

МЕТОД МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА В ВАЛЕ И ТОРЦЕВОМ ЩИТЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

¹Полищук В.И., ¹Лиясова О.В.

¹ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30), e-mail: polischukvi@tpu.ru

В работе изложены результаты исследования по разработке метода моделирования магнитного потока в вале и в торцевом щите электрической машины. Разработка метода вызвана необходимостью проектирования защитно-диагностических систем, которые основаны на использовании информации несимметрии магнитного поля в торцевой зоне электрической машины. Метод базируется на идее разделения магнитного потока от элемента на две равные части по контуру вдоль пограничных поверхностей и против часовой стрелки, с последующим суммированием всех потоков от элементарных элементов вдоль линии обхода ферромагнитного канала. Метод прост, надежен и позволяет получить значения магнитного потока в вале и торцевом щите в точке измерения с точностью порядка 20%, что удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям.

Ключевые слова: электрическая машина, вал электрической машины, торцевой щит, магнитное поле, измерительный преобразователь.

SIMULATION METHOD OF MAGNET FLUX IN MOTOR AND END SHIELD FOR ELECTRIC MACHINE

¹Polishchuk V.I., ¹Lijasova O.V.

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, Lenin Ave, 30) E-mail: polischukvi@tpu.ru

The paper presents the results of a study to develop a method of modeling the magnetic flux on the shaft and in the end panel of the electric machine. Development of a method due to the necessity of designing diagnostic protective systems are based on using information of a magnetic field asymmetry in the end zone of the electrical machine. The method is based on the idea of separating the element from the magnetic flux into two equal parts on a path along the boundary surfaces and the anti-clockwise, followed by summation of the elementary streams from the bypass element along the ferromagnetic channel. The method is simple, reliable, and allows you to get the value of the magnetic flux in the shaft and face shield at the point of measurement with an accuracy of about 20%, which satisfies its requirements.

Keywords: electric machine, the electric machine shaft, end shield, the magnetic field, sensor.

Магнитное поле торцевого щита электрической машины обусловлено токами в проводниках лобовых и пазовых частей обмоток статора и ротора, а также полем воздушного зазора и конфигурацией ферромагнитных элементов в ней. Его точное моделирование в произвольном режиме работы машины достаточно сложно [1].

На рис. 1а приведена схема распределения магнитных потоков в ферромагнитных элементах торцевой зоны синхронного генератора (СГ), которая учитывает особенности конструкции СГ, где 1 - торцевой щит; 2 – стенка вентиляционного канала; 3 и 4 - сечение обмоток статора и ротора. Из схемы видно, что в одна из стенок прямоугольного ферромагнитного канала расчетной зоны заменяется двумя.

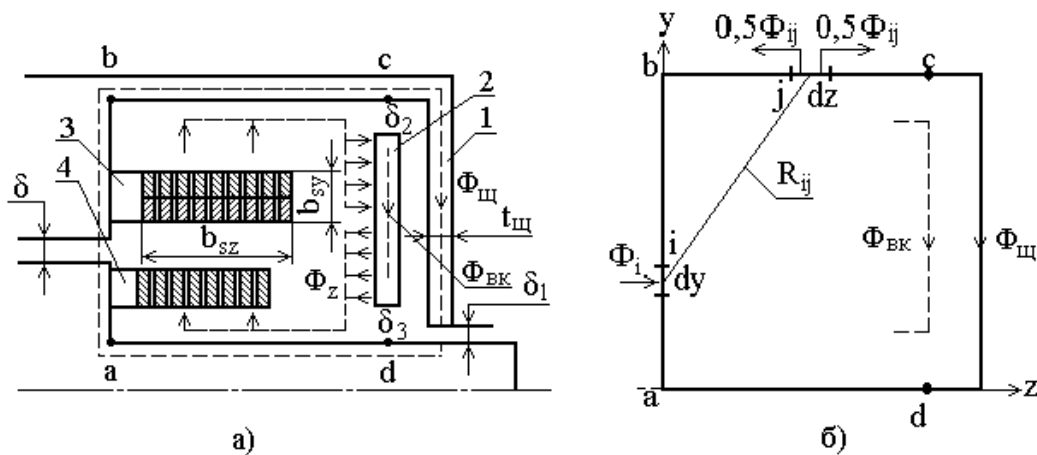


Рис. 1. Расчетная схема

Первая является стенкой вентиляционного канала. Именно ее обычно используют при расчете магнитного поля статора, ротора и воздушного зазора в торцевой зоне. Ее края не доходят в верхней точке до корпуса на δ_2 (точка c), а в нижней до вала на δ_3 (точка d). Поэтому считается, что через нее замыкается магнитный поток $\Phi_{БК}$, обусловленный магнитными потоками Φ_z через ее внутреннюю поверхность [2-5]. На этой стенке измерительные преобразователи обычно не размещают [6; 7], а поток $\Phi_{БК}$ не рассчитывают.

Вторая поверхность образована торцевым щитом. Ее при расчете магнитного поля торцевой зоны СГ от статора, ротора и воздушного зазора не учитывают, так как ее экранирует стенка вентиляционного канала. Она примыкает к корпусу практически без зазора, а к валу СГ с зазором δ_1 .

Считается, что именно через нее замыкается магнитный поток $\Phi_{ц}$, образованный магнитными потоками через три остальные стенки призматического канала. Моделирование $\Phi_{ц}$ осуществляют следующим образом.

В соответствии с граничными условиями [1-5] тангенциальная составляющая поля от обмоток статора и ротора B_1^t и B_f^t на любой из пограничных плоскостей равна нулю. Поэтому магнитные потоки через стенку определяют только по B_1^n и B_f^n - их нормальной составляющей. В соответствии с рис. 1а на стенках $b-c$ и $a-d$ это B_{y1} и B_{yf} , а на стенке $a-b$ - B_{z1} и B_{zf} .

На рис. 2а приведены кривые (—) и (---) распределения нормальной составляющей магнитной индукции B_{y1} и B_{yf} , по пограничным поверхностям торцевой зоны СГ ТВВ-500-2ЕУЗ, рассчитанные для режима номинальной нагрузки.

Так как $B_1^n = f(l)$ и $B_f^n = f(l)$ известно, то распределение магнитных потоков от нее вдоль пограничных поверхностей моделируется по расчетной схеме на рис. 2б при следующих допущениях:

а) падением магнитного напряжения в ферромагнитных элементах, а также воздушными зазорами δ и δ_3 пренебрегается;

б) величина магнитного потока i -го элемента через j -й элемент Φ_{ij} считается прямо пропорциональной Φ_i - магнитному потоку i -го элемента и обратно пропорциональной R_{ij} воздушному промежутку между i -м и j -м элементами;

в) составляющие магнитного потока Φ_{ij} по контуру вдоль пограничных поверхностей и против часовой стрелки равны по величине. Положительным направлением при суммировании магнитных потоков в этом случае считается направление по часовой стрелке.

Моделирование магнитных потоков вдоль поверхности ферромагнитных элементов торцевой зоны осуществляется в следующем порядке. Первоначально в соответствии с рис. 1 ферромагнитные поверхности вдоль обхода контура разбиваются на элементарные площадки с размерами $\Delta y \times b_{cn}$ и $\Delta z \times b_{cn}$, где b_{cn} размер площадки вдоль оси x . Затем определяются их координаты (y_i, z_i) и воздушный промежуток R_{ij} по торцевой зоне между ними

$$R_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} .$$

Затем находится расчетное расстояние между i -м и всеми j -ми элементами

$$R_{si} = \frac{1}{\sum_j \frac{1}{R_{ij}}} ,$$

и определяется часть магнитного потока Φ_i через j -й элемент

$$\Phi_{ij} = \Phi_i R_{si} / R_{ij} .$$

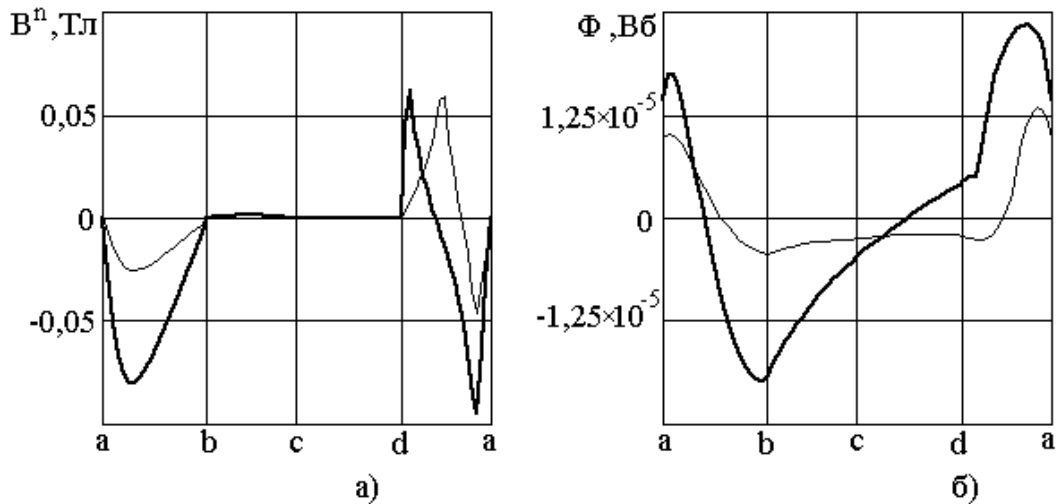


Рис. 2. Распределение магнитной индукции от обмоток статора и ротора ТВВ-500-2ЕУЗ по поверхности ферромагнитных стенок торцевой зоны (а) и магнитных потоков по ферромагнитным стенкам (б).

Магнитный поток вдоль i -й элементарной площадки определяется как сумма потоков Φ_{ij} в ее границах. На рис. 2б кривыми (—) и (---) показано рассчитанное распределение магнитных потоков от обмоток статора и ротора вдоль граничных поверхностей СГ ТВВ-500-2ЕУЗ, где $\Phi_{иц}$ - магнитный поток в торцевом щите проходит по отрезку $c-d$ на кривой.

Поле в торцевом щите токов в проводниках, расположенных в пазах статора и ротора, моделируется по известному распределению магнитной индукции в воздушном зазоре СГ. При этом считается, что падение магнитного напряжения в ферромагнитных элементах конструкции торцевой зоны равно нулю. Тогда для магнитной цепи “а”÷“d” на рис. 1а магнитное напряжение по основной гармонической

$$U_{ad} = H_{\delta} \delta = H_{\delta 1} \delta 1 .$$

В области уплотнения

$$H_{\delta 1} = H_{\delta} \delta / \delta 1 \text{ и } B_{\delta 1} = \mu_0 H_{\delta 1} , \quad (1)$$

а магнитный поток

$$\Phi_{иц} = B_{\delta 1} b_{cn} t_{иц} . \quad (2)$$

Магнитный поток в торцевом щите от B_{δ} в основном зависит от $\delta 1$. Определение их величин затруднено тем, что значительная часть $\Phi_{иц}$ в области уплотнения замыкается через воздух, в том числе и через наружную сторону торцевого щита. Поэтому для упрощения расчетов, как показали эксперименты, следует принимать $\delta 1 = (0,05 \dots 0,2) \delta$.

Экспериментальная проверка (1, 2) проводилась на СГ ТВВ-500-2ЕУЗ в режиме нагрузки. Магнитный поток вблизи уплотнения измерялся катушкой индуктивности без сердечника, а в щите катушкой с П-образным сердечником. Погрешность метода моделирования не превысила 20%.

Работа выполнена в рамках исполнения Госзадания «Наука» ГК № 7.2826.2011

Список литературы

1. Вольдек А.И., Данилевич Я.Б., Косачевский В.И., Яковлев В.И. Электрические процессы в торцевых частях электрических машин. – Л. : Атомиздат, 1983. – 212 с.
2. Вольдек А.И. Влияние неравномерности воздушного зазора на магнитное поле машины // Электричество. – 1951. – № 12. – С. 40-46.
3. Вольдек А.И. Основы методики расчета магнитных полей лобовых частей обмоток электрических машин // Электричество. – 1963. – № 1. – С. 41-43.
4. Данилевич Я.Б. Добавочные потери в турбо- и гидрогенераторах. – Л. : Наука, 1973. – 181 с.
5. Копылов И.П., Горяинов Ф.А., Клоков Б.К. и др. Проектирование электрических машин. – М. : Энергия, 1980. – 495 с.
6. Новожилов А.Н., Кислов А.П. Магнитное поле вала асинхронного двигателя // Электротехника. – 2001. - № 10.
7. Полищук В.И., Кислов А.П., Новожилов А.Н. Способ защиты синхронной электрической машины от виткового замыкания.

Рецензенты:

Лукутин Б.В., д.т.н., профессор кафедры ЭПП ЭНИН ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Исаев Ю.Н., д.ф.-м.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.