

$$i' = \arg i + j |i|. \quad (16)$$

Рис. 3. иллюстрирует преобразованные характеристики.

В ы в о д ы

Относительная величина областей срабатывания и несрабатывания наглядно качественно характеризуют селективность и чувствительность дифференциальных защит.

Графо-аналитические характеристики описанного вида могут быть основой для графических построений, выявляющих количественные показатели дифференциальных защит: чувствительность, допустимые погрешности, допустимое неравенство токов [3], ток небаланса и т.д.

Предлагаемые характеристики с достаточной полнотой описывают поведение защиты в рамках принятых допущений и вне зависимости от ее конструктивного исполнения.

Характеристики в описанной форме могут быть получены непосредственно экспериментально в функции первичных токов или любых пропорциональных вторичных величин.

Предложенные характеристики могут служить основой для оценки, сопоставления и классификации дифференциальных защит.

Л и т е р а т у р а

1. Атабеков Т.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.—Л., 1957. 2. Федосеев А.М. Основы релейной защиты. М.—Л., 1961. 3. Соколик Л.И. О характеристиках дифференциально-фазной защиты. — "Изв. вузов. СССР. Энергетика", 1968, № 10.

Э.А. Скварко, В.С. Валуев, Н.С. Микулович

РАСЧЕТ НА ЭЦВМ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ТРЕХФАЗНЫХ КОРОБЧАТЫХ ТОКОПРОВОДАХ ПРИ ПРОИЗВОЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ ШИН

В современных электроустановках с рабочими токами 10 кА и выше широкое применение получили пакетные коробчатые токопроводы различного сечения и взаимного расположения фаз. Переменный ток в таких токопроводах распределяется по сечению шины неравномерно вследствие поверхностного эффекта и

эффекта близости. Учет действительного распределения тока по отдельным сечениям пакетов приобретает особое значение при расчете токопроводов на механическую прочность в условиях все возрастающих электродинамических усилий. Аналитический расчет коэффициентов, влияющих на распределение тока, чрезвычайно громоздкий, так как они являются сложной функцией геометрии проводников и расстояния между ними. Расчет усложняется еще разнообразием конструктивного выполнения токопроводов и многовариантностью расположения шин.

Предложенные методы расчета распределения тока на ЭЦВМ [1, 2] пригодны для конкретного расположения шин, а [3] обладает медленной сходимостью итерации и требует много машинного времени. Метод [4], основанный на решении уравнений электромагнитного поля, является наиболее общим, однако ввиду громоздкости представляет лишь теоретический интерес.

При расчете токораспределения на ЭЦВМ любым методом сечение проводника разбивается на ряд элементов, с увеличением числа которых, с одной стороны, повышается точность, а с другой – возрастает порядок системы уравнений, а следовательно, и расчетное время. Поэтому в зависимости от назначения расчета сечение шины следует разбивать на оптимальное число элементов. Так, например, для расчета коэффициента поверхностного эффекта сечение шины целесообразно разбить на большее число элементов, а для определения электродинамических усилий и механической прочности достаточно найти, как распределяется ток между полками и стойками швеллеров составного пакета.

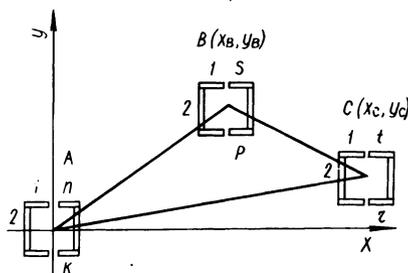


Рис. 1.

В данной работе рассматривается рациональный метод расчета распределения тока по сечению коробчатого токопровода при произвольном пространственном расположении проводников применительно к определению электродинамических усилий.

Рассмотрим токопровод из двух швеллеров с расположением шин согласно рис. 1.

Каждый швеллер разделим на три прямоугольных элемента — две полки и стойку.

Пакет рассматриваем как систему шести контуров с токами \dot{I}_k , сосредоточенными на осях прямоугольников.

Составим уравнения для расчета распределения тока исходя из условия, что токи в фазах симметричны

$$\dot{I}_A = \dot{I}_B e^{j120} = I_C e^{-j120}$$

и имеет место равенство падений напряжения на единицу длины каждой части пакета как по величине, так и по фазе [1]. В общем случае для каждого элемента можно написать выражение для падения напряжения на единицу его длины. Для К-го сечения фазы А

$$\Delta \dot{U}_{KA} = \dot{I}_{KA} (j\omega L + R_K) + j\omega \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \dot{I}_{mA} M_{mA-KA} + \quad (1)$$

где R_K — активное сопротивление единицы длины данного элемента.

$$+ j\omega \sum_{p=1}^s \dot{I}_{pB} M_{pB-KA} + j\omega \sum_{r=1}^t \dot{I}_{rC} M_{rC-KA},$$

$$R_K = \frac{\rho_a}{S_K}; \quad \rho_a - \text{удельное активное сопротивление ма-}$$

териала шины; S_K — площадь поперечного сечения К-го прямоугольника; L — коэффициент самоиндукции; M — коэффициент взаимоиנדукции; ω — угловая частота; $\dot{I}_{KA}, \dot{I}_{pB}, \dot{I}_{rC}$ — комплексы токов в элементах, соответствующих индексам.

Коэффициенты самоиндукции и взаимоиנדукции определяются так [5]:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{g_0} - 1 \right); \quad M = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{g_{1-j}} - 1 \right),$$

где g_{i-j} — среднегеометрическое расстояние (с.г.р.) между поперечными сечениями элементов, соответствующих индексам; g_0 — с.г.р. элемента от самого себя; l — длина шины; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Логарифмы с.г.р. между площадями элементов пакета и площади самой от себя (рис. 1) определяются по формулам [5].

Для каждой фазы можно написать n равенств вида (1) по числу элементов, на которое разбито сечение пакета. Ввиду того что

$$\Delta \dot{U}_{1A} = \Delta \dot{U}_{2A} = \dots = \Delta \dot{U}_{kA} = \dots = \Delta \dot{U}_{nA},$$

можно написать для каждой фазы $n - 1$ уравнений вида

$$\Delta \dot{U}_{kA} = \Delta U_{nA}. \quad (2)$$

Для определения токов в элементах пакета необходимо к уравнениям (2) добавить уравнения, составленные на основании закона Кирхгофа.

$$\begin{cases} \dot{i}_{1A} + \dot{i}_{2A} + \dots + \dot{i}_{kA} + \dots + \dot{i}_{nA} = \dot{i}_A; \\ \dot{i}_{1B} + \dot{i}_{2B} + \dots + \dot{i}_{pB} + \dots + \dot{i}_{sB} = \dot{i}_B; \\ \dot{i}_{1C} + \dot{i}_{2C} + \dots + \dot{i}_{rC} + \dots + \dot{i}_{tC} = \dot{i}_C. \end{cases} \quad (3)$$

Разделив уравнения (2) и (3) на равенство действительных и мнимых частей, получаем систему из $6n$ уравнений для определения тока в каждой части пакета. В данном случае необходимо решать систему уравнений 36-го порядка.

Решение системы уравнения реализуется на ЭЦВМ "Минск-22" по стандартной программе с использованием метода Гауса с выбором главного элемента. Составляющие токов в элементах пакета вычисляются в долях от общего тока фазы, условно принятом за единицу.

Программа расчета токораспределения составлена в автокоде "Инженер". Блок-схема программы приведена на рис. 2.

Исходными данными для расчета являются: координаты центров пакетов, удельное активное сопротивление материала и основные размеры профилей.

Блок 2 организует счетчик по количеству профилей, 3 - в цикле вычисляет координаты центров прямоугольников во всех фазах, 4 - формирует массив признаков для полок и стоек, 5 - организует счетчик диагонального элемента матрицы. Логические блоки 6, 8, 9, 13, 16, 17, 18, 21 и 24 по координатам центров шин, отдельных элементов и их площадям определяют взаимное расположение шин и элементов относительно друг друга. Блоки 10, 12, 14, 15, 19, 20, 22, 23, 25 и 27 осуществ-

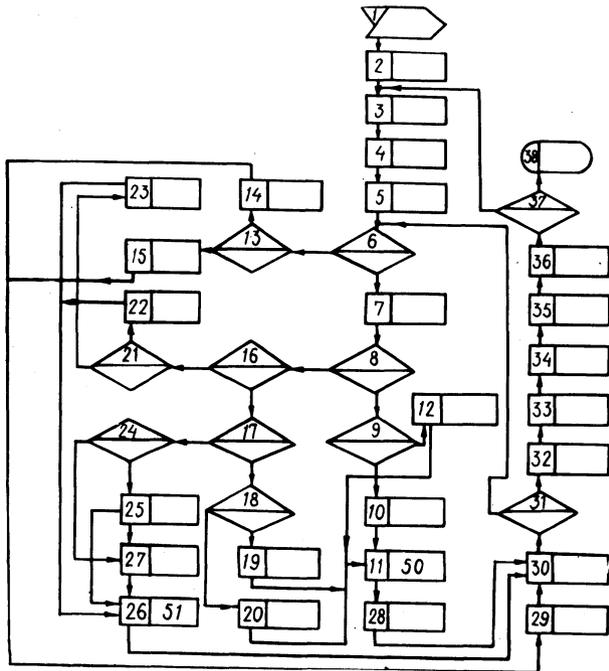


Рис. 2.

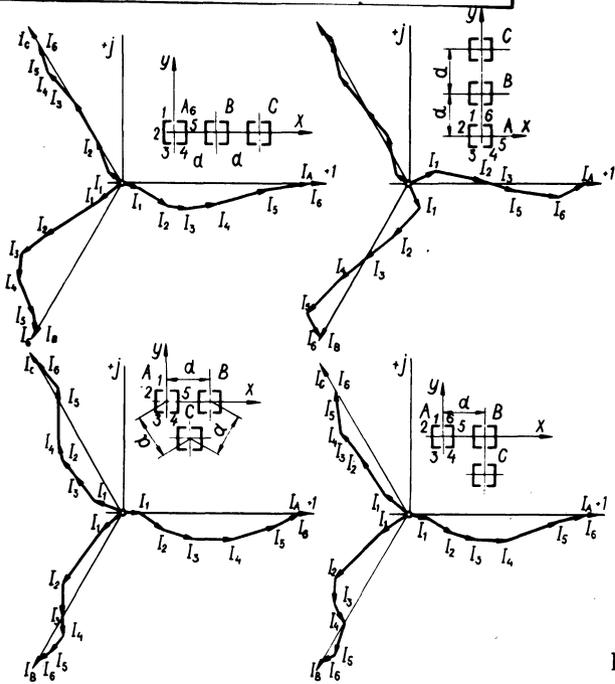


Рис. 3.

ляют засылку размеров в соответствующие подпрограммы вычисления логарифмов с.г.р. (11, 26 или 29). Блок 28 формирует треугольную матрицу логарифмов с.г.р., 30 - преобразовывает треугольную матрицу в квадратную, 32 - производит очистку матриц правых и левых частей, вычисляет активные сопротивления элементов и засылает их в соответствующие места матрицы, 33 - составляет квадратную матрицу коэффициентов левых частей системы уравнений, а 34 - столбцовую матрицу правых частей. Блок 35 - осуществляет решение системы уравнений.

Результаты счета выводятся на печать в виде таблицы.

Результаты расчета сверены с измерениями распределения тока в пакетах из алюминиевых шин корытного профиля размером $2(100 \times 45 \times 6)$ мм² при токах 4000 А и различных вариантах расположения фаз. Измерения проводились с помощью магнитного пояса компенсационным методом. На рис. 3 приведены векторные диаграммы токов, построенные по результатам вычислений при различных расположениях шин.

Л и т е р а т у р а

1. Стрелюк М.И., Скварко Э.А. Расчет токораспределения в шинах пакетных токопроводов с помощью ЭЦВМ. - "Изв. вузов. Энергетика", 1971, №5. 2. Загоровский Е.Н., Скварко Э.А. Распределение токов в однофазном токопроводе на ЭЦВМ "Минск-22". - "Изв. вузов. Энергетика", 1974, №4. 3. Гозони О.В., Колерова Т.Я. Многофазные промышленные токопроводы. Киев, 1966. 4. Чальян К.М. Распределение переменного тока по сечениям параллельных токопроводов с учетом эффекта близости. Rev Roum. "Techn-Electrotechn. et Energ.", t. 12 no 2, 243 Bucarest, 1967. 5. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Л., 1970.

Н.Д. Решетникова

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНОЙ СХЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БУЛЕВОЙ ПРОИЗВОДНОЙ

В задачах диагностики релейных устройств для получения диагностических тестов применяется [1] математический аппарат, называемый булевым дифференцированием [2]. Частная производная функции выхода по аргументу x_i представляет