигналы-сообщения (N) в систему верхнего уровня о текущем состоянии. Локальная сигнализация о состоянии преобразователя дублируется сигналом-сообщением (V) для цветных светодиодных индикаторов (G, O, R).

С учетом вышеназванного, представляется целесообразным, при реализации такой системы управления, применить методы теории систем нечеткого вывода, как альтернативы классической теории управления.

Согласно теории и практике систем нечеткого вывода, на подготовительном этапе, сначала определяется перечень входных и выходных параметров для системы, затем каждый из этих параметров приводится к виду формального описания (как показано на рис. 4).

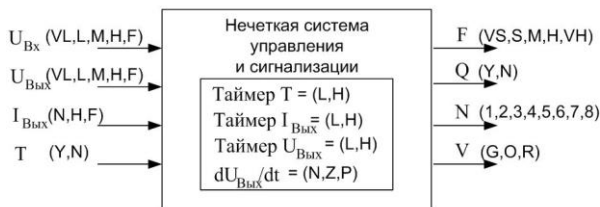


Рис. 4. Спецификация многопараметрической модели нечеткой системы преобразователя

При этом весь возможный диапазон изменений для каждого из параметров разбивается на поддиапазоны (на рис. 4 приведены в скобках), которые описываются функциями принадлежности выбранного типа, возможно с перекрытиями, что и определяет нечеткость данных.

В качестве примера на рис. 5 приведен вид функций принадлежности для входных и выходных напряжений, где поддиапазоны обозначены как – очень низкое (Very Low) – Z-образная функция принадлежности с параметрами (70 75); низкое (Low) – трапециевидальная функция с параметрами (70 75 90 95); нормальное (Middle) – трапециевидальная функция с параметрами (90 95 105 110); высокое (High) – трапециевидальная функция с параметрами (105 110 125 130); аварийное (Fault) – S-образная функция принадлежности с параметрами (125 130).

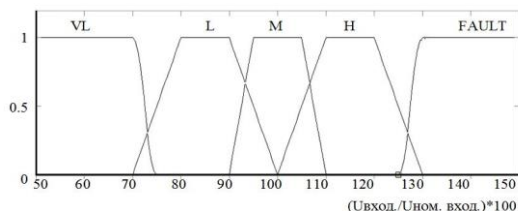


Рис. 5. Вид и значения функций принадлежности поддиапазонов входного напряжения.

В Matlab/Toolbox/Fuzzy предоставляется две возможности ввести эти данные в компьютер: в виде строк программы (m-файл) и с помощью графического инструментального редактора (технология GUI) как показано на рис. 6.

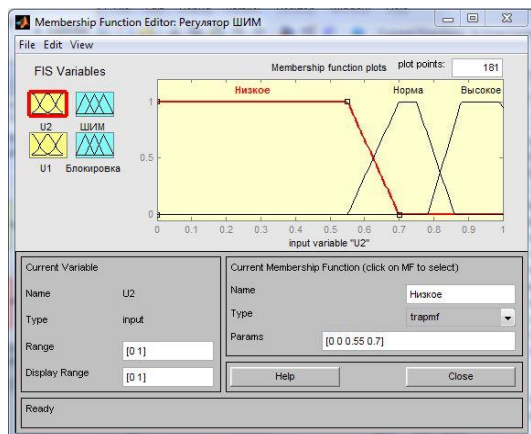


Рис. 6. Ввод и редактирование функций принадлежности по технологии GUI

Когда аналогичным образом формализуются все приведенные на рис. 4 переменные, включая и промежуточные (внутренние), осуществляется второй подготовительный этап: формирование базы правил нечеткого вывода в виде выражений типа «Если U_{Bx} (H), То F (S), как показано на рис. 7.

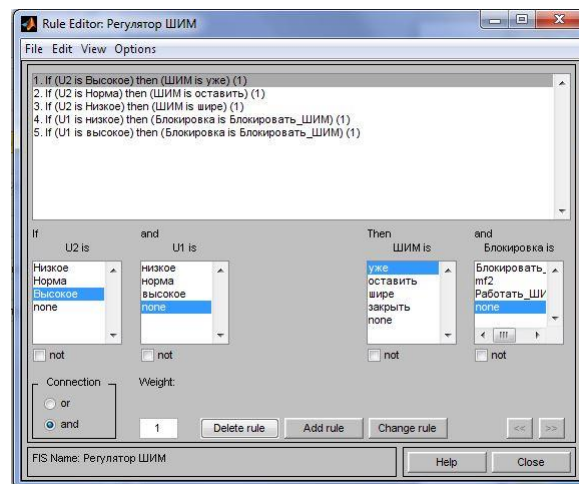


Рис. 7. Ввод и редактирование базы правил по технологии GUI

В соответствии с алгоритмом рис. 8 подготовительные этапы считаются завершенными и переходят к циклической части работы с моделью.

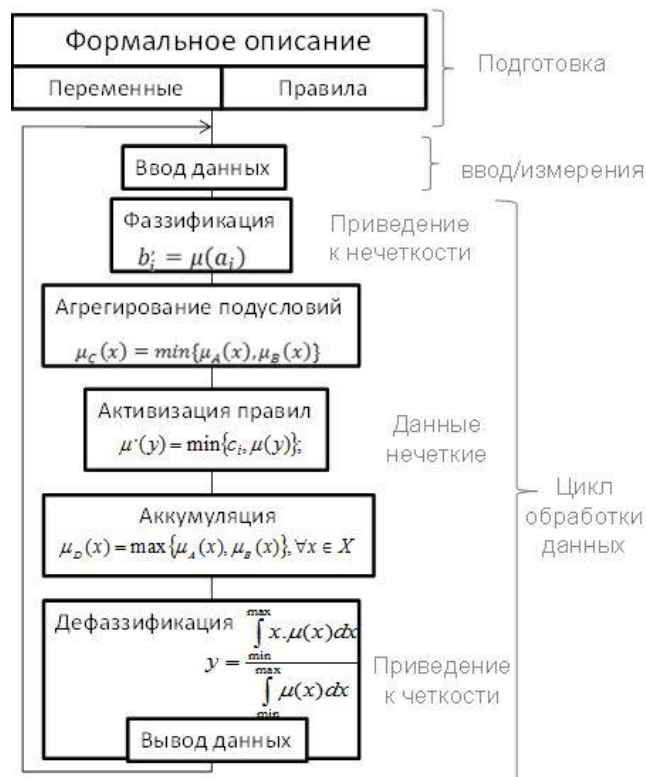


Рис. 8. Алгоритм создания и работы модели системы нечеткого вывода

Оценку построенной системы выполняем анализом результатов нечеткого вывода как реакции системы на ввод

конкретных значений для входных лингвистических переменных. С этой целью воспользуемся возможностями системы MATLAB Fuzzy Logic Toolbox, а именно: процедуры задания значений входных переменных, просмотра функционирования правил и вывода результатов. Пример формы представления результатов моделирования показан на рис. 9, что подтверждает наглядность функционирования модели в целом и каждого правила в отдельности.

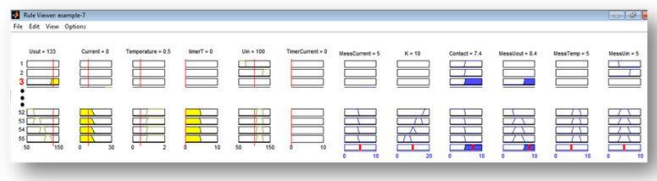


Рис. 9. Вид экрана при наблюдении за многопараметрической моделью нечеткого вывода

Имеется возможность путем плавного изменения входных значений сразу же наблюдать и проверять соответствующее изменение результатов как по каждому правилу, так и по конкретным выходным переменным. Это дает возможность детально проверить и отладить работу созданной модели

Основным результатом данного этапа моделирования является созданная и проверенная база знаний об объекте, то есть совокупность баз данных и баз правил, а также отобранный метод нечеткого вывода.

Для общего анализа разработанной нечеткой модели может оказаться полезной визуализация соответствующих поверхностей нечеткого вывода для каждой выходной переменной. Однако следует учитывать, что возможности визуализации на плоскости ограничены двух мерным или трехмерным представлением данных. Поэтому, в то время как разработанная модель статического преобразователя является многопараметрической, в качестве иллюстрации частных результатов нечеткого вывода мы сможем привести зависимости результата от двух входных координат, то есть поверхности только для двух выбранных входных параметров, как показано на рис. 10.

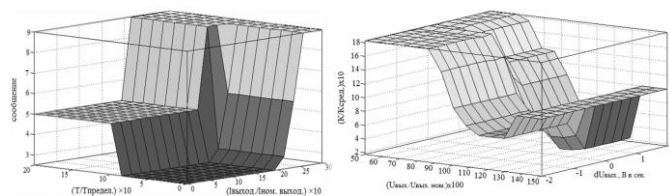


Рис. 10. Вид результирующих поверхностей нечеткого вывода

После проверки работоспособности полученной многопараметрической модели системы нечеткого вывода можно приступить к общей сборке компьютерной модели статического преобразователя со встроенной системой управления. Для этого используются порты ввода и вывода этих двух исходных моделей.

Как следует из ранее рассмотренного модель системы управления должна быть использована дважды, то есть применена к каждому из генераторов импульсов управления инвертором.

В результате получена многопараметрическая математическая модель статического преобразователя электроэнергии, позволяющая получать конкретные значения множества выходных переменных в зависимости от изменений и сочетаний множества входных и промежуточных переменных (входное напряжение, выходное напряжение, выходной ток, температура). Отметим, что для построения подобной системы управления и моделирования ее функционирования не требуется построения систем уравнений, как по методам классической теории управления, а достаточно простых правил, составленных с учетом экспертных оценок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Леута А.А., Нгуен М.Д., Нгуен Ч.Ч. Информационная поддержка принятия решений по оперативному управлению объектами судовой электроэнергетики с применением методов нечеткой логики // Известия государственного электротехнического университета. Сер. «Автоматизация и управление». СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. №1. С. 61–67.