

ОБЗОР ТЕХНИЧЕСКИХ БРОШЮР CIGRE B2 ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЗА 2019, 2020 И 2021 ГГ.

УДК 621.3.051.025

АО «ЭЛЕКТРОСЕТЬСТРОЙПРОЕКТ»

Колосов С.В., к.т.н., заместитель генерального директора по науке

В настоящей статье приведен обзор всех опубликованных на 16 июня 2021 технических брошюр CIGRE B2 Воздушные линии за 2019, 2020 и 2021 годы. Всего за указанный период было опубликовано 7 технических брошюр по результатам работы Рабочих Групп комитета B2. Рассмотрены вопросы компактных линий переменного тока, компактных линий постоянного тока, эоловой вибрации высокотемпературных проводов, динамических нагрузок на фундаменты и опоры, применения полимерных композитов, проблемы низовых пожаров.

Ключевые слова: воздушная линия

I. ВВЕДЕНИЕ

В 2019 году была опубликована брошюра: CIGRE B2 TB 767 Характеристики пожаров растительности и потенциальное воздействие на эффективность воздушных линий.

В 2020 году была опубликованы брошюры:

CIGRE B2 TB 788 Эффекты динамических нагрузок на воздушные линии – воздействия на фундаменты.

CIGRE B2 TB 792 Компактные воздушные линии переменного тока.

CIGRE B2 TB 809 Эффекты динамических нагрузок на воздушные линии: Воздействия на структуры.

CIGRE B2 TB 818 Структуры магистральных линий с полимерными композитами, усиленными волокном (ВУП).

В 2021 году была опубликованы брошюры:

CIGRE B2 TB 828 Моделирование вибрации высокотемпературных проводов с малой стрелой – Характеристики самодемпфирования.

CIGRE B2 TB 831 Компактные воздушные линии постоянного тока.

II. CIGRE B2 TB 767 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

В разделе 1 рассмотрен вопрос распространенности явления пожаров под ВЛ.

Важность рассмотрения пожаров и финансовые потери как со стороны потребителя, так и со стороны энергосистем рассмотрены в разделе 2.

Опасность и риски пожаров вблизи ВЛ под напряжением, а также возможные пути снижения рисков приведены в разделе 3.

В разделе 4 рассмотрены результаты исследований газовых пробоев изоляции ВЛ во время пожара.

Теория пробоя изоляции и проводимости при пожарах приведена в приложении А.

Модель пробоя, разработанная Tony Britten, а также экспериментальные данные изложены в разделе 5.

В разделе 6 приведена «анатомия» пожара и рассмотрено его «поведение».

Раздел 7 посвящен управлению пожаром на основе данных организаций и специалистов по борьбе с пожарами.

В разделе 8 рассмотрены влияние климата и погоды, а также важность точности прогнозирования погоды.

III. SIGRE B2 TB 788 ЭФФЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ – ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ФУНДАМЕНТЫ

Раздел 1 – это введение и краткое описание различных параметров, влияющих на поведение фундаментов под динамическими нагрузками и под циклическими нагрузками, а также обобщенные выводы этого исследования.

Раздел 2 представляет собой результаты короткого опроса-анкетирования членов РГ по типам фундаментов, факторов безопасности при проектировании фундаментов, обнаруженных аварий и их причин, и краткое описание концепта Конструирование по Фактору Нагрузки и Сопротивления (КФНС) и его применение в разработке фундаментов.

Раздел 3 описывает различные типы динамических нагрузок, краткое описание ветровых нагрузок, нагрузки землетрясений, латеральные нагрузки из-за обрыва проводов, а также гололедные нагрузки и нагрузки пляски. Раздел также включает сравнение нагрузок различных конструкций по отношению к ветровым нагрузкам и нагрузкам от землетрясений. Кроме того, представлен механизм передачи нагрузок на уровне фундаментов для различных опор. Также, приведен критерий определения, будет ли фундамент подвержен полным динамическим нагрузкам или нет.

Раздел 4 представляет характеристики грунтов под быстрыми проходящими нагрузками, циклическими и динамическими нагрузками. Модуль сдвига, зависящий от напряжения и демпфирующие характеристики приведены с практической методикой для расчета деформаций фундамента под квазистатическими циклическими нагрузками.

Раздел 5 – обзор литературы по вопросам:

- влияние уровня нагрузки на сопротивляемость грунта к сдвигу;

- влияние уровня нагрузки на стойкость опор;
- эффекты циклических нагрузок на различные типы фундаментов.

Раздел также включает информацию об эффектах циклических нагрузок на фундаменты и факторы деградации, результаты лабораторных и натурных испытаний.

Раздел 6 посвящен полномасштабному исследованию National Grid в Великобритании в сотрудничестве с University of Southampton, направленному на изучение поведения фундаментов ВЛ под быстрыми проходящими нагрузками, представляющими влияние нагрузок от обрыва проводов.

Раздел 7 приводит простое руководство по аналитическому моделированию и доступных инструментов для исследования ответной реакции фундаментов на динамические нагрузки. Раздел также включает краткий обзор параметров и конечно-элементные модели систем опора-фундамент с учетом взаимодействия структуры и грунта. Раздел рассматривает также риски потенциала разжигания в оценке фундаментов на ВЛ, которые могут представлять сейсмическую опасность.

Раздел 8 обобщает обзор литературы по поведению фундаментов под циклическими и/или динамическими нагрузками.

IV. SIGRE B2 TB 792 КОМПАКТНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Брошюра включает следующие аспекты:

Введение в электрические параметры ВЛ переменного тока, включая расчет пиковой нагрузки без учета сопротивления, которая зависит от сопротивления, импеданса и ёмкости ВЛ. Сопротивление переменному току является сложной функцией и является предметом отдельной брошюры. Обзор параметров приведен в настоящей брошюре. Индуктивность и емкость также разъяснены. В итоге для увеличения пиковой нагрузочной способности имеет смысл уменьшать индуктивность и увеличивать емкость ВЛ. Это может быть достигнуто уменьшением межфазного расстояния, увеличением размера расщепленной фазы и увеличением количества проводов в расщепленной фазе.

Уменьшение межфазных расстояний увеличивает поверхностный градиент проводника в расщепленной фазе, что приводит к возрастанию риска превышения порога по слышимому шуму. Аспект короны и слышимого шума рассмотрен в брошюре со ссылками на более специализированные брошюры.

Описанные аспекты рассмотрены в раздел 1-3 брошюры, что дает обзор методов расчета параметров ВЛ и то, как эти параметры могут варьироваться при изменении конфигурации и конструкции расщепленной фазы. Ограничения, связанные с короной также рассмотрены в брошюре. При компактификации ВЛ уменьшаются защитные расстояния между фазами, также, как и размер опор. Это ограничивает способность ВЛ противостоять пробоям. Причинами пробоя могут быть молнии и коммутационные перенапряжения.

Раздел, посвященный изоляции, включает базовую теорию по изоляции и данные о влиянии атмосферных условий на перекрытия. Примеры расчетов приведены для того, чтобы более подробно показать методику. Также приведен расчет эффективности транспозиции фаз.

Механическое конструирование рассмотрено в разделе 4. Он включает аспекты гололедных и ветровых нагрузок. Конструкции арматуры и опор приведены для различных комбинаций.

Раздел 5 посвящен обсуждению вопросов обслуживания компактных ВЛ без отключения, учитывая сниженные защитные расстояния. Технологии, такие как Techniques such as gapped devices and moving the

Вопросы строительства компактных ВЛ рассмотрены в разделе 6.

Раздел 7 приводит расчеты различных параметров для каждой конфигурации опор, описанных выше. Это дает возможность визуально представить влияние конфигурации опор на различные параметры, включая электрические и магнитные поля.

Раздел 8 содержит анализ десяти вариантов реализации с различными конструкторскими реше-

ниями и ограничениями по коридорам и требованиям к передаваемой мощности.

Раздел 9 рассматривает исключительно вопросы повышения напряжения, что требует те же методы анализа, что и компактификация ВЛ. Описаны примеры повышения напряжения ВЛ.

V. CIGRE B2 TB 809 ЭФФЕКТЫ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ - ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРЫ

Техническая брошюра представляет полномасштабный обзор динамических эффектов, влияющих на опоры воздушных линий и технику динамического анализа для получения оценки ответной реакции ВЛ на зависящие от времени нагрузки. Фундаментальный концепт динамического анализа изучен, фокусируясь на реакции отдельных систем с несколькими степенями свободы и параметрами моделирования. Рассмотрены собственные частоты и моды колебаний опор, а также их влияние на саму ВЛ. Изучены соответствующие динамические события, включая зависящие от времени нагрузки, действующие на компоненты ВЛ. Рассмотрена чувствительность опор ВЛ у динамических эффектов. Приведен краткий обзор литературы по вопросу, включая методы структурного динамического анализа. Приведены примеры динамического структурного анализа для предсказания ответной реакции ВЛ на динамические нагрузки.

VI. CIGRE B2 TB 818 СТРУКТУРЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ КОМПОЗИТАМИ, УСИЛЕННЫМИ ВОЛОКНАМИ

Традиционные материалы прекрасно работают на ВЛ уже много лет. Однако, применение композитов, усиленных стекловолокном показывают большие преимущества для электроэнергетической индустрии. Они имеют существенную прочность, не наносят вред окружающей среде, короткую производственную цепочку и хорошее качество материала. В последние годы такие композиты становятся все более широко распространенными в различных промышленных применениях в аэрокосмической промышленности, военной, транспортной, гражданском строительстве и спорте.

Во многих областях композиты заменили традиционные материалы, там, где их характеристики более применимы и где они более эффективны. На сегодняшний день из усиленных стекловолокном композитов производятся опоры, траверсы, поперечные связи и другие структурные компоненты. Другие композиты, усиленные волокном, например, углеволокном или арамидом также применяются.

1. РГ подготовила анкету для того, чтобы определить текущую ситуацию по применению композитов на различных уровнях напряжения, различных проводах и конфигурациях ВЛ в магистральных ВЛ. Анкета также запрашивала данные о известных преимуществах и недостатках композитов по сравнению с традиционными материалами для ВЛ. Основываясь на ответах, РГ подготовила раздел брошюры о применении композитов в магистральных и распределительных линиях.

2. РГ обсудила различные параметры конструирования и ограничения (например, аспекты обслуживания) и лучшие конструкторские решения для магистральных линий.

3. Приведено описание и обсуждение применимости и стойкости материалов, методов производства и прочности композитных материалов для высоковольтных структур.

4. РГ также представила информацию о преимуществах и проблемах композитов в опорах с точки зрения срока их эксплуатации, конструирования, производства, строительства, эксплуатации, ремонта, вывода из эксплуатации и утилизации.

5. РГ собрала информацию о проектах ВЛ, где композитные материалы были использованы.

VII. SIGRE B2 TB 828 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОВОДОВ С МАЛОЙ СТРЕЛОЙ – ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОДЕМПФИРОВАНИЯ

В брошюре рассмотрены высокотемпературные провода с малой стрелой (HTLS). Поведение проводов при эоловой вибрации исследовано для того, чтобы обеспечить надёжность эксплуатации и отсутствие аварий из-за усталостных повреждений.

Основными целями брошюры являются определение влияния температуры на самодемпфирование; влияние дрейфа температуры и влияние накопления циклов эоловой вибрации на свойства самодемпфирования HTLS провода.

Также в брошюре определена методика измерения самодемпфирования провода для разработки адекватной системы подавления эоловой вибрации.

Рассмотрено влияние изменения температуры совместно с циклами эоловой вибрации на поведение различных типов арматуры для HTLS проводов.

Представлены результаты лабораторных испытаний для измерения самодемпфирования и влияния температуры, температурных циклов, накопления циклов эоловой вибрации. Было подтверждено, что величина самодемпфирования провода повышается с ростом температуры, что в основном связано со снижением тяжения из-за роста температуры. Тем не менее, было рекомендовано проводить измерения самодемпфирования при нормальной температуре по следующим причинам:

- даже высокотемпературные провода в основном эксплуатируются не на максимальных температурах;
- при наличии даже минимального ветра, температура провода резко снижается.

Измерения показали, что самодемпфирование HTLS проводов различается несущественно от проводов AC.

Оказалось, что основной причиной снижения самодемпфирования проводов является эоловая вибрация. Температурные циклы имеют крайне малое влияние на изменение самодемпфирования.

Было обнаружено, что в основном на низких частотах величины самодемпфирования HTLS проводов не сильно отличаются от проводов AC. Также было обнаружено, что металл/металл болтовые зажимы и спиральные зажимы нечувствительны к термо-циклированию и накоплению циклов вибрации, тогда как зажимы с резиновыми прокладками требуют очень внимательного изучения и выбора материалов.

VIII. CIGRE B2 TB 831 КОМПАКТНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Широко признана необходимость линий высоко-го напряжения постоянного тока. Эти линии будут связаны или пересекут существующие линии переменного тока, но их коридор и трассу все сложнее согласовывать. Таким образом, имеет смысл провести исследования по большей компактизации линий постоянного тока, чтобы уменьшить их визуальное и природное влияние, что упростит получение разрешений на строительство и позволит осуществить их строительство в более узких коридорах или даже совместно с транспортными трассами общего пользования. Эта брошюра приводит концепт компактификации линий постоянного тока для уменьшения коридора и/или высоты ВЛ. Эти два аспекта являются важнейшими для получения разрешения на строительство ВЛ. Однако уменьшение горизонтальных расстояний и высот приводит к возрастанию электрических полей и другим эффектам, которые могут стать ограничивающими факторами и должны быть учтены при конструировании компактных линий. Таким образом, компактизация означает увеличение передаваемой мощности в заданном коридоре, либо уменьшении сечения ВЛ при заданной передаваемой мощности. Вообще говоря, высоковольтные линии постоянного тока предназначены для передачи больших мощностей на большие дистанции, либо служить связями между энергосистемами. Но оба этих применения требуют высокие уровни надежности и доступности. Для линий постоянного тока увеличение передаваемой мощности возможно только увеличением тока в проводах, либо увеличением уровня напряжения. В линиях переменного тока это также может быть достигнуто применением расщепленной фазы и компактизацией фаз.

Таким образом, компактизация имеет различные эффекты на линии переменного и постоянного токов, как и ограничения, связанные с компактизацией тоже разные (эффекты короны, защитных расстояний, конфигураций). Настоящая брошюра рассматривает компактные линии постоянного тока в теории и на практике. В дополнение к теории, настоящая брошюра включает расчеты электрических параметров различных конфигураций опор. ■

АО «Электросетьстройпроект», НТЦ Электросети
Москва
+7 (495) 727-43-43
info@essp.ru
www.essp.ru

Контакты автора:
Колосов С.В.
sergey.kolosov@gmail.com

Список литературы:

- [1] CIGRE B2 TB 767 Характеристики пожаров растительности и потенциальное воздействие на эффективность воздушных линий.
- [2] CIGRE B2 TB 788 Эффекты динамических нагрузок на воздушные линии – воздействия на фундаменты.
- [3] CIGRE B2 TB 792 Компактные воздушные линии переменного тока.
- [4] CIGRE B2 TB 809 Эффекты динамических нагрузок на воздушные линии: Воздействия на структуры.
- [5] CIGRE B2 TB 818 Структуры магистральных линий с полимерными композитами, усиленными волокном (ВУП).
- [6] CIGRE B2 TB 828 Моделирование вибрации высокотемпературных проводов с малой стрелой – Характеристики самодемпфирования.
- [7] CIGRE B2 TB 831 Компактные воздушные линии постоянного тока.