

УДК 621.316.35

## Компьютерная программа расчета электродинамической стойкости шинных конструкций комплектных распределительных устройств

Потащиц Я.В.

Научные руководители – ДЕРЮГИНА Е.А., КЛИМКОВИЧ П.И.

Составной частью проектных и конструкторских работ для комплектного распределительного устройства (КРУ) 10 кВ является обеспечение электродинамической стойкости их шинных конструкций при токах короткого замыкания (КЗ). Токоведущие части современных КРУ имеют нестандартную конструкцию – шины расположены в вершинах произвольного треугольника, для которого в ГОСТ 30323-95 [1] отсутствуют расчетные фазы включения тока и соответственно коэффициенты расположения. При расчете указанной шинной конструкции на электродинамическую стойкость необходимо знать не только максимальные значения проекций электродинамических усилий (ЭДУ) или их равнодействующих, но и максимальные напряжения в материале шин, вызванные воздействием ЭДУ. Условия максимума для напряжения в материале шин прямоугольной формы не совпадают с условиями максимума ни для проекции ЭДУ ни для равнодействующих, так как напряжение в материале шин зависит еще и от соотношения моментов сопротивления поперечного сечения шины относительно ее главных осей инерции. При косом изгибе шин прямоугольного сечения всегда имеются точки, в которых силы разных знаков вызывают напряжения одного знака.

В пакетной шине КРУ на взаимодействие проводников фаз накладывается взаимодействие шин внутри пакета

$$|\sigma_{\Sigma}| = |\sigma_{\phi}| + |\sigma_{эл}|, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\Sigma}$  – суммарное напряжение в материале шин;

$\sigma_{\phi}$  – напряжение, вызванное взаимодействием фаз;

$\sigma_{эл}$  – напряжение, вызванное взаимодействием элементов пакета.

При практических расчетах выражение (1) не исследуется на максимум, то есть не учитывается фазовый сдвиг  $\sigma_{\phi}$  и  $\sigma_{эл}$ , что приводит к завышенным результатам.

В шинной конструкции, фазы которых расположены по вершинам треугольника, ЭДУ изменяют во времени свое направление в пространстве, оставаясь перпендикулярными осям шин. Для их расчета могут быть использованы как явные, так и численные методы расчета.

Для сборных шин распределительного устройства, расположенных параллельно друг другу в вершинах произвольного треугольника, пригоден метод расчета ЭДУ в системе параллельных бесконечно длинных и тонких проводников.

В отличие от случая параллельных проводников, лежащих в одной плоскости, при их пространственном расположении ЭДУ изменяются во времени как по величине, так и направлению и составляющие ЭДУ складываются геометрически. Изоляторы при этом подвергаются различным видам деформации – растяжению, сжатию и изгибу. Поскольку прочность изоляторов для различных видов деформации неодинаковая, то при расчете недостаточно определить максимум ЭДУ, а необходимо знать и его направление. При их определении используются формулы вычисления ЭДУ для двух параллельных проводников, которые затем суммируются геометрически в соответствии со схемой расположения проводников фаз (рисунок 1). Основная глобальная система координат, характеризующая взаимное положение изоляторов и шин, располагается в точке крепления изоляторов, а положение шин задается другой системой координат,

повернутой относительно основной на соответствующие углы, при которых одна из осей параллельна шинам, а другая – перпендикулярна к ним.

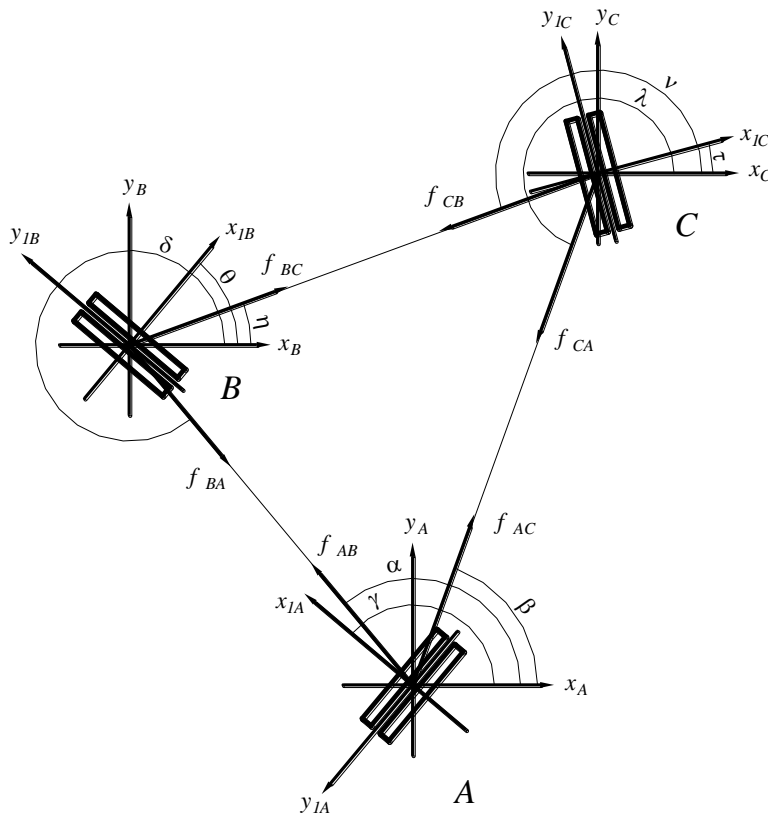


Рис. 1

С учетом выражений для токов КЗ выражение для определения касательных и нормальных к шинам электродинамических усилий для фазы А (рисунок 1) имеет вид:

$$f_{AX_1} = 2 \cdot 10^{-7} I_m^2 \left[ \sin(\omega t + \psi) - e^{-\beta} \sin \psi \right] \times \\ \times \left\{ \frac{\cos(\alpha - \gamma)}{d_{AB}} \left[ \sin\left(\omega t + \psi - \frac{2}{3} \pi\right) - e^{-\beta} \sin\left(\psi - \frac{2}{3} \pi\right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{\cos(\beta - \gamma)}{d_{AC}} \left[ \sin\left(\omega t + \psi + \frac{2}{3} \pi\right) - e^{-\beta} \sin\left(\psi + \frac{2}{3} \pi\right) \right] \right\},$$

где  $I_m$  – амплитуда периодической составляющей тока КЗ;

$\omega$  – угловая частота вращения вектора переменного напряжения;

$\psi$  – фаза включения тока КЗ;

$\beta = \frac{1}{T_a}$  – показатель затухания аperiodической составляющей тока КЗ;

$d_{AB}$  и  $d_{AC}$  – междуфазные расстояния.

Для выбора расчетных условий КЗ выражения для ЭДУ исследуются на максимум. Определение максимальных ЭДУ, а также соответствующих им текущего времени и угла включения КЗ, для расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки с расположением шин в вершинах произвольного треугольника выполняется методом циклической прогонки по расчетному времени процесса КЗ и фазе включения

КЗ. На каждом шаге вычисления производим выбор максимальных значений, а также фиксирование соответствующих им времени и угла включения КЗ.

На основании представленного явного метода расчета электродинамических усилий шинных конструкций, расположенных в вершинах произвольного треугольника, составлена компьютерная программа (КП). Блок-схема КП представлена на рисунке 2. Программа позволяет рассчитать электродинамические усилия при трехфазном КЗ между жесткими токоведущими частями.

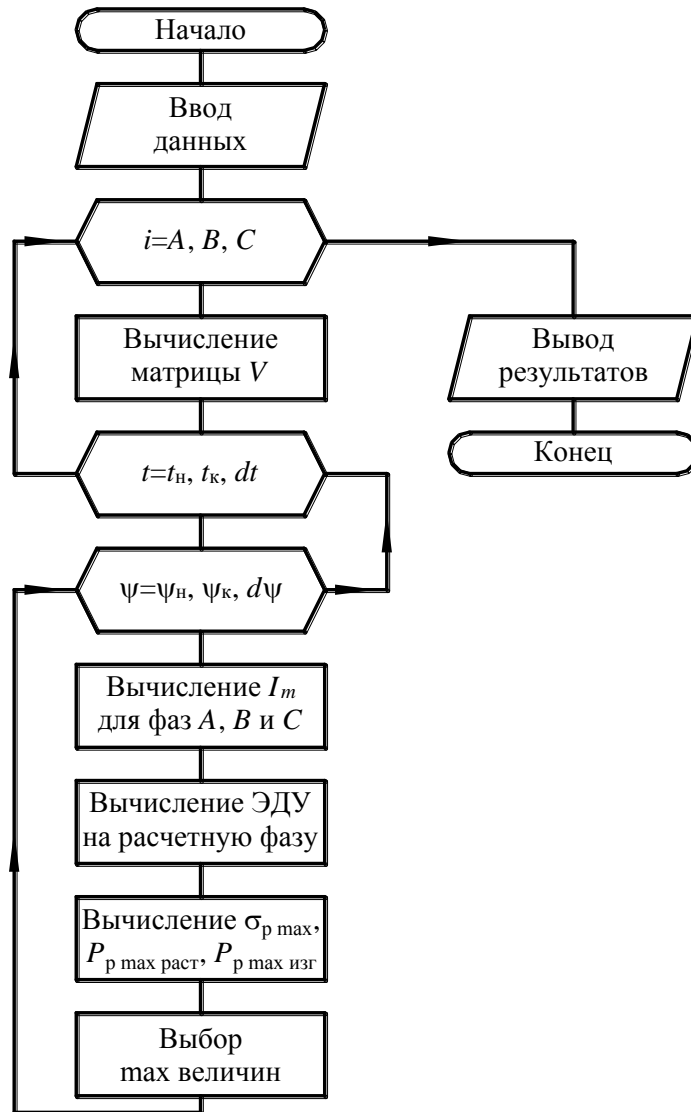


Рис. 2.

Задание геометрии ошиновки может быть осуществлено как вводом координат центров шин и точек ориентации их пространственного расположения, так и клавишами-движками клавиатуры. Рассматривая случай металлического трехфазного короткого замыкания, производится вычисление электродинамических усилий на все фазы ошиновки с построением векторов усилий. В КП учет ферромагнитных масс не производится. При циклическом просчете от начального до конечного углов включения выстраивается огибающий годограф векторов электродинамических усилий. Для наглядности и отображения динамики процесса построение векторов сопровождается демонстрацией изменения уровней фазных токов короткого замыкания (рисунок 3).

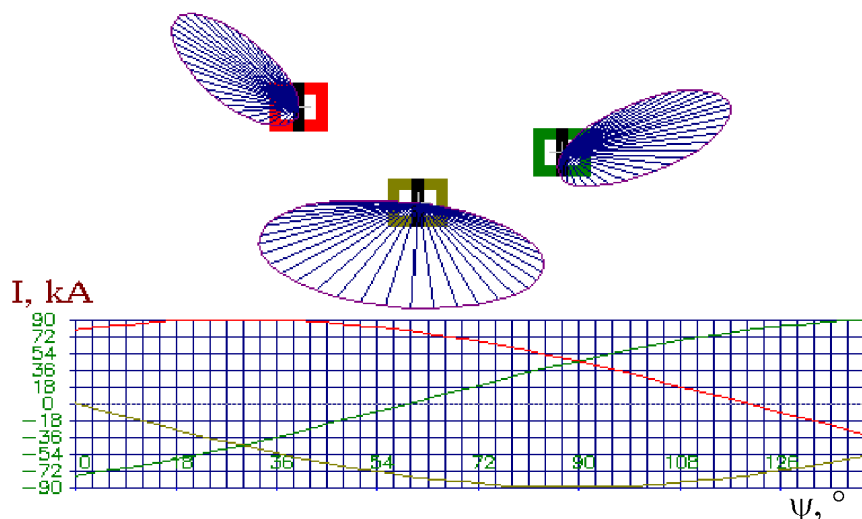


Рис. 3. Построение векторов электродинамических усилий

Разработанный явный метод и КП расчета электродинамических усилий могут быть использованы в практике конструкторских работ по разработке шинных конструкций с произвольным расположением шин и изоляторов.

#### Литература

1. ГОСТ 30323–95. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. Введен в действие с 01.03.1999. – 57 с.
2. Стрелюк М.И. Электродинамические усилия в токоведущих конструкциях электрических станций и подстанций / Диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. (05.14.02 Электрические станции (электрическая часть), сети и системы и управление ими). – Минск, 1984. – 409 с.
3. Кудрявцев Е.П., Долин А.П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. – М.: Энергия, 1981. – 96 с.