

нератора, работающего параллельно с системой через блочный трансформатор [3]. Генератор в данной модели описан полными уравнениями в осях α и β , жестко связанных со статором. В качестве метода исследования переходных режимов принято численное решение уравнений, связывающих между собой мгновенные значения электрических и магнитных параметров режима и конструктивные параметры элементов блока и внешней системы. Эта модель позволяет исследовать все виды повреждений на стороне высшего и низшего напряжений, а также асинхронный ход и режим самосинхронизации.

Полученные на первом этапе расчета коэффициенты контура вводились в программу расчета переходного режима. Рассматривался один период нормального режима и три периода трехфазного к.з. При шаге интегрирования 0,0002 с время расчета усилий и моментов на ЭЦВМ "Минск-32" составило 30 мин. На рис. 2 приведены ток фазы А и усилия, действующие на 17-й участок лобовой дуги первого витка фазы А генератора ТВВ-320-2 при трехфазном к.з. на его выводах.

Л и т е р а т у р а

1. Стрелюк М.И., Зарецкий Е.Ф. Расчет электродинамических усилий в системе произвольно расположенных прямолинейных проводников. — "Электричество", 1976, № 5. 2. Ручкий А.И., Стрелюк М.И., Губанович А.Г. Расчет электродинамических усилий в лобовых частях генераторов. — "Изв. ВУЗов СССР. Энергетика", 1976, № 6. 3. Новаш В.И., Абраменко В.М. Методика исследования с помощью ЦВМ электромагнитных переходных процессов в блоке "явнополюсный генератор с самовозбуждением — трансформатор" по полным уравнениям с учетом насыщения элементов блока. — Краткие тез. докл. к Всесоюз. научн.-техн. совещанию "Проблемы развития тяжелого электромашиностроения для энергетики". Л., 1975.

М.И. Стрелюк, Э.А. Скварко

КОЭФФИЦИЕНТ ФОРМЫ ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ШИН

В электромеханических расчетах пакетных токопроводов взаимное влияние проводников, входящих в пакет, учитывается коэффициентом формы (K_{ϕ}), который ввиду громоздкости ана-

литического выражения определяется по кривым Н.В. Dwight . Эти кривые построены для двух параллельных шин одинакового прямоугольного сечения. Определение k_{ϕ} для шин, отличающихся размерами и расположением, практически невозможно, так как аналитические выражения получаются настолько сложными, что они оказываются непригодными не только для расчетов, но и для построения соответствующих кривых. Данная задача может быть успешно решена численными методами с помощью ЭЦВМ.

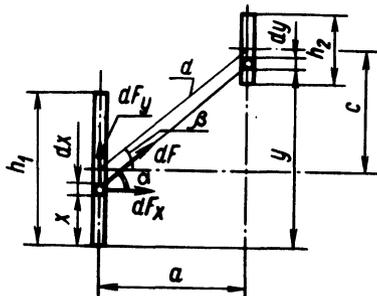


Рис. 1.

Сформулируем задачу для расположения шин, изображенного на рис. 1, используя методику [1]. Предположим, что по тонким, бесконечно длинным полосам h_1 и h_2 протекают токи i_1 и i_2 . В этих полосах выделим элементы dx и dy на расстояниях соответственно x и y от нижнего края первой полосы.

Исходя из равномерного распределения тока по высоте определим токи в этих элементах. Они будут равны:

$$i'_1 = \frac{i_1 dx}{h_1}; \quad i'_2 = \frac{i_2 dy}{h_2} \quad (1)$$

Горизонтальную и вертикальную составляющие усилия между рассматриваемыми элементами определим по закону Лапласа--Био--Савара:

$$d^2 F_x = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 \cdot i_2 \cos \alpha \, dx \, dy}{h_1 h_2 d};$$

$$d^2 F_y = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 \cdot i_2 \sin \alpha \, dx \, dy}{h_1 h_2 d} \quad (2)$$

Учитывая, что

$$d^2 = a^2 + (y-x)^2; \quad \cos \alpha = \frac{a}{d}; \quad \sin \alpha = \frac{y-x}{d}, \quad (3)$$

и интегрируя по высоте полос, получим суммарные усилия

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2 a}{h_1 h_2} = \int_0^{h_1} dx \int_{0,5(h_1-h_2)+c}^{0,5(h_1+h_2)+c} \frac{dy}{a^2 + (y-x)^2}; \\ F_y &= \frac{2 \cdot 10^{-7} i_1 i_2}{h_1 h_2} \int_0^{h_1} dx \int_{0,5(h_1-h_2)+c}^{0,5(h_1+h_2)+c} \frac{(y-x)dy}{d^2 + (y-x)^2} \end{aligned} \right\} (4)$$

Последние формулы можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} F_x &= 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \cos \beta}{d} k_{\Phi x}; \\ F_y &= 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \sin \beta}{d} k_{\Phi y}. \end{aligned} \quad (5)$$

Приравняв выражение для соответствующих составляющих из (4) и (5), получим формулы для определения коэффициента формы. После интегрирования будем иметь:

$$\begin{aligned} k_{\Phi x} &= \frac{a^2 + c^2}{h_1 h_2} \left\{ \frac{h_1 + h_2 - 2c}{2a} \operatorname{arctg} \frac{h_1 + h_2 - 2c}{2a} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{h_1 - h_2 - 2c}{2a} \operatorname{arctg} \frac{h_1 - h_2 + 2c}{2a} + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{h_1 + h_2 + 2c}{2a} \operatorname{arctg} \frac{h_1 + h_2 + 2c}{2a} - \\
 & - \frac{h_1 - h_2 + 2c}{2a} \operatorname{arctg} \frac{h_1 - h_2 + 2c}{2a} + \frac{1}{2} \ln \left[a^2 + \right. \\
 & \left. + \frac{(h_1 + h_2 + 2c)^2}{4} \right] - \frac{1}{2} \ln \left[a^2 + \frac{(h_1 - h_2 + 2c)^2}{4} \right] - \\
 & \left. - \frac{1}{2} \ln \left[a^2 + \frac{(h_1 + h_2 + 2c)^2}{4} \right] - \frac{1}{2} \ln \left[a^2 + \frac{(h_1 - h_2 + 2c)^2}{4} \right] \right\}. (6)
 \end{aligned}$$

Выражение $k_{\text{ф}}^{\text{у}}$ может быть получено аналогично.

Рассмотрим взаимодействие двух плоских разных размеров шин, расположенных согласно рис. 2.

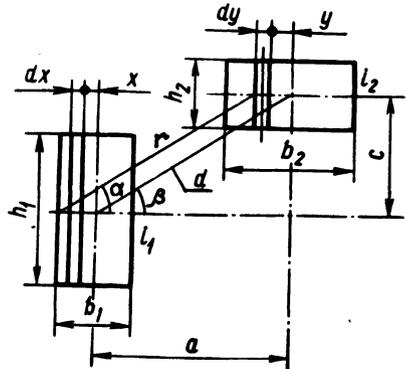


Рис. 2.

Выделим на расстоянии x и y от осей шин элементарные вертикальные слои толщиной dx и dy . Токи, протекающие по этим слоям, равны:

$$i'_1 = \frac{i_1 dx}{b_1} ; \quad i'_2 = \frac{i_2 dy}{b_2} . \quad (7)$$

Усилия между слоями dx и dy определим по выражению (5):

$$d^2 F_x = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \cos \alpha k_{\text{ф}}}{b_1 b_2 r} dx dy;$$

$$d^2 F_y = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \sin \alpha k_{\phi y}}{b_1 b_2 r} dx dy, \quad (8)$$

где $k_{\phi x}$ и $k_{\phi y}$ — коэффициенты формы для тонких полос, определяемые по выражениям (6), в которых a должно быть заменено на $a + x - y$.

Принимая во внимание, что

$$\cos \alpha = \frac{a+x-y}{r}; \quad \sin \alpha = \frac{c}{r};$$

$$r^2 = (a+x-y)^2 + c^2, \quad (9)$$

и интегрируя по ширине полос, получим:

$$F_x = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2}{b_1 b_2} \int_{-0,5b_1}^{0,5b_1} dx \int_{-0,5b_2}^{0,5b_2} \frac{(a+x-y)k_{\phi x} dy}{(a+x-y)^2 + c^2};$$

$$F_y = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2}{b_1 b_2} \int_{-0,5b_1}^{0,5b_1} dx \int_{-0,5b_2}^{0,5b_2} \frac{ck_{\phi y} dy}{(a+x-y)^2 + c^2}.$$

(10)

Последнее выражение можно представить в виде

$$F_x = 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \cos \beta}{d} k_{\phi x 2}; \quad F_y =$$

$$= 2 \cdot 10^{-7} \frac{i_1 i_2 \sin \beta}{d} k_{\phi y 2}. \quad (11)$$

Сравнивая (10) и (11), получим:

$$\left. \begin{aligned} k_{\phi x_2} &= \frac{d}{b_1 b_2 \cos \beta} \int_{-0,5b_1}^{0,5b_1} dx \int_{-0,5b_2}^{0,5b_2} \frac{(a+x-y)k_{\phi k} dy}{(a+x-y)^2 + c^2}; \\ k_{\phi y_2} &= \frac{d}{b_1 b_2 \sin \beta} \int_{0,5b_1}^{0,5b_1} dx \int_{-0,5b_2}^{0,5b_2} \frac{c k_{\phi y} dy}{(a+x-y)^2 + c^2}. \end{aligned} \right\} (12)$$

Интегралы (12) берутся численным методом по формулам Симпсона. Время счета зависит от шага интегрирования, который в свою очередь зависит от необходимой точности. В среднем для стандартных сечений прямоугольных шин время счета на ЭЦВМ "Минск-22" составляет 30 с.

Л и т е р а т у р а

1. Смуров А.А. Электротехника высокого напряжения и передачи энергии. М., 1935.

Я.И. Онацкий, М.Н. Леках

УСТОЙЧИВОСТЬ СВЯЗАННЫХ АСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Для осуществления высокоточного автоматического регулирования напряжения на шинах генераторов современных теплоэлектроцентралей все большее распространение получают астатические системы автоматического регулирования (САР). Такие САР напряжения практически реализуются посредством дополнения типовой САР возбуждения турбогенератора [1] астатическим регулятором. При автоматизации регулирования напряжения на многоагрегатной ТЭЦ регулирование на каждой