

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У ВІТРОУСТАНОВКАХ ІЗ МАГНІТНИМ РЕДУКТОРОМ ТА ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОМ НА ПОСТІЙНИХ МАГНІТАХ

В.В. Гребеніков, О.Д. Подольцев, Л.І.Мазуренко, Р.В.Гамалія  
Інститут електродинаміки НАН України

Останнім часом для вітроустановок дедалі частіше використовують магнітні редуктори (МР) на постійних магнітах, які, на відміну від механічних мультиплікаторів, не створюють додаткового шуму, не потребують змащення, довговічність роботи в них вища, експлуатаційні витрати також істотно знижуються [1, 2].

Слід зазначити, що хоча електромеханічні процеси безпосередньо в МР розглядалися в багатьох роботах, наприклад [3, 4], динамічні процеси в МР як елементі складної електромеханічної системи – вітроустановки досліджувалися недостатньо.

Метою даної роботи є розробка комп'ютерної моделі та дослідження пов'язаних механічних та електричних динамічних процесів в основних елементах вітроелектричної установки малої потужності (3 кВт), в якій замість механічного редуктора використовується магнітний редуктор.

На рис. 1 показана структура вітроелектричної установки, що використовується в цій роботі для заряджання акумуляторної батареї. Вона містить вітрову турбіну, вал якої приєднаний до модулятора магнітного редуктора, синхронний генератор з постійними магнітами приєднаний до високошвидкісного ротора (ВР) магнітного редуктора.

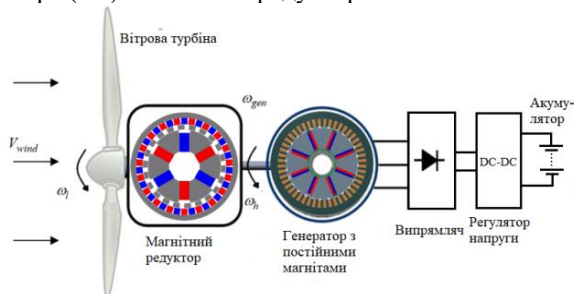


Рис. 1. Структура вітроустановки

Розроблена Simulink-модель установки в цілому, складається з моделі вітрової турбіни, магнітного редуктора, синхронного генератора з постійними магнітами, випрямляча, що підключений до виходу генератора та до еквівалентного резистивного навантаження. Для проведених розрахунків використовувалися такі початкові дані:

- Вітрова турбіна: номінальна потужність – 3 кВт, номінальна частота обертання – 250 об/хв.
  - Магнітний редуктор: максимальний момент -  $M_{max} = 159$  Н·м, число полюсів низькошвидкісного ротора –  $p_l = 19$ , число полюсів високошвидкісного ротора  $p_h = 3$ , коефіцієнт редукції  $G = (p_l + p_h)/p_h = 7,33$ .
  - Генератор: активний опір фази – 0,022 Ом, індуктивність фази – 26,7 мГн, число пар полюсів – 4, потокозчеплення від постійних магнітів – 0,26 В·с.
- Для розрахунку цих параметрів МР використовувався розрахунок методом скінченних елементів польової задачі в пакеті Simcenter Magnet, а для розрахунку

ку цих параметрів генератора використовувався розрахунок методом скінченних елементів польової задачі в пакеті Simcenter MotorSolve.

У роботі виконувався розрахунок пускового режиму вітроелектричної установки за умови, що швидкість вітру повільно збільшується від нуля до 10 м/с і потім установка працює в усталеному режимі.

Робота установки при виникненні пориву вітру розраховується, як в попередньому режимі з тою відмінністю, що в момент часу 5 с, коли система досягла усталеного режиму роботи, швидкість вітру миттєво збільшується від 10 до 14 м/с і потім в момент часу 7 с ця швидкість знову повертається до значення 10 м/с (приблизна модель пориву вітру).

За результатами проведених розрахунків показано, що в перехідних режимах при виникненні короточасних динамічних перевантажень обидва ротори магнітного редуктора на певний проміжок часу можуть випадати з синхронного руху і далі, залежно від параметрів редуктора (а також інших елементів). Електромеханічна система або досягає певного робочого усталеного режиму, або втрачає можливість передавання механічної потужності від вітрової турбіни до генератора внаслідок випадіння із синхронізму роторів магнітного редуктора. При цьому переважно від значення максимального магнітного моменту редуктора залежить стійкість роботи вітроенергетичної установки в цілому.

Робота виконана за фінансової підтримки Національного фонду досліджень України – проєкт «Електромеханічні системи підвищеної енергоефективності для енергетики, технологій і транспорту», 2024 – 2025 рр.

### Список літератури

- [1] Bao G.Q., Mao K.F. A Wind Energy Conversion System with Field Modulated Magnetic Gear. 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference DOI: 10.1109/APPEEC.2011.5748902.
- [2] Li K., Modaresahmadi S., Williams W., Wright J., Som D., Bird J. Z. Designing and Experimentally Testing a Magnetic Gearbox for a Wind Turbine Demonstrator. IEEE Transactions on Industry Applications ( Volume: 55, Issue: 4, July-Aug. 2019) DOI: 10.1109/TIA.2019.2905838.
- [3] M Sh Saleh, Ahmed EL-Betar, Ahmed EL-Assal. Review of Modeling and Simulation Technologies Application to Wind Turbines Drive Train. Journal on Today's Ideas – Tomorrow's Technologies, Vol. 2, No. 2, December 2014. P. 117–131. DOI: 10.15415/jotitt.2014.22018.
- [4] Penzkofer A., Atallah. K. Analytical Modelling and Optimisation of Pseudo Direct Drive Permanent Magnet Machines for Large Wind Turbines. IEEE Transactions on Magnetics. 2015. V. 51 No. 12. P. 31–37. DOI: 10.1109/TMAG.2015.2461175.