

УДК 621.311.61

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Хватов Олег Станиславович¹, доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
e-mail: khvatov_oleg@mail.ru

Тарпанов Илья Александрович¹, кандидат технических наук; доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
e-mail: fillin2003@mail.ru

Билялетдинов Тимур Закарияевич¹, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта
e-mail: tim.bil.99@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассмотрены две перспективные в энергетике системы дизель-генераторных электростанций на базе АГКЗ и на МДП. Приведены структурные схемы и имитационные (математические) модели. Описаны принципы работы обоих генераторных комплексов, приведены и проанализированы осциллограммы напряжения при подключении активной нагрузки.

Ключевые слова: дизель-генераторные электростанции переменной частоты вращения, асинхронная машина с короткозамкнутым ротором, машина двойного питания, нагрузка, математическая модель, структурная схема.

SIMULATION OF VARIABLE-SPEED DIESEL-GENERATOR POWER PLANTS

Oleg S. Khvatov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Facilities
e-mail: khvatov_oleg@mail.ru

Ilya A. Tarpanov¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Associate Professor of the Department of Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Facilities
e-mail: fillin2003@mail.ru

Timur Z. Bilyaletdinov¹, Doctoral Student of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Facilities
e-mail: tim.bil.99@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Two promising systems of diesel-generator power plants based on IM and DFIM are considered in the field of power engineering. Structural diagrams and simulation (mathematical)

models are presented. The principles of operation of both generator complexes are described, and voltage oscillograms are presented and analyzed when an active load is connected.

Keywords: variable-speed diesel-generator power plants, induction machine, double-fed induction machine, load, mathematical model, structural diagram.

Среди генераторных комплексов, особенно в области малой энергетики перспективными являются дизель-генераторные электростанции переменной частоты вращения. Главная отличительная характеристика – переменная частота вращения двигателя внутреннего сгорания (ДВС) обуславливает способность таких комплексов к улучшенной (по сравнению с дизель-генераторными электростанциями постоянной частоты вращения [4]) экономии топлива (потребление дизеля или иного сгораемого топлива изменяется в соответствии с текущей электрической мощностью нагрузки). В свою очередь экономия сгораемого топлива обеспечивает уменьшение выхлопных газов и, следовательно, повышение экологичности данных электростанций.

Большое внимание среди ДГПЧВ уделяется:

- генераторным комплексам на базе асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором (АГКЗ) ввиду высоких надежностных показателей и низкой стоимости оборудования [2];

- генераторным комплексам на базе машины двойного питания (МДП) ввиду возможности подключения электрической нагрузки напрямую к статору машины, подводя (или отводя в зависимости от угловой скорости вращения вала генератора) только часть мощности в цепь (или из цепи) ротора равную мощности скольжения. Данная особенность позволяет уменьшить количество преобразований энергии, что несколько повышает энергетические показатели ДГПЧВ на базе МДП [1][3].

В рамках исследования ДГПЧВ на базе АГКЗ и МДП математическое моделирование осуществляется в ПО Matlab Simulink. Основной задачей моделирования применительно к упомянутым генераторным комплексам является построение и отладка корректных математических моделей, которые будут использованы в качестве фундамента для дальнейших исследований.

Структурная схема ДГПЧВ на базе АГКЗ

Структурная схема ДГПЧВ на базе АГКЗ представлена на рисунке 1, где УУЧВ – устройство управления частотой вращения ДВС; ДС – датчик скорости, АВН – активный выпрямитель напряжения; ДР – входной дроссель АВН; ДТ1 – датчик тока ДР; ДН1 – датчик напряжения на входе дросселя; СУ АВН – система управления АВН; С – емкость в звене постоянного тока (ЗПТ); ДН2 – датчик напряжения в ЗПТ; БИМ – блок измерителя мощности; ДТ2 – датчик тока в звене постоянного тока; АИН – автономный инвертор напряжения; СУ АИН – система управления АИН; Ф – трехфазный LC фильтр на выходе АИН.



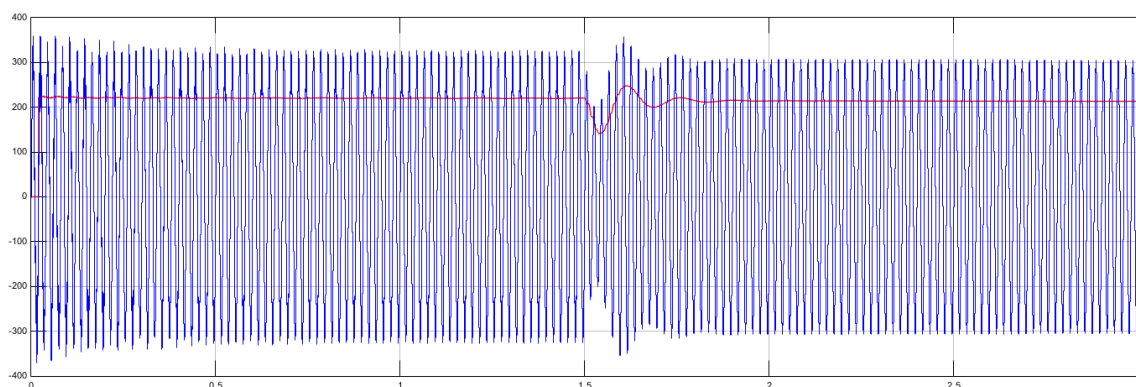


Рисунок 3 – Осциллограмма напряжения на выходе АИН

Структурная схема ДГПЧВ на базе МДП

Структурная схема ДГПЧВ на базе МДП представлена на рисунке 4, где НП – наблюдатель потокосцепления статора. Прочие обозначения на рисунке совпадают с обозначениями на рисунке 1.

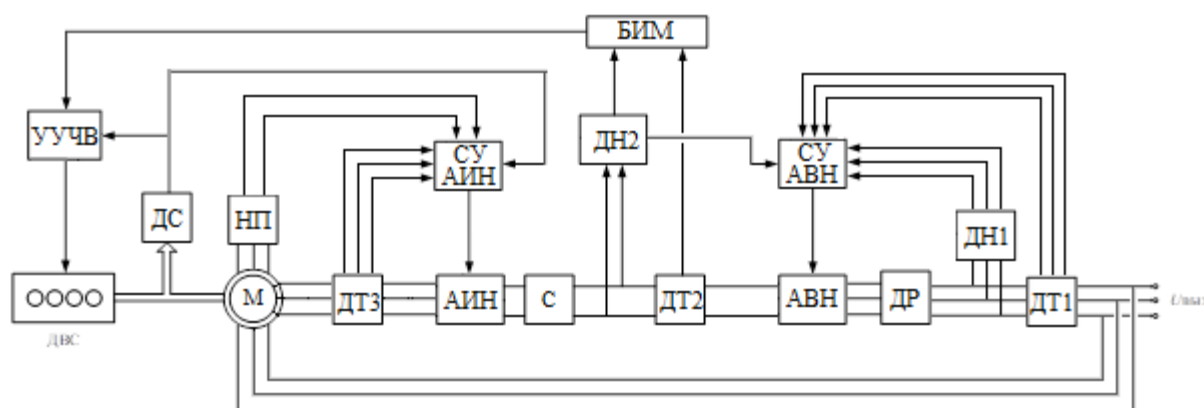


Рисунок 4 – Структурная схема ДГПЧВ на базе МДП

Для полной реализации преимуществ такой генераторной электростанции обычно подбирают оборудование таким образом, чтобы диапазон рабочих скоростей ДВС приходился на сверхсинхронный режим работы МДП [1]. Исходя из этого мощность, генерируемая по цепи статора постоянна, а мощность по цепи ротора будет равна мощности скольжения машины. Соответственно регулирование скорости вращения ДВС осуществляется исходя мощности, передаваемой по ЗПТ (исходя из данных датчиков ДТ2 и ДН2). АВН, ДР, ДН1, ДН2, ДТ1, СУ АВН работают таким же образом, как и в ДГПЧВ на базе АГКЗ с тем лишь исключением, что в некоторых случаях может потребоваться применять подсинхронный режим работы МДП. Поэтому АВН (а вместе с ним и АИН) в данной генераторной системе двунаправленный. В СУ АИН реализовано векторное управление, ориентированное по углу скольжения МДП. Для этого СУ АИН использует данные НП, ДС (энкодера) и ДТЗ.

Имитационное моделирование ДГПЧВ на базе МДП

Вид математической модели ДГПЧВ на базе МДП представлен на рисунке 5.

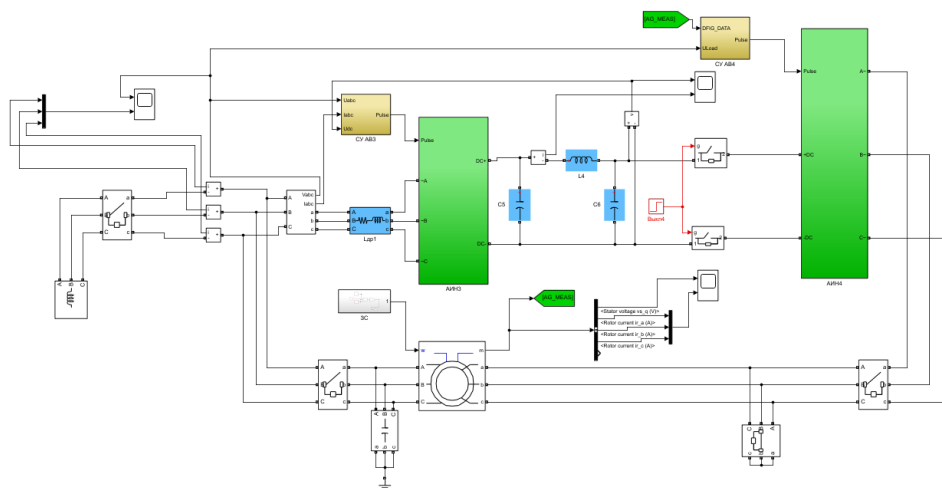


Рисунок 5 – Вид математической модели ДППЧВ на базе МДП

В приведенной математической модели мощность МДП так же, как и в случае с АГКЗ равна 18.5 кВт. На рисунке 6 приведена осциллограмма напряжения на активной нагрузке, равной 18 кВт. Особенностью данной модели является то, что здесь больше этапов (по сравнению с ДППЧВ на базе АГКЗ) последовательных подключений/переключений для достижения состояния, когда можно подключить нагрузку. Эти этапы видны на осциллограмме и характеризуются следующими параметрами:

- 1) Этап возбуждения МДП (0 - 0.5 с.);
- 2) Этап подключения АВН и заряда емкости в цепи ЗПТ до заданной величины (0.5 – 1с);
- 3) Подключение роторной цепи к АИН и переход к установившемуся параметрам напряжения – (1 – 2с.).
- 4) Подключение нагрузки (2.2 с.).

Из представленной осциллограммы видно, что в момент подключения нагрузки (2.2 секунды от момента начала моделирования) происходит кратковременный провал напряжения. Затем амплитуда напряжения возвращается к величине 311 В. В данной модели на статоре стабильно поддерживается частота напряжения величиной 50 Гц.

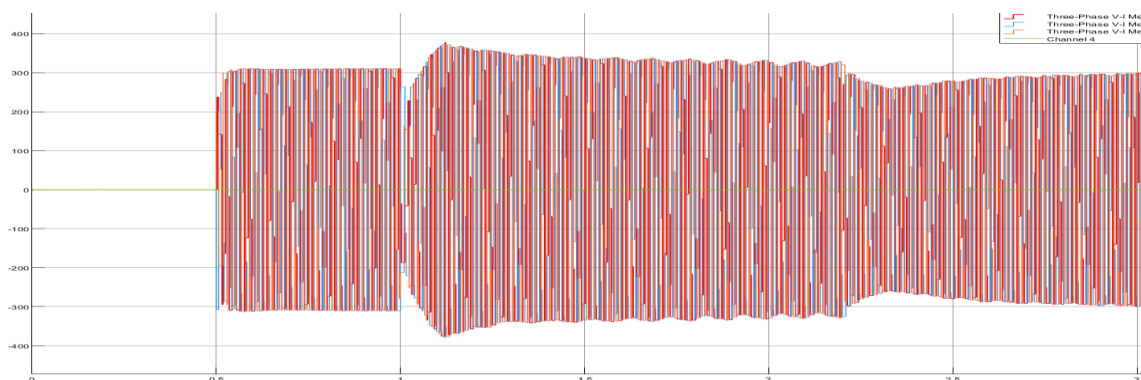


Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения на выходе АИН

Важной особенностью ДППЧВ на базе МДП является возможность передачи мощности скольжения как в цепь ротора (при подсинхронном режиме работы МДП), так и передача этой самой мощности из цепи (при сверхсинхронном режиме работы МДП). Реализацию такой возможности иллюстрируют осциллограммы, представленные на рис. 7 и 8. Анализируя их видно, что в подсинхронном режиме ток протекает в одном направлении, а в

сверхсинхронном – в противоположном, что подтверждает работоспособность математической модели ДППЧВ на базе МДП.

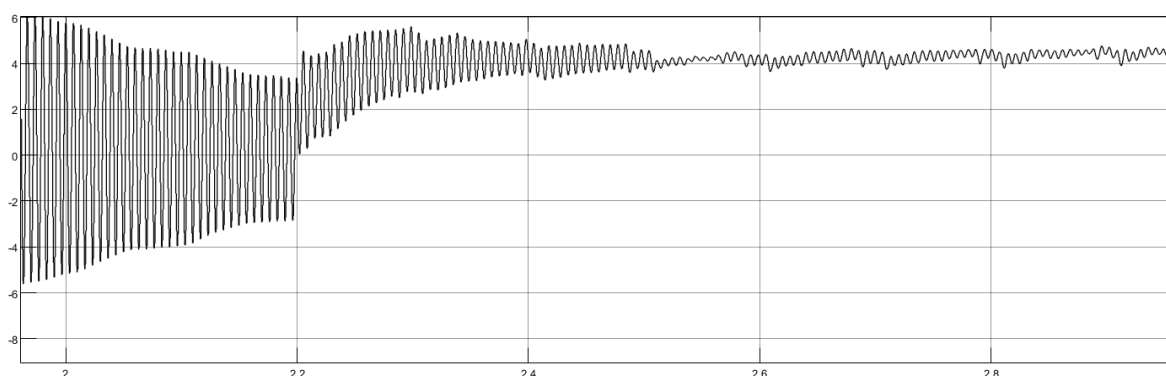


Рисунок 7 – Осциллограмма тока в ЗПТ при подсинхронном режиме работы МДП

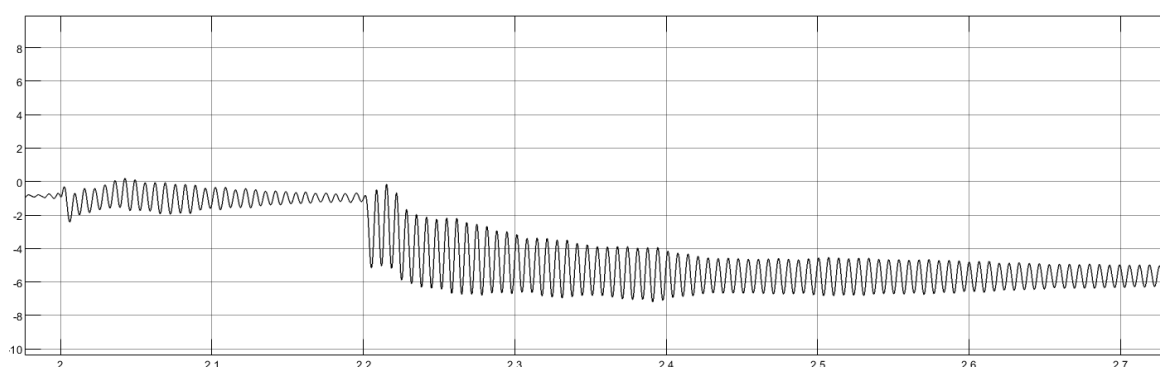


Рисунок 8 – Осциллограмма тока в ЗПТ при сверхсинхронном режиме работы МДП

Список литературы:

1. Хватов О. С. Электротехнические генераторные комплексы переменной частоты вращения на основе машины двойного питания: моногр. Н. Новгород: Изд-во ВГУВТ, 2015. 276 с.
2. Виноградов А. Б. Автономная станция электроснабжения на основе асинхронного генератора с КЗ ротором и преобразователем частоты малой мощности: сб. тр. XI Междунар. (XXII Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу (АЭП) 2020 (Санкт-Петербург, 04–07 октября 2020 г.). СПб.: Изд-во НИУ ИТМО, 2021. С. 80–86.
3. Виноградов А. Б., Горелкин Р. О. Автономная станция электроснабжения на основе асинхронного генератора с фазным ротором и преобразователя частоты малой мощности // Вестн. Иванов. гос. энергет. ун-та. 2023. № 3. С. 63–69.
4. Хватов О. С., Тарпанов И. А. Сравнительный анализ энергетических показателей судовой электростанции на базе классических дизель-генераторных установок и электростанции с дизель-генераторной установкой переменной частоты вращения // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технологии. 2022. № 1. С. 79–84.
5. Хватов О. С., Тарпанов И. А., Билялетдинов Т. З. Автономная дизель-генераторная электростанция на основе асинхронного генератора с вентильным возбуждением и системой автоматического регулирования напряжения с векторным управлением // Интеллектуал. электротехника. 2024. № 3 (19). С. 19–31.

6. Хватов О. С., Тарпанов И. А., Кобяков Д. С. Дизель-генераторная электростанция с вентильным генератором по схеме машины двойного питания // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2020. № 3. С. 82–90.

