

ЯГУП ВАЛЕРІЙ

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<https://orcid.org/0000-0002-7019-3499>e-mail: yagup4519@gmail.com

ЯГУП КАТЕРИНА

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

<https://orcid.org/0000-0002-9305-8169>e-mail: kata3140@gmail.com

ГИРИЛА ВАСИЛЬ

Національний університет «Чернігівська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0000-2797-1083>e-mail: girilavasil77@gmail.com

АЛГОРИТМ СИМЕТРУВАННЯ РЕЖИМУ ДВИГУНА ЗМІННОГО СТРУМУ В УМОВАХ ЖИВЛЕННЯ ВІД СІЛЬСЬКОЇ МЕРЕЖІ

У статті розглядається дослідження можливості застосування оптимізаційних методів на комп'ютерних моделях для покращення умов живлення двигуна змінного струму при несиметрії джерел живлення. За допомогою візуальної моделі системи живлення асинхронного двигуна і програми оптимізації на основі метода Нелдера-Міда досягнуто умов повної компенсації реактивної потужності і симетрування струмів в системі електропостачання. З цією метою за заданим критерієм оптимізації, яким приймається норма реактивних потужностей джерел кожної фази, визначаються величини симетруючих конденсаторів. При цьому спостерігається симетризація лінійних струмів і суттєве зменшення їх амплітудних значень.

Ключові слова: асинхронний двигун, реактивна потужність, сільська мережа, невиметрія режиму, пошукова оптимізація.

YAGUP VALERIY

Kharkiv National Automobile and Highway University

YAGUP KATERINA

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

HYRYLA VASYL

Chernihiv Polytechnic National University

AN INTELLIGENT ALGORITHM FOR BALANCING THE MODE OF AN AC MOTOR IN CONDITIONS OF POWER SUPPLY FROM A RURAL GRID

The article explores methods for optimizing AC motor power supply conditions during source asymmetry through computer modeling. The study utilizes a comprehensive MATLAB SimPowerSystem model featuring a 20HP asynchronous motor (460V, 60Hz) to address power quality issues prevalent in rural electrical networks. The optimization approach employs the Nelder-Mead method to achieve complete reactive power compensation and current symmetrization. The model incorporates virtual measurement devices for monitoring three-phase power parameters, with the optimization criterion based on a spherical norm of reactive power values from each phase.

The research demonstrates that strategically sized compensating capacitors, connected in parallel with motor terminals, can effectively balance system currents while compensating for both motor reactivity and network asymmetry. The results show marked improvements in power quality metrics, with symmetrical line currents and reduced amplitudes.

Implementation considerations focus on rural power network applications. While the method successfully symmetrizes line currents, supply voltage asymmetry remains present. The study explores integration possibilities with smart grid technologies, suggesting automated control system applications for rural networks. Simulation results validate the methodology's effectiveness, demonstrating balanced current distribution across phases while maintaining stable motor operation under specified loads. This approach proves particularly valuable for agricultural applications with consistent load patterns. The research emphasizes the cost-effectiveness of capacitor-based solutions compared to complex power electronic alternatives, making it suitable for budget-conscious agricultural implementations. The study's significance lies in its practical approach to power quality improvement in agricultural settings, offering a solution that balances technical effectiveness with economic feasibility. The results provide valuable insights for power system engineers working on rural network optimization and agricultural automation systems.

Keywords: asynchronous motor, reactive power, rural network, mode asymmetry, search optimization.

Постановка проблеми

Двигуни змінного струму є надзвичайно розповсюдженими споживачами електричної енергії. Вони широко застосовуються для електропривода механізмів в сільському господарстві [1–3]. Робота асинхронних двигунів супроводжується споживанням реактивної потужності. Це пов'язано з необхідністю утворення обертаючогося магнітного поля для взаємодії його ротора і створення механічного моменту на валу двигуна. Це в свою чергу знижує коефіцієнт потужності в електричних мережах та призводить до зростання втрат електричної енергії. За статистичними даними в Україні на долю асинхронних двигунів припадає до 35% реактивної потужності від її загального обсягу. В межах сіль господарського підприємства частка реактивної потужності, що припадає на асинхронні двигуни, взагалі може досягати 55-70%. В умовах сільських електричних мереж виникають також проблеми, пов'язані з виникненням несиметрії напруг, яка поступає на двигун змінного струму. Причини таких явищ обумовлені великою кількістю однофазних навантажень, які можуть спричинити нерівномірні споживання електричної енергії від різних фаз трифазної системи електропостачання. З точки зору двигуна така ситуація сприймається як живлення двигуна від

несиметричної трифазної системи напруг. таким чином, нерівномірність навантаження фаз системи електропостачання викликає несиметрію живлячої напруги. За цих умов виникає складова зворотної послідовності, що впливає на електромеханічні процеси і збільшує втрати в самому двигуні змінного струму. Тому питання симетрування режимів електропостачання асинхронних двигунів є достатньо актуальними, особливо для електричних систем сільського господарства. Проблема суттєво поглиблюється в зв'язку з воєнним станом в нашій країні, що викликано агресією РФ. За умов постійних бомбардувань об'єктів інфраструктури нашої країни суттєво послаблюються електричні мережі, що особливо впливає на якість електропостачання сільських районів.

Метою роботи є дослідження методів і шляхів підвищення якості електропостачання двигунів змінного струму за допомогою математичних моделей, реалізованих в сучасних комп'ютерних системах моделях в умовах виникнення несиметричних режимів електропостачання від сільської електромережі.

Виклад основного матеріалу

Система, що досліджується, показана на рис. 1 у вигляді віртуальної моделі, складеної засобами системи MALAB [4]. Асинхронний двигун живиться від трифазної системи, яка моделюється джерелами напруги з послідовно увімкненими активно-індуктивними опорами лінії електропереєсилання. В якості двигуна обрано асинхронний двигун з бібліотеки асинхронних двигунів системи SimPowerSystem типу 20HP з напругою живлення 460 В частотою 60 Гц, який обертається з номінальною швидкістю 1760 об/хв.

Для внесення несиметрії напруга джерела фази В збільшена на 3%, а напруга фази С зменшена на 3%. Двигун знаходиться під дією зовнішнього постійного механічного моменту, величина якого дорівнює 20 Нм.

Для боротьби з несиметрією режиму живлення можуть бути застосовані різні засоби і шляхи [2, 3]. Найбільш досконалими засобами є силові активні фільтри. Однак їх застосування пов'язано зі складною технікою і високовартісним обладнанням. Більш простим і дешевим є застосування конденсаторів, які вмикаються паралельно клемам двигуна і компенсують як реактивність самого двигуна, так і несиметрію самої мережі.

Дослідження системи електропостачання проводиться із застосуванням метода пошукової оптимізації [5], який показав свою дієвість при дослідженні системи електропостачання зі статичним несиметричним навантаженням і компенсацією в ній реактивної потужності за допомогою батареї конденсаторів. В якості критерію оптимізації використовується кулева норма, яка складається з величин реактивної потужності, що характеризують режим роботи джерел живлення. Для визначення реактивних потужностей по кожній з фаз системи електропостачання в моделі використовуються віртуальні прилади - вимірювачі активної та реактивної потужностей. Знайдена величина цільової функції передається до програми оптимізації на основі метода Нелдера-Міда, що входить до складу математичного забезпечення системи MATLAB.

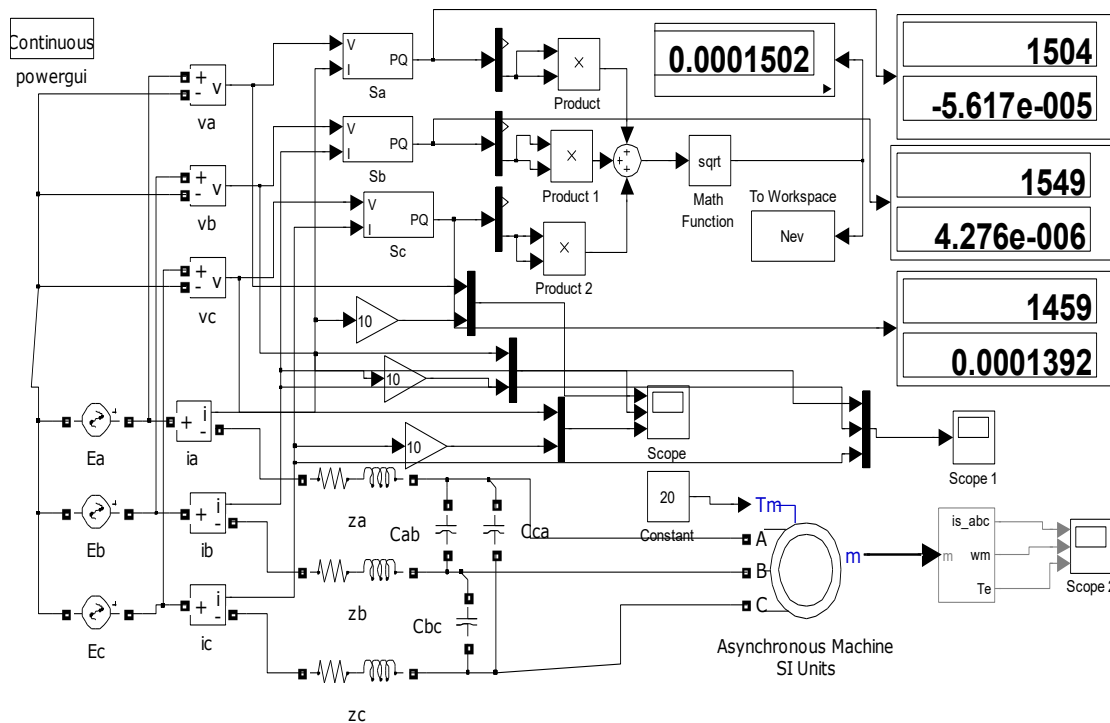


Рис. 1. SPS-модель живлення асинхронного двигуна

У випадку наявності несиметрії системи живлення за допомогою означеного метода була досягнута повна компенсація реактивної потужності в системі живлення асинхронного двигуна, що супроводжується також симетризацією живлячих струмів системи електропостачання. При цьому джерела живлення віддають лише активну потужність, яка по фазам А, В, С складає значення відповідно 1504, 1549, 1459 Вт. При цьому

амплітуди струмів в лініях електропостачання зменшуються та вирівнюються. Покази віртуальних приладів на рис. 1 фіксують стан системи постачання мережі, що відповідає оптимальним значенням ємностей батареї конденсаторів, при яких досягнута повна компенсація реактивної потужності і симетрія живильних струмів в лініях постачання електроенергії. Часові діаграми цих лінійних струмів у сталому режимі наведені на рис. 2.

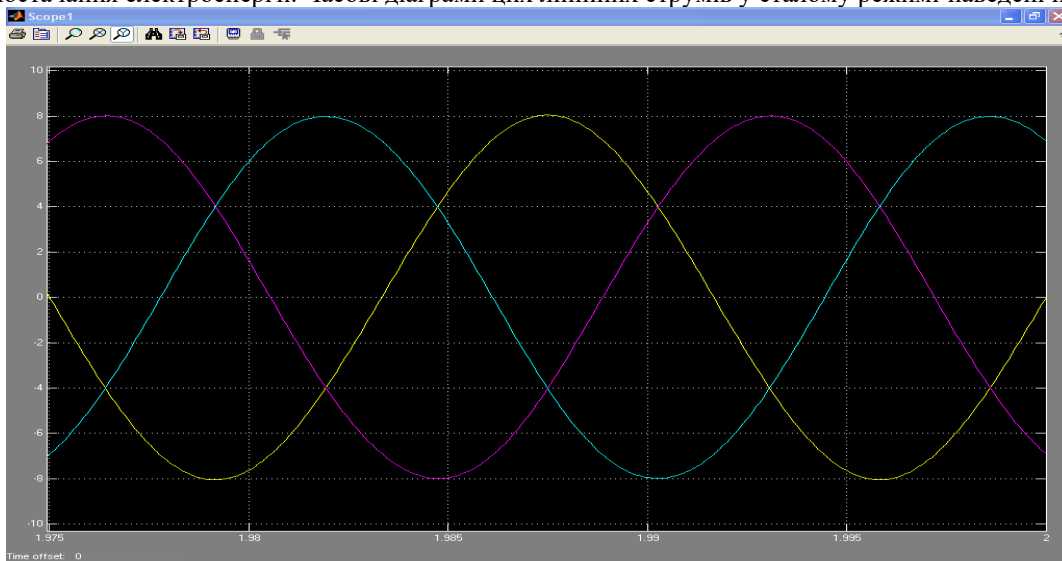


Рис. 2. Лінійні струми при компенсації реактивної потужності

Слід зазначити, що при компенсації симетризуються лише лінійні струми, але живлячі напруги залишаються несиметричними з усіма негативними наслідками роботи асинхронного двигуна при несиметричному живленні.

Маючи на увазі перспективи модернізації сільських мереж до рівня інтелектуальних систем [6–9], можна стверджувати, що представлений метод пошуку параметрів симетруючого конденсаторного пристрою в системі живлення двигунів змінного струму може знайти застосування за умови широкої цифровізації систем управління режимів в цих мережах. Потрібні для розрахунків параметри режиму визначаються за допомогою нескладних датчиків струму і напруги, а потрібні ємності конденсаторів визначаються за допомогою представлених алгоритмів розрахунків. Задача спрощується, якщо в умовах експлуатації механізмів з двигунами змінного струму можна визначити невелику кількість фіксованих режимів їх роботи. Саме такі умови в низці випадків притаманні пристроям сільського господарства.

Висновки

Показана принципова можливість застосування пошукової оптимізації для симетрування режимів електропостачання двигуна змінного струму в умовах живлення від сільської мережі. За допомогою компенсуючих конденсаторів може бути досягнута повна компенсація реактивної потужності і симетрування струмів в системі електропостачання. При цьому симетризуються і суттєво зменшуються струми в лініях живлення, однак зберігається несиметрія напруг, що живлять асинхронний двигун. За умови цифровізації систем управління режимами в мережах метод може бути реалізований в автоматичному режимі.

Література

1. Заболотний А. П., Федоша Д. В., Дьяченко В. В. Побудова структури сільських електричних мереж з урахуванням наявності відновлюваних джерел електроенергії. *Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2024. № 1(8). С. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2024.01.10>.
2. Lavrič H, Drobnič K, Fišer R. Model-Based Assessment of Energy Efficiency in Industrial Pump Systems: A Case Study Approach. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(22):10430. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142210430>.
3. Chen Y, Peng T, Xu Y, Luo J, Gao J. An Online Energy-Saving Control Allocation Strategy Based on Self-Updating Loss Estimation for Multi-Motor Drive Systems. *Processes*. 2024. Vol. 12(6):1072. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12061072>.
4. Hroncová D. Багатокомпонентні системи та моделювання в MATLAB. *Технічні науки та технології*. 2021. № 4(14). С. 84–94. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4\(14\)-84-94](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4(14)-84-94).
5. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Пошукова оптимізація режиму повної компенсації реактивної потужності в електричній мережі. *Технічна електродинаміка*. 2023. № 5. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.05.055>
6. Денисюк, С., Махлін, П., Шрам, О. і Слинко, В. 2022. Особливості аналізу режимів роботи енергосистем у районах з альтернативними джерелами електроенергії (вітровими електростанціями). *Технічна електродинаміка*. 2022. № 1. С. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.01.041>.

7. Денисюк С. П., Белоха Г.С., Чернещук І.С., Лисий В. В. Світові тенденції впровадження відновлювальних джерел енергії та особливості їх реалізації при відновленні економіки України. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 4. С. 7–23. URL: <https://energy.kpi.ua/article/view/273360/272097>.
8. Barker P. P., De Mello R. W. Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems. I. Radial distribution systems. *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134)*, Seattle, WA, USA, 2000. Vol. 3. P. 1645–1656. DOI: 10.1109/PSS.2000.868775.
9. Dyachenko V., Fedosha D., Zabolotnyi A. Algorithm for the Program of Energy Saving for Power Supply System. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 420-425. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879915.

References

1. Zabolotnyi A. P., Fedosha D. V., Diachenko V. V. Construction of Rural Electrical Networks Structure Taking Into Account the Presence of Renewable Energy Sources. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Power Engineering: Reliability and Energy Efficiency*. 2024. Vol. 1(8). P. 49–54. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2024.01.10>.
2. Lavrič H, Drobnič K, Fišer R. Model-Based Assessment of Energy Efficiency in Industrial Pump Systems: A Case Study Approach. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14(22):10430. DOI: <https://doi.org/10.3390/app142210430>.
3. Chen Y, Peng T, Xu Y, Luo J, Gao J. An Online Energy-Saving Control Allocation Strategy Based on Self-Updating Loss Estimation for Multi-Motor Drive Systems. *Processes*. 2024. Vol. 12(6):1072. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr12061072>.
4. Hroncová D. Багатокомпонентні системи та моделювання в MATLAB. *Технічні науки та технології*. 2021. № 4(14). С. 84–94. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4\(14\)-84-94](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-4(14)-84-94).
5. Yagup V. G., Yagup K. V. Search optimization of full reactive power compensation mode in electrical network. *Technical Electrodynamics*. 2023. Vol. 5. С. 55–63. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2023.05.055>
6. Denysiuk S. P., Makhlin P. V., Shram O. A., Slynko V. M. Features of operating modes analysis of the power system in areas with alternative electric power sources (wind power plants). *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2022. Vol. 1. P. 41–49. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.01.041> <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2022.273360> (in Ukrainian).
7. Denysiuk S., Bielokha H., Cherneshchuk I., Lysyi V. Global Trends in Implementation of Renewable Energy Sources and Features of Their Implementation During the Recovery of Ukraine's Economy. *Power Engineering: Economics, Technique, Ecology*. 2023. Vol. 4. P. 7–23. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.4.2022.273360> (in Ukrainian).
8. Barker P. P., De Mello R. W. Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems. I. Radial distribution systems. *2000 Power Engineering Society Summer Meeting (Cat. No.00CH37134)*, Seattle, WA, USA, 2000. Vol. 3. P. 1645–1656. DOI: 10.1109/PSS.2000.868775.
9. Dyachenko V., Fedosha D., Zabolotnyi A. Algorithm for the Program of Energy Saving for Power Supply System. *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 420-425. DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879915.