

3. Ильиных И.И. Гидроэлектростанции: учебник для техникумов. – М.: Энергоиздат, 1982 г. – 192с., ил.
4. Гук Ю.Б. и др. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учеб. пособие для вузов / Ю.Б. Гук, В.В. Кантан, С.С. Петрова. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985 г. – 312 с., ил.

Научный руководитель: Т.А. Филиппова, д.т.н., профессор.

## **ФАЗОВАЯ ФОРСИРОВКА АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, УСТАНОВЛЕННОГО В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ**

П.В.Чусовитин<sup>1</sup>, О.Ю.Малоземова<sup>2</sup>, М.В.Леваш<sup>2</sup>

1. ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»,  
УралЭНИН, кафедра «Автоматизированные электрические системы»

2. Филиал ОАО «СО ЕЭС» Свердловское РДУ, Служба электрических режимов

В настоящее время происходит активное развитие объектов малой генерации. Внедрение данных объектов порождает множество вопросов, которые предстоит решить энергетическому сообществу.

В Европе малая генерация в большей степени представлена возобновляемыми источниками, как солнечные и ветряные электростанции, основная проблема которых заключается в нестабильности первичного источника. Если солнечная электростанция генерирует электроэнергию посредством фотоэлементов и преобразует частоту с помощью полупроводниковых преобразователей, то для ветряных электростанций необходимо решить вопрос непостоянности механического момента. В качестве решения данной проблемы широко рассматривается вопрос применения асинхронизированных синхронных генераторов (АСГ) [1].

В России вопрос стоит несколько иначе. Малая генерация в основном представлена установками на органическом топливе. Вопрос переменной вращающего момента, а значит, регулирования частоты вращения, в нормальном эксплуатационном режиме отсутствует. Одна из проблем эксплуатации таких установок малой генерации заключается в недостаточной устойчивости используемых в них генераторов, связанная с их небольшой инерцией [2].

В качестве решения данной проблемы также предлагается использовать АСГ, но иного типа. В отличие от обычных синхронных генераторов (СГ) АСГ обладают большей устойчивостью к динамическим возмущениям. В данный момент в Европе применяются АСГ с тиристорными преобразователями частоты. Однако данное решение является дорогостоящим.

В России АСГ начали использовать еще в 80-90е годы прошлого столетия, но это было вызвано не необходимостью повышения устойчивости, а желанием ликвидировать повышенные уровни напряжения в сети, возникшие в те годы в связи с закрытием промышленных предприятий. Поэтому частично начали использовать упрощенную конструкцию АСГ, которую и предлагается использовать для улучшения динамических характеристик синхронных генераторов малой мощности.

Для турбогенераторов не требуется регулировать частоту вращения в таком широком диапазоне и так многократно, как для ветрогенераторов, поэтому предлагается использовать АСГ, позволяющие поворачивать поле ротора на 90° без возможности вращать его с какой-либо частотой. Данные машины лишь на 20-30% дороже обычных СГ [3]. При таком

незначительном удорожании в стоимости данный генератор может сохранять устойчивость в более широком диапазоне возмущений.

На рисунке 1 показана схема энергосистемы. Пунктиром показана область, короткое замыкание (КЗ) в которой вызывает нарушение устойчивости у СГ, а сплошной линией показана область, КЗ в которой опасно для АСГ. Как видно, область АСГ значительно меньше.

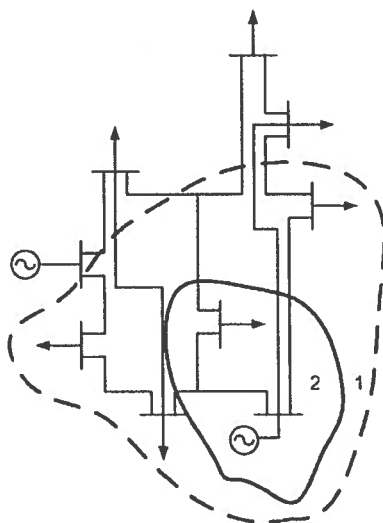


Рис.1. Области потери устойчивости при коротких замыканиях: 1- СГ, 2- АСГ

Рассматриваемый АСГ имеет две роторные обмотки, сдвинутые на  $90^{\circ}$ , питающиеся постоянным током. ЭДС можно поворачивать на угол до  $90^{\circ}$  за счет изменения соотношения токов в роторных обмотках. Возможность поворачивать ЭДС позволяет увеличить площадку торможения и, тем самым, повысить устойчивость генератора [3].

Для создания экспериментальной модели АСГ использовался ПК "MatLab". Блочная схема модели показана на рисунке 2. АРВ производит форсировку возбуждения по осям  $q$  и  $d$ . ЭДС, пропорциональная вынужденной составляющей тока обмотки возбуждения ( $E_{qe}$ ,  $E_{de}$ ), вместе с токами из сети поступают на блок, рассчитывающий переходный процесс в обмотке возбуждения (переходные ЭДС статора). Затем, по полученным значениям осуществляется расчет переходного процесса в демпферных контурах, результатом расчета являются сверхпереходные ЭДС генератора, которые после преобразования координат поступают в сеть для расчета режима. Из расчета режима сети поступает электромагнитная мощность генератора, а с блока турбины с АРС берется мощность турбины. По этим данным с помощью уравнения движения производится расчет скорости вращения и угла генератора. Угол поступает на блоки преобразования координат, а по скорости рассчитывается управляющее воздействие АРС. Цикл расчета замкнутый, напряжения поступают для расчета управляющего воздействия АРВ, а токи — для расчета переходных процессов в роторных контурах.

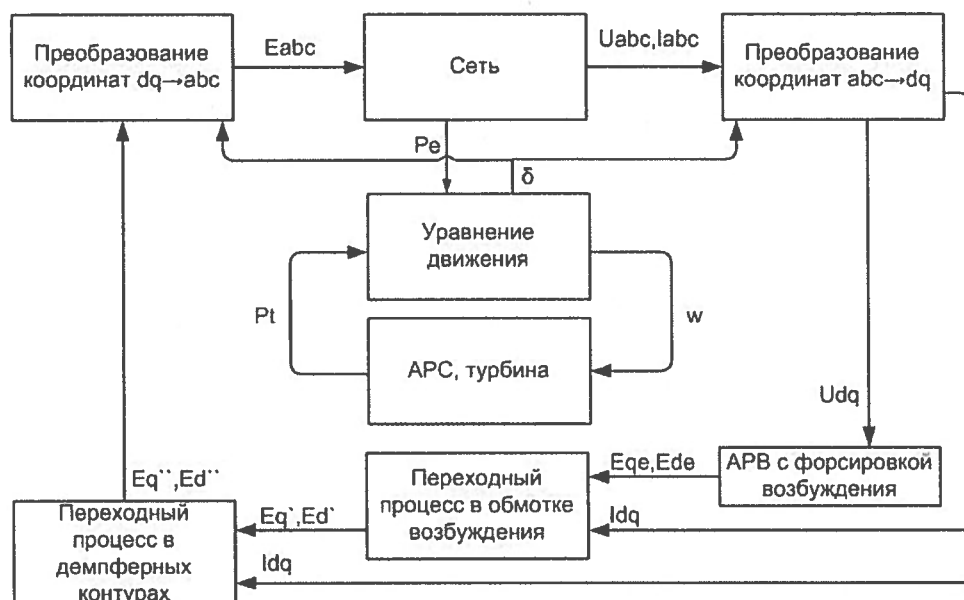


Рис.2. Блочная схема модели АСГ

Данная модель генератора была подвергнута эксперименту. В схему вводилось возмущение – короткое замыкание с последующим отключением линии. Сразу после возникновения короткого замыкания производилась форсировка возбуждения (в течение двух секунд), кроме того, в результате регулирования составляющей ЭДС по оси  $d$ , изменялась фаза ЭДС. После отключения форсировки модуль вектора ЭДС снижался до первоначального значения, а фаза сохранялась на значении соответствующем фазе при форсировке. Далее для нахождения предельного времени продолжительности КЗ последовательно увеличивалось время КЗ. На рисунке 3 представлены результаты эксперимента для трехкратной и четырехкратной форсировки. Как видно из рисунка, при четырехкратной фазовой форсировке удастся увеличить предельную продолжительность короткого замыкания на 0,14 с по сравнению с обычной форсировкой. Когда фаза ЭДС превышает  $50^\circ$ , начинается колебательное нарушение устойчивости, что требует дополнительного исследования.

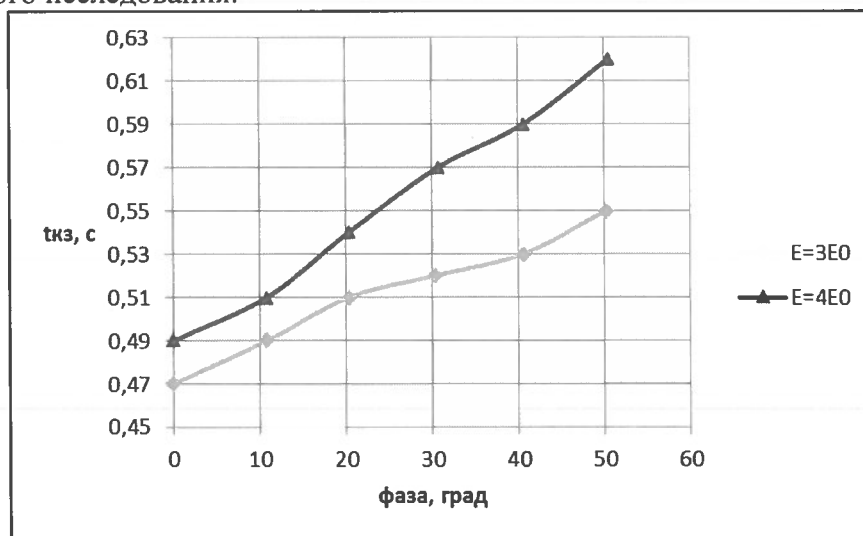


Рис.3. Зависимость времени короткого замыкания от фазы ЭДС

На рисунке 4 представлен график зависимости угла от времени для режима КЗ с форсировкой возбуждения по оси  $q$  (изменение ЭДС, пропорциональной вынужденной составляющей тока ОВ, по модулю) и с форсировкой возбуждения по обеим осям –  $q$  и  $d$  (изменение ЭДС по модулю и по фазе). Время КЗ – предельное для случая форсировки по одной оси. Как видно из рисунка, при изменении ЭДС по модулю и по фазе колебания угла

имеют меньшую амплитуду, в отличие от случая изменения ЭДС только по модулю. Также видно, что угол устанавливается в другое значение, хотя выдаваемая мощность та же.

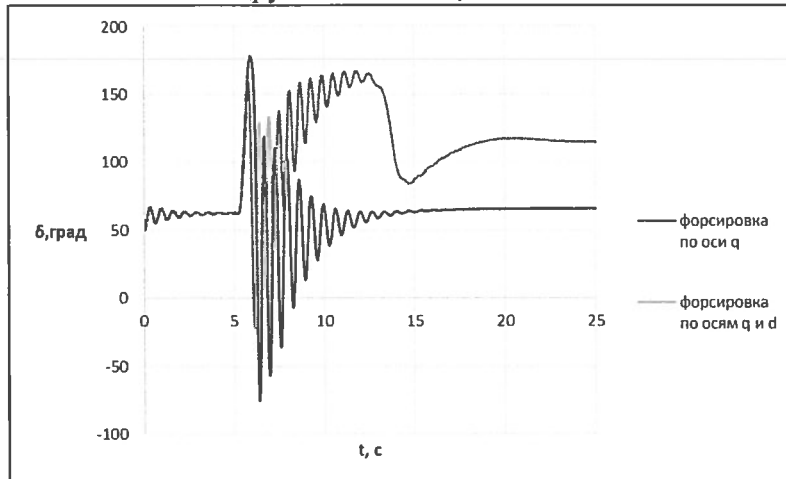


Рис.4. Изменение угла генератора во времени

На рисунке 5 показан график изменения скорости во времени. Из данного рисунка видно, что колебания скорости также при форсировке возбуждения по двум осям меньше, чем при форсировке только по одной оси.

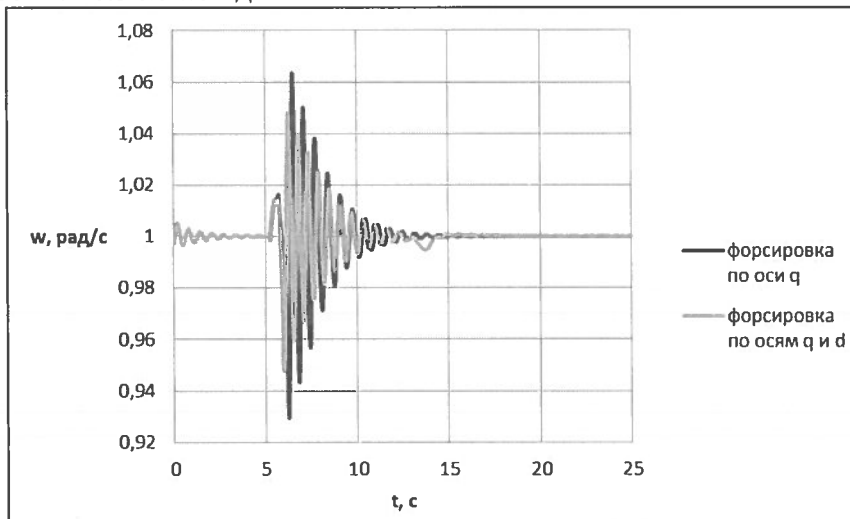


Рис.5. Изменение скорости генератора во времени

Таким образом, проведенный вычислительный эксперимент показал, что смещение характеристики за счет форсировки возбуждения по оси  $d$  позволяет снизить амплитуду колебаний в переходном процессе, а также увеличить предельное время отключения КЗ. Из этого следует, что АСГ более устойчивы к возмущениям, чем обычные СГ, а, следовательно, их применение поможет снизить вероятность нарушения устойчивости объектов малой генерации.

В перспективе планируется разработка адаптивного алгоритма выбора соотношения токов обмоток ротора для оптимального изменения фазы ЭДС и повышения динамической устойчивости АСГ.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hofmann W., Okafor F. Doubly-Fed Full-Controlled Induction Wind Generator for Optimal Power Utilisation// Proceedings of the PEDS'01. 2001.
2. Данилевич Я.Б., Богуславский И.З. Асинхронизированные синхронные генераторы для ветроэлектростанций малых ГЭС/ / International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. 2004. #7. С. 19-21.

3. Кочкин В.И., Шакарян Ю.Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. М.:ТОРУС ПРЕСС, 2011. 312 с.

Научный руководитель: П.В. Чусовитин, к.т.н., доцент кафедры автоматизированные электрические системы УралЭНИН УрФУ.

### **АВТОНОМНАЯ РАБОТА ВЕТРО – ДИЗЕЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ 50 КВТ (ВДАЭК – 50) НА О. РЕЙНЕКЕ.**

О.С. Удовик, А.В. Лесных

Дальневосточный федеральный университет, инженерная школа, кафедра теплоэнергетики и теплотехники

Особенностью энергетики Российской Федерации является высокая централизация, но в Приморском крае и ряде других субъектов не все районы являются частью централизованной энергетической системы. Энергоснабжение этих потребителей осуществляется за счет автономных источников. Зачастую в качестве источников электрической энергии используются дизель генераторы. Стоимость дизельного топлива с учетом доставки в эти районы, которая осуществляется зачастую водным или воздушным транспортом или в определенный период достигает 45000-60000 руб/т. Для решения проблем энергоснабжения большинства таких районов определенные перспективы имеет возобновляемая энергетика.

Ярким примером является о. Рейнеке в Приморском крае, где из-за отдаленности острова экономически выгодно использовать возобновляемые источники энергии, чем поставлять углеводородные энергоносители. Ранее, для обеспечения жителей о. Рейнеке электроэнергией, использовалась дизельная электростанция, топливо для которой поставлялось специализированным морским транспортом. Круглосуточное электроснабжение на остров отсутствовало и в связи с резкими скачками цен на жидкое топливо, было принято решение к установке ветро - дизельный автономный энергетический комплекс мощностью 50 кВт (ВДАЭК -50). Использование комбинированных энергетических комплексов не только перспективно в удаленных децентрализованных системах, но и повышает комфорт потребителей при отсутствии основного источника энергии.

Применение возобновляемых источников энергии в составе автономных энергетических систем позволяет снизить топливную составляющую в себестоимости вырабатываемой электроэнергии, что существенно повышает их технико-экономическую эффективность. Перспективность и актуальность применения возобновляемых энергоресурсов для экономии органического топлива сегодня отмечена отечественными и зарубежными специалистами в области электроэнергетики и теплоснабжения.

На рисунке 1 изображена принципиальная технологическая схема ветро-дизельного энергетического комплекса мощностью 50 кВт. Данная установка работает по принципу взаимного резервирования ветровой энергии и энергии дизель генератора. Генератор заряжает аккумуляторную батарею, а она, используя инвертор для преобразования постоянного тока в переменный питает электроприборы. Во время пиковых нагрузок, если силы ветра не хватает, автоматически включается дизель генератор. Когда нагрузки спадают дизель останавливается, а зарядка батареи посредством ветрогенератора возобновляется[3].