

УДК 621.3

Электродинамическая стойкость токоведущих конструкций с гибкими проводниками

Федосевич Э. А.

Научный руководитель – д.т.н., профессор СЕРГЕЙ И. И.

Типовыми решениями в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 35 кВ и выше в качестве токоведущих частей рекомендуются гибкие проводники тех же марок и сечений, что и для воздушных линий электропередачи ЛЭП. При указанных напряжениях в ОРУ с жесткой ошиновкой требуется большое количество опорных изоляторов. Опорные изоляторы и жесткие шины сравнительно дороги. Жесткие шины чувствительны к сейсмическим воздействиям, а также к просадкам и наклонам опорных конструкций, требуют точной установки изоляционных опор и высокого качества строительно-монтажных работ. Они подвержены также ветровому резонансу, для борьбы с которым применяются специальные гасители вибрации.

Оценка электродинамической стойкости расщепленных проводов воздушных линий заключается в проверке их схлестывания и механической прочности. Для проверки схлестывания нужно выявить наибольший размах колебаний при коротких замыканиях (КЗ). Небольшие (на порядок меньше междуфазных) расстояния между проводами расщепленной фазы обуславливают большие электродинамические усилия, действующие внутри расщепленной фазы при КЗ. Испытания в опытных пролетах показали, что при определенном сочетании конструктивных параметров расщепленной фазы и величины токов КЗ возникает схлестывание проводов. После схлестывания провода фазы двигаются под действием междуфазных электродинамических усилий (ЭДУ). В момент максимального стягивания проводов в пучке под действием внутрифазных ЭДУ происходит резкое увеличение тяжения фаз.

Под электродинамической стойкостью гибких проводов электроустановок понимают их способность противостоять электродинамическому действию токов КЗ до и после автоматического отключения цепи КЗ без повреждений. ПУЭ указывает на ток КЗ в 20 кА, по достижении которого необходимо производить расчет гибких шин на электродинамическую стойкость. С возрастанием токов КЗ их электродинамическое действие становится ключевым фактором, определяющим габариты и механические характеристики токоведущих конструкций с гибкими проводами при проектировании.

В проектной и эксплуатационной практике для системы подвешенных проводов распределительных устройств (РУ) применяется термин «гибкая ошиновка». Широкое применение гибкой ошиновки в ОРУ напряжением 35 кВ и выше объясняется ее универсальностью, простотой монтажа, высокой механической прочностью. Внедрение глубоких вводов 110–220 кВ в большие города и крупные промышленные предприятия и размещение ТЭЦ и ГРЭС на стесненных площадках, при неблагоприятных условиях работы изоляции, привели к необходимости применения закрытых РУ (ЗРУ), аппараты и ошиновка которых размещаются в помещении. В настоящее время ЗРУ 110–220 кВ сооружаются, как правило, с применением оборудования и ошиновки, предназначенных для ОРУ.

Под гибкой ошиновкой ОРУ понимается система подвешенных гибких проводов, которые крепятся к несущим конструкциям порталного типа с помощью натяжных гирлянд изоляторов. Гирлянды собирают из стеклянных изоляторов типа ПС или фарфоровых типа ПФ. В качестве основных принимают более прочные и удобные в эксплуатации стеклянные изоляторы. Длина гирлянд изоляторов в зависимости от напряжения составляет от 0,9 м на 35 кВ до 9,5 м на 750 кВ, и их вес соизмерим с весом проводов в пролете. Все соединения в гирлянде, а также ее крепление к порталам выполняются шарнирно, поэтому гирлянда изоляторов представляет собой гибкую цепь элементов. Гибкая ошиновка вместе с порталами образует анкерованные пролеты, расположенные рядами (пролеты ячеек). Ниже

перпендикулярно к ним находятся пролеты сборных шин (шинные пролеты). Электрическая связь между анкерованными пролетами выполняется в виде свободно висящих петель (шлейфов).

К гибким шинам ОРУ посредством ответвительных зажимов присоединяются спуски к электрическим аппаратам. Они монтируются практически без натяжения и имеют, как правило, значительную разность высот подвеса. В ряде случаев они представляют собой вертикально расположенные отпайки. Обычно в пролете гибких шин ОРУ имеется не более трех спусков к электрическим аппаратам. Для подвески гибкой ошиновки ОРУ применяются сборные железобетонные или стальные порталы. В отдельных случаях стойки порталов выполняются железобетонными, а траверсы – металлическими.

Таким образом, гибкая ошиновка ОРУ является неоднородной по составу механической системой, которая под действием ЭДУ при КЗ совершает сложное колебательное движение. При больших токах КЗ оно сопровождается недопустимым сближением проводов соседних фаз и значительными динамическими усилиями на порталы и электрические аппараты. Поэтому в соответствии с указаниями ПУЭ и ГОСТ при проектировании ОРУ необходимо проверять электродинамическую стойкость гибкой ошиновки к большим токам КЗ.

Анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований позволяет составить подробную картину поведения гибких проводов при КЗ. В траекториях движения проводов выделяют два участка. На первом провода движутся с ускорением под действием электродинамических усилий (ЭДУ). Началом второго участка является положение провода в момент отключения КЗ. После отключения движение провода определяется сочетанием действия инерционных и упругих сил и тяжения провода. Из-за влияния температурных удлинений проводов, податливости опор, а также изменения формы проводов и гирлянд изоляторов траектории движения гибких проводников приобретают более сложную форму.

При компьютерных расчетах большое количество времени тратится на сбор массива исходных данных, а также на анализ результатов расчета. В проектной практике целесообразно применение упрощенных методов расчета параметров электродинамической стойкости гибких шин, реализованных в виде простых формул и таблиц. Практика применения упрощенных методик одобрена в международном и межгосударственном стандартах.

В общем случае провода движутся по разным траекториям с различной угловой скоростью из-за влияния ветра, наличия отпаек в пролете и несимметричности пролета. Наиболее сближенными при КЗ могут оказаться провода сборных шин одной фазы с проводами спусков соседней фазы.

Следует заметить, что для расчета параметров электродинамической стойкости в случае пролетов со спусками предпочтительным является использование компьютерных программ. Упрощенные методы расчета позволяют определить только предельные отклонения гибких шин в таких пролетах.

Наиболее слабыми по механической прочности элементами являются опорные конструкции и аппараты РУ. Поэтому для них динамические усилия при КЗ наиболее опасны. При определении их механической прочности расчетные максимальные моменты и перерезывающие силы в любом сечении сравниваются с допустимыми значениями.

Гибкие шины распределительных устройств (РУ) обладают существенной гибкостью и могут принимать форму, обусловленную действием распределенных электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании. Поэтому динамика гибких шин в общем случае описывается с использованием расчетной модели гибкой нити с распределенной по длине массой. Движение гибкой нити под воздействием распределенных нагрузок описывается дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных. Получить решение таких уравнений можно лишь численными методами.

зажимы становятся свободными телами, динамика которых описывается уравнениями движения материальной точки.

Для гибкой ошиновки с расщепленными проводами в местах присоединения спусков устанавливаются дистанционные распорки жесткого типа. Согласно принципу связей механики, они освобождаются от последних, и рассматривается их динамика под действием сил от шин и спусков по уравнениям жесткой распорки. Эти уравнения используются также для описания динамики коромысла, соединяющего гирлянду с расщепленными проводами гибкой ошиновки. Динамика концов гирлянд и спусков зависит от упругих и инерционных характеристик порталов, электрических аппаратов и шинных изолирующих опор. Действующие на электрический аппарат или изолирующую опору нагрузки от проводов по осям x и y являются изгибающими, а по оси z – растягивающими. Соотношение между ними зависит не только от расположения спусков, но и места КЗ. При сквозном КЗ спуски под действием сил от шин перемещаются в плоскости yoz , поэтому от них на аппарат действуют изгибающие и растягивающие усилия в этой плоскости. При КЗ в ячейке путь протекания тока КЗ включает в себя провода ответвлений. Их электродинамические взаимодействия между собой и с шинами ОРУ обуславливают изгибающие нагрузки по трем взаимноперпендикулярным направлениям. Динамические прогибы шинных изолирующих опор и электрических аппаратов находят из уравнений колебаний упругого стержня с заземленным концом (консоли). Электрические аппараты представляются эквивалентной консолью. Соответствие динамических характеристик консоли и реального электрического аппарата обеспечивается при использовании его экспериментальной жесткости в целом.

Литература

1. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.