

УДК 621.315.05

ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ

Крапивин С.В.

Научный руководитель – ст. пр. Макаревич В.В.

В последней трети XIX века во многих крупных промышленных центрах Европы и Америки стала очень остро ощущаться энергетическая проблема. Жилые дома, транспорт, фабрики и мастерские требовали все больше топлива, подвозить которое приходилось издалека, вследствие чего цена на него постоянно росла. В этой связи то здесь, то там стали обращаться к гидроэнергии рек, гораздо более дешевой и доступной. Вместе с тем повсеместно возрастал интерес к электрической энергии. Уже давно было отмечено, что этот вид энергии чрезвычайно удобен: электричество легко генерируется и так же легко преобразуется в другие виды энергии, без труда передается на расстояние, подводится и дробится.

В 1882 году под руководством известного французского электротехника Депре была построена первая линия электропередачи постоянного тока от Мисбаха до Мюнхена, протяженностью в 57 км. Энергия от генератора передавалась на электродвигатель, приводивший в действие насос. При этом потери в проводе достигали 75%. В 1885 году Депре провел еще один эксперимент, осуществив электропередачу между Крейлем и Парижем на расстояние в 56 км. При этом использовалось высокое напряжение, достигавшее 6 тысяч вольт. Потери снизились до 55%. Было очевидно, что, повышая напряжение, можно значительно повысить КПД линии, но для этого надо было строить генераторы постоянного тока высокого напряжения, что было связано с большими техническими сложностями. Даже при этом сравнительно небольшом напряжении Депре приходилось постоянно чинить свой генератор, в обмотках которого то и дело происходил пробой. С другой стороны, ток высокого напряжения нельзя было использовать, поскольку на практике (и прежде всего для нужд освещения) требовалось совсем небольшое напряжения, порядка 100 вольт. Для того чтобы понизить напряжение постоянного тока, приходилось строить сложную преобразовательную систему: ток высокого напряжения приводил в действие двигатель, а тот, в свою очередь, вращал генератор, дававший ток более низкого напряжения. При этом потери еще более возрастали, и сама идея передачи электроэнергии становилась экономически невыгодной.

Переменный ток в отношении передачи казался более удобным хотя бы уже потому, что его можно было легко трансформировать, то есть в очень широких пределах повышать, а затем понижать его напряжение. В 1884 году на Туринской выставке Голяр осуществил электропередачу на расстояние в 40 км, поднимая с помощью своего трансформатора напряжение в линии до 2 тысяч вольт. Этот опыт дал неплохие результаты, но и он не привел к широкому развитию электрификации, поскольку, как уже говорилось, двигатели однофазного переменного тока по всем параметрам уступали двигателям

постоянного тока и не имели распространения. Таким образом, и однофазный переменный ток было невыгодно передавать на большие расстояния. В следующие годы были разработаны две системы многофазных токов — двухфазная Теслы и трехфазная Доливо -Добровольского. Каждая из них претендовала на господствующее положение в электротехнике. По какому же пути должна была пойти электрификация? Точного ответа на этот вопрос поначалу не знал никто. Во всех странах шло оживленное обсуждение достоинств и недостатков каждой из систем токов. Все они имели своих горячих сторонников и ожесточенных противников. Некоторая ясность в этом вопросе была достигнута только в следующем десятилетии, когда был сделан значительный прорыв в деле электрификации. Огромную роль в этом сыграла Франкфуртская международная выставка 1891 года.

Проблематика передачи электроэнергии на большие расстояния такова:

- её нельзя консервировать, а надо сразу потреблять;
- потребители электричества расположены далеко. Производят электроэнергию на электростанциях, которые располагают возле источников сырья (гидроресурсы, топливо).

Передача энергии на большие расстояния является довольно сложной проблемой. Примерно, 20% выработанной энергии теряется при передачах.

Провода линий электропередач нагреваются током. По закону Джоуля – Ленца теплоту, в которую превращается, идущая на нагрев энергия, можно рассчитать по формуле: $Q = IRt$ - количество теплоты (Дж), где R – сопротивление линии (Ом), t – время (с), I - квадрат силы тока (А) Если длина линии очень большая, то передача энергии может быть невыгодна экономически. Отсюда видно, что снизить потери можно двумя способами: во - первых, уменьшая сопротивление проводов R , во - вторых уменьшая в них силу тока I . Уменьшить сопротивление подводящих проводов при заданном расстоянии между электростанцией и потребителями можно только в результате увеличения площади поперечного сечения проводов, что очевидно, невыгодно и может быть осуществлено лишь в небольших пределах.

Провода большого сечения имеет меньшее сопротивление, но сдерживает, его применение, расход металла и опоры линии могут не выдержать тяжести таких проводов.

При заданной мощности тока в потребителе уменьшить силу тока в подводящих проводах можно только при одновременном повышении напряжения между проводами, что видно из формулы $P = UI$, по которой рассчитывается мощность P тока в потребителе. Чем выше напряжение между проводами, по которым передается электрическая энергия, тем это выгодней, так как при этом уменьшается сила тока и снижаются потери в проводах, пропорциональные квадрату силы тока. Чем длиннее линия электропередачи, тем более выгодно становится применение высокого напряжения, поэтому передача энергии на большие расстояния осуществляется только по

высоковольтным линиям. Генераторы электростанций вырабатывают напряжение не выше 16000 – 20000 В. Более высокие напряжения требуют принципиальных изменений в конструкции генератора.

Увеличить напряжение переменного тока, не изменяя передаваемой мощности, можно с помощью трансформатора. Поэтому без трансформатора осуществлять передачу электроэнергии на большие расстояния в современных условиях невозможно.

Сразу за генератором размещают повышающий трансформатор. Трансформатор увеличивает напряжение, а сила тока во столько же раз уменьшается. Мощность остается почти неизменной.

Такое высокое напряжение в конце линии необходимо понизить, чтобы использовать электроэнергию в осветительной сети, для работы станков с помощью двигателей электропривода и т.д. Это производят с помощью понижающих трансформаторов. Понижается напряжение и соответственно, увеличивается сила тока постепенно с помощью нескольких трансформаторов, расположенных на линии. Напряжение становится все меньше, а электрическая цепь все шире.

Актуальность проблемы повышения пропускной способности ЛЭП

Известно, что в последние годы многие города сталкиваются с проблемой ограниченной пропускной способности ЛЭП. Для удовлетворения всё более растущих потребностей электросетевые компании вынуждены постоянно модифицировать существующие сети, применяя следующие классические методы:

- строительство дополнительных ЛЭП;
- замена проводов на большие поперечные сечения;
- повышение напряжения;
- расщепление фазы.

Несмотря на то, что эти методы иногда можно применить, у всех них есть существенные недостатки. Первое решение требует значительных вложений, времени и получения разрешений на установку новых линий. Второе оказывается не всегда возможным, поскольку сталеалюминиевый провод большего сечения обладает такой массой, на которую старые опоры часто не рассчитаны, что в конечном итоге приводит к необходимости установки новых опор ЛЭП большего размера. Организация строительства новых опор может обернуться серьёзными проблемами в густонаселённых районах, районах частных земель, в национальных парках, заповедниках и других зонах с запретом на строительство. Третье и четвертое решения почти всегда приводит к необходимости перестраивать всю линию.

Отсюда возникает актуальная необходимость существенного повышения передаваемой мощности воздушных линий, по возможности, избегая строительства новых линий, полной перестройки существующих линий, подвески новых цепей и т.д.

Новые пути повышения пропускной способности воздушных линий и современные тенденции

В настоящее время, существуют решения, не имеющие недостатков вышеописанных методов. Эти решения обеспечивают увеличение пропускной токовой способности имеющихся линий за счёт применения специальных проводов. Такая постановка задачи привлекательна, как с технической, так и экономической точек зрения.

На сегодняшний день, выдвигаются следующие требования к современным проводам:

- максимально высокая электропроводность;
- максимально высокая механическая прочность;
- низкий вес;
- устойчивость к высоким температурам;
- малые температурные удлинения;
- устойчивость к старению и ветровым воздействиям.

Условия выполнения вышеописанных требований являются взаимоисключающими, поскольку, например, наилучшая электропроводность обеспечивается при наивысшей чистоте алюминия, однако при этом значительно снижается прочность. Поэтому для получения необходимой температурной устойчивости рассматривалось применение дисперсионно-твердеющих материалов, циркониевых сплавов, композитных и других материалов, получением и внедрением волокон оксида алюминия.

Мировые фирмы – изготовители современных проводов ЛЭП

На мировом рынке в сфере производства классических и специальных типов проводов выступают несколько десятков компаний. На сегодняшний день наиболее актуальные поставщики уже определились:

- Nexans, Бельгия;
- Lumpi-Berndorf, Австрия;
- J-Power Systems, Япония.

Конструктивные особенности проводов AERO-Z, Nexans, Бельгия

Одним из путей решения проблемы является применение так называемых компактных проводов типа AERO-Z. В таблице 1 приведены сравнительные характеристики сталеалюминиевого провода АС 240/56 и AERO-Z 346-2Z.

Принципы и эффективность

Верхний повив практически идеально гладкий, имеет незначительные винтовые канавки, возникающие между верхними кромками Z-образных проволок. Этим достигается значительное уменьшение коэффициента аэродинамического сопротивления наиболее сильным ветрам. Такое уменьшение влечёт за собой меньшие механические напряжения в опорах при проводах равного диаметра или позволяет увеличить полезное электропроводящее сечение при равных механических напряжениях в опорах.

Большая контактная поверхность между двумя Z-образными проволоками одного слоя обеспечивает эффективную защиту от просачивания консистентной смазки изнутри провода. В этой связи внутренняя защита оказывается лучше, чем у традиционных проводов, в которых наблюдается вытеснение защитной смазки наружу под действием циклов нагрузки.

При обрыве проволоки внешнего повива провода AERO-Z остаются на месте под действием механических рабочих напряжений. Данное свойство сохраняется до тех пор, пока не происходит обрыв пяти смежных проволок.

Большая поверхность контакта между проволоками улучшает демпфирование. вавава

Улучшенные вертикальные и крутящие самозатухание провода значительно уменьшает проблемы сложной пляски. Вероятность появления пляски значительно ниже, и если она возникает, её амплитуда будет значительно меньше.

Провод лучше противостоит снегу и обледенению. Образование ледяных рукавов становится более затруднительным. Средняя масса ледяных наростов составляет половину наблюдаемой при экстремальных условиях. Более того, следует отметить, что наросты отделяются быстрее из-за большей крутильной жёсткости провода.

Провода TACSR/ACS и TACSR/HICIN компании «Lumpi-Berndorf», Австрия

Увеличение пропускной способности проводов TACSR/ACS и TACSR/HICIN обеспечивается их большей рабочей температурой. Эти провода устойчивы к высокой температуре, могут в условиях продолжительного времени нести более высокую токовую нагрузку, чем традиционные сталеалюминиевые провода.

Провода по конструкции напоминают классические провода AC: сердечник и токопроводящие повивы.

Отличия в конструкции состоят в использованных материалах. Токопроводящие повивы высокотемпературных проводов сделаны из специального термостойкого алюминия TA либо сверхтермостойкого сплава ZTA.

Оба сплава TA и ZTA состоят из чистого алюминия с добавкой циркония, с той разницей, что сплав ZTA имеет большее количество циркония. Цирконий позволяет повысить температуру рекристаллизации основного компонента – алюминия. В результате, токопроводящие проволоки сохраняют все механические и электрические характеристики при нагревах.

В проводах Lumpi-Berndorf в качестве материала для сердечника применяется сталь с покрытием из алюминия. Для повышения прочностных свойств и уменьшения стрел провеса в проводах (Z)TACSR/HICIN применяется специальный сплав «Инвар». Проволоки из сплава также защищаются нанесением на его поверхность алюминиевого покрытия.

Использование сплава Инвар в качестве материала сердечника провода позволяет существенно снизить стрелы провесов. Использование термоустойчивого алюминия как токонесущей части провода дает возможность

увеличить пропускную способность линии в полтора раза, а применение супертермоустойчивого сплава в два раза. В таблице 4 приведено сравнение технических характеристик различных проводов.

Линии, работающие в штатном режиме при температуре проводов 150°C или 210°C, не подвержены отложению гололеда, что означает как резкое снижение вероятности возникновения пляски, так и уменьшение пиковых нагрузок на опоры. Провода TACSR/HACIN по конструкции не отличаются от классических проводов. Это позволяет использовать все известные типы арматуры: спиральную, клиновые зажимы и прессуемые.

Методики работы и монтажа этого провода идентичны методикам для классического провода АС. Не требуется новых технологий, устройств и обучения персонала.

Провода GTACSR компании «J-Power», Япония

Увеличение пропускной способности провода GTACSR обеспечивается также, как и провода «Lumpri Berndorf» большей рабочей температурой. Эти провода устойчивы к высокой температуре, могут в условиях продолжительного времени нести высокую токовую нагрузку.

Особенность провода GTACSR заключается в том, что между токопроводящими слоями провода и стальным сердечником имеется зазор, отсюда и название – «провод с зазором».

Преимущества такой конструкции состоят в том, что при монтаже и дальнейшей эксплуатации всё тяжение приходится на стальной сердечник, и, соответственно, коэффициент расширения и модуль упругости провода как целого совпадают с характеристиками стали. Провод значительно меньше подвержен удлинению за счет возрастания температуры. При рабочих температурах (~150°C) стрела провеса провода ощутимо меньше, чем для любых других проводов (при той же температуре). Это неоспоримое преимущество данного провода. Сочетание перечисленных преимуществ, плюс высокая пропускная способность делают этот провод наиболее развитым в техническом отношении.

Безусловно, стоит отметить и вытекающие из конструкции провода недостатки:

- провод сложной конструкции;
- технология монтажа провода весьма сложна; необходимо специальное оборудование и обученный персонал. Предъявляются жесткие требования к пролетам – не более 3 поддерживающих опор в анкерном участке;
- ремонт провода превращается в очень сложное мероприятие;
- стоимость провода высока ~400 % по сравнению с проводом АС.

Метод, основанный на электромагнитной индукции

Опыты с электромагнитными полями успешно проводились еще в середине 19 века. Здесь удалось достичь довольно существенных результатов. Уже сегодня применяются зарядки мобильных телефонов, принцип работы которых основан на использовании электромагнитной индукции. Причем по эффективности они даже превосходят обычные проводные зарядки.

Существенным недостатком данного способа является то, что для возникновения взаимной индукции приемник и передатчик должны находиться как можно ближе друг к другу.

Метод, основанный на использовании радиочастотного и микроволнового излучения

Новые разработки, которые позволили через 100 лет после Николы Тесла успешно осуществить передачу электроэнергии на несколько метров. Основными недостатками являются:

- большое рассеивание электроэнергии;
- зависимость от препятствий на пути передачи.

Для решения этих проблем предполагается использование сфокусированного пучка энергии и корректирующих датчиков, что не всегда целесообразно с экономической и технической точки зрения.

Метод, основанный на радио- и микроволнах

Довольно интересная идея, которую пытались реализовать во второй половине прошлого века, для передачи энергии на дальнее расстояние, например, из космоса. Как оказалось, что для ее успешного осуществления, необходимо использовать передающие и принимающие антенны, диаметром 1 и 10 км соответственно, что существенно затрудняет практическое применение этого способа.

Метод, основанный на использовании лазера

Наиболее перспективный на сегодняшний день способ. Использование новейших диодных лазеров, позволило снизить потери передачи электроэнергии до 50 %. Существуют пробные модели самолетов и бытовых приборов, работающих на энергии, передающейся лазером. Основной проблемой остаются зависимость от препятствий и большое рассеивание электроэнергии в атмосфере.

Несмотря на то, что данный вид передачи электроэнергии известен уже давно, он остается нереализованным по причине дороговизны и множества технических сложностей. Но человечеству придется их успешно преодолеть или найти другие альтернативные способы передачи электроэнергии. В противном случае ему придется столкнуться с энергетическим кризисом уже в ближайшем обозримом будущем.

Разработки в области эфирных технологий передачи энергии

В рамках перспективных исследований в области эфирной физики, проводимых в БИУВНТ с начала XXI века, были разработаны принципы и основы технологии передачи энергии на сверхдальние расстояния, позволяющие оптимизировать существующие электроэнергетические системы путем снижения потерь на передачу энергии с 10 - 25%, характерных для существующих ЛЭП до 1% и менее на расстояниях порядка 10 тыс. км., снижения затрат на строительство линий передачи энергии, как минимум, на порядок, увеличения коэффициента использования установленной мощности электростанций с 0,4 - 0,7 нынешних до 0,95 и выше, компенсации пиковых нагрузок и проблемы синхронизации электрических сетей.

В настоящее время БИУВНТ ведет работы по усовершенствованию новой технологии для использования в системообразующих электрокорпорациях и ее внедрения для задач сверхдальней передачи энергии, характерных для ЕЭС РФ и Казахстана.

Литература

1. Проблемы передачи электроэнергии на дальние расстояния // Bourabai Research [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://bourabai.kz/toe/dist_problems.htm - Дата доступа 08.04.2019