

ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПОБУТОВИХ СПОЖИВАЧІВ

Олександр Мірошник, д. т. н.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства
ім. П. Василенка,
вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, e-mail: omiroshnyk@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2019.23.100>

Мірошник О. Порівняння енергоощадності систем електропостачання побутових споживачів

Електрична енергія, що постачається енергопостачальними організаціями споживачам за договорами, є товаром особливого виду, що характеризується збігом у часі процесів виробництва, транспортування та споживання, а також неможливістю його зберігання та повернення. Відповідно, як до будь-якого виду товару, до електричної енергії застосовується поняття «якість». Відхилення показників якості електричної енергії від встановлених стандартами погіршують умови експлуатації електроустановок як мережі, так і споживачів.

Аналіз наукових робіт, які висвітлювали проблеми боротьби з неякісною електричною енергією в системах електропостачання 0,38/0,22 кВ, показує, що на сьогодні існує безліч методів і технічних засобів для покращання показників якості та зниження втрат електричної енергії, але всі вони через свою високу вартість, низьку надійність та ефективність за наявності протяжних ліній, що живлять комунально-побутове навантаження, не отримали широкого використання. Тому відсутність комплексного підходу до вирішення проблеми якості електричної енергії не давала змоги розробити об'єктивні рекомендації щодо методів, способів і технічних засобів зниження втрат електричної енергії.

Тому всебічний аналіз усіх чинників, що впливають на енергоощадність та якість електричної енергії в системах електропостачання 0,38/0,22 кВ, дозволить вирішити цю проблему й рекомендувати економічно вигідні заходи щодо зниження втрат електричної енергії. У зв'язку з цим необхідно спроектувати і побудувати більш енергоефективні системи електропостачання, які б мали низьку перевагу порівняно з існуючою системою електропостачання, якій притаманні значна несиметрія струмів і напруг та значні втрати електричної енергії.

Ключові слова: система електропостачання, втрати електричної енергії, моделювання режимів мережі.

Miroshnyk O. Comparison of the energy savings of household electricity supply systems

The electricity supplied by the energy supplying organizations to the consumers under the contracts acts as a commodity of a special kind, is characterized by the coincidence in time of the processes of production, transportation and consumption, as well as the impossibility of its storage and return. Accordingly, the concept of «quality» is applied to electricity, as for any type of product. Deviation of electricity quality indicators from the set standards exacerbates the operating conditions of electrical installations of both the network and consumers.

The analysis of scientific works, devoted to the problems of combating low-quality electricity in 0,38 / 0,22 kV power systems, shows that there are many methods and techniques available today to improve quality indicators and reduce electricity losses, but all because of its high cost, low reliability and efficiency are not widespread in the long utility lines. Therefore, the lack of a comprehensive approach to solution of the problem of electricity quality did not allow developing of objective recommendations on methods and technical means to reduce electricity losses.

Therefore, a comprehensive analysis of all factors that affect the energy savings and quality of electricity in power systems 0,38 / 0,22 kV will solve this problem and recommend cost-effective measures to reduce electricity losses. In this regard, it is necessary to design and build more energy efficient power systems, which would have several advantages over the existing power system, in which there is significant asymmetry of currents and voltages and significant losses of electricity.

Key words: power supply system, electricity losses, modeling of network modes.

Постановка проблеми. Основними чинниками, які характеризують систему електропостачання, є вартість її спорудження, надійність та економічність передачі електроенергії споживачам. Зниження втрат електроенергії в електричних мережах до обґрунтованого рівня – один із важливих напрямів енергозбереження. У зв'язку

з розвитком ринкових відносин в країні значущість проблеми втрат електроенергії істотно зросла. Вартість втрат є однією зі складових тарифу на електроенергію. На сьогодні характер і питомі показники електроспоживання побутовими електроприймачами в сільській місцевості інколи значно перевищують ці показники в містах, при

цьому потужності електроприладів окремих помешкань значно відрізняються. У зв'язку зі зростаючим рівнем електрифікації виробничих процесів і побуту значно зростають вимоги до якості електричної енергії та надійності систем електропостачання.

Існуюча в нашій країні трифазна чотирипровідна система електропостачання сільських споживачів 0,38/0,22 кВ характеризується низкою недоліків: високий рівень втрат електроенергії (до 15 % від електроенергії, що надійшла в мережу), незадовільна якість електроенергії (перевищення коефіцієнтів несинусоїдальності, нульової та зворотної послідовності у 2–4 рази), високий рівень втрат напруги, який призводить до відхилень напруги у віддалених споживачів, що не відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 61000-4-30-2010 [1; 2; 4; 5; 15]. Усе це призводить до значних збитків електропостачальних компаній, а також завдає значної шкоди споживачам електричної енергії.

Під час проектування сільських ліній електропередачі прагнуть якомога рівномірнішого розподілу споживачів по фазах. На сьогодні існує безліч пристроїв для симетрування мережі, але всі вони через свою високу вартість, низьку надійність та неефективність при протяжних лініях, що живлять однофазне комунально-побутове навантаження, не отримали широкого застосування в мережах 0,38/0,22 кВ.

Як відомо, в Україні протяжність ліній 0,38/0,22 кВ становить близько 50 % від протяжності ліній усіх класів напруги [3; 5; 6; 12; 13]. Електрифікація країни закінчилася в кінці 60-х років минулого століття, тому значна частина існуючих мереж вимагає повної реконструкції. У зв'язку з цим необхідно спроектувати й побудувати більш економічні та надійні електричні мережі, які б мали низьку перевагу порівняно з існуючою системою електропостачання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зниження втрат електричної енергії при її передачі від виробника до споживача є актуальним завданням, якому впродовж усього часу існування

системи електропостачання приділяють велику увагу. На виконання цього завдання спрямовані наукові дослідження щодо розроблення нових провідникових та ізоляційних матеріалів, конструкцій ліній електропередачі і перетворювальних пристроїв, а також пристроїв, що покращують показники режимів роботи електричних мереж.

У населених пунктах з багатоповерховими будинками лінії електропередачі мають невелику довжину від підстанцій 10-6/0,4 кВ, до яких приєднано багато споживачів, що розташовані на невеликій відстані один від одного. Найчастіше це кабельні лінії, а повітряні лінії розташовані в населених пунктах з малоповерховими будинками. У сільській місцевості здебільшого лінії повітряні, до яких приєднані однофазні споживачі на відстані 35–40 метрів, що визначається розташуванням опор.

Аналіз систем електропостачання [10; 11; 14; 15], які застосовують в інших країнах (табл. 1), показав, що країни Європи, за винятком Норвегії, широко використовують як розподільну систему електропостачання житлових і громадських будівель трифазну чотирипровідну систему напругою 400/230 В з глухозаземленою нейтраллю. Норвегія зараз використовує трифазну систему з лінійною напругою 220 В та ізольованою нейтраллю. Ця система поступово замінюється системою 400/230 В.

У США використовують систему електропостачання напругою 220/127 В, лінії якої мають невелику протяжність від опори, де встановлений однофазний трансформатор, до споживача. Кожен однофазний трансформатор обслуговує кілька будинків, за необхідності живлення трифазних споживачів на опорі встановлюють трифазний трансформатор. Аналіз цієї системи електропостачання показує, що вона є економічно найдоцільнішою.

Постановка завдання. Наше завдання – провести аналіз існуючих систем електропостачання та обґрунтувати альтернативний, економічно вигідний варіант системи електропостачання.

Таблиця 1. Стандарти напруг

Table 1. Voltage standards

Країни	Україна та країни СНД	Країни ЄС	Італія	США
Напруга (лінійна/фазна), В	380/220	400/230	420/240	220/127

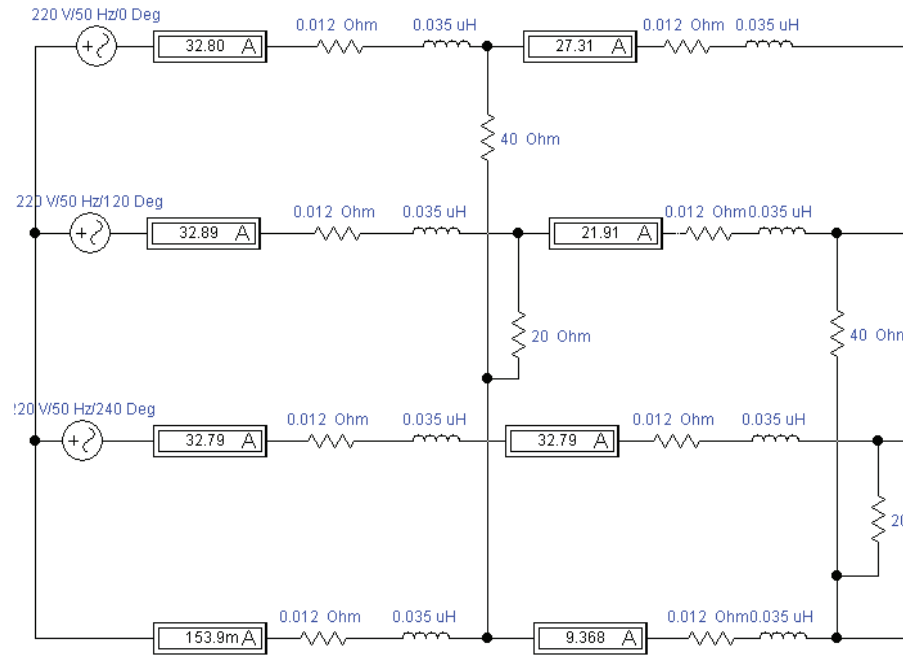


Рис. 1. Моделювання режимів мережі за допомогою комп'ютерної програми Electronics Workbench

Fig. 1. Modeling of network modes using the Electronics Workbench computer program

Таблиця 2. Розподіл втрат у проводах на ділянках

Table 2. Distribution of losses in sections wires

Провід	Ділянка 0-1	Ділянка 1-2	Ділянка 2-3	Ділянка 3-4	Ділянка 4-5	Ділянка 5-6
Фаза А, Вт	12,91	8,95	8,95	3,22	1,43	1,43
Фаза В, Вт	12,98	5,76	3,24	3,24	0,36	–
Фаза С, Вт	12,9	12,9	5,72	3,22	3,22	0,36
Нульовий провід, Вт	–	1,05	1,055	–	1,06	1,066

Виклад основного матеріалу. Розглянемо конкретний приклад мережі. Використовуючи програмний продукт Electronics Workbench [2; 7–9], проведемо моделювання роботи мережі (див. рис. 1) зі споживачами, активні опори навантаження яких мають такі значення: 20 Ом, 30 Ом, 40 Ом; початкові фази синусоїд напруги мережі дорівнюють відповідно 0, 120, 240 градусів, опори алюмінієвих проводів представлені рядом послідовно з'єднаних активних і реактивних опорів ділянок повітряної лінії ($R = 0,012$ Ом, $X = 0,011$ Ом для проводу АС-35) між точками приєднання споживачів (для повітряних ліній це відстань між опорами), споживачі включені між

одним із фазних проводів і нульовим проводом (по 3 споживачі в точці приєднання). На наведеній схемі (див. рис. 1) змодельована повнофазна ділянка лінії довжиною 210 м (шість опор). У табл. 2 наведені втрати на кожній ділянці у фазних і нульовому проводах.

Сумарні втрати в мережі становитимуть 105 Вт.

Тепер розглянемо мережу з такими ж навантаженнями, але напругою 10 кВ, в якій трансформатори 10/0,4 кВ знаходяться безпосередньо на опорах. На наведеній на рис. 2 схемі також змодельована повнофазна ділянка лінії довжиною 210 м (шість опор, до кожної приєднані однофазні споживачі). У табл. 3 наведені втрати на кожній ділянці мережі.

Сумарні втрати в мережі будуть становити 0,15013 Вт.

Порівняльний аналіз втрат показує, що в запропонованій мережі втрати в 700 разів нижчі (без урахування втрат у трансформаторах), ніж у традиційній системі електропостачання.

Дослідження [3; 7] показують, що як статичну модель можна прийняти мережу з одним трансформатором 10/0,4 кВ і двома лініями, які живлять комунально-побутове навантаження, математичне очікування довжини кожної з яких становить 700 м.

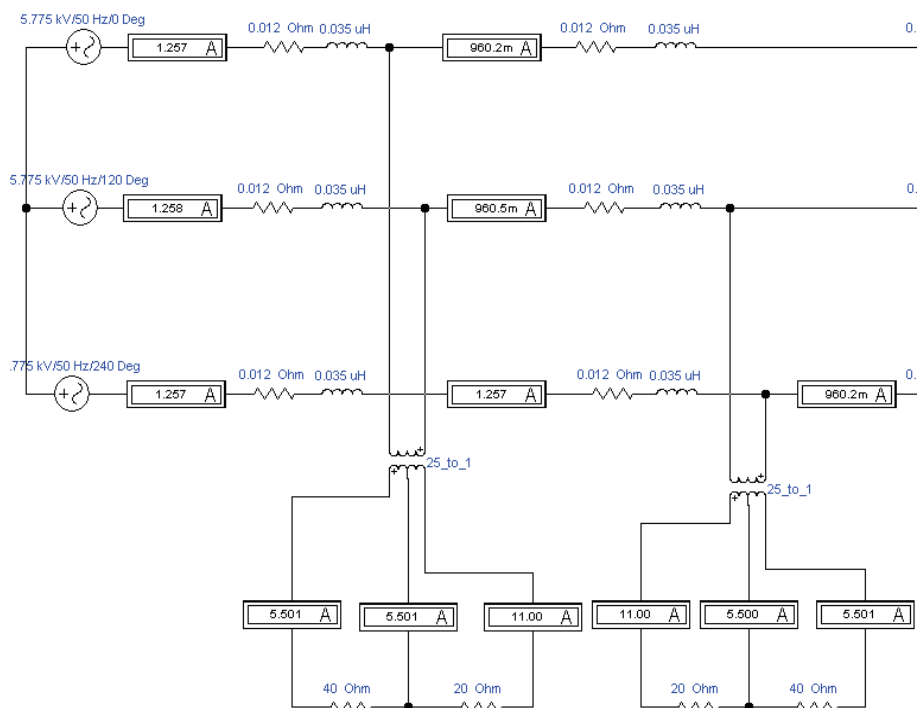


Рис. 2. Моделювання режимів мережі за допомогою комп'ютерної програми Electronics Workbench

Fig. 2. Modeling network modes using the Electronics Workbench computer program

Таблиця 3. Розподіл втрат у проводах на ділянках

Table 3. Distribution of losses in sections wires

Провід	Ділянка 0-1	Ділянка 1-2	Ділянка 2-3	Ділянка 3-4	Ділянка 4-5	Ділянка 5-6
Фаза А, Вт	0,01896	0,01106	0,01106	0,00474	0,00158	0,00158
Фаза В, Вт	0,01899	0,01106	0,00474	0,00474	0,00158	—
Фаза С, Вт	0,01896	0,01896	0,01106	0,00474	0,00474	0,00158
Нульовий провід, Вт	—	—	—	—	—	—

Таблиця 4. Укрупнені показники вартості спорудження підстанцій і ліній електропередачі

Table 4. Enlarged cost parameters of construction of substations and power line

Вартість спорудження трансформаторної підстанції 35/10 кВ 2×4 МВА, млн грн	Вартість спорудження трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (ТС3 100 кВА) 100 кВА, грн	Вартість спорудження трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ (ОС3 16 кВА) 16 кВА, грн	Вартість спорудження 1 км лінії (АС-70) 10 кВ, грн	Вартість спорудження 1 км лінії (СИП 4 2х16) 0,38 кВ, грн
3,5	138000	15500	359000	197000

На підставі укрупнених показників вартості спорудження підстанцій і ліній електропередачі [9; 12], які наведені в табл. 4, проведемо порівняльний аналіз вартості розглянутих мереж. Базова вартість побудови лінії складається з вартостей опор, проводів, арматури, території (вартість землі) і роботи. Також необхідно врахувати витрати на благоустрій – 3 %, проектні роботи – 8 %, інші роботи – 3,5 %, інфляцію – 7,09 % та представницькі витрати – 5 %.

Розглянемо вартість спорудження системи електропостачання споживачів, які живляться від мережі 0,38/0,22 кВ (рис. 3).

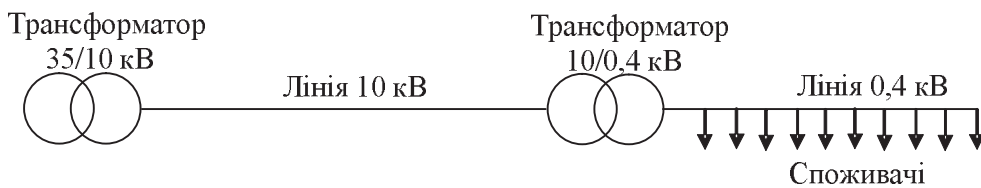


Рис. 3. Традиційна схема електропостачання

Fig. 3. Traditional power supply scheme

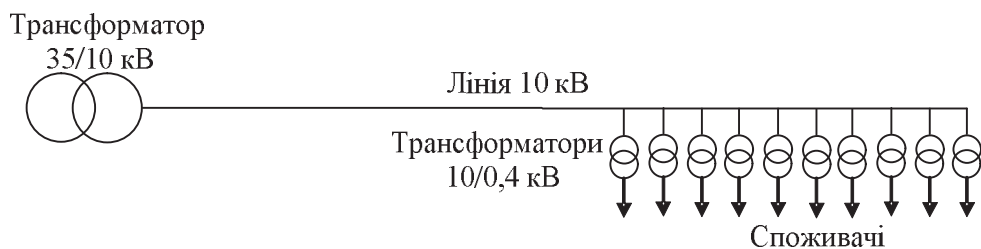


Рис. 4. Запропонована система електропостачання

Fig. 4. The proposed power supply system

Висновки. Порівняльний аналіз систем електропостачання показує, що споживачі, які живляться за запропонованою системою електропостачання (від трансформаторів невеликої потужності, встановлених на опорах), мають параметри якості електроенергії, які повністю задовольняють ДСТУ ІЕС 61000-4-30-2010. Споживачі, які живляться за традиційною системою електропостачання, мають незадовільну якість електричної енергії (перевищення коефіцієнтів несинусоїдності, прямої та зворотної послідовності в кілька разів), високий рівень втрат напруги (неприпустимі відхилення напруги у віддалених споживачів), що перевищує параметри ДСТУ ІЕС 61000-4-30-2010. Крім того, у запропонованій системі електропостачання втрати електроенергії

Визначимо вартість спорудження такої системи електропостачання. Візьмемо для розрахунку лінію 10 кВ довжиною 10 км і лінію 0,38 кВ довжиною 700 м (для 40 споживачів).

Сумарна вартість такої системи електропостачання становить 7565900 грн.

Тепер розглянемо вартість спорудження системи електропостачання споживачів, які живляться за запропонованою системою електропостачання (рис. 4).

Визначимо вартість спорудження такої системи електропостачання. Візьмемо для розрахунку лінію 10 кВ довжиною 10,7 км (для 40 споживачів). У результаті отримаємо вартість такої системи електропостачання – 7496300 грн.

значно менші, ніж у традиційній системі електропостачання. Інвестиційні вкладення в обидва проекти є рівноеконімічні. На наш погляд, під час повної реконструкції існуючих або спорудження нових ліній електропередачі необхідно переходити на запропоновану систему електропостачання, тому що існуюча система електропостачання в разі зростання навантажень здебільшого не відповідає вимогам ДСТУ ІЕС 61000-4-30-2010 і споживачі зазнають значних збитків від неякісної електричної енергії.

Бібліографічний список

1. Бурбело М. Й., Мельничук С. М., Никитенко М. В. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 2. С. 54–56.

2. Денисюк С. П., Горенко Д. С. Обмінні процеси в трифазних автономних системах електроживлення. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. 2016. № 45. С. 9–15.
3. Дослідження енергоощадних режимів роботи розподільних мереж / О. О. Мірошник, А. С. Довгопола, Є. В. Глушач, Я. А. Романенко. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2018. Вип. 196. С. 24–26.
4. ДСТУ ІЕС 61000-4-30-2010. Електромагнітна сумісність (ЕМС). Ч. 4-30: Методики випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії. [Чинний від 2012-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2010.
5. Мірошник О. О. Статистичне дослідження основних параметрів сільських мереж 0,38/0,22 кВ. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. № 166, ч. 4. С. 203–211.
6. Bollen, M. H. J. Definitions of Voltage Unbalance. *IEEE Power Engineering Review*. 2002. 1. P. 49-50. doi: <https://doi.org/10.1109/MPER.2002.1045567>.
7. Chen T.-N., Cherng J.-T. Optimal Phase Arrangement of Distribution Transformers Connected to a Primary Feeder for System Unbalance Improvement and Loss Reduction using a Genetic Algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2000. 15. P. 994–1000. doi: <https://doi.org/10.1109/59.871724>.
8. Chitra R., Neelaveni R. A Realistic Approach for Reduction of Energy Losses in Low Voltage Distribution Network. *International Journal of Electrical Power & Energy System*. 2011. 33. P. 377–384. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2010.08.033>.
9. Dilek M., Broadwater R. P., Thompson J. C., Sequin R. Simultaneous Phase Balancing at Substations and Switches with Time-Varying Load Patterns. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2001. 16. P. 922–928. doi: <https://doi.org/10.1109/59.962447>.
10. Faiz J., Ebrahimpour H. Influence of Unbalanced Voltage Supply on Efficiency of Three Phase Squirrel Cage Induction Motor and Economic Analysis. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2006. 47. P. 289–302. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.04.009>.
11. Faiz J., Ebrahimpour H. Precise Derating of Three-Phase Induction Motors with Unbalanced Voltages. *Energy Conversion and Management*. 2007. 48. P. 2579–2586. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.03.023>.
12. IEEE Standard, «Definition for the measurement of Electric Power Quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced or unbalanced conditions,» (IEEE std. 1459TM – 2010), IEEE Power and Energy Society, New York, 2010.
13. Jouanne A., Banerjee B. Assessment of Voltage Unbalance. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2001. 16. P. 782–790. doi: <https://doi.org/10.1109/61.956770>.
14. Miroshnuk O. O., Tymchuk S. O. Uniform distribution of loads in the electric system 0.38/0.22 kV using genetic algorithms. *Technical Electrodynamics*. 2013. Issue 4. P. 67–73. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885913005&partnerID=MN8TOARS> (Last accessed: 10 September 2019).
15. Verma S., Kumar P. Smart Grid, Its Power Quality and Electromagnetic Compatibility. *Islam, MIT International Journal of Electrical and Instrumentation Engineering*. 2012. No. 1. P. 55–64.

Стаття надійшла 20.09.2019