

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ, ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ТА
МЕХАТРОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
С.В. Єнчев
«___» _____ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

Тема: «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-
ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ»

Виконавець _____ студент групи М-141-24-1-СЕ Мадамов Борис Олегович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ д.т.н., проф. Філоненко Сергій Федорович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ д.т.н., доцент Вальченко О. І.
(підпис) (П.І.Б)

Консультант розділу «Охорона
навколишнього середовища»: _____ д.т.н., доцент Павлюх Л.І.
(підпис) (П.І.Б)

Нормоконтролер _____ д.т.н., проф. Філоненко С.Ф.
(підпис) (П.І.Б)

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Факультет аерокосмічний
Кафедра електричної інженерії, енергоменеджменту та мехатроніки
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
С.В.Єнчев
«31» липня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи (проекту)

Мадамова Бориса Олеговича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій» затверджена наказом в.о. Президента КАІ «Про затвердження тем та призначення керівників кваліфікаційних робіт» від «31» липня 2025 р. №1337/ст.
2. Термін виконання роботи з 29.09.2025 р. по 31.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: дані автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій та мережі.
4. Зміст пояснювальної записки: у першому розділі пояснювальної записки розглянуто системи постачання електричної енергії, в другому було проведено дослідження параметрів сигналу биття при синхронізації дизель-генераторних станцій, третій розділ присвячений побудові структури автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій, в четвертому розділу роботи було розроблено архітектуру програмного забезпечення автоматизованої системи дизель генераторних станцій, в п'ятому розділі було

опрацьовано питання охорони праці системи синхронізації та в шостому розділі було досліджено вплив системи синхронізації на навколишнє середовище.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: ілюстративний матеріал включає в себе схеми алгоритму включення дизель-генераторної електростанції за контролем площі та енергії під обвідною сигналу биття, структурну схему автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій, роботу ПЗ з даними та зображення графічного інтерфейсу.

6. Календарний план-графік

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Підпис керівника
1	Вивчення та аналіз джерел, стосовно систем синхронізації дизель-генераторних станцій	До 29.09.2025 р.	<i>Виконано</i>
2	Дослідження параметрів сигналу биття і умови їх моделювання	До 12.10.2025 р.	<i>Виконано</i>
3	Дослідження впливу частоти станції на площу та енергію сигналу биття	До 20.10.2025 р.	<i>Виконано</i>
4	Розробка алгоритму управління синхронізацією дизель-генераторних станцій	До 28.10.2025 р.	<i>Виконано</i>
5	Розробка структури автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій	До 13.11.2025 р.	<i>Виконано</i>
6	Розробка структури програмного забезпечення системи та графічного інтерфейсу управління	До 20.11.2025 р.	<i>Виконано</i>
7	Розгляд питання охорони праці	До 26.11.2025 р.	<i>Виконано</i>
8	Розгляд питання охорони навколишнього середовища	До 30.11.2025 р.	<i>Виконано</i>
9	Оформлення пояснювальної записки	До 04.12.2025 р.	<i>Виконано</i>

10	Перевірка роботи на доброчесність. Підготовка до захисту	До 15.12.2025 р.	<i>Виконано</i>
----	--	------------------	-----------------

7. Консультація з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доцент, Вальченко О.І.		
Охорона навколишнього середовища	к.т.н. доцент, Павлюх Л.І..		

8. Дата видачі завдання: «01» вересня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Філоненко Сергій Федорович

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Мадамов Борис Олегович

(підпис випускника)

(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій»: 108 с., 50 рис., 11 табл., 14 графіки, 24 літературних джерела.

Об'єкт дослідження: автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій та її програмне забезпечення.

Предмет дослідження: розробка та вдосконалення автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій, спрямована на дослідження її структури, функціональних можливостей, параметрів та ефективності з метою забезпечення стабільної роботи, надійної синхронізації та оптимальної конфігурації енергосистеми.

Мета кваліфікаційної роботи: розробка автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій з високою надійністю та стабільністю синхронізації.

Наукова новизна: наукова новизна роботи обумовлена перспективністю досліджуваного методу синхронізації дизель-генераторних станцій через площу та енергію сигналів биття та розробкою сучасної автоматизованої системи синхронізації згідно з цим методом.

Методи дослідження: для реалізації мети було використано методи дослідження сигналів биття через симуляцію сигналу на програмному забезпеченні Origin, для створення інтерфейсу ПЗ системи було застосовано програмне забезпечення Visual studio.

Результати дослідження: в процесі роботи були проведені дослідження сигналів биття для синхронізації генераторних станцій. Розроблено, структурну схему автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій що забезпечує ефективне підключення до мережі з використанням комп'ютерного програмного забезпечення, система конфігурації та управління була виконана за допомогою середовища Visual Studio. Запропонована система синхронізації має кращу надійність та варіативність конфігурації параметрами системи.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИНХРОНІЗАЦІЯ, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНІ СТАНЦІЇ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

Опис роботи:

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій, яка забезпечує підвищену надійність, стабільність та гнучкість конфігурації енергосистеми. У процесі дослідження були проаналізовані сучасні методи синхронізації, зокрема підхід, що ґрунтується на визначенні площі та енергії сигналів биття. Використання цього методу дозволило підвищити точність оцінювання параметрів синхронізації. На основі проведених моделювань було розроблено алгоритм керування та структурну схему системи, здатну ефективно забезпечувати підключення дизель-генераторних станцій до електричної мережі. Програмне забезпечення інтерфейсу створено у середовищі Visual Studio та реалізує функції конфігурації, моніторингу й керування процесами синхронізації. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої системи, а також демонструють її переваги щодо точності, стабільності та варіативності налаштувань порівняно з традиційними методами.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	10
1.1 Загальна характеристика альтернативних джерел живлення.....	10
1.2 Основні режимні параметри енергосистеми	15
1.3 Дизель-генераторні електростанції	18
1.4 Методи синхронізації дизель-генераторних електростанцій	24
1.5 Системи управління дизель-генераторами.....	29
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ БИТТЯ ПРИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ.....	35
2.1 Параметри сигналу биття і умови їх моделювання	35
2.2 Вплив частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на площу сигналу биття.....	37
2.3 Вплив частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на енергію сигналу биття	46
2.4 Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі площі під обвідною сигналу биття	54
2.5 Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі енергії під обвідною сигналу биття	57
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ.....	61
3.1 Загальні підходи до побудови автоматизованих систем управління з застосуванням комп'ютерної техніки	61
3.2 Структура побудови автоматизованої системи синхронізації дизель- генераторних станцій.....	66
3.3 Компоненти побудови автоматизованої системи синхронізації дизель- генераторних станцій.....	70
РОЗДІЛ 4 АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ	77
4.1 Загальна структура побудови програмного забезпечення автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій.....	77
4.2 Головний графічний інтерфейс автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій	80

4.3 Приклад реалізації програмного забезпечення розрахунку і представлення площі під обвідною сигналу биття.....	84
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ.....	88
5.1 Вступ	88
5.2 Аналіз умов праці на робочому місці суб'єкта.....	88
5.2.1 Організація робочого місця.....	89
5.2.2 Перелік небезпечних та шкідливих факторів:	90
5.2.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці суб'єкта ДП/ДР.....	92
5.3 Розробка заходів з охорони праці.....	94
5.3.1 Захист від шуму.....	94
5.3.2 Електробезпека.....	95
5.3.3 Інструкції з техніки безпеки.....	96
5.4 Пожежна безпека.....	97
5.5 Перевірочний розрахунок захисту від ураження електричним струмом	98
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ	100
6.1 Екологічні переваги використання автоматизованих систем синхронізації.....	100
6.2 Роль автоматизації в екологічній оптимізації експлуатації дизель-генераторів.....	101
6.3 Вплив автоматизації на зниження техногенного навантаження.....	102
6.4 Екологічні виклики впровадження автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій.....	102
6.5 Використання інноваційних технологій для підвищення екологічної безпеки	103
6.6 Вплив експлуатації дизель-генераторних станцій на довкілля.....	103
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	107

ВСТУП

Сучасні енергетичні системи дедалі частіше використовують дизель-генераторні станції як автономні та резервні джерела електроенергії, що зумовлює підвищені вимоги до їх надійної та стабільної роботи. Особливої актуальності набуває задача точної та швидкої синхронізації дизель-генераторних станцій під час їх паралельної роботи в складі енергосистеми. Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі є автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій та її програмне забезпечення.

Актуальність теми дослідження обумовлена зростанням потреби в стабільному та безперебійному електропостачанні що актуально через підвищені ризики перебоїв енергомереж в чинних реаліях України. Дизель-генераторні станції залишаються основним засобом резервного живлення, проте ефективність їх використання сильно залежить від успішної та швидкої синхронізації з мережею, автоматизована система синхронізації націлена на вирішення цього аспекту що дозволить оптимізувати роботу генераторів та мінімізувати ризики аварій. Предметом дослідження є розробка та вдосконалення автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій, а саме дослідження структури, функціоналу, параметрів ефективності, надійності синхронізації та оптимальної конфігурації системи.

Наукова новизна роботи обумовлена застосуванням сучасних підходів до автоматизації процесів синхронізації з урахуванням технічних та програмних аспектів реалізації системи керування синхронізації дизель-генераторних станцій.

Практична цінність полягає в обґрунтуванні ефективності синхронізації дизель генераторної станції з мережею реалізованої через дослідження параметрів площі та енергії биття станції, що дозволить підвищити ефективність синхронізації та автоматизувати підключення генераторних станцій до мережі в порівнянні з традиційними методами.

РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Загальна характеристика альтернативних джерел живлення

Під альтернативними джерелами енергії зазвичай розуміють ті ресурси, що не спираються на спалювання традиційного викопного палива тобто нафти, газу та вугілля. Іноді їх називають відновлюваними, бо вони постійно поновлюються у природному середовищі, хоча це не завжди відбувається так швидко, як здається. Також трапляється термін нетрадиційні, оскільки масштаби їх використання відносно недавно почали активно зростати. До таких джерел можна віднести сонячну, вітрову, гідроенергію, біоенергетику, геотермальну енергію а також енергію хвиль та припливів - про які на даний момент у нас рідко згадують. Використання цих технологій дає можливість скоротити залежність від імпортованих енергоносіїв, зменшити кількість шкідливих викидів і частково стимулювати появу нових секторів економіки країни. Хоча варто зазначити що кожен різновид такої енергії має свої географічні й технологічні особливості. Через це не завжди можна реалізувати їх в тих масштабах, що необхідні для чинних потреб енергетики - інколи регіон просто не має відповідних умов для реалізації.

Альтернативні джерела енергії загалом поділяються на кілька основних категорій, серед яких вітрова енергетика посідає одну з найбільш провідних позицій. Її суть полягає у використанні кінетичної енергії руху повітряних потоків які обертають лопаті турбіни що в свою чергу приводить у дію генератор. За останнє десятиліття технології вітроенергетики вирости настільки що сучасні турбіни інколи мають гігантські розміри і їх встановлюють як на суші, так і у морських акваторіях. Один із найпомітніших прикладів це морські вітрові ферми у Великій Британії, що забезпечують електроенергією сотні тисяч домогосподарств, хоча ще недавно такий масштаб виглядав недосяжним.



Рис. 1.1. Зображення вітрової електростанції

Сонячна енергетика ґрунтується на перетворенні сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію, і найчастіше це досягається на основі фотоелектричних панелей. Вони працюють завдяки напівпровідниковим матеріалам, які фактично прямо перетворюють світло на електричний струм. Розвиток цього напрямку особливо помітний у регіонах із високою сонячною активністю- Каліфорнія, південний Китай, північна Африка та, звісно, Австралія, де сонця вистачає майже цілий рік. Величезні сонячні ферми часто будують у пустельних районах, де земля мало придатна для сільського господарства, тож її використання під енергетику виглядає найлогічнішим рішенням.«Після підписання Паризької угоди про зміну клімату, по всьому світу ще більше зростає інтерес до низьковуглецевих та економічно вигідних джерел енергії. Такими джерелами є атомна енергетика та відновлювальні джерела енергії (вітрова, сонячна та ін.)» [23].

У перспективі поєднання інновацій у зберіганні енергії для управління навантаженням і розумній електромережі можуть досягти ще більшої ефективності сонячної енергетики та її інтеграції в національну енергосистему. Сонячні станції розподіляються на панельні чи термодинамічні відповідні приклади наведені на (рис. 1.2). та (рис. 1.3).



Рис. 1.2. Сонячна електростанція на основі панелей



Рис. 1.3. Сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two»

Біоенергетика є галуззю що використовує органічні відходи, біомасу або спеціально вирощену сировину для виробництва теплової та електричної енергії. Одним із основних напрямів є спалювання деревини, залишків сільського господарства або біогаз, який утворюється внаслідок анаеробного бродіння органіки. Така енергія вважається нейтральною щодо вуглецю, оскільки під час згоряння вивільняється стільки ж вуглекислого газу, скільки було поглинуто рослиною під час її росту. У країнах Європи, зокрема у Швеції, біоенергетика відіграє провідну роль у системах централізованого теплопостачання. Вона також дозволяє зменшити обсяги відходів, що

потребують утилізації, і створює додаткові можливості для розвитку аграрного сектору, приклад реалізації на (рис. 1.4)



Рис. 1.4. Біогазовий реактор

Геотермальна енергетика використовує тепло, що накопичується в надрах Землі, що робить можливим її використання як для опалення, так і для виробництва електроенергії. Найкращі умови для її розвитку мають регіони з підвищеною геотермальною активністю - це Ісландія, Філіппіни, Індонезія, Нова Зеландія та окремі штати США. В Ісландії, наприклад, майже 90% житла опалюється саме геотермальним теплом, що дозволяє відчутно економити енергоресурси. На відміну від вітру чи сонця, геотермальна енергія доступна постійно, незалежно від погодних умов і тому вважається однією з найстабільніших у світі, приклад реалізації на (рис. 1.6)



Рис. 1.6. Геотермальна електростанція

Одним із найперспективніших напрямів енергетичного розвитку зараз вважають децентралізовані системи живлення, що працюють на локальних джерелах енергії. Така модель дозволяє зменшити втрати під час транспортування електрики на великі відстані та забезпечити енергетичну самостійність окремих громад, підприємств чи критично важливих об'єктів інфраструктури. У сучасних умовах коли світова економіка стикається з війнами, природними катаклізмами й аваріями автономність енергопостачання інколи стає не просто перевагою, а питанням виживання. генерації.(рис. 1.7)



Рис. 1.7. Локалізована система живлення на основі сонячних панелей

У біоенергетиці відбувається перехід до глибшої переробки органічної сировини, що дозволяє збільшити вихід біогазу та отримувати біопаливо другого покоління більш ефективно й менш вибагливе до якості первинної сировини. Паралельно стрімко розвиваються «розумні мережі» (smart grid). Завдяки інтелектуальним алгоритмам вони можуть у реальному часі оптимізувати баланс між виробництвом і споживанням електроенергії, оптимізуючи роботу всієї системи в автоматизованому режимі, схема роботи smart grid проілюстрована на (рис. 1.8)

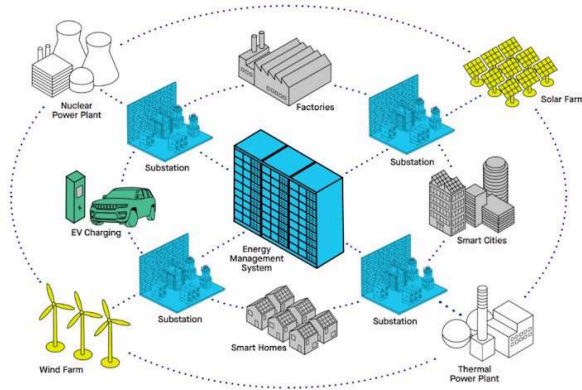


Рис. 1.8. Функціонал мережі (smart grid)

Економічна ефективність відновлюваних джерел енергії ще кілька років тому залишалась скоріше дискусійним питанням для майбутніх інновацій, однак вже з початку 2020х років ситуація помітно змінилась. Вартість генерації електроенергії з сонячних панелей та вітряних турбін стала більш прийнятною для кінцевого споживача, що стало можливим завдяки розвитку інфраструктури відновлювальних джерел, масовому виробництву обладнання та поступовому вдосконаленню технологій.

Серед перспективних напрямів зараз дедалі частіше розглядається створення енергетичних кооперативів, залучення місцевих громад до виробництва власної електроенергії, а також модернізація розподільчих мереж, що давно потребують оновлення. Окремо варто згадати про механізм Net Metering, який дозволяє споживачам продавати надлишок виробленої енергії назад у мережу, для України це може стати певним «локомотивом» дрібної генерації. У післявоєнний період альтернативна енергетика здатна відіграти одну з ключових ролей у відбудові країни. Вона може забезпечити більшу енергетичну незалежність, створити нові робочі місця та забезпечити функціонування критичних об'єктів інфраструктури при втраті основних джерел електропостачання.

1.2 Основні режимні параметри енергосистеми

Сучасні енергосистеми є складними багаторівневими структурами, що забезпечують безперебійне постачання електроенергії споживачам у

відповідності до заданих технічних та економічних параметрів. Одним з важливих завдань є забезпечення надійної роботи систем в умовах підключення резервних джерел живлення, зокрема дизель-генераторних станцій (ДГС). У цьому контексті автоматизована система синхронізації відіграє ключову роль, забезпечуючи безпечне, надійне та узгоджене підключення ДГС до основної енергомережі.

«У нормальних робочих умовах річна частота переривань напруги, що перевищують три хвилини суттєво відрізняються між регіонами. Ця різниця має місце, окрім інших чинників, унаслідок відмінностей у побудові систем» [13].

Параметри енергосистеми в нормальному режимі роботи

Нормальний режим роботи енергосистеми характеризується дотриманням певних ключових параметрів: рівновага між виробництвом та споживанням активної потужності, стабільна частота електричного струму, допустимі рівні напруги, оптимальні втрати енергії та мінімальна частота аварійних ситуацій. Особливу увагу слід приділяти двом фундаментальним характеристикам: активній та реактивній потужності [3].

Активна потужність та її характеристика

Активна потужність (P) є тією частиною загальної електричної потужності, яка перетворюється в інші форми енергії: теплову, механічну, світлову тощо. У трифазній системі активна потужність визначається за формулою:

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (1.1)$$

де U — лінійна напруга, I — струм фази, $\cos\varphi$ — коефіцієнт потужності, який відображає зсув фаз між струмом та напругою.

З точки зору дизель-генераторної установки, активна потужність визначає ефективність використання механічної енергії двигуна внутрішнього згорання, яка через вал передається генератору. Порушення балансу активної потужності у системі може призвести до нестабільності частоти, що є критичним для систем синхронізації.

Реактивна потужність та її значення

Реактивна потужність (Q) — це енергія, яка циркулює між джерелом і навантаженням, не виконуючи корисної роботи, але необхідна для створення електромагнітного поля в індуктивних або ємнісних елементах. Вона визначається формулою:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad (1.2)$$

Реактивна потужність безпосередньо впливає на величину напруги в системі. Під час синхронізації дизель-генераторної станції з мережею важливо забезпечити узгодження не лише активної, а й реактивної потужності. Надлишок реактивної потужності може спричинити перенапругу, тоді як її нестача — просідання напруги.

Частота визначається балансом між виробництвом і споживанням активної потужності. Для дизель-генераторної станції (ДГС), яка працює в ізолюваному або паралельному режимі, зміни навантаження безпосередньо впливають на частоту.

У спрощеній моделі зв'язок між зміною частоти і потужності можна описати рівнянням первинного регулювання:

$$\Delta f = (1 / R) \cdot (\Delta P / S) \quad (1.3)$$

де Δf — зміна частоти, ΔP — зміна активного навантаження, R — регуляторна характеристика генератора, S — номінальна потужність генератора.

Регулювання напруги та розподіл реактивної потужності

Розподіл реактивної потужності між паралельно працюючими генераторами залежить від регулювання напруги. Зазвичай використовується принцип крапельної характеристики, згідно з яким генератор зі зниженою напругою виробляє менше реактивної потужності:

$$E = U + jX \cdot I \quad (1.4)$$

де E — внутрішня ЕРС генератора, U — напруга на шинах, X — реактивний опір, I — струм навантаження.

Математичне моделювання енергосистеми з ДГС

Для забезпечення оптимального керування синхронізацією доцільно використовувати математичні моделі. Наприклад, модель синхронного

генератора у перехідному режимі описується системою диференціальних рівнянь:

$$d\omega/dt = (1 / 2H) \cdot (P_m - P_e - D(\omega - \omega_0)) \quad (1.5)$$

де δ — кут між вектором ЕРС генератора та напругою в мережі, ω — миттєва частота ротора, P_m — механічна потужність двигуна, P_e — електрична потужність на виході, H — стала інерції, D — коефіцієнт демпфування.

1.3 Дизель-генераторні електростанції

Дизельні електростанції широко використовуються для забезпечення резервної потужності великих і середніх споживачів. Вони використовуються в електропостачанні підприємств, розташованих на відстані від централізованих мереж.

Дизельні електростанції та дизельні генератори є ключовими джерелами автономного електропостачання в різних сферах застосування, від побутових потреб до промислових об'єктів. Однак вони мають відмінності (рис. 1.9)

Дизельний генератор це компактний пристрій, який використовує двигун внутрішнього згоряння, що працює на дизельному паливі, для перетворення механічної енергії в електричну. Дизельний генератор складається з двигуна, генераторної частини (альтернатора), системи охолодження, паливного бака, системи управління [4].

Дизельні генератори мають широкий діапазон потужностей – від декількох кіловат для побутового використання до декількох мегават для великих об'єктів.

Дизельна електростанція – це стаціонарна або напівстаціонарна система отримання електроенергії на базі дизельного двигуна. Це складна система, яка може включати кілька генераторних установок, системи автоматизації, системи розподілу електроенергії, а також додаткові елементи інфраструктури, такі як резервні паливні баки та системи охолодження тощо.

Метою дизельних електростанцій є забезпечення стабільного і безперервного електропостачання в якості основного джерела електроенергії

на великих об'єктах або у віддалених районах. Вони мають значно більший рівень автономності і можуть використовуватися для підтримки електромереж.



Рис. 1.9. Загальний вигляд дизель-генератора (ДГ) (а) і дизельної електростанції (ДЕ) (б)

Основні відмінності дизельних генераторів від дизельних електростанцій:

1. Масштаб і потужність.
2. Автономність і тривалість експлуатації.
3. Компактний і мобільний.
4. Складність конструкції.
5. Призначення та сфера застосування.

Конструктивно будь-яка генераторна установка (бензинова, дизельна або газова) складається з трьох основних пристроїв:

- двигун внутрішнього згоряння,
- обертовий ротор електрогенератора (альтернатор);
- сам електрогенератор (альтернатор);

автоматизація, контроль і відображення стану дизельного генератора за допомогою пульта управління.

Залежно від типу підтримуваної електромережі генераторні установки поділяються на однофазні (зазвичай для використання в приватному секторі,

домашньому господарстві, для живлення електроінструментів: електродрилів, пилок і т.д.) і трифазні.

Основним елементом дизельних генераторів і дизельних електростанцій є електрогенератор.

Перетворити механічні величини в частотний електричний сигнал можна різними способами. Один з них – ввімкнення ємнісного або індуктивного перетворювача в коло коливального контуру електронного генератора.

Загальна схема роботи генераторної установки показана на (рис. 1.10)

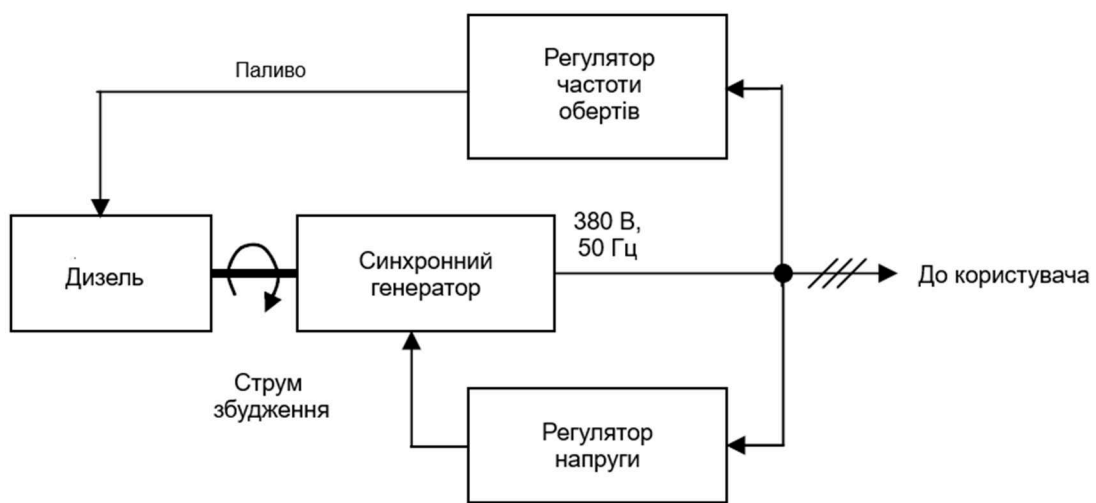


Рис. 1.10. Загальна схема роботи генераторної установки

У цьому випадку в агрегаті використовуються синхронні або асинхронні альтернатори.

Обидва типи пристроїв мають конструктивні відмінності, пов'язані з конструкцією обертової частини (рис. 1.11)

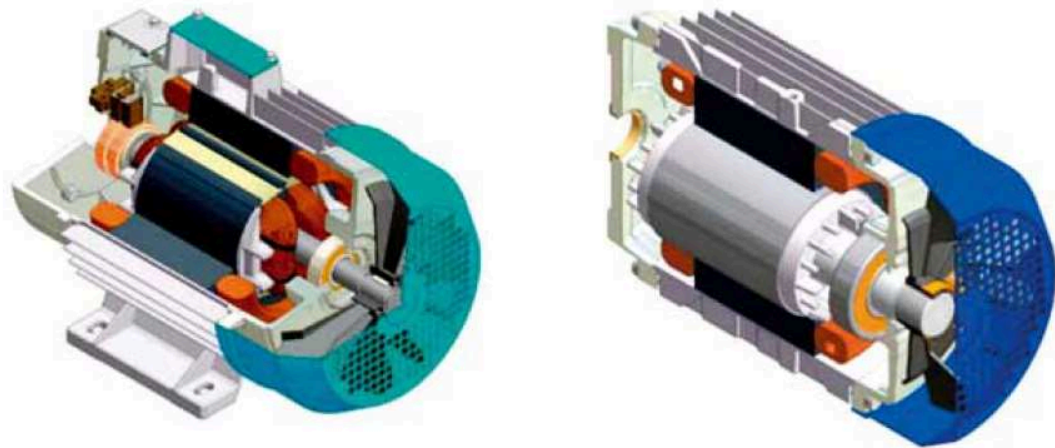


Рис. 1.11. Синхронні (а) і асинхронні (б) генератори в розрізі

Ротор синхронного електрогенератора містить обмотки, на які подається струм збудження, що створює змінне магнітне поле. [14]. За допомогою цього поля регулюється напруга на виході обмоток статора.

(рис. 1.11, а)

Недоліки:

- Наявність обмоток на роторі призводить до поганого захисту синхронного електрогенератора від впливу факторів навколишнього середовища.
- наявність колектора (струмоведучих кілець ротора), через які щітки передають струм збудження. Колекторний вузол вимагає контролю і заміни щіток.

В асинхронному генераторі (рис. 1.11, а, б) на роторі замість обмоток знаходиться постійний магніт. Він має більш просту конструкцію. При цьому ротор не потребує охолодження - його корпус не призводить до впливу навколишнього середовища.

Генератори змінного струму можна класифікувати як однофазні та трифазні. Перші використовуються в малопотужних (до 15 кВА) генераторах, а другі займають більш широкий діапазон потужностей.

Дизельні генератори та дизельні електростанції використовуються як *резервне* або *основне* джерело живлення.

Існує кілька класифікацій сучасних дизельних електростанцій (рис. 1.12)

Залежно від призначення дизельні електростанції розрізняють:

1. мобільні – використовуються як портативне або резервне джерело електропостачання;
2. стаціонарні - інтегровані в єдину систему енергетичного комплексу.

Залежно від конструктивного наповнення дизельні електростанції розрізняють:

1. відкриті – нічим не захищені, можуть розташовуватися тільки в спеціально обладнаному приміщенні;
2. в шумоізоляційному кожусі – кожух знімає рівень шуму, що дозволяє використовувати дані електростанції в населених пунктах;
3. контейнерний - для додаткового захисту і зниження шуму його поміщають в спеціальний контейнер або блок-модуль.

Залежно від кількості фаз, що генеруються обладнанням, розрізняють дизельні електростанції:

1. однофазні - видають напругу 220 Вольт;
2. трифазні - видають від 220 до 400 Вольт.

Залежно від типу напруги розрізняють дизельні електростанції:

1. низька напруга (до 1 кВт);
2. висока напруга (понад 1 кВт).
- 3.



Рис. 1.12. Типи дизельних електростанцій

Система аварійного електропостачання повинна бути справною і в стані готовності до роботи; повинний бути встановлений інструкцією запас дизельного палива для дизель-генераторів.

Найголовніша вимога до роботи дизель-генераторної електростанції полягає в тому, що робота агрегатів повинна бути стабільною.

Для забезпечення стабільності дизель-генераторні електростанції, як правило, працюють в парі (рис. 1.13)

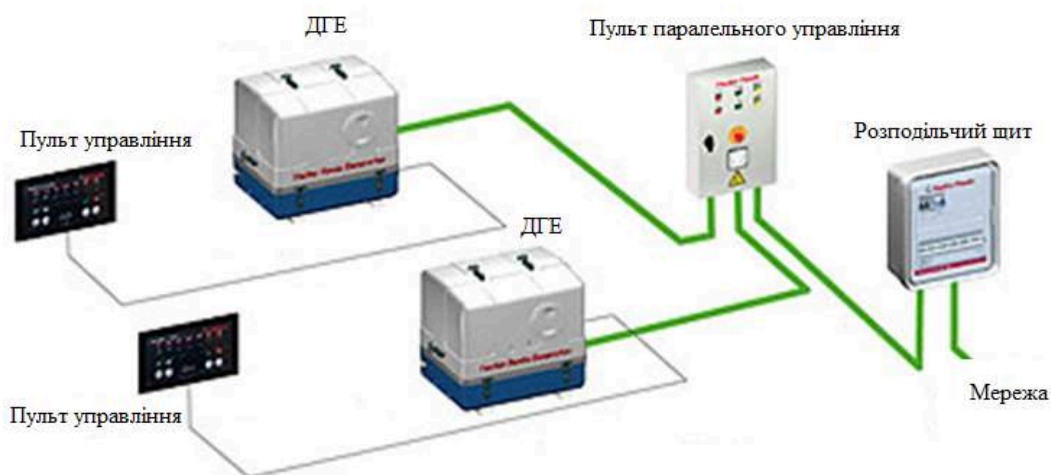


Рис. 1.13. Паралельна робота дизель-генераторних електростанцій

Електростанції на базі дизельних генераторів формуються з конкретних параметрів навантаження, які необхідно живити:

1. Максимальна потужність споживачів.
2. Середньої потужності.
3. Постійна завантаженість або робота в резерві.
4. Коливання навантаження протягом доби.
5. Величина пускових струмів обладнання.

Однак найбільш поширені схеми побудови станцій діляться на наступні групи:

1. Автоматичний перемикач резерву (АВР) дизельного генератора. Він вводиться в експлуатацію при зникненні напруги в мережі централізованого електропостачання.

2. Основним джерелом електроенергії є мобільна установка або підстанція у віддаленому районі.
3. Станція з періодичним збільшенням потужності - агрегати включаються в разі дефіциту електроенергії або для забезпечення запуску великих двигунів.

При цьому при підключенні дизель-генераторних установок до паралельної роботи та промислової мережі необхідно забезпечити синхронізацію дизель-генераторних електростанцій.

«Складність сучасної ЕЕС визначається найбільшою кількістю електроустановок (наприклад, генераторів, трансформаторів, ліній, двигунів, електровозів, електropечей і ін.)» [2].

1.4 Методи синхронізації дизель-генераторних електростанцій

Важливим питанням при включенні синхронних генераторів, в тому числі дизель-генераторних електростанцій, є їх синхронізація. Це пов'язано з тим, що при включенні генераторів на паралельну роботу один з одним або з електричною мережею виникає струм комутації, що може бути неприпустимо.

Для успішного включення генераторів один з одним або з електричною мережею необхідно, щоб удар зрівняльного струму і коливання напруги на шинах в момент включення не перевищували допустимих значень, а ротор включеного генератора був втягнутий в синхронізм без тривалих коливань.

Сам процес вирівнювання напруги, частоти і вибору моменту включення генераторів для паралельної роботи один з одним або з електричною мережею називається синхронізацією.

У синхронізаторів з постійним часом випередження команда на вмикання вимикача генератора, що синхронізується, подається тоді, коли кут між синхронізованими напругами стає дорівнювати розрахунковому значенню

Існує два основних методи синхронізації: точна синхронізація і самосинхронізація.

При включенні генераторів методом самосинхронізації величина періодичної складової струму визначається виразом

$$I_{\text{ПЕР}} = \frac{U_c}{X'_d + X_{\text{РЕЗ}}} \quad (1.6)$$

де U – напруга мережі; X'_d – перехідний опір генератора; $X_{\text{РЕЗ}}$ - результуючий опір системи.

Метод самосинхронізації застосовується, коли значення сили струму, згідно з пунктом (1.1), не перевищує $3,5 I_{\text{н}}$.

Суть методу полягає в наступному. Генератор розгортається на швидкості, близькій до синхронної, і включається в мережу в незбудженому стані, після чого включається обмотка збудження генератора і він синхронізується із загальною мережею.

При точній синхронізації успішне перемикання синхронного генератора на паралельну роботу забезпечується при дотриманні наступних умов:

- Рівність амплітуд ЕРС E_g і напруги U_c ;
- близькість до синхронної частоти частоти ω_c обертання генератора; ω_r
- Збіг фаз ЕРС E_g і напруги U_c в момент включення.

«Для прискорення процесу точної синхронізації доцільно відмовитися від дотримання умов ідеальної синхронізації й вибирати параметри синхронізації такі як допустима неоднаковість напруги $\Delta U_{\text{доп}}$, допустима кутова частота ковзання $\omega_{\text{доп}}$ та допустимий кут зсуву за фазою напруги, що синхронізуються.» [21].

У загальному випадку при включенні в мережу збудженого генератора виникає нерівність ЕРС генератора і напруги мережі ($\neq c$) і в ланцюзі буде протікати вирівнюючий струм $\bar{E}_g \bar{U}$

Схема заміни генератора і мережі на цей випадок представлена на рис. 1. розм. (Рис 1.14) мають такі позначення: x_c і h_g - опір мережі і генератора, а опір генератора приймається рівним надперехідному індуктивному опору $h_g = .x_d''$

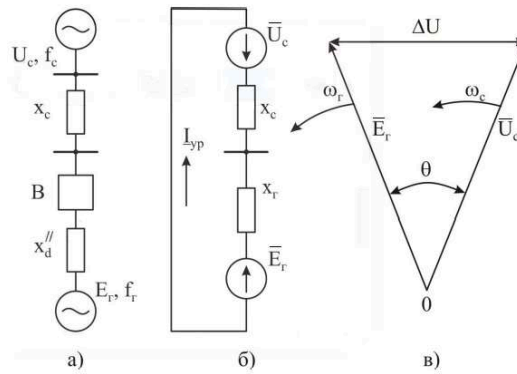


Рис. 1.14. Схема заміни генератора і мережі з точною синхронізацією з нерівністю ЕРС генератора і напруги мережі

Для схеми підстановки в $f_c \approx f_g$, згідно з другим законом Кіргофа, різниця напружень записується як

$$\bar{U}_C - \bar{E}_G = \bar{I}_{yp} \bar{Z}_\Sigma \quad (1.7)$$

де \bar{Z}_Σ - сумарний опір мережі і генератора, \bar{I}_{yp} - вирівнюючий струм.

Тоді удар зрівняльного струму в момент включення буде дорівнює

$$\bar{I}_{yp} = \frac{\bar{U}_C - \bar{E}_G}{\bar{Z}_\Sigma} = \frac{\Delta \bar{U}}{\bar{Z}_\Sigma} \quad (1.8)$$

де ΔU - різниця синхронізованих напруг (ЕРС) в момент включення (генератор замінюється ЕРС \bar{E}_G за надперехідним опором); x_d''

\bar{I}_{yp} - періодична складова струму в момент включення; \bar{Z}_Σ - сумарний опір між ЕРС синхронізованого генератора і напругою енергосистеми (генератор замінюється надперехідним опором).

При цьому амплітудне значення струму дорівнює

$$i_{yp}'' = \frac{1.8\sqrt{2}\Delta U}{Z_\Sigma}, \quad (1.9)$$

де 1,8 - коефіцієнт, що враховує наявність аперіодичної складової струму.

Якщо ЕРС генератора і напруга енергосистеми рівні за абсолютною величиною і зміщені на кут в момент включення (рис. 1), то значення вирівнюючого струму буде дорівнювати θ

$$I_{ур} = \frac{2Usi \frac{\theta}{2}}{Z_{\Sigma}}, \quad (1.10)$$

У загальному випадку, коли ЕРС генератора і напруга енергосистеми не рівні між собою за абсолютною величиною і зміщені на кут θ , то вирівнюючий струм визначається за виразом

$$I_{ур} = \frac{\sqrt{E_{Г}^2 - U_{С}^2 - 2E_{Г}U_{С}\cos\theta}}{Z_{\Sigma}}, \quad (1.11)$$

З виразу (1,6) видно, що струм вирівнювання в момент включення буде тим більше, чим більше різниця між синхронізованими напругами і кутом між ними.

При синхронізації в реальних умовах завжди є певна різниця в частотах синхронізованого генератора і енергосистеми тоді кут між напругами θ і різницею напруг ΔU буде весь час змінюватися. При цьому різниця миттєвих значень синхронізованих напруг дорівнює

$$\Delta u = u_s = e_{Г} - u_c = E_{Гmax} \sin \omega_{Г}t - U_{Сmax} \sin \omega_{С}t, \quad (1.12)$$

де $\omega_{С}$, $\omega_{Г}$ - кутові частоти мережі і генератора - $\omega_{С} = 2\pi f_{С}$ і $\omega_{Г} = 2\pi f_{Г}$.

Якщо припустити, що $E_{Г} \cong U_{С} = U$, то різниця миттєвих значень синхронізованих напруг буде дорівнює

$$\Delta u = U_{max}(\sin \omega_{Г}t - \sin \omega_{С}t) = 2U_{max} \sin \frac{(\omega_{Г} - \omega_{С})t}{2} \cos \frac{(\omega_{Г} + \omega_{С})t}{2}, \quad (1.13)$$

Зміна напруги Δu з плином часу (рис. 1.15) – це коливання, які називаються ударами, а різниця напруг Δu – це напруга биття u_{S} .

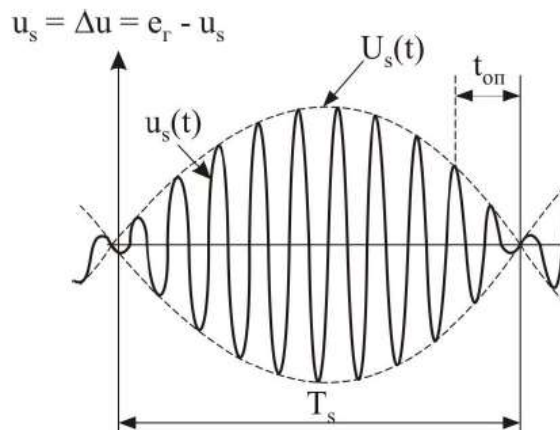


Рис. 1.15. Графік зміни напруги

Огинаюча амплітудних значень напруги вибігу описується виразом виду

$$u_S = 2U_{max} \sin \frac{(\omega_G - \omega_C)t}{2} = 2U_{max} \sin \frac{\omega_S t}{2}, \quad (1.14)$$

де $\omega_S = \omega_G - \omega_C$ - різниця між кутовими частотами генератора і мережі або кутова швидкість ковзання.

Огинаюча напруга бігу змінюється від нуля до максимального значення, що дорівнює подвоєній амплітуді $2U$, і знову зменшується до нуля. Час, необхідний для зміни напруги на вибігу від нуля через максимум до нуля або між двома максимумами, називається періодом вичерпання

$$T_S = \frac{2\pi}{\omega_S} = \frac{1}{f_S} \quad (1.15)$$

Чим більше різниця в частотах, тим менше період вибігу і навпаки – чим ближче частоти генератора і мережі, тим менше значення f_S і чим вище T_S , тим кращі умови синхронізації. При цьому генератор повинен бути включений в мережу при $u_S = 0$.

Так як кожен автоматичний вимикач має свій час включення, то для оптимального включення його в момент збігу фаз синхронізованих векторів напруги необхідно подати сигнал на включення автоматичного вимикача з певним випередженням в часі. При цьому включення не буде супроводжуватися ударом зрівняльного струму.

У системах, що використовуються для включення генераторів для паралельної роботи, контролюється швидкість зміни ковзної напруги - по суті, контролюється швидкість зміни амплітуди огинаючої сигналу биття.

Однак сигнал про вичерпання характеризується і іншими параметрами, які можуть бути використані для формування алгоритмів управління перемиканням генераторів, в тому числі і дизель-генераторних електростанцій, на паралельну роботу.

1.5 Системи управління дизель-генераторами

У чинних умовах розвитку енергетики автономні джерела живлення, серед яких важливу роль відіграють дизель-генераторні станції, знаходять усе ширше застосування. Вони використовуються як резервні, аварійні або основні джерела електропостачання в умовах коли підключення до централізованої електромережі є неможливим чи економічно недоцільним.(рис. 1.15).

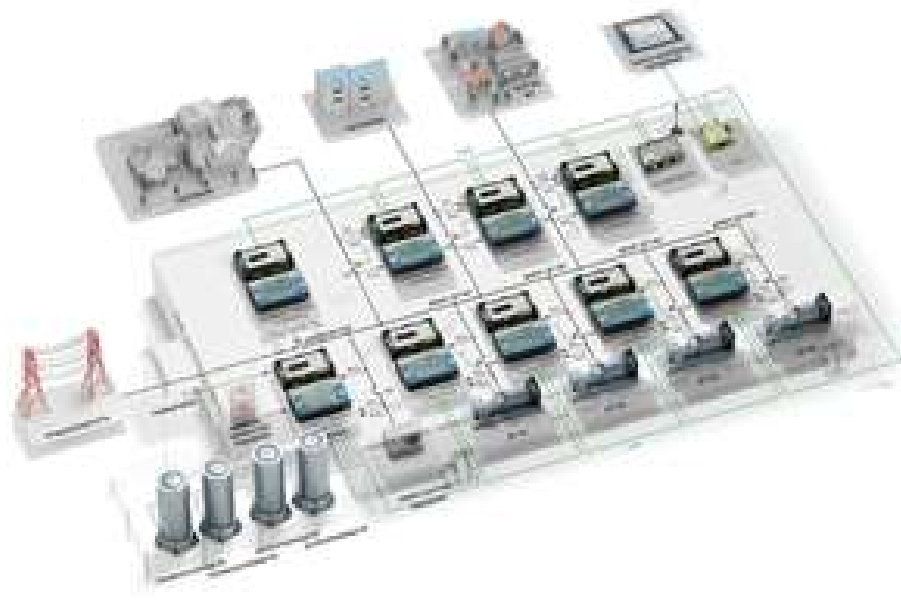


Рис. 1.15. Застосування дизель генераторів в електростанціях

З огляду на вищеперераховані аспекти забезпечення надійної та стабільної роботи генераторних станцій потребує впровадження сучасних систем управління що здатні здійснювати точне регулювання електромеханічних параметрів для конфігурації характеристик мережі під потреби споживачів в реальному часі.

Сучасні системи управління дизель-генераторними станціями базуються на мікропроцесорних технологіях. Це зумовлено високими вимогами до точності регулювання, швидкодії та інтеграції генераторних станцій у всі сектори енергетичної інфраструктури. Використання мікропроцесорів

дозволяє реалізувати комплексні алгоритми регулювання частоти, напруги, керування фазою та синхронізацією з мережею або іншими генераторами [20]. До переваг мікропроцесорних систем також можна віднести автоматичний запуск та зупинку двигуна, контроль параметрів використання палива, температури, тиску та інших критичних показників. Основною перевагою мікропроцесорних систем управління є можливість реалізації логіки прийняття рішень згідно визначених кондицій з збереження історії подій, взаємодії з SCADA-системами та також дистанційного моніторингу і діагностики. Це значно підвищує ефективність експлуатації обладнання, дозволяє запобігати аваріям на станціях і знижує витрати на технічне обслуговування.

Панель підключення цифрових контролерів управління зазвичай має вигляд зображений на (рис 1.16) модель прикладу- DATAKOM D-300-МКЗ



Рис 1.16 Панель підключення цифрового контролера управління

Контролер DATAKOM D-300 МКЗ оснащений низкою комунікаційних і силових роз'ємів, які забезпечують універсальність у підключенні та моніторингу. Порт USB-B призначений для підключення до персонального комп'ютера, що дозволяє виконувати налаштування, оновлення прошивки та моніторинг параметрів у реальному часі через спеціалізоване програмне забезпечення. RS-485 порт використовується для підключення зовнішніх модулів введення-виведення або інтеграції з системами диспетчеризації та

SCADA за протоколом Modbus-RTU, забезпечуючи обмін даними на значні відстані. CAN-шина (J1939) надає можливість прямого зв'язку з електронними блоками керування двигуном, дозволяючи отримувати параметри роботи двигуна та здійснювати моніторинг стану генераторної установки.

Для роботи в мережевій інфраструктурі передбачений Ethernet-порт RJ-45, який підтримує протокол Modbus TCP/IP, веб-інтерфейс і передачу даних до SCADA-систем або хмарних сервісів. Опціональні модулі Wi-Fi та GSM/GPRS забезпечують бездротовий зв'язок, дозволяючи віддалено контролювати роботу генератора, отримувати сповіщення електронною поштою або SMS і передавати дані до диспетчерських систем без кабельного підключення.

Блок цифрових входів служить для фіксації стану зовнішніх контактів, таких як аварійні кнопки, реле тиску чи сигналізаційні пристрої, тоді як цифрові виходи дозволяють керувати реле, контакторами й системами автоматизації, виконуючи команди на вмикання чи вимикання обладнання. Аналогові входи приймають сигнали від датчиків температури, тиску або рівня рідин, перетворюючи їх на контрольовані параметри в системі. Вхід магнітного підхвату (MPU) забезпечує вимірювання частоти обертання колінвала двигуна за допомогою індуктивного датчика, що є ключовим для визначення швидкості та синхронізації. Для контролю електричних параметрів передбачені входи для трансформаторів струму (СТ) та трансформаторів напруги (VT), які дозволяють точно вимірювати фазні струми, напруги та розраховувати потужність, споживання та коефіцієнт потужності. Виходи на контактори генератора та мережі керують автоматичним перемиканням живлення між основною мережею та резервним джерелом. Усі модулі живляться через вхід постійної напруги 8-36 В, який забезпечує роботу контролера та додаткових комунікаційних модулів, а опціональні слоти дозволяють встановлювати GSM-, GPS- або додаткові інтерфейсні модулі.

До прикладів реалізації мікропроцесорного управління дизель-генераторними установками можна віднести серію контролерів DSE – (Британія) що широко використовується в Україні завдяки надійності, широкому функціоналу та гнучкості налаштування зокрема моделі на (рис. 1.16)

DSE 7320 – призначений для автоматичного запуску/зупинки ДГУ, контролю параметрів, сигналізації відмов. Застосовується як у резервному живленні, так і в паралельній роботі. рис а

DSE 8610 – підтримує синхронізацію, паралельну роботу кількох генераторів, автоматичне навантаження та балансування. Часто використовується в промислових о'єктах та дата-центрах. рис б



Рис. 1.17. Контролери марки DSE DSE 7320 (а) DSE 8610 (б)

Компанія ComAp має серію контролерів IntelliGen, які мають гнучке ПЗ та вбудовану підтримку української мови. Найбільш популярні моделі (рис. 1.17) IntelliLite AMF25 – для автономних та резервних ДГУ. рис а

IntelliGen NTC BaseBox – повноцінна система керування синхронізованими генераторами. Підтримує до 32 генераторів у паралель. рис б

В Україні ці контролери активно постачаються офіційними дистриб'юторами і використовуються в об'єктах Укрзалізниці, медичних установах та агросекторі.



Рис. 1.18. Контролери (а) ComAp IntelliLite AMF25 (б) IntelliGen NTC BaseBox

Контролери Woodward серії EasYgen-3000 мають розширені функції керування генераторами, підтримують паралельну роботу, мережеву синхронізацію та гнучке налаштування. В Україні їх зазвичай встановлюють на об'єктах із високими вимогами до безперебійності живлення, наприклад, у банківському секторі або в телекомунікаційній інфраструктурі. (рис. 1.17)



Рис. 1.19. Контроллер марки Woodward

Синхронізація дизель-генераторів є ключовим етапом при роботі кількох джерел живлення в паралельному режимі. У таких випадках необхідно, щоб усі генератори мали однакову частоту, напругу, фазу та порядок чергування фаз. Мікропроцесорні системи автоматично контролюють ці параметри та приймають рішення про момент підключення генератора до загальної шини. Це забезпечує мінімальні струми включення, зниження електромагнітних перешкод та стабільність роботи навантаження.

Завдяки високій точності та швидкодії мікропроцесорні регулятори можуть компенсувати коливання навантаження в режимі реального часу, а також узгоджувати роботу дизель-генераторних установок з іншими джерелами електроенергії, такими як сонячні електростанції, вітрові генератори чи акумуляторні батареї.

Висновки до розділу 1:

Розглянуто альтернативні джерела живлення, їх класифікацію, типи та ефективність генерації електроенергії. Наведено параметри, що характеризують роботу енергосистеми в нормальному режимі. Розглянуто принципи роботи дизель-генераторних електростанцій та принципи їх синхронізації при підключенні до мережі енергосистеми. Досліджено системи управління дизель-генераторними електростанціями, цифрові контролери, їх структуру, переваги, методи підключення та моделі, які представлені на українському ринку.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ БИТТЯ ПРИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ

2.1 Параметри сигналу биття і умови їх моделювання

При дослідженні впливу різниці частот генераторів, що включаються на паралельну роботу, на параметри сигналу биття в якості інформативних параметрів будемо використовувати площу під обвідною сигналу биття і енергію сигналу биття.

В загальному випадку площа під обвідною сигналу биття визначається за виразом

$$S_U = \int_0^{\tau} u_s(t) dt, \quad (2.1)$$

де τ - тривалість сигналу биття; u_s – описується виразом (1.9).

При проведенні моделювання і розрахунків будемо використовувати цифрове представлення сигналу в даному випадку вираз (2.1) буде мати

вигляд

$$S_U = \Delta t \sum_0^N u_{si}, \quad (2.2)$$

де Δt – інтервал часу між двома сусідніми значеннями розрахунків амплітуди сигналу биття; i – поточне значення відліку при проведенні розрахунків; N – кількість розрахункових значень амплітуди сигналу биття на його тривалості τ .

Після проведення розрахунків для заданих частот генератора, що синхронізується, будемо проводити дослідження та опис закономірностей зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти генератора, що синхронізується, а також дослідження впливу часу упередження включення генератора на площу сигналу биття в інтервалі часу упередження (рис. 2.1).

В загальному випадку енергія під обвідною сигналу биття визначається за виразом

$$E_S = \int_0^{\tau} u_s^2(t) dt, \quad (2.3)$$

де τ - тривалість сигналу биття; u_s – описується виразом (1.9).

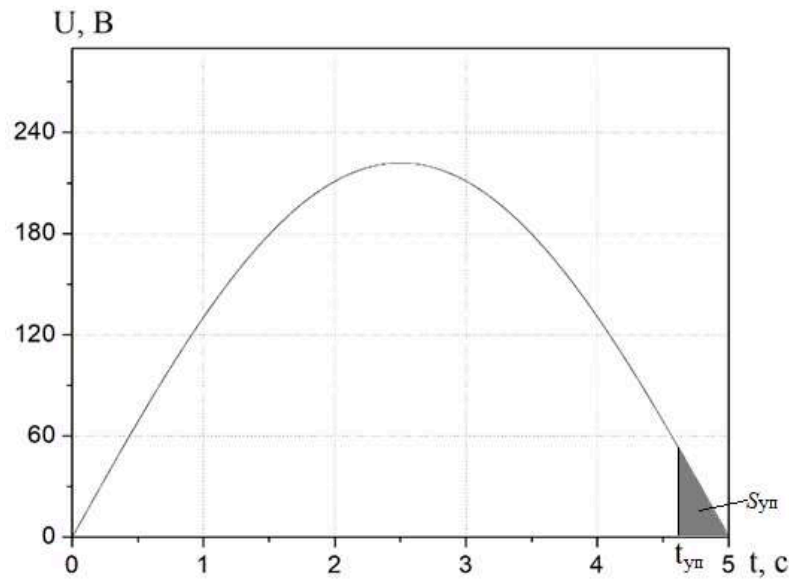


Рис. 2.1. Визначення площі упередження, яка відповідає часу упередження включення вимикача

При проведенні моделювання і розрахунків будемо використовувати цифрове представлення сигналу в даному випадку вираз (2.3) буде мати вигляд

$$E_S = \Delta t \sum_0^N u_{Si}^2, \quad (2.4)$$

де Δt – інтервал часу між двома сусідніми значеннями розрахунків амплітуди сигналу биття; i – поточне значення відліку при проведенні розрахунків; N – кількість розрахункових значень амплітуди сигналу биття на його тривалості τ .

Після проведення розрахунків для заданих частот генератора, що синхронізується, будемо проводити дослідження та опис закономірностей зміни енергії сигналу биття від частоти генератора, що синхронізується, а також дослідження впливу часу упередження включення генератора на енергію сигналу биття в інтервалі часу упередження.

Моделювання сигналу биття будемо проводити при наступних умовах.

Будемо вважати, що напруга генератора, що синхронізується, і напруга мережі однакові, тобто $U_G = U_C = U$. Частота мережі відповідає номінальній

частоті, яка становить 50 Гц. При моделюванні частоти генератора, що синхронізується частота буде змінюватися і буде дорівнювати наступним значенням -

49.95 Гц, 49.9 Гц, 49.8 Гц, 49.7 Гц, 49.6 Гц, 49.5 Гц, 49.4 Гц, 49.3 Гц, 49.2 Гц, 49.1 Гц, 49.0 Гц, 48.5 Гц, 48 Гц

Напруга в мережі становить 380 В.

При проведенні розрахунків, згідно виразам (2.2) і (2.4), інтервал часу Δt між двома сусідніми значеннями розрахунків амплітуди сигналу биття буде становити $\Delta t = 0.0001$ с.

Кількість розрахункових точок амплітуд сигналу биття буде становити 200000.

2.2 Вплив частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на площу сигналу биття

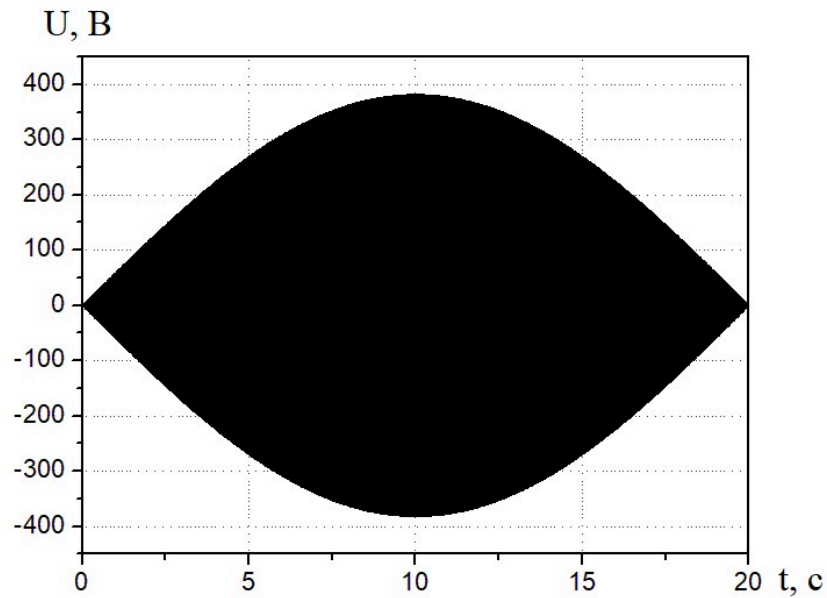
Моделювання впливу частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на площу сигналу биття будемо проводити в два етапи.

На першому етапі будемо проводити розрахунки сигналу биття, згідно з виразом (1.8), для прийнятих умов моделювання. Після проведення розрахунків будемо проводити інверсію негативної складової сигналу биття, що забезпечує підвищення точності подальших розрахунків. Після цього будемо проводити розрахунки площі під обвідною сигналів биття з побудовою закономірностей їх зміни.

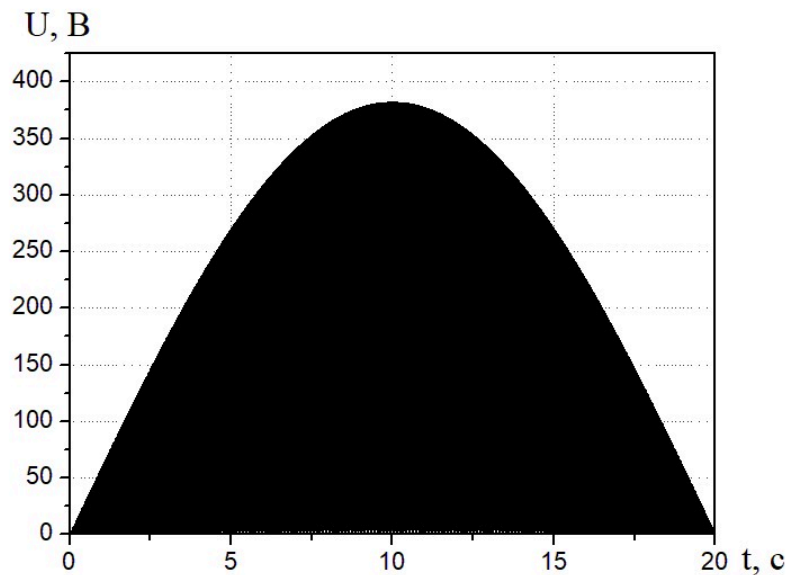
На другому етапі будемо проводити побудову і аналіз закономірності зміни площі під обвідною сигналів биття від частоти генератора, що синхронізується. При цьому будемо проводити математичний опис побудованої закономірності з проведенням статистичного аналізу даних.

Результати проведеного моделювання на першому етапі для частоти генератора, що синхронізується, яка складає 49,95 Гц, наведено на рис. 2.2.

На рис. 2.2, а показано промодельований сигнал биття у вигляді зміни його амплітуди в часі. На рис. 2.2, б показано промодельований сигнал биття після інверсії його негативної складової.



а



б

Рис. 2.2. Промодельований сигнал биття у вигляді зміни його амплітуди в часі (а) і промодельований сигнал биття після інверсії його негативної складової (б)

Проведено розрахунки площі сигналу биття з урахуванням інверсії негативної складової сигналу биття. За результатами розрахунків проведено розрахунки накопичення площі сигналу биття під обвідною сигналу для прийнятих частот моделювання.

Результати проведених розрахунків показано на рис. 2. 3

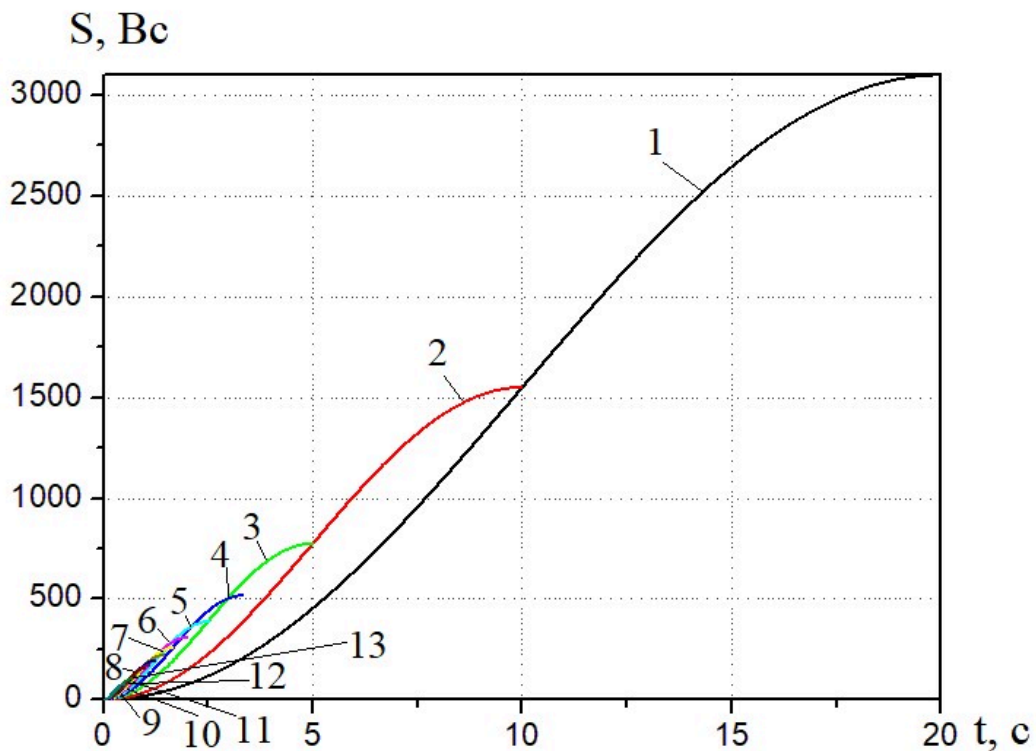


Рис. 2.3. Графіки накопичення площі під обвідною сигналу биття для прийнятих частот моделювання. Частоти моделювання: 1 - 49.95 Гц, 2 - 49.9 Гц, 3 - 49.8 Гц, 4 - 49.7 Гц, 5 - 49.6 Гц, 6 - 49.5 Гц, 7 - 49.4 Гц, 8 - 49.3 Гц, 9 - 49.2 Гц, 10 - 49.1 Гц, 11 - 49.0 Гц, 12 - 48.5 Гц, 13 - 48 Гц

Результати проведених досліджень показують, що з поступовим зростанням частоти дизель-генераторної електростанції від 48 Гц до 49.95 Гц відбувається зменшення швидкості накопичення площі під обвідною сигналу биття і зростання площі під обвідною сигналу биття.

За результатами обробки даних отримано значення площі під обвідною сигналу биття для заданих частот моделювання. Отримані результати наведено в табл. 2.1.

Згідно отриманих даних (табл. 2.1) на рис. 2.4 наведено графік залежності зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції.

Таблиця 2.1.

Значення площі під обвідною сигналу биття для визначених частот дизель-генераторної електростанції

f, Гц	S, Вс
48	77,45795
48.5	103,26387
49.0	154,90181
49.1	172,1063
49.2	193,61957
49.3	221,2804
49.4	258,16178
49.5	309,79684
49.6	387,24504
49.7	516,32412
49.8	774,48459
49.9	1548,97201
49.95	3097,94381

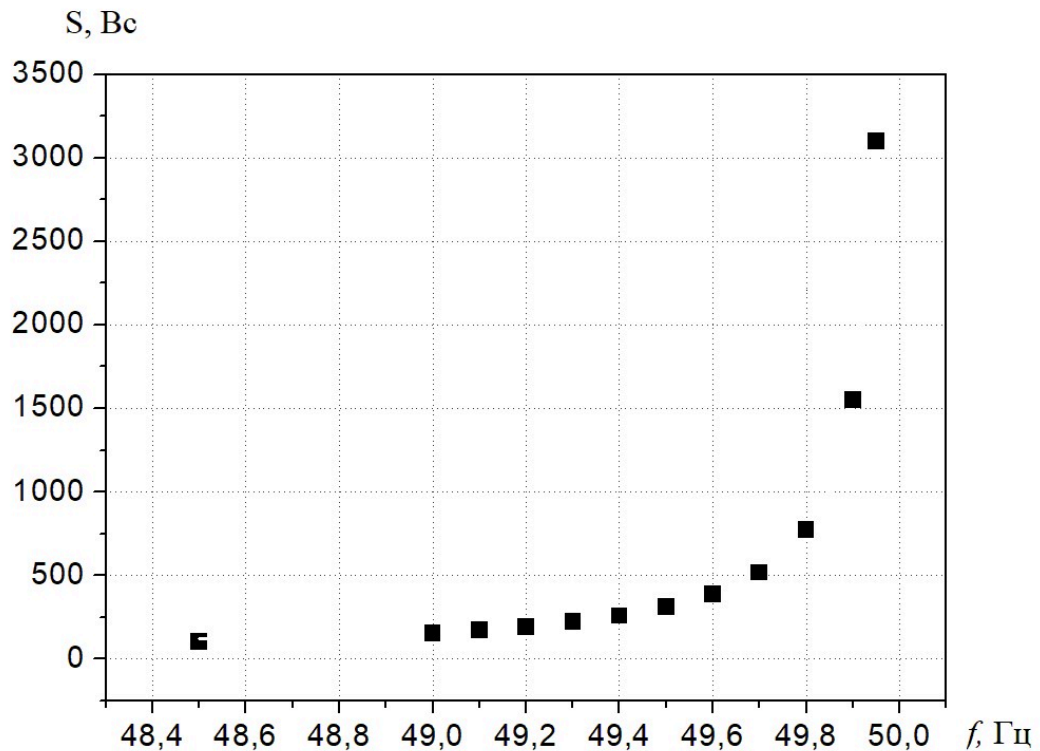


Рис. 2.4. Графік залежності зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції.

Аналіз отриманих даних з апроксимацією залежності, яка наведена на рис. 2.4, показав, що залежність може бути описана різними математичними виразами. Наприклад виразом виду

$$S = e^{a + \frac{b}{f+c}}, \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнтів апроксимуючого виразу і статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.4 виразом (2.5) наведено в табл. 2.2.

В той же час аналіз отриманих даних з апроксимацією залежності, яка наведена на рис. 2.4, показав, що з найменшою похибкою (остаточною дисперсією) залежність описується виразом виду

$$S = A + ae^{(f-x_0)/t_1} + A_{b2}e^{(f-x_0)/t_2}, \quad (2.6)$$

Значення коефіцієнтів апроксимуючого виразу і статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.4 виразом (2.6) наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.2.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.4 виразом (2.5)

Chi ² /DoFR ²		

	50767.19355	0.9391

Parameter	Value	Error

a	426.80049	67.28854
b	-21130.08139	3392.98202
c	0.5	0

Таблиця 2.3.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.4 виразом (2.6)

Chi ² /DoF R ²		

	229.86444	0.99983

Parameter	Value	Error

A	118.29525	12.8674
x0	48.87408	--
a	19.81896	--
t1	0.27342	0.0233
b	1.1297E-8	--
t2	0.04157	0.00208

Результат апроксимації залежності, яка наведена на рис. 2.4, виразом (2.6) показано на рис. 2.5.

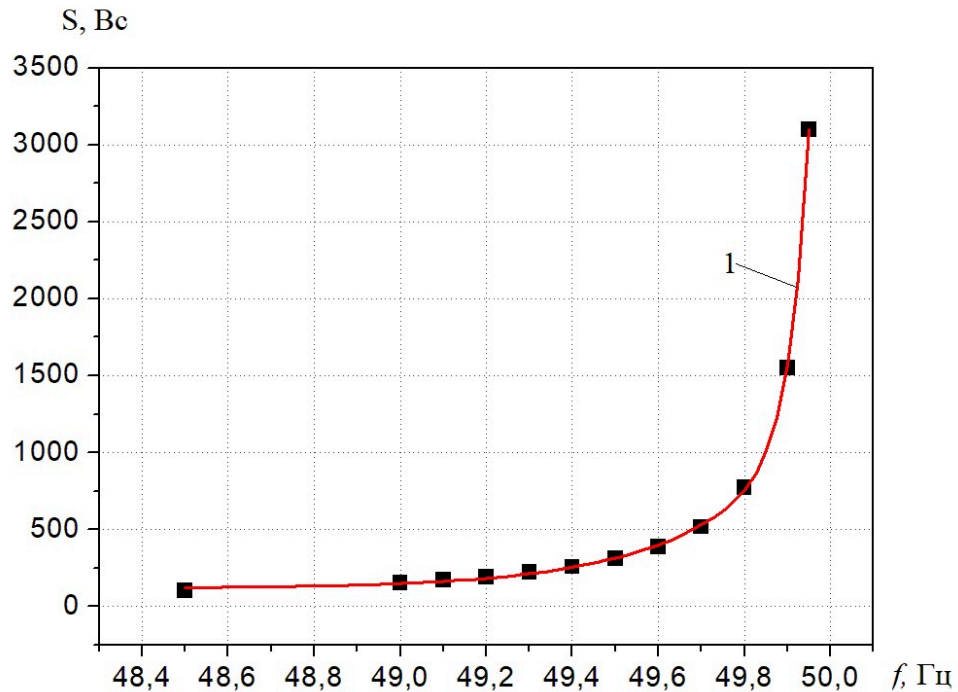


Рис. 2.5. Апроксимуючий графік залежності зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції. 1 – апроксимуюча залежність

З отриманих результатів видно, що всі дані добре узгоджуються з теоретичною залежністю, яка на рис. 2.5 показана червою лінією.

Для формування алгоритму управління з часом упередження, який повинен дорівнювати часу спрацювання вимикача, інтерес представляє визначення площі під обвідною сигналу биття на часі упередження (рис. 2.1).

Проведемо моделювання сигналу биття з визначенням площі під обвідною сигналу биття для заданих частот дизель-генераторної електростанції для заданого часу спрацювання вимикача.

За даними будемо встановлювати час упередження рівний часу спрацювання вимикача, значення якого дорівнює

$$t_{уП} = t_{ВВ} = 0.3 \text{ с.}$$

Результати проведеного моделювання для заданих частот дизель-генераторної електростанції з розрахунками площі під обвідною сигналу биття на часі упередження рівному 0.3 с наведено в табл. 2.4

Таблиця 2.4.

Значення площі під обвідною сигналу биття для визначених частот дизель-генераторної електростанції на інтервалі часу упередження 0.3 с

f, Гц	S _y , Вс
48.5	43,3699
49.0	31,11704
49.1	28,93494
49.2	26,05318
49.3	23,15969
49.4	20,18132
49.5	16,43423
49.6	13,22724
49.7	10,20627
49.8	7,11015
49.9	3,55815
49.95	1,83376

Згідно даних, наведених в табл. 2.4, на рис. 2.6 показано графік зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної електростанції на часі упередження (включення вимикача) рівному 0.3 с.

З рис. 2.6 видно, що із збільшенням частоти дизель-генераторної електростанції (зменшення різниці частот по відношенню до мережі) відбувається зменшення площі під обвідною сигналу биття на інтервалі часу, якій відповідає час упередження рівному часу спрацювання вимикача.

Залежність має не лінійний характер падіння.

Обробка отриманих даних з апроксимацією залежності, яку наведено на рис. 2.6 показала, що вона добре описується поліномом другого ступеня

$$S_{y\Pi} = a + bf + cf^2, \quad (2.7)$$

де a, b, c – коефіцієнти апроксимуючого виразу, значення яких наведено в табл. 2.5.

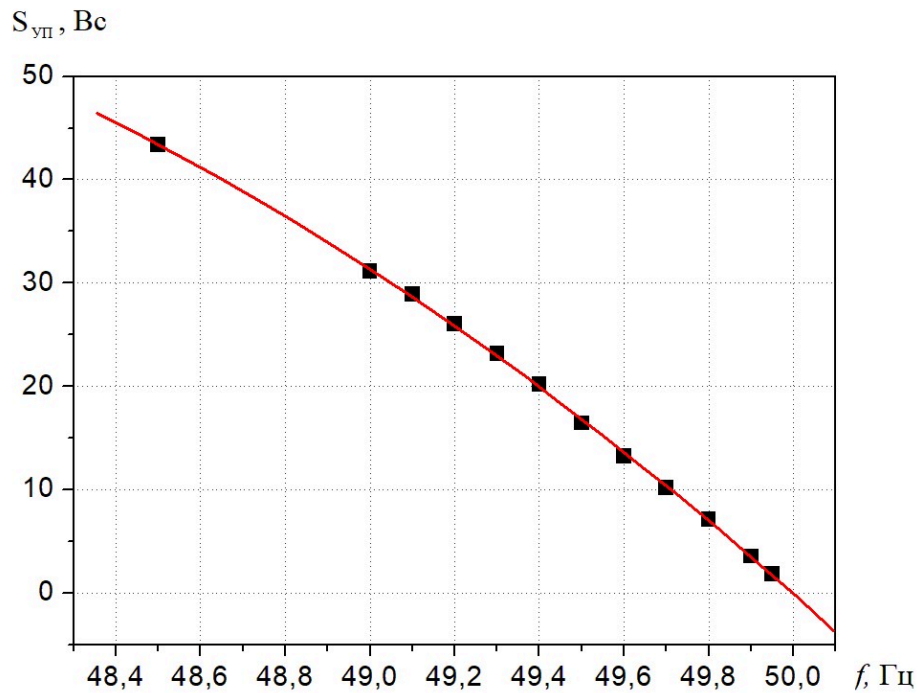


Рис. 2.6. Графік зміни площі під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної електростанції на часі упередження (включення вимикача) рівному 0.3 с

Таблиця 2.5.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.6 виразом (2.7)

Parameter	Value	Error
a	-10407,59795	1012,2267
b	452,65765	41,08043
c	-4,89016	0,41678

R-Square(COD)	SD	N	P
0,99958	0,2799	12	<0.0001

Графіки, подібні рис. 2.6, будуються для значень часу упередження включення вимикача в діапазоні величин від 0.2 с до 0, 3 с з розрізненням 0,01

с. Це дозволяє формувати базу даних для коефіцієнтів a , b і c апроксимуючого виразу (2.7) для кожного значення часу включення вимикача.

При управлінні для заданого значення часу включення вимикача і частоти включення дизель-генераторної електростанції в мережу це дозволяє розраховувати площу під обвідною сигналу биття на інтервалі часу включення вимикача.

2.3 Вплив частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на енергію сигналу биття

Моделювання вплив частоти дизель-генераторної електростанції, що синхронізується, на енергію сигналу биття будемо проводити в два етапи.

На першому етапі будемо проводити розрахунки сигналу биття, згідно з виразом (1.8), для прийнятих умов моделювання. Після проведення розрахунків будемо проводити інверсію негативної складової сигналу биття, що забезпечує підвищення точності подальших розрахунків. Після цього будемо проводити розрахунки енергії під обвідною сигналів биття, за виразом (2.4), з побудовою закономірностей їх зміни.

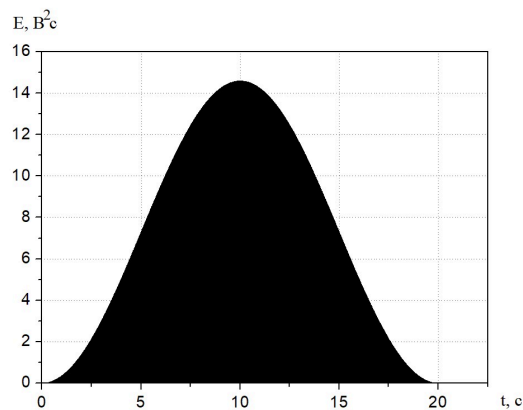
На другому етапі будемо проводити побудова і аналіз закономірності зміни енергії під обвідною сигналів биття від частоти генератора, що синхронізується. При цьому будемо проводити математичний опис побудованої закономірності с проведенням статистичного аналізу даних.

Результати проведеного моделювання на першому етапі для частот генератора, що синхронізується, які складає 49,95 Гц і 49 Гц, наведено на рис. 2.7, де показано енергія сигналів биття після інверсії негативної складової.

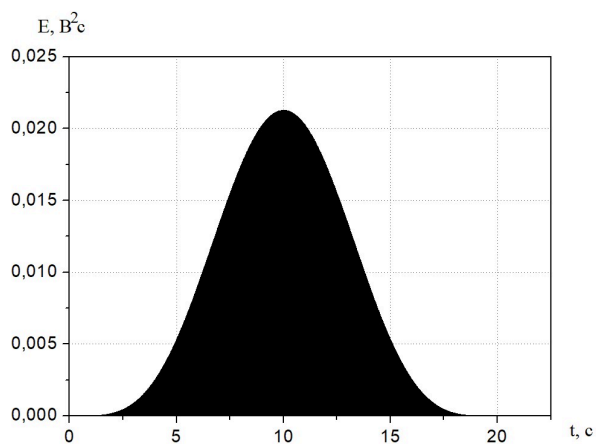
Проведено розрахунки енергії сигналу биття з урахуванням інверсії негативної складової сигналу биття. За результатами розрахунків проведено розрахунки накопичення площі сигналу биття під обвідною сигналу для прийнятих частот моделювання. Результати проведених розрахунків для частот моделювання дизель-генераторної електростанції: 1 - 49.95 Гц, 2 - 49.9

Гц, 3 - 49.8 Гц, 4 - 49.7 Гц, 5 – 49.6 Гц, 6 - 49.5 Гц, 7 - 49.4 Гц, 8 - 49.3 Гц, 9 - 49.2 Гц, 10 - 49.1 Гц, 11 - 49.0 Гц, 12 - 48.5 Гц, 13 - 48 Гц показано на рис. 2.8.

Результати проведених досліджень показують, що з поступовим зростанням частоти дизель-генераторної електростанції від 48 Гц до 49.95 Гц відбувається зменшення швидкості накопичення енергії під обвідною сигналу биття. Однак при цьому відбувається зростання площі під обвідною сигналу биття.



а



б

Рис. 2.7. Промодельований сигнал биття після інверсії його негативної складової у вигляді зміни його енергії в часі для різних частот дизель-генераторної електростанції. Частота дизель-генераторної електростанції: а – 49.95 Гц, б – 49 Гц

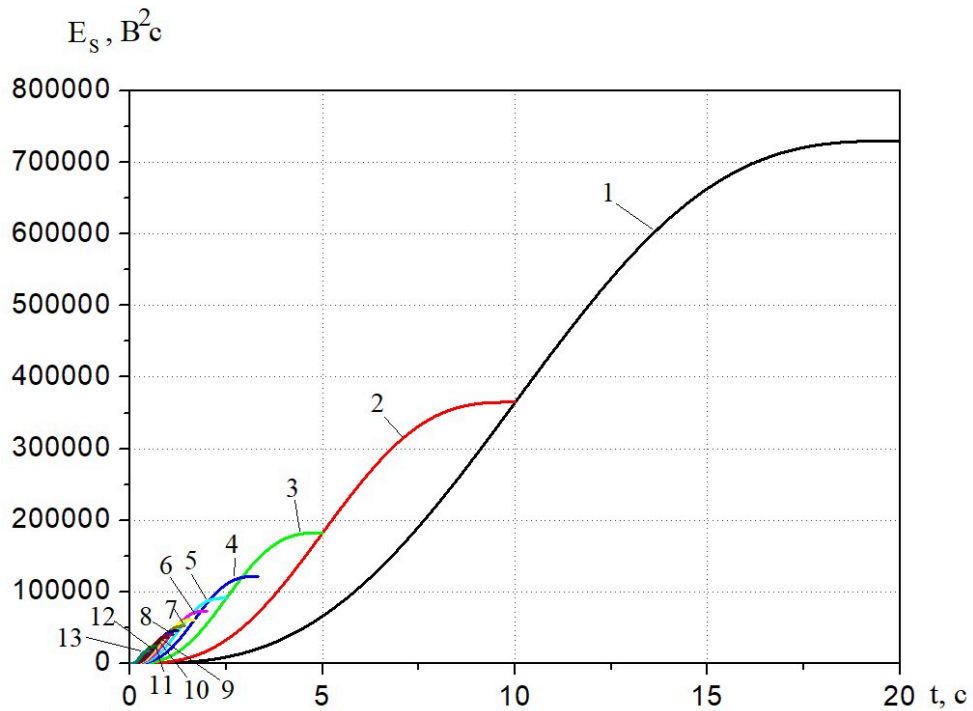


Рис. 2.8. Графіки накопичення енергії під обвідною сигналу биття для прийнятих частот моделювання. Частоти моделювання: 1 - 49.95 Гц, 2 - 49.9 Гц, 3 - 49.8 Гц, 4 - 49.7 Гц, 5 - 49.6 Гц, 6 - 49.5 Гц, 7 - 49.4 Гц, 8 - 49.3 Гц, 9 - 49.2 Гц, 10 - 49.1 Гц, 11 - 49.0 Гц, 12 - 48.5 Гц, 13 - 48 Гц

Проведемо визначення максимального значення енергії під обвідної сигналу биття. За результатами обробки даних отримано значення сумарної енергії під обвідною сигналу биття для заданих частот моделювання. Отримані результати наведено в табл. 2.6.

Згідно отриманих даних (табл. 2.6) на рис. 2.9 наведено графік залежності зміни енергії під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції.

Таблиця 2.6.

Значення енергії під обвідною сигналу биття для визначених частот дизель-генераторної електростанції

f, Гц	S _y , Вс
48.5	18249,80186
49.0	24333,01431

49.1	36499,51582
49.2	40555,00109
49.3	45624,37962
49.4	52142,15041
49.5	72999,01037
49.6	91248,76114
49.7	121665,01185
49.8	182497,51799
49.9	364995,03681
49.95	729990,07313

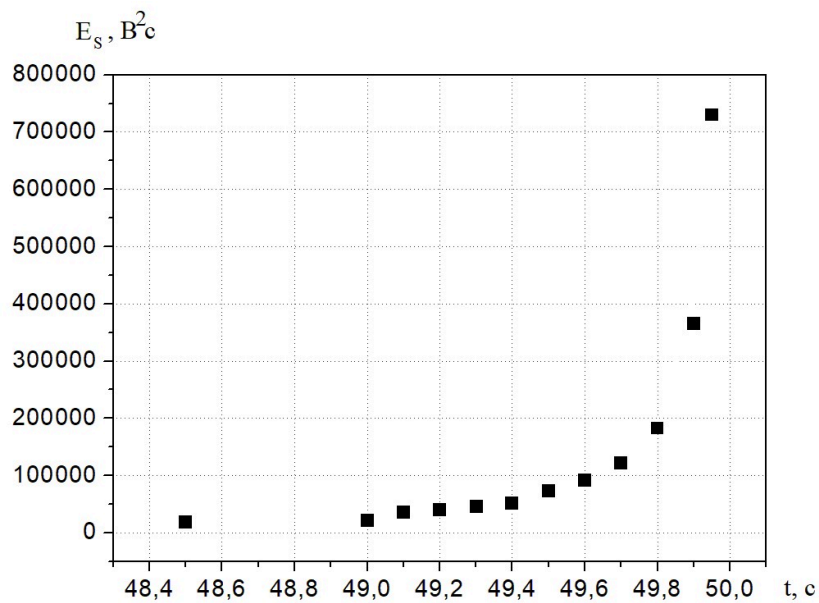


Рис. 2.9. Графік залежності зміни енергії під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції.

Аналіз отриманих даних з апроксимацією залежності, яка наведена на рис. 2.9, показав, що залежність може бути описана різними математичними виразами. Наприклад виразом виду

$$E_S = e^{a + \frac{b}{f+c}}, \quad (2.8)$$

Значення коефіцієнтів апроксимуючого виразу і статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.9 виразом (2.8) наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.9 виразом (2.8)

Chi ² /DoF		R ²
2499421248.57957		0.94708
Parameter	Value	Error
a	435.1806	63.89303
b	-21277.21688	3221.78224
c	0.5	0

В той же час аналіз отриманих даних з апроксимацією залежності, яка наведена на рис. 2.9, показав, що з найменшою похибкою (остаточною дисперсією) залежність описується виразом виду

$$E_S = \frac{A_1 - A_2}{1 + (f/x_0)^P} + A_2 \quad (2.9)$$

Значення коефіцієнтів апроксимуючого виразу і статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.9 виразом (2.9) наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.8.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.9 виразом (2.9)

hi ² /DoF		R ²
10.28037		0.98293
Parameter	Value	Error
A1	50563.12431	11274.89626

A2	1.6119E16	--
x0	51.96795	--
p	603.91776	75.36758

Результат апроксимації залежності, яка наведена на рис. 2.9, виразом (2.9) показано на рис. 2.10.

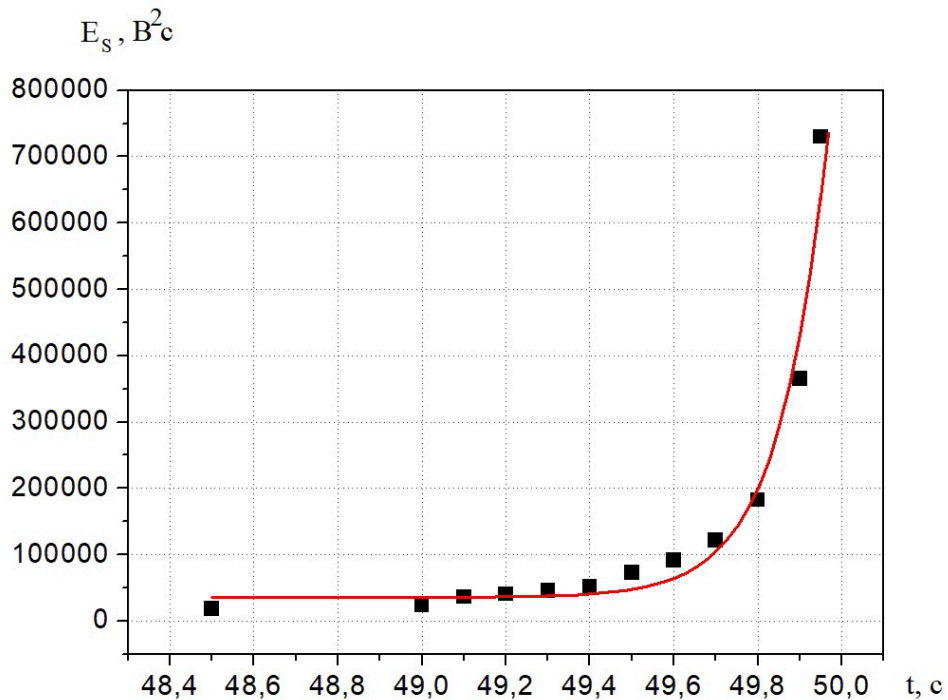


Рис. 2.10. Апроксимуючий графік залежності зміни енергії під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної станції. Червона лінія апроксимуюча залежність

Для формування алгоритму управління з часом упередження, який повинен дорівнювати часу спрацювання вимикача, інтерес представляє визначення енергії під обвідною сигналу биття на часі упередження (рис. 2.1).

Проведемо моделювання сигналу биття з визначенням енергії під обвідною сигналу биття для заданих частот дизель-генераторної електростанції для заданого часу спрацювання вимикача.

За даними будемо встановлювати час упередження рівний часу спрацювання вимикача, значення якого дорівнює

$$t_{y\Pi} = t_{BB} = 0.3 \text{ с.}$$

Результати проведеного моделювання для заданих частот дизель-генераторної електростанції з розрахунками енергії під обвідною сигналу биття на часі упередження рівному 0.3 с наведено в табл. 2.8

Таблиця 2.9.

Значення енергії під обвідною сигналу биття для визначених частот дизель-генераторної електростанції на інтервалі часу упередження 0.3 с

f, Гц	E _y , В ² с
48.5	9664,38343
49.0	5255,55422
49.1	4496,83199
49.2	3645,65468
49.3	2893,93398
49.4	2214,23759
49.5	1494,4921
49.6	969,84777
49.7	569,98978
49.8	272,08448
49.9	68,2052
49.95	17,86592

Згідно даних, наведених в табл. 2.8, на рис. 2.11 показано графік зміни енергії під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної електростанції на часі упередження (включення вимикача) рівному 0.3 с.

З рис. 2.11 видно, що із збільшенням частоти дизель-генераторної електростанції (зменшення різниці частот по відношенню до мережі) відбувається зменшення енергії під обвідною сигналу биття на інтервалі часу, якій відповідає час упередження рівному часу спрацювання вимикача.

Залежність має не лінійний характер падіння.

Обробка отриманих даних з апроксимацією залежності, яку наведено на рис. 2.11 показала, що вона добре описується поліномом третього ступеня

$$E_{y\Pi} = a + bf + cf^2 + df^3, \quad (2.10)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти апроксимуючого виразу, значення яких наведено в табл. 2.9.

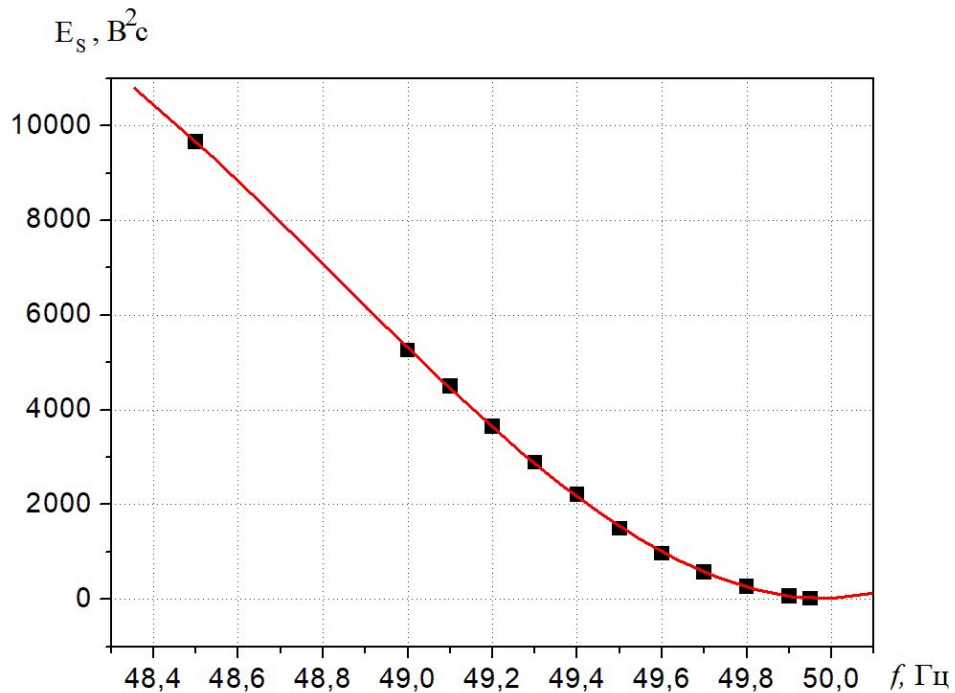


Рис. 2.11. Графік зміни енергії під обвідною сигналу биття від частоти дизель-генераторної електростанції на часі упередження (включення вимикача) рівному 0.3 с

Таблиця 2.10.

Статистичні параметри апроксимації залежності на рис. 2.11 виразом (2.10)

Parameter	Value	Error
a	-2,58436E8	1,93593E7
b	1,5897E7	1,17981E6
c	-325764,00242	23965,97154
d	2223,9605	162,26778
R-Square(COD)	SD	N P

0,99988 37,06521 12 <0.0001

Графіки, подібні рис. 2.11, будуються для значень часу упередження включення вимикача в діапазоні величин від 0,2 с до 0,3 с з розрізненням 0,01 с. Це дозволяє формувати базу даних для коефіцієнтів a , b , c і d апроксимуючого виразу (2.10) для кожного значення час включення вимикача.

При управлінні для заданого значення часу включення вимикача і частоти включення дизель-генераторної електростанції в мережу це дозволяє розраховувати площу під обвідною сигналу биття на інтервалі часу включення вимикача.

2.4 Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі площі під обвідною сигналу биття

Схема алгоритму управління вимикачем для підключення дизель-генераторної станції до мережі при контролі площі під обвідною сигналу биття наведена на рис. 2.12.

Для реалізації алгоритму управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу використовуються початкові дані – частота, при якій повинно відбутися включення f_{Γ} і час включення вимикача або час упередження $t_{y\Pi} = t_{BB}$.

Відбувається читання бази і за часом упередження отримаємо з бази коефіцієнти для апроксимуючого виразу, який описує залежність площі під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження і заданої частоти включення дизель-генераторної станції до мережі.

Потім відбуваються розрахунки площі під обвідною сигналу биття S_u для заданої частоти включення генератора і площі під обвідною сигналу биття на часі упередження S_y для заданої частоти включення генератора.

Після цього проводиться перехід до вимірювання сигналів напруги мережі U_m і дизель-генераторної станції U_{Γ} з використанням порту введення-

виведення аналогових сигналів. Для вимірювання застосовуються вимірювальні перетворювачі.

За результатами вимірювань проводяться розрахунки площі під обвідною сигналу биття S_{uc} .

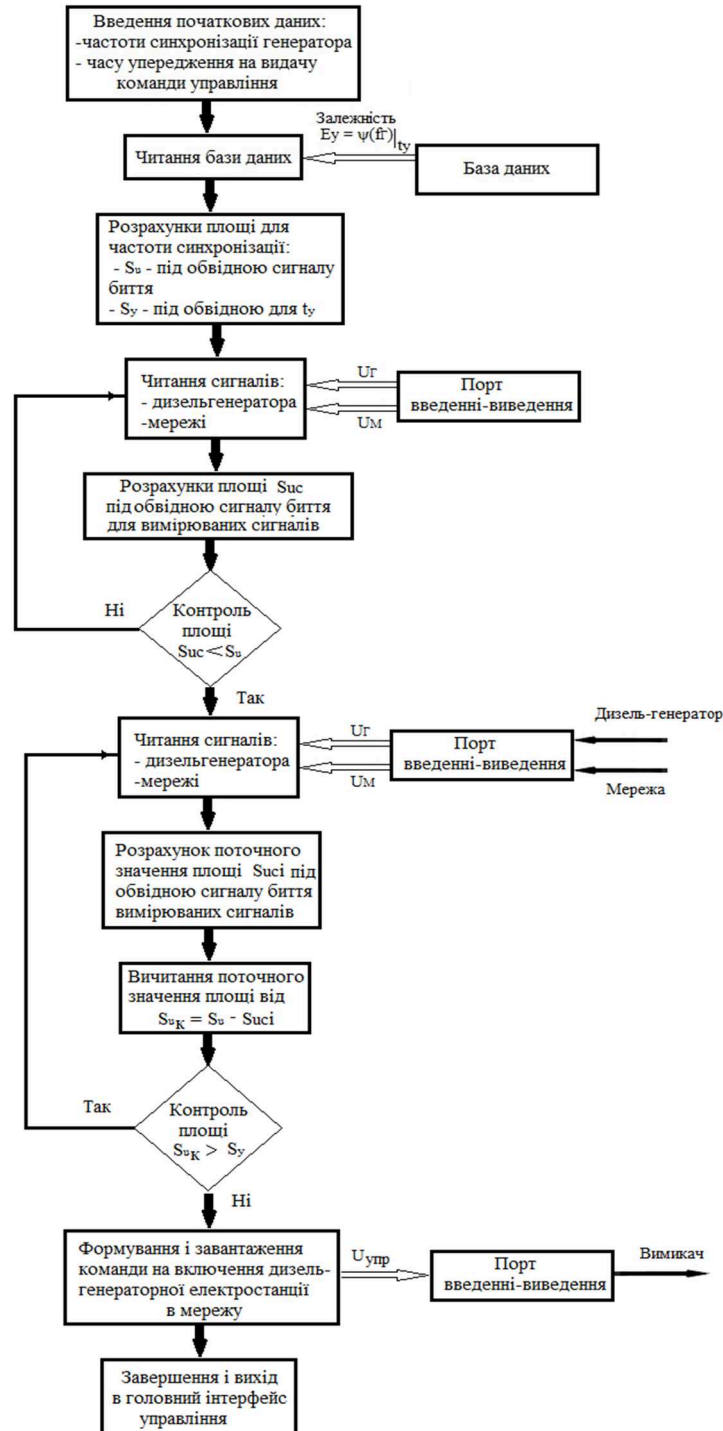


Рис. 2.12. Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі площі під обвідною сигналу биття

На наступному етапі алгоритму проводиться контроль відхилення площі S_{uc} сигналу биття за результатами вимірювань від розрахункової площі S_u для заданої частоти включення генератора. Якщо площа, яка розрахована по вимірюваним сигналам менше площі для заданої частоти включення генератора, то проводиться повторне вимірювання сигналів напруги мережі і генератора, розрахунки площі і порівняння з розрахунковою площею під обвідною сигналу биття для заданої частоти включення генератора.

При реалізації умови рівності площі під обвідною сигналу биття для вимірюваних сигналів і площі під обвідною сигналу биття для заданої частоти включення генератора відбувається повторне вимірювання сигналів генератора та мережі.

Проводиться розрахунок поточного значення площі S_{uc} під обвідною сигналу биття для вимірюваних сигналів.

На наступному етапі відбувається вичитання поточного значення площі під обвідною сигналу биття за вимірюваними сигналами від розрахункового значення для заданої частоти включення генератора в мережу - $S_{uK} = S_u - S_{uc}$.

За результатами вичитання проводиться контроль досягнення площі під обвідною сигналу биття S_{uK} площі під обвідною сигналу биття на часі упередження S_u для заданої частоти включення генератора в мережу.

При невідповідності умови контролю площі, тобто якщо поточна площа S_{uK} більше площі під обвідною сигналу биття на часі упередження S_u для заданої частоти включення генератора в мережу алгоритм повертається до етапу вимірювання сигналів, визначення різниці поточних площ і порівняння з S_u . Якщо поточна площа S_{uK} дорівнює площі під обвідною сигналу биття на часі упередження S_u для заданої частоти включення генератора, то виконується формування та завантаження команди на включення дизель-генераторної електростанції в мережу згідно з розрахованими даними.

Після цього на виході порта введення-виведення формується сигнал управління, який передається на вимикач дизель-генераторної електростанції.

Алгоритм завершує свою роботу та повертається до нейтрального стану інтерфейсу.

2.5 Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі енергії під обвідною сигналу биття

На рисунку 2.13 представлено схему алгоритму керування вимикачем, який забезпечує підключення дизель-генераторної станції до електричної мережі на основі контролю площі під обвідною сигналу биття. Для реалізації цього алгоритму застосовуються вихідні параметри, зокрема: частота генератора, при досягненні якої має бути здійснене підключення (f_{Γ}), а також значення часу включення вимикача, яке одночасно виступає як час упередження – $t_{y\Pi} = t_{BV}$.

На початковому етапі здійснюється зчитування даних з бази. Виходячи із заданого часу упередження, з бази отримуються коефіцієнти апроксимуючого виразу. Цей вираз описує залежність площі під обвідною сигналу биття від параметрів: часу упередження і частоти включення дизель-генераторної станції до електромережі.

Далі проводяться розрахунки енергії під обвідною сигналу биття для заданої поточної частоти генератора (E_u), а також енергії під обвідною сигналу биття, яка відповідає значенню часу упередження (E_y).

Наступним етапом є зчитування аналогових сигналів U_m і U_{Γ} , що надходять відповідно з мережі та дизель-генераторної установки. Це здійснюється через порт введення-виведення аналогових сигналів. На основі результатів отриманих вимірювань виконується розрахунок площі під обвідною сигналу биття, яка відповідає поточному режиму роботи системи (E_{uc}).

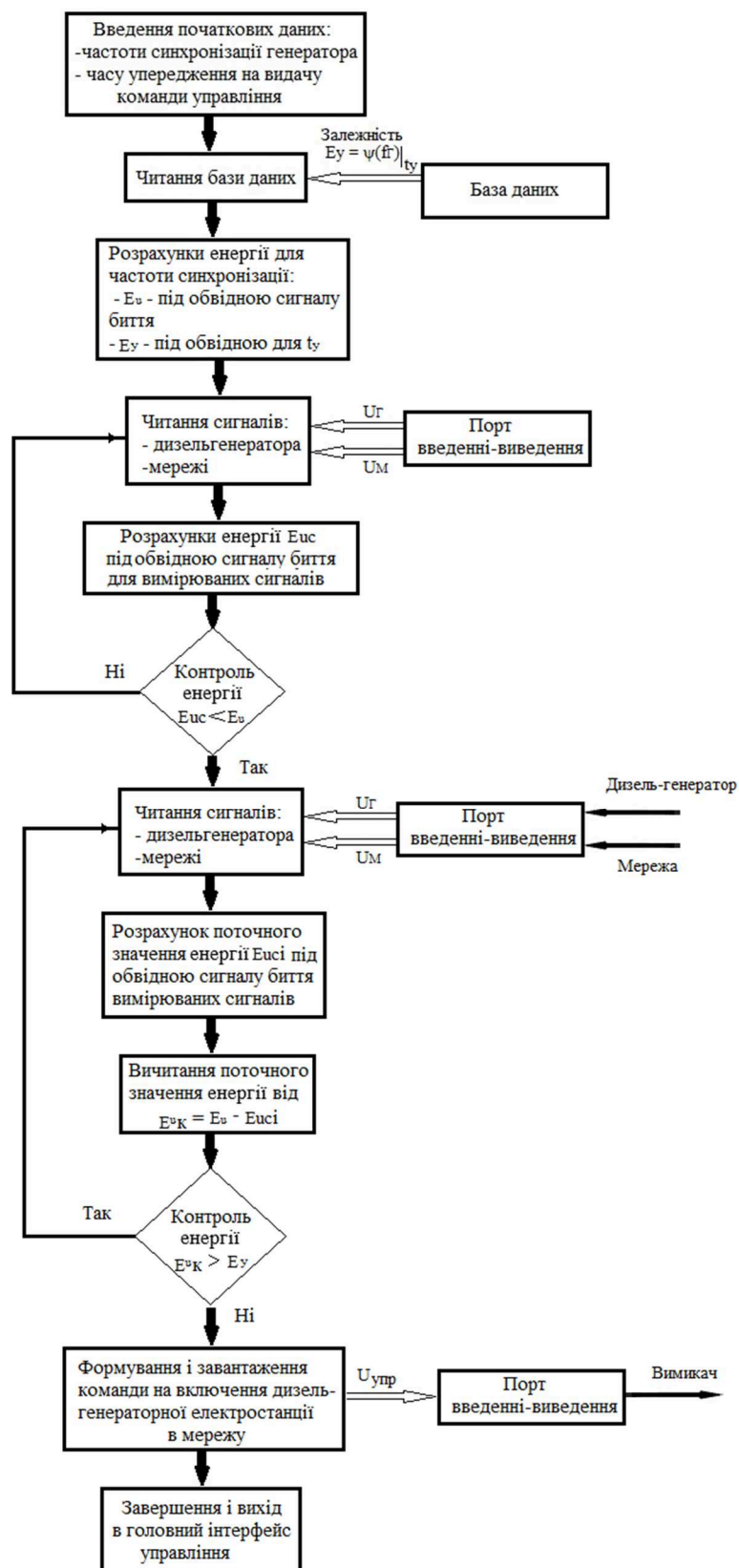


Рис. 2.13. Алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі енергії під обвідною сигналу биття

На наступному етапі алгоритму проводиться контроль відхилення енергії E_{uc} сигналу биття за результатами вимірювань від розрахункової енергії E_u для заданої частоти включення генератора. Якщо енергії, яка розрахована по вимірюваним сигналам менше енергії для заданої частоти включення генератора, то проводиться повторне вимірювання сигналів напруги мережі і генератора, розрахунки енергії і порівняння з розрахунковою енергією під обвідною сигналу биття для заданої частоти включення генератора.

При реалізації умови рівності енергії під обвідною сигналу биття для вимірюваних сигналів і енергії під обвідною сигналу биття для заданої частоти включення генератора відбувається повторне вимірювання сигналів генератора та мережі.

Проводиться розрахунок поточного значення енергії E_{uc} під обвідною сигналу биття для вимірюваних сигналів.

На наступному етапі відбувається вичитання поточного значення енергії під обвідною сигналу биття за вимірюваними сигналами від розрахункового значення для заданої частоти включення генератора в мережу - $E_{uK} = E_u - E_{uc}$.

За результатами вичитання проводиться контроль досягнення енергії під обвідною сигналу биття E_{uK} енергії під обвідною сигналу биття на часі упередження E_u для заданої частоти включення генератора в мережу.

При невідповідності умови контролю площі, тобто якщо поточна енергія E_{uK} більше енергії під обвідною сигналу биття на часі упередження E_u для заданої частоти включення генератора в мережу алгоритм повертається до етапу вимірювання сигналів, визначення різниці поточних енергій і порівняння з E_u . Якщо поточна площа E_{uK} дорівнює площі під обвідною сигналу биття на часі упередження E_u для заданої частоти включення генератора, то виконується формування та завантаження команди на включення дизель-генераторної електростанції в мережу згідно з розрахованими даними.

Після цього на виході порта введення-виведення формується сигнал управління, який передається на вимикач дизель-генераторної електростанції. Алгоритм завершує свою роботу та повертається до нейтрального стану інтерфейсу.

Висновки до розділу 2:

Досліджено параметри сигналу биття та умови їх моделювання з відповідними формулами. Досліджено вплив частоти синхронізації дизель-генераторної електростанції на площу та енергію сигналу биття. Розглянуто алгоритм управління включення дизель-генераторної електростанції в мережу при контролі площі під обвідною сигналу биття та при контролі енергії під обвідною сигналу биття.

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ

3.1 Загальні підходи до побудови автоматизованих систем управління з застосуванням комп'ютерної техніки

Ідея функціонування автоматизованої системи управління, як правило, базується на інформаційній моделі, об'єктна модель представлена у вигляді інформації, що описує параметри і змінні об'єкта, які є важливими для даного розгляду, зв'язки між ними, входами і виходами об'єкта і дозволяє моделювати можливі стани об'єкта шляхом подачі в модель інформації про зміну вхідних значень.

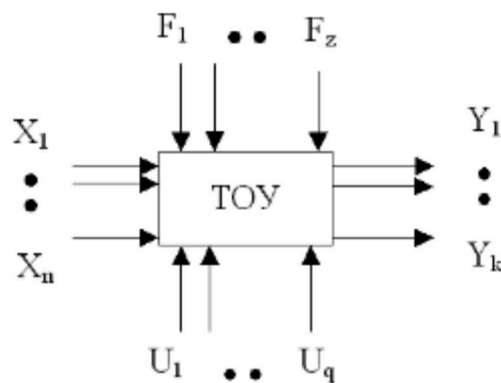


Рис. 3.1. Загальне уявлення про технологічний об'єкт управління (ТОУ):
 $X_1 \dots X_n$ - сукупність вхідних величин; $U_1 \dots U_k$ - множина вихідних значень;
Формула-1... ФЗ - сукупність випадкових зовнішніх впливів; $U_1 \dots U_q$ –
сукупність керуючих дій

У загальному випадку інформаційна модель показує набори вхідних і вихідних значень, а також поділ вхідних і керуючих впливів.

При використанні інформаційної моделі загальне уявлення автоматизованої системи показано на рис. 3.2.

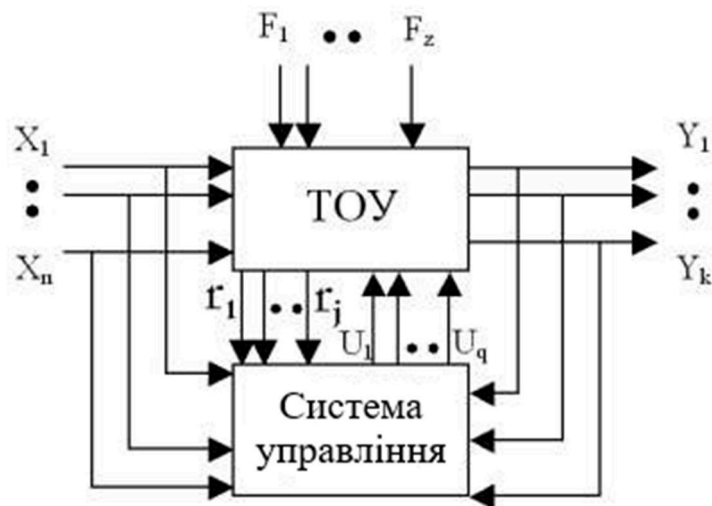


Рис. 3.2. Загальне структурне уявлення автоматизованої системи управління
 $r_1 \dots r_j$ - це сукупність значень параметрів, що характеризують
положення виконавчих механізмів, що входять до ТУ

У такій структурі інформація про входні дії, поточні значення вихідних значень, значення місцевих виконавчих механізмів, що входять в технологічний об'єкт управління, передається в систему управління за допомогою датчиків (первинних перетворювачів).

По суті, система управління функціонує на основі інформації про значення x_i , y_i , r_i і технологічних режимах роботи об'єкта управління. При цьому управління можна представити у вигляді інформаційного процесу (рис. 1). 3.3), который включает: получение информации, обработку информации, сравнение с критериями управления, выработку управляющих воздействий, выполнения команд управления, зміна вихідних значень технологічного об'єкта управління.

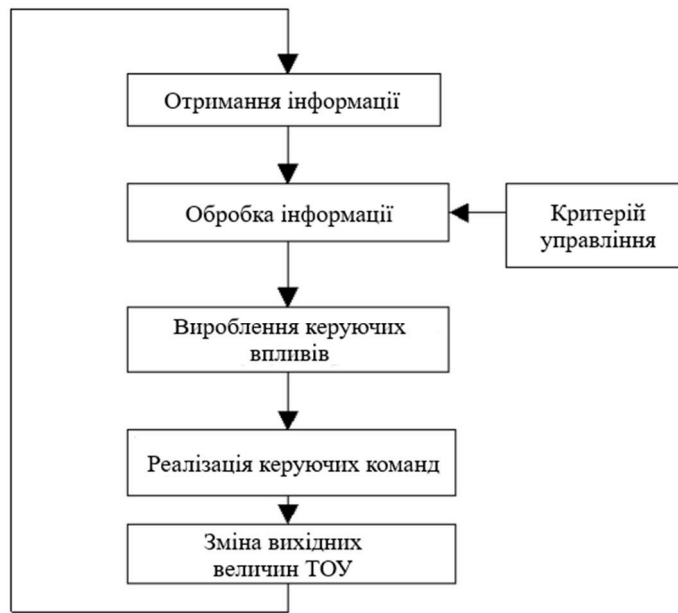


Рис. 3.3. Управління як інформаційний процес

На основі цієї ідеї формується узагальнена структура автоматизованої системи управління, яка показана на рис. 3.4.

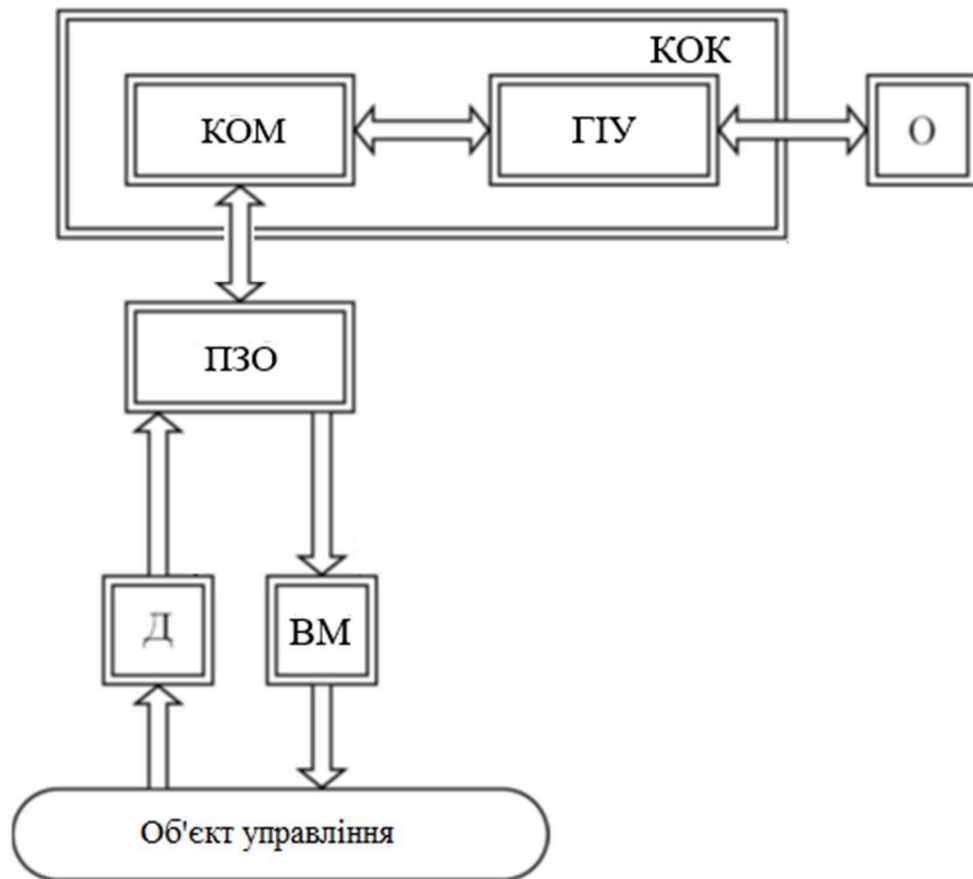


Рис. 3.4 Узагальнена структура автоматизованої системи управління

На рис. 3.4 застосовані наступні позначення:

КОМ – керуюча обчислювальна машина (наприклад, промисловий комп'ютер або програмований логічний контролер);

ПЗО– пристрій для зв'язку з об'єктом;

ГІУ– графічний інтерфейс управління;

КОК– керуючий обчислювальний комплекс;

Д – датчик;

ВМ– виконавчий механізм;

О – оператор (диспетчер).

У складі автоматизованої системи управління можна виділити сукупність КММ, які взаємодіють з набором датчиків (D) і DUT за допомогою набору систем збору даних. У свою чергу, датчики і ДУТ взаємодіють з об'єктом управління. У той же час КОМ також взаємодіє з оператором (O) через графічний інтерфейс.

Основні обчислювальні функції автоматизованої системи зосереджені в КММ. Датчики і ДУТ використовуються для безпосередньої взаємодії з об'єктом управління. Системи збору даних використовуються для зв'язку з датчиками та пенітенціарними установами. Графічний інтерфейс управління використовується для зв'язку між КОМ і оператором.

При наявності узагальненої структури автоматизованої системи управління в залежності від розподілу функцій управління формуються основні структури побудови автоматизованих систем управління: централізовані, ієрархічні, децентралізовані (розподілені).

Централізована АСУ ТП, в якій використовується обчислювальна машина, що управляє (УВМ) для збору, обробки інформації про необхідні сигнали та вироблення керуючих впливів (рис 3.5).

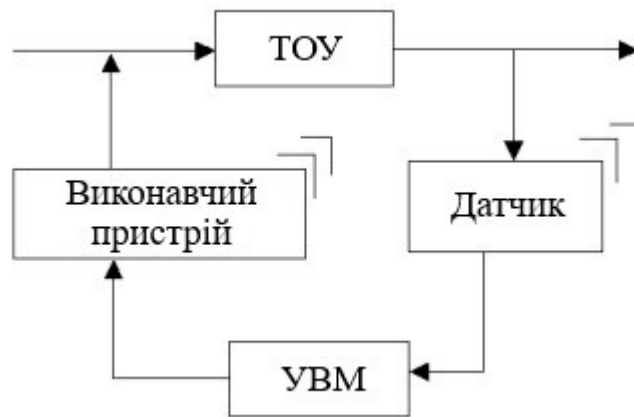


Рис. 3.5. Схема централізованої АСУ ТП

Ієрархічна АСУ ТП, в якій УВМ використовується для керування налаштуваннями окремих простих систем управління (автоматичних регуляторів, (рис 3.6).

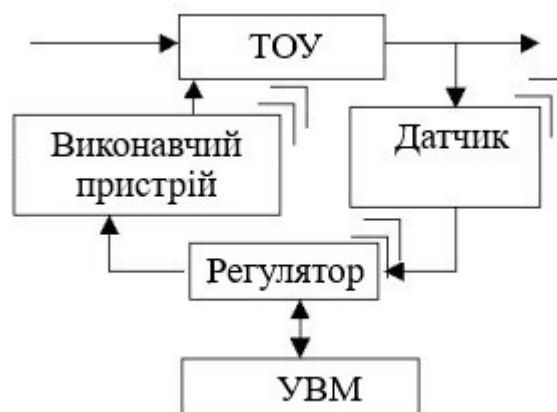


Рис. 3.6. Схема ієрархічної АСУ ТП

Децентралізована або розподілена (distributed control system) АСУ ТП характеризується наявністю низки автономних простих підсистем, у кожній з яких є своя проста УВМ (контролер), а координація їхньої роботи здійснюється з автоматизованого робочого місця оператора (рис 3.7).

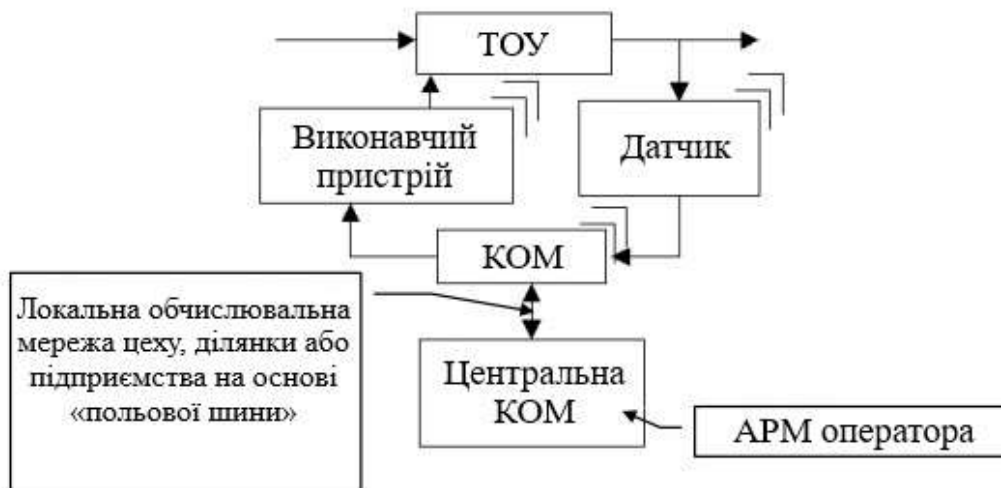


Рис. 3.7. Схема децентралізованої АСУ ТП

При цьому, незалежно від типу структури автоматизованої системи, її основним елементом є керуючий комп'ютерний комплекс або персональний комп'ютер, в якому реалізуються функції керуючого комп'ютера, пристрою взаємодії з оператором і, при установці модулів введення-виведення аналогової та цифрової інформації на шину комп'ютера, функції пристрою для зв'язку з об'єктом.

При цьому все управління формується через графічний інтерфейс за допомогою програмного забезпечення.

3.2 Структура побудови автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Як відмічено вище, головним елементом в автоматизованій системі управління є персональний комп'ютер, архітектура якого наведена на рис 3.8.

На шині персонального комп'ютер розміщуються всі елементи, які за функціональним призначенням можуть застосовуватися при побудові автоматизованих систем управління, включаючи і автоматизовану систему управління синхронізації дизель-генераторних електрстанцій.

Всі елементи персонального компютера є програмно доступними, що дозволяє формувати єдину програмну систему управління з застосуванням

графічного інтерфейсу управління в автоматизованій системі синхронізації дизель-генераторних електростанцій.

Оперативна пам'ять – зберігання проміжних даних і результатів їх обробки.

Процесор – реалізація алгоритмів (математичної) обробки даних і алгоритмів управління.

Клавіатура, миша – введення даних, команд управління або повідомлені для реалізації необхідних алгоритмів обробки даних і алгоритмів управління.

Жорсткий диск, CD-ROM – довгострокове збереження даних і інформації у вигляді файлових структур і баз даних.

Сканер, принтер, плоттер – робота с паперовими документами – текстові, графічні документи.

Мережева карта, модем – робота з інтернет технологіями для передавання і приймання даних і інформації.

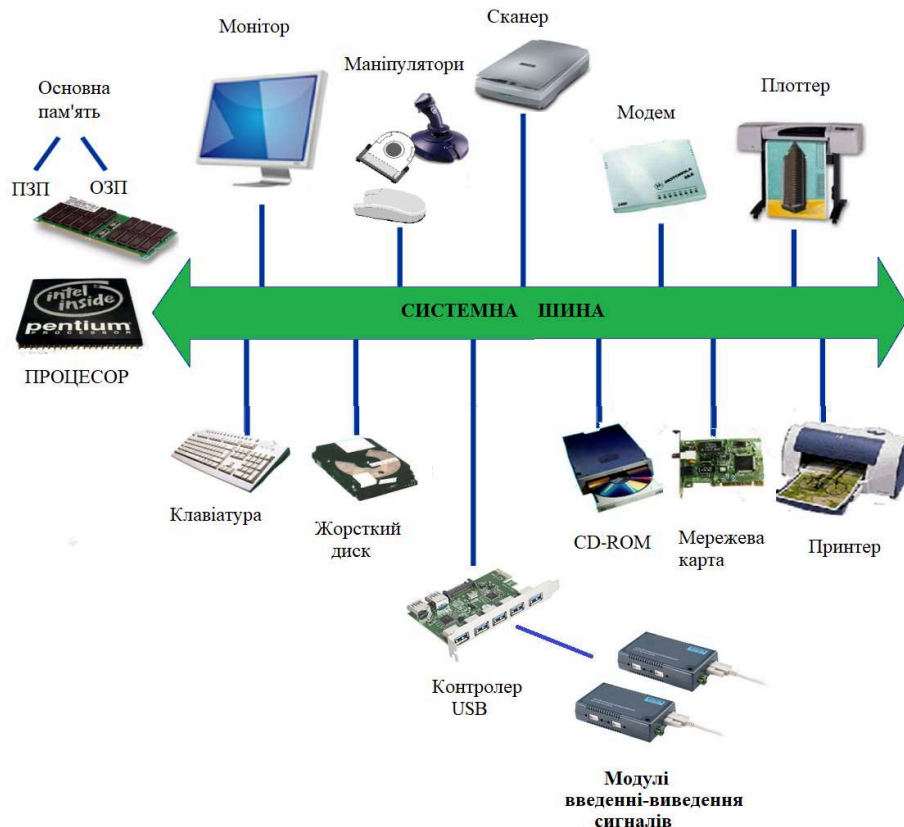


Рис. 3.8. Архітектура персонального комп'ютера

Контролер USB – для підключення і роботи із зовнішніми модулями введення-виведення аналогової і цифрової інформації – аналогових і цифрових сигналів.

Монітор – для реалізації графічного інтерфейсу управління автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних електростанцій, введенні даних, виведення текстової і графічної інформації, формування і передача команд управління тощо.

При цьому все управління може відбуватися із застосуванням гнучких програмних засобів, які є центральним елементом автоматизованої системи синхронізації дизель генераторних електростанцій з перерозподілом функцій між програмними і апаратними засобами.

У відповідності до загальних алгоритмів роботи автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних електростанцій і перерозподілом функцій між програмними і апаратними засобами на рис 3.9 наведена загальна структурна схема автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій.

Робота в автоматизованій системі синхронізації дизель-генераторних станцій відбувається, у відповідності до алгоритмів, які розглянуто в розділі 2.

Після завантаження програмного забезпечення і формування графічного інтерфейсу управління, починається з конфігурації системи з налаштуванням і введенням необхідних параметрів. Налаштування параметрів модуля введення-виведення сигналів в компютер, вибір типу первинного перетворювача для вимірювання напруги в мережі і напруги дизель-генератора. Вибір частоти синхронізації генератора та часу упередження на видачу команди управління на включення вимикача [24]. Вибір режиму управління – за площею під обвідною сигналу биття або за енергією сигналу биття. При виборі першого режиму проводяться розрахунки площі під обвідною сигналу биття для вибраної частоти синхронізації та площі під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження включення вимикача.

Площі розраховуються за відповідними залежностями, які розглянуто в розділі 2.

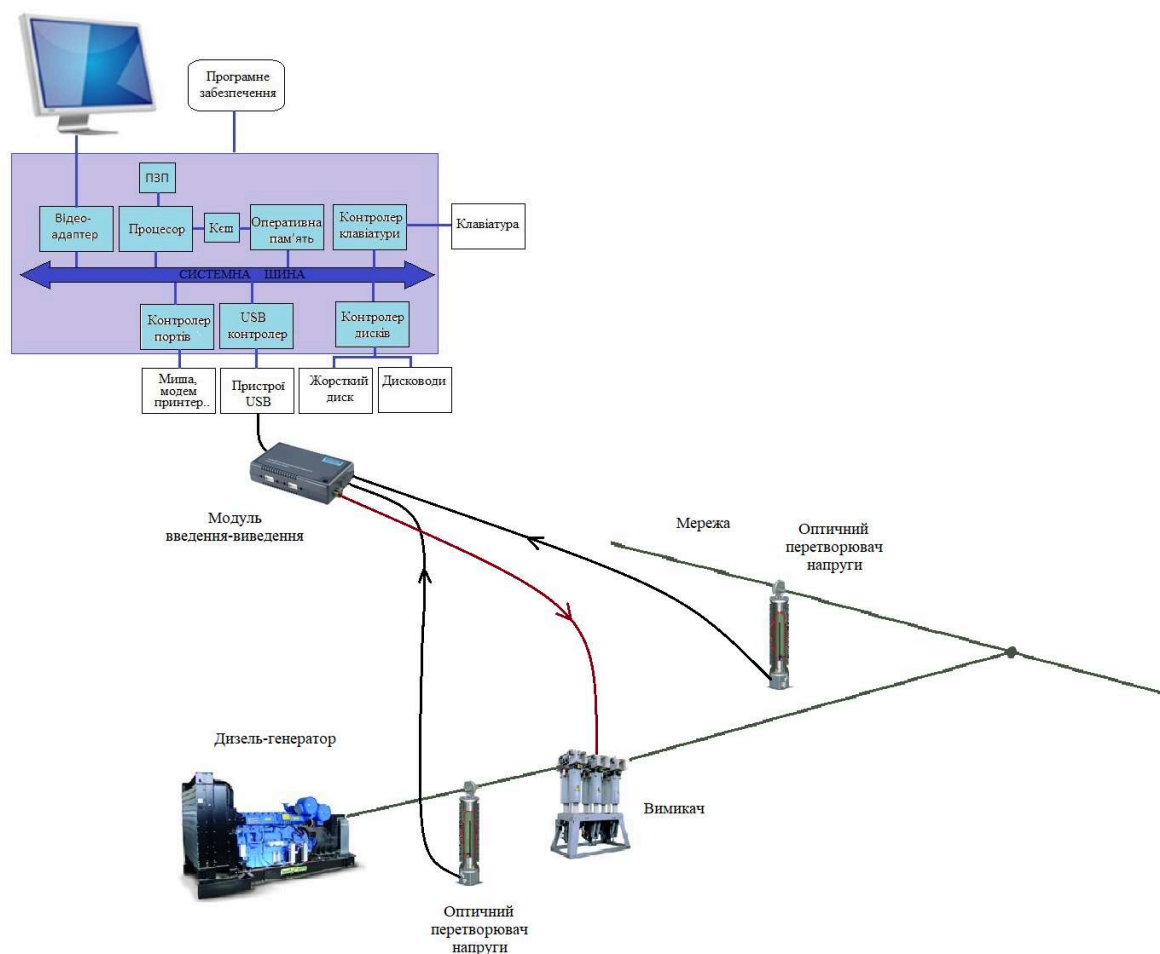


Рис. 3.9. Структурна схема автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Автоматизована система переходить в режим вимірювання сигналів мережі і дизель-генератора з первинних оптичних перетворювачів напруги і їх введення в компютер за допомогою модуля введенні-виведення (аналого-цифрового перетвоєння).

Після вимірювання сигналів відбуваються розрахунки сигналу биття і площі під обвідною сигналу біття, значення якої порівнюється з розрахунковою площею для заданої частоти синхронізації (включення) дизель-генератора. Процес продовжується до тих пір пока вимірювана площа не досягне значення розрахункової площі.

Далі система переходить в режим покрокового вимірювання і розрахунку площі під обвідною сигналу биття. При цьому покроково значення вимірюваної площі віднімається від розрахункової площі з порівнянням результату із значенням площі під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження.

Процес продовжується до тих пір поки не буде досягнуто значення площі під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження.

При досягненні значення площі під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження відбувається формування команда управління і передача сигналу через модуль введенні-виведення на вимикач з електронним управлінням. Після спрацювання вимикача дизель-генератор приєднується до мережі.

При використанні режиму управління з контролем енергії сигналу биття робота автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій відбувається аналогічним чином. Однак в якості контрольованих параметрів застосовується енергія під обвідною сигналу биття для заданої частоти синхронізації дизель-генератора і енергія під обвідною сигналу биття для заданого часу упередження включення дизель-генератора.

3.3 Компоненти побудови автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Автоматизована система синхронізації дизель-генераторних станцій складається з компонентів які працюють разом і дозволяють ефективно та безпечно синхронізувати генераторну станцію з мережею з диспетчерського пункту.

Персональний компютер- виступає ключовим елементом, що забезпечує централізоване керування, моніторинг аналіз параметрів роботи та включення дизель-генераторних станцій, оскільки саме він виконує функції збору, обробки та відображення інформації з контролерів, датчиків і модулів зв'язку, дозволяє оператору здійснювати налаштування алгоритмів синхронізації, контролювати частоту, фазу й напругу, формувати протоколи подій та аварійні

звіти, а також забезпечувати інтеграцію системи з іншими підсистемами енергопостачання чи диспетчерськими центрами, що значно підвищує надійність і ефективність роботи всієї енергетичної інфраструктури та створює гнучкі можливості для подальшої модернізації та оптимізації. Виводить виконавчу команду на підключення генераторів та зчитування датчиків через вбудований порт на материнській платі USB 3.0 що підключається до модуля вводу виводу сигналів для їх подальшої конвертації.

Характеристики ПК для ефективної роботи ПО мають наступні значення:
Процесор intel Core i3-4170 чи AMD FX-8300 з частотою 3.7 Ghz,

8 гігабайт оперативної пам'яті,

Блок живлення 500W

Материнська плата з відповідністю по сокету та USB інтерфейсом- Asus H81M-K | s1150 Intel H81

Відеокарта об'ємом 4 гігабайти-radeon rx560

Вимикачі з номінальною напругою понад 1 кВ треба вибирати:

- за вимикальною здатністю з урахуванням параметрів відновлювальної напруги;
- за вмикальною здатністю. При цьому вимикачі генераторів, установлені з боку генераторної напруги, перевіряють лише на несинхронне вмикання в умовах проти фази [22].

Вимикач генераторний МГУ-20 (рис 3.10) забезпечує надійне і безпечно підключення генератора до мережі, при цьому його робота починається з моменту, коли система автоматики після контролю всіх умов видає команду на включення станції в мережу, далі сигнал надходить на модуль управління, який активує електромагнітний привід вимикача, і тільки після цього відбувається фактичне замикання силових контактів та подача потужності від генератора, при цьому конструктивні особливості МГУ-20 забезпечують високу комутаційну здатність, стійкість до струмів короткого замикання та надійність у тривалому режимі експлуатації, що особливо важливо для об'єктів критичної інфраструктури, де безперервність живлення має

вирішальне значення, окрім функції підключення, вимикач також виконує роль елемента захисту, оскільки здатний відключити ланцюг у разі аварійних режимів, таких як перевантаження чи коротке замикання, крім того він забезпечує селективну взаємодію з іншими апаратами системи, запобігаючи поширенню аварії на суміжні ділянки, а затримка підключення та узгодження частоти і напруги дозволяє уникнути асинхронного вмикання, що могло б призвести до пошкодження обладнання. Вимикач має номінальну напругу кВ – 20, струм (при 50/60 Гц), А - 6300/5700 , номінальний струм відключення (при 50/60 Гц), кА - 90/75 та при застосуванні примусового повітряного охолодження головного ланцюга за допомогою вентиляторів має найбільший допустимий струм у тривалому режимі - 9500/8600 А.



Рис. 3.10. Вимикач МГУ-20

Модуль введення-виведення інформації (аналогових і цифрових сигналів в компютер) m-DAQ14 (рис 3.11) у складі системи автоматизації дизель-генераторної станції виконує роль проміжної ланки між контролером, що формує команди керування, і виконавчими пристроями, забезпечуючи перетворення цифрових сигналів у дискретні команди для силових апаратів та зворотний збір інформації про стан обладнання, і саме завдяки цьому модуль дозволяє реалізувати надійний обмін даними в обох напрямках, що робить його критично важливим для коректної роботи системи в цілому, адже без якісного вводу-виводу інформації неможливо забезпечити точне

відображення стану вимикачів, реле, датчиків і одночасно передати узгоджені команди на їх активацію, при цьому МК110 характеризується високою швидкістю обробки сигналів, гальванічною розв'язкою каналів для підвищення безпеки, широким діапазоном робочих температур і сумісністю з промисловими мережами передачі даних, що робить його універсальним елементом автоматизованих енергетичних систем, важливою особливістю є можливість одночасної роботи з багатьма дискретними сигналами, що дозволяє інтегрувати його як у прості схеми локального керування, так і у складні багатоканальні комплекси, а у випадку дизель-генераторної станції він забезпечує безпомилкове формування команди на замикання чи розмикання генераторного вимикача, контроль стану мережевих параметрів, фіксацію відмов і передачу діагностичних повідомлень у систему верхнього рівня, завдяки чому вся система працює не тільки як виконавчий механізм підключення генератора, але й як інтелектуальний комплекс із зворотним зв'язком, що підвищує надійність живлення об'єкта та захищає обладнання від аварійних ситуацій.



Рис. 3.11. Модуль вводу виводу інформації m-DAQ14

Ввод вивід інформації модулю реалізується за допомогою Аналогового виводу AOOUT0 та AOOUT1 реалізований у m-DAQ14 у вигляді двох незалежних каналів ЦАП з програмно встановлюваним вихідним діапазоном напруг ± 5 В, ± 10 В, ± 10.8 В і струмом навантаження 5 мА.

Дискретного В/В (ТТЛ) який представлений у мікросистемах 8-бітовим портом DI/OA0...DI/OA7, причому кожна лінія DI/O може бути налаштована

індивідуально на введення або виведення. Лінія CLK є входом (ТТЛ) 16-розрядного таймера-лічильника зовнішніх подій.

Для вимірювання напруги використовуються оптичні вимірювальні перетворювачі, які побудовані на ефекті Поккельса. Принцип роботи таких перетворювачів полягає у наступному (рис. 3.12).

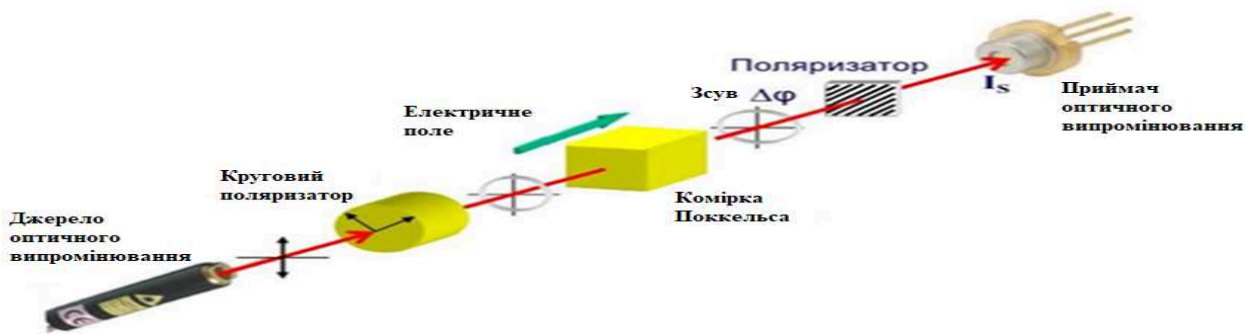


Рис. 3.12. Принцип роботи оптико-електронного вимірювального перетворювача напруги

Коли неполяризоване випромінювання від джерела світла потрапляє на поляризатор, з усіх можливих напрямів коливань світлового вектора поляризатор виділяє лише ті, що збігаються з напрямом пропуску поляризатора. Далі лінійно поляризоване коливання рухається в комірку Поккельса, де завдяки різним коефіцієнтам заломлення, швидкості поширення світлових хвиль з різними напрямками поляризації змінюються. Внаслідок зміни швидкості поширення оптичного сигналу змінюється його фаза.

Різницю фаз світлових хвиль, яка обумовлена зовнішнім електричним полем, можна виміряти за виразом

$$\Delta \psi = \lambda l / bU , \quad (3.1)$$

де λ - коефіцієнт, що визначається напрямом падіння світлової хвилі та зрізом кристала; l , b – відповідно довжина та товщина кристала; U – прикладена напруга.

Вимірювання напруги полягає в наступному: лінійно поляризована світлова хвиля за рахунок подвійного променезаломлення перетворюється на

еліптично поляризовану хвилю, з якої за допомогою аналізатора виділяється хвиля з певною площиною поляризації та вимірюється її інтенсивність, яка залежить від коефіцієнта заломлення, пропорційного виміряній напруги.

В таких перетворювачах вбудовані електронні пристрої, які дозволяють формувати на виході або аналоговий сигнал, або цифровий сигнал (після аналого-цифрового перетворення), які безпосередньо можуть подаватися на модулі введення-виведення аналогової і цифрової інформації.

На рис. 3.13 наведено загальний вигляд оптико-електронного вимірювального перетворювача напруги NXVCT.



Рис. 3.13. Загальний вигляд оптико-електронного вимірювального перетворювача напруги NXVCT

Перетворювач NXVCT має клас напруги від 138 кВ до 5000 кВ коефіцієнт перетворення від 100 А до 4000 А для струму та від 50% до 200% для напруги.
Аналоговий LEA інтерфейс 4 В вимір 200 мВ захист 1 А від 10 Гц до 6 кГц
Аналоговий HEA інтерфейс 4 В вимір 200 мВ захист 100 В відт 30 Гц до 5 кГц
Клас точності IEC Class 0.2S/IEC Class 5P.

Висновки до розділу 3:

В розділі розглянуто ідеї функціонування автоматизованих системи та структуру автоматизованої системи управління. Досліджено схеми автоматизованих систем управління з реалізацією централізованої, ієрархічної та децентралізованої архітектур. Розроблено структурну схему автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій з урахуванням архітектури сучасних персональних компютерів, з перерозподілом функцій між програмними і апаратними засобами. Розглянуто роботу автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій. Наведено перелік основних компонентів, які входять в структуру автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій.

РОЗДІЛ 4 АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ

4.1 Загальна структура побудови програмного забезпечення автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Загальна структура програмного забезпечення автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій показана на рис. 4.1.

Для конфігурування та забезпечення роботи автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій використовується модуль керування параметрами системи.

Модуль складається з окремих блоків, які забезпечують введення параметрів елементів системи, які відносяться до порту введення-виведення аналогової та цифрової інформації, жорсткого диска персонального комп'ютера, датчиків напруги на генераторній станції та мережі а також збереження введених параметрів системи.

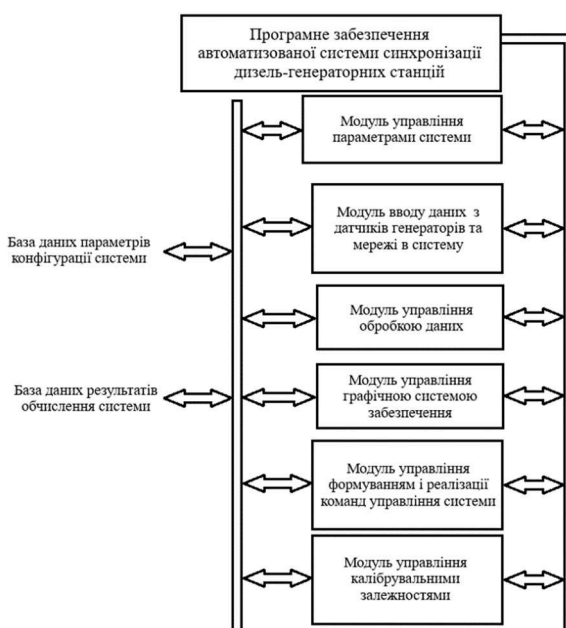


Рис. 4.1. Структура програмного забезпечення інтелектуальної автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Модуль вводу даних з датчиків складається з окремих блоків що забезпечують зчитування сигналів з датчиків напруги мережі та генераторної станції з збереженням проміжних результатів в проміжній базі даних для подальшого використання в модулі обробки даних.

Програмний модуль включає в себе наступні блоки:

Блок контролю підключення забезпечує контроль підключення системи до модулю, перевіряючи наявність зв'язку та коректність обміну даними. Додатково здійснюється контроль часу відгуку, визначення помилок підключення та формування відповідних сигналів стану для модуля управління.

Блок читання даних параметрів системи здійснює читання файлу параметрів системи з відповідної структурованої бази даних, оголошення та ініціалізація змінних та їх передачу в модуль управління формування та передачі команд управління. Крім того, він перевіряє цілісність отриманих параметрів, забезпечує синхронізацію даних з актуальними налаштуваннями та виконує обробку помилок у випадку відсутності або пошкодження файлу.

Блок контролю підключення датчиків проводить контроль підключення порту введення-виведення до шини ПК. Він також аналізує працездатність окремих каналів зв'язку з датчиками, виявляє несправності або розриви з'єднань та формує службові повідомлення для модуля управління. При необхідності блок може ініціювати повторну перевірку або запит повторного підключення.

Блок зчитування даних з датчиків мережі та генераторної установки приймає потік даних з модуля управління формуванням команд управління про режими роботи порту вводу-виводу, проводить ініціалізацію та оголошення заданих розмірів масивів в оперативній пам'яті комп'ютера. Додатково він виконує фільтрацію та попередню обробку сигналів, перетворює їх у зручний формат для подальшого аналізу та забезпечує безперервність збору інформації у режимі реального часу.

Блок збереження даних вимірювання сигналів проводить збереження даних в проміжну базу даних. Крім того, забезпечує формування тимчасових міток для кожного сигналу, організацію структури збережених даних для швидкого доступу та можливість подальшої передачі у центральну базу. Блок також виконує контроль коректності запису та дублювання важливих даних.

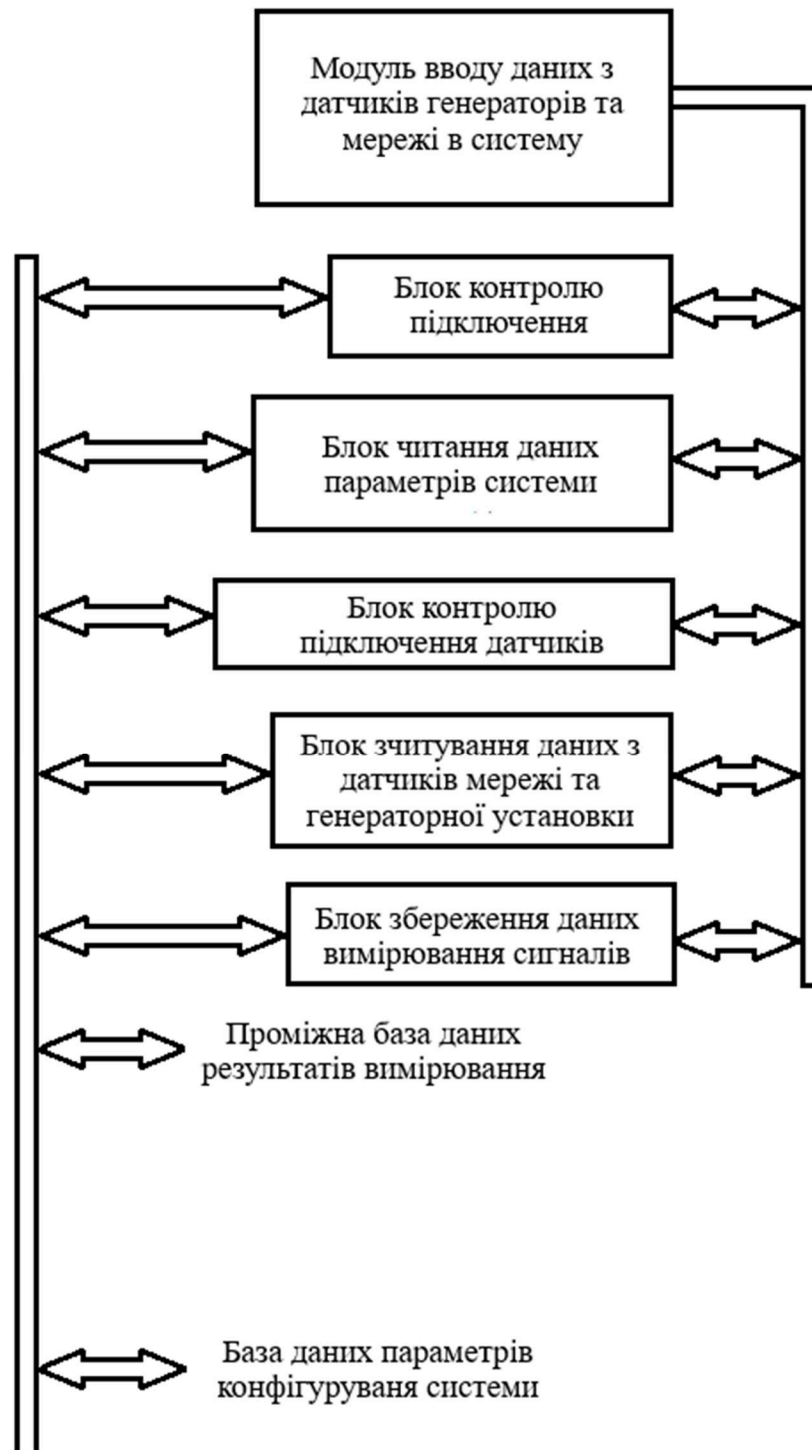


Рис 4.2. Структура модуля вводу даних

4.2 Головний графічний інтерфейс автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

У сучасному програмуванні графічний інтерфейс користувача виступає ключовим елементом взаємодії з системою, оскільки саме через нього здійснюється комунікація між людиною та програмною системою. Зручність, інтуїтивність і продуманість інтерфейсу нерідко визначають успіх усього продукту, незалежно від складності його алгоритмів або архітектури. Використання об'єктно-орієнтованого підходу для побудови інтерфейсів дозволяє спроектувати структуру більш інтуїтивною, забезпечити масштабованість і коректне використання компонентів, та також підтримувати розмежування між ними. Архітектурні принципи, відомі під аббревіатурою SOLID, детермінують якість проектування інтерфейсу. Вони передбачають, що кожен компонент повинен виконувати одну визначену функцію, бути придатним до розширення, але закритим для модифікації, а також коректно замінюватися підкласами. Інтерфейси взаємодії мають залишатися вузькоспеціалізованими, щоб уникати перевантаження зайвими методами, тоді як залежності повинні будуватися на абстракціях, а не на конкретних реалізаціях. Дотримання цих принципів забезпечує стабільність, масштабованість і передбачуваність у роботі інтерфейсу.

У Visual Studio для створення графічних інтерфейсів доступний широкий набір стандартних компонентів середовища, їх умовно можна поділити на наступні категорії. Контейнери, які відповідають за організацію простору в межах вікна та логічне групування елементів, вони дозволяють впорядковувати інтерфейс поділяючи його на окремі функціональні блоки. На їхньому тлі розташовуються елементи керування - кнопки, текстові поля, прапорці, перемикачі, списки [1]. Вони забезпечують прямий зв'язок між вводом користувача та системою, через них здійснюється навігація та ініціюються події. Окреме місце посідають інформаційні елементи, це мітки, індикатори, панелі повідомлень, які візуалізують стан процесів і допомагають користувачеві орієнтуватися у функціоналі системи управління.

Ієрархія побудови інтерфейсу у Visual Studio починається з форми, яка виступає головним контейнером. Форма визначає межі, роздільність та стиль усього інтерфейсу й водночас є основою для розташування інших елементів системи. У середині форми містяться панелі та групові блоки, що організують простір згідно конфігурації розробника інтерфейсу. Елементи що входять в площину цих контейнерів, автоматично підпорядковуються їхнім параметрам розташування та стилізації. Завдяки цьому принципу система стає узгодженою, та зберігає інтуїтивність при управлінні комплексними інтерфейсами з великою кількістю перемикачів, форм та текстбоксів.

Перевагою Visual Studio є тісний зв'язок між візуальним проектуванням та програмним кодом інтерфейсу. Розробник має змогу створювати інтерфейс у графічному редакторі а середовище автоматично генерує відповідні фрагменти коду з бібліотеки. Це створює подвійний рівень керування-візуальний і програмний що дозволяє швидко розробити робочий «скелет» інтерфейсу з високою надійністю роботи, бо фрагменти коду вбудованих та імпортованих бібліотек вже неодноразово перевірені на надійність користувачами та розробниками середовища.

Механізм подій і делегатів забезпечує взаємодію інтерфейсу з логікою програми будь яка дія користувача, до реалізованих подій можна віднести натискання кнопки чи введення тексту, генерація події що передається до обробника. Обробник містить алгоритм реалізації конкретної функції а користувач бачить результат у вигляді змін на екрані чи виведених даних. Інтерфейс користувача системи синхронізації має відповідати вимогам ергономічності. Система може бути багатою на функціональні можливості, але якщо вона перевантажена елементами або має незрозумілу логіку то ефективність її використання знижується. Тому інтерфейс має бути інтуїтивним, простим у навігації, із продуманою структурою розташування елементів.

Візуальне оформлення також має значення колірне, воно складається з гама, контрастності, розмір шрифту та відстані між елементами що впливають на сприйняття користувача, саме ці фактори у поєднанні з архітектурними принципами визначають кінцеву якість системи.

Інтерфейс виконує не лише роль засобу керування, а й засіб моніторингу, який відображає динамічні зміни в реальному часі. Для цього використовуються графіки, діаграми, індикатори, що дозволяють швидко оцінити стан станції. У Visual Studio їх реалізація виконується к за допомогою стандартного функціоналу середовища, так і з використанням сторонніх бібліотек, які забезпечують альтернативні методи візуалізації. Ієрархічна структура класів у середовищі розробки дозволяє розглядати всі елементи як частину єдиного дерева спадковості, в якому базові властивості визначаються на верхньому рівні, а спеціалізовані можливості додаються на рівні підкласів. Це робить систему не лише зрозумілою, а й розширюваною.

Графічний інтерфейс управління дозволяє ввести початкові параметри конфігурації порта, обрати затримку вимикача, остаточну уставку перед самим підключенням та відстежування площі під обвідною сигналу биття з початковим масивом даних. Інтерфейс управління зображено на рис. 4.3

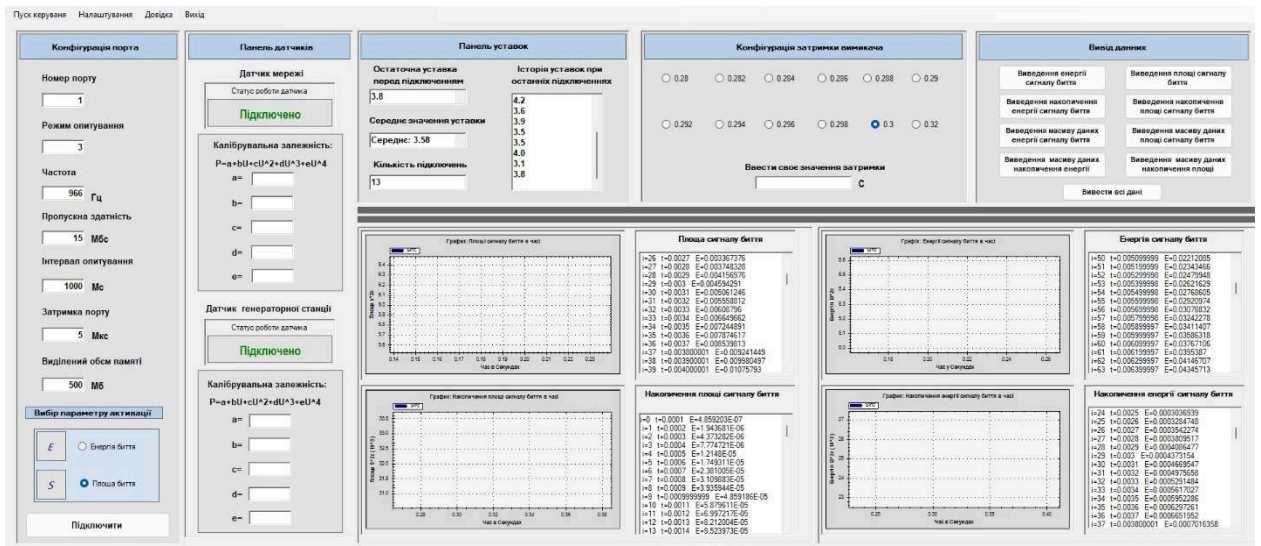


Рис. 4.3. Графічний інтерфейс управління автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Функціонал інтерфейсу реалізується за допомогою наступних елементів:

Головне меню-має вигляд стрічки в верхній частині інтерфейсу та дозволяє отримати доступ до головних модулів, налаштувати роздільну здатність інтерфейсу та інші параметри. отримати коротку довідку щодо функціоналу та завершити роботу.

Конфігурація порта-дозволяє налаштувати чи відстежити параметри порта вводу виводу сигналів, такі як частота, виділена пам'ять чи затримка сигналу. Також в цьому меню можна обрати критерій параметру підключення.

Панель датчиків-дозволяє відстежити стабільність їх роботи кількість та тип. також в цьому меню присутні панелі з вводом своїх коефіцієнтів калібрувальної залежності для кожного з датчиків-для проведення вимірювань (напруга, струм, потужність). Частота напруги в мережі розраховується за результатами вимірювання напруги - за періодом синусоїдального сигналу або за його спектром.

Панель уставок-дозволяє відстежити остаточну уставку перед підключенням станції до мережі, середнє значення, історію підключень та їх кількість за день.

Конфігурація затримки вимикача-дозволяє вибрати одне з стандартизованих значень затримки спрацювання вимикача при підключенні станції або дає змогу диспетчеру ввести сепароване значення якщо характеристика вимикача не підпадає під перелік перерахованих затримок.

Вивід даних-дозволяє відстежити масиви даних та самі графіки биття і накопичення площі чи енергії під обвідною сигналу биття.

Сектор даних-включає в себе всі табличні дані та графіки биття розраховані програмним забезпеченням синхронізації дизель-генераторної станції.

4.3 Приклад реалізації програмного забезпечення розрахунку і представлення площі під обвідною сигналу биття

Програмне забезпечення графічного інтерфейсу управління автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій реалізоване на основі форм Visual Studio, а саме базових елементів та функцій ПО таких як panel, radio_button, richtextbox, menuStrip та імпортованих модулів з бібліотек Visual таких як ZedGraph.

Цикл роботи з інтерфейсом ПО має наступний вигляд-диспетчер запускає програмне забезпечення і активує пуск керування, конфігурація затримки вимикача та калібрувальні залежності зберігаються в пам'яті ПО тому на наступному етапі диспетчеру потрібно лише обрати критерій підключення та натиснути на клавішу «Підключення» при необхідності перевіривши дані биття та уставок на предмет аномальних значень. Вигляд інтерфейсу при використанні всього функціоналу зображений на рис. 4.4

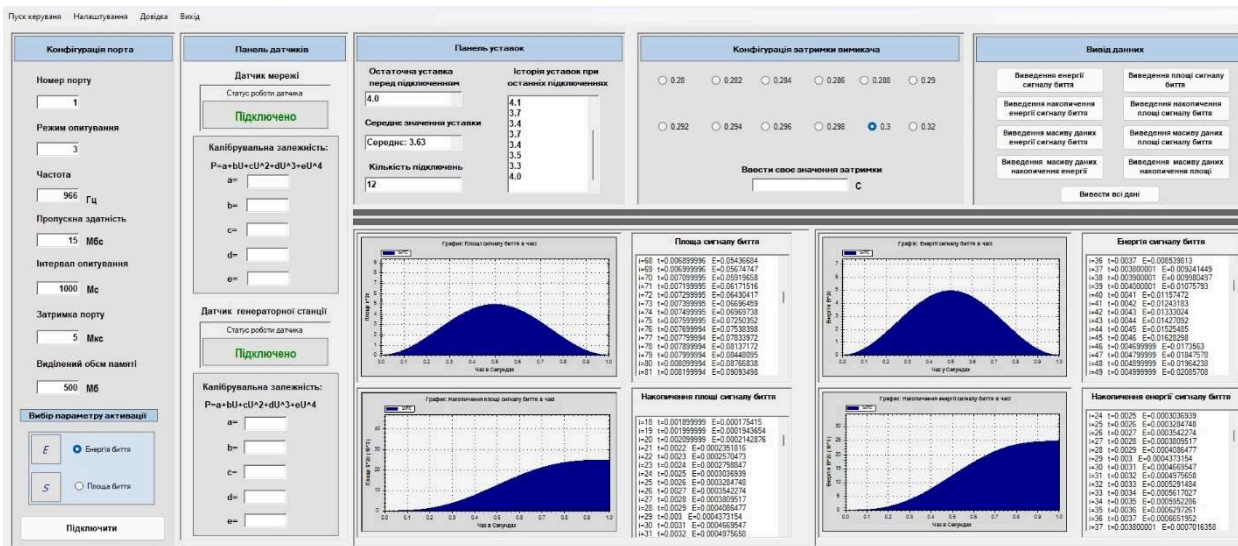


Рис. 4.4. Повне використання графічного інтерфейсу управління

Представлення площі під обвідною сигналу биття реалізоване за допомогою бібліотеки ZedGraph. Команду на відображення можна подати з

меню «Вивід даних». Більш деталізований результат розрахунку зображений на рис. 4.5

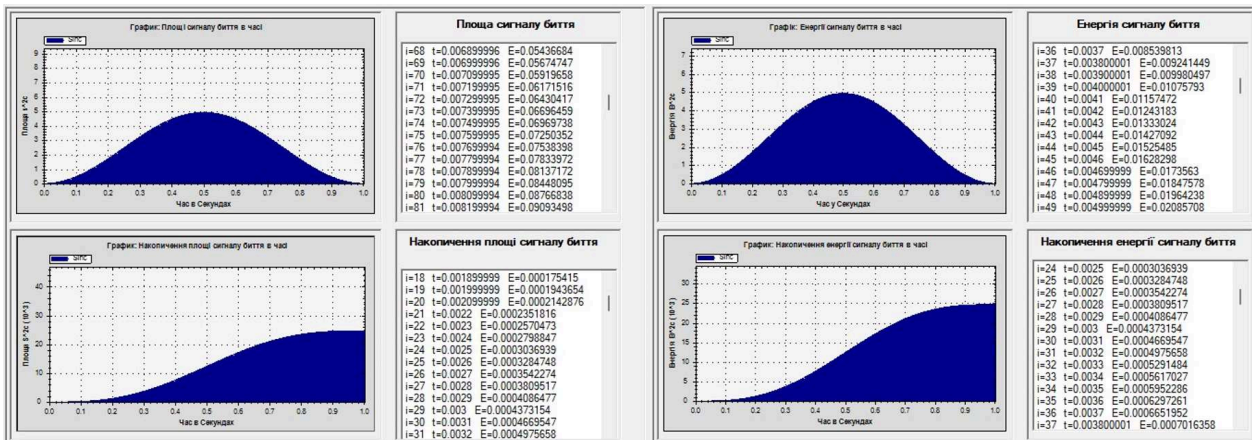


Рис. 4.5. Площа та енергія під обвідною сигналу биття

За алгоритмом роботи коду програмне забезпечення зчитує сигнали напруги з вимірювальних каналів та перетворює їх у цифровий вигляд для подальшої обробки. Далі з отриманих значень формується масив даних напруги, цей масив перевіряється на цілісність та відповідність заданому формату, після чого використовується як вхід для наступних розрахунків. Виконуючи обчислення з масиву даних, програмне забезпечення формує сигнал биття. Після обробки результатів з урахуванням конфігурації заданої диспетчером формується керуючий сигнал, що подається на включення вимикача.

Фрагмент коду програми:

```
private void DrawGraph1()
{
    zedGr.Visible = true;
    GraphPane pane = zedGr.GraphPane;
    int labelsXfontSize = 14;
    int labelsYfontSize = 14;
    int titleXfontSize = 14;
    int titleYfontSize = 14;
    int legendFontSize = 14;
    int mainTitleFontSize = 14;
    pane.XAxis.Scale.FontSpec.Size = labelsXfontSize;
```

```

pane.YAxis.Scale.FontSpec.Size = labelsYfontSize;
pane.XAxis.Title.FontSpec.Size = titleXFontSize;
pane.YAxis.Title.FontSpec.Size = titleYFontSize;
pane.Legend.FontSpec.Size = legendFontSize;
pane.Title.FontSpec.Size = mainTitleFontSize;
pane.CurveList.Clear();
pane.Fill.Type = FillType.Solid;
pane.Fill.Color = Color.Gainsboro;
pane.Chart.Fill.Type = FillType.Solid;
pane.Chart.Fill.Color = Color.WhiteSmoke;
pane.Title.Text = "Графік: Енергії сигналу биття в часі";
pane.XAxis.Title.Text = "Час у Секундах";
pane.YAxis.Title.Text = "Енергія В^2с";
PointPairList list = new PointPairList();
for (ulong i = 0; i < Length; i++)
{
    float x = masDat[i, 0];
    float y = masDat[i, 1];
    list.Add(x, y);
}
if (GRAF == 1)
{
    LineItem myCurve = pane.AddCurve("Scatter", list, Color.DarkBlue, SymbolType.Diamond);
    myCurve.Line.IsVisible = false;
    myCurve.Symbol.Fill.Color = Color.Blue;
    myCurve.Symbol.Fill.Type = FillType.Solid;
    myCurve.Symbol.Size = 3;
}
if (GRAF == 2)
{
    LineItem myCurve = pane.AddCurve("Sinc", list, Color.DarkBlue, SymbolType.None);
    myCurve.Line.IsVisible = true;
    myCurve.Line.Fill = new ZedGraph.Fill(Color.DarkBlue);
}
if (GRAF == 3)
{
    LineItem myCurve = pane.AddCurve("Scatter", list, Color.DarkBlue, SymbolType.Diamond);
    myCurve.Line.IsVisible = true;
    myCurve.Symbol.Fill.Color = Color.Blue;
    myCurve.Symbol.Fill.Type = FillType.Solid;
    myCurve.Symbol.Size = 3;
}

```

```
pane.XAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
pane.YAxis.MajorGrid.IsVisible = true;
pane.XAxis.Scale.Min = Xmin;
pane.XAxis.Scale.Max = Xmax;
pane.YAxis.Scale.Min = 0;
pane.YAxis.Scale.Max = Ymax + 0.5f * Ymax;
zedGr.AxisChange();
zedGr.Invalidate();
}
```

Фрагмент коду відповідає за відображення графіку площі биття на модулі ZedGraph.

Висновки до розділу 4:

Розглянуто загальну структуру програмного забезпечення автоматизованої системи синхронізації дизель генераторних станцій, досліджено підходи до побудови графічних інтерфейсів, ієрархію між елементами та побудову інтерфейсу за середовищі Visual Studio. Побудовано графічний інтерфейс для синхронізації дизель-генераторної станції та розглянуто функціонал його елементів, продемонстровано результат відображення площі під обвідною сигналу биття та код програми що відповідний за виконання цієї операції.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ

5.1 Вступ

Охорона праці в автоматизованих системах синхронізації дизель-генераторних станцій є ключовою умовою безпеки персоналу генераторної станції, диспетчерського пункту та безперебійної роботи системи. Робота з високовольтним обладнанням, механічними агрегатами та паливними системами супроводжується підвищеними виробничими ризиками, тому оператор відіграє важливу роль навіть за високого рівня автоматизації системи. У цьому розділі розглядаються питання оцінки виробничого середовища, захисту від ураження електричним струмом, зниження шуму та забезпечення пожежної безпеки. Метою є визначення факторів ризику та формування комплексу заходів для їх мінімізації що забезпечить безпечну експлуатацію автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій.

5.2 Аналіз умов праці на робочому місці суб'єкта

Аналіз умов праці обраного робочого місця включає в себе наступні аспекти: Оцінку відповідності площі, об'єму та планувальних рішень приміщення вимогам нормативів охорони праці. Дослідження рівнів шуму, вібрацій, температури та концентрацій шкідливих речовин для визначення впливу на персонал згідно чинних стандартів. Перевірка ефективності вентиляції, оскільки цей фактор має значний вплив на працездатність персоналу системи. Оцінюється правильність розміщення обладнання та доступність засобів індивідуального захисту відповідно до характеру технологічного процесу. Крім того, аналіз передбачає виявлення потенційних небезпек та ризиків пов'язаних із роботою автоматизованої системи з подальшим визначенням заходів щодо їх усунення чи мінімізації.

5.2.1 Організація робочого місця

Робоче місце суб'єкта диспетчерського пункту, що здійснює контроль та керування автоматизованою системою синхронізації дизель-генераторних станцій (ДГС), організоване у відповідності до вимог чинних норм охорони праці та принципів ергономіки. Робота оператора полягає у моніторингу параметрів роботи генераторних установок, аналізі режимів навантаження та конфігурації параметрів системи синхронізації.

Характеристика виробничого приміщення:

Диспетчерський пункт розміщується в окремому приміщенні, яке забезпечує захист оператора від шуму, вібрацій та шкідливих впливів, що виникають у генераторному приміщенні.

Приміщення диспетчерського пункту має такі типові геометричні параметри:

- Площа приміщення: 18–20 м²
- Висота стелі: 2,8–3,0 м
- Об'єм приміщення: 50–60 м³
- Кількість робочих місць: 1–2, залежно від організації диспетчерської зміни
- Розташування робочого місця: уздовж стіни з оглядом на основні монітори та прилади контролю

Фактичний об'єм і площа одного робочого місця відповідають нормам для приміщень з робочими місцями операторів (не менше 6 м² та 20 м³ на людину). Приміщення обладнане системою вентиляції та кондиціонування для підтримання температурного режиму в межах 18–24°C та параметрів мікроклімату згідно з санітарними нормами.

Виробничий процес та функції робочого місця:

Робота оператора диспетчерського пункту полягає у прийомі та аналізі даних про стан дизель-генераторної станції та контролі процесів

синхронізації генераторів із мережею. Він стежить за параметрами електричного навантаження, виконує конфігурації команд запуску, зупинки чи перемикання агрегатів та оперативно реагує на аварійні сигнали системи. Також оператор веде журнал подій і формує необхідну звітність. Хоча його робота не передбачає прямого контакту з високовольтним обладнанням, він все ж опосередковано взаємодіє з потенційними небезпечними факторами через систему керування дизель-генераторною станцією.

5.2.2 Перелік небезпечних та шкідливих факторів:

У процесі функціонування автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій виникають різноманітні небезпеки, що впливають на стан здоров'я персоналу та безпеку роботи обладнання. Основними з них є:

- Електричні небезпеки (ураження струмом, коротке замикання, перенапруга).
- Високі температури поверхонь генераторів та вихлопних елементів.
- Механічні ризики (рухомі частини генератора, вібрації, обертальні вузли).
- Хімічні фактори (вплив дизельного палива, мастил, вихлопних газів).
- Підвищений рівень шуму та вібрацій під час роботи агрегатів.
- Електромагнітні перешкоди від силових кабелів і керуючих пристроїв.
- Інформаційно-технічні ризики (збої ПЗ, помилки в алгоритмах керування).
- Пожежна небезпека (витік пального, перегрів, іскроутворення).
- Психофізіологічне навантаження операторів під час керування системою.

Перелік використаних нормативних документів:

- ДСТУ EN 61140:2017 «Захист від ураження електричним струмом».
- ДСТУ EN 60204-1:2015 — «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги».
- ДСН 3.3.6.037-99 — «Гранично допустимі рівні шуму».
- ДСТУ EN ISO 3746:2016 — «Методи вимірювання шуму джерел».
- ДСН 3.3.6.037-99 — «Санітарні норми допустимого рівня шуму на робочих місцях».
- ДСТУ 4276:2004 — «Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями».
- ДСТУ ІЕС/TS 62351-1:2014 — «Керування енергетичними системами та пов'язаний з ним інформаційний обмін. Безпека даних та комунікацій. Частина 1. Безпека зв'язку мережі та системи».
- ДБН В.2.5-27-2006 — «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Під час експлуатації автоматизованої системи синхронізації небезпеку становлять електричні фактори, через те що робота відбувається з обладнанням високої напруги. Контакт з оголеними струмопровідними частинами, порушення ізоляції або помилки в комутації можуть призвести до ураження персоналу електричним струмом. Для запобігання випадкам ураження електричним струмом необхідно забезпечити відповідне заземлення, використання діелектричних засобів захисту та дотримання вимог.

Дизельні агрегати створюють значні механічні ризики. Обертові елементи та маховики можуть становити загрозу травмування під час технічного обслуговування. Також фактором ризику є шумове навантаження, що сягає 95–110 дБ при роботі дизель-генераторів. Тривалий вплив шуму викликає втому, зниження концентрації та погіршення слуху. Рівні шуму

необхідно знижувати за допомогою шумопоглинальних матеріалів, акустичних екранів і дистанційного розміщення операторських пунктів.

Теплові фактори - під час роботи температура вихлопних колекторів і двигуна може перевищувати 200°C. Це створює ризик опіків і займання мастильних матеріалів. Тому в місцях підвищеного нагріву слід передбачати теплоізоляційні кожухи, а також попереджувальні знаки для персоналу.

Хімічні ризики пов'язані з використанням дизельного пального, пари палива в умовах поганої вентиляції можуть спричинити інтоксикацію або вибух при виникненні фактору займання. Вихлопні гази містять оксиди азоту, вуглецю та сірки, тому реалізація системи вентиляції має забезпечувати гідний рівень роботи для безпеки персоналу.

Інформаційно-технічні ризики можуть виникати через помилки програмного забезпечення або відмови датчиків, що здатні призвести до некоректного моменту підключення генератора до мережі. Це може викликати коротке замикання або аварію системи. Тому необхідно впроваджувати програмно-апаратні механізми захисту, подвійне резервування каналів зв'язку та контроль коректності сигналів синхронізації.

Психофізіологічне навантаження на операторів може бути значним, оскільки контроль за режимами роботи станції та параметрами конфігурації потребує високої концентрації уваги. Для зменшення навантаження рекомендується дотримуватися регламентованих перерв, підтримувати оптимальне освітлення і мікроклімат у приміщенні.

5.2.3 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників, що діють на робочому місці суб'єкта ДП/ДР

Робоче місце диспетчера розташоване в окремому приміщенні, відокремленому від машинного залу дизель-генераторних установок. Незважаючи на відсутність безпосереднього контакту з важким обладнанням, на оператора діє низка шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

На здоров'я та концентрацію диспетчера буде впливати мікроклімат робочої зони пункту. Характер роботи диспетчера належить до категорії Іа–Іб (легка фізична праця), оскільки діяльність переважно пов'язана з моніторингом інформації на екранах, виконанням команд на пультах керування та роботою з документацією.

Таблиця 5.1.

Дані мікроклімату робочої зони

Параметр	Оптимальні значення	Допустимі значення	Фактичні значення	Висновок
Температура повітря	22–24 °С	20–26 °С	23 °С	В нормі
Відносна вологість	40–60 %	30–70 %	45 %	В нормі
Швидкість руху повітря	до 0,1 м/с	до 0,2 м/с	0,08 м/с	В нормі
Теплове випромінювання	мінімальне	≤ 35 Вт/м ²	відсутнє	Відповідає нормам

Можна зробити висновок що параметри мікроклімату у диспетчерському пункті відповідають санітарним нормам. Рекомендовано забезпечити вільну роботу вентиляції та зберігати стабільну температуру під час пікових навантажень на ДГС.

Вплив неіонізуючих електромагнітних полів і випромінювання можливий через наявність монітору в диспетчерському пункті.

На робочому місці ДП/ДР можливий вплив таких джерел неіонізуючих ЕМП:

- монітори та комп'ютерне обладнання;

- кабелі живлення та зв'язку;
- радіозасоби, Wi-Fi-маршрутизатори;
- силові шини, що підходять до автоматизованої системи синхронізації .

Таблиця 2.5.

Дані неіонізуючих електромагнітних полей і випромінювання зони

Тип випромінювання	Допустимі норми	Фактичні значення	Джерело	Висновок
Промислова частота 50 Гц	5 кВ/м (ЕП), 0.5 мТл (МП)	0.3 кВ/м; 0.05 мТл	Комутаційні шафи	Нижче норми
НВЧ/РЧ-випромінювання	10–50 мкВт/см ²	1–2 мкВт/см ²	Wi-Fi, радіозв'язок	Нижче норми
Електростатичні поля від моніторів	20 кВ/м	≤2 кВ/м	LCD-монітори	Значно нижче норми
Оптичне УФ	≤0,1 мВт/см ²	практично 0	Оргтехніка	В нормі

В результаті можна зазначити що рівні ЕМП на місці диспетчерського пункту не перевищують допустимі значення і відповідно не створюють ризику для здоров'я оператора, рекомендовано дотримуватися відстані більш ніж 50 см від екрану та уникати розміщення силових кабелів під пунктом.

5.3 Розробка заходів з охорони праці

5.3.1 Захист від шуму

Рівень шуму в дизельному приміщенні, в якому розміщені дизель-генератори, зазвичай перевищує 100 дБА [9],[10]. Для його зниження потрібно застосувати спеціальні звукопоглинальні матеріали й відповідні конструктивні рішення. «Для дизельних генераторів максимальні амплітудині звуку притаманні низькочастотній області звукового спектра»

[7]. Щоб досягти безпечних та комфортних умов роботи згідно з нормативами, необхідно використати акустичні кожухи. Додатково ефективність можна підвищити завдяки коректному розміщенню обладнання та локалізації найбільш гучних вузлів. Варто також передбачити вентиляційні канали зі звукоізоляційними вставками, які обмежують поширення шуму. У комплексі такі заходи дають змогу істотно зменшити акустичне навантаження на персонал і збільшити ресурс роботи генераторних станцій системи.

Посилання на нормативні документи:

- **ДБН В.1.2-10:2021** — «Захист від шуму та вібрації»
- **ДСН 3.3.6.037-99** — «Гранично допустимі рівні шуму».
- **ДСТУ EN ISO 3746:2016** — «Методи вимірювання шуму джерел».

5.3.2 Електробезпека

Забезпечення електробезпеки в автоматизованій системі синхронізації дизель-генераторних станцій, зокрема в диспетчерському пункті, потребує особливої уваги до заземлення та якості електропроводки. Усе обладнання керування - контролери, компютер пункту, модулі зв'язку повинно бути під'єднане гідним чином, щоб у разі аварійного замикання на корпус не виникала небезпечна напруга [16]. Проводку в диспетчерській бажано виконувати екранованими кабелями з якісною ізоляцією, а її стан перевіряти щонайменше раз на рік. Силові та сигнальні кабелі варто прокладати окремо, щоб уникнути перешкод та помилок у роботі автоматизації. Додатково застосувати антистатичні підлоги, заземлені робочі столи та прилади контролю статичного заряду. Використання диференційного захисту гарантує швидке відключення мережі при витокі струму і підвищує загальний рівень безпеки.

Посилання на нормативні документи:

- **ДСТУ EN 61140:2017** — «Захист від ураження електричним струмом».

5.3.3 Інструкції з техніки безпеки

До роботи з обладнанням допускаються лише працівники які мають відповідну підготовку та можуть безпечно виконувати свої обов'язки. Під час виконання технічного обслуговування чи ремонту необхідно користуватися діелектричними рукавичками, взуттям та інструментом, кожен працівник має пройти інструктаж з охорони праці, щоб знати основні фактори ризику та методи їх уникнення. У процесі експлуатації обладнання суворо заборонено виконувати будь-які дії, не відключивши напругу. Перед тим як запускати генератор, слід переконатися, що рівень масла достатній, система охолодження працює належним чином, а заземлення надійно під'єднане. Під час роботи агрегатів працівникам не слід наближатися до рухомих частин, щоб уникнути травмування.

Під час технічного обслуговування та ремонтних робіт усі дії повинні виконуватися щонайменше двома працівниками це дозволить швидше реагувати на можливі небезпеки. Акумуляторні батареї та системи запуску слід обслуговувати лише в окремих приміщеннях, де є хороша вентиляція. Крім того, при роботі з паливом категорично забороняється використовувати відкритий вогонь чи будь-який інструмент, що може утворити іскру, адже це створює ризик займання [15]. У разі аварійних ситуацій слід негайно зупинити роботу генераторів через систему екстреного відключення, повідомити відповідального за об'єкт та викликати аварійну службу, при виникненні пожежі слід використати найближчий вогнегасник та здійснити евакуацію згідно з планом.

Дотримання перерахованих правил дозволить експлуатувати автоматизовану систему синхронізації з мінімальними ризиками, запобігаючи травмам і зберігаючи працездатність обладнання. Регулярне проведення інструктажу з безпеки для персоналу та перевірка знань з охорони праці є обов'язковими умовами стабільної й безпечної роботи дизель-генераторного комплексу та диспетчерського пункту.

Посилання на нормативні документи:

ДСТУ EN 60204-1:2015 — «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги».

5.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека в дизельних електростанціях та диспетчерському пункті забезпечується комплексом технічних і організаційних заходів, що передбачають запобігання займанням палива, мастил та ізоляційних матеріалів. Категорії приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою розподілені наступним чином, приміщення дизель-генераторних станцій класифіковані категорією В в той час як приміщення диспетчерського пункту має категорію Д за вибухопожежною та пожежною небезпекою згідно чинних стандартів [5].

Реалізація пожежної безпеки системи синхронізації досягається обладнанням приміщень системами пожежної сигналізації та автоматичного гасіння, обраний тип датчиків комбінований. Забезпеченням вентиляції для запобігання накопиченню парів дизельного палива, Встановлення вогнегасників класів В і С поблизу паливних баків та регулярний контроль герметичності паливних баків. Організація евакуаційних виходів реалізована відповідно до ДБН В.1.1-7:2016.

Для приміщення диспетчерського доцільно застосовувати газові системи пожежогасіння або порошкові установки, оскільки вони не пошкоджують електронні компоненти автоматики. Усі кабельні траси повинні мати негорючу ізоляцію, а двигуни оснащуватися датчиками температури та сигналізації перегріву.

Посилання на нормативні документи:

ДБН В.1.1-7:2016. — «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

5.5 Перевірочний розрахунок захисту від ураження електричним струмом

Одним із головних факторів небезпеки для диспетчера під час експлуатації автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій є ризик ураження електричним струмом. Це може статися при пошкодженні ізоляції електропроводки, замиканні фази на корпус обладнання або порушенні цілісності заземлювального контуру. Для забезпечення безпеки персоналу виконуємо перевірку ефективності заземлення при номінальній напрузі живлення 220 В.

Вихідні дані для розрахунку:

- Напруга мережі диспетчерського пункту: $U = 220 \text{ В}$
- Опір заземлювального пристрою: $R_z = 4 \text{ Ом}$
- Опір тіла людини: $R_l = 1000 \text{ Ом}$
- Опір ізоляції корпусу обладнання: $R_i = 5000 \text{ Ом}$
- Струм замикання на корпус: $I_z = U / (R_z + R_i)$

Розрахунок струму замикання:

$$I_z = 220 / (4 + 5000) = 220 / 5004 \approx 0,04396 \text{ мА} = 43,96 \text{ мА}$$

Напруга доторкання:

$$U_d = I_z \times R_z = 0,04396 \times 4 = 0,1758 \text{ мВ}$$

Отже, напруга доторкання становить приблизно 0,18 мВ, що суттєво нижче допустимого рівня 50 В для змінного струму частотою 50 Гц. Це означає, що система заземлення забезпечує належний рівень електробезпеки для персоналу. Для додаткового підвищення безпеки рекомендується застосовувати автоматичні вимикачі диференційного струму з номінальним струмом спрацювання не більше 30 мА, що гарантує миттєве відключення мережі при виникненні витoku струму. Також доцільно проводити регулярну

перевірку стану ізоляції та опору заземлення відповідно до вимог нормативних документів [6],[16].

Посилання на нормативні документи:

ДСТУ EN 61140:2017 — «Захист від ураження електричним струмом».

ДБН В.2.5-27-2006 — «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».

Висновки до розділу 5:

У розділі проведено всебічний аналіз питань охорони праці під час функціонування автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій. А саме визначено головні виробничі небезпеки, зокрема вплив електричних, механічних, шумових, хімічних і теплових факторів, що супроводжують роботу енергетичного обладнання. Розглянуто заходи захисту від ураження струмом, перегріву та вібраційних навантажень, а також методи запобігання негативному впливу вихлопних газів і шуму на персонал. Виконано розрахунок заземлення в диспетчерському приміщенні та запропоновано комплекс технічних і організаційних засобів для його зниження до нормативних показників.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СИНХРОНІЗАЦІЇ ДИЗЕЛЬ- ГЕНЕРАТОРНИХ СТАНЦІЙ

Вступ

Екологічна безпека сучасних енергетичних систем стає дедалі актуальнішою через зростанням світового енергоспоживання та потребу в подальшому розвитку енергетичної галузі країни. Дизель-генераторні станції (ДГС) широко застосовуються як автономні та резервні джерела живлення. Актуальність використання ДГС в реаліях сьогодення не піддається сумніву через потребу в підтриманні енергозабезпечення всіх секторів інфраструктури при відключеннях чи просадках основної системи електропостачання, однак їх експлуатація супроводжується низкою екологічних проблем, зокрема викидами відпрацьованих газів, шумовим забрудненням, значним споживанням палива та утворенням відходів.

Використання автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій дає змогу забезпечити узгоджену роботу генераторів із зовнішньою мережею з високою швидкодією та плавністю синхронізації. Система зчитує параметри мережі й обладнання за допомогою датчиків, передає ці дані на комп'ютер для аналізу та формування керуючих сигналів для комутаційної апаратури. Цей підхід дозволяє зменшити витрати палива, стабілізувати режими роботи станції та як наслідок знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

6.1 Екологічні переваги використання автоматизованих систем синхронізації

В питанні переваг використання автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій можна зробити висновок що система забезпечує швидкий та надійний процес синхронізації генераторної станції з мережею. Зазначені переваги збільшують ККД використання генераторної

станції через швидкість та автоматизацію процесу синхронізації. Це дає змогу зменшити витрати дизельного палива, скоротити обсяг викидів вуглекислого газу та зберегти ресурс двигунів завдяки зменшенню періодів простоїв і перевантажень. Використання автоматизованих систем синхронізації призводить до зменшення шкідливих викидів так як підтримання стабільної частоти обертання двигуна і точне регулювання навантаження сприяють більш повному згорянню палива [8].

В результаті оптимізація системи призводить до зниження кількості токсичних речовин у вихлопі системи, а саме таких як оксиди азоту, чадний газ та діоксид сірки. Це сприяє покращенню якості атмосферного повітря та зниженню ризиків для здоров'я персоналу і населення яке проживає поблизу розташування дизель-генераторної станції. Завдяки автоматичному узгодженню параметрів генераторів і електричної мережі мінімізуються втрати енергії під час процесу синхронізації, внаслідок цього відбувається ефективніше використання системи що знижує загальне енергоспоживання.

6.2 Роль автоматизації в екологічній оптимізації експлуатації дизель-генераторів

Система сконфігурована на автоматичне визначення оптимальних параметрів запуску, навантаження та зупинки генераторної станції системи. Підхід автоматизації дозволяє уникнути тривалого холостого ходу й зменшує потребу в ручному втручанні, що позитивно впливає на екологічні показники роботи станції [11]. Для подальшого зниження негативного впливу на довкілля та оптимізації автоматизованої системи синхронізації можливо інтегрувати датчики контролю температури, тиску, вібрацій, рівня шуму та складу вихлопних газів. Отримані дані оброблятимуться програмним забезпеченням для аналізу ефективності згоряння палива, контролю дотримання екологічних норм та прогнозування технічних несправностей, що можуть призвести до підвищення рівня викидів.

6.3 Вплив автоматизації на зниження техногенного навантаження

Постійний контроль режимів роботи дає змогу суттєво знизити рівень шуму дизель-генераторних установок. Для додаткового зменшення шумового впливу доцільно застосовувати акустичні кожухи та системи активного шумопоглинання, що сприяє кращим умовам праці персоналу та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище [9]. Також завдяки точному узгодженню фазових параметрів генератора та електричної мережі усувається ймовірність різких стрибків навантаження, які зазвичай супроводжуються короткочасним зростанням витрати палива та рівня викидів. В результаті процес синхронізації відбувається плавно та є екологічно безпечним [19]. Автоматизація процесів контролю зменшує потребу в частих роботах з обслуговування системи. Це дозволяє скоротити кількість технічних виїздів і споживання мастильних матеріалів, а також знижує загальне екологічне навантаження, пов'язане з проведенням сервісних операцій.

6.4 Екологічні виклики впровадження автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій

Виробництво окремих елементів системи автоматичної синхронізації-датчиків, контролерів, мікропроцесорів і кабельних систем супроводжується значними витратами енергії та використанням рідкісних металів, що формує власний екологічний слід. Через цей фактор важливо застосовувати енергоефективні технології та впроваджувати процеси вторинної переробки матеріалів ще на етапі виготовлення компонентів. Оскільки елементи системи мають обмежений термін служби, після завершення їхнього ресурсу необхідно забезпечити правильну утилізацію. Це дозволить запобігти потраплянню небезпечних речовин у ґрунт і водні ресурси. Найбільш ефективним підходом є використання спеціалізованих програм збору й переробки електронних відходів.

6.5 Використання інноваційних технологій для підвищення екологічної безпеки

У сучасних технічних системах усе частіше застосовуються окремі компоненти, виготовлені з вторинної сировини або матеріалів що можуть бути перероблені після завершення строку експлуатації. Такий підхід загалом сприяє зменшенню обсягів відходів і, відповідно, екологічного навантаження протягом усього життєвого циклу системи, хоча на практиці це не завжди реалізується з очікуваною ефективністю. Використання біорозкладних мастильних матеріалів, та замкнених систем охолодження дозволяє знизити ризик потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище. Це у свою чергу позитивно впливає на екологічні показники та підвищить загальну енергоефективність роботи ДГС.

6.6 Вплив експлуатації дизель-генераторних станцій на довкілля

Під час роботи ДГС утворюються наступні типи відходів:

- відпрацьовані мастильні матеріали;
- фільтри, прокладки, ущільнювачі;
- зношені деталі та елементи системи живлення;
- акумулятори систем запуску.

Для мінімізації впливу необхідно впровадити системи збору та утилізації відповідних відходів ДГС.

Шумове забруднення

Джерелами шуму є двигун внутрішнього згоряння та обертові механічні частини генератора. Для зниження шумового забруднення використовують шумоізоляційні кожухи, системи активного глушіння та оптимізація режимів роботи через систему синхронізації.

Вплив на локальні екосистеми

Робота ДГС може змінювати мікрокліматичні умови (підвищення температури, рівня шуму, концентрації газів). Автоматизоване керування дозволяє мінімізувати ці фактори шляхом адаптації режимів роботи до реальних потреб споживача.

Висновки до розділу 6:

У шостому розділі даної кваліфікаційної роботи було виконано екологічний аналіз автоматизованої системи синхронізації дизель-генераторних станцій. В ході аналізу розглянуто основні аспекти впливу системи на стан довкілля та визначено ймовірні джерела забруднення, також окреслено можливі шляхи мінімізації негативного впливу на етапах виробництва, експлуатації та технічного обслуговування системи. Проведене дослідження показало, що автоматизація процесів синхронізації в цілому має помітний позитивний ефект на екологію довкілля. Завдяки застосуванню систем контролю режимів роботи генераторів і постійного моніторингу основних параметрів енергомережі при синхронізації досягається оптимізація паливоспоживання, зменшуються викиди шкідливих речовин у атмосферу, а також знижується шумове та теплове навантаження.

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено та обґрунтовано ключові підходи до синхронізації дизель-генераторних електростанцій із мережею з урахуванням сучасних вимог до надійності та ефективності функціонування енергосистем. Особлива увага приділялася аналізу параметрів сигналу биття, адже саме вони виступають інформативною основою для оцінки процесів синхронізації. У результаті моделювання визначено вплив частоти синхронізації на площу сигналу биття, що дало змогу виявити закономірності зміни показників і закласти основу для формування більш гнучких алгоритмів управління. Одержані залежності підтвердили, що врахування площі під обвідною сигналу або енергії під обвідною забезпечує вищу точність контролю процесів увімкнення дизель-генератора в мережу.

Поряд із цим було опрацьовано алгоритмічні рішення, які дозволяють автоматизувати процес контролю моменту підключення станції. Вивчення двох підходів – контролю площі та контролю енергії – дало змогу зіставити їх ефективність і визначити умови доцільності використання кожного з них. Це дозволяє підвищити якість управління синхронізацією, мінімізувати похибки та підвищити загальний рівень енергетичної безпеки.

Окремо було розглянуто принципи побудови автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) для дизель-генераторних комплексів. Проаналізовано переваги та недоліки централізованих, ієрархічних і децентралізованих схем, що дало змогу визначити оптимальні рішення для конкретних умов експлуатації. На основі проведених досліджень розроблено структурну схему автоматизованої системи синхронізації, яка поєднує надійність, масштабованість і гнучкість у впровадженні.

У роботі також було зосереджено увагу на програмній реалізації поставлених завдань. Вивчено сучасні підходи до створення графічних інтерфейсів користувача, визначено ієрархію між функціональними

елементами та проаналізовано можливості їх реалізації у середовищі Visual Studio. На основі проведених досліджень було побудовано повнофункціональний інтерфейс, який забезпечує наочне відображення параметрів синхронізації, зокрема площі під обвідною сигналу биття. Окрему увагу приділено демонстрації функціоналу та розробці програмного коду, який виконує ці операції у реальному часі.

Узагальнюючи, результати роботи підтверджують актуальність комплексного підходу, що поєднує математичне моделювання, алгоритмічні рішення, технічні засоби автоматизації та програмне забезпечення. Запропоновані рішення можуть бути використані для підвищення ефективності та надійності роботи дизель-генераторних станцій, а також слугувати основою для подальших досліджень у сфері інтелектуальних систем управління енергетичними об'єктами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Vaskaran Sarcar Simple and Efficient Programming with C#: Skills to Build Applications with Visual Studio and .NET (English Edition).-Apress.-2022.
2. Автоматика електроустановок електроенергетичних систем Навчальний посібник / В. М. Баженов, М. М. Одегов. - Харк Планета-Прінт, 2022. – 186 с.
3. Андреев А.І., Банзак О.В. Джерела безперебійного живлення телекомунікаційних і комп'ютерних систем: навч. посіб. / А.І. Андреев, О.В. Банзак – Одеса, 2010.
4. Андрієнко П.Д. Методика підвищення загального статичного коефіцієнту корисної дії дизель-генераторних електромеханічних систем транспортних засобів НТУ" ХП" 2017 – 41 с.
5. ДБН В.1.1-7:2016. — «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».
6. ДБН В.2.5-27-2006 — «Інженерне обладнання будинків і споруд. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд».
7. Дослідження рівнів шуму при реконструкції й відновленні будівель і визначення заходів його зниження . А. Глива , К. К. Ткачук , М. С. Кашлев (2024) – 185 с.
8. ДП «НЕК «Укренерго» — «Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила» (у редакції наказу від 21.06.2019). — 2019. – 33 с.
9. ДСН 3.3.6.037-99 — «Гранично допустимі рівні шуму».
10. ДСН 3.3.6.037-99 — «Санітарні норми допустимого рівня шуму на робочих місцях».
11. ДСТУ 2226-93 Автоматизовані системи. Терміни та визначення
12. ДСТУ 4276:2004 — «Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями».

13. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електроенергії у розподільних мережах загального призначення. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 23 с.
14. ДСТУ EN 60034-3:2017. Машина електричні обертові. Частина 3. Синхронні машини, що працюють від мережі змінного струму. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 40 с.
15. ДСТУ EN 60204-1:2015 — «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги».
16. ДСТУ EN 61140:2017 «Захист від ураження електричним струмом».
17. ДСТУ EN ISO 3746:2016 — «Методи вимірювання шуму джерел».
18. ДСТУ ІЕС/TS 62351-1:2014 — «Керування енергетичними системами та пов'язаний з ним інформаційний обмін. Безпека даних та комунікацій. Частина 1. Безпека зв'язку мережі та системи».
19. ДСТУ EN ISO 52000-1:2023 Енергоефективність будівель. Комплексне оцінювання енергоефективності будівель. Частина 1.
20. Козярьський Д.П. Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем: навчальний посібник. Ч. 2 /Д.П. Козярьський, Е.В. Майструк, І.П. Козярьський.- Чернівці: Чернівецький нац. ун., 2019.
21. Кононов Б.Т. Шляхи прискорення процесу синхронізації в системах електропостачання військових об'єктів/ Б.Т. Кононов, М.І. Будур//Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил.- 2019.-1(59).-С.78.
22. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. – Київ: Міненерговугілля України, 2017. – 56 с.
23. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів м. Київ, 26 квітня 2019 року – 47 с.
24. Штіфзон О. Й. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник /О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь/. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.