

УДК 621.314

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО НА СУДОВУЮ СЕТЬ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ ИМПУЛЬСНОЙ НАГРУЗКИ

Малышев Юрий Сергеевич¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: elektrikasp@mail.ru

Бурмакин Олег Анатольевич¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: boa_71@mail.ru

Попов Сергей Васильевич¹, кандидат технических наук, доцент

e-mail: popovsev3@yandex.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В докладе проанализированы режимы работы судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) с учётом импульсной нагрузки. Определено её влияние на узлы СЭЭС, устойчивость работы и качество электроэнергии. Предложена имитационная модель, позволяющая оценить переходные процессы и параметры качества электроэнергии. Приведены осциллограммы, полученные в результате моделирования. Сделаны выводы об адекватности модели и дальнейшем её развитии.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, импульсная нагрузка, имитационная модель дизель-генератора, переходные процессы дизель-генератора, качество электроэнергии.

SIMULATION MODEL OF A DIESEL GENERATOR OPERATING ON A SHIP NETWORK WHEN CONNECTING A PULSE LOAD

Malyshev Yuri Sergeevich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: elektrikasp@mail.ru

Burmakin Oleg Anatolievich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: boa_71@mail.ru

Popov Sergey Vasilievich¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

e-mail: popovsev3@yandex.ru

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

Abstract. The report analyzes the operating modes of the ship's electrical power system (SEPS) taking into account the pulse load. Its influence on SEPS units, operational stability and power quality has been determined. A simulation model is proposed that allows one to evaluate transient processes and power quality parameters. The oscillograms obtained as a result of the simulation are presented. Conclusions are drawn about the adequacy of the model and its further development.

Keywords: ship electrical power system, impulse load, diesel generator simulation model, diesel generator transients, power quality.

Периодическое переоборудование судов неизбежно приводит к дефициту электроэнергии. Этот факт вынуждает прибегать к режиму параллельно работающих генераторов вплоть до трех дизель-генераторных агрегатов, что создает трудности обеспечения их стабильной работы, а для некоторых электростанций, в силу изношенности механизмов, невозможность их работы. Особенно остро встает вопрос стабильной работы электростанции при подключении, в составе многочисленной нагрузки, импульсной нагрузки, когда потребитель работает в кратковременно-периодическом режиме [1, 2]. К таким устройствам можно отнести электронагреватели камбузного оборудования, в том числе электроплиты, пароконвектоматы и пр. Поскольку такая нагрузка имеет существенную мощность (до 10 – 15 % от номинальной мощности генератора), она оказывает влияние на работу дизель-генератора, особенно в динамических режимах.

Подключение пароконвектомата мощностью 30 кВт к заранее загруженному на 20 % автономному генераторному агрегату приводит к возникновению переходных процессов – кратковременные в системе регулирования напряжения и инерционные в системе регулирования частоты вращения двигателя. При запуске пароконвектомата включается ТЭН, а после достижения заданной температуры, он переключается в повторно-кратковременный режим работы с периодичностью 1 – 2 мин, с целью поддержания температуры в течение 30 – 40 мин. [1 – 3]. Натурные испытания показали, что провал напряжения и частоты возникал при каждом включении ТЭН с максимальным значением 6 В и 1,5 Гц, соответственно.

Схожесть работы автономных генераторных агрегатов берегового и судового назначения позволяет сделать вывод, что импульсная нагрузка будет оказывать влияние на работу судовых ДГ, причем, чем меньше соотношение мощностей генератора и нагрузки, тем существенней это влияние. Качественная оценка систем регулирования частоты вращения дизелей с механическими и электронными регуляторами показывает наличие существенного различия между ними. Качество регулирования оценивается по двум основным параметрам – точности и быстродействию [3 – 5].

Для оценки параметров электроэнергии судовой электростанции удобно использовать имитационную модель дизель-генератора, которая позволит визуализировать переходные процессы и выполнять настройку систем регулирования ДГ агрегата. Поскольку в качестве регулятора частоты вращения, чаще всего используют механический центробежный регулятор, установленный рядом с топливным насосом высокого давления ТНВД, то модель должна учитывать механические составляющие, влияющие на качество регулирования:

- инерционность, связанная с принципом действия;
- люфт в устройствах, передающих воздействия на регулирование подачи топлива,
- изменение уставок и настроек, связанные с изменением параметров пружин, трения и др.

Разработанная имитационная модель (см. Рисунок 1) содержит схему дизеля с учетом люфтов механических передач, построенную на базе передаточных функций апериодических инерционных звеньев Transfer Fcn- Transfer Fcn3, усилителя Gain интегрирующего звена и элемента задержки. Синхронный генератор с системой возбуждения заданы стандартными блоками Synchronous Machine pu standard и excitation System, соответственно, имитирующие работу генератора мощностью 192 кВт. После разгона дизеля и возбуждения генератора до номинального напряжения к генератору



подключается статическая нагрузка 125 кВт, (93,75 кВАр) и импульсная нагрузка мощностью 37 кВт, подключаемая с заданной периодичностью.

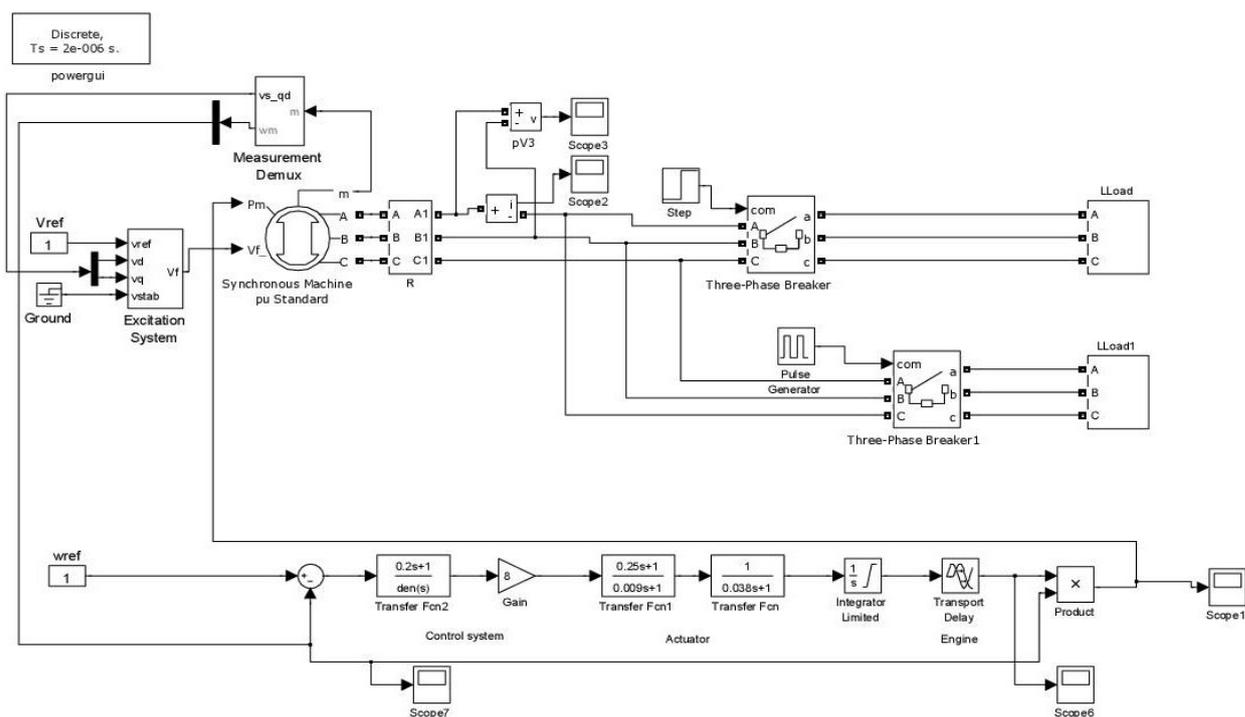


Рисунок 1 – Имитационная модель дизель-генератора, работающего на судовую сеть с импульсной нагрузкой

На рисунке 2 показаны осциллограммы выходного напряжения и тока генератора. В результате включения статической нагрузки LLoad, составляющей 65% от номинальной мощности генератора, в момент времени равной 1 сек., наблюдаются увеличение тока и кратковременный провал напряжения порядка 8% от номинального. После чего система регулирования напряжения восстановила номинальное значение в течении 0,3 сек. В момент наброса импульсной нагрузки LLoad1 (3 сек.), составляющей 15% от номинальной мощности генератора, провал напряжения составил менее 0,5 % с временем переходного процесса 0,2 сек. При отключении импульсной нагрузки, в момент времени 5 сек., ток генератора снизился до первоначального значения, произошел незначительный всплеск напряжения на 5 В (1,25%), установившийся за 0,1 сек.

На рисунке 3 показаны осциллограммы изменения мощности нагрузки генератора и угловой скорости приводного двигателя. При подключении к генератору статической нагрузки, скорость вращения приводного двигателя падает на 12% от номинальной, что соответствует частоте напряжения 44 Гц. Далее механический регулятор, за счет регулирования подачи топлива, повышает скорость двигателя, которая изменяется с перерегулированием на 1,8% с последующей стабилизацией на номинальном уровне. Время переходного процесса составляет 2 сек. В момент наброса импульсной нагрузки (3 сек) провал частоты составил 4%, а восстановление произошло с перерегулированием на 0,6%. Восстановление скорости при набросе выполняется за 2 секунды. В момент времени 5 секунд выполняется сброс импульсной нагрузки, при котором происходит повышение частоты до значения 51,8 Гц (3,5% от номинальной) и затем, в течении 1 сек., снижение частоты вращения до номинального значения за счет регулятора.

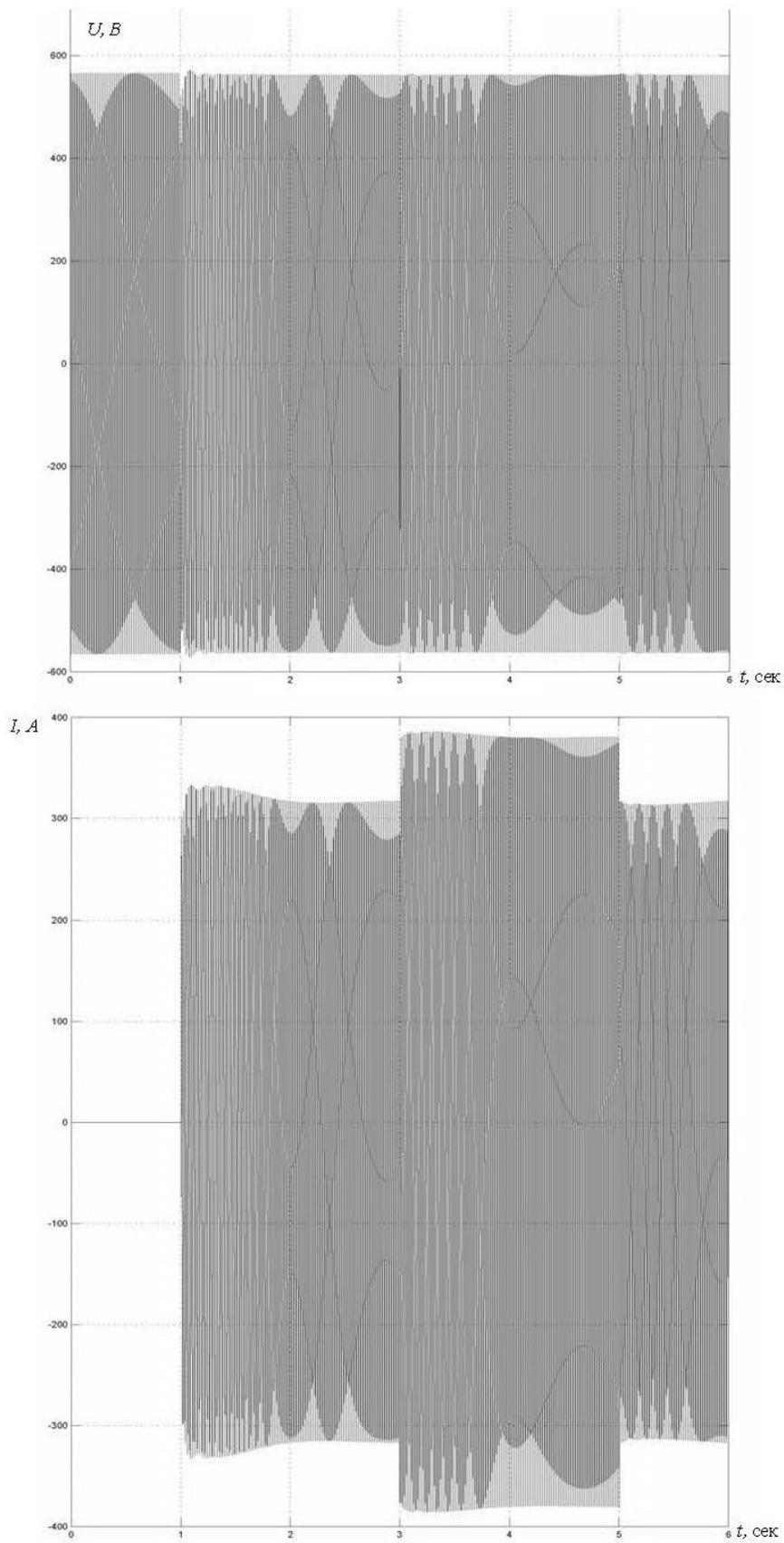


Рисунок 2 – Осциллограммы выходного напряжения и тока генератора при включении и отключении импульсной нагрузки

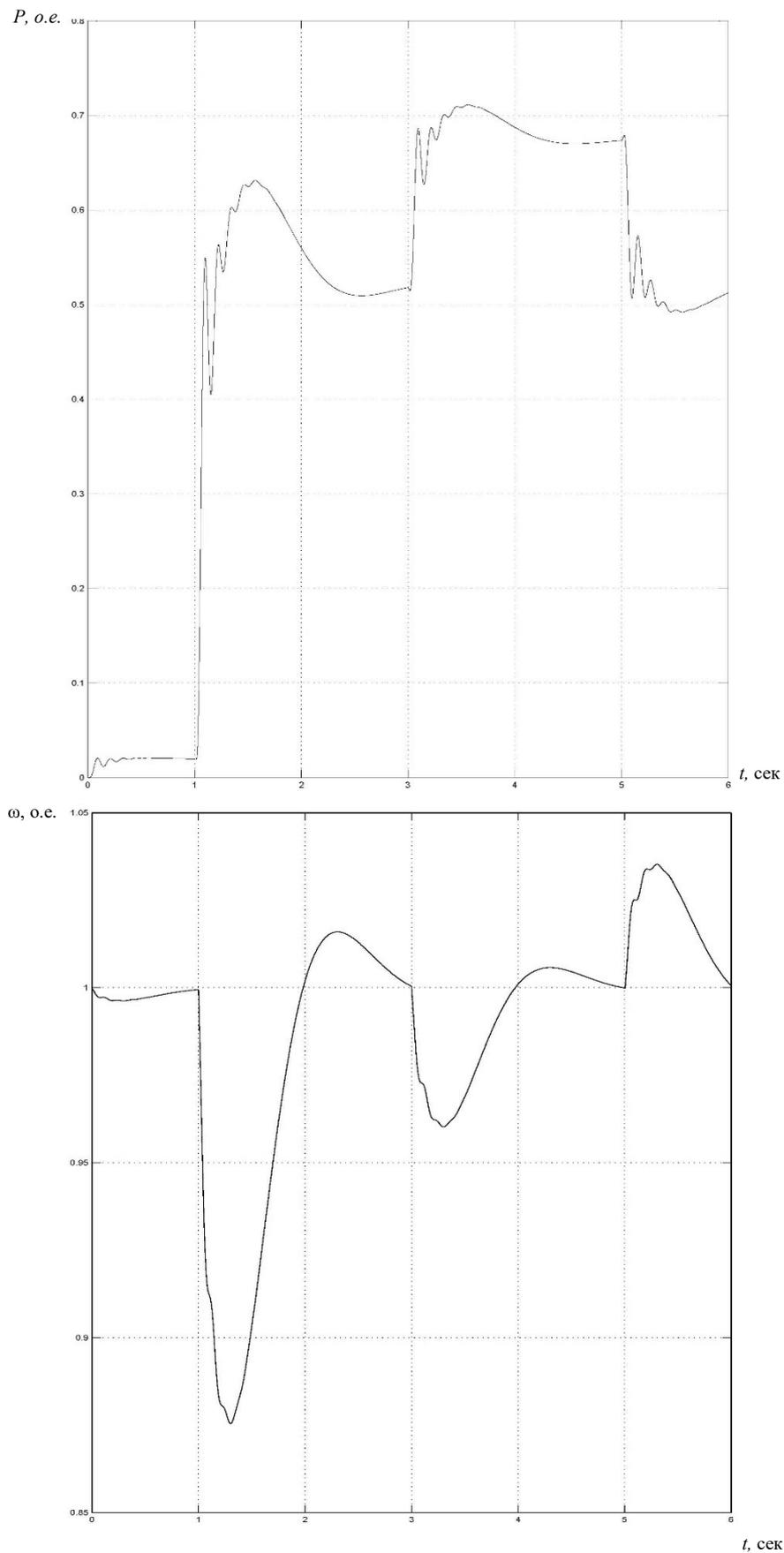


Рисунок 3 – Осциллограммы изменения мощности нагрузки генератора и угловой скорости приводного двигателя при переключении импульсной нагрузки

Заключение

1. Импульсная нагрузка камбузного электрооборудования оказывает влияние:
 - на качество напряжения судовой сети;
 - динамические процессы систем регулирования частоты вращения дизелей;
 - износ механических элементов системы регулирования ЧВ;
 - расход топлива;
 - устойчивость параллельной работы ДГ с центробежными регуляторами.
2. Имитационная модель повторяет характер переходных процессов реального дизель генераторного агрегата и позволяет выполнять их исследование.

Особый интерес представляет исследование переходных процессов при включении импульсной нагрузки на параллельно работающие генераторы, когда возникают колебательные процессы перераспределения активной и реактивной мощности между ними. Моделирование судовой электростанции, включающей алгоритм синхронизации и параллельной работы генераторов, является целью дальнейшего развития модели.

Список литературы:

1. Попов С.В., Малышев Ю.С., Бурмакин О.А. Вариант модернизации системы автоматического регулирования дизель-генераторов для обеспечения их параллельной работы. Международный научно-промышленный форум Н. Новгород – Новосибирск. Транспорт. Горизонты развития. 2021.
2. Коршунов В.Н., Фершалов Ю.Я., Чупина К.В. Проектирование судовой электрической станции: учебное пособие для вузов / Политехнический институт ДВФУ. – Владивосток: Изд-во Дальне-вост. федерал, ун-та, 2022. – 1 CD. [67 е.].
3. Попов С.В. Модернизация силовой части пароконвектомата для снижения влияния на питающую сеть. Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. ст. науч.-техн. конф. / Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2023. – с. 111 – 117.
4. Попов С.В., Бурмакин О.А., Малышев Ю.С. Исследование распределения мощности между параллельно работающими дизель-генераторными установками реальной судовой электростанции. Международный научно-промышленный форум Н. Новгород – Новосибирск. Транспорт. Горизонты развития. 2022.
5. Попов С.В., Бурмакин О.А., Малышев Ю.С. Особенности параллельной работы дизель-генераторных агрегатов судовой электростанции. Научные проблемы водного транспорта. Выпуск 73 (4). – Н. Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2022. – с. 67 – 78 DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi73.313>

