

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.313.332

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
АВТОНОМНОГО АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА**

В. С. Глушук,

здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, 4 курс,
спеціальність «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
навчально-науковий інститут енергетики, автоматики та водного господарства
Науковий керівник – ст. викладач В. В. Ільчук

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

Об'єктом дослідження є автономний асинхронний генератор із самозбудженням. Встановлено лінійний характер залежності діючого значення та частоти вихідної напруги генератора від частоти обертання ротора.

Ключові слова: асинхронний генератор, самозбудження, конденсатори, напруга, частота.

The object of the study is an autonomous induction generator with self-excitation. The linear dependence of the RMS value and frequency of the generator output voltage on the rotor speed has been established.

Keywords: induction generator, self-excitation, capacitors, voltage, frequency.

Енергогенеруючі потужності, лінії електропередач, підстанції енергосистеми України зазнали суттєвих ушкоджень внаслідок бойових дій. Станом на листопад 2024 р. збитки складають 14,6 млрд доларів США. Постраждали також відновлювальні джерела. Близько 80% вітрогенерації окуповано і частина пошкоджена через обстріли. Прямі збитки виробників електроенергії з відновлюваних джерел (за виключенням ГЕС та ГАЕС) оцінюються в 281 млн доларів США [1]. Кабінет Міністрів України у 2023 році затвердив Енергетичну стратегію [2], яка передбачає заміщення пошкоджених енергоблоків відновлюваними джерелами. Наприклад, передбачається підвищити потужність вітрогенеруючих установок до 140 ГВт, розвивати малу гідроенергетику. Одним з найбільш розповсюджених типів електричних генераторів, що працюють у складі автономних мереж з вітровими установками потужністю до декількох МВт та малими гідроелектростанціями, є асинхронний генератор із самозбудженням. Така електрична машина має короткозамкнений ротор, а реактивна потужність збудження забезпечується конденсаторними батареями. Однак, зміна частоти обертання первинного джерела механічної енергії (наприклад, через зміну швидкості вітру або витрати води) спричиняє коливання параметрів вихідної напруги. Це знижує якість живлення споживачів автономної електромережі. Тому дослідження робочих характеристик автономного асинхронного генератора із самозбудженням є актуальним.

Одним зі способів стабілізації параметрів генератора при дії випадкових збурень є регулювання ємнісного струму збудження. Можливе дискретне регулювання ємності збуджувача шляхом використання банку конденсаторів [3]. Однак, такий підхід характеризується обмеженою кількістю ступенів регулювання. Можливе застосування електронного автоматичного контролера навантаження [4], який регулює потужність

останнього для стабілізації напруги в мережі. Однак, такий підхід не забезпечує гарантоване електропостачання всіх споживачів. При активному навантаженні застосування STATCOM дозволяє підтримувати на незмінному рівні амплітуду та частоту напруги [5]. Також застосування статичного синхронного компенсатора покращує гармонійний склад напруги автономного генератора за наявності нелінійних навантажень. Однак, силова частина такого компенсатора є чутливою до перенапруг. Таким чином, проблема стабілізації параметрів вихідної напруги асинхронного автономного генератора на сьогодні не вирішена в повній мірі. Це ускладнює широке впровадження мереж мікрогрід.

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування автономного асинхронного генератора із самозбудженням шляхом виявлення впливу частоти обертання ротора на параметри вихідної напруги. Це дозволить обґрунтувати необхідний діапазон зміни ємнісного струму збудження для стабілізації діючого значення та амплітуди вихідної напруги.

Дослідження проводилися з використанням лабораторного стенда (лаб. 508 НУВГП). Від мережі 380 В через QF0 живиться частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51, який регулює частоту обертання асинхронного двигуна M1 (типу АОЛ2-11-4У3, 0,6 кВт), рис. 1. Ротор останнього з'єднаний пасовою передачею з ротором асинхронного генератора M2 (АОЛ2-11-6У3, 0,4 кВт). До M2 приєднано пристрій збудження з конденсаторними батареями C1, C2 (типу TENSE TTK-0.5), рис. 2. Мікропроцесорне реле напруги вмикає контактор KM1, який підключає навантаження (лампи розжарювання потужністю 40 Вт) до генератора при досягненні напруги заданого рівня.

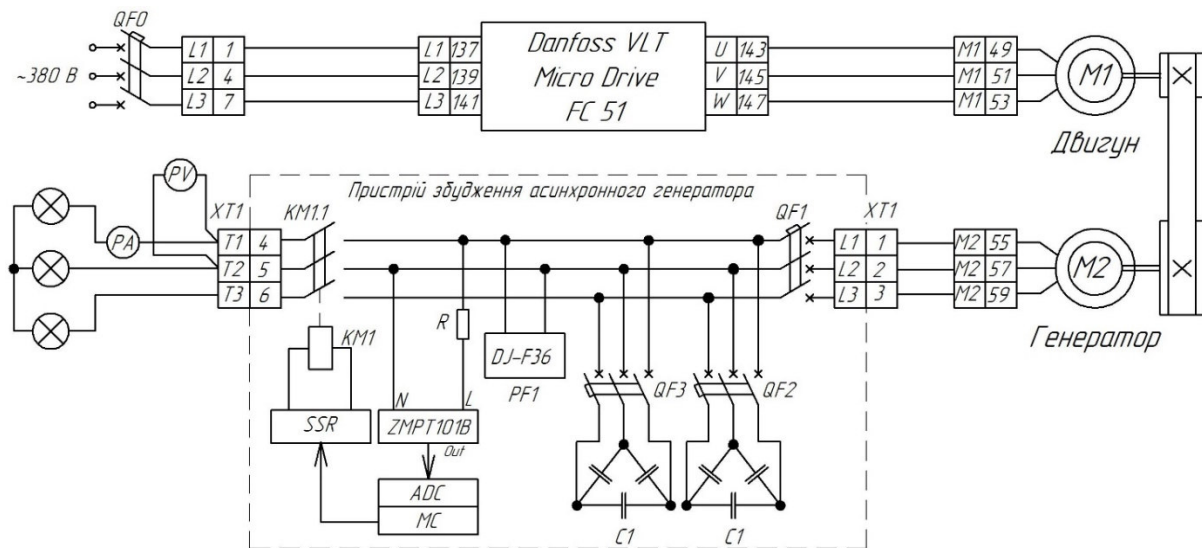


Рис. 1. Принципова електрична схема лабораторного стенда для дослідження характеристик автономного асинхронного генератора

Експеримент передбачав запуск електричних машин, досягнення самозбудження генератором M2 та реєстрацію наступних параметрів для декількох значень частоти обертання n , об/хв, його ротора: діюче значення U , В; частота f , Гц, вихідної напруги генератора; струм I , мА, фази навантаження.

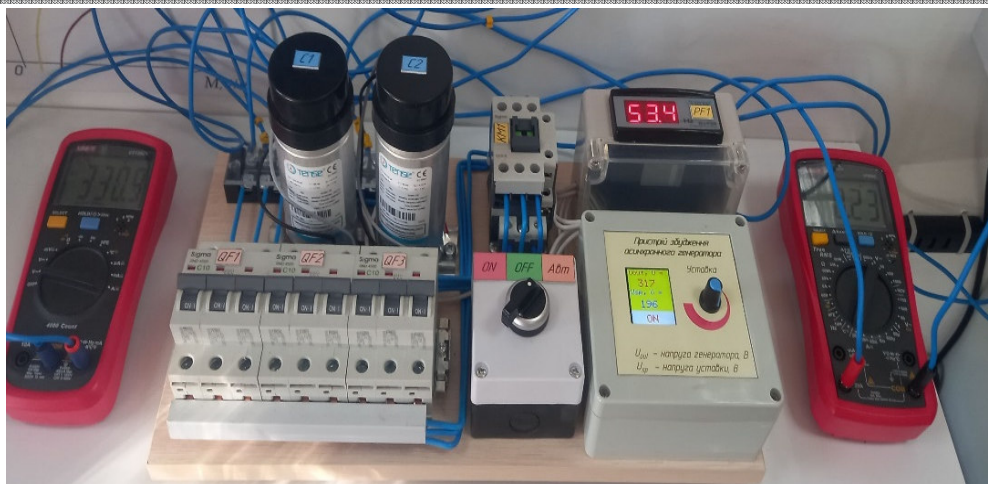


Рис. 2. Пристрій збудження асинхронного генератора

В результаті експериментів були одержані точки, що описують робочі характеристики, які були апроксимовані за методом найменших квадратів, рис. 3. Зокрема, для умов експерименту характеристика $U(n)$ була апроксимована функцією:

$$U(n) = 1,4014n - 1239,7 \quad (1)$$

Залежність частоти f напруги від частоти n обертання ротора описується як:

$$f(U) = 0,025n + 25,536 \quad (2)$$

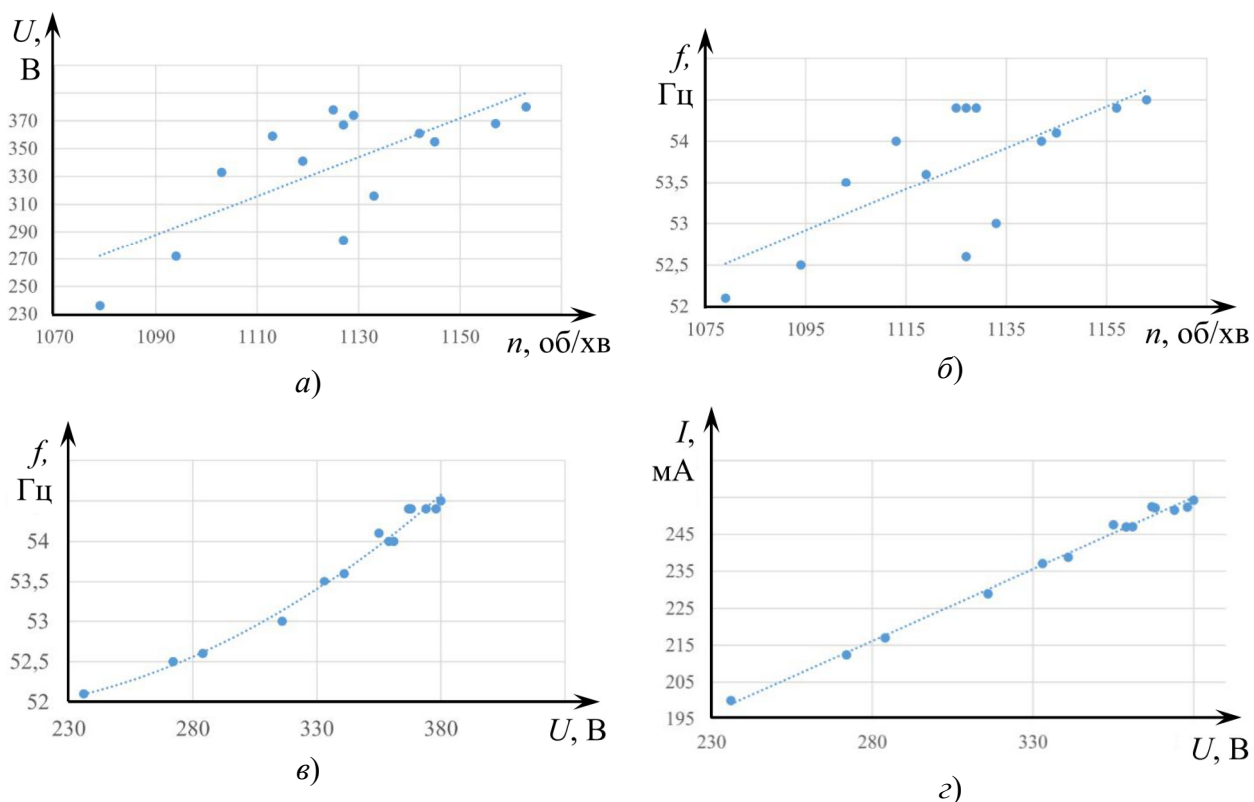


Рис. 3. Робочі характеристики автономного асинхронного генератора, одержані експериментально:
а – $U(n)$; б – $f(n)$; в – $f(U)$; г – $I(U)$

Аналіз робочих характеристик дозволяє встановити лінійну залежність U та f генератора від частоти обертання n ротора, про що свідчать залежності (1) та (2), рис. 3, а, б. Підвищення n з 1080 об/хв до 1160 об/хв, тобто на 7,4%, спричиняє підвищення U з 270 В до 390 В, на 44%, та збільшення f на 2,2 Гц, що відповідає 4%. Це свідчить про суттєвий вплив нерівномірності частоти обертання приводної турбіни на якість напруги генератора. Взаємозалежність $f(U)$ є нелінійною висхідною, рис. 3, в. В робочому діапазоні струмів вольт-амперна характеристика навантаження є лінійною, рис. 3, г.

Таким чином, встановлено лінійний характер впливу частоти обертання ротора на діюче значення та частоту вихідної напруги асинхронного генератора із самозбудженням. Врахування цього при побудові системи керованого збудження дасть змогу підвищити ефективність функціонування генератора у складі мережі мікрогрід.

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на листопад 2024 року / Д. Андрієнко та ін. К. : Київська школа економіки, 2025. 28 с. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf (дата звернення: 01.03.2025). 2. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Каб. Міністрів України від 21.06.2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.03.2025). 3. Ahmadi S. A., Arbi M., Draou A. Voltage and frequency regulation for autonomous induction generators in small wind power plant. *International Journal of advanced and applied sciences*. 2019. Vol. 6. P. 95–98. DOI: <https://doi.org/10.21833/ijaas.2019.01.013> 4. Pirmatov N., Matqosimov M., Mahamadjonov S., Xolmatov E. Investigation of transients in asynchronous generators used in microhydroelectric power plants. *International Conference on Green Energy: Intelligent Transport Systems – Clean Energy Transitions* (Tashkent, 2024). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450802007> 5. Palwalia D. K. STATCOM-based voltage and frequency regulator for stand-alone asynchronous generator. *International Journal of Power Electronics (IJPELEC)*. 2014. Vol. 6. P. 131–146. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJPELEC.2014.061469>