



УДК 621.316.722.9

Сугаков Валерий Геннадьевич, доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Тошев Александр Александрович, соискатель, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Зобов Лаврентий Владиславович, аспирант, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СУДОВЫХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ВНЕШНЕЙ ФОРСИРОВКОЙ С УЧЕТОМ КОРРЕКЦИИ ПРИРАЩЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: система автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой, математическая модель системы автоматического регулирования напряжения, имитационная модель системы автоматического регулирования напряжения, моделирование в пакете Matlab Simulink.

Аннотация. Рассмотрены основные существующие системы возбуждения судовых синхронных генераторов. Приведена ранее апробированная система автоматического регулирования возбуждения судовых синхронных генераторов с внешней форсировкой. Представлена новая методология изучения зависимости переходного отклонения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки.

В существующих современных судовых электростанциях используется значительное количество вариантов систем возбуждения синхронных генераторов. В частности, системы возбуждения синхронных генераторов, содержащие регуляторы напряжения. Недостатком этих систем является низкое быстродействие. Для увеличения быстродействия применяют системы возбуждения синхронных генераторов, содержащие элементы компаундирования (резисторы, автотрансформаторы, суммирующие трансформаторы). Однако такие системы имеют малую точность, так как они производят регулирование только по главному возмущающему фактору, не учитывая остальные воздействия.

Все отраженные выше недостатки учтены в системе автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы коррекции приращения напряжения.

Она имеет высокую форсировочную способность, ограниченную лишь параметрами внешнего источника и обладает высоким быстродействием форсировки возбуждения, которое определяется частотой генератора импульсов стабильной частоты и осуществляется по приращению тока генератора ещё до критического снижения напряжения.

Быстрое увеличение напряжения возбуждения до предельного значения называют форсировкой возбуждения генератора.

Модель, приведенная на рисунке 1, аналогична системе автоматического регулирования возбуждения судовых синхронных генераторов с внешней форсировкой, однако для обеспечения более качественного регулирования выходного напряжения генератора с помощью форсировки возбуждения дополнительно вводится система контроля приращения выходного напряжения генератора. Система представляет собой блок вычисления производной по напряжению «Derivate». В случае, когда производная больше нуля (когда происходит нарастание напряжения) формируется сбросовый сигнал на вход «R» триггера «S-R» через блок логического «ИЛИ» (LogicalOperator3) [129, 131].

В модели также используется метод интегрирования с фиксированным шагом по методу Рунге-Кутты четвертого порядка. Значение шага – 0.00002 сек. Время моделирования – 2,5сек.

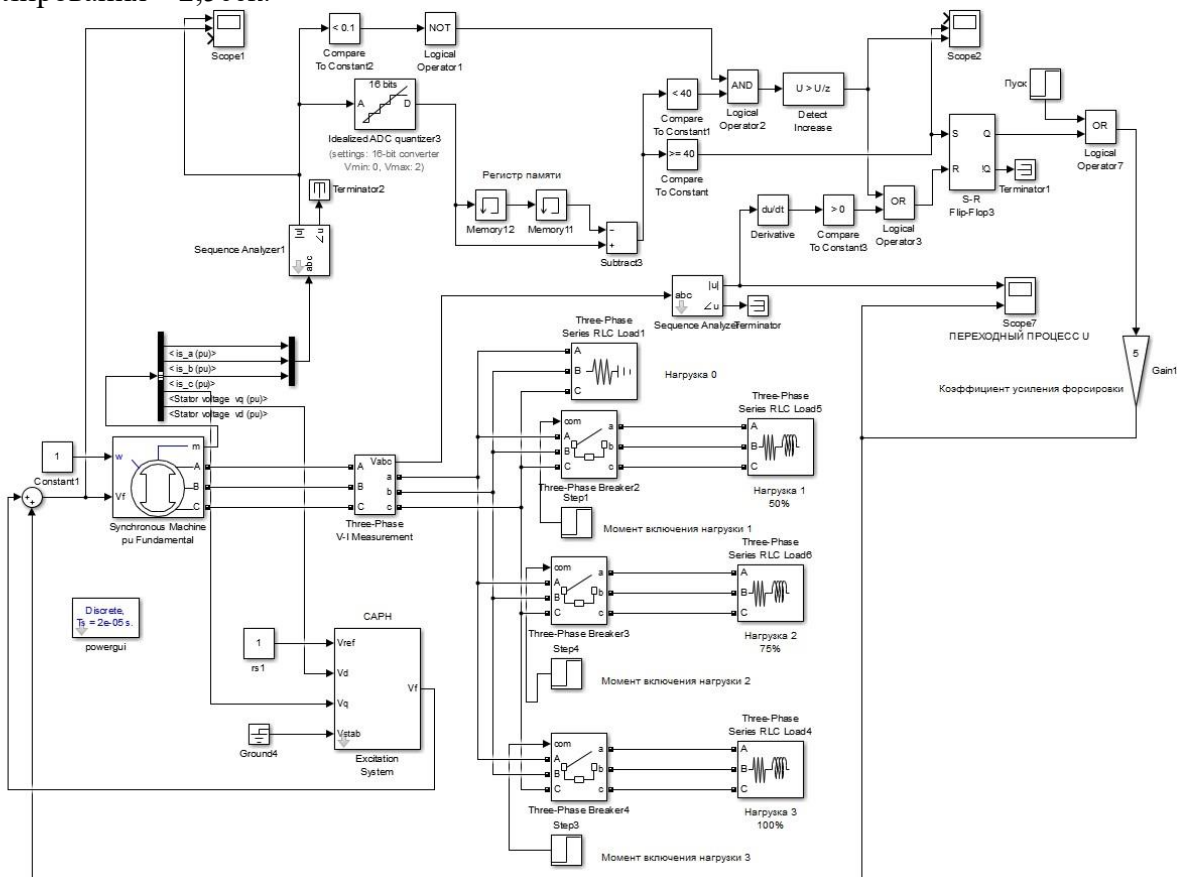


Рис. 1. Имитационная модель системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы контроля приращения напряжения

В результате математического моделирования системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы контроля приращения напряжения получены следующие показатели качества электрической энергии (ПКЭ), которые приведены в таблице 1. Графический результат математического моделирования системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы контроля приращения напряжения приведен ниже на рисунке 2.

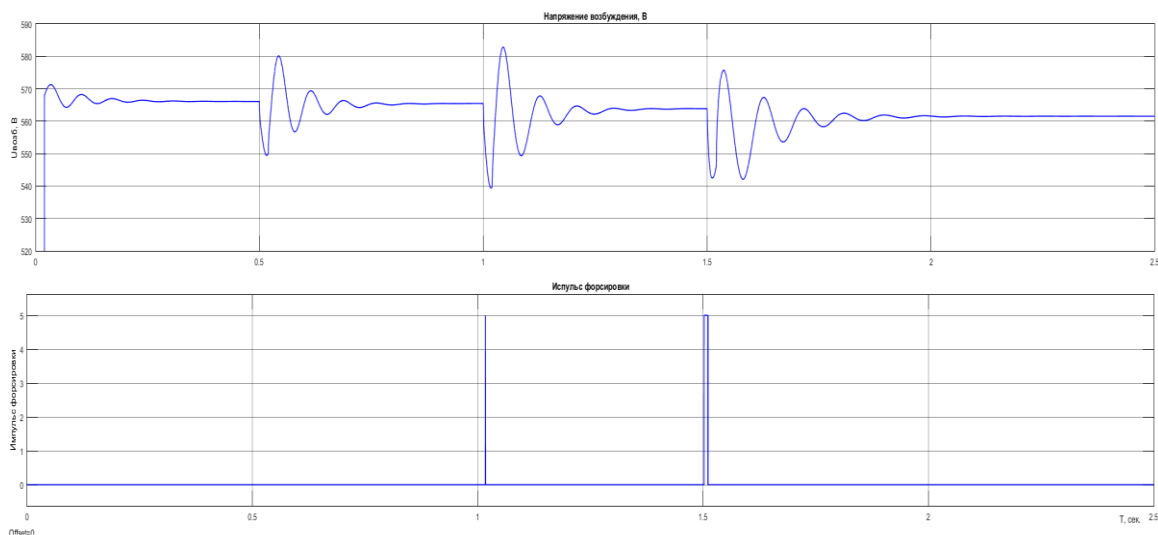


Рис. 2. Графические результаты математического моделирования системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы контроля приращения напряжения

Таблица 1

Сравнительная характеристика показателей качества электроэнергии с результатами исследований

№ пп	Наименование ПКЭ	Норма	Величина нагрузки	Результаты исследований, %
1	Установившееся отклонение напряжения при неизменной нагрузке	±5%	Для 10%	-
			Для 100%	3,7
2	Установившееся отклонение напряжения при изменении нагрузки	±2,5%		2,04
3	Переходное отклонение напряжения	±10%		-3,18

Из полученных результатов видно, что при моделировании системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой с учетом системы контроля приращения напряжения все исследуемые показатели качества электрической энергии лучше по сравнению с системой автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой и системой автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с компаундированием.

Длительность импульса форсировки при набросе нагрузки 75% от мощности синхронного генератора ($P=36$ кВт, $Q=3,6$ кВар, $S= 36$ кВА) составляет $3 \cdot 10^{-4}$ сек., а при набросе 100% ($P=48$ кВт, $Q=4,8$ кВар, $S= 48$ кВА) составляет $1 \cdot 10^{-3}$ сек. При набросе

нагрузки 50% от мощности синхронного генератора ($P=24$ кВт, $Q=2,4$ к Вар, $S=24$ кВА) форсировка не срабатывает.

Полученные в результате проведенных исследований показатели качества электрической энергии имитационной модели САРВ судового СГ с внешней форсировкой преимущественно лучше показателей, полученных при изучении остальных имитационных моделей САРВ судовых СГ. Длительность импульса форсировки сократилась при 75% нагрузке в три раза, а при 100% нагрузке почти в два раза.

Список литературы:

- [1] В.Г. Сугаков, О.С. Хватов «Системы автоматического регулирования параметров электрической энергии судовых электростанций. Часть 2. Автоматическое регулирование напряжения судовых источников электрической энергии»: учеб пособие / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. -180 с.
- [2] В.Г. Сугаков, А.А. Тощев «Система возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой». - Речной транспорт (XXI век). 2014. – № 1 (66). – (с.70-71).
- [3] Пат. 2510698 RU, МПК Н 02 Р9/14. Система возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, Ю.С. Малышев, А.А. Тощев, – № 2012151015/07 ; заявл. 28.11.2012 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. №10. – 7 с.
- [4] В.Г.Сугаков, А.А. Тощев, Ю.С. Малышев «Анализ систем автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов» - XVIII Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: материалы докладов. 19-22 марта 2013г. / Отв. За вып. И.А.Зверева – Н.Новгород: НИУ РАНХиГС, 2013 – 248с. – (с.195-197).
- [5] В.Г.Сугаков, А.А. Тощев «Моделирование системы автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой» - Труды 20-го международного научно-промышленного форума "Великие реки-2018", 2018.
- [6] Черных И.В. «Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink.» – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с., ил. (Серия «Проектирование»).
- [7] Коробко Г.И., Попов С.В. « Моделирование элементов судовых электроэнергетических систем» Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2011. –32 с.
- [8] Коробко Г.И., Попов С.В. « Моделирование судовых синхронных генераторов и систем их возбуждения» Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. – 34 с.

MATHEMATICAL MODELING OF THE SYSTEM OF AUTOMATIC REGULATION OF EXCITATION OF SHIPBOARD SYNCHRONOUS GENERATORS WITH EXTERNAL FORCING WITH ACCOUNT CORRECTION INCREASE VOLTAGE

Valeriy G. Sugakov, Alexander A. Toshev, Lavrenty V. Zobov

Keywords: system of automatic control of excitation of the ship synchronous generator with external force, mathematical model of the system of automatic voltage regulation, simulation model of the system of automatic voltage regulation, simulation in the Matlab Simulink package.

The article is devoted to the determination the main existing systems of excitation of ship synchronous generators are considered. The previously tested system of automatic control of the excitation of shipboard synchronous generators with external force is given. A new methodology for studying the dependence of the transient deviation on the force coefficient at various load levels is presented.