

В результате теоретических расчетов и проведенных опытов по оценке токов утечки при соприкосновении заземленного предмета (дерева) с проводом доказано, что при качественном покрытии активная составляющая тока утечки через покрытие пренебрежимо мала и активное сопротивление в схеме замещения образца при расчетах можно не учитывать. Для сухой поверхности покрытия можно не учитывать и поверхностное сопротивление провода.

При сухой поверхности полиэтиленового покрытия ток утечки на заземленный предмет и сопротивление изоляции определяются емкостью системы электрод – провод и практически не зависят от длины образца. В работе доказано, что при сухой поверхности измеренные значения токов утечки и сопротивление изоляции в системе заземленный электрод – провод справедливы для реальных пролетов ВЛП. Ток утечки не превышает 1 мА, а полное сопротивление изоляции не менее 50 МОм при любой длине пролета.

При дожде активное сопротивление изоляции снижается на несколько порядков и ток утечки от провода на дерево может достигать опасных значений, инициируя опасные потенциалы, например на стволе упавшего на провод дерева.

Литература

1. Степанчук К.Ф., Климович Г.С., Красько А.С. Срок службы изоляции покрытых проводов ВЛП 10 кВ при касании веток деревьев и других заземленных предметов. // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений энерг. объединений СНГ). – 2002. – №5. – С. 28–34.

2. Степанчук К.Ф., Климович Г.С., Красько А.С. Срок службы изоляции покрытых проводов ВЛП 10 кВ при схлестывании. // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений энерг. объединений СНГ). – 2002. – №3. – С. 22–26.

УДК 621.316.35

ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

А.П. Андрукевич, Е.А. Дерюгина, А.Н. Регино
Научный руководитель П.И. КЛИМКОВИЧ

В результате пляски происходят замыкания между проводами и между проводами и тросами, обрывы проводов, износ линейной арматуры и пр. Значительный ущерб от пляски проводов инициировал ее теоретические, экспериментальные и полевые исследования. Теоретическое изучение пляски существенно усложнено нелинейными зависимостями между аэродинамическими силами, движением и кручением проводов многопролетных участков воздушных ЛЭП. В 1933 году Ден-Гартог первым представил математическое описание механизма и

вывел условие пляски в виде неравенства, связывающего только аэродинамические характеристики асимметричного профиля,

$$\frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D < 0,$$

где C_L , C_D – безразмерные аэродинамические коэффициенты подъемной силы и лобового сопротивления провода; θ_a – угол атаки.

Условие Ден-Гартога нашло подтверждение в экспериментах для весьма малых эксцентричных форм гололеда. Ден-Гартог рассматривал вертикальные колебания проводов без учета их закручивания и демпфирования, такие пляски проводов являются довольно редким событием. Более распространена пляска, при которой поступательные колебания проводов синхронизируются с крутильными колебаниями. Л.Д. Пустыльников и В.А. Шапцов предложили подход к исследованию устойчивости колебаний проводов при условии минимума упрощающих предположений. Авторы выполнили оценку условий аэродинамической неустойчивости колебаний проводов для конкретных воздушных ЛЭП. Для практических целей представляет большой интерес расчет критических скоростей ветра, произведенный А.И. Полевым. Он дополнил условие Ден-Гартога составляющей, учитывающей крутильные колебания проводов.

Физическим основам пляски посвящены работы Л.В. Яковлева, С.С. Ржевского, Э.С. Глебова. Линейная теория колебаний проводов при пляске развита профессором В.И. Ванько. Им разработано математическое описание пляски как неустойчивости положений равновесия модели при отличных от нуля скоростях ветра. В.И. Ванько последовательно проводит процедуру исследования устойчивости по Ляпунову для проводов, представленных абсолютно гибкой упруговязкой нитью, сопротивляющейся кручению. В результате получено условие пляски по Ляпунову

$$C_L \left(\frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D \right) + C_L \left(C_L - \frac{\partial C_D}{\partial \theta_a} \right) < 0,$$

обобщающее условие Ден-Гартога.

Комплексный подход к исследованию пляски проводов используют японские исследователи. К. Гото и М. Ямаока, применяя принцип Лагранжа, получили нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных для определения динамических характеристик пляски одиночных и расщепленных проводов. Их исследование производится методом конечных элементов с учетом влияния гасителей колебаний с упруговязкими элементами. Эффективность разработанного в

Японии численного метода расчета амплитуд пляски и максимальных тяжений доказана многочисленными примерами расчетов и их сравнением с опытными данными, а также результатами полевых наблюдений и подтверждается положительным опытом ограничения и подавления колебаний проводов.

По мнению профессора Лильена, метод конечных элементов слишком громоздкий, требует длительного счета. Им предложена сравнительно простая математическая модель пляски, использующая новую теорию эквивалентной крутильной жесткости расщепленной фазы, которая подтверждается литературными данными, экспериментальными и полномасштабными испытаниями в полевых условиях. К другим способам определения амплитуд пляски проводов относятся методы энергетического баланса и функционального анализа, которые не получили значительного распространения.

При исследовании эффективности устройств ограничения и подавления пляски используются численные методы. Однако по оценкам СИГРЭ, правильная интерпретация статистических данных наблюдений на действующих линиях представляется предпочтительным способом определения эффективности различных устройств гашения пляски. Наибольший объем полевых наблюдений выполнен в Канаде, США, Западной Европе, Японии, России и Казахстане.

Несмотря на выполненный большой комплекс исследований и положительный опыт применения различных типов гасителей по сведениям СИГРЭ, отсутствует общее решение проблемы создания единого метода для предотвращения пляски проводов. Поэтому в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по применению устройств подавления пляски проводов воздушных ЛЭП.

УДК 621.315

О РАСЧЕТЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПОНИЖАЮЩЕГО СИЛОВОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

А.П. Томкевич

Научный руководитель В.И. НОВАШ, д.т.н., профессор

В задачах расчета установившегося режима распределительных сетей двухобмоточные силовые трансформаторы обычно являются конечными элементами, к которым подключаются потребители, представляемые неизменной мощностью. В настоящее время используются упрощенные схемы замещения трансформатора, что, например, приводит к раздельному, приближенному расчету потерь энергии. Более