

## Секция III ЭНЕРГЕТИКА

---

### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ В ЖЕСТКОЙ ОШИНОВКЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 10 КВ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

П. И. Климкович, Я. В. Потачиц

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель И. И. Сергей

При протекании электрического тока по одному или нескольким контурам отдельные участки этих контуров подвергаются воздействию механических усилий, связанных с появлением электромагнитного поля, которое взаимодействует с токами в контурах. Эти силы сравнительно невелики при токах нагрузки и достигают больших значений в режиме короткого замыкания (КЗ). Поэтому электродинамические усилия (ЭДУ) зачастую определяют требуемую механическую прочность электрооборудования [1]. Недостаточный учет ЭДУ при проектировании может привести к недопустимым изгибам токоведущих частей, к разрывам обмоток, поломке изоляторов и другим повреждениям, приводящим к серьезным авариям в электроустановках.

Токопроводы и токоведущие части электрических аппаратов должны:

- длительно выдерживать номинальные токи;
- быть термически и динамически стойкими, т. е. противостоять токам КЗ.

Электродинамическое действие токов КЗ заключается в воздействии на проводники больших ЭДУ в течение времени КЗ. Эти усилия являются механическими и могут вызвать недопустимые деформации изгиба шин, изоляторов, даже их поломки. Поэтому при проектировании электрической части электрической станции и подстанции стоит задача расчета электродинамической стойкости токопроводов и электрических аппаратов, под которой понимают их способность противостоять действию ЭДУ в течение времени автоматического отключения цепи, без повреждений препятствующих их дальнейшей исправной работе. Для расчета ЭДУ необходимо определить КЗ в данной точке сети. Для этого составляется расчетная схема, намечаются расчетные токи КЗ и выбираются расчетный вид и продолжительность КЗ. При составлении расчетной схемы учитываются не только нормальные режимы работы станции, но и ремонтные и послеаварийные режимы. Расчетные токи КЗ намечаются с двух сторон проводника или аппарата и окончательно принимается наибольший из них. Для токопроводов и аппаратов расчетным принимают трехфазное КЗ [2]–[5].

В настоящее время имеется хороший математический аппарат, описывающий ЭДУ в распределительных устройствах (РУ) с жесткой ошиновкой при расположении сборных шин по вершинам равностороннего и прямоугольного треугольников [2]–[5].

Анализ известных аналитических выражений для упомянутых конфигураций позволяет задаться определенным углом включения КЗ ( $\psi$ ), которое обеспечивает вычисление максимальных напряжений в материале проводника ( $\sigma$ ).

Вопрос задания  $\psi$  для определения максимальных нагрузок на изоляторы в случае их частного пространственного положения тоже решен. Однако в практике конструкторских работ могут возникнуть случаи произвольного расположения изоляторов при расположении шин по вершинам произвольного треугольника. Стоит задача определения максимальных значений изгибающего и растягивающего усилий на расположенный подобным образом изолятор любой фазы. Для этого приведен алгоритм расчета распределенных усилий на расчетную фазу, реализовав который на ЭВМ, можно с помощью циклических операций определить как угол включения, при котором будут иметь место максимальные нагрузки, так и сами величины этих нагрузок. Для этого задаем индекс расчетной фазы и пределы изменения  $\psi$ .

Условия стойкости жесткой ошиновки:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{расч max}} &\leq \sigma_{\text{доп}} ; \\ P_{\text{расч max изг}} &\leq P_{\text{доп изг}} ; \\ P_{\text{расч max раст}} &\leq P_{\text{доп раст}} ,\end{aligned}$$

где  $\sigma_{\text{расч max}}$  – напряжение в материале шины;  $P_{\text{расч max изг}}$ ,  $P_{\text{расч max раст}}$  – усилия на изгиб и растяжение, приложенные к вершине изолятора.

Напряжение  $\sigma_{\text{расч max}}$  определяется по выражению

$$\sigma_{\text{расч max}} = \left| \frac{M_{y_1}}{W_{z_1}} \right| + \left| \frac{M_{z_1}}{W_{y_1}} \right| ,$$

где  $M_{y_1}$ ,  $M_{z_1}$  – изгибающие моменты вокруг осей:

$$\begin{aligned}M_{y_1} &= \frac{F_{z_1} l^2}{12} ; \\ M_{z_1} &= \frac{F_{y_1} l^2}{12} ;\end{aligned}$$

$W_{y_1}$ ,  $W_{z_1}$  – момент сопротивления.

Усилия  $P_{\text{расч max изг}}$  и  $P_{\text{расч max раст}}$  определяется по выражениям:

$$\begin{aligned}P_{\text{расч max изг}} &= \frac{F_{z_1} l}{2} ; \\ P_{\text{расч max раст}} &= \frac{F_{y_1} l}{2} .\end{aligned}$$

Стоит задача нахождения суммы составляющих всех сил на расчетный проводник в локальных осях координат  $Oy_1$  и  $Oz_1$ .

Предположим, что расчетной является фаза  $B$ . Рассмотрим вопрос определения составляющих сил на оси  $Oy_1$  и  $Oz_1$  на примере взаимодействия фаз  $A$  и  $B$  (рис. 1).

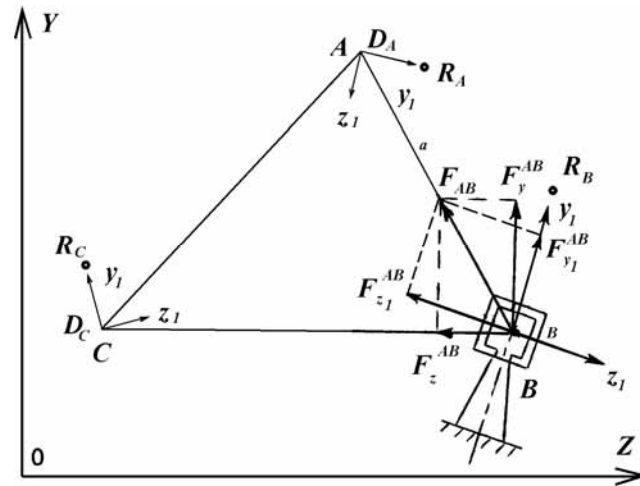


Рис. 1

Распределенная нагрузка определяется по выражению [3]:

$$F_{AB} = \frac{\alpha}{a} i_A i_B,$$

где  $\alpha = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$ .

Направление  $\vec{F}_{AB}$  зависит от величины токов  $i_A$  и  $i_B$ , которые определяются

$$\text{по } i_n = \left\{ \sin \left[ \omega t + \psi - \frac{2}{3}(n-1) \right] - \ell \frac{t}{T_a} \sin \left[ \psi - \frac{2}{3}(n-1) \right] \right\},$$

где  $n = 1, 2, 3$  (соответственно фазы  $A, B, C$ ).

Определяем составляющие  $\vec{F}_{AB}$  в глобальной системе координат  $Y0Z$ . Перевод вектора  $\vec{F}_{AB}$  в локальную систему координат  $y_1 0 z_1$  производится по выражению

$$\vec{F}_{AB}^{y_1 0 z_1} = V \vec{F}_{AB}^{Y0Z},$$

где  $V$  – матрица направляющих косинусов [6]:

$$V = \begin{vmatrix} v_{11} & v_{12} \\ v_{21} & v_{22} \end{vmatrix},$$

где  $v_{11}$  и  $v_{12}$  – проекции единичного вектора, находящегося на оси  $0y_1$ , на оси  $0Y$  и  $0Z$  [6].

Аналогично определяем проекции по оси  $0y_1$  и  $0z_1$  вектора  $\vec{F}_{AB}$  и складываем их с предыдущими найденными проекциями вектора  $\vec{F}_{AB}$ . Отметим, что если проекция по оси  $0y_1$  имеет отрицательный знак, то изолятор работает на сжатие и тогда выполнение условия не требуется.

Определение максимальных нагрузок на разрыв или на изгиб или максимального напряжения в материале проводника осуществляется путем последовательного

просчета от начального  $\psi_n$  до конечного  $\psi_k$  и выбирается соответствующее максимальное значение.

Разработанный метод расчета электродинамических усилий может быть использован в практике конструкторских работ по разработке шинных мостов и токопроводов с произвольным расположением изоляторов.

#### Литература

1. Правила устройства электроустановок. – Москва : Энергия, 1986.
2. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. – Введ. 1999-01-03.
3. Электрическая часть станций и подстанций / под ред. А. А. Васильева. – Москва : Энергия, 1980.
4. Долин, А. П. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой / А. П. Долин, Г. Ф. Шонгин. – Москва : Энергоатомиздат, 1988.
5. Кудрявцев, Е. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств / Е. П. Кудрявцев, А. П. Долин. – Москва : Энергия, 1981.
6. Прима, И. А. Электродинамическая стойкость жесткой ошиновки ГРУ-10 кВ с произвольным расположением шин и изоляторов в процессе КЗ / И. А. Прима, П. И. Климович // Третья Республиканская научковая конференция студэнтаў Рэспублікі Беларусь : тэзісы дакладаў : у 5 ч. / БДУ. – Ч. 5. – Минск, 1997. – С. 350–352.

### **ПРОГРАММА РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ**

**М. Г. Горячко, В. А. Устимович**

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель Н. Н. Бобко

В сети переменного тока напряжением до 1 кВ необходимо выполнять расчет токов короткого замыкания (КЗ) для следующих целей: для выбора электрооборудования по условиям КЗ; для выбора уставок защитной аппаратуры сети, проверки ее чувствительности и селективности.

Целью разработки программы ТКZdo1kV являлось повышение точности и скорости расчетов токов КЗ. Программа внедрена на предприятиях ГПО «БЕЛЭНЕРГО». Программа разработана для операционной среды Windows XP Professional с SP2 и выше, для формирования выходных данных необходимо использовать пакет Microsoft Office 2002 и выше. Программа разработана в соответствии с требованиями ГОСТ 38349-93.

Формирование расчетной схемы энергосистемы в графической форме и задание параметров ее элементов выполняется оператором на экране дисплея (рис. 1). При вводе элементов программой составляется схема замещения.

При наличии в схеме одного АД ток КЗ на выводах этого АД можно рассчитывать как сумму токов КЗ, поступающих от двух источников: системы и АД.

Однако при наличии в схеме нескольких АД на одной шинной сборке или при наличии нескольких сборок с АД схема электроснабжения значительно усложняется. Методы ручного расчета токов КЗ в таких схемах замещения становятся громоздкими, особенно при необходимости расчета тока КЗ не только в узле КЗ, но и в ветвях схемы, как это требуется при учете термического действия тока КЗ в кабельных линиях.