

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЙ ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ САЭЭС ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Труднев С.Ю.¹, Портнягин Н.Н.¹

¹*«Камчатский государственный технический университет», Россия (683003, Петропавловск-Камчатский, улица Ключевская 35), e-mail: trudnev@mail.ru, e-mail: pornic1@ya.ru*

Представлены результаты моделирования работы судовой электроэнергетической системы в условиях динамического возмущения. Модельные эксперименты проведены с целью обоснования повышения показателей качества электроэнергии в условиях резко меняющейся нагрузки. Полученные результаты позволяют сделать вывод об увеличении динамической устойчивости синхронного генератора в условиях подключения к судовой сети специального импульсного электрического источника питания, который накапливает энергию с применением электрических конденсаторов большой емкости. Повышение динамической устойчивости обусловлено введением безынерционного электронного преобразователя электрической энергии из постоянного тока в переменный и выпрямителя - преобразователя переменного тока в постоянный. Введение в состав системы электропитания подобного источника позволяет значительно снизить скачки колебаний энергии на основных источниках - синхронных генераторах.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, устойчивость, момент, модель, MATLAB, дизель-генератор, электрическая сеть.

RESEARCH OF INFLUENCES OF THE PULSE SOURCE OF ELECTRIC ENERGY ON DYNAMIC STABILITY OF SHIP AUTOMATIC ELECTRICAL POWER SYSTEM BY MEANS OF IMITATING MODELS

Trudnev S. Y.¹, Portnyagin N.N.¹

¹*Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatski, Russia (683003, Petropavlovsk-Kamchatski, street Kluchevskaya, 35), e-mail: trudnev@mail.ru, e-mail: pornic1@ya.ru*

Presents the results of simulation of the operation of ship's electric power system in the conditions of dynamic perturbations. Model experiments carried out with the purpose of substantiation of increasing indicators of the quality of the electric power in the conditions of sharply changing load. The obtained results allow to make a conclusion on the increase of the dynamic stability of the synchronous generator in the conditions of connection to the ship's network of special pulse electric power source, which accumulates energy with the use of electrical capacitors large capacity. Increased stability due to the introduction of the inertialess electronic Converter of electric energy of DC-to-AC and rectifier - inverter AC to DC. Introduction into the system of power supply of this source can significantly reduce the jumps of fluctuations of the energy of the main sources of synchronous generators.

Key words: ship electrical power system, stability, moment, model, MATLAB

Введение

Современное судно представляет собой большой комплекс сложных технических средств, работу которых обеспечивает отдельная судовая электростанция. Одной из главных задач судовой электростанции является непрерывная доставка электрической энергии к потребителям, обеспечивающих ходкость и работу всего судна в целом. Бесперебойная подача электроэнергии является одной из самых важных задач, которая осуществляет живучесть судна и безопасность мореплавания. Частичное или полное обесточивание судна может привести к серьезным авариям, которые способны повлечь за собой тяжелые последствия от повреждения электрооборудования до гибели людей. Большинство аварий

связанны с нарушением устойчивости работы электрических машин в судовых электрических системах. Устранение и ликвидация таких аварий является трудоемким мероприятием. Для восстановления нормальных условий работы электрических систем необходимо значительное время и усилий судового оперативного персонала. Тяжелые последствия аварий на судне, находящимся в море, заставляют уделять особенное внимание вопросам обеспечения должного уровня устойчивости судовых электроэнергетических систем, как при модернизации технических средств защиты, так и при проектировании новых систем, которые позволят устранить аварии, связанные с нарушением бесперебойной подачи электрической энергии[5].

Анализ и методы решения

В настоящее время существует устройство защиты дизель генераторного агрегата от асинхронного режима[4], которое за короткий промежуток времени определяет степень устойчивости судовой электроэнергетической системы и подает сигнал на срабатывание защиты. Недостатком такой системы остается частичное обесточивание для разгрузки генераторов.

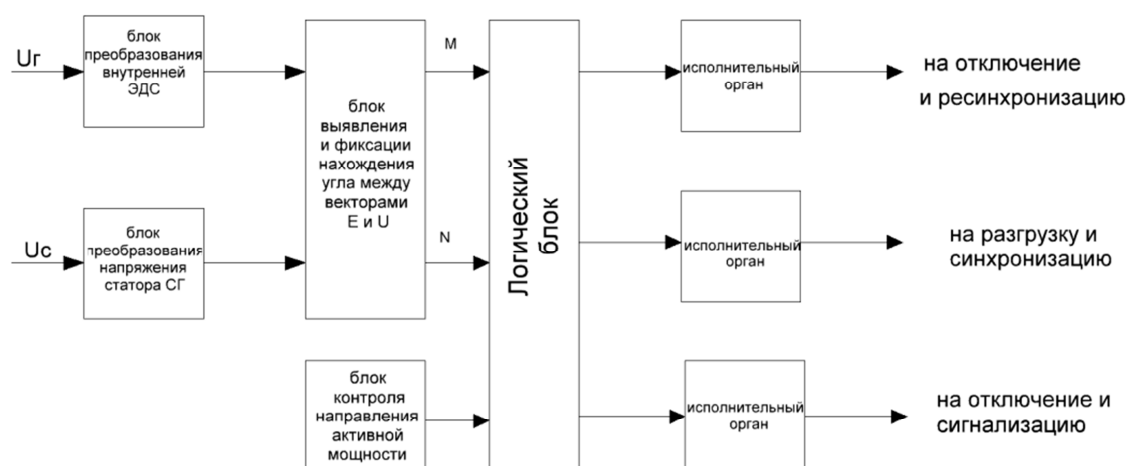


Рисунок 1 Устройство защиты дизель генераторного агрегата от асинхронного режима

На рисунке 1 видно, что система защиты имеет логический блок, который через исполнительные органы, так или иначе, подает сигнал на ресинхронизацию или отключение, нарушая бесперебойную подачу электрической энергии судна. Проблему можно решить путем добавления дополнительного импульсного источника электрической энергии, который обеспечит в тысячные доли секунды достаточный запас устойчивости.

Перед модернизацией необходимо произвести анализ динамической устойчивости судовой электроэнергетической системы, чтобы исследовать на какие показатели будет влиять динамическое возмущение в работающей судовой электросети.

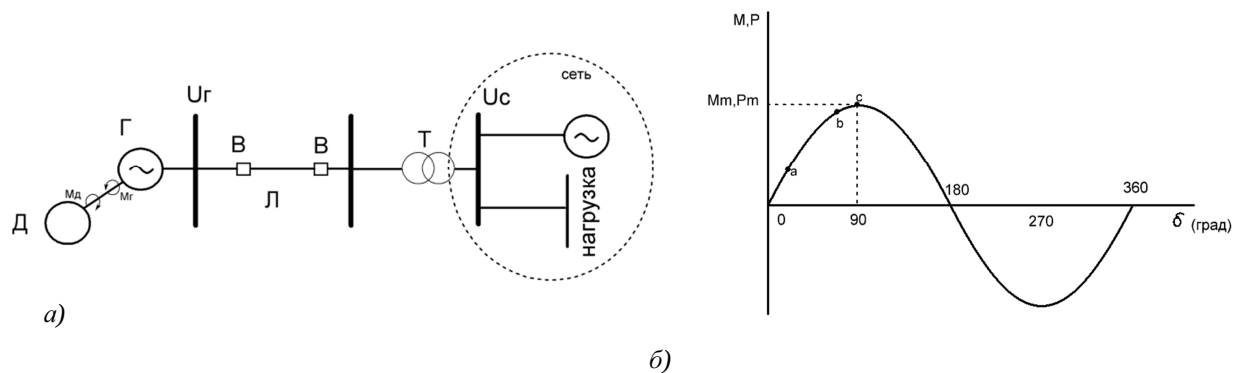


Рисунок 2
а) однолинейная схема модели судовой электроэнергетической системы;
б) характеристика электромагнитного момента и активной мощности.

На рисунке 2,а представлена однолинейная схема модели простейшей судовой электроэнергетической системы. Дизель с моментом M_D вращает генератор Γ , который в свою очередь создает момент сопротивления M_Γ . Из уравнения Горева-Парка[1]

$$M_D - M_\Gamma = J \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

Следует, что для того, чтобы генератор работал устойчиво, то есть вращался с постоянной скоростью $w = \text{const}$, осуществлял преобразование механической энергии в электрическую, необходимо чтобы механический момент M_D совершал работу по преодолению равного и встречно направленного ему момента M_Γ . В противном случае, при отсутствии баланса моментов M_D и M_Γ , генератор будет увеличивать, либо уменьшать свою кинетическую энергию, что чревато потерей устойчивости. Для того, чтобы производная скорости по времени оставалась равная нулю, необходимо контролировать момент генератора M_Γ . Момент дизеля M_D контролирует система автоматического регулирования частоты, путем регулирования подачи топлива, но на величину $\frac{dw}{dt}$ будет влиять и момент синхронного генератора M_Γ , который будет зависеть только от величины и характера нагрузки[2].

На рисунке 2,б представлен график работы характеристики электромагнитного момента и активной мощности генератора, которые представляют зависимости развиваемых генератором электромагнитного момента и активной мощности от пространственного положения его ротора по отношению к ротору другого параллельно работающего с ним генератора, определяемого углом между продольными осями этих генераторов. Применительно к генератору, работающему в составе электрической системы, его характеристикой момента (мощности) является зависимость развиваемого им момента M (активной мощности P) от угла δ .

Развиваемая генератором активная мощность P равна работе, совершаемой электромагнитным моментом M против момента дизеля M_D в единицу времени. Сама же эта

работа в стационарном режиме при постоянстве электромагнитного момента M прямо пропорциональна последнему. Поэтому зависимости мощности P и момента M от угла δ имеют одинаковый характер[3]. Исходя из того, что индукция B_C магнитного поля в воздушном зазоре генератора имеет синусоидальный характер распределения и определяет его влияние на величину электромагнитного момента M следует, что электромагнитный момент M и развиваемая генератором G активная мощность P в зависимости от угла δ будут также изменяться по синусоидальному закону (рисунок 2,б).

При положении ротора генератора G , соответствующем углу $\delta=90$ (рисунок 2,б), активные части его обмотки возбуждения находятся в наиболее сильном поле B_C , на ротор при этом действует электромагнитный момент M наибольшей величины и генератор G развивает максимально возможную активную мощность P_m (рисунок 2,б), которая в точке δ будет достигать идеального предела мощности генератора.

Характеристику мощности генератора можно представить аналитически в виде

$$P = P_m \sin \delta \quad (2)$$

Генератор не в состоянии развить активную мощность больше предела P_m , при любом значении мощности дизеля. Развиваемая генератором активная мощность P прямопропорциональна развиваемому им электромагнитному моменту M , который, в свою очередь, с одной стороны, прямопропорционален току в обмотке возбуждения или ему пропорциональной ЭДС E_G , с другой стороны, прямопропорционален индукции B_C магнитного поля или ей пропорциональному току I_C . Из формулы (2) и графика (рисунок 2,б) видно, что если угол δ достигнет значения выше 90 градусов то, активная мощность P начнет менять свое направление и наступит недопустимый асинхронный режим, который нарушит бесперебойную подачу электрической энергии.

Если,

$$\sin \delta = \frac{E_G}{U_C} \quad (3)$$

где E_G , U_C - внутренняя ЭДС генератора и напряжение обмоток статора соответственно, то контролируя угол между напряжением статора и внутренней ЭДС можно фиксировать и отслеживать асинхронный режим и, тем самым, контролировать устойчивость любой электроэнергетической системы и устранять предотказные состояния.

На рисунке 3,а представлена модель, реализованная в программе компьютерного моделирования средствами пакета MATLAB 7.0, которая позволяет демонстрировать зависимость устойчивости электроэнергетической системы от угла между напряжением статора и внутренней ЭДС[6].

Модель включает:

1) Синхронный генератор

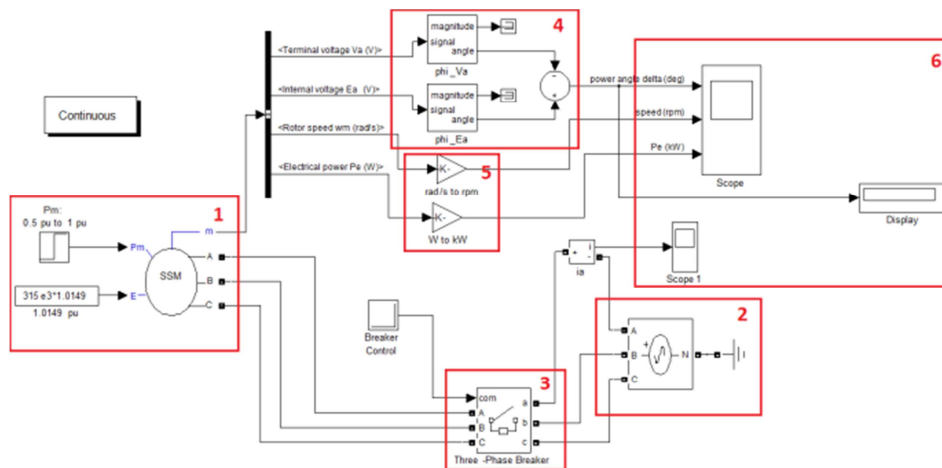
2) Сеть частотой 50 Гц

3) Блок измерения угла между напряжением статора и внутренней ЭДС

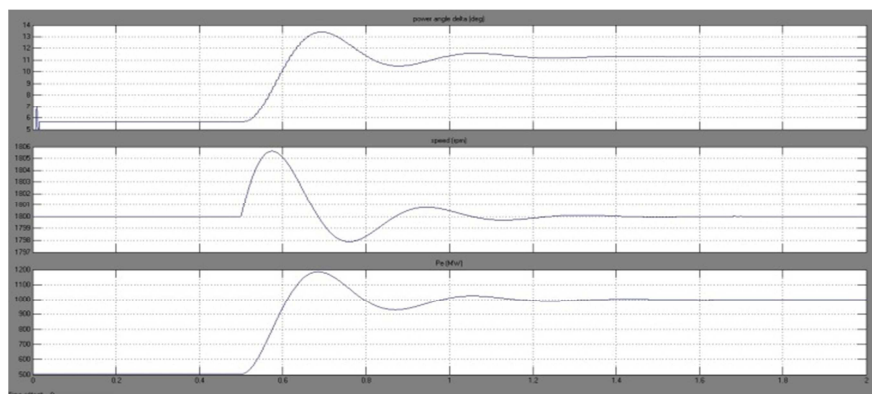
На рисунке 3,б представлена графическая зависимость от величины динамической нагрузки от угла между напряжением статора и внутренней ЭДС предлагаемой системы, реализованной в программе компьютерного моделирования средствами пакета MATLAB 7.0

В момент времени $t = 0,53$ сек подключается параллельно в сеть 2 синхронный генератор 1 и вводит динамическое возмущение, блок номер три фиксирует это и на верхней диаграмме (рисунок 3,б) увеличивается угол между напряжением статора и внутренней ЭДС.

На графике (рисунок 3,б) выделенная область соответствует точке с (рисунок 2,б). Это говорит о том, что угол δ не превысил 90 градусов и смоделированная электроэнергетическая система обладает динамической устойчивостью.



а)



б)

Рисунок 3

а) Подключение синхронного генератора на трехфазную сеть;

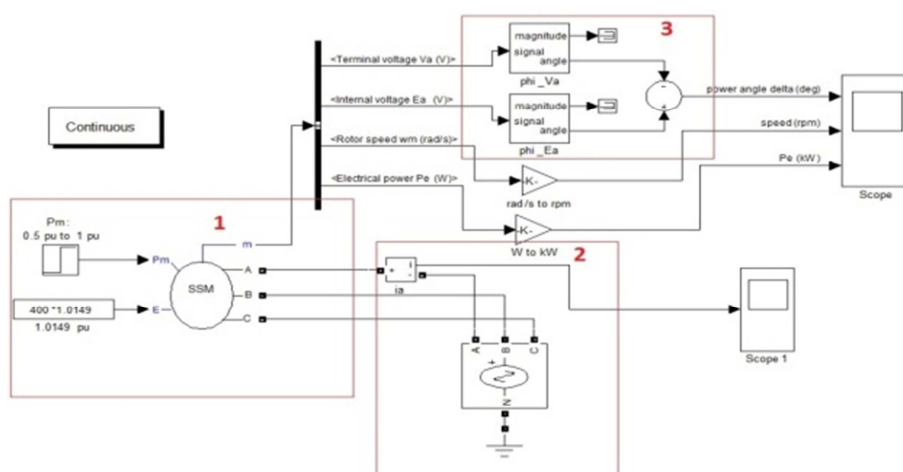
б) Графические характеристики зависимости величины динамической нагрузки от угла между напряжением статора и внутренней ЭДС в MATLAB 7.0

1-генератор;2-сеть;3-измерительный орган

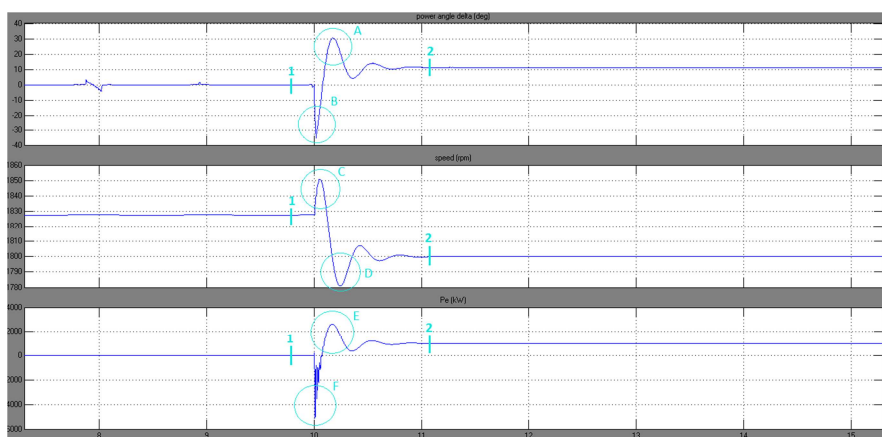
Анализ вопросов устойчивости и результаты исследования компьютерной модели судовой электроэнергетической дают возможность перейти к модернизации судовых электроэнергетических систем с целью повышения надежности судового электрооборудования и безопасности мореплавания.

Для подробного исследования и определения динамического режима параллельной работы судового дизель - генератора на сеть, была смоделирована судовая электроэнергетическая система в программе MATLAB средствами пакетов Simulink и SimPowerSystems.

На рисунке 4,а представлена виртуальная модель включения дизель-генераторного агрегата на параллельную работу с сетью.



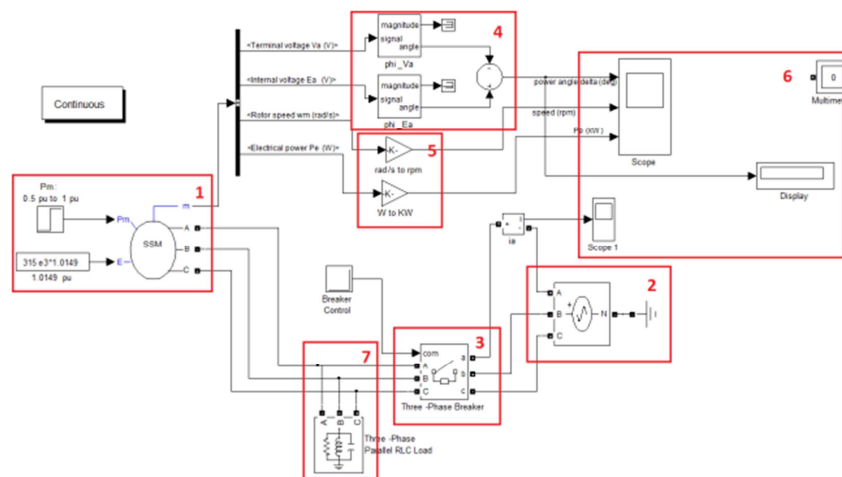
а)



б)

Рисунок 4

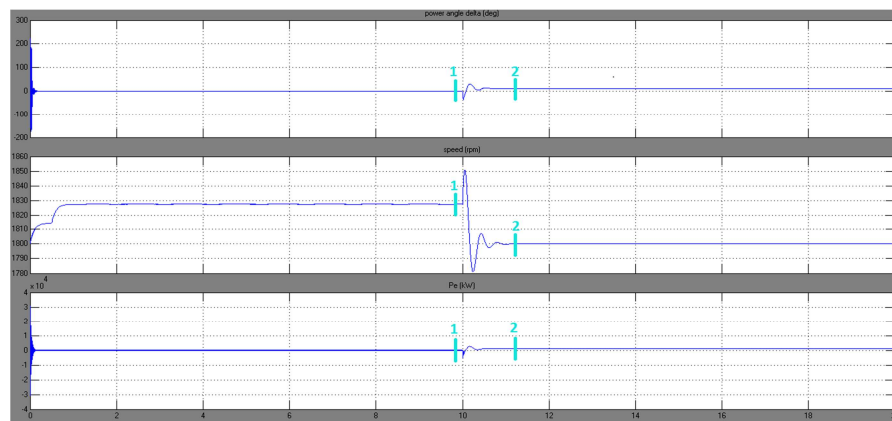
а) имитационная модель судовой электроэнергетической системы;
б) диаграмма параллельной работы генератора на сеть.
1-генератор;2-сеть;3-автоматический выключатель;4-6-измерительные органы;



В момент времени $t = 10$ сек путем включения автоматического выключателя 3 подключается параллельно в сеть 2 синхронный генератор 1 и вводит динамическое возмущение, блоки измерительных органов 4-6 фиксируют это и на первой диаграмме (рисунок 2) увеличивается угол между напряжением статора и внутренней ЭДС.

На рисунке 4,б латинскими буквами обозначены максимальные амплитудные отклонения электрических характеристик при динамическом возмущении. В точке А угол между напряжением статора и внутренней ЭДС увеличивается до 30 градусов, что снижает во время переходного процесса динамическую устойчивость параллельной работы судовой электроэнергетической системы.

а)



б)

Рисунок 5

а) имитационная модель судовой электроэнергетической системы с применением импульсного источника энергии;

б) диаграмма включения синхронного генератора в трехфазную сеть с применением импульсного источника электрической энергии.

1-генератор; 2-сеть; 3-автоматический выключатель; 4-6-измерительные органы; 7-импульсный источник электрической энергии;

На рисунке 5,а представлена модель, реализованная в программе компьютерного моделирования средствами пакета MATLAB 7.0, которая доказывает улучшение качества

переходного процесса и увеличение динамической устойчивости параллельной работы судового генератора на сеть.

Модель включает:

- 1) Синхронный генератор
- 2) Сеть частотой 50 Гц
- 3) Автоматический выключатель
- 4) Блок измерения угла между напряжением статора и внутренней ЭДС
- 5) Блок измерения электромагнитной мощности и частоты вращения
- 6) Блок контроля параметров
- 7) Импульсный источник электрической энергии

В момент времени $t=10$ секунд судовой синхронный генератор 1 включается в трехфазную сеть 2, в это же время в работу включается импульсный потребитель 7 высокой емкости. На рисунке 5,б видно, что максимальные амплитудные колебания снижаются и на участке 1-2 наблюдается улучшение качества переходного процесса параллельной работы синхронного генератора на сеть, что увеличивает динамическую устойчивость судовой электроэнергетической системы в целом.

Выводы

Анализ вопросов устойчивости и результаты исследования имитационных моделей параллельной работы генератора на трехфазную сеть позволили отследить качество и время переходных процессов. Проведенные исследования и полученные результаты показывают, что введение импульсных источников электрической энергии привело к улучшению качества параллельной работы судовой электроэнергетической системы.

Список литературы

1. Баранов А.П., Раимов М.М. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : учебник для вузов; СПб. : Элмор, 1997. - 232 с.
2. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах:- М.:Высш.шк.,1985.-536 с.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л. А. Жукова. -М., Энергия, 1979.-456 с
4. Патент РФ № 5041128/07, 06.05.1992.
5. Труднев С.Ю., Портнягин Н.Н. Разработка цифровых моделей режимных свойств для исследования динамической устойчивости судовой электроэнергетической системы//Вестник КамчатГТУ. — 2012 — № 20. — С. 37-40.

6. Черных И.В. Моделирование электро - технических устройств в MATLAB SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. — 288 с.

Рецензенты:

Егоров Андрей Валентинович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности» Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина, г.Москва.

Ершов Михаил Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретической электротехники и электрификации нефтяной и газовой промышленности» Российский государственный университет нефти и газа имени И.М.Губкина, г.Москва.