МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шадура Андрій Миколайович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування симетруючого пристрою в розподільних мережах 0,4 кВ

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Савченко Л.Г.
к.і.н., доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Шадура Андрій Миколайович. **Обґрунтування симетруючого пристрою в розподільних мережах 0,4 кВ**. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В даному дипломному проєкті проведені Дослідження розподільчих мереж 0.4 кВ дозволили виявили, що несиметрія напруги є постійним фактором у мережі. У деяких випадках рівень несиметрії істотно (2,5-3 разів) перевищує номінальне значення. Огляд наявних способів і приладів симетрування виявив, що найбільш перспективними, на наш погляд, серед симетруючих пристроїв є спосіб перерозподілу однофазних навантажень по фазах.

Розроблено комп'ютерну модель СП, призначену для підвищення показників якості електричної енергії для споживачів. Реалізація моделі СП є об'єднання моделей підсистеми об'єкта, контурів рівняння, елементів із заданими параметрами та його зв'язків, реалізованих серед Simulink, орієнтованої на імітаційне моделювання електротехнічних пристроїв.

За результатами досліджень виявлено, що у сільських мережах 0.4 кВ є несиметрія напруги та струму, які вважаються одним із головних факторів зниження ЯЕЕ та підвищення втрат потужності у сільських мережах. Впроваджено пристрій з метою зменшення несиметрії у сільських мережах 0.4 кВ, у зв'язку з тим, що несиметрія струму збільшує зростання втрат ЕЕ та потужності у сільських мережах на 30-50 %, якщо порівнювати із симетричним режимом.

Ключові слова: електрична схема, розподільча мережа, симетруючий пристрій, електроенергія, якість.

ANNOTATION

Shadura Andrii Mykolaiovych. Substantiation of a symmetrizing device in 0.4 kV distribution networks. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for the bachelor's degree in the specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In this thesis project, the studies of 0.4 kV distribution networks have revealed that voltage asymmetry is a constant factor in the network. In some cases, the level of asymmetry is significantly (2.5-3 times) higher than the nominal value. A review of the available methods and devices for symmetrization revealed that, in our opinion, the most promising among the symmetrizing devices is the method of redistributing single-phase loads across phases.

We have developed a computer model of the SP designed to improve the quality of electricity for consumers. The implementation of the SP model is a combination of models of the object subsystem, equation contours, elements with specified parameters, and its connections implemented in Simulink, which is focused on simulation modeling of electrical devices.

The research results revealed that in rural 0.4 kV networks there is an asymmetry of voltage and current, which is considered one of the main factors in reducing the EEI and increasing power losses in rural networks. A device has been introduced to reduce the asymmetry in rural 0.4 kV networks, due to the fact that current asymmetry increases the growth of EE and power losses in rural networks by 30-50 % compared to the symmetrical mode.

Key words: electrical circuit, distribution network, symmetrizing device, electricity, quality.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……5
РОЗДІЛ 1. ПОТОЧНИЙ СТАН ОЦІНКИ РІВНЯ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ І ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЄМНИКІВ……..……...….8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИМЕТРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 0.4 КВ…….21
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИМЕТРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 0.4 КВ…..…….……..29
ВИСНОВКИ……..…….42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……..43

ВСТУП

Актуальність роботи. У Національній енергетичній програмі на 2018-2023 роки та стратегії розвитку паливно-енергетичного комплексу до 2025 року зазначено, що найважливішим напрямком розвитку та вдосконалення державної системи управління енергозбереженням є вирішення комплексу завдань щодо покращення якості та зниження втрат електроенергії в електричних мережах електроенергетичного сектору. Електрична енергія, що доставляється енергопостачальними підприємствами споживачам, постає як спеціальний вид товару, що характеризується збігом процесів у часі виробництва, транспортування та споживання, а також нездійсненністю його збереження та повернення. Відповідно до цього, щодо продуктів будь-якого виду як електрика використовується поняття "якість" [11].

Одним із головних параметрів режиму, що характеризують якість електричної енергії (ЯЕЕ) у трифазних системах вважається несиметрія напруги, що призводить до додаткових відхилень напруги у споживачів, підвищення втрат, погіршення роботи умов електроустаткування тощо. [4, 8].

Потрібно виходити з того, що електрифікація базується трьома діями – виробництва, передачі та споживання електроенергії, а також ці процеси не можуть бути реалізовані без двох інших. Звичайно, різні нормовані показники якості дає зацікавленість на всіх кроках перетворення енергії. Питання, що відповідають показникам якості електроенергії (ПЯЕ), однаково торкаються інтересів постачальника та клієнта (споживача) електроенергії.

Дослідження розподільних мереж 0,4 кВ показує, що через значну частку однофазних навантажень у мережах постійно міститься частка несиметрії напруг і струмів [3, 5]. У реалістичних ситуаціях експлуатації несиметричний режим є звичайним режимом розподільчих мереж 0.4 кВ. Несиметрія має місце при раптовому зміщенні в гірший бік техніко-економічних даних складових мережі (неодноразово підвищені втрати електроенергії та нагрівання складових

мережі та ін), зменшення терміну експлуатації електрообладнання та інші негативні дії. Додаткові втрати у розподільчих мережах і трансформаторів 0,4кВ внаслідок нерівного навантаження фаз становлять в межах 4% від загального обсягу споживаної електроенергії. Приблизно те ж саме енергії втрачається й у асинхронних двигунах, і навіть яка перебуває у мережі несиметрія напруг у деяких випадках дозволяє зробити пуск електрогенераторів.

Аналізу та дослідженню дієвих способів оцінки несиметрії приурочені роботи товариств АН України та ін., знаменитих авторів (І.В. Жежеленко, Ю.С. Желєзко, А.Д. Карташева, Л. Е. Ебіна, А. А. Ковзана та ін). Незважаючи на солідні заслуги, цих працівників актуальною залишається проблема поліпшення створених методів розрахунку оцінки значення несиметрії напруг.

Більшість наукових праць присвячена вивчення обставин зниження несиметрії. Проблемам розробки способів оцінки несиметрії, і їх апаратного виконання, не повністю приділялася вимогам зниження несиметрії.

Слід зазначити, що зменшення несиметрії струмів і напруг має сенс, зокрема, коли вона розташовується в можливих межах, оскільки при цьому зменшуються втрати в електромережах і електроприймачах, покращуються характеристики роботи двигунів, генераторів і засобів РЗ. Тому симетрування треба розглядати не зовсім як засіб збільшення КЕ, а й як збільшення економії та надійності електричної системи загалом.

Робота присвячена розробці методів розрахунку несиметричних режимів, націлену на розробку симетруючого пристрою в розподільчих мережах 0,4 кВ.

Метою роботи є підвищення якості електроенергії шляхом зниження несиметрії напруги за допомогою симетруючого пристрою у розподільчих мережах 0.4 кВ:

- розробка комп'ютерної моделі симетруючого пристрою у розподільчих мережах 0.4 кВ;

- розробка симетруючого устрою та його застосування у розподільчих мережах 0.4кВ.

Об'єктом дослідження є симетруючий пристрій у розподільчих мережах 0.4 кВ

Предметом дослідження є закономірності впливу зниження несиметрії напруги за допомогою симетруючого пристрою на якість електроенергії у розподільчих мережах 0.4 кВ:

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Шадура А.М. Умови до рівня несиметрії напруг і практичний стан проблеми в розподільчих мережах 0.4 кВ. Збірник тез *IX-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*». м. Житомир, 5 квітня 2023 року. Житомир : ЖАТФК, . С.307 -309.

2. Савченко Л.Г., **Шадура А.М.** Структурна схема розробленого симетруючого пристрою. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. С. 193-196.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи, а саме пристосування для нагріву види на фермах ВРХ, можуть бути впровадженні в підприємствах агропромислового комплексу України.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 15 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 36 сторінок комп’ютерного тексту, містить 2 таблиці і 18 рисунків.

РОЗДІЛ 1
ПОТОЧНИЙ СТАН ОЦІНКИ РІВНЯ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ І ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОПРИЄМНИКІВ

1.1. Умови до рівня несиметрії напруг та практичний стан проблеми у розподільчих мережах 0.4 кВ

ЯЕЕ визначаються показниками, що характеризують рівень співвідношення характеристик напруги нормованим значенням.

Сьогодні вимоги щодо якості електроенергії єдиного призначення визначає ДСТУ.

Одним з головних ПЯЕ є несиметрія напруги та характеризується коефіцієнтами нульової послідовності (НП) та зворотної послідовності (ЗП). Можливим винуватцем усунення в гірший бік цього ПЯЕ, відповідно до стандарту, слід розглядати як споживача з несиметричним навантаженням. Звідси випливає потреба симетрування струмів таких споживачів.

Значення ПЯЕ у нормальному режимі роботи має виходити межі максимальних значень коефіцієнта несиметрії (КН) - 4%, тоді як щонайменше 95% (22часов 48 хв) щодня значення ПКЭ має виходити межі норРисьного діапазону (2%) .

Нормування розрахунку похибки КН прикладає конкретні вимоги клас точності пристроїв, якими виконуються виміри і точність способу оцінки.

Присутність однофазних споживачів у розподільних мережах 0.4 кВ складається значний ступінь несиметрії струмів і напруг у наданих мережах. Особливо актуальна проблема несиметрії в муніципальних та аграрних мережах 0.4 кВ, коли кількість однофазних електроприймачів у сукупному навантаженні дуже велика (табл. 1.1). Відмінною характерною рисою в аграрних мережах 0.4 кВ вважається харчування від однієї споживчої підстанції, а часом і від тієї ж лінії 0.4 кВ, однофазних та трифазних симетричних приймачів електрики, розподілених серед окремих фаз мережі.

Статистичний аналіз ступеня несиметрії у мережі 0.4 кВ була заснована на вимірюваннях напруги на шині підстанцій низької напруги у розподільчих мережах 0.4 кВ «Обленерго». Виміри велися протягом дня із записом результатів вимірювань кожні 15 хвилин. Підсумки вимірювань були оброблені за допомогою комп'ютера за допомогою систем комп'ютерної алгебри MathCAD та редактора електронних таблиць MS Excel.

Відповідно до існуючих добірок встановлені математичне очікування (МО) від кута симетричних складових (СС) між векторами та КН напруги, а також часткова дисперсія. Приклад нижче показує підсумки вимірів у вигляді графіків лінійної напруги, КН і зсуву фаз між напругою ЗП і прямої послідовності (ПП) (рис. 1.1). Вимірювання проводили на ділянках фідера 0.4 кВ. Пристроєм під час контрольних позначок записувалися дані лінійної напруги, інтервалом в 15 хвилин на згадку. Потім електронні дані експортувалися в пам'ять комп'ютера з метою подальшої обробки. Зсув між фазами СС і КН були визначені аналітично, використовуючи вибірку напруги через редактор таблиць Ms Excel. Застосування пакетів аналізу у редакторі значно скоротили обсяг роботи під час обробки статистичного матеріалу. На таблиці 1.2. представлені результати для даних, що відповідають графікам Рисюнка 1.1.

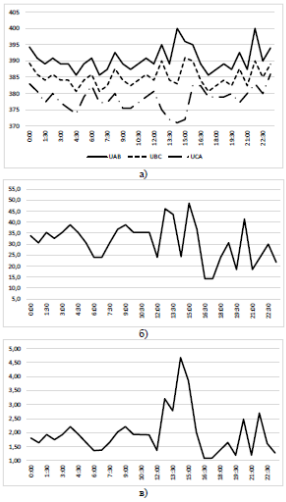


Рис. 1.1. Графіки лінійних напруг (а), кут між СС (б) та КН напруг (в), набуті в результаті щоденних вимірів у секції фідера 0.4 кВ

Таблиця 1.1 – Наведені результати обробки статистичної матеріалу щоденних вимірів на ділянках фідера 0.4 кВ

Параметр	Величина	
	k_{2U}	φ_U
Середнє	1,99%	31,06
Найбільше значення	4,7 %	48,6°
Найменше значення	1%	14°

У таблиці 1.1 МО коефіцієнта несиметрії в 1,6 разів перевищує нормоване значення даного параметра, а найбільше значення перевищує межу.

Визначимо закон розподілу КН. Згідно з гістограмою, на Рисюнку 1.2 можна уявити, бімодальний поділ у варіанті суміші двох простих розподілів. Відділимо в початковій гістограмі початкові 3 проміжки і поділимо головну сукупність на 2 вибірки. В рамках першої вибірки КН належить проміжку з 1,53 до 2,62%, включає 18 компонентів, середньоквадратичне відхилення di і МО $k_{2U(1)}$ однакові тому 0,245 і 1,68%. Друга вибірка включає 76 компонентів значення КН у проміжку з 2,65 до 5,49 % і має σ^2 і $k_{2U(2)}$ однакові тому 0,571 і 4,13 %.

Функції розподілів мають вигляд:

$$f_1(k_{2U}) = \frac{1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left[k_{2U} - \underline{k}_{2U(1)}\right]^2}{2\sigma_1^2}\right) \tag{1.1}$$

$$f_2(k_{2U}) = \frac{1}{\sigma_2\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{\left[k_{2U} - \underline{k}_{2U(2)}\right]^2}{2\sigma_2^2}\right) \tag{1.2}$$

$$f(k_{2U}) = \frac{n_1}{N} f_1(k_{2U}) + \frac{n_2}{N} f_2(k_{2U}) \tag{1.3}$$

Тут, n_1, n_2 і N - відповідно до цього кількість даних, в 1-ій та 2-ій вибірках, і загальна чисельність даних.

Як показали розрахунки математичне очікування КН по ЗП на шинах підстанцій низької напруги 0.4 кВ, розташовується в межах 0,3-0,75 %.

Беручи до уваги, що вимірювання велися на шинах споживчих підстанцій можна припустити, що в кінцях приєднання споживачів несиметрія напруг здатний значно перевищувати зазначені значення. Підрахунки згідно з одиничними вимірами в мережах, що живить величезну кількість аграрних споживачів, позначили відповідне межі МО коефіцієнта несиметрії по ВП - 0,5-0,8%.

Розрахунок коефіцієнта несиметрії НП в розподільчих мережах 0.4 кВ виявив найбільш непросту обстановку. Таким чином математичне очікування КН по НП в мережах 0.4 кВ визначається відповідними межами - 1,6-4,4 %, а також при вимірах пристроями не існувало жодної обставини відсутності несиметрії, або зменшення її нижче порога чутливості пристрою.

Статистичне вивчення зміни кута між векторами напруг ПП і ЗП виявило багато характерні риси розподілу цієї випадкової величини. Істотна частка досліджуваних об'єктів характеризується досить невеликим вибірковим середньоквадратичним відхиленням цієї величини. Це систематичний характер несиметрії в мережах і дає можливість зробити висновок про те, що несиметричність напруг можливо буде зменшена перерозподілом потужностей щодо мережі живлення або за допомогою статичного симетруючого приладу, приєднаного до шин низької напруги. У результаті можна допустити зниження негативного впливу несиметрії на трансформатор, а також скорочення несиметрії напруг в сусідніх місцях мережі високої і низької напруги.

1.2. Аналіз методів обчислення несиметрії напруг

1.2.1. Метод симетричних складових

З метою розрахунку та аналізу несиметричних систем у трифазних ланцюгах найпоширеніший метод симетричних складових (МСС), який базується на поданні у вигляді загальної суми 3-х симетричних величин, будь-

який трифазної системи, іменованих симетричними складовими цієї несиметричної системи. Дані системи різняться між собою послідовністю фаз, і називаються нульовою, зворотною і прямий, послідовності.

Для даних систем, ми маємо такі пропорції:

$$B_1 = a^2 A_1, \qquad C_1 = aA_1, \qquad B_1 = aA_2, \qquad C_2 = a^2 A_2, \tag{1.4}$$

де, а - оператор повороту,

$$a = e^{+j\frac{2\pi}{3}} = \cos\frac{2\pi}{3} + j\sin\frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}, \tag{1.5}$$

$$a^2 = e^{-j\frac{2\pi}{3}} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}, \tag{1.6}$$

Умноження вектора на оператора повороту a^2 підходить обертанню на 240°.

Сформулюємо вектори A, B, C несиметричної системи за допомогою векторів A_0, A_1, A_2, приймемо:

$$\left.\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 + A_0 \\ B &= a^2 A_1 + aA_2 + A_0 \\ C &= aA_1 + a^2 A_2 + A_0 \end{aligned}\right\}, \tag{1.7}$$

Отримано 3 рівняння, з яких можна обчислити вектори A_0, A_1, A_2, що власне підтверджує можливість розпаду векторів несиметричної системи на 3 симетричні системи:

$$\left.\begin{aligned} A_0 &= \frac{1}{3}\left(A + B + C\right) \\ A_1 &= \frac{1}{3}\left(A + aB + a^2C\right) \\ A_2 &= \frac{1}{3}\left(A + a^2B + aC\right) \end{aligned}\right\}, \tag{1.8}$$

Розчленування векторів несиметричної системи до симетричних складових допускається здійснювати схематично. Проте використання графічного методу представляє досить велику неточність встановлення симетричних складових, особливо у невеликих ступенях несиметрії.

Деякі автори вважають, що у численних випадках потрібно проводити оцінку значення напруги СС, а також співвідношення фаз серед них. Це дає можливість набагато справедливо дати оцінку процесам, що живляться від мережі з несиметричною системою напруги, при роботі електроприймачів. Основною методикою оцінки ступеня несиметрії є МСС, що дозволяє формулювати напруги ПП, ЗП і НП у векторній формі. У певних випадках доцільніше аналізувати показник несиметрії, поданий комплексними числами у векторній формі.

Проте використання МСС реалізованого в переглянутому варіанті з використанням комплексних чисел досить складне завдання, тому що закликає аналітичного чи інструментального встановлення кутових співвідношень серед напруг мережі. Це також тягне за собою підвищення похибки ефекту обумовленої похибками виміру кутових співвідношень (при інструментальному їх встановленні), або накопичує інформативну похибку, зумовлену похибками виміру напруг і зростанням числа арифметичних дій (при аналітичному встановленні).

1.2.2. Методи розрахунку характеристик несиметрії напруг відповідно до вимірів напруг

Діюча напруга ПП розраховується за формулою:

$$U_1 = \sqrt{\frac{1}{12}\left[\left(\sqrt{3}U_{BA} + \sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA}\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}}\right)^2\right]} \quad (1.9)$$

Діюча напруга ВП розраховується за такою формулою:

$$U_2 = \sqrt{\frac{1}{12}\left[\left(\sqrt{3}U_{BA} + \sqrt{4U_{CB}^2 - \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} + U_{BA}\right)^2}\right)^2 + \left(\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}}\right)^2\right]} \quad (1.10)$$

Діюча напруга НП розраховується за такою формулою:

$$U_0 = \frac{1}{6}\sqrt{\left[\frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{BA}} - 3\frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{BA}}\right]^2 + \left[\sqrt{4U_{CB}^2 - \left(U_{BA} - \frac{U_{CB}^2 - U_{AC}^2}{U_{AB}}\right)^2} - \sqrt{-3\sqrt{4U_B^2 - \left(U_{BA} - \frac{U_B^2 - U_A^2}{U_{BA}}\right)^2}}\right]^2} \quad (1.11)$$

де U_{BA}, U_{CB}, U_{AC} - лінійна напруга діючих значень, В;

U_A, U_B - фазна напруга діючих значень.

Коефіцієнти НП k_{0U} та ЗП k_{2U} напруг трифазної системи, %, розраховуються за формулами:

$$K_{0U} = \frac{U_0}{U_{ном.ф}} 100, \quad (1.12)$$

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{ном..мф}} 100, \quad (1.13)$$

де $U_{н.ф}$ $(U_{н.мф})$ - номінальне значення фазної (міжфазної) напруги, В, кВ.

Дозволяється вирішувати характеристики ПЯЕ згідно з формулою:

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_0}{U_1} 100, \quad (1.14)$$

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_1} 100, \quad (1.15)$$

де U_1 - діюче значення напруги ПП основної частоти, В, кВ.

Також у стандарті ніяк не сказано, коли потрібно використовувати формули (1.12) та (1.13), а в яких – (1.14) та (1.15). Причиною цього може бути у різночитанні з питань оцінки величини ПЯЕ. Особливо важливо в оцінці відомостей ПЯЕ на ТП 10/0.4 кВ. Загалом це виявляється в осінньо-зимовий проміжок, коли напруги в трансформаторах найбільші.

У розподільчих мережах 0.4 кВ напруга здатна становити приблизно 420В, а часом і найбільше, коли як номінальна напруга є 380В. Підсумки розрахунків КН згідно з ЗП, що свідчать описане раніше, показані в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Підсумки розрахунків коефіцієнтів несиметрії згідно з ЗП з вимірюваних напруг

U_{AB}, В	U_{BC},В	U_{CA},В	U_2,В	U_1,В	k_{2U},%	k_{2U} *,%	k_{2U} - k_{2U} *,%
394	389	383	7,02	389	1,80	1,85	-0,04
391	386	381	6,32	386	1,64	1,66	-0,02
389	384	377	7,40	383	1,93	1,95	-0,02
391	386	380	6,73	386	1,75	1,77	-0,03
389	384	377	7,40	383	1,93	1,95	-0,02

Відомості в таблиці 1.3 в останній колонці є різницею КН обчисленого згідно з формулою (1.15) і k_{2U}*, обчисленого згідно з формулою (1.13). У певних системах ця різниця перевищує відповідно до абсолютного значення половину нормованої похибки оцінки наданого ПЯЕ. Так само як зазначалося в використання тієї чи іншої формули (1.13) або (1.15) не дає змоги придбати більше відомостей з метою комплексної оцінки несиметрії. Безумовно, допустити колективне застосування цих двох формул, нормативно найбільш твердо ув'язавши формули (1.14) і (1.15) з подібним ПЯЕ так само як відхилення напруги.

Необхідно також зазначити, що в нормативній документації ніяк не висвітлено такого роду значна проблема, як контроль та аналіз зсуву між фазовими напругами різних послідовностей, незважаючи на множинні праці у цьому напрямі. Моніторинг та статистична обробка даного параметра у роботі енергосистем дасть можливість: виявити систематичну складову несиметрії і таким чином причину спотворення в системі; визначити та здійснити ефективні заходи для симетрування; більш повною мірою оцінити ступінь впливу та втрати несиметрії на експлуатацію приймача.

Стандартом передбачається описувати величину КН як результат усереднення N спостережень у проміжку часу T_{VS} рівному 3 с, згідно з формулою:

$$K_{2U} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} K_{2Ui}^2}{N}} \tag{1.16}$$

Кількість спостережень N слід бути не менше 9.

Подібним способом, при оцінці цього ПЯЕ протягом контрольних днів потрібно здійснити не менше 259200 одиночних обчислень напруг ПП та ЗП. При цьому необхідно брати до уваги умовну масивність математичного апарату точних способів розрахунку СС (14 арифметичних операцій та 2 операції вилучення квадратного кореня). Це має на увазі досить великий обсяг обчислюваних праць, що показує проблеми при здійсненні апаратної оцінки даного ПЯЕ з використанням мікроконтролерних режимів, через похибку використання алгоритму оцінки може бути нездійсненним.

1.2.3. Аналіз рівня несиметрії напруг за наближеною формулою

Ймовірно, що в окремих випадках використання в практиці точних способів розрахунку напруги ПП і ЗП безглуздо, тому що при досить високій похибці вимірювальних пристроїв неточність наближених способів, трохи відрізняється від похибки точного способу розрахунку. У зазначено, що з

похибки вимірів напруг понад 0,3 % перевага точних методів перед наближеними Рисозначно.

Стандартом дозволяється зумовлювати діючі значення напруг ПП, ЗП та НП згідно з наближеними формулами:

$$U_1 = \frac{1}{3}\left(U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}\right), \tag{1.17}$$

$$U_2 = 0,62\left(U_{НБ} - U_{НМ}\right), \tag{1.18}$$

$$U_0 = 0,62\left(U_{НБ.ф} - U_{НМ.ф}\right), \tag{1.19}$$

де $U_{НМ}$ та $U_{НБ}$ - найменше та найбільше діюче значення з міжфазних напруг, В.

У стандарті сказано, що для розрахунку напруги ПП відносна похибка U_1 із застосуванням формули (1.17) замість формули (1.9) не перевищує 0,1% при коефіцієнті несиметрії напруг згідно з ЗП не перевищує 6%. Проте в окремих випадках трапляється низка проблем заздалегідь дати оцінку КН, що може спровокувати перевищення встановленого стандартом ступеня похибки.

Відносна похибка знаходження k_{2U} відповідно до ДСТУ із застосуванням формули (1.17) натомість формули (1.10) ніяк не перевищує 8%, а застосування формули (1.19) натомість (1.10) при розрахунку надає відносну похибку не більше ± 10%.

У науковій та навчальній літературі також рекомендуються наближені формули з метою розрахунку напруг ПП, ЗП і НП та між кутових співвідношень.

Таким чином, рекомендуються відповідні формули з метою розрахунку напруги ЗП і кута фаз між напругами ПП і ЗП:

$$U_2 = \frac{2}{3}\sqrt{\left(\Delta U_{BC} - \Delta U_{CA}\right)^2 + \Delta U_{BC}\Delta U_{CA}} \tag{1.20}$$

$$\varphi_U = \frac{\pi}{6} + arctg\frac{\sqrt{3}(\Delta U_{CA} - \Delta U_{BC})}{\Delta U_{BC} + \Delta U_{CA}} \quad (1.21)$$

де $\Delta U_{BC} = U_{BC} - U_{AB}$; $\Delta U_{CA} = U_{CA} - U_{AB}$

В рекомендовані для оцінки фази та модуля напруги ЗП відповідні формули:

$$U_2 = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(U_{BC} - U_{CA})^2 + (U_{CA} - U_{AB})^2 + (U_{AB} - U_{BC})^2} \quad (1.22)$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{U_{AB} - U_1}{U_2}\right) \quad (1.23)$$

У припущенні щодо тісного діапазону ймовірної зміни U_2 рекомендовані найбільш нескладні формули обчислення напруги U_2

$$U_2 = 0.66U_{\max} - 0.2U_{\min} \quad (1.24)$$

Видно, що з обчисленні рівня несиметрії доречно використовувати формули рівня точності і складності. Здається, нераціональним здійснювати обчислення напруги за двома різними формулами U_1 або U_2 одного за наближеною, а іншого за точною формулою.

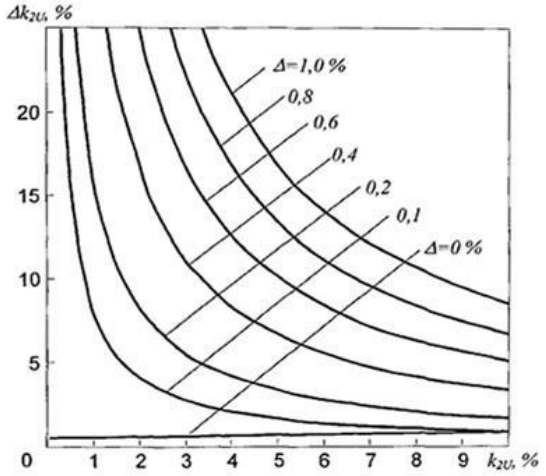
Наведено дослідження найпопулярніших наближених способів розрахунку характеристик несиметрії згідно з виміряними напругами. У роботі оглянуто ймовірність аналітичного спрощення точних способів розрахунку, крім того проблеми накопичення похибок наближеними способами, а також наводяться залежності похибки знаходження зсуву фаз і КН між СС від рівня несиметрії за різної величини інструментальної похибки. На Рисюнку 1.3 показано відношення сумарних похибок знаходження φ_U та k_{2U}.

В показані формули, що поєднують похибку знаходження параметрів з вимірювальною похибкою та рівнем несиметрії:

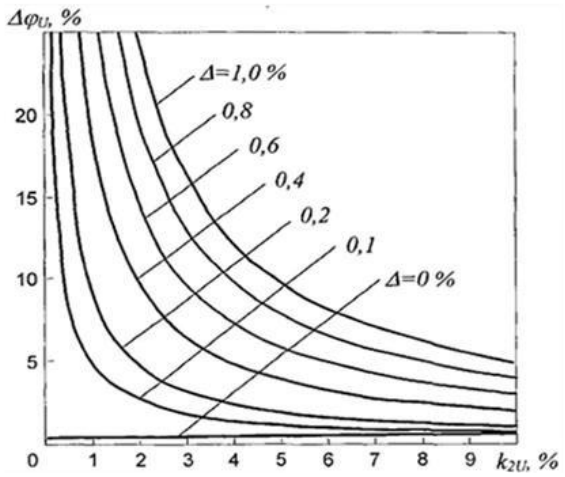
$$\Delta k_{2U} = 85\frac{\Delta_u}{k_{2U}} \tag{1.25}$$

$$\Delta \varphi_U = 50\frac{\Delta_u}{k_{2U}} \tag{1.26}$$

де Δ_U - відносна похибка виміру напруги, % .



а)



б)

Рис. 1.2. Відношення похибок знаходження k_{2U} (а) та φ_U (б) при різноманітній похибці виміру напруг Δ .

Відповідно якщо клас точності застосовуваного пристрою дорівнює 0,3 або більше, застосування точних методів невиправдано, тобто це практично не дає уточнення. У такому разі число обчислюваних дій стрімко збільшується. Таким чином невиправдано використання високоточних пристроїв з

подальшою обробкою підсумків наявними наближеними способами, тому що результативність застосування основних є сумнівною через методичну похибку останніх. Але сьогоднішня інструментальна база, побудована на числових засобах виміру, дає можливість здійснювати вимірювання досить великого ступеня точності (група 0,2 і менше), що вимагатиме застосування точних методів розрахунку.

Подібним методом, однією з ключових питань цієї роботи спрямованість формування нових технічних методів розрахунку, які мають великої точністю проти популярними наближеними методами і меншою громіздкістю проти точними методами.

Висновки по розділу

З метою оцінки рівня несиметрії без складних розрахунків, можна використовувати готові таблиці СС. Знайомі таблиці, що дозволяють встановити рівень напруг ПП і ЗП, крім того КН напруг згідно ЗП за популярними значеннями лінійних напруг трифазних мережах. Таблиці нескладні у використанні, однак мають досить великий обсяг, що значно знижує ймовірність їх застосування на практиці. До недосконалостей, можна зарахувати недолік у таблицях даних про зсув фаз між напругами ПП і ЗП, що дуже важливо при аналізі роботи електрообладнання в умовах несиметрії і при доборі засобів і способів симетрування.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИМЕТРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 0.4 КВ

2.1. Обґрунтування способу симетрування

У цьому розділі розглядається метод симетрування, що базується на перемиканні однофазного навантаження в недовантажену фазу з перевантаженої.

Подивимося трифазну систему електропостачання з нульовим дротом.

Відповідно до розробок напруга зміщення нейтралі в ділянці приєднання несиметричного приймача, коли фазні опори рівні

$$U_0 = I^0 \left(3Z_{0П} + 3Z_{0Т} + Z_П + Z_Т\right) \tag{2.1}$$

де: I^0- струм НП,

$Z_{0Т}$, $Z_Т$, -опір НП і ПП обмотки трансформатора,

$Z_П$, $Z_{0П}$ - опір НП і ПП ділянки.

Струм НП мережі в будь-який час напишемо, як

$$I^0 = \frac{1}{3}\left[I_1 + I_2\left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right) + I_3\left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\right] = \frac{\sqrt{3}}{6}\left[\left(I_1 - \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}\right)\sqrt{3} + j\left(I_3 - I_2\right)\right] \tag{2.2}$$

Тоді

$$U_0 = \frac{\sqrt{3}}{6}\left[j\left(I_3 - I_2\right) - \left(\frac{I_1 + I_2 + I_3}{3} - I_1\sqrt{3}\right)\right] \times \left(3Z_{0Т} + 3Z_{0П} + Z_П + Z_Т\right) \tag{2.3}$$

Несиметрія показана у формулі (2.3), характеризується добутком величин конструктивного та режимного. До режимної умови необхідно зарахувати значення нульового струму, який обумовлюється або нерівномірним

підключенням фаз однофазних споживачів. До конструктивної умови необхідно зарахувати такі характеристики трансформаторів як струми ПП і ЗП.

Тому наявні методи симетрування передбачається поділяти на 3 типи:

I. Методи, що знижують вплив на роботу трансформатора;

-використання з короткозамкненими витками трансформаторів;

-використання СУ, заснованих на шунтуванні струмів недосвідченої черговості;

-використання трансформаторів зі схемою складання обмоток Y/Z0;

-Установка нейтралера.

II. Методи, що знижують вплив несиметрії режим мережі;

- Підвищення перерізів фазних та нульових проводів.

III. Методи, що знижують вплив на роботу трансформатора та на режим мережі;

- метод замикання мережі,

- Установка СУ, заснованих на способі перемикання однофазного навантаження.

При розгляді (2.3), неважко спостерігати, що зміна найбільш конструктивного фактора або використання методів симетрування, що змінюють вплив несиметрії на конструктивний фактор, не веде до ліквідації несиметричності. Оскільки конструктивний чинник залишається величиною, а вплив режимного обставини Рисо змінюється, у разі використання раніше вищеназваних методів проводить лише зменшення несиметрії.

Використання методу перемикання однофазних споживачів у недовантажену фазу з перевантаженої дає можливість повністю усунути несиметрію, значно збільшити ПЯЕ та техніко-економічні характеристики. Класифікація способів симетрування показано у таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1 – Класифікація способів симетрування

Способи симетрування	Область застосування, кВа	Основний ефект
Установка нейтраллера	25-40	Покращення чкості електроенергії
Застосування трансформаторів схемою Y/Z_0	25-40	Покращення чкості електроенергії
Застосування ШСУ	63-250	Покращення чкості електроенергії
Застосування трансформаторів з короткозамкнутими витками	63	Покращення чкості електроенергії
Збільшення перерізу профодів	Весь ряд	Зменшення втрат електроенергії
Методи замикання мережі	Весь ряд	Покращення чкості і зменшення втрат електроенергії
Застосування СУ змінного типу	Весь ряд	

2.2. Визначення необхідного числа симетруючих пристроїв.

Перемикаючись на недовантажену фазу з перевантаженої, симетруюча навантаження повинна знизити несиметрію. Результативність симетрування залежить як від несиметрії, а й від кількості симетруючих навантажень. Тому проблеми, пов'язані з підбором симетруючого навантаження і значенням їх необхідного числа, вважаються значущим при симетруванні. Зупинимося безпосередньо в будь-якому із завдань.

Приймемо струми (2.3) за

I_1 - міні Рисьно завантаженої фази,

I_2 - середньо завантаженої фази,

I_3 - макси Рисьно завантаженої фази,

$I_{ср} = \frac{I1+I2+I3}{3}$ = середня електрика у фазу в концепції.

Позначимо $I_{ср}$ - $I_1 = a$; $I_3 - I_2 = b$

І перепишемо уявлення –(2.3) у варіанті

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{3a^2 + b^2} \tag{2.4}$$

Припустимо, що в мережі встановили СУ, і воно переключило симетруюче навантаження в міні Рисьно завантажену фазу. В такому випадку система описуватиметься

$$|I_0'| = \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{3(a - I_{сим})^2 + (b - I_{сим})^2} \tag{2.5}$$

Перетворимо вирази та отримаємо:

$$|I_0'|^2 = I_0^2 + 3I_{сим}^2 - \frac{3}{2}I_{сим}(3a + b) \tag{2.6}$$

або

$$\frac{1}{3}(I_0')^2 - \left(I_{сим} - \frac{3a + b}{4}\right)^2 = \frac{1}{3}I_0^2 - \left(\frac{3a + b}{4}\right)^2 \tag{2.7}$$

$$\frac{(I_0')^2}{\frac{9}{4}(a - b)^2} - \frac{\left(I_{сим} - \frac{3a + b}{4}\right)^2}{\frac{3}{16}(a - b)^2} = 1 \tag{2.8}$$

або

$$\frac{(I_0')^2}{\frac{9}{4}(I_{ср} - I_2)^2} - \frac{\left(I_{сим} - \frac{I_3 - I_1}{2}\right)^2}{\frac{3}{4}(I_{ср} - I_2)^2} = 1 \tag{2.9}$$

Формула (2.9) показує, залежність відношення величин від навантажень, що перемикаються. Проаналізувавши цю формулу. З метою зменшення неврівноваженості достатньо виконання двох умов

$$I_{сим} - \frac{I_3 - I_1}{2} = 0 \quad (2.10$$

і

$$I_{ср} - I_2 = 0 \quad (2.11)$$

Важливо підкреслити, що в залежності від черговості виконання цих умов можуть бути 2 різних способи ліквідації неврівноваженості.

У разі можемо максиРисьно знизити неврівноваженість чи цілком зрівняти систему, застосовуючи симетруючі навантаження. У другому випадку можемо досягти ліквідації неврівноваженості перемиканням найменшої кількості симетруючих навантажень.

Дійсно, якщо підбирати симетруючу навантаження з формули (2.10), в такому випадку переключивши можемо зрівняти струми з найбільшим і найменшим навантаженням. Але в мережі залишиться найменша неврівноваженість, що характеризується формулою

$$I_0' = \frac{3}{2} I_{ср} - I_2 \quad (2.12)$$

І з метою ліквідації найменшої неврівноваженості потрібні ще 2 симетруючі навантаження, які мають потужність:

$$I_{сим2} = I_{сим3} = \frac{I_{ср} - I_2}{2} \quad (2.13)$$

Дані навантаження повинні перемикатися з фаз з тими самими струмами на середньо завантажену при ($I_1' = I_3'$) > I_2 або із середньо завантаженою на фази з однаковими струмами, якщо у випадку I_2 > ($I_1' = I_3'$) де $I_1' = I_3'$струми навантаження вже після перемикання.

Другий варіант має на увазі усунути несиметрію по мінімуму допустимою кількістю перемикаються симетруючих навантажень. Щоб струм середній струм системи $I_{ср}$. дорівнював струму в середньозавантаженій фазі I_2.

Для цього симетруюче навантаження перемикають

$$I_{сим1} = I_{ср} - I_2 \tag{2.14}$$

з фази з найбільшим навантаженням в середньо завантажену, якщо $I_{ср} > I_2$ або з середньо завантаженої фази з найменшим навантаженням при $I_{ср} < I_2$, і тоді виконується умова . Вже після перемикання цього навантаження різниця струмів з найбільшого та найменшого навантаження напишемо, як

$$I_3 - I_1 = I_{сим} \tag{2.15}$$

і в такому разі вимога (2.10) з метою підбору навантаження у цьому випадку запишеться так

$$I_{сим2} = \frac{I_3 - I_1 - I_{сим1}}{2} \tag{2.16}$$

і перемикання симетруючого навантаження, знайдений з даної формули, з найбільшої фази на найменшу, виключає несиметрію повністю.

Вираз багатофункціонального зв'язку зміни неврівноваженості з метою симетрування за мінімумом допустимою кількістю симетруючих навантажень запишеться

$$\frac{(I_0')^2}{\frac{9}{4}\left(I_{сим1} - \left(I_{ср} - I_2\right)\right)^2} - \frac{\left(I_{сим2} - \frac{I_3 - I_1 - I_{сим1}}{2}\right)^2}{\frac{3}{4}\left(I_{сим1} - \left(I_{ср} - I_2\right)\right)^2} = 1 \tag{2.17}$$

Подібним способом, з метою виключення неврівноваженості, потрібні 2 симетруючі навантаження (2.17).

$$I_{сим2} = \frac{I_3 - I_1}{2} \tag{2.18}$$

Так як симетруюча навантаження, знайдена формулами (2.10) або (2.18), при переключенні з найбільшим навантаженням цілком виключає, або максиРисьно зменшує неврівноваженість.

Також можливо відрізняти одноразову та подвійну неврівноваженість. Якщо з метою виключення неврівноваженості необхідна одна симетруюча навантаження - тоді одноразову неврівноваженість, якщо 2 - подвійна.

Одноразова неврівноваженість характеризується різними струмами на всіх фазах, проте дотримується умова

$$\left|I_{ср} - I_1\right| = \left|I_3 - I_2\right| \text{ или } I_{ср} = I_2 \tag{2.19}$$

і нульовий струм обумовлюється виразом

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{3\left(I_{ср} - I_1\right)^2 + \left(I_3 - I_2\right)^2} = \sqrt{3}\left(I_{ср} - I_1\right) \tag{2.20}$$

а симетруюча навантаження визначається формулюванням (2.18).

Значення дворазової несиметрії характеризується струмами у всіх фазах.

Визначається нульовий струм відповідно

$$I_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{3\left(I_{ср} - I_1\right)^2 + \left(I_3 - I_2\right)^2} \tag{2.21}$$

$$I_{сим1} = I_{ср} - I_2 \tag{2.22}$$

$$I_{сим2} = \frac{I_3 - I_1 - I_{сим1}}{2} \tag{2.23}$$

Можливо і такий випадок для дворазової несиметрії, коли струми в двох фазах схожі і відрізняються тільки в третій фазі, тобто

$$I_1 \neq (I_2 = I_3) \text{ или } I_2 \neq (I_1 = I_3) \text{ или } I_3 \neq (I_2 = I_1) \quad (2.24)$$

Тоді симетруючі навантаження формуються

$$I_{сим1} = I_{сим2} = \frac{I_{ср} - I_2}{2} \quad (2.25)$$

Висновки по розділу

1. Запропоновані способи збільшення ЯЕЕ дають можливість встановити більш ефективніші методи симетрування.

2. Найбільш багатообіцяючим способом збільшення ЯЕЕ вважається метод перерозподілу однофазних споживачів, що збільшує ЯЕ та зменшувати додаткові втрати в розподільчих мережах.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА СИМЕТРУЮЧОГО ПРИСТРОЮ ТА ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 0.4 КВ

3.1. Структурна схема розробленого симетруючого пристрою

Виконаний аналіз виявив, що найбільш підходящою для здійснення умов, поданих у розділі 3.1, є розроблене СУ, представлене на структурній схемі рис. 3.1.

3.1.1. Опис пристрою

Пристрій приймає напругу трифазної мережі змінного струму по чотирьох проводах A, B, C і N з параметрами:

- значення вхідної напруги по кожній фазі в діапазоні 0…380 В;
- різницю фаз між напругами в норРисьних умовах 120+-5 градусів;
- форма напруги синусоїдальна, коефіцієнт гармонік трохи більше 10 %.

Пристрій видає змінну однофазну напругу з параметрами:

- максиРисьна сила струму щонайменше 40 А;
- діюче значення вихідної напруги в діапазоні 160…265;
- форма напруги синусоїдальна (повторює параметри вхідної напруги вибраної фази);
- Коефіцієнт не більше 10 % (повторює параметри вхідної напруги по вибраній фазі).

Робота блоку управління починається з моменту підключення його до трифазної напруги живлення змінного струму. Пристрій живиться від будь-якої фази напруги.

При подачі напруги живлення запускається вбудований мікроконтролер і подальші дії підкоряються вбудованому програмному забезпеченню блоку керування.

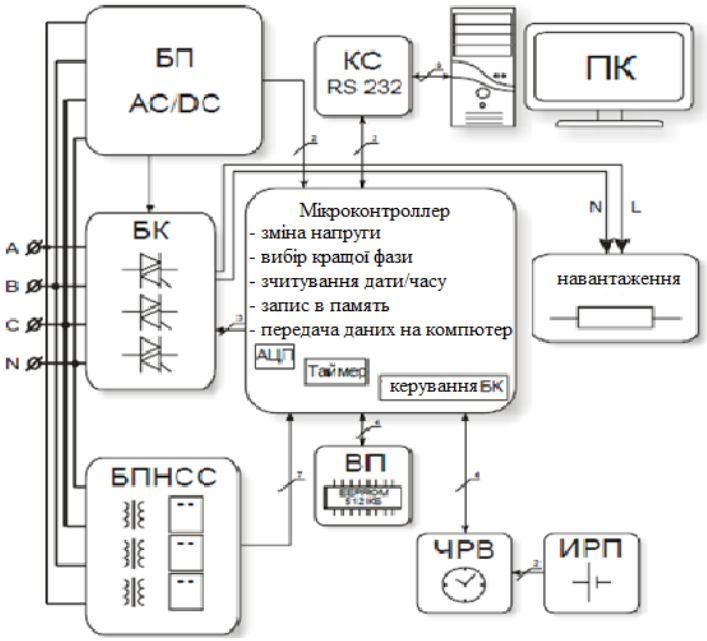


Рис. 3.1. Структурна схема пристрою

Після запуску блоку керування (БК) виконуються такі дії:

- вимірюються величини напруги всіх трьох фаз вхідної напруги, з періодом 1 мс, порівнюється їх значення з вставками та здійснюється вибір найбільш оптимальної фази;
- через блок перетворення напруги та синхронізації з мережею (БПНСС) трансформуються вхідні в 3-фазну мережу напруги та передаються БО, здійснюється синхронізація з мережею за допомогою компарування напруг;
- може дати сигнал блоку комутації (БК) для відкриття ключа;
- зчитується дата та час з годинника реального часу (ЧРВ), значення вхідної напруги та вибраних фаз у момент перемикання зі збереженням на енергонезалежній пам'яті EEPROM з об'ємом 512 kb;
- харчування ЧРВ здійснюється від джерела резервного харчування (ІРП);

Через канал зв'язку (КС) на запит комп'ютера здійснюється передача журналу перемикань, що зберігається, в пам'ять комп'ютера через програму «Com port toolkit» для подальшої обробки даних. Для цього на приладі передбачено вихід RS232, який підключається до COM-порту комп'ютера за командою сервісної програми.

Якщо якість мережі вийшла за межі 160...265 по всіх трьох фазах, то повинно бути здійснено відключення споживача від будь-якої фази трифазної мережі.

Якщо якість мережі змінюється дуже швидко (на обраній лінії працює зварювальний агрегат), необхідно аналізувати середню напругу за 1 с. Якщо середня напруга в нормі, перемикання не проводиться.

Якщо протягом часу якість мережі увійшла в задані межі, програма повинна здійснити підключення споживача і продовжити свою роботу.

Якщо робочий струм перевищує максиРисьно заданий, здійснювати відключення споживача будь-якої фази трифазної мережі, витримувати час 10 с, проводити повторне підключення.

Якщо величина максиРисьного струму не змінилася, робити відключення від мережі на час 100 с, після чого пробне включення.

Ресурс роботи виробу не менше 20 000 годин. Підтверджується застосуванням елементів із ресурсом роботи понад 20000 годин.

Час безперервної роботи виробу має бути не менше 24 годин (цілодобово).

Застосування запропонованого пристрою для симетрування однофазних споживачів у розподільчих електричних мережах 0.4 кВ у порівнянні з існуючими забезпечує наступні переваги:

- достовірність встановлення завантаженості фаз та симетрування;
- швидке перемикання споживачів, висока надійність при використанні та досить невеликі габарити пристрою.

3.2. Складові елементи розробленого симетруючого пристрою

У розробленому СП перетворення всіх вхідних сигналів виконується за підтримки дільників напруги, для поділу постійної або змінної напруги на частки.

У цій роботі використаний високоточний дільник напруги фірми Vishay Intertechnology B0431, який застосовується в прецизійних аналогових вимірювальних апаратах і має опір 1 мОм. Дільники напруги виконані з використанням плівкової спецтехнології, що гарантує низький температурний коефіцієнт та забезпечує значну надійність. Вірогідність дільників напруги ±0,005%.

Основні характеристики дільників напруги:

1. Найбільша напруга 380В.

2. Відхилення напруги ±0.05%.

3. Робоча температура: -50...+60°С.

Проведений аналіз виявив, щоб досягти високої точності більш відповідним вважається спосіб на основі застосування мікроконтролера Atmega16.

Мікроконтролер Atmega16 включає:

8-розрядний, з малим споживанням, продуктивний AVR-мікроконтролер

- 130 команд, більшість яких виробляються за 1 цикл;

– продуктивність до 16 млн. дій на секунду. – інтегрований множуючий прилад здійснює множення за 2 цикли; – 16 кбайт пам'яті, що перепрограмується; - Пам'ять, що оперативно запам'ятовує, 512 байт; - Захист коду програми; - Світломодулятор виходів зіставлення; - Інтегрований аналоговий пристрій; - Робочі напруги 4,5 - 5,5 В. При розробці для комутації вихідної напруги використані симістори BTA41-600, що краще за реле: корпус TOP-3; робоча температура -40-125 С; напруга, 600 В; струм, 40 А; імпульсний струм, 410 А.

Вмикання симісторів здійснюється за допомогою оптосимісторів MOC3063N. Що забезпечує гальванічну розв'язку з живленням мікроконтролера. Гальванічна розв'язка дає можливість: забезпечити необхідну перешкоду; захистити гальванічні ланцюжки приладу з несанкціонованого впливу струмів КЗ та напруг. Найбільш широке поширення набули 2 типи

гальванічної розв'язки: трансформаторна та оптоелектронна. Також з метою виміру характеристик вхідної мережі застосована трансформаторна гальванічна розв'язка. В даний час технології напівпровідникових приладів використання оптоелектронних приладів, що розв'язують, оптичних оптронів. До переваг оптоелектронної розв'язки можна зарахувати: • можливість транслювати сигнали на найбільшій частоті; • малі габарити. • здатність реалізовувати розв'язку у широкому спектрі напруги, до величини 380 В.

Зовнішнім інтерфейсом вважається програмне забезпечення або прилад, за допомогою яких можна приєднати два різні об'єкти.

Є кілька інтерфейсів для підключення приладів із програмами: стандартні та заводські. Заводські інтерфейси дають можливість підключити багато віддалених приладів, розроблений заводом, а стандартний має значно більші можливості як провідні і бездротові.

Різниця серед провідних та бездротових інтерфейсів досить умовна, т.к. в даний час є роз'єми дротових інтерфейсів, які можуть підключатися до бездротових адаптерів через USB.

В даний час використовуються відповідні зміни інтерфейсів USB: 1.0, 1.1, 2.0, 3.0. Пристрої всіх 4 варіацій USB сумісні, хоча, при поєднанні, наприклад, пристрою USB 2.0 і 3.0 до конструкції USB 1.1 темп передачі буде такий же.

Опорні технології Plug-n-Play, видаються з трьома видами роз'ємів: USB-A, USB-B, і mini-USB. Є адаптери конвертери та перехідники: USB-Serial, USB-Bluetooth та USB-Ethernet. За допомогою проектів USB Link і спеціального кабелю можна підключити пк. За допомогою зразка USB On-The-Go приладу зможуть ділитися інформацією серед себе без ПК.

У СП підключення до комп'ютера раціонально здійснювати через інтерфейси USB 2.0 і IEEE 1394 FireWire 800, що в даний час є особливо продуктивним і універсальним методом.

У виготовленому зразку СП підключення до комп'ютера здійснюється через ступінчастий інтерфейс COM-порт.

У таблиці 3.1 наводиться відносна характеристика інтерфейсів FireWire та USB.

Таблиця 3.1 – Відносні характеристики інтерфейсів

USB 1.1 і 1.0	USB 2.0 і 3.0	
швидкість передачі даних, Мбіт/с	1, 10	3, 24, 500
Конектор, pin (A, B)	4	
Замкнуті петлі	неможна	
Живлення від шини напруга, В струм, мА потужність, Вт	 5 500 2,5	
Топологія мережі	Ведучі/ведені	
Пристроїв в одній мережі	127	
Максимальна довжина кабеля, м	10 м	

На рис. 3.2 зображено внутрішній блок інтерфейсів, виготовлений для розробленого СП

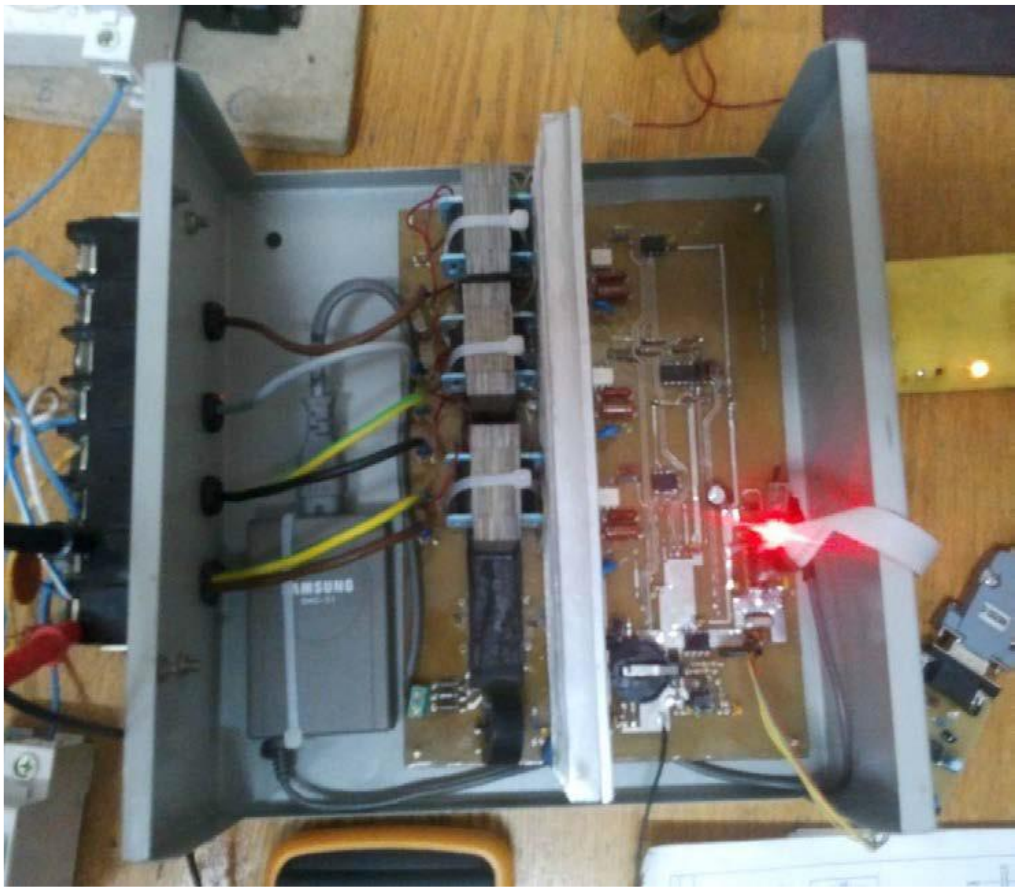


Рис. 3.2. Внутрішній блок інтерфейсів

3.3. Опис програми та порівняння результатів

Через КС на запит комп'ютера здійснюється передача журналу перемикань, що зберігається в пам'ять комп'ютера через програму «Com port toolkit» для подальшої обробки даних. Для цього на приладі передбачено вихід RS232, який підключається до COM-порту комп'ютера за командою сервісної програми.

Для керування приладом СП та для збору та аналізу даних використовується програми «Com port toolkit» та EXCEL 2007. Лістинги деяких ділянок програми наведено далі. Нижче наведено основні функції програми:

1. Налаштування COM порту – налаштування COM порту для завантаження даних (рис. 3.3);

2. Передача даних із СП – згідно з запитом пк за допомогою каналу зв'язку виконується передача журналу перемикань, що зберігається в Базу Даних комп'ютера (рис 3.4);

3. Журнал перемикань, переданий через канал зв'язку (рис 3.5) в EXCEL дивіться у таблиці 3.2.

Таблиця. 3.2 - Журнал перемикань, переданий через канал зв'язку

U_A	U_B	U_C	Вибрана фаза	день	місяць	рік	час	хвилини	секунди
180	0	198	C	9	6	2015	7	14	36
205	0	198	A	9	6	2015	7	15	37
178	0	198	C	9	6	2015	7	16	38
0	211	198	B	9	6	2015	7	17	40
235	0	198	C	9	6	2015	7	18	40
198	220	0	B	9	6	2015	7	19	41
167	0	196	C	9	6	2015	7	20	41
0	164	197	C	9	6	2015	7	21	44
0	161	0	B	9	6	2015	7	22	44
198	163	0	A	9	6	2015	7	23	45
0	0	197	C	9	6	2015	7	24	46
180	213	0	B	9	6	2015	7	25	47

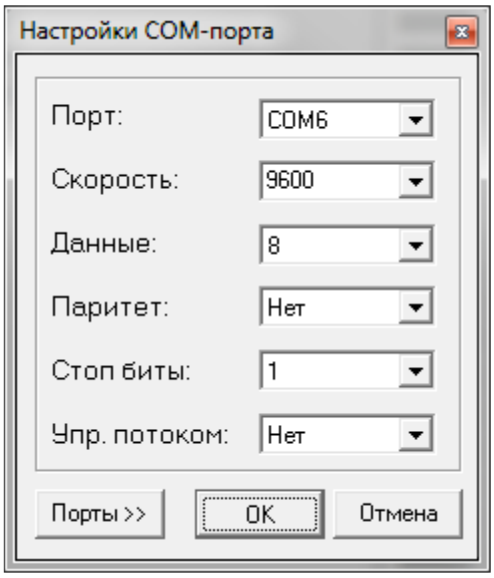


Рис. 3.3. Налаштування COM порту

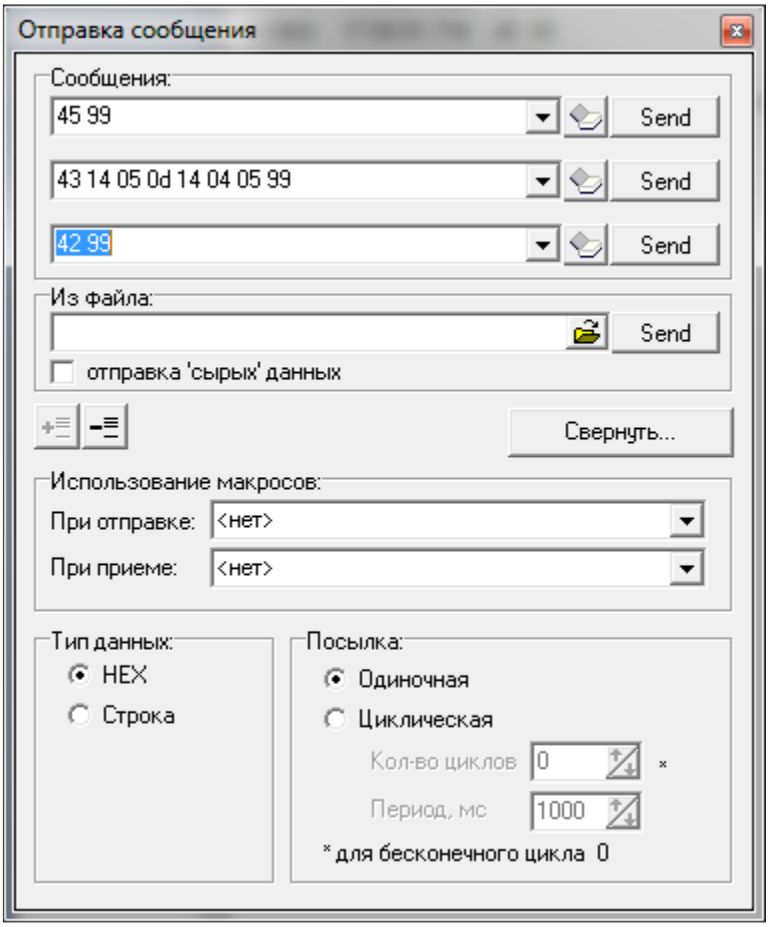


Рис. 3.4. Передача даних із СП

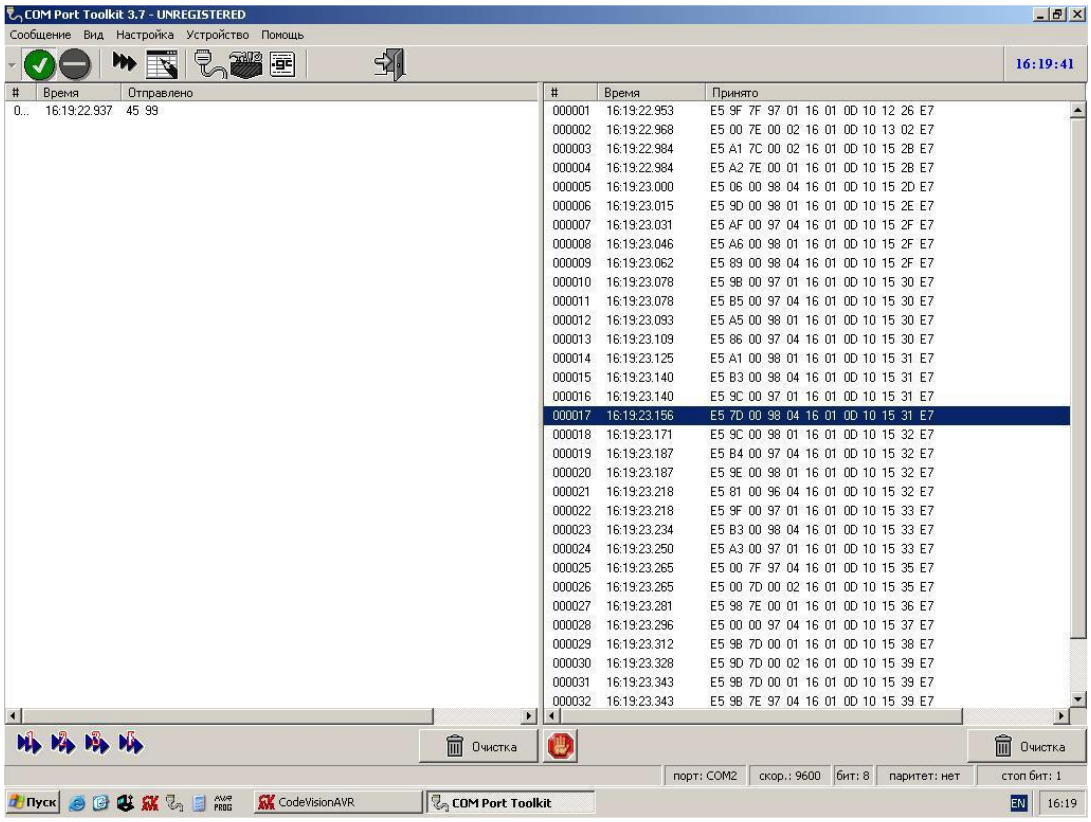


Рис. 3.5. Журнал перемикань, переданий через канал зв'язку

Використання показників для вимірів в обладнання та вилучення даних із пристрою здійснюється через радіоканал зв'язку (bluetooth) і COM – порт. Після отримання інформації програма «Comporttoolkit» дає можливість отримувати такі дані: коли відбувся перехід між фазами і напруги у фазах.

На базі отриманих результатів, описаних вище, виготовлений зразок, що діє симетруючого пристрою, зображений далі. Наукові результати СП, отримані в роботі, успішно впроваджено у науково-дослідну роботу та науково-педагогічну діяльність кафедри.

Результати вимірювань із СУ та без СП зображені на рис. 3.6.

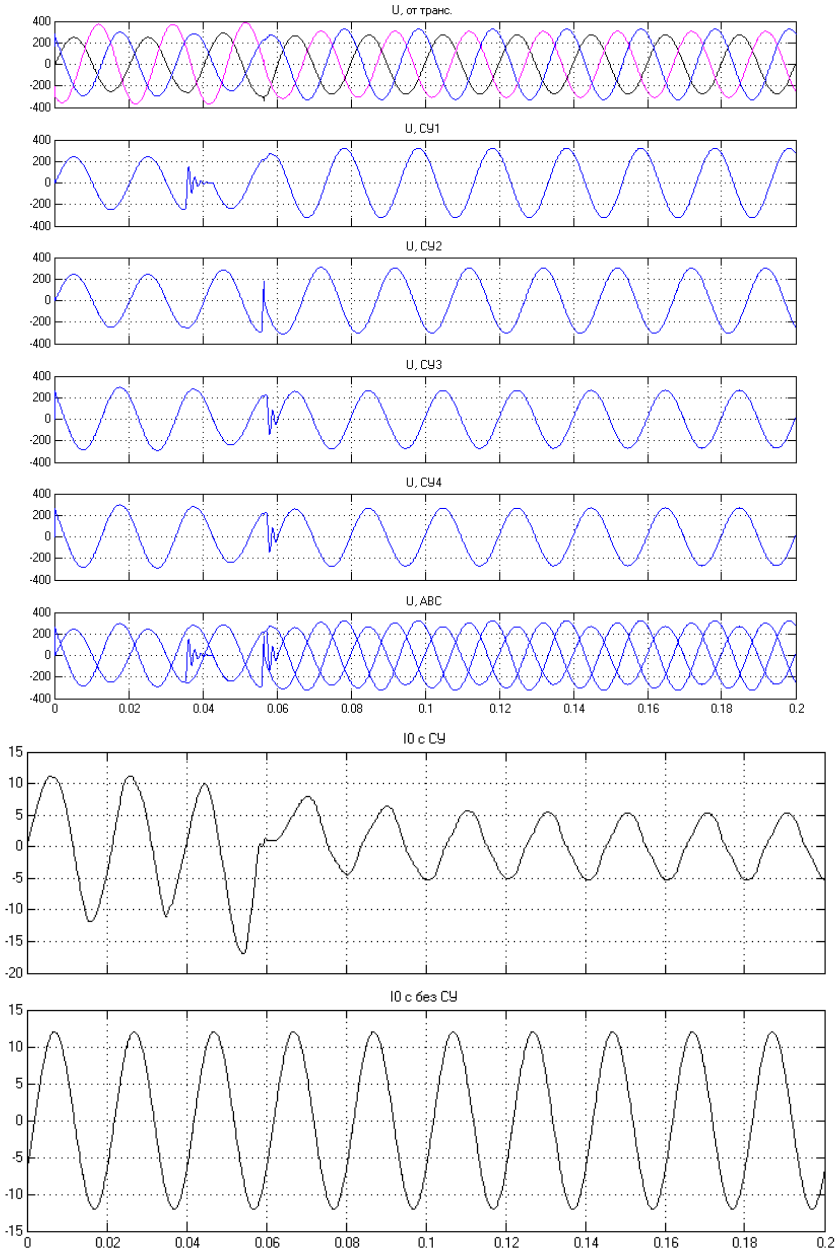


Рис. 3.6. Результати вимірювань із симетруючим пристроєм та без нього

Як показано на рис. 3.6. струм у нульовому дроті із застосуванням симетруючого пристрою знижується.

За результатами НДР виявлено, що у сільських мережах 0.4 кВ є несиметрія напруги та струму, які вважаються одним із головних факторів зниження ЯЕЕ та підвищення втрат потужності у сільських мережах. Впроваджено пристрій з метою зменшення несиметрії у сільських мережах 0.4 кВ, у зв'язку з тим, що несиметрія струму збільшує зростання втрат ЕЕ та

потужності у сільських мережах на 30-50 %, якщо порівнювати із симетричним режимом.

Визначимо термін окупності симетруючого пристрою для автоматичного перемикання однофазних споживачів у розподільчих мережах 0,4 кВ (для комп'ютерної моделі). Собівартість СП становить 6000 грн. При використанні даного пристрою в розподільчих мережах 0,4 кВ, втрати енергії в нульовому дроті становить 220 6 = 1,3 кВт год, відповідно на добу виходить 31,68 кВт год, на місяць 950,4 кВт год електроенергії. Враховуючи двоставковий тариф у наших мережах при споживанні до 700 кВт·год на місяць по 77 за 1 кВт·год, понад 700 кВт·год по 216, отримаємо:

1. 700 · 0,77 = 539 грн / місяць
2. (950,4-700) 2,16 = 540,8 грн/місяць.
3. 539+540,8 = 1080 грн/місяць.
4. 6000/1080 = 5,5 місяць.

Іншими словами, окупність СП становить 5 місяців та 15 днів.

Висновки по розділу

За результатами досліджень виявлено, що у сільських мережах 0.4 кВ є несиметрія напруги та струму, які вважаються одним із головних факторів зниження ЯЕЕ та підвищення втрат потужності у сільських мережах. Впроваджено пристрій з метою зменшення несиметрії у сільських мережах 0.4 кВ, у зв'язку з тим, що несиметрія струму збільшує зростання втрат ЕЕ та потужності у сільських мережах на 30-50 %, якщо порівнювати із симетричним режимом.

ВИСНОВКИ

Основні результати роботи та висновки, зроблені в ході виконання даної роботи:

Дослідження розподільчих мереж 0.4 кВ виявили, що несиметрія напруги є постійним фактором у мережі. У деяких випадках рівень несиметрії істотно (2,5-3 разів) перевищує номінальне значення. Огляд наявних способів і приладів симетрування виявив, що найбільш перспективними, на наш погляд, серед симетруючих пристроїв є спосіб перерозподілу однофазних навантажень по фазах.

Розроблено комп'ютерну модель СП, призначену для підвищення показників якості електричної енергії для споживачів. Реалізація моделі СП є об'єднання моделей підсистеми об'єкта, контурів рівняння, елементів із заданими параметрами та його зв'язків, реалізованих серед Simulink, орієнтованої на імітаційне моделювання електротехнічних пристроїв.

За результатами досліджень виявлено, що у сільських мережах 0.4 кВ є несиметрія напруги та струму, які вважаються одним із головних факторів зниження ЯЕЕ та підвищення втрат потужності у сільських мережах. Впроваджено пристрій з метою зменшення несиметрії у сільських мережах 0.4 кВ, у зв'язку з тим, що несиметрія струму збільшує зростання втрат ЕЕ та потужності у сільських мережах на 30-50 %, якщо порівнювати із симетричним режимом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грицюк І.В. Загальнопромислові електроприймачі. Навчальний посібник для студентів за напрямком навчання 6.050701 „Електротехніка та електротехнології” усіх форм навчання. Луцьк: ЛНТУ, 2014. 240 с.

2. Баранніка, В.О., 2016. Екологічна складова енергетичної безпеки: нові глобальні вимоги та завдання для України Національна безпека №37, С. 1-18 19.Барановський, О.І., 1999. Фінансова безпека, Київ: Фенікс

3. Брожко, О.О., 2017. Економічна безпека критичних інфраструктур України: сучасний стан та напрямки покращення. *Інвестиції: практика та досвід*. № 4. С. 71-75.

4. Грицюк І.В. Визначення економічно обґрунтованих рівнів компенсації реактивної потужності в електричних мережах з розосередженим генеруванням. *Комп’ютерно-інтерговані технології: освіта, наука, виробництво. Науковий журнал*. Вип. 15. 2014. С. 54-59.

5. О. В. Кириленко, В. В. Павловський, та Л. М. Лук’яненко, Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 1. С. 46-53.

6. P. D Lezhniuk et al., Optimal integration of photoelectric stations in electric networks, monograph. *LAP LAMBERT Academic Publishing*. pp. 220, 2019, ISBN-13 - 978-620-0-08225-1.

7. Ю. О. Варецький, В. М. Горбань, Я. С. Пазина, Зміни напруги в електричній мікромережі з гібридною електростанцією. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні і електромеханічні системи*. 2016. № 840. С. 17-23.

8. П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук, І. В. Котилко, та І. О. Прокопенко «Оцінювання якості електропостачання в локальних електричних системах з різнотипними відновлювальними джерелами енергії», Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства

імені Петра Василенка. Серія: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. 2018. № 195. С. 23- 25

9. S. Kravchuk, and I. Kotylko, «Matching of Renewable Source of Energy Generation Graphs and Electrical Load in Distribution Electric Grid», in International Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering (YSF), Lviv, 2017, pp. 28-31. doi: 10.1109/YSF.2017.8126641

10. Сурменелян О. Р. Світовий досвід управління енергозбереженням *Економіка та управління підприємствами машинобудівної* галузі. 2013. № 2. С. 96–108.

11. Розвиток енергетики України – стратегічний аспект. (Ukraine Renewable Energy Forum, 2019). https://yearbook.enerdata.ru/total-energy/worldenergy-intensity-gdp-data.html

12. Сердюк Т.В. Особливості реалізації політики енергозбереження в Україні: досягнення та шляхи вдосконалення. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2009. –№1. С. 52-56.

13. Інформація про роботу енергетичного комплексу за 2019р."[Електронний ресурс]//Міністерство Енергетики та захисту довкілля України - 2019. - Режим доступу до ресурсу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=245183225

14. Energy balances of OECD countries / IEA 2021; Key world energy statistics 2000-2020; Режим доступу: http://ec.europa.eu/energy/publications/statistics

15. П. Д. Лежнюк, с. В. Кравчук, І. В. Котилко, та А. Б. Урода, «Підвищення енергоефективності локальних електричних систем за рахунок сумісного використання різнотипних розосереджених джерел енергії», на Міжнародному симпозіумі «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» SIEMA 2018, Харків, 2018.

16. Постанова НКРЕКП «Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання» від 12.06.2018.

17. С. В. Бахмачук, Ю. С. Громадський, С. М. Савицький, та Д. А. Гапон «Керування графіком навантаження в електричних мережах споживачами-регуляторами», ScienceRise, pp. 50-57, 2016. [Online]. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/texc_2016_2%282%29__11.