

РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАГНІТНОЇ ПЕРЕДАЧІ

¹Коваленко М.А., к.т.н., доц., ²Коваленко І.Я., ст. викладач, ¹Базаров О.О., аспірант, ¹Тітов Є.О., аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ¹кафедра електромеханіки, ²кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. В останні десятиліття в усьому світі активно проводяться дослідження та впровадження нового класу електромеханічних перетворювачів енергії – магнітних передач [1]. Їх розробка стала можливою завдяки підвищенню потужності та створенню нових типів постійних магнітів з високою коерцитивною силою. Магнітні передачі знаходять застосування в таких галузях, як вітроенергетика, важкий, середній та легкий автотранспорт, суднобудування, нафтовидобуток, хімічна та харчова промисловість. Вони використовуються у механізмах з низькою швидкістю обертання, де частота обертання валу відносно невисока [2].

Магнітні редуктори мають великий потенціал для застосування в автономних вітрових електростанціях. Зазвичай у вітрових турбінах застосовують механічні мультиплікатори для перетворення низької швидкості обертання лопатей у високу швидкість генератора. Проте, механічні передачі характеризуються такими недоліками, як низька надійність та необхідність регулярного обслуговування [3]. Магнітні передачі є більш ефективною та менш затратною альтернативою для конверсії енергії [4].

Таким чином, використання магнітних редукторів у автономних вітрових електростанціях є більш перспективним як з економічної, так і з технічної точки зору порівняно з традиційними механічними передачами [5].

Відомо, що для зменшення розмірів електричних машин слід збільшувати їх номінальну швидкість, що вимагає використання мультиплікаторів [6]. Перевага цього підходу полягає в тому, що номінальний механічний момент зубчастій передачі значно перевищує аналогічний показник сучасних синхронних електричних машин з постійними магнітами [7], що дає змогу отримати вищу продуктивність у високошвидкісних електричних машинах у порівнянні з прямим приводом [8, 9].

Механічні передачі мають свої недоліки: низька надійність, потреба в змащуванні, високий рівень шуму, ризик пожежі та обмежена здатність до перевантажень. Важливим завданням у сфері електромеханіки є розробка нових пристроїв, які усували б ці недоліки, зберігаючи переваги передач. Одним із таких рішень є магнітна передача, де крутний момент передається через магнітні поля, а не механічний контакт [9, 10]. Це дозволяє досягти безконтактного перетворення швидкості та крутного моменту, усуваючи деякі недоліки механічних передач, зберігаючи при цьому компактні розміри.

Мета дослідження. Розробка експериментального стенду магнітної передачі для оцінки її параметрів та характеристик. В якості об'єкта дослідження

використовується магнітна передача циклоїдного типу. Предметом дослідження є основні вихідні параметри та характеристики досліджуваної передачі.

Матеріали та результати досліджень. Об'єктом дослідження є магнітна передача побудована для варіанта магнітної системи магнітної передачі, виконаної за коаксіальною планетарною топологією. Основні розміри магнітної системи досліджуваної передачі наведено на Рис. 1 [11].

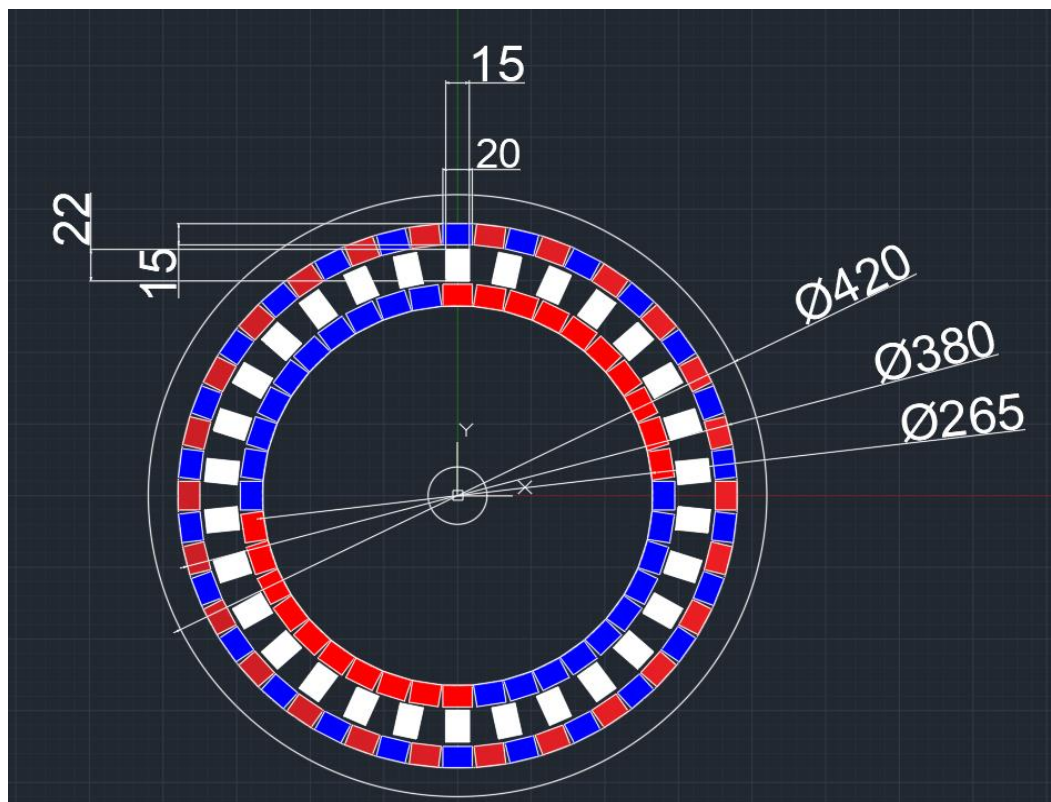


Рисунок 1 – Основні розміри магнітної системи досліджуваного варіанта магнітної передачі

Експериментальний зразок магнітної передачі розроблено в рамках виконання даного дослідження з подальшим виготовленням і монтажем в спеціалізованій лабораторії. У зв'язку з високою вартістю розробки реального макетного зразка (в металі, з виконанням повноцінного магнітного осердя із електротехнічної сталі) магнітної передачі, в даному дослідженні показано результати випробування магнітної передачі, виготовленої з використанням технології тривимірного друку, а з метою заощадження матеріально-технічних ресурсів всі немагнітопровідні елементи магнітної передачі виготовлені з ABS пластику із пропорційним зменшенням масштабу відносно прототипу [12].

Загальний вигляд експериментального зразку магнітної передачі, представлений на Рис. 2. Експериментальні дослідження магнітної передачі неможливі без попереднього виготовлення реального зразка магнітної передачі. Процес розробки макетного зразка магнітної передачі поділено на декілька етапів, що описано далі в рамках даної роботи. На першому етапі розробки, створено модель експериментального зразка магнітної передачі в пакеті програм 3D моделювання м. SolidWorks – потужна програма для 3D-моделювання, яка

дозволяє створювати різні об'єкти на основі ескізів, параметричних поверхонь та деталей [13, 14].

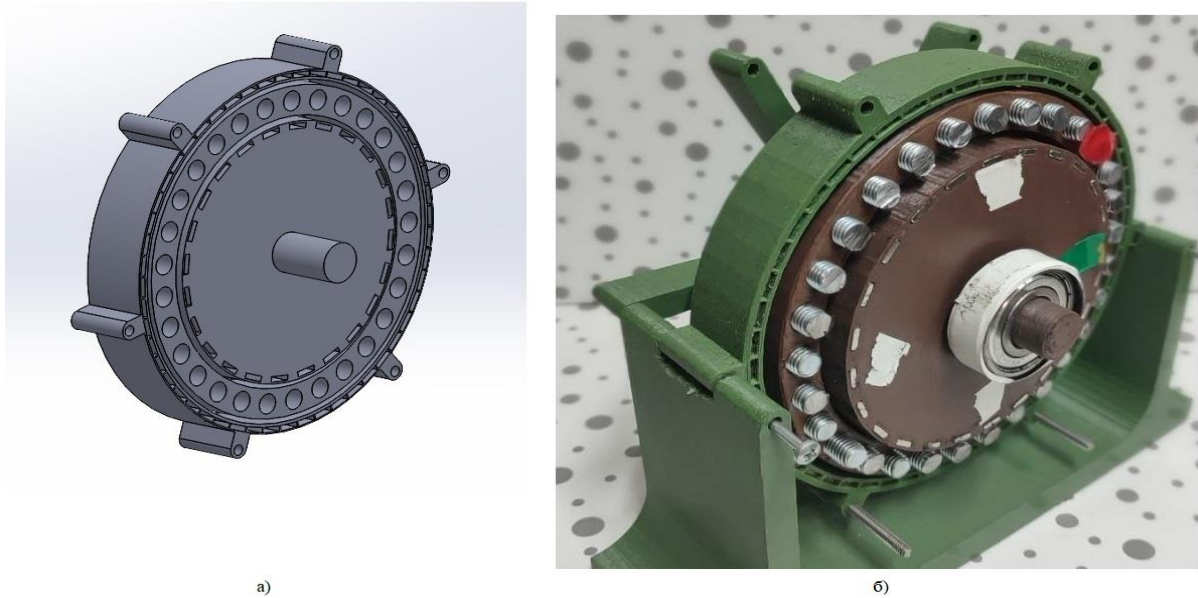


Рисунок 2 – Експериментальний зразок магнітної передачі: а – 3D модель;
б – загальний вигляд.

У робочому режимі магнітна передача виступає у ролі перетворювача механічної енергії, змінюючи частоту обертання та момент. При цьому вона повинна бути здатна пропускати через себе потік механічної потужності, що проходить від джерела до споживача. Визначення здатності функціонувати у робочому режимі досліджено на лабораторному стенді (Рис. 3).

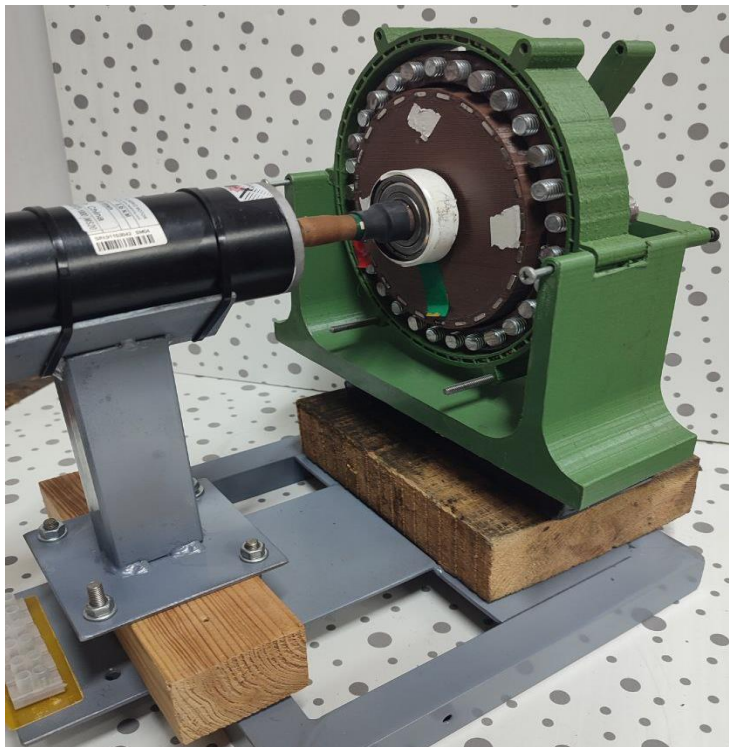


Рисунок 3 – Експериментальна установка для дослідження магнітної передачі в робочому режимі

У конструкції модулятора передбачено прямокутні (або круглі) отвори, що призначені для монтажу феромагнітних сегментів магнітного модулятора. На другому етапі за допомогою 3д принтеру ANYCUBIC 4MAX FORMAX PRO проведено друк всіх комплектуючих. На третьому етапі проведено монтаж магнітів у свої пази та подальший збір магнітної передачі в єдиний електромеханічний модуль.

Стенд для проведення лабораторних досліджень отримує живлення від мережі постійного струму 12 В. В якості приводу використовується двигун DCM 50207D – 1000. Керування швидкістю обертання двигуна відбувається за допомогою транзисторного DC регулятора. Визначення швидкості обертання двигуна та високошвидкісного ротору магнітної передачі відбувалося за допомогою лазерного безконтактного тахометру UNI-T UT373.

Для визначення передавального коефіцієнту було проведено низку дослідів з різною швидкістю обертання вхідного валу. Для спрощення проведення дослідів вхідну швидкість було прикладено до високошвидкісного ротору магнітної передачі і в такому випадку магнітоелектричний модуль працює в режимі редуктора. Результати проведених дослідів зведено графічно на Рис. 4.

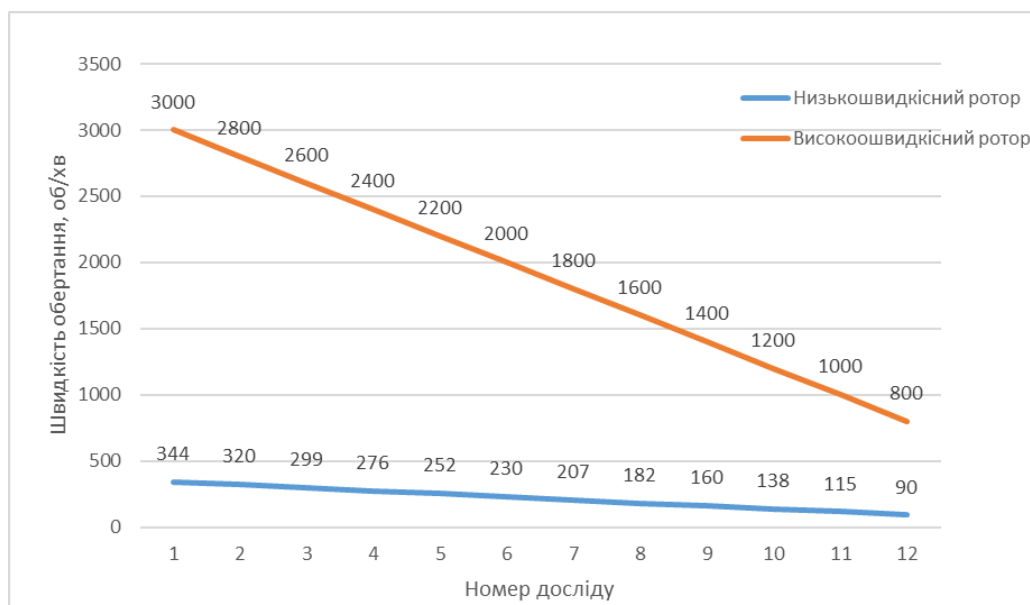


Рисунок 4 – Швидкісна характеристика досліджуваної магнітної передачі

Передавальний коефіцієнт відрізняється від розрахованого на 0,72%. Дане відхилення можливе за рахунок похибки вимірювання швидкості.

Висновки. На підставі отриманих розрахункових даних розроблено графічну модель магнітної передачі в системі автоматизованого проектування, розроблено конструктивні рішення, застосовані для виготовлення експериментального зразку магнітної передачі.

Отримані результати визначення втрат потужності показали, що крім магнітних втрат у магнітній системі, значну частину загальних втрат потужності складають механічні втрати в підшипниках, спричинені підвищеним навантаженням на них внаслідок наявності некомпенсованих радіальних

електромагнітних зусиль, а також магнітні втрати в елементах конструкції, спричинені вираженими кінцевими ефектами.

Перелік посилань

1. Zheng Ma, Jingwei Ai, Yamei Yue, Kun Wang, Bin Su, A superhydrophobic magnetoelectric generator for high-performance conversion from raindrops to electricity, *Nano Energy*, Volume 83, 2021, 105846, ISSN 2211-2855, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105846>.
2. Radwan-Pragłowska, N., Wegiel, T., Borkowski, D. (2020). Modeling of Axial Flux Permanent Magnet Generators. *Energies*, no.13(21), 5741-5745. <https://doi.org/10.3390/en13215741>.
3. Sadullaev, N & Nematov, Sh & Sayliev, F. (2022). Evaluation of the technical parameters of the generator for efficient electricity generation in low-speed wind and water flows. *Journal of Physics: Conference Series*. 2388. 012142. 10.1088/1742-6596/2388/1/012142.
4. Chumack, Vadim and Bazenov, Volodymyr and Tymoshchuk, Oksana and Kovalenko, Mykhailo and Tsyvinskyi, Serhii and Kovalenko, Iryna and Tkachuk, Ihor, Voltage stabilization of a controlled autonomous magnetoelectric generator with a magnetic shunt and permanent magnet excitation (2021). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(5 (114), 56–62. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246601 (ISSN 1729-3774).
5. M. A. Noroozi Dehdez and J. Milimonfared, "A Novel Radial–Axial Flux Switching Permanent Magnet Generator," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 69, no. 12, pp. 12096-12106, Dec. 2022, doi: 10.1109/TIE.2021.3128901.
6. F. Yu et al., "Design and Multiobjective Optimization of a Double-Stator Axial Flux SRM With Full-Pitch Winding Configuration," in *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 8, no. 4, pp. 4348-4364, Dec. 2022, doi: 10.1109/TTE.2022.3173938.
7. J. Zhao, Y. Wang, J. Li and H. Hu, "Comparative Study on Torque Performance of Five-phase Single-Stator and Double-Stator Permanent Magnet Synchronous Motors," in *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 46-52, March 2022, doi: 10.30941/CESTEMS.2022.00007.
8. V.M. Golovko, M.Ya. Ostroverkhov, M.A. Kovalenko, I.Ya. Kovalenko, D.V. Tsyplenkov Mathematical simulation of autonomous wind electric installation with magnetoelectric generator // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2022, (5): 074 – 079. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/074>.
9. Cendoya, M. & Talpone, Juan & Puleston, P.F. & Barrado, José Antonio & Martinez-Salamero, L. & Battaiotto, P.E.. (2021). Management of a Dual-Bus AC+DC Microgrid Based on a Wind Turbine with Double Stator Induction Generator. *Wseas transactions on power systems*. 16. 297-307. 10.37394/232016.2021.16.30.
10. M. A Kovalenko; I. Ya Kovalenko; I. V Tkachuk; A. G Harford; D. V Tsyplenkov. Mathematical modeling of a magnetic gear for an autonomous wind turbine // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2024, (2): 088 – 095. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-2/088>.
11. Wirtayasa, Ketut & Irasari, Pudji & Kasim, Muhammad & Widiyanto, Puji & Hikmawan, Muhammad. (2019). Load characteristic analysis of a double-side internal coreless stator axial flux PMG. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*. 10. 17. 10.14203/j.mev.2019.v10.17-23.
12. Lee, J.-Y.; Lee, J.-H.; Nguyen, T.K. Axial-Flux Permanent-Magnet Generator Design for Hybrid Electric Propulsion Drone Applications. *Energies* 2021, 14, 8509. <https://doi.org/10.3390/en14248509>
13. Tokgoz, Furkan. (2022). Analytical Modelling and Multi-Objective Optimization of Axial-Flux Permanent Magnet Machine with Various PCB Stators and Development of a GaN Switched Integrated Motor Drive PCB Motor.
14. Kastawan, I & Rusmana,. (2020). Pengujian pembangkitan tegangan generator axial-flux permanent magnet (AFPM) tiga-fasa ganda. *Jurnal Teknik Energi*. 6. 503-509. 10.35313/energi.v6i2.1713