

Жумагулов К.К.

РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ, СОЗДАВАЕМОГО ТОКАМИ ЕЁ МОДЕЛИ

УДК: 621.313

The article deals with the methodics of calculation of outside magnetic field of electrical machine current layers. The field of machine is considered to be a combination of magnetic field of the model current layers and magnetic field of distortion caused by the model ferromagnetic core.

**Key words:** outside magnetic field, model, core, distortion field, induction, electrical machine.

В работе [1] предложена модель электрической машины для расчета внешнего магнитного поля. Согласно разработанной методике, внешнее магнитное поле электрической машины рассматривается как совокупность магнитного поля токовых слоев модели и магнитного поля искажения, обусловленного ферромагнитным сердечником модели. В настоящей статье приводится краткая методика расчета внешнего магнитного поля токовых слоев модели.

Для облегчения и унификации расчета магнитного поля гармонически распределенных токовых слоев поверхность сердечника и лобовые части разделены на элементарные колечки шириной  $Dl$ , в пределах каждого элементарного колечка амплитуды гармонических линейной плотности тока аксиальной, радиальной и тангенциальной составляющих остаются неизменными. При таком подходе решение поставленной задачи, расчета трехмерного магнитного поля гармонических токовых слоев, сводится к определению магнитного поля токовых слоев элементарных колечек по единым унифицированным формулам для соответствующих составляющих по координатным осям. При расчете напряженности магнитного поля, обусловленного аксиальной составляющей гармонического токового слоя, распределенного по элементарному колечку, будем считать, что аксиальная гармоническая составляющая токового слоя изменяется в

функции угловой координаты  $\theta$  по косинусоидальному закону:

$$\tau_z = \tau_{zm} \cos v\theta \tag{1}$$

$v$  - порядок гармонического токового слоя;

$\tau_{zm}$  - амплитудное значение аксиальной составляющей линейной плотности тока.

Напряженность магнитного поля в произвольной точке  $N$ , обусловленная элементом токового слоя длиной  $dz$  и шириной  $R_0 d\theta$ , где  $R_0$  - радиус цилиндрической поверхности, по которой распределена аксиальная составляющая токового слоя, равна:

$$dh^z = \frac{\tau_z \cdot R_0 d\theta [d\vec{z} \cdot \vec{\rho}^0]}{4\pi\rho_N^2} = \frac{\tau_{zm} \cdot R_0 \cos v\theta \cdot \sin \alpha d\theta dz}{4\pi\rho_N^2}, \tag{2}$$

где  $\vec{\rho}^0$  - единичный вектор по направлению от элемента токового слоя к точке  $N$ .

$$\rho = \sqrt{(Z_N - Z_0)^2 + R_N^2 + R_0^2 - 2R_N R_0 \cos(\theta_N - \theta)}$$

Радиальная и тангенциальная составляющие напряженности (рисунок 1,2) равны:

$$dh_R^z = dh^z \cdot \cos \beta = \frac{\tau_{zm} \cdot R_0^2 \cdot \cos v\theta \cdot \sin(\theta_N - \theta)}{4\pi\rho^3} d\theta dz$$

$$dh_\theta^z = dh^z \cdot \sin \beta = \frac{\tau_{zm} R_0 \cos v\theta [R_N - R_0 \cos(\theta_N - \theta)]}{4\pi\rho^3}$$

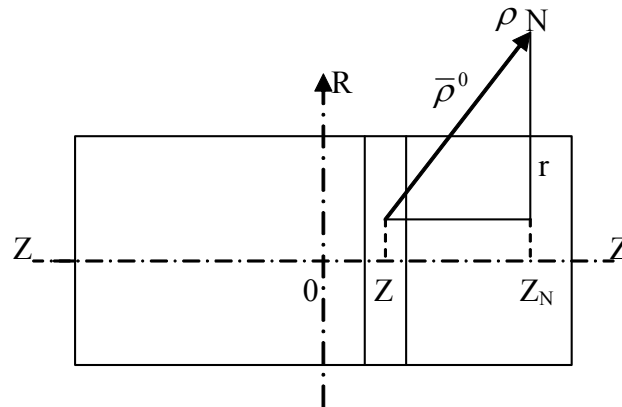


Рисунок 1. К определению напряженности магнитного поля в точке  $N$ , обусловленной элементом токового слоя.

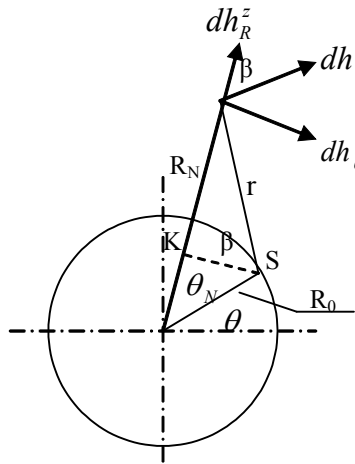


Рисунок 2. К определению составляющих

$$dh_R^z \text{ и } dh_\theta^z$$

Если аксиальная составляющая плотности тока определяется выражением, то обусловленные ею гармонические напряженности по осям и могут быть записаны в виде:

$$h_R^z = H_R^z \cdot \cos \nu \theta,$$

$$h_\theta^z = H_\theta^z \cdot \cos \nu \theta$$

Амплитудные значения  $h_R^z$  и  $h_\theta^z$ , имеющие место соответственно при  $\theta_N = \frac{\pi}{2\nu}$  и  $\theta_N = 0$ , равны:

$$H_R^z = \frac{R_0^2}{4\pi} \int_{z_1}^{z_2} \int_0^{2\pi} \frac{\tau_{zm} \cos \nu \theta \sin\left(\frac{\pi}{2\nu} - \theta\right) d\theta \cdot dz}{\sqrt{(Z_N - Z_0)^2 + R_N^2 + R_0^2 - 2R_N R_0 \cos\left(\frac{\pi}{2\nu} - \theta\right)}}^3$$

(3)

$$H_\theta^z = \frac{R_0^2}{4\pi} \int_{z_1}^{z_2} \int_0^{2\pi} \frac{\tau_{zm} \cos \nu \theta [R_N - R_0 \cos \theta] d\theta \cdot dz}{\sqrt{(Z_N - Z_0)^2 + R_N^2 + R_0^2 - 2R_N R_0 \cos \theta^3}}$$

(4)

В общем виде значения  $H_R^z$  и  $H_\theta^z$  определяются по (3), (4) численным методом.

Для фиксированных значений они могут быть упрощены. Для  $\nu=1$

$$H_R^z = \frac{2R_0}{\pi R_N} \int_{z_1}^{z_2} \frac{\tau_{zm} [(1 - 0,5\kappa^2)F - E]}{\sqrt{(Z_N - Z_0)^2 + (R_N - R_0)^2 \cdot \kappa^2}} dz$$

(5)

$$\kappa = \sqrt{\frac{4R_N R_0}{(R_N + R_0)^2 + (Z_N + Z_0)^2}}$$

Здесь

F, E - эллиптические интегралы первого и второго рода.  
 Для  $\tau_z = \tau_{zm} \cos \nu \theta$  элементарного колечка шириной  $Dl$ .

$$H_R^z = \frac{\tau_{zm} \Delta l \cdot 2R_0 [(2 - \kappa^2)F - 2E]}{4\pi R_N \sqrt{R_N R_0} \cdot \kappa}$$

(6)

Аналогичным образом, преобразуя (4), получим выражение амплитуды тангенциальной составляющей напряженности для

$$H_\theta^z = -\frac{\tau_{zm} \Delta l}{4\pi R_N \sqrt{R_N R_0} \cdot \kappa} \left\{ \frac{(2 - \kappa^2)\kappa^2 E}{2(1 - \kappa^2)} - \kappa^2 F - \frac{R_0}{R_N} \left[ \frac{\kappa^4 \cdot E}{2(1 - \kappa^2)} - 2(2F - \kappa^2 F - 2E) \right] \right\}$$

(7)

Выражения напряженности магнитного поля, созданного радиальной и тангенциальной составляющими токового слоя, могут быть получены принципиально тем же методом, что и выражения (6), (7).

Дифференциация поверхности сердечника и лобовых частей модели электрической машины на элементарные составляющие колечки в совокупности с использованием разработанных алгоритмов и подпрограмм позволяет унифицировать расчет поля токовых слоев моделей любых электрических машин; при этом сам расчет превращается в простую вычислительную процедуру, которая оказывается хорошо приспособленной для реализации на ЭВМ.

#### Литература:

1. Новокишенов В.С., Жумагулов К.К., Сембин Д.Э. "Универсальная модель электрической машины для расчета внешнего магнитного поля". Труды Университета КарГТУ.- 2000.- 73-75