

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГИБКИХ ТОКОВЕДУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Пономаренко Е.Г. – к.т.н., доцент,  
декан энергетического факультета,  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

В настоящее время в энергосистеме Республики Беларусь расчетные уровни токов короткого замыкания (КЗ) достигли значительных величин. Так, например, по данным РУП «Белэнергосетьпроект» на шинах электрических подстанций 110 кВ в районе г. Гомеля расчетные токи КЗ достигают 40 кА, а в районе г. Минска – 50 кА и более.

В связи с введением в строй Белорусской АЭС в энергосистеме республики Беларусь следует ожидать изменения уровней токов короткого замыкания по отношению к существующим расчетным уровням токов. Это связано с тем, что новая АЭС будет представлять в схеме энергосистемы новый значительный узел генерации. Наибольшее увеличение токов КЗ ожидается в узлах, расположенных ближе к АЭС. Более существенно на напряжении 330 кВ, чем на 110 кВ. Более конкретных выводов в настоящее время сделать нельзя, поскольку режим работы энергосистемы после введения в строй АЭС широкой общественности неизвестен. Однако с уверенностью можно сказать, что для тех распределительных устройств электростанций и подстанций, где произойдет увеличение токов КЗ, следует провести оценку надежности работы электрооборудования и гибкой ошиновки в изменившихся условиях работы. Одним из параметров, которые подлежат проверке, является электродинамическая стойкость токоведущих конструкций, которые могут быть конструктивно не рассчитаны на увеличение токов КЗ.

Поскольку, как уже отмечено ранее, конкретные значения токов КЗ после ввода АЭС неизвестны, можно подойти к решению вопроса оценки электродинамической стойкости с другой стороны. А именно, определить токи электродинамической стойкости пролетов типовых распределительных устройств, поскольку большинство подстанций в Республике Беларусь выполнено по типовым проектам. После обобщения полученных данных ими смогут воспользоваться соответствующие проектные или эксплуатирующие организации для выявления необходимости проведения мероприятий по повышению электродинамической стойкости конкретного объекта.

Для выполнения сформулированной задачи использованы предыдущие разработки кафедры «Электрические станции», в частности, компьютерная программа «FLEBUS» и заложенный в ней алгоритм расчета.

Гибкие проводники в указанном алгоритме описываются гибкой упругой нитью с равномерно распределённой по длине массой и нагрузками. Уравнения нити имеют вид [1]

$$\frac{\partial}{\partial s} \left( T \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} \right) + \bar{P} = \rho \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $\bar{R}$  – радиус-вектор произвольной точки провода в пролете,  $\bar{R}(x, y, z)$ ;  
 $s$  – дуговая координата данной точки;

$\bar{P}$  – вектор распределенной внешней нагрузки на единицу длины провода, куда могут входить весовая, гололедная, ветровая и другие нагрузки;

$T$  – модуль тяжения;

$t$  – время;

$\rho$  – масса единицы длины провода с учетом его растяжения.

Для решения уравнений (1) используются численные методы. В нашем случае используется метод конечных разностей, в соответствии с которым производные в уравнениях заменяются конечно-разностными выражениями. производные по времени заменяются следующим выражением

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2} \rightarrow \frac{\hat{\bar{R}}_k - 2\bar{R}_k + \check{\bar{R}}_k}{\tau^2}, \quad (2)$$

а по координатам

$$\frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial s^2} \rightarrow \frac{\hat{\bar{R}}_{k+1} - 2\hat{\bar{R}}_k + \hat{\bar{R}}_{k-1}}{h^2}; \quad \frac{\partial \bar{R}}{\partial s} \rightarrow \frac{\hat{\bar{R}}_k - \hat{\bar{R}}_{k-1}}{h}, \quad (3)$$

где  $k$  – номер узла сетки численного решения уравнений ( $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1, N$ );

$N$  – количество узлов разбиения по длине провода;

$\tau$  – шаг интегрирования по времени;

$\hat{\bar{R}}_k, \bar{R}_k, \check{\bar{R}}_k$  – координаты  $k$ -й точки провода соответственно на  $t + 1$ -м,  $t$ -м и  $t - 1$ -м временном слое;

$t$  – временные слои;

$t = 0, 1, 2, \dots, M - 1, M$ , где  $M$  – число шагов интегрирования по времени.

Для каждой из координат  $x, y$  и  $z$  производится отдельная замена производных по выражениям (2) и (3).

В алгоритме расчета учтены также гирлянды изоляторов: подвесные и натяжные, опорные конструкции, отпайки к электрическим аппаратам, внутрифазные и междуфазные распорки.

Алгоритм расчета на основе компьютерной программы FLEBUS был изменен для решения задачи определения токов электродинамической стойкости. Изменения заключаются в том, что пользователь программы имеет возможность ввести не конкретное значение тока короткого замыка-

ния, а диапазон токов, для которого должен производиться расчет с определенным шагом  $\Delta I$ . Каждое последующее значение тока определяется выражением

$$I_j = I_{j-1} + \Delta I \quad (4)$$

Ток  $I_j$ , при котором будет выполняться условие

$$A_{\text{ф-ф.мин}} = A_{\text{ф-ф.доп}}, \quad (5)$$

где  $A_{\text{ф-ф.мин}}$  и  $A_{\text{ф-ф.доп}}$  – соответственно расчетное минимальное и допустимое отклонение проводников, будет считаться током электродинамической стойкости  $I_{\text{эд}}$  для пролета с гибкими проводниками.

В Республике Беларусь в настоящее время широко используются сети напряжением 110 и 330 кВ, реже 220 кВ. Распределительные устройства на эти напряжения сооружаются по схемам «две рабочих системы шин с обходной», «четырёхугольник», «три выключателя на два присоединения» и некоторым другим. Наиболее часто используемых конструкций, которые называются типовыми, не так уж и много. Поэтому ставится задача определения токов электродинамической стойкости именно для типовых конструкций распределительных устройств.

Расчеты показали, что наименьшие токи электродинамической стойкости соответствуют уровню напряжения 110 кВ. А, как указано выше, именно на этом напряжении наблюдаются наибольшие токи КЗ, достигающие 40–50 кА.

Учитывая то, что токи электродинамической стойкости во многих случаях даже ниже 20–25 кА, разработаны некоторые рекомендации по повышению надежности работы токоведущих конструкций электроустановок, не требующие значительных капитальных вложений, к числу которых прежде всего относится установка междуфазных изолирующих распорок и дополнительных изоляторов.

#### Список литературы

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.