

РАСЧЕТ СБЛИЖЕНИЯ ПРОВОДОВ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ

Гибкие провода распределительных устройств (РУ) необходимо проверять на схлестывание или опасное в отношении пробоя сближение фаз в результате динамического действия тока короткого замыкания (КЗ). Согласно ПУЭ-76 (IV-2-56), эту проверку следует производить при токах КЗ 20 кА и более. Существующие уровни токов КЗ уже превысили указанное значение, поэтому проверка гибких проводов РУ на схлестывание при больших токах КЗ является актуальной задачей.

На кафедре "Электрические станции" БПИ разработан комплекс программ расчета на ЭВМ электродинамической стойкости гибкой ошиновки РУ, позволяющий определить изменение горизонтальных и вертикальных отклонений проводов во времени, динамику усилий в проводах и на опорные конструкции при КЗ [1, 2]. Дифференциальные уравнения, описывающие динамику проводов, решаются численным методом, что требует больших затрат машинного времени.

В данной статье предлагается алгоритм приближенного расчета наименьшего расстояния между проводами, а также между проводами и заземленными конструкциями в момент их наибольшего сближения под действием больших токов КЗ. Алгоритм основан на представлении проводов гибкой нитью, при этом допускается, что провода при их максимальном сближении располагаются по ломаной линии (рис. 1), длина которой равна длине провода:

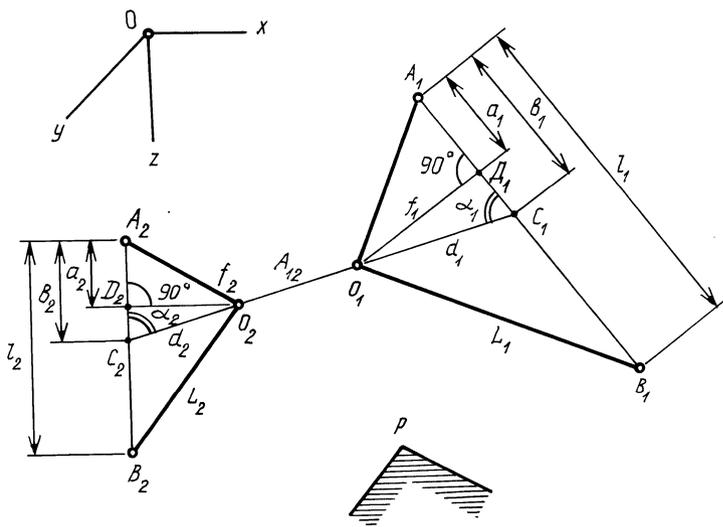


Рис. 1. Расчетная схема для определения наименьшего расстояния между проводами при их наибольшем сближении.

$$L_i = \sqrt{a_i^2 + f_i^2} + \sqrt{(l_i - a_i)^2 + f_i^2}, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

где L_i — длина i -го провода; f_i — отклонение i -го провода на расстояние a_i от точки его крепления A_i ; l_i — расстояние между точками крепления i -го провода (длина пролета):

$$l_i = |\mathbf{R}_{Ai} - \mathbf{R}_{Bi}|, \quad (2)$$

где \mathbf{R}_{Ai} , \mathbf{R}_{Bi} — радиус-векторы, описывающие положение точек крепления i -го провода относительно системы координат x, y, z .

Наименьшее расстояние между проводами A_{12} (рис. 1) лежит на отрезке прямой $[C_1, C_2]$, точки C_1 и C_2 которого принадлежат соответственно отрезкам $[A_1, B_1]$ и $[A_2, B_2]$. Задача отыскания наименьшего расстояния сводится к нахождению расстояний b_1 и b_2 , определяющих положение точек C_1 и C_2 по отношению к точкам A_1 и A_2 : $A_{12} = |\mathbf{R}_{C1} - \mathbf{R}_{C2}| - d_1 - d_2$. Здесь \mathbf{R}_{Ci} — радиус-вектор, описывающий положение точек в системе координат x, y, z .

$$\mathbf{R}_{Ci} = \mathbf{R}_{Ai} + b_i/l_i(\mathbf{R}_{Bi} - \mathbf{R}_{Ai}), \quad i = 1, 2,$$

где d_1, d_2 — расстояния, определяемые в результате совместного решения уравнения (1) и системы уравнений на основании рис. 1:

$$\begin{cases} d_i \cos a_i = b_i - a_i; & i = 1, 2; \\ d_i \sin a_i = f_i; \\ \cos a_i = \frac{(\mathbf{R}_{Bi} - \mathbf{R}_{Ai}) \cdot (\mathbf{R}_{C1} - \mathbf{R}_{C2})}{l_i |\mathbf{R}_{C1} - \mathbf{R}_{C2}|} \cdot (-1)^i. \end{cases}$$

Расстояние между проводами $A_{12} = f(b_1, b_2)$ является целевой функцией двух переменных b_1, b_2 . Наименьшее расстояние находим методом проб, отыскивая границы интервала оптимума методом половинного деления. На рис. 2 показана блок-схема алгоритма нахождения этого расстояния. Исходными данными (блок 1) являются координаты точек крепления проводов A_i и B_i , их длина L_i , точность расчета ϵ . В соответствии с заданными координатами точек крепления по формуле (2) определяется длина каждого пролета (блок 2). Длина провода L_i не может быть меньше длины пролета l_i . Если условие $L_i > l_i$ не выполняется, производится увеличение длины провода, печатается сообщение о ее корректировке.

С помощью параметров n_1, n_2 осуществляется вычисление функции $A_{12} = f(b_1, b_2)$ для конкретных значений переменных $b_i = \varphi_i(n_i)$, $i = 1, 2$ (блок 6). Затем из матрицы расстояний A_{12} размерностью $n_{1\max} \times n_{2\max}$ выбирается наименьшее расстояние $A_{12\min}$, а также соответствующий ему параметр $n_{i\min}$, определяются границы изменения переменных b_i (блок 10). За одну итерацию (блоки 4–11) диапазон изменения переменных b_i сужается вдвое. Количество итераций по методу половинного деления определяется исходя из заданной точности ϵ :

$$k_{\max} = -\ln \epsilon / \ln 2 + 1.$$

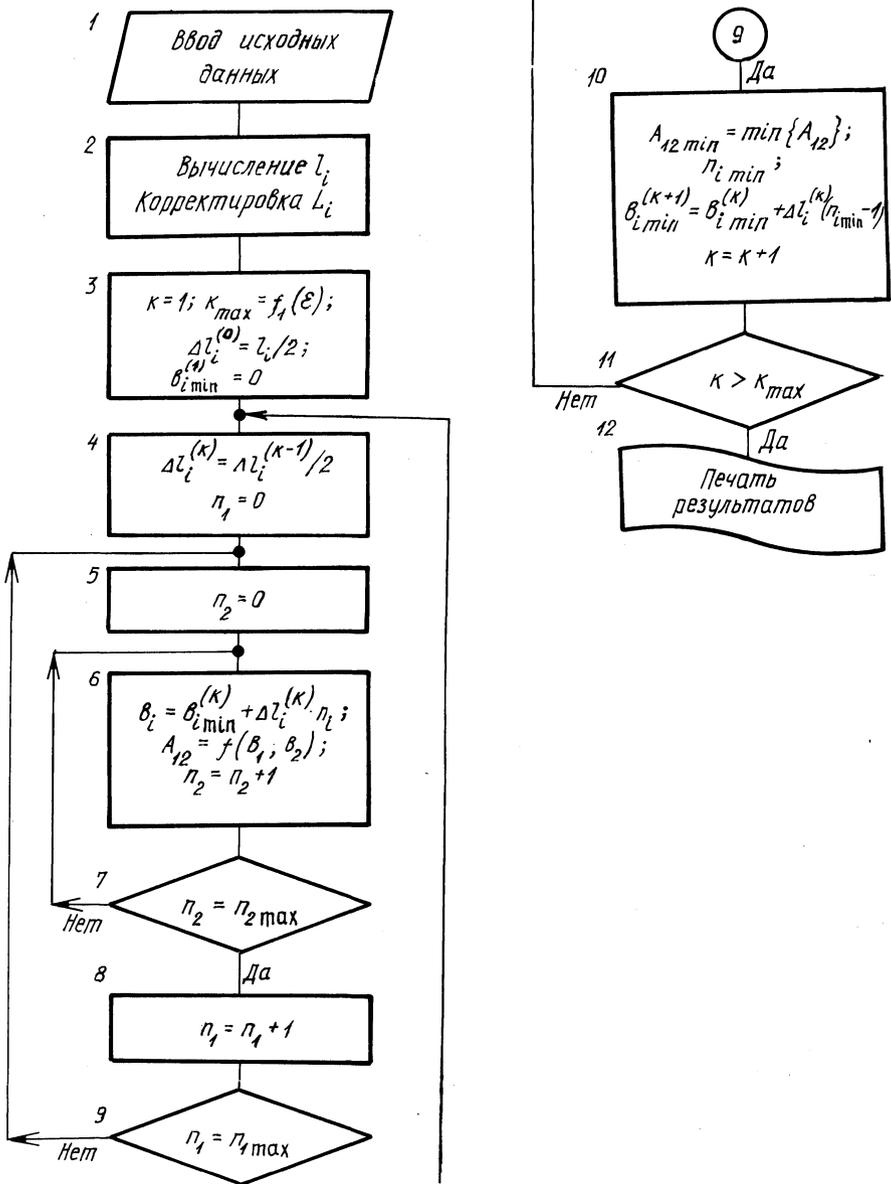


Рис. 2. Блок-схема алгоритма сближения проводов при КЗ.

Второй не менее важной задачей является проверка на приближение проводов к заземленным конструкциям РУ. Рассмотрим приближение i -го провода к заземленной точке P (рис. 1).

Преобразуем систему координат x, y, z таким образом, чтобы i -й провод и точка P лежали в одной плоскости [3], а начало отсчета O' новой системы координат x', y', z' совпадало бы с точкой $A'_i(0; 0; 0)$. Тогда координаты точек в этой системе равны $B'_i(l_i; 0; 0)$, $O'_i(a_i; f_i; 0)$, $P'(c_i; h_i; 0)$, где a_i, f_i связаны выражением (1). Здесь $c_i = \pm \sqrt{|R_P - R_{A_i}|^2 - h_i^2}$; $h_i = 1/l_i |(R_{B_i} - R_{A_i})(R_P - R_{A_i})|$, R_P — радиус-вектор, описывающий положение точки P в системе координат x, y, z .

Схлестывания между i -м проводом и точкой P не наступает при условии

$$|R_{A_i} - R_P| + |R_{B_i} - R_P| > L_i.$$

В этом случае расстояние между рассматриваемыми объектами $A_{P_i} = |R_P - R_{O'_i}|$, где $R_{O'_i}, R_P$ — радиус-векторы, описывающие положение точек O'_i и P' в системе координат x', y', z' .

Взяв производную dA_{P_i}/da_i и приравняв ее нулю, получим трансцендентное уравнение

$$a_i = l_i/2 - \frac{l_i/2 - c_i}{(l_i/L_i)^2 + \frac{2h_i\sqrt{L_i^2 - l_i^2}}{L_i\sqrt{L_i^2 - (l_i - 2a_i)^2}}}$$

Решение этого уравнения методом простой итерации позволяет найти наименьшее расстояние $A_{P_{i\min}}$ между заземленной точкой P и i -м проводом при его максимальном приближении.

Изложенный алгоритм проверки сближения проводов между собой и заземленными конструкциями реализован на алгоритмическом языке Фортран для ЭВМ единой серии. Время расчета одного варианта исходных данных составляет всего несколько секунд. Результаты расчета по разработанной программе сравнивались с результатами, полученными по программам расчета электродинамической стойкости гибкой ошиновки РУ [1]. Было установлено, что погрешность приближенного алгоритма пропорциональна стреле провеса провода f . Абсолютная погрешность в определении минимальных расстояний при сближении проводов не превышает $0,3f$, а при проверке на приближение провода к заземленным конструкциям — $0,15f$. Характерно, что эта погрешность всегда отрицательная (расчет ведется с "запасом"). При расчете сближения отпаек необходимо учитывать подвижность точек их крепления к шинам (эту податливость добавляют к длинам отпаек). Результаты расчета получаются с малой погрешностью при небольшой подвижности точек крепления, т. е. для шинных пролетов небольшой длины.

Таким образом, разработанная программа может быть использована в проектной практике для приближенного расчета сближения проводов пролетов, длина которых не превышает 10–15 м.

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И. Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки открытых распределительных устройств высокого напряжения // Электричество. — 1984. — № 1. — С. 10–14. 2. Стрелюк М.И., Сергей И.И., Бладыко Ю.В. Расчет электродинамических воздействий гибкой ошиновки ОРУ на элементы и опорные конструкции электрических аппаратов // Изв. вузов СССР. Энергетика. — 1983. — № 11. — С. 36–40. 3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М., 1984. — 832 с.

УДК 621.181.6(088.8)

В.И.ЛИТВИНЕЦ, канд.техн.наук,
К.Э.КАЩЕЕВА (БПИ)

К ВОПРОСУ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУППЫ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ

Надежность работы отопительных районных котельных (РК) в значительной степени зависит от уровня автоматизации и контроля состояния водогрейных котлов в переходных режимах, от согласования управляющих воздействий при перераспределении нагрузки между агрегатами в результате изменения теплопотребления в тепловых сетях. В связи с тем что водогрейные котлы (например, ПТВМ) имеют схему циркуляции без перемешивания среды, надежность работы поверхностей нагрева определяется равномерностью распределения воды по трубам и их обогрева. Это может быть обеспечено при максимальном расходе воды через котел и значительном запасе по температуре насыщения при всех включенных горелках.

Для снижения скорости низкотемпературной сернокислой коррозии при сжигании мазута рекомендуется [1] температуру воды перед котлом поддерживать не ниже заданной уставки ($\approx 104^\circ\text{C}$). В зависимости от наличия подогревателей или от варианта включения поверхностей нагрева котла (двух- или четырехходового) необходимо использовать имеющиеся контуры рециркуляции или же работать с пониженной теплопроизводительностью. Поддержание постоянной температуры воды на входе в котлы немаловажно и при сжигании газа ($t_{\text{вх}} = 60\text{--}70^\circ\text{C}$).

Поддержание технологического режима группы водогрейных котлов усложняется из-за перераспределения потока воды по агрегатам с изменением нагрузки. При этом гидравлический режим группы параллельно включенных котлов постоянно нарушается во время работы регулятора температуры прямой сетевой воды, воздействующего на клапан расхода воды в перемычке помимо котлов. Следует отметить, что изменение температуры прямого потока воды имеет сложный характер, так как первоначальное отклонение температуры в результате воздействия на клапан перемычки помимо котлов частично (или полностью) компенсируется изменением температуры воды на выходе котлов из-за перераспределения потоков (рис. 1, а). Нарушение гидравлического режима котельной обусловлено взаимосвязью контуров рециркуляции и перепуска обратного потока воды помимо котлов, а также различным гидравлическим сопротивлением агрегатов относительно магистральных трубопроводов к потребителям тепла.