

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

И. В. Мясников

Научный руководитель – профессор Е. Ф. Беляев

Пермский государственный технический университет

Показывается возможность использования конечно-разностного метода для исследования электромагнитного поля электрической машины. Отмечаются достоинства и недостатки метода.

Как известно, кривая B (B – магнитная индукция в зазоре электрической машины) не имеет вид синусоиды, а больше похожа на трапецеидальную кривую, которая включает в себя все высшие гармоники. Для оценки влияния высших гармоник вводят обмоточный коэффициент $K_{об}$, который зависит от схемы, числа пазов на полюс и фазу, коэффициентов распределения и укорочения и т.д. Избавиться от влияния высших пространственных гармоник можно, используя синусную обмотку, укорочение шага обмотки, распределение обмотки. Зная $K_{об}$, можно найти гармонический состав магнитного поля, но визуально оценить это поле представляет большую трудность.

В данном докладе показывается возможность использования конечно-разностных методов для вычисления поля (B), также его графического исполнения. Пример разобран в одномерном варианте как в самом простом, к тому же многомерная задача состоит из нескольких одномерных. Решение осуществлено в программной среде MathCad.

Поле от однослойной обмотки включает в себя весь спектр высших пространственных гармоник. Но поле в связи

с простотой схемы обмотки легче вычислять. А если обмотка сложная – комбинированная, многослойная, специальная, расчёт поля от такой обмотки представляет некоторую сложность.

Метод вычисления основан, как говорилось выше, на использовании конечно-разностных выражений. Для начала записывается уравнение Максвелла для одномерного поля:

$$\frac{1}{R_0^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} A - qA = -\mu_0 J_{\text{ст}},$$

где R_0 – радиус середины воздушного зазора, м; A – векторный потенциал, В·с/м; q – коэффициент дифференциального уравнения; μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; $J_{\text{ст}}$ – плотность стороннего тока, А/м. Чтобы решить это уравнение, нужно область решения разбить на конечное число интервалов и, с учётом граничных условий, задача решается на каждом интервале разбиения. Дифференциальный оператор уравнения аппроксимируется конечно-разностным выражением

$$\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} A = \frac{A_{i+1} - 2A_i + A_{i-1}}{\Delta \varphi^2},$$

где $\Delta \varphi$ – шаг по координате φ ; A_{i+1} – значение векторного потенциала на следующем интервале разбиения; A_{i-1} – значение векторного потенциала на предыдущем интервале разбиения; A_i – значение векторного потенциала на данном интервале разбиения.

С помощью аппарата циклической прогонки данная задача решается с достаточной точностью (данный аппарат описан в курсе «Электромагнитные расчёты электрических машин»).

Исследуемая область разбивается на конечное число интервалов, и задача решается для каждого из них с учётом граничных условий. Исходными данными являются: параметры машины, электрическая схема обмотки, параметры среды, величины токов.

Расчёт ведётся для A , зная A , можно найти поле в зазоре (B).

$$B = \frac{1}{R_0} \frac{\partial A}{\partial \varphi}.$$

Здесь показаны результаты решения такой задачи для схемы $AZZBVBXXCCYY$ (рис. 1).

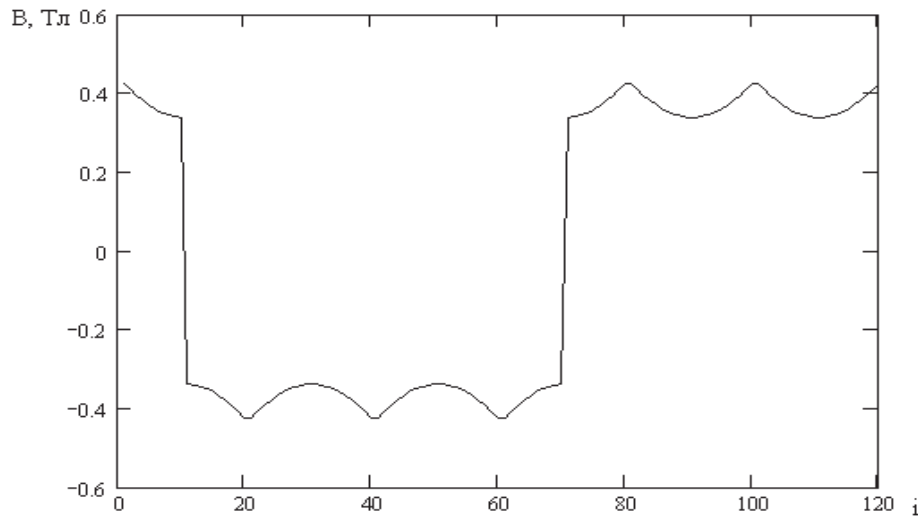


Рис. 1. Индукция в зазоре машины для однослойной обмотки

Результаты решения для схемы $AZZBVBXXCCYY$:
 $AZZBVBXXCCYYA$ (рис. 2).

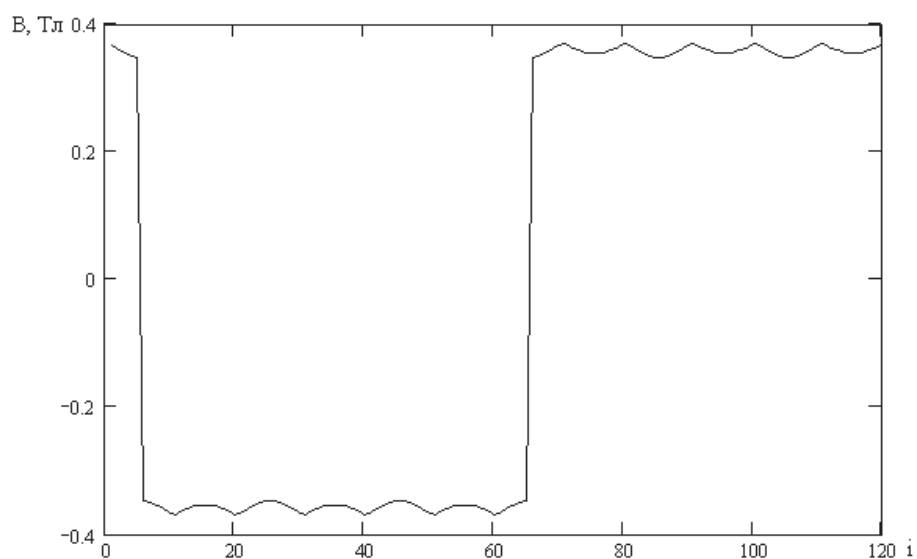


Рис. 2. Индукция в зазоре машины для двухслойной обмотки

Теория укорочения шага обмотки

Шаг витка несколько укорачивают и делают меньше полюсного деления t , что учитывается коэффициентом укорочения:

$$K_y = \sin n\beta \frac{\pi}{2},$$

где n – номер гармоники; $\beta = \frac{y}{\tau}$ – укорочение. При $\beta=1$ для всех гармоник $K_y = \pm 1$. Обычно обмотку укорачивают так, чтобы большинство высших гармоник имело минимальную амплитуду. Численно рассчитать при этом B довольно сложно.

Как видно, теория о применении укорочения для уменьшения амплитуды высших гармоник оправдывается. Следовательно, для любой схемы обмотки использование данного метода правомерно.

Плюсы и минусы

« + »

- Простота математического аппарата.
- Реальная картина распределения магнитного поля в зазоре для любых режимов работы.
- Экономичность метода.
- Ошибка в процессе решения не накапливается.

« - »

- Сложность учёта геометрии машины.
- Увеличение времени расчёта вследствие увеличения числа решаемых уравнений.

Получено 07.12.06.