

МАГНІТНО-РЕДУКТОРНИЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ

¹Чумак В.В., к.т.н., доц., ¹Коваленко М.А., к.т.н., доц., ²Святненко В.А., ст. викладач, ³Коваленко І.Я., асп., асист., ¹Ткачук І.В., асп., асист.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ¹кафедра електромеханіки, ²кафедра теоретичної електротехніки, ³кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Завдяки високій швидкості вітру та більшому простору в глибшому морі офшорна вітрова енергетика стала значно привабливішою. Протягом останнього року встановлені офшорні вітрові турбіни досягли 7 МВт, а в найближчому майбутньому досягнуть 20 МВт. З іншого боку, це розширення сповнене серйозних проблем для впровадження нових концепцій у конструкції лопатей, зменшенні ваги гондол, нових стратегіях керування, величезних опорних конструкціях і вартості обслуговування морської вітрової турбіни є дуже дорогим і неможливим за певних погодних умов [1]. Крім того, великий механічний редуктор, система змащення, призводять до зменшення робочого простору та ускладнюють обслуговування компонентів, а редуктор зазвичай є найбільш проблемною частиною турбіни [2].

Мета дослідження. Щоб зменшити вартість і вагу гондoli, механічний редуктор замінено на магнітний редукторний генератор, який є магнітним редуктором, який використовує рідкоземельні магніти в поєднанні зі звичайним синхронним генератором з постійними магнітами [3]. Це означає досягнення високої швидкості без звичайного механічного редуктора, а також надання більше простору в гондолі для безпечної роботи та виробництва електроенергії навіть за умов слабкого вітру, які часто зустрічаються всередині країни.

Матеріали та результати досліджень. Топологія запропонованого зчеплення магнітної передачі та синхронного генератора з постійним магнітом проілюстрована на рис. 1. Два ротори з постійними магнітами, а між двома роторами є ротор із феромагнітними полюсами, один із двох роторів з постійними магнітами утримується нерухомо. Числа $n_l = 166$, $p_s = 168$ і $p_h = 5$ представляють полюсні низькошвидкісні феромагнітні ротори (вхідний ротор), полюсні пари стаціонарного постійного магніту та полюсні полюси високошвидкісного постійного магнітного ротора (вихідний ротор) відповідно.

Вітрова турбіна витягує кінетичну енергію з площі обертання лопатей, механічна енергія передається на вал вхідного ротора, який передається магнітним шляхом від вхідного ротора до вихідного ротора. Постійний магніт вихідного ротора взаємодіє з обмотками статора, створюючи електромагнітний момент. Таким чином, потужність, отримана вітровою турбіною, передається в мережу обмоткою статора [4].

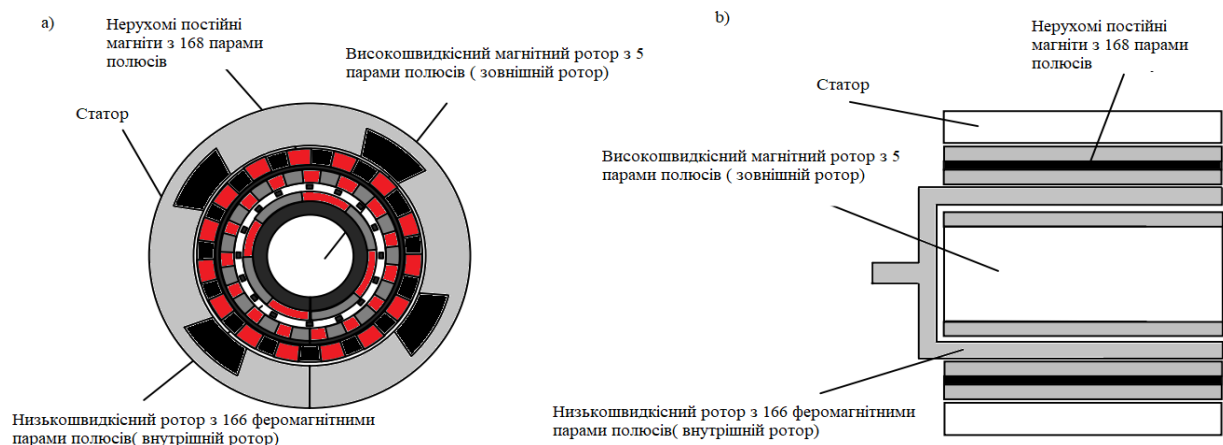


Рисунок 1 – Магнітно-редукторний генератор:
 (а) Радіальний переріз; (б) Осьовий переріз.

Магнітне передавальне число запропонованої машини:

$$G_r = \frac{nl}{p_h} = 33.2$$

Швидкість, яку необхідно застосувати до вихідного ротора, не залежить від крутних моментів роторів і є функцією застосованої вхідної швидкості та передавального числа.

Рівняння, що зв'язує рухи магнітного редуктора задається [3]:

$$p_h \omega_l = nl \omega$$

де ω_h і ω_l – швидкість вихідного і вхідного роторів відповідно.

Крутний момент передається магнітним шляхом від вхідного ротора T_l до вихідного ротора T_h згідно з рівнянням [9]:

$$T_h = -\frac{1}{G_r} T_l$$

Крутний момент, який необхідно прикладати до вихідного ротора, не залежить від швидкостей роторів і є функцією прикладеного вхідного крутного моменту та передавального числа.

Виробництво та передача крутного моменту поєднані. Таким чином, рівняння, які керують рухом роторів, наведено [9]:

$$J_l \frac{d^2 Q_l}{dt^2} = T_l - T_{max} \sin(n_p Q_p - p_h Q_h)$$

$$J_h \frac{d^2 Q_h}{dt^2} = T_h - T_{max} \frac{p_h}{n_l} \sin(n_h Q_h - n_l Q_l)$$

$$T_h = \frac{3}{2} p_h (\varphi_{sd}^{i_{sq}} - \varphi_{sq}^{i_{sd}})$$

де Q_h і Q_l – кутове положення вихідного ротора і вхідного ротора відповідно, φ – потокозчеплення, i – струм, s – обмотка статора, T_l – крутний момент вітряної турбіни, T_h – електромагнітний крутний момент, який є результатом взаємодії між постійними магнітами на вихідному роторі та обмотці статора, T_{max} – максимальний крутний момент, який може бути створений магнітним редуктором, а J_h і J_l – моменти інерції вихідного та вхідного роторів відповідно.

На рисунку 2 показано представлення трьох магнітних редукторів із передавальними числами 5,75, 13,5 та 15,5.

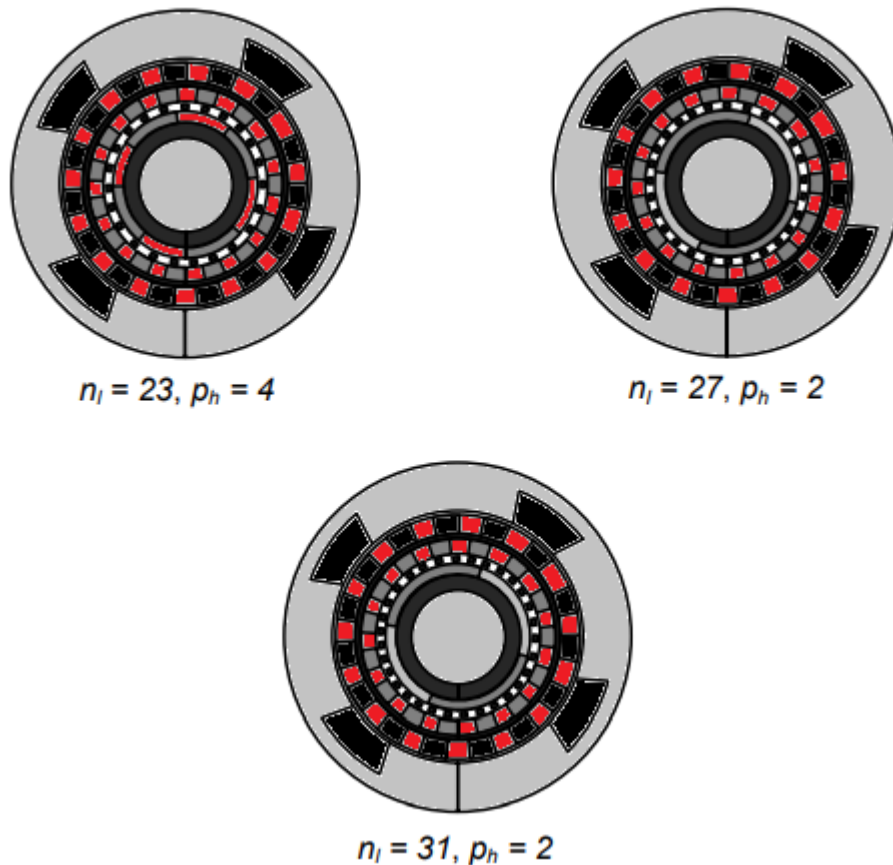


Рисунок 2 – Схеми магнітних редукторів

Для даної вхідної швидкості, яка регулюється швидкістю турбіни (рис. 3), можна чітко бачити, що вихідна швидкість ротора є функцією прикладеної вхідної швидкості та передавального числа магнітної передачі,

$$\omega_h = G_r \omega_l$$

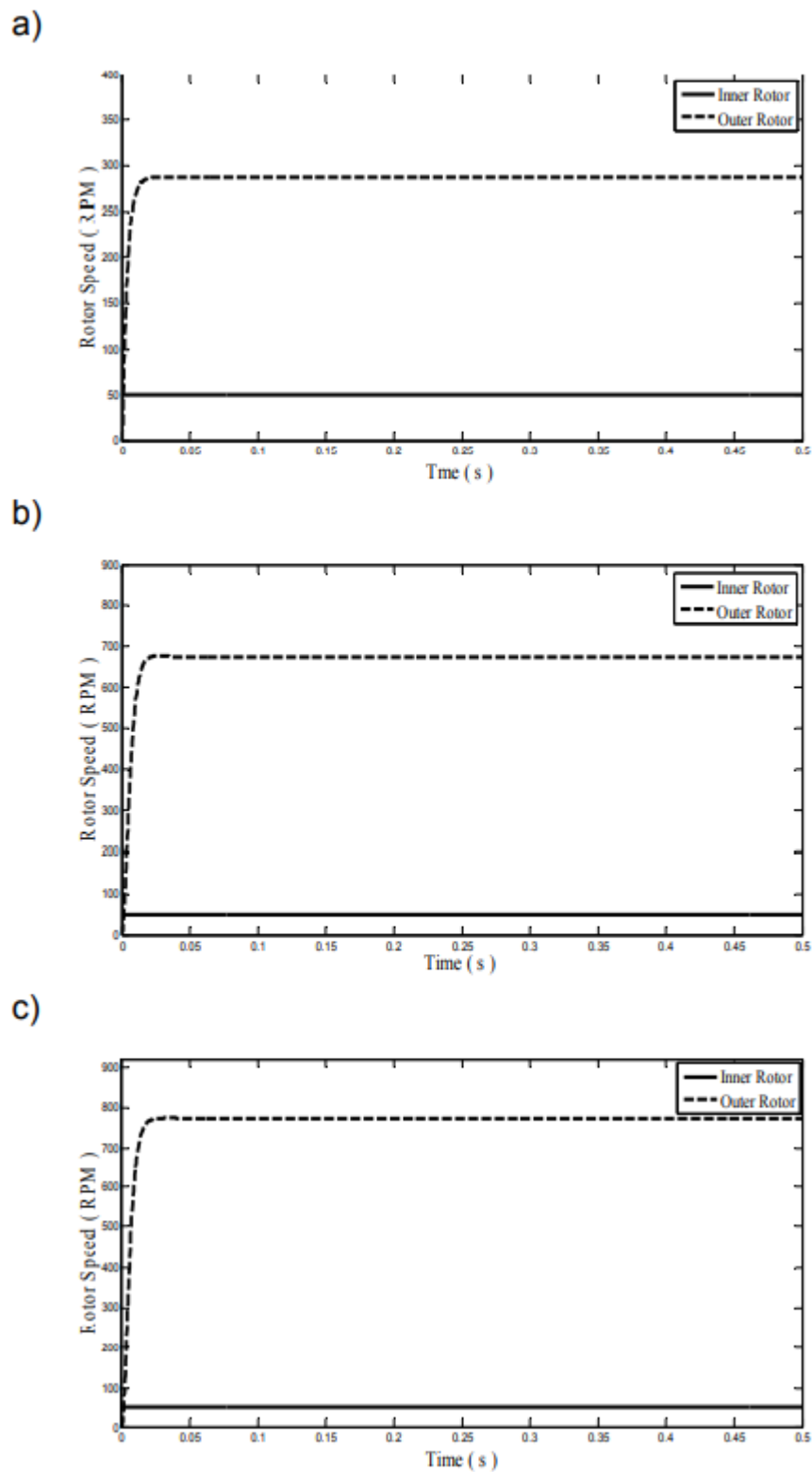


Рисунок 3 – Стандартна ступінчаста характеристика магнітної передачі:
 (a) Для передавального числа 5,75; (b) Для передавального числа 13,5;
 (c) Для передавального числа 15,5.

Можна побачити, що вибір комбінації кількості пар полюсів n_l , p_h , e^t має значний вплив на максимальну швидкість і здатність передачі крутного моменту. За допомогою цієї топології можна досягти високої швидкості за допомогою магнітного механізму з вітроенергетичною системою, навіть за умов слабого вітру, які часто зустрічаються всередині країни, і без механічного редуктора.

Перелік посилань

1. 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 (December 21, 2021). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(5 (114)), 56–62. doi:10.15587/1729-4061.2021.246601, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3993765>. DOI: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3993765.

2. Vadim Chumack, Serhii Tsyvinskyi, Mykhailo Kovalenko, Alexej Ponomarev, Ihor Tkachuk Mathematical modeling of a Synchronous generator with combined excitation // (2020) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(5 (103)), 30-36. doi 10.15587/1729-4061.2020.193495.

3. В.М. Головка, М.А.Коваленко, Коваленко І.Я., І. Р.Галасун (2020). Математичне моделювання автономної вітроустановки з синхронним генератором магнітоелектричного типу. Відновлювана енергетика, Київ. - 2020. - №4(63), с. 50-58.

4. Коваленко І.Я. (2021). Робота синхронного генератора з постійними магнітами при підмагнічуванні сторонньою ємністю. Відновлювана енергетика, Київ. - 2021. - №1(64), с. 50-58.