



ДЕПАРТАМЕНТ ТЕХНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

# ОБЗОР НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Выпуск 1



2008 г.



**Знаете ли вы что...** Примерно 340 лет назад немецкий ученый и бургомистр г. Магдебурга О. фон Герике создал первый прибор для получения электрических зарядов. Его устройство, вырабатывавшее электричество путем трения, представляло собой шар (из диэлектрика), который приводился во вращение вокруг стержня (оси) руками. В результате трения шара о ладони он электризовался. С помощью этого прибора Герике изучал электрические явления, что положило начало научному подходу к изучению электричества.

## Выставки и семинары:

### 1.1 14-я международная специализированная выставка, г. Самара

Место проведения: г. Самара

Сроки: 05.02.2008-08.02.2008

#### Разделы выставки

- Энергетические технологии и оборудование
- Средства передачи и распределения электро- и теплоэнергии
- Управление режимами электрических и теплоснабжающих систем
- Программное обеспечение
- Инструмент для электромонтажа
- Энергосбережение. Технологии, оборудование и материалы. Энергоаудит
- Научные исследования и разработки в энергетике

Подробнее: <http://www.energysamara.ru/>

### 1.2 ЭНЕРГЕТИКА. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ.

XII специализированная выставка

Место проведения: Россия, Уфа

Сроки: 04.03.2008-07.03.2008

#### Разделы выставки

- Производство, преобразование и аккумуляция электроэнергии: генераторы и преобразователи, батареи, трансформаторы, конденсаторы, электрические приводы и т.д.
- Диагностика энергетического оборудования
- Распределение и передача энергии: низковольтные распределительные системы и приборы, провода, шнуры, кабели, кабельная аппаратура, кабельная арматура, приборы и системы для электропроводки и т.д.
- Электротехническое оборудование и изделия

- Оборудование для электростанций и подстанций, сети распределения, передачи и производства электроэнергии

- Конденсаторы

Подробнее:

<http://www.ligas-ufa.ru/?mode=page&id=32>

### 1.3 Электро 2008. Электротехника и энергетика.

10-я юбилейная специализированная электротехническая выставка

Место проведения: Россия, Ростов-на-Дону, Ростовский "ДВОРЕЦ СПОРТА"

Сроки: 27.02.2008-29.02.2008

#### Разделы выставки

- Электрическое оборудование, машины и аппараты;
- Электростанции; трансформаторы и трансформаторные подстанции;
- Высоковольтное оборудование;
- Низковольтная аппаратура;
- Электроизоляционные материалы; аксессуары;
- Новые технологии в электротехнике и энергетике.

Подробнее: <http://www.expo-don.pp.ru>

## Новости ...

**Компания «Тороид» совместно с ООО «НПП «Сагурн»** разработала цифровой прибор контроля изоляции **Ф4107**, предназначенный для непрерывного контроля сопротивления изоляции и сигнализации. Прибор может функционировать при снижении тока ниже установленного уровня в сетях переменного тока и других электроустановках с изолированной нейтралью. Область применения цифрового прибора контроля изоляции **Ф4107**, по словам экспертов, распространяется на любые передвижные и стационарные электроустановки, в том числе и станции управления погружными насосами нефтяных скважин. Пылезащищенное и брызгозащищенное производство прибора изоляции позволяет использовать его даже в экстремальных климатических условиях.

**Холдинговой компанией "Электрозавод"** изготовлен самый мощный из ранее выпускаемых в России трансформаторов - ТЦ-630 000/330 мощностью 630 МВА на напряжение 330 кВ весом около 400 тонн.

Трансформатор нового поколения разработан для объектов Концерна "Росэнергоатом". Поставка новейшего энергетического оборудования на Курскую АЭС намечена на январь-февраль 2008 года. Трансформатор разработан на современном техническом уровне с использованием новых конструктивных и технологических решений, современных материалов и опыта передовых фирм.

**Источник: [www.Advis.ru](http://www.Advis.ru)**

В середине декабря **Свердловский завод трансформаторов** тока выпустил первые образцы комплектных распределительных устройств серии КРУ NEXIMA по лицензии компании Schneider Electric.

**Источник: [www.eprussia.ru](http://www.eprussia.ru)**

Знаковое изобретение. **Компания Wayne Kerr** представила на рынке революционное изобретение Знаковым электротехническим изобретением, появившимся на рынке в начале января, можно выделить производство 3 новых линеек измерителей RLC компанией Wayne Kerr.

**Источник: [www.eprussia.ru](http://www.eprussia.ru)**

В рамках проекта **Supercable**, совместно осуществляемого группой испанских научных учреждений и компанией **Nexans**, к 2010 году планируется построить линию электропередачи на основе сверхпроводника, не имеющую аналогов по характеристикам. 30-метровый кабель будет выполнен из высокотемпературного сверхпроводящего материала BSCCO (оксид висмута-стронция-кальция-меди). Кабель будет рассчитан на напряжение 20 кВ. В качестве плюсов сверхпроводящих электрических сетей участники проекта называют сниженные потери тока по сравнению с обычными, а также меньший вред для экологии и более высокую безопасность: трансформаторы в таких сетях не подвержены возгораниям. На фото: образец для будущего кабеля.

**Источник: [www.osp.ru](http://www.osp.ru)**

**Портативный прибор анализа растворённых** Портативный прибор анализа растворённых газов **Transport X**.



Преимущества и рекомендации пользователей **TRANSPORT X** – Высокая скорость.

Уникальная в мире портативных приборов для Анализа Растворённых Газов (АРГ) особенность **TRANSPORT X** – возможность проведения анализа сразу после включения.

**Источник: [www.kelman.ru](http://www.kelman.ru)**

## Новые разработки и технологии, повышающие пропускную способность ВЛЭП.

### 1. Провода и кабели повышенной прочности и пропускной способности.

В настоящее время, увеличение передаваемой мощности по сети требует больших капиталовложений. Так как потребление электроэнергии растет, сетевые компании должны реконструировать существующие сети с увеличением сечения провода, и соответственно увеличением его массы. В конечном счете, компании сталкиваются с заменой существующих опор электросетей новыми, рассчитанными на более высокие нагрузки, или строительством новых ЛЭП. Последнее может быть затруднено особенно при пролегании трассы ВЛ в густонаселенном районе, и в малонаселенных районах частных земель, таких как национальные парки, заповедники и другие зоны с запретом на строительство. Таким образом, недавние попытки разработать провода сочетающие в себе высокую механическую прочность и малый вес без снижения пропускной способности привлекли интерес различных компаний.

Рассмотрим ряд существующих разработок.

#### 1.1. Композитные провода и кабели марки АССС.

Стандартные стальные сердечники могут перегреться в условиях пиковых электрических нагрузок, что приводит к растяжению провода и провисанию ниже допустимой нормы. В противоположность этому, провод с сердечником из композитов обладает более низким коэффициентом термического расширения и поэтому они менее подвержены тепловому расширению, чем проводники с стальными сердечниками. Заменяя провод со стальным сердечником на провод с композитными материалами можно увеличить пропускную способность линий. Производители провода говорят, что можно удвоить величину тока в линии без риска провисания и разрушения провода.

Свойства композитных материалов – высокое отношение прочности к весу и малая величина провисания, что приводит к увеличению пролетов между опорами, уменьшая количество опор в линии на 16 %.

Алюминиевый Проводниковый Провод с Композитным Сердечником (Aluminum Conductor Composite Core (АССС) cable) от компании Composite Technology Corp.'s (СТС, Irvine, Calif) построен вокруг углеволоконного и стекловолоконного эпоксидного ядра (рис.



1). Во время процесса пултрузии (процесс получения стеклопластиковых профилей путем вытягивания через нагретую до 130 – 150 градусов формообразующую фильеру стекловолоконистых материалов, пропитанных полиэфирной смолой или другой термореактивной смолой) формирует цельный сердечник цилиндрической формы, в то время как слой волокон из Е-стекла укладывается вокруг наружной оболочки. Связанные волокна пропитываются высокотемпературной связующей эпоксидной смолой.

Слой стеклопластика служит двум целям:

- он отделяет углеволокно от проводящего алюминиевого покрытия для предотвращения гальванической коррозии;
- он «уравновешивает» более хрупкое углеволокно и улучшает гибкость и прочность сердечника.

Сердечники имеют размеры, соответствующие стандартным размерам, диаметрами от 12.7 мм до 69.85 мм, что обеспечивает их применение для изготовления проводников с пропускной способностью от 300 А до 3500 А.

При испытании провод подвергали высоким напряжениям - сердечник размером 9.5 мм был испытан нагрузкой 18 567 кг при температуре окружающей среды. В результате кабельная система АССС может непрерывно работать при 180°C и может выдерживать кратковременные скачки до 200°C, с провисанием всего лишь 10% от величины провисания кабеля со стальным сердечником. В отличие от обычных проводников со стальным сердечником, которые имеют относительно высокий коэффициент термического расширения, сердечник проводника АССС стабилен по размерам с коэффициентом термического расширения  $1.6 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$  (у стали коэффициент термического расширения  $11.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Хотя стоимость продукта АССС за км приблизительно в 3 раза выше по сравнению с традиционными проводами, экономический эффект от их применения обеспечивает высокую окупаемость. В протяженной, многоцепной линии, провода с композитными сердечниками передают в два раза больше мощности по сравнению с проводом со стальным сердечником такого же веса и напряжения.

Одним из проектов установки композитных проводов стала ВЛ протяженностью в 60 км в провинции Фуджиан, Китай. В случае применения обычного провода для реконструкции линии (с увеличением сечения провода) потребовалось бы заменить 150 опор, чтобы удерживать возросший вес. Использование АССС кабеля позволило избежать замены всех опор, кроме семи штук, снижая материальные затраты и уменьшая полную стоимость проекта.

### 1.2. Композитные провода и кабели марки АССР.

Алюминиевый Проводящий Композитный Усиленный провод (Aluminum Conductor Composite Reinforced (АССР)). В противоположность АССС, в проводе используется сердечник из металлокомпозита, в обертке из высокотемпературных алюминий-цирконидных (Al-Zr) проводов – конструкция, где и композитный сердечник, и наружные пучки Al-Zr дают вклад в прочность кабеля и повышение проводимости (рис. 2).

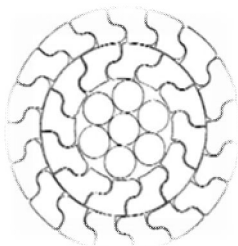


Композитный сердечник состоит из волокна алюминиевой керамики высокой чистоты (оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Каждый сердечник состоит из более чем 25000 сверхпрочных волокон  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Сердечники имеют диаметры от 1.9 мм до 2.9 мм, чтобы коррелировать со стандартными размерами стальных сердечников, в диапазоне от 21.84 мм до 28.19 мм. Керамические волокна являются непрерывными, осевой ориентации, и полностью помещенными в алюминиевую матрицу. Провод является стандартным крученым проводом, с оберткой состоящей из непрерывных прядей Al-Zr, изготавливаемых с использованием обычных методов кручения.

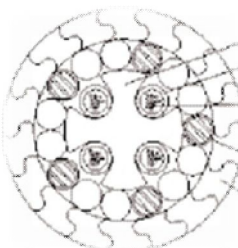
Наружные пряди Al-Zr являются температуростойким сплавом, который позволяет непрерывно работать при 210°C, с пиковыми нагрузками до 240°C. Хотя и являющиеся традиционным алюминием, провода с композитным сердечником приблизительно в 9 раз прочнее алюминия и в 3 раза жестче. Сердечник в половину легче соответствующего стального сердечника, обладает более высокой электропроводностью, и имеет коэффициент теплового расширения в половину такой же величины для стали.

Применение проводов с композитными сердечниками позволяет не только повысить пропускную способность ВЛЭП и сократить затраты на реконструкцию, но и за счет более высокой проводимости композитного сердечника снизить электрические потери в ВЛ.

### 1.3. Провод и грозотрос марки АААС (АЕРО Z).



Новые высокотехнологичные провода для линий электропередачи по 1150 кВ. Эти провода, получившие название Аеро-Z®, представляют собой полностью связанные между собой проводники, которые состоят из одного или нескольких концентрических слоев круглых проволок (внутренние слои) и проволок в виде буквы "Z" (внешние слои). Каждый слой провода имеет скрутку по длине, выполненную с определенным шагом.



Причинами для разработки этого типа провода стали:

- необходимость увеличения пропускной способности существующих линий;
- снижение механических нагрузок, прикладываемых к опорам ЛЭП, из-за пляски проводов;
- повышение коррозионной стойкости проводов и тросов;
- снижение риска обрыва провода при частичном повреждении нескольких внешних проволок из-за внешних воздействий, в том числе в результате удара молнии;
- улучшение механических свойств проводов при налипании снега или образовании льда.

Рассмотрим более подробно конструкцию провода Аеро-Z®. Внутренняя часть провода аналогична обычному проводу типа АС за исключением того, что внутренние проводники могут быть изготовлены не только из стали, но и из алюминия или алюминиевых сплавов. Более того, один или несколько проводников могут быть полыми и содержать внутри оптические волокна. Внешние же слои провода выполняются из алюминиевых проводников, имеющих форму буквы "Z", причем проводники очень плотно прилегают друг к другу.

Таким образом, за счет более плотной скрутки проводников и более гладкой внешней поверхности возможно использование более тонких и более легких проводов (без стального сердечника). Это, в свою очередь приводит к снижению электрических потерь в проводах (на 10-15%), в том числе потери на корону, и повышению механической прочности конструкции.

Лабораторный тест на воздействие удара молнии показал, что при повреждении до 5 Z-образных проводников сохраняется полная механическая прочность данного провода. Также, благодаря плотной скрутке практически исключается проникновение во внутренние слои воды и загрязнений, следовательно снижается коррозия внутренних слоев провода.

Особо остановимся на поведении провода в условиях налипания снега. Провод Аеро-Z®, обладая более высоким сопротивлением кручению, практически не поворачивается, что приводит к самосбросу излишнего снега под действием силы тяжести.

За счет более гладкой внешней структуры провода Аеро-Z® имеют примерно на 30-35 % меньшее аэродинамическое сопротивление ветровым нагрузкам по сравнению с обычным проводом. Этот факт приводит к резкому снижению пляски проводов как в

горизонтальном, так и в вертикальном направлении, что в свою очередь значительно облегчает работу опор и гирлянд при сильных ветрах.

Таким образом, предлагаемые на российском рынке провода Aero-Z® имеют следующие основные преимущества по сравнению с обычными проводами:

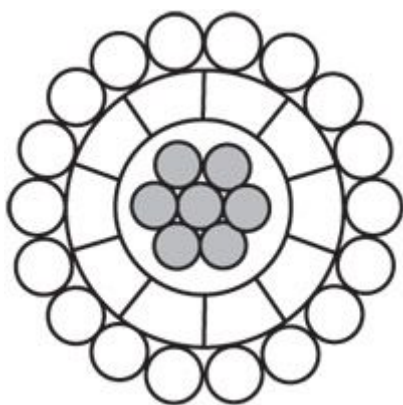
- резкое снижение потерь при транспортировке электроэнергии по линиям электропередачи (особенно по магистральным);
- практически полное отсутствие внешней коррозии проводников;
- резкое снижение пляски проводов от ветровых нагрузок;
- уменьшение налипания снега и льда на проводах;
- уменьшение нагрузки на поддерживающие устройства ЛЭП, что приводит к возможному увеличению длин пролетов и экономии до 10 % числа опор;
- возможность организации каналов передачи информации по оптоволокну внутри проводов и молниезащитных тросов;
- при равных диаметрах в условиях постоянной нормальной эксплуатации имеется прирост допустимой нагрузки по току от 7 до 16% и, как следствие, снижение тепловых джоулевских потерь на 13 – 26%;
- коэффициент аэродинамического сопротивления компактных проводов снижается на 25– 50% по сравнению с обычными проводами при воздействии ветра с высокой скоростью.

В 2007 году ОАО «Кубаньэнерго» выполнило реконструкцию ВЛ-110 кВ «Шепси-Туапсе (тяговая)» (протяженностью 10,3 км) с заменой провода АС на провод марки AERO Z. В результате реконструкции увеличена пропускная способность ВЛ с 64 МВА (337 А для медного провода М-70), до 113 МВА (596 А), для провода AERO-Z 242-2Z.

Провод AERO-Z 242-2Z по длительно допустимому току соответствует проводу АС-240 (610 А), но имеет удельный вес 671 кг/км, что соответствует проводу АСУ-150.

#### 1.4. Провод марки GTACSR и ZTACIR/AS.

Существуют еще два вида модернизированных токоведущих проводов с низкой стрелой провеса. Для одного из них предусматривается в целях усиления провода применение специального материала – железоникелевого сплава, а для другого – специального конструктивного решения, так называемого токоведущего провода с зазором между внешней токопроводящей частью и внутренним несущим сердечником.



GTACSR («Gapped» TAL alloy Aluminium Conductor Steel Reinforced) – это провод с зазором (gap в пер. с англ. зазор), изготовленный из алюминиевых сплавов стойких к высоким температурам.

Алюминиевые проводники внутреннего слоя, ближайшего к сердечнику, имеют трапециевидное сечение. Внутренний слой изготовлен таким образом, что между ним и стальным сердечником есть зазор, заполненный смазкой, стойкой к воздействию температуры. Такая конструкция обеспечивает скольжение алюминиевых слоев относительно стального сердечника, за счет чего GTACSR провод можно натянуть, только зафиксировав стальной сердечник. Это решение гарантирует:

- малое удлинение (провисание) провода вследствие роста температуры, определяемое только линейным коэффициентом расширения стали;



- исключение механического натяжения алюминиевого слоя;

- увеличение передаваемой мощности.

С другой стороны, для этих конструкций необходима специальная процедура натяжения провода, более сложная по сравнению с натяжением обычных сталеалюминиевых проводов. Основное различие между технологиями монтажа GTACSR и обычных проводов заключается в монтаже зажимов.

В случае применения GTACSR провода алюминиевые слои должны быть расплетены для крепления провода на анкерных опорах. После крепления и натяжения провод оставляют на 24 часа для выравнивания (скольжением) проводящих слоев относительно натянутого стального сердечника, затем провод подтягивают.

Максимальная рабочая температура GTACSR проводов составляет 150 °С. При такой температуре передаваемая мощность может быть увеличена в 2 раза.

С другой стороны, у проводов GTACSR более высокие потери по сравнению с обычными проводами. Исходя из роста нагрузки на 4% в год, повышенные капиталовложения при реконструкции с применением обычного провода будут покрыты затратами на дополнительные потери через 10–15 лет. Если предполагается, что нагрузка будет расти в меньшем объеме, то этот срок еще более возрастет.

Есть еще один положительный момент, то что реконструкция с заменой опор достаточно длительна и требует привлечения сторонней строительной-монтажной фирмы, а реконструкцию с проводом GTACSR энергоснабжающая компания может выполнить своими силами.

### 1.5. Провод марки ZTACIR/AS.

Увеличение пропускной способности в 2 раза это не предел: для проводов типа ZTACIR с усиленным сердечником из сталеникелевого сплава INVAR допустимая температура достигает 160-210°С, а передаваемая мощность в 2,5–3 раза выше, чем на линиях с обычными сталеалюминиевыми проводами при той же конструкции опор (высоте, точке подвеса).

Сравнение сталеалюминиевого провода с проводом ZTACIR/AS приведено в таблице.

Технические характеристики	Сталеалюминиевый провод	Провод ZTACIR/AS
Номинальная площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	240	240
Общий диаметр, мм	22,4	22,4
Предел прочности при растяжении, кН	99,5	89,9
Удельная масса, кг/км	1110	1071,0
Токовая нагрузка, А	608 (при 90 °С)	1433 (при 90 °С)

Однако, стоимость проводов типа ZTACIR на сегодняшний день в 5 раз превышает стоимость обычного провода, а GTACSR провод дороже обычного провода в 2,5 раза.

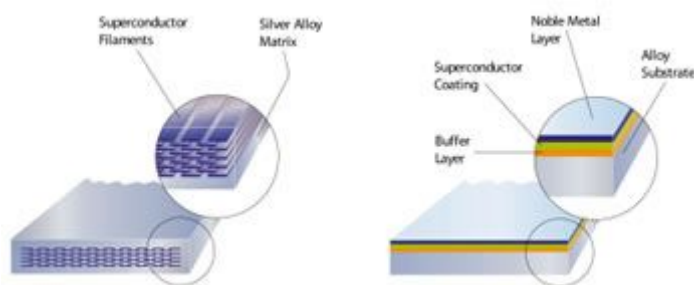
## 2. Системы передачи электроэнергии с использованием сверхпроводников второго поколения (2G провода).

Компания American Superconductor объявила о прорыве в создании коммерческих высокотемпературных сверхпроводников, пригодных для массового производства и для передачи промышленных объёмов энергии в реальных энергосетях с нулевыми потерями.



Фирма впервые достигла промышленных уровней электрического тока в цельных и весьма длинных (более 100 метров) проводах, выполненных из высокотемпературного сверхпроводника второго поколения (2G).

2G-провод от American Superconductor работает при охлаждении жидким азотом, что делает его пригодным для промышленного применения — передачи больших объёмов энергии между подстанциями электросетей. При этом эффективность передачи достигается, как и у любого сверхпроводника, 100-процентная, то есть — без потерь.

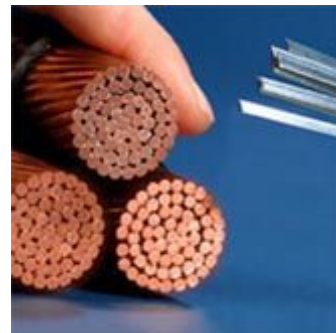


Сам сверхпроводник 2G представляет собой тончайший "пирог" из слоёв никель-вольфрамовой подложки, ряда промежуточных слоёв (типа оксида иттрия, циркония и ряда других веществ), собственно, несущего ток сверхпроводника (иттрий-барий-медный оксид, легированный взвесью из мириадов нанокристалликов оксида иттрия), наконец, всё покрывается сверхтонкими ламинирующим слоями из серебра, меди или стали.



Группа плоских проводков, каждый из них шириной чуть больше 4 миллиметров и толщиной всего в 0,2 миллиметра, способна передавать огромные потоки электроэнергии в городах, на участки с наибольшим пиком нагрузки.

Один такой провод может нести ток в 140 ампер при высоком напряжении, применяемом в магистральных линиях электропередачи. Для "транспорта" аналогичного тока через обычный медный проводник его сечение должно быть в 100 раз большим.



Такой тип сверхпроводящего кабеля (сплошной сверхпроводящий сплав с начинкой из наноточек — как изюм в тесте), отличающийся великолепными прочностными характеристиками и устойчивостью в сильном магнитном поле был создан в 2007 году (правда, с другими по составу нанокристаллами).

И хотя сами сверхпроводники требуют охлаждения, в сумме получается огромная выгода из-за отсутствия потерь при передаче энергии. К тому же, к концу десятилетия лидер по производству такого рода проводников - American Superconductor обещает снизить стоимость своих сверхпроводников до уровня стоимости медных кабелей.

Первый же небольшой кабель 2G будет вскоре смонтирован в одной из американских электрических сетей (LIPA), где будет передавать между двумя узлами поток в 600 мегаватт, достаточный для питания 300 тысяч домов.

### 3. Системы передачи переменного тока FACTS - повышение качества работы электрических сетей.

Существующий во многих электрических сетях на протяжении многих лет дефицит инвестиций вынуждает больше внимания уделять интенсификации использования имеющихся линий передачи, повышению качества передаваемой электроэнергии. В результате резко возрос интерес как к новым, так и к традиционным техническим решениям, к числу которых относятся гибкие системы передачи переменного тока (FACTS — Flexible AC Transmission Systems) такие, как SVC, SVC Light®, TCSC и др.

В качестве примера подобного рода задач можно было бы назвать повышение пропускной способности любой линии электропередачи.

Привлекательным решением представляется установка в коридоре существующей линии передачи электроэнергии дополнительных конденсаторов, включенных в схему последовательной компенсации. Последовательно включенный конденсатор снижает реактивное сопротивление линии электропередачи (ЛЭП) с промышленной частотой (50 Гц), одновременно отдавая в сеть реактивную мощность. Такая схема обладает следующими достоинствами:

- повышение фазовой устойчивости: для обеспечения передачи электроэнергии требуется постоянно иметь определенную разность фаз напряжения на каждом из концов ЛЭП. Этот сдвиг фазы увеличивается с ростом передаваемой мощности, последовательно же включенный конденсатор поддерживает его в безопасных пределах. Иными словами, наличие конденсатора гарантирует, что сдвиг фазы не превысит уровня, за которым возможна опасная потеря фазовой устойчивости;

- повышение стабильности напряжения ЛЭП;

- оптимальное распределение мощности между обеими параллельными цепями: в отсутствие последовательных конденсаторов первой входить в режим насыщения будет ЛЭП с меньшей пропускной способностью, не позволяя дальше повышать подаваемую в систему мощность, несмотря на то, что вторая цепь могла бы ее принять. При наличии последовательных конденсаторов мощность перераспределяется между цепями, что повышает эффективность использования системы.

Последовательно включенные конденсаторы полностью интегрированы в энергосистему и используют ее механизмы управления, защиты и контроля. При этом они полностью изолированы от земли.

**Технология SVC Light** — фирменное наименование статического синхронного компенсатора компании АББ, выполненного на базе биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT).

Базирующаяся на применении конверторов напряжения (voltage source converter — VSC), эта технология обеспечивает также необходимые средства поддержания требуемого напряжения в головных сетях. Платформа VSC сконфигурирована как линия передачи высокого напряжения постоянного тока (HVDC) со встречно-параллельной схемой, отличающейся тем, что приоритет в ней отдается поддержанию напряжения с помощью сдвоенных систем SVC Light.

В этом плане особенно важен тот факт, что создание возможности передачи активной мощности с использованием вставок HVDC Light либо на определенных участках, либо включенных по встречно-параллельной схеме обеспечивает одновременно двунаправленную передачу активной составляющей мощности и динамической реактивной составляющей мощности. Тем самым не только поддерживается стабильность режима передачи электроэнергии, но и открываются большие возможности для поддержания напряжения за счет резервных мощностей.

**Техническое решение для кольцевых схем и ЛЭП на границе энергосистем, основанное на использовании конверторов напряжения.**

Как показало исследование потокораспределения нагрузки, снять впрямь на многие годы имеющиеся проблемы могла бы установка непосредственно на подстанциях конвертора напряжения реактивной мощности. Применение конверторов напряжения идеально подходит для систем малой мощности, так как возможности в виде альтернативного решения за счет реактивной мощности шунтирующих конденсаторов, быстро сокращаются с понижением напряжения. Дальнейшее развитие такого подхода за счет использования двух VSC-установок,

включенных по встречно-параллельной схеме, позволяет не только получить требуемую реактивную мощность.

Схема со встречно-параллельным включением (VtV) могла бы дать возможность постоянной подпитки ЛЭП и мгновенной перекачки активной составляющей мощности как с одной, так и с другой стороны (при кольцевой схеме ЛЭП).

Для соединений со встречно-параллельной схемой на основе конверторов напряжения возможность управления одновременно активной и реактивной составляющими мощности в динамическом режиме не имеет прецедента. Такая возможность обеспечивается применением именно преобразователей напряжения.

Поскольку коммутация конвертора напряжения осуществляется внутренними схемами этого устройства, его работа не зависит от системы переменного тока, к которой оно подключено. Максимальная гибкость достигается при использовании в схемах управления IGBT-мостами широтно-импульсной модуляции. Кроме того, это открывает неограниченные возможности для управления напряжением как при прямой, так и при обратной последовательности чередования фаз. Благодаря этому обеспечивается надежное функционирование встречно-параллельной соединительной вставки между энергетическими системами переменного тока даже при возникновении между ними разбаланса. К тому же такой вставкой можно воспользоваться для подачи напряжения и поддержания автономной нагрузки. Возможна также подача напряжения в соединительную вставку с обеих сторон ЛЭП без каких-либо переключений, сопряженных с перерывами в подаче электроэнергии потребителям.