



УДК 621.316

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».

«Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»),
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ С РЕГУЛЯТОРАМИ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В СИСТЕМЕ ДВОЙНОГО РОДА ТОКА

Аннотация. В статье рассмотрено применение нечеткой логики в системе возбуждения валогенератора, работающего в судовой электроэнергетической системе с двойным родом тока. Предложена имитационная модель для изучения процессов при параллельной работе генераторов переменной частоты вращения с различным характером нагрузки.

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

Работа судовых валогенераторных установок (ВГУ) при работе с винтом фиксированного шага, как правило, происходит при переменной частоте вращения приводного двигателя, что влияет на качество вырабатываемой электроэнергии. По этой причине невозможна длительная параллельная работа ВГУ с основной станцией, а при снижении хода судна в маневровых режимах необходимо достаточно быстро переводить нагрузку с ВГУ на основную станцию, что снижает безопасность плавания.

Обеспечить длительную совместную работу источников электроэнергии с нестабильными выходными параметрами и основного генератора позволяет система двойного рода тока [1-3].

Стабильность работы системы двойного рода тока зависит от неизменности напряжения в звене постоянного тока. Поддержание уровня напряжения при переменной частоте вращения вала и изменяющимся характере и мощности нагрузки представляет интерес для создания и исследования модели САЭЭС.

Разработанная модель САЭЭС (рис. 1) выполнена на базе генератора переменной частоты вращения и синхронного генератора. Мощность генераторов - 60 кВА.

Параллельная работа осуществляется через звено постоянного тока, что не требует синхронизации и исключает переход генераторов в двигательный режим, т.е. возникновения обратных мощностей. Нагрузка переменного тока получает питание через инвертор и имеет следующие значения: активная постоянно подключенная мощностью 30 кВт, подключаемый АД мощностью 15 кВА, одновременно подключаемая активная –

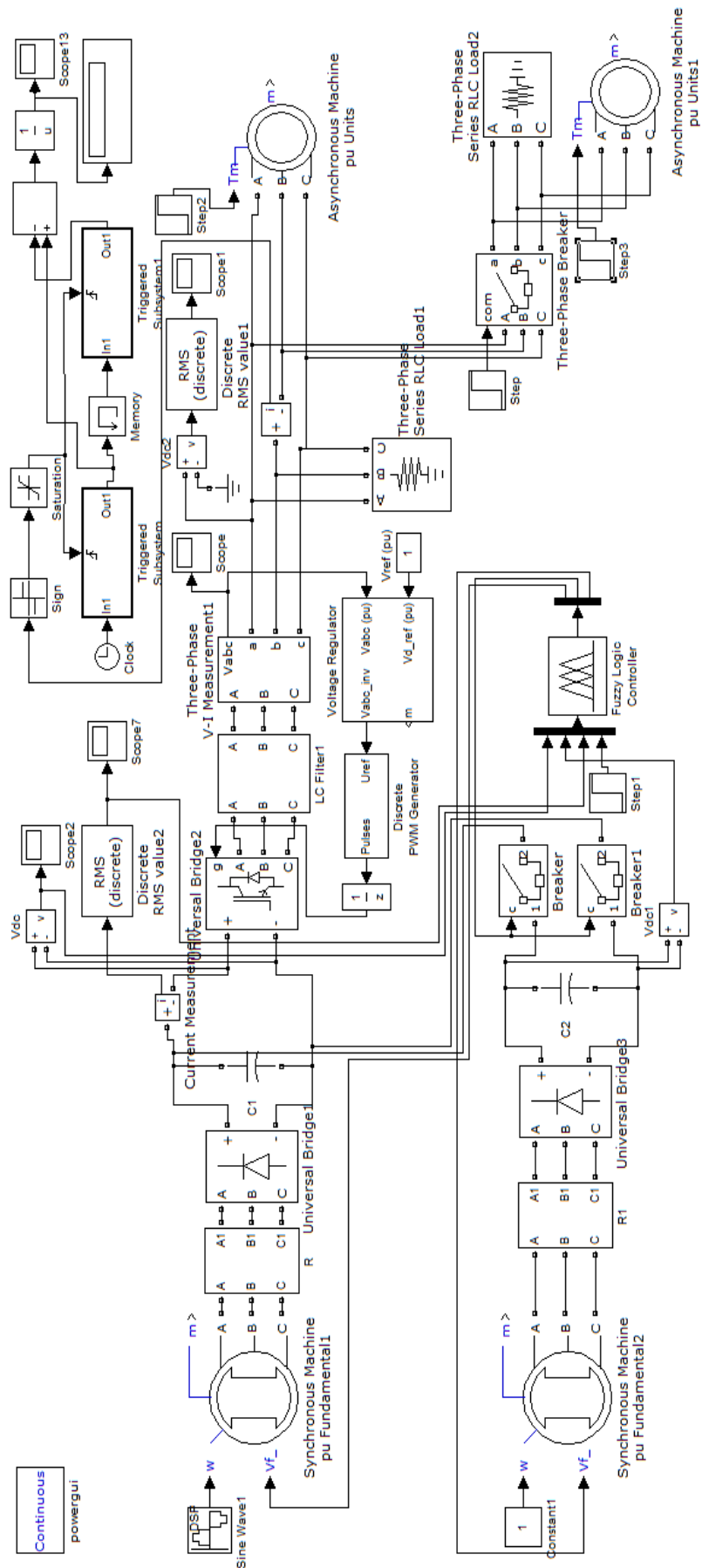


Рис. 1. Модель САЭС двойного рода тока на базе нечеткой логики

30 кВт и АД – 15 кВА. Модель позволяет исследовать процессы, происходящие в САЭС при снижении напряжения в звене постоянного тока при увеличении мощности нагрузки.

С целью достижения более качественных переходных процессов интерес представляет использование законов нечеткой логики в регуляторах возбуждения синхронных генераторов [4]. 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. Включение параллельного генератора происходит автоматически. Команда на подключение будет выдаваться блоком «FuzzyLogicController» при превышении заданного значения тока.

Структура «Fuzzy Logic Toolbox» приведена на рисунке 2.

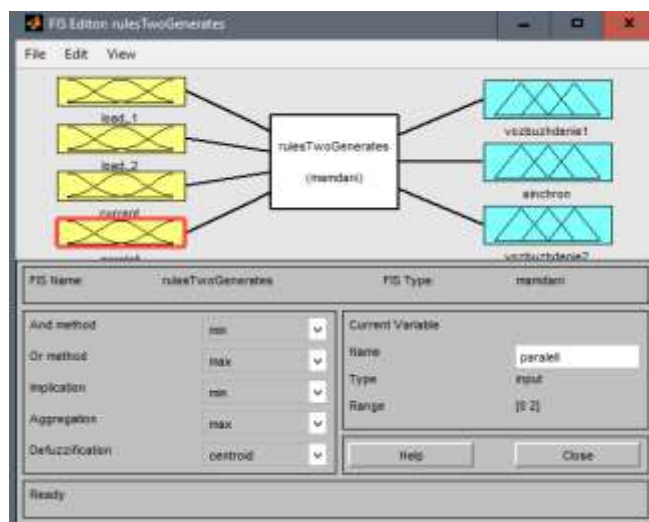


Рис.2. Структура «Fuzzy Logic Toolbox»

Параметры контроля выходного напряжения и подачи сигнала на возбуждение генераторов описаны в [3].

Заданные параметры контроля тока, сигнала «current», приведены на рисунке 3.

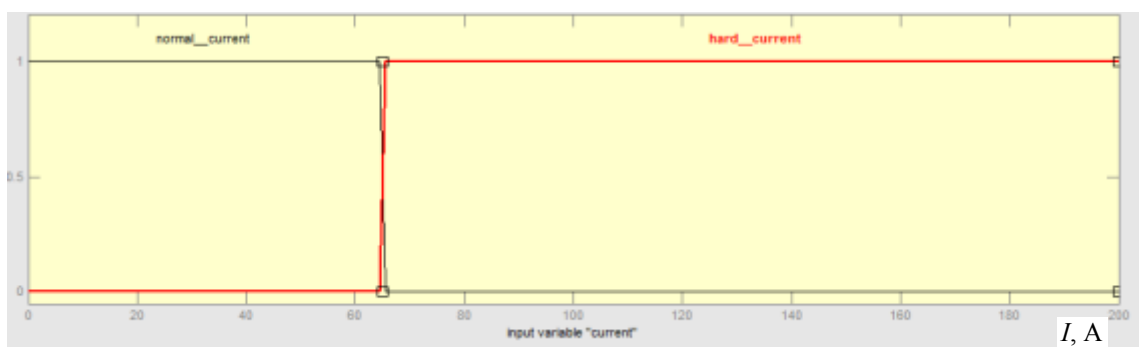


Рис.3. Заданные параметры контроля тока

Для включения в параллельную работу второго генератора требуется время для выхода на номинальную работу второго генератора. Для этого предусмотрен элемент «Step1», который подаст сигнал на возможность включения параллельной работы. Заданные параметры контроля возможности подачи сигнала «parallel» на параллельную работу приведены на рисунке 4.

Записанные в базу знаний правила, связывающие лингвистические входные и выходные переменные приведены ниже.

1. If (Voltage__loadG1 is nizkoe) then (vozbuhdzenieG1 is vyshe2) (1);
2. If (Voltage__loadG1 is silno__nizkoe) then (vozbuhdzenieG1 is vyshe1) (1);

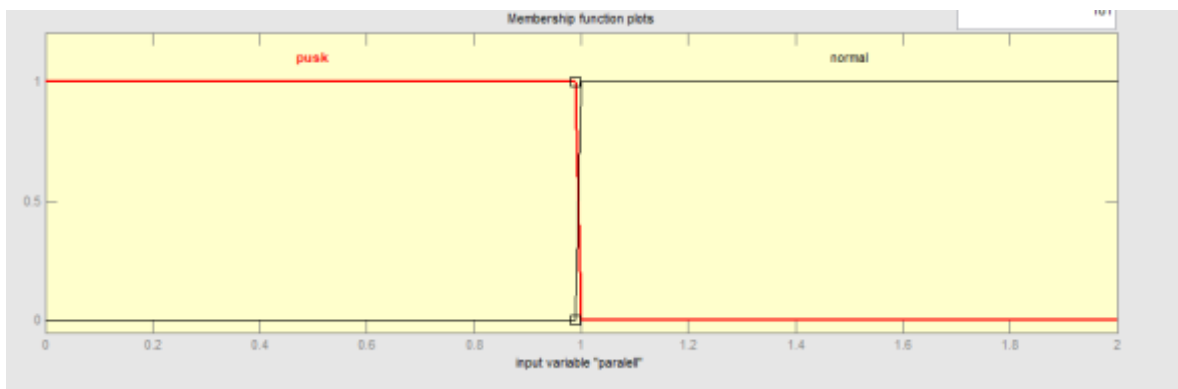


Рис.4. Заданные параметры контроля возможности подачи сигнала «parallel»

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);
8. If (load_G2 is ochen__nizkoe) then (vozbuzhdenie2 is vyshe3) (1);
9. If (load_G2 is silno__nizkoe) then (vozbuzhdenie2 is vyshe2) (1);
10. If (load_G2 is nizkoe) then (vozbuzhdenie2 is vyshe1) (1);
11. If (load_G2 is ochen__vysokoe) then (vozbuzhdenie2 is nizhe3) (1);
12. If (load_G2 is silno__vysokoe) then (vozbuzhdenie2 is nizhe2) (1);
13. If (load_G2 is vysokoe) then (vozbuzhdenie2 is nizhe1) (1);
14. If (load_G2 is vysokoe) then (vozbuzhdenie2 is normal) (1);
15. If (current is hard__current) and (paralell is normal) then (sinchron is puski) (1).

Моделирование выполнялось в следующей последовательности:

- запуск приводного двигателя и самовозбуждение генератора;
- запуск инвертора с подключенной активной нагрузкой мощностью 30 кВт;
- подключение дополнительно асинхронной нагрузки мощностью 15 кВА;
- по истечении 2 секунд от начала моделирования, с помощью элемента «Step»,

подается сигнал на «Three-Phase Breaker», который подключает к шинам дополнительно 30 кВт активной и асинхронной - 15 кВА нагрузки. Нагрузка на двигатели обеспечивается через порт «Tm» с помощью элементов «Step2» и «Step3» в относительных единицах.

- подключение дополнительной нагрузки вызывает перегрузку генератора, поэтому автоматически запускается второй генератор и включается на параллельную работу с первым. При снижении нагрузки второй генератор будет выведен из параллельной работы автоматически.

Сигнал на включение в параллельную работу подается с выхода «FuzzyLogicController» на порты «с» элементов «Breaker» и «Breaker1», которые подключают выходы выпрямителя «Universal Bridge3» к входным портам инвертора «Universal Bridge2».

В результате моделирования были получены следующие диаграммы переходных процессов. Диаграмма изменения напряжения в цепи переменного тока первого генератора, измеряется осциллографом «Scope1», приведена на рисунке 5.

При подключении повышенной нагрузки наблюдается провал напряжения 30% на выходе генератора, однако путем своевременного подключения дополнительного генератора снижение напряжения в звене постоянного не превышает 3% и восстанавливается до прежнего уровня в течении одной секунды (рисунок 6).

Такое отклонение напряжения в звене постоянного тока не вызывает значительных изменений в цепи питания потребителей, о чем свидетельствует диаграмма рисунке 8. На 9 секунде можно видеть уменьшение напряжения; это происходит за счет того, что на валогенераторе скорость вращения становится меньше допустимого, то есть ниже 0,6 от

номинальных оборотов. При этом суммарной мощности генераторов становится недостаточно.

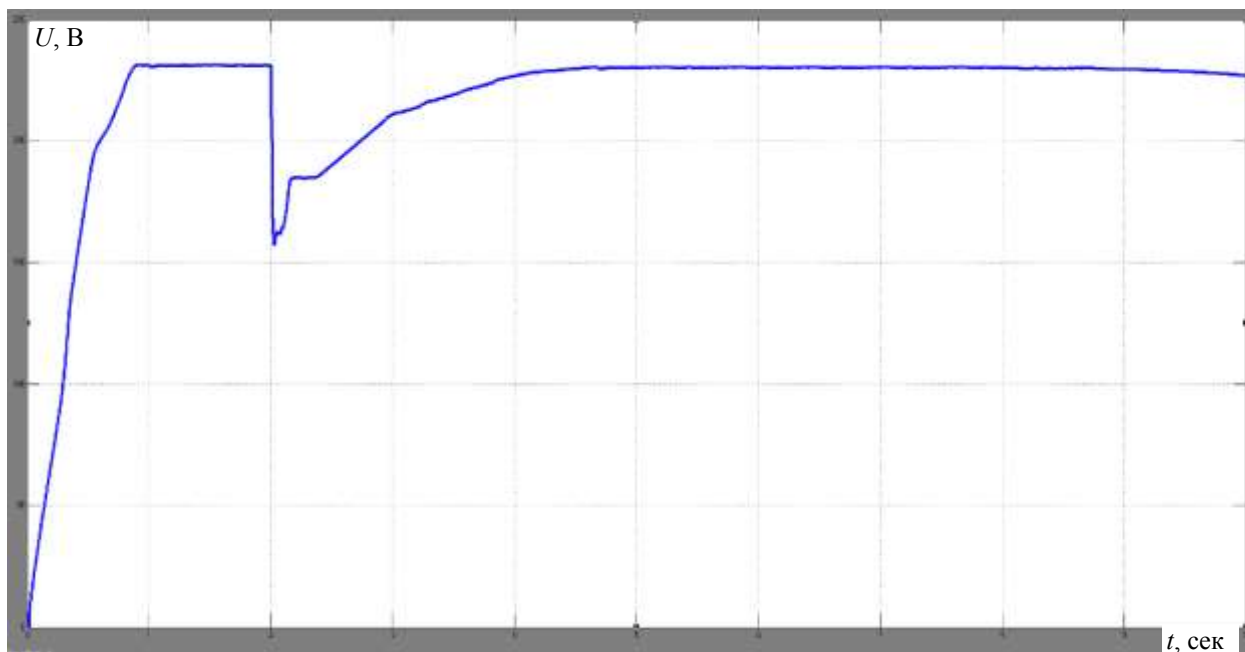


Рис. 5. Диаграмма изменения напряжения в цепи переменного тока первого генератора

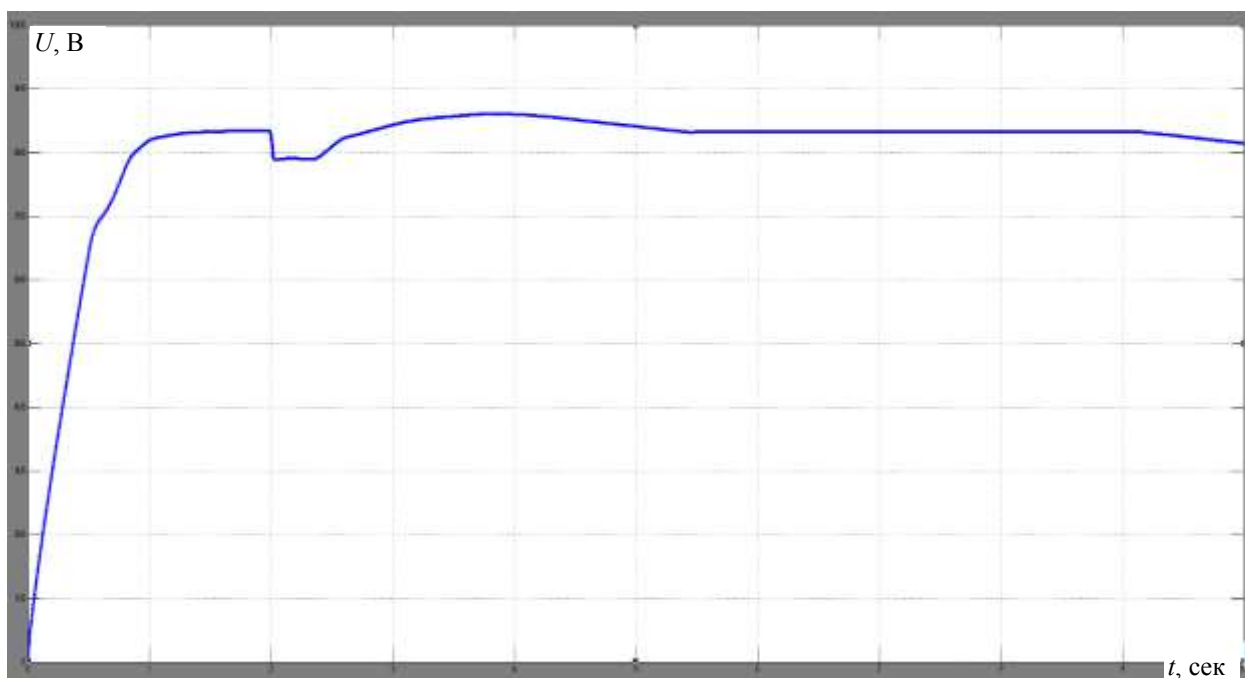


Рис.6. Диаграмма напряжения в цепи постоянного тока

Изменение параметров загрузки в широких пределах в достаточно малый промежуток времени может вызывать значительные провалы напряжения генератора (рисинок 6), для устранения которых необходим резервный источник энергии постоянно готовый к принятию загрузки. В представленной модели таким источником является второй синхронный генератор, работающий в резерве на холостом ходу. В судовых электростанциях, как правило, дизель-генераторы, работающие в дежурном режиме не запускают с целью экономии ресурсов двигателя и топлива. Поэтому накопителем энергии для компенсации переходных процессов может служить аккумуляторная батарея, включенная в звено постоянного тока.

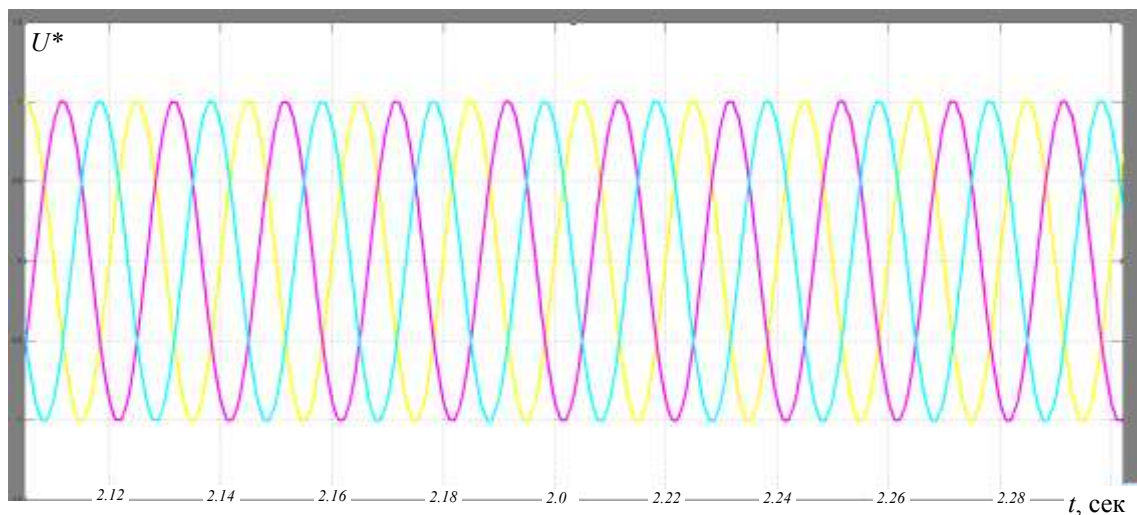


Рис.8. Диаграмма напряжений на нагрузке в интервале времени от 2.1 до 2.3 секунды

Таким образом, применение системы двойного рода тока с системой управления на базе нечеткой логики позволяет обеспечить длительную совместную работу источников электроэнергии с нестабильными выходными параметрами валогенератора, а также оперативно включать и выключать резервный генератор для экономии топлива и поддержания параметров напряжения потребителей.

Список литературы:

- [1] Hansen, J. F., Lindtjørn, J. O., Myklebust T. A., Vanska, K. OnboardDCGrid., <https://library.e.abb.com/public/b4f3f099e9d21360c1257a8a003beac2/ABB%20Generations%20Onboard%20DC%20grid.pdf>
- [2] Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование режимов работы судовой электроэнергетической системы двойного рода тока. Морская техника и технология. Научный журнал 1 февраля 2019. – Изд-во АГТУ, Астрахань, 2019 – с. 97-104.
- [3] Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В. Модель синхронного генератора с регулятором на базе нечеткой логики в среде matlab. (тезисы) Труды 22-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2020». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2020.- Т.2.
- [4] Система управления напряжением генератора на базе нечёткой логики. Авторы И.С. Коберси, А.В. Кияшко, Е.А. Македонов, Е.Р. Крамаренко, В.И. Финаев.

A MODEL FOR RESEARCHING THE PARALLEL WORK OF GENERATORS WITH REGULATORS ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC IN THE DOUBLE CURRENT SYSTEM

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

Key words: excitation system, fuzzy logic, ship power station, synchronous generator model.

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