

АНАЛІЗ МАГНІТНОГО ПОЛЯ СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЯВНОПОЛЮСНИМ СТАТОРОМ ДЛЯ ТЕПЛОВОЗІВ

Проведено розрахунок магнітного поля стартер-генератора постійного струму з неявнополюсним статором для тепловозів в режимі роботи без навантаження на основі рішення польової задачі з використанням програми FEMM.

Выполнен расчет магнитного поля стартер-генератора постоянного тока с неявнополюсним статором для тепловозов в режиме работы без нагрузки на основе решения полевой задачи с использованием программы FEMM.

Сучасний етап розвитку електромашинобудування характеризується значним зростанням використання активного об'єму машин. Для забезпечення надійної роботи новостворюваних типів електричних машин потрібно істотно підвищити точність розрахунків окремих елементів і машини в цілому. В результаті виникає необхідність обліку нових чинників, які раніше або взагалі не бралися до уваги, або враховувалися дуже приблизно.

З розвитком чисельних методів і пакетів прикладних програм, що використовуються для розрахунків магнітних полів і дослідження електричних машин (ЕМ) істотно полегшуються [1]. Розраховувачам залишається адаптувати чисельні методи і прикладні програми до визначення конкретних параметрів і характеристик ЕМ. У зв'язку з цим метою даної роботи є чисельний аналіз магнітного поля стартер-генератора постійного струму з неявнополюсним статором в режимі роботи без навантаження виконаного методом скінчених елементів (МСЕ).

Досліджується стартер-генератор постійного струму з неявнополюсним статором з такими параметрами: потужністю $P_2 = 65$ кВт, 110 В, 591 А, 1050/3333 об/хв., збудження незалежне 100 В. Конструкція стартер-генератора докладно наведена в [2]. Він має наступні основні параметри: довжина сталі якоря, основних і додаткових полюсів $l_\delta = 205$ мм, діаметр якоря 332,4 мм, число пазів якоря $Z_a = 48$, кількість колекторних пластин $k = 144$, секції одновиткові, число активних провідників $N_a = 288$. Кількість полюсів і паралельних віток $2p = 2a = 6$, повітряний зазор $\delta = 1,3$ мм. Залізо статора – з асинхронного двигуна ВАО5П280Л4, внутрішній діаметр $D_i = 340$ мм, зовнішній діаметр $D_s = 520$ мм.

Обмотка незалежного збудження виконана із $2p$ концентричних котушкових груп, по дві котушки в групі. Великі котушки з кроком $y_1 = 7$ мають кількість витків $w_{k1} = 90$, малі котушки з кроком $y_2 = 5$ мають кількість витків $w_{k2} = 50$ (рис. 1). Навантаження на обмотку незалежного збудження модернізованого стартер-генератора значно менше в порівнянні з серійним завдяки меншому повітряному зазору, а також завдяки тому, що частина основного магнітного потоку створюється спільною дією МРС обмотки якоря і генераторної статорної обмотки.

Магнітне поле, як це і прийнято для класичних типів ЕМ, розглядається в поперечному перетині (рис. 1) і описується відомим [3] диференціальним рівнянням:

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu(B)} \nabla \times A \right) = J, \quad (1)$$

де A – векторний магнітний потенціал (ВМП); J – густина струму; B , μ – магнітна індукція і проникність.

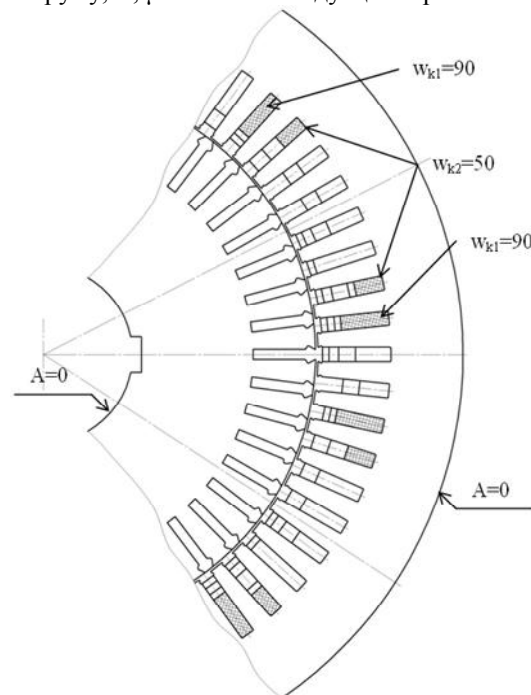


Рис. 1. Поперечний перетин стартер-генератора

Область розрахунку (рис. 1) обмежується зовнішньою поверхнею осердя статора, де для векторного магнітного потенціалу задана умова Дирихле [1]. Розв'язання рівняння (1) у позначеній області проводиться методом скінчених елементів [3] з використанням програми FEMM [4]. Стартер-генератор графічно реалізовано в програмі КОМПАС V11 та перенесено в стандартний пакет FEMM, де додатково задана крива намагнічування сталі 2212 і коефіцієнт заповнення нею осердя, а також розподілені струми обмотки збудження по пазах статора (рис. 1).

Струм збудження розрахований при проектуванні $i_b = 17,2$ А, в пазах якоря струм відсутній, так як розглянуто режим роботи без навантаження.

При запуску програми FEMM будується сітка з трикутною кінцевоелементною структурою: у нашому випадку були 653882 елементи. Потім відбувається розрахунок і виходить розподіл векторного магнітного потенціалу (ВМП) по вузлах сітки.

Картина магнітного поля стартер-генератора у режимі роботи без навантаження наведена на рис. 2 у

вигляді ліній рівного ВМП (максимальне значення ВМП складає 0,0598 Вб/м). Картина відображає реальний розподіл магнітного поля – на відміну від спрощеної його структури, що апіорі задається, відповідної класичному методу розрахунку магнітного кола.

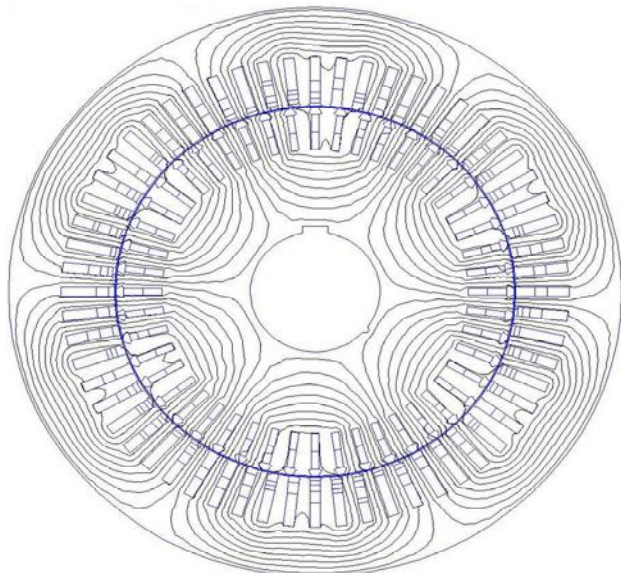


Рис. 2. Поперечний перетин стартер-генератора з картиною магнітного поля обмотки збудження

Між сусідніми лініями поля на рис. 2 розміщується 5 % від повного потоку статора на полюсному діленні. Детальніше картина поля на одному з полюсних ділень в зубцево-пазовій зоні представлена на рис. 3, де між сусідніми силовими лініями розміщено 1 % від повного потоку статора.

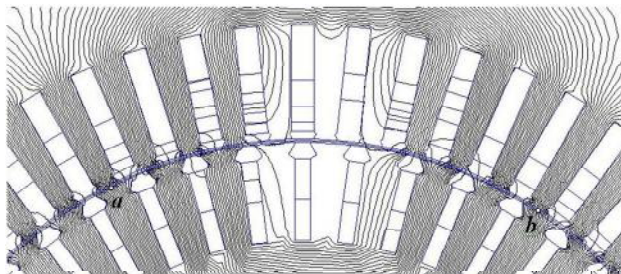


Рис. 3. Картина магнітного поля в області зазору на полюсному діленні

У результаті розрахунку магнітного поля можна визначити цілий ряд параметрів ЕМ. Зокрема, легко обчислюється магнітний потік, що проходить через повітряний проміжок на полюсному діленні:

$$\Phi = l_{\delta}(A_b - A_a), \quad (2)$$

де l_{δ} – активна довжина; A_a, A_b – значення ВМП у точках a і b (рис. 3), віддалених один від одного на полюсне ділення.

Так, з проведеного розрахунку магнітного поля магнітний потік, створений обмоткою збудження $\Phi = 0,192 \cdot 10^{-2}$ Вб, що складає 50 % від основного магнітного потоку створеного спільною дією МРС обмотки якоря і генераторної статорної обмотки. Крім того, після розрахунку магнітного поля визначені значення магнітної індукції в повітряному проміжку, проведено розрахунок ЕРС в обмотці якоря. Результа-

ти розрахунків (МСЕ) у порівнянні з результатами, що зроблені в [2], та результатами, отриманими при випробуваннях макетного зразка стартер-генератора на ПАТ "Електромашина" наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметр	(МСЕ)	Спрощений метод [2]	Результати випробувань
Φ , Вб	$1,005 \cdot 10^{-2}$	$0,975 \cdot 10^{-2}$	$1,0029 \cdot 10^{-2}$
B_{δ} , Тл	0,9	0,85	0,87
E , В	114	113	113,5

Таким чином, можна зробити висновок, що спрощений метод не дає необхідну точність розрахунку електромагнітних параметрів стартер-генератора з неявнополюсним статором. Потрібно вдосконалити розробку методик розрахунку саме для цього класу ЕМ, яка б враховувала багато режимність роботи стартер-генератора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Милых В.И., Полякова Н.В. Определение электромагнитных параметров электрических машин на основе численных расчетов магнитных полей // Электротехника і електромеханіка. – 2006. – №2. – С. 40-46.
2. Луцик В.Д., Варванський А.Ю. Стартер-генератор постійного струму з неявнополюсним статором // Электротехніка і електромеханіка. – 2009. – №6. – С. 40-46.
3. Сильвестер П., Феррари Р. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров электриков. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
4. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. Version 4.0. User's Manual, January 26, 2004 // <http://femm.berlios.de>.

Надійшла 20.09.2010

Варванський Артем Юрійович

Донбаський державний технічний університет
кафедра "Електричні машини і апарати"
94204, Алчевськ, пр. Леніна, 16
тел. (050) 230-36-49, e-mail: Art_v_u@rambler.ru

A. Yu. Varvanskyi

Analysis of a locomotive nonsalient-stator DC starter-generator magnetic field.

FEMM-based computation of magnetic field of a locomotive nonsalient-stator DC starter-generator is made for no-load operating mode on the basis of a field problem solution.

Key words – locomotive DC starter-generator, nonsalient stator, magnetic field, no-load operating mode, computation.