

## ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ З ВИКОРИСТАННЯМ СТРАТЕГІЇ МАКСИМІЗАЦІЇ СПІВВІДНОШЕННЯ МОМЕНТ СТРУМ

Король С. В., Шубенко О. В., Хомуйло Ю. О.

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*

*Представлено результати дослідження системи векторного керування автономним асинхронним генератором з використанням стратегії максимізації співвідношення момент струм.*

**Постановка проблеми.** Асинхронні генератори (АГ) набувають все більшого розповсюдження в автономних системах генерування з такими альтернативними джерелами енергії як вітро, гідро турбіни, дизелі та інші.

Широкі можливості для підвищення ефективності і покращення якості генерованої електричної енергії мають системи на основі векторнокерованого АГ, рис. 1, які забезпечують відбір потужності при змінній кутовій швидкості приводного двигуна. В якості споживача може виступати навантаження постійного струму чи інвертор для живлення споживачів змінного струму.

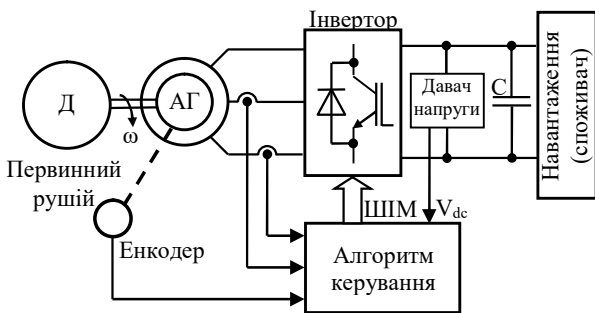


Рисунок 1 – Структура системи генерування

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Типова структура системи керування АГ з орієнтацією по полю будуватиметься по аналогії з системами керування асинхронними двигунами. При цьому завдання для моментної компоненти струму генератора формує ПІ регулятор напруги в ланці постійного струму а не регулятор кутової швидкості. Суттєвий внесок в розвиток векторного керування АГ зробили результати представлени в [1] - [4]. Більшість рішень базується на основі прямого векторного керування з орієнтацією по вектору потокозчеплення ротора [5] чи статора [8]. Різні шляхи підвищення ефективності системи на основі АГ шляхом оптимізації активних втрат запропоновані в [5], [6]. Теоретично обґрунтований лінеаризуючий контролер напруги представлено в [7].

**Мета статті.** Представлення результатів дослідження векторної системи керування АГ, яка використовує стратегію максимізації співвідношення момент струм.

**Основні матеріали дослідження.** Запропонована система керування базується на алгоритмі векторного керування струмами статора АГ з непрямою орієнтацією за вектором потокозчеплення ротора з ПІ регулятором напруги в ланці постійного струму [7]. Запуску АГ від низьковольтного автономного джерела

напруги в ланці постійного струму реалізовано по алгоритму [9], який реалізує одночасний заряд конденсатора в ланці постійного струму і збудження АГ. Вище зазначені алгоритми доповнені алгоритмом формування заданого потокозчеплення ротора відповідно до стратегії максимізації співвідношення момент струм (ММС) (англійською maximum torque per ampere – МТРА).

Стратегія ММС базується на тому, що при векторному керуванні компоненти струму статора АГ  $i_d$  та  $i_q$ , які є проєкціями вектора струму статора на осі системи координат орієнтованої за вектором потокозчеплення, повинні бути однаковими. Оптимальний рівень потокозчеплення  $\Psi_{opt}$ , залежить від завдання для струму  $i_q^*$  і індуктивності намагнічування  $L_m$ :

$$\Psi_{opt} = i_q^* \cdot L_m \quad (1)$$

Формування траєкторії з обмеженою першою похідною, яка необхідна для коректної роботи алгоритму векторного керування [7], реалізуємо за допомогою фільтру першого порядку:

$$\dot{\Psi}^* = (\Psi_{dopt} - \Psi^*) / \tau_{opt}, \quad (2)$$

де  $\tau_{opt}$  - постійна часу фільтра.

Тестування проводилось для машини АІР100L2 потужністю 5,5 кВт з номінальною швидкістю 2850 об/хв і номінальним струмом 11 А, ємність конденсатора в ланці постійного струму  $C=1000\mu\text{Ф}$ . Налаштувальні параметри регуляторів обрані,  $k_V=0.7$ ,  $k_{V_i}=15$ .  $k_i = 600$ ,  $k_{ii} = k_i^2 / 2$ .

Перед початком дослідження генератор був розім'янутий до швидкості 300 рад/с, а конденсатор в ланці постійного струму був заряджений від зовнішнього джерела постійної напруги до  $U_{dc} = 150 \text{ В}$ .

Основні етапи процедури тестування:

- на проміжку часу 0 - 0.1 починається збудження АГ з використанням алгоритму [9] по заданій траєкторії, яка формується по алгоритму ММС;
- в момент часу 0.15 задана напруга в ланці постійного струму зростає стрибком до 550В (пунктирна лінія на графіку  $U_{dc}$ ) і починається заряджання конденсатора в ланці постійного струму;
- при  $t = 0.7\text{с}$  завершується заряд конденсатора і  $U_{dc}$  стабілізується на заданому значенні. Моментна компонента струму статора зменшується до нуля і алгоритм ММС зменшує потокозчеплення до мінімального значення потокозчеплення 0.3Вб;

4. при  $t=2\text{с}$  стрибком збільшується навантаження АГ до 10% номінального і далі кожні 0.8 с збільшується з кроком 0.025 від номінального до 0.2 від номінального;

5. в момент часу  $t=9.7\text{с}$  відбувається скидання навантаження.

В результаті дослідження встановлено, що запропонована модернізація алгоритму забезпечує регулювання потокозчеплення в залежності від навантаження, похибка регулювання потокозчеплення не перевищує 2.5 мВб. Діапазон роботи ММС залежить від параметрів машини і може складати до 0.5 від номінального навантаження.

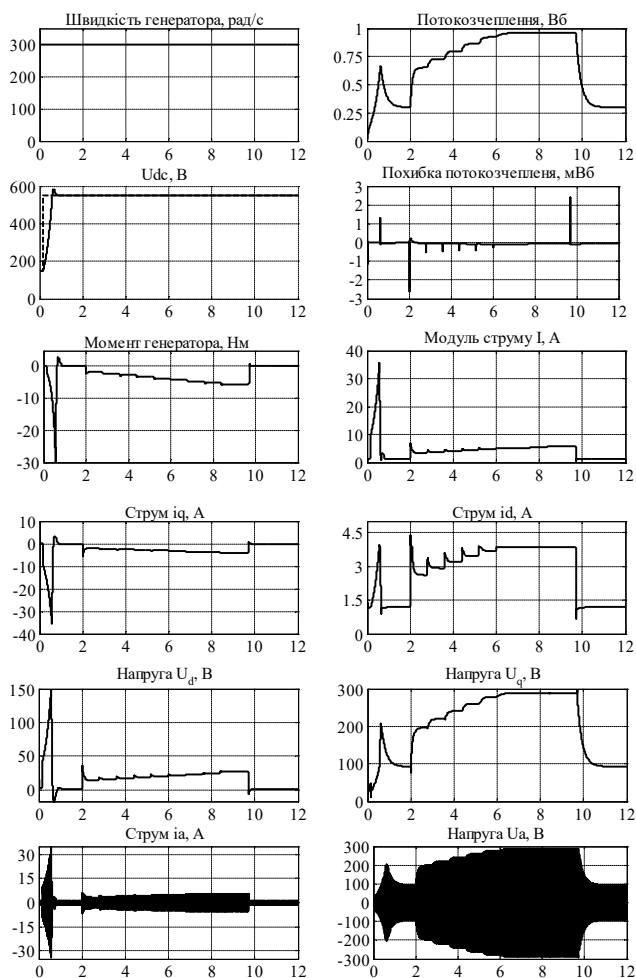


Рисунок 2 – Результати дослідження алгоритму керування автономним АГ при використанні ММС

**Висновки.** В роботі представлено результати дослідження системи векторного керування автономним асинхронним генератором, яка завдяки використанню стратегії максимізації співвідношення моменту струму, дозволяє підвищити ефективність генерування енергії при навантаженнях менше 0.5 від номінального.

#### Список використаних джерел

1. Hazra S. Vector approach for self-excitation and control of induction machine in stand-alone wind power generation, IET Renew. Power Gener., 2011, Vol. 5, Iss. 5, pp. 397–405 doi: 10.1049/iet-rpg.2010.0168.

2. E. Levi, and Y. Liao, “Rotor Flux Oriented Induction Machine as a DC Power Generator,” European Power Electronics and Drives, pp. 1–8, 1999.

3. R. O. C. Lyra, S. R. Silva, and P. C. Cortizo, “Direct and indirect flux control of an isolated induction generator,” IEE Power Electronics and Drive Systems, pp. 140–145, 1995.

4. Мазуренко Л. І., Романенко В. І., Джура О. В. Технічна реалізація й експериментальні дослідження асинхронного генератора з вентильним збудженням та векторним керуванням. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2015. Вип. 4/2015 (32). С. 34-40.

5. Leibold R., Garcia G., Valla M. I. Field-oriented controlled induction generator with loss minimization. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2002. vol. 49, № 1. P. 147–156.

6. A. Mesemanolis, C. Mademlis, and I. Kioskeridis, “High-Efficiency Control for a Wind Energy Conversion System With Induction Generator,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 27, no. 4, P. 958–967, Dec. 2012.

7. Indirect Field Oriented Output Feedback Linearized Control of Induction Generator / S. Peresada, S. Kovbasa, S. Korol, N. Pechenik, N. Zhelinskiy. *Proceedings of 2016 IEEE 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*. 2016. P. 187-191.

8. Inverter supplied voltage control system for an isolated induction generator driven by a wind turbine / D. Seyoum, M. F. Rahman, C. Grantham. *38th IAS Industry Applications Conference*, 2003. vol. 1. P. 568–575.

9. Король С. В., Шубенко О. В. Швидкий запуск асинхронного генератора в автономній системі живлення. *Вісник ХНТУСГ "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України"*. Харків : ХНТУСГ, 2018. Вип. 195. С.21-22.

#### Анотація

### ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕННЯ АВТОНОМНИМ АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТРАТЕГИИ МАКСИМИЗАЦИИ СООТНОШЕНИЯ МОМЕНТ ТОК

Король С. В., Шубенко А. В.,  
Хомуйло Ю. А.

*Представлены результаты исследования системы векторного управления автономным асинхронным генератором с использованием стратегии максимизации соотношения момент ток.*

#### Abstract

### VECTOR CONTROL OF AN AUTONOMOUS INDUCTION GENERATOR BASED ON THE MAXIMIZATION STRATEGY

S. Korol, O. Shubenko,  
U. Khomuilu

*The investigation results of the vector control system of standalone asynchronous generator based on the strategy of maximizing the moment-to-current ratio are presented.*