

Рис. 3 Динамические характеристики системы пуска с накопителями различной емкости: 1 – ток разряда автономного источника, 2 – ток заряда/разряда ЕНЭ, 3 – напряжение на внешних зажимах СБ, 4 – напряжение на внешних зажимах ЕНЭ, 5 – угловая скорость вала СД, равная скорости коленчатого вала ДВС

Список литературы:

- [1] Репин А.С., Гуляев В.В., Бурмакин О.А. Система стартерного электропривода с дискретно-импульсным регулятором напряжения и ячейковыми накопителями энергии. Труды 14-го международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2012». Том 2 Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек., стр. 284–286.
- [2] Репин А.С., Бурмакин О.А., Гуляев В.В. Система электростартерного пуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с адаптивным ШИМ-регулятором. Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Выпуск №33. стр. 196–200.

В.И. Самулев, Ю.П. Мухин
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В САЭС С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ВЭУ)

При детальном рассмотрении вопросов широкого применения ВЭУ на стоечных судах ВВТ решались сразу две встречные, по направлению исследований, задачи. Первая заключалась в разработке наиболее приближенной к реальным физическим условиям, модели ВЭУ, а именно той модели, которая удовлетворяла бы условиям,

предъявляемым российским речным регистром и, если потребуется, российским морским регистром судоходства.

Вторая задача состояла в проверке и в сопоставлении полученных результатов математического исследования, с полученными опытным путём, расчетными данными.

Учитывая вышеизложенный факт, задачи выполнялись одновременно, что усложняло процедуру расчёта и моделирования. Сначала составляется система дифференциальных уравнений для ВЭУ, синхронного генератора, активно-индуктивной нагрузки в нормальной форме Коши и Парка-Горева, которая может быть рассчитана в любом прикладном математическом программном пакете. Хотя наибольшую возможность визуализации моделирования дает представление агрегатов ВЭУ в виде динамических звеньев, например, как это предусмотрено в программе Simulink, составной части пакета Matlab.

Регулирование и настройка частоты вращения имитационной модели ВЭУ.

Учитывая условия работы ВЭУ регулирование необходимо производить как по ветру, который имеет неоднородную физическую природу, так и по нагрузке, которая также имеет случайный характер.

Ниже приведена модель ветротурбины, представляющая собой уравнение её механической мощности (P_{mech}):

$$P_{mech} = c_p (\lambda \beta) \frac{\rho A}{2} v^3 \text{ветра}$$

где C_p – коэффициент использования энергии ветра;

ρ – плотность воздуха (кг/м^3);

A – условное сечение рабочей поверхности ветроколеса (м^2);

v – скорость ветра;

α – соотношение скорости ветра к скорости ротора;

β – угол поворота лопасти.

При сборе блоков этого уравнения также были учтены регулировки скорости ротора генератора, что обеспечило дополнительную стабилизацию по частоте. На вход блока ветротурбины поступает 3 входных сигнала: скорость генератора в относительных единицах (далее о.е.), угол поворота лопастей (в градусах), скорость ветра в м/с.

Контроль скорости и мощности ВЭУ имеет три области: область оптимального и постоянного коэффициента мощности C_p ; область ограничения скорости; область ограничения мощности.

Обычно ВЭУ начинают работать при скоростях ветра 4–5 м/с и останавливаются при 25–30 м/с. При скоростях между этими значениями ветроустановка работает в одной из вышеупомянутых областей. На типичном интервале ВЭУ работает в течение 70–80% времени, остальное время скорость ветра либо слишком низка, либо слишком высока.

Область максимального коэффициента мощности – это зона нормальной работы, в которой контроллер скорости управляет системой таким образом, чтобы поддерживать постоянное оптимальное значение C_p , сохраняемое в ПК оператора ВЭС в качестве уставки.

В области постоянного значения C_p система управления увеличивает скорость ветроколеса с ростом скорости ветра, но лишь до определённого предела. Когда этот предел достигнут, ВЭУ попадает в область ограничения скорости. Коэффициент мощности C_p становится меньше оптимального значения и эффективность преобразования мощности ротора снижается.

Если скорость ветра продолжает повышаться, то режим ВЭУ будет перемещаться в область ограничения мощности, выдаваемой генератором.

Когда это произойдёт, скорость ветроколеса снизится и коэффициент мощности ещё больше уменьшится. Выходная мощность генератора останется постоянной и будет равна оптимальному значению. Когда ограничения по скорости и мощности не могут обеспечить нормальной работы при сильных порывах ветра, ВЭУ останавливается.

Данную информацию подтверждают исследования регулирования системы управления углом поворота лопасти.

Описание модели. В результате подбора наиболее приемлемой для визуализации требуемых процессов модели в программе Matlab Simulink 7.12 была выбрана модель представленная на рис. 1.

Модель состоит из блоков:

- 1) Ветрогенератора и регулятора поворота лопастей
- 2) Синхронной машины и системы возбуждения
- 3) Трёхфазного автомата с системой включения
- 4) Блока короткого замыкания
- 5) Асинхронной машины работающей на номинальной нагрузке
- 6) Блока Powergui
- 7) Измерительных блоков, шин и необходимых соединений.

Процесс моделирования производится по методу Эйлера с фиксированным шагом $1e^{-4}$. Время моделирования для детального изучения процессов составляет для данной конкретной модели 6 секунд.

Для работы блоков синхронной машины и асинхронной специально установлен блок Powergui, который переведён в режим дискретизации модели, с согласованным шагом. В таком режиме существенно увеличивается скорость расчёта всей модели в целом. Точность расчёта определяется величиной шага дискретизации. Дискретизация производится методом Тастина.

Далее показан график, позволивший оценить качество регулирования и характеризующие работу объекта моделирования с достаточной точностью для всех выбранных критериев. Масштаб представленных графиков, в данном случае, взят реальным и не уменьшался.

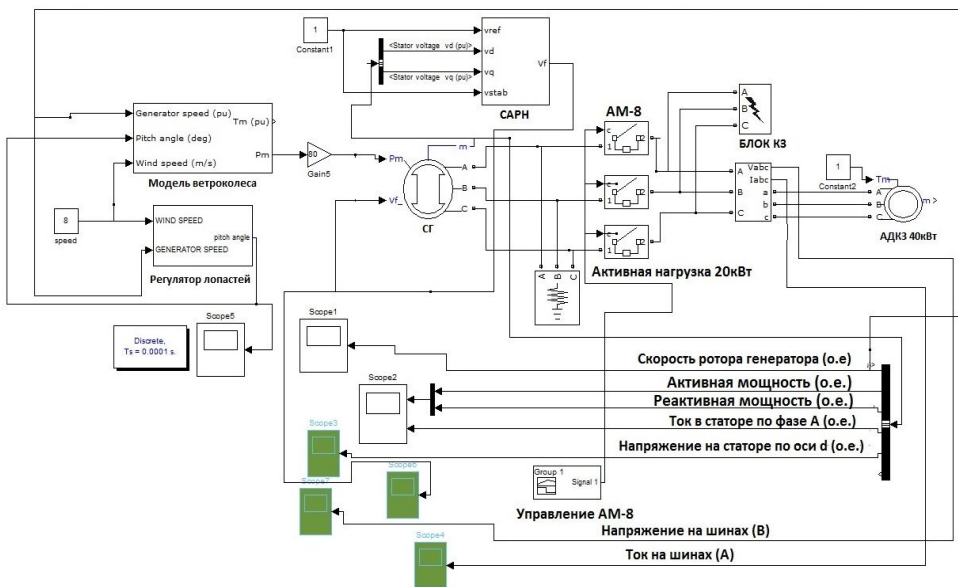


Рис. 1

На рисунке 2 показан график изменения скорости вращения ротора генератора за время моделирования 6 секунд.

Исследование переходных процессов при включении активно-индуктивной нагрузки.

Исследование проводилось параллельно с расчётом изменения напряжения, одобренным Российским речным регистром.

Необходимо учитывать: включение АДКЗ на 1 секунде а его отключение на 4.5 секунде.

До включения АДКЗ ВЭУ работала на активную нагрузку

На приведённой ниже диаграмме показаны верхний скачок и нижний провал напряжения по оси d (рис. 2).

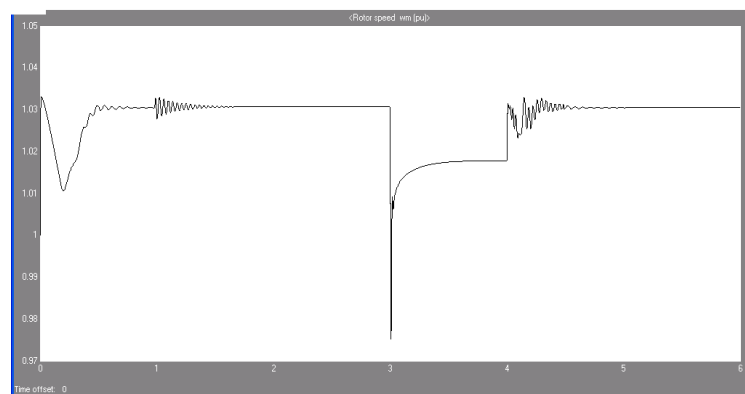


Рис. 2

Из численной оценки данного графика можно наблюдать, что провал напряжения не превышает расчётный, а значит:

а) имитационная модель соответствует расчётной по качеству регулирования выходного напряжения

б) регулировка системы возбуждения модели выполнена правильно за исключением некоторой не влияющей на процесс ошибки, связанной с колебаниями решения.

Исследование переходных процессов при коротком замыкании на шинах ГРЩ имитационной модели.

Данное исследование также проводилось совместно с расчётом, после чего данные сравнивались и согласно их делался сравнительный анализ этих данных.

Результаты изображены на рисунках 4,5.

Необходимо учитывать: включение АДКЗ на 1 секунде а его отключение на 4.5 секунде;

до включения АДКЗ ВЭУ работала на активную нагрузку;

сопротивление кабеля в модели учтено в параллельной активной нагрузке.

На приведённой ниже Рис. 5 показаны скачок ударного тока (в А) и значение тока восстановления после короткого замыкания. Также считается необходимым показать провал частоты ротора СГ. (Рис. 4)

Из численной оценки данного графика можно сказать что провал напряжения не превышает расчётный а значит:

а) имитационная модель соответствует расчётной по качеству регулирования выходного напряжения;

б) регулировка системы возбуждения модели выполнена правильно за исключением некоторой не влияющей на процесс ошибки, связанной с колебаниями решения.

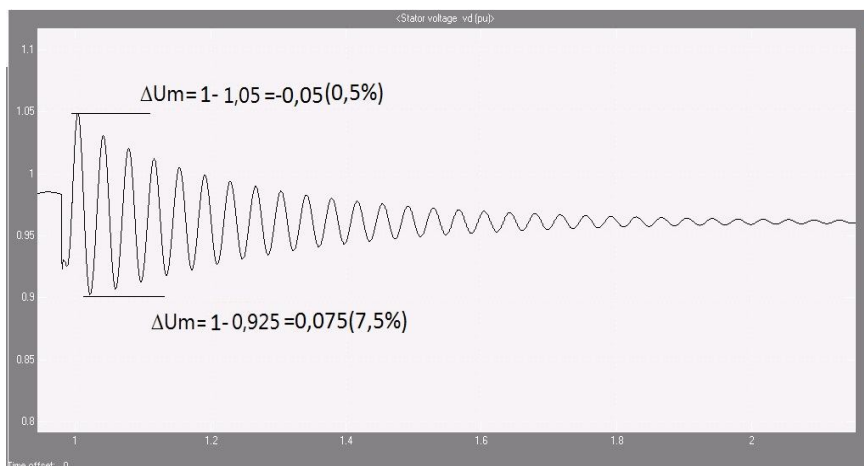


Рис. 3

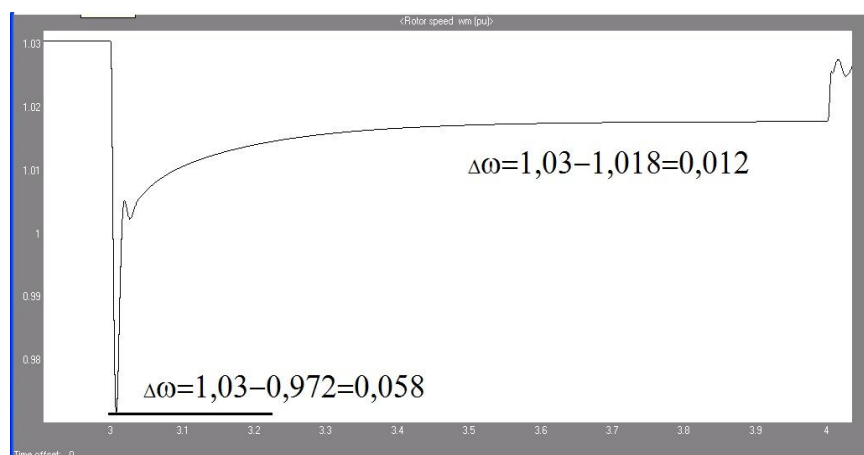


Рис. 4

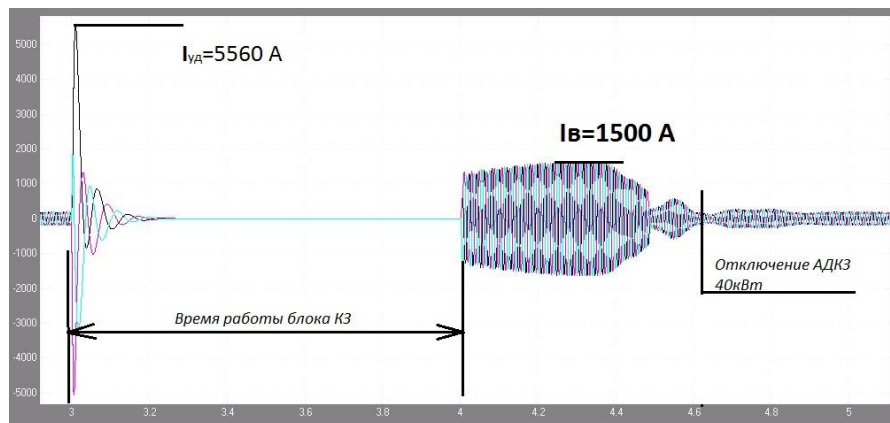


Рис. 5

Выводы:

1) Таким образом, в ходе исследования изучены режимы работы ветрогенератора, задачи системы управления. Работа системы управления поворотом лопастей рас-

смотрена в динамической модели, в котором заложены как характеристики ветра, конструкции ветрогенератора, так и системы управления.

2) Можно заключить, что система управления поворотом лопастей позволяет стабилизировать выходную мощность и существенно снизить динамические нагрузки на конструкцию ветрогенератора.

3) Алгоритмы системы управления поворотом лопастей могут быть усовершенствованы с использованием методов оптимизации, линеаризации и нечеткой логики.

4) При расчётном изменении напряжения генератора в результате включения АДКЗ 9,4% экспериментальное изменение составило 7,5%, что говорит о качественном улучшении системы возбуждения.

5) При расчётном значении ударного тока короткого замыкания 7304,13 А, экспериментальное составило 5560А; при расчётном действующем значении периодической составляющей в начальный момент КЗ 5,41 о.е. экспериментальное значение составило 5,1о.е., а значит надёжность системы не ухудшилась а наоборот качественно улучшилась согласно РРР.

Список литературы:

- [1] Храмов М.Ю., Мухин Ю.П. Перспективы внедрения и применения ВЭУ на речном и морском транспорте. – Н.Новгород: Вестник ВГАВТ 2011 г.
- [2] Самулеев В.И., Александров В.В., Мухин Ю.П. Повышение надежности судовой автоматизированной электроэнергетической установки теплохода проекта «92-016»: «Сборник статей ВГАВТ» Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ» 2012 г.
- [3] Самулеев В.И., Мухин Ю.П. Плавучая ветродизельная электроэнергетическая станция для питания береговых объектов и зарядки аккумуляторных батарей: «Возобновляемые источники энергии». Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием. Изд-во МГУ им. Ломоносова г.Москва г.2012.- 492 с.
- [4] Самулеев В.И., Мухин Ю.П. Плавучая ветродизельная электроэнергетическая станция для питания береговых объектов и зарядки аккумуляторных батарей: «Вестник ВГАВТ» №33 изд-во ВГАВТ г.Н.Новгород 2012г. – 220 с.
- [5] Самулеев В. И. Определение мощности судовой электростанции. Н. Новгород ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2013 г. – 92 с.
- [6] Раимов М.М., Баранов А.П. Моделирование судовой электрооборудования и средств автоматизации. Санкт-Петербург: Элмор, 1997 г. – 232 с.

В.Г. Сугаков, Ю.С. Малышев, А.А. Тоцев
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С УПРАВЛЯЕМОЙ ВНЕШНЕЙ ФОРСИРОВКОЙ

Система автоматического регулирования возбуждения (САРВ) синхронного генератора представляет собой, как правило, комбинированные устройства компаундирования и регулятора (или корректора) напряжения. Комбинированные САРВ реализуют принципы регулирования по отклонению и по возмущению, и обладают их достоинствами. В таких системах наряду с замкнутым контуром, образованным главной обратной связью, имеется цепь компенсации основного возмущающего воздействия. Управляющее воздействие в этом случае является функцией возмущающего воздействия и отклонения напряжения от его заданного значения, т.е. функцией ошибки. Отрицательное действие всех неучтенных возмущений в комбинированных САРВ