



УДК 621.314

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

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»

Кузык Виктория Владиславовна, студентка 5 курса специальности «ЭС и СА» ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

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

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СИСТЕМ ДВОЙНОГО РОДА ТОКА

Ключевые слова: электрическая система, двойной род тока, судовая электростанция, встроенная сеть постоянного тока, испытательная установка.

Аннотация. В статье рассмотрена целесообразность применения системы двойного рода тока в судовых электроэнергетических системах в условиях применения возобновляемых источников энергии. Предложена имитационная модель исследовательской установки для изучения систем двойного рода тока. Указана возможность использования рассмотренной установки для изучения процессов происходящих в подобных системах в различных режимах.

Энергоснабжение всегда занимает важное место в экономике любой отрасли. Судостроители многих стран мира работают над увеличением энергоэффективности судовых электроэнергетических систем, в том числе, внедряя возобновляемые источники энергии, которые, как правило, имеют различные технические характеристики. Обеспечить совместную работу традиционных и альтернативных источников в комбинированной судовой электроэнергетической системе [1, 2, 3] позволяет система двойного рода тока со встроенной сетью постоянного тока, функциональная схема которой показана на рисунке 1.

Согласно зарубежным источникам [4], применение встроенной сети постоянного тока позволяет не только обеспечить более функциональную планировку и гибкое размещение электрических компонентов, но и снизить затраты на обслуживание двигателей и экономить топливо до 20%. Кроме того, встроенная сеть постоянного тока дает возможность модернизировать СЭЭС и адаптироваться к будущему источнику энергии любого типа.

Судовая электроэнергетическая система двойного рода тока может включать в себя следующие составляющие:

- 1) источники электроэнергии с различными значениями частоты выходного напряжения, подключенные на общую шину постоянного тока через полупроводниковые выпрямители;
- 2) солнечную батарею и аккумулятор для обеспечения питанием потребителей при кратковременном снижении напряжения основного источника ниже допустимого уровня;
- 3) потребители переменного тока, которые получают питание через инвертор с регулируемой или стабильной выходной частотой.

В схему так же может быть введен трансформатор для согласования величин напряжения на шинах главного распределительного щита и потребителя.

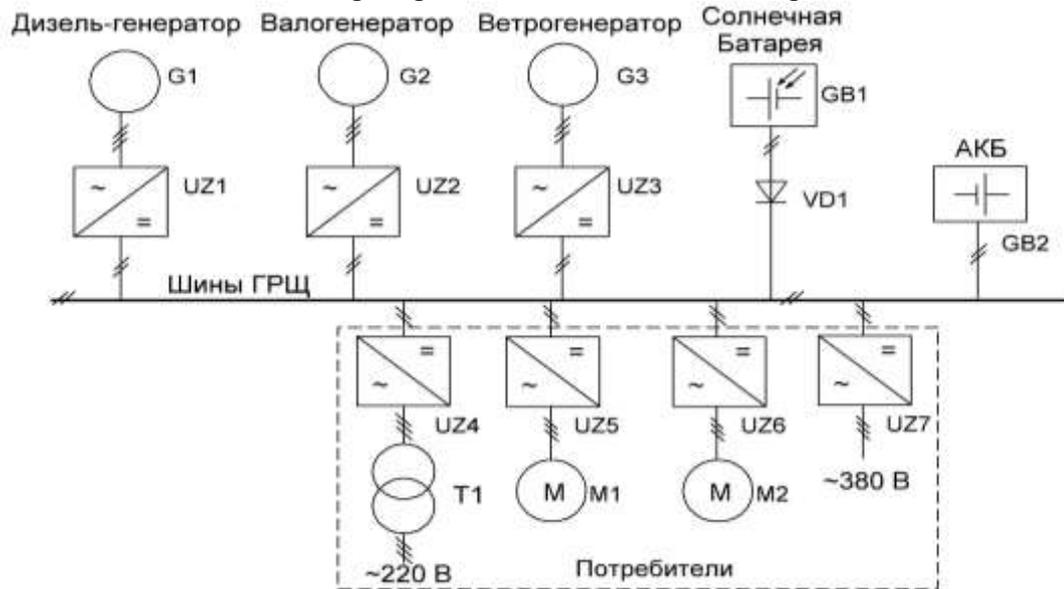


Рис. 1. Функциональная однолинейная схема системы двойного рода тока

Однако для создания и изучения работы подобных систем требуется экспериментальная установка [3] и имитационная модель. Такой комплекс позволит получить адекватные данные для последующего использования при разработке судовых электроэнергетических систем двойного рода тока.

Имитационная модель исследовательской установки для изучения систем двойного рода тока, представленная на рисунке 2, построена по указанной структуре и содержит следующие функциональные узлы:

1. асинхронный генератор мощностью 7 кВт с конденсаторной системой возбуждения и приводным двигателем постоянного тока (ДПТ);
2. систему регулирования скорости вращения приводного ДПТ, которая посредством широтно-импульсного преобразователя изменяет скорость ДПТ таким образом, чтобы напряжение на выходе асинхронного генератора оставалось неизменным;
3. синхронный генератор мощностью 7 кВт со статической системой возбуждения;
4. приводной ДПТ синхронного генератора, включенный через второй широтно-импульсный преобразователь для изменения частоты вращения по заданным параметрам, а также для ограничения пускового тока;
5. два трехфазных мостовых выпрямителя с фильтрами, образующих звено постоянного тока;
6. аккумуляторную и солнечную батареи, подключенные к звену постоянного тока;
7. трехфазный инвертор напряжения с двумя ступенями активно-индуктивной нагрузки.

В процессе моделирования были получены диаграммы переходных процессов при изменении величины и характера нагрузки параллельно работающих генераторов. Параллельная работа осуществлялась по сети постоянного тока. Задачей моделирования являлось получение диаграмм напряжения и тока, различных по типу генераторов для выявления возможности их параллельной работы и рассмотрения процессов при возбуждении и загрузке каждого генератора.

Распределение нагрузки осуществляется изменением тока возбуждения синхронного генератора посредством системы автоматического регулирования напряжения (стандартный блок excitation system) и системы регулирования скорости вращения приводного двигателя асинхронного генератора (АГ).

В модели реализована система регулирования, которая имеет три контура: стабилизации напряжения на выходе АГ, ограничения пускового тока приводного двигателя и регулирования тока возбуждения генератора. Также система имеет блок ограничения пускового тока приводного ДПТ синхронного генератора.

Имитационная модель (рис. 2) позволяет исследовать работу перечисленных узлов в едином комплексе. Запуск модели по определенному алгоритму, который может изменяться в зависимости от режима работы электростанции.

На рисунках 3 и 4 показаны диаграммы изменения напряжений асинхронного и синхронного генераторов соответственно при пуске, возбуждении и подключении двух ступеней нагрузки. В первые 4 секунды (рис. 3) выполняется пуск и разгон приводных двигателей, самовозбуждение генераторов и выход их на установившийся режим. На четвертой секунде происходит включение генераторов на параллельную работу через звено постоянного тока, что не требует выполнения синхронизации. На 5-й секунде подключается нагрузка с активной мощностью 7 кВт и 1 кВАр – реактивной. На 7 секунде подключается дополнительная нагрузка с активной составляющей мощности 6 кВт и 1,5 кВАр - реактивной.

Анализ диаграмм показывает, что процесс возбуждения асинхронного генератора с учетом разгона приводного двигателя занимает более продолжительное время (порядка 1,5 сек), что связано с более медленным возрастанием тока возбуждения генератора с конденсаторной системой возбуждения.

Синхронный генератор (рис. 4) возбуждается значительно быстрее, в течение 0,3 сек. благодаря системе автоматического регулирования напряжения, но при пуске имеет перерегулирование порядка 25%. Выход в установившийся режим обоих генераторов выполняется в течение следующей секунды.

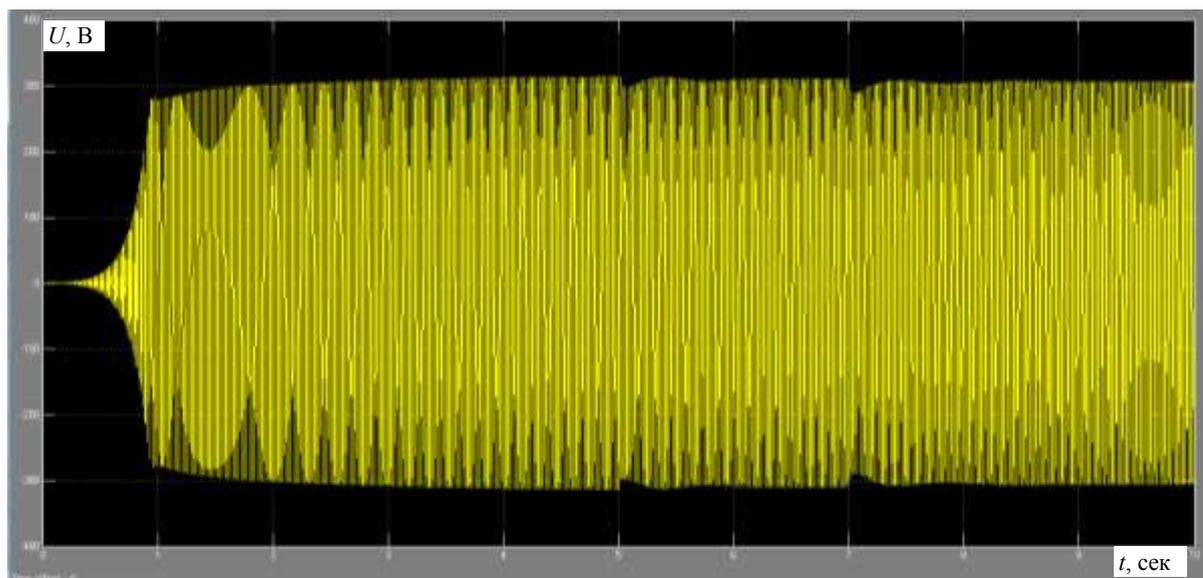


Рис.3. Диаграмма напряжения асинхронного генератора

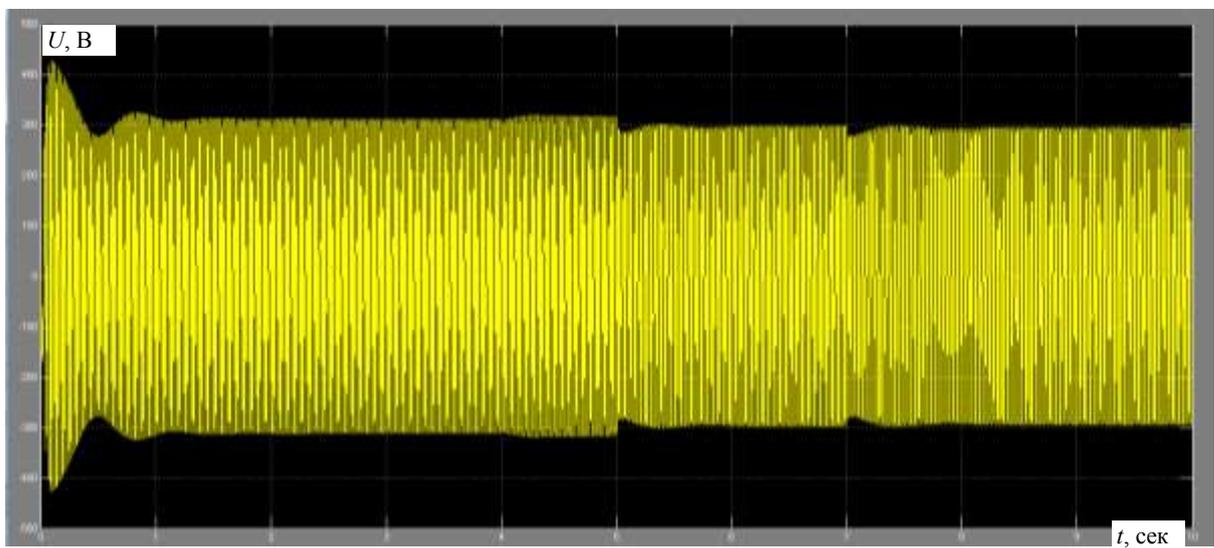


Рис.4. Диаграмма напряжения синхронного генератора

Провал напряжения при подключении первой ступени нагрузки (5-ая секунда) составляет 3% для асинхронного генератора (рис. 3) и 4% для синхронного (рис. 4). Подключение второй ступени (7-ая секунда) вызывает провал по 4,5 % для обоих генераторов.

На рисунках 5 и 6 показаны диаграммы изменения токов генераторов при включении на общие шины и подключении нагрузок. На асинхронном генераторе наблюдается постоянный процесс колебания тока (рис. 5) связанный с резонансными явлениями контура возбуждения генератора.

Из осциллограмм моделирования видно, как после подключения нагрузок, возникает провал напряжения и происходит возрастание тока на обоих генераторах, что свидетельствует о распределении нагрузки на оба генератора. При этом происходит плавное увеличение тока нагрузки асинхронного генератора и некоторое снижение тока синхронного генератора (рис. 6 6-7 секунды) в процессе перераспределения мощностей. Такое поведение так же связано с различным быстродействием систем возбуждения генераторов.

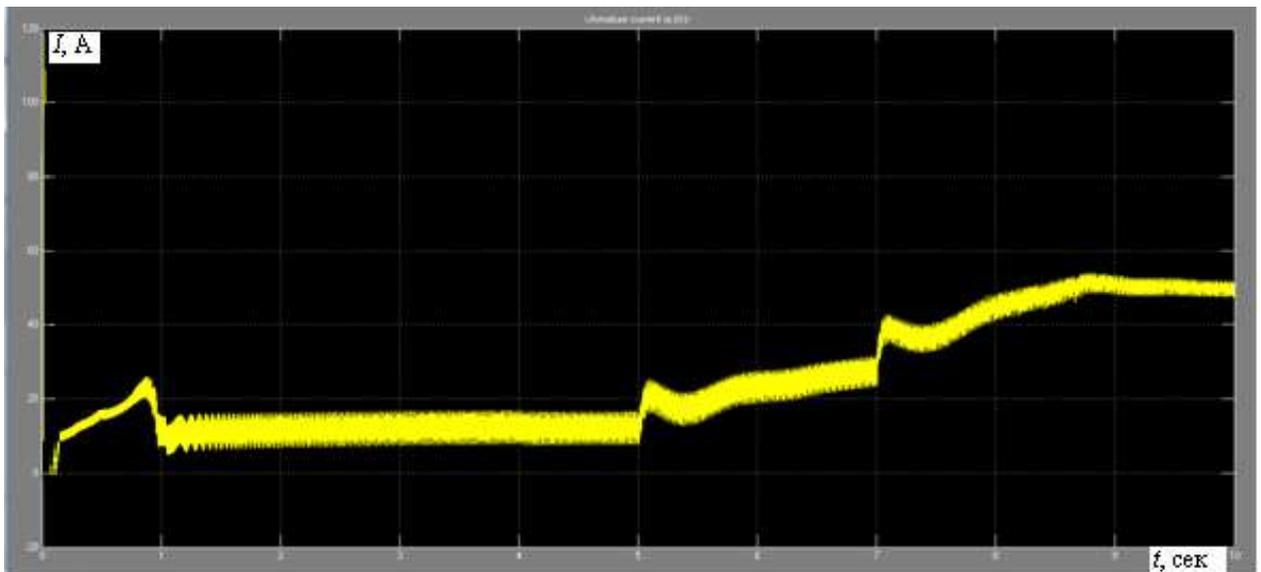


Рис.5. Диаграмма тока асинхронного генератора

Подключение суммарной номинальной нагрузки на общих шинах генераторов вызывает установившиеся значения тока нагрузки на номинальном уровне каждого из генераторов.

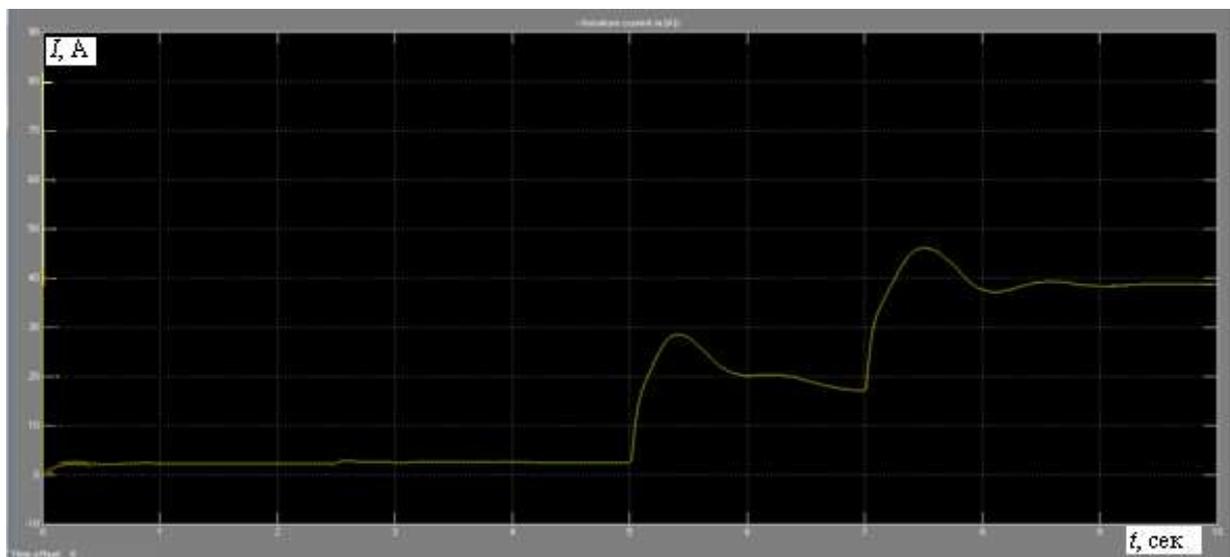


Рис.6. Диаграмма тока синхронного генератора

Таким образом, разработанная имитационная модель исследовательской установки позволяет изучать процессы, происходящие в основных элементах систем двойного рода тока в различных режимах работы. Результаты моделирования могут быть использованы при расчете и выборе оборудования для реализации физической исследовательской модели. Сравнение результатов моделирования и физической модели может подтвердить адекватность моделирования, что позволит использовать модель в работе по проектированию судовых электроэнергетических систем.

Список литературы:

1. 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.
2. Бурмакин О.А., Малышев Ю.С., Попов С.В., Гуляев В.В. Исследование параллельной работы генераторов в системе двойного рода тока (тезисы) Труды 20-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2018». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.
3. Малышев Ю.С., Бурмакин О.А., Попов С.В., Гуляев В.В., Луконичев Н.И. Разработка экспериментальной установки для исследования систем двойного рода тока (тезисы) Труды 21-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки - 2019». Труды конгресса. - Н.Новгород: ФБОУ ВПО "ВГАВТ", 2018.- Т.2.
4. Hansen, J. F., Lindtjorn, J. O., Myklebust T. A., Vanska, K. Onboard DC Grid., <https://library.e.abb.com/public/b4f3f099e9d21360c1257a8a003beac2/ABB%20Generations%20Onboard%20DC%20grid.pdf>

SIMULATION MODEL OF A RESEARCH INSTALLATION FOR STUDYING DUAL KIND SYSTEMS

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

Keywords: electrical system, double fit current, ship power station, capacity, Onboard DC Grid.

Annotation. The article considers the appropriateness of using a dual current system in ship electric power systems in the conditions of using renewable energy sources. A simulation model of a research facility for studying dual-current systems is proposed. The possibility of using the considered setup to study the processes occurring in similar systems in various modes is indicated.

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

Секция VI Электрооборудование объектов водного транспорта