

А. В. ЄГОРОВ, А. М. МАСЛЕННИКОВ, О. О. ДУНЄВ, Р. В. БРЕДУН

АНАЛІЗ МАГНІТНОГО КОЛА В ГЕНЕРАТОРІ З ПОПЕРЕЧНИМ МАГНІТНИМ ПОТОКОМ В РЕЖИМІ НЕРОБОЧОГО ХОДУ

Представлено еквівалентну схему заміщення магнітної системи генератора з поперечним магнітним потоком, який характеризується дисковою конструкцією ротора та збудженням від постійних магнітів, для режиму неробочого ходу. На прикладі ГПП-32-180 подано принцип її рішення з використанням робочої діаграми постійного магніту. Отримана залежність довжини постійного магніту від його намагнічувальної сили на обох радіусах ротора. Дане співвідношення дозволяє правильно вибрати розміри стандартизованих постійних магнітів для збудження генератора. Проведено розрахунок магнітного поля методом скінчених елементів на одному полюсному кроці для підтвердження доцільності методу.

Ключові слова: генератор з поперечним магнітним потоком, схема заміщення, постійний магніт, робоча діаграма, магнітний потік, магнітний опір, намагнічувальна сила, проєктування.

Представлено эквивалентную схему замещения магнитной системы генератора с поперечным магнитным потоком, который характеризуется дисковой конструкцией ротора и возбуждением от постоянных магнитов, для режима холостого хода. На примере ГПП-32-180 показано принцип ее решения с использованием рабочей диаграммы постоянного магнита. Получена зависимость длины постоянного магнита от его намагничивающей силы на обоих радиусах ротора. Данное соотношение позволяет правильно выбрать размеры стандартизованных постоянных магнитов для возбуждения генератора. Проведен расчет магнитного поля методом конечных элементов на одном полюсном делении для подтверждения целесообразности метода.

Ключевые слова: генератор с поперечным магнитным потоком, схема замещения, постоянный магнит, рабочая диаграмма, магнитный поток, магнитное сопротивление, намагничивающая сила, проектирование.

Purpose. The transversal flux generators are very perspective machine type. They can use low wind or water flow to transform their energy into the electricity with good efficiency value. Obtaining the dependence of the length of the permanent magnet on its magnetizing force on both radii of the rotor. This ratio allows us to correctly select the dimensions of the standardized permanent magnets to excite the generator. This dependence of permanent magnet length allows us to better analyze the electromagnetic processes in transverse magnetic field generator. **Methodology.** Analytic and computer calculation of magnetic field of the transversal magnetic flux generator in no-load mode. The analytical methodology must be proved by finite-element method using the 3D simulation in the modern and powerful software such as Ansys Maxwell. It allows us to compare methodology of TFM design and find the most optimal method for TFM design in accordance with fast and accuracy design process. **Results.** An equivalent circuit is presented for the magnetic system of the transverse magnetic flux generator, which is characterized by a disk design of the rotor and excitation from permanent magnets in no-load mode. On the example of TFM-32-180, the principle of its solution using the working diagram of a permanent magnet is presented. **Originality.** The analytical calculation of the correct selection of the standardized permanent magnets dimensions to excite the transversal magnetic flux generator in no-load mode. **Practical value.** This generators work as a low speed machine and have a rather simple construction. It can be used as high effective machine in low speed rivers or wind turbines installations. Therefore, quality and accurate design process is a practically evaluated. Getting the possibility to analytically design the transversal magnetic flux generator more accurately is a good practical value of this perspective type of the machine.

Keywords: transverse magnetic flux generator, equivalent circuit, permanent magnet, working diagram, magnetic flux, magnetic resistance, magnetizing force, design.

Вступ. Пошук шляхів підвищення продуктивності електричних машин завжди є актуальною задачею. Останнім часом ці зусилля були полегшені досягненнями в галузі енергетики, електроніки, і введенням нових матеріалів. Були вдосконалені магнітотверді і магнітом'які матеріали, тому розробка нових магнітом'яких магнітних композитів дозволяє будувати електричні машини, в яких шлях основного магнітного потоку є тривимірним.

Проектування електричних машин націлене на досягнення високих питомих показників та ефективності перетворення енергії при поєднанні з низькою вартістю виготовлення.

З огляду на екологічні проблеми та обмеженість глобальних ресурсів, мета досягнення максимально можливої ефективності стає все більш важливою. Максимум ефективності – низькі втрати. На жаль, оптимізація ефективності часто означає вибір більш дорогих матеріалів. Щоб слідувати цим маршрутом, повинна бути помітна різниця в ефективності. Якщо загальна вартість втрат враховується протягом усього терміну служби, машина, що має більш кращу ефективність є більш економічною. Однак, при розрахунках вартості в короткостроковій перспективі,

вибір часто випадає на дешевшу машину. З точки зору виробництва, мотивація така, щоб знайти топологію проектування та виготовлення, яка могла б забезпечити більш високу продуктивність або ефективність на більш низькій ціні виробництва.

Одним з можливих рішень є використання магнітом'яких композитів в генераторах з поперечним магнітним потоком (ГПП). Ці машини відомі їх здатністю розвивати високий питомий обертовий момент, значення якого знаходиться в межах від 6 до 20 Н·м/кг порівняно з 4-8 Н·м/кг у сервомашин того ж розміру. Особливість конструкції магнітної системи в ГПП дає можливість основному магнітному потоку протікати не в площині, а в трьох вимірах. Також відомо, що недоліком ГПП є відносно великі, в порівнянні з класичними машинами, значення потоків розсіяння, що знижує коефіцієнт потужності [1].

Постановка задачі. Метою роботи є створення на основі фундаментальних рівнянь (закону повного струму і безперервності магнітного потоку) системи рівнянь магнітного кола з урахуванням особливостей кожної ділянки та характеристики розмагнічування постійного магніту. Для цього необхідно розробити еквівалентну схему заміщення магнітної системи

© А. В. Єгоров, А. М. Масленников, О. О. Дунев, Р. В. Бредун, 2020

ГПП, вирішення якої дозволяє отримати залежність розмірів постійного магніту від необхідного значення магнітної індукції в повітряному проміжку.

Об'єкт дослідження. Розрахунковий аналіз проводився на робочому прототипі ГПП-32-180 з дисковою конструкцією ротора, що розташовано між двома фазами статора, зовнішній вигляд якого показано на рис. 1. Даний генератор розраховано на фазну напругу $U_N = 48$ В та струм однієї фази $I_N = 3$ А. Він має кількість фаз $m = 2$, кількість пар полюсів $p = 32$ та наступні розміри: зовнішній діаметр осердя статора $d_{se} = 180$ мм, активна довжина $l_a = 90$ мм, повітряний проміжок $\delta = 1$ мм.

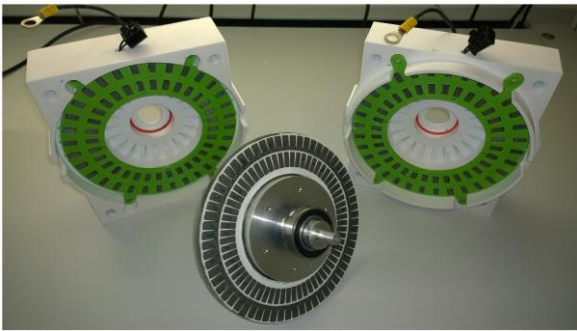


Рис. 1 – Розібраний ГПП-32-180

Статор генератора складається з двох фаз, кожна з яких складається з кільцевої котушки та рівномірно розташованими на ній П-подібними осердями, що виконують роль магнітопроводів (див. рис. 2, а). Кожен такий магнітопровід складається з двох зубців, які з'єднані ярмом (див. рис. 2, б). На торцевій поверхні дискового ротора розташовано у два ряди (на меншому та на більшому радіусах ротора) постійні магніти, кількість яких перевищує кількість П-подібних осердь у два рази. Оскільки на більшому радіусі ротора довжина кола більша, то на ньому розташовано постійні магніти з більшою шириною для максимального використання поверхні ротора [2, 3].

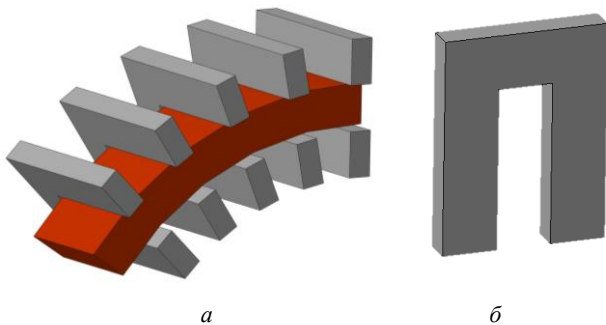


Рис. 2 – Конструкція статора ГПП
а – фрагмент фази статора; б – П-подібне осердя

Також можна сказати, що конструкція ГПП відрізняється своєю простотою в порівнянні з іншими машинами. Корпус машини не є частиною магнітного кола, що дозволяє виготовити його з немагнітного матеріалу, а так як машина тихохідна, то корпус не повинен нести великих навантажень, тому може бути надрукований на 3D принтері з пластику [4].

Аналіз магнітного кола за допомогою аналітичних рівнянь. В розглянутій конструкції ГПП-32-180 окрім магнітного потоку, що замикається через П-подібні осердя, існує магнітний потік розсіювання на межі кожного постійного магніту. Оскільки даний потік замикається через повітря від сусідньо розташованих постійних магнітів та не заходить в осердя статора, то розподіл магнітного поля буде мати однорідний характер.

Підсумувавши це, ми маємо наступні спрощення для аналізу магнітного кола: магнітні потоки розсіювання відсутні, а крива насичення магнітної системи – лінійна.

Оскільки магнітна система ГПП має симетрію, то можна розглянути тільки один полюсний поділ, тобто 1/32 частину машини. Приймаємо до уваги, що увесь магнітний потік Φ_{Π} проходить скрізь П-подібні осердя і замикається через магнітне осердя ротора, що тим самим створює основний магнітний контур, який показано на рис. 3.

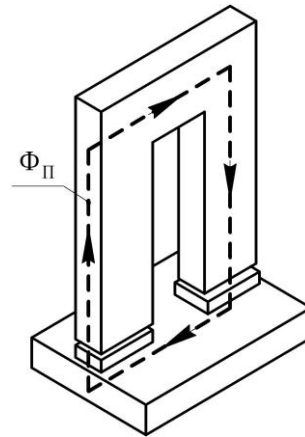


Рис. 3 – Ескіз магнітного кола (показана одна фаза статора)

Згідно з ескізом магнітного кола, складено еквівалентну схему заміщення ГПП, на якій показано усі магнітні опори та постійні магніти у вигляді джерел магнітного потоку [5]. Напрямок протікання магнітного потоку відповідає заданій полярності постійного магніту. Еквівалентна схема заміщення ГПП для неробочого ходу показана на рис. 4

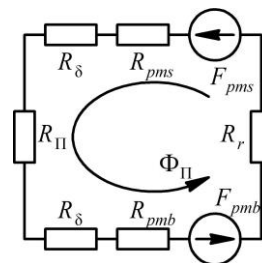


Рис. 4 – Еквівалентна схема заміщення магнітної системи ГПП

На рис. 4, де показано еквівалентну схему заміщення магнітного кола з магнітними опорами, прийнято наступне позначення:

- R_{δ} – магнітний опір повітряного проміжку;
- R_{Π} – магнітний опір П-подібного осердя;
- R_r – магнітний опір осердя ротора.

R_{pms}, R_{pmb} – внутрішній магнітний опір постійного магніту на меншому та на більшому радіусах ротора;

F_{pms}, F_{pmb} – намагнічувальна сила постійного магніту на меншому та на більшому радіусах ротора.

Згідно з правилами визначення опорів магнітного кола можна провести спрощення, об'єднав декілька послідовно увімкнених магнітних опорів в один результуючий. Таким чином, можна записати рівняння для ланки з П-подібним осердям

$$R'_{II} = R_{II} + 2R_{\delta} + R_{pms} + R_{pmb}. \quad (1)$$

Таким же чином поступимо з джерелами МРС, тільки з тією відмінністю, що на більшому радіусі ротора розташовано постійні магніти з більшою площею, тому в еквівалентному МРС їх можна тільки додавати

$$F'_{pm} = F_{pmb} + F_{pms}. \quad (2)$$

В режимі неробочого ходу, єдиним джерелом енергії, що створює магнітне поле є енергія, що запасена в постійних магнітах. Для аналітичного розрахунку необхідно знати яка магніторушійна сила може бути ними створена.

Особливістю розрахунку магнітного кола з постійним магнітом є те, що МРС постійного магніту та значення магнітного потоку не є постійним, а змінюється відповідно до зміни магнітної провідності зовнішньої магнітної системи. Такі особливості призводять до перерозподілу між потоком розсіяння та основним магнітним потоком, що впливає на значення ЕРС у обмотці статора.

У зв'язку з цим, необхідно розв'язувати задачу графоаналітичним способом з використанням робочої діаграми постійного магніту для отримання результатів першої ітерації, потім другої – і так до тих пір, поки розміри постійного магніту не забезпечать необхідне значення магнітної індукції у повітряному проміжку [6].

На роторі розташовано постійні магніти марки Nd42, з наступними розмірами: на меншому радіусі – ширина 5 мм, довжина 10 мм, ефективна площа складає $S_{pms} = 50 \text{ мм}^2$; на більшому радіусі – ширина складає 7 мм, довжина 10 мм, таким чином ефективна площа – $S_{pmb} = 70 \text{ мм}^2$.

Оскільки характеристика розмагнічування постійного магніту залежить тільки від його товщини, то дані характеристики будуть співпадати.

Товщина постійних магнітів на обох радіусах ротора повинна буди однаковою для забезпечення рівномірності повітряного проміжку, тому для початку розрахунку приймемо її рівною найменшому стандартизованому значенню, при заданій ширині та довжині, тобто $l_{pm} = 2 \text{ мм}$.

Результати розрахунку характеристики розмагнічування постійного магніту для першої ітерації наведено на рис. 5.

Точка перетину характеристики повітряного проміжку та результуючої характеристики розмагнічування постійного магніту дає положення робочої точки K , якій відповідає значення $\phi_{\delta} = 0,58$. Перехід до абсолютних одиниць здійснюється за формулою:

$$\Phi_{\delta} = \phi_{\delta} m_{\phi} = 0,58 \cdot 0,000065 = 0,000037 \text{ Вб},$$

де m_{ϕ} – масштаб магнітного потоку.

Величина індукції в повітряному проміжку на меншому та на більшому радіусах ротора складає відповідно:

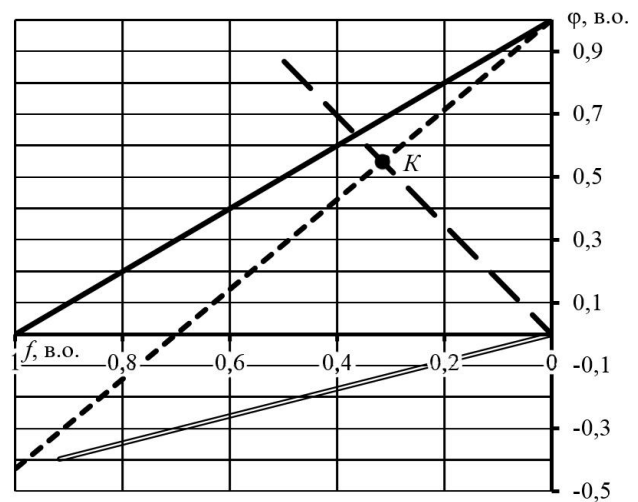
$$B_{\delta s} = \Phi_{\delta} / S_{pms} = 0,000037 / 50 \cdot 10^{-6} = 0,74 \text{ Тл},$$

$$B_{\delta b} = \Phi_{\delta} / S_{pmb} = 0,000037 / 70 \cdot 10^{-6} = 0,53 \text{ Тл}.$$

Намагнічувальна сила постійного магніту не залежить від його площі, тому на обох радіусах ротора вона буде співпадати:

$$F_{pms} = F_{pmb} = f_m \cdot m_F = 0,32 \cdot 3820 = 1220 \text{ А},$$

де m_F – масштаб МРС.



- — — — — характеристика розмагнічування постійного магніту;
- — — — — характеристика повітряного проміжку
- — — — — характеристика потоку розсіяння;
- - - - - результуюча характеристика.

Рис. 5 – Магнітні характеристики елементів магнітного кола у відносних одиницях

Знайдена МРС постійних магнітів та значення у повітряному проміжку дає можливість провести розрахунок схеми заміщення та порівняти результати.

Еквівалентна схема заміщення магнітної системи ГПП, що показана на рис. 4, являє собою елементарне одноконтурове коло, для якого можна записати співвідношення

$$F'_{pm} = \Phi_{II} \cdot (R'_{II} + R_r), \quad (3)$$

Оскільки еквівалентна схема заміщення магнітної системи не має розгалуження, то магнітний потік в контурі з П-подібним осердям буде співпадати зі значенням магнітного потоку в повітряному проміжку, отриманим графоаналітичним способом

$$\Phi_{II} = \Phi_{\delta}. \quad (4)$$

Розкривши складові приведенного опору в рівнянні (3) з урахуванням (4), отримаємо залежність

$$F'_{pm} = \Phi_{\delta} \cdot (R_{II} + 2R_{\delta} + R_{pms} + R_{pmb} + R_r). \quad (5)$$

В свою чергу, магнітний опір кожної ділянки залежить від довжини l_m на якій його розраховують, її відносної магнітної проникності μ_r та площі поперечного перерізу S_m , через яку проходить магнітний потік

$$R_m = \frac{l_m}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot S_m}, \quad (6)$$

де μ_0 – магнітна постійна, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Підставивши рівняння (6) до (5), з урахуванням особливостей кожної ділянки отримаємо

$$F'_{pm} = \frac{\Phi_{\delta}}{\mu_0} \cdot \left(\frac{l_{\Pi}}{\mu_{rr} \cdot S_{\Pi}} + \frac{2 \cdot l_{\delta}}{S_{\delta}} + \frac{l_{pms}}{S_{pms}} + \frac{l_{pmb}}{S_{pmb}} + \frac{l_r}{\mu_{rr} \cdot S_r} \right), \quad (7)$$

де S_{Π} – площа поперечного перерізу зубця П-подібного осердя; S_{δ} – площа поперечного перерізу під зубцем П-подібного осердя; S_r – площа, через яку проходить магнітний потік в осерді ротора.

Конструкція ГПП передбачає рівність розмірів зубця П-подібного осердя та постійного магніту на меншому радіусі ротора, а також, для спрощення розрахунку, можна взяти рівною і площу на ділянці повітряного проміжку.

З рівняння (7) можна виразити довжину постійного магніту, яка становить

$$l_{pm} = \frac{S_{pms} \cdot S_{pmb}}{S_{pms} + S_{pmb}} \cdot \left(\frac{\mu_0 \cdot (F_{pms} + F_{pmb})}{\Phi_{\delta}} - \frac{l_{\Pi} \cdot S_r + l_r \cdot S_{\Pi}}{\mu_{rr} \cdot S_{\Pi} \cdot S_r} - \frac{2 \cdot l_{\delta}}{S_{\delta}} \right). \quad (8)$$

Таким чином, рівняння (8) після підстановки геометричних розмірів елементів конструкції генератора, є залежністю довжини постійного магніту від його намагнічувальної сили на обох радіусах ротора. Дане співвідношення необхідно на початковому етапі проектування генератора для правильного вибору розмірів стандартизованих постійних магнітів.

Аналіз магнітного кола методом скінчених елементів. В програмному середовищі ANSYS Maxwell [7] методом скінчених елементів виконано тривимірне моделювання магнітного поля з урахуванням усіх особливостей конструкції генератора та реальних властивостей його матеріалів.

Були задані усі необхідні параметри машини: крива намагнічування сталі, кількість витків у котушці, частота обертання ротора, намагнічування постійного магніту, величина залишкової індукції B_r , тип магніту NdFeB (рис. 6, рис.7).

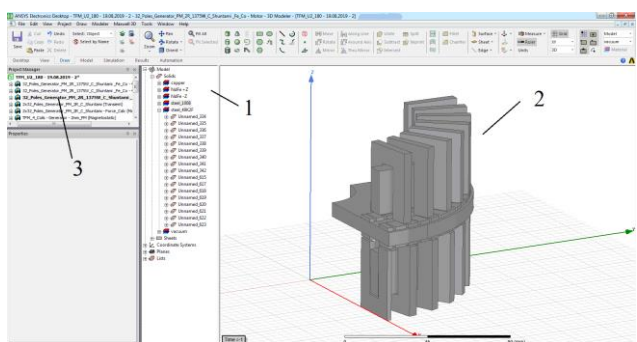


Рис. 6 – Головний екран програмного середовища ANSYS Maxwell під час підготовки 3D моделі до розрахунку
 1 – поле для завдання властивостей матеріалів;
 2 – поле для редагування 3D моделі машини;
 3 – поле для завдання особливостей розрахунку моделі

У результаті електромагнітного розрахунку у середовищі Ansys Maxwell отримано картини насичення магнітопроводів та картина замикання магнітного потоку по осерддю ГПП (рис. 8), що підтвердили аналітичні викладки при аналізі магнітного кола за допомогою еквівалентних схем заміщення.

Було задано граничні умови розрахункової моделі та враховано напрямок намагніченості кожного із постійних магнітів ротора. Було використано адаптовану розрахункову сітку у моделі, яка дозволяє більш точно підібрати необхідну кількість елементів (тетраедрів) для оптимального співвідношення точності розрахунку та витраченого часу.

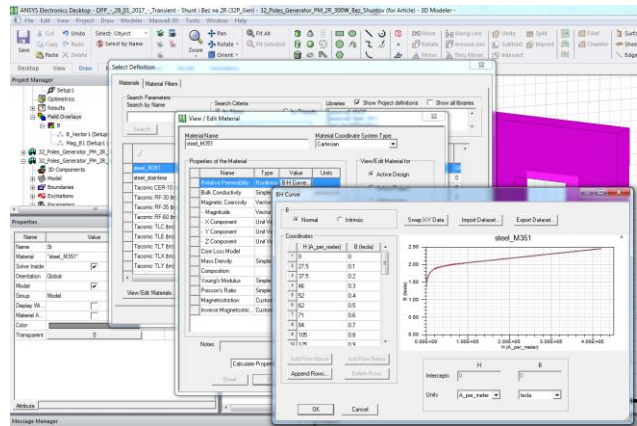


Рис. 7 – Завдання властивостей матеріалів відповідно до реального об'єкта ГПП

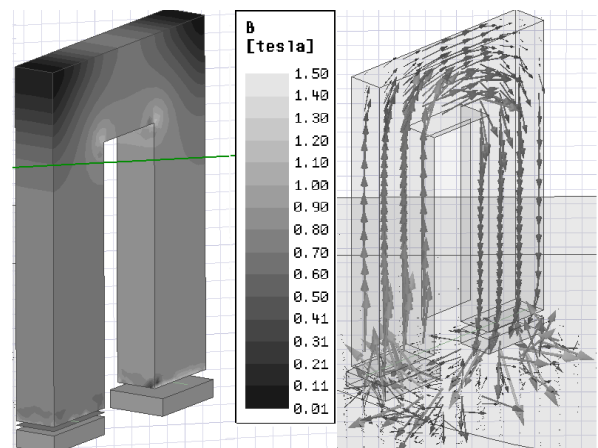


Рис. 8 – Картини насичення полюса та картина замикання магнітного потоку по осерддю ГПП

Висновки.

1. Для оптимізації генераторів з поперечним магнітним потоком, виконаних на постійних магнітах, пропонується використовувати метод теорії магнітних кіл, що має на увазі еквівалентну заміну фізичних елементів ГПП сукупністю магнітних джерел і магнітних опорів. Для реалізації цього підходу розроблена еквівалентна схема заміщення магнітної системи та обґрунтовано зв'язок параметрів схеми заміщення з довідковими параметрами матеріалу магніту.
2. Розроблена еквівалентна схема заміщення пропонується для оптимізації магнітної системи ГПП, що виконана на збудженні від постійних магнітів.
3. Отримана залежність, яка дозволяє правильно вибрати розміри стандартизованих постійних магнітів для збудження ГПП.
4. Проведений розрахунок магнітного поля на одному полюсному кроці генератора методом скінчених елементів підтвердив доцільність розрахунку магнітного поля методом теорії магнітних кіл.

Список літератури

1. Dobzhanskyi O. Study on permanent magnet transverse flux machine: A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in The Department of Electrical & Computer Engineering : 05.12 / Dobzhanskyi Oleksandr. – 2012. – P. 149.
2. Палис Ф. Двигатель с поперечным магнитным потоком – компьютерные и экспериментальные исследования / Ф. Палис, М. Штаман, Ю. Киршнер и др. // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы автоматизированного электропривода. – 2013. – № 36 (1009). – С. 287–290.
3. Єгоров А. В. Визначення оптимальної кількості полюсів статора TFM в генераторному режимі роботи / А. В. Єгоров, А. М. Масленніков, О. О. Дунев, Р. Ляйдхольд, М. Штаман // Електротехнічні системи. – № 25 (101), 2017. – С. 117–124.
4. Єгоров А. В. Пути уменьшения момента сопротивления при вращении дискового ротора и увеличение электродвижущей силы в генераторе с поперечным магнитным потоком в режиме холостого хода / А. В. Єгоров, О. О. Дунев, А. М. Масленніков, М. Штаман // Problemele energeticii regionale, 2019. – № 40. – с. 105–117. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3239164>
5. Жуловян В. В. Схема замещения синхронных машин с модулированным магнитным потоком с постоянными магнитами с учетом потерь в стали / В. В. Жуловян, А. Ф. Шевченко // Науч. вестн. НГТУ. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2000. – № 1 (8). – С. 127–136.
6. Балагуров В. А. Электрические машины с постоянными магнитами / В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев, А. Н. Ларионов; под ред. А. Н. Ларионов. – М.: Энергия, 1964. – 480 с.
7. Ansys Maxwell 3D v.15 – Electromagnetic and Electromechanical Analysis: user's guide / Ansys Inc. – Pittsburgh, 2012. – 1006 p.
- partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in The Department of Electrical & Computer Engineering : 05.12. 2012, P. 149.
2. Palis F., Shtaman M., Kirshner Yu. Dvigatel s poperechnym magnitnym potokom – kompyuternye i eksperimentalnye issledovaniya [Transverse Magnetic Flux Machine - Computer and Experimental Research]. *Vestnik Nats. tehn. un-ta «HPI» : sb. nauch. tr. Temat. vyip. : Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda*. 2013, no. 36 (1009), pp. 287–290. (Rus)
3. Yehorov A. V., Masliennikov A. M., Duniev O. O., Liaidkhold R., Shtamann M. Vyznachennia optimalnoi kilkosty poliisiv statora TFM v heneratornomu rezhymi roboty [Determination of the optimal number of TFM stator poles in the generating mode]. *Elektrotekhnicheskie i kompjuternie sistemy*. 2017, no. 25 (101), pp. 117–124. (Ukr.)
4. Yehorov A. V., Dunev O. O., Maslennikov A. M., Shtamann M. Puti umensheniya momenta soprotivleniya pri vraschenii diskovogo rotora i uvelichenie elektrodvizhushchey silyi v generatore s poperechnym magnitnym potokom v rezhime holostogo hoda [Ways to reduce the moment of resistance during rotation of the disk rotor and increase the electromotive force in the transverse flux generator in no-load mode]. *Problemele energeticii regionale*. 2019, no. 40, pp. 105–117. doi:<https://doi.org/10.5281/zenodo.3239164> (Eng)
5. Zhulovyan V. V., Shevchenko A. F. Shema zamesheniya sinhronnykh mashin s modulirovannym magnitnym potokom s postoyannymi magnitami s uchetom poter v stali The equivalent circuit of synchronous machines with modulated magnetic flux with permanent magnets, taking into account losses in steel. *Nauch. vestn. NGTU*. 2000, no. 1 (8), pp. 127–136. (Rus)
6. Balagurov V. A., Galteev F. F., Larionov A. N. *Elektricheskie mashiny s postoyannymi magnitami* [Permanent Magnet Electric Machines]. Moscow, Energiya, 1964, 480 p. (Rus)
7. Ansys Maxwell 3D v.15 – Electromagnetic and Electromechanical Analysis: user's guide / Ansys Inc. Pittsburgh, 2012, 1006 p.

References (transliterated)

1. Dobzhanskyi O. Study on permanent magnet transverse flux machine: A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in

Надійшла (received) 14.02.2020

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Єгоров А. В. Аналіз магнітного кола в генераторі з поперечним магнітним потоком в режимі неробочого ходу / А. В. Єгоров, А. М. Масленніков, О. О. Дунев, Р. В. Бредун // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 101-105. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.17.

Єгоров А. В. Анализ магнитной цепи в генераторе с поперечным магнитным потоком в режиме холостого хода / А. В. Єгоров, А. М. Масленніков, А. А. Дунев, Р. В. Бредун // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: «Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії». – 2020. – № 3 (1357). – С. 101-105. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.17.

Yehorov A. V. The magnetic circuit analysis of the transverse magnetic flux generator in no-load mode / A. V. Yehorov, A. M. Masliennikov, O. O. Duniev, R.V. Bredun // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – 2020. – No. 3 (1357). – P. 101-105. – doi:10.20998/2409-9295.2020.3.17.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Єгоров Андрій Володимирович (Єгоров Андрей Владимирович, Yehorov Andrii Volodimirovych) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, м. Харків, Україна, тел. (057) 707-68-44; ORCID: 0000-0001-6643-4256; e-mail: yehorov.andrii@gmail.com.

Масленніков Андрій Михайлович (Масленников Андрей Михайлович, Masliennikov Andrii Mikhailovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; ORCID: 0000-0003-1174-0322; e-mail: x-maslennikov@yandex.ua.

Дунев Олексій Олександрович (Дунев Алексей Александрович, Duniev Oleksii Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; ORCID: 0000-0001-8196-7077; e-mail: duniev.khpi@gmail.com.

Бредун Руслан Вячеславович (Бредун Руслан Вячеславович, Bredun Ruslan Viacheslavovich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістрант кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: ruslanbredun007@gmail.com.