

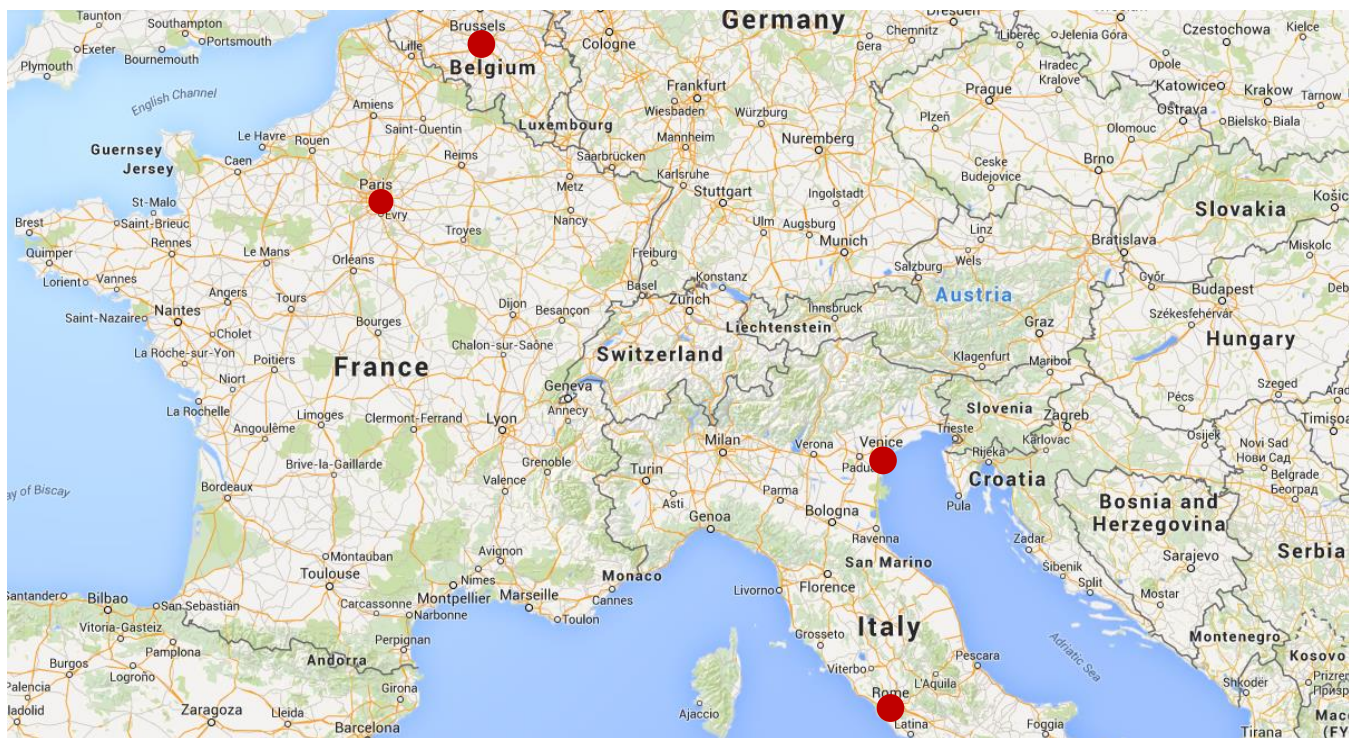


Некоммерческое партнерство «Российский национальный комитет Международного Совета по большим электрическим системам высокого напряжения» (РНК СИГРЭ)

109074, Россия, г. Москва, Китайгородский проезд, дом 7, стр.3. ОГРН 1037704033817.
ИНН 7704266666 / КПП 770401001. Тел.: +7 (495) 627-85-70. E-mail: cigre@cigre.ru

ОТЧЕТ

об участии в заседаниях совместной рабочей группы комитетов CIGRE C4, C6 и CIRED
«Моделирование и динамические характеристики генерации с использованием
выпрямителей в исследованиях передающей и распределительной сети энергосистемы» в
2014 году



Отчет подготовил:



Утц Станислав Андреевич,
ведущий специалист Отдела
технологий параллельной работы
ОАО «СО ЕЭС»

Контактные данные:

E-mail: utts-sa@so-eps.ru

Тел. +7 (499) 788-15-68

Дата составления отчета:

16.01.2015

Москва, 2015

1. ПРЕДПОСЫЛКИ И ЦЕЛИ

Совместная рабочая группа комитетов CIGRE C4, C6 и CIRED (далее - СРГ) «Моделирование и динамические характеристики генерации с использованием выпрямителей в исследованиях передающей и распределительной сети энергосистемы» (Modelling and dynamic performance of inverter based generation in power system transmission and distribution studies) организована в октябре 2013 года.

Существующие мировые тенденции увеличения объемов внедрения различных технологий генерации с использованием выпрямителей, в том числе на основе ВИЭ, широко различаемых по типу и количеству, создают серьёзные проблемы для электроэнергетической отрасли в отношении вопросов представления новых технологий при моделировании энергосистемы и электрической сети. Вышеупомянутое увеличение внедрения различных технологий генерации также усложняет управление работой энергосистемы для системных операторов передающей и распределительной сети. В настоящее время в некоторых энергосистемах покрытие нагрузки потребителей в большей степени покрывается генерацией, подключенной напрямую к распределительной системе. С точки зрения технологии большинство новых генераторов используют преобразователи на силовой электронике для подключения к сети с совершенно разными динамическими характеристиками по сравнению с классическими синхронными генераторами.

В недавнее время в рамках СИГРЭ уже предпринимались попытки разработки моделей ВЭС (WG C4.601 on Modeling and Dynamic Behavior of Wind Generation as it Relates to Power System Control and Dynamic Performance). Однако данное исследование не в полной мере охватывает все типы генерации с использованием выпрямителей, которые получают всё большее развитие. По-прежнему отсутствуют проверенные и общепризнанные модели генерации с использованием выпрямителей различных типов для исследований динамической устойчивости больших систем. В связи с этим, существует необходимость дальнейшей работы по исследованию моделирования таких видов генерации, в частности фотоэлектронных систем (ФЭС).

В данный момент отсутствует не только выверенная динамическая компьютерная модель конкретной генерирующей технологии, такой как ФЭС, турбин внутреннего сгорания, генераторов, работающих на биомассе, микрогенераторов и других источников энергии с использованием выпрямителей, но также отсутствует согласованная методология представления и эквивалентирования данных видов генерации в исследованиях динамической устойчивости больших систем при расчетах нарушений в передающих и распределительных сетях. Более того, с увеличением внедрения генерирующих технологий с использованием выпрямителей, различные аспекты устойчивости энергосистемы и динамические характеристики могут измениться (устойчивость угла ротора, изменение логики работы систем РЗ и др.).

Модели энергосистемы, которые сейчас используются системными операторами передающей сети для представления распределительных энергосистем основываются на ограниченном объеме информации. В большинстве случаев учёт нагрузки и генерации распределительных энергосистем осуществляется путём добавления в узел нагрузки значения, качественно равного мощности установленного трансформатора без учёта их особенностей, в частности статической характеристики нагрузки.

Системные операторы распределительных сетей имеют достаточную информацию о присоединенных потребителях и производителях электроэнергии для моделирования своих сетей. Однако эта информация в основном не используется при моделировании для расчета динамической устойчивости в распределительных и передающих энергосистемах, т.к. должен был быть слишком большой уровень детализации.

С этой точки зрения при моделировании для расчета динамической устойчивости системный оператор распределительных систем должен также сфокусироваться на оценке поведения устройств РЗ, автоматики, неконтролируемого секционирования распределительной электрической сети, устойчивость которой поддерживается распределенной генерацией и т.д. Поэтому при расчетах нарушений установившегося режима в распределительных электрических сетях необходимо моделировать нагрузку и генерацию очень точно на основе особенностей реальных устройств, информация о которых должна быть доступна в полном объеме.

Таким образом, принимая во внимание всё вышесказанное, основными целями СРГ являются:

- выявление технологий генерации, для которых в данный момент отсутствуют согласованные динамические электрические модели или которые не соответствуют ожидаемым целям моделирования;
- разработка технических рекомендаций по моделированию генерации с использованием выпрямителей при расчете динамических переходных процессов в передающей и распределительной сети;
- обеспечение рекомендаций по разработке эквивалентной модели кластеров с одинаковыми и разными типами технологий генерации для расчета динамических переходных процессов;
- обеспечение обзора потенциально новых системных характеристик, которые могут возникнуть как результат очень большого внедрения генерации с использованием выпрямителей.

2. СОСТАВ СРГ

В состав СРГ входят представители двух комитетов CIGRE – С4 (Технические характеристики энергосистемы) и С6 (Распределительные системы и распределенная генерация) – и Международного конгресса энергетиков распределительных электрических сетей (CIRED).

Наибольший интерес к тематике исследования СРГ проявили эксперты из Европейского Союза и США. Кроме этого практически соблюден баланс между представителями теоретических и практических школ, а также представителей компаний передающей и распределительной электрической сети.

Руководителями СРГ являются:

1. Кожи Ямашита из Центрального исследовательского института электроэнергетики (CRIEPI), Япония.
2. Альберто Церетти из системного оператора распределительных электрических сетей Италии ENEL.

Предварительно предполагалось, что один из руководителей будет отвечать за исследования в рамках передающей сети, другой – в рамках распределительной сети.

3. ЗАСЕДАНИЯ СРГ С4/С6.35/CIRED

В соответствии с внутренними правилами организации работы СРГ каждый год должно быть проведено не менее 4 заседаний преимущественно на территории Европейского Союза. Для участников, представляющих США и Канаду организуется отдельное заседание на территории этих стран.

В 2014 году были организованы следующие заседания СРГ:

1. 06-07 марта в г. Венеция, Италия.
2. 10-11 июня в г. Рим, Италия.
3. 27 июля в г. Вашингтон, США.
4. 27 августа в г. Париж, Франция.
5. 26-27 ноября в г. Брюссель, Бельгия.

Автор отчёта принимал участие в заседаниях СРГ, состоявшихся в марте, августе и ноябре 2014 года.

В 2015 году планируется провести следующие заседания СРГ:

1. 12-13 февраля в г. Бирмингем, Великобритания.
2. 21-22 апреля в г. Грац, Австрия.
3. 15-16 июня в г. Лион, Франция.
4. 19-20 октября в г. Милан, Италия.

4. ИТОГИ РАБОТЫ СРГ В 2014 ГОДУ.

В 2014 году на первом заседании СРГ было решено рассматривать проблемы моделирования генерации с использованием выпрямителей, в том числе накопители электрической энергии (аккумуляторные батареи большой мощности), с точки зрения исследования конкретного явления, для которых необходимо провести расчёты электромагнитных или электромеханических процессов. Первоначальный список состоял из следующих явлений:

- Контроль частоты (Frequency Control)
- Долговременная устойчивость по напряжению (Long-term Voltage Stability)
- Кратковременная устойчивость по напряжению (Short-term Voltage stability)
- Координация систем защиты и непреднамеренное секционирование/выделение на изолированную работу (Protection coordination and unintentional islanding)
- Расчёт ТКЗ (Provision of Short Circuit Current)
- Работа генераторов при критически низком/высоком напряжении (Low/High Voltage Ride Through)¹
- Переходный процесс при коммутации (Switching Transients)
- Взаимодействие систем управления при высокочастотных колебаниях (Control System Interactions - High Frequency)

¹ Имеется ввиду способность генераторов работать в периоды низкого/высокого напряжения сети. Современные крупные ветряные турбины, как правило, 1 МВт и больше, должны включать системы, которые позволяют им работать при таких случаях и тем самым "переезжать" период низкого/высокого напряжения.

- Взаимодействие систем управления при низкочастотных колебаниях: Субсинхронное крутящее взаимодействие (Control System Interactions - Low Frequency: Subsynchronous Torsional Interaction)
- Динамическая устойчивость (Transient Stability)
- Устойчивость угла при малых возмущениях (Small Disturbance Angle Stability).

Указанные явления предполагалось разделить на характерные для передающей электрической сети и для распределительной электрической сети в зависимости от целей их исследования, представления моделей и степени детализации. Однако по итогам обсуждения в рамках СРГ было принято решение об изменении подхода, т.к. расчёт одного и того же явления может быть актуален как для передающей, так и для распределительной электрической сети с учётом их специфики представления данных. В частности, с точки зрения распределительных сетей при исследовании контролируемого и неконтролируемого выделения части энергосистемы с распределённой генерацией с использованием выпрямителей на изолированную работу, актуально изучение поведения данных типов генераторов также на уровне передающей сети с необходимостью расчёта как электромагнитных, так и электромеханических процессов разной длительности. Активная работа по решению этой проблемы проводится в системном операторе распределительных сетей Италии ENEL.

По итогам дискуссии было решено разделить вышеуказанные явления на два направления: моделирование при расчете электромагнитных переходных процессов (electromagnetic transient) и электромеханических переходных процессов (electromechanical transient).

Для избегания совпадения при исследовании каждого явления по описанию модели генераторов и преобразовательных устройств, требований и рекомендаций явления были сгруппированы в следующие темы:

- Поведение при больших колебаниях напряжения;
- Поведение при колебаниях частоты электрического тока;
- Поведение при малых, но продолжительных колебаниях напряжения;
- Поведение при работе при ненормальных условиях;
- Переходные процессы при коммутации;
- Взаимодействие систем управления.

Также на заседаниях СРГ было принято решение по структуре отчёта и необходимому содержанию каждой главы:

- Глава 1 должна быть посвящена определению и описанию целей работы СРГ. Должна быть приведена ретроспектива изучения данной области и обзор проведенного исследования СРГ.

- В Главе 2 должны быть определены типы источников электрической энергии с использованием выпрямителей, которые рассматриваются в дальнейших главах, включая варианты подключения, блоки управления и типы генераторов. Должно быть описано различие между традиционными типами генераторов и генераторами с использованием выпрямителей, а также требования к ним с учётом применения выпрямителей на основе преобразователей тока и преобразователей напряжения (LCC и VSC). Должно быть проведено сравнение синхронных машин и генераторов с использованием выпрямителей при различных возмущениях и их характеристики (регулирование реактивной мощности, реакция на изменение частоты электрического тока и др.). Должно быть описано существующее

состояние моделирования генераторов с использованием выпрямителей, трудности их моделирования, отсутствия методологии и алгоритмов моделирования, отсутствия достаточных данных для моделирования как самих генераторов с использованием выпрямителей, так и энергосистем (электрических сетей) в целом. Должна быть дана краткая характеристика существующих требований, правил и стандартов для генераторов с использованием выпрямителей, утвержденных различными ассоциациями и национальными регуляторами, а также отраженных в сетевых кодексах системных операторов (ENTSO-е, IEEE и т.д.).

- Глава 3 должна быть посвящена детальному описанию вышеупомянутых явлений, разделенных на темы, и рекомендациям по степени детализации моделей. Должны быть приведены реальные примеры измерений параметров явления при работе энергосистемы и расчётов параметров явления в существующих программных комплексах с существующими вариантами моделирования. Должны быть даны рекомендации по выбору и составу модели генераторов с использованием выпрямителей для исследования конкретного явления и рекомендации по представлению и степени детализации электрической сети.

- Глава 4 должна включать обзор и рекомендации по детальному моделированию различных типов генераторов с использованием выпрямителей для расчёта электромагнитных и электромеханических переходных процессов. Должен быть приведён обзор существующих моделей, применяемых при расчётах различных явлений компаниями электроэнергетической отрасли. Должны быть определены способы и возможности программного обеспечения по эквивалентированию большого количества различных типов генераторов с использованием различных типов выпрямителей. Должны быть приведены необходимые детализированные составляющие моделей генераторов с использованием выпрямителей и их систем управления, которые необходимо и желательно учитывать при развитии программного обеспечения.

Техническим заданием предусматривается окончание работы СРГ в марте 2017 года. При этом планируется публикация краткого содержания работы группы в журнале *Electra*, а также публикация двух Технических брошюр.

Для наполнения данными соответствующих глав члены СРГ были разделены на функциональные подгруппы. В данный момент идёт активное обсуждение и наполнение отчёта информацией, данными и аналитическими результатами. Для учёта опыта компаний электроэнергетической отрасли и их понимание будущих требований к программному обеспечению с учётом внедрения большого числа генераторов с использованием выпрямителей членами СРГ в данный момент подготавливается опросник.

Автор отчёта принимает активное участие в написании Главы 2 и Главы 3 в части наполнения информацией по темам Поведение при колебаниях частоты электрического тока и Поведение при работе при ненормальных условиях, формировании опросника, в обсуждении проблем работы СРГ на заседаниях и в активной переписки.

5. АКТУАЛЬНОСТЬ ДЛЯ РОССИИ

В ЕЭС России в силу специфики работы энергосистемы, территориального и экономического развития, доля ВИЭ очень мало и составляет менее 1%.

На законодательном уровне активная работа по внедрению ВИЭ началась в 2007 году. С 2013 года проводится конкурентный отбор мощности (далее - КОМ) в отношении объектов ВИЭ. Отбор проводится на 4 года вперед по 3-м категориям ВИЭ (солнечная, ветрогенерация, гидрогенерация менее 25 МВт).

При проведении КОМ в 2014 году на период 2015-2018 гг. были отобраны суммарно 51 МВт ВЭС, 505 МВт СЭС, 20 МВт малых ГЭС. Из приведенных данных хорошо видна тенденция активного развития ВИЭ с использованием энергии солнца. В соответствии с техническим заданием СРГ, её работа непосредственно касается ФЭС, что указывает на возможность применения результатов работы СРГ в России.

Строительство СЭС предусматривает разработку схемы выдачи мощности электростанции, в том числе с проведением расчётов динамической устойчивости, для последующего формирования проектной и рабочей документации. Кроме этого, данные расчёты актуальны в деятельности ОАО «СО ЕЭС», в частности, при внедрении противоаварийной автоматики. Таким образом, вопрос правильного моделирования данного типа генерации и различного типа выпрямителей также является актуальным. Кроме этого, в России не разработана методология, а также требования и рекомендации по моделированию ВИЭ при расчёте установившихся режимов и динамической устойчивости. Результаты работы СРГ, а также накопленный опыт могут войти в основу данных документов, позволяющих обеспечить единый подход к моделированию и расчёту режимов работы энергосистемы с генерацией на основе ВИЭ для получения актуальных, верифицированных и достоверных моделей энергосистемы и результатов расчёта.