

УДК 621.3

**Анализ электродинамической стойкости гибкой ошиновки
с расщепленными проводами**

Мазуров А. Ю.

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

В современных мощных энергосистемах получили широкое применение токоведущие конструкции с расщепленными проводами. Проектируются компактные воздушные линии с расщепленными фазами, число составляющих проводов в которых достигается 16 и более. Расщепление фаз ограничивает коронный разряд и увеличивает пропускную способность воздушных ЛЭП. Существующая тенденция сокращения габаритов распределительных устройств и компактизации воздушных ЛЭП усугубляет проблему электродинамических воздействий токов КЗ на токоведущие конструкции с расщепленными проводами.

Расщепленная фаза представляет собой систему квазипараллельных гибких проводов, зафиксированных на заданном расстоянии в нескольких точках пролета дистанционными распорками. Поэтому для математического описания динамики расщепленных фаз проводов можно использовать уравнения движения гибкой упругой нити. Они справедливы для участков проводов между распорками, на которые воздействуют при КЗ только распределенные ЭДУ. Из-за фиксации проводов в зажимах распорок при КЗ на провода в этих точках воздействуют также сосредоточенные силы, величины которых могут быть определены лишь с учетом упругих и инерционных характеристик распорок.

Особенностью динамики расщепленной фазы при КЗ является схлестывание проводов внутри нее на большей части пролета вследствие воздействия больших внутрифазных ЭДУ. После схлестывания провода двигаются совместно под действием междуфазных ЭДУ до момента времени отключения КЗ. При многофазных КЗ из-за разницы в расстояниях между составляющими различных фаз траектории движения проводов становятся несимметричными. Это ведет к повороту распорок и закручиванию фазы.

На современных воздушных ЛЭП устанавливаются гибкие и демпфирующие распорки, повышающие устойчивость расщепленных фаз к субколебаниям. Как правило, используется схема их неравномерной расстановки в пролете для более эффективного ограничения амплитуд субколебаний. Предлагаются гасители пляски расщепленных фаз с упруговязкими элементами. При наличии указанных конструктивных элементов в фазе затрудняется оценка ее динамики при КЗ.

В настоящее время в странах СНГ из-за финансового кризиса вычислительный эксперимент является практически единственным доступным способом исследования динамики расщепленных фаз при КЗ в полном масштабе РУ и воздушных ЛЭП. Это повышает требования к достоверности и точности математических моделей для расчета динамики расщепленных фаз при КЗ.

В качестве механической модели фазы принимается пучок гибких упругих нитей, сопротивляющихся кручению, зафиксированных в заданных точках пролета дистанционными распорками различного типа. Такая модель наиболее полно учитывает геометрические и физико-механические характеристики расщепленной фазы в целом пролете. Математическое описание динамики расщепленной фазы на основе принятой механической модели включает в себя уравнения поступательных перемещений и кручения проводов и распорок, которые решаются совместно. В соответствии с принципом связей механики действие проводов на распорки заменяется реакциями связей проводов, являющиеся по соотношению к ней внешними силами. В зависимости от конструктивных особенностей распорки в расчетах представляются различными идеальными моделями.

Перспективные конструкции распорок для расщепленных фаз характеризуются сложной геометрической конфигурацией. В их состав входят гибкие тросы, упругие криволинейные и упруговязкие элементы. Математическое описание таких распорок на

основе их представления абсолютно твердым телом невозможно. Используется расчетная модель распорки в виде сосредоточенных масс и прямолинейных пружин, соединяющих их. Сосредоточенные массы располагаются в центре распорки и в точках крепления к ним проводов фазы. Такая модель заменяет упругую пространственную реакцию тела распорки деформациями растяжения-сжатия системы прямолинейных пружин, упругие свойства которых определяются опытным путем. При этом принимается, что упругие свойства распорки при растяжении и сжатии одинаковы.

Жесткая распорка является системой материальных частиц, в которой расстояния между двумя любыми точками остаются постоянными и эти точки расположены непрерывно. Они заполняют область пространства, занятую распоркой, сплошным образом. С точки зрения теоретической механики такая неизменяемая система называется абсолютно твердым телом. По определению, абсолютно твердое тело не может подвергаться никаким деформациям и представляет собой идеальный образ, который тем ближе подходит к реальной распорке, чем меньше последняя способна деформироваться под действием сил, приложенных от проводов. Подавляющее большинство распорок, установленных в энергосистемах бывшего СССР, можно отнести к распоркам жесткого типа.

Составленная в общем виде математическая модель динамики распорки по уравнениям твердого тела пригодна для расчета динамики расщепленных фаз при их произвольном расположении в пространстве в любом направлении воздействующих ЭДУ. Однако в большинстве практических случаев рассматриваются поперечные колебания фаз в плоскостях, перпендикулярных пролету. Для них продольным вдоль пролета перемещением распорок можно пренебречь. В результате расчета динамики распорки сводится к решению более простой задачи движения ее твердого тела в плоскости, перпендикулярной пролету. В этом случае угловая скорость направлена вдоль неподвижной продольной оси пролета. Динамические уравнения Эйлера заменяются одним уравнением вращения плоского тела распорки вокруг неподвижной оси, относительно которой момент инерции распорки остается неизменным. Этот подход применяется при моделировании динамики демпфирующей распорки при КЗ.

Схлестывание проводов фазы наступает при определенном сочетании ЭДУ, геометрических характеристик фазы и физико-механических параметров проводов. Провода «прилипают» друг к другу через нескольких периодов тока и двигаются совместно под воздействием междуфазных ЭДУ до момента времени отключения КЗ. Математическое описание динамики схлестывающихся участков фазы производится на основе ее расчетной модели в виде эквивалентного провода, осью которого является линия центров масс (ЛЦМ) поперечных сечений.

В состав математической модели динамики расщепленной фазы при КЗ входят уравнения движения и кручения одиночных и эквивалентных проводов, а также уравнения динамики распорок нескольких типов. В математическом отношении уравнения движения эквивалентного провода относятся к классу дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных гиперболического типа. К ним относятся также уравнения кручения проводов. Динамика же распорок описывается нелинейными обыкновенными дифференциальными уравнениями второго порядка. Для совместного решения перечисленных уравнений при заданном типе распорки ставится смешанная краевая задача Коши с краевыми условиями второго рода.

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.