

13. Саушев А. В. Параметрический синтез электротехнических устройств и систем / А. В. Саушев. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2013. — 315 с.
14. Саушев А. В. Математическое описание механической системы электропривода / А. В. Саушев. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2008. — 216 с.
15. Кузнецов С. Е. Техническая эксплуатация судового электрооборудования: учебно-справочное пособие / С. Е. Кузнецов. — М.: Проспект, 2010. — 512 с.

УДК 621.314

А. В. Григорьев,
канд. техн. наук, доц.

В. Ю. Колесниченко,
асп.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ДИЗЕЛЬГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

COMPUTER SIMULATION OF THE RECTIFIER DIESEL GENERATOR SET

Рассмотрена компьютерная модель вентильного ДГА, работающего с переменной частотой вращения. На компьютерной модели проведены экспериментальные исследования переходных процессов при работе ДГА с переменной и постоянной частотой вращения. Работа ДГА с переменной частотой вращения при изменении нагрузки позволяет снизить расход топлива вспомогательного дизеля. Показано, что при использовании полупроводниковых преобразователей частота электрического тока в судовой сети может поддерживаться постоянной при изменении частоты вращения вспомогательного дизеля.

Experience has shown that marine diesel generator sets operate at a constant speed in a wide range of load, which increases the consumption of fuel and oil. To improve the efficiency of DHA is advisable to adjust the frequency when the load changes. Given a computer model of the rectifier diesel generator set (DGS), working with variable speed. Computer model is showing experimental studies of transient process during working of DGS with variable and constant speed. Work of DGS with variable speed during load changing is giving possibility to reduce fuel oil consumption of auxiliary diesel-generator. It is shown, that during using of semiconductor converter the current frequency of the ship power system can be maintained on constant value even in case of changing of rotation speed of auxiliary diesel-generator.

Ключевые слова: компьютерная модель, экспериментальные исследования, дизель-генераторный агрегат, полупроводниковый преобразователь, синхронный генератор, нагрузка, частота, инвертер, выпрямитель.

Key words: computer model, experimental studies, diesel-generator set, semiconductor converter, synchronous generator, load, frequency, inverter, rectifier.

С

УДОВЫЕ дизель-генераторные агрегаты (ДГА) работают с постоянной частотой вращения, что позволяет поддерживать в судовой сети постоянство частоты электрического тока, вырабатываемого синхронными генераторами.

Опыт эксплуатации показывает, что нагрузка в судовой сети меняется в широком диапазоне. В связи с этим большую часть времени ДГА работают с долевой нагрузкой, что повышает расход горюче-смазочных материалов приводного дизеля и повышает вероятность возникновения отказов [1]–[5].

Повысить экономичность и надежность работы судовых ДГА можно путем регулирования частоты вращения приводного дизеля в функции нагрузки. В этом случае для стабилизации ча-

стоты тока в судовой сети необходимо дополнительно использовать полупроводниковые преобразователи частоты (ПП), подключаемые к фазным обмоткам генератора [6]–[10].

Для анализа возможности работы ДГА с переменной частотой вращения вала двигателя при изменяющейся нагрузке в программной среде MatLab (приложение Simulink) созданы компьютерные модели традиционного и вентильного ДГА.

На рис. 1 представлена компьютерная модель традиционного ДГА, работающего с переменной частотой вращения в функции изменения нагрузки.

В связи с особенностью построения моделей в пакете MatLab, для реализации режима холостого хода генератора требуется подключение небольшой нагрузки, равной 0,01 % от номинальной мощности генератора [11].

Компьютерная модель ДГА включает:

- 1) приводной двигатель ДГА (вспомогательный дизель) вместе с системой регулирования частоты вращения;
- 2) синхронный генератор мощностью 1075 кВА;
- 3) систему возбуждения и регулирования напряжения синхронного генератора;
- 4) блок активной нагрузки мощностью 90 кВт;
- 5) асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 37 кВт (блок ASM);
- 6) трехфазные автоматические выключатели;
- 7) электроизмерительные приборы.

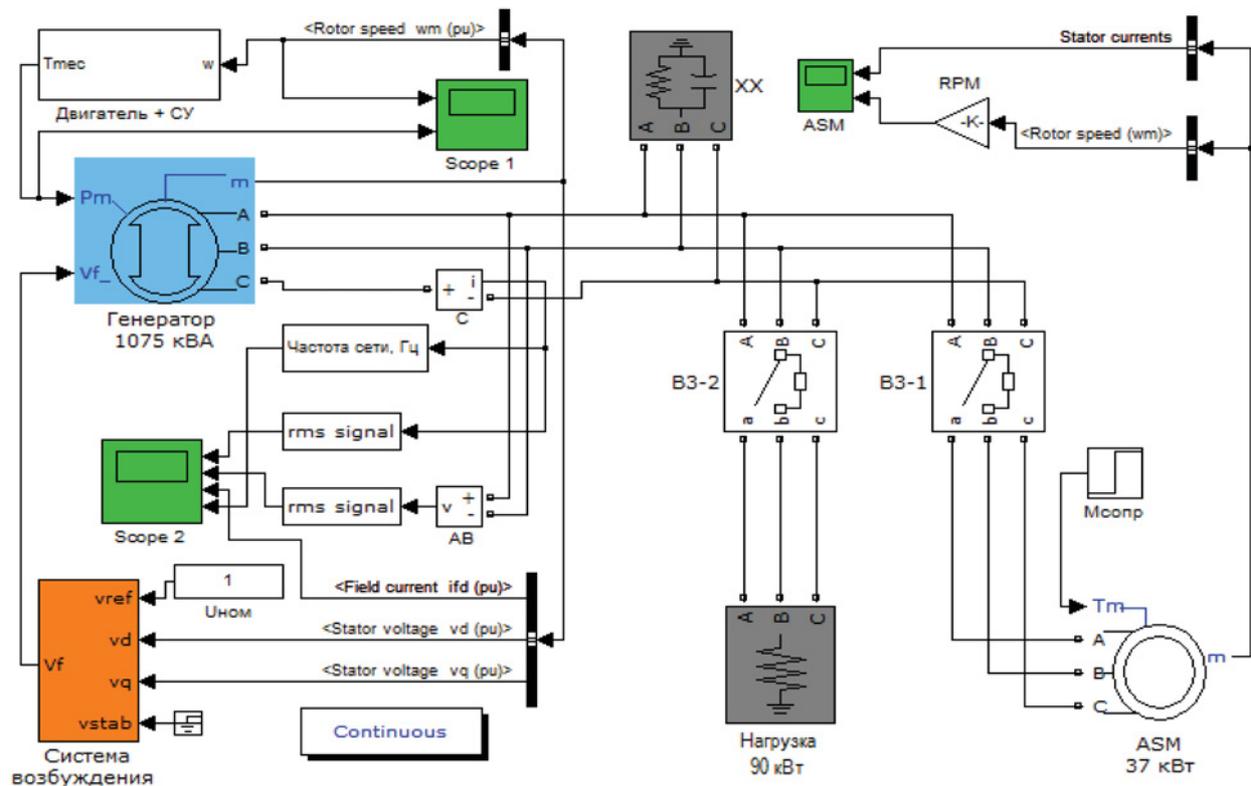


Рис. 1. Компьютерная модель ДГА

При проведении компьютерного эксперимента ДГА работает на холостом ходу, затем подключается симметричная активная нагрузки и запускается электродвигатель. В процессе проведения вычислительного эксперимента через 2 с после запуска ДГА и достижения им номинальной частоты вращения включается асинхронный двигатель с номинальным моментом сопротивления на валу (25 Н·м).

На 3-й секунде происходит подключение активной нагрузки, затем после расчета наиболее экономичного режима работы система управления приводным двигателем генератора снижает подачу топлива на 15 %. На 5-й секунде блок активной нагрузки отключается.

Переходные процессы, полученные при проведении компьютерного эксперимента на ДГА традиционной конструкции, приведены на рис. 2.



Рис. 2. Переходные процессы при изменении нагрузки ДГА

Необходимо отметить, что в разработанной компьютерной модели не реализована система автоматического управления частотой вращения ДГА. Разработка данной САУ является одной из основных задач при создании ДГА, работающих с переменной частотой вращения вала приводного двигателя. В рассматриваемой модели уменьшение подачи топлива имитируется изменением вращающего момента генератора с помощью блока «Step», входящего в состав блока «Двигатель + СУ».

На рис. 3 приведены переходные процессы ДГА при изменении нагрузки и частоты в виде осциллограмм тока, напряжения генератора, тока возбуждения и частоты сети. Как видно, при снижении подачи топлива частота вырабатываемой электроэнергии снижается с 60 Гц до 51 Гц, уменьшаются значения напряжения и тока, снижается частота вращения асинхронного двигателя, увеличивается ток нагрузки.

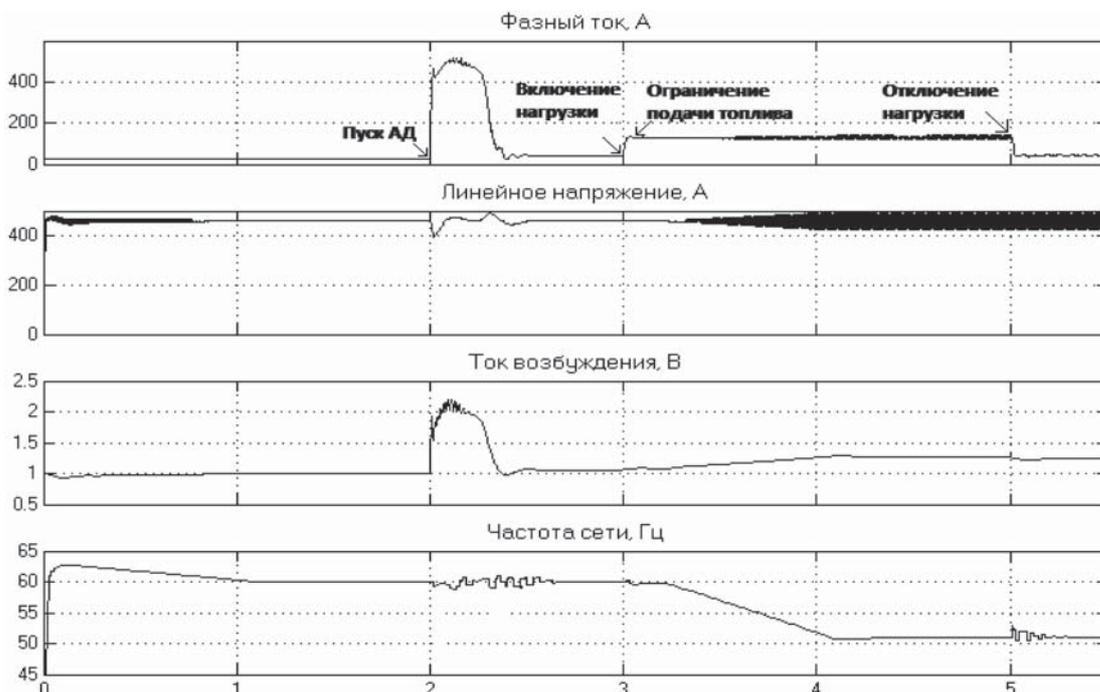


Рис. 3. Переходные процессы в синхронном генераторе при изменении нагрузки и частоты вращения ДГА

На рис. 4 приведены переходные процессы электропривода при изменении частоты вращения ДГА в виде тока нагрузки и частоты вращения (об./мин) асинхронного электродвигателя.

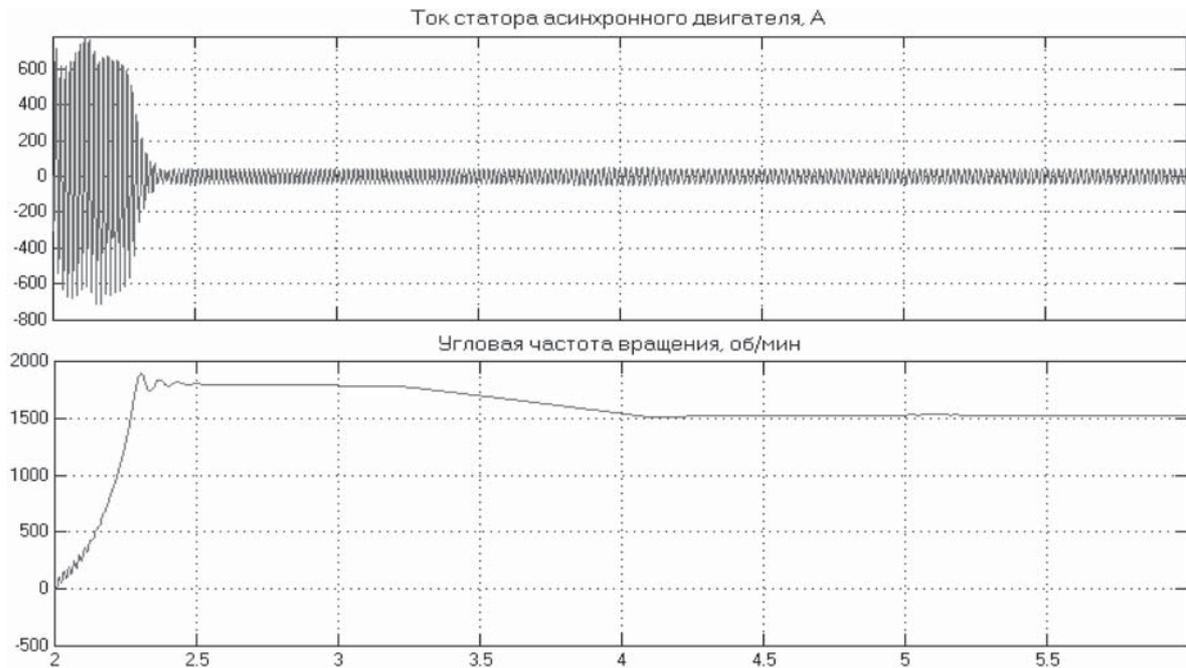


Рис. 4. Переходные процессы в электроприводе при изменении частоты вращения ДГА

Из рис. 2–4 видно, что при изменении нагрузки ДГА и регулировании его частоты вращения в широком диапазоне меняется частота тока в судовой сети, что негативно сказывается на работе судового электропривода. Для стабилизации частоты вырабатываемой электроэнергии необходимо применять полупроводниковые преобразователи частоты [12]–[15].

Компьютерная модель вентильного ДГА с ПП представлена на рис. 5, она включает ПП со звеном постоянного тока, который состоит из управляемого выпрямителя и автономного инвертора.

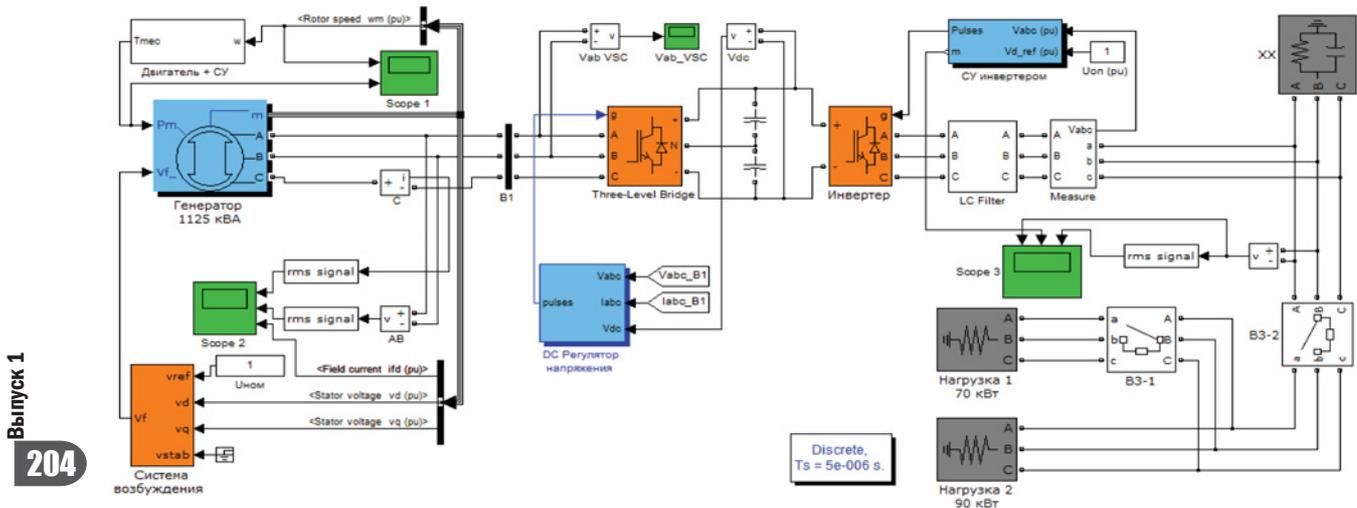


Рис. 5. Компьютерная реализация вентильного ДГА

Схематически вентильный ДГА представлен на рис. 6.

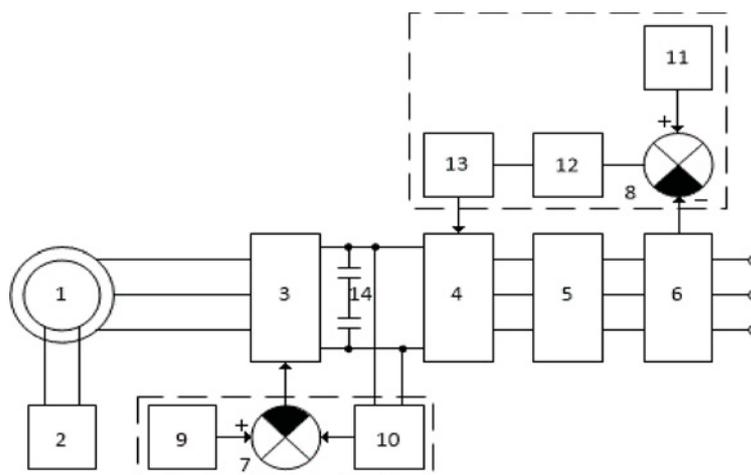


Рис. 6. Функциональная схема вентильного ДГА:

- 1 — синхронный генератор; 2 — система возбуждения; 3 — управляемый выпрямитель;
4 — автономный инвертер; 5 — LC фильтр; 6 — блок измерения напряжений;
7 — система управления выпрямителем; 8 — система управления инвертером;
9 — блок задания постоянного напряжения; 10 — датчик напряжения; 11 — блок задания напряжения;
12 — регулятор напряжения; 13 — блок формирования управляющих сигналов с ШИМ;
14 — конденсаторные батареи

На компьютерной модели проведены вычислительные эксперименты, позволяющие подтвердить возможность поддержания частоты в судовой сети с помощью ПП при изменении частоты вращения вентильного ДГА.

Поддержание постоянной величины напряжения в звене постоянного тока преобразователя частоты обеспечивается системой управления выпрямителем (блок 7), состоящего из DC-регулятора. Стабилизация амплитудного значения переменного напряжения на выходе ПП происходит благодаря системе управления инвертером регулятора напряжения 12, представляющего собой ПИ регулятор, использующий ABC — dq и dq — ABC-преобразования.

На рис. 7 показаны графики переходных процессов при работе вентильного ДГА с переменной частотой вращения, полученные при проведении вычислительного эксперимента.

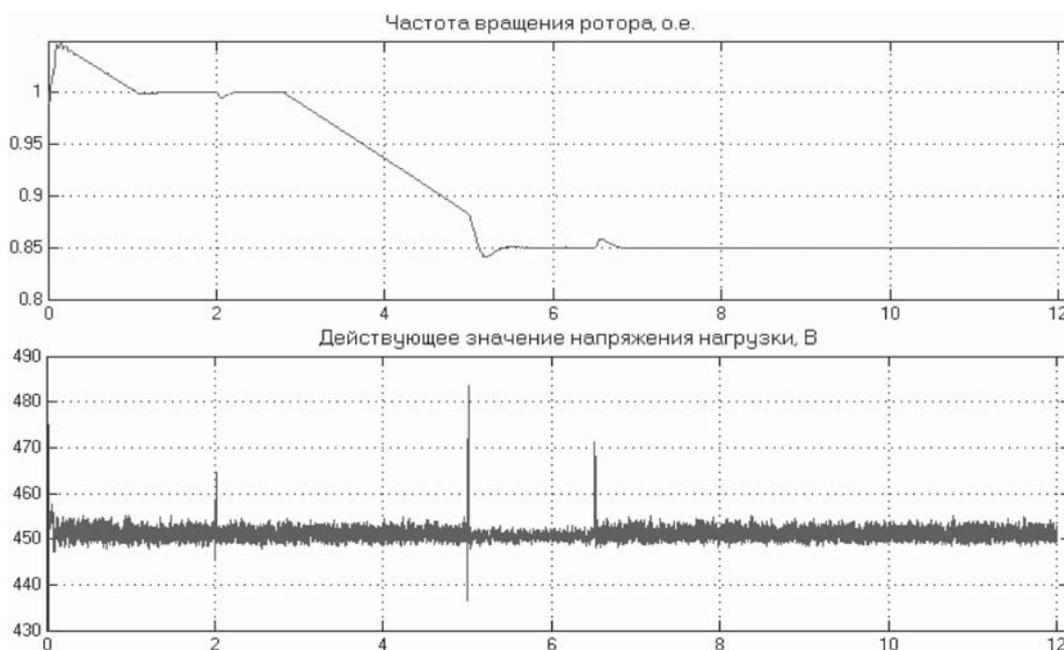


Рис. 7. Переходные процессы при работе вентильного ДГА с переменной частотой вращения

В ходе компьютерного эксперимента через 2 с после достижения ДГА номинальных оборотов происходит включение нагрузки 1 (70 кВт), затем уменьшается подача топлива и на 5 с включается статическая нагрузка 2 (90 кВт), затем на 6,5 с происходит отключение статической нагрузки 2.

Из рис. 7 видно, что в момент подключения приемника электроэнергии «провал» напряжения составляет 12 В, время восстановления значительно меньше одной секунды.

На рис. 8 представлены мгновенные и действующие значения напряжения в судовой сети.

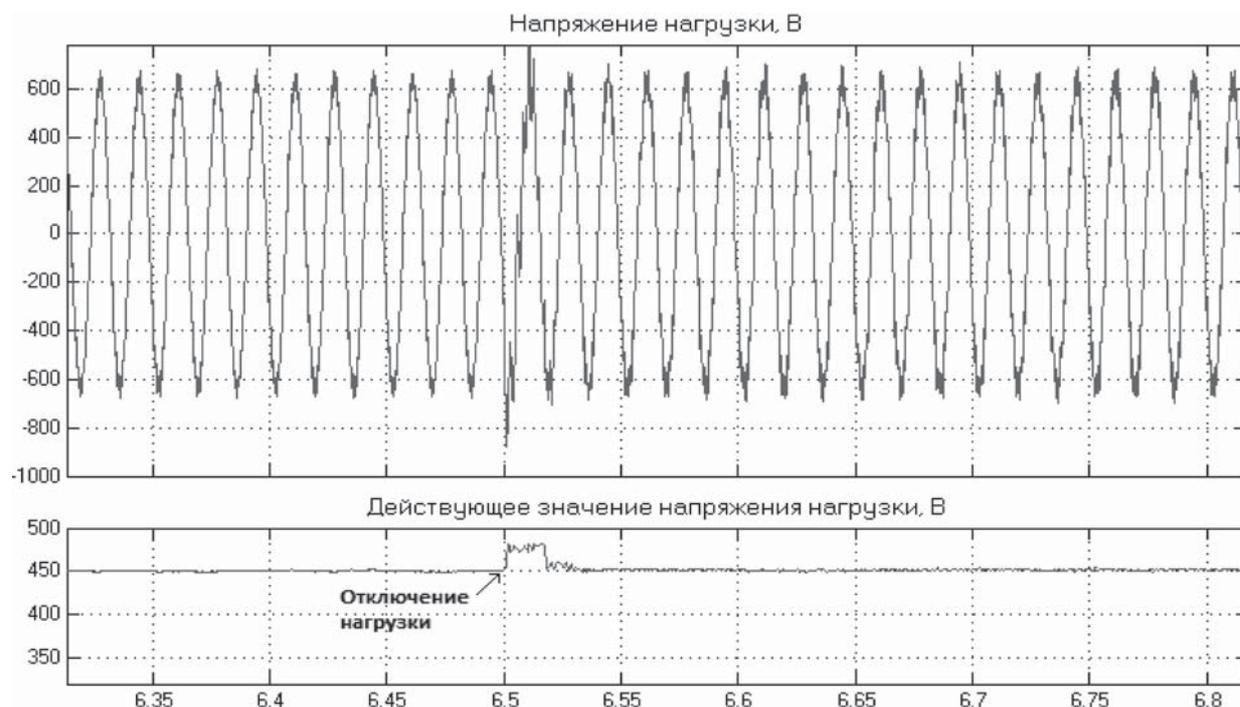


Рис. 8. Значения напряжения в судовой сети — мгновенное и действующее

Видно, что при изменении частоты вращения вентильного ДГА в судовой сети с помощью ПП поддерживается постоянное значение напряжения.

В результате компьютерного моделирования и проведенных вычислительных экспериментов можно сделать вывод, что за счет применения ПП возможно добиться стабилизации параметров генерируемой электроэнергии при изменяющейся частоте вращения ДГА в функции нагрузки, что позволит значительно повысить экономичность работы вспомогательных дизелей.

Список литературы

1. Петухов В. А. Работа вспомогательных ДГА / В. А. Петухов, А. В. Григорьев // Морской флот. — 1998. — № 2. — С. 22.
2. Петухов В. А. Совершенствование эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторных агрегатов / В. А. Петухов, А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Zeszyty naukowe NR 68, Сборник рецензированный. ISSN 0209-2069.» Obsługiwanie maszyn i urzadzen okrentowych» («Обслуживание двигателей и судовых технических средств»), Typografia i sklad – Dzial Wydawnictw Wyzszej Szkoły Morskiej, Szczecin, 2003. — С. 359–366.

3. Баранов А. П. Применение математического моделирования для исследования переходных процессов в судовых электроэнергетических системах / А. П. Баранов, А. В. Григорьев, В., Г. А. Новоселов // Пятая междунар. конф. и выставка по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех – 2003»: материалы конференции (сб. докладов). — СПб.: Изд. НИЦ «Моринтех», 2003. — С. 281–285.

4. Баранов А. П. Исследование переходных процессов в судовой электроэнергетической системе на математической модели / А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Эксплуатация морского транспорта. — СПб.: Наука, 2003. — С. 268–280.

5. Петухов В. А. Анализ и оптимизация эксплуатационных режимов судовых дизель-генераторов / В. А. Петухов, А. П. Баранов, А. В. Григорьев // Эффективность работы энергетических установок и технических средств: междунар. сб. науч. тр. — Калининград: Изд. КГТУ, 2003. — С. 98–105.

6. Григорьев А. В. Компьютерное моделирование судовых электроэнергетических систем / А. В. Григорьев // Труды 5-й Междунар. науч.-техн. конф. «Компьютерное моделирование 2004». Ч. 1. — СПб.: Изд-во «Нестор», 2004. — С. 177–183.

7. Григорьев А. В. К вопросу о повышении экономичности судовых и корабельных ДГА / А. В. Григорьев // Сб. тр. науч.-практ. семинара по вопросам создания, боевой и повседневной эксплуатации электроэнергетики кораблей ВМФ, В 95047. — СПб.: ВМА им. адм. Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 2004. — С. 40–43.

8. Григорьев А. В. Применение пакета MatLab при моделировании и исследовании электроэнергетических систем / А. В. Григорьев // Труды 3-й Межвузовской конф. по науч. программному обеспечению «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и научных исследований». — СПб.: Нестор, 2005. — С. 42–47.

9. Григорьев А. В. Оптимальная регулировочная характеристика дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Электросистемы. — 2006. — № 1 (13). — С. 23–25.

10. Григорьев А. В. Компьютерная модель судового дизель-генераторного агрегата / А. В. Григорьев // Эксплуатация морского транспорта: сб. науч. тр.— СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2006.— Вып. 45. — С. 294–302.

11. Григорьев А. В. Из опыта моделирования электроэнергетических систем в среде Simulink / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер. // Труды межвуз. конф. по науч. программному обеспечению «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и исследованиях». — СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2007. — С. 79–82.

12. Григорьев А. В. Опыт применения пакета визуального моделирования Simulink при проектировании судовых электроэнергетических систем / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер, Д. И. Улитовский. // Компьютерное моделирование 2008: тр. междунар. науч.-техн. конф. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2008. — С. 89–92.

13. Григорьев А. В. Моделирование дизельгенераторных агрегатов с использованием результатов экспериментальных исследований / А. В. Григорьев, Е. А. Глеклер, Д. И. Улитовский // Компьютерное моделирование 2009: тр. междунар. науч.-техн. конференции. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2009. — С. 109–113.

14. Григорьев А. В. Анализ возможности и целесообразности применения систем электродвижения на судах вспомогательного флота / А. В. Григорьев, Р. Р. Зайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 40–46.

15. Григорьев А. В. Повышение эффективности эксплуатации судовых дизельных электростанций / А. В. Григорьев, В. Ю. Колесниченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6(28). — С. 39–43.