



Лев Травин, секретарь ПК 22F МЭК, Всероссийский электротехнический институт, Москва

Силовая электроника в электрических сетях – Техническая революция

Преимущества ЛЭП/вставок постоянного тока



- обеспечивается надежная, экономичная и полностью управляемая передача электроэнергии по дешевым воздушным ЛЭП на дальние расстояния (более 600-800 км), что особенно ценно на бескрайних просторах России;
- обеспечивается надежная, экономичная и полностью управляемая передача электроэнергии по кабельным линиям на расстояние более 30 км (подводные кабельные ЛЭП до 500 км, глубокие вводы в мегаполисы);
- повышается статическая и динамическая устойчивость энергосистем,
- исключаются системные аварии, развалы электроэнергетических систем, число которых в развитых странах (США, страны Европы) быстро растет с увеличением мощности энергосистем и которые наносят громадный экономический ущерб;



Преимущества ЛЭП/вставок постоянного тока



- обеспечивается объединение систем, работающих асинхронно или с разными частотами (50 и 60 Гц), без повышения уровней токов к.з. в них (не требуется замена оборудования (выключателей, разъединителей и т.д.), как это происходит при объединении энергосистем при помощи ЛЭП переменного тока;
- обеспечивается высокое качество электроэнергии - до идеального (исключаются отклонения величин и искажения форм напряжений и токов и т.д.), улучшается коэффициент мощности, повышается производительность оборудования с асинхронным электроприводом;
- обеспечивается экономия электроэнергии на всех уровнях напряжения



ЛЭП/вставки постоянного тока в СССР



№№ п/п	Наименование	Год ввода	Мощность, МВт	Напря- жение кВ	Ном. ток, А	Длина, км
1	Кашира - Москва	1950	30	±100	150	120
2	Волгоград – Донбасс	1962 - 1965	720	±400	900	473
3	Экибастуз – Центр (Тамбов)	1992 – 1995*	6000	±750	4000	2400
4	Выборгская ВИП	1981 - 2002	600/1000			0



Основные технические решения для высоковольтных тиристорных вентилях для ЛЭП/вставок постоянного тока в СССР

модульная конструкция

- **охлаждение деионизированной водой**
- **управление тиристорами на высоком потенциале с помощью коротких импульсов**
- **использование стекловолоконных световых каналов для передачи информации с земли на высокий потенциал и обратно**

Основные тенденции современного развития техники электропередач постоянного тока и силовой электроники по состоянию на 2012-2014 г.

- Создание дальних магистральных электропередач постоянного тока на напряжении ± 500 .. ± 1100 кВ мощностью до 10-12 ГВт с тиристорными преобразователями тока
- Создание электропередач и вставок постоянного тока с самокоммутируемыми преобразователями с последовательными конденсаторами
- Внедрение электропередач и вставок постоянного тока с модульными многоуровневыми преобразователями типа инверторов напряжения мощностью до 1000 МВт

Основные тенденции современного развития техники электропередач постоянного тока и силовой электроники по состоянию на 2012-2014 г.

- **Сооружение ППТ ВН с подводными и подземными кабелями**
- **Широкое внедрение устройств компенсации реактивной мощности; как традиционных, так и на базе технологии СТАТКОМ**
- **Интеграция больших ветроэлектростанций в сети переменного тока**
- **Создание сетей постоянного тока**
- **Создание мощных установок и систем аккумулирования электроэнергии.**

- Преобразователи напряжения на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов (силовых биполярных транзисторов с изолированным затвором, запираемых тиристоров и др.) для ЛЭП и вставок постоянного тока
- Регулируемые батареи конденсаторов и реакторы для гибких ЛЭП переменного тока
- Мощные преобразователи со световым управлением на фототиристорах (Siemens, Toshiba, Hitachi)

Преобразователи напряжения

- Способны работать во всех четырех квадрантах, т.е. потреблять и генерировать не только активную, но и реактивную мощность.
- Надежное электроснабжение изолированных регионов и островов, не имеющих других источников электроэнергии
- Полное регулирование реактивной мощности
- Создание абсолютно неуязвимых сетей постоянного тока, наложенных на существующие сети переменного тока
- Нужны надежные выключатели постоянного тока

Стандартизация преобразовательного и/или полупроводникового коммутационного оборудования и систем силовой электроники, включая средства их контроля, регулирования, защиты, охлаждения и другие вспомогательные системы, и их применение в электрических передающих и распределительных системах.

ПРИМЕЧАНИЕ Типичные примеры:

- оборудование силовой электроники для гибких электропередач переменного тока (управляемые конденсаторы последовательной компенсации, унифицированные регуляторы потоков мощности и т.д.);
- преобразователи и связанное с ними оборудование для мощных электропередач и систем постоянного тока высокого напряжения независимо от уровня постоянного напряжения;
- средства компенсации реактивной мощности (статические (СТК) и синхронные (СТАКОМ) конденсаторы реактивной мощности и т.д.), оборудование силовой электроники для интеллектуальных сетей (smart grids);
- подключение обновляемых и распределенных источников энергии к электрическим передающим и распределительным электрическим системам (солнечные электростанции, ветряные фермы и т.д.) с учетом системных аспектов для уровней постоянного напряжения 100 кВ и ниже;
- а также другие случаи применения силовой электроники, например, фазосдвигатели и активные фильтры.

ПК 22F МЭК — Общая информация — Статистика

- Число разработанных публикаций МЭК: 28
(2014 – 4 публикации)
- Число Рабочих Групп (РГ) и Групп поддержки (ГП): 17
- Число экспертов: 93/141
- Число новых проектов за прошедшие 5 лет: 7
- Число текущих активных проектов: **13**
- Число заседаний ПК 22F за прошедшие 5 лет: 5

ПК 22F МЭК

Сотрудничество

Внутри МЭК

- IEC/TC89 – Испытания на пожаробезопасность
- IEC/TC115 – Электропередачи постоянного тока высокого напряжения 100 кВ и выше

Переговоры по установлению сотрудничества проведены Травиным на заседании нового комитета ТК 120 МЭК – Системы аккумулирования электроэнергии в Токио 8 ноября 2014 года.

С другими международными организациями

• СИГРЕ ИК В4 – Электропередачи постоянного тока высокого напряжения и силовая электроника (Большая часть Публикаций МЭК, созданных в ПК 22F МЭК, основаны на Брошюрах/Докладах СИГРЕ В4. Сейчас ПК 22F МЭК работает над 9 Публикациями и 5 из них основаны на Брошюрах/Докладах СИГРЕ В4).

• CENELEC TC 22X – Колин Давидсон, представитель Великобритании в ПК22F, назначен Офицером по сотрудничеству для поддержанию связей с CENELEC TC 22X (аналог ТК 22 МЭК и его подкомитетов в Европейской Организации по Стандартизации).

Опубликованы в 2014 году:

- **IEC 62501, Am.1, Ed.1.0** — Вентили преобразователей напряжения для электропередач постоянного тока высокого напряжения – Электрические испытания (**ГП22** Руководитель: Баолианг Шенг, Швеция)
- **IEC 62747, Ed.1.0** — Терминология для преобразователей напряжения в электропередачах постоянного тока высокого напряжения, (**РГ24** Руководитель: Маркус Хэслер, Германия)
- **IEC 62751-1, Ed.1.0** — Определение потерь мощности в вентилях преобразователей напряжения для электропередач постоянного тока высокого напряжения, Часть 1: Общие положения (**РГ25** Руководитель Колин Давидсон, Великобритания)
- **IEC 62751-2, Ed.1.0** — Определение потерь мощности в вентилях преобразователей напряжения для электропередач постоянного тока высокого напряжения, Часть 1: Модульные многоуровневые преобразователи (**РГ25** Руководитель: Колин Давидсон, Великобритания)

На пленарном заседании ПК 22F МЭК 12-14 ноября 2014 г. в Токио, Япония, в соответствии с Программой его работы принято решение о начале разработки следующих новых проектов в 2015 году:

- IEC/TR 62001-2 Ed.1: Электропередачи постоянного тока высокого напряжения - Путеводитель по спецификации и проектированию фильтров гармоник на стороне переменного тока, Часть 2: Режимы работы (Рабочий проект, июль 2015)
- IEC/TR 62001-3 Ed.1: Электропередачи постоянного тока высокого напряжения - Путеводитель по спецификации и проектированию фильтров гармоник на стороне переменного тока, Часть 3: Моделирование (Рабочий проект, июль 2015)

Оба проекта частей 2 и 3 Технического доклада IEC/TR 62001 МЭК будут создаваться на основе Технической Брошюры СИГРЕ № 553, 2013, «Специальные аспекты проектирования фильтров высших гармоник на стороне системы переменного тока электропередачи постоянного тока».

ПК 22F МЭК - Обновляемые проекты 2014



- **IEC 60633, Am2, Ed.2.0** — Терминология для электропередач постоянного тока высокого напряжения, (**ГП13** Руководитель: Колин Давидсон, Великобритания) – **Подготовка обновления стандарта для опубликования;**
- **IEC 60700–1, Ed.2.0** — Тиристорные вентили для электропередач постоянного тока высокого напряжения - Часть 1: Электрические испытания, (**ГП9** Руководитель: Шигеру Танабе, Япония) – **Подготовка стандарта для опубликования;**
- **IEC/TR 60919-2, Am.1, Ed.2.0** — Режимы работы электропередач постоянного тока высокого напряжения с преобразователями, ведомыми сетью - Часть 2 – Аварии и коммутации (**ГП 11** Руководитель: Ванронг Жанг, Китай) – **Технический доклад – подготовка для опубликования;**
- **IEC/TR 60919-3, Am.1, Ed.2.0** — Режимы работы электропередач постоянного тока высокого напряжения с преобразователями, ведомыми сетью - Часть 3 – Динамические режимы (**ГП11** Руководитель: Ванронг Жанг, Китай) – **Проект для голосования**
- **IEC 61803, Am.2, Ed.1.0** — Определение потерь мощности на преобразовательных подстанциях электропередач постоянного тока высокого напряжения с преобразователями, ведомыми сетью (на основе стандарта IEEE 1158-1991)(**ГП14** Руководитель: Санджей Мукоо, Германия) – **Проект для голосования**



ПК 22F МЭК - Обновляемые проекты 2014



- **IEC 61975, Am.1, Ed.1.0** — Установки постоянного тока высокого напряжения - Системные испытания (на основе Брошюры СИГРЕ 97, 1995)(ГП27 Руководитель: Минксин Ван, Китай) - **Проект для голосования**
- **IEC/TR 62001-1, Ed.1.0** — Электропередачи постоянного тока высокого напряжения - Путеводитель по спецификации и проектированию фильтров гармоник на стороне переменного тока, Часть 1: Общий обзор (на основе Брошюры СИГРЕ 139,1999) (ГП21 Руководитель: Гиройд Шон О'Хейдхин, Великобритания) – **Проект для голосования**
- **IEC/TR 62001-4, Ed.1.0** — Электропередачи постоянного тока высокого напряжения - Путеводитель по спецификации и проектированию фильтров гармоник на стороне переменного тока, Часть 4: Оборудование (на основе Брошюры СИГРЕ 139,1999) (ГП21 Руководитель: Гиройд Шон О'Хейдхин, Великобритания) – **Проект для голосования**
- **IEC/TR 62544, Ed.1.0** - Электропередачи постоянного тока высокого напряжения – Применение активных фильтров (на основе Брошюры СИГРЕ 223, 2003)(ГП29 Руководитель: Гиройд Шон О'Хейдхин, Великобритания) – **Проект для голосования**



ПК 22F МЭК Цели и стратегия(от 3 до 5 лет)

- Разработка новых и обновление существующих Публикаций МЭК с учетом особенностей, присущих ультравысоковольтным оборудованию и системам силовой электроники ультравысокого напряжения. Область деятельности ПК 22F не ограничивает уровень напряжения оборудования и систем силовой электроники;
- Разработка Публикаций МЭК по оборудованию и системам силовой электроники для будущих интеллектуальных сетей;
- Разработка Публикаций МЭК по оборудованию и системам силовой электроники, предназначенным для интеграции возобновляемых и других распределенных источников энергии в существующие электрические системы;

- **Разработка Публикаций МЭК по оборудованию и системам силовой электроники, предназначенным для электроснабжения изолированных регионов или островов;**
- **Разработка Публикаций МЭК по оборудованию и системам силовой электроники, обеспечивающим увеличение энергоэффективности работы электрических передающих и распределительных систем;**
- **Разработка Публикаций МЭК по высоковольтным коммутирующим полупроводниковым/композитным коммутационным устройствам для сетей постоянного тока.**

ПК 22F МЭК Ближайшие цели

- **Полный комплект стандартов (терминология, предельные значения и характеристики, методы испытаний, методы измерения характеристик и т.д.), описывающих основные виды оборудования силовой электроники;**
- **Преобразовательные установки (автономные и подключенные к электрическим сетям) для различных возобновляемых источников энергии (ветер, солнце, малые реки и т.д.);**
- **Системы регулирования и защиты для электропередач постоянного тока высокого напряжения – Часть 1: Уровень преобразователя;**
- **Заводские испытания систем регулирования и защиты преобразователей для электропередач постоянного тока высокого напряжения;**
- **Установки регулирования реактивной мощности (СТК, СТАТКОМ и др.);**
- **Исследования применений оборудования силовой электроники на моделях перед сетевыми системными испытаниями.**

Опубликовано – 4 Публикации МЭК

Разрабатываются - 4 новые Публикации МЭК

Обновляются - 9 Публикаций МЭК

**Будут опубликованы в 2015 году –
6 Публикаций МЭК**

TK 115 МЭК «Электропередачи постоянного тока напряжением свыше 100 кВ»



Область деятельности

Стандартизация в области технологий электропередач постоянного тока напряжением свыше 100 кВ, т.е. создание системно-ориентированных стандартов по проектированию, техническим требованиям, строительству и вводу в эксплуатацию, надежности и готовности, работе и обслуживанию электропередач постоянного тока напряжением свыше 100 кВ. Стандарты по оборудованию, связанные с системными аспектами электропередач постоянного тока будут разрабатываться в тесном сотрудничестве с соответствующими Техническими Комитетами МЭК по электрооборудованию.



ЛЭП и вставки постоянного тока в Китае

Находятся в эксплуатации:

- 8 ЛЭП постоянного тока напряжением ± 400 , ± 500 и ± 600 кВ общей мощностью 23200 МВт;
- 4 ЛЭП постоянного тока ± 800 кВ общей мощностью 23600 МВт;
- 4 вставки постоянного тока общей мощностью 3360 МВт

Ведется строительство:

- 2 ЛЭП постоянного тока ± 800 кВ общей мощностью 16000 МВт, 6 Публикаций МЭК

ЛЭП и вставки постоянного тока в Китае

Ведется строительство:

- 2 ЛЭП постоянного тока ± 800 кВ общей мощностью 16000 МВт;
- первой в мире ЛЭП постоянного тока ± 1100 кВ, 11000 МВт;
- 3 ЛЭП постоянного тока с преобразователями напряжения:
 - ± 320 кВ, 1000 МВт;
 - ± 160 кВ, 200 МВт;
 - ± 200 кВ, 400/300/200/100/100 МВт (с отборами мощности).

Технические Спецификации

- [62344:2013](#) Проектирование установок заземляющих электродов для ЛЭП постоянного тока высокого напряжения – Основные принципы;
- [62672-1:2013](#) Оценка надежности и готовности ЛЭП постоянного тока высокого напряжения – Часть 1: ЛЭП постоянного тока с преобразователями с линейной коммутацией;
- [61973:2012](#) Акустические шумы преобразовательных подстанций ЛЭП постоянного тока высокого напряжения

Технический Доклад

[62681:2014](#) Электромагнитные характеристики воздушной ЛЭП постоянного тока высокого напряжения.

Активное участие в работе МЭК по стандартизации оборудования и систем силовой электроники является особенно важным для России в связи с ее членством в ВТО и необходимостью импортозамещения, которые имеют смысл только в случае развития в России наукоемких отраслей экономики и выходе на международный рынок с конкурентоспособной продукцией этих отраслей.

Спасибо

Лев Травин