

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ СНЭЭ

Н.С. Иванов

Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. 5АМ21

Научный руководитель: А.А. Суворов, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В данном докладе проводится обзор и результаты модели виртуального синхронного генератора (ВСГ), которая основана на модели “Three-Phase Battery System – A Generic Example” от разработчика ПО PSCAD Manitoba Hydro International Ltd. (МНИ) [1] (рис. 1).

В данной модели построена трехфазная система накопления электроэнергии (СНЭЭ), которая с помощью силовых преобразователей (СП) способна заряжаться и разряжаться в процессе работы в зависимости от выбранного режима (charge and discharge mode). СНЭЭ подключена к электроэнергетической сети (ЭЭС) через трансформатор.

Большинство систем возобновляемых источников энергии (ВИЭ) используют именно данную технологию для интеграции с сетью. Однако внедрение установок генерации с СП способно значительно изменить динамические свойства ЭЭС, так как обладают отличными динамическими свойствами от традиционных синхронных генераторов (СГ), в частности система автоматического управления (САУ) [2]. Это приводит к влиянию на устойчивость сети. В итоге разработка более совершенной системы управления СП, позволяющей обеспечивать устойчивость и быть надежной как традиционная СГ, становится все более актуальной. Одним из возможных способов реализации данного управления является имитация статических и динамических характеристик традиционных СГ за счет особой системы автоматического управления, которая получила название «виртуальный синхронный генератор». Это направление считается одним из самых перспективных, так как позволяет присвоить установкам с СП функции, которые обеспечивают традиционные СГ для надежной работы ЭЭС. В связи с этим данный доклад посвящен разработке системы ВСГ на основе модели СНЭЭ.

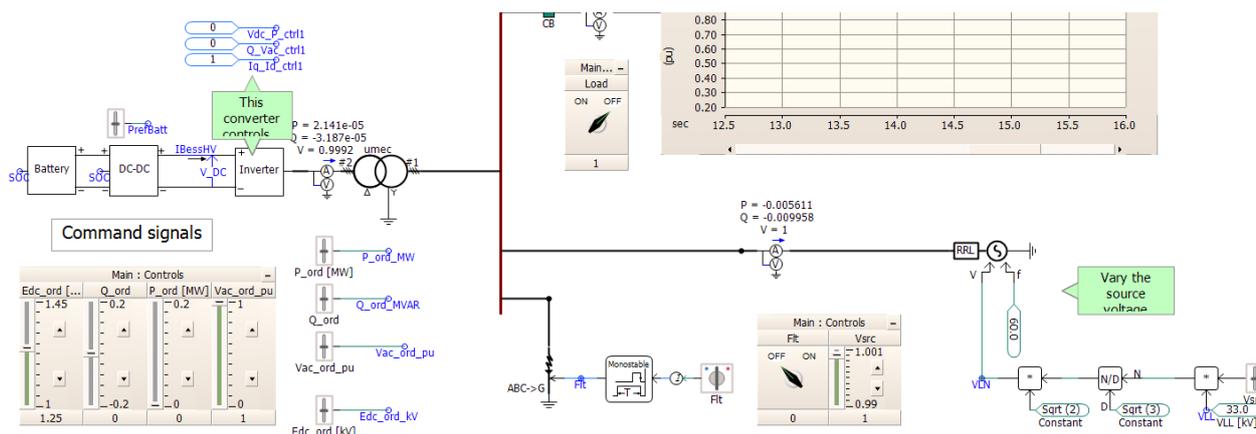


Рис. 2. Схема модели “Three-Phase Battery System – A Generic Example”

На данный момент существуют различные реализации ВСГ, среди которых можно выделить следующие: Virtual Synchronous Machine (VISMA), VISMA I, VISMA II [2]. Приведенные системы построены по принципу подчиненного управления и включают в себя три основные части: внутренний и внешний контур управления, модель СГ. Внешний контур управления может выполнять управление по частоте и мощности (автоматический регулятор

частоты и мощности (АРЧМ)) или напряжению (автоматический регулятор напряжения (АРН)). В рассматриваемой модели рассматривается АРН, в контуре которой осуществляется регулирование реактивной мощности/напряжения при помощи ПИ-регулятора (рис. 2). Снизу приведена структурная схема и реализация контура АРН.

Для реализации свойства инерционности традиционного СГ используется классическое уравнение ротора генератора с демпфирующим контуром (рис. 3).

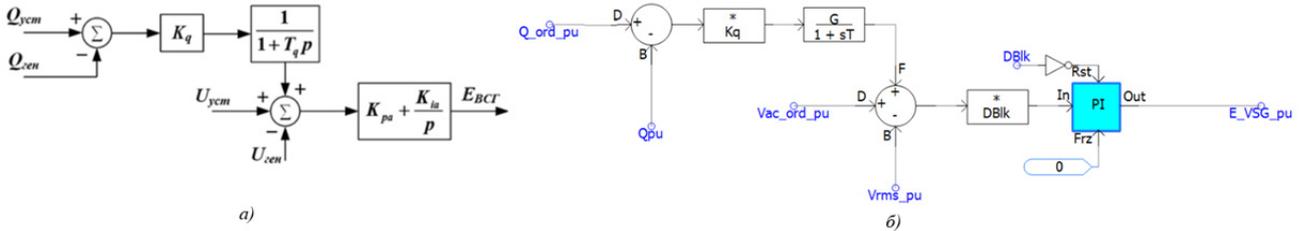


Рис. 3. Структурная схема виртуального АРН (а) и ее реализация в модели (б)

Для воспроизведения динамики СГ используется топология ВСГ 231, структурная схема которой была синтезирована в работе [2] (рис. 4). Работа регуляторов тока основано на ПИ-регулировании. Также стоит отметить, что данная топология учитывает виртуальные сопротивления ВСГ. В данной модели принимается $L_{VSG} = 0,4$ о.е., $R_{VSG} = 0,2$ о.е.

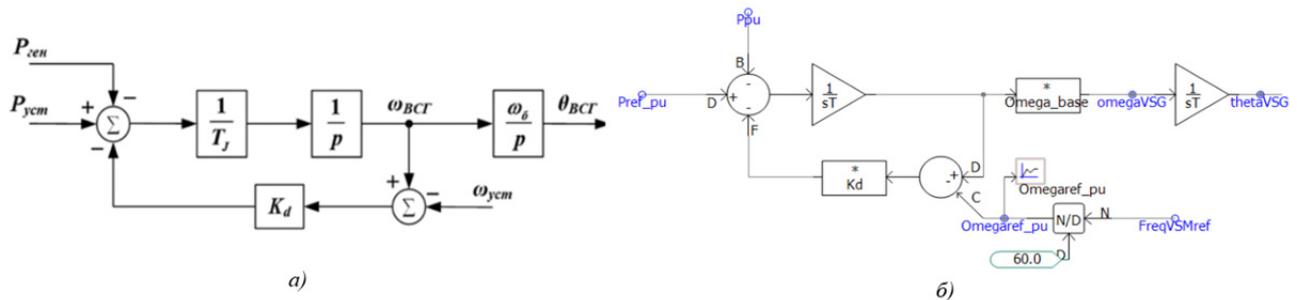


Рис. 4. Структурная схема классического уравнения движения (а) и ее реализация в модели (б)

Далее приведены результаты расчетов моделей: изначальной и модели ВСГ. Стоит отметить, что значительно изменены САУ преобразователей: DC-DC преобразователь и инвертор. В DC-DC преобразователе управление осуществляется по мощности СНЭЭ, а в ВСГ управление производится по напряжению на выходе DC-DC (рис. 5).

Далее приведены результаты исследования режима работы, в которой ВСГ синхронизирован с сетью и уставки по активной P_{ord} и реактивной Q_{ord} мощности равны 0, а напряжение на выводах DC-DC преобразователя E_{dc_ord} и инвертора U_{ac_ord} задано 1 о.е. Уставка по частоте ω_{ord} равна 1 о.е. Стоит отметить, что в изначальной модели возможно управление по нескольким параметрам: по выходному напряжению DC-DC преобразователя E_{dc} или по мощности СНЭЭ P_{BESS} , по реактивной мощности СНЭЭ Q_{BESS} или по выходному напряжению инвертора V_{ac} . В данном докладе приведено сравнение изначальной модели с режимом работы по P_{BESS} и Q_{BESS} . Коэффициенты определялись экспериментальным способом.

Согласно полученным результатам исследования можно сделать вывод, что по быстродействию и точности модель ВСГ незначительно уступает изначальной версии модели, а перерегулирование частоты ВСГ не превышает 5 %, что говорит о корректной работе контуров, управляющих данными параметрами. Однако контур по реактивной мощности не работает корректно, и система выдает значительную реактивную мощность в сеть. Разработка и исследование полностью функционирующей модели ВСГ продолжается.

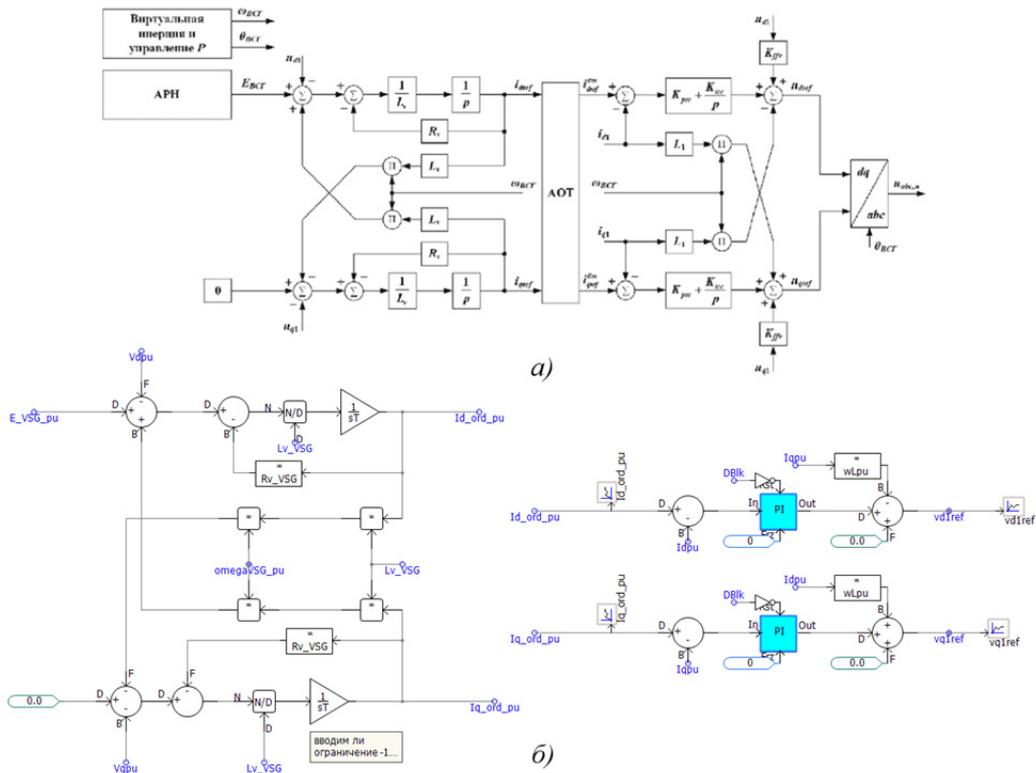


Рис. 5. Структурная схема ВСГ231 (а) и ее реализация в модели (б)

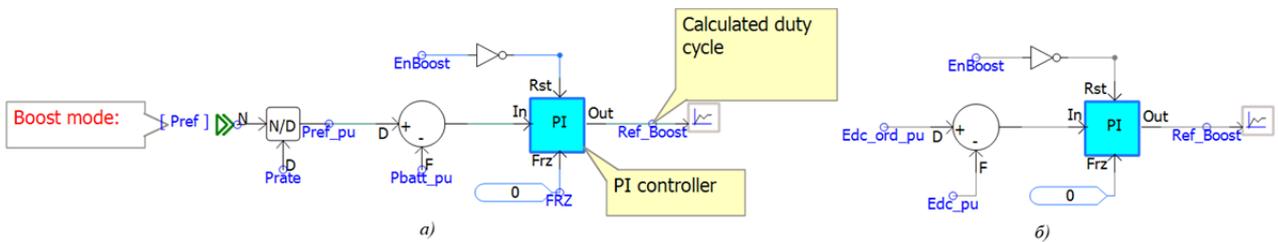


Рис. 6. Сравнение САУ DC-DC преобразователя изначальной модели (а) и ВСГ-модели (б)

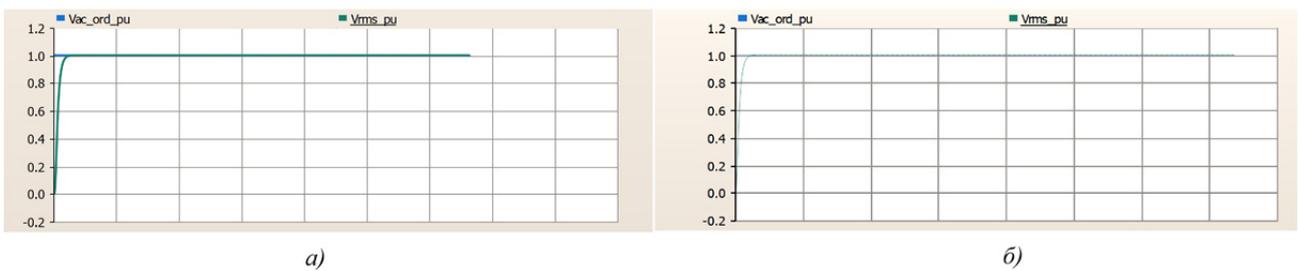


Рис. 7. График переменного напряжения изначальной модели (а) и ВСГ-модели (б)

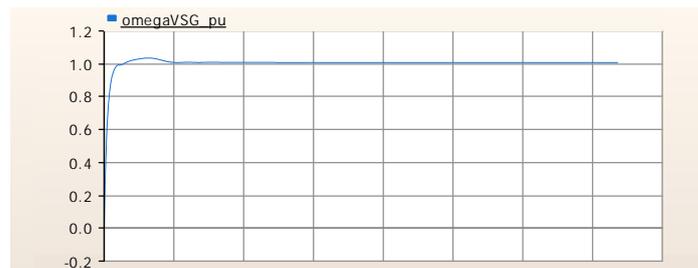


Рис. 8. График частоты ВСГ-модели

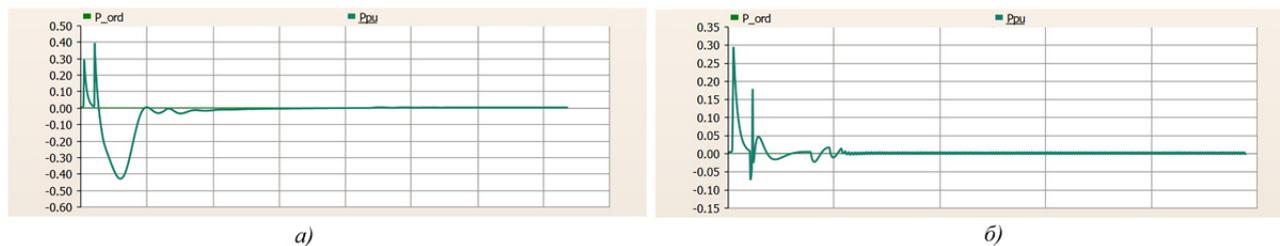


Рис. 9. График активной мощности изначальной модели (а) и ВСГ-модели (б)

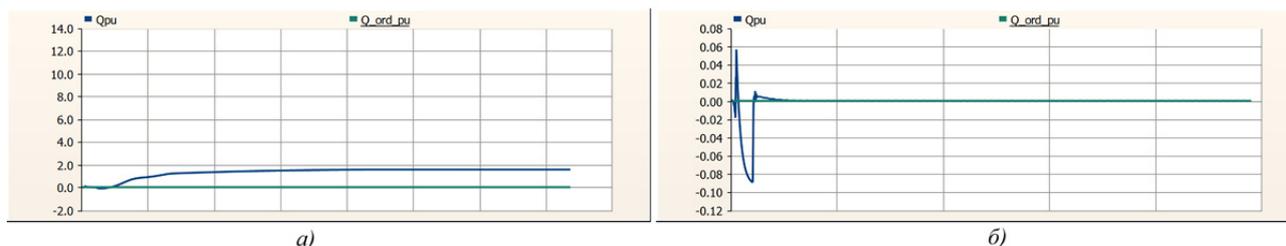


Рис. 10. График реактивной мощности изначальной модели (а) и ВСГ-модели (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Three-Phase Battery System – A Generic Example // URL: Three-Phase Battery System – A Generic Example | PSCAD (дата обращения 18.11.2023).
2. Суворов А.А., Аскарлов А.Б., Рудник В.Е., Андреев М.В., Бай Ю.Д. Синтез и тестирование типовых структур систем автоматического управления на основе виртуального синхронного генератора для генерирующих установок с силовым преобразователем // Электрические станции. – 2022. – № 3. – С. 43–57.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ В СОВРЕМЕННОЙ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ КОМПАНИИ

Р.А. Дементьев

*Томский политехнический университет,
ИШЭ, ОЭЭ, гр. А2-42*

Научный руководитель: Н.Ю. Рубан, к.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Нефтегазовый сектор занимает значительную часть в структуре российской экономики. Процессы добычи, подготовки и транспортировки углеводородного сырья являются в значительной степени энергоёмкими, в связи с чем для обеспечения всего цикла производственных задач требуются большие энергетические затраты. От величины этих затрат зависит рентабельность предприятий, уровень их конкурентоспособности и экономического развития.

Увеличение себестоимости добычи нефти в совокупности с ростом трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья, заставляют многие современные нефтегазовые компаний уделять особое внимание вопросам снижения энергозатрат и повышения энергоэффективности производства. Одним из универсальных подходов для решения обозначенной задачи является внедрение на предприятии системы энергетического менеджмента [1].

Энергетический менеджмент – это совокупность организационных и технических мероприятий, направленных на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, что, по сути, представляет собой рациональное, гибкое и экономи-