

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

компенсируется или ослабляется контуром регулирования по отклонению. Он осуществляет управление компаундированием. Поэтому схемы, реализующие комбинированный принцип регулирования, называют схемами управляемого компаундирования, в отличие от схем неуправляемого компаундирования, в которых реализуется лишь принцип регулирования по возмущению. Недостатком большинства комбинированных САРВ является невысокая форсировочная способность и как следствие невозможность пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором соизмеримых по мощности с генератором.

Под форсировкой понимают быстрое увеличение напряжения возбуждения до предельного значения. Форсировочная способность систем возбуждения (СВ) характеризуется коэффициентом или краткостью форсировки возбуждения  $K_{\text{ф}}$ , которая определяется как отношение потолочного напряжения возбуждения  $U_{\text{в.п.}}$  к номинальному напряжению возбуждения  $U_{\text{в.ном.}}$  т.е.  $K_{\text{ф}} = U_{\text{в.п.}} / U_{\text{в.ном.}}$ . Для СГ с электромашинными возбудителями краткость форсировки возбуждения не превышает 2,5, для СГ со статическим возбуждением она равна 3...4, а для бесщеточных СГ с тиристорами в системе возбуждения – 7...8.

Для организации форсировки могут использоваться внутренние ресурсы СВ или энергия внешних источников. В первом случае говорят, что система возбуждения имеет внутреннюю форсировку [1, 2], а во втором случае – внешнюю форсировку [3]. Форсировочная возможность СВ с внутренней форсировкой жестко ограничена параметрами суммирующих и других трансформаторов, входящих в состав СВ. Системы возбуждения с внешней форсировкой таких ограничений не имеют. На данный момент известны два типа систем возбуждения с внешней форсировкой: с неуправляемой и с управляемой внешней форсировкой.

Система автоматического регулирования возбуждения с неуправляемой внешней форсировкой обеспечивает высокую форсировочную способность, которая ограничена лишь параметрами внешнего источника. Одновременно она обладает высоким быстродействием форсировки возбуждения, которое определяется частотой управляющих импульсов и осуществляется по приращению тока генератора, ещё до критического снижения напряжения [4]. Недостатком данной системы является возможность перевозбуждения генератора, поскольку по факту превышения допустимой величины приращения тока нагрузки, возбуждение увеличивается всегда на одну и ту же величину, которая определяется параметрами внешнего источника.

Данный недостаток был устранен при разработке САРВ с управляемой внешней форсировкой. Повышение точности форсировки возбуждения достигается тем, что данная система позволяет обеспечить дозированную подачу возбуждения в зависимости от наброса нагрузки.

На рис. 1 представлена схема системы возбуждения синхронного генератора с управляемой внешней форсировкой.

Параллельно включенные секции, введенные между внешним источником постоянного тока и общим электронным ключом, обеспечивают с необходимой точностью управление с степенью форсировки возбуждения в зависимости от приращения тока нагрузки генератора. Зависимость сопротивления резистора  $i$ -ой секции от сопротивления резистора первой секции в соответствии с выражением  $R_i = R_1 / 2^{(i-1)}$ , обеспечивают одинаковое приращение проводимости цепи форсировки возбуждения при изменении на единицу кода тока нагрузки на выходе вычитателя во всем диапазоне регулирования. При этом приращение проводимости цепи форсировки возбуждения при изменении на единицу кода тока нагрузки на выходе вычитателя составляет  $\Delta q = 1/R_1$ . Ограничительный резистор, включенный параллельно секциям создает цепь начального возбуждения.

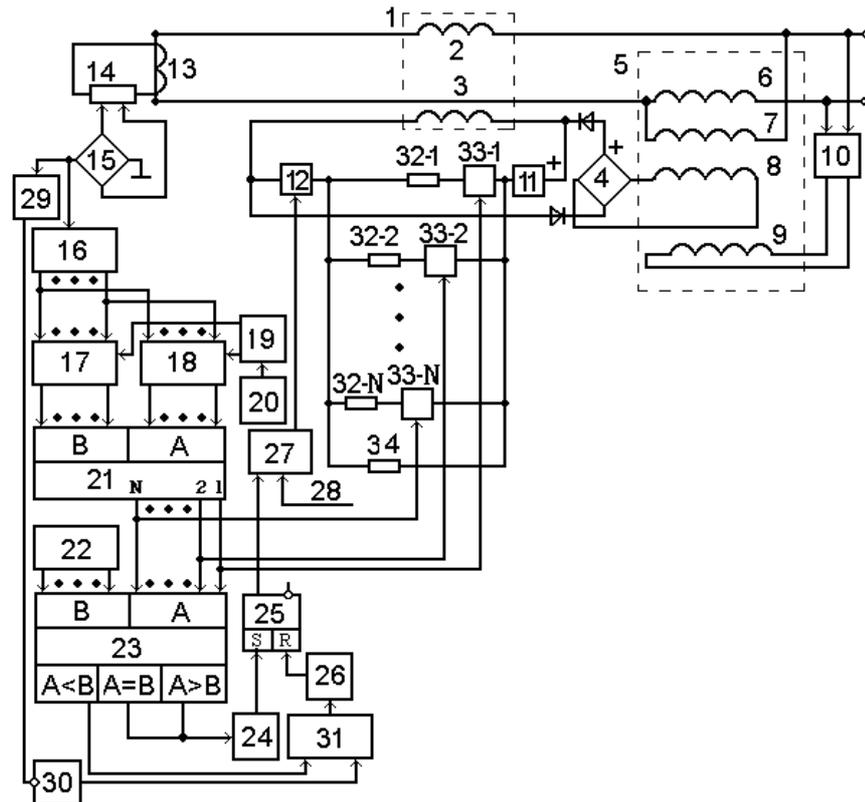


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема системы возбуждения синхронного генератора с управляемой внешней форсировкой: 1 – синхронный генератор; 2 – обмотка якоря; 3 – индуктор; 4, 15 – выпрямитель; 5 – суммирующий трансформатор; 6 – токовая обмотка; 7 – обмотка напряжения; 8 – вторичная обмотка; 9 – обмотка управления; 10 – корректора напряжения; 11 – внешний источник постоянного тока; 12 – электронный ключ; 13 – трансформатор тока; 14 – шунт; 16 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП); 17, 18 – регистр памяти; 19 – распределитель импульсов; 20 – генератор импульсов стабильной частоты; 21 – вычитатель; 22 – задающий регистр; 23 – компаратор; 24, 26 – дифференциатор; 25 – триггер; 27 – логический элемент ИЛИ; 28 – шина ПУСК; 29 – формирователь-ограничитель; 30 – инвертор; 31 – логический элемент И; 32 – резисторы; 33 – ключи.

Автономные источники электрической энергии имеют ограниченную мощность. В процессе эксплуатации может потребоваться питание потребителя соизмеримой с источником мощности. Для избежания провалов напряжения применяют устройства плавного пуска и преобразователи частоты. Однако стоимость устройств достаточно высока. Применение систем регулирования форсировки позволяет снизить затраты на систему электроснабжения.

Если, например, приращение тока нагрузки достигает предельной величины, то на выходе компаратора 21 появляется единичный код. На управляющие электроды электронных ключей 31-1... 33-N поступают сигналы и они, открываясь, включают все резисторы 32-1... 32-N, обеспечивая максимальную проводимость и максимальный ток форсировки, что препятствует провалу напряжения. При меньших значениях приращений тока нагрузки на выходе компаратора 21 появляются меньшие по величине коды, и происходит закрытие части ключей 33 и отключение части резисторов 32.

Таким образом, предложенная система возбуждения генератора имеет высокую

форсировочную способность. Степень форсировки возбуждения является функцией максимального приращения тока нагрузки генератора, что обеспечивает высокое быстродействие и точность, исключая возможность перерегулирования. Точность форсировки определяется разрядностью компаратора 23 и количеством резисторов 32.

#### Список литературы:

- [1] Сугаков В.Г. Основы автоматического регулирования выходных электрических параметров Часть 2. Автоматическое регулирование напряжения автономных источников электрической энергии: учеб. пособие для вузов / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов – Кстово: НВВИКУ (ВУ), 2007, – 150 с.
- [2] Сугаков В.Г. 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.
- [3] Пат. 2470454 RU, МПК Н 02 Р 9/14. Система возбуждения синхронного генератора / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, В.С. Волошко, Ю.С. Малышев. – № 2010149367/07; заявл.02.12.2010; опубл. 20.12.2012, Бюл. №35. – 7 с.
- [4] 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.

*О.С. Хватов, Е.М. Бурда, Г.И. Коробко*  
*ФБОУ ВПО «ВГАВТ»*

## ГРЕБНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА КОЛЕСНОГО СУДНА

Для повышения эффективности речных судов необходимо приспособить их к естественным условиям: уменьшить осадку, оптимизировать размеры, повысить маневренные качества, при необходимости дать ледовый класс, обеспечить возможность работы без причальных сооружений и при этом снизить удельные показатели мощности энергетической установки [1].

Начиная с 2009 г. в Нижегородской области ведется строительство и ввод в эксплуатацию мелкосидящих пассажирских колесных судов (ПКС 40 «Сура», «Сура 2»). Принципиальная схема предлагаемого движительно-рулевого комплекса включает в себя: пару гребных колёс, имеющих симметричную конструкцию с жёстко установленными плицами, с отдельно управляемым приводом, установленную в оконечности судна. Поскольку гребные колёса являются одновременно движителем и органом управления судном, имеет место новый тип движительно-рулевого устройства, который предлагается назвать «колёсным движительно-рулевым комплексом», сокращённо КДРК.

В режиме маневра, возросшего сопротивления движению (встречный ветер, мелководье) или режиме торможения, колесное судно имеет несомненные преимущества перед винтовым. Конструкция КДРК обеспечивает изменение величины и направления вектора тяги путём изменения соотношения числа оборотов и направления вращения гребных колёс.

Схема управления судном с помощью колесного ДРК при постоянной мощности, подводимой к гребным колесам, показана на рис. 1.

На рис. 1 использованы следующие обозначения:

*ДП* – диаметральной плоскости;  
*ЦМ* – центр массы судна;