

B4-00

**СПЕЦИАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ ДЛЯ ИК В4
(системы постоянного тока и силовая электроника)**

К. Бартц**М. Мохаддес****Специальные корреспонденты**

Исследовательский комитет Сигрэ В4 отвечает за вопросы, связанные с постоянным током и силовой электроникой для систем переменного тока. Недавнее увеличение генерирующих мощностей от источников возобновляемой энергии и изменения схем передачи мощности повысило необходимость в устройствах постоянного тока и гибких системах передачи электроэнергии переменным током (FACTS). Также очевиден рост интереса к использованию постоянного тока при более низком напряжении для распределительных сетей. Одновременно, развитие полупроводниковых устройств и топологий схем открывает новые возможности для планирования и эксплуатации систем переменного тока. Исследовательский комитет В4 играет важную роль в этом процессе, являясь площадкой для специалистов для обмена идеями и опытом.

Для заседания 2018 года отобрано в общей сложности 45 документов по предпочтительным темам, перечисленным ниже. Эти документы представляют новейшую информацию о схемах систем постоянного тока и FACTS на стадиях планирования, строительства и эксплуатации. В ряде интересных документов представлены новые достижения в производстве полупроводников для использования в системах постоянного тока и в устройствах на основе силовой электроники, а также в сфере новых топологий для устройств силовой электроники. В ряде других документов представлен опыт модернизации устройств HVDC и FACTS.

Для заседания 2018 года Исследовательский комитет выбрал следующие Предпочтительные темы.

Предпочтительная тема 1 Системы постоянного тока ВН и их применение

- Планирование и реализация новых проектов систем постоянного тока высокого напряжения (ВН) (включая обоснование потребности, проектирование, интеграцию ветровой энергетики, экологическую и экономическую оценку)
- Применение новых технологий в системах и сетях постоянного тока ВН
- Реконструкция и модернизация существующих систем постоянного тока ВН
- Опыт обслуживания и эксплуатации

Предпочтительная тема 2 - Системы постоянного тока для распределительных энергосистем

- Системы ВН постоянного тока среднего напряжения и их применение для распределительных энергосистем
- Планирование и реализация новых проектов распределительных энергосистем
- Новые концепции и конструкции

Предпочтительная тема 3 – FACTS и другие системы силовой электроники (СЭ) для систем передачи электроэнергии

- Планирование и реализация новых проектов (включая обоснование потребности, устройства FACTS для источников возобновляемой энергии, экологические и экономические оценки)
- Применение новых технологий для устройств FACTS и другого оборудования СЭ
- Реконструкция и модернизация существующих FACTS и других систем СЭ
- Опыт обслуживания и эксплуатации

Предпочтительная тема 1 - Системы постоянного тока ВН и их применение

(ПТ1) Планирование и реализация новых проектов систем постоянного тока ВН (включая обоснование потребности, проектирование, интеграцию ветровой энергетики, экологическую и экономическую оценку).

Документ В4-101 “Биполь передачи постоянного тока ВН 800 кВ для усиления регионального соединения и интеграции большого количества различных генерирующих источников возобновляемой энергии”

В данном документе описывается необходимость усиления коридора сети Север-Юг в Бразилии из-за быстрого расширения систем генерирования возобновляемой энергии в Северо-Восточном регионе. Было выполнено сравнение альтернативных решений схем переменного и постоянного тока ВН, и было выбрано соединение постоянного тока ВН 800 кВ 4000 МВт с учетом его более низкой стоимости. Исследования показали, что решение постоянного тока ВН и существующая параллельная система переменного тока ВН повышают эффективность друг друга. Это будет являться первой системой постоянного тока ВН в Бразилии, не связанной с крупной генерацией.

Документ В4-102 “Электроды заземления системы постоянного тока ВН и тектоническая обстановка”

В данном документе предлагаются и описываются геоэлектрические модели для трех основных тектонических схем. Данные модели обеспечивают возможность оценки того, каким образом тектоническая обстановка региона влияет на геоэлектрическое моделирование для проектирования электрода заземления системы постоянного тока ВН. В дополнение к минимальной глубине геоэлектрической модели второе параметрическое исследование представляет оценку размера электрода \times сопротивления. Рассматривается ряд наблюдений касательно выбора электрода заземления для площадки проектов систем постоянного тока ВН с различными тектоническими параметрами.

Документ В4-132 “Строительство нового соединения постоянного тока ВН Хоккайдо-Хонсю”

В данном документе описывается необходимость второго соединения постоянного тока между островами Хоккайдо и Хонсю, а также исследования, обуславливающие выбор варианта системы постоянного тока с преобразователем напряжения (ПН). В документе также описывается линия передачи постоянного тока, а также конструкция кабеля и преобразователя напряжения, его системы управления и защиты.

Документ В4-133 “Строительство соединения постоянного тока ВН Хида-Шинано”

В документе представлен обзор новых систем постоянного тока ВН для связи между энергосистемами с частотами 50 Гц и 60 Гц в Японии для упрощения торговли электроэнергией между данными энергосистемами. Необходимость передачи электроэнергии между двумя энергосистемами увеличилась в результате роста числа источников возобновляемой энергии. В документе также рассматриваются проблемы, связанные с резонансами гармоник низкого порядка и влиянием тока утечки системы постоянного тока на близко расположенные линии электропередач переменного тока. Также рассматривается схема передачи с учетом участия нескольких продавцов.

Вопрос 1.1:

- Каким образом интеграция большого количества генерирующих источников возобновляемой энергии ветра / солнца влияет на технические требования к проектированию схем передачи постоянного тока ВН?
- Учитывая опыт предыдущих (успешных) систем постоянного тока ВН, представленный различными производителями, существуют ли требования касательно участия нескольких продавцов, установленные / рассматриваемые в новых спецификациях?
- Каким образом другие системы постоянного тока, устанавливаемые различными производителями в непосредственной близости, влияют на новые проекты постоянного тока ВН?

Документ В4-104 “Параллельная эксплуатация схем систем постоянного тока ВН на базе преобразователей напряжения (ПН), поставленных разными производителями, обеспечивающих питание для крупных секционированных сетей морских нефтегазовых проектов”

В данном документе представлены результаты исследования с моделированием двух параллельных линий ПТВН с использованием ПН, обеспечивающих питание для нефтегазовых платформ. Две системы постоянного тока ВН предоставлены двумя производителями, и модель одного из производителей не была доступна для данного исследования, поэтому была использована общая модель. Предлагаемый регулятор может успешно распределять нагрузку между преобразователями пропорционально их параметрам, поддерживая частоту напряжения электросети платформы на постоянном уровне.

Документ В4-111 “Аспекты расчета параллельных линий постоянного тока ВН, обеспечивающих питание для морских платформ”

В Документе 111 представлено другое применение для обеспечения питания морских нефтяных платформ с использованием двух параллельных электропередач постоянного тока на основе преобразователей напряжения (ППТПН). Были выполнены детальные исследования для определения возможных аспектов согласованности, для расчета и определения параметров схем управления для обеспечения требований

регулирования активной и реактивной мощности для морских сетей одновременно и согласованно во время запуска, устойчивых условий, а также во время и после возмущений.

Вопрос 1.2:

- При планировании питания для морской платформы две параллельных схемы постоянного тока ВН предполагают крупные капиталовложения для обеспечения максимальной доступности энергии и надежности. Каковы возможные выводы касательно стоимости, с учетом использования двух симметричных монополярных систем, с учетом стоимости кабелей и преобразователей?

Документ В4-108 “Преимущества применения ППТПН при восстановлении слабой системы переменного тока после отключения: пример Сардинии”

В данном документе представлены потенциальные преимущества схемы ППТПН для поддержки восстановления слабой сети переменного тока после веерного отключения электроэнергии. Исследования включают сценарии, когда ПН действует как система запуска после веерного отключения или как схема STATCOM. В обоих режимах ПН повышает эффективность контроля напряжения в узлах энергосистемы. Контроль частоты позволяет подсоединять нагрузку или может действовать как “балластная” нагрузка и тем самым обеспечивать уменьшение отклонений частоты до уровня значительно ниже предельных частот вращающихся машин.

Вопрос 1.3:

- Каким образом должны выбираться параметры схемы пуска из обесточенного состояния/ вспомогательной схемы восстановления системы (SRAS) для новых проектов ППТПН, с учетом необходимости детальной информации о системе переменного тока / процедур восстановления сетей переменного тока, а также нормативных требований?
- Каким образом параметры схемы пуска из обесточенного состояния/ вспомогательная схема восстановления системы (SRAS) должны подтверждаться при помощи заводских и полевых испытаний, возможно, за счет использования общих моделей сети, соответствующим образом представляющих типовые сценарии пуска из обесточенного состояния?
- Любой другой опыт касательно сценариев пуска из обесточенного состояния?

Документ В4-110 “Применение управляемого переключения преобразовательного трансформатора для системы постоянного тока ВН Нельсон Ривер Биполь III (Nelson River Bipole III)”

При включении преобразовательных трансформаторов систем постоянного тока ВН могут возникать переходные процессы, характеризующиеся высокими значениями пусковых токов и снижением напряжения. Помимо аспектов качества энергии, такое понижение напряжения может вызывать нарушения коммутации преобразователей, приводящие к снижению передаваемой мощности, в особенности для биполярных схем, или в случаях, когда оказывается влияние на другие схемы постоянного тока ВН. Для предотвращения такого отрицательного влияния в проекте Биполь III используется устройство управляемого подключения фаз преобразовательного трансформатора. Производится расчет остаточной магнитной индукции для определения оптимальных моментов времени замыкания контактов с учетом защитных срабатываний и различных положений переключателя ответвлений трансформатора.

Вопрос 1.4:

- Выбор между устройством управляемого подключения фаз преобразовательного трансформатора и использованием предвключенных резисторов всегда основывается на экономических аспектах. Предлагаемый метод использования устройства управляемого подключения фаз представляется эффективным. Учитывая более высокую стоимость, почему рассматривается вариант использования предвключенного резистора?

Документ В4-113 “Выводы, сделанные на основании проекта BEST PATHS (Эффективные маршруты) для интеграции морских ветроэлектростанций с использованием многотерминальных сетей постоянного тока ВН”

Еще одним шагом от параллельных схем и концепций постоянного тока ВН, как описано в Документах 104 и 111, является развитие многотерминальных сетей постоянного тока (МСПТ), в том числе и для целей интеграции морских ветровых электростанций. В Документе 113 обобщаются исследования проекта BEST PATH (европейский проект), включая электрические взаимодействия между системами постоянного тока ВН и преобразователями ветряных турбин на морских ветряных электростанциях, определяются ключевые показатели производительности (KPI) для оценки рабочих параметров, представлена разработка моделей со свободным доступом и инструментов моделирования с алгоритмами управления, а также результаты исследований проверяются с при помощи моделирования в реальном времени.

Документ В4-115 “Концепция управления сетью постоянного тока для расширяющейся многотерминальной системы передачи электроэнергии постоянного тока высокого напряжения”

Как обсуждалось в документе 113, расширение СПТ ВН осуществляется за счет присоединения дополнительных преобразователей к существующим схемам. В Документе 115 предлагается алгоритм управления для СПТ ВН, состоящий из основного типового или оригинального алгоритма управления преобразователем, и предлагаемого в работе дополнительного алгоритма управления многотерминальными схемами.

Документ В4-134 “Оценка оперативной совместимости ППТПН систем с участием нескольких продавцов: промежуточные результаты проекта НАИЛУЧШИЕ МАРШРУТЫ. DEMO №2”

Наилучшие маршруты. Demo №2 - европейский проект по исследованию оперативной совместимости ППТПН с участием нескольких продавцов. Для оценки на первом этапе использовались детальные EMT модели от различных поставщиков ПН. На втором этапе модели в реальном времени будут подсоединяться к блокам управления от различных поставщиков для более детального испытания оперативной совместимости реальных систем.

Вопрос 1.5:

- Детальное исследование и планирование является основной успеха комплексных проектов, и ключевым аспектом является адекватная исходная информация и модели. Будет ли возможно полностью исследовать преимущества аспектов управления систем постоянного тока ВН при помощи общих, общедоступных моделей без учета специфических аспектов различных производителей?
- Какие технические проблемы возникают при добавлении нового преобразователя в существующую систему постоянного тока или при использовании отличной стратегии управления схемой управления сетью постоянного тока (вспомогательной)?
- Какие ключевые факторы должны рассматриваться для современных схем постоянного тока ВН для обеспечения их расширения в будущем до многотерминальных систем с участием различных поставщиков?

Документ В4-114 “Обоснование потребности, проектирование и бизнес-кейс строительства передачи постоянного тока в Северном море”

Во многих частях мира, в особенности в Европе, в следующем десятилетии предполагаются изменения энергетических систем. После вывода из эксплуатации крупных тепловых электростанций, уменьшенный сезонный спрос в некоторых регионах и увеличивающееся количество ветряных и солнечных генерирующих установок привело к увеличению гибкости генерирования энергии. Благодаря увеличивающейся доле несинхронного генерирования мощность короткого замыкания энергетических систем уменьшается, уменьшается инерция и возможность контроля. В документе 114 рассматриваются преимущества и проблемы при строительстве новых ППТПН с точки зрения изменений энергетических систем переменного тока. Для электропередачи в Северном море (NSL) будет использоваться ПН напряжением 515 кВ постоянного тока в биполярной конфигурации без кабеля нейтрали или морских электродов пропускной способностью 1400 МВт. После завершения соединения NSL станет самым длинным в мире подводным соединительным кабелем постоянного тока ВН, общая протяженность маршрута составит приблизительно 722 км.

Вопрос 1.6:

- Для проекта NSL используется пропитанный в массе неосушенный кабель (MIND) для повышения надежности, представляющий технологию, подтвердившую свою эффективность и простоту производства. Каким образом соотносятся затраты? Каков опыт других проектов касательно выбранной технологии кабеля?
- Для данного проекта с длинным кабелем выбрана жесткая биполярная конфигурация для экономии на третьем кабеле и электроде. Существуют ли какие-либо комментарии касательно данной конфигурации для других проектов?

Документ В4-125 “Исследования, выполненные для планируемой ППТПН Пугалур – Тричур +/- 320 кВ, 2000 МВт и ППТ с преобразователями тока Райгар – Пугалур +/- 800 кВ, 6000 МВт”

В данном документе представлены результаты начальных исследований для ППТПН Пугалур-Тричур и ППТ на базе преобразователей тока Райгар-Пугалур. Шина Пугалур 400 кВ переменного тока соединяет преобразователи тока и напряжения рассматриваемых передач. В исследовании рассматриваются различные сбои на сторонах переменного и постоянного тока, и сделан вывод, что присутствие преобразователя напряжения повышает эффективность параметров коммутации и восстановления после сбоев ППТ на

преобразователях тока. Короткое замыкание полюс - земля в ППТПН не оказывает существенного влияния на ППТ с преобразователями тока.

Вопрос 1.7:

- Каким образом короткое замыкание полюс-полюс в схеме ППТПН влияет на систему ППТ с преобразователями тока?
- Существует ли схожий опыт для соседних терминалов ПН и ПТ?
- Какое влияние оказывает ППТ с преобразователями тока на ППТПН, например, перенапряжения в случае отключения нагрузки?

Документ В4-129 “ Комбинированная сеть Кригерс Флак – сочетание соединителя и коллектора ветряных энергетических установок с использованием вставки постоянного тока и центрального регулятора”

В данном документе описывается уникальное устройство систем КФ CGS, позволяющее направлять любую желаемую часть энергии, произведенной тремя морскими ветряными электростанциями в Дании и Германии, в любую страну в соответствии с требованиями рынка. Дополнительно, если какая-либо часть передаваемой мощности используется не полностью из-за низкого уровня ветра, система может использоваться как соединение для торговли энергией.

Вопрос 1.8:

- КФ CGS представляет использование вставки постоянного тока для регулирования потока мощности соединения переменного тока для продажи электроэнергии и для передачи энергии ветряных электростанций. Существуют ли другие идентичные применения систем постоянного тока ВН? Какие задачи возникают в связи с неточным прогнозированием силы ветра?
- *(ПТ1-2) Применение новых технологий в системах и сетях ВН постоянного тока, в том числе разветвленных*

Документ В4-103 “Соединение макросетей постоянного тока с основными системами переменного тока”

Большие сети постоянного тока ВН, подсоединяемые к исходным системам переменного тока, будут требовать эффективных способов преобразования мощности пост.ток-пост.ток. В документе 103 рассматриваются перспективы преобразования мощности на основании конденсатора (DCT) между линиями постоянного тока, с изменением напряжения и одновременно обеспечением средств для обмена электроэнергией между такими линиями и системами переменного тока. Устройство для преобразования мощности на основе конденсатора позволит минимизировать влияния возмещения в сети постоянного тока на сеть переменного тока (N-1).

Вопрос 1.9:

- Какие минимальные технические требования должны определяться и рассматриваться для разработки устройств преобразования мощности пост.ток-пост.ток (аспекты надежности, потери и т.д.) ?

Документ В4-106 “Силовые полупроводниковые приборы для передачи энергии”

В данном документе разъясняется, каким образом можно достичь наиболее эффективных рабочих параметров, т.е. снижения потерь или оптимизации защиты за счет оптимального проектирования различных полупроводниковых устройств для определенной топологии. В дополнение к обеспечению более высокого напряжения и уровня тока в настоящее время существуют новые полупроводниковые устройства для использования в мощных устройствах силовой электроники, т.е. SiC БТИЗ и SiC-MOSFETS (SiC - карбид кремния). При адаптации новых разработок для силовых полупроводников может предполагаться дальнейшее сокращение потерь при преобразовании для систем ППТПН.

Документ В4-305 “Развитие технологии силовых полупроводниковых устройств для разработки следующего поколения электрических сетей”

В документе описывается повышение эффективности рабочих параметров ряда полупроводниковых устройств, включая тиристоры с контролем фазы, двухрежимные транзисторы с изолированным затвором фазы (BIGBT) и коммутируемые тиристоры с изолированным затвором. PCT третьего поколения обеспечивают мощность до 6,25 кА и уменьшенное напряжение в открытом состоянии. Новый блок BIGT обеспечивает мощность 4,5 кВ 3 кА. Новое устройство IGCT 94 мм обеспечивает 4,5 кВ и 3 кА.

Документ В4-107 “Инновационные меры по предотвращению накопления электростатического заряда на поверхностях реакторов сухого типа с воздушным сердечником для систем постоянного тока ВН ”

В документе В4-107 представлен новый метод для предотвращения разрядов на поверхности посредством помещения в корпус блоков обмотки реакторов с воздушным сердечником. Использование рассеивающей пластиковой пленки или нанесение рассеивающего покрытия непосредственно на поверхность реактора постоянного тока при помощи распыляемого лакового покрытия позволяет обеспечивать отвод зарядов на концевые части обмотки реактора.

Документ В4-118 “Следующее поколение устройств определения места повреждения линии и кабеля для систем передачи ВН постоянного тока”

В документе представлено следующее поколение онлайн-устройств определения места повреждения для линий систем постоянного тока ВН. Возможность регистрации данных с такой высокой скоростью позволяет определять входные бегущие волны также для комбинации кабеля постоянного тока и воздушной линии, а также обеспечивает точное определение положения места повреждения в течение нескольких секунд. Быстрое определение положения места повреждения позволяет сократить время простоя и повышает общую доступность систем передачи постоянного тока ВН. С учетом установки все большего числа кабелей постоянного тока, включая наземные кабели с большим числом соединений, быстрое определение места расположения с использованием таких онлайн устройств определения места повреждения становится все более важным.

Документ В4-126 “Использование нового уровня напряжения системы ПТВН, связанной с системой переменного тока ультравысокого напряжения с учетом технологии и проектирования преобразовательных трансформаторов”

В данном документе представлен отчет об использовании нового уровня напряжения системы ПТВН, связанной с системой переменного тока ультравысокого напряжения, и каким образом новые решения рассматривались для проектирования трансформаторов преобразователя. Помимо сочетания уровней напряжения постоянного тока $\pm 200 / \pm 400$ кВ и переменного тока 1050 кВ в одном трансформаторе еще одной задачей являлась разработка вентиля и регулирование обмотки.

Вопрос 1.10:

- Существуют ли другие инновации систем постоянного тока ВН, используемые для повышения эффективности систем постоянного тока ВН?
- Какие меры могут/должны применяться, в особенности для новых решений, и новые разработки, такие как силовые полупроводниковые SiC устройства или преобразовательные трансформаторы, комбинирующие уровни напряжения постоянного тока, и уровни UHVAC 1050 кВ, для обеспечения максимально надежных рабочих параметров для схем HVDC и FACTS. Возможно ли привести примеры?

Документ В4-109 “Гибридные многотерминальные системы с использованием преобразователей тока (ПТ) и преобразователей напряжения (ПН) для реализации промежуточного отвода мощности: пример Манитоба”

В документе рассматривается длинная передача постоянного тока с преобразователями тока, содержащая две промежуточные подстанции на преобразователях напряжения 500 кВ. ПН с полномостовыми модулями обладает рядом характеристик для обеспечения такого многотерминального соединения. Особое внимание уделяется системе регулирования мощности и стратегиям, рассматривающим различные рабочие сценарии, включая пуск ответвлений. Для оценки устойчивости в переходных процессах (оценка с использованием детальных PSCAD моделей) используется модель с двумя шагами по времени, содержащая модели преобразователей тока и напряжения. Качество переходных процессов при коротких замыканиях на стороне постоянного и переменного тока удовлетворительное, что подтверждается результатами моделирования.

Документ В4-112 “Модульный многоуровневый преобразователь напряжения (ММПН) с одним плечом: новая конструкция для высоковольтных подстанций низкой мощности”

В данном документе представлена новая топология ММПН, названная преобразователем с одним плечом (SA), используемая для преобразователей низкой мощности (для промежуточного отбора мощности), подключаемых к системам высокого напряжения постоянного тока. Предлагаемая топология преобразователя использует одну цепь submodule между терминалами постоянного тока, в отличие от трех схем (для трех фаз) стандартных ММПН. С учетом значительного сокращения числа submodule предполагается, что преобразователь будет более экономичным и будет занимать меньше места.

Вопрос 1.11:

- Обоснование промежуточного отбора мощности от ППТ на преобразователях тока с помощью ПН рассматривалось многократно, тем не менее, по-прежнему не существует действительных планов для реализации данной схемы. Какие технические и экономические аспекты препятствуют этому?

Существуют ли другие возможные конфигурации для добавления ПН ответвления к существующим системам ПТВН?

Документ В4-116 “Задачи развития систем ПТ ультра высокого напряжения от ±800 кВ до более высокого напряжения”

В документе 116 определяются различные задачи для обеспечения повышения напряжения постоянного тока от 800 кВ до 1100 кВ. В документе демонстрируется, что было решено большое число технических задач для развития систем УВН 1100 кВ и оборудование для преобразовательных станций в настоящее время доступно.

Вопрос 1.12:

- Предполагается, что в дополнение к техническим задачам не менее важное значение имеют механические аспекты и аспекты транспортировки. Каковы возможные решения?
- При напряжении постоянного тока 1100 кВ передача мощности выше 10 ГВт будет предусматривать дополнительные задачи для интеграции таких больших терминалов преобразователей в системы переменного тока, а также для обеспечения работы подсоединенных сетей переменного тока (отключение нагрузки из-за сбоев полюсов и т.д.). С учетом дополнительных мер для обеспечения стабильности системы переменного тока, а также с учетом аспектов доступности и надежности, как изменяется стоимость по сравнению с двумя биполярными системами с более низким напряжением постоянного тока?

Документ В4-117 “Экономически эффективная гибридная система ПТВН, обеспечивающая высокие рабочие параметры при авариях на линии постоянного тока”

В документе 117 представлена гибридная система ПТВН для однонаправленной передачи мощности, включающая преобразователь тока на отправляющем терминале и ММПН на базе полумостовых модулей на принимающей концевой части. Использование диодного вентиля последовательно с ММПН позволяет блокировать ток при коротком замыкании на стороне постоянного тока ПН, что обеспечивает быстрое восстановление линии постоянного тока после короткого замыкания без потери управления реактивной мощностью во время сброса тока после короткого замыкания.

Документ В4-120 “Исследование и развитие ПН ультра-высокого напряжения для многотерминальной гибридной системы ПНВН ±800 кВ для Южной энергетической сети в Китае”

В документе 120 описываются исследования и разработка еще одной гибридной системы ПТВН, но для УВН 800 кВ с многотерминальной конфигурацией. Для проекта WDD две преобразовательные станции включают два последовательно подсоединенных ММПН на каждый полюс для обеспечения соответствия конфигурации преобразователя тока. Две топологии, ММПН с полномостовыми модулями и гибридная схема ММПН содержащая 80% полномостовых модулей, могут обеспечить соответствие требованиям рабочих параметров при коротком замыкании на линии постоянного тока.

Вопрос 1.13:

- Какие существуют другие решения для повышения рабочих параметров при К.З. на линии постоянного тока для длинных систем ППТПН с использованием воздушной линии передачи электроэнергии?
- Достигла ли на данный момент технология уровня развития, обеспечивающего возможность создания схем передачи электроэнергии 800 кВ с ПН?

Документ В4-121 “Характеристики систем и расчет параметров основного оборудования для сети постоянного тока Хэбэй”

В данном документе представлена демонстрационная сеть постоянного тока в Хэбэй. Сеть постоянного тока 500 кВ содержит четыре терминала, имеет кольцевую структуру и биполярную топологию с металлическим возвратным проводником. Модульные гибридные автоматические выключатели постоянного тока и реакторы постоянного тока были предусмотрены на обеих концевых сторонах каждой линии для отключения К.З. на стороне постоянного тока.

Вопрос 1.14:

- Для сети постоянного тока с нагрузкой на терминалы в диапазоне 1500 – 3000 МВт максимальная надежность выключателей постоянного тока является строгим требованием для обеспечения надежной и стабильной эксплуатации. Сюда могут относиться такие аспекты, как многочисленные автоматические повторные замыкания, которые используются для систем переменного тока, или функциональность резервного автоматического выключателя. Какие специфические аспекты и требования должны рассматриваться для сетей постоянного тока или для расчета автоматических выключателей постоянного тока?

Документ В4-124 “ППТПН без использования трансформаторов”

В данном документе рассматриваются преимущества и недостатки, связанные с исключением трансформаторов из симметричной однополюсной схемы ППТПН. Преимущества включают уменьшение затрат, потерь и площади основания, простоту транспортировки, возможное снижение времени внедрения, повышение надежности и доступности. Исследование с использованием моделирования показывает, что все обусловленные аспекты, такие как постоянный ток, гармоники нулевой последовательности, поступающие в систему переменного тока, тока могут регулироваться за счет соответствующих методов управления и моделирования, увеличения числа модулей ПН и реактивного сопротивления плеча ПН.

Вопрос 1.15:

- Для преобразователя напряжения на базе полумостовых модулей без соединительного трансформатора напряжения постоянного и переменного тока не могут быть выбраны оптимальным образом. Для ПН с полномостовыми модулями напряжение постоянного тока может выбираться независимо от напряжения переменного тока, и возможна дальнейшая оптимизация. Существует ли опыт рассмотрения ПН без использования трансформатора (с полумостом или полным мостом) для реальных проектов?

Документ В4-127 “Новая концепция блокирования К.З. на стороне постоянного тока для систем ПТ на основе ММПН с использованием полномостовых модулей с бесперебойным источником реактивной мощности для сети переменного тока”

В Документе В4-127 описывается новый метод подавления тока короткого замыкания на стороне постоянного тока для ММПН с использованием полномостовых модулей. Новый метод позволяет преобразователю продолжать обеспечивать поддержку реактивной мощности для системы переменного тока с блокированием тока короткого замыкания на стороне постоянного тока. Это обеспечивается за счет блокирования только модулей верхнего (или нижнего) плеча ПН.

Вопрос 1.16:

- Какие существуют методы подавления тока К.З. ПН и каковы их преимущества?

Документ В4-130 “Развитие автоматического выключателя нейтрали постоянного тока для биполярных схем постоянного тока ВН”

В документе представлены задачи и развитие стандартных (на основе резонанса) MRTS (переключатель обратного провода) для биполярных систем постоянного тока ВН с номинальным током выше 6 кА. Рассматриваются задачи и инновационные методы испытания MRTS высокого тока.

Вопрос 1.17:

- С продолжением повышения уровней постоянного тока систем постоянного тока ВН, каковы задачи, связанные с разработкой соответствующих переключателей постоянного тока? Каким образом повышение эффективности изоляции специального металлического обратного провода влияет на конструкцию переключателей постоянного тока?

Документ В4-131 “Аспекты проектирования многотерминальных сетей ПТ с интеграцией источников возобновляемой энергии”

В данном документе разъясняется критическая роль автоматических выключателей постоянного тока в сети постоянного тока, а также необходимость двунаправленной размыкающей способности. Представлены результаты моделирования процессов пуска сети постоянного тока, а также отключения К.З. Обсуждается необходимость выключателей постоянного тока для поддержания непрерывности электроснабжения при сбое на ветряных электростанциях.

Вопрос 1.18:

- При возникновении К.З. в сети постоянного тока поток мощности в сети прерывается до отключения К.З. Какие техники могут поддерживать бесперебойное электропитание при К.З. сети постоянного тока на ветряных электростанциях, обеспечивающих питание для сети постоянного тока?

Документ В4-135 “Виртуальный конденсатор для повышения стабильности сети постоянного тока”

В документе представлена новая концепция виртуального конденсатора для схемы ПН, подсоединенной к сети постоянного тока. Способность ММПН сохранять энергию может использоваться для предотвращения колебаний напряжения постоянного тока. Виртуальное емкостное сопротивление обеспечивается посредством контроля обмена мощности между сетью постоянного тока и преобразователем во время возмущения.

Уровень виртуального емкостного сопротивления может регулироваться при помощи параметров контроллера. Виртуальный конденсатор может повысить стабильность напряжения сети постоянного тока. Для подтверждения концепции был создан прототип небольшого масштаба.

Вопрос 1.19:

- Значительное количество энергии сохраняется в конденсаторах submodule ММПН. Каким образом данная энергия может использоваться для повышения эффективности систем постоянного и переменного тока, подсоединенных к ММПН?

· (ПТ1-3) Реконструкция и модернизация существующих систем ВН постоянного тока.

Документов касательно реконструкции и модернизации существующих систем ВН постоянного тока представлено не было.

· (ПТ1-4) Опыт обслуживания и эксплуатации.

Документ В4-105 “Оценка методов эксплуатации и обслуживания системы постоянного тока ВН Нордик для обеспечения надежности систем постоянного тока ВН”

В данном документе представлены результаты исследования, выполненного совместной рабочей группой, сформированной ССО Нордик для определения мер по повышению эффективности и доступности систем постоянного тока ВН, с учетом методов их эксплуатации и обслуживания. В документе представлены данные о текущих показателях надёжности, влияние различных методов эксплуатации и обслуживания на надежность и доступность, а также методы их повышения.

Документ В4-119 “Цикл эксплуатации систем постоянного тока ВН”

В данном документе рассматривается подход к циклу эксплуатации систем ПТВН и FACTS. Для таких систем с типовым сроком эксплуатации 30 – 40 лет разработка новых и более совершенных компонентов и технологий может обеспечить более высокую эффективность и безопасность, увеличить срок их эксплуатации на много лет и обеспечить реализацию новых функций, повышающих надежность и доступность систем. Модификация с использованием цифрового оборудования обеспечивает преимущества, позволяя подсоединять системы к схемам управления через интернет (IoT), а также осуществлять интеграцию с современными системами управления оборудованием и анализа данных.

Документ В4-137 “Исследование надежности систем постоянного тока ВН в мире в 2015 – 2016 г.г.”

Консультативная группа СИГРЭ В4.04 ежегодно собирает данные касательно надежности работы систем постоянного тока ВН во всем мире. Данный отчет представляет результаты анализа надежности эксплуатации систем постоянного тока ВН во всем мире в 2015 и 2016 г.г..

Вопрос 1.20:

- Как можно повысить существующий уровень качества статистики и отчетов касательно систем постоянного тока ВН для обеспечения уровня качества, необходимого для детального анализа факторов, влияющих на надежность и доступность, или их значения?
- Имеются ли предложения к AG04 для предоставления более детальной информации касательно простоев и сбоев, а также касательно плановых отключений?
- Каков опыт других операторов систем постоянного тока ВН?
- Какова статистика простоев, вызываемых системой управления и защиты с учетом использования дублирующих систем управления?

Документ В4-122 “Аспекты проектирования, установки и эксплуатации первой преобразовательной станции системы постоянного тока в помещении в Агре, Индия”

В документе 122 рассматриваются аспекты проектирования, установки, эксплуатации и обслуживания преобразовательной станции системы постоянного тока 800 кВ в помещении в Агре. Особое внимание уделяется координированию изоляции и воздушным зазорам, электрической и механической конструкции, строительным требованиям / проектированию гражданского строительства, а также вводу в эксплуатацию, эксплуатации и обслуживанию.

Документ В4-123 “Опыт ввода в эксплуатацию и проблемные аспекты для первого в мире соединения ВН постоянного тока +/- 800 кВ с отдельным обратным проводом (DMR)”

В документе суммируются основные наблюдения, сделанные при вводе в эксплуатацию и эксплуатации Биполя-I соединения ВН постоянного тока 3000 МВт Чампа-Курукшетра, являющегося первой системой +800 кВ

с отдельным обратным проводом. Существуют определенные ограничения в отношении стандартного возврата через землю, например, недоступность площадки с соответствующим резистивным сопротивлением грунта и теплопроводностью. DMR решает ряд аспектов, существующих для стандартных линий электродов, хотя ряд аспектов, таких как защита DMR, требует специального решения.

Документ В4-308 “Опыт эксплуатации вставки постоянного тока на основе преобразователей напряжения для соединения несинхронных энергосистем со значительным искажением напряжения”

В документе представлен опыт эксплуатации вставки постоянного тока на основе преобразователей напряжения для соединения асинхронных систем переменного тока Востока и Сибири. Сеть переменного тока характеризуется длинными линиями переменного тока, генерирующие мощности расположены далеко от нагрузок. Усовершенствования, выполненные для систем управления и защиты вставки, обеспечили повышение качества электроэнергии и рабочих параметров, и стабильность эксплуатации при таких условиях притыкающей сети.

Документ В4-136 “Опыт эксплуатации и пути повышения надежности Выборгской преобразовательной подстанции (в связи с 35-летием со дня ввода в эксплуатацию первого преобразовательного блока)”

В документе описывается опыт эксплуатации вставки постоянного тока Выборгской преобразовательной подстанции, осуществляющей передачу электроэнергии между энергосистемами России и Финляндии. В частности, был выполнен анализ последовательности событий, приводящих к лавинным снижениям напряжения. Для корректирования данной ситуации была успешно реализована корректировка систем управления и защиты.

Вопрос 1.21:

- Каков опыт эксплуатации других схем передачи электроэнергии постоянного тока ВН при К.З. на обратном проводе, а также наблюдений, представленных в документах 122, 123, 136 и 308, включая такие аспекты, как перекрытия выключателей на стороне ПТ, режимы работы ОПН при определенных эксплуатационных условиях или аспекты, связанные с колебаниями напряжения (реактивной мощности) на стороне переменного тока?

Предпочтительная тема 2 - Системы постоянного тока и другие системы силовой электроники (СЭ) для систем распределения

- *(ПТ2-1) Системы постоянного тока среднего напряжения и их применение для систем распределения*

Документ В4-202 “Разработки в рамках проекта системы постоянного тока Angle-DC; перевод кабеля переменного тока среднего напряжения и воздушной линии на постоянный ток”

Проект Angle-DC вводит технологию преобразования энергии в область распределительных сетей среднего напряжения, при этом инфраструктура сетей переменного тока работает на постоянном токе. В данном документе описываются новейшие разработки и детальные инженерные аспекты в отношении спецификации оборудования, мониторинга частичного разряда, системы управления и эксплуатации преобразователя, включая последовательность операций при пуске данной системы.

- *(ПТ2-2) Планирование и реализация новых проектов систем распределения*

Документ В4-201 “Проектирование первой распределительной электрической сети постоянного тока общего пользования в Нидерландах”

В документе описывается проектирование однополюсной электрической сети постоянного тока 750 В, обеспечивающей более экономичную передачу мощности. Рассматриваются аспекты снижения потерь, интеграции источников возобновляемой энергии, колебаний потоков мощности и т.д. Рассматриваемые в документе аспекты включают требования для проектирования сети постоянного тока, проект сети, концепции обеспечения безопасности и защиты сети. Система распределения постоянного тока низкого напряжения является более комплексной по сравнению с традиционной системой переменного тока низкого напряжения, и использование преобразователей предполагает новые сценарии сбоев и задачи для избирательности защиты.

- *(ПТ2-3) Новые концепции и конструкции*

Документ В4-203 “Оценка параметров различных методов модуляции, используемых для модульного каскадного многоуровневого инвертора на основе шунтирующего гибридного активного фильтра”

Целью данного документа является исследование параметров модульного каскадного многоуровневого инвертора на основе шунтирующего гибридного активного фильтра для компенсации реактивной мощности и устранения гармоник.

Был выполнен анализ различных методов модуляции с учетом эффективности подавления гармоник и регулирования реактивной мощности.

Вопрос 2.1:

- Проекты, описанные в представленных выше документах, демонстрируют расширение функциональности, которую может обеспечить внедрение технологии постоянного тока / силовой электроники в эксплуатацию сетей распределения. Существуют ли другие примеры разрабатываемых проектов, демонстрирующие преимущества и технические аспекты адаптации технологии постоянного тока для систем распределения?
- Метод (Документ В4-201) использования плавких предохранителей и специальных реакторов для ограничения тока является уникальным, но соответствует концепции распределительной сети. Существуют ли другие концепции защиты?

Предпочтительная тема 3 – FACTS и другие системы силовой электроники (СЭ) для систем передачи

- *(ПТЗ-1) Планирование и реализация новых проектов (включая обоснование потребности, устройства FACTS для источников возобновляемой энергии, экологические и экономические оценки)*

В4-307 “Разработка и проектирование модульного многоуровневого (ММ) STATCOM ±100 Мвар на подстанции НП Кунта в Индии”

В документе описывается опыт проектирования и ввода в эксплуатацию системы ММ STATCOM, установленной на подстанции НП Кунта в Индии рядом с солнечной электростанцией 1500 МВт. STATCOM включает два установки +50 Мвар для обеспечения более высокой надежности. Рассматриваются аспекты проектирования, имеющие отношение к выбору автоматических выключателей схемы среднего напряжения. Динамические параметры, резерв и параметры гармоник системы STATCOM описываются с использованием осциллограмм, снятых во время пусконаладочных испытаний.

- *(ПТЗ-2) Применение новых технологий для устройств FACTS и другого оборудования СЭ*

Документы по данной теме представлены не были.

- *(ПТЗ-3) Реконструкция и модернизация существующих FACTS и других систем СЭ*

Документ В4-301 “Методы реконструкции для стандартных подстанций с ПН с использованием современных управляемых схем систем охлаждения, тиристорных вентилялей и выборочной замены основной схемы”

В данном документе представлен опыт реконструкции двух ПН на Аляске. Основной причиной реконструкции является сложность получения запасных частей и повышенная стоимость обслуживания систем управления и охлаждения, а также электроники вентилялей. Оценка состояния показала низкую необходимость замены оборудования основной схемы. Представлены результаты, зарегистрированные во время заводских приемочных приемосдаточных испытаний, в частности для новой функции демпфирования колебаний мощности.

Документы В4-302 “Модернизация трех СТК в Норвегии. Какие действия могут быть наиболее эффективными для устаревающих СТК?”

В документе рассматриваются правила касательно обслуживания устаревающих СТК в Норвегии, в частности увеличивающееся время простоя, сложность получения запасных частей, получения знаний и опыта. Объясняются задачи проекта модернизации, такие как определение объема замены, выполнение проекта на существующей подстанции под напряжением. Представлен опыт модернизации трех СТК.

В4-306 “Модернизация Essex STATCOM - расчет, испытание и ввод в эксплуатацию”

В документе описывается опыт модернизации STATCOM, в частности, задачи, определяемые требуемой модификацией для проектирования и испытания основных компонентов. Еще одним проблемным аспектом является ограниченное время отключения для выполнения строительных работ и установки. Представлен опыт ввода в эксплуатацию и измерений параметров гармоник.

Вопрос 3.1:

- В документе 304 описывается установка STATCOM рядом с основной солнечной электростанцией. Какие задачи предполагает установка устройств FACTS в непосредственной близости от других систем на основе силовой электроники?
- В документах 301, 302 и 306 представлены примеры проектов модернизации СТК и STATCOM. Каковы основные стимулы и задачи для модернизации устройств FACTS?

- **(ПТЗ-4) Опыт обслуживания и эксплуатации**

Документы по данной теме представлены не были.