

ЛИТЕРАТУРА:

1. Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.
2. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). Электротехнический справочник. Производство, передача и распределение электрической энергии. 10-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 964 с.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 9-й выпуск. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010. – 464 с. – ISBN 978-5-379-01452-0.
4. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети [Текст] / В.И. Идельчик // М.: Энергоатомиздат, -1989. -592с.

Научный руководитель: А.В. Варганова, к.т.н., доцент каф. ЭиАС МГТУ им. Г.И. Носова.

ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ УСТАНОВОК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ю.Н. Булатов¹, А.В. Крюков^{2,3}, Нгуен Ван Хуан³

Братский государственный университет¹

Иркутский государственный университет путей сообщения²

Иркутский национальный исследовательский технический университет³

Введение. Использование установок распределённой генерации (РГ) особенно актуально при модернизации систем электроснабжения (СЭС), удалённых от сетевой инфраструктуры. В централизованных СЭС применение установок РГ позволяет разгрузить основную сеть, повысить надёжность электроснабжения и улучшить качество электроэнергии [1, 2]. Большой интерес представляют установки РГ, работающие на основе синхронных турбо и гидрогенераторов. Однако внедрение таких установок требует решения задачи определения оптимальных настроек автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) и частоты вращения (АРЧВ), что связано с трудоёмкими расчётами большого числа взаимосвязанных параметров. Кроме этого повышение качества регулирования в значительной степени ограничивается инерционностью действующего объекта, изменить характеристики которого не представляется возможным. Однако повышение качества регулирования возможно путём совершенствования системы управления.

В условиях ускоренного ввода в эксплуатацию установок РГ, работающих на основе синхронных генераторов с АРВ и АРЧВ, возможен подход, обеспечивающий настройку регуляторов с помощью одного параметра. Для этого предлагается перейти от регулирования по текущему значению ошибки $\varepsilon(t)$ к управлению, предполагающему вычисление прогноза $\varepsilon(t + \Delta t)$. Регулятор, управляющий объектом по величине $\varepsilon(t + \Delta t)$, назван в [3] прогностическим. В

данной работе в типовой линейный закон регулирования вводится дополнительное звено – элемент прогнозирования, что позволяет с минимальными затратами усовершенствовать существующие классические АРВ и АРЧВ и на этапе оперативного ввода в эксплуатацию отказаться от процедуры поиска оптимальных параметров этих регуляторов [4].

Ниже рассмотрены прогностические АРВ и АРЧВ синхронных генераторов установки РГ, работающей в системе электроснабжения железной дороги (СЭЖД) и исследовано их влияние на качество управления напряжением и частотой при изменении режима работы СЭС.

Прогностические регуляторы синхронных генераторов установок РГ.

Прогностический регулятор включает в себя два сегмента [3, 4]: регулятор с пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) законом регулирования и предвключенный элемент прогнозирования. Простой линейный прогноз может быть реализован по двум значениям регулируемой величины – текущему $y(t)$ и предыдущему $y(t - \Delta t)$; при этом передаточная функция прогнозирующего звена (ПЗ) определяется так [3, 4]:

$$W_{for}(s) = T_p s + 1, \quad (1)$$

где T_p – постоянная времени линейного прогнозирующего звена (время прогноза); s – оператор Лапласа.

Таким образом, возникает задача определения постоянной времени ПЗ для конкретного объекта регулирования. В работе [4] представлены структурные схемы прогностических АРВ и АРЧВ и описана методика их настройки, основанная на определении частоты собственных колебаний системы.

Принимая во внимание результаты выполненных исследований, а также то, что современные быстродействующие тиристорные системы возбуждения генераторов позволяют поддерживать в нормальных режимах работы напряжение у генератора практически неизменным, целесообразно в отличие от АРВ изменять постоянную времени прогнозирования АРЧВ при вариации режима работы генератора и получить автопрогностический АРЧВ.

Моделирование и анализ результатов исследования. Моделирование осуществлялось в среде MATLAB применительно к структурной схеме СЭЖД, показанной на рис. 1. Моделировался отдельный район электроснабжения нетяговых потребителей, включающий два параллельно работающих генератора, питающих группу нагрузок с суммарной мощностью 5,55 МВ·А, объединённых в сетевой кластер, выполненный на основе вставки постоянного тока (ВПТ). Мощность каждого генератора установки РГ равнялась 3 МВ·А.

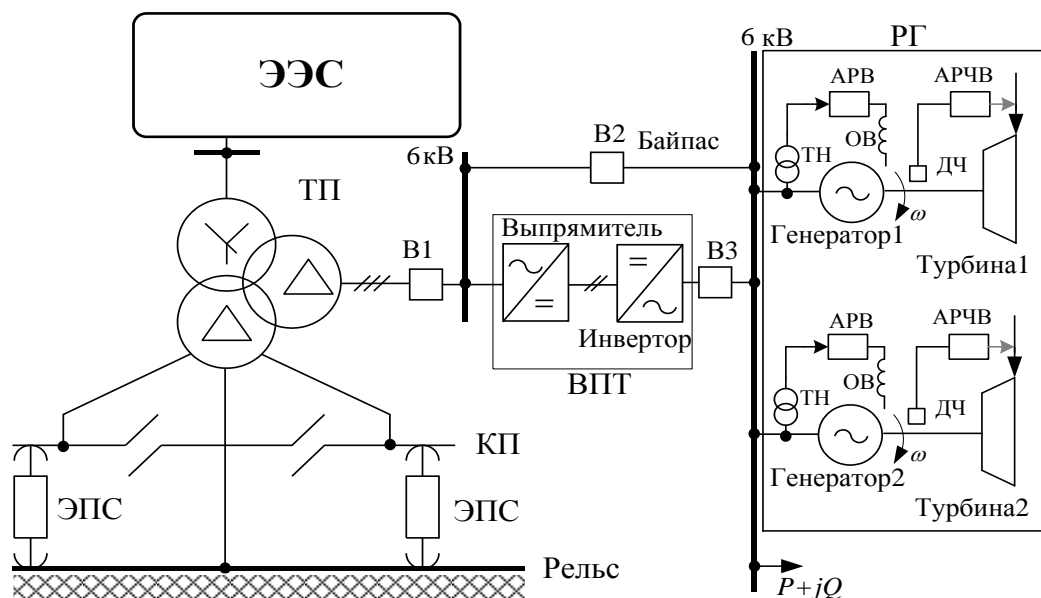


Рис. 1. Фрагмент системы электроснабжения железной дороги: ЭЭС – электроэнергетическая система; ТП – тяговая подстанция; ЭПС – электроподвижной состав; КП – контактный провод; ДЧ – датчик частоты вращения; ОВ – обмотка возбуждения; ТН – трансформатор напряжения; В – выключатель

Для определения эффективности предлагаемых регуляторов исследовались следующие режимы: подключение дополнительной нагрузки и возникновение кратковременного короткого замыкания на шинах нетягового потребителя. Рассматривались следующие регуляторы турбогенераторов установки РГ:

- несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы, настройка которых определялась из практических соображений);
- согласованно настроенные по представленной в [2] методике АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы);

согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ (ПИД-регуляторы с прогнозирующим звеном); при этом время прогноза ПЗ АРЧВ подстраивалось автоматически.

Возмущения вносились в момент времени 8 с при работе системы в установившемся режиме. Начальная загрузка турбогенераторов составляла по 80 %. На рис. 2 и 3 представлены осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя и частоты вращения ротора генератора установки РГ для двух рассматриваемых режимов.

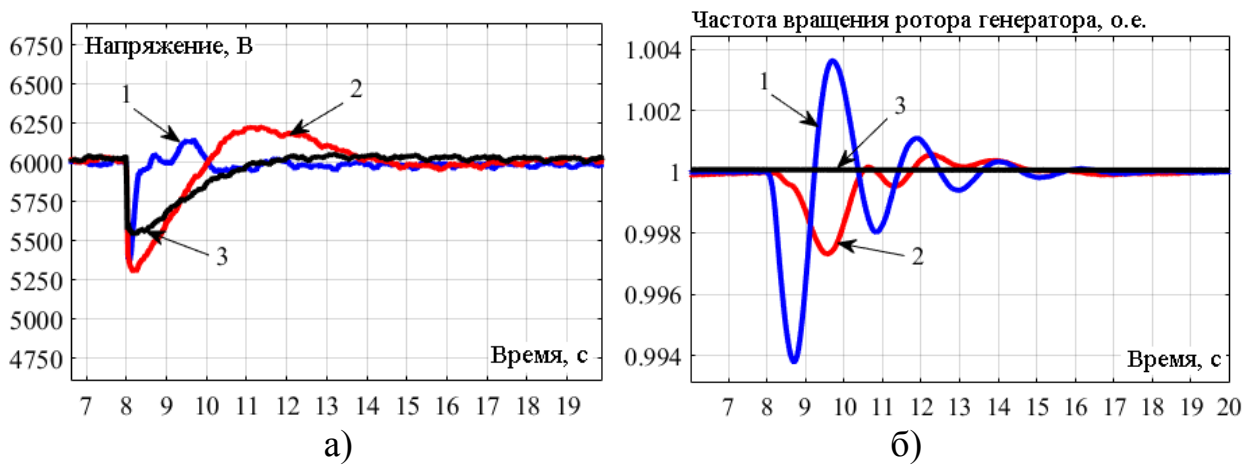


Рис. 2. Осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя (а) и частоты вращения ротора генератора (б) установки РГ при подключении дополнительной нагрузки: 1 – несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 2 – согласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 3 – согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ

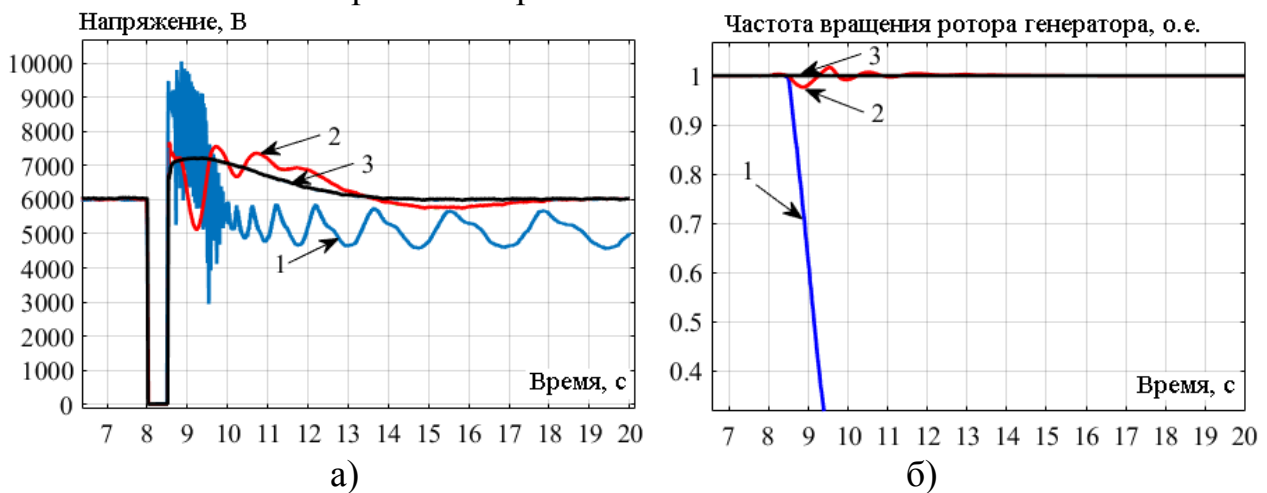


Рис. 3. Осциллограммы действующего значения напряжения на шинах нетягового потребителя (а) и частоты вращения ротора генератора (б) установки РГ при возникновении и отключении через 0,5 с короткого замыкания: 1 – несогласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 2 – согласованно настроенные АРВ и АРЧВ; 3 – согласованно настроенные прогностические АРВ и АРЧВ

Из представленных осциллограмм видно, что согласованно настроенные АРВ и АРЧВ позволяют обеспечить необходимый запас устойчивости генераторов установки РГ, а также улучшают демпферные свойства электроэнергетической системы при электромеханических переходных процессах, вызванных различными изменениями режимов. Также снижается риск возникновения фликкера напряжения в узле присоединения генераторов установки РГ, наблюдаемом при большом возмущении в системе. Применение прогностических АРВ и АРЧВ позволяет улучшить эффект регуляторов, полученный от их согласованной настройки. При этом значительно улучшаются показатели качества управления, и компенсируется инерционность объекта.

Заключение. Результаты компьютерного моделирования позволяют сделать следующие выводы:

1. Согласованно настроенные АРВ и АРЧВ с прогнозирующим звеном обеспечивают необходимый запас устойчивости генераторов, улучшают демпферные свойства системы при электромеханических переходных процессах, вызванных различными изменениями режимов, а также снижают риск возникновения фликкера напряжения в узле присоединения генераторов установки РГ.

2. Прогностические регуляторы установок РГ позволяют улучшить качество управления и скомпенсировать инерционность объекта.

3. Прогностические АРВ и АРЧВ могут быть рекомендованы в использовании при оперативном вводе в эксплуатацию установок РГ, работающих на основе синхронных генераторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Rugthaicharoencheep N., Auchariyamet S. Technical and Economic Impacts of Distributed Generation on Distribution System // International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering. – 2012. – Vol.6, No.4. – pp. 385-389.
2. Булатов Ю.Н. и др. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог / Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков, Чан Зюй Хынг. – Иркутск: ИрГУПС, 2015. – 205 с.
3. Пикина Г.А. Принцип управления по прогнозу и возможность настройки систем регулирования одним параметром // Новое в российской электроэнергетике. – 2014. – №3. – С.5-13.
4. Булатов Ю.Н., Крюков А.В., Нгуен Ван Хуан. Методика настройки прогностических регуляторов установок распределенной генерации // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 11-12. – С. 84-95.

Научный руководитель: А.В. Крюков, доктор техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутский национальный исследовательский технический университет.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЁХФАЗНЫХ САМОКОМПЕНСИРОВАННЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В MATLAB\SIMULINK

А.В. Проничев, Е.О. Солдусова
Самарский государственный технический университет

Установки продольной компенсации являются неотъемлемым элементов сверхдальних передач переменного тока [3]. Одним из способов достижения цели продольной компенсации – уменьшения продольной индуктивности воздушной линии (ВЛ) – является настройка линии на резонанс напряжений или резонанс токов. Эта идея была предложена в работах И.И. Соловьёва и А.А. Вульфа [1] в первой половине XX века. Позднее, профессором Н.Ф. Ракушевым