

УДК 621.311.23

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.1/04>**Бунько В.Я.**Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України
«Бережанський агротехнічний інститут»

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЖЕРЕЛА АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

У статті розглянуто питання електропостачання побутових споживачів електричної енергії від автономного джерела живлення. Проведено обґрунтування та дослідження якості електричної енергії, яке включає в себе вимірювання напруги, частоти, синусоїдальності напруги, а також досліджено роботу окремих побутових споживачів, котрі працюють від джерела автономного електропостачання. В якості джерела живлення використовується однофазний генератор потужністю 3,1кВт номінальною напругою 220 В. Первинним перетворювачем являється бензиновий 4-х тактний двигун внутрішнього згорання. Метою даного дослідження являється проведення вимірювання за відповідною методикою для визначення якості електричної енергії джерела автономного живлення, а також дослідження роботи окремих споживачів від даного джерела. В роботі показано та обґрунтовано залежності електричних параметрів мережі від реального часу. Наведено графічні залежності, які характеризують роботу електричної мережі та відповідно якість електричної енергії, яка визначається основними показниками – відхиленням напруги, частоти, синусоїдальності напруги та її параметрів. Методологія даного дослідження полягає у прийнятті технічного рішення з метою удосконалення режиму роботи окремих споживачів, які працюють з певним відхиленням показників якості електричної енергії. Основною проблемою, яка зустрічається в роботі джерела автономного живлення на базі бензинового генератора полягає у виробництві електричної енергії, зокрема напруги, яка має неправильну форму синусоїдальності, а від так, робота окремих пристроїв призводить до виходу з ладу його функціональних елементів, або ж такий режим призводить до надмірного нагрівання, коли мова йде про електричні двигуни, насоси тощо. В роботі використовується аналізатор якості електричної енергії AFLEX-6300, який дає можливість виміряти та проаналізувати параметри електричної мережі.

Ключові слова: показники якості, джерело автономного електропостачання, електрична енергія, відхилення, напруга, частота, навантаження, електрична мережа.

Постановка проблеми. Сьогодні, в період воєнного стану, при знищенні російським агресором майже 50 відсотків енергетичної інфраструктури нашої країни, споживачі електричної енергії опинились в дуже незручному становищі щодо виробництва, передачі та споживання електричної енергії. Ситуація, яка склалась на сьогоднішній день, полягає у вирішенні інженерно-технічного завдання, яке має на меті не тільки забезпечення споживачів електричною енергією, але і її якістю від джерела автономного електропостачання. Варто зазначити, що з частими перервами в постачанні електричної енергії від основних джерел живлення – обласних підприємств чи районів електричних мереж, споживачі масово використовують портативні, або ж мобільні джерела автономного електроживлення, які дозволяють забез-

печувати електричною енергією їхні потреби. Проте, виробництво електричної енергії від таких резервних джерел електропостачання слід визначати як кількісно, так і якісно.

Кількісний показник полягає у виробництві електричної енергії, зокрема активної потужності, витраті палива, кількості мотогодин роботи такого джерела тощо. А ось якість електричної енергії, яку необхідно забезпечити для правильної та надійної роботи споживачів оцінюється окремими критеріями, які і будуть враховуватись при функціонуванні електричних пристроїв та електронних елементів будь-якої електротехнічної системи.

Метою даного дослідження являється проведення вимірювання за відповідною методикою для визначення якості електричної енергії дже-

рела автономного живлення, а також дослідження роботи окремих споживачів від даного джерела. В роботі показано та обґрунтовано залежності електричних параметрів електричної мережі в режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Допустиме відхилення напруги в Україні становить $\pm 5\%$, а гранично допустиме її відхилення $\pm 10\%$. Допустиме відхилення частоти струму $\pm 0,2\%$, а гранично допустиме відхилення $\pm 0,4\%$ [1]. З даного питання дослідження проводили В.М. Ванько, П.Г. Столярчук, В.Г. Кузнецов, О.Г. Шполянський, Н.А. Яремчук, А.К. Шидловський, В.О. Новський, А.Ф. Жаркін та ін., де основна увага зосереджена на дослідженні узагальнюючого показника якості енергії в електричних мережах і системах, контролю показників та наведена методика оцінки якості електроенергії [2]. Наукові праці А.К. Шидловського присвячені загальній теорії пристроїв для стабілізації параметрів електроенергії і забезпечення електромагнітної сумісності в електричних мережах та системах стосовно вирішення проблеми підвищення якості енергії, ефективного її перетворення і використання [3].

Виклад основного матеріалу. Для дослідження системи електрозабезпечення споживачів від джерела резервного живлення використовується однофазний генератор, який приводиться в рух 4-х тактним двигуном внутрішнього згоряння потужністю 7 к.с. Основна робота такої системи полягає у забезпеченні електричною енергією споживачів чутливих до її якості. Для побутового використання такої системи в якості споживання електроенергії це стосується сучасних газових котлів, електродвигунів, насосів,

компресорів, а також мікропроцесорних пристроїв та схем електроніки.

В ході дослідження виявилось, що при живленні звичайного газового котла, система запалювання не спрацьовує, і навіть «видає» помилку на дисплеї котла F13 «Помилка основної плати». При використанні джерела автономного електропостачання виявилось, що в генераторі присутня напруга на обох затискачах номіналом 110 В, тобто відсутня нульова шина. Варто зауважити, що такий режим роботи не сприяє нормальній роботі таких пристроїв. Даний режим стосується живлення ламп розжарення, люмінесцентних та світлодіодних ламп, нечутливих електроприймачів та інших споживачів. Проте, у світлодіодних лампах спостерігається відповідна пульсація напруги, яка свідчить про якість електричної енергії на вході живлення таких пристроїв.

Очевидним є те, що потрібно вирішити питання нульової шини на генераторі. В першу чергу це потрібно зробити за допомогою контуру заземлення генератора (рис. 1).

Для порівняння зобразимо практично ідеальну синусоїдальність напруги, яка показана на рис. 2 та відображає параметри із загальної електричної мережі 220 В ТП 10/0,4 кВ. Напруга мережі в 1-й гармоніці становить 217,6 В, пікова напруга складає 298,7 В. Аналогічні дослідження проводились у 50-ти гармоніках, адже такі функціональні можливості забезпечує аналізатор якості електричної енергії AFLEX 6300 [5, 6]. За допомогою програмного забезпечення AFLEX Graphic Power Quality Analyzer зобразимо криву напруги, а також покажемо параметри даної електричної мережі (рис. 2).

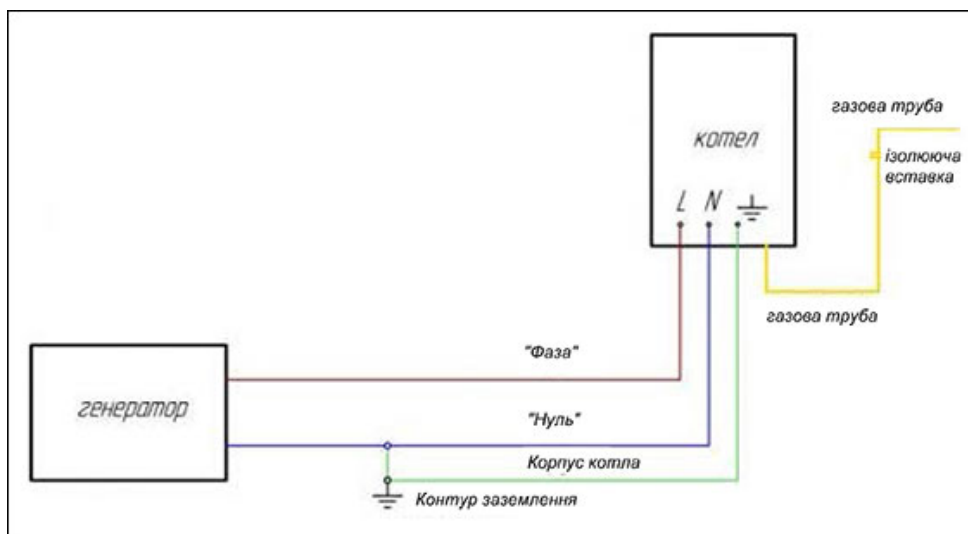


Рис. 1. Схема приєднання генератора до котла із заземлюючим пристроєм



Рис. 2. Графічне зображення кривої напруги в загальній мережі від ТП10/0,4кВ

На рис. 3 показано графік, який дозволяє спостерігати та аналізувати криву напруги від автономного джерела електропостачання.

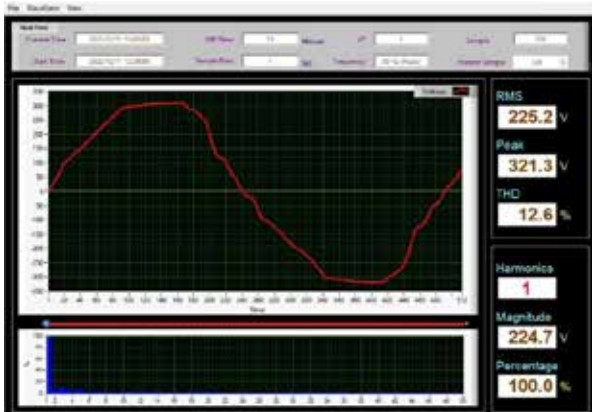


Рис. 3. Графічне зображення кривої напруги від бензинового генератора

За даним графіком номінальна напруга становить 225,2 В, а пікова – 321,3 В. Слід відзначити, що параметри електричної енергії повинні знаходитись в межах допустимих значень відповідно до [1, 4, 8], і відповідно до [1, 4, 8] відхилення напруги не повинно перевищувати $\pm 5\%$ від номінальної напруги. У збільшеному форматі така крива має наступний вигляд (рис. 4).

Проте, за даною кривою напруги можна охарактеризувати ступінь несинусоїдальності кривизни такого значення. Зокрема, спостерігається викривлення амплітуди кожних 15 секунд, яка негативно впливає на роботу окремих споживачів: вентиляторів, насосів, компресорів тощо (рис. 5). На даному рисунку спостерігається підвищення номінальної напруги, за рахунок вимикання окремих споживачів. Показник напруги, який складає 235,2 В не відповідає встановленим вимогам стандарту [1, 4, 8], адже номінальна напруга пови-

нна знаходиться в межах $\pm 5\%$ від $U_{\text{ном.мережі}}$, тобто (209÷231) В [5, 6, 8].



Рис. 4. Збільшений вигляд кривої напруги



Рис. 5. Графічне зображення кривої напруги в режимі реального часу

Зведені дані відхилення напруги слід аналізувати за допомогою графіка, який показано на рис. 6. та фіксує дані показники з періодичністю 25 секунд в реальному часі [5, 6].



Рис. 6. Графічне зображення відхилення напруги з врахуванням n-гармонік

Варто зауважити, що розвиток сучасних технологій напівпровідників веде до все більш зростаючої кількості споживачів, керованих тиристо-

рами і перетворювачами. На жаль, перетворювачі збільшують значення індуктивної реактивної потужності і погіршують несинусоїдальну форму струмової кривої. Ці перешкоди, які містяться в електричній мережі ведуть до пошкоджень і помилкових спрацьовувань обладнання та приладів. Типовий струм перетворювача являє собою накладення різних синусоїдальних складових струму, тобто основну мережеву частоту і певного числа так званих вищих гармонік (в електричній мережі в першу чергу гармоніки 5-го, 7-го і 11-го порядків). Зміст вищих гармонік веде до підвищення струму в конденсаторах, тому що реактивний опір конденсаторів зі зростанням частоти зменшується. Паралельно зі зростанням струму в конденсаторах, який можна регулювати за допомогою конструктивних заходів, в несприятливих випадках в мережах можуть виникнути резонансні явища [7, 9].

Компенсаційні конденсатори й індуктивності трансформатора та мережі являють собою резонансний контур. Якщо власна частота такого контуру співпадає з частотою вищих гармонік, то можливе виникнення коливань зі значними надструми і перенапруги. Це веде до перевантажень та пошкоджень в електричних установках і може привести до таких наслідків [9]:

- зниження терміну служби конденсаторів;
- передчасне спрацьовування контакторів та інших запобіжників;
- вихід з ладу або помилкова робота комп'ютерів, приводів електродвигунів, пристроїв освітлення та інших чутливих споживачів.

Метою підключення дроселя (реактора) до конденсатора служить зниження резонансної частоти мережі до такого значення, величина якого нижча за значення найменшої вищої гармоніки даної мережі. Цим запобігається резонанс між

конденсаторами і мережею, а значить і зростання струмів вищих гармонік. Крім того, таке вмикання має ефект фільтра, при якому зменшується ступінь спотворення напруги. Це рекомендується в тих випадках, коли частка споживачів, що забруднюють мережу вищими гармоніками, становить понад 20% усіх споживачів мережі. Резонансна частота конденсатора, ввімкненого послідовно з дроселем, завжди лежить нижче частоти 5-ої гармоніки. Для струмів вищих гармонік коло фільтра являє собою дуже низький повний опір, тому велика частина таких струмів направляється в цей контур [7, 9].

В результаті проведення даного дослідження використовувались окремі фільтри для згладжування кривизни синусоїдальності напруги.

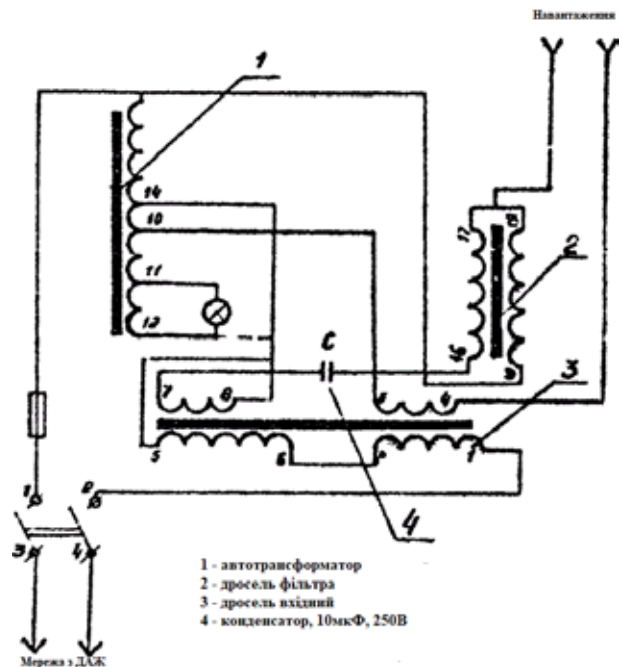


Рис. 7. Схема ввімкнення ферорезонансного фільтра



Рис. 8. Криві напруги з використанням ферорезонансних фільтрів

З даних графіків можна зробити висновок, що амплітуда синусоїдальності напруги значно покращилась, а відповідно і покращується робота споживачів, які приєднані до даної системи електроживлення.

При використанні даної методики дослідження спостерігається, що частота при цьому залишається стабільною – 50 Гц, проте в автономних джерелах живлення частота генератора як правило становить 52–53 Гц. Це пов'язано з тим, що заводом-виготівником на початковій стадії виробництва таких генераторів встановлюється значення частоти з врахуванням режиму роботи генератора при певному навантаженні.

У бензинових чи дизельних електростанціях регулювання частоти обертання двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) (об/хв) та регулювання частоти генератора (Гц) змінного струму безпосередньо пов'язані.

Частота обертання двигунів електрогенераторів для резервного електропостачання у нормальному режимі становить 3000÷3500 об/хв, при таких обертах двигуна частота генератора – 50÷52 Гц.

В ідеалі частота повинна бути 50 Гц, з тих простих причин, що електрогенератор не може забезпечити частоту, яка точно дорівнюватиме 50 Гц через зміни частоти обертання двигуна.

Висновки. Вимірювання параметрів та визначення якості електричної енергії джерела автономного живлення за відповідною методикою, а також проведення дослідження роботи окремих електричних споживачів від даного джерела являється актуальним питанням на сьогоднішній день в період масового використання різних типів електрогенераторів.

В роботі показано та обґрунтовано залежності електричних параметрів мережі від реального часу. В даному експериментальному дослідженні використовується джерело автономного живлення – однофазний генератор, який живить споживачів електричної енергії, зокрема чутливих до синусоїдальності напруги в мережі 0,22кВ.

В результаті проведених досліджень було визначено параметри електричної енергії: складові напруги та частоти. В окремих випадках спостерігається підвищення напруги, а також її несинусоїдальність, що в певній мірі негативно впливає на роботу окремих електричних приладів та пристроїв. При використанні в електричних схемах згладжувальних фільтрів спостерігається вирівнювання синусоїди напруги та струму, що дає можливість покращити роботу як побутового, так і промислового електроустаткування.

Список літератури:

1. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго.
2. Кузнєцов В.Г., Шполянський О.Г., Яремчук Н.А. Узагальнений показник якості енергії в електричних мережах і системах. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 3. С. 46-52.
3. А.К. Шидловський, В.О. Новський, А.Ф. Жаркін. Стабілізація параметрів електричної енергії в трифазних системах напівпровідниковими коригуючими пристроями. Київ, Інститут електродинаміки НАН України. 2013. 378с.
4. ГОСТ 13109-97 Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25837 (дата звернення 27.11.2022)
5. Бунько В. Я. Аналіз впливу відхилень показників якості електричної енергії на функціонування електроспоживачів. *Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації*. Збірник наукових праць XVI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 12–13 квітня 2018 р. Кременчук, КрНУ, 2018. С. 134– 135.
6. Бунько В.Я. Питання якості електричної енергії в розподільних пристроях систем електропостачання. *Науковий журнал «Молодий вчений»*. 2016. № 1. Ч. 3. С. 99-103.
7. ДСТУ ІЕС 61000-4-7:2012 (ІЕС 61000-4-7:2009, ІДТ) Електромагнітна сумісність. Частина 4-7. Методики випробування та вимірювання. Загальна настанова щодо вимірювання гармонік та інтергармонік від електропостачальних систем загальної призначеності й допоміжного устаткування.
8. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, ІДТ). [Чинний з 1.10.2014]. К.: Держстандарт України, 2014. 27 с.
9. Вплив вищих гармонік і їх фільтрація. <https://electrocontrol.com.ua/ua/stati-sxemy-i-spravochnaya-informaciya/1846.html> (дата звернення 10.01.2023)

Bunko V.Ya. RESEARCH OF THE QUALITY OF THE ELECTRIC ENERGY OF THE SOURCE OF AUTONOMOUS ELECTRICITY SUPPLY

The article deals with the issue of electricity supply to household consumers of electricity from an autonomous power source. A substantiation and study of the quality of electrical energy was carried out,

which includes measurement of voltage, frequency, sinusoidal voltage, as well as the work of individual household consumers, which work from an autonomous power supply source, was investigated. A single-phase generator with a capacity of 3.1 kW with a nominal voltage of 220 V is used as a power source. The primary converter is a gasoline 4-stroke internal combustion engine. The purpose of this study is to measure according to the appropriate method to determine the quality of electric energy of an autonomous power source, as well as to study the operation of individual consumers from this source. The paper shows and substantiates the dependence of electrical parameters of the network on real time. Graphical dependences are presented that characterize the operation of the electrical network and, accordingly, the quality of electrical energy, which is determined by the main indicators – voltage deviation, frequency, voltage sinusoidality and its parameters. The methodology of this study consists in making a technical decision with the aim of improving the mode of operation of individual consumers who work with a certain deviation of the indicators of the quality of electric energy. The main problem encountered in the operation of an autonomous power source based on a gasoline generator is the production of electrical energy, in particular, a voltage that has an irregular sinusoidal shape, and the operation of individual devices leads to the failure of its functional elements, or such a mode leads to excessive heating when it comes to electric motors, pumps, etc. The work uses the AFLEX-6300 power quality analyzer, which makes it possible to analyze and measure the parameters of the electrical network.

Key words: *quality indicators, source of autonomous power supply, electric energy, deviation, voltage, frequency, load, electric network.*