



УДК 621.314

Бурмакин Олег Анатольевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»;

Попов Сергей Васильевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»;

Малышев Юрий Сергеевич, доцент, к.т.н. кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ».

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С РЕГУЛЯТОРОМ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СРЕДЕ МАТЛАБ

Аннотация. В статье рассмотрено применение нечеткой логики в системе возбуждения генератора, работающего в судовой электроэнергетической системе переменной частоты вращения. Предложена имитационная модель для изучения синхронного генератора переменной частоты вращения. Указана возможность использования модели для получения переходных процессов напряжения при различном характере нагрузки.

Ключевые слова: система возбуждения, нечеткая логика, судовая электростанция, модель синхронного генератора.

Системы возбуждения синхронных генераторов отличаются большим разнообразием, начиная от трансформаторных систем с фазовым компаундированием и аналоговыми корректорами напряжения, импульсных с ШИР и до электронных систем регулирования с форсировкой.

Разработка различных моделей судовых генераторных систем ведется давно, с течением времени модели совершенствуются, переходят на новую элементную базу. С целью достижения более качественных переходных процессов интерес представляет использование законов нечеткой логики в регуляторах возбуждения синхронных генераторов [1]. Такие регуляторы работают по отклонению, и в зависимости от величины рассогласования изменяют свой выходной сигнал, то есть адаптируются. Именно это позволяет улучшить кривые переходных процессов в судовых генераторных системах.

Существует ряд микроконтроллеров, поддерживающих нечеткую логику, например, 68HC12 и 68HC11 фирмы Motorola, MCS-96 фирмы Intel и другие [2]. Структура микроконтроллера, работающего на нечеткой логике, показана на рисунке 1. Она содержит в своем составе следующие составные части: блок фаззификации, базу знаний, блок решений и блок дефаззификации [2,3,4].

Блок фаззификации - изменяет четкие величины на выходе объекта управления в нечеткие величины, которые в описываются лингвистическими переменными.

База знаний – устанавливает зависимости между нечеткими и четкими величинами на основе составленных правил.

Блок решений принимает нечеткие условные правила для преобразования нечетких входных данных в управляемое воздействие, которое имеет нечеткий характер.

Блок дефазификации - изменяет нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая применяется для управления объектом.



Рис.1. Структура микроконтроллера, работающего на нечеткой логике

Используя представленную структуру, в пакете «Matlab Simulink» была разработана модель (рис. 2), основу которой составляет генератор переменной частоты вращения. Система возбуждения генератора реализована на базе нечеткого регулятора. В силовую часть схемы моделирования входят неуправляемый выпрямитель, инвертор и нагрузка.

При разработке модели использовалась следующая элементная база прикладного пакета «Simulink»:

- графический интерфейс пользователя - блок «Powergui», который дает возможность выбора метода для решения модели. Так как в модели использован блок «Fuzzy Logic Controller» метод решения выбран «Continuous» - непрерывный с решателем дифференциальных уравнений «ode45». Только данный метод решения способен решить требуемые задачи Коши;

- модель синхронной машины с демпферной обмоткой «Synchronous Machine pu Fundamental», где параметры машины задаются в системе относительных единиц;

- блок «Universal Bridge1» выполняет функции трехфазного неуправляемого мостового выпрямителя, а «Universal Bridge» инвертора с регулятором напряжения «Voltage Regulator»;

- блок «LC Filter» используется для погашения помех, а также для сглаживания пульсаций напряжения на выходе инвертера;

- измеритель частоты состоит из двух блоков «Triggered Subsystem», соединенных последовательно, между которыми включен блок «Memory», выполняющий задержку на один шаг расчета. Обе подсистемы имеют только входной и выходной порты, а также линию связи между ними;

- блок «Discrete RMS value1» приводит измеряемую величину к среднему значению и выводится на «Scope1» для визуализации, а блоки «Voltage Measurement» и «Current Measurement» служат для измерения напряжения и тока, соответственно;

- блок «Sine Wave» задает частоту вращения ротора синхронного генератора, в целях моделирования работы генератора переменной частоты.

Модель нечеткого регулятора «Fuzzy Logic Controller», осуществляющая систему нечеткого вывода, представлена на рис. 3. Разработка системы нечеткого вывода производится в программном обеспечении «Fuzzy Logic Toolbox».

Настройки «Fuzzy Logic Toolbox» выполняются таким образом, чтобы во всех эксплуатационных режимах работы в звене постоянного тока поддерживалось неизменное напряжение. Поэтому входным сигналом регулятора будет величина напряжения звена

постоянного тока, а выходным - напряжение питания обмотки возбуждения генератора. Связь между входными и выходными сигналами показана на рис 3.

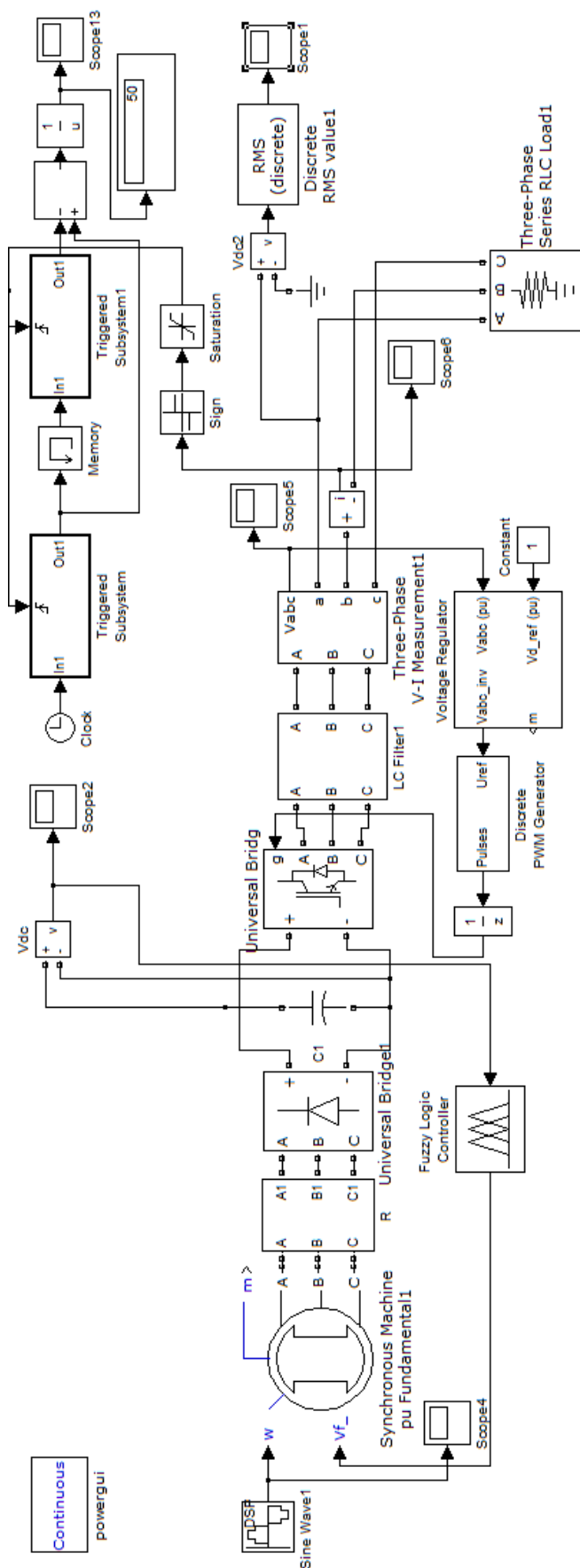


Рис.2. Схема моделирования синхронного генератора переменной частоты вращения

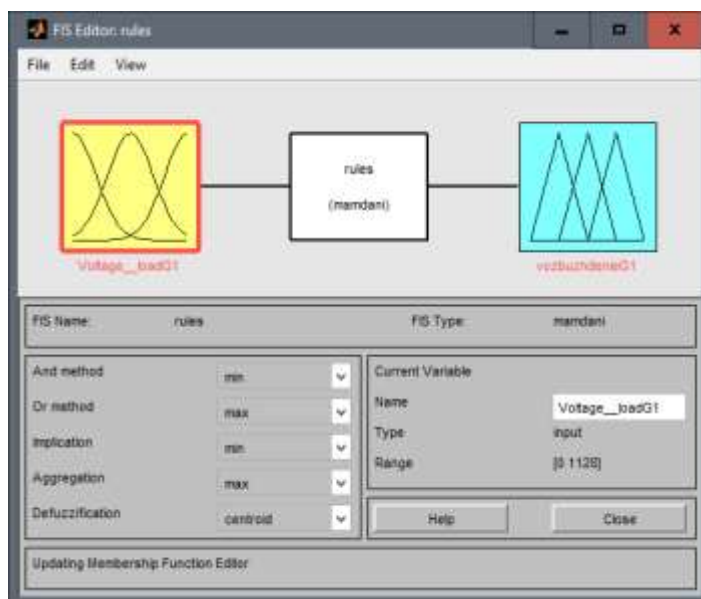


Рис.3. Структура и параметры настройки регулятора «Fuzzy Logic Controller»

Связь лингвистических переменных и четких значений входного сигнала показана на рисунке 4. Связь лингвистических переменных и четких значений выходного сигнала в относительных единицах показана на рисунке 5.

Записанные в базу знаний правила, связывающие лингвистические входные и выходные переменные, имеют следующий вид:

1. If (Voltage__loadG1 is nizkoe) then (vozbuzhdenieG1 is vyshe2) (1);
2. If (Voltage__loadG1 is silno__nizkoe) then (vozbuzhdenieG1 is vyshe1) (1);
3. If (Voltage__loadG1 is vysokoe) then (vozbuzhdenieG1 is nizhe2) (1);
4. If (Voltage__loadG1 is silno__vysokoe) then (vozbuzhdenieG1 is nizhe1) (1);
5. If (Voltage__loadG1 is nominal) then (vozbuzhdenieG1 is normal) (1);
6. If (Voltage__loadG1 is ochen__nizkoe) then (vozbuzhdenieG1 is vyshe3) (1);
7. If (Voltage__loadG1 is ochen__vysokoe) then (vozbuzhdenieG1 is nizhe3) (1).

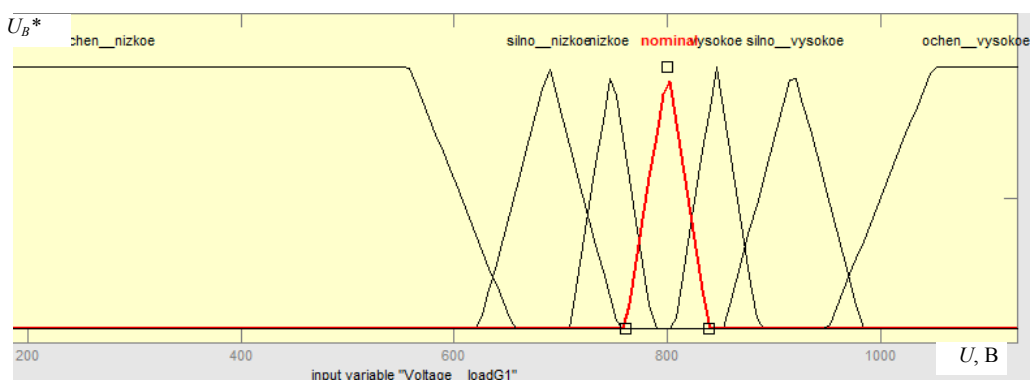


Рис. 4. Диаграмма параметров лингвистических переменных и четких значений входного сигнала

В процессе моделирования были получены диаграммы переходных процессов при изменении ряда параметров. Задачей моделирования являлось получение диаграмм напряжения в звене постоянного тока и на нагрузке при изменении частоты вращения приводного двигателя в некотором диапазоне.

На рисунке 6 показана диаграмма изменения частоты вращения двигателя, вращающего вал генератора, от номинального значения до 50 % от номинального. Снижение оборотов вала выполняется в течение 10 с.

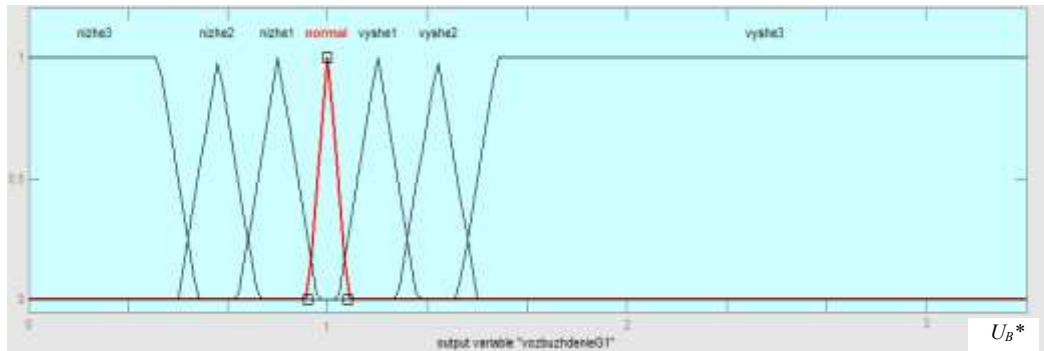


Рис. 5. Диаграмма параметров лингвистических переменных и четких значений выходного сигнала

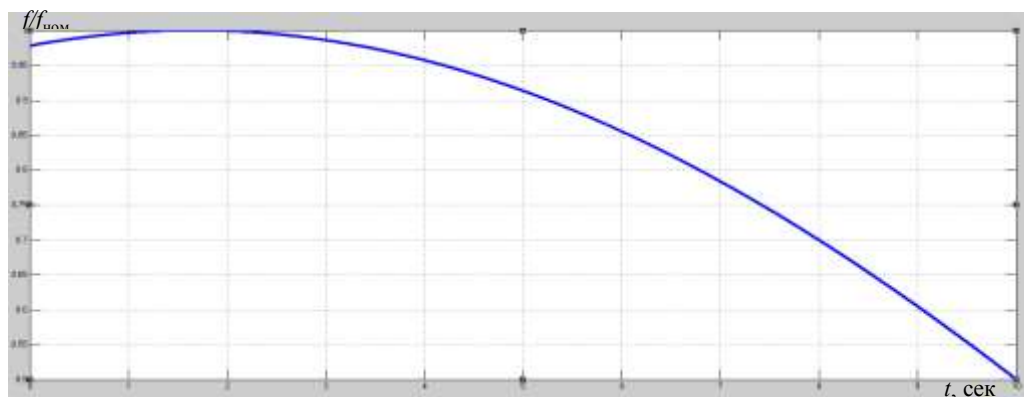


Рис. 6. Диаграмма частоты вращения двигателя

Снижение оборотов вала выполняется при подключенной к генератору, через звено постоянного тока, активной нагрузке, составляющей 40 % от мощности генератора.

Формирование частоты напряжения при запуске генераторного агрегата показано на диаграмме рисунка 7. Из переходного процесса видно, что частота напряжения достигает значения, близкого к номинальному – 50 Гц за время около 2 с, когда обороты двигателя практически номинальные. При снижении частоты вращения вала на 10 % от номинальной частота стабилизируется на постоянном уровне. Следует отметить, что на начальном участке переходного процесса вплоть до 1 с происходит запуск системы возбуждения и ее выход в режим регулирования.

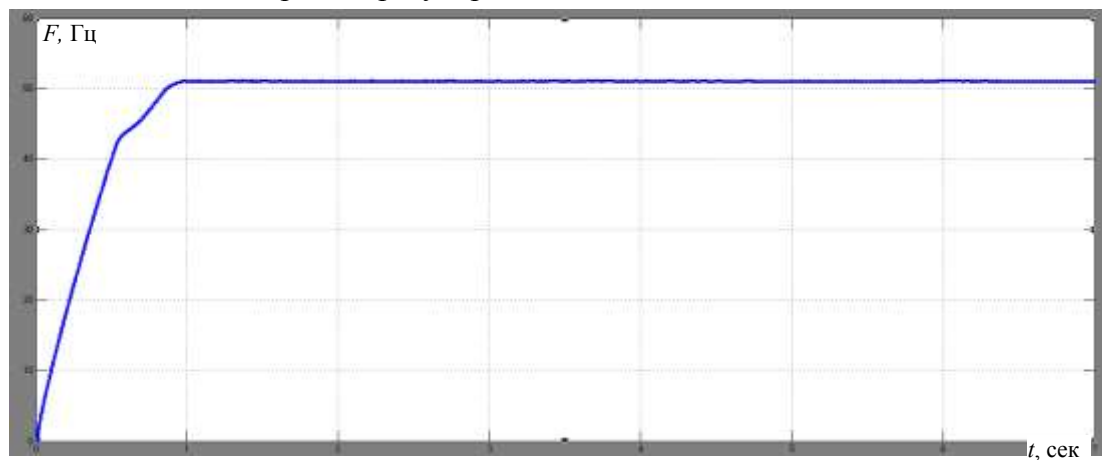


Рис. 7. Диаграмма частоты напряжения

Фазное напряжение на нагрузке (рисунок 8) также достигает значения, близкого к номинальному в районе 1 с, когда в действие вступает система возбуждения и силовой инвертор.

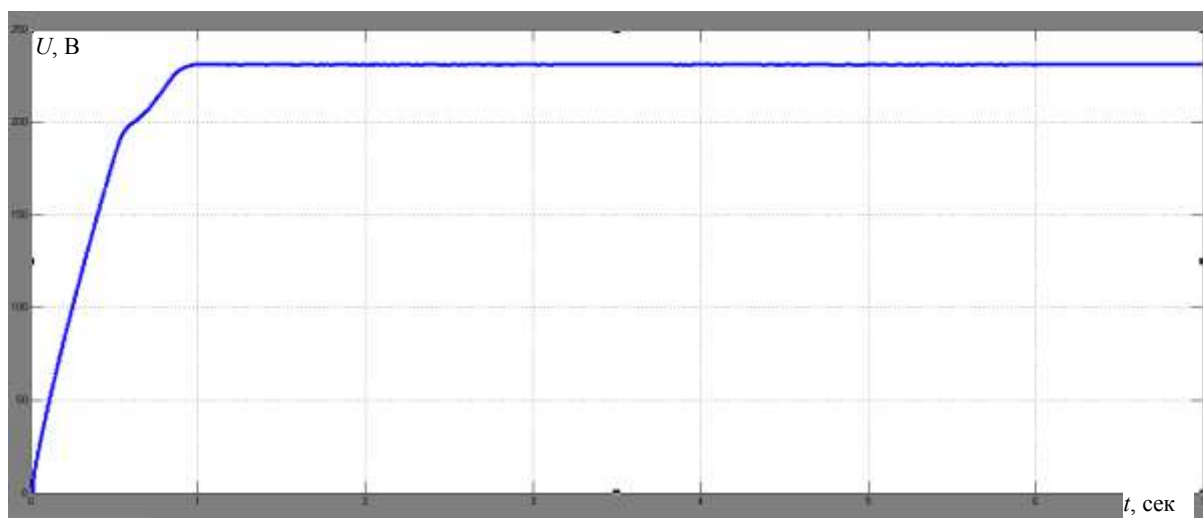


Рис. 8. Диаграмма фазного напряжения на нагрузке

Исходя из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что модель работоспособна и может быть использована для дальнейших исследований системы электроснабжения со звеном постоянного тока. Интересным может быть анализ работы системы при изменении характера нагрузки на генератор и расширение диапазона изменения скорости вращения приводного двигателя.

Кроме того, на базе такой модели возможно создание модели с параллельной работой двух и более генераторов с получением переходных процессов напряжения, что является предметом дальнейших исследований.

Список литературы:

- [1] Система управления напряжением генератора на базе нечёткой логики. Авторы И.С. Коберси, А.В. Кияшко, Е.А. Македонов, Е.Р. Крамаренко, В.И. Финаев.
- [2] Demonstration Model of fuzzy TECH™ Impementation on M68HC12, MOTOROLA, AN1295.
- [3] Пакет Fuzzy Logic Toolbox for MatLab. Автор В. С. Тарасян.
- [4] Abraham Kandel, Gideon Langholz. Fuzzy Control Systems. CRC Press, Inc. 1994.

MODEL OF A SYNCHRONOUS GENERATOR WITH A REGULATOR ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC IN THE MATLAB ENVIRONMENT

Oleg.A. Burmakin, Sergey.V. Popov, Yuriy. S. Malyshev

Annotation. The article discusses the use of fuzzy logic in the excitation system of a generator operating in a ship's electric power system of variable speed. A simulation model is proposed for studying a synchronous variable speed generator. The possibility of using the model to obtain transients of voltage at a different nature of the load is indicated.

Keywords: excitation system, fuzzy logic, ship power station, synchronous generator model