

УДК 621.314.2+621.311

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Власов А. А.

Научный руководитель – Гапанюк С. Г.

Количество потребителей электроэнергии во всем мире непрерывно возрастает, в связи с чем требуется модернизация энергосистемы. Например, вместо увеличения пропускной способности линий электропередач путем увеличения числа линий, т. е. экстенсивным путем, можно пойти интенсивным путем, а именно использованием проводов с повышенной пропускной способностью. Подобные способы увеличения пропускной способности и уменьшения потерь мощности существует и для других элементов энергосистем, в том числе и для трансформаторов.

ПРОВОДА С ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ

Основным ограничением для увеличения передаваемой мощности по линии являются длительно допустимые температуры нагрева проводов. В традиционных сталеалюминиевых проводах с длительно допустимой температурой до 90° продолжительная (обычно более 2 часов) работа провода при такой температуре приводит к процессу рекристаллизации алюминия, в результате которого он утрачивает свои механические свойства, и вся механическая нагрузка воспринимается только стальными сердечниками проводов этого типа. Провода повышенной пропускной способности в большинстве своем используют в качестве сердечника композитные материалы.

Провода марки АССС: в этом проводе используется гибридный композитный материал с высокопрочными карбоновыми нитями. Он обеспечивает минимальный тепловой провис благодаря низкому коэффициенту теплового расширения и меньшему весу по сравнению со стальным сердечником. Для защиты, несущей углепластиковой части композитного сердечника от металлической электропроводящей части провода и возникновения явления гальванической коррозии используется внешняя неэлектропроводящая (изолирующая) оболочка — стеклопластик на основе однонаправленных стеклянных волокон. Более легкий сердечник позволяет увеличить диаметр провода при сохранении его удельного веса, а это позволяет сократить потери линии при увеличении пропускной способности.

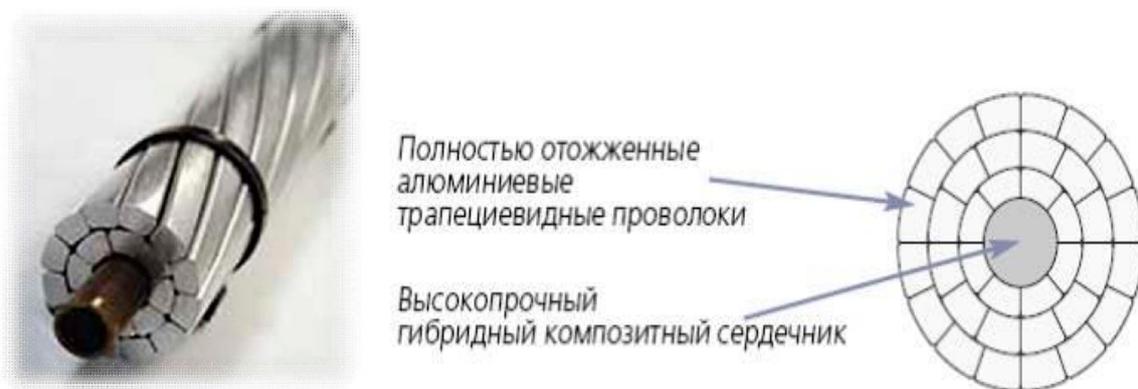


Рисунок 1. Конструкция провода марки АССС

Провода АССС передают энергию через полностью отожженные трапециевидные высокоэффективные алюминиевые проволоки, которые спирально расположены вокруг композитного сердечника.

Преимущества проводов АССС в сравнении со сталеалюминиевыми проводами:

- Использование алюминия повышенной проводимости позволяет снизить потери линии на 30–40% по сравнению с проводами АС SR и АС SS такого же размера или веса;
- Способность выдерживать высокие рабочие температуры, и высокая проводимость обеспечивают большую пропускную способность линии;
- Удвоение пропускной способности существующих линий АС SR без замены опор ВЛ и при минимальном тепловом удлинении;
- Возможность использовать анкерные опоры меньшей высоты или меньшее количество опор благодаря высокой прочности провода, а также благодаря значительному сокращению теплового провисания.

Исследования показали, что провода АС СС при сравнении с проводами марки АС того же сечения токопроводящей части имеют размер внешнего диаметра провода меньше на 10%, массу провода меньше на 20%, предельную токовую нагрузку выше на 70%.

Провода марки АС СС R: состоят из сердечника и внешних токоведущих жил. Каждая проволока композитного сердечника представляет собой алюминий высокой чистоты, в который внедрены более 25 000 микрометровых непрерывных продольных волокон оксида алюминия (Al_2O_3). Эти волокна придают материалу сверхвысокую прочность. Внешние токоведущие жилы провода АС СС R состоят из температуроустойчивого сплава алюминий-цирконий (Al-Zr). Если обычный алюминий при температуре 120-150 °С отжигается и резко теряет прочность, то сплав Al-Zr сохраняет свои свойства до 210 °С, с пиковыми нагрузками до 240 °С.

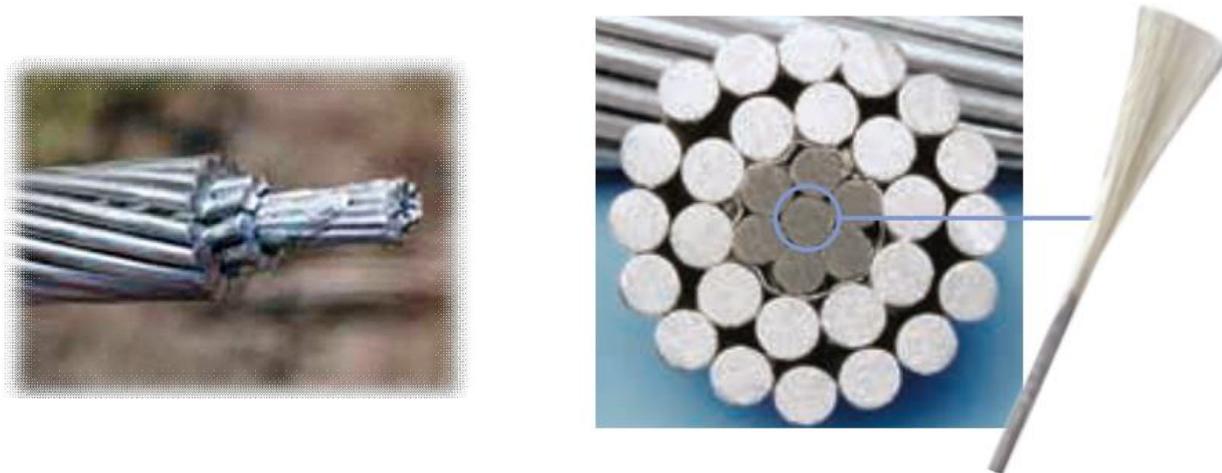


Рисунок 2. Конструкция провода марки АС СС R

Внешне композитный сердечник выглядит так же, как обыкновенный стальной, но его механические и физические свойства значительно превосходят стальные и алюминиевые аналоги.

Преимущества провода марки АС СС R:

- Прочность композитного сердечника сравнима со стальным и в 8 раз выше алюминиевого;
- Масса композитного сердечника в 2 раза меньше стального и всего на 20% больше массы чистого алюминия;
- Электропроводность композитного сердечника в 4 раза выше стального;
- Коэффициент теплового расширения в 4 раза меньше алюминиевого и в 2 раза меньше стального;
- Жесткость — в 3 раза выше алюминиевого сердечника.

Исходя из опыта замены проводов АС проводами марки АС СС R можно говорить об увеличении пропускной способности линии (при использовании провода того же сечения) на 98%.

Провода технологии Lo-sag: В отличие от стандартных проводов с железной сердцевиной для наземных электролиний, провода, сделанные на основании технологии Lo-Sag, обладают композитной углеродной сердцевиной в матрице, которая оснащена наиболее пониженным тепло выделением, за счет этого есть возможность обеспечивать наиболее большую пропускную электрическую способность электролинии.



Рисунок 3. Провод технологии Lo-sag

Суть ее заключается в обрачивании алюминиевой жилой углеродного композитного сердечника. Такой сердечник, совпадающий с диаметром сердечника традиционных проводов, на 50% жестче и значительно легче сердечника из стали. Но есть еще более важный факт – коэффициент теплового расширения у нового сердечника в 10 раз меньше, чем у стального. Благодаря этому при росте температуры провода под воздействием высоковольтным проводом, он существенно меньше расширяется, а, следовательно, имеет меньшую стрелу провеса. Это позволяет использовать данный провод при организации больших пролетов, так как сохраняется безопасное расстояние до земли от провода даже при значительных температурах. *В первой прокладке на территории Бразилии, Lo-Sag показал увеличение пропускной способности на 72,5 процентов. Такой провод имеет прогнозируемый срок эксплуатации не менее 40 лет.* Хотя Lo-Sag был создан для удовлетворения особых нужд электросетей Бразилии, он подходит и для рынков других стран мира. Также Lo-Sag может дать важные преимущества при строительстве новых линий электропередач, особенно для длинных пролётов более 1 километра, необходимых при прокладке линий над реками. Высота опор при использовании Lo-Sag может быть снижена на 30%.

Провода марки ZTACIR/AS: для проводов этого типа с усиленным сердечником из сталеникелевого сплава INVVAR допустимая температура достигает 160-210 °С, а передаваемая мощность в 2,5-3 раза выше, чем на линиях с обычными сталеалюминевыми проводами при той же конструкции опор (высоте, точке подвеса).



Рисунок 4. Провод марки ZTACIR

Однако, стоимость проводов типа ZTACIR на сегодняшний день в 5 раз превышает стоимость обычного провода.

Таблица 1. Сравнение сталеалюминиевого провода с проводом ZTACIR/AS

Технические характеристики	Сталеалюминиевый провод	Провод ZTACIR/AS
Номинальная площадь поперечного сечения, мм ²	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)

Провода марки АААС (АЕRО Z): эти провода 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. 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. За счет более гладкой внешней структуры провода Aero-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.

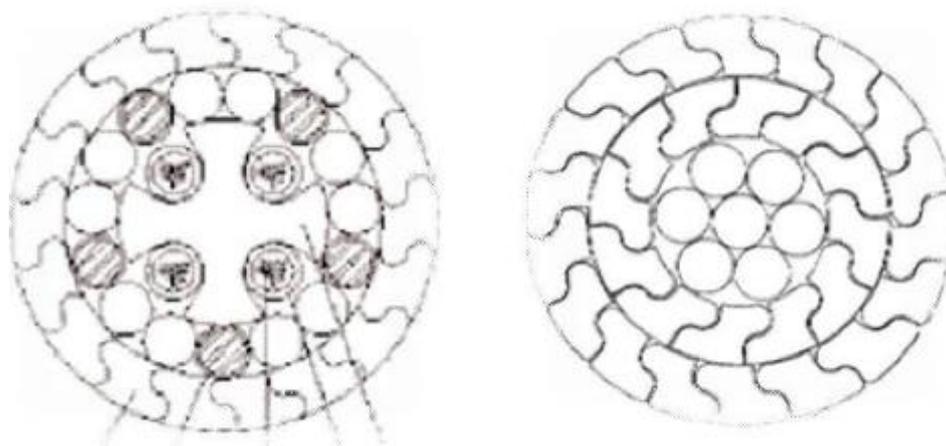


Рисунок 5. Конструкция провода марки АААС

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

1. резкое снижение потерь при транспортировке электроэнергии по линиям электропередачи (особенно по магистральным);
2. практически полное отсутствие внешней коррозии проводников;
3. резкое снижение пляски проводов от ветровых нагрузок;
4. уменьшение налипания снега и льда на проводах;
5. уменьшение нагрузки на поддерживающие устройства ЛЭП, что приводит к возможному увеличению длин пролетов и экономии до 10 % числа опор;
6. возможность организации каналов передачи информации по оптоволокну внутри проводов и молниезащитных тросов;
7. 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%;

8. коэффициент аэродинамического сопротивления компактных проводов снижается на 25- 50% по сравнению с обычными проводами при воздействии ветра с высокой скоростью.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ В СТАЛИ ТРАНСФОРМАТОРА

Обычная трансформаторная сталь характеризуется прямоугольной геометрией, которая не соответствует дугообразной форме силовых линий. При вынужденном изменении направления силовые линии магнитного поля в стальном сердечнике имеют неравномерную характеристику, они переплетаются, что обуславливает повышение сопротивления стали, и, как следствие увеличение потерь на намагничивание. Этот отрицательный эффект усиливается за счет того, что в зонах уже и так неравномерной характеристики расположены отверстия для крепления пакета активной стали, в результате чего дополнительно уменьшается эффективное сечение сердечника и повышается сопротивление магнитному потоку. При обычной конструкции трансформаторов листовая трансформаторная сталь формируется из плоских штампованных элементов, которые объединяются в пакеты. Основная концепция Unicore заключается в принципиально новом подходе к производству магнитопровода.

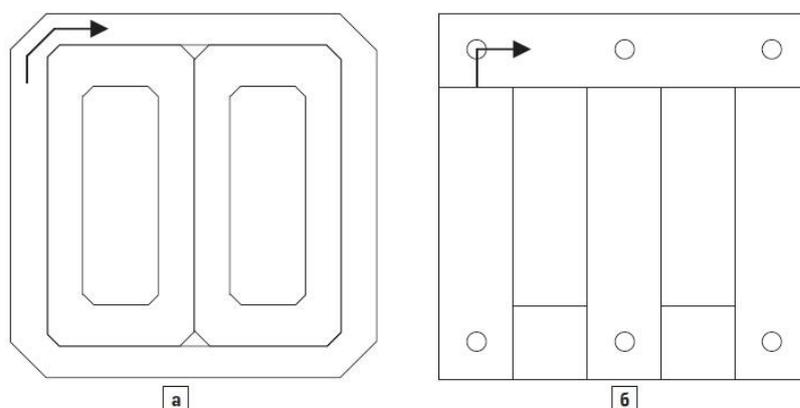


Рисунок 6. Сопоставление конструкции Unicore, оптимизирующей магнитный поток (а) с обычной прямоугольной конструкцией (б)

Суть технологии в том, что в процессе изготовления элементов магнитопровода воздействие на ленту производится локально в точках изгиба. Особенность технологии в том, что стыковка половин магнитопровода при сборке производится не в одной плоскости (как в традиционной технологии), а по «косой», т. е. стык между левой и правой «половинками» является не прямым, а равномерно распределенным по стержням магнитопровода, набранному из элементов различной длины. Сборка «половинок» магнитопровода производится косыми пакетами, предварительно автоматически просчитанными на компьютере. Такая ступенчатая конструкция соединения обеспечивает распределение зазоров в магнитопроводе по длине стержня, что, в свою очередь, ведет к снижению потерь в магнитопроводе и улучшает его характеристики.

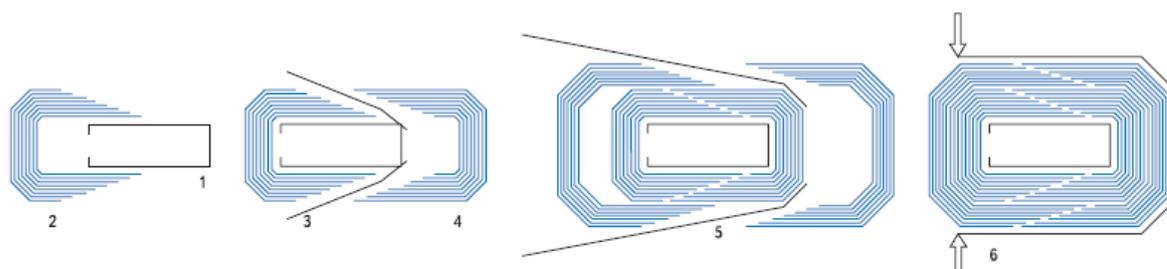


Рисунок 7. Порядок соединения деталей магнитопровода при сборке

Основными преимуществами новых эффективных технологий Unicore являются:

- экономия ресурсов и первичных источников энергии;

- сокращение расходов на электроэнергию на производствах;
- использование льготных тарифов при использовании регенеративных источников энергии;
- быстрая окупаемость вложений;
- более низкий уровень шума;
- снижение рабочих температур и теплоотдачи;
- уменьшение габаритных размеров;
- повышение общего КПД до 99% (в больших трансформаторах с медными обмотками);
- снижение на 45% потерь энергии в стали трансформатора.

Последние две позиции имеют особое значение для автомобилестроения, так как это позволяет отказаться от использования внешних систем охлаждения для распределительных коробок.

Технология Unicore является очень гибкой, высокоточной и надежной. В отличие от производства тороидальных и П-образных сердечников, наша технология не требует какого-либо фиксированного неподвижного оборудования, такого как, различные зажимные устройства и оправки. Элемент сердечника Unicore уже полностью сформирован к моменту, когда сердечник сходит со станка.

Единственным недостатком технологии является необходимость отжига перед сборкой. Хотя и этот недостаток может легко превратиться в достоинство. Так, например, по сравнению с витыми (разрезными) магнитопроводами, в которых напряжения в стали возникают по всей длине ленты, т.е. во всём магнитопроводе, то в Unicore-изделии напряжения возникают только лишь в точках изгиба элементов. Поэтому и отжиг требуется только в тех случаях, когда потери критичны. Имеется зависимость размеров магнитопровода от необходимости отжига: чем больше остов, тем менее он требователен к этой энергоёмкой процедуре.

Литература

1. Бруст, М. Новые силовые трансформаторы серии RET / Мартин Бруст // Силовая элементная база. – 2014. - №1. – С. 6-7.
2. Морозовский, Ю. Новая технология Unicore для изготовления магнитопроводов / Юрий Морозовский // Компоненты и технологии. – 2008. – №8.
3. Передовая технология воздушных линий электропередач компании Nexans помогает Бразилии решать проблемы передачи электроэнергии в крупных городах [Электронный ресурс] .- Режим доступа: http://www.nexans.ru/eservice/Russia-ru_RU/navigatepub_157219_-31967/_Nexans_.html. – Дата доступа: 07.05.2017.
4. Тимашова, Л.В. Повышение надёжности воздушных линий электропередачи и оптимизация их проектирования при применении проводов нового поколения / Л.В. Тимашова, Е.П. Никифоров, И.А. Назаров и др. // CIGRE . – 2014. – С. 1-12.