



SECTION: COMPUTER SCIENCES.

SEKCJA: INFORMATYKA.

**How to cite:** Kulinchenko, H., & Panych, A. (2024). Identification of parameters of a synchronous generator of an experimental installation for utilization of excess gas pressure. *Horizons of Innovation: Conference on Multidisciplinary Trends in Science 2024*. (pp. 204-207). Futurity Research Publishing. <https://futuraity-publishing.com/horizons-of-innovation-conference-on-multidisciplinary-trends-in-science-2024-2/>

## Identification of parameters of a synchronous generator of an experimental installation for utilization of excess gas pressure

Георгій Кулінченко <sup>1</sup>, Андрій Панич <sup>2</sup>

<sup>1</sup> кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри КСУ, СумДУ, Україна

<sup>2</sup> асистент кафедри КСУ СумДУ, Україна

**Accepted:** February 8, 2024 | **Published:** February 23, 2024 | **Language:** Ukrainian

**Abstract:** The approach to the development of the model of the synchronous generator (SG), which is part of the expander-generator unit (EGU) of gas pressure utilization, is substantiated. In accordance with the goal of the research, which is to identify the parameters of the SG model, a simplified model of the MATLAB Simulink environment is considered. The simulation results confirmed the need to develop a model of the SG based on experimental data, which provides an adequate representation of the interaction of the SG with the EGU turbine. The prospect of realizing the mentioned goal is related to the development of the EGU regulator, the control criterion of which is determined by the efficiency of the EGU functioning as a whole

**Keywords:** simulation, MATLAB Simulink environment, expander generator unit, control object regulator.

## Вступ

Забезпечення ефективності функціонування установок альтернативної або розподіленої енергетики формується в результаті не тільки використання нових технологій, але й на удосконалення існуючих. Удосконалення установок утилізації надлишкового тиску природного газу, що утворюється при його добуванні та транспортуванні (Chenghao, 2020), також не вичерпало своїх можливостей (Mukolyants, 2021). Покращення показників виробництва електроенергії, зокрема детандер -генераторних агрегатів (ДГА), здійснюється в результаті покращення параметрів окремих складових ДГА. Це стосується турбін, генераторів, або систем керування ними (Xiong, 2018). Проте, більш вагомим напрямком підвищення ефективності функціонування та процесів розробки таких енергетичних установок вважається комплексний підхід, в якому алгоритми керування об'єктом будуються з урахуванням взаємодії його складових. У свою чергу, використання комплексного підходу до досліджень, що проводяться в галузі розподіленої енергетики, передбачає наявність адекватних описів складових об'єкту керування (ОК). Узагальнення відомих математичних моделей, що відображують роботу ОК (Kulinchenko, 2022), (Голодний, 2019) недостатньо для практичної реалізації регуляторів на основі мікропроцесорної техніки. До того ж, обмеження можливостей спрощення опису моделі ОК (внаслідок її специфічності) впливає на підходи до структурно-параметричного синтезу регулятора. Тому рівень можливих спрощень опису ОК з'ясовується по результатам параметричної ідентифікації моделей (Kulinchenko, 2023).

Мета даного етапу досліджень полягає у ідентифікації параметрів моделі синхронного генератора (СГ), що взаємодіє з вихровою турбіною (ВТ) ДГА. Це необхідно з огляду на те, що електричне навантаження СГ, змінюючись у часі, впливає на параметри обертання вихрової турбіни. Саме забезпечення стійкості та ефективності взаємодії вихрова турбіна/СГ формує актуальність реалізації регулятора ДГА, головний критерієм керування якого полягає у забезпеченні ефективності функціонування ДГА в цілому.

Комплексний підхід до підвищення ефективності керування не зменшує можливостей розгляду процесів у складових досліджуваного ОК окремо. При цьому взаємозв'язок між окремими підсистемами формується у співвідношеннях між пов'язаними параметрами та організовується на базі вихідних характеристик, що отримуються в результаті моделювання цих підсистем.

## Результати дослідження

Результати попередніх досліджень Kulinchenko (2023) відкривають можливості до ідентифікації параметрів всього ДГА, яка здійснюється на базі збудованої експериментальної установки. Крім ВТ, в установці задіяно автомобільний генератор Г-273, паспортні дані якого відображуються наступним рядом:

1. Потужність  $P = 1000\text{Вт}$ ; номінальна напруга  $U = 28\text{В}$ ; швидкість обертання  $n = 1550\text{ об/хв}$ ; струм навантаження  $I = 10\text{А}$ ; струм збудження  $I_f = 3,4\text{А}$ .
2. Опрацювання методів керування вибраним СГ, що забезпечать потрібні режими взаємодії навантаження СГ та ВТ, здійснюється з використання математичних моделей, які тестуються на адекватність.

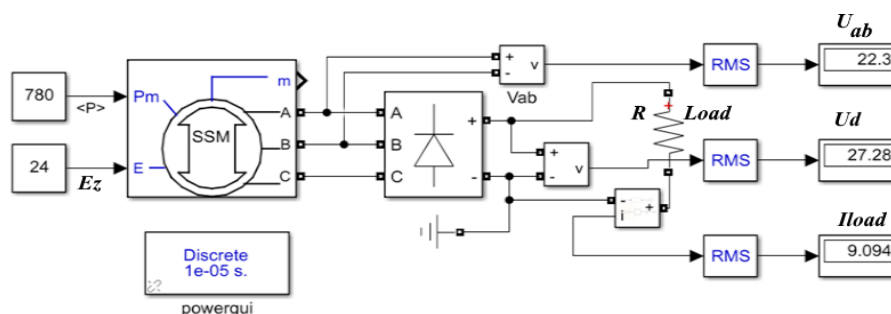
Переважає більшість публікацій, що присвячені дослідженням по генерації малої енергетики, базуються на засобах комп'ютерного моделювання бібліотеки пакету MATLAB. Для досліджень динаміки СГ часто застосовуються математичні моделі, засновані на рівняннях Парка-Горева. При цьому СГ може представлятися системами диференційних рівнянь різного порядку (Spoljaric, 2010). Найскладніша модель СГ бібліотеки MATLAB описується системою рівнянь 7-го порядку. До складу системи, крім рівнянь Парка-Горева, входять рівняння руху ротора генератора СГ. Наповнення моделі дозволяє проводити поглиблений аналіз динаміки процесів, враховувати

вплив демпферних обмоток. Відсутність демпферних обмоток у генератора, що задіяний у експериментальній установці, а також врахування мети цієї роботи, обумовлює недоцільність використання складних моделей в подальших дослідженнях.

Для аналізу статичної та динамічної стійкості ОК з використанням СГ в бібліотеці MATLAB пропонується спрощена модель СГ 3-го порядку «Simplified Synchronous Machine» (MATLAB SIMULINK, n.d.). В цій моделі нехтують впливом демпферних обмоток та не враховують вищі гармоніки струму. На рисунку 1 зображена схема спрощеної моделі СГ, яка описується системою рівнянь 3-го порядку.

**Рисунок 1**

*Схема моделювання СГ*



Джерело: власна розробка авторів

Навантаження ( $R_{Load}$ ) підключається до СГ через трьохфазний діодний міст, що дозволяє зменшити вплив навантаження на режими генерації, особливо при реактивних навантаженнях. Використання приладів для вимірювання струмів та напруг дає змогу побудувати різні характеристики СГ, зокрема зовнішню. Проте, побудова регульовальної та навантажувальної характеристик в цій моделі вимагає додаткових розрахунків струму збудження, який із напругою збудження  $E_z$  пов'язаний нелінійною залежністю. Іншою проблемою ідентифікації параметрів моделі СГ є розбіжність довідкових паспортних даних СГ, які вводяться в таблиці похідних даних моделі. В результаті спрощення моделі та ідеалізації її параметрів виникає необхідність налаштування параметрів моделі, які зможуть забезпечити наближення результатів моделювання до експериментально отриманих даних.

Більш виправданим представляється підхід, в якому початкова математична модель СГ, ґрунтуючись на рівняннях Парка-Горева, з використанням експериментальних даних перетворюється до зручної форми керованого об'єкту. Тоді низка спрощень (Зенович, 2020), яка спирається на реальний час протікання процесів в обмотках збудження дає змогу представити модель СГ як ОК з регулюванням вихідної напруги.

## Висновки

Виходячи із перспективи наступних досліджень, які полягають у розробці мікропроцесорної системи керування ДГА, визначені складнощі відображення специфіки конкретного СГ, які враховуються шляхом моделювання.

Універсальна модель СГ бібліотеки MATLAB Simulink, яка зазвичай використовується при моделюванні потужних генераторів, не задовольняє потреби моделювань розподіленої енергетики середньої потужності.

Наступний етап досліджень представляється як побудова моделі СГ на базі експериментальних даних, що дасть змогу представити СГ як об'єкт керування, тобто складовим елементом системи керування ДГА.

### Література

Голодний, І. М., & Лісовенко, В. А. (2019). Дослідження на комп'ютерній моделі характеристик синхронного генератора. *Енергетика і автоматика*, 4, 100–107. <https://doi.org/10.31548/energiya2019.04.100>

Зенович, О.Є., Ключніков, І.М., Єлісєєв, Є.С., & Степанко, О.С. (2020). Нелінійна SIMULINK-модель синхронного генератора як об'єкта регулювання напруги. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 3(65), 106–112. <https://doi.org/10.30748/zhups.2020.65.16>

Kulinchenko, H., Panych, A., Leontiev, P., & Zhurba, V. (2022). Simulation of the expander of the excess gas pressure utilization plant. *ScienceRise*, 3(80), 3–13. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002545>

Kulinchenko, H., Zhurba, V., Panych, A., & Leontiev, P. (2023). Development of the method of constructing the expander turbine rotation speed regulator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(2)(122), 44–52. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276587>

Li, C., Zheng, S., Chen, X., Li, J., & Zeng, Z. (2020). Proposal and analysis of a coupled power generation system for natural gas pressure reduction stations. *Journal of Central South University*, 27, 608–620. <https://doi.org/10.1007/s11771-020-4320-3>

MATLAB SIMULINK. (n.d.). Description Simplified Synchronous Machine. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/sps/ref/simplifiedsynchronousmachine.html>

Mukolyants, A., Sotnikova, I., Ergasheva, D., & Taubaldiev, A. (2021). Expander-generator set for utilization of natural gas overpressure energy. *E3S Web of Conferences*, 289. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128907034>

Spoljaric, Z., Miklosevic, K., & Jerkovic, V. (2010). Synchronous generator modeling using MATLAB. *Department of Electromechanical Engineering, Faculty of Electrical Engineering, University of Osijek, Croatia*, 6p.

Xiong, Y., An, S., Xu, P., Ding, Y., Li, C., Zhang, Q., & Chen, H. (2018). A novel expander-depending natural gas pressure regulation configuration: Performance analysis. *Applied Energy*, 220, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.026>