

Факультет електроенергетики та електромеханіки

Кафедра електричних станцій і систем


МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Аналіз впливу на якість електричної енергії фотоелектричних станцій»

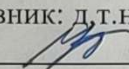
Виконав: студент 2-го курсу, групи ЕСМ-21мз спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітня програма «Електричні системи та мережі»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


Супрун О. В.

(прізвище та ініціали)

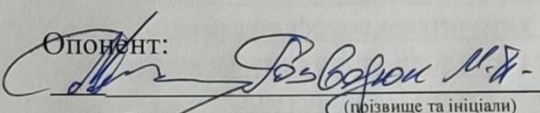
Керівник: д.т.н., професор, зав. каф. ЕСС


Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« 02 » 06 2023 р.

Опонент:



Розводон М. В.

(прізвище та ініціали)

« 05 » 06 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕСС

 д.т.н., проф. Комар В. О.

(прізвище та ініціали)

« 02 » 06 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій та систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність – 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – Електричні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В. О.

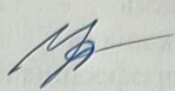



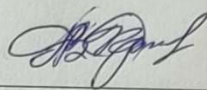

20.03 2023 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ**

Супрун Ольга В'ячеславівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Аналіз впливу на якість електричної енергії фотоелектричних станцій» керівник роботи д.т.н., професор, зав каф. ЕСС Комар В. О. затверджена наказом вищого навчального закладу від 20.03.2023 року № 68
2. Строк подання студентом роботи 30 червня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літературних джерел за тематикою роботи. Посилання на періодичні видання. Параметри фотоелектричних станцій та їх основних елементів для аналізу спотворень синусоїди сторуму та напруги
4. Зміст текстової частини: Вступ. 1. Нормування показників якості електроенергії. 2. Додавання завад. 3. Частотні характеристики системи електропостачання. 4. Резонанс напруг і струмів у СЕП. 5. Розподіл струмів і напруг при несиметричних режимах. 6. Особливості роботи розподільних електромереж в умовах зростання розосередженого генерування. 7. Експериментальні дослідження під час вмикання вимикання ФЕС. 8. Вплив ЯЕ на втрати електроенергії. 9. Розрахунок припустимого внеску по ПЯЕ. 10. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Схематичне зображення сучасних розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням. 2. Зміна рівнів напруги в вузлах електричної мережі та її спотворення. 3. Спотворення кривої напруг за даними виробника інверторів. 3 Результати математичного моделювання засобами Matlab.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Керівник роботи Комар В. О., д.т.н., професор., зав. кафедри ЕСС		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Рубаненко О. Є. к.т.н., проф., професор каф. ЕСС		
Економічна частина	Остра Н. В., к.т.н., доц., доцент кафедри ЕСС		

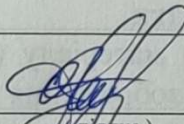
7. Дата видачі завдання 20 березня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи		Примітка
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	21.03.23	28.03.23	вик
2	Аналіз літературних джерел	29.03.23	07.04.23	вик
3	Оцінка впливу СЕС на якість електроенергії в прилеглий мережі	08.04.23	24.04.23	вик
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.04.23	01.05.23	вик
5	Оцінка можливості паралельної роботи СЕС в складі ОЕС України	02.04.23	07.05.23	вик
6	Оформлення пояснювальної записки	08.05.23	12.05.23	вик
7	Виконання графічної частини та оформлення презентації	12.05.23	19.05.23	вик

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

О. В. Супрун

В. О. Комар

АНОТАЦІЯ

В роботі виконано аналіз впливу на якість електричної енергії фотоелектричних станцій.

Виконано моделювання засобами Matlab Simulink інверторного обладнання фотоелектричних станцій та аналіз його впливу на несинусоїдність струмів та напруг.

Показано методи визначення впливу джерел спотворень якості електричної енергії на загальну картину в локальних електричних системах.

Розглянуті питання охорони праці на електроенергетичних об'єктах.

Іл. 29, табл. 12, літ. 24.

ABSTRACT

The paper analyzes the impact on the quality of electrical energy of photovoltaic stations.

Simulation of the inverter equipment of photovoltaic stations and analysis of its effect on non-sinusoidal currents and voltages was performed using Matlab Simulink.

The methods of determining the influence of sources of distortions in the quality of electrical energy on the general picture in local electrical systems are shown.

Considered issues of labor protection at electric power facilities.

Bibliography: 26. Fig.: 29. Table: 12.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	5
ВСТУП	6
1. НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	7
2. ДОДАВАННЯ ЗАВАД	12
3. ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	15
4. РЕЗОНАНС НАПРУГ І СТРУМІВ У СЕП.....	17
5. РОЗПОДІЛ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМАХ	21
6. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ	25
6.1. Загальна оцінка впливу розосереджених джерел електроенергії на режим роботи розподільних електричних мереж.....	25
7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІД ЧАС ВМИКАННЯ ВИМИКАННЯ ФЕС.....	32
7.1 Моделювання вплив ВДЕ на якість електричної енергії.....	34
8. ВПЛИВ ЯЕ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	40
9. РОЗРАХУНОК ПРИПУСТИМОГО ВНЕСКУ ПО ПЯЕ.....	46
10. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..	55
10.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання	55
10.1.1 Вимоги до організації робочих місць операторів.....	55
10.1.2 Електробезпека.....	57
10.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	60
10.2.2 Склад повітря робочої зони.....	61
10.2.3 Виробниче освітлення	62
10.2.4 Виробничий шум.....	64
10.3 Пожежна безпека.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТОК А. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ	73
ДОДАТОК Б. ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ.....	74
ДОДАТОК В. ГРАФІЧНА ЧАСТИНА	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВН – висока напруга

ДРП – джерела реактивної потужності

ЕЕС – електроенергетична система

ЕМС – електромагнітна сумісність

ЕП – електроприймач

ЛЕП – лінії електропередач

НН – низька напруга

ПЛ – повітряні лінії

ПЯЕ – показники якості електроенергії

СЕП – система електропостачання

СН – середня напруга

ЦЖ – центр живлення

ЯЕ – якість електроенергії

ВСТУП

Основними показниками якості електроенергії при живленні від електричних мереж трифазного струму є відхилення і колювання частоти та напруги, ступінь несинусоїдальності форми кривої напруги, несиметрія напруги і зсув нейтралі. Норми на ці показники якості електроенергії в точках мереж, до яких безпосередньо приєднуються електроприймачі, визначаються ГОСТом. Відхилення показників якості електроенергії, зокрема рівня напруги, від номінальних значень поділяються на нормально допустимі, яких повинні дотримуватися протягом 95% часу доби, і максимально допустимі, які не повинні бути перевищені протягом всього часу, включаючи післяаварійні режими.

Значний збиток від відхилень напруги може бути в промислових електротермічних і електролізних установках. Зниження напруги живлення дугових електропечей всього на 8% призводить до такого різкого зниження температури, що плавка взагалі не може бути доведена до кінця. Відхилення, а тим більше швидкі колювання напруги в межах $\pm 5\%$ повністю порушують нормальну роботу установок електролізу для виробництва хлору і каустичної соди.

Суттєво впливає значення напруги також на процес транспортування та розподілу електроенергії в електроенергетичній системі (ЕЕС). Цей вплив проявляється, наприклад, на значенні втрат електроенергії під час її транспортування. Від напруги залежать навантажувальні втрати електроенергії в елементах системи з активним опором та, особливо, втрати на коронування. За хорошої погоди втрати на коронування пропорційні квадрату напруги, а під час опадів та інієутворенні ці втрати залежать від напруги вже в четвертому – шостому степені.

Отже, як бачимо, проблема регулювання напруги в ЕЕС є складною і багатоплановою. Для ефективного її вирішення необхідні глибокі знання і постійна увага.

1. НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Для визначення відповідності значень показників якості електричної енергії (ПЯЕ) вимогам ГОСТ 13109–97 проводять їх вимірювання й статистичну обробку. Для всіх нормованих ПЯЕ мінімальний розрахунковий період становить 24 год. Рекомендована загальна тривалість безперервних вимірів становить 7 діб. Оцінку ненормованих ПЯЕ (провали напруги, перенапруги, імпульси) проводять за результатами тривалих спостережень і їх реєстрації за допомогою спеціалізованих засобів вимірювання.

Статистична обробка результатів вимірювання нормованих ПЯЕ полягає в побудові функцій розподілу ПЯЕ. За результатами вимірювань можна визначити частоту потрапляння значень ПЯЕ в певний інтервал на всьому діапазоні можливих значень [115]. Така добова функція розподілу у формі гістограми наведено на рис. 1.1. Гістограма вимірювань $K_{U(n)}$ (перша група) показано на рис. 1.1, а, для δU (друга група) – на рис. 1.1, б.

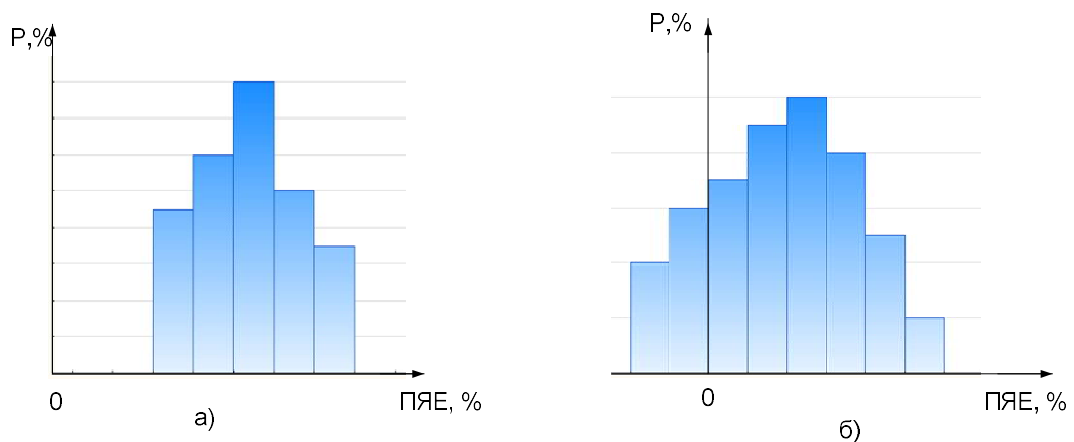


Рисунок 1.1 – Приблизний вид гістограм розподілу ПЯЕ на добовому інтервалі вимірювань

Для кожного нормованого ПЯЕ ГОСТом встановлюється нормально допустимі P_n і гранично допустимі $P_{гн}$ значення. Оцінювання якості функціонування проводять за найбільшими значенням $P_{нб}$ для ПЯЕ першої групи й за найбільшими і найменшими значеннями ПЯЕ для другої групи.

Для ПЯЕ першої групи найбільші значення, вимірюються протягом 24

год, не повинні перевищувати гранично допустимі значення, встановлені ГОСТ 13109–97, а 95 % виміряних за той же час значень не повинні перевищувати нормально допустимі. При зазначених умовах вимоги ГОСТу 13109–97 виконуються. На рис. 1.2 наведені результати вимірювань ПЯЕ, на підставі яких можна стверджувати, що ці результати відповідають або не відповідають вимогам ГОСТ 13109–97.

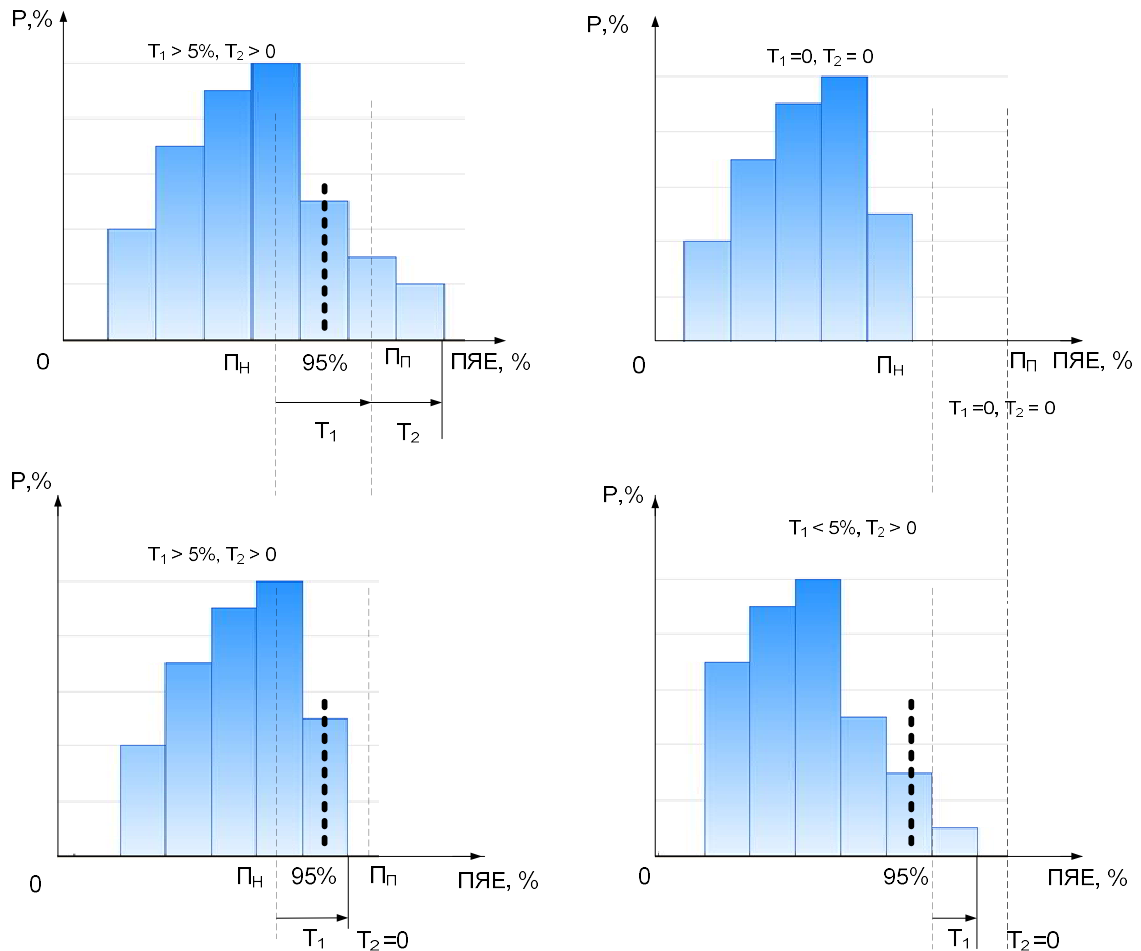


Рисунок 1.2 – Оцінка відповідності значень ПЯЕ вимогам:

- а – не відповідає; б – не відповідає; в – відповідає; г – відповідає;
- – границя нормально $\Pi_{\text{нор}}$ і гранично $\Pi_{\text{прип}}$ припустимих значень ПЯЕ;
- – границя, лівіше якої розташовуються 95 % виміряних значень ПЯЕ.

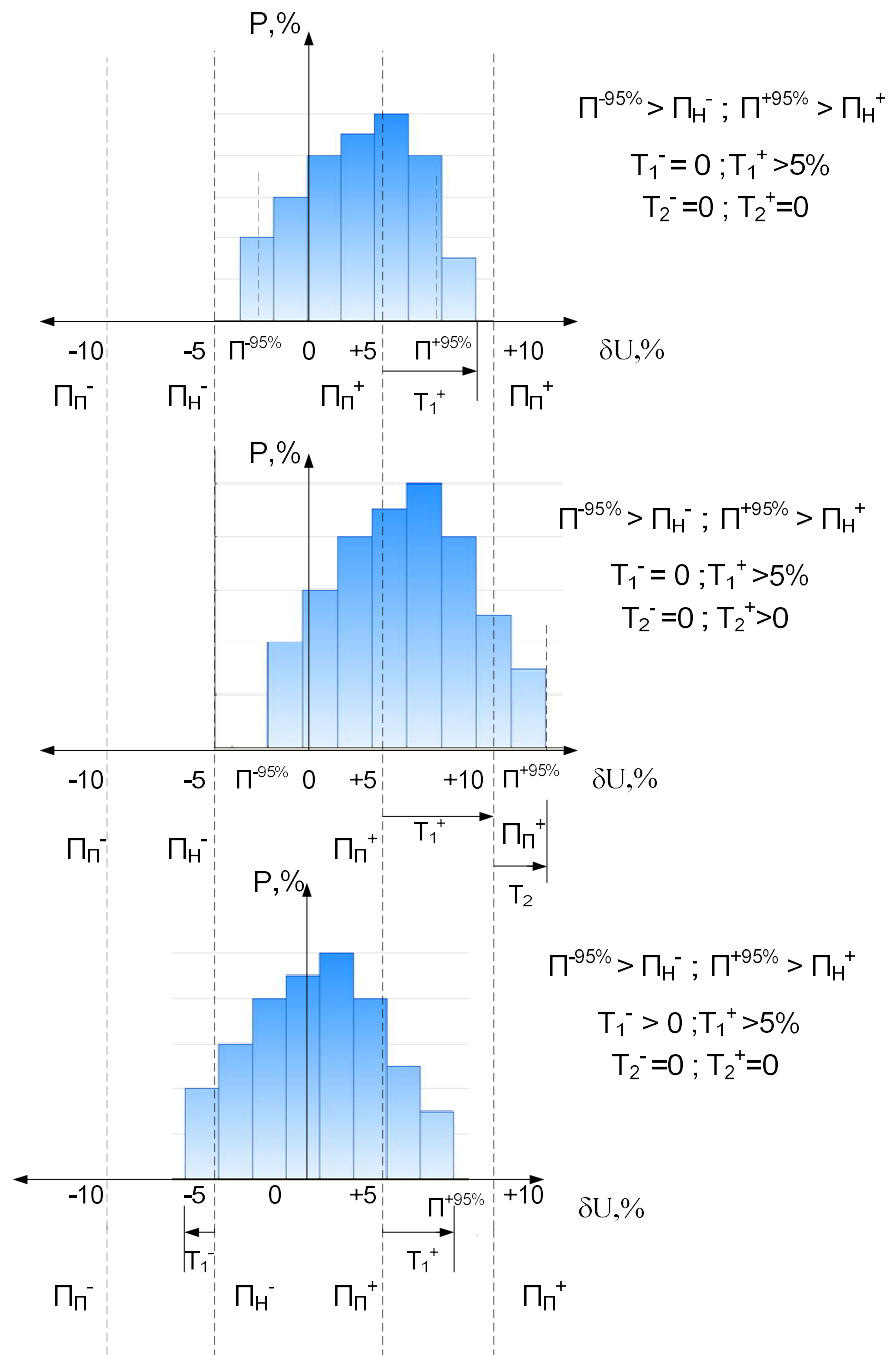


Рисунок 1.3 – Оцінка відповідності значень ПЯЕ вимогам
ГОСТ 13109–97;

а – не відповідає; б – не відповідає; в – не відповідає; - межа нормальних Π_{H} і граничноприпустимих Π_{H} значень ПЯЕ; - нижнє $\Pi^{-95\%}$ і верхнє $\Pi^{+95\%}$ значення, у границях яких перебувають 95 % вимірених значень ПЯЕ

Для ПЯЕ другої групи, для яких установлені позитивні й негативні допустимі значення, найбільші вимірени протягом 24 год значення не повинні

перевищувати, з врахуванням їх знака, гранично допустимі, а верхнє (+) і нижнє (-) значення цих ПЯЕ, у границях яких перебувають 95 % вимірних значень, не повинні перевищувати відповідно позитивні й негативні нормально допустимі значення. При цих умовах ГОСТ 13109–97 виконується. На рис. 1.3 наведені приклади випадків, коли вимірювані ПЯЕ не відповідають вимогам ГОСТу.

Під час вимірювань застосовують різні критерії оцінки ПЯЕ на відповідність установленим вимогам. Застосування таких критеріїв допускається ГОСТ 13109–97 стосовно всіх нормованих ПЯЕ, крім розмахів коливань напруги й дози флікера. Принцип оцінки при цьому нічим не відрізняється від наведеного вище, однак його алгоритмічне представлення в засобах вимірювання значно простіше.

Дійсно, для кожного ПЯЕ встановлений інтервал усереднення, в межах якого формується середньоквадратичне значення ПЯЕ. Тривалість інтервалів усереднення становить для δU_y 60 с, для Δf 20 с, для інших ПЯЕ 3 с. Отже, за 24 год безперервних вимірювань у масиві результатів вимірювань зберігається строго певне число відліків. Наприклад, по δU_y число відліків становить 1440. Це дозволяє підрахувати так званий відносний час перевищення припустимих значень за числом відліків:

$$T_1 = \frac{n}{k} 100\% ; T_2 = \frac{m}{k} 100\% .$$

де k – загальне число вимірювань за 24 год; n – число вимірювань, які перевершують нормально припустимі значення; m – число вимірювань, які перевищують гранично допустимі значення.

При вимірах необхідно підраховувати число (k , n , m) відповідних відліків.

Такий підрахунок можна проводити в реальному часі в процесі вимірювань, що дозволяє не тільки контролювати виконання вимог ГОСТ 13109–97, але й оцінювати якість електричної енергії в темпі процесі.

Вимоги ГОСТ 13109–97, оцінювані за цими критеріями, виконуються, якщо протягом 24 годинних вимірювань $T_1 \leq 5\%$ і $T_2 = 0$, при цьому 5 % від

24 год відповідають 72 хв. У всіх інших випадках вимоги ГОСТ 13109–97 не виконуються.

Викладений алгоритм визначення імовірностей відповідності якості електричної енергії ГОСТ 13109–97 можна реалізувати за умови встановлення відповідної системи обліку ПЯЕ хоча б в основних точках мережі. Нажаль незначна кількість РЕМ можуть собі це дозволити.

Як зазначалось вище найбільш вагомим показником якості електричної енергії, в розв'язуваній задачі, є відхилення напруги. Оцінити імовірність відповідності якості напруги нормативам можна, виконуючи аналіз даних ОІК.

2. ДОДАВАННЯ ЗАВАД

Оскільки всі види завад викликаються роботою електроустановок споживачів, спільний вплив яких визначає сумарний рівень завад у точці загального приєднання, а ГОСТ 13109–97 установлює норми тільки на сумарний рівень, виникає необхідність додавання завад даного виду в даній ТЗП. У якості такої ТЗП звичайно розглядаються шини і-ї підстанції, до яких у загальному випадку приєднуються декілька споживачів (рис. 2.1).

Показники ЯЕ виду $K_U, K_{U(n)}, K_{2U}, K_{0U}$ характеризують вплив електроприймачів споживача на якість електроенергії в розглянутому вузлі системи. Значення ПЯЕ в і-му вузлі визначається струмами викривлень I_j , створюваними споживачем у всіх вузлах, так, що викривлення напруги в і-му вузлі (U_i) дорівнює векторній сумі спадів напруги ΔU_i від цих струмів на власних (Z_{ii}) і взаємних (Z_{ij}) опорах, приєднаних до і-го вузлу. Отже, для рис. 2.1:

$$\Delta U_i = I_i Z_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k I_j Z_{ij}.$$

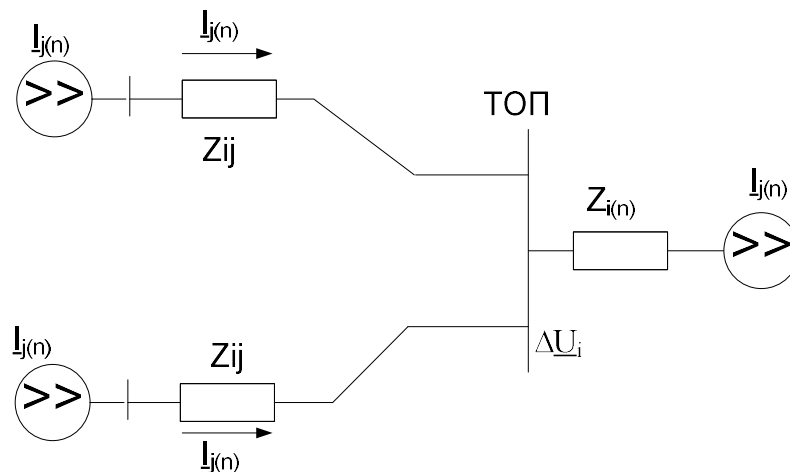


Рисунок 2.1 – Додавання вищих гармонік струму n-го порядку в СЕП із декількома джерелами

Перший доданок цього виразу являє собою викривлення напруги, яке викликане джерелами несинусоїдності й несиметрії з боку 1-го джерела.

Другий доданок є сумою викривлення, внесених в i -й вузол джерелами того ж виду, установленими в j -х вузлах мережі. При цьому слід мати на увазі, що той самий елемент системи електропостачання характеризується різними опорами Z_{ii} й Z_{ij} , які мають різні значення для струмів n -ї гармоніки, зворотної, нульової послідовності.

Наведене вище рівняння являє собою векторну суму, доданки якої змінюються випадковим чином так, що їх модуль може змінюватися від 0 до 1, а аргумент від 0 до 2π . В окремому випадку це може бути й арифметичне додавання.

При вимірюваннях ПЯЕ на вхід засобу вимірювання подається сумарна напруга (струм) і вимірюється його діюче значення. У проектних задачах, а також при обчисленні припустимого внеску джерела, коли рівень завад, створюваних декількома джерелами, визначають розрахунками, векторне додавання заміняють "зваженими" показниками ступеня a .

Позначивши показник ступеня, що характеризує механізм додавання, через a , загальну формулу для сумарного рівня викривлення Π конкретного виду можна представити у вигляді:

$$\Pi_{\Sigma} = \sqrt[a]{\sum_{j=1}^k \Pi_j^a},$$

де k – число джерел викривлення.

Тоді вектори несиметрії напруги по зворотній і нульовій послідовності, що розподіляються випадковим чином, додаються у квадратурі так, що

$$K_{2U} = \sqrt{\sum_{j=1}^k K_{2Uj}^2}; \quad K_{0U} = \sqrt{\sum_{j=1}^k K_{0Uj}^2}.$$

Коливання напруги, що створюють флікер, не є векторними величинами. Їхній вплив нормується як накопичувані впливи енергії світлового потоку. Тому вплив джерел коливань напруг додаються арифметично.

Механізм додавання вищих гармонік, генерованих перетворювачами, установлений на основі експериментальних досліджень залежно від порядку гармоніки:

• для 3, 5, 7-ї гармонік – арифметично, тобто так, що для кривої напруги, що містить 3, 5 і 7-ю гармоніки, $K_{U\Sigma}$ рівний (при $a=1$):

$$K_{U\Sigma} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^k K_{(3)j}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^k K_{(5)j}\right)^2 + \left(\sum_{j=1}^k K_{(7)j}\right)^2}$$

• для 11-ї і 13-ї гармонік у ступені 1,4 ($a = 1,4$):

$$K_{U\Sigma} = \sqrt{\left(\sum_{j=1}^k K_{(11)j}^{1.4}\right)^{\frac{2}{1.4}} + \left(\sum_{j=1}^k K_{(13)j}^{1.4}\right)^{\frac{2}{1.4}}}$$

• для інших гармонік у другому ступені ($a = 2$):

$$K_{U\Sigma} = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} \sum_{j=1}^k K_{(n)j}^2}$$

Показник ступеня a , з яким додаються гармоніки, що генеруються перетворювачами, розташованими в різних точках системи електропостачання, на практиці ухвалюється рівним "зваженому" значенню залежно від пульсності перетворювача, з урахуванням зниження амплітуд гармонік при збільшенні їх порядку. Тоді для 6-пульсних перетворювачів, що генерують непарні гармоніки починаючи з 5-ї, показник ступеня $a = 1,3$. Для 12-пульсних перетворювачів, що генерують непарні гармоніки починаючи з 11-ї, показник ступеня $a = 1,6$.

Для інших типів нелінійних електроприймачів наприклад дугових печей, зварювального устаткування й ін, показник ступеня $a=2$. Тоді для споживачів зі змішаним составом електроприймачів

$$a = 1.3d_6 + 1.6d_{12} + 2d_{np}$$

де d_6, d_{12}, d_{np} – відповідно частки потужності 6- і 12-пульсних перетворювачів і інших джерел вищих гармонік.

3. ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Система електропостачання містить у собі всі види електроустаткування, необхідного для забезпечення технологічного процесу виробництва, передачі, розподілу й споживання електроенергії. У розрахунках режимів СЕП представляють параметрами її устаткування в схемі заміщення. Кожний вид електроустаткування може бути представлений індуктивністю L , ємністю C і активним опором R , значення яких визначаються тільки конструктивними особливостями виконання цього устаткування. У розрахунках усталених режимів СЕП, до яких відносяться й розрахунки несинусоїдності напруги й струму, у схемах заміщення СЕП зазначені параметри представляють відповідно до $X_L = \omega L$ індуктивним, $X_C = 1/(\omega C)$ ємнісним і активним R опорами. При частоті напруги (струму) у мережі $f = 50$ Гц кутова частота $\omega = 314$. На частотах вищих гармонік напруги (струму) $\omega_{(n)} = n\omega$, де n – ціле число, що відображає порядок гармоніки, тобто її кратність стосовно основної гармоніки. Основна частота (гармоніка) може змінюватися в межах, припустимих ГОСТ 13109–97, тоді й вища гармоніка змінює свою частоту, однак порядок її зберігається незмінним. У СЕП можуть бути присутнім і гармоніки некратні стосовно основної. Прийнято вважати, що їх частка й амплітуди незначні в порівнянні із кратними гармоніками, для яких $n = 2, 3, 4, \dots, 40$ і які враховуються при оцінці несинусоїдності напруги (струму).

У такий спосіб параметри схеми заміщення елементів СЕП на вищих гармоніках представляються як $X_{L(n)} = n\omega L$, $X_{C(n)} = 1/(n\omega C)$ і $R_{(n)} = R\sqrt{n}$. Залежність модулів цих опорів від частоти називається *амплітудно-частотною характеристикою* (АЧХ). Амплітудно-частотні характеристики стосовно тієї або іншої точки СЕП в еквівалентній схемі заміщення, утвореної в результаті послідовно-паралельного згортання елементів СЕП, різні.

Амплітудно-частотну характеристику звичайно зображують графічно або у вигляді спектральної залежності $X_{L(n)} = \varphi(n)$, $X_{C(n)} = \varphi(n)$, $R_{(n)} = \varphi(n)$,

або у вигляді годографа зміни, що відображає, значень $X_{(n)}$ двох $R_{(n)}$ параметрів і на частотах гармонік досліджуваного спектра. На рис. 2, а показана АЧХ, розрахована щодо одного з вузлів складної системи в режимах її найбільшого, середнього й найменшого навантаження, а на рис. 2, б та ж АЧХ представлена у вигляді годографа. При вимірах АЧХ одержують як відношення $Z_{ex} = \varphi(n) = U_{(n)} / I_{(n)}$ з урахуванням активного опору $R(n)$. Як видно з рисунка, резонансні умови можуть виникати на частотах різних гармонік.

4. РЕЗОНАНС НАПРУГ І СТРУМІВ У СЕП

Вхідний опір X_{Σ} , якщо прийняти, що активний опір $R_{(n)}$ малий, еквівалентної схеми заміщення СЕП, отриманої в результаті згортання її елементів, залежить не тільки від частоти $\omega_{(n)} = n\omega$, але й від схеми їх з'єднання. Істотний вплив на цей опір виявляє ємність конденсаторів у СЕП, а також ємнісна провідність повітряних і кабельних ліній, які з індуктивними елементами утворюють паралельне або послідовне з'єднання (рис. 3.1).

Зміна характеру вхідного опору залежно від частоти наведене в табл. 3.1, де весь спектр досліджуваних гармонік розділений на три області, коли їх частота $n < n_{рез}$, $n = n_{рез}$, $n > n_{рез}$. У кожній із цих областей вхідний опір X_{Σ} має або індуктивний характер, або ємнісний. Границею між цими областями є $n = n_{рез}$, коли $X_{L(n)} = X_{C(n)}$ й вхідний опір стає рівним або нескінченності (резонанс струмів) при паралельному з'єднанні $X_{L(n)}$ й $X_{C(n)}$, або нулю (резонанс напруг) при їхньому послідовному з'єднанні. На рис. 3.1 показані АЧХ для кожного із цих випадків, а на рис. 3.2 – векторні діаграми.

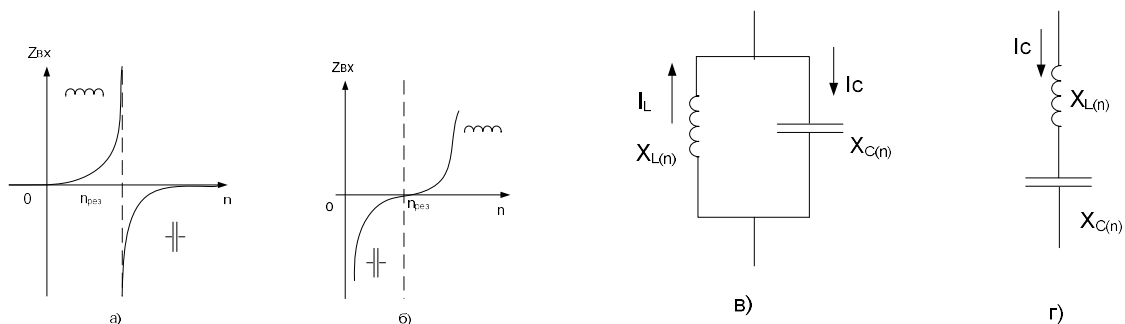


Рисунок 3.1 – Амплітудно-частотні характеристики СЕП при резонансі струмів (а) і напруг (б) і відповідні їм схеми заміщення при резонансі струмів (в) і резонансі напруг (г)

З векторних діаграм видно, яку небезпеку являють собою схеми, при яких можливі резонанси на частотах n близьких до $n_{рез}$. Зокрема, при резонансі

струмів, викликаному напругою частотою рівної або близькій резонансній частоті, у вітках паралельного резонансного контуру виникають надструми, значення яких обмежено тільки активним опором цього контуру. При цьому вхідний опір $X_{\Sigma} = U/I \rightarrow \infty$ а вхідний струм

Таблиця 3.1 – Вхідний опір X_{Σ} паралельного й послідовного ланцюгів утвореної опорами $X_{L(n)}$ й $X_{C(n)}$

Паралельного з'єднання	Послідовне з'єднання
При $n = n_{рез}$ (резонанс струмів)	При $n = n_{рез}$ (резонанс напруг)
$X_{L(n)} = X_{C(n)}$	$X_{L(n)} = X_{C(n)}$
$I_{\Sigma} = I_{L(n)} - I_{C(n)} = 0$	$I_{\Sigma} = 0$
$X_{\Sigma} = U/I = \infty$	$I_{\Sigma} = U/I = \infty$
При $n > n_{рез}$; $w = w_{рез}$	При $n > n_{рез}$; $w = w_{рез}$
$X_{L(n)} > X_{C(n)}$	$X_{L(n)} > X_{C(n)}$
$I_{L(n)} < I_{C(n)}$	$U_{L(n)} > U_{C(n)}$
$X_{\Sigma} = U/I_{\Sigma}$ - ємнісний опір	X_{Σ} - індуктивний опір
При $n < n_{рез}$; $w = w_{рез}$	При $n < n_{рез}$; $w = w_{рез}$
$X_{L(n)} < X_{C(n)}$	$X_{L(n)} < X_{C(n)}$
$I_{L(n)} < I_{C(n)}$	$U_{L(n)} > U_{C(n)}$
$X_{\Sigma} = U/I_{\Sigma}$ - індуктивний опір	X_{Σ} - ємнісний опір
Примітка: $X_{\Sigma} = j\omega L(-j\omega C) / j\omega L - j\omega C = X_L X_C / j(X_L - X_C) = -j(X_L X_C / X_L - X_C)$	Примітка: $X_{\Sigma} = j\omega L - j\omega C = \pm j(X_L - X_C)$

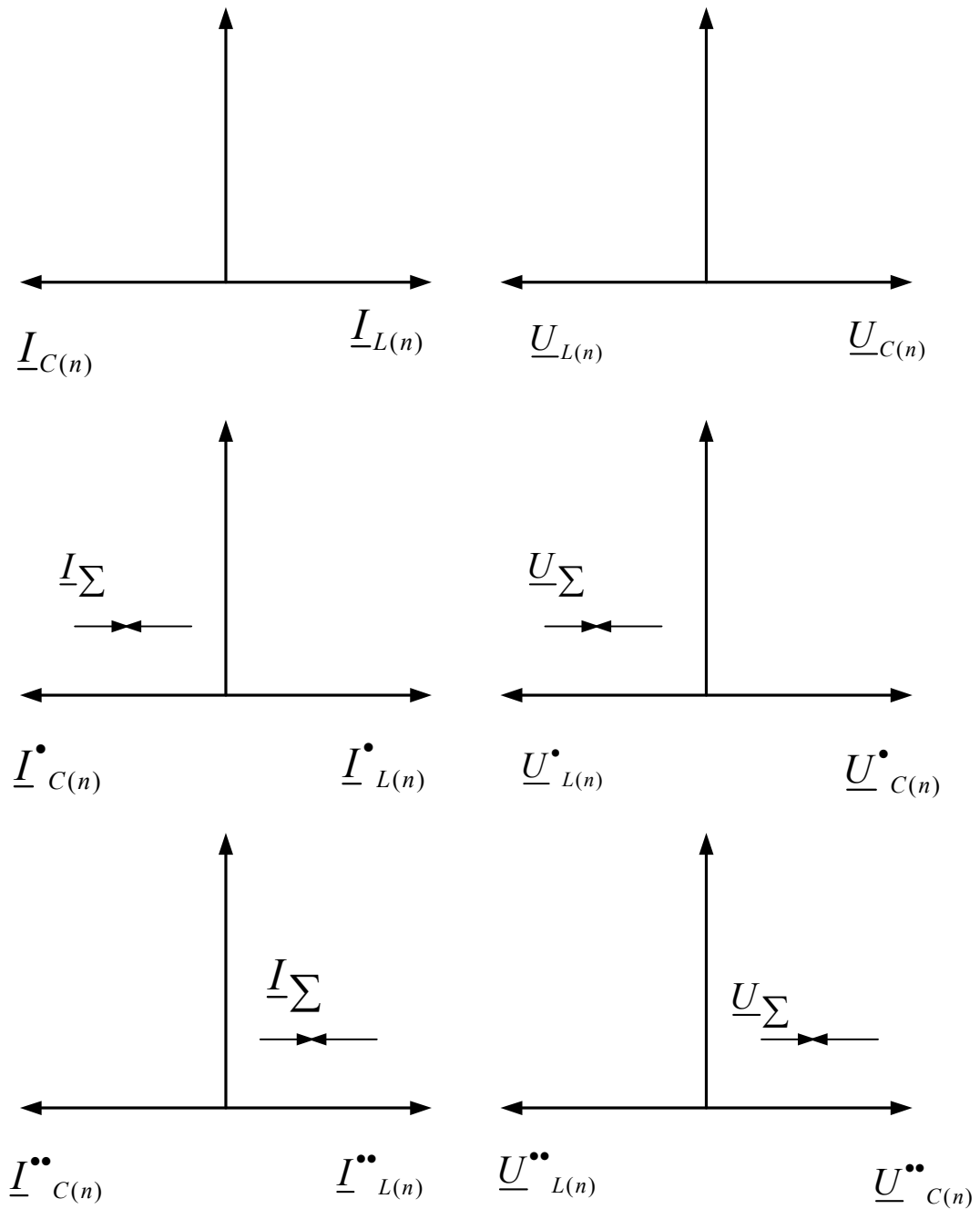


Рисунок 3.2 – Векторні діаграми паралельної (а) і послідовної (б)

ланцюгів, утворених опорами $X_{L(n)}$ й $X_{C(n)}$

$I_{\Sigma} = I_{L(n)} - I_{C(n)} = 0$. При резонансі напруг спостерігається протилежна картина. При резонансі напруг, викликаному струмом частотою рівною або близькій резонансній частоті, у послідовному ланцюзі на її індуктивному і ємнісному елементах виникають перенапруги. Вхідний опір такого контуру

$X_{\Sigma} \rightarrow 0$, а вхідний струм $I_{\Sigma} = I_{L(n)} - I_{C(n)} = \infty$. Ця властивість використовується у фільтрокомпенсуючих пристроях, параметри якого вибираються таким чином, щоб його сумарний опір на заданій частоті гармоніки, генерованих тим або іншим електроприймачів, було мінімальним, утворюючи мінімальний опір для компенсованої гармоніки струму.

У довгих повітряних лініях високої напруги, що представляються в *схемах заміщення розподіленими параметрами*, резонансні умови можуть виникати на різних частотах залежно від їхньої довжини.

При відсутності резонансних умов у СЕП рівні вищих гармонік напруги знижуються в міру видалення від джерела викривлення. У тому випадку, коли в СЕП існує резонанс, несинусоїдність напруги у вузлах мережі, вилучених від джерела викривлень, може бути вище, чим поблизу нелінійного навантаження [2]. *Поширення вищих гармонік по мережах 110 кВ і вище може супроводжуватися хвильовими процесами, що також приводять до значних підвищень рівнів вищих гармонік напруги й струму [3].* Подібні випадки зафіксовані в *енергосистемах Сибіру й Далекого Сходу*.

5. РОЗПОДІЛ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМАХ

При виборі способів і засобів компенсації струмів зворотної й нульової послідовності проводиться розрахунок методом симетричних складових *і виміру складових* несиметричного режиму. У більш простих випадках, коли система електропостачання не містить обертових машин, розрахунок несиметричних можна виконати звичайним способом, не прибігаючи до складання еквівалентних схем прямої, зворотної й нульової послідовності [4]. Розглянемо такий спосіб стосовно до чотирьохпровідних СЕП із нульовим проводом (мережі напругою 0,4 кВ) і СЕП з ізольованою нейтраллю.

Чотирьохпровідні мережі з нульовим проводом. Нехай опір джерела дорівнює нулю, його напруги $\underline{U}_A \neq \underline{U}_B \neq \underline{U}_C$ несиметричні й комплексні провідності навантаження рівні $Y_A = Y_B = Y_C$. Знайдемо напруги $\underline{U}_{A01}, \underline{U}_{B01}, \underline{U}_{C01}$ й струми $\underline{I}_A, \underline{I}_B, \underline{I}_C$ у фазах навантаження, а також напруга зсуву нейтралі \underline{U}_N (рис. 5.1).

Напруга $\underline{U}_N = \underline{U}_{0-01}$ в загальному випадку дорівнює

$$\underline{U}_N = \frac{Y_A \underline{U}_A + Y_B \underline{U}_B + Y_C \underline{U}_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N}. \quad (5.1)$$

При цьому можливі два випадки: $Y_N = \infty$ коли нейтралі джерела й навантаження з'єднані нульовим проводом, і $Y_N = 0$, коли нульовий провід відсутній.

У першому випадку, мабуть, $U_N = 0$ і напруги на фазах навантаження несиметричні й дорівнюють напрузі джерела, або $\underline{U}_{A-01} = \underline{U}_A, \underline{U}_{B-01} = \underline{U}_B, \underline{U}_{C-01} = \underline{U}_C$. При цьому струми у фазах навантаження також несиметричні:

$$\underline{I}_A = Y_A \underline{U}_A; \quad \underline{I}_B = Y_B \underline{U}_B; \quad \underline{I}_C = Y_C \underline{U}_C; \quad \underline{I}_N = \underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C$$

При несиметричній напрузі джерела й симетричному навантаженню струми у фазах навантаження несиметричні, а струм у нульовому проводі дорівнює сумі фазних струмів або потроєному струмі нульової послідовності.

У другому випадку (обрив нульового проводу) $\underline{U}_N \neq 0$, а $I_N = 0$. Тому

$$\underline{U}_{A-01} = \underline{U}_A - \underline{U}_N; \quad \underline{U}_{B-01} = \underline{U}_B - \underline{U}_N; \quad \underline{U}_{C-01} = \underline{U}_C - \underline{U}_N.$$

і напруги на фазах навантаження не рівні відповідним до фазних напруг джерела. Напруга між нульовими точками джерела й навантаження (напруга зсуву нейтралі) дорівнює

$$\underline{U}_{0-01} = \underline{U}_N = \frac{Y_A \underline{U}_A + Y_B \underline{U}_B + Y_C \underline{U}_C}{Y_A + Y_B + Y_C} \quad (5.2)$$

Струми у фазах навантаження:

$$\underline{I}_A = (\underline{U}_A - \underline{U}_N)Y_A; \quad \underline{I}_B = (\underline{U}_B - \underline{U}_N)Y_B; \quad \underline{I}_C = (\underline{U}_C - \underline{U}_N)Y_C; \quad \underline{I}_N = 0.$$

Тому що було прийнято, що $Y_A = Y_B = Y_C$, те з (2) випливає, що напруга зсуву нейтралі $\underline{U}_N = \frac{1}{3}(\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)$ дорівнює напрузі нульової послідовності.

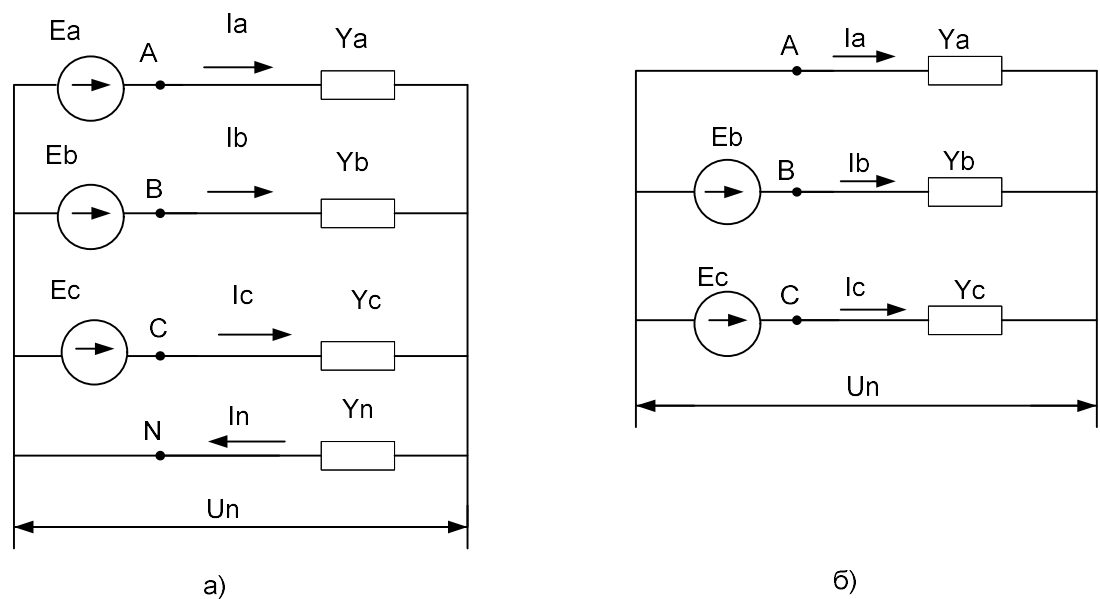


Рисунок 5.1 – а) Схема чотирьохпроводної СЕП із нульовим проводом;

б) Схема трьохпроводної СЕП без нульового проводу

При несиметричній напрузі джерела, симетричному навантаженню й обриві нульового проводу струми у фазах навантаження несиметричні, струм у нульовому проводі дорівнює нулю, а напруга зсуву нейтралі дорівнює напрузі нульової послідовності.

Струм зворотної послідовності I_2 рівний $\underline{I}_2 = \frac{1}{3}(\underline{I}_A + a^2 \underline{I}_B + a \underline{I}_C)$.

Трьохпроводні мережі з ізольованою нейтраллю. Для таких мереж сума міжфазних напруг завжди, у тому числі й при $\underline{U}_{AB} \neq \underline{U}_{BC} \neq \underline{U}_{CA}$, дорівнює нулю: $\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{BC} + \underline{U}_{CA} = 0$. Тому, зберігаючи початкову схему, але без нульового проводу, фазні напруги в ній можна замінити межфазними. Нехай $\underline{E}_B = \underline{U}_{AB}$; $\underline{E}_C = \underline{U}_{CA}$. Тоді розрахункова схема прийме вид, показаний на рис. 5.1.

У цьому випадку при несиметричному навантаженні $Y_A \neq Y_B \neq Y_C$ напруга між точками 0 і 0₁ рівно \underline{U}_N .

$$\underline{U}_{0-0_1} = \underline{U}_N = \frac{Y_B \underline{E}_B + Y_C \underline{E}_C}{Y_A + Y_B + Y_C}. \quad (5.3)$$

Струми у фазах навантаження становлять:

$$\underline{I}_A = -\underline{U}_N Y_A; \quad \underline{I}_B = (\underline{E}_B - \underline{U}_N) Y_B = (\underline{U}_{AB} - \underline{U}_N) Y_B; \quad \underline{I}_C = (\underline{E}_C - \underline{U}_N) Y_C;$$

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0.$$

Напруги на фазах навантаження несиметричні:

$$\underline{U}_{A-0_1} = \underline{I}_A / Y_A = -\underline{U}_N; \quad \underline{U}_{B-0_1} = \underline{I}_B / Y_B = \underline{U}_{AB} - \underline{U}_N;$$

$$\underline{U}_{C-0_1} = \underline{I}_C / Y_C = \underline{U}_{CA} - \underline{U}_N. \quad (5.4)$$

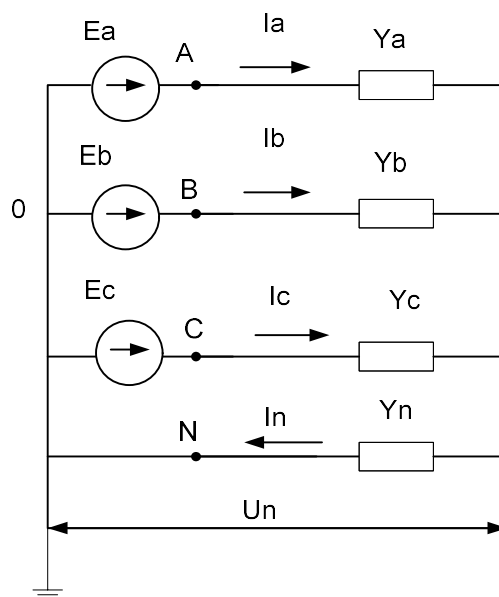


Рисунок 5.2 – Схема чотирьохпровідної СЕП із глухозаземленою нейтраллю

При симетричній $Y_A = Y_B = Y_C$ і однорідному навантаженню, як впливає з (3), при $\underline{U}_{AB} \neq \underline{U}_{BC} \neq \underline{U}_{CA}$:

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{U}_{AB} + \underline{U}_{CA}}{3} = -\frac{\underline{U}_{BC}}{3}.$$

При симетричній напрузі джерела $\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{BC} = \underline{U}_{CA}$, напруга U_N між точками 0 і 0₁ слід визначати через фазні напруги $\underline{E}_A = \underline{E}_B = \underline{E}_C$ (рис. 5.2). Тоді можна записати, що

$$\underline{U}_N = \frac{Y_A \underline{E}_A + Y_B \underline{E}_B + Y_C \underline{E}_C}{Y_A + Y_B + Y_C},$$

Але $\underline{E}_B = a^2 \underline{E}_A$ й $\underline{E}_C = a \underline{E}_A$, тому

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{E}_A (Y_A + a^2 Y_B + a Y_C)}{Y_A + Y_B + Y_C}.$$

Тоді при $Y_A = Y_B = Y_C$ напруга на нейтральному проводі рівно

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{E}_A}{3} (1 + a^2 + a) = 0.$$

і напруги на фазах навантаження дорівнюють фазним напругам джерела.

6. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ РОЗОСЕРЕДЖЕНОГО ГЕНЕРУВАННЯ

6.1. Загальна оцінка впливу розосереджених джерел електроенергії на режим роботи розподільних електричних мереж

Розосередженими джерелами електроенергії (РДЕ) є ті об'єкти, які знаходяться поблизу кінцевого споживача, незалежно від того хто є їх власником (див. рис. 6.1). РДЕ не є новим для України і країн світу. На початку виникнення електроенергетики практично всі джерела енергії для освітлення, приводу розташовувались поблизу центрів споживання. Але, в подальшому, розвиток технології традиційних паротурбінних агрегатів теплових і атомних електростанцій зумовив появу електричних станцій потужністю в сотні і тисячі мегаватт, в основному розташовуваних поблизу первинних енергоносіїв і як, правило, на великій відстані від промислових центрів та населених пунктів.

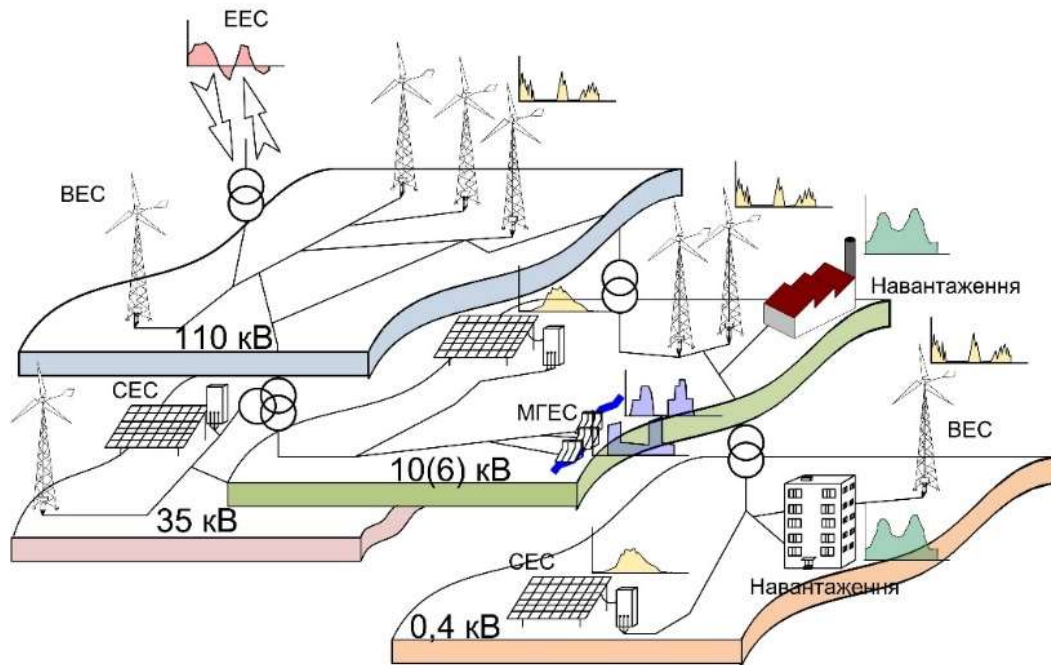


Рисунок 6.1 – Схематичне зображення сучасних розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням

На даний час основною складовою РДЕ є відновлювані джерела електричної енергії. Останнім часом впровадження РДЕ в енергосистеми є основним напрямком розвитку електроенергетики як України так і інших країн світу [5 – 9, 11, 20]. Причинами цього є зниження негативного впливу на оточуюче середовище, покращення показників якості електричної енергії та мінімізація її втрат.

Особливістю відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), найбільш розповсюджених РДЕ, є їх нестабільність зумовлена залежністю від природних умов. Так вітрові електричні станції (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС) не завжди можуть забезпечити задовільну підтримку системи електропостачання. На рис. 6.2 показано характерний добовий графік навантаження та характерний графік генерації СЕС, ВЕС та ГЕС. З графіків видно, що забезпечення споживачів електричною енергією відновлюваними джерелами енергії без достатнього рівня резерву традиційними джерелами електричної енергії не можливе.

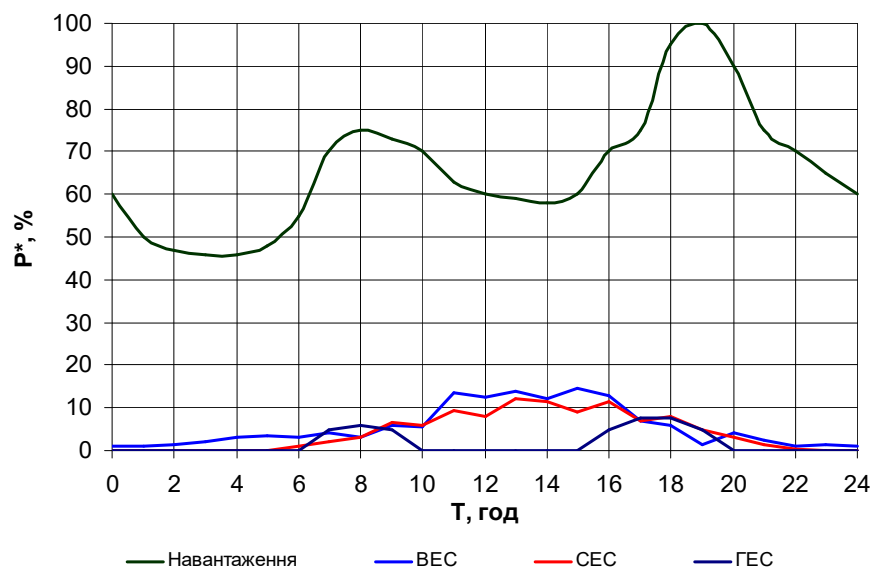


Рисунок 6.2 – Графік роботи ВДЕ в розподільній електричній мережі

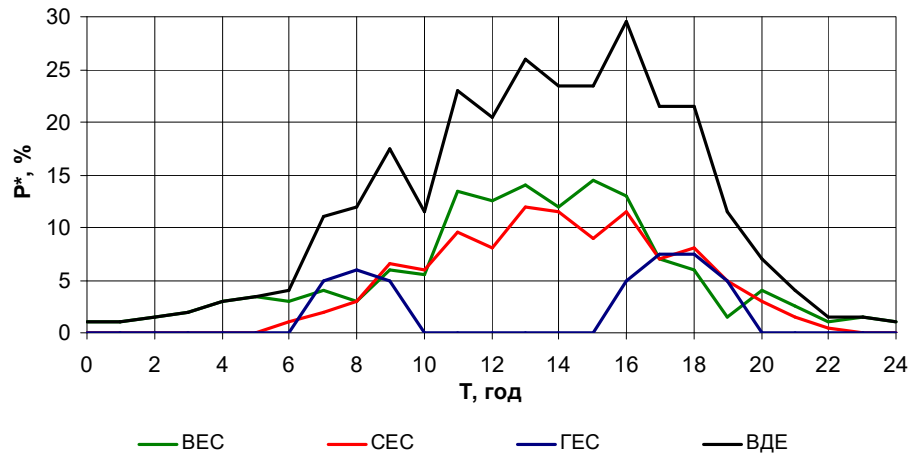


Рисунок 6.3 – Сумарний добовий графік роботи ВДЕ

Розподільні електричні мережі (РЕМ), є системами магістрально-радіального типу, які застосовуються в сільських і приміських районах. Вони призначені для роботи без будь-яких джерел генерації у розподільній системі чи безпосередньо біля навантаження. Впровадження джерел генерації в РЕМ може істотно вплинути на потік потужності (потокорозподіл) і рівень напруги у споживачів та на електрообладнання. Цей вплив може проявлятися позитивно або негативно залежно від характеристик керування розподільною системою і характеристик РДЕ. Позитивний вплив зазвичай називають "перевагою підтримки системи", він включає в себе:

- підтримку напруги та поліпшення якості електроенергії;
- зниження втрат;
- передачу та розподіл відпущеної потужності;
- відстрочку побудови нових або модернізованих інфраструктур для передачі і розподілу відпущеної потужності;
- покращення надійності системи.

Досягнути перерахованого вище на практиці набагато складніше. РДЕ повинні бути надійними, диспетчеризованими (керованими), відповідної потужності і встановленими в потрібних місцях. Оскільки основна частина РДЕ є нестабільними джерелами енергії, такі як сонячні і вітрові, то немає

ніякої гарантії, що ці умови будуть задоволені, і що перераховані переваги будуть реалізовані.

Виконаємо аналіз впливу РДЕ на якість електричної енергії та втрати активної потужності.

Відхилення напруги.

Радіальні системи розподілу, як правило, регулюються за допомогою трансформаторів з РПН на підстанціях, додаткових лінійних регуляторів на фідерах та підключення конденсаційних установок [21]. Завдяки застосуванню перерахованих засобів, як правило, відхилення напруги підтримується в межах відповідних діапазонів, зазначених в стандарті [22]. Практика регулювання напруги заснована на радіальних потоках потужності від підстанції до споживачів дещо втрачає ефективність під час впровадження РДЕ, які вводять "додаткові" потоки потужності, які впливають на ефективність стандартної практики регулювання напруги.

Наприклад, якщо джерело РДЕ підключається безпосередньо за регулятором напруги або трансформатором, який використовується для компенсації втрат в лінії, то пристрої регулювання, особливо коли вони підтримують зустрічний закон регулювання напруги, не зможуть врахувати потреби фідера. При цьому напруга на фідері знижується особливо у хвості фідера. В цьому випадку напруга зменшується, тому що РДЕ знижує навантаження на лінійному регуляторі.

РДЕ можуть призводити як до підвищення напруги у деяких споживачах електроенергії так і до зниження. Наприклад, невелике, за встановленою потужністю, джерело розосередженого генерування, що підключене до спільного трансформатора з декількома іншими споживачами може підняти напругу на вторинній стороні трансформатора, що призведе до підвищення напруги цих споживачів (див. рис. 6.4). Це може статися, якщо розподільний трансформатор, що живить цих клієнтів знаходиться в точці на фідері, де

первинна напруга є в межах або вища верхньої межі нормативу. Зумовлена ця ситуація потоками потужності направлені на зустріч основному потоку.

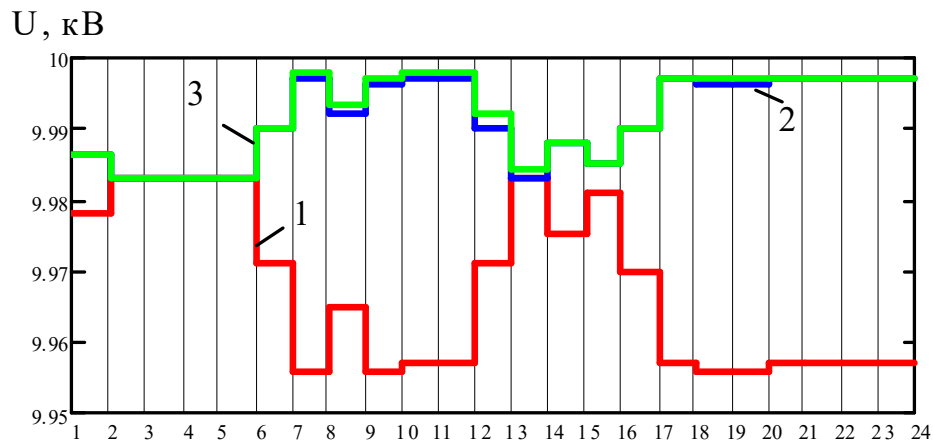


Рисунок 6.4 – Зміни рівнів напруги у вузлі навантаження

1 – відхилення напруги у вузлі навантаження без РДЕ; 2 – відхилення напруги у вузлі з РДЕ для максимального навантаження; 3 – відхилення напруги у вузлі з РДЕ для мінімального навантаження

Розглянуті приклади показують, що випадки високої і низької напруги зумовлені відсутністю розрахунків впливу РДЕ на потоки потужності в електричній мережі. Тому має проводитись аналіз впливу джерел розподіленого генерування в кожному випадку приєднання їх до електричної мережі, для запобігання погіршення якості напруги в електричній мережі.

Провести необхідний аналіз під'єднання РДЕ до електричної мережі можливо лише при наявності відповідного програмного забезпечення, яке здатне аналізувати кілька джерел у розподільній електричній системі і роботу регуляторів напруги. Для аналізу впливу на відхилення напруги повинні бути враховані такі фактори як потужність джерела та точка його під'єднання.

Практично у всіх випадках вплив на відхилення напруги фідера буде незначним для будь-якого окремого джерела розосередженого генерування потужністю $<10\text{кВт}$. Однак, коли сумарна потужність декількох невеликих джерел є значним, або коли потужність одного джерела достатньо велика, то дослідження регулювання напруги є необхідним, щоб переконатися, що напруга фідера буде підтримуватися у відповідних межах.

Рівні вищих гармонік напруги.

В більшості своїй джерела розподіленого генерування є джерелами вищих гармонік в розподільну електричну мережу. Зумовлено це або конструктивними особливостями, або використанням систем керування на основі тиристорних перетворювачів. Гармонійний склад і величина спотворень залежить від технології силового перетворювача та схеми взаємозв'язків [23]. Останні розробки в цій області, наскільки технічно можливо, дозволяють констатувати мінімальний внесок вищих гармонік в електричну мережу. Ці нові перетворювачі, здатні генерувати майже ідеальну синусоїду, яка, як правило, задовольняє вимоги стандарту IEEE 519-1992.

Оберткові генератори, такі як синхронні генератори є також джерелами вищих гармонік. В залежності від конструкції обмотки генератора (крок витків), не лінійності осердя, заземлення та інших факторів, існує можливість виникнення значного рівня гармонік. Гармоніки кратні трьом є найбільш поширеними. Синхронні генератори часто проектуються з кроком обмотки $2/3$, так як це зменшує рівень гармонік кратних трьом, ніж з іншим кроком. Однак машини з кроком $2/3$ мають менший опір на третій гармоніці, що призводить до протікання більших гармонійних струмів від інших джерел, що працюють паралельно з ним.

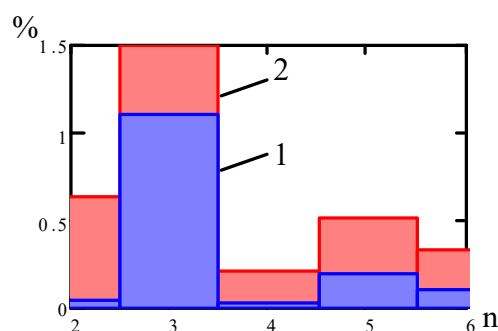


Рисунок 6.5 – Зміна рівня гармонік напруги в мережі

1 – до впровадження сонячної електростанції; 2 – після впровадження сонячної електростанції;

В більшості випадків, через не ідеальність синусоїди напруги і струму в існуючій мережі, навіть незначна ін'єкція вищих гармонік в мережу може призводити до негативних наслідків. Так відповідно до рис. 6.5 гармонійний

склад напруги знаходиться в межах стандарту, хоча відомі випадки перевищення вимог стандарту, резонанси з конденсаторними батареями тощо.

Втрати активної потужності.

Розподілена генерація також буде впливати на втрати активної потужності у фідері. РДЕ можуть бути розміщені в оптимальних місцях, де вони забезпечують максимальне зниження втрат електричної енергії у фідері. Розміщення джерел РГ для мінімізації втрат подібне до розташування статичних конденсаторів для зниження втрат. Різниця лише в тому, що РДЕ впливатимуть як на активні так і реактивні потоки потужності. В основному джерела розподіленої генерації працює з коефіцієнтом потужності в межах від 0,85 до 1,0.

Як зазначалось, для аналізу потоків потужності в електричній мережі з РДЕ необхідне відповідне програмне забезпечення, яке дозволило б моделювати вплив на втрати активної потужності в системі. Оскільки, як показує практика впровадження РДЕ, навіть потужністю порядку 10-20% від попиту фідера може мати значний вплив на зниження втрат в мережі. Хоча, більшість джерел розташовані без визначення оптимального місця приєднання, але подальший розвиток РДЕ просто не можливий без врахування зазначених факторів.

7. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІД ЧАС ВМИКАННЯ ВИМИКАННЯ ФЕС

Відповідно до планів ТОВ «Вінницька птахофабрика» розбудовується фотоелектричними станціями на стрінгових інверторах. На даному, як приклад, було виконано аналіз показників якості електричної енергії в електричних мережах ТОВ «Енергоінвест» для прогнозування можливих спотворень зумовлених впровадженням ФЕС. Спотворення синусоїди струмів та напруг зумовлені технічними особливостями таких джерел енергії, які не заперечуються і виробниками інверторів (на рис. 7.1 наведені дані компанії Huawei щодо сумарного коефіцієнта спотворення синусоїди напруги в різних режимах роботи інверторів).

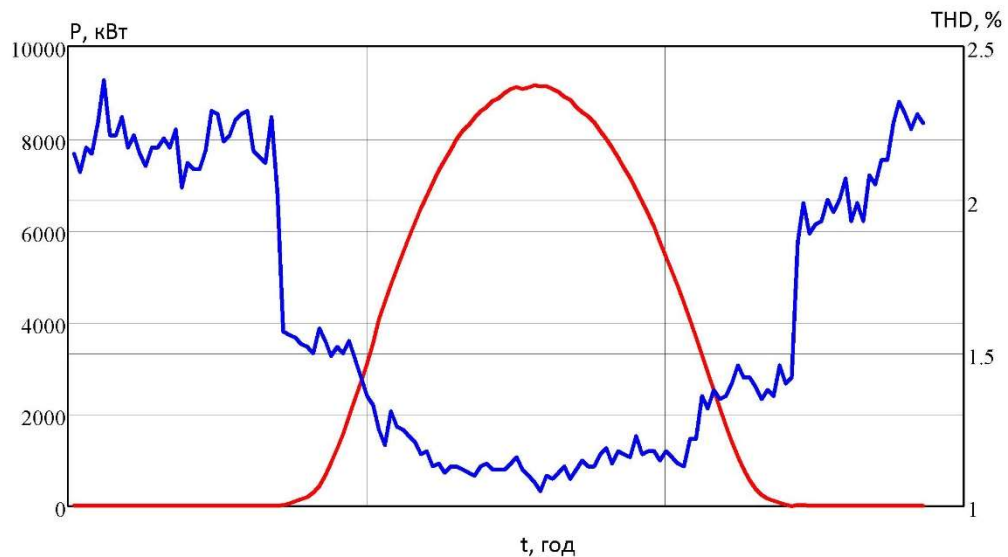


Рисунок 7.1 – Залежність коефіцієнта сумарних спотворень синусоїди напруг THD (синя крива) від завантаження (генерована потужність – червона крива)

Крім цього достатньо не досліджено процеси, які мають місце під час увімкнення та вимкнення ФЕС.

Для виконання аналізу впливу ФЕС, побудованих на стрінгових інверторах, були виконані натурні вимірювання на на ФЕС 2 МВт, яка розташована в Калинівському районі. Результати, показані на рис. 7.2, свідчать про необхідність виконання аналізу можливих спотворень, оскільки вони можуть стати причиною виходу з ладу мережевого обладнання. Це

підтверджується аналізом пошкоджень високовольтного обладнання Південно-Західної електроенергетичної системи, ПАТ "Вінницяобленерго" (див. рис.7.3).

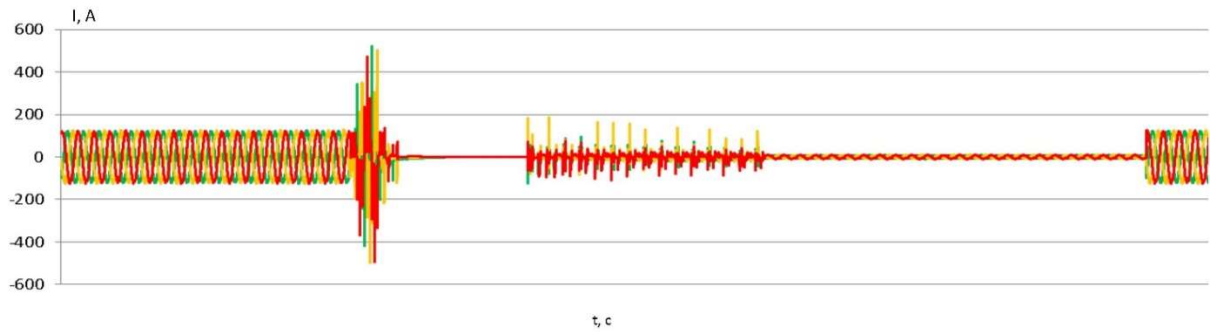


Рисунок 7.2 – Зміна струму під час виконання комутації



1



2



3



4



5



6



7

Рисунок 7.3 – Пошкоджуваність електричного обладнання електроенергетичних систем та підприємств, в яких експлуатуються фотоелектричні станції та джерела розподіленого генерування

На рис. 7.3 показані: 1, 2 – пошкоджені ОПН та розрядник (ПАТ «Вінницяобленерго»); 3, 4 – пошкоджений трансформатор напруги 35 кВ ПЗЕС підстанція «Вінницька 750»; місце пошкодження розрядників 10 кВ; 3, 4 – пошкодження даху будівлі складу внаслідок займання сонячних панелей, що розташовані на даху та спричиненою цим займанням пожежі; 7 – місце пошкодження розрядників 10 кВ на Писарівській сонячній електростанції ТОВ «Він Солар».

7.1 Моделювання вплив ВДЕ на якість електричної енергії

Як зазначалось вплив ВДЕ на якість електричної енергії неоднозначний. Дослідження, за якими можна було б однозначно визначити рівень впливу, не проводились. Фірми, які спеціалізуються на експлуатації, наприклад, сонячні електричні станції (СЕС), запевняють, що вплив, якщо він має місце, мінімальний оскільки все обладнання сертифіковане. Тому, використовуючи засоби Matlab 7.1.1, було проведено моделювання автономної та паралельної роботи інвертра, яким комплектуються сонячні батареї з модулями MCW12060-12 максимальною потужністю модуля 120Вт і габаритними

розмірами 1,411×0,691 м та вплив вітрових електричних станцій (ВЕС) з асинхронними генераторами на напругу в мережі під час пуску.

Використовуючи засоби SimPowerSystems було побудовано відповідні моделі СЕС та ВЕС (вигляд моделей подано в додатку). За мету ставилось проаналізувати сигнал на виході інвертора без його фільтрації при автономній роботі на активне та активно індуктивне навантаження.

Картину зміни вихідного сигналу показано на рисунку 7.4 для активного навантаження та на рисунку 7.5 для активно-індуктивного (зміна струму фази А). Аналіз гармонічного складу отриманих вихідних сигналів, показаний на рисунках 7.6 та 7.7, свідчить про суттєве відхилення від норм якості електричної енергії. Тобто робота інвертора без спеціальної системи фільтрації не допустима навіть в автономному режимі.

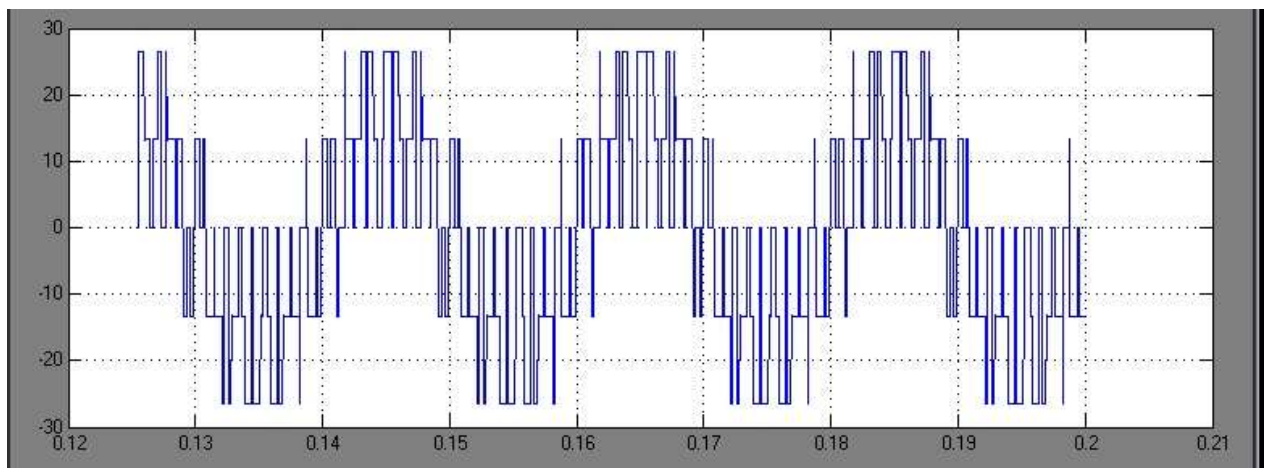


Рисунок 7.4 – Зміна струму на виході інвертора для активного навантаження

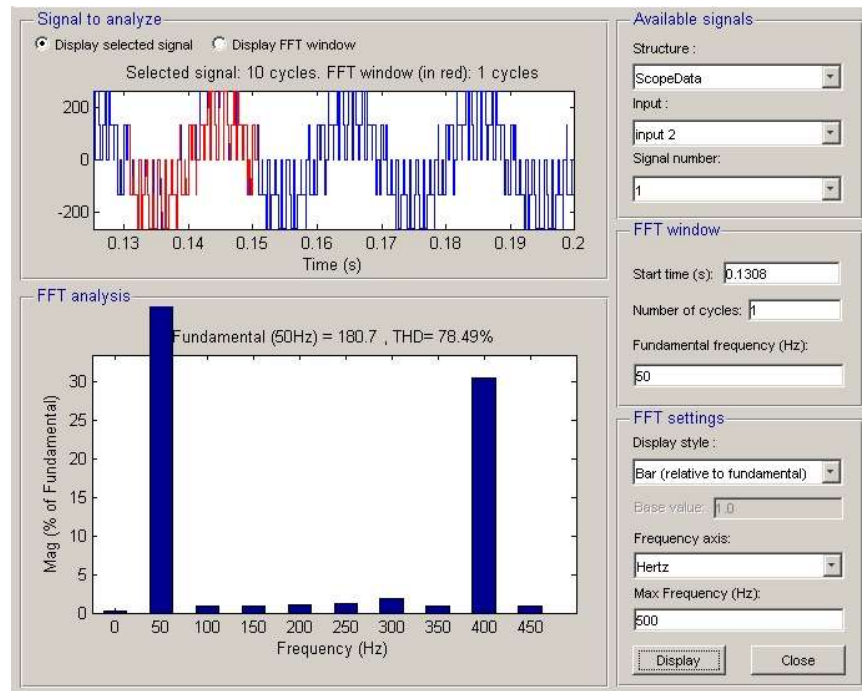


Рисунок 7.5 – Аналіз спектру гармонік

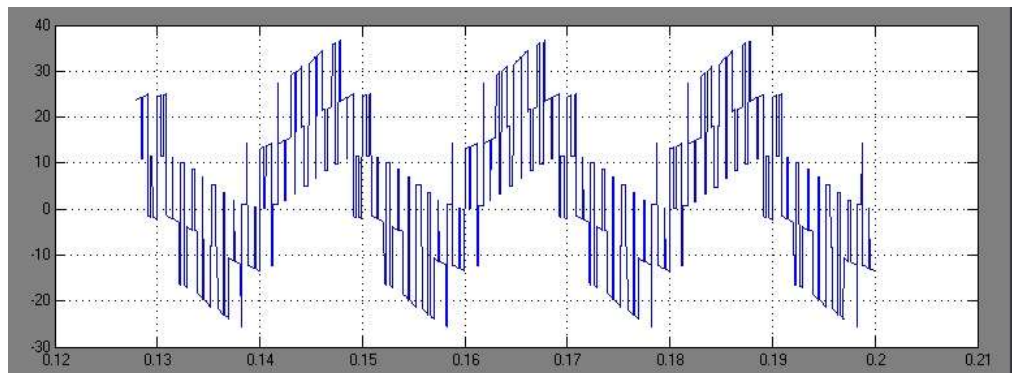


Рисунок 7.6 – Зміна стуму на виході інвертора для індуктивного навантаження

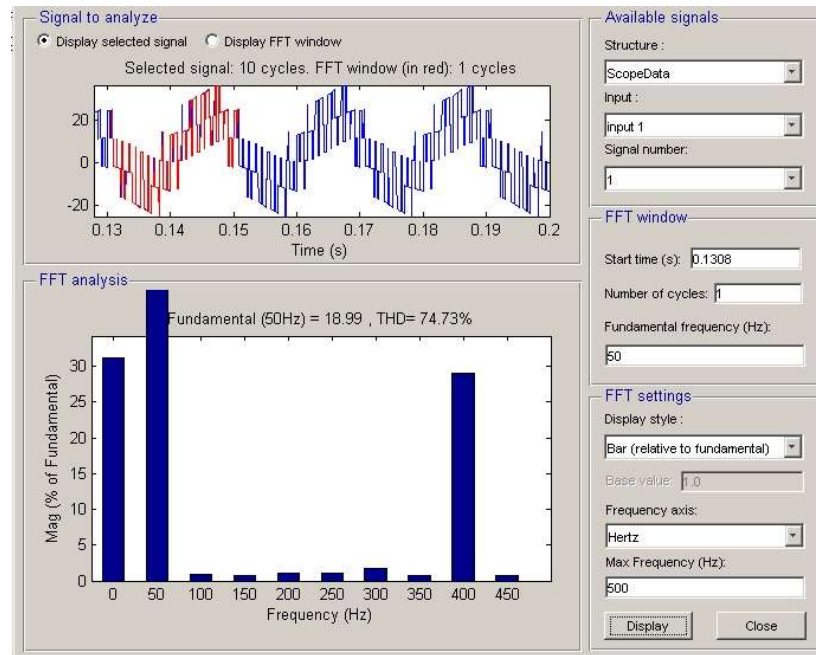


Рисунок 7.7 – Аналіз спектру гармонік

Моделювання з врахуванням фільтрувальних пристроїв показує покращення спектрального складу сигналу (рис. 7.8 та рис. 7.9). Фільтри підбрані так щоб отримати максимально допустиме значення несинусоїдності відповідно до ГОСТ – 13109-97. Це зроблено з метою аналізу взаємовпливу СЕС та розподільної електричної мережі.

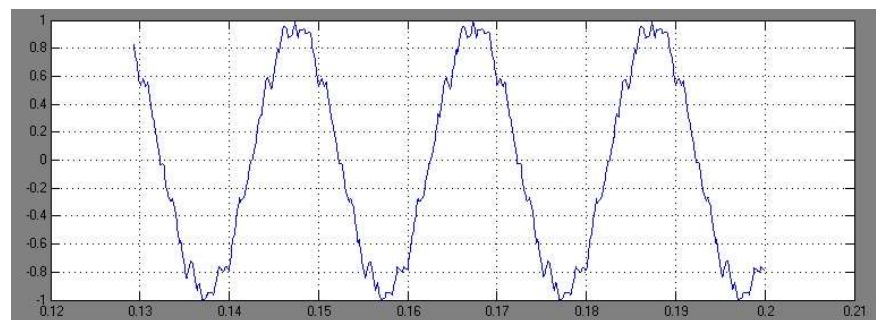


Рисунок 7.8 – Зміна напруги на виході інвертора для активного навантаження після фільтрації

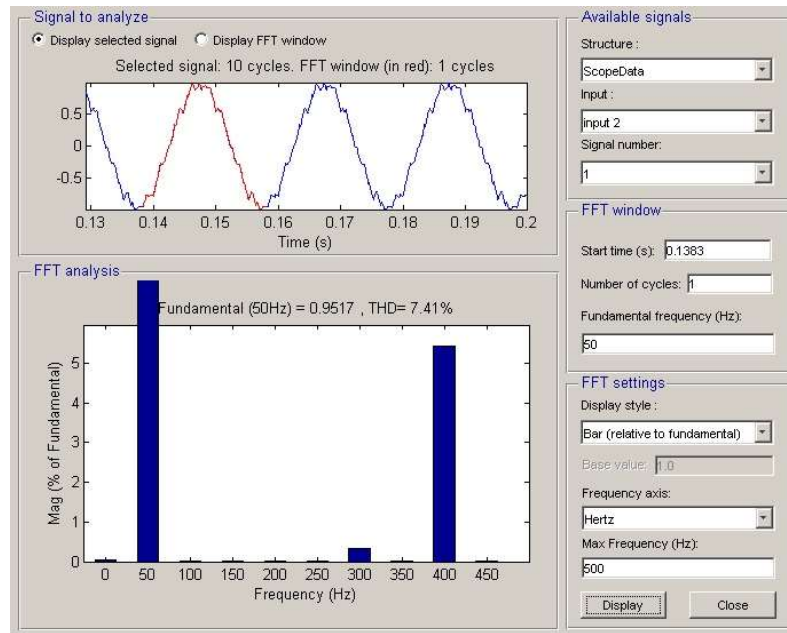


Рисунок 7.9 – Аналіз спектру гармонік

Отже якщо прийняти, що в мережі ідеально симетрична напруга, то під час підключення СЕС з сигналом на виході відповідно рисунку 7.8 напруга в мережі буде спотворюватись (рис. 7.10).

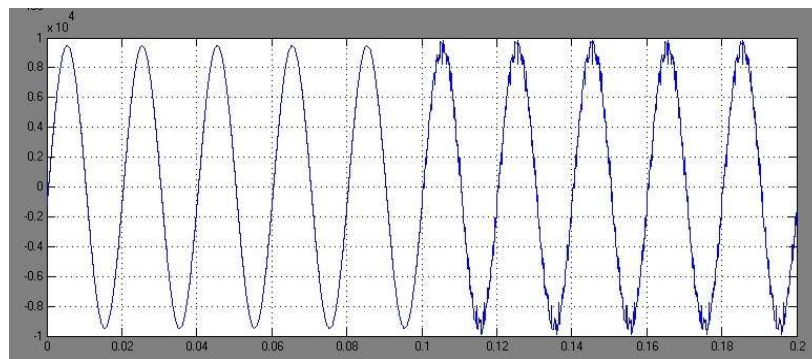


Рисунок 7.10 – Зміна напруги в мережі під час синхронізації з системою

Спектральний аналіз (рис. 7.11) дозволяє констатувати загальне покращення якості електричної енергії порівняно з аналізом показаним на рисунку 7.8. Отже можна зазначити, що має місце взаємовплив СЕС та системи за якістю електричної енергії. Параметри якості електричної енергії можуть змінюватись як вкращу сторону так і в гіршу.

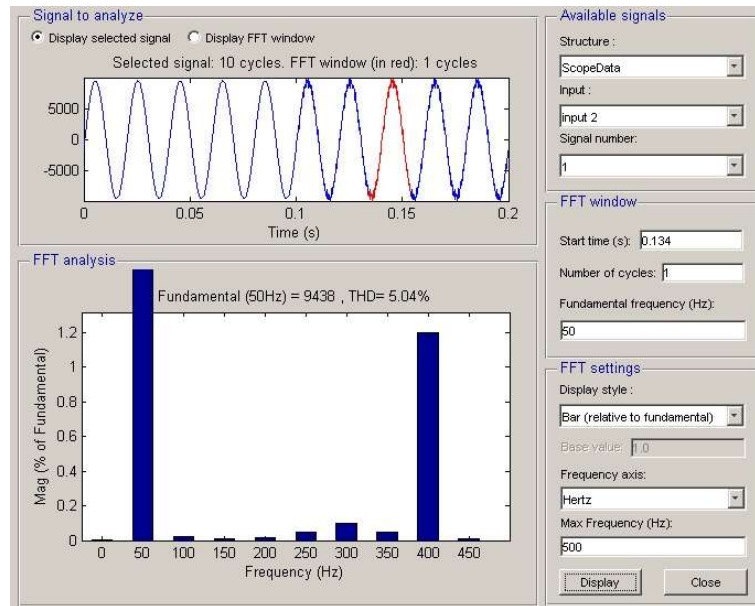


Рисунок 7.11 – Аналіз спектру гармонік

Результати моделювання пуску і підключення до мережі ВЕС з асинхронними генераторами (рис. 7.12) показують значний вплив на коливання напруги в мережі.

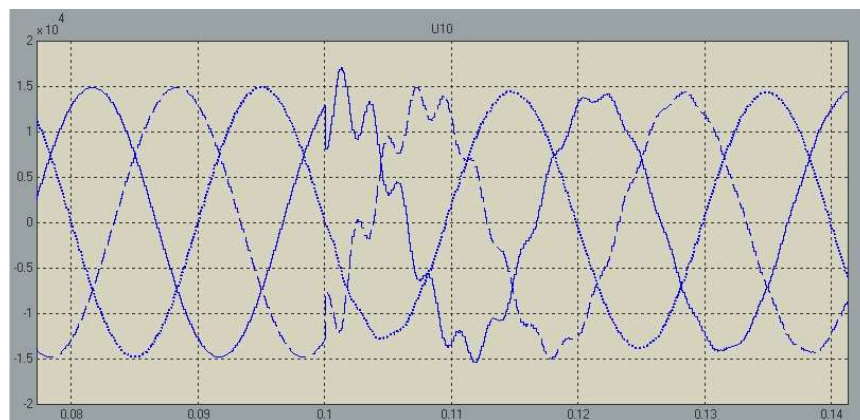


Рисунок 7.12 – Зміна напруги в мережі під час підключення ВЕС

Отже, якщо окремо на виході ВДЕ і в мережі вимоги з якості забезпечені, то не факт що під час їх паралельної роботи вимоги ГОСТу будуть забезпечені.

8. ВПЛИВ ЯЕ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Такі ПЯЕ, як відхилення напруги й частоти, несинусоїдність і несиметрія напруг і струмів, впливають на втрати потужності й електроенергії в електричних мережах.

Для визначення звітних втрат електроенергії ΔW враховують технічні, технологічні й комерційні втрати. Звітні втрати визначають як різниця електроенергії, що прийшла в мережу $W_{o.c}$ і електроенергії, відпущеної з мережі й оплаченої споживачем $W_{o.n}$.

Технічні втрати ΔW_T , обумовлені витратою на власні потреби підстанцій $W_{ВП}$, і втрати $W_{вим}$ обумовлені інструментальними похибками вимірів, становлять технологічні втрати, тому що визначаються технологічними потребами процесу передачі електроенергії по мережах і інструментального обліку її надходження й відпуску. Комерційні втрати, рівні $\Delta W_k = \Delta W - \Delta W_T - W_{ВП} - W_{вим}$ являють собою результат впливу "людського фактора" і містять у собі розкрадання електроенергії, повну або часткову несплату спожитої енергії й т.п.

У технологічних втратах можна умовно виділити додаткові складові, обумовлені відхиленнями режимів роботи електроустаткування й вимірювальних приладів від номінальних або нормованих. Одним з факторів, що приводять до таких відхилень режимів, є погіршене ЯЕ.

Погіршення ЯЕ приводить до додаткових комерційних втрат. До них відноситься частина енергії, параметри якої не відповідають вимогам нормативних документів або договору енергопостачання і яку абонент має право не оплачувати. У цей час така складова втрат при розрахунках за електроенергію не враховується.

Для розуміння сутності й принципів вимірювання додаткових технологічних втрат у несинусоїдальних і несиметричних режимах необхідно розглянути баланс потужності в системі. На рис. 8.1 наведено спрощену схему електричних систем, що містить спотворююче та неспотворююче навантаження. Спотворююче навантаження, споживаючи електроенергію на основній частоті

прямої послідовності перетворить частину її в енергію спотворень, обумовлену вищими гармоніками струму й струмами зворотної й нульової послідовності, і передає назад у мережу, що приводить до появи додаткових втрат [5, 6].

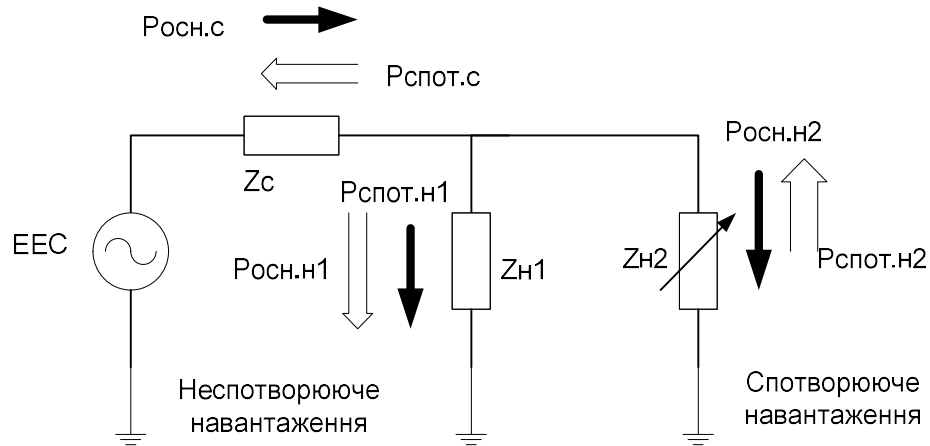


Рисунок 8.1 – Напрямок активних потужностей у системі при спотворюючому навантаженні

Z_c , $Z_{н1}$, $Z_{н2}$ – опір відповідно енергосистем, що неспотворюючого і спотворюючого навантаження; $P_{осн.с}$, $P_{осн.н1}$, $P_{осн.н2}$ – активні потужності на основній частоті прямої послідовності відповідно енергосистеми, неспотворюючого і спотворюючого навантаження; $P_{иск.с}$, $P_{изик.н1}$, $P_{изик.н2}$ – активні потужності спотворень, обумовлені режимами роботи спотворюючого навантаження.

Складові потужності визначаються за струмами і напругами вищих гармонік і симетричних складових:

- для чотирьохпроводних мереж (фазні струми й напруги)

$$P_1 = \sqrt{3}U_1I_1 \cos\varphi_1; \quad P_2 = 3U_2I_2 \cos\varphi_2; \quad P_0 = 3U_0I_0 \cos\varphi_0;$$

$$P_{n\Sigma} = \sum_{ABGn=2} \sum U_n I_n \cos\varphi_n;$$

- для трьохпроводних мереж (лінійні струми й напруги)

$$P_1 = \sqrt{3}U_1I_1 \cos\varphi_1; \quad P_2 = \sqrt{3}U_2I_2 \cos\varphi_2; \quad P_{n\Sigma} = \sum_{n=2} \sqrt{3}U_n I_n \cos\varphi_n.$$

Розрахунки й аналіз втрат проводяться на відповідній частоті гармоніки або послідовності симетричної складової. Активна складова потужності характеризує необоротні перетворення електричної енергії в інші види енергії й при несинусоїдних і несиметричних струмах і напругах у трифазній системі рівна

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_{n\Sigma} + P_2 + P_0.$$

Прийнявши, що енергія вищих гармонік і зворотної (нульової) послідовності практично не робить корисної роботи, для довільного електроприймача або фрагмента електричної системи додаткові втрати потужності потрібно розглядати як суму потужностей спотворень

$$\Delta P_{\text{дон}} = P_{n\Sigma} + P_2 + P_0.$$

Навантажувальні втрати активної потужності ΔP_n в елементі мережі з опором r залежать від напруги U

$$\Delta P_n = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} r,$$

де P і Q – активна й реактивна потужність (7).

Втрати холостого ходу ΔP_x в елементі можна визначити $\Delta P_x \approx U_n^2 g$, де U_n – напруга на елементі (лінії, компенсуючі пристрої і т.п.) або на стороні вищої напруги трансформатора; g – провідність елемента.

Як впливає з (5) – (6) для зниження навантажувальних втрат необхідно підвищувати напругу, а для зниження втрат холостого ходу – знижувати напругу.

Оптимальні значення напруг, відповідні до мінімальних втрат, для ЕЕС залежать від структури й режимів роботи її мереж усіх класів напруги. У мережах напругою 110 кВ і вище навантажувальні втрати можуть бути порівнянні із сумою втрат холостого ходу й кліматичних втрат, а в мережах напругою 6–35 кВ втрати холостого ходу й кліматичні домінують над навантажувальними.

Додаткові технічні втрати в мережі при несинусоїдній напрузі менш 5 % незначні, а при зростанні K_U до 7–15 % втрати від вищих гармонік можуть досягати 10–12 % сумарних втрат потужності [8]. У мережах електрифікованого залізничного транспорту рівень додаткових втрат активної потужності від вищих гармонік може становити 10–15 % втрат на основній частоті [9]. Найбільші втрати від вищих гармонік в елементах СЕП виникають у резонансних режимах.

Несиметрія напруги приводить до збільшення втрат потужності й електроенергії у всіх елементах електричної мережі, що обумовлене протіканням струмів зворотної й нульовий послідовностей. Наприклад, при $K_{2U} = 2\%$ додаткові втрати в обмотках асинхронних двигунів $\Delta P_{\text{доб}}$ становлять 8 % основних втрат прямої послідовності $\Delta P_{\text{осн}}$, а при $K_{2U} = 5\%$ $\Delta P_{\text{доб}}$ дорівнюють половині $\Delta P_{\text{осн}}$ [10].

Таким чином, для оцінки ефективності передачі й розподілу електроенергії при погіршеній ЯЕ необхідно враховувати і її додаткові втрати.

9. ВПЛИВ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГ І СТРУМІВ НА ПРИЛАДИ ОБЛІКУ

Існуючі в цей час прилади обліку електроенергії можна умовно класифікувати відповідно до елементної бази, на основі якої вони виготовлені, і вимірювальними принципами, що дозволяють здійснювати облік. На рис. 9.1 наведена класифікація існуючих приладів обліку. Вплив якості електроенергії на прилади обліку різних класів по-різному.

Як ми вже відзначали, при вимірі активної потужності нелінійного навантаження $P_{нл}$ мають місце два зустрічні потоки потужності:

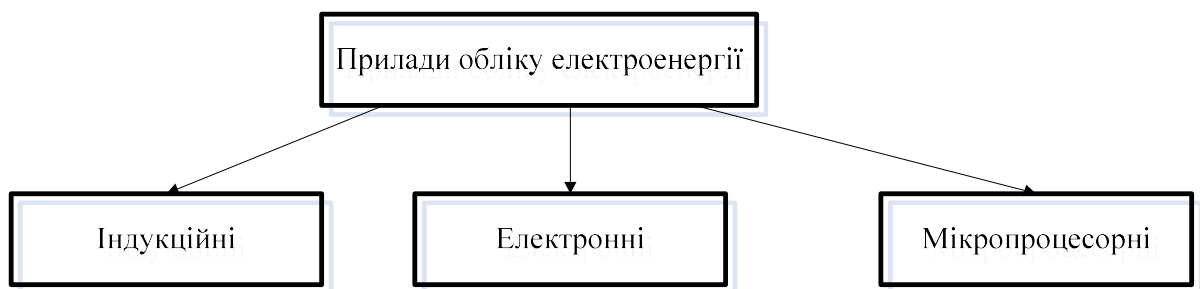


Рисунок 9.1 – Класифікація приладів обліку електроенергії

потужність, споживана з мережі P_l , і потужність вищих гармонік $\sum P_{(n)}$.

Нелінійне навантаження потужністю $P_{нл}$ є джерелом вищих гармонік, тому

$$P_{нл} = P_1 - \sum_2^n P_n \quad (7)$$

Лінійне навантаження при несинусоїдальній напрузі можна визначити

$$P_l = P_1 - \sum_2^n P_n \quad (8)$$

Частотна характеристика похибки індукційного лічильника на частоті n -ї гармоніки апроксимується виразу $\gamma_n = \alpha[\exp(\beta n) - 1]$, де $\alpha = 1,28$ і $\beta = 1,19$ (рис. 9.2) [11].

Відповідно до цієї характеристики й (7) при обліку електроенергії, споживаним нелінійним навантаженням, відбувається деякий її переоблік, а для лінійного навантаження (8) при несинусоїдальній напрузі – недооблік. Таким чином, споживач із навантаженням, що спотворює, оплачує погіршення ЯЕ в електричній мережі, якщо в точці комерційного обліку встановлений індукційний прилад обліку. Однак у цілому баланс значень переобліків (недообліків) в енергосистемі не встановлюється.

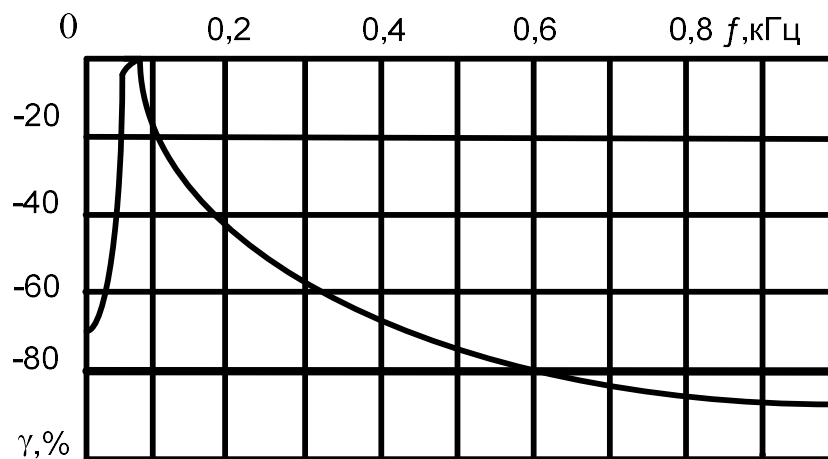


Рисунок 9.2 – Частотна характеристика індукційного лічильника

Електронні й мікропроцесорні прилади обліку, на відміну від індукційних, ураховують напрямок потужностей вищих гармонік у точці обліку. В [12] приводяться результати випробувань електронних і цифрових приладів обліку. Випробовувалися лічильники різних типів: Альфа А1Т-3-00С1-Т, Евроальфаеа05 11 АТЗРЗз3, ЦЭ568055В, Сэтза-01-01, СТЭ-560, «Меркурій-2002», СЭБ-2А.00.2, СЭБ-2А.05.2. До симетричних сигналів струмів і напруг основної частоти додавалися сигнали струмів і напруг п'ятої й сьомий гармонік при різних комбінаціях амплітуд і фаз. Зміни амплітуди й фаз вищих гармонік проявлялися в зміні знаків їх потужностей.

Відповідно до рис. 8 і формулами (7) і (8) знак активної потужності гармоніки в точці вимірювання вказує на розташування домінуючого джерела спотворень. Опираючись на дане положення, автор [12] експериментально

підтвердив, що показання електронних і цифрових приладів обліку в ланцюзі з навантаженням-джерелом гармонік, менше енергії, спожитим цим навантаженням на основній частоті, на значення суми енергії вищих гармонік. І, навпаки, при підключенні лінійного навантаження до джерела несинусоїдальної напруги значення врахованої електроенергії буде більше на суму енергій спотворень, що надходять із боку живильної системи. Тому споживач із джерелом спотворень буде платити менше за електроенергію, а споживач, що одержує електроенергію вищих гармонік, буде платити більше, чим у тому випадку, коли його живлення здійснюється синусоїдальною напругою.

Таким чином, облік активної електроенергії при несинусоїдальних режимах зв'язаний зі значними похибками, які оцінюються в 5–6 %. Однак численні виміри ПЯЕ й складових потужності, виконані авторами в системах 0,4– 500 кВ що містять нелінійні навантаження показали, що в більшості випадків потужності вищих гармонік у точках обліку не перевищують 0,5 % потужності на основній частоті.

Наприклад, в введеннях напругою 10 кВ промислового підприємства ($K_U = 7+16 \%$, $K_I = 2,5-8,5 \%$, переважали 11-та й 13-та гармоніки) суми активних потужностей вищих гармонік $P_{n\Sigma}$ становили 0,017–0,22% потужності на основній частоті. Враховуючи, що потужність навантаження кожного введення становить 40–60 МВт, а в точках обліку встановлені сучасні цифрові прилади обліку класу точності 0,2, можна чекати, що енергосистема через вищі гармоніки в СЕП промислового підприємства щорічно недоодержує рахунок оплати за електроенергію кілька мільйонів гривень.

Виходом з цієї ситуації є застосування мікропроцесорних приладів обліку, що дозволяють роздільно враховувати енергію основної частоти, по якій слід проводити оплату, і енергію вищих гармонік. На українському ринку такі лічильники вже з'явилися.

10. РОЗРАХУНОК ПРИПУСТИМОГО ВНЕСКУ ПО ПЯЕ

Розглядаючи взаємини між окремим споживачем і енергопостачальною

організацією щодо границі поділу балансової приналежності (точка контролю), систему електропостачання необхідно представити у вигляді двох підсистем. При цьому інші споживачі умовно входять до складу енергопостачальної організації.

Відповідно до рекомендацій припустимий внесок підсистеми в значення ПЯЕ в точці підключення визначається за формулою:

$$ПВ = П_H (d_n d_{ПКЭ})^{1/a}$$

де $П_H$ – нормоване значення ПЯЕ для розглянутої мережі; d_n – відношення дозволеної потужності споживача до пропускної здатності мережі в точці контролю; $d_{ПКЭ}$ – частка нормованого значення ПЯЕ, розглянута як сумарний внесок споживачів, що живляться від розглянутої точки, інша частина вважається припустимим внеском енергопостачальної організації; a – показник ступеня, що характеризує порядок додавання векторів викривлення, чисельні значення якого наведено в табл. 10.1.

При розрахунку ПВ у коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності приймають $d_{ПКЭ} = 1$.

При розрахунку ПВ у коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності, коефіцієнт викривлення синусоїдності кривої напруги й коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги значення $d_{ПКЭ}$ визначають за формулою:

$$d_{ПКЭ} = \frac{1}{1 + \frac{S_{kH}}{S_{kB}}}$$

де S_{kH} – потужність трифазного короткого замикання в точці контролю;

S_{kB} – те ж, у точці приєднання розглянутої мережі до мережі високої напруги.

Таблиця 10.1 – Значення показника ступеня a

Показник якості електроенергії	Значення a
Коефіцієнти несиметрії напруг по зворотній і нульовій послідовності	2
Коефіцієнти несиметрії напруг по зворотній і нульовій послідовності $n = 3, 5, 7$ $n = 9, 11, 13$ $n > 13$ (непарне) $n =$ парне	1 1,4 2 2
Коефіцієнт n -ї гармонійної складової напруги, створюваної іншими ЕП (не перетворювачами) при будь-якому n	2
Коефіцієнт викривлення синусоїдності кривої напруги, створюваний гармоніками: 6-пульсних перетворювачів і тиристорних регуляторів напруги 12-пульсних перетворювачів інших ЕП	1.3 1.6 2
Доза флікера	1

Пропускна здатність мережі при живленні споживача від шин центру живлення, що належить енергопостачальній організації, приймають рівною:

- номінальній потужності трансформатора, встановленого в ЦЖ, при визначенні d_n для споживача, що живиться від однострансформаторної підстанції;
- 70 % номінальної потужності підстанції при визначенні d_n для споживача, що живиться від двохтрансформаторної підстанції з нормально включеним міжсекційним вимикачем;
- 70 % номінальної потужності одного трансформатора при визначенні d_n для споживача, що живиться від однієї із секцій підстанції з нормально відключеним міжсекційним вимикачем (при живленні споживача від обох секцій такої підстанції ПВ визначають для кожної секції з урахуванням навантаження, що приходить на секцію).

Для трьохобмоткового трансформатора значення d_n визначають окремо для шин середньої й низької напруги трансформатора з урахуванням

дозволеної потужності на кожній шині.

При визначенні ПВ на шинах первинної напруги підстанції, що належить споживачеві, використовують значення пропускної здатності мережі, до якої приєднана підстанція.

При живленні споживача від шин генераторної напруги пропускну здатність мережі визначають як установлену потужність генераторів станції, призначених для покриття місцевого навантаження. Якщо встановлена потужність генераторів менше сумарної потужності споживачів, що живляться від шин генераторної напруги, пропускну здатність мережі визначають як суму встановленої потужності генераторів станції й трансформаторів зв'язку станції з енергосистемою.

У випадках більш складних схем електропостачання значення пропускної здатності мережі визначає енергопостачальна організація й надає споживачеві відповідне обґрунтування.

Значення показника ступеня a характеризують порядок додавання векторів викривлення для електроприймачів одного типу. Якщо вищі гармоніки створюються різними типами електроприймачів, значення показника a при визначенні ПВ у коефіцієнт викривлення синусоїдності розраховують за виразом:

$$a = 1.3d_6 + 1.6d_{12} + 2d_D$$

Для коефіцієнта гармонічної складової n -го порядку показник a визначають за формулою:

$$a = a_n(d_6 + d_{12}) + 2d_D$$

де d_6 , d_{12} і d_D – частки навантаження 6- і 12-пульсних перетворювачів і інших спотворюючих електроприймачів у сумарному навантаженні цих електроприймачів ($d_6 + d_{12} + d_D = 1$); a_n – значення a , що відповідає розглянутій гармонічній складовій, створюваної перетворювачами.

При відсутності даних про структуру ЕП вищі гармоніки, що

генеруються, приймають:

- при розрахунку ПВ у коефіцієнт викривлення синусоїдності кривої напруги $a = 1,3$;
- при розрахунку ПВ у коефіцієнт n -ї гармонічної складової значення a , що відповідає n -ї гармонічної складової, створюваної перетворювачами.

Вимоги до якості електроенергії, одержуваної по міжсистемних (міжмережевим) зв'язкам однієї енергопостачальною організацією від іншої, відображають у договорах між цими організаціями. Якість електроенергії в точці її продажу визначається складом споживачів і електроустаткування обох сторін. Припустимі внески кожної зі сторін у коефіцієнти гармонічних складових напруги, викривлення синусоїдності кривої напруги й несиметрії напруг по зворотній послідовності визначають за формулою:

$$ДВ = П_H d_{ПКЭ}^{1/a}$$

де $d_{ПКЭ}$ – частка ГПСУ, яка виноситься на розглянуту сторону (при відсутності даних для її визначення приймають $d_{ПКЭ} = 0,5$).

Для споживачів, відношення дозволеної потужності яких до пропускної здатності мережі в точці приєднання $d_{П} \leq 0,2$, припустимий внесок рекомендується виражати у вигляді припустимого значення струму (потужності) викривлення, що відповідає розглянутому ПЯЕ.

Приклад розрахунку припустимого внеску по ПЯЕ

Для розрахунку вимог до ЯЕ, що включаються в договір енергопостачання, визначити припустимий внесок для кожного споживача (ДВС) і припустимий внесок зовнішньої системи електропостачання (ДВС) у точці загального приєднання (рис. 10.3).

Вихідні дані.

$S_T = 16000$ кВа;

$S_{кН} = 100$ МВА – потужність КЗ на шинах 10 кВ;

$S_{кВ} = 2500$ МВА – потужність КЗ на шинах 110 кВ.

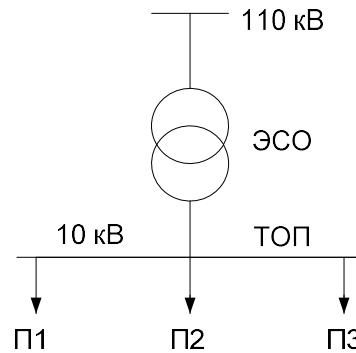


Рисунок 10.3 – Схема приєднання споживачів П1, П2, П3 у Топ:
ЕПО – енергопостачальна організація

Таблиця 10.2 – Значення ПЯЕ для мережі $U_{ном} = 10$ кВ (ГОСТ 13109–97)

ПЯЕ	Нормально припустиме, %	Гранично припустиме, %
$KU_{(5)}$	4	6
$KU_{(1)}$	2	3
KU	5	8
K_{2U}	2	4

Заявлені потужності споживачів за договором (максимум навантаження):

$$S_{П1} = 2500 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{П2} = 3500 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{П3} = 6000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Оцінку припустимого внеску необхідно провести для таких ПЯЕ:

- $K_{U(5)}$ і K_U для П1 (тягова ПС має 6-пульсні перетворювачі);
- $K_{U(1)}$ і K_U для П2 (комплексне навантаження);
- K_{2U} і K_U для П3 (комплексне навантаження).

Розв'язок.

1. Визначимо значення $d_{ПКЭ}$ на шинах 10 кВ як частку нормованого значення ПЯЕ, розглянуту в якості сумарного припустимого внеску,

створюваного всіма споживачами:

$$d_{\text{ПКЭ}} = \frac{1}{1 + \frac{S_{\text{кН}}}{S_{\text{кВ}}}} = \frac{1}{1 + \frac{100}{2500}} = \frac{1}{0,4} = 0,96$$

При цьому частка енергопостачальної організації
 $d_{\text{ЭСОПКЭ}} = 1 - 0,96 = 0,04$

2. Визначимо відносини дозволеної потужності кожного споживача до пропускної здатності мережі в точці контролю:

$$d_{\text{П1}} = \frac{S_{\text{П1}}}{S_{\text{т}}} = \frac{2500}{16000} = 0,156;$$

$$d_{\text{П2}} = \frac{3500}{16000} = 0,219;$$

$$d_{\text{П3}} = \frac{6000}{16000} = 0,375.$$

3. Визначимо припустимі внески.

3.1. Для споживача П1. Для тягової підстанції значення показника ступені a (див. табл. П.6.1) становлять: для $K_{U(5)}$ $a = 1$, для K_U $a = 1,3$. У такий спосіб можна визначити ДВС:

— за коефіцієнтом 5-ї гармоніки напруги:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = \Pi_{\text{норм}} (d_{\text{П1}} d_{\text{ПКЭ}})^{1/a} = 4(0,156 \cdot 0,96)^{1/1} = 0,6\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = \Pi_{\text{пред}} (d_{\text{П1}} d_{\text{ПКЭ}})^{1/a} = 6(0,156 \cdot 0,96)^{1/1} = 0,9\%.$$

— за коефіцієнтом викривлення синусоїдності форми кривої напруги:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = 5(0,156 \cdot 0,96)^{1/1,3} = 1,16\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = 8 \cdot 0,232 = 1,856\%.$$

3.2. Для споживача П2

— за коефіцієнтом 11-ї гармоніки напруги:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = 2(0,219 \cdot 0,96)^{1/2} = 0,918\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = 3 \cdot 0,459 = 1,377\%.$$

— за коефіцієнтом викривлення синусоїдності форми кривої напруги:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = 5(0,219 \cdot 0,96)^{1/2} = 2,29\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = 8 \cdot 0,459 = 3,67\%.$$

3.3. Для споживача ПЗ

— за коефіцієнтом несиметрії напруги за зворотною послідовністю:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = 2(0,375 \cdot 0,96)^{1/2} = 1,2\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = 4(0,375 \cdot 0,96)^{1/2} = 2,4\%.$$

— за коефіцієнтом викривлення синусоїдності форми кривої напруги:

$$\text{ДВП}_{\text{норм}} = 5(0,375 \cdot 0,96)^{1/2} = 5 \cdot 0,6 = 3\%;$$

$$\text{ДВП}_{\text{пред}} = 8 \cdot 0,6 = 4,8\%.$$

4. Визначимо сумарний внесок споживачів

— за коефіцієнтом викривлення синусоїдності форми кривої напруги:

$$\text{ДВП}_{\Sigma} = \left[(\text{ДВП}_1)^a + (\text{ДВП}_2)^a + (\text{ДВП}_3)^a \right]^{1/a}$$

Показник ступеня a визначимо, виходячи з того, що на шинах 10 кВ підключене змішане навантаження. Тоді

$$a = 1,3d_6 + 1,6d_{12} + 2d_{\text{пр}};$$

$$d_{12} = 0;$$

$$d_6 = \frac{S_{\text{П1}}}{\sum S_{\text{П}}} = \frac{2500}{2500 + 3500 + 6000} = 0,21;$$

$$d_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{П3}} + S_{\text{П2}}}{\sum S_{\text{П}}} = 0,79;$$

$$a = 1,3 \times 0,21 + 0,6 \times 0 + 2 \times 0,79 = 1,853.$$

Таким чином, сумарний внесок споживачів у коефіцієнт викривлення синусоїдності кривої напруги

$$\begin{aligned} \text{ДВП}_{\Sigma \text{ норм}} &= (1,16^{1,853} + 2,29^{1,853} + 3^{1,853})^{1/1,853} = \\ &= (1,32 + 1,64 + 7,65)^{1/1,853} = 13,61^{0,54} = 4,09\% \end{aligned}$$

не перевищує нормально припустимого рівня ПЯЕ на шинах 10 кВ

$K_U = 8\%$. у цьому випадку

$$\begin{aligned} \text{ДВП}_{\Sigma_{\text{пред}}} &= (1,856^{1,853} + 3,67^{1,853} + 4,8^{1,853})^{1/1,853} = \\ &= (3,14 + 11,13 + 18,3)^{0,54} = 6,56 \% \end{aligned}$$

і не перевищує гранично припустимого рівня ПЯЕ на шинах 10 кВ $K_U = 8\%$.

Отже, нормально й гранично припустимий внесок усіх споживачів на шинах 10 кВ не перевищує нормативних значень, установлених ГОСТ 13109–97.

Якщо не враховувати, що в точці загального приєднання підключене змішане навантаження, то сумарний нормально припустимий внесок усіх споживачів по K_U можна визначити:

$$\begin{aligned} \text{ДВП}_{\Sigma} &= \Pi [d_{\text{ПКЭ}} (d_{\text{П1}} + d_{\text{П2}} + d_{\text{П3}})]^{1/a} = 5 [0,96(0,156 + 0,219 + 0,375)]^{1/2} = \\ &= 5(0,96 \cdot 0,75)^{0,5} = 4,2 \%. \end{aligned}$$

Визначимо нормально припустимий внесок ЕПО по K_U :

$$\text{ДВП}_{\text{ЭСО}} = \left[\Pi_{\text{норм}}^a - (\text{ДВП}_{\Sigma})^a \right]^{1/a} = \left[5^{1,85} - 4,09^{1,85} \right]^{0,54} = 2,65\%.$$

11. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цій магістерській роботі аналізується вплив схеми мережі на розподіл кондуктивних завад. Згідно ГОСТ 12.003-74, на операторів, які здійснюють розрахунки електричних мереж, впливають наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори.

Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- нестача природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може виникнути через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційне перевантаження).

11.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації обладнання

11.1.1 Вимоги до організації робочих місць операторів

Організація робочого місця користувача ПК має відповідати ергономічним вимогам ГОСТ 12.2.032. ССБТ. “Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования”, ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСан Пін 3.3.2.007-98, характеру та особливостям трудової діяльності.

Площа одного робочого місця користувача ПК повинна складати не менше 6 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 .

Конструкція робочого місця користувача ПК повинна відповідати сучасним вимогам ергономіки, характеру виконуваної роботи і забезпечити оптимальне розміщення на робочій поверхні документів, рухомого пюпітра (тримача документів) та обладнання ПК (монітора, системного блоку, клавіатури, пристрою “миша”, принтера та інших периферійних пристроїв з урахуванням їх кількості та конструктивних особливостей (мал.6).

Монітор на робочому місці встановлюється так, щоб верхній край екрана знаходився на рівні очей.

Розташування монітора ПК має забезпечувати: безпечність роботи в цілому; зручність та ефективність зорової роботи з екраном в вертикальній площині під кутом $\pm 30^{\circ}$ від лінії зору, площа екрана при цьому має бути перпендикулярною нормальній лінії зору користувача.

Клавіатура розміщується на поверхні столу або висувній полиці на відстані 100-300мм від краю, ближчого до користувача. Кут нахилу клавіатури має бути в межах $5-15^{\circ}$. Поверхня клавіатури повинна бути матовою з коефіцієнтом відбиття 0,4. Клавіші клавіатури мають бути зручними в роботі і м'якими при натисканні (хід всіх клавіш має бути однаковим з мінімальним опором натискання 0,25Н та максимальним – не більше 1,5Н).

Оптимальна робоча поза:

- ступні ніг – на підлозі або на підставці для ніг (застосування підставки є обов'язковим для тих, у кого ноги не дістають до підлоги, коли робоче сидіння знаходиться на висоті, потрібній для забезпечення оптимальної робочої пози);
- стегна – в горизонтальній площині;
- передпліччя – вертикально;
- лікті – під кутом $70-90^{\circ}$ до вертикальної площини;
- зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини;
- нахил голови – $15-20^{\circ}$ відносно вертикальної площини.

Робочий стіл, крісло і інші елементи обладнання робочого місця повинні бути зручними для вас. Так, наприклад, незручне крісло в якому ви сидите багато годин на день, може призвести до розвитку самих різних захворювань.

Глибина на рівні колін не менше 450, а на рівні витягнутої ноги – не менше 650.

Висота поверхні сидіння робочого крісла має регулюватися в межах 400-500 мм, а кут нахилу поверхні – від 15° вперед і до 5° назад.

При виконанні великого обсягу роботи кращим варіантом (для хребта) буде, якщо сидіння буде трошки нахилене вперед.

Кут нахилу спинки крісла повинен регулюватися в межах $0-30^{\circ}$ відносно вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння повинна регулюватися в межах 260-400 мм.

Для зниження статичного напруження м'язів рук доцільно застосовувати стаціонарні або знімні підлокітники, що регулюються по висоті над сидінням в межах 230 ± 30 мм та по відстані між підлокітниками в межах 350-500 мм.

Поверхня сидіння і спинки робочого крісла має бути напівм'якою з нековзким та повітронепроникним покриттям, що неелектризується та добре чиститься.

Підставка для ніг має бути регульованою по висоті в межах 150 мм, з кутом нахилу опорної поверхні в межах 20° . Її розміри: ширина – не менше 300мм, глибина – не менше 400 мм. Підставка повинна мати не слизьку поверхню та бортик на передньому краї заввишки 10 мм.

Робоче місце користувача ПК необхідно розташовувати відносно світлових прорізів (вікон) так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва.

11.1.2 Електробезпека

Живлення силового обладнання та системи освітлення здійснюється від чотирьохпровідної трифазної мережі 380 х 220В (фазна напруга (фаза – "0") – 220В, а міжфазна лінійна (фаза – фаза) – 380В).

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі;

покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізолюваними ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

Обладнання повинно бути надійно заземлене. Справність і опір контуру заземлення один раз на рік перевіряється.

Всі обертові частини механізму повинні мати добре закріплену огорожу. Забороняється виконувати всі види ремонту під час роботи установки.

Для надання першої медичної допомоги при нещасних випадках повинна бути аптечка з набором необхідних перев'язочних матеріалів та медикаментів.

Під час роботи, пов'язаної з дотиком до струмовідних частин електродвигуна, що обертаються, і механізму, який вони приводять в рух, необхідно зупинити двигун і на його пусковому пристрої або ключі керування, якщо можливе обертання електродвигунів від з'єднаних з ним механізмів, слід зачинити і замкнути на замок засуви і шибери цих механізмів, а також вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Забороняється знімати огороження тих частин електродвигунів, що обертаються під час їх роботи.

Під час роботи електродвигунів заземлення може бути встановлене на будь-якій ділянці кабельної лінії, що з'єднують електродвигуни з РУ (збіркою). Під час роботи на механізмі, не пов'язаної з доторканням до частин, що обертаються, і у випадку роз'єднання з'єднувальної муфти, заземлювати кабельну лінію не слід.

На однотипних або близьких за габаритом електродвигунах, встановлюють поряд з тим, на якому проводять роботи, слід вивісити плакат «Стій! Напруга» незалежно від того, чи перебувають вони у роботі чи у резерві.

11.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

11.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат приміщення – це сукупність фізичних параметрів повітря в виробничому приміщенні, які діють на людину в процесі праці на її робочому місці, в робочій зоні.

Параметри мікроклімату характеризуються такими показниками: температурою повітря і відотною вологістю повітря, швидкістю його переміщення, потужністю теплових випромінювань. При цьому слід розрізняти оптимальні та допустимі мікрокліматичні умови.

Допустимі мікрокліматичні умови - поєднання кількісних показників мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливові на людину можуть викликати скороминучі зміни, що швидко нормалізують тепловий стан організму, і які супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції, не виходячи за межі фізіологічних пристосувальних можливостей. При цьому виникає пошкодження або порушення стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності.

Допустимі величини показників мікроклімату встановлюють тоді, коли за технологічними умовами, технічними і економічними причинами не забезпечуються оптимальні норми.

Нормуються параметри мікроклімату в виробничих приміщеннях та гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони. Тяжкість роботи розділяється на категорії залежно від загальних енерговитрат організму, ккал/с (Вт). Робота оператора силової установки відноситься до легкої фізичної роботи категорія Ia, бо людина-оператор практично весь свій робочий день проводить сидячи. Параметри мікроклімату в кабіні крану наведено в таблиці.

Таблиця 11.1 – Нормування параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість	Швидкість руху
Теплий	Ia	22-28	55 при 28°С	0,1-0,2
Холодний	Ia	21-25	75 при 25°С	Не більше 0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату на робочому місці оператора крану передбачається:

- в холодну пору року - використання калорифера;
- в літню пору - застосування кондиціонерів та вентиляторів обдуву, провітрювання кабіни.

11.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується концентраціями (ГДК) в мг/м. В умовах роботи на граничнодопустимих концентраціях можливими забруднювачами повітря робочої зони можуть бути пил та шкідливі гази, їх ГДК наведено в таблиці 11.2.

Таблиця 11.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в кабіні оператора установки

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Вуглецю оксид (СО)	3	1	4
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Таблиця 11.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ВДТ та ПЕОМ (відповідно до СН 2152-80)

Рівні	Кількість іонів в 1 см куб. повітря	
	n ⁺	n ⁻
Мінімально необхідні	400	600

Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально допустимі	50000	50000

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціонування повітря.

11.2.3 Виробниче освітлення

Раціональне освітлення - один з основних факторів створення сприятливих робочих умов праці. Недостатнє освітлення викликає передчасне стомлення працюючих, знижує продуктивність праці, може стати причиною нещасного випадку.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормують мінімальну освітленість на найбільш темній ділянці робочої поверхні.

При періодичному нагляді за ходом виробничого процесу на станції освітленість повинна складати не менше 50 лк. Оскільки в приміщенні знаходяться вимірювальні прилади та система управління, то освітленість повинна складати 300 лк. Рівень аварійного освітлення складає 15% освітленості основної роботи.

Приміщення кабіни оператора забезпечене природним освітленням в денний проміжок часу але ввечері постає проблема в штучному освітленні.

Для забезпечення найбільш сприятливих умов зорової праці нормуємо освітлення на робочому місці в кабіни. Кабіна відноситься до IV розряду зорової праці, тобто розряду середньої точності. Наведено норми при штучному та комбінованому освітленні в таблиці 11.4.

Таблиця 10.4 – Норми освітлення робочих поверхонь у виробничих приміщеннях.

Характеристики зорової роботи	Малої
Мінімальний розмір об'єкту розпізнавання,	Від 1 до 5

Розряд зорової роботи		V
Підрозряд зорової роботи		б
Контраст об'єкта розпізнавання з фоном		Середній
Освітленість		
Штучне освітлення	Загальне	150
	Комбіноване	200

В приміщенні кабіни оператора, особливо в зимовий період, коли світлий день досить короткий, природнього освітлення може бути недостатньо, тому використовується місцеве штучне освітлення (таблиця 11.5). Штучне освітлення здійснюється лампами розжарювання, що живляться від трансформатора власних потреб (12В).

Таблиця 11.5 – Вибір освітлюваного пристрою

Тип світильника	Лампа розжарювання
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність ламп, Вт	До 200

Згідно [10]: характер зорової роботи - середня точність; розряд - IV; бокове значення коефіцієнта природної освітленості, %: суміщене 0,9.

$$e_N = e_H \cdot m_N,$$

m_N - коефіцієнт світлового клімату, $m_N = 0,9$ при орієнтації вікон на північний схід.

$$e_N = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 \text{ \%}.$$

Для забезпечення нормативного значення e_N передбачено:

- використання додаткового штучного освітлення, а саме ламп розжарювання;
- необхідна кількість природного світла (великі вікна);
- для підтримки постійної освітленості повинно бути організовано систематичне, не рідше двох разів на місяць, очищення арматури світильників

і ламп від пилу та бруду, а в приміщеннях із значним виділенням пилу, диму та кіптяви - не рідше чотирьох разів на місяць згідно з графіком

11.2.4 Виробничий шум

Шум вище гранично допустимих рівнів несприятливо діє на людину. Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [4], [15].

Таблиця 11.6 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньогеометричними частотами, Гц										Рівні звуку, еквівалентні рівні звуку, дБА/дБАекв.
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Програмісти ЕОМ	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50	
Оператори в залах обробки інформації на ЕОМ та оператори комп'ютерного набору	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65	
В приміщеннях для розташування шумного обладнання ЕОМ	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75	

Устаткування, що є джерелом шуму (АЦП, принтери тощо), слід розташовувати поза приміщенням для роботи ВДТ ЕОМ і ПЕОМ.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми [4].

Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший.

Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь.

У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

11.3 Пожежна безпека

Приміщення, де здійснюється експлуатація ПК, відноситься до категорії Д – негорючі речовини у холодному стані. Будівля студії характеризується III ступенем вогнестійкості.

До III ступенем вогнестійкості відносяться будівлі з штучними та захисними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття допускається застосування дерев'яних інструкцій, захищених штукатуркою або важкогорючими листовими, а також нитковими матеріалами. До елементів покриття висуваються вимога по межах

огнестійкості та межах розповсюдження полум'я; при цьому елементи укриття з деревини піддаються вогнезахисній обробці.

Межі вогнестійкості занесені у таблицю 11.7.

У чисельнику вказуються межі вогнестійкості будівельних конструкцій; у знаменнику - межі розповсюдження полум'я по них.

Таблиця 11.7 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій і максимальні межі розповсюдження полум'я по них.

Ступінь вогнестійкості	Стіни				Колони	Сходові площадки, балки, косоури, марші сходових	Плити, настили (з утеплювачем), несучі	Елементи перекриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі (перегородки)				Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
Ш	1/0	0,5/0	0,2/40	0,2/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0

В таблиці 11.8 приведені протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх огнестійкості.

Таблиця 11.8 – Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості

Номер п/п	Протипожежна перешкода	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальні межі вогнестійкості протипожежних перешкод або їх елементів, год
1	Протипожежні стіни	1	2.5
		2	0.75
2	Протипожежні перегородки	1	0.75
		2	0.25
3	Протипожежні перекриття	1	2.5
		2	1
		3	0.75

4	Протипожежні вікна і двері	1	1.2
		2	0.6
		3	0.25

В таблиці 11.9 приведена допустима кількість поверхів і площа поверху і межах пожежного відсіку будівлі відповідно до ступеня вогнестійкості.

Таблиця 11.9 – Допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі.

Категорія будівлі (пожежних відсіків)	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , будівель		
			Одноповерхових	багатоповерхових	
				2 поверхи	3 поверхи і більше
Д	1	III	не обмежується		
				-	-

Мінімальні відстані між будівлями і спорудами відповідно до III ступеня вогнестійкості становлять 12 м.

У випадку виникнення пожежі робітники повинні: прийняти всі заходи по ліквідації вогню; місце, яке загорілось слід гасити вогнегасником; при загоранні електропроводів слід відключити лінію, а ізоляцію електропроводів необхідно гасити тільки вуглекислотним вогнегасником або піском; зупинити обладнання.

На студії розташовано 2 пожежних щита (стенда), до комплексу засобів пожежогасіння, які розміщені на ньому, включені: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті розміром 2м x 2м – 1 шт., гаки – 3 шт., лопати – 2 шт., ломи – 2 шт., сокири – 2 шт.

Ящик для піску має місткість 1,0 м³ та бути укомплектований совковою лопатою. Конструкція ящика повинна забезпечувати зручність діставання піску та виключати попадання опадів.

ВИСНОВОК

Основними показниками якості електроенергії при живленні від електричних мереж трифазного струму є відхилення і колювання частоти та напруги, ступінь несинусоїдальності форми кривої напруги, несиметрія напруги і зсув нейтралі. Норми на ці показники якості електроенергії в точках мереж, до яких безпосередньо приєднуються електроприймачі, визначаються ГОСТом. Відхилення показників якості електроенергії, зокрема рівня напруги, від номінальних значень поділяються на нормально допустимі, яких повинні дотримуватися протягом 95% часу доби, і максимально допустимі, які не повинні бути перевищені протягом всього часу, включаючи післяаварійні режими.

Суттєво впливає значення напруги на процес транспортування та розподілу електроенергії в ЕЕС. Цей вплив проявляється, наприклад, на значенні втрат електроенергії під час її транспортування. Від напруги залежать навантажувальні втрати електроенергії в елементах системи з активним опором та, особливо, втрати на коронування. За хорошої погоди втрати на коронування пропорційні квадрату напруги, а під час опадів та інієутворенні ці втрати залежать від напруги вже в четвертому – шостому степені.

Таким чином, проблема контролю і регулювання якості електричної енергії в ЕЕС є складною і багатоплановою. Для ефективного її вирішення необхідні глибокі знання і постійна увага.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закону України "Про електроенергетику".
2. Правила користування електричною енергією (ПКЕЕ).
3. ГКД 34.20.507-2003 "Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила" (ПТЕ).
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
5. СОУ-Н.ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 "Норми технологічного проектування енергетичних систем та електричних мереж 35 кВ та вище" (НТП ЕС).
6. СОУ-Н ЕЕ 40.1-00100227-103:2014 "Виконання схем перспективного розвитку ОЕС України, окремих енерговузлів та енергорайонів. Правила".
7. СОУ-Н МЕВ 45.2-37471933-44:2011 "Укрупнені показники вартості будівництва підстанцій напругою від 6 кВ до 150 кВ та ліній електропередачі напругою від 0.38 кВ до 150 кВ" зі змінами затвердженими Наказом Міненерговугілля від 12.04.2016 N 253;
8. ГКД 341.004.001-94 "Норми технологічного проектування підстанцій змінного струму з вищою напругою 6-750 кВ".
9. СОУ-Н.ЕЕ 20.178:2008 "Схеми принципів електричні розподільчих установок напругою від 6 кВ до 750 кВ електричних підстанцій. Настанова".
10. ГД 34.20.178:2005 "Проектування електричних мереж напругою 0,4-110 кВ".
11. СОУ-Н МЕВ 40.1 - 00100227 – 68:2012 "Стійкість енергосистем. Керівні вказівки".
12. ГКД 34.35.108-2004 "Керівні вказівки з протиаварійної автоматики енергосистем. Інструкція".
13. СОБУ МЕВ ЕЕ 40.1-00100227-1:2016 Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика.
14. СОУ-Н МПЕ 40.1.20.563-2004 Ліквідація аварій та технологічних порушень режиму на енергопідприємствах і в енергооб'єднаннях. Запобігання технологічним порушенням у електричній частині енергопідприємств і енергооб'єднань і їх ліквідація. Інструкція.
15. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х. : Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.

16. Нормативний документ міненерговугілля україни «Укрупнені показники вартості будівництва підстанцій напругою від 6 кВ до 150 кВ та ліній електропередавання напругою від 0,38 кВ до 150 кВ. норми»,– СОУ-Н МЕНВ 45.2-37471933-44: 2011. – Київ, 2016,– 42с.

17. Сулейманов В. М., Кацадзе Т. Л. Електричні мережі та системи: підручн. К.: НТУУ «КПІ», 2008. 456 с.

18. Лук'яненко Ю.В., Остапчук Ж.І., Кулик В.В. Розрахунки електричних мереж при їх проектуванні. – Вінниця: ВДТУ, 2002.

19. Кулик В. В. Типові рішення при проектуванні електричних мереж напругою 110-330 кВ: навчальний посібник / В. В. Кулик, В. В. Тептя, О. Б. Бурикін, О. В. Сікорська. Вінниця: ВНТУ, 2018. 110 с.

20. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетику. – К.: Минэнерго Украины, 1997.

21. Остапчук Ж.І., Тептя В.В. Моделювання розвитку електричних систем в прикладах і задачах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 97 с.

22. Сеґеда М. С. *Електричні мережі та системи*. Підручник. ·Видавництво: Львівська політехніка, 2015. · 540 ·с.

23. F. Hinz and D. Moest, "Techno-economic Evaluation of 110 kV Grid Reactive Power Support for the Transmission Grid," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2018.

24. W. Becker, M. Hable, M. Malsch, T. Stieger, and F. Sommerwerk, "Reactive power management by distribution system operators concept and experience," *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, №1, pp. 2509-2512, 2017.

25. R. Moreira, G. Strbac, P. Papadopoulos, and A. Laguna, "Business case in support for reactive power services from distributed energy storage," *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1609-1613, Oct. 2017.

26. A. Zecchino, M. Marinelli, C. Træholt, and M. Korpås, "Guidelines for distribution system operators on reactive power provision by electric vehicles in low-voltage grids," *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1787-1791, Oct. 2017.

27. M. Tarafdar Hagh, M. Jadidbonab, and M. Jedari, "Control strategy for reactive power and harmonic compensation of three-phase grid-connected photovoltaic system," *CIREDE – Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 559-563, Oct. 2017
28. A. Samir, M. Taha, M. M. Sayed, and A. Ibrahim, "Efficient PV-grid system integration with PV-voltage-source converter reactive power support," *The Journal of Engineering*, vol. 2018, no. 2, pp. 130-137, Feb. 2018
29. L. De Alvaro Garcia, F. Beaune, M. Pitard, and L. Karsenti, "Cost-benefit analysis of MV reactive power management and active power curtailment," *CIREDE – Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1660-1663, Oct. 2017.
30. L. Wautier, F. Beaune, J. Fournel, and L. Karsenti, "Using LV distributed generation's reactive power for voltage regulation," *CIREDE – Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 2037-2040, Oct. 2017.
31. S. S. Alkaabi, H. H. Zeineldin, and V. Khadkikar, "Short-Term Reactive Power Planning to Minimize Cost of Energy Losses Considering PV Systems," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, Oct. 2018.
32. Ю.С. Железко, "Методы расчета нагрузочных потерь электроэнергии в радиальных сетях 0,38 – 20 кВ по обобщенным параметрам схем," *Электрические станции*, №1, с. 31-37, 2006
33. ГКД 340.000.002-97 Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі (діючий), Київ, Україні: Коопосвіта, 1997
34. Електричні системи і мережі. Частина 3 : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / Малогулко Ю. В., Бурикін О. Б., Кацадзе Т. Л., Нетребський В. В. Вінниця : ВНТУ, 2022. 172 с.
35. Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною електричною системою України / СОУ НЕК ХХ.ХХХ:2017. Київ, 2017
36. M. Mohsen and H. Siahkali, "Multi-objective optimization of reactive

power dispatch in power systems via SPMGSO algorithm," in *Proceedings of the 2017 Smart Grid Conference*, Tehran, Iran, 2017, pp. 1-9

37. Бондаренко Є. А., Кутін В. М., Лежнюк П. Д. Навчальний посібник до розділу «Охорона праці» в магістерських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Навчальний посібник, 2018. 46 с.

38. Правила безпечної експлуатації електроустановок / Державний Комітет України по нагляду за охороною праці. К.: 1998. 132 с.

39. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ, 2000.

40. Нетребський В. В., Лесько В. О., Нанака О. М., Ситник А. В. Методичні вказівки для курсової роботи з дисципліни «Економіка і організація виробництва» для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, спеціалізації «Електричні системи і мережі». Вінниця: ВНТУ, 2019. 55 с.

41. Сакевич В. Ф., Томчук М. А. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах (друге видання) навчальний посібник. Вінниця, ВНТУ, 2008. 141 с.

42. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021р. / А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т. В. Макарова, О. В. Сердюк. Вінниця: ВНТУ, 2021. 60 с

ДОДАТОК А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ
ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Аналіз впливу на якість електричної енергії фотоелектричних станцій

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра електричних станій та систем, факультет електроенергетики та електромеханіки
(кафедра, факультет)

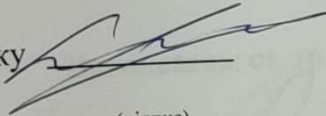
ПОКАЗНИКИ ЗВІТУ ПОДІБНОСТІ UNICHECK

Оригінальність 83% Схожість 12,7%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

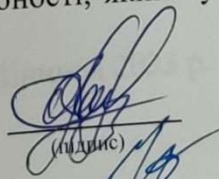
Особа, відповідальна за перевірку
С.Я.


(підпис)

Вишневський
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Супрун О.В.
(прізвище, ініціали)
Комар В.О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи

Додаток Б
Технічне завдання МКР

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електричних станцій і систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕСС
д.т.н., професор Комар В.О.
(наук. ст., вч. зв., ініц. та прізви.)


_____ (підпис)

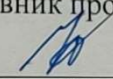
" 21 " 03 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

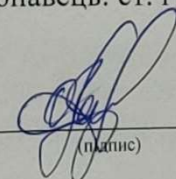
на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
Аналіз впливу на якість електричної енергії фотоелектричних станцій

08-21.МКР.020.00.007 ТЗ

Керівник проекту: д.т.н., проф., зав. каф. ЕСС


_____ Комар В. О.
(підпис)

Виконавець: ст. гр. ЕСМ-21мз


_____ Супрун О.В.
(підпис)

Вінниця 2023 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

а) актуальність досліджень обумовлена тим, що сучасний стан енергетичної галузі України характеризується значним зношенням обладнання, недостатньою кількістю генерувальних потужностей, обмеженістю пропускної здатності ліній електропередачі електромереж. Разом з тим у Вінницькій області спостерігається зміна структури та обсягів споживання електричної енергії та розвиток відновлюваних джерел електроенергії. Виходячи з цього постає необхідність впровадження заходів з реконструкції та розвитку електричних мереж 110/35 кВ шляхом заміни основного обладнання.

б) наказ ректора ВНТУ № 68 від 20 березня 2023 р. про затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи.

2. Мета і призначення МКР

- а) мета – приєднання нових об'єктів генерування до мереж 110/35/10 кВ АТ «Вінницяобленерго» та забезпечення належної якості електропостачання споживачів;
- б) призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи розвитку розподільних електричних мереж 110/35/10 кВ АТ «Вінницяобленерго», що забезпечить виконання основних вимог щодо надійності електропостачання, якості електроенергії та економічності її транспортування.

3. Джерела розробки

Список використаних джерел розробки:

1. ГКД 34.20.507-2003 "Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила" (ПТЕ).
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ).
3. СОУ-Н.ЕЕ 40.1-00100227-101:2014 "Норми технологічного проектування енергетичних систем та електричних мереж 35 кВ та вище" (НТП ЕС).
4. СОУ-4Н ЕЕ 40.1-00100227-103:2014 "Виконання схем перспективного розвитку ОЕС України, окремих енерговузлів та енергорайонів. Правила".с

4. Технічні вимоги до виконання МКР

Для приєднання нових джерел енергії та забезпечення якості й ефективності споживачів електропостачання необхідно виконати розвиток електричних мереж 110/35/10 кВ АТ «Вінницяобленерго» з врахуванням вимог нормативної документації.

– елементна база: основними об'єктами проектування будуть 2 підстанції 110/10 кВ та лінії їх приєднання до існуючої електромережі. Під час проектування необхідно врахувати вплив зростання генерування на режими розподільних мереж та перетікання потужностей. Електротехнічне обладнання, що має бути встановлено на підстанціях, українського та зарубіжного виробництва (“Південномаш”, “РЗВА”, “АВВ”, “Siemens” та ін.);

- показники технологічності: розвиток електричної мережі, монтаж та експлуатація електрообладнання мають виконуватися згідно вимог ПУЕ та ПТЕ.
- технічне обслуговування і ремонт: експлуатація, технічне обслуговування та ремонт обладнання буде здійснювати оперативний та ремонтний персонал обласної енергопостачальної компанії, а також бригади електромонтерів у відповідності з вимогами ПТЕ, ПТБ і технологічних карт.
- умови експлуатації об'єкта, що проектується: район по ожеледі – 3, нормативна стінка ожеледі – 15 мм, район по вітру – 3, середньорічна температура +6°C, максимальна температура +32°C, ступінь забрудненості – 2.

5. Економічні показники

Визначити основні техніко-економічні показники розвитку електричної мережі і на основі їх аналізу зробити висновок щодо доцільності реалізації розробленого проекту.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розроблення технічного завдання	21.03.23	28.03.23	формування технічного завдання
2	Аналіз літературних джерел	29.03.23	07.04.23	розділ ПЗ
3	Оцінка впливу СЕС на якість електроенергії в прилеглий мережі	08.04.23	24.04.23	розділ ПЗ
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	25.04.23	01.05.23	розділ ПЗ
5	Оцінка можливості паралельної роботи СЕС в складі ОЕС України	02.04.23	07.05.23	розділ ПЗ
6	Оформлення пояснювальної записки	08.05.23	12.05.23	пояснювальна записка
7	Виконання графічної частини та оформлення презентації	12.05.23	19.05.23	плакати, презентація

7. Матеріали, що подаються до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, ілюстративні матеріали, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:2, 2021 р.

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

ДОДАТОК В

ГРАФІЧНА ЧАТСИНА

ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ

Студент ЕСМ-21мз О.В. Супрун

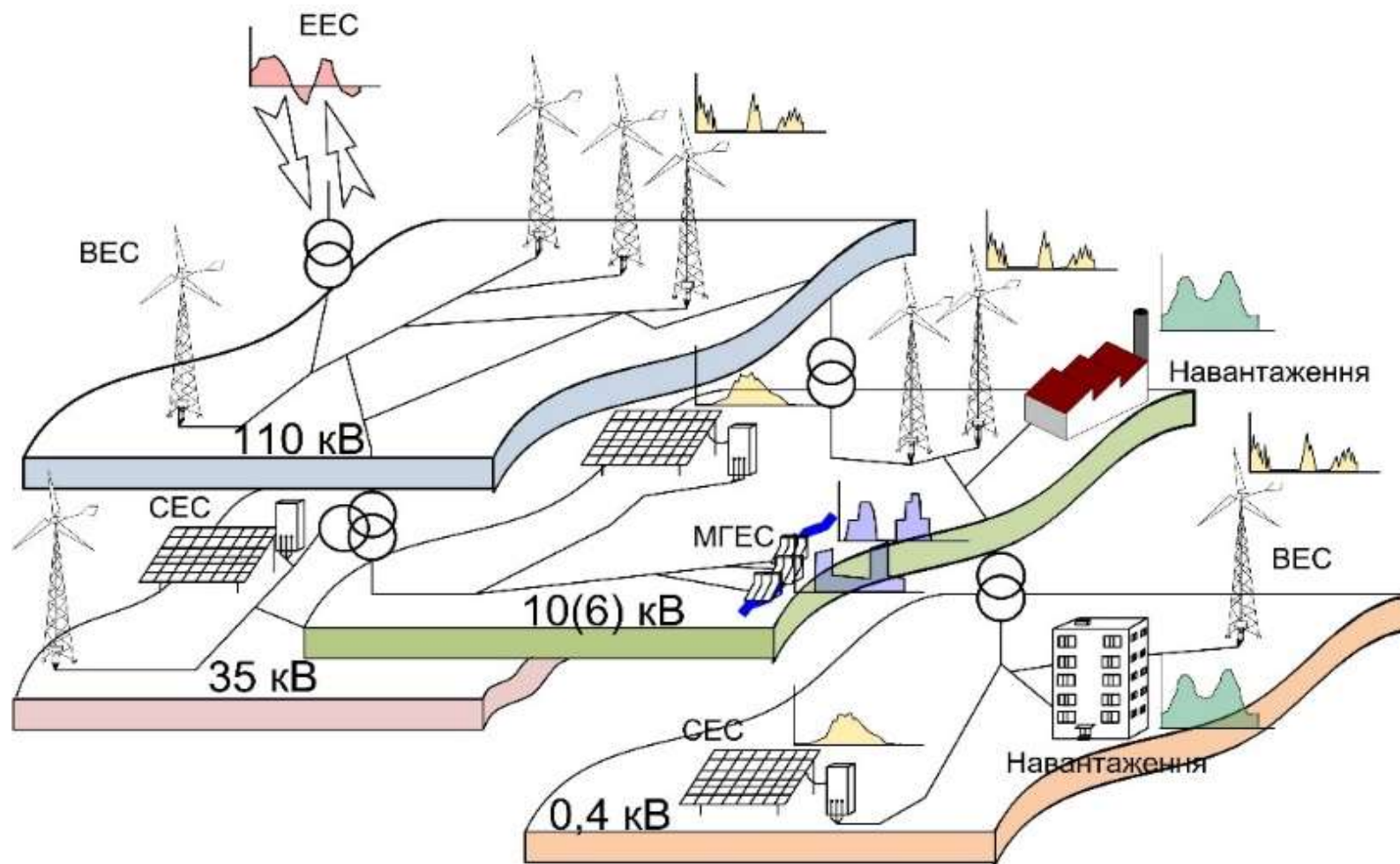


Рисунок 1 – Схематичне зображення сучасних розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням

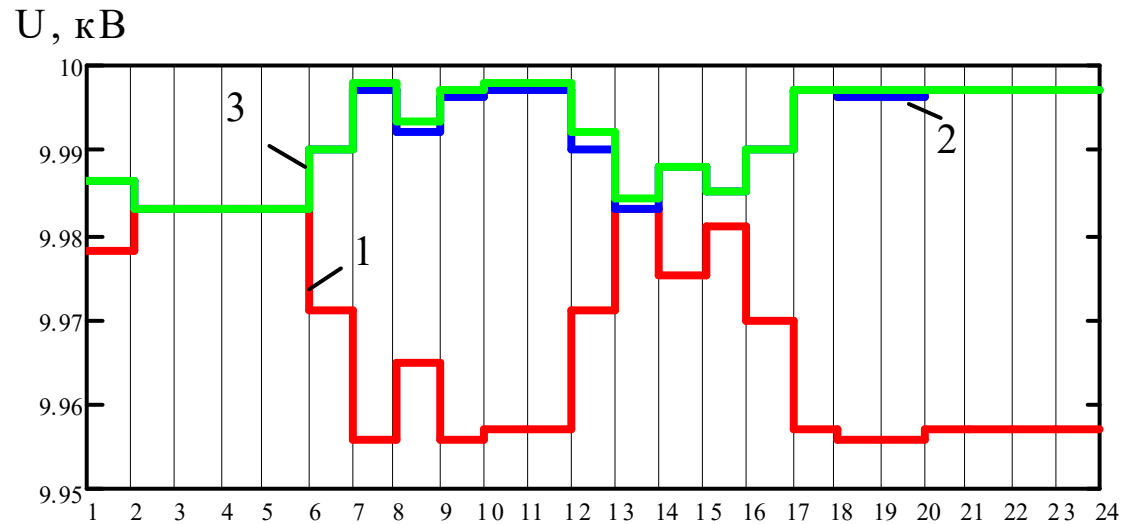


Рисунок 1 – Зміни рівнів напруги у вузлі навантаження
 1 – відхилення напруги у вузлі навантаження без РДЕ; 2 – відхилення напруги у вузлі з РДЕ для максимального навантаження; 3 – відхилення напруги у вузлі з РДЕ для мінімального навантаження

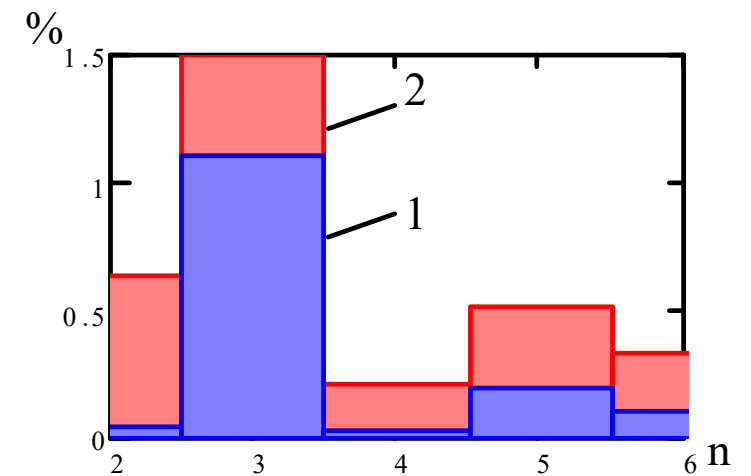


Рисунок 2 – Зміна рівня гармонік напруги в мережі
 1 – до впровадження сонячної електростанції; 2 – після впровадження сонячної електростанції

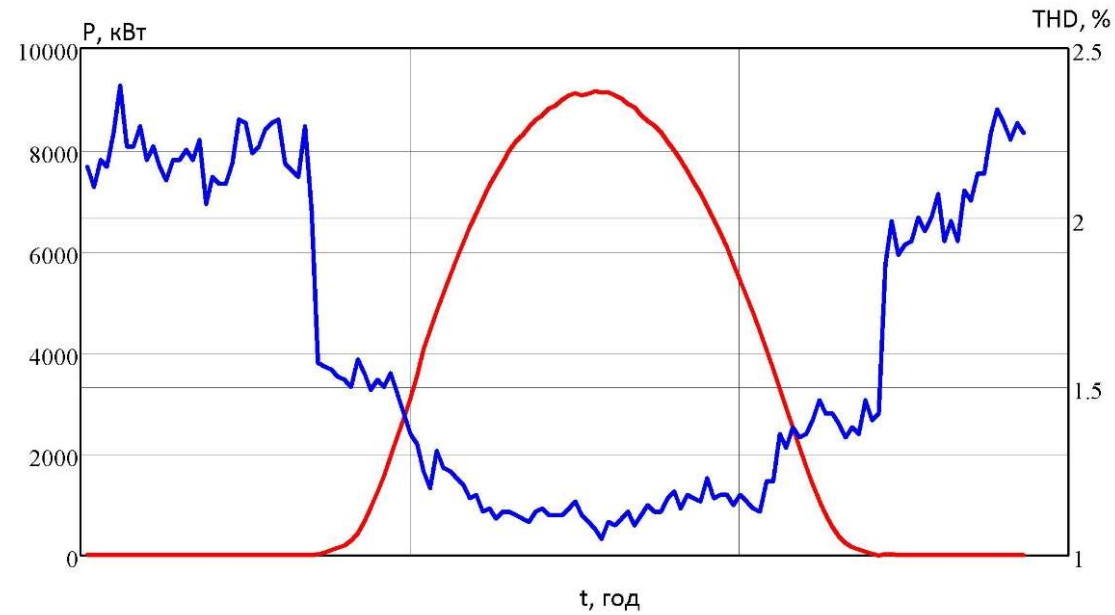


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта сумарних спотворень синусоїди напруг THD (синя крива) від завантаження (генерована потужність – червона крива)

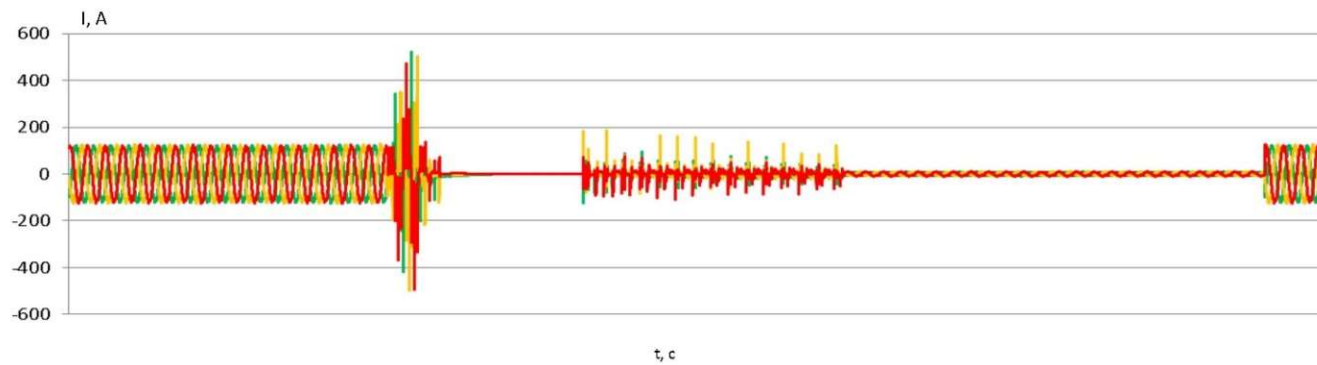


Рисунок 2 – Зміна струму під час виконання комутації

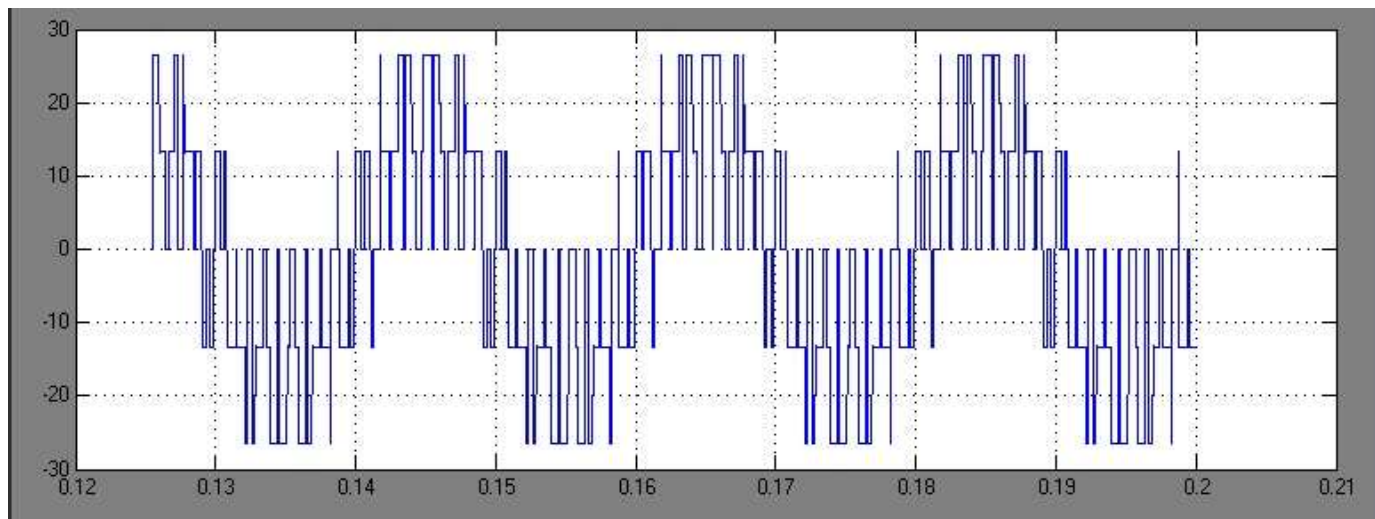


Рисунок 1 – Зміна стуму на виході інвертора для активного навантаження

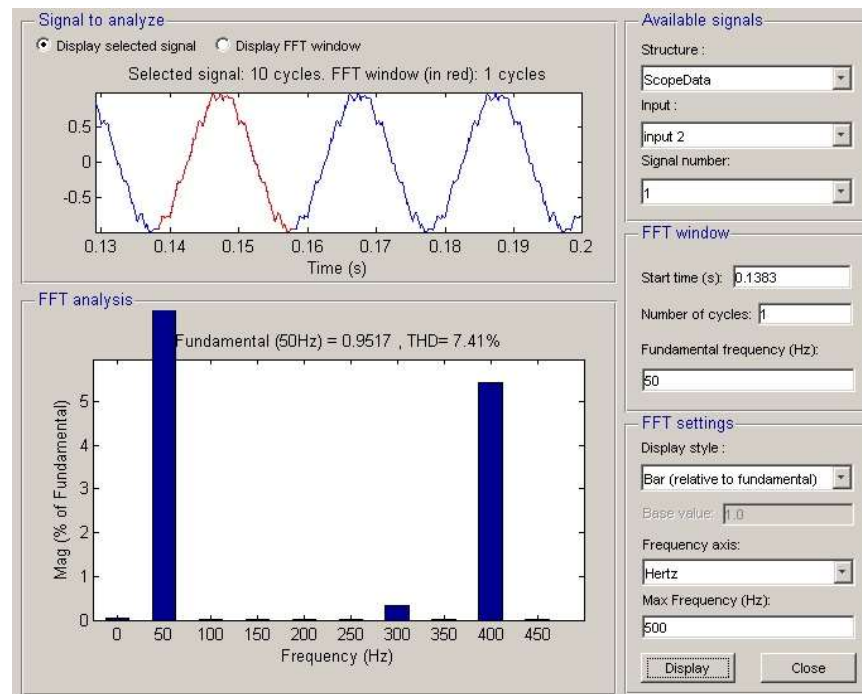


Рисунок 2 – Аналіз спектру гармонікації

Дякую за увагу.