

## РАСЧЕТ ПОЛЯ ДОБАВОЧНЫХ ПОЛЮСОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Э. Г. Чеботков, А. И. Скороспешкин

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Одним из важнейших факторов, определяющих характер коммутационного процесса, является коммутирующая э. д. с., индуктируемая полем добавочных полюсов в короткозамкнутой секции. В то же время расчет поля добавочного полюса затруднен, так как воздушный зазор под ним неравномерен и, кроме того, большое значение имеет поле рассеяния полюса, поскольку зона коммутации выбирается обычно несколько шире добавочного полюса. Отсюда ясно, сколь необходим расчет поля добавочных полюсов.

Ниже предлагается метод расчета поля добавочных полюсов прямоугольной формы применительно к машинам серии П1—6 габаритов.

Направление разработки метода выбрано следующее: получение эмпирического выражения для магнитного сопротивления в зависимости от геометрии машины. Решение задачи производилось моделированием поля на токопроводящей бумаге.

Моделирование позволяет получить картину поля, представленную на рис. 1. Силовые трубки построены таким образом, что их нижняя ширина одинакова и равна

$$b_1 = \frac{\pi D_a}{360}.$$

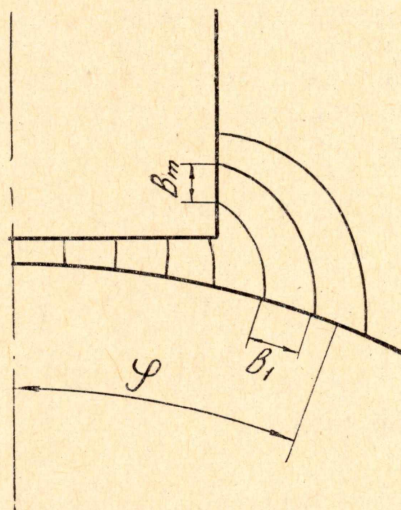


Рис. 1

Измерения, проведенные на моделях поля, показывают, что ширина трубки изменяется по трапецеидальному закону от  $b_m$  до  $b_1$ , где  $b_m$  — верхняя ширина силовой трубки. Зная параметры силовой трубки — высоту  $h$ , верхнюю и нижнюю ширину  $b_m$  и  $b_1$ , можно по выражениям (1, 2) [1] рассчитать индукцию в нижнем сечении трубки.

Таким образом необходимо получить зависимости параметров силовых трубок от геометрии машины.

Так как необходим расчет поля под добавочным полюсом и вне его, то, соответственно, задача получения параметров силовых трубок в зависимости от геометрии расчленяется на две:

- 1) определение параметров силовых трубок, находящихся под добавочным полюсом;
- 2) определение параметров силовых трубок вне добавочного полюса.

Предварительно поставленные эксперименты по построению поля добавочного полюса позволили выявить факторы, от которых зависят параметры силовых трубок.

Силовые трубки, находящиеся под добавочным полюсом, имеют практически одинаковую ширину по высоте, за исключением последней, опирающейся на край добавочного полюса. Верхняя ширина этой трубки равна ширине последующей.

Высота силовых трубок, находящихся под добавочным полюсом, зависит от двух факторов — величины зазора под центром добавочного полюса  $\delta_w$  и угла  $\varphi$  между центром добавочного полюса и центром исследуемой силовой трубки.

Параметры силовых трубок за пределами добавочного полюса зависят от трех факторов:

- 1) воздушного зазора под краем добавочного полюса —  $\delta_{кр}$ ,
- 2) угла между краями добавочного и главного полюса —  $\varphi$ ,
- 3) угла между краем добавочного полюса и центром исследуемой силовой трубки —  $\gamma$ .

Исходя из указанных условий были составлены два плана ротатбельного эксперимента второго порядка для двух и трех независимых переменных. Интервалы варьирования независимых переменных выбирались в пределах изменения геометрии машин серии П с 1 по 6 габарит.

Моделирование проводилось на высокоомной токопроводящей бумаге с помощью интегратора ЭГДА 9/60 [2]. Модель изготавливалась в масштабе 20:1 для снижения погрешности от неравномерности сопротивления бумаги. Определение размеров силовых трубок производилось с помощью курвиметра с ценой деления 1 мм.

Обработка результатов эксперимента позволила получить следующие зависимости для параметров силовых трубок:

- 1) под добавочным полюсом

$$\frac{h_1}{D_a} \cdot 10^3 = 17 + 7,26x_1 + 2,65x_2 + 0,12x_1^2 + 0,9x_2^2 + 0,0437 x_1 x_2,$$

где  $x_1 = 141,5 \frac{\delta_w}{D_a} - 2,12$

$$x_2 = 0,315 \varphi - 1,57; \quad (1)$$

- 2) вне добавочного полюса

$$\begin{aligned} \frac{h_{II}}{D_a} \cdot 10^3 = & 6 + 1,47x_1 + 0,1x_2 + 1,1x_3 + 0,29x_1^2 + 0,02x_2^2 + 0,24x_3^2 - \\ & - 0,085 x_1 x_2 - 0,507 x_1 x_3 + 0,1 x_2 x_3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{b_{II}}{D_a} \cdot 10^3 = 5 - 0,4x_1 + 0,25x_2 - 0,7x_3 + 0,2x_1^2 + 0,27x_1x_2 - 0,24x_1x_3, \quad (3)$$

где

$$x_1 = 44,9 \frac{\delta_{кр}}{D_a} - 2,24$$

$$x_2 = 0,42 \psi - 4,2,$$

$$x_3 = 0,60 \gamma - 2,02.$$

Полученные выражения (1—3) позволяют определить параметры силовых трубок, необходимые для расчета поля добавочных полюсов в нейтральной зоне (1—2) [1].

Для проверки достоверности зависимостей (1—3) был проведен эксперимент по определению индукции от добавочного полюса в нейтральной зоне машины П51 со следующими параметрами геометрии:  $\delta_w = 2,5$  мм,  $b_w = 22$  мм,  $D_a = 162,5$  мм при токе добавочного полюса 10 а.

Распределение индукции снималось с помощью датчика э. д. с. Холла, закрепленного на зубце якоря. Экспериментальные данные представлены на рис. 2 в виде точек.

По полученным выше зависимостям (1—3) и (1—2) [1] проведен расчет поля добавочного полюса в нейтральной зоне для данной машины. Результаты расчета представлены на рис. 2 в виде кривой, соответствующей току добавочного полюса 10 а.

Анализ представленных данных рис. 2 показывает, что расхождение расчетных и опытных данных не превышает 5%.

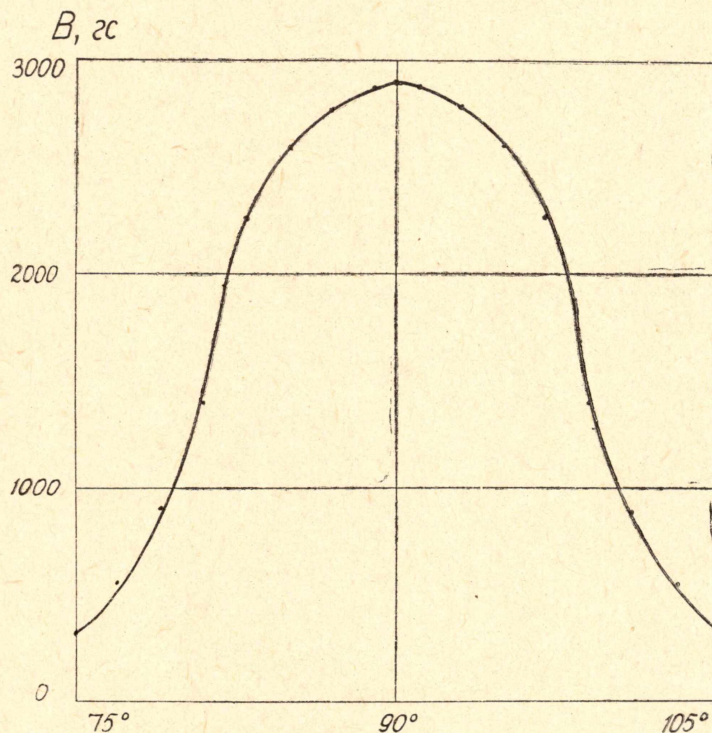


Рис. 2

Для расчета коммутации требуется поле добавочного полюса представить в виде функции  $B = f(x)$ , где  $x$  — время или производная его. Полученная графическая зависимость рис. 2 аппроксимируется в виде разности функций  $y_1$  и  $y_2$  как

$$B = y_1 - y_2 = A_1 \cdot e^{-c_1 \cdot x^2} - A_2 \cdot e^{-c_2 \cdot x^2}, \quad (4)$$

где

$x$  — угол в градусах при отсчете от середины добавочного полюса;

$A_1, c_1$  — параметры функции  $y_1$ , определяемые методом наименьших квадратов для участка кривой поля, находящейся вне пределов добавочного полюса;

$A_2, c_2$  — параметры аппроксимирующей функции  $y_2$ , определяемые методом наименьших квадратов из значений  $y_2 = y_1 - B$ .

Для поля добавочного полюса машины П51 при  $i_{дд} = 10$  а получено аппроксимирующее выражение

$$B = 0,379 e^{-0,0135x^2} - 0,094 e^{-0,065x^2} \quad (5)$$

Расхождение между графическими данными рис. 2 и значениями индукции из аппроксимирующей функции (5) не превышает (3—4) %.

Итак, получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать поле добавочного полюса прямоугольной формы в зоне коммутации.

Предложено аппроксимирующее выражение поля добавочного полюса, необходимое при расчете коммутации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Скороспешкин, Э. Г. Чеботков. Расчет поля главных полюсов в зоне коммутации машин постоянного тока серии П. «Известия ТПИ», т. 190, 1968.

2. П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчишин. Интеграторы ЭГДА. Киев, 1961.