

Т Р У Д Ы

М Э И

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

662



с привлечением готовых форм стандартных панелей и графического меню конструкторов элементов схемы размещают элементы на панелях (при этом ПЭВМ "помнит" схему соединения зажимов). Данная исходная информация обеспечивает в автоматизированном режиме получение остальной проектной документации. Структуры всех документов проекта четко взаимосвязаны между собой и хранятся в базе данных проекта, при необходимости легко проводить корректировку. Так, например, изменение какого-либо элемента принципиальной схемы приведет автоматически к соответствующей корректировке всех документов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Крами Р. Системы управления базами данных dBASE II и dBASE III для персональных компьютеров. М.: Финансы и статистика, 1988.
2. Бернхаузер Т., Шлив П. Система автоматизированного проектирования AutoCAD: Справочник. М.: Радио и связь, 1989.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОФАЗНО-ЭКРАНИРОВАННЫХ ТОКОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ НА ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭВМ

Канд. техн. наук доц. А. П. ДОЛИН

Методика расчета пофазно-экранированных токопроводов на основе решения систем дифференциальных уравнений рассматривалась в [1,2] и других работах. Ниже излагается методика расчета электромагнитных полей, а также плотностей токов, падений напряжения и других параметров пофазно-экранированных токопроводов с проводниками кольцевого сечения в рабочих (установившихся) режимах, использующая интегральные уравнения Фредгольма второго рода. Решение этих уравнений проводилось методом коллокаций на персональных ЭВМ (ПЭВМ) типа IBM PC. Разработанные методика, алгоритм и программа экран предназначены для расчета пофазно-экранированных токопроводов с разомкнутыми (секционированными) оболочками, экранами, замкнутыми накоротко или через сопротивления (обычно дроссели), при аварийном (ошибочном) замыкании экранов в двух точках, а также токопроводов с общим экраном и без экранов при числе фаз (полуфаз) от 1 до 12 и произвольном расположении проводников.

Распределение плотностей токов по сечениям проводников (с относительной магнитной проницаемостью $\mu=1$) в установившемся квазистационарном режиме описывается интегральным уравнением (3,4)

$$\epsilon_n \rho_n - j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_{k=1}^N \int_{F_k} \epsilon_k \ln R_{k(nQ)} dF_k = U_{пр n}, \quad (n = 1, 2, \dots, N), \quad (I)$$

где n, k - номера проводников; N - число проводников токопровода (включая экраны); $\epsilon_n, \rho_n, U_{пр n}$ - плотность тока, удельное электрическое сопротивление и падение напряжения на единицу длины проводника; ω - частота тока; μ_0 - магнитная постоянная; $R_{k(nQ)}$ - расстояние между точкой Q проводника, в котором определяется плотность тока, и элементарной площадкой dF_k ; F_k - площадь поперечного сечения проводника с номером k . (Ниже черта под комплексными величинами для упрощения записи опущена). Систему (I) необходимо дополнить уравнениями, связывающими продольные токи проводников с плотностями токов, а для замкнутых экранов - узловыми уравнениями. Продольные токи в проводниках определяются зависимостью $I_n = \int_{F_n} \epsilon_n dF_n$, ($n=1, 2, \dots, N$). Падение напряжения

в цепи проводник-дроссель-контур заземления равно $U_n = U_{пр n} + U_{дн} + U_{з}$, где $U_{дн} = I_n z_{дн}$ и $U_{з} = I_n z_{з}$ - падения напряжения в дросселе и контуре заземления на единицу длины токопровода; $z_{дн} = r_{дн} + j\omega L_{дн}$ и $z_{з} = r_{з} + j\omega L_{з}$ - сопротивления дросселя и контура заземления на единицу длины; I_n - ток в земле. Продольные токи в шинах токопроводов I_n ($n = 1, 2, \dots, S$, где S - число шин) являются исходными (заданными) параметрами, а в оболочках токопроводов с общим экраном и в разомкнутых оболочках пофазно-экранированных токопроводов они равны нулю. Погонные U_n в цепях экранов этих токопроводов, а также шин всех типов токопроводов равны $U_{пр n}$. В пофазно-экранированных токопроводах с оболочками, замкнутыми накоротко или через дроссели, ток в земле не протекает ($I_з = 0, U_з = 0$) и, согласно законам Кирхгофа, $\sum_{n=S+1}^N I_n = 0, U_{n+1} = U_{n+2} = \dots = U_N$,

где $U_{n+w} = U_{пр n+w} + I_{n+w} z_{д n+w}$ ($w=1, 2, \dots, N-S$). Если экраны заземлены в

двух точках, то $\sum_{n=S+1}^N I_n = I_з, U_n = 0$. Плотность тока в проводниках можно

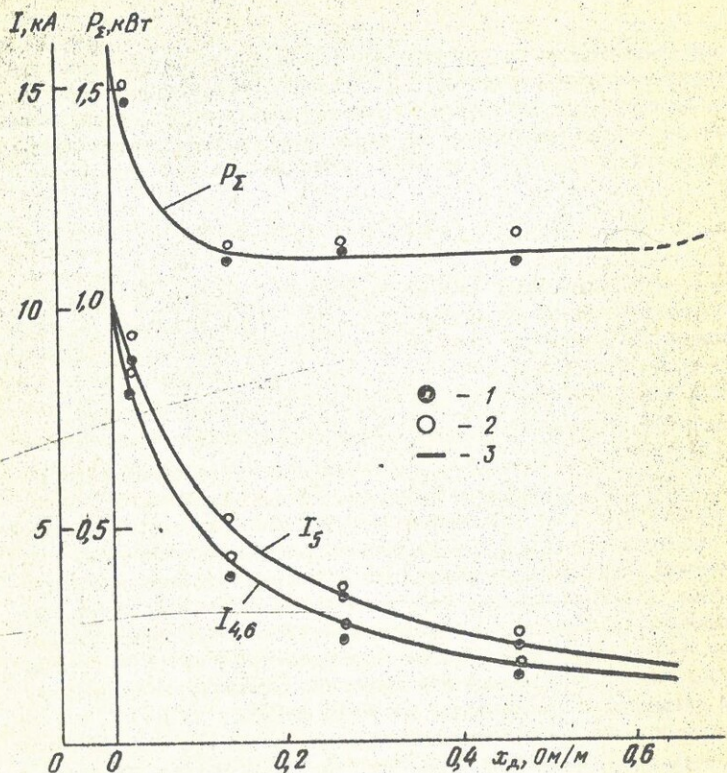
искать в виде рядов по гармоническим и цилиндрическим функциям с неоднородными коэффициентами. Если толщина стенки шины или экрана мала, целесообразно отказаться от учета неравномерности распределения тока по толщине проводника, что значительно упрощает решение задачи. В этом случае плотность тока можно представить в виде ряда Фурье

$$\epsilon_k = \frac{I}{h_k} \left[b_{k0} + \sum_{m=1}^{\infty} (a_{km} \sin m\varphi_k + b_{km} \cos m\varphi_k) \right], \quad (2)$$

где h_k - толщина стенки шины или экрана; φ_k - угловые координаты точек коллокаций k -го проводника. Потребуем, чтобы уравнения (I) удовлетворялись в конечном числе точек (точках коллокации). Подставляя (2) в (I), приходим к системе алгебраических уравнений относительно комплексных коэффициентов a_{km} и b_{km} и падений напряжений U_k . Эта система содержит $\sum_{k=1}^N (2M_k + 1)$ линейно независимых уравнений и соответствующее количество переменных (M_k - удерживаемое число членов ряда (2)). При решении системы алгебраических уравнений предпочтение отдано подпрограмме BESOMP (5) (реализованной с двойной точностью), основанной на Гауссовом исключении с частичным выбором ведущего элемента, которая также дает оценку обусловленности матрицы коэффициентов при неизвестных. Расчеты показали, что для всех рассматриваемых типов токопроводов с достаточной для инженерных задач точностью можно ограничиться тремя членами ряда (2). При этом время счета на 16м РС трехпроводных пофазно-экранированных токопроводов составляет не более 1 мин. Для симметричных токопроводов его можно сократить на 30-40%, так как плотности токов ϵ_k оказываются четными функциями φ_k , коэффициенты a_{km} ($k=1, \dots, N$) равными нулю и число линейно независимых переменных и точек коллокаций сокращается до $\sum_{k=1}^N (M_k + 1)$. Наконец, потери, Вт/м, в шинах или экранах токопроводов вычисляются по формуле

$$P_k = \int_{F_k} \epsilon_k^2 \rho_k dF_k = \frac{\pi R_k \rho_k}{h_k} \left[b_{k0}^2 + \sum_{m=1}^{M_k} (a_{km}^2 + b_{km}^2) \right].$$

На рисунке приведены расчетные и экспериментальные зависимости суммарных потерь P_{Σ} и продольных токов I экранов от сопротивлений дросселей $x_{д}$ в фазах А и с пофазно-экранированного токопровода ТЭН-300 при рабочем токе $I_p = 10$ кА. Испытания проводились в научно-ис-



Зависимости токов экранов и суммарных потерь от x_d :
 1, 2 - эксперимент (данные получены различными методами); 3 - расчет

следовательском центре по испытанию высоковольтной аппаратуры сотрудниками его и кафедры электрических станции МЭИ: Берберовым А.Э., Нечеевым Б.Н., Солодниковым Г.Н. и др. Погрешность расчета продольных токов составила не более 10%, а потеря - 7%, что близко к точности измерений (см. рисунок).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов И.Ф., Цицикян Г.Н. Электродинамические усилия в токоведущих частях электрических аппаратов. Л.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Чальян К.М. Методы расчета электромагнитных параметров токопроводов. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Тозони О.В. Расчет электрических полей на вычислительных машинах. Киев: Техніка, 1967.
4. Кудрявцев Е.П. Расчет джоулевых потерь в трехфазном экранированном токопроводе // Изв. вузов. Электромеханика. 1980. № 2. С. 115-119.
5. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулдер К. Машинные методы математических вычислений. М.: Мир, 1980.

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ТРАНСФОРМАТОРА БЛОКА
 В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГРЭС

Канд. техн. наук доц. В.Ф. МИНЕИН,
 канд. техн. наук доц. А.Н. ШКУРИН,
 инж. И.С. ТРЕГУБОВ

Можно выделить два метода ранней диагностики дефектов трансформаторов: частичных разрядов (ЧР) и анализ растворенных в масле газов (АРГ). Первый метод применяется с конца 50-х годов, в то время как второй стал внедряться в практику энергосистем с конца 70-х годов. Метод ЧР позволяет обнаружить дефекты в высоковольтной изоляции или пробой между какими-либо электродами (перекрытие изоляции шпильки, обрыв заземляющей шины магнитопровода и т.п.), а метод АРГ кроме этих дефектов выявляет также дефекты магнитопровода, контактных соединений в баке, местные перегревы обмоток и конструктивных элементов. Исследование ЧР в процессе эксплуатации трансформатора проводится при наличии внешних разрядов достаточно большой интенсивности. Чувствитель-